

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

Redaktor inż. Tadeusz Czapllicki

Rok XXV

Warszawa, 21 czerwca 1949 r.

Zeszyt 4/5/6

KRONIKA

XLVIII. Rola członków SEPu w uprzemysłowieniu kraju.

Przy obecnych formach ustrojowych naszego państwa i organizacyjnych naszego przemysłu na członków stowarzyszeń technicznych, a więc i na członków SEPu, spadają nowe ważne i odpowiedzialne obowiązki, związane z naszymi wysiłkami skierowanymi ku głębszemu uprzemysłowieniu kraju.

Trudności gospodarcze w latach przedwojennych, wpływające z „braku kapitałów“, z przemocy koncernów zagranicznych itd.; paraliż całego życia gospodarczego w okresie wojny; okropne zniszczenia wojenne; trudności odbudowy, pochłaniającej ogrom ośrodków i energii narodu — wszystko to sprawiło, że jesteśmy jeszcze zbyt mało uprzemysłowieni, że pozostajemy w tyle za krajami, którym nie powinniśmy ustępować.

Ambicją i dążeniem narodu jest wyrwanie naszego przemysłu jak najrychlej ze stanu karłowatości, w którym się jeszcze w wielu dziedzinach znajduje. Nie chodzi tu o skok do najwyższych szczytów postępu technicznego, do zdobyczy, które w najbardziej przodujących krajach są dopiero w stadium rodzenia się, lecz o dopędzenie w wytwórczości przemysłowej tych krajów, z którymi według swych słusznych pragnień powinniśmy kroczyć w jednym szeregu.

Nas w SEPie interesuje przede wszystkim przemysł elektrotechniczny. Długa lista artykułów elektrotechnicznych, których wytwarzanie w kraju przemysł nasz ma (według referatu inż. S. Gersona na zjazd SEPu) dopiero podjąć w ramach przyszłego planu 6-letniego, daje dość wymowny obraz naszego zacofania w bliskiej nam dziedzinie. Wszak w produkcji objętej listą wyprzedza nas niejeden kraj, znacznie mniejszy od naszego pod względem zaludnienia i znacznie mniej niż my wyposażony w bogactwa naturalne.

Nasze pragnienia i zamierzenia w sprawie uprzemysłowienia kraju są słuszne. Realizacja ich jest pilna. Wielka już pora, abyśmy rozszerzyli obszar swego usamodzielnienia się przemysłowego. Ważne i konieczne jest, abyśmy umieli sami wyrabiać to, co jest niezbędne do szerszego użytku technicznego, bez czego nie może być szybkiego postępu w rozwoju gospodarczym państwa. Odpowiedzialność za pomyślne rozwiązanie tego zagadnienia spada również na stowarzyszenia techniczne polskie.

Członkowie SEPu, jak i innych stowarzyszeń technicznych, zajmują w pracy przemysłowej na ogół kierownicze stanowiska różnych stopni. I stąd płynie ich obowiązek dbania o to, aby cały zakład pracy, w którym są zatrudnieni, wykazywał najwyższy stopień wysiłku w urzeczywistnieniu naszych dążeń.

Członkowie SEPu są zaprawieni już od dziesiątków lat do zbiorowej pracy społecznej na terenie swego stowarzyszenia w akcji odczytowej, w licznych komisjach (normy, przepisy, słownictwo, szkolnictwo, udział w analogicznych pracach technicznych międzynarodowych itd.). Obecnie, w warunkach naszej powojennej metody pracy w przemyśle i innych działach gospodarki narodowej, przybywa do tego czuwanie nad prawidłowym kierunkiem trzech prądów, które rozwijają się żywotowo i przyczyniają się do wzmocnienia naszej wydajności i podniesienia sprawności naszej pracy. Są to ruch racjonalizatorski, współzawodnictwo w pracy i akcja oszczędnościowa.

Właśnie od członków stowarzyszeń technicznych może pochodzić właściwe pokierowanie nowym stosunkiem do pracy, który może stać się potężnym motorem tak potrzebnego nam postępu. Sam zapal i najlepsze intencje szerokich mas pracowników nie zawsze wystarczą do

osiągnięcia pożądaných wyników, albo mogą być zgoła zmarnowane. Członkowie stowarzyszeń technicznych, dzieląc się wzajemnie na terenie swego stowarzyszenia własnymi spostrzeżeniami — dodatnimi i ujemnymi, swymi pomysłami, swymi osiągnięciami, przyczynią się poważnie do powodzenia całego ruchu.

Oczywiście, nie można zapominać, że szybki rozwój przemysłu elektrotechnicznego, o który my tutaj przede wszystkim troszczymy się, jest uzależniony również od jednoczesnego postępu w rozwoju szeregu przemysłów pomocniczych, jak hutniczy, metalowy, chemiczny, papierniczy i in. Ale przecież i tam członkowie odpowiednich stowarzyszeń technicznych powinni na swym terenie rozwijać analogiczną działalność, bo obowiązującą ich do tego przynależność wspólną z SEPem do Naczelnej Organizacji Technicznej.

XLIX. Artykuły dyskusyjne.

W zasadzie każdy artykuł zamieszczony w naszym piśmie może być przedmiotem dyskusji ze strony czytelników, gdy taka dyskusja może przyczynić się do rozszerzenia albo sprostowania podanych wiadomości lub poglądów autora, do pogłębienia zagadnienia itd. Jednak zaopatrzenie artykułu w adnotację „artykuł dyskusyjny“ ma oznaczać, że sami autorzy pragną wywołać dyskusję nad ogłaszanym przez nich materiałem, gdyż im szczególnie zależy na sprawdzeniu, czy ich rozumowania i propozycje są słuszne, czy nie ma w nich omyłek, czy nie można ich wniosków udoskonalić lub uzupełnić itd.

W szczególności projekty wszelkich przepisów są ogłaszane z wyraźnym wezwaniem o zabieranie głosu w sprawie tych opracowań i trzeba stwierdzić, że niejednokrotnie napływają od czytelników niezmiernie cenne uwagi, pobudzające autorów projektu do gruntownych poprawek.

Inną kategorię artykułów dyskusyjnych stanowią prace komisyjne nad zagadnieniami ogólniejszego charakteru, które mogą bezpośrednio interesować czy to całe działy gospodarki narodowej, czy szersze koła specjalistów, a które zawierają wnioski przesądające pewne decyzje o większym ciężarze gatunkowym i sięgające swymi skutkami w dalszą przyszłość. Rzecz zrozumiała, że w takich warunkach autorzy wymienionych prac w poczuciu swej odpowiedzialności radzi by sprawdzić swe wnioski, usłyszeć rzeczową krytykę i otrzymać pomoc w usunięciu usterek, by uczynić pracę pożyteczniejszą. Do tej kategorii artykułów należą np. prace szeregu komisji zjednoczeń energetycznych, poświęcone wytycznym co do zasad przyszłego rozwoju naszych elektrowni i sieci wysokonapięciowych*).

Należy jeszcze wyjaśnić, że zgłaszane uwagi nie potrzebują być obszerne, ani nie wymagają specjalnego opracowania szczegółowego. Autorom ogłaszanych projektów, którzy w swoich propozycjach wybrali jedno z dwu lub więcej możliwych rozwiązań i uczynili to po długich rozważaniach i wahaniach, wystarczą najbardziej lakoniczne uwagi krytyczne fachowca.

Uwagi mogą być nadsyłane nie tylko w przypadku oceny ujemnej. Uwaga pozytywna, potwierdzająca słuszność dokonanego wyboru wśród dwu lub więcej możliwych rozwiązań, a pochodząca od znawcy przedmiotu, jest równie cenna dla autorów projektu, gdyż utwierdza ich w przekonaniu, że omyłki nie popełnili.

Tadeusz Czapllicki

*) Artykuł inż. E. Domańskiego (PE, 1948, z. 4/5), artykuły inżynierów Z. Wierzbowskiego, W. Hellmanna i A. Jankowskiego (PE, 1949, z. 1) oraz S. Krzyckiego, T. Ejsmonda, A. Lidwina (w zeszycie niniejszym).

INŻ. TADEUSZ ZARNECKI

Przemysł elektrotechniczny u progu planu 6-letniego^{*)}

Treść. Przedwojenny obraz przemysłu elektrotechnicznego w Polsce i odrodzenie tego przemysłu po wojnie. Osiągnięcia planu trzyletniego. Zadania planu 6-letniego w poszczególnych gałęziach przemysłu, w szczególności program nowych działów produkcji i unowocześnienie jej. Zagadnienie kadr fachowych.

Электротехническая промышленность накануне шестилетки. Довоенная картина электротехнической промышленности в Польше и возрождение этой промышленности после войны. Достижения трехлетнего плана. Задачи шестилетнего плана по отдельным отраслям промышленности, в особенности программа новых видов производства и его модернизация. Вопросы подготовки технических кадров.

The electrical industry on the eve of the 6-year plan. Review of the electrical industry in Poland previous to the war and of its recovery since the war. The achievements of the 3-year plan. Problems for the 6-year plan in individual branches of industry, especially, the program for new sections of manufacture and for modernizing it. Problem of specialist staff.

L'industrie électrotechnique au seuil du plan sexennal. Tableau de l'industrie électrotechnique avant-guerre en Pologne et renaissance de cette industrie après la guerre. Résultats atteints dans le plan triennal. Tâches du plan sexennal dans les différentes branches de l'industrie, et, en particulier, programmes des nouvelles sections de la production et modernisation de celle-ci. Problème des cadres spécialisés.

Przemysł elektrotechniczny w Polsce przedwojennej był przemysłem o ograniczonych możliwościach produkcyjnych, przy czym nastawiony był przede wszystkim na produkcję artykułów konsumpcyjnych. Wywołane to było następującymi przyczynami:

1. wraz z wkładem obcych kapitałów w polski przemysł elektrotechniczny kierownictwo nad tym przemysłem przeszło w ręce czynników zagranicznych, którym nie zależało na rozwoju przemysłu elektrotechnicznego;

2. słaby był rozwój mechanizacji przemysłu i rzemiosła, powolny postęp w elektryfikacji wsi, w związku z tym zapotrzebowanie na produkcję przemysłu elektrotechnicznego z dziedziny środków wytwarzania (artykuły inwestycyjne) było ogromne;

3. kierownictwo podstawowych dziedzin gospodarki narodowej — energetyki, górnictwa, hutnictwa — było w rękach obcych, toteż przemysły te, będące rynkami odbiorczymi dla artykułów elektrotechnicznych o charakterze inwestycyjnym, pokrywały swoje zapotrzebowanie drogą importu wyrobów koncernów macierzystych lub finansowo powiązanych z odbiorcą polskim.

W zestawieniu asortymentu przedwojennego przemysłu elektrotechnicznego w Polsce nie figurują następujące przedmioty: dla energetyki — turbogeneratory, urządzenia regulacyjne, transformatory, przełączalnie pod obciążeniem; dla górnictwa — urządzenia wyciągowe, elektryczne lokomotywy kopalniane, maszyny wrębowe; dla hutnictwa — napędy walcownicze, samotoki; dla kolejnictwa — lokomotywy elektryczne, stacje prostownikowe (prostowniki rtęciowe, transformatory prostownicze, wyłączniki bardzo szybkie prądu stałego); dla przemysłu przetwórczego — silniki komutatorowe, spawarki wirujące.

W niektórych działach przemysłu elektrotechnicznego produkcja ograniczona była do montażu z elementów czy też podzespołów importowanych, przy czym dostawcą była przeważnie firma macierzysta (koncernowa, kapitałowa) w stosunku do firmy krajowej. Widoczne to było zwłaszcza w przemyśle telekomunikacyjnym, lampowym i w dziedzinie przyrządów pomiarowych.

Do tego nastawienia przedwojennego przemysłu elektrotechnicznego dostosowane było szkolenie inżynierów i techników w uczelniach. Kształcono przede wszystkim fachowców w dziedzinie eksploatacji i ruchu. Zaniedbane było kształcenie konstruktorów i np. na Politechnice Warszawskiej nie uczono konstruowania aparatury wysokiego napięcia. Jest to zrozumiałe, jeżeli się zauważy, że przy „wolności nauki“ katedry czy też zakłady były personalnie powiązane bezpośrednio lub też za pośrednictwem przemysłu krajowego z koncernami zagranicznymi.

*) Artykuł niniejszy był zamieszczony w „Gospodarce Planowej“, 1949, nr 5, str. 292—296. (Przyp. red.)

Po zniszczeniach wojennych przemysł elektrotechniczny rozpoczął pracę w roku 1945 produkcją na poziomie 13% produkcji przedwojennej. Po pierwszym zorganizowaniu się osiągnięto w roku 1946 produkcję odpowiadającą 30% produkcji przedwojennej.

W dalszej pracy usunięto materialne skutki zniszczeń, stworzono nowe zakłady, jednocześnie w asortymencie produkcji zaczęła coraz większą rolę odgrywać produkcja artykułów inwestycyjnych. O odbudowie przemysłu i o szybkości wzrostu pracy świadczą następujące cyfry:

	Jednostka	1946 r.	1949 r.
maszyny wirujące	szt.	8.670	40.000
transformatory	MVA	75	810
liczniki	szt.	6.260	185.000
druty emaliowane	ton	26	280
żarówki normalne	tys. szt.	4.700	18.000

Do produkcji wprowadzono artykuły nieprodukowane poprzednio, jak wrębówki, samotoki, spawarki wirujące. Poziom produkcji przedwojennej (w ogólnej wartości) został przekroczony w IV kwartale 1948 r. Plan 3-letni przewidywał osiągnięcie poziomu przedwojennego w roku 1949.

Zadania wynikające z 3-letniego planu odbudowy gospodarczej zostaną wykonane w przemyśle elektrotechnicznym w połowie III kwartału 1949 r. W zestawieniu z produkcją przedwojenną (rok 1938 = 100%) produkcja roku 1949 przedstawia się jak następuje:

maszyny elektryczne	176%
transformatory	182%
akumulatory i ogniwa	196%
kable	147%
liczniki	212%
żarówki	198%

Za podstawę przyjęto tu wartość produkcji w złotych z 1939 r dla roku 1938 według „Wiadomości Statystycznych“; dla roku 1949 — przewidywane wykonanie planu; dla żarówek przyjęto stosunek ilościowy w sztukach.

6-letni plan budowy podstaw socjalizmu w Polsce stawia rozległe zadania przed przemysłem, komunikacją i rolnictwem, a więc tymi dziedzinami życia gospodarczego, w których udział przemysłu elektrotechnicznego jako dostawcy artykułów inwestycyjnych jest bardzo poważny. Trzeba wziąć pod uwagę, że w związku z racjonalizacją, ogólnym unowocześnieniem całego przemysłu udział w nim wyrobów przemysłu elektrotechnicznego będzie większy niż dotychczas. Wprowadzenie automatyzacji, sterowania zdalnego, pomiarów zdalnych (telemetrii), unowocześnienie transportu — wszystko to sprawi, że w całej naszej gospodarce łączna moc silników elektrycznych, ilości aparatów elektrycznych, przewodów itd., zainstalowanych na jednego robotnika czy też na jedną maszynę produkcyjną, będą znacznie większe niż po-

przednio. Polepszenie współczynnika zmianowości w przemyśle będzie możliwe tylko przy jednoczesnym ulepszeniu oświetlenia zakładów przemysłowych. To wszystko stawia przed przemysłem elektrotechnicznym bardzo wielkie i trudne zadania, przy czym dla ich wykonania przewiduje się, że gdy cały przemysł ma wzrosnąć w okresie planu 6-letniego dwukrotnie, przemysł metalowy 2,5-krotnie, to przemysł elektrotechniczny trzykrotnie, a niektóre jego gałęzie nawet w większym stopniu.

Udział procentowy poszczególnych gałęzi w całości produkcji przemysłu elektrotechnicznego (liczonej za 100%) zmieni się w sposób następujący:

	1946 r.	1949 r.	1955 r.
maszyny elektryczne	15,9 ^{0/0}	17,5 ^{0/0}	22,5 ^{0/0}
aparaty	16,3 ^{0/0}	18,5 ^{0/0}	23,0 ^{0/0}
kable i przewody	38,6 ^{0/0}	29,0 ^{0/0}	18,4 ^{0/0}
akumulatory i ogniwa	12,0 ^{0/0}	7,7 ^{0/0}	5,4 ^{0/0}
przemysł telekomunikacyjny	5,9 ^{0/0}	13,7 ^{0/0}	15,8 ^{0/0}
przemysł lampowy	11,3 ^{0/0}	13,6 ^{0/0}	14,9 ^{0/0}

Jak widać z tabeli, maleje udział procentowy w dziedzinie kabli, przewodów, akumulatorów i ogniw. Mimo to w związku z ogólnym wzrostem wartości produkcji w latach 1946—1949—1955 również i produkcja tych dziedzin wzrasta, a dla okresu 1949—1955 wzrosła przeszło dwukrotnie.

W produkcji przewodów przewidywane jest wprowadzenie nowych rodzajów izolacji dla drutów nawojowych do maszyn elektrycznych i aparatów, co umożliwi obciążenie maszyn do wyższych temperatur, a więc umożliwi oszczędność w zużyciu podstawowych surowców — stali, miedzi i aluminium. W związku z unowocześnieniem kopalń, mechanizacją i elektryfikacją robót budowlanych przewidziane jest opracowanie i produkowanie nowych typów przewodów izolowanych o odpowiednich właściwościach mechanicznych i elektrycznych dla ich ciężkich warunków pracy.

Rozwój sieci łączności, sieci radiofonii przewodowej, telefonii nośnej itd. wymagać będzie od przemysłu kablowego prac nad wyprodukowaniem specjalnych typów kabli i przewodów do celów telekomunikacyjnych. Przemysł chemiczny będzie musiał pomóc tutaj przez opanowanie produkcji odpowiednich syntetycznych materiałów izolacyjnych.

Dla potrzeb energetyki przemysł przewodowy musi zabezpieczyć dostawę kabli wysoko-napięciowych, jak również linek aluminiowych i stalo-aluminiowych z odpowiednim do nich sprzętem. Konieczne jest wprowadzenie aluminium jako surowca do produkcji przewodów izolowanych, co w konsekwencji da duże oszczędności przy realizacji planu budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego.

W związku z rozbudową trakcji elektrycznej w kolejnictwie i górnictwie zapotrzebowanie drutów ślizgowych (jezdnych) będzie kilkakrotnie większe od dotychczasowego.

Przemysł akumulatorowy będzie stałym dostawcą przemysłu samochodowego, jak również dostawcą akumulatorów do wymiany w samochodach użytkowanych. Następnym odbiorcą przemysłu akumulatorowego jest tabor kolejowy. Dla kolejnictwa oraz do lamp górniczych konieczne będzie wprowadzenie produkcji akumulatorów żelazo-niklowych. Produkcja baterijek kieszonkowych powinna wzrosnąć do 20 mln. sztuk w roku 1955 przy oparciu produkcji baterii w większym niż do tej pory stopniu na surowcach krajowych.

Produkcja maszyn elektrycznych według obecnego stanu prac nad planem 6-letnim wzrosła w roku 1955 w porównaniu z rokiem 1949 przeszło cztero-

krotnie. W dziedzinie silników asynchronicznych produkcja liczona w łącznej mocy wyprodukowanych silników wzrasta w latach 1949—55 przeszło 6,5-krotnie, co umożliwi produkcję obrabiarek, mechanizację transportu i budownictwa, racjonalizację i unowocześnienie w górnictwie, przemyśle ciężkim i przetwórczym. To znaczne powiększenie produkcji silników będzie umożliwione między innymi przez wybudowanie nowoczesnej fabryki silników produkującej systemem taśmowym.

Wzrost produkcji transformatorów dostosowany jest do zamierzonej odbudowy elektrowni i sieci przesyłowych. Liczba transformatorów produkowanych rocznie wzrosła dwukrotnie przy jednoczesnym wzroście mocy transformatorów produkowanych 2,5-krotnie, co świadczy o większym udziale w ogólnej produkcji transformatorów dużej i największej mocy. W okresie planu 6-letniego rozpoczęta będzie produkcja transformatorów przełączalnych pod obciążeniem, początkowo na przełącznikach importowanych, a następnie na przełącznikach własnej produkcji.

Zasadniczą zmianą w polskim przemyśle elektromaszynowym w okresie planu 6-letniego jest wprowadzenie do produkcji turbogeneratorów i produkcji lokomotyw elektrycznych oraz stacji prostowniczych do celów trakcyjnych.

Oddzielnym zagadnieniem, które będzie musiał rozwiązać przemysł elektromaszynowy jest produkcja maszyn ciężkich do napędów walcowniczych, wyciągów kopalnianych, napędów okrętowych itp.

Na przeciwnym krańcu asortymentu maszyn, których produkcja będzie musiała być wzmożona, znajdują się prądnice, startery samochodowe oraz narzędzia elektryczne.

Produkcja aparatury elektrycznej wzrosła do roku 1955 w porównaniu z rokiem 1949 prawie czterokrotnie. W związku z powiększającą się siecią energetyczną i powiększeniem mocy zainstalowanej w elektrowniach, przyłączonych do wspólnej sieci, wzrastać będzie moc zwarciova, co spowoduje konieczność dostarczenia tak dla energetyki, jak i dla dużych odbiorców — górnictwa, hutnictwa, przemysłu chemicznego — wyłączników o dużej mocy odłączalnej.

Odbudowa i unowocześnienie przemysłu ciężkiego i przetwórczego spowoduje ogromny wzrost zapotrzebowania aparatury pomiarowej, której produkcja wzrosła przeszło pięciokrotnie, oraz aparatury sterującej i rozdzielczej niskiego napięcia.

Wzrost stopy życiowej ludności pracującej miast i wsi oraz elektryfikacja rolnictwa spowodują znaczny wzrost zapotrzebowania grzejników i urządzeń elektrycznych do użytku domowego oraz sprzętu oświetleniowego. Część zaopatrzenia pokryta będzie wzrastającą w tej dziedzinie produkcją przemysłu miejscowego.

W centralnie kierowanym państwowym przemyśle elektrotechnicznym przewidziany jest prawie sześciokrotny wzrost produkcji grzejników i urządzeń do użytku domowego, których w roku 1955 wyprodukuje się łącznie 2400 ton o wartości 15 mln. zł przedwojennych. W roku 1938 zakłady przemysłowe od I do VII kategorii, tzn. zatrudniające ponad 5 robotników, wyprodukowały 631 ton urządzeń elektrycznych domowego użytku o wartości 3,15 mln. zł.

Przemysł telekomunikacyjny, którego udział procentowy w całości przemysłu elektrotechnicznego wyraźnie wzrasta, będzie musiał wprowadzić do produkcji, między innymi, produkcję urządzeń techniki przenoszenia, aby umożliwić administracji pocztowej usprawnienie działania sieci łączności i pełniejsze niż dotychczas wykorzystanie kabli telefonicznych.

Pracując według wytycznych, opracowanych wspólnie z Centralnym Urzędem Radiofonii, przemysł telekomunikacyjny osiągnie w roku 1955 produkcję 350 000 sztuk odbiorników (142 000 w roku 1938 i 5200 w roku 1947) rocznie przy odpowiedniej ilości wzmacniaczy i głośników dla radiowęzłów. W produkcji łącznic telefonicznych osiągnie ten przemysł w porównaniu z rokiem 1949 sześciokrotny wzrost produkcji.

W produkcji żarówek normalnych przekroczymy z końcem planu 6-letniego poziom 30 mln. sztuk rocznie, tzn. 170% produkcji z roku 1949. Jednocześnie wprowadzone zostaną do produkcji rury świetlące (jeszcze w roku 1949), lampy sodowe, rtęciowe, żarówki samochodowe itp. Produkcja lamp radiowych pokryje w pełni zapotrzebowanie przemysłu radiotechnicznego. Produkcja lamp elektrycznych będzie w okresie planu 6-letniego znacznie pogłębiona i opierać się będzie na własnej produkcji półfabrykatów jak spirale, elektrody itp.

Dla spełnienia wymienionych zadań wzrośnie liczba zakładów wytwórczych przemysłu elektrotechnicznego, przy czym nowopowstające zakłady budowane będą w niedostatecznie uprzemysłowionych województwach: rzeszowskim, lubelskim, białostockim.

Wydajność pracy wzrośnie w okresie planu 6-letniego o przeszło 45% w stosunku do stanu z roku 1949.

Odbudowa zniszczonego przez wojnę przemysłu elektrotechnicznego usunęła skutki zniszczeń materialnych, nie doprowadziła jednak jeszcze do przekształcenia jakościowego przemysłu elektrotechnicznego. W większości zakładów produkcja prowadzona jest nadal metodami przedwojennymi, specjalizacja zakładów i połączone z tym przejście na produkcję wielkoseryjną i masową zostały dopiero zapoczątkowane.

Dla wykonania zadań produkcyjnych wyznaczonych przez plan 6-letni przy jednoczesnym podniesieniu wydajności i zmniejszeniu kosztów własnych produkcji, jak również dla podwyższenia jakości wyrobów, przemysł elektrotechniczny musi rozwiązać pomyślnie dwa zagadnienia podstawowe — zagadnienie planu technicznego i zagadnienie kadr fachowych.

Rozpatrując zagadnienie planu technicznego należy pamiętać o tym, że ujęte w nim muszą być wszystkie techniczne i techniczno-organizacyjne zmiany, które będą wprowadzone w technologii produkcji. W przemyśle kablowym plan techniczny będzie musiał np. przewidzieć wszystkie zmiany, które pociągnie za sobą wprowadzenie ciągłej wulkanizacji przewodów gumionych.

Zamierzenia kierownictwa przemysłu np. elektromaszynowego, zdążające w kierunku modernizacji produkcji silników, powinny być wyrażone w postaci wytycznych, czy też wskaźników kierunkowych planu technicznego dla całej branży, a następnie dla poszczególnych zakładów wytwórczych. Kierownictwo zakładu, planując i wprowadzając zmiany w metodzie produkcji, montażu czy też kontroli, wprowadzając nowe ustawienie maszyn i zlecając opracowanie nowych narzędzi, będzie mogło kontrolować zgodność swoich zamierzeń ze wskazówkami kierownictwa całej branży, czy też całego przemysłu elektrotechnicznego przez porównanie wielkości osiągniętych wskaźników planu technicznego z założonymi.

Przez należyte wykorzystanie wskaźników planu technicznego możliwa będzie kontrola racjonalności inwestowania. Zestawienie wskaźników planu technicznego naszego przemysłu z odpowiednimi cyframi, uzyskanymi w ramach współpracy gospodarczej od przemysłu radzieckiego czy też czechosłowackiego,

jak również z wskaźnikami uzyskanymi z przeliczenia posiadanych danych o przemyśle np. amerykańskim, umożliwi kierownictwu przemysłu zwrócenie uwagi na te zagadnienia, w których wprowadzenie szybszego postępu technicznego i zmian organizacyjnych jest najpilniejsze.

Na skutek włączenia zagadnień technicznych w dziedzinę planowania przez wcielenie planu technicznego do planu przemysłowego osiągnięte będzie duże racjonalizowanie produkcji, między innymi przez wprowadzenie potoków produkcyjnych w produkcji seryjnej i masowej. W następstwie tych prac będzie określona najracjonalniejsza wielkość serii dla danej konstrukcji przedmiotu.

Wskaźniki planu technicznego będą jedną z podstaw planowania prac w biurach konstrukcyjnych, gdy założenia planu technicznego będą musiały wywrzeć skutek na plan prac badawczo-naukowych. W okresie planu 6-letniego przemysł elektrotechniczny będzie musiał ściśle współpracować z instytucjami naukowymi, a zwłaszcza GIEI i PIT.

Dla przemysłu aparatów elektrycznych zagadnieniem kapitałowym, którego rozwiązanie wprowadzi przemysł ten na nowe tory, będzie uruchomienie zwarciowni we współpracy z GIEIem. Stała praca zwarciowni umożliwi sprawdzenie wartości użytkowej wyłączników wysokiego napięcia. Biura konstrukcyjne będą mogły przy pomocy zwarciowni opracować nowoczesne konstrukcje wyłączników, zapewniające spokojną pracę sieci energetycznych.

Zagadnienie kadr fachowych dla przemysłu elektrotechnicznego nie zostało dotychczas rozwiązane. Szkoły przemysłowe, gimnazja i licea dostarczają już obecnie wykwalifikowanych pracowników na poziomie średnim i niższym dla przemysłu elektrotechnicznego. Sieć kursów przyfabrycznych przyczyni się do zmniejszenia braków kadr. Dobrze zorganizowana współpraca ze Związkiem Zawodowym Metalowców, racjonalne wykorzystanie praktyk i stałe poprawianie programu szkolenia będą mogły na podstawie doświadczenia zapewnić pod koniec planu 6-letniego dopływ dostatecznej ilości sił fachowych na poziomie średnim i niższym.

Zagadnienie szkolnictwa wyższego nie zostało dotychczas ostatecznie rozwiązane. Szkolnictwo wyższego typu przedwojennego nie mogło kształcić fachowców dla potrzeb obecnego przemysłu. Program nauczania tak ze względu na zbyt długi okres studiów, jak i ze względu na program nie odpowiadał potrzebom szybko rosnącego, usamodzielnionego od zagranicy, nowoczesnego przemysłu elektrotechnicznego.

Opracowany obecnie program studiów dla wydziałów elektrycznych politechnik będzie uwzględnił potrzeby samodzielnego i nowoczesnego przemysłu, a okres studiów, skrócony przez wprowadzenie dwustopniowości, będzie bardziej odpowiadał potrzebom szybko rosnącego przemysłu.

Od programu do realizacji nowych metod szkolenia nowych kadr inżynierów i techników jest jeszcze daleko. Konieczne więc jest bliższe powiązanie uczelni z przemysłem, by zapobiec rozbieżności wysiłków i by zlikwidować ten stan, w którym „fachowcy” — zbyt konserwatywni dla przemysłu i zbyt zacofani w swoim podejściu do zagadnień gospodarczych, by mogli pracować w przemyśle państwowym — przechodzą do pracy w szkolnictwie wyższym dla szkolenia i wychowywania młodego narybku technicznego.

Do rozwiązania zagadnienia kadr dla planu 6-letniego budowy podstaw socjalizmu w Polsce i dla następnych okresów planowej gospodarki w socjalistycznej Polsce przyczyni się coraz bardziej zacieśniająca

się współpraca pomiędzy kierownictwem przemysłu a SEPem. Stowarzyszenie to, działając w ramach Naczelnej Organizacji Technicznej, przyczyni się niewątpliwie do wykonania planu 6-letniego nie tylko przez współpracę w układaniu i kontroli wykonania planu produkcyjnego, technicznego i inwestycyjnego i przez mobilizację ogółu inżynierów i techników do stojących przed przemysłem zadań, ale i przez współdziałanie w szkoleniu, wychowaniu i doksztalcaniu nowych kadr fachowych.

Przy rozwiązywaniu zagadnienia kadr fachowych konieczna jest ścisła współpraca kierownictwa przemysłu z radami zakładowymi i podstawowymi organizacjami partyjnymi zakładów dla właściwej rekrutacji kandydatów do szkolenia na szczeblu średnim i wyższym. Właściwa współpraca z tymi czynnikami umożliwi również urealnienie ogólnych założeń planu technicznego przez wypełnienie ich danymi z poszczególnych miejsc pracy i ożywienie myślą twórczą wyznalców i racjonalizatorów spośród klasy robotniczej.

INŻ. T. MOSKALEWSKI

Nowe drogi przemysłu kablowego

Treść. Poza pracami nad ulepszeniem dawnych surowców i wyszukaniem nowych, poza wprowadzaniem nowych konstrukcji kabli różnych kategorii — światowy przemysł kablowy czyni postępy w dziedzinie samych procesów fabrykacyjnych we wszystkich działach produkcji.

Новые пути в кабельной промышленности. Рядом с работами по усовершенствованию прежних видов сырья и изысканию новых, рядом с введением новых конструкций для кабелей различных категорий, мировая кабельная промышленность делает успехи в области самих производственных процессов на всех их ступенях.

New practice in the cable industry. Apart from efforts to improve existing raw materials and to discover new ones and apart from the introduction of new cable constructions of various categories, the world cable industry is making progress in the manufacturing processes themselves, in all branches of manufacture.

Nouvelles voies pour l'industrie des câbles. Indépendamment des travaux sur l'amélioration des anciennes matières premières et la recherche de nouvelles, en plus de l'introduction de nouvelles constructions de câbles de diverses catégories — l'industrie des câbles mondiale fait de grands progrès dans le domaine des processus de fabrication eux-mêmes, dans toutes les sections de la production.

1. Wstęp.

Powstały mniej więcej 70 lat temu przemysł kablowy należy zaliczyć do przemysłów raczej konserwatywnych. W ciągu tego czasu została pogłębiona wiedza teoretyczna, powstało szereg nowych ciekawych konstrukcji tak w dziale kabli energetycznych, jak i kabli telekomunikacyjnych, zrobiono znaczne postępy na polu materiałoznawstwa, nawet udoskonalono kilka typów używanych w przemyśle kablowym maszyn. Na ogół jednak zmiany te były stosunkowo niegłębokie. Dotyczyły one specjalnych typów kabli, kable zaś i przewody produkcji masowej robiono tak samo, jak robiono je w końcu ubiegłego stulecia. Większość maszyn jest również podobna do maszyn używanych w owym czasie, jeżeli nie identyczna z nimi. Okres tego konserwatyzmu kończy się mniej więcej z końcem ostatniego wielkiego kryzysu ekonomicznego. Potem zaczyna się okres renesansu i szukania nowych dróg i sposobów do jak naj-ekonomiczniejszej i jak najlepszej produkcji.

Polski przemysł kablowy stał w ostatnich kilku latach przedwojennych na ogół na przeciętnym europejskim poziomie, utrzymywał ścisłe kontakty z przemysłem wielu krajów europejskich i był na drodze do jak najlepszego rozwoju.

Niestety, wojna zahamowała postęp i w tej dziedzinie. Okupacja przyniosła w bilansie znaczne straty, jakkolwiek są i drobne zyski w formie opanowania kilku procesów fabrykacyjnych. Należą do nich: oswojenie się ze sztucznymi kauczukami, opanowanie produkcji aluminium, rozpoczęcie produkcji izolacji poliwinylchlorydowej i kilka drobniejszych.

Największą stratą, poza zniszczeniem ludzi i fabryk, jest cofnięcie się wstecz w rozwoju technicznym przez zerwanie kontaktu ze światowym postępem na tym polu. Kontakt ten nawiązuje się z powrotem dość ciężko, szczególnie wskutek przeciążenia nielicznego ocalałego z wojny personelu fachowego pracą przy odbudowie zniszczonych kablowni i koniecznością zaspokojenia coraz bardziej wzrastających potrzeb odbudowującego się kraju. Brak literatury fachowej utrudnia sprawę. Na podstawie skromnych danych, którymi rozporządzamy, można wymienić następujące główne kierunki zainteresowań światowego przemysłu kablowego: 1. prace nad surowcami, 2. prace nad nowymi konstrukcjami, 3. nowe ma-

szyny, 4. nowe procesy technologiczne, 5. prace nad ogólnym usprawnieniem ruchu, 6. prace nad zmniejszeniem odpadków.

Dwa pierwsze punkty są tak obszerne, że powinny stanowić tematy oddzielnych artykułów. Nie rozciągając się nad tymi punktami szerzej zanotujemy tylko kilka zasadniczych spraw.

2. Prace nad surowcami.

Prace nad surowcami idą w dwóch kierunkach:
a) poprawienie surowców klasycznych,
b) prace nad zastosowaniem surowców nowych.

W dziedzinie surowców klasycznych obszerne prace prowadzone są nad poprawieniem papieru. Stwierdzono, że najdrobniejsze ilości chemikaliów pozostałych w papierze po procesie fabrykacyjnym, tak małe, że nie da się ich wykryć drogą chemiczną, mają wybitnie ujemny wpływ na jego stratność. Stosowane jest wielokrotne wymywanie bądź materiału w trakcie produkcji, bądź już gotowego papieru. Opracowano elektryczne aparaty pomiarowe do badania drobnych różnic jakościowych.

Prowadzone są badania nad olejami kablowymi, wprowadza się oleje zastępcze — chlorowane węglowodory aromatyczne (piranol, kiofen, sowol i inne). Stosuje się zamiast zwykłej kalafonii hydrolizowaną; zamiast kalafonii stosuje się pochodne winolowe i poliizobutylenowe.

Dla uniknięcia higroskopijności, stanowiącej słabą stronę izolacji bawełnianej, stosuje się niehigroskopijną bawełnę acetylizowaną tzw. cotope.

Prowadzone są obszerne badania nad ołowiem w metalograficznych laboratoriach kablowni, wyposażonych bardzo bogato (do aparatów do analizy spektralnej, aparatów do mierzenia starzenia pod wpływem wibracji itd. włącznie).

Pracuje się nad zastosowaniem aluminium na powłoki kabli i to dwiema drogami: bądź przez prasowanie, podobnie jak prasuje się ołów, bądź przez obciążanie kabla rurą bez szwu, podobnie jak to się robi w przewodach „pyrotanax“^{*}.

Ulepsza się własności mieszanek gumowych, szczególnie jeżeli chodzi o odporność na ozon i wpływy

^{*}) Por. J. Sk. Ogniotrwałe przewody instalacyjne (PE, 1947, z. 11/12, str. 353).

atmosferyczne, specjalnie na bezpośrednie światło słoneczne.

Przy surowcach nowych należy wspomnieć o izolacji szklanej coraz bardziej zastępującej izolację azbestową. Nie ulega wątpliwości, że zamiast zwykłych lakierów stosowanych przy izolowaniu azbestem wzgl. szkłem w przyszłości stosować się będzie lakiery sylikonowe.

Następnie do izolowania kabli i przewodów stosowana jest znaczna ilość najnowszych tworzyw sztucznych, począwszy od najbardziej znanych poliwinylchlorydów (pod szeregiem różnych nazw fabrycznych jak igelit, mipolam, vinol, pevikone, PVC, sztabol, tenaplas, korosil, vipla itd.) poprzez styrol i polistyrol aż do polietylenów i sylikonów. Dalej znajdują zastosowanie do izolowania przewodów polikondensaty liniowe, jak stylon.

Coraz szersze jest zastosowanie różnych lakierów czy to do produkcji drutów emaliowanych, czy też do innych przewodów. Dawniej były one oparte przeważnie na surowcach naturalnych, obecnie coraz częściej, a niekiedy wyłącznie na tworzywach sztucznych, jak aceto-etylo- i benzyloceluloza, żywice formaldehydowe i inne. Wśród żywic tych należy wymienić żywicę poliwinylformalową, stanowiącą podstawę lakieru „formeks“ używanego w Ameryce do produkcji drutów emaliowanych o rewelacyjnych własnościach.

3. Prace nad nowymi konstrukcjami.

Nowe konstrukcje opracowywane są głównie w trzech działach: a) kable najwyższego napięcia, b) wielokanałowe kable telefoniczne, c) kable gumowe oponowe.

W kablach najwyższego napięcia mamy do zanotowania kable prądu stałego do 400 kV, kilkanaście konkurujących między sobą konstrukcji kabli gazowych oraz konstrukcje kabli olejowych ciśnieniowych bez zbiorników wyrównawczych na olej. Przykładem takiego kabla jest konstrukcja opracowana w Danii, w której żyły są ułożone równolegle i płaskie strony płaszcza odpowiednio opancerzonego grają rolę membrany regulującej ciśnienie oleju w kablu w czasie pracy.

W kablach wielokanałowych notujemy różnego rodzaju kable koncentryczne, bądź jako samoistne, bądź w kombinacji z obwodami o innej konstrukcji. Konstrukcje te różnią się głównie rodzajem izolacji o niezmiennej charakterystyce przy najwyższych częstotliwościach.

Wreszcie w kablach oponowych, przeważnie do celów górniczych wzgl. bagrownic, powstają różne konstrukcje mające na celu głównie samoczynne wyłączanie kabla przy uszkodzeniu oraz zabezpieczenie go przed złymi skutkami pracy na otwartym powietrzu.

4. Procesy fabrykacyjne.

U w a g i o g ó l n e. Tendencje za granicą idą w kierunku jak największego zautomatyzowania ruchu, ułatwienia pracy obsłudze, zmniejszenia jej ilości, ułatwienia i ograniczenia transportu. Odpowiednio do zmniejszającej się liczby pracowników fizycznych przy maszynach zwiększa się liczba pracowników umysłowych. Dochodzi to, jak na nasze pojęcia, tak daleko, że są kablownie, gdzie na dwóch pracowników fizycznych przypada jeden pracownik umysłowy, przeważnie techniczny. Ogólna wydajność na pracownika jest co najmniej dwa razy taka jak u nas, w czołowych zaś kablowniach kilkakrotnie większa.

Dla lepszego usystematyzowania materiału rozpatrzmy wymienione na wstępie sprawy maszyn, pro-

cesów technologicznych, usprawnienia ruchu i zmniejszenia odpadków w kablowniach nie według tych tematów, lecz według działów kablowni.

Walcownie. Tendencja idzie w kierunku powiększania urządzeń, co stwarza opłacalność urządzeń automatyzujących pracę. Walcownie o wydajności rzędu 50—100 t na 8 godz. i większej są raczej regułą. Przy przeróbce takich mas istnieje naturalnie tendencja do umieszczania się przy drogach wodnych. Najczęściej nie są to walcownie przyfabryczne, jak u nas, lecz walcownie specjalizujące się w obsłudze szeregu fabryk. W walcowniach takich rola człowieka sprowadza się wyłącznie do nadzoru urządzeń, praca fizyczna zaś jest prawie całkowicie wyeliminowana. Również transport i obsługa składów tak bloków, jak i gotowej walcówki jest zautomatyzowana. Już przed wojną walcownie takie pracowały 5 do 6 razy taniej od walcowni małych; dlatego coraz więcej kablowni zakupuje walcówkę w walcowniach zawodowych.

Ciągarnie drutów. Ciągarek jednokłocowych już się prawie nie spotyka. Są tylko wielociągi na ogół znanych konstrukcji. Nowością jest ciągnięcie na szpule począwszy od najgrubszych drutów. W ten sposób wszystkie druty, idące do skręcania w stanie twardym, unikają niepotrzebnego przespulowywania. Również dalsze przeciąganie na druty cieńsze jest dużo łatwiejsze ze szpul niż ze zwójów.

Powszechnie stosowane jest spawanie walcówki, lecz nieco odmiennie niż u nas. Przy pomocy lekkiego wciągu podnosi się zwój walcówki w górę, spawa krótkie końce i opuszcza zwój na stos walcówki. Ciągnięcie następuje ze stosu o wadze 1—2 t uprzednio przygotowanego. Zwój względnie szpula zdejmowane są z maszyny przy pomocy wciągu. Wciągi te umieszczone są często na szynach podsufitowych i sterowane od maszyny, tak że robotnik nie odchodząc z miejsca odsyła zwój na przeznaczony punkt i tam go składa na platformie. W powszechnym użyciu są akumulatorowe wzgl. benzynowe wózki podnośnikowe, przewożące druty złożone na platformach. Przy takich urządzeniach jeden człowiek spawa sam walcówkę, nadzoruje ciężką ciągarę i zdejmuje szpule (zwoje). Przy średnich ciągarkach, dzięki ciągnięciu ze szpul i usprawnionemu transportowi, jeden robotnik obsługuje 2—3 maszyn, przy cienkich zaś nawet 4—5 maszyn. Warunkiem do tego są, oczywiście, dobre i dobrze szlifowane ciągadła i idealnie szlifowane stożki ciągnące. Poza szpulami z najmniejszych ciągadeł robotnik niczego nie podnosi ani nie przenosi.

Żarzenie odbywa się wyłącznie w piecach łańcuchowych ciągłych, przy czym ogrzewanie węglem wychodzi z użycia, gdyż jest wypierane przeważnie przez gaz, lub też w piecach elektrycznych garnkowych.

Plamy od wody, przez którą drut przechodzi w drodze z pieca ciągłego, uniemożliwiają u nas żarzenie drutów cienkich. Zapobiega im odwirowywanie drutów po wyjściu z pieca.

W trawialniach stosowane jest odzyskiwanie miedzi i kwasu na drodze elektrolitycznej.

W cynowniach stosowane jest cynowanie elektrolityczne, wymagające co prawda dużych i kosztownych urządzeń, dające jednak znaczne oszczędności w zużyciu cyny oraz doskonałą powłokę.

Inną drogą kroczą kablownie przeciągające druty pojedyncze przez kilkometrowe rury żarzeniowe z zamknięciem wodnym. Drut taki jest następnie cynowany w wannie z roztopioną cyną.

Ponieważ drut jest po wyżarzeniu całkowicie czysty, nie ma potrzeby stosowania trawienia i powłoka

wychodzi lepiej. Często operację równoczesnego zarzucia i cynowania łączą jeszcze ze skręcaniem, przez co odpadają wszystkie pośrednie transporty i przewijania. Przez dobór szybkości cynowania, temperatury i urządzeń zbierających nadmiar cyny dąży się do jak najoszczędniejszego zużycia tego drogiego materiału.

Skręcalnie. W maszynach do skręcania linek zasadniczych zmian nie ma poza ogólną tendencją robienia coraz większych szpul na skręcane druty, by doprowadzić do minimum czas postoju na załadowanie maszyny. Znane są maszyny koszowe ze szpulami półmetrowej średnicy. Maszyny szybkobieżne cygarowe dochodzą do metrowej średnicy.

Również i przy skręciarkach dławiących istnieje tendencja ku powiększaniu szpul z drutem przeznaczonym do skręcania oraz ku powiększaniu bębnow odbiorczych. Konieczne jest to ze względu na opisywane niżej szybkobieżne natryskarki z wulkanizacją ciągłą. Przykładem takiej maszyny może być zakupiona przez jedną z naszych kablowni tuż przed wojną skręciarka dławiąca, przy której zamiast pospolitych stojaków na szpule wstępne zastosowany jest kosz z kołyskami na ciężkie szpule.

Gumownie. Powszechnie stosowane są mieszaki zamiast walców. Konkuruje niekiedy z nimi walec, lecz tylko dużych, ciężkich typów. Przy walcach stosowane są urządzenia zapobiegające złamaniu walca lub obudowy, motorowe nastawianie szpary, odwracanie biegu walców przy wypadku.

Kalandry częściej cztero- niż trzywalcowe wyposażone są w przenośniki transportujące gumę od podgrzewacza do kalandra i automatycznie rozprowadzające ją wzdłuż walców. Kalandry połączone są często z nożycami do cięcia gumy, tak że znowu odpada jedna operacja. Przy urządzeniach takich pracę 4—5 ludzi wykonuje jeden człowiek lub dwoje.

Natryskarki z reguły wyposażone są w urządzenia do samoczynnego podawania gumy, tak że odpada mozolne ręczne ładowanie maszyny. Natryskiwanie prowadzone jest przy bardzo wielkich szybkościach 100—200 m/min. Naturalnie, muszą być odpowiednio duże bębny na drut wzgl. linkę gołą i izolowaną, żeby nie tracić czasu na ustawianie maszyny. Ślimaki dochodzą do 300 mm średnicy, co umożliwia produkcję kabli oponowych nawet do 100 mm średnicy. Spotyka się szereg konstrukcji ułatwiających płynięcie gumy i usuwających normalne przy natryskarkach kablowych szkodliwe załamanie drogi gumy o 90°. Spotyka się natryskarki ze ślimakiem pionowym ciskającym gumę w górę, co ułatwia obsługę. Natryskarki wielokrotne raczej wychodzą z użycia.

W nakładarkach zmian nie ma, z wyjątkiem tego, że stosowane są nawet 48-krotne maszyny. Wydaje się, że w wieloletniej walce pomiędzy nakładaniem i natryskiowaniem gumy obecnie przewaga jest po stronie natryskarek.

Rozpoczęte tuż przed wojną wulkanizowanie ciągle przeszło okres ząbkowania i zaczyna się rozpowszechniać. Szybkobieżne natryskarki dopiero przy wulkanizowaniu ciągłym mogą wyzyskać swoją pełną zdolność produkcyjną.

Urządzenia do elektrycznego badania izolacji gumowej na sucho pracują również przy szybkościach ponad 100 m/min. i są całkowicie zautomatyzowane, zatrzymując się przy przebiegu, oznaczając miejsce przebite oraz licząc liczbę przebiegów. Przy dobrej jakości gumy jeden człowiek obsługuje dwie maszyny, badając na minutę ponad 200 m (bez ewentualnej naprawy).

Bardzo dużą uwagę zwraca się na wzajemne dostosowanie wydajności różnych maszyn. Wtedy praca odbywa się w sposób po prostu ciągły bez zalegających wszystkie przejścia zwałów półfabrykatów przy maszynach. Możliwe to jest naturalnie tylko przy idealnym stanie maszyn i ścisłej kontroli surowców, zapobiegającej wszelkim niespodziankom w ruchu.

Oprzędzarnie i oplatarnie. Napęd sztywny oprzędzarek wyrugował całkowicie przestarzałe, choć jeszcze często spotykane oprzędzarki z napędem elastycznym, dającym niejednostajny oprzęd. Dzięki wyważeniu dynamicznemu prędkość obrotowa głowicy oprzędzarki dochodzi do 5 tys. obr./min. przy typach cięższych, a nawet do 10 tys. obr./min. przy oprzędzaniu drutów do 0,15 mm średnicy. Przy starszych oprzędzarkach z napędem elastycznym prędkości te z reguły nie przekraczały 1000 obr./min.

Istnieje tendencja do wyposażenia maszyn w oddzielne silniki dla poszczególnych głowic. Ta sporna zresztą jeszcze tendencja ma tę zaletę, że umożliwia w razie zerwania nitki zatrzymanie poszczególnej głowicy na drodze elektrycznej. Przy tak wielkich prędkościach zatrzymywanie i hamowanie samoczynne jest koniecznością, gdyż interwencja obsługi z reguły jest spóźniona. Różne konstrukcje samoczynnego zatrzymywania na drodze mechanicznej z reguły zawiodą.

Oplatarki lalkowe wolnobieżne są w całkowitym zaniku. Utrzymywały się one póty, póki oplatarki szybkobieżne nie były w stanie ze względów konstrukcyjnych wykonywać oplotu 2 na 2 nitki, a wykonywały go 2 na 1 lub nawet 3 na 1 nitkę. Oplot 2 na 2 nitki jest najestetyczniejszy, jest więc z reguły stosowany do sznurów i innych przewodów, w których oplot nie jest pokryty syciwem. Sznurowy takie stanowiły więc domenę wolnobieżnych oplaterek lalkowych. Z chwilą, gdy nowoskonstruowane tuż przed wojną oplatarki szybkobieżne umożliwiły wykonywanie oplotu 2 na 2 nitki, wolnobieżne straciły rację bytu. Jedyną wadą szybkobieżnych jest to, że wymagają one wysoko kwalifikowanej opieki ślusarskiej i stosunkowo znacznych ilości części zamiennych, produkują jednak 4—6 razy szybciej od wolnobieżnych.

Kable telefoniczne. Istnieją maszyny do produkcji żył ze sznurkiem i taśmą styrorefleksową. Przy styrorefleksie konieczne jest podgrzewanie tego materiału podczas izolowania nim do 60—80° C, maszyny muszą więc być wyposażone w odpowiednie urządzenia.

Dalej istnieją maszyny do nawlekania dzwonów, czy też zakładania tarczek przy kablach koncentrycznych, na ogół jednak wzmianki na ten temat w literaturze są nader skąpe, niewiele więc da się o tym powiedzieć.

Kable silnoprowadowe. Skręciarki żył są wyposażone często w urządzenia do tzw. „przedskrętu sektorów”. Izolacja sektorów z przedskrętem jest mniej narażona na naprężenia mechaniczne podczas skręcania żył w kable i dlatego może być cieńsza.

Przy owijkach coraz częściej stosowane są dla cieńszych żył owijkarki pionowe. Przy owijkach leżących do kabli na najwyższe napięcia stosowane są duże maszyny, umożliwiające owijanie na raz 200 i więcej papierami. Stosowane są, obok samoczynnego zatrzymywania maszyny przy zerwaniu, dynamometry regulujące naciąg każdego papieru w stosunku do innych, jak również różnicę naciągu powstającą przez zmniejszanie się krążka.

Są również maszyny regulujące wzajemne przesunięcia poszczególnych papierów tak, by miejsca

styków między dwoma zwojami jednej taśmy papierowej były odpowiednio rozłożone w grubości izolacji.

Urządzenia gaśnicowe do odciągania żyły wysokiego napięcia bez zginania na kole odciągowym są znane. Maszyny do skręcania izolowanych żył w kabel na ogół nie uległy zmianie z wyjątkiem urządzeń do skręcania żył z przedskretem.

Suszenie i nasycanie kabli w zasadzie również nie uległy zmianom, choć stosowana jest obecnie dużo większa precyzja pracy. Olej syciwny jest filtrowany, odgazowywany i możliwie chroniony przed długotrwałym wpływem wysokiej temperatury podczas nasycania.

Bardzo wysoka próżnia dochodząca do dziesiątych części milimetra słupa rtęci, precyzyjna aparatura pomiaru temperatury, jak również aparatura do mierzenia stopnia wysuszenia oraz nasycenia kabla podczas samego procesu nasycania uzupełniają obraz nowoczesnego urządzenia syciwnego.

Co do stosowania elektrycznego suszenia kabli po gładzi nie są jeszcze skryształizowane. Chcąc ochronić olej przed długotrwałym działaniem wysokiej temperatury, niektóre kablownie zagraniczne oprasowują wysuszony kabel płaszczem ołowianym i dopiero potem nasycają go, przepompowując olej przez kable.

Największym stosunkowo zmianom uległy prasy do ołowiu. Prasy tłokowe odbyły ewolucję od dwutłokowej, obecnie już rzadko spotykanej, prasy Hubera, poprzez jednotłokowe prasy z ruchomym zbiornikiem ołowiu do pras z nieruchomym zbiornikiem ołowiu.

W ostatnich latach przedwojennych wystąpiły na widownię prasy do ołowiu beztłokowe do ruchu ciągłego typu Henleya i Pirellego. Ówczesne prasy psuły się dość często, poza tym sporo trudności sprawiała przy nich zmiana narzędzi regulujących średnicę rurki. Nadawały się więc one przede wszystkim do dużych fabryk, prasujących bardzo duże ilości kabli o tej samej średnicy. Prasy te miały poziomy ślimak tłoczący ołów. Ostatnio pojawiły się prasy pochodzenia amerykańskiego z pionowym ślimakiem. Prasy te pracują podobno bez nadmiernego zużycia części podających płynny ołów, a najważniejsze jest, że zmiana narzędzi przy nich nie sprawia najmniejszych trudności. Prasę taką, wyposażoną w odpowiednie urządzenia pomocnicze, obsługuje jeden człowiek zamiast czterech — pięciu przy prasie tłokowej o tej samej wydajności. Prasy wyposażone są w zwijarki gotowego kabla całkowicie samoczynne.

Przy pancerkach stosowane są głowice z koncentrycznie umieszczoną taśmą stalową. Kabel przechodzi przez środek taśmy stalowej, dzięki czemu może ona wykonywać około 300 obr./min. zamiast około 120 obr./min. przy pancerkach zwykłych z ekscentrycznie umieszczoną taśmą. Warstwa juty pod barką jest przeważnie wszędzie zastępowana przez warstwę krepowanego papieru, co dalej zwiększa wydajność pancerek, dając zresztą lepszy kabel, gdyż w papier krepowany wsiąka więcej bituminów, chroniąc lepiej ołów przed korozją.

Wszystkie maszyny, nawet pancerki, wyposażone są w samoczynne układacze kabla na bębnie, co znowu oszczędza jednego pracownika na maszynę przy ciężkiej i nieproduktywnej pracy.

Dużą uwagę zwrócono na transport wewnętrzny, jak również na odpowiednie ustawienie maszyn, by transport ten zmniejszyć do minimum. Jak wiadomo, maszyny kablone należą do maszyn bardzo długich, dla których stosunek szerokości do długości jak 1 do 15, a nawet do 20 jest normalny. Maszyny ta-

kie trudno jest rozstawić zgodnie z przebiegiem produkcji bez przecinania się dróg przebiegu materiałów, wzgl. bez cofania go w tył. Założeniem dotychczasowym było przeważnie ustawienie maszyn z osiami równoległymi, co dawało pozorny obraz posuwania się ciągłego produktu.

Dalszą trudność sprawia fakt, że niektóre maszyny, jak skręcarka fazowa lub prasa do ołowiu, mają wielokrotnie wyższą wydajność od innych maszyn, tak że tworzyły się punkty węzłowe, gdzie przez jedną maszynę przechodziła produkcja kilku maszyn, wzgl. gdzie jedna maszyna obsługuje kilka maszyn. Przez konsekwentne ustawianie maszyn z osiami skręconymi o kąt 90° nie tylko skrócono przebieg transportu, ale i lepiej wykorzystano miejsce.

Wyjaśnimy to lepiej na przykładzie. Osie prasy i pancerek do ołowiu były prawie zawsze równoległe. Obecnie ustawiają pancerki z osiami skręconymi o 90°. Prasa znajduje się naprzeciwko korytarza po stronie wyjściowej pancerek, gotowe zaś bębny zdejmują się na korytarzu z drugiej strony.

Na drogach transportowych wszędzie są umieszczone tarcze obrotowe, by uniknąć mozolnego skręcania bębna o 90°. Podnoszenie bębnow suwnicami odbywa się przy pomocy odpowiednich haków, wchodzących w otwory bębna, a nie przy pomocy osi wkładanej do środka bębna i zwykłych haków.

Bardzo popularne są wózki akumulatorowe z ruchomą platformą wzgl. szynami na przodzie wózka. Wózek podjeżdża do bębna, opuszcza platformę, bęben zostaje na nią wtoczony, lekko podniesiony i wózek jest gotów do przewozu.

Oddziały izolacji przy pomocy tworzyw sztucznych. Izolowanie tworzywami sztucznymi odbywa się przeważnie przy pomocy prawie normalnych maszyn kablowych. Krystalizują się trzy główne drogi: a) natryskiwanie, b) lakierowanie, c) owijanie równoległe.

Na natryskarkach izoluje się poliwinylchlorydami, etylo- i benzylocelulozą oraz innymi tworzywami. W zasadzie natryskarki są podobne, lecz często mają ogrzewany ślimak, z reguły precyzyjniejszą regulację temperatury oraz pracują przy temperaturach na ogół wyższych i do tego niejednakowych w różnych miejscach maszyny. Np. izolowanie przy pomocy poliwinylchlorydów wymaga najwyższej temperatury w okolicach dyszy, przez którą izolowany przewód opuszcza maszynę. Zmusza to niejednokrotnie do stosowania chłodzonych łożysk. W łożyska takie powinny być np. wyposażone kalandry do mieszania czystego poliwinylchlorydów ze zmiekczacami.

Przykładem maszyn do lakierowania mogą być maszyny do emaliowania drutów lub maszyny do lakierowania kabli samochodowych, podobne do emalierskich w zasadzie działania, lecz całkowicie odmienne w konstrukcji.

W maszynach emalierskich ogrzewanie gazem zostało już prawie całkowicie wyparte przez ogrzewanie elektryczne. Dąży się do jak najbardziej niezmiennych warunków ruchu, w szczególności pod względem regulacji temperatury, utrzymywania stałego poziomu, a więc i ciśnienia lakieru w wanienkach, zapobiegania wahanom lepkości lakieru, jednostajnego hamowania drutów przechodzących przez piec, zapobiegania drganiu drutów przez precyzyjny i równomierny bieg maszyny, przez zapobieganie ruchowi powietrza w pomieszczeniu emalierni itd.

Przy izolowaniu szkłem względnie azbestem łączy się oprzędzarkę z piecem, w którym lakier wiążący szkło z miedzią zostaje wysuszony.

Przy izolowaniu foliami stosowane jest owijanie drutów cienką taśmą np. triacetatową, ułożoną równolegle do osi przewodnika i owiniętą kilkakrotnie dookoła niego. Owinięta dookoła przewodnika taśma pokryta jest cienką warstwą kleju. Tak izolowane druty nie ustępują jakością drutom emaliovanym, mają jednak większą wytrzymałość na przecięcie.

Laboratoria. Ogólnie można powiedzieć, że są one coraz bogaciej wyposażone. Regułą jest posiadanie przy fabryce, poza normalnym laboratorium elektrycznym, bogato wyposażonego laboratorium chemicznego i metalograficznego. Laboratoria elektryczne kablowe pracują z coraz wyższymi napięciami. Instalowane są urządzenia udarowe na najwyższe napięcia. Usiłuje się upodobnić urządzenia laboratoryjne do warunków pracy kabla, np. przez stosowanie napięcia próbnego przy równoczesnym obciążaniu kabla prądem o natężeniu, równym natężeniu podczas pracy kabla w ruchu.

Laboratoria słaboprądowe wyposażone są w aparaty pomiarowe dla najwyższych częstotliwości.

Laboratoria są często wyposażone we własne ścisłe warsztaty mechaniczne do napraw i budowy nowych przyrządów pomiarowych.

5. Zakończenie.

Kablownictwo polskie nie może nie zająć się bliżej poruszonymi wyżej zagadnieniami pomimo wielu trudności, wśród których na pierwszym miejscu należy wymienić brak liczniejszego personelu technicznego i przeciążenie posiadanego. Musimy dopęścić postęp techniczny innych krajów i to szybko, w przeciwnym bowiem razie grozić nam będzie zacofanie.

Kablownictwo tym się wyróżnia spośród innych działów techniki, że mało publikuje czy to w prasie fachowej, czy w formie książek. Ma z tego powodu niezaskuszoną opinię przemysłu mało ciekawego i bez możliwości dalszego rozwoju technicznego. Tym się, być może, tłumaczy stosunkowo mały dopływ młodych sił technicznych do kablownictwa. W rzeczywistości jest całkiem inaczej. Liczba zagadnień do rozwiązania jest bardzo duża od czysto teoretycznych do całkowicie praktycznych. Dodatkową trudność stanowi, a powinien zarazem stanowić zachętę do pracy fakt, że problemy kablowe, jak może w żadnym innym dziale elektrotechniki, zahaczają o inne dziedziny wiedzy inżynierskiej, w szczególności — mechanikę, metalografię i chemię. Powinniśmy rozumieć wagę przemysłu kablowego i dążyć do tego, aby ta gałąź przemysłu rozwijała się w harmonii z ogólnym szybkim rozwojem przemysłowym naszego kraju.

INŻ. K. KOLBIŃSKI

Kable najwyższych napięć

Treść. Jonizacja wtrącin gazowych w izolacji kabli masowych przy wyższych naprężeniach dielektrycznych powoduje, że kable te nie są pewne w pracy przy napięciach powyżej 60 kV. Jonizacji można zapobiec bądź przez usunięcie wtrącin, bądź też przez poddanie gazu takiemu ciśnieniu, że naprężenie jonizujące będzie wyższe od największego naprężenia dielektrycznego występującego w kablu przy napięciu roboczym. Pierwszym rozwiązaniem są kable olejowe, które dzięki podwyższeniu ciśnienia oleju można stosować do bardzo wysokich napięć przy cieńszej izolacji. Drugim rozwiązaniem są kable gazowe wysokiego ciśnienia. Dotychczasowe doświadczenie pozwala przypuszczać, że kable olejowe prawdopodobnie będą mogły pracować przy wyższych napięciach niż gazowe. Kable na prąd stały o konstrukcji zbliżonej do konstrukcji kabli na prąd zmienny buduje się jako olejowe i masowe na napięcia dochodzące do 1000 kV.

Кабели очень высоких напряжений. Ионизация газовых включений в бумажной изоляции кабеля с вязкой пропиткой при достаточно высокой напряженности поля делает этот тип кабелей недостаточно надежным при напряжениях свыше 60 кВ. Ионизацию можно предотвратить путем удаления включений, либо путем подержания газа такому давлению, при котором ионизирующая напряженность будет выше напряженности, возникающей в кабеле при рабочем напряжении. Первый способ осуществлен в масляных кабелях, которые годятся для очень высоких напряжений при меньшей толщине изоляции, второй способ осуществлен в газовых кабелях высокого давления. На основании собранного до сего времени опыта можно ожидать, что масляные кабели будут в состоянии работать при более высоких напряжениях, чем газовые. Кабели для постоянного тока, сходные по конструкции своей с кабелями переменного тока, строятся для напряжения до 1000 кВ по типу масляных кабелей или кабелей с вязкой пропиткой.

Super tension cables. The ionisation of gaseous inclusions in the insulation of mass type impregnated cables at higher dielectric stresses causes the cables to become less reliable under working conditions at voltages in excess of 60 kV. Ionisation may be prevented either by eliminating the inclusions or by subjecting the gases to a pressure at which the ionising stress would be higher than the highest dielectric stress developing in cables at working voltage. The former solution of this problem are oil-filled cables which, as a result of increased oil pressure, may be used, with a thinner insulation, for very high voltages. The latter solution are high-pressure gas cables. Experience so far gained leads to the assumption that oil cables would probably operate at higher voltages than gas cables. Cables for direct current, of a construction similar to that of alternating current cables, are being manufactured both as oil and ordinary solid types of impregnated paper cables for voltages up to 1000 kV.

Câbles à très hautes tensions. L'ionisation des inclusions gazeuses dans l'isolement des câbles de masse lors de l'application de contraintes diélectriques importantes est la cause du manque de sûreté de fonctionnement de ces câbles aux tensions supérieures à 60 kV. Cette ionisation peut être supprimée par l'élimination des inclusions, ou bien en soumettant le gaz à une pression telle que la tension d'ionisation soit supérieure à la plus grande contrainte qui apparaisse dans le câble à la tension de travail. Les câbles à huile constituent la première solution; grâce à l'élévation de la pression de l'huile ils peuvent être employés à des tensions très hautes avec un isolement mince. Les câbles à gaz à haute pression constituent la deuxième solution. L'expérience acquise jusqu'à présent permet de supposer que les câbles à huile pourront vraisemblablement fonctionner à des tensions supérieures que les câbles à gaz. Les câbles pour courant continu de constructions analogues à celles des câbles pour courant alternatif sont construits comme câbles à huile et de masse pour des tensions atteignant 1000 kV.

I. PODSTAWY TEORETYCZNE I DROGI ROZWOJU KABLI WYSOKONAPIĘCIOWYCH

1. Wstęp.

Od czasu, kiedy kabel elektroenergetyczny z izolacją papierową nasyconą ustalili się jako typ powszechnie stosowany, dalsze prace w dziedzinie kablownictwa postępowały w kierunku stworzenia takich konstrukcji, które mogłyby pracować przy coraz wyższych napięciach.

Założeniami były jednocześnie możliwie oszczędne stosowanie izolacji i dostateczny stopień bezpieczeństwa pracy. Próby z konstrukcjami kabli, mającymi na widoku poprawę rozkładu pola elektrycznego i naprężeń dielektrycznych (uwarstwione dielektryki o różnych stałych dielektrycznych, układy kondensatorowe itp.) dały w rezultacie po szeregu lat konstrukcję Hochstädtera, która przetrwała do dziś pracując z dobrymi wynikami. Wprowadzenie przez Hochstädtera kabla ekranowanego o polu promieniowym (kabel H) było wielkim krokiem naprzód

w technice kabli wysokonapięciowych, nie usunęło jednak zasadniczego powodu powstawania jonizacji w kablach wysokiego napięcia mimo stosowania nawet najwyższych jakości materiałów izolacyjnych — papierów i olejów — oraz bardzo starannego wykonania.

Dopiero po roku 1920, kiedy zaczęto sobie zdawać sprawę ze zjawisk występujących w izolacji kabla wysokonapięciowego i rozpoczęto pomiary kąta stratności, w dużym stopniu charakteryzującego te zjawiska, otworzyły się dla kabli wysokonapięciowych nowe drogi rozwoju.

Stwierdzono wówczas, że kable masowe dają dostateczny stopień bezpieczeństwa, jeżeli natężenie pola elektrycznego nie przekroczy 4 kV/mm. Powyżej tej wartości następują zjawiska jonizacji doprowadzające do uszkodzenia kabla. Stosowanie tych kabli dla napięć powyżej 60 kV jest ze względu na zbyt wysokie naprężenia dielektryczne niewłaściwe.

Wynikiem dalszych badań opartych na nowych podstawach były kable olejowe i gazowe pracujące przy na-

pięciach, o jakich w pierwszych latach XX stulecia nawet nie myślano.

2. Podstawy teoretyczne kabli najwyższych napięć.

Jest rzeczą wiadomą, że w uwarstwionej izolacji papiero-olejowej względnie tzw. masowej, gdy olej posiada domieszki, współczynnik rozszerzalności cieplnej oleju lub syciwa jest przeciętnie kilkakrotnie większy od współczynnika rozszerzalności cieplnej nasyconego papieru. Skutkiem tego przy wahaniami temperatury w czasie wykonywania kabla, a następnie w czasie jego pracy powstają w izolacji miejsca puste, często nawet mikroskopijnej wielkości, w których gromadzą się gazy. Te wtrąciny gazowe jonizują się, gdy pole elektryczne w ich obszarze osiągnie pewną krytyczną wartość. Następstwem zjonizowania gazu są wyładowania elektryczne w tych miejscach, niszczące zarówno papier, jak i syciwo, i doprowadzające wreszcie do elektrycznego przebicia izolacji, a więc do uszkodzenia kabla.

Jeżeli rozpatrywać całość instalacji kablowej podczas pracy kabla, to, oczywiście, rozszerzanie się jej pod wpływem ciepła nieściśliwego oleju lub syciwa może nastąpić przede wszystkim kosztem zawartych w syciwie drobnych ilości gazu, który tym samym będzie odgrywał bardzo dużą rolę w kablu.

Biorąc za podstawę gaz jako czynnik do pewnego stopnia wyrównawczy podczas pracy kabla, można podzielić kable energetyczne w ogóle na dwie zasadnicze grupy:

1. kable, w których gaz znajduje się wewnątrz izolacji, a tym samym w obrębie bezpośredniego oddziaływania pola elektrycznego, i

2. kable, w których gaz znajduje się poza izolacją i poza obrębem działania pola elektrycznego.

Do pierwszej grupy możemy zaliczyć wszystkie kable tzw. „masowe“ dawnego typu oraz kable „gazowe“ nowego typu, w których gaz znajduje się pod wysokim ciśnieniem, ale wewnątrz izolacji. Do drugiej grupy zaliczymy przede wszystkim kable olejowe, gdzie gaz znajduje się w zbiornikach, jest całkowicie oddzielony od izolacji nasyconej olejem starannie odgazowanym i tylko pośrednio wywiera nacisk na olej. Do tejże grupy należą kable tzw. „ciśnieniowe“, w których gaz oddziałuje na izolację kabla na całej jego długości poprzez płaszcz ołowiany, naciskając nań i nie stykając się bezpośrednio z izolacją kabla.

3. Operowanie gazem w izolacji kabla wysokonapięciowego przy ciśnieniu atmosferycznym.

Przechodząc do dalszego rozważania możliwości poprawienia kabli wysokonapięciowych wobec istnienia w ich izolacji gazu, który, jak widzieliśmy, jest bardzo ważnym czynnikiem, rozpatrzmy wpływ ogólnej ilości gazu w izolacji kabla i wielkości poszczególnych wtrącin gazowych na pewność pracy kabla.

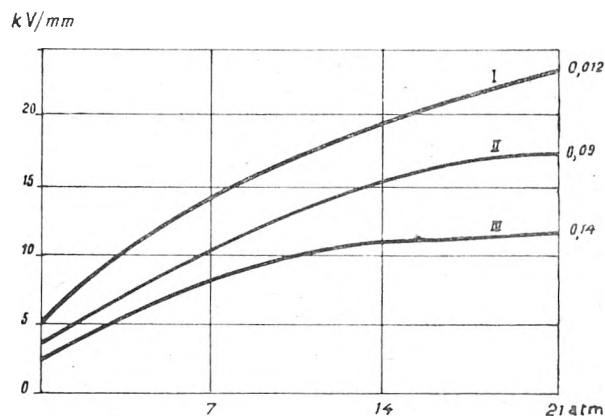
Już w przypadku kabli masowych można osiągnąć zwiększenie wytrzymałości elektrycznej izolacji, nawet przy ogólnie mniejszej jej grubości, przez stosowanie cienkich papierów. Jeżeli przyjmujemy, że w najlepiej wykonanym kablu ilość gazu powstająca wewnątrz izolacji może wynosić 0,1–0,2% jej objętości, w czasie zaś pracy ilość ta może powiększyć się wskutek rozszerzenia i kurczenia się oraz rozkładu surowców do 3%, to zastosowanie bardzo cienkich papierów może zmniejszyć ogólną ilość gazu oraz grubość jego wtrącin między warstwami papieru. Naprężenie dielektryczne dla tych cienkich warstwek gazu wzrośnie. Zwiększy się, oczywiście, również wytrzymałość samej izolacji papieru ze względu na to, że wytrzymałość dielektryczna papieru wzrasta ze zmniejszeniem jego grubości (rys. 1).

Badania na kablu przeznaczonym na napięcie 60 kV [1], o przekroju żyły 150 mm² i grubości izolacji 9 mm, wykonanej z bardzo cienkich papierów, wykazały, że kabel ten daje tę samą gwarancję bezpieczeństwa przy próbach napięciowych na 50 Hz i falach udarowych, co kabel zwykły z grubością izolacji 14 mm.

Kable z izolacją z cienkich papierów wytrzymały próbę napięciową 140 kV w ciągu 10 godzin; przebijające naprężenie dielektryczne wynosiło dla nich 3,8 kV/mm wobec 2,5 kV/mm dla kabli zwykłych. Wyniki tego rodzaju dowodziłyby, że można zezwolić na podwyższenie zakresu pracy kabla masowego w izolacji z cienkich papierów do

70 kV, przy czym stopień bezpieczeństwa byłby ten sam, co przy pracy w sieci 60-kilowoltowej.

W konsekwencji zwiększania się w kablu masowym, podczas jego pracy, objętości gazu zawartego w izolacji powstała również myśl powiększenia objętości gazu pozostającego z produkcji, lecz dobrane właściwie pod

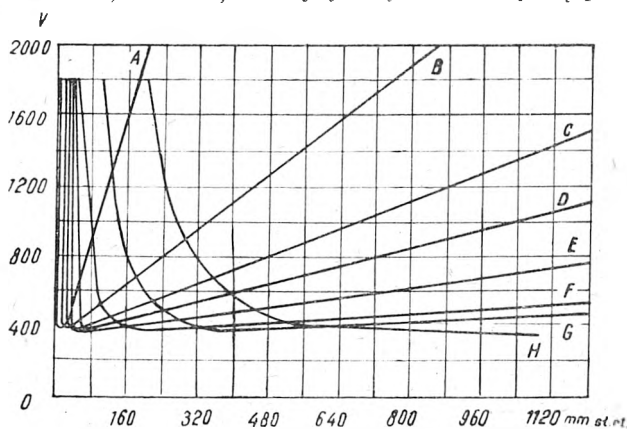


Rys. 1. Zależność wytrzymałości dielektrycznej papieru różnych grubości od ciśnienia

Grubość papieru I 0,012 mm
" " II 0,090 "
" " III 0,140 "

względem rodzaju i ilości, aby w ten sposób zmienić zwykle normalne dla kabli masowych warunki starzenia i jonizacji.

Poszukiwano materiału zawierającego taki gaz rozpuszczony, że przy użyciu tegoż kabel miałby wytrzymałość wyższą od naprężenia roboczego. Badania z syciwem zawierającym 12% butanu lub 6% chlorku metylu pozwoliły na otrzymanie wytrzymałości dielektrycznej rzędu 8 kV/mm. Powyżej takiego naprężenia dielektrycznego gaz był w nierównowadze i w dalszym ciągu rozpadał się. Przy badaniach tych kabel z żyłą roboczą o przekroju 150 mm² i izolacją grubości 14 mm zawierającą 12% butanu wykazał starzenie takie samo, jak zwykły kabel z izolacją masową i większą grubością izolacji po próbie 6 000 godzin przy 70 kV, naprężeniu 8,7 kV/mm i 200 okresach grzania. Wynikałoby stąd, że kable z gazem rozpuszczonym mogłyby pracować bez starzenia przy naprężeniach do 7,5 kV/mm, dawałyby więc nieco większą pew-



Rys. 2. Zależność napięcia przebijającego od ciśnienia dla warstwek powietrza różnych grubości

A — 1,0 mm E — 0,05 mm
B — 0,25 " F — 0,025 "
C — 0,0125 " G — 0,01 "
D — 0,08 " H — 0,005 "

ność niż kable izolowane cienkim papierem, o których była mowa wyżej.

4. Gaz w izolacji kabla wysokonapięciowego pod ciśnieniem.

Z kolei przejdziemy do bardzo ważnej dla nas właściwości gazu, polegającej na tym, że zależność wytrzymałości dielektrycznej gazu od ciśnienia, pod którym gaz się

znajduje, jest tego rodzaju, że otrzymuje się minimum wytrzymałości przy pewnym dość niskim ciśnieniu.

Jeżeli ciśnienie, pod którym gaz się znajduje, obniżyć lub podwyższyć w stosunku do tego, przy którym gaz ma najmniejszą wartość wytrzymałości dielektrycznej, to wytrzymałość ta będzie wzrastać.

Obniżanie ciśnienia w stosunku do wartości dla minimum jest praktycznie bardzo trudne choćby z tego względu, że dużo gazu jest zawartego w samym papierze izolacji, skąd stale będzie się on wydzielał psując rozrzedzenie. Pozostaje więc dużo łatwiejszy sposób osiągnięcia wyższych wartości wytrzymałości dielektrycznej gazu przez podwyższenie ciśnienia w izolacji kabla. Należy tu brać pod uwagę również to, że równocześnie występuje w gazie zależność początkowego naprężenia przebijającego od wymiarów przestrzeni gazowej w kierunku pola elektrycznego.

Na rys. 2 widzimy zależność między wielkością napięcia elektrycznego, przebijającego warstwki powietrza różnej grubości, a ciśnieniem; zależności te występują bardzo wyraźnie.

Porównajmy parę wartości napięcia przebijającego, otrzymywanych dla gazów rozrzedzonych, z wartościami z wykresu.

Dla grubości warstwy powietrza równej 0,01 mm ciśnienie krytyczne równe jest około 400 mm słupa rtęci, a dla grubości 0,025 mm — 160 mm słupa rtęci. Dla azotu przy grubości warstwy 0,05 mm ciśnienie krytyczne wynosi około 150 mm słupa rtęci; przy ciśnieniu 20 mm słupa rtęci napięcie przebicia dla warstwy tej grubości będzie takie samo, jak przy ciśnieniu wynoszącym 14 atm.

Dla dobrej pracy kabla rozrzedzenie gazu musiałoby być jeszcze większe ze względu na to, że warstwy gazu w izolacji kabla są zawarte między warstwami papieru, które nie dają idealnie jednakowej grubości tych warstwek wskutek nierówności papieru, jego włoskowatości itp.

Należy pamiętać także przy budowie kabli gazowych, że ze względu na małą w stosunku do papieru nasyczonego stałą dielektryczną gazów będą one zawsze bardziej naprężane elektrycznie niż papier, z którym przestrzenie gazowe będą szeregowo łączone. Dlatego w izolacji kabla zawierającego gaz powstają nierównomiernie rozłożone naprężenia, co jest zawsze do pewnego stopnia słabym punktem kabli gazowych.

Z tego względu dotychczas jeszcze, jeżeli chodzi o stopień pewności i wysokość napięć roboczych, kable olejowe mają pierwszeństwo, aczkolwiek, jak zobaczymy później, rywalizacja między kablem olejowym i gazowym istnieje ze względu przede wszystkim na zalety ekonomiczne tego drugiego. Oczywiście, poprawę warunków pracy kabla gazowego można osiągnąć przez dobieranie papieru leżącego na żyłę i w jej pobliżu o możliwie małej stałej dielektrycznej, skutkiem czego naprężenie w gazie będzie mniejsze, a dalej stosując papiery cienkie, przez co warstewki gazu będą również cieńsze, co jest korzystniejsze ze względu na ich większą wytrzymałość dielektryczną.

5. Dobór gazu w kablach gazowych z gazem pod ciśnieniem.

Gaz użyty do napełnienia kabli gazowych musi odpowiadać kilku zasadniczym warunkom. Przede wszystkim musi być chemicznie obojętny i w żadnym wypadku nie powinien oddziaływać szkodliwie na izolację kabla. Temperatura skraplania gazu musi być niska i przy dość dużym ciśnieniu, przewyższającym w każdym razie ciśnienia stosowane w kablach gazowych. Dalej gaz musi mieć dużą przewodność cieplną, nie może się łatwo rozpuszczać w olejach, nie powinien również ulegać zmianom chemicznym pod działaniem jonizacji i wyładowań iskrowych i dawać produktów rozkładu, które mogłyby pogarszać izolację. Wreszcie gaz stosowany w kablach gazowych musi mieć dużą wartość wytrzymałości elektrycznej na przebicie. Oczywiście, brak własności trujących gazu jest również jednym z warunków jego stosowania.

W ciągu szeregu lat prowadzono badania nad oznaczeniem jonizujących naprężeń dielektrycznych dla kabli, których izolacja wykonana z papierów różnej grubości zawierała różne gazy lub pary: wodór, argon, azot, acetylen, butan, eter, tetrachlor węgla, tetrafluorek krzemu, freon (CCl_2F_2), elegaz (SF_6) itd. [2].

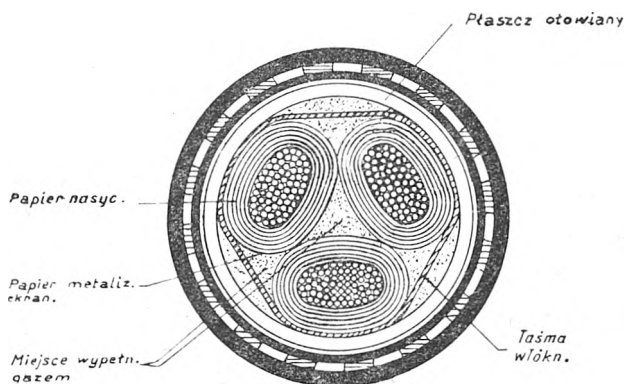
Gazy złożone mają wyższe naprężenie jonizujące niż gazy proste, tym wyższe, im większa jest ich masa molekularna, ale użycie ich natrafia na duże trudności ze względu na to, że ciśnienie, przy którym gaz albo para przechodzą w stan ciekły, jest ogólnie tym mniejsze, im większa jest masa molekularna gazu.

Naprężenie jonizujące w kablach napełnionych gazem prostym układa się w sposób prawie doskonały na krzywej wyrażonej przez równanie:

$$E \cdot e \cdot \varepsilon = f \left(\frac{M}{a} \cdot \frac{p}{T} \cdot e \right),$$

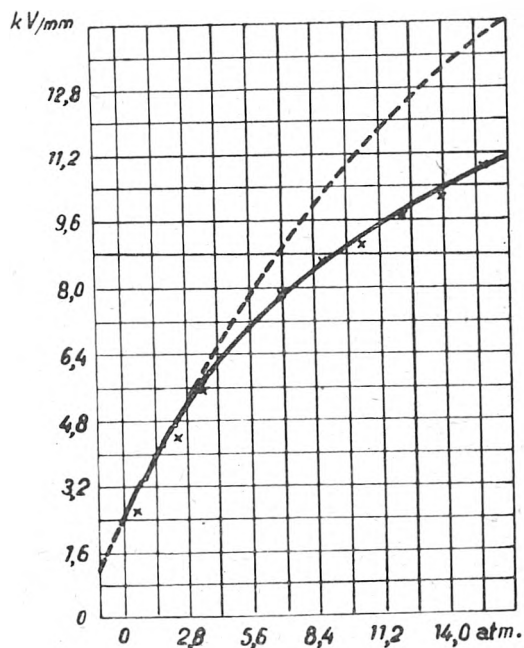
gdzie E = naprężenie jonizujące,
 M = masa molekularna gazu,
 a = ciężar atomowy w układzie Mendelejewa,
 p = ciśnienie bezwzględne,
 T = temperatura,
 e = średnia grubość warstewki wolnego gazu,
 ε = stała dielektryczna średnia dla dielektryku.

Charakter gazu wyraża się przez stosunek M/a równy dla azotu 4; dla żadnego z gazów prostych wartość M/a



Rys. 3. Przekrój kabla trójfazowego wypełnionego gazem na 33 kV, 3x95 mm²

nie jest większa i jest rzeczą prawie pewną, że wyniki dla azotu nie mogą być przekroczone przez żaden gaz prosty. Dla gazów złożonych a nie ma znanej wartości fizycznej i przyjęto wartość tę oznaczać w granicach od 5 do 8. Wobec trudności, jakie ze względu na skraplanie



Rys. 4. Zależność średniego naprężenia jonizującego od ciśnienia dla kabla gazowego trójfazowego i jednofazowego

następcza użycie pod wysokim ciśnieniem gazu złożonego, najczęściej dotychczas używanym gazem jest azot. (Freon

CCl_2 , Fl_2 np. skrapla się przy temperaturze $25^{\circ}C$ i ciśnieniu 5,87 atm, przy innych korzystnych właściwościach).

Jak widzieliśmy z powyższych rozważań nad gazami stosowanymi do kabli, ciśnienia nie można podnosić do dowolnej wysokości. Do ograniczenia wysokości ciśnienia przyczyniają się również trudności techniczne, a poza tym korzyści z podwyższania ciśnienia, jeżeli chodzi o wytrzymałość na przebicie, nie wzrastają proporcjonalnie (zależność asymptotyczna). Dotychczas stosowane ciśnienie w kablach gazowych waha się w granicach od 3 do 18 atm, a robocze naprężenie dielektryczne od 6 do około 10 kV/mm.

6. Początkowe poglądy na kable gazowe i ich rozwój.

W początkowych fazach budowy kabli gazowych wyrażano opinię [3], że jest wątpliwe, aby kable gazowe mo-

kabli na napięcie nawet 264 kV nie powinna w niedługim czasie napotykać większych trudności technicznych.

Rozpatrując ekonomiczną stronę zagadnienia kabli gazowych, możemy w tej chwili już z całą pewnością stwierdzić, że dla napięć do 132 kV kable gazowe, przy dostatecznym stopniu bezpieczeństwa pracy, są tańsze od olejowych i łatwiejsze w eksploatacji. Jako przykład można przytoczyć, że ze względów ekonomicznych w roku 1943 towarzystwo Virginia Electric and Power Co rozbudowując sieć kablową, pracującą na napięciu 33 kV, a zbudowaną z kabli olejowych, użyło do dalszej rozbudowy, która miała na celu przesyłanie mocy do 20 000 kVA, tylko kable gazowych niskiego ciśnienia o ciśnieniu wewnętrznym (tzw. izolacja drenowana). Porównując koszty kabli olejowych i gazowych i opierając się na danych angielskich [5], możemy zrobić zestawienie podane w tabl. I.

Tablica I. Porównanie kosztów kabli olejowych i gazowych

Napięcie robocze w kV	Przekrój żyły w mm	Koszt 1 km kabla w funtach szterl. (w zaokrągleniu)		Obciążalność kabla w kVA		Koszt przesyłu 1000 kVA na 1 km w funt. szterl.	
		kabel olejowy	kabel gazowy	kabel olejowy	kabel gazowy	kabel olejowy	kabel gazowy
33	258	4 375	3 609	27 500	27 500	159	131
66	258	5 687	4 823	55 000	54 000	103	89

gły dawać przy bardzo wysokich napięciach (150 i 220 kV) taką pewność w pracy jak kable olejowe, spodziewano się natomiast, że kabel gazowy o prostej konstrukcji może mieć wielką przyszłość jako kabel trójfazowy dla napięć 20—60 kV. Przykład konstrukcji takiego kabla, zbudowanego przed rokiem 1939 na napięciu 33 kV przy grubości izolacji 6 mm i wypełnieniu gazem pod ciśnieniem 6—7 atm., widzimy na rys. 3.

Krzywe na rys. 4 dają obraz zależności średniego naprężenia jonizującego od ciśnienia dla kabla trójfazowego (General El. Comp.). Kabel ten o konstrukcji podobnej

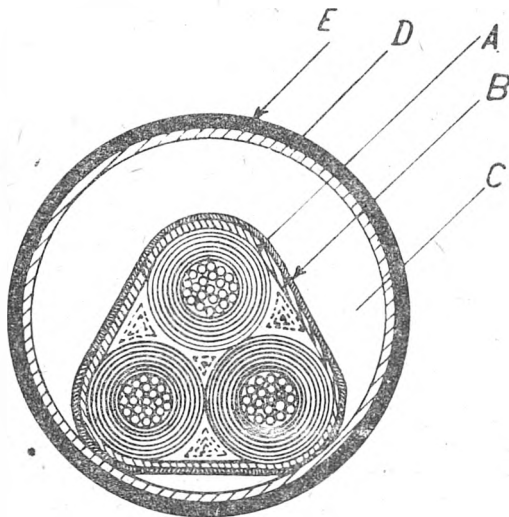
z którego wynika wyraźna przewaga kabli gazowych nad olejowymi pod względem kosztów.

7. Kable ciśnieniowe.

Kable tzw. ciśnieniowe wprowadzone przez Hochstädtera są właściwie zwykłymi kablami masowymi, pozostającymi pod ciśnieniem gazu, który oddziaływa pośrednio na izolację kabla ściskając ją poprzez płaszcz ołowiany, przez co utrudnione jest powstawanie warstw gazowych w izolacji w czasie pracy kabla. Aby powiększyć membranowe działanie płaszcza, kabel wykonywa się często w kształcie kabla trójkątnego z płaskimi bocznymi ściankami (rys. 5). Na rys. 6 widzimy kabel ciśnieniowy z żyłami owalnymi.

Jeżeli kabel trójfazowy wciągniemy do szczelnej rury stalowej, w której będzie się znajdował gaz (azot ze względu na niepalność), to zależnie od wielkości ciśnienia tego gazu otrzymamy różne krzywe dla stratności w funkcji napięcia doprowadzonego.

Napięcie, przy którym zaczyna się jonizacja, będzie stale wzrastało w miarę zwiększania ciśnienia gazu, a przy 15 atm. praktycznie jonizacja — w granicach napięć stosowanych dla tego typu kabla — już nie wystąpi. Pochodzi to stąd, że gaz naciska na płaszcz ołowiany, a po-

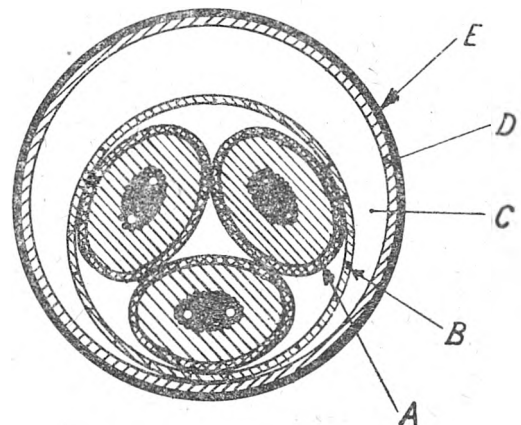


Rys. 5. Kabel ciśnieniowy HSO

A Płaszcz ołowiany
B Pancierz
C Gaz
D Rura stalowa
E Odzież przeciwkorozyjna

do wyżej podanej pracuje również przy ciśnieniu średnim. Krzywa przerywana jest krzywą dla wartości obliczonych. Krzyżykami oznaczono naprężenie dla kabli jednofazowych zbudowanych na tejże zasadzie czyli z izolacją nasyconą, przy czym kanał dla gazu jest jeden między izolacją okrytą ekranem i płaszczem ołowianym [4].

Mniemanie o bezwzględnej wyższości kabli olejowych nad gazowymi przy napięciach powyżej 100 kV w chwili obecnej straciło na słuszności, gdyż chociaż dotychczas kable gazowych na 150 kV i 220 kV nie budowano, wykonano jednak szereg kabli na 132 kV, a zdaniem np. Beavera i Deveya, którzy głównie pracują nad rozwojem kabli gazowych (Anglia jest ich ojczyzną), budowa takich

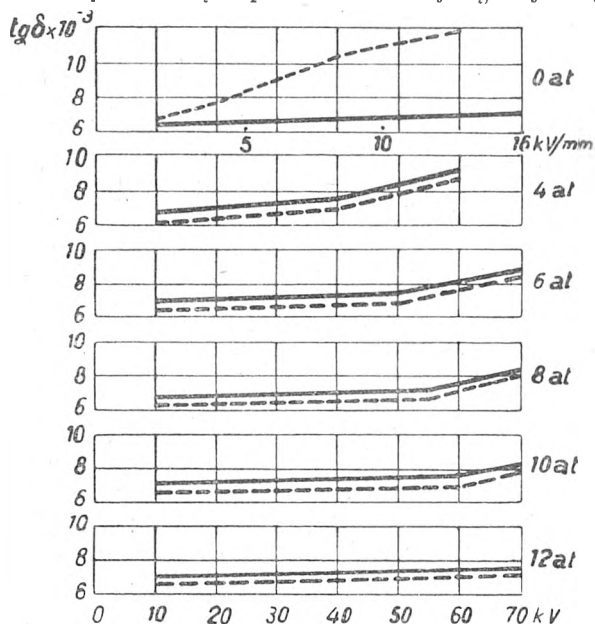


Rys. 6. Kabel ciśnieniowy HSL (oznaczenia ob. pod rys. 5)

średnio na izolację, przez co zmniejszają się warstwy gazowe w niej powstałe, aż wreszcie przy dość wysokim ciśnieniu jonizacja znika całkowicie, co potwierdzają krzywe dla $\lg \delta = f(U)$ na rys. 7.

Oczywiście, dla przestrzeni wypełnionych gazem ważne są zawsze krzywe naprężeń przebijających w funkcji ciśnienia, o których była mowa wyżej. W kablach ciśnie-

niowych podwyższono naprężenie robocze do 10 kV/mm i budowano te kable do 110 kV również jako podmorskie. Dość kłopotliwe i kosztowne jest wykonanie szczelnego rurociągu stalowego. Z tego też powodu zaczęto później wykonywać kable, w których rurę stalową zastąpiono przez rurę ołowianą odpowiednio uzbrojoną, aby mogła



Rys. 7. Stratność kabla ciśnieniowego w funkcji ciśnienia w rurze (linia przerywana po nagraniu)

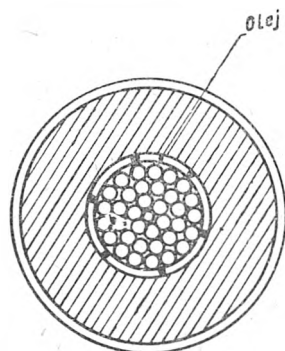
wytrzymać ciśnienie 15 atm. od wewnątrz. Kable ciśnieniowe słusznie zaliczyliśmy wyżej do grupy drugiej, w której gaz znajduje się poza obrębem działania pola elektrycznego (ob. rozdz. 2).

II. KABLE OLEJOWE

8. Pierwsze rozwiązania.

Myśl wykorzystania płynnego oleju w kablach powstała bardzo dawno i przechodziła szereg ewolucji. Za prototyp kabla olejowego można uważać kabel zbudowany w roku 1875 przez Daniela Brooksa (Anglia). W kablu tym przewód miedziany w owinięciu włóknistym umieszczony był w rurze żelaznej wypełnionej olejem. Rura ta miała już zbiorniki wyrównawcze w postaci odcinków rur pionowych, w których gromadził się nadmiar oleju stwarzając pewne ciśnienie. W przypadku kabli Brooksa nie było jeszcze zupełnie zagadnień wysokonapięciowych, gdyż kabel ten służył wyłącznie na potrzeby telegrafii.

W okresie, kiedy zagadnienie kabli wysokonapięciowych stało się bardzo aktualne i kiedy miał się ukazać już typ kabla o polu promieniowym, Watson (Anglia) zbudował w roku 1913 inny typ kabla olejowego, przeznaczony dla



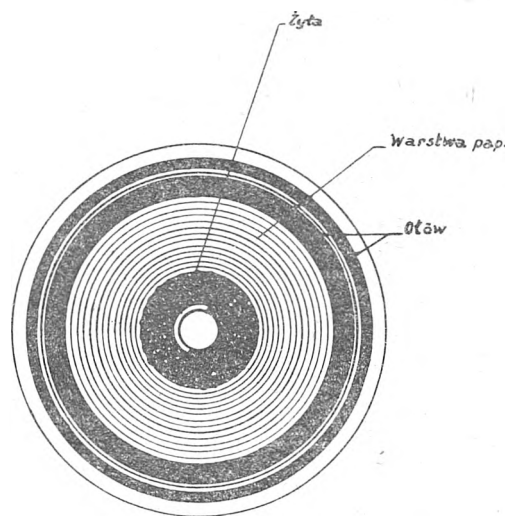
Rys. 8. Kabel olejowy Watsona

energetyki (rys. 8). W kablu tym kanał olejowy był umieszczony między żyłą a izolacją, a zatem olej — materiał izolacyjny o mniejszej stałej dielektrycznej — znajdował się w bezpośrednim sąsiedztwie z żyłą, gdzie naprężenia dielektryczne są największe. Widzimy więc, że rozwiązanie konstrukcji kabla było błędne ze względów teoretycznych i skutek był taki, że olej ulegał częstemu prze-

biciu, co z kolei powodowało również uszkodzenie izolacji papierowej i całego kabla.

Kabel olejowy typu Emanuelli-Pirelli, który ukazał się w latach 1923—1925, uzyskał w ciągu szeregu lat pracy bardzo dużą popularność jako kabel wysokiego napięcia i jest na ogół znany. Podamy więc tylko parę szczegółów objaśniających zarówno konstrukcję, jak i przebieg produkcji, i przejdziemy następnie do omówienia ostatnio proponowanych typów.

Pierwszy typ kabla olejowego „Pirelli” — z kanałem wewnątrz żyły roboczej wypełnionym olejem — wyposażony jest w zbiorniki wyrównawcze, ustawione w miejscach z góry określonych zależnie od profilu trasy kabla; w zbiornikach olej znajduje się pod ciśnieniem przesyłającym się następnie na olej w kablu. Do zbiorników tych



Rys. 9. Przekrój kabla olejowego (Pirelli)

wpływa olej z kabla, gdy żyła kabla ogrzewa się podczas pracy, i — odwrotnie — wypływa do kabla, gdy kabel stygnie. Rozpatrzmy przede wszystkim warunki, które muszą być zachowane, aby ruch oleju w kablu olejowym mógł być zupełnie swobodny. Warunkami tymi są: 1) kabel musi mieć kanał lub kanały podłużne o dostatecznym przekroju, 2) olej musi być dostatecznie płynny.

W zwykłej żyłce kablowej skręconej z drutów puste miejsca stanowią duży procent przekroju (około 25%); jest to jednak zupełnie niewystarczające dla kabla olejowego.

Według wzoru Poiseuille'a ilość płynu przepływającego przez przekrój okrągły równa się

$$a = \frac{\pi (p_0 - p_1)}{8 \cdot \eta \cdot L} R^4,$$

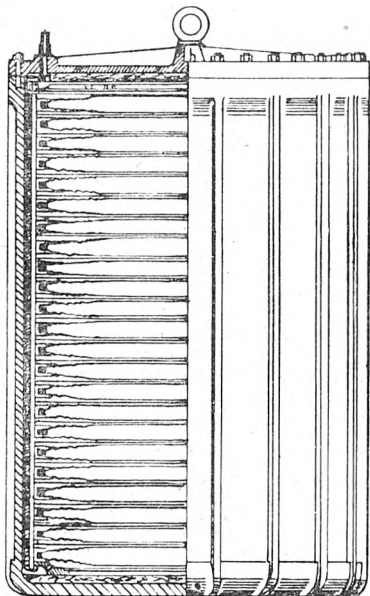
gdzie $(p_0 - p_1)$ oznacza różnicę ciśnień, L długość, R — wewnętrzny promień kanału i η — współczynnik tarcia. Z tego wzoru można obliczyć, że dla przeciętnych warunków przez zwykłą linkę, np. o przekroju 150 mm², może przepływać zaledwie setna część tego oleju, który mógłby przepłynąć przez przewód o tymże przekroju w przypadku, gdyby wszystkie kanaliki między poszczególnymi drutami linki połączyć w jeden kanał o równoważnym przekroju. Dlatego też kable olejowe wykonywa się zawsze z pustą żyłą w środku lub — w przypadku kabli trójżyłowych (dla niższych napięć) — z kanałami ze spiral stalowych umieszczonych zamiast wkładek międzyżyłowych. Drugi warunek wymieniony wyżej — lepkość oleju — ma również bardzo duży wpływ na wielkość jego przepływu przez kanał. Według wzoru Poiseuille'a przepływ jest odwrotnie proporcjonalny do współczynnika tarcia (oznaczonego przez η) czyli proporcjonalny do lepkości oleju.

Lepkość (wiskoza) winna być dla oleju używanego w kablach olejowych kilkakrotnie mniejsza niż dla kabli masowych (1,25 Englera przy 100 °C; 1,6 °E przy 50 °C).

9. Kable olejowe niskiego ciśnienia.

Jak już wyżej wspomniano, firma Pirelli wykonała pierwszy kabel olejowy ze środkowym kanałem olejowym w latach 1923—1925. W kablu tym warstwy drutów mie-

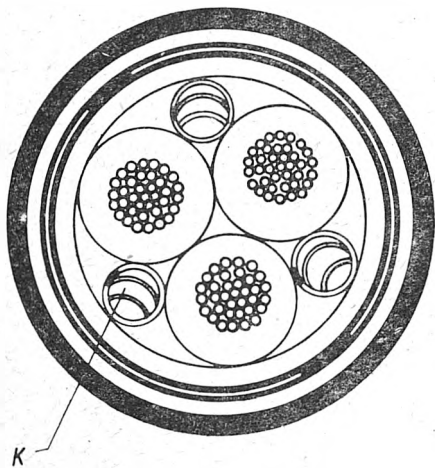
dzianych nałożone były na spiralę z taśmy stalowej, tworzącą kanał służący do przepływu oleju i połączony ze zbiornikami wyrównawczymi. Olej w zbiornikach wyrównawczych nie styka się bezpośrednio z gazem; gaz znajduje się w płaskich puszkach talerzowych o ściankach membranowych. Ułożone w zbiorniku puszki wywierają na olej ciśnienie w granicach od 1,2 do 2,5 atm. zależnie od temperatury kabla zmieniającej się w czasie pracy. Przekrój kabla olejowego typu Pirelli widzimy na



Rys. 10. Zbiornik ciśnieniowy (Pirelli)

rys. 9, a zbiornik wyrównawczy na rys. 10. Przekrój kabla olejowego trójfazowego (Pirelli-GEC) pokazany jest na rys. 11.

Kabel olejowy musi mieć poza tym specjalnie wykonane mufy końcowe i łączeniowe; te ostatnie dwu typów — przelotowe i zaworowe stosowane zależnie od ukształtowania terenu tak, aby ciśnienie oleju w kablu nie przekraczało dozwolonej wielkości. Na rys. 12 pokazany jest



Rys. 11. Przekrój kabla olejowego trójfazowego (Pirelli — G. E. C.)

K kanały dla oleju

profil trasy kabla olejowego na 220 kV w Paryżu; na rysunku widać podział kabla na sekcje i miejsca przyłączenia zbiorników wyrównawczych do muf zaworowych.

Kable olejowe, ze względu na stawiane im wymagania wobec stosowania ich do najwyższych napięć, wymagają specjalnej jakości materiałów izolacyjnych, a sposoby ich produkcji są odmienne niż w przypadku kabli masowych.

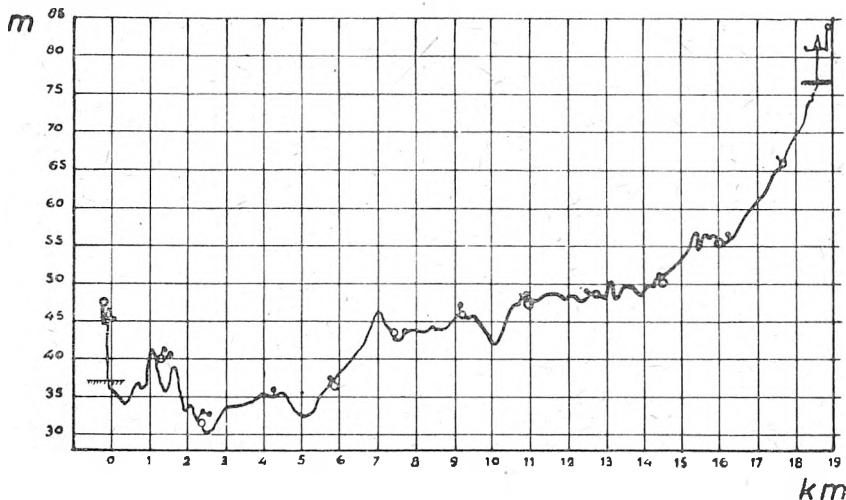
Nadmieniono już wyżej, że olej dla kabli olejowych musi mieć małą lepkość; oczywiście, musi być prócz tego chemicznie czysty i odporny na starzenie. Firma Pirelli

używała oleju, który obok podanej już wiskozy 1,6 °E przy 50 °C był jeszcze płynny przy —10 °C, kiedy wiskozą jego wynosiła 33,5 °E. Prócz samej jakości oleju ważne jest, żeby był on przed wprowadzeniem do kabla jeszcze starannie oczyszczony i przeszedł przez wirówkę. Osiąga się to w ten sposób, że olej przede wszystkim nasycamy dwutlenkiem węgla CO₂, następnie przepuszczamy przez specjalną wirówkę, wreszcie odgazowujemy w dwustopniowym aparacie pod wysoką próżnią, w temperaturze 70—80 °C.

Papier użyty na izolację kabla olejowego musi, zwłaszcza jeżeli chodzi o najwyższe napięcia, odpowiadać również dalekoidącym wymaganiom. Obok dużej wytrzymałości mechanicznej, równomiernej grubości, odpowiedniej nasiąkliwości wymaga się od papieru czystości chemicznej i małej stratności dielektrycznej. Jako granicę górną tgδ mierzonego napięciem 100 V przy 50 okr./sek. i temperaturze 100 °C przyjęto 0,0025. Jakość papieru odpowiadającą takiej wartości tgδ osiąga się przez specjalne płókanie papieru (można osiągnąć nawet wartość tgδ = 0,0022).

Przebieg nasycania kabla olejowego jest odmienny od stosowanego dla kabli masowych. Kabel olejowy z kanałem środkowym wykonany jest, jak już wiemy, w taki sposób, że na żyłę — skręconą z drutów na wewnętrznej stalowej spirali — nawija się izolację z taśm papierowych o grubości stopniowanej od 0,08 mm do 0,15 mm i 0,20 mm. Tak zaizolowany kabel suszy się w kotłach o średniej próżni, oprasowuje otworem i dopiero wtedy, gdy kabel ma płaszcz, wytwarza się w nim wysoką próżnię i wciąga olej. Po opancerzeniu koniec kabla dołącza się do zbiornika olejowego umieszczonego na bębnie, co ma na celu utrzymywanie nadciśnienia oleju i kontrolowanie szczelności kabla przy pomocy manometru.

Jako przykład w ten sposób wykonanego kabla może służyć kabel olejowy tzw. „Inter Paris” na 220 kV ułożony w roku 1935 w Paryżu. Pracuje on do dnia dzisiejszego najzupełniej zadowolająco. Kabel ten jest właściwie jedynym kablem na to napięcie i dowiódł już w czasie blisko piętnastoletniej pracy, że kabel olejowy, aczkolwiek kosztowny, jest jednak nawet dla tak wysokiego napięcia zupełnie pewny w pracy. Techniczne dane kabla „Inter Paris” są następujące: żyła o przekroju 350 mm² może być obciążana prądem do 420 A (moc przenoszona



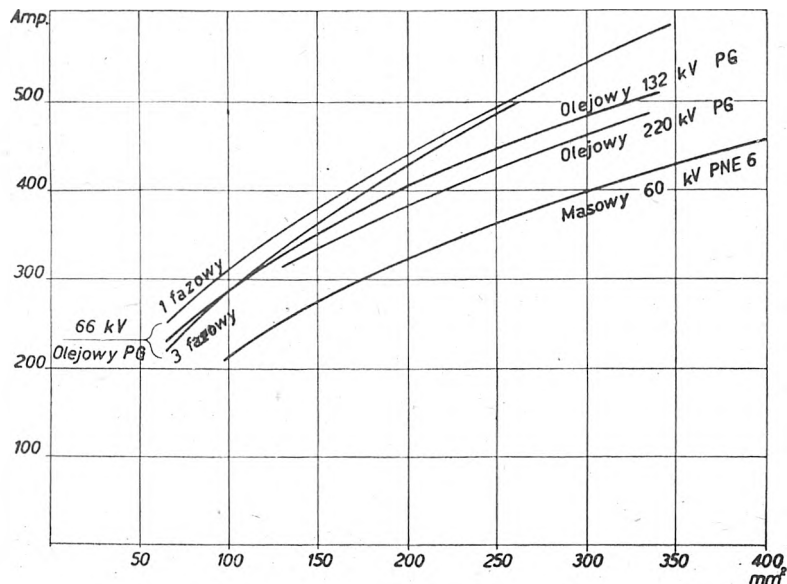
Rys. 12. Profil trasy kabla olejowego na 220 kV (Inter-Paris)

160 MVA); grubość izolacji 24 mm; średnica zewnętrzna 97 mm, waga 27,3 kg/m. Kabel był budowany w założeniu granicy stratności dielektrycznej 0,007 mierzonej przy 127 kV; wzrost tej wartości przy podnoszeniu napięcia od 20 kV do 175 kV nie mógł przekraczać 0,001. W rzeczywistości dla badanych odcinków kabla wartość tgδ wynosiła poniżej 0,004 i w granicach żądanej zmiany napięcia pozostawała stała [20].

Ilość kabli olejowych wykonana przez firmę Pirelli w różnych krajach wynosiła już do roku 1938 ponad 2 000 km. Według zaś danych firmy Standard Pirelli do

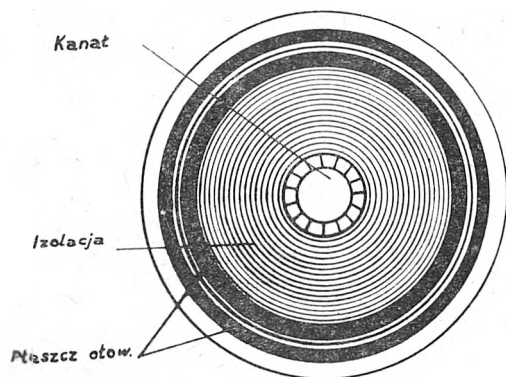
roku 1946 ułożono kabli olejowych typu Pirelli w Anglii do 1035 km, a poza jej granicami ponad 9 600 km. Na rys. 13 mamy porównawcze wykresy obciążeń w amperach dla kabli „masowych” oraz olejowych jedno- i trzyczłonowych od 66 kV do 220 kV według Standard-Pirelli.

Nieco odmienną konstrukcję żyły, spotykaną przeważnie w przypadku stosowania żył aluminiowych (Niemcy), wykonała w roku 1932 firma Cartailod [7]. Kabel tej firmy jest wyposażony w zbiorniki olejowe inne niż Pi-



Rys. 13. Obciążenie kabli „masowych” i olejowych w zależności od przekroju żyły

rellego. Żyła przewodząca kabla Cartailoda jest zwinięta z płaskich drutów w rurkę; daje to przede wszystkim tę korzyść, że kanał olejowy, ma większy przekrój, a powierzchnia żyły jest gładka, co jest, oczywiście, lepsze z względów elektrycznych. Kabel firmy Cartailod układa się na trasie bez oleju, po czym suszy się go i przeprowadza próbę ciśnieniową suchym gazem obojętnym; dopiero



Rys. 14. Przekrój kabla olejowego firmy Cartailod

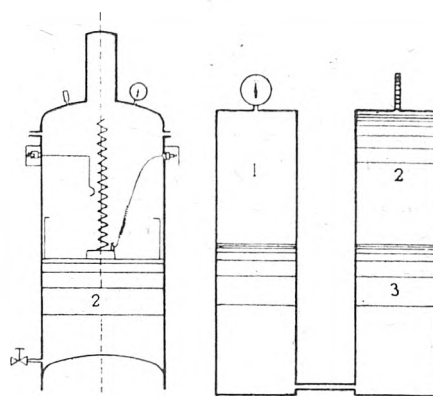
potem zalewa się go olejem po całkowitym zmontowaniu muf łączeniowych i końcowych. Przekrój kabla firmy Cartailod mamy na rys. 14. Zbiorniki olejowe wyrównawcze typu Cartailod pokazano na rys. 15: gaz (1) oddzielony jest od oleju (2) przez tłok względnie ciecz oddzielającą (3). Położenie tłoka, a przez to ilość oleju w zbiorniku wyrównawczym obserwować można na wskaźniku sterowanym elektrycznie przy pomocy przełącznika umieszczonego w zbiorniku. Kable typu Cartailod budowano na napięcie 150 kV; przed rokiem 1939 pracowało ich w Szwajcarii około 50 km (w Holandii 1 odcinek długości 17,0 km na 150 kV próbny w KEMA — Instytut dośw. mat. elektr. w Arnheim).

Jednokomorowe zbiorniki wyrównawcze do oleju typu podobnego do Cartailoda używane są w Stanach Zjednoczonych. Olej znajduje się w nich w cylindrze z blachy falistej, którego jedna ścianka pozostaje pod działaniem sprężyny. Objętość oleju jest stale mierzona przy pomocy

taśmy stalowej; spadek objętości poniżej normy sygnalizuje przełącznik elektryczny. Zbiornik tego typu pokazano na rys. 16.

10. Kable olejowe wysokiego ciśnienia przed rokiem 1939.

Typem odmiennym od kabli olejowych z kanałami wewnątrz żyły przewodzącej lub między żyłami jest typ kabla, wprowadzony w Ameryce w roku 1934 — „oilostatic”. Kabel „oilostatic” budową swą zbliżony jest do



Rys. 15. Zbiornik ciśnieniowy firmy Cartailod

prototypu kabla olejowego Brooksa. Różni się on również od wyżej opisywanych kabli tym, że olej pozostaje w nim pod wysokim ciśnieniem (14 atm). Jeżeli chodzi o podział kabli według roli gazu, to kabel „oilostatic” zaliczyć można do grupy pierwszej. Mówimy zaś o nim w tym miejscu przed kablami olejowymi o wysokim ciśnieniu i konstrukcji zbliżonej do poprzedniego ze względu na chronologiczny układ opisu powstających typów.

Kabel typu „oilostatic” (oznaczony A_1 i A_2) [8, 9] zbudowany jest w taki sposób, że kable jednożyłowe normalnie nasycone, nieskręcone, wciągnięte są do rur stalowych szczelnie wypełnionych olejem, pozostającym pod ciśnieniem 14 atm. Wysokie ciśnienie oleju powoduje dokładne nasycenie izolacji kabla, a więc usuwa miejsca „puste” czyli przyczyny jonizacji nawet przy bardzo wysokich napięciach, zwiększa pewność pracy kabla. Żyłki omawianego kabla są okrągłe lub owalne, owinięte taśmami papierowymi i ekranowane papierem metalizowanym oraz taśmami miedzianymi. Ekran owinięty jest jednym drutem lub dwoma drutami miedzianymi o kierunku skrętu przeciwnym do skrętu taśm miedzianych ekranu. Druty te mają na celu zmniejszenie podłużnej oporności ekranu, poprawienie styku między ekranem i rurą oraz odsunięcie od siebie żył kabla, a przez to ułatwienie przepływu oleju w kierunku promieniowym i zmniejszenie oporności cieplnej układu, a przez to zwiększenie obciążalności kabla. Spirala z drutu miedzianego zmniejsza również współczynnik tarcia żyły o rurę do 0,27, co pozwala na wciąganie do rury dłuższych odcinków kabla (do 760 m). W przypadku konieczności stosowania odcinków długości jeszcze większej, np. w tunelach lub dla kabli podwodnych, używa się spirali z grubego drutu (5,3 mm²).

Celem zabezpieczenia żył kabla od uszkodzeń mechanicznych, a przede wszystkim od zawilgocenia i zabrudzenia podczas transportu, żyłę pokrywa się płaszczem otowianym (typ A_1) lub, jak ostatnio, płaszczem z materiału syntetycznego — polietylenu (typ A_2). Płaszcz ten zostaje zerwany w momencie wciągania żyły kabla do rury.

Rury do kabli „oilostatic” są bądź ciągnięte, bądź spawane i mają ścianki grubości 6,4 mm; średnica ich równa jest zasadniczo 2,5-krotnej średnicy żyły kabla bez spirali i drutu (najbliższa średnica normalnej rury). Rury pokrywa się grubą (12,7 mm) warstwą mieszaniny azbestu, pia-

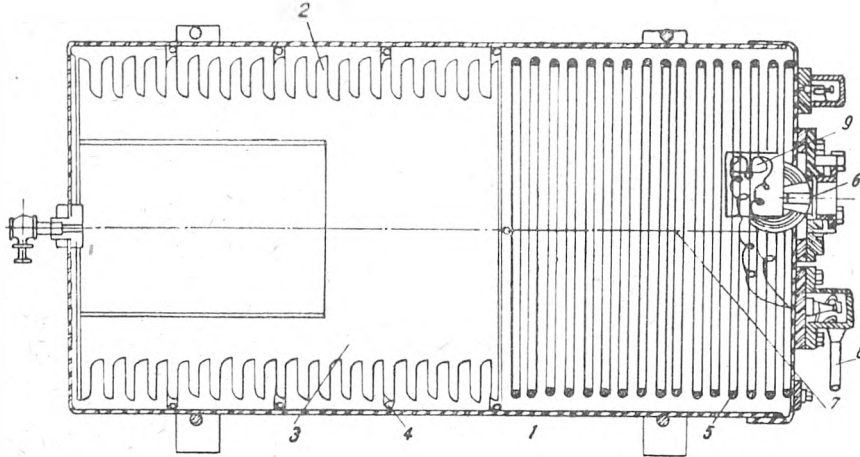
sku i asfaltu, która stanowi wytrzymałą mechanicznie osłonę antykorozyjną.

Olej stosowany do napełniania rur jest identyczny z używanym do nasycania izolacji kabli. Lepkość jego równa się przy 38°C ok. 25°E (174 centistock). Punkt krzepnięcia —26°C.

Kable „oilostatic“ pracują obecnie przy napięciach na żyłę 10 kV/mm, przewiduje się jednak zmniejszenie

ciśnienie. Konstrukcja muf końcowych jest tego rodzaju, że wewnątrz izolatora znajduje się tuleja porcelanowa połączona z rurą, w której znajduje się olej pod ciśnieniem. Przestrzeń między tą tuleją i izolatorem jest wypełniona również olejem, ale znajdującym się pod ciśnieniem atmosferycznym.

Mufy łączeniowe zaworowe widoczne na rys. 17 wykonane są w taki sposób, że kable wprowadzone do nich są



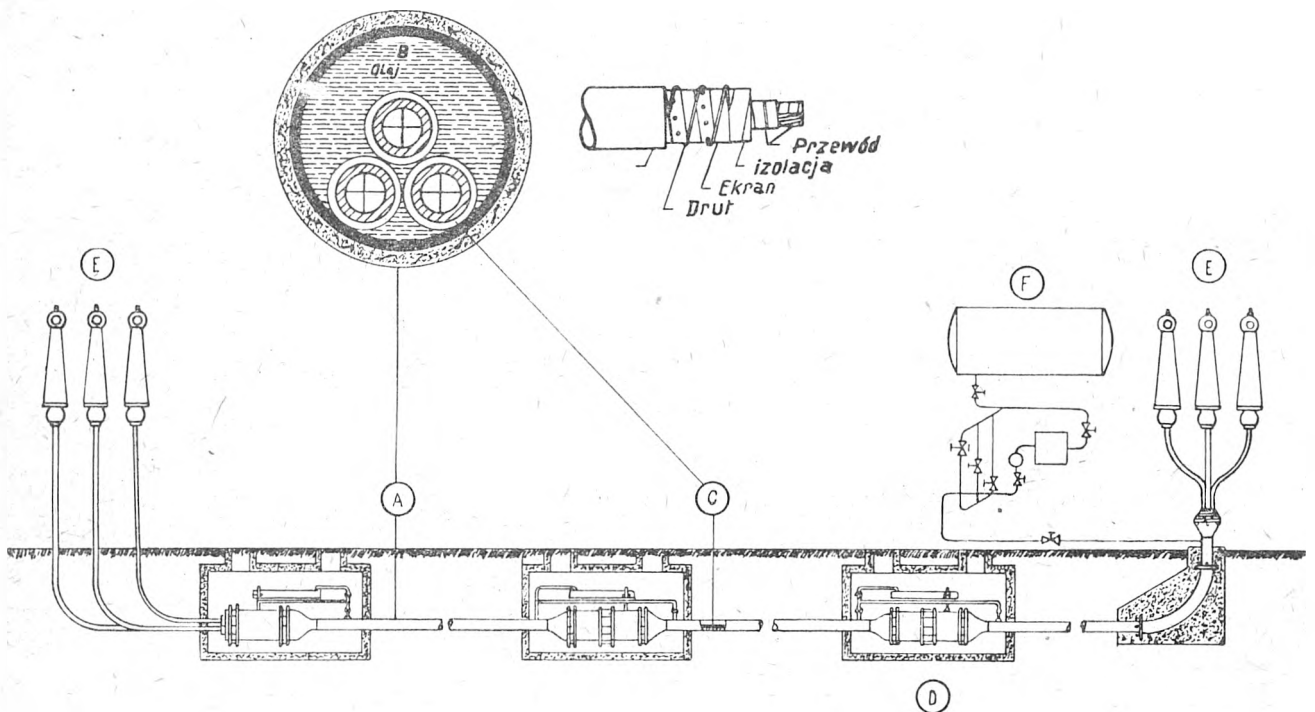
Rys. 16. Zbiornik ciśnieniowy typu amerykańskiego

- 1 Zbiornik
- 2 Cylinder z blachy falistej
- 3 Olej
- 4 Rolka
- 5 Sprężyna naciskająca
- 6 Taśma pomiarowa
- 7
- 8 Kabel sygnalizujący
- 9 Wyłącznik rtęciowy

grubość izolacji do takich wymiarów, aby naprężenie na żyłę wynosiło 11 kV/mm. Obecnie grubość izolacji dla kabli pracujących przy napięciu 115 kV i przekroju żyły 108 mm² wynosi 12,2 mm, dla kabli projektowanych na 220 kV przy przekroju żyły 380 mm², grubość izolacji ma wynosić 23,5 mm.

Obciążalność prądowa dla kabla „oilostatic“ jest taka sama, jak dla kabli olejowych typu Pirellego przy naj-

uszczelnione i olej nie może przepływać przez mufę z jednej rury do drugiej. Istnieje natomiast połączenie dodatkowe przez rurę zaopatrzoną w krany i połączoną przez bezpieczniki membranowe, wytrzymujące ciśnienie 35 atm., ze specjalnym zbiornikiem widocznym na rysunku nad mufą. W przypadku powstania nadciśnienia oleju w rurach, np. w razie uszkodzenia elektrycznego, przerywa się diafragma najbliższa do miejsca uszkodzenia



Rys. 17. Kabel i instalacja kabla olejowego „oilostatic“

- A — Odzież ochronna
- B — Przestrzeń wypełniona olejem
- C — Czasowy płaszcz ołow. (polietylenowy)
- D — Mufa łącznicowa zaworowa

- E — Końcówki
- F — Zbiornik olejowy uzupełniający
- Pompa
- Kurki — mech., ręczny, elektryczny

wyższej temperaturze roboczej dla kabli pracujących pod napięciem 163—230 kV 70°C.

Na rys. 17 pokazano przekrój kabla „oilostatic“ oraz jego instalację.

Kabel „oilostatic“ po ułożeniu i zmontowaniu muf łączeniowych i końcowych musi być wyposażony w zbiorniki wyrównawcze z olejem oraz aparaty kontrolujące

i olej przechodzi do zbiornika, co pozwala jednocześnie na ustalenie, w której sekcji kabla powstało uszkodzenie.

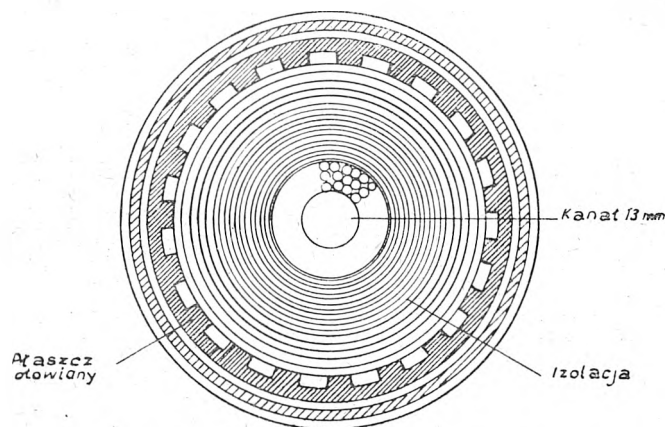
Pierwszą instalacją kabla „oilostatic“ był kabel na 132 kV jednofazowy o przekroju żyły 253 mm² i grubości izolacji 17 mm. Kabel ten oddano do pracy w roku 1935 w Baltimore. Od tego czasu wykonano wiele kabli „oilostatic“ również dla napięć 46 kV i 88 kV, przenoszących

moc do 100 MVA na odległość do 30 km. Najnowszymi instalacjami kabli „oilostatic“ są dwa kable: rzeczny na napięcie 138 kV długości 1,15 km w Nowym Jorku z żyłą o przekroju 253 mm² przy obciążalności 525 A i kabel w Alabamie na 110 kV z żyłą o przekroju 203 mm² i obciążalności 389 A. Temperatura robocza obydwu kabli ma wynosić 70° C przy temperaturze ziemi 30° C.

11. Najnowsze typy kabli olejowych wysokiego ciśnienia.

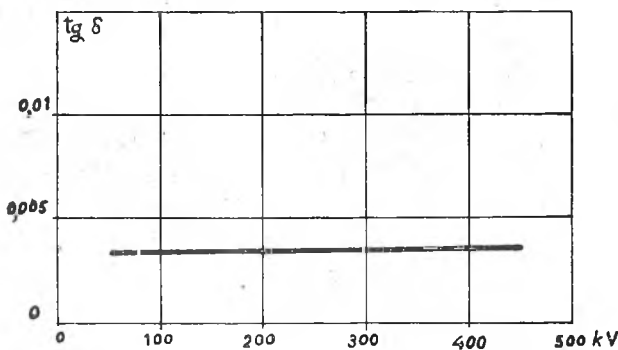
Wszystkie dotychczas opisane typy kabli olejowych zostały wprowadzone do eksploatacji przed rokiem 1939. Okres wojenny i ciężkie warunki, w których często musiały pracować kable, pozwoliły na wyciągnięcie wielu wniosków, które ustaliły do pewnego stopnia linie rozwojowe kabli wysokiego napięcia.

Nastąpiło dość wyraźne rozgraniczenie między obszarami stosowania poszczególnych typów kabli i pewne ulepszenia istniejących konstrukcji w kierunku możliwo-



Rys. 18. Przekrój kabla olejowego na 400 kV

ści podwyższenia napięć roboczych i potaniaenia urządzeń. Dunsheath i Jollin [10] piszą, że w ciągu lat wojennych w Wielkiej Brytanii ustalili się dla napięć od 66 kV wzwyż typ kabla olejowego jako najpewniejszy w eksploatacji. Od roku 1939 do 1945 ułożono w Wielkiej Brytanii 85 km kabli na 66 kV i 24 km kabli na 132 kV, wprowadzając przy budowie tych kabli szereg ulepszeń: przez pewne podniesienie wielkości ciśnienia oleju udało się między innymi zmniejszyć wymiary zbiorników wyrównawczych umieszczanych wprost w rurach betonowych. Kanały olejowe w kablach 3-fazowych wykonywa się z miedzi, a nie z żelaza, co powoduje zmniejszenie strat. Niemniej szereg ujemnych właściwości występujących w kablach olejowych, jak stałe wydzielanie się gazów, straty oleju przez



Rys. 19. Zależność stratności dielektrycznej od napięcia dla kabla na 400 kV, $tg\delta = f(U)$

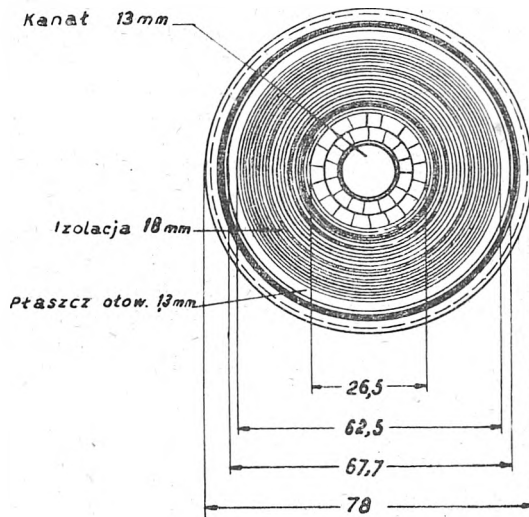
nieszczelności w płaszczu otowianym, duże koszty itp., powodowały dalsze interesowanie się kablem gazowym.

Podwyższenie ciśnienia będzie tym elementem w kablu olejowym, na który zwraca się główną uwagę zgodnie z założeniami teoretycznymi.

W roku 1942 szwedzka „Asea“ buduje kabel na 154 kV o ciśnieniu oleju 5,5 kg/mm² w kablu konstrukcji Pirelego [11], a zaraz po wojnie spotykamy projekty kabli

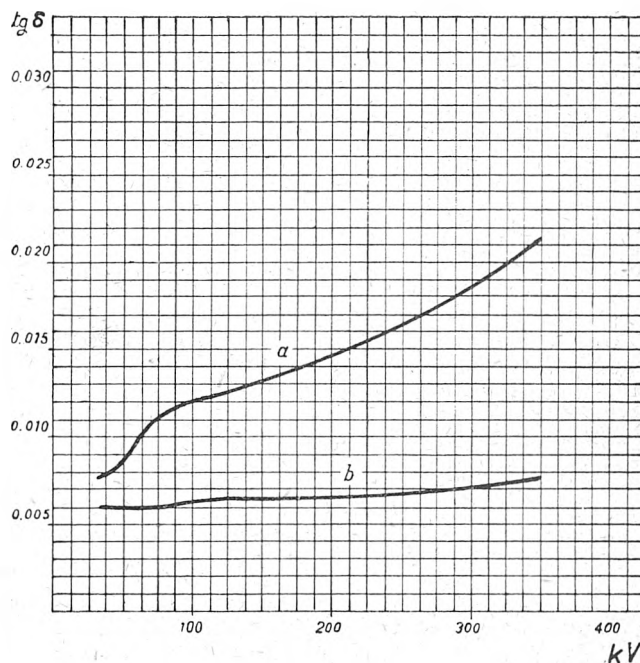
olejowych z kanałem środkowym o ciśnieniach poprzednio niespotykanych.

Kabel olejowy na 400 kV, który zbudował L. Domenach (Câbles de Lyon) wprowadzając w kablu olejowym z kanałem środkowym ciśnienie 15 atm. [12], był ogromnym krokiem naprzód w stosunku do jednego kabla pracu-



Rys. 20. Przekrój kabla olejowego ze zmniejszoną grubością izolacji

jącego na 220 kV, o którym wspomiano wyżej. Przy napięciu roboczym 400 kV naprężenia elektryczne w tym kablu dochodzą do 15 kV/mm; znaczy to, że jeżeli w kablu na 220 kV przy naprężeniu 9 kV/mm stopień bezpieczeństwa jest bliski 4 przy normalnej częstotliwości 50 okr./sek. i 10 dla fal udarowych 1/50 μ s, to w przypadku kabla na napięcie 400 kV stopień bezpieczeństwa będzie obniżony do 3,5 dla częstotliwości 50 okr./sek. i do 8 dla fal udarowych. Skonstruowanie kabla poprzedził szereg długo-

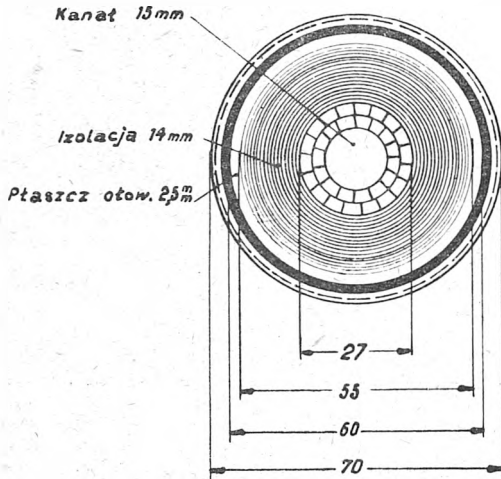


Rys. 21. Zależność $tg\delta$ od napięcia dla muf końcowych zwykłej (a) i kondensatorowej (b)

trwałych prób wykonanych na papierach nasyconych różnych gatunków i grubości, przy różnych ciśnieniach oleju.

Próby te wykonano przy pomocy elektrod płaskich i cylindrycznych oraz na kablach przy grubościach izolacji od 5 do 24 mm. Sprawdzono tu ponownie, że ciśnienie 15 atm. jest, jak pokazywały dotychczasowe doświadcze-

nia, ciśnieniem granicznym, powyżej którego krzywa wytrzymałości elektrycznej dielektryku w funkcji ciśnienia, pod którym dielektryk się znajduje, podnosi się bardzo nieznacznie, a więc dalsze zwiększanie wartości ciśnienia nie daje już praktycznie żadnych korzyści. Na rys. 18 mamy przekrój opisywanego kabla na 400 kV. Konstrukcja jego różni się tym od normalnego typu kabla olejowego, że na wewnętrznej powierzchni płaszcza ołowianego znajdują się kanały podłużne, przez które również



Rys. 22. Przekrój kabla olejowego wysokiego ciśnienia ze zmniejszoną grubością izolacji

przepływa olej. Wzmocnione jest również ze względu na wysokie ciśnienie oleju uzbrojenie kabla wykonane z taśm miedzianych.

Grubość izolacji w opisywanym kablu wynosi 24 mm przy średnicy zewnętrznej żyły 28 mm (przekrój żyły 400 mm²).

Mufy końcowe na kablu 400-kilowoltowym są typu kondensatorowego, co daje możliwość zmniejszenia ich wymiarów. Obciążalność kabla przy napięciu 400 kV wynosi 250 000 kVA (370 A). Straty ogólne wynoszą 22 W/m, z czego straty w dielektryku 11,8 W/m przy $\text{tg}\delta = 0,0035$. Na rys. 19 mamy wykres $\text{tg}\delta$ w funkcji napięcia dla kabla 400-kilowoltowego. Kabel badany był napięciem 800 kV, a przebity został przy 920 kV po 3 minutach na końcu płaszcza ołowianego, a więc w miejscu najłabszym ze względu na naprężenia krawędziowe.

Dążenia do potania kabla olejowego idą przede wszystkim w kierunku zmniejszenia grubości przy równoczesnym zwiększeniu ciśnienia. L. Domenach wykonał szereg prób z kablami na 220 kV, pracującymi jeszcze pod ciśnieniem 1 atm., ale przy mniejszej grubości izolacji niż kable dawniejsze, a mianowicie wynoszącej 18 mm przy żyłce roboczej gładkiej o przekroju 350 mm² skręconej z drutów profilowych (rys. 20). Izolacja tego kabla wykonana została z taśm papierowych o grubości stopniowanej wzrastającej w kierunku od żyły nazewnątrz.

Największe naprężenie dielektryczne w czasie pracy kabla wynosi 11,3 kV/mm, a przebicie kabla nastąpiło przy 47 kV/mm. Zmniejszenie wagi kabla osiągnięto znaczne, bo z 19,5 kg/m dla kabla o izolacji 24 mm do 15,5 kg/m, czyli przeszło o 20%.

Praca kabla przewidziana jest przy ciśnieniach wahających się w granicach od 1,3 do 4 atm. zależnie od obciążenia i temperatury.

Zmniejszenie grubości izolacji kabla powoduje również ogólne zmniejszenie ilości potrzebnego oleju o 35%. Zastosowanie muf końcowych typu kondensatorowego, jak w kablu na 400 kV wyżej opisanym, daje dużą oszczędność na wymiarach i na ilości potrzebnego do napełnienia tych muf oleju (mufa końcowa normalna na 220 kV — 300 litrów, kondensatorowa — 80 litrów).

Pod względem elektrycznym mufy końcowe kondensatorowe są również korzystniejsze, gdyż nie występuje w nich jonizacja w polu promieniowym przy podstawie. Na wykresie rys. 21 widzimy przebieg krzywych $\text{tg}\delta$ w funkcji napięcia dla mufy końcowej zwykłej (a) i kondensatorowej (b) na 220 kV.

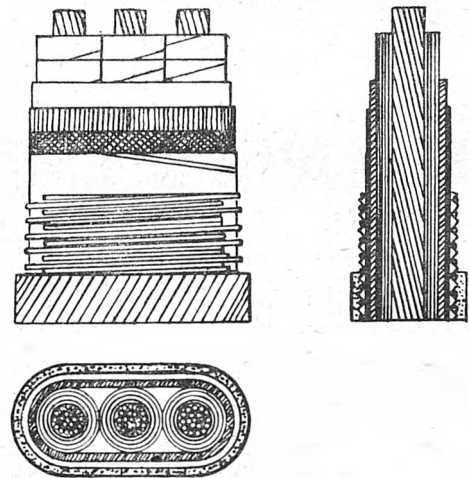
Biorąc za podstawę doświadczenie osiągnięte przy budowie powyżej opisanego kabla, wykonano następnie kabel olejowy na 220 kV o grubości izolacji 14 mm, którego pracę przewidziano przy ciśnieniu wahającym się w granicach od 8 do 20 atm. i przy napięciu roboczym 13,5 kV/mm. Kabel ten (rys. 22) ma przekrój żyły równy 350 mm²; średnica zewnętrzna żyły wynosi 27 mm, średnica kanału olejowego 15 mm.

Płaszcz ołowiany opisywanego kabla jest obciążony nierdzewnymi, antymagnetycznymi taśmami stalowymi i obliczony na naprężenie około 160 kg/cm². Zewnętrzna odzież włóknista chroni pancerz od korozji elektrycznej. Waga kabla wynosi 13 kg/m. Dzięki zastosowaniu tak wysokiego ciśnienia kabel można układać przy różnicach poziomów w jego trasie dochodzących do 100 metrów. Zbiorniki wyrównawcze są podobne do stosowanych w kablach olejowych niskiego ciśnienia, a cała instalacja jest zaopatrzona w sygnalizację alarmującą w razie spadku ciśnienia w kablu, wypływu oleju i tym podobnych zakłóceń.

Punkty zasilania kabla olejem muszą być rozmieszczone w odległości 3 do 4 km od siebie celem zapobieżenia większym stratom ciśnienia. W tych punktach zasilania mogą być umieszczone bądź zwykłe zbiorniki zasilające kabel przez mufy łączeniowe, bądź specjalne długości kabli zaopatrzone w niewielkie prześwity, np. 2 mm, między ołowiem i papierem metalizowanym pokrywającym izolację.

Opisywany kabel z izolacją grubości 14 mm może być obciążony trwale prądem 525 A, co odpowiada 200 MW przy napięciu roboczym 220 kV. Temperaturę dopuszczalną przy pracy kabla założono 50°C ponad temperaturę otoczenia. Kabel był badany w fabryce przy ciśnieniu roboczym 10 atm. i wytrzymywał trwałe napięcie 450 kV. Napięcie przebijające przy 50 okr./sek. po kilku minutach przyłożenia równe było 550 kV, dla fali zaś udarowej 1 200 kV.

Projektodawca kabli przewiduje, że kabel powyższy będzie w przyszłości typowym kablem na 220 kV, przy czym ciśnienie robocze będzie ustalone w granicach 8 do 11 atm. W tych warunkach kabel powinien pracować z wystarczającym stopniem pewności, a da bardzo dużą



Rys. 23. Kabel olejowy płaski

oszczędność w materiale, co go może zbliżyć pod względem kosztów do linii napowietrznej.

Opisywane dotychczas kable były typami, które przyjęły się w praktyce, bądź ich odmianami nie różniącymi się zasadniczo konstrukcją.

Całkowicie odmienny jest kabel zbudowany w Kopenhadze w roku 1939, którego konstrukcja wywołała pewne zastrzeżenia ze strony fachowców [13].

Kabel ten jest kablem płaskim zbudowanym na napięcie 66 kV (rys. 23). Trzy żyły ekranowane są ułożone obok siebie i oprasowane płaszczem ołowianym owiniętym papierem i taśmą włóknistą. Na płaskie ścianki kabla nałożone są obustronnie paski blachy falistej, owinięte podwójną spiralą z drutu miedzianego lub brązowego.

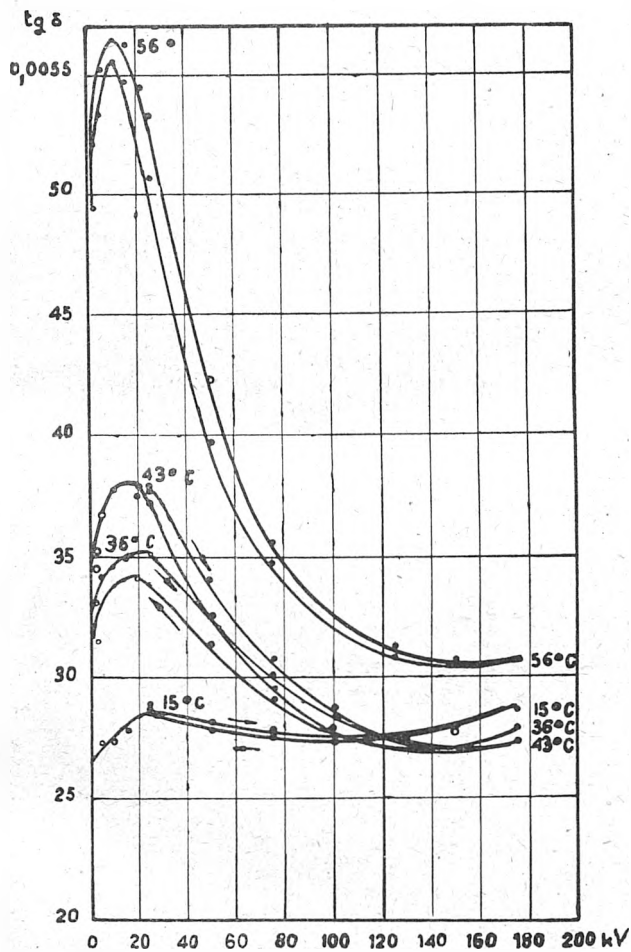
Kabel rozgrzewając się podczas pracy rozszerza się i płaskie boczne jego ścianki pracują jak membrany pod

dotychczasowym naciskiem blachy falistej. Owiniecie drutem musi być wykonane z taką siłą, aby ciśnienie w kablu wahało się w granicach od 2,1 do 6,0 atm.

Płaszcz kabla wykonany jest z ołowiu z domieszką 0,06% miedzi celem otrzymania drobnokrystalicznej struktury ołowiu, zwiększającej jego sprężystość. Grubość płaszcza ołowianego wynosi 2–3 mm przy większych przekrojach żył. Największe naprężenie dielektryczne dochodzi do 10–12,5 kV/mm przy grubości izolacji 6,5 mm dla kabla z żyłami o przekroju 95 mm², przeznaczonego na napięcie 66 kV, przy ciśnieniu powyżej 2 atm.

Kabel został przeбитý pod trwale działającym napięciem 175 kV. Dodatnią stroną kabla płaskiego jest to, że ze względu na jego kształt oporność cieplna po ułożeniu w ziemi jest do 20% mniejsza od oporności zwykłego kabla olejowego.

O obciążalności kabla i dopuszczalnej temperaturze roboczej w dużym stopniu decyduje prężność płaszcza ołowianego, odgrywającego rolę membrany, która właśnie nasuwa poważne zastrzeżenia. Wydawałoby się, że kabel płaski mógłby się lepiej zachowywać w wypadku zwarć i długotrwałych przeciążeń. Należy jednak pamiętać o tym, że stałe odkształcenia, które mogą wtedy powstać, spowodują spadek ciśnienia w kablu poniżej założonego minimalnego 2,1 atm. Pociągałoby to za sobą konieczność natychmiastowego każdorazowego dopełniania oleju aż do uzyskania poprzedniego ciśnienia. O zastosowaniu kabla płaskiego w praktyce dotychczas nic nie wiadomo, acz-



Rys. 24. Stratność kabla olejowego w funkcji napięcia przy stałej temperaturze

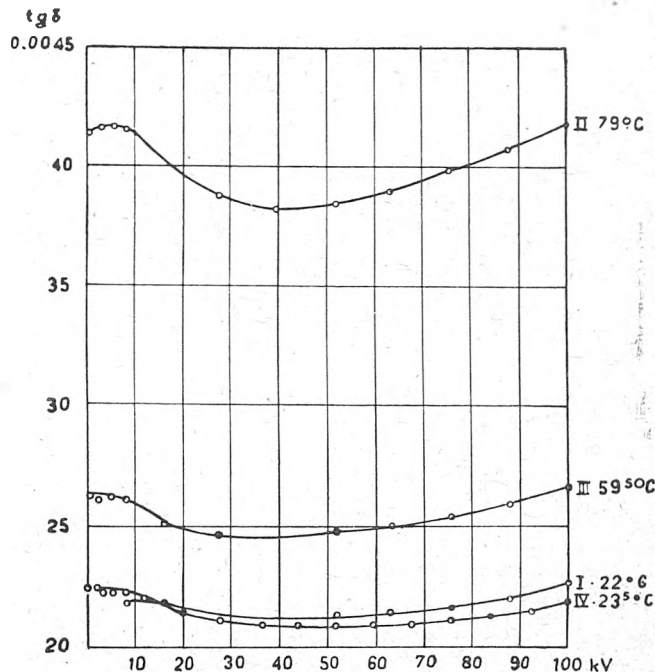
kolwiek projektodawcy przewidywali, że w granicach napięcia do 150 kV mógłby on pracować lepiej niż zwykły olejowy, będąc jednocześnie bardziej ekonomicznym.

12. Najnowsze specjalne badania kabli olejowych.

Należy przede wszystkim wspomnieć o pomiarach wykonanych na kablu doświadczalnym, ułożonym w fabryce kabli w Delft [14].

Kabel ten miał konstrukcję podobną do opisanego już kabla na 400 kV i podobnie jak tamten miał prócz kanału olejowego wewnątrz żyły jeszcze kanał utworzony między ekranem na izolacji a płaszczem ołowianym dzięki owinieciu żył taśmami metalowymi i wyżłobieniom w płaszczu.

Kabel doświadczalny był zbudowany na napięciu 150 kV przy grubości izolacji papierowej 18 mm, naprężenie robocze wynosiło 13,6 kV. Odcinek długości 100 m



Rys. 25. Stratność kabla olejowego po ogrzaniu

został zakopany w ziemi na głębokość 1 m, poddany 400 okresowym nagrzaniom do temperatury żyły 20° C ponad temperaturę otoczenia i ochładzaniom do temperatury początkowej. Następnie kabel poddano długotrwałym próbom napięciowym przy 150 i 175 kV.

Wykonane pomiary kąta stratności w funkcji napięcia [$\text{tg} \delta = f(U)$] dały ciekawe wyniki, a mianowicie: krzywa stratności dla danej stałej temperatury kabla przechodzi przy pewnym napięciu przez maksimum, po czym zaczyna opadać, gdy napięcie dalej wzrasta. Maksimum, przez które przechodzi krzywa stratności, jest tym mniej widoczne, im niższa jest temperatura kabla; poza tym krzywe zdjęte dla rosnącego napięcia nie pokrywają się z krzywymi dla napięcia obniżanego, co widzimy na wykresach rys. 24.

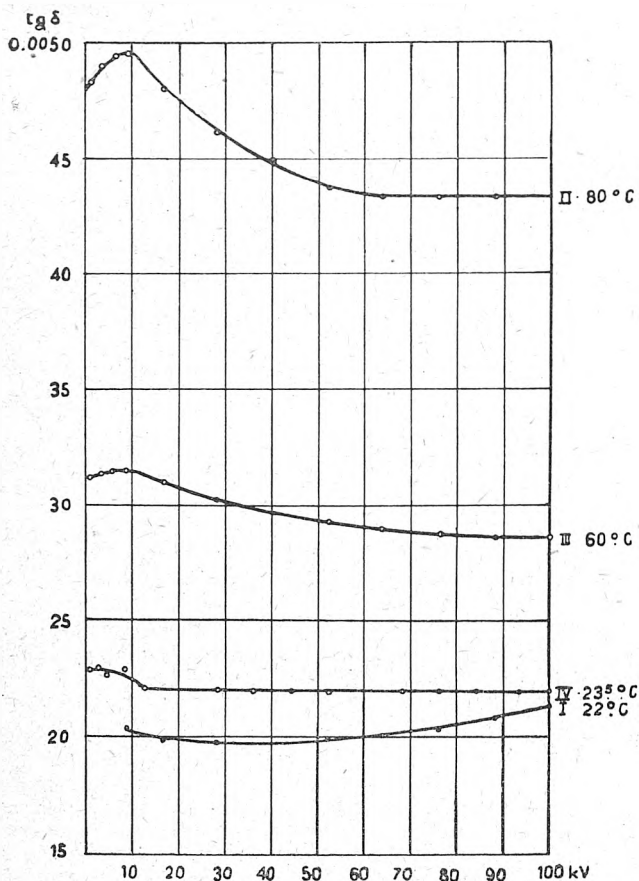
Taki przebieg krzywych stratności można tłumaczyć prawdopodobnie tym, że w warstwach oleju napełniającego kabel znajdują się drobne cząsteczki przewodzące, które poruszają się w polu elektrycznym, wpływając na przewodność oleju. W miarę wzrastania napięcia cząsteczki te stają się nieruchome i nie wpływają już na oporność izolacji.

Stwierdzono również, że długotrwałe nagrzewanie kabla do 75° C zmienia tylko nieznacznie własności izolacyjne papieru i oleju, natomiast długotrwałe utrzymywanie kabla pod napięciem takiej wielkości, że największe naprężenie osiąga wartość 9 kV/mm, podwyższa wyraźnie wartość $\text{tg} \delta$, prostując jednocześnie charakterystykę, zwłaszcza jeżeli chodzi o temperatury równe temperaturze otoczenia, co widzimy na rys. 25 i 26.

Na wykresach pokazanych na tych rysunkach krzywe I dają wyniki początkowe dla temperatur otoczenia 22° C. Krzywe II, III i IV zdjęto przy różnych temperaturach: na rys. 25 dla kabla pozostającego tylko w temperaturach — ponad 3000 godzin przy 60° C i ponad 1500 godzin przy 75° C, na rys. 26 dla kabla, który pozostawał w temperaturze 60° C ponad 3000 godzin i 75° C ponad 1500 godzin, po czym pod napięciem 60 kV przez 472 godziny, 90 kV — 1366 godzin i wreszcie 100 kV około 3000 godzin. W ostatnim przypadku naprężenie wynosiło 9 kV/mm.

Widzimy wyraźnie, że krzywe na rys. 26 leżą wyżej niż na rys. 25, przy czym krzywa IV na rys. 26 jest wyprostowana i leży ponad krzywą I odwrotnie niż na rys. 25.

Z analizy otrzymanych wyników można wyciągnąć wniosek, że dla kabli olejowych tego typu i jemu podobnych, napełnionych rzadkim olejem, nie wystarcza np.



Rys. 26. Stratność kabla olejowego po ogrzaniu i oddziaływaniu pola elektrycznego

miar tylko stratności, aby mieć dokładny pogląd na zmiany zachodzące w izolacji kabla. Całkowity i dokładny obraz daje dopiero badanie obejmujące pomiary, przeprowadzane przy napięciu podnoszonym w sposób ciągły od najniższego do najwyższego i przy ogrzewaniu kabla do temperatury powyżej 60°C.

III. KABELE GAZOWE

13. Klasyfikacja kabli gazowych.

Omawiając podział kabli wysokonapięciowych na grupy oraz podstawy teoretyczne, na których należy się opierać przy ich konstruowaniu, podaliśmy ogólne wiadomości o kablach tzw. gazowych. Tutaj omówimy bardziej szczegółowo typy, które znalazły zastosowanie w energistyce i są obecnie już od szeregu lat w eksploatacji. Należy przypomnieć, że aczkolwiek pierwszy patent na pomysł kabla wypełnionego sprężonym gazem został wydany w Ameryce w roku 1925 (Fischer i Atkinson), to jednak właściwy rozwój tego typu kabla i jego zastosowanie praktyczne nastąpiły w Wielkiej Brytanii.

Kilka firm angielskich rozpoczęło prace nad kablami gazowymi różnych typów. Najważniejsze z nich to Glover Co, W. T. Henley, The Enfield Cable Works, Callender and Construction Co. Prace nad konstrukcjami kabli gazowych dały w wyniku możliwość ułożenia w roku 1932 pierwszej przemysłowej linii kablowej na 60 kV, a w roku 1937 ułożono już kabel gazowy na napięcie 132 kV.

Do chwili obecnej ustalili się trzy zasadnicze typy kabli gazowych [10]:

1) Kabel o tzw. „poduszkach gazowych“ albo kabel nasycony pod ciśnieniem, w którym izolacją jest papier normalnie nasycony i gaz, najczęściej azot, wypełniający

przestrzeń między izolacją i płaszczem ołowianym; ciśnienie gazu wynosi przeciętnie 14 atm.

2) Kabel nasycony o napełnieniu gazowym, w którym izolacją jest papier nasycony przed nawinięciem na żyły, a wszystkie przestrzenie między papierami są całkowicie wypełnione gazem pod ciśnieniem.

3) Kabel o ciśnieniu wewnętrznym, będący odmianą znanego już kabla ciśnieniowego zaliczonego wyżej do drugiej grupy według ogólnego podziału kabli (rozdz. 2). Różni się ten kabel od kabla ciśnieniowego tym, że normalny kabel w izolacji papierowej i płaszczu ołowianym znajduje się w rurze ołowianej, a nie stalowej i przestrzeń między dwoma płaszczami ołowianymi wypełniona jest gazem pod ciśnieniem.

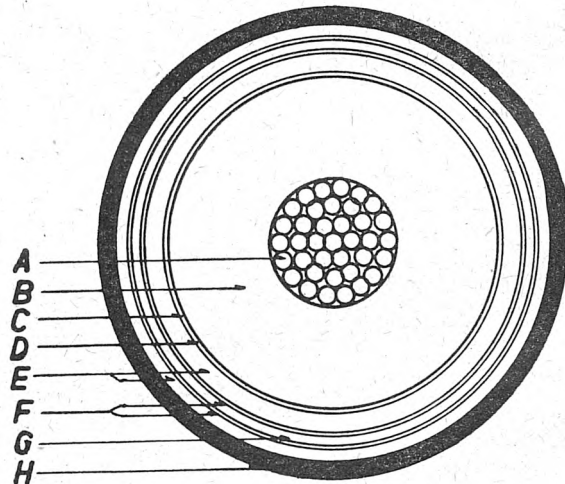
14. Kabel z poduszkami gazowymi.

Pierwszy typ kabla gazowego z poduszkami gazowymi był już opisany szczegółowo w roku 1935 [6]. Kabel ten był wykonany ze spirali między izolacją i płaszczem ołowianym; stosowanie spirali zostało w późniejszym czasie zaniechane.

Grubość izolacji w kablach z poduszką gazową dobrana musi być w ten sposób, aby największe naprężenia dielektryczne na powierzchni żyły nie przekraczały 8,5 kV/mm. Kabel napełniony jest zwykle azotem znajdującym się pod ciśnieniem roboczym 14 atm. Oczywiście, syściwo kabla wchłania pewną ilość gazu zależnie od jego właściwości fizycznych, temperatury i ciśnienia. Ciśnienie w kablu wzrasta, gdy kabel nagrzewa się w czasie pracy i wówczas ilość gazu w roztworze proporcjonalnie wzrasta. Po spadku obciążenia kabel stygnie, syściwo kurczy się, ale w żadnym wypadku nie mogą powstać takie miejsca wypełnione gazem, w których ciśnienie byłoby niższe od ciśnienia normalnego w kablu nieogrzewanym, gdyż wyrównanie ciśnienia następuje samorzutnie.

Doświadczenia wykonane z kablem opisywanego typu wykazały zgodnie ze znanymi już wynikami badań nad zależnością naprężeń jonizujących od ciśnienia, że już przy 5,25 atm. zanika całkowicie niebezpieczeństwo występowania jonizacji przy napięciach 8,5 kV/mm. Wobec tego stosowane ciśnienie 14 atm. daje już dość duży i zupełnie wystarczający stopień bezpieczeństwa pracy.

Na rys. 27 widzimy przekrój kabla na 132 kV z poduszką gazową w wykonaniu jednofazowym z żyłą okrągłą. W kablu tym między ekranem na normalnie wykonanej



Rys. 27. Przekrój kabla z poduszką gazową

A	Żyła	E	Płaszcz ołowiany
B	Izolacja	F	Taśmy bawełniane
C	Ekran	G	Taśmy niemagnetyczne
D	Przestrzeń gazowa	H	Odzież włóknista

izolacji i płaszczem ołowianym pozostawiona jest niewielka szczelina wypełniona właśnie gazem pod ciśnieniem.

Uzbrojenie kabla wykonane jest w ten sposób, że płaszcz ołowiany pokryty taśmami bawełnianymi przetykanymi nitką miedzianą, owinięty jest taśmami z metalu niemagnetycznego obliczonymi na ciśnienie panujące w kablu.

Osiłone antykorozyjną dla taśm panczerza stanowi bądź drugi płaszcz ołowiany, bądź też płaszcz z materiału syn-

tetycznego lub gumy. Odzież włóknista zewnętrzna wykonana jest jak we wszystkich kablach.

Kabel z poduszką gazową może być również wykonany z żyłą owalną; wówczas powstają dwie symetryczne szczeliny dla gazu w postaci półksiężyców między izolacją i płaszczem.

W przypadku wykonania kabla trójfazowego (dla napięć do 60 kV) trzy żyły ściągnięte są taśmą bawełnianą przetykaną drucikami jak w typie kabli o polu promieniowym, a między żyłami i płaszczem ołowianym pozostawiony jest pewien luz. Często wykonywa się również przełot dla gazu między mufami łączeniowymi pod postacią rurki ułożonej w przestrzeniach między żyłami. Następuje wówczas szybsze wyrównywanie ciśnień w kablu przy zmianie temperatury.

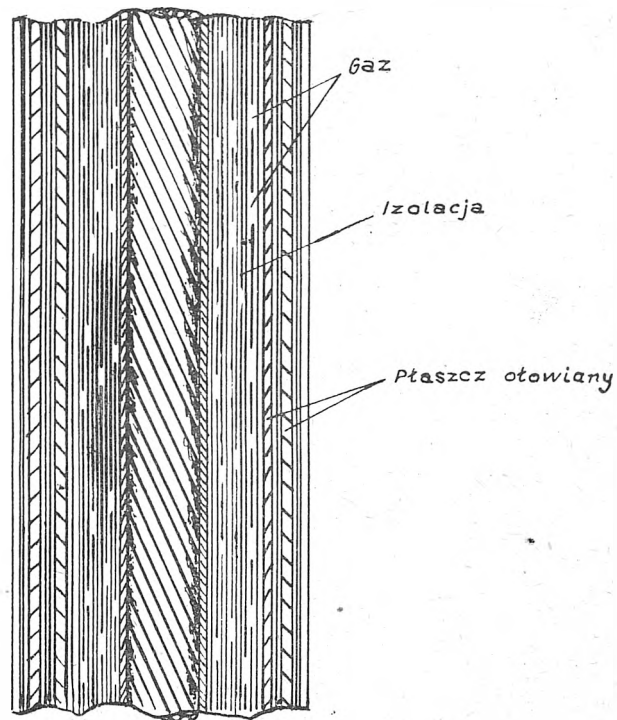
Na rys. 28 widzimy schemat urządzenia zasilającego kabel gazem przy pełnym ciśnieniu wewnątrz płaszczka wewnętrznego oraz przy niższym ciśnieniu między płaszczem wewnętrznym i zewnętrznym, gdzie chodzi o kontrolę i wykrywanie uszkodzeń płaszczki, przez które gaz mógłby przenikać. Sygnalizacja spadku ciśnienia w kablu odbywa się automatycznie.

Kable gazowe z poduszką gazową były badane specjalnie podczas pracy w pozycji pionowej. Chodziło tu o stwierdzenie, czy w tej pozycji syciwo kabla nie będzie spływało do najniższych punktów utrudniając przez to przepływ gazu wzdłuż izolacji kabla. Spływania takiego nie stwierdzono i kabel pracował zadowalająco co należy podkreślić jako dodatnią stronę kabla o poduszce gazowej.

Praktyka z kablami opisywanego typu nie jest jeszcze zbyt wielka; budowano je do 132 kV i w niezbyt wielkich

odcinków w przypadku kabli jednofazowych i unikanie tym samym trudnych do wykonania i kosztownych złączeń, jakkolwiek na ogół kabel trójfazowy kalkuluje się taniej niż trzy jednofazowe.

Należy jeszcze wspomnieć o typie pośrednim między kablem z poduszkami gazowymi i kablem ciśnieniowym,



Rys. 29. Przekrój kabla nasyconego o napełnieniu gazowym

a mianowicie o kablu, w którym gaz nie ciśnie na nieprzenikalną dla niego membranę z ołowiu, jak w kablach ciśnieniowych, lecz na warstwę, której celem jest tylko zapobieganie spływaniu syciwa w kierunku podłużnym. Warstwa ta może być wykonana np. z nasyconej taśmy jedwabnej, która, oczywiście, będzie przepuszczała gaz.

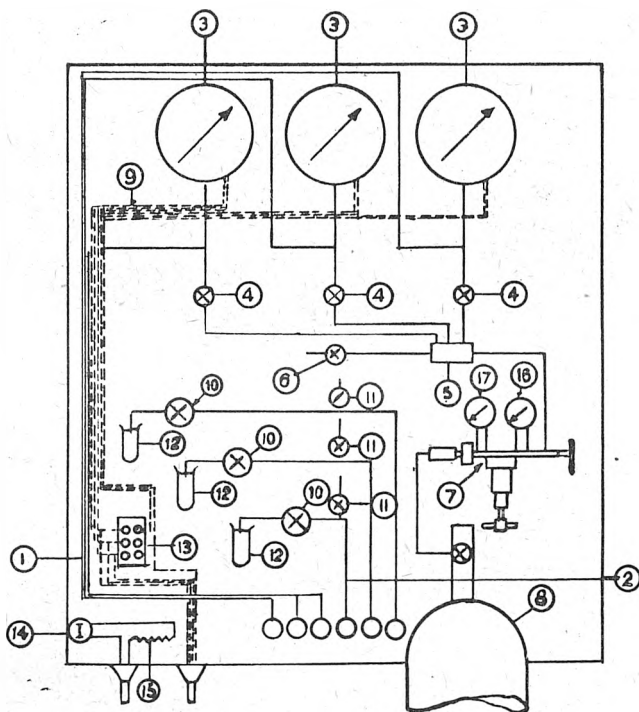
15. Kable nasycone o napełnieniu gazowym.

Kabel o napełnieniu gazowym widzimy w przekroju podłużnym na rys. 29. W kablu tym normalnie skręcona żyła w postaci linki owinięta jest papierem metalizowanym, a następnie izolowana taśmami uprzednio nasyconego papieru.

Ekran wykonany jest z taśmy miedzianej i całość oprasowana płaszczem ołowianym, obciągniętym wzmocniającymi taśmami metalowymi niemagnetycznymi ze względu na ciśnienie panujące w kablu. Drugi zewnętrzny płaszcz ołowiany oraz odzież włóknista mają na celu osłonę kabla przed uszkodzeniami mechanicznymi i izolację. Po zmontowaniu całej instalacji kabla napełnia się ją suchym azotem aż do uzyskania pożądanego ciśnienia i dołącza się urządzenie, sygnalizujące wszelkie zmiany tego ciśnienia.

Kabel o napełnieniu gazowym pracuje na tych samych zasadach co poprzedni typ i wysokość ciśnienia zależy od wielkości naprężeń, przy których chcemy pracować; należy tu stosować wszystkie zależności, o których mówiliśmy na początku. Kabel o napełnieniu gazowym budowany jest w założeniu, że jonizacja w jego izolacji nie może wystąpić przy temperaturze żyły do 100° C oraz napięciu dochodzącym do dwukrotnego napięcia roboczego, na które kabel został zaprojektowany. Stosunek przestrzeni zajętej przez gaz do objętości syciwa jest taki, że gęstość gazu na powierzchni żyły jest w przybliżeniu stała przy wszystkich temperaturach przewidywanych jako robocze dla kabla. Zapewnia to najmniejszy nacisk na płaszcz w czasie zmian ciśnienia, powstających w granicach największych i najmniejszych temperatur roboczych.

Przy badaniu tych kabli bierze się zawsze pod uwagę konieczność stosowania przede wszystkim na żyłę możliwie cienkich papierów i zmniejszenie przez to wymiarów



Rys. 28. Urządzenie zasilające do kabla z poduszką gazową

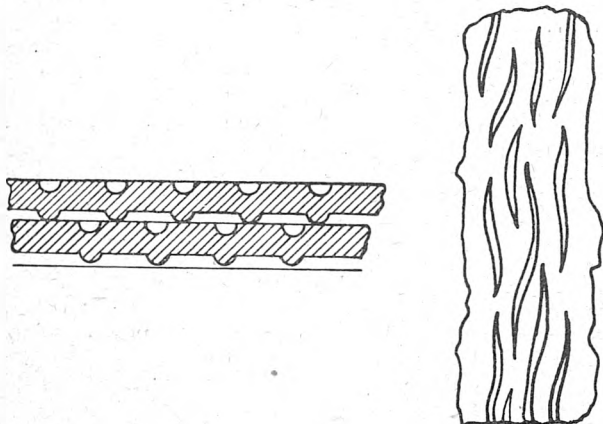
- 1 Główny dopływ gazu
- 2 Dopływ gazu między płaszczki
- 3 Manometry z przełącznikami elektrycznymi
- 4 Główne kurki gazowe
- 5 Rozdzielacz gazu
- 6 Kurek pomocniczy do gazu
- 7 Regulator ciśnienia
- 8 Butla z azotem
- 9 Przewody od przełączników elektrycznych
- 10 Kurki do gazu niskiego ciśnienia
- 11 Kurki do gazu wchodzącego między płaszczki
- 12 Wskaźniki szklane
- 13 Tabliczka rozdzielcza
- 14 Przerywacz
- 15 Grzejnik 80-watowy
- 16 Manometr wskazujący ciśnienie gazu na regulatorze
- 17 Manometr wskazujący ciśnienie gazu w butli z azotem

odcinkach. Z dotychczasowego doświadczenia można wyciągnąć wniosek, że budowa kabli trójfazowych tego typu jest mniej korzystna niż jednofazowych, a to przede wszystkim ze względu na możliwość stosowania dłuższych

w kierunku promieniowym przestrzeni wypełnionych przez gaz, co — jak wiadomo — opóźnia występowanie jonizacji.

Izolacja podstawowa kabla nasycanego wykonana jest zasadniczo przeważnie z papieru uprzednio nasycanego. Znane są jednak próby z kablami, w których papier użyty do nawinięcia warstwy izolacyjnej nie był uprzednio nasycany, a tylko bardzo starannie suszony [19]. W tym przypadku wobec nieobecności syciwa użyto dwutlenku węgla CO_2 , gazu mniej obojętnego chemicznie i o prawie dziesięciokrotnie większej rozpuszczalności w oleju izolacyjnym niż azot (N_2 — 0,126, gdy CO_2 — 1,25), ale dużo większej wytrzymałości elektrycznej (N_2 — 179, gdy CO_2 — 298).

Zastosowanie dwutlenku węgla powiększa sumarycznie wytrzymałość elektryczną izolacji kabla, chociaż nie zmie-



Rys. 30. Papier wyciskany do kabli o napełnieniu gazowym

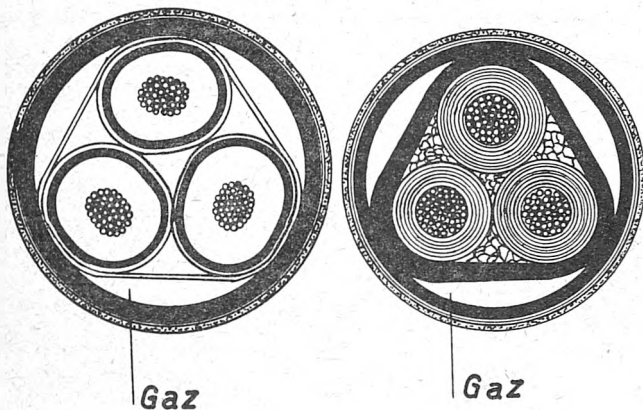
nia rozkładu pola, gdyż stała dielektryczna dwutlenku węgla jest bardzo bliska wartości dla azotu.

Kabel tak wykonany ze względu na brak syciwa nosi nazwę „kabla pod ciśnieniem nasycanego gazem“.

Ciekawym rozwiązaniem konstrukcji kabla nasycanego o napełnieniu gazowym jest kabel, którego izolacja jest wykonana z papieru z wyciśniętymi w nim wypukłościami jak na rys. 30.

Wysokość wypukłości może się zmieniać w granicach 5 — 100% grubości papieru.

Wypukłości na papierach tworzą szczeliny między warstwami izolacji i dobierając ich wielkość możemy regulować



Rys. 31. Przekrój kabla trójfazowego HSL o ciśnieniu wewnętrznym

Rys. 32. Przekrój kabla trójfazowego HSO o ciśnieniu wewnętrznym

wał odległości między papierami, gdzie następnie znajdować się będzie gaz. W ten sposób możemy wpływać na rozkład pola elektrycznego i stopniować naprężenia w dielektryku.

To stopniowanie naprężeń dielektrycznych jest bardzo korzystne w przypadku np. kabli o małym przekroju żył, gdzie różnica między największym i najmniejszym naprężeniem jest bardzo duża.

Kable z napełnieniem gazowym są wykonywane jako trójfazowe do 33 kV i jako jednofazowe dla 66-132 kV.

Ciśnienie w granicach 10 do 15 atm. pozwala na pracę przy naprężeniach 7,5 do 8,5 kV/mm. W celu stopniowania przestrzeni gazowych stosuje się grubość papieru od 0,05 mm na powierzchni żyły roboczej do 0,15 mm pod płaszczem. Pancierz, oczywiście, niemagnetyczny (stosowano również taśmy cynowe) oblicza się na ciśnienie 8,75 atm.

Jest rzeczą oczywistą, że kabel z napełnieniem gazowym może pracować w położeniu pionowym mając pod tym względem najodpowiedniejszą konstrukcję.

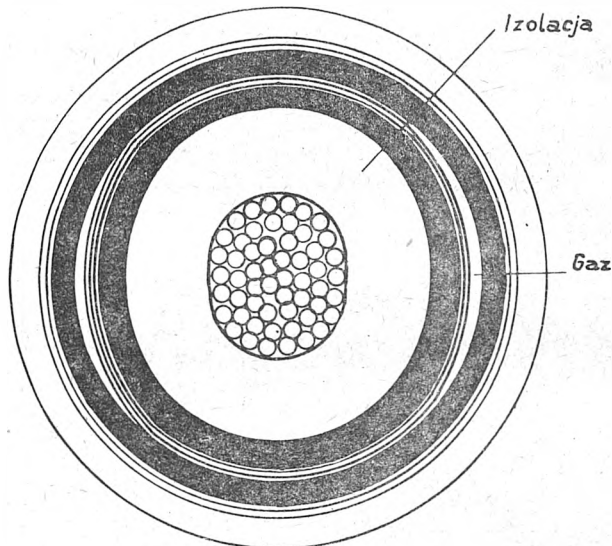
16. Kable o ciśnieniu wewnętrznym.

Kable o ciśnieniu wewnętrznym, jeżeli chodzi o zasadę, były już opisane na początku (rozdz. 7) jako kable ciśnieniowe starego typu, kiedy kabel — przeważnie trójfazowy typu Hochstädtera — był umieszczony w rurze stalowej wypełnionej gazem pod ciśnieniem kilkunastu atmosfer.

Kable te pracowały już od szeregu lat z dobrymi wynikami, gdy w Wielkiej Brytanii rozpoczęto budowę kabli, w których rurę stalową zastąpiono drugim płaszczem ołowianym, wzmocnionym następnie za pomocą pancierza, który pozwalał na stosowanie ciśnienia gazu dochodzącego do 14 atm.

Kable o ciśnieniu wewnętrznym wykonywano początkowo do 66 kV jako trójfazowe typu HSL (rys. 31) z żyłami owalnymi i typu HSO (rys. 32) znane już z kabli ciśnieniowych, po czym dla napięć do 132 kV jako jednożyłowe.

Przekrój kabla jednożyłowego na 132 kV widzimy na rys. 33. Kabel ma żyłę o przekroju 158 mm², grubość izolacji wynosi 11,7 mm. Największe naprężenie dielektrycz-



Rys. 33. Przekrój kabla o ciśnieniu wewnętrznym jednofazowego na 132 kV

ne przy napięciu roboczym 132 kV równe jest 10 kV/mm. Moc przesyłana przez kabel osiąga wielkość 100MVA przy prądzie 100 A. Wzmocnienie płaszcza zewnętrznego wykonane jest z taśm żelaznych antymagnetycznych i całość jest okryta płaszczem gumowym chroniącym kabel od korozji. Ostatnie prace w dziedzinie kabli tego typu idą w kierunku badania możliwości wykonania kabla na 264 kV przy jednoczesnym możliwie daleko idącym uproszczeniu sygnalizacji upływu gazu itp.

Mufy łączeniowe i końcowe nie odbiegają specjalnie w swej budowie od zwykłych muf na wysokie napięcie, są jednak specjalnie badane na ciśnienie hydrauliczne do 28 atm. Do muf końcowych (rys. 34) zastosowano tu izolatory z glazurą półprzewodzącą, która bardzo poprawiła rozkład pola na powierzchni izolatorów. Kable o ciśnieniu wewnętrznym wykonywane w Ameryce (typ C) otrzymują często zamiast płaszcza wewnętrznego ołowianego płaszcz z materiału syntetycznego (polietylenu).

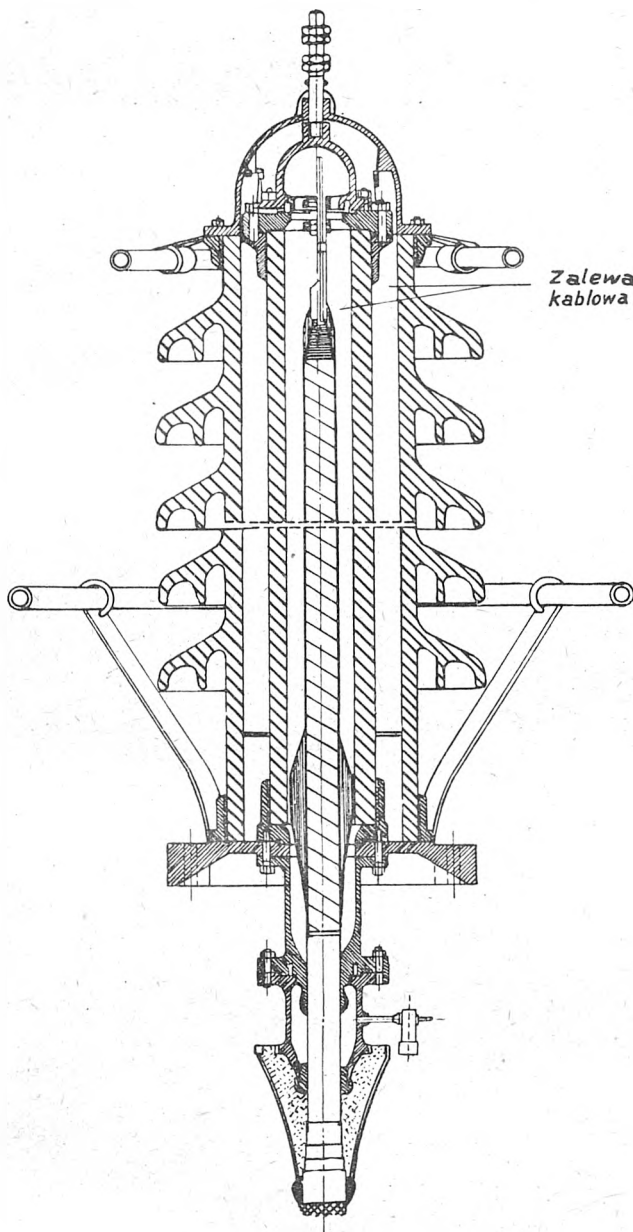
Temperatury robocze żył w kablach gazowych przyjmuje się w wysokości dochodzącej do 75° C. Stosowanie osłon włóknistych — możliwie cienkich i przewodzących

ciepło — powoduje szybko odpiw ciepła i pozwala na dużą obciążalność kabli gazowych, nie ustępującą pod względem wielkości kablom olejowym.

IV. PORÓWNAWCZY PRZEGLĄD KABLI WYSOKONAPIĘCIOWYCH NAJNOWSZYCH TYPÓW

17. Analiza i porównanie kabli gazowych i olejowych prądu zmiennego.

W założeniu, że najslusniejszy teoretycznie i najekonomiczniejszy dla bardzo wysokich napięć jest typ kabla, w którym dielektryk pozostaje pod takim ciśnieniem, że



Rys. 34. Przekrój mufy końcowej do kabla o ciśnieniu wewnętrznym

ustaje niebezpieczeństwo występowania w nim jonizacji, można dokonać porównania i analizy kabli olejowych i gazowych najnowszych typów [1].

Na rys. 35 widzimy krzywe naprężeń jonizujących dla kabli olejowych i gazowych o zredukowanej izolacji, na rys. 36 — trwałość kabli olejowych o różnych ciśnieniach i kabli gazowych pod ciśnieniem 15 atm.

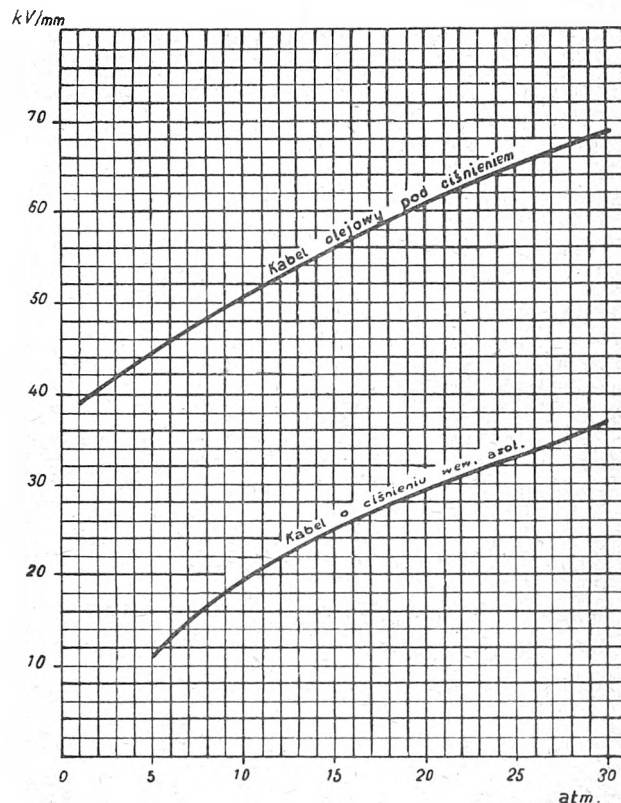
Z wykresów tych można wnioskować, że dla tego samego napięcia pracy jest możliwe dużo większe zmniejszenie grubości izolacji w kablach olejowych niż w gazowych o ciśnieniu 15 atm.

Bardzo wyraźny obraz daje porównanie stopnia bezpieczeństwa pracy kabli, obliczonego w stosunku do napięcia na powierzchni żyły (E_s). Przyjmując

E_∞ wytrzymałość na przebicie przy pracy długotrwałej $> 2 E_s$,
 E_{4h} „ „ „ dla 4 godzin pracy $> 3 E_s$,
 $E_{15'}$ „ „ „ dla 15 minut pracy $> 3,5 E_s$,
 E_{ud} „ „ „ dla fali udarowej $1/50 > 8 E_s$,
możemy zrobić zestawienie podane w tabl. II.

Kable gazowe przy badaniach trwałości wykazały, że współczynnik bezpieczeństwa musi być z czasem zmniejszony. Z tabeli widać, że dla napięcia 220 kV ciśnienie w kablu gazowym należy podnieść do 20 atm., gdyż przy ciśnieniu 15 atm. E_∞ jest mniejsze niż wymagane przez stopień bezpieczeństwa. Natomiast kable olejowe dają tu stopień bezpieczeństwa dużo wyższy. W eksploatacji oszczędności uzyskane przy kablach olejowych mogą być równoważone mniejszymi kosztami mniej skomplikowanego sprzętu w przypadku kabli gazowych. Należy pamiętać, że dla kabli gazowych trzeba uwzględnić konieczność zmniejszenia dopuszczalnego nagrzewania żyły, jeżeli w leżącym na pochyłości kablu gaz zbiera się w wyższych częściach powiększając oporność termiczną kabla.

Bardzo ważnym czynnikiem powiększającym pewność pracy wszystkich kabli jest stosowanie bardzo cienkich papierów, o czym już była mowa wyżej. Na zasadzie dotychczasowych doświadczeń można by wnioskować, że dla napięcia około 220 kV zastosowanie będą miały — zależnie od warunków pracy — kable olejowe o zmniejszonej izolacji grubości 14 mm i ciśnieniu roboczym co najmniej 8 atm., lub kable gazowe o grubości izolacji 18 mm i ciśnieniu 20 atm. Jeżeli chodzi o napięcia bardzo wysokie, to z wyników otrzymanych dla kabla na 400 kV można sądzić, że dla tych napięć stosowane będą wyłącznie kable olejowe o grubości izolacji zmniejszonej, być może, do 24 mm i o ciśnieniu oleju 14 atm. Jak wypływa z powyższej analizy, kabel gazowy, który mógłby pracować z tą



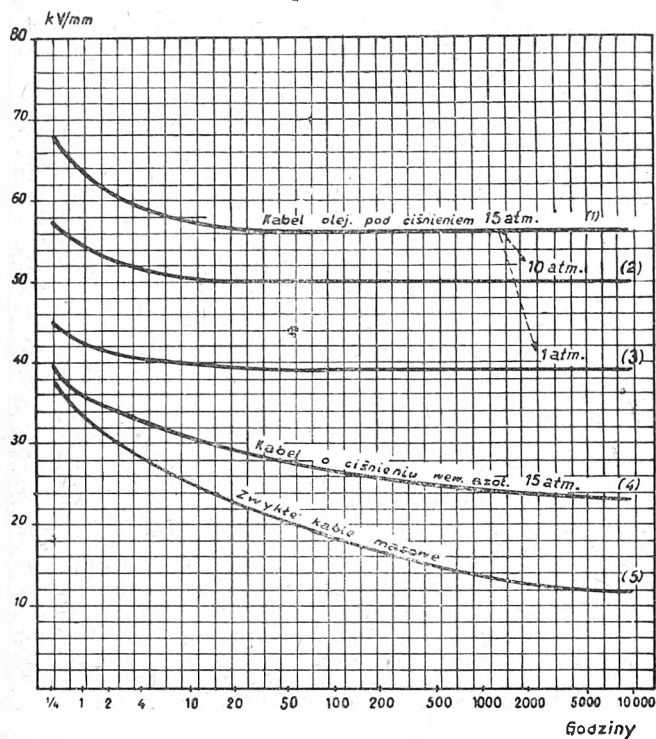
Rys. 35. Naprężenia jonizujące dla kabli olejowych i gazowych w zależności od ciśnienia

samą pewnością, musiałyby mieć ciśnienie gazu około 35 atm., które nastęrczałoby bardzo wielkie trudności techniczne.

18. Kable dla najwyższych napięć prądu stałego.

Stosowanie kabli podziemnych do przesyłania energii prądem stałym datuje się od początkowego okresu po-

wstania właściwych kabli w obecnym pojęciu, które pracowały głównie przy prądzie stałym (sieci oświetleniowe prądu stałego). Już w roku 1906 w Lyonie ułożono kabel prądu stałego na 110 kV z żyłą o przekroju 75 mm² i izolacją papierową grubości 18 mm na dopuszczalne obciążenie 150 A. W roku 1925 pracuje we Francji kabel prądu



Rys. 36. Trwałość kabli olejowych i gazowych

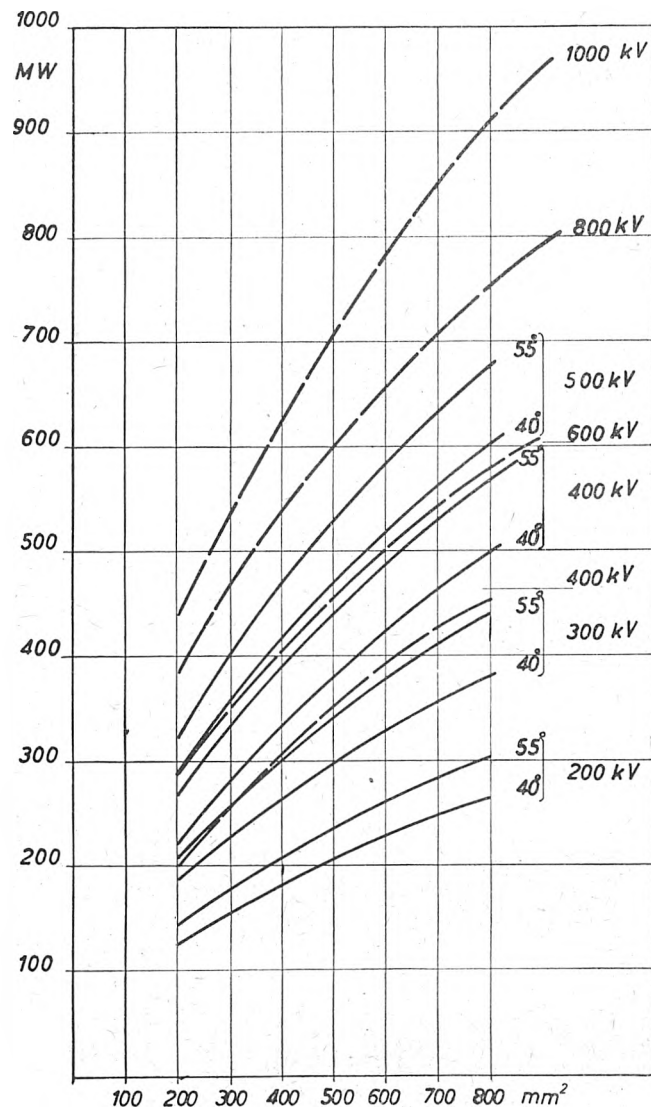
stałego na napięcie 150 kV względem ziemi (300 kV między żyłami) długości 64 km. Kabel ten ma żyłę o przekroju 190 mm² i grubość izolacji 12 mm, dopuszczalne obciążenie 150 A.

Postępy ostatnich lat w dziedzinie przesyłania energii prądem stałym spowodowały większe zainteresowanie kablami prądu stałego na bardzo wysokie napięcia i dążenie do opracowania konstrukcji, która mogłaby zastąpić linię napowietrzną zarówno pod względem większego bezpieczeństwa, jak i oszczędności.

Na zasadzie dotychczasowych doświadczeń można ustalić szereg założeń, które należy stosować przy projektowaniu i budowie tych kabli.

Podobnie jak przy prądzie zmiennym najlepszym materiałem izolacyjnym dla kabli prądu stałego jest papier nasączony olejem kablowym, przy czym papier ściśly jest lepszy od porowatego. W kablu prądu stałego nie występuje zjawisko jonizacji tak bardzo szkodliwe dla izolacji

szereg naprężenia elektryczne są proporcjonalne do oporności izolacji i przebicia następują przeważnie w papierze, a nie w oleju, gdyż oporność izolacji papierowej



Rys. 37. Zależność mocy przesyłanej przez kabel prądu stałego od przekroju żyły roboczej przy różnych napięciach

jest około 100 razy większa niż oleju. Oczywiście, naprężenia największe występują zawsze na powierzchni żyły roboczej. Porównanie trwałości kabli prądu zmiennego i prądu stałego pozwoliło na określenie potrzebnej gru-

Tablica II. Wytrzymałość na przebicie w kV/mm

Wytrzymałość na przebicie dla różnych rodzajów pracy	Kable gazowe		Kable olejowe	
	Izolacja 18 mm, 15 atm., $E_s = 11,5$ kV/mm	Izolacja 18 mm, 20 atm., $E_s = 11,5$ kV/mm	Izolacja 28 mm, 1 atm., $E_s = 11,3$ kV/mm	Izolacja 14 mm, 10 atm., $E_s = 13,5$ kV/mm
E_∞	22 (23)	26 (23)	38 (22,5)	49 (27)
E_{4h}	33 (34,5)	37 (34,5)	41 (34)	52 (40,5)
$E_{15'}$	38 (40)	42 (40)	45 (39,5)	56 (47)
E_{ud}	109 (92)	40 (92)	110 (90)	125 (108)

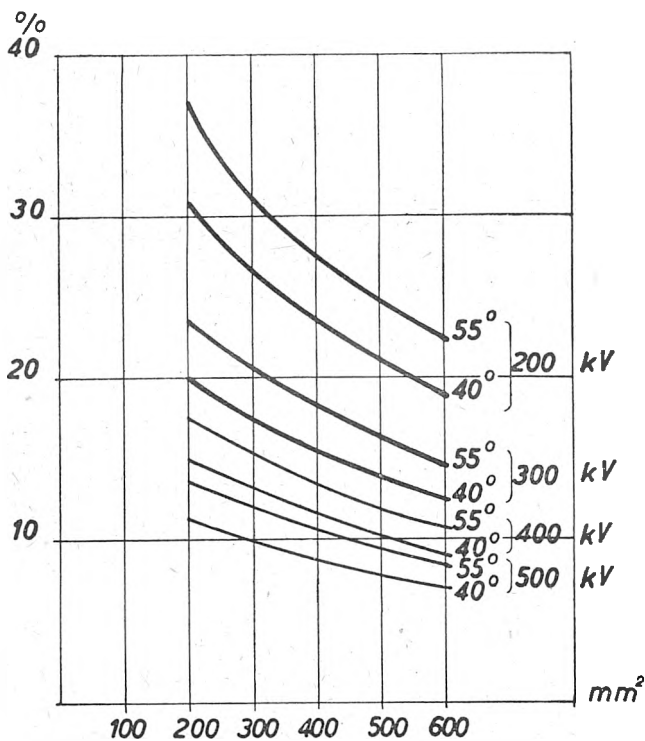
U w a g a. Wartości w nawiasach są wymagane dla kabli na napięcie 220 kV, pracujących w pozycji pionowej i starzonych w eksploatacji.

kabla prądu zmiennego, wskutek czego wytrzymałość elektryczna kabla prądu stałego w małym stopniu zależy od czasu działania napięcia, a stratność dielektryczna jest bardzo niewielka. Mechanizm przebicia elektrycznego dielektryku w kablu na prąd stały jest inny niż w kablu na prąd zmienny, gdyż dla warstw dielektryku łączonych w

bości izolacji dla kabli prądu stałego jako 3 razy mniejszej niż dla kabli prądu zmiennego.

Badania przeprowadzone na kablach zwykłych masowych oraz kablach olejowych o różnych grubościach izolacji wykazały wyższość kabli olejowych nad masowymi. Nie stwierdzono natomiast, żeby stosowanie oleju pod ci-

śnieniem w kablach na prąd stały dawało specjalne korzyści. Kable masowe poddawane wielu okresowym ogrzaniom do temperatury 70° C ulegały uszkodzeniu, gdy kable olejowe nawet o 3 razy cieńszej izolacji pozostawały nienaruszone, mimo nawet podwyższonego napięcia po



Rys. 38. Zależność spadku napięcia i straty mocy w procentach (dla kabla prądu stałego o długości 1 000 km) od przekroju żyły roboczej

przebiciu kabli z izolacją masową. W wyniku badań ustalono największe dopuszczalne naprężenia dla kabli masowych w wysokości 40 kV/mm, a dla olejowych na 50 do 60 kV/mm.

Szwedzka kablownia Lilienholm skonstruowała serię kabli olejowych z kanałem środkowym o średnicy 16 mm i grubości izolacji dla napięć: 200 kV — 3,8 mm; 300 kV — 6,2 mm; 400 kV — 8,9 mm i 500 kV — 12,0 mm. Kable te były przeznaczone do pracy z powrotem prądu przez ziemię. Współczynnik bezpieczeństwa dla tych kabli wynosił około 3, a dla fal udarowych 1/50 przekraczał 4. Wartość dla fal udarowych nie jest jednak ścisła ze względu na nieustaloną dostatecznie sprawę przepięć atmosferycznych w przypadku długich linii kablowych. Korzystne jest tu stosowanie grubszej izolacji na początku kabla.

Kable na prąd stały wysokiego napięcia z izolacją masową i jeszcze wyższych napięć skonstruowane zostały przez L. Domenacha w założeniu największego naprężenia 40 kV/mm z grubością izolacji dla 400 kV — 7,5 do 8,5 mm, 600 kV — 11,0 do 13,0 mm i 1 000 kV — 18,5 do 21,5 mm, a więc zbliżonej do grubości izolacji w kablach olejowych Lilienholm. Kable Domenacha są przewidziane do pracy w linii z powrotem przez drugi kabel, a nie przez ziemię.

Kable na najwyższe napięcie 1 000 kV przy przekroju żyły roboczej 600 mm² przesyłają moc 800 MW. Straty dla linii zbudowanych z tego kabla długości 1 000 km w założeniu krańcowej temperatury żyły poniżej 60° C wyniosą około 5% [23], [24]. Wymiary i waga tego kabla są zbliżone do kabla olejowego „Inter Paris” na 220 kV prądu zmiennego.

Na rys. 37 mamy pokazaną zależność mocy przesyłanych od przekroju żyły dla różnych napięć dla kabli olejowych przy przyroście temperatur roboczych żyły 40° i 55° C (linie ciągłe), oraz dla kabli masowych przy przyroście temperatury roboczej żyły nie przekraczającej 40° C (linie przerywane). Na rys. 38 podane są spadki napięć i straty mocy w procentach dla linii z kabli olejowych długości 1 000 km w założeniu powrotu prądu przez ziemię o oporności uziemienia równej 0,5 oma.

Analiza kosztów ułożenia linii kablowych prądu stałego daje następujące napięcia najkorzystniejsze dla pewnych mocy przesyłanych, a mianowicie:

400 do 500 kV dla 100 do 350 MW,
600 do 700 kV dla 350 do 550 MW,
800 do 1000 kV dla 550 do 900 MW.

Ponieważ koszt sieci kablowej na kilowat i kilometr maleje o jedną trzecią przy przejściu z mocy 200 MW na 900 MW, jasne jest, że najbardziej ekonomiczne jest przesyłanie wielkich mocy przy bardzo wysokich napięciach. Oczywiście, praca jednym kablem z powrotem przez ziemię zmniejsza znakomicie koszty linii kablowych, system ten jednak ma wielu przeciwników ze względu na zakłócenia, które mogą z tego powodu powstać.

Niewątpliwie dalszy rozwój przesyłania energii prądem stałym wysokiego napięcia przyczyni się do dalszego ustalenia i poprawy typów kabli, które już w chwili obecnej nie nastrożają zasadniczych trudności.

Literatura

- [1] Cables à isolant réduit sous pression. L. Domenach. CIGRÉ, 214, 1948
- [2] Le gaz sous pression utilisé comme isolant. R. F. Goossens. CIGRÉ, 117, 1948
- [3] Les câbles à haute tension. Kirch. CIGRÉ, 232, 1937
- [4] Kabełi dawlenja. M. G. Gercensztejn, 1947
- [5] One gas filled cable instead of two „solid”. F. M. Smith. EL. World, 1943, v. 120, nr 20
- [6] Gas cushion cable. Dunsheath. CIGRÉ, 247, 1935
- [7] Hoch u. Höchstspannungskabel. Borel. Bericht SEV, 1937
- [8] Le câble „oilostatic”. C. E. Bennett et R. J. Wiseman. CIGRÉ, 218, 1948
- [9] Exploitation des câbles au dessus de 100 kV aux États-Unis. L. I. Komives et H. Halperin. CIGRÉ, 222, 1948
- [10] Derniers progrès réalisés en Grande Bretagne dans la fabrication des câbles à tres haute tension. P. Dunsheath et C. H. Jolin. CIGRÉ, 207, 1946
- [11] Asea's Tidn Ref. Bl. Nr 2S 171
- [12] Cable à 400 kV. L. Domenach. CIGRÉ, 210, 1946
- [13] Le câble plat à haute tension. J. Mollerhoj. CIGRÉ, 204, 1946
- [14] Câbles à l'huile à 150 kV. C. F. Pross. CIGRÉ, 216, 1946
- [15] Un nouveau type de câble sous pression: le câble à pression intrinsèque. K. S. Wyatt i F. W. Main. CIGRÉ, 235, 1939
- [16] High voltage cables. L. Emanuelli, 1929
- [17] Proizvodstvo siłowych kabelej. W. A. Priwiczenczew i B. M. Tarejew, 1945
- [18] Le câble à remplissage gazeux. C. J. Beaver i E. L. Davey. CIGRÉ, 204, 1937
- [19] The gas-impregnated cable. A. N. Arman. Journ. Inst. EL. Eng., 1937, vol. 81, Nr 491, p. 625
- [20] Les câbles à 220 kV de la region parisienne. Laborde. CIGRÉ, 214, 1937
- [21] Contribution à l'etude des câbles électriques. Borel. CIGRÉ, 202, 1939
- [22] Progrès dans la conception des câbles a remplissage gazeux. C. J. Beaver et E. L. Davey. CIGRÉ, 208, 1939
- [23] Câbles à très haute tension pour courant continu. L. Domenach. CIGRÉ, 111, 1946
- [24] Câbles pour transmission de courant continu à haute tension. B. Hansson et B. Bjurström. CIGRÉ, 131, 1946

INŻ. STANISŁAW BLADOWSKI

Powłoki kabli podziemnych z materiałów syntetycznych

Treść. Powłoki kabli elektrycznych wykonane z materiałów syntetycznych dają poważne korzyści ze względu na zmniejszenie ciężaru kabli. Dotychczas stosowane materiały syntetyczne termoplastyczne nie wykazują jednak takiej szczelności dla przenikania wilgoci jak powłoki otwiane. Granice wymaganej szczelności powłok kablowych. Metody pomiarowe do określenia odporności powłok ochronnych na przenikanie wilgoci.

Оболочки подземных кабелей из синтетических материалов. Оболочки электрических кабелей, изготовленные из синтетического материала, дают большие преимущества в виду уменьшения веса кабелей. Применяемые доныне термопластические синтетические материалы не обладают однако требуемой непроницаемостью кабельных оболочек. Измерительные методы для определения сопротивления защитных оболочек проникновению влаги.

Underground cable sheathings of synthetic materials. Cable sheathings made of synthetic materials have important advantages, in consequence of the reduction of the weight of cables. Thermoplastic synthetic materials so far in use are not, however, so impervious to moisture as lead sheathings. Limits of imperviousness required in cable sheathings. Test methods for determining the resistance of protective sheathings against penetration of moisture.

Gaines pour câbles souterrains en produits de synthèse. Les gaines de câbles électriques exécutées en produits de synthèse apportent des avantages notables du fait de l'allègement du câble. Les produits de synthèse plastiques employés jusqu'à présent ne présentent pas la même imperméabilité à l'humidité que les gaines en plomb. Limite de l'imperméabilité exigée des gaines de câbles. Méthodes de mesure pour la détermination de la résistance des gaines de protection à la pénétration de l'humidité.

1. Wstęp.

Powłoki ołowiane kabli elektroenergetycznych i teletechnicznych mają na celu ochronę izolacji żył przed wpływami chemicznymi oraz wilgocią szczególnie wówczas, gdy kable ułożone są w ziemi. Tabl. I podaje procentowy udział powłoki ołowianej w całkowitym ciężarze kabla dla kilku przekrojów kabli trójżyłowych energetycznych różnych napięć oraz dla kilku wielkości kabli telefonicznych miejskich (kanałowych) w gołym płaszczu ołowianym.

• Tablica I. Procentowy udział ciężaru powłoki ołowianej w całkowitym ciężarze kabla

Kable elektroenergetyczne, miedziane, obołowione i opancerzone wykonane według przepisów PNE-6/1948 na różne napięcia				
	1 kV	6 kV	15 kV	35 kV
3 × 25 mm ²	30 %	34 %	39 %	—
3 × 70 „	26 „	27 „	34 „	36 %
3 × 120 „	25 „	28 „	34 „	35 „
3 × 300 „	22 „	24 „	28 „	—

Kable telefoniczne miejskie w gołej powłoce ołowianej typu TKM według przepisów PN/PNT 420, II wyd.	
20 × 4 × 0,5	70 %
50 × 4 × 0,5	72 „
300 × 4 × 0,5	61 „
20 × 4 × 0,8	76 „
50 × 4 × 0,8	71 „
300 × 4 × 0,8	61 „

Powłoki ołowiane stanowią szczególnie w kablach telefonicznych miejskich poważny procent całkowitego ciężaru kabla.

Zmniejszenie ciężaru kabli posiada duże znaczenie przede wszystkim ze względów montażowych. Ponadto zmniejszenie ciężaru kabli jest bardzo pożądane w urządzeniach elektrycznych na statkach, dźwigach, lokomotywach elektrycznych, samolotach itp. celem zmniejszenia ciężaru martwego tych urządzeń.

Ciężar kabla ma m. inn. wpływ na ustalenie długości fabrykacyjnych. Ze względów transportowych i montażowych ciężar jednego odcinka kabla wraz z bębniem rzadko kiedy przekracza 3 t. W miarę wzrostu grubości izolacji oraz liczby i przekroju żył długości odcinków fabrykacyjnych muszą być przeto coraz krótsze. Liczba muf złączowych przypadająca na 1 km linii kablowej równocześnie wzrasta. Mimo starannego montażu każde połączenie w mufach stanowi słabe miejsce linii kablowej, które w kablach wysokiego napięcia najprędzej ulec może przebiciu. Ze wzrastającą liczbą muf zwiększa się ponadto koszt montażu linii kablowej.

Z powyższych względów w budowie kabli zarówno elektroenergetycznych, jak i teletechnicznych obserwuje się dążność do zmniejszenia ciężaru kabli bądź przez ulepszenia konstrukcyjne, bądź przez lepsze wyzyskanie materiału. Wyrazem tej dążności są również nowe wydania przepisów i norm na kable, zarówno krajowych jak i zagranicznych, systematycznie od wielu lat zmierzających w kierunku zmniejszania grubości powłok ołowianych kabli. Radykalnym rozwiązaniem byłoby zastąpienie ołowiu o ciężarze właściwym 11,4 innym materiałem o mniejszym ciężarze właściwym, np. materiałem syntetycznym o cięż. wł. 1,4, któryby jednak spełniał wszelkie warunki stawiane dla powłok kabli podziemnych.

2. Właściwości powłok ochronnych kabli.

Materiał zastępczy, który by mógł być zastosowany w powłokach kablowych zamiast ołowiu, powinien wykazywać następujące właściwości:

a) stanowić szczelną powłokę nie przepuszczającą wilgoci, odporną na wpływy chemiczne związków, które znajdują się mogą w ziemi otaczającej kabel;

b) posiadać dostateczną elastyczność lub plastyczność, aby umożliwić nawijanie kabla na bęben i układanie go na krzywiznach;

c) dać się łatwo naprasować na rdzeń kabla w temperaturze, które nie doprowadzi do uszkodzenia lub spalenia izolacji żył;

d) nie wykazywać kruchości, ani nie pękać w niskich temperaturach, które panują w czasie mrozów;

e) zachowywać swe początkowe cechy fizyczne i chemiczne, albowiem powłoki nie mogą ulegać na skutek procesów starzenia się takim zmianom, któreby je czyniły nieodpowiednimi do ochrony izolacji kabli.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, iż powłoki ołowiane w zasadzie odpowiadają prawie wszystkim wyżej podanym warunkom. Ołów jest jedynym metalem, który w temperaturze otoczenia jest plastyczny, daje się łatwo lutować i stanowi idealną ochronę przed wnikaniem wilgoci. Jednakowoż duży ciężar właściwy ołowiu, a także i trudności zaopatrzenia, powodowane kurczeniem się światowych zapasów ołowiu, oraz konieczność importu rud ołowianych i ołowiu z zagranicy stały się impulsem do badań nad możliwością zastąpienia go innym materiałem.

Jako materiał zastępczy na powłoki ołowiane kabli wyśuwają się na pierwszy plan rozmaite rodzaje tworzyw syntetycznych powstałych z polimeryzacji lub kondensacji związków węgla, a ostatnio także i krzemu. W szczególności na powłoki kablowe nadają się materiały syntetyczne termoplastyczne tj. takie, które pod wpływem nagrzania w wyższej temperaturze (ok. 150°) mięknią i dają się prasować w postaci rur i powłok, w temperaturze zaś otoczenia twardnieją, są jednak jeszcze dostatecznie plastyczne, aby kabel taki można było nawinąć na bęben lub ułożyć na krzywiznach.

Materiały te należą do grup poliwinylowej, polistyrolowej i poliakrylowej. Przez zmieszanie kilku materiałów syntetycznych ze sobą, względnie przez dodanie tzw. „zmiękczaczy“ lub „napelniaczy“ można plastyczność i temperaturę mięknięcia mas termoplastycznych dowolnie zmieniać. Zaleca się tu jednak pewną ostrożność, gdyż niektóre zmiękczacze mają tendencję do wydzielania się z masy z biegiem czasu. Dyfundując na zewnątrz wydzielają się na powierzchni w postaci kropelek. Wydzielający się zmiękczacze, np. płynny węglowódor, może działać szkodliwie na znajdujące się w sąsiedztwie warstwy izolacji; ponadto sam materiał syntetyczny po wydzieleniu się zmiękczacza staje się kruchy i łatwo pęka przy zginaniu. Oczywiście, materiały syntetyczne stosowane do wyrobu powłok kablowych nie mogą wykazywać podobnych ujemnych cech.

Niektóre materiały syntetyczne, znane pod nazwą handlową jako „mipolam“, „igelit“ i „oppanol“ z grupy poliwinylowej, „stabil“ z grupy poliakrylowej oraz „benzylceluloza“, pod względem technologicznym nadawałyby się w zupełności na powłoki kablowe, jednakowoż żaden z powyższych materiałów nie okazał się tak idealnie szczelny na przenikanie wilgoci jak ołów. Stąd też w przemyśle kablowym zapanowało ogólne przekonanie, że wątpliwe jest, aby można było zastąpić powłoki ołowiane innymi materiałami zastępczymi.

Należy zaznaczyć, że badania i próby zastąpienia powłok ołowianych materiałem termoplastycznym wykonywane były początkowo przeważnie przez przemysł chemiczny produkujący materiały syntetyczne. Przemysł kablowy zachowywał się względem tych prób z dużą rezerwą. Nie bez wpływu na taki stan był fakt, że produkcja wszystkich fabryk kabli obołowionych całego świata z wyjątkiem ZSSR oraz Stanów Zjedn. Ameryki do niedawna jeszcze kontrolowana była przez potężny kartel międzynarodowy I. C. D. C. (International Cable Develo-

pement Council). Pojawienie się na rynku nowego typu kabli podziemnych bez powłoki ołowianej, nie podlegających tym samym kontroli kartelu, nie leżało w jego interesie. Stąd prace w tym kierunku zastąpienia powłoki ołowianej innym materiałem zastępczym mało interesowały przemysł kablowy. Dopiero trudności zaopatrzenia w ołów w czasie ostatniej wojny zmusiły fabryki europejskie, a zwłaszcza kablownie niemieckie do podjęcia prac w tym kierunku.

Ponieważ zastąpienie powłok ołowianych materiałami zastępczymi może mieć dla przemysłu krajowego duże znaczenie, uważamy za celowe omówić szczegółowo zagadnienie szczelności powłok ochronnych kabli oraz opisać metody badawcze, które by umożliwiły klasyfikowanie materiałów zastępczych pod względem szczelności na przenikanie wilgoci.

3. Wodoszczelność powłok kablowych.

Niebezpieczeństwo przenikania wilgoci do wnętrza kabla przez powłoki ochronne przepuszczające wilgoć zależy w dużym stopniu od sposobu i miejsca ułożenia kabla. Kable ułożone w ziemi lub w pomieszczeniach wilgotnych narażane są na stałe przenikanie wilgoci do wnętrza kabla, która powoduje zmniejszenie oporu izolacji, a nawet przebicie izolacji zwłaszcza w kablach wysokiego napięcia. Również rodzaj izolacji żył decydować będzie o stopniu niebezpieczeństwa ze strony zawilgoce. Kable teletechniczne w suchej izolacji papierowej muszą być daleko lepiej zabezpieczone przed wnikaniem wilgoci niż kable z izolacją papierową nasyconą lub izolowane gumą wulkanizowaną. Nieznaczne już ilości wilgoci w kablach teletechnicznych powodują znaczne obniżenie oporu izolacji oraz wzrost tłumienia. To też najwyższe wymagania co do szczelności powłok kablowych, mających zapobiegać wnikaniu wilgoci, dotyczyć będą materiałów, które miałyby być zastosowane w kablach telefonicznych — zarówno lokalnych jak i dalekosiężnych.

Spróbujmy przedstawić wymagania te liczbowo.

Proces przenikania wilgoci do wnętrza kabla przez powłoki z materiałów syntetycznych można uważać za zjawisko dyfuzji cząsteczek wody, względnie pary wodnej, przez błonę, którą w danym przypadku jest płaszcz kabla znajdujący się na granicy dwóch ośrodków o różnej koncentracji pary wodnej. Różnica ciśnienia pary wodnej po obu stronach powłoki kablowej wynosi:

$$p_2 - p_1$$

przy czym p_2 i p_1 określają ciśnienia pary wodnej po obu stronach powłoki w mm sł. rt. Zakładamy, że koncentracja wilgoci przy przejściu przez powłokę kablową zmienia się liniowo, co będzie ważne ściśle jedynie dla powłok bardzo cienkich, jednakowoż nie wpłynie na dalszy tok rozważań. Ilość wody N w gramach, która zostanie przepuszczona przez płytkę materiału zastępczego o powierzchni F cm² i grubości S cm w czasie t godzin obliczyć można według A. Ficka ze wzoru:

$$N = \frac{D \cdot F \cdot t \cdot (p_2 - p_1)}{S}$$

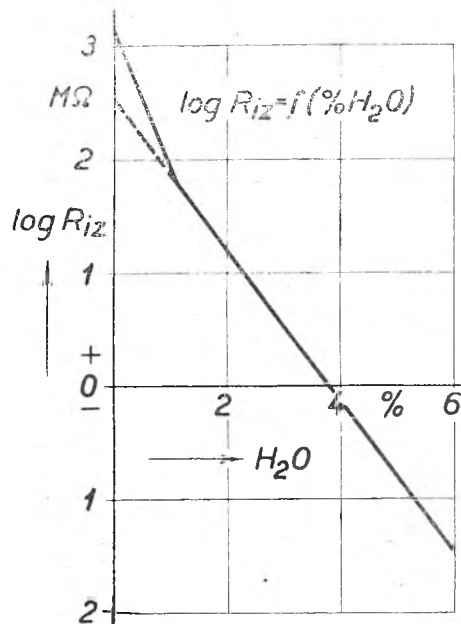
przy czym D — oznacza współczynnik dyfuzji, charakteryzujący dany materiał pod względem przepuszczalności wilgoci; odpowiada on liczbowo ilości wilgoci w gramach, która zostanie przepuszczona przez powłokę o powierzchni 1 cm², grubości 1 cm, w przeciągu 1 godziny przy różnicy ciśnienia z obu stron powłoki $p_2 - p_1 = 1$ mm sł. rt. W przypadku powłoki w kształcie walca powierzchnia próbki wynosi $F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$, jeżeli r jest średni promień powłoki, a L jej długość; $S = r_2 - r_1$.

Dla materiałów, które miałyby być użyte w miejsce powłok ołowianych, stawia się wymagania całkowitej nieprzepuszczalności dla wody tzn. $N = 0$. Należałoby rozpatrzeć warunki rzeczywiste pracy kabli i określić rzeczywiste i praktyczne granice szczelności powłok ochronnych kabli, które są konieczne i wystarczające dla prawidłowej pracy kabli.

Przed wszystkim czas pracy kabla, a tym samym czas przenikania wilgoci nie jest nieskończenie długi. Ze względu na wzrost obciążenia i rozbudowę sieci czas pracy kabli można przyjąć średnio na 20 do 30 lat. W tym okresie czasu ilość wilgoci, która by mogła przedyfundować do wnętrza kabla, nie powinna w żadnym wypadku

wpłynąć na własności elektryczne izolacji. Najbardziej czułą na wnikanie wilgoci jest izolacja z papieru naturalnego nienasyconego stosowana w kablach telefonicznych. Wpływ wilgoci zawartej w papierze na jego opór izolacji podaje rys. 1.

Przy 1% wilgoci w papierze opór izolacji jest kilkakrotnie mniejszy niż przy całkowitym wysuszeniu, jednakowoż ta ilość wilgoci nie wpływa jeszcze praktycznie



Rys. 1. Wpływ wilgoci (w procentach ciężaru papieru) na opór izolacji papieru kablowego

na zachowanie się w ruchu kabli telefonicznych miejscowych, tym mniej wpływać będzie na zachowanie się kabli elektroenergetycznych, w których przenikanie wilgoci do izolacji żył wykonanej z papieru nasyconego olejem postępuje bardzo wolno. Doświadczenia wykonane w r. 1932 w fabryce „Kabel Polski“ w Bydgoszczy z przenikaniem wilgoci do wnętrza izolacji kabli elektroenergetycznych wysokiego napięcia wykazały*, iż nawet w przypadku powstania dziur w powłoce ołowianej o dużych wymiarach dopiero po kilku miesiącach leżenia w wodzie kable badane wykazały znaczne zmniejszenie się oporu izolacji i w końcu uległy przebiciu. Potwierdzenie tych wyników spotykamy zarówno w literaturze, jak i praktyce ruchowej, gdzie kabel z uszkodzoną powłoką ołowianą zakopany w ziemi pracuje czas dłuższy, nim nastąpi przebicie lub zwarcie.

Dla określenia warunków granicznych dla powłok zastępczych kabli rozpatrzmy jednakowoż wnikanie wilgoci do wnętrza kabli telefonicznych w gołej powłoce ołowianej z izolacją papierową suchą nawiniętą luźno na żyły miedziane o średnicy 0,8 mm. Zakładamy, iż kabel jest zakopany w ziemi, przy czym średnia temperatura otoczenia w miejscu zakopania kabla wynosi + 8° C, ciśnienie cząsteczkowe pary wodnej w stanie nasycenia w tej temperaturze wynosi 8 mm sł. rt. Pomijamy ciśnienie cząsteczkowe pary wodnej wewnątrz kabla i zakładamy, iż całe ciśnienie 8 mm sł. rt. działa przez cały czas pracy kabla powodując dyfuzję wilgoci do wnętrza. Przy tych założeniach graniczna wartość wilgoci, która po 20 latach pracy kabla w tych warunkach przedyfunduje do wnętrza, nie może przekraczać 1% ciężaru izolacji papierowej znajdującej się na żyłach kabla. Przy pomocy powyższych wartości można obliczyć wartości współczynnika dyfuzji D w zależności od grubości powłoki ochronnej. Rys. 2 przedstawia krzywe wartości współczynnika dyfuzji D dla kabli typu TKM o średnicy żył 0,8 mm w zależności od grubości powłoki ochronnej i ciężaru izolacji papierowej.

Tablica II podaje ciężar izolacji papierowej oraz ilość wilgoci, która po 20 latach znaleźć się może na skutek dyfuzji wewnątrz kabla, przy różnej liczbie par.

* Ob. artykuł autora „W sprawie badań szczelności płaszcza ołowianego kabli prądu silnego“ (PE, 1932, z. 5, str. 107).

Jak wynika z wykresu, wartości współczynnika dyfuzji D leżą w granicach od 5×10^{-11} do 1×10^{-9} . Z przebiegu krzywych na rys. 2 można wysnuć wnioski dotyczące budowy powłok ochronnych. Przy stałej wartości współczynnika dyfuzji D grubość powłok ochronnych mu-

ochronnych kabla ($N = 0$) uzyska się już wówczas, gdy dany materiał zastępczy posiadać będzie współczynnik dyfuzji:

$$D \leq 10^{-12} \text{ g/cm}^2/\text{cm/godz./mm Hg.}$$

Tablica II.

Kabel telefoniczny miejski TKM; średnica żył 0,8 mm

Liczba par	Średnica pod ołowiem (mm)	Ciężar izolacji papierowej (kg/km)	Dopuszczalny ciężar wilgoci w izolacji papierowej (kg/km)
10	9,5	25,4	0,254
20	13	45,9	0,459
30	16	67,1	0,67
40	18	83,9	0,84
50	20	103,7	1,04
60	22	123	1,23
70	23	142,7	1,43
80	25	162	1,62
90	26	177,4	1,77
100	28	202,2	2,02

U w a g a. Dopuszczalną ilość wilgoci w izolacji kabla przyjęto w wysokości 1% ciężaru izolacji papierowej.

si być tym większa, im mniejsza jest średnica kabla. Wynika to jednak tylko z przyjętych założeń, według których dopuszczalna ilość wilgoci, mogąca przenikać do wnętrza kabla, jest proporcjonalna do ciężaru izolacji papierowej, a ciężar ten w kablach telefonicznych rośnie z kwadratem promienia kabla, gdy powierzchnia powłoki

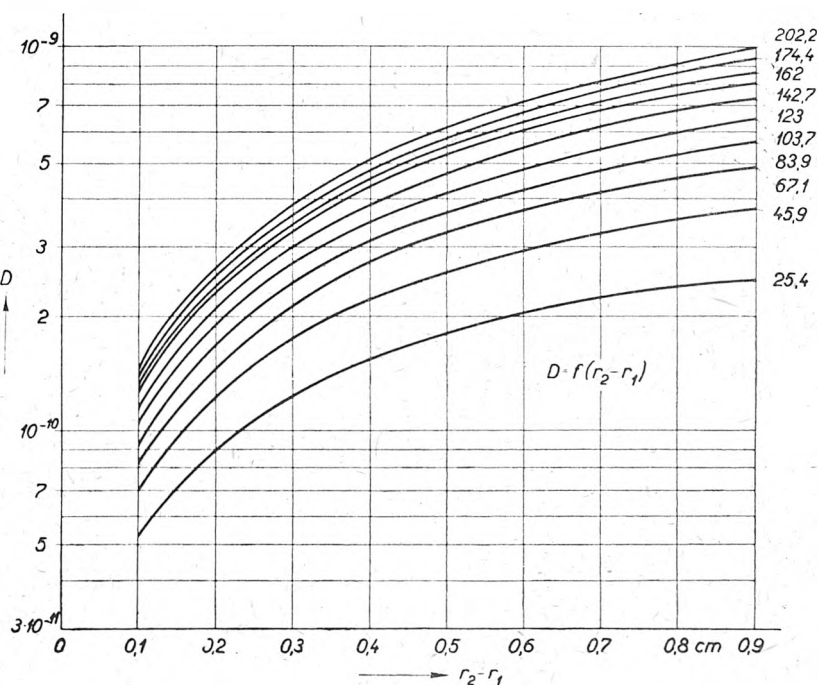
4. Pomiar współczynnika dyfuzji wilgoci.

Pomiar współczynnika dyfuzji rzędu 10^{-12} nawet przy pomocy bardzo czułych mikrowag, a także metodami chemicznymi jest bardzo trudny. Określenie przepuszczalności wilgoci na podstawie pomiaru ciśnienia pary wodnej daje stosunkowo prostą metodę klasyfikacji materiałów pod względem przepuszczalności wilgoci.

Rys. 3 przedstawia schemat układu pomiarowego. Próbkę materiału na powłoki kablowe (f) umieszczona jest w dwudzielnej puszcze (g) między pierścieniami uszczelniającymi wykonanymi z gumy. Wnętrze puszeki połączone jest przy pomocy stożków szlifowanych ze szkła z dolną (b) i górną (a) częścią aparatury pomiarowej. W górnej części (a) ustala się 100% wilgotności, w części zaś dolnej (b) mierzy się ilość wilgoci przepuszczonej przez badaną próbkę materiału.

Pomiar wykonuje się w sposób następujący. Po założeniu badanej próbki do puszeki (g) wypompowuje się z części a i b powietrze łącząc wnętrze aparatury za pomocą kurków trójdrożnych i oraz c z pompą próżniową (e). Aby w zbiorniku k woda nie wyparowała, zamraża się ją przez oziębienie do temperatury -80°C . Po ukończeniu pompowania przekręca się dolny kurek w położenie podane na rys. 3, kurek zaś górny w takie położenie, aby zbiornik k, w którym znajduje się zamrożona woda, był odłączony od dalszej części aparatury. Woda w zbiorniku k zostaje z kolei roztopiona i podgrzana do temperatury

Rys. 2. Zależność wsp. dyfuzji D od grubości powłoki ochronnej i ciężaru izolacji papierowej dla kabli typu TKM przy średnicy żył 0,8 mm, w założeniu, że czas pracy kabla wynosi 20 lat, a najwyższa zawartość wilgoci 1% ciężaru izolacji papierowej



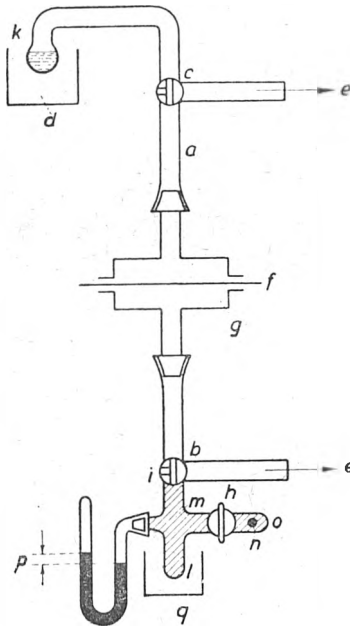
kablowej rośnie z pierwszą potęgą. W kablach elektroenergetycznych grubość powłoki ochronnej zależy będzie od przekroju, liczby żył i napięcia.

W powyższych rozważaniach przyjęto w pierwszym przybliżeniu, że izolacja papierowa ulegnie jednostajnemu zawilgoceniu. W rzeczywistości tak nie będzie. Warstwy izolacji znajdujące się bliżej powłoki ochronnej będą zawierać większy procent wilgoci niż leżące w samym środku rdzenia kabla. Jeżeli się jednak założy, że w tych warunkach średnia ilość wilgoci, która przeniknie do wnętrza kabla po 20 latach, nie będzie większa niż 1% ciężaru izolacji papierowej, wówczas zawartość wilgoci nawet w warstwach izolacji papierowej znajdującej się tuż pod powłoką ochronną będzie tak nieznaczna, że nie nastąpi żadne dające się stwierdzić pogorszenie właściwości elektrycznych kabla telefonicznego. Stąd dla założeń praktycznych wystarczającą szczelność powłok

otoczenia 20°C . Równocześnie oziębia się dolną część aparatury pomiarowej l do temperatury -80° za pomocą kąpielii q celem wymrożenia śladów wilgoci i utrzymania stałej różnicy ciśnienia $p_2 - p_1$ w czasie pomiaru. Górny kurek c przekręca się w położenie jak podano na rys. 3, aby para wodna mogła dostać się do puszeki i dyfundować przez badaną próbkę. Przechodząca wilgoć zbiera się na dole próbki w miejscu l. Po upływie określonego czasu t zamyka się kurkiem i objętość mierniczą próbki m, całkowita zawartość wilgoci zostaje odmrożona i doprowadzona do temperatury otoczenia 20° za pomocą kąpielii, po czym mierzy się za pomocą manometru rtęciowego p ciśnienie, które wówczas panuje w przestrzeni mierniczej. Ponieważ objętość miernicza jest dokładnie wycelowana, można znając ciśnienie obliczyć ilość wilgoci N, która w czasie t została przepuszczona przez próbkę badanego materiału. Metoda wyżej opisana jest praktyczna i umoż-

liwia w krótkim czasie, już po kilku minutach próby, określić w współczynnik dyfuzji rzędu 10^{-9} do 10^{-8} .

Rys. 4 podaje wzrost ciśnienia w przestrzeni mierniczej jako funkcję czasu przy badaniu folii polistyrolowej. Jest on prostoliniowy, co świadczy o jednostajnej dyfuzji pary wodnej przez próbkę w czasie pomiaru dzięki jednakowej



Rys. 3. Układ mierniczy do oznaczania współczynnika dyfuzji D

- a — górna część aparatu
- b — dolna część aparatu
- c — kurek trójdrożny
- d — kapiel I
- e — połączenie z pompą próżniową
- f — próbka badanego materiału
- g — puszka miernicza
- h — kurek dwudrożny
- i — kurek trójdrożny
- k — zbiornik z wodą
- l — objętość miernicza wymrażana
- m — objętość miernicza
- n — sól względnie wodorek wapnia
- o — dodatkowa przestrzeń miernicza
- p — manometr rtęciowy
- q — kapiel II

różnicy ciśnienia pary wodnej po obu stronach badanej próbki — na skutek wymrożenia przestrzeni pomiarowej. Dla porównania wykreślono linią kreskowaną krzywą wzrostu ciśnienia cząsteczkowego pary wodnej, gdyby pomiar wykonywano bez zamrażania przestrzeni pomiarowej. Ponieważ w tym przypadku podczas pomiaru różnica ciśnień ulega zmianie, dla określenia rzeczywistej wartości współczynnika dyfuzji należałoby wprawdzie poznać charakter przebiegu krzywej wzrostu ciśnienia, aby móc określić wartość D przy zmiennym ($p_2 - p_1$).

Dalszą zaletą opisanego metody jest to, że pomiar można wykonać w próżni względnie w atmosferze czystego wodoru, przez co unika się szkodliwego wpływu innych gazów na dokładność pomiaru.

Nieszczelności w części a nie wpływają na pomiar, nieszczelności zaś w części b można zaraz zauważyć, gdyż powietrze w temperaturze -80° nie daje się wymrozić i powoduje wzrost ciśnienia. W przypadku gdyby zachodziła obawa, że badana próbka może wydzielać gazy organiczne, można uniknąć błędów pomiarowych przez umieszczenie np. przed przestrzenią mierniczą filtru z cienkiej folii polistyrolowej, której przepuszczalność dla gazów jest wielokrotnie mniejsza niż dla pary wodnej. Można również związać chemicznie cząsteczki wody z sodem Na i zmierzyć ciśnienie wodoru, który się wówczas wyzwala, przy czym dwie drobiny H_2O wydzielają jedną drobinę wodoru H_2 . W przeciwieństwie do par organicznych wodorów w temperaturze -80°C nie jest wymrażalny, to też z wysokości ciśnienia można pośrednio określić współczynnik D . Znacznie wygodniej jest zastosować w takich przypadkach wodorek wapnia CaH_2 , który na każdą drobinę H_2O wydziela jedną cząsteczkę H_2 , daje więc dwa razy więcej wodoru niż reakcja z sodem.

Do badania współczynników dyfuzji powłok kabli i przewodów opracowano na zasadzie opisanego metody podobną aparaturę pomiarową, którą przedstawia rys. 5. Badany odcinek powłoki przewodu po usunięciu żyły metalowej umieszczony w rurce szklanej otoczony jest całkowicie parą wodną. Ciśnienie pary wodnej w stanie nasycenia określone jest jednoznacznie temperaturą wody znajdującej się w miejscu (a). Końce badanej próbki powłoki kablowej muszą być bardzo dokładnie uszczelnione przed wnikaniem wilgoci. Ilość wilgoci, która przedostanie się przez badaną powłokę, zostaje odprowadzona do układu mierniczego (m). Również i tu pomiar odbywa się w próżni. Ponieważ próba może trwać czas dłuższy — przez

kilka tygodni, a nawet miesięcy — aby utrzymać dyfuzję pary wodnej przy stałej różnicy ciśnienia, zbiornik (i) jest stale wymrażany. Tylko podczas właściwego pomiaru przez czas (t) otwiera się kurek (n), aby wprowadzić parę wodną do przestrzeni mierniczej (m) zakreślonej na rysunku, kurek zaś (l) zamyka się. Wówczas przestrzeń miernicza (m) zostaje wymrożona. Po upływie czasu (t) trwania pomiaru mierzy się ciśnienie manometrem (p), kurki zaś przekręca się w położenie wskazane na rys. 5. Manometr (c) wskazuje stałe nadciśnienie.

Opisane urządzenie wykonane jest w całości ze szkła, przy czym przy użyciu kilku takich aparatów można wykonywać pomiary i próby szczelności kilka próbek powłok kablowych równocześnie.

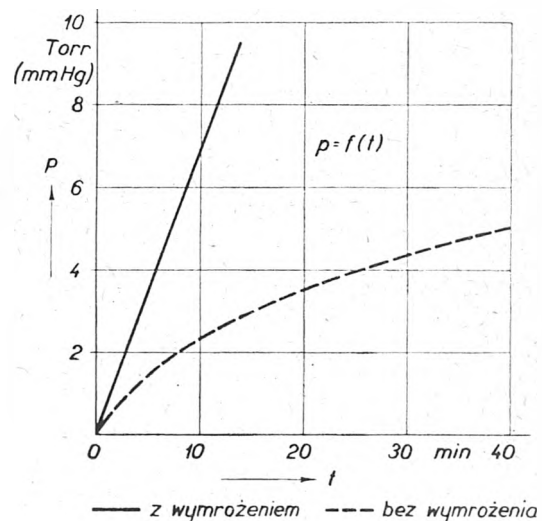
5. Porównanie wodoszczelności materiałów syntetycznych.

Przy pomocy opisanego metody zbadane zostały typowe materiały syntetyczne oraz kilka naturalnych materiałów izolacyjnych pod względem przepuszczalności wilgoci. Wyniki podaje tablica III.

Tablica III.
Współczynnik dyfuzji materiałów syntetycznych

Materiał	Współczynnik dyfuzji D
Celofan	$(2 \div 5) \times 10^{-6}$
Folia trójacetonowa	$(1 \div 1,6) \times 10^{-6}$
Mieszanka igelitowa (protodur H)	$(1 \div 2) \times 10^{-7}$
Folia polistyrolowa	$(2 \div 4) \times 10^{-8}$
Guma wulkanizowana	$(2 \div 5) \times 10^{-8}$
Gutaperka	$(6 \div 10) \times 10^{-9}$
Taśma winifolowa	10×10^{-9}
Siarczyk polietylenu	2×10^{-9}
Oppanol B 200	2×10^{-9}
Zalewa asfaltowa czarna	1×10^{-9}
Parafina	$(6 \div 8) \times 10^{-10}$
Mieszanka grafitowo-oppanolowa (protodur W)	$(1 \div 5) \times 10^{-10}$

Jak z powyższego zestawienia wynika, najmniejszą przepuszczalność dla wilgoci wykazują z materiałów naturalnych parafina, z materiałów zaś syntetycznych mieszanki oppanolowe. Oppanol jest to spolimeryzowany izobutylen pochodny etylenu CH_2 , w którym atom wodoru zastąpiony został grupą metylową CH_3 . Dodatek sadzy

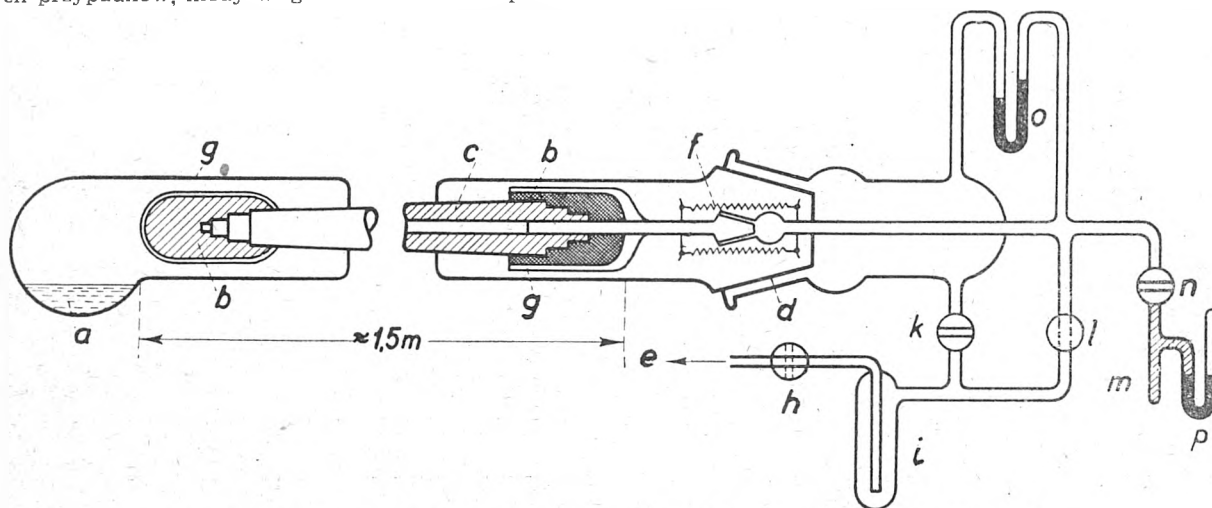


Rys. 4. Wzrost ciśnienia w przestrzeni mierniczej jako funkcja czasu dla pomiaru wykonanego z wymrożeniem i bez wymrożenia objętości mierniczej

lub grafitu umożliwia uzyskanie powłok praktycznie nie przepuszczających wilgoci. Niestety, materiał ten jest mało wytrzymały mechanicznie, tak że w razie stosowania powłok z oppanolu kable muszą posiadać opancerzenie lub inne powłoki do ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Inne materiały syntetyczne mogłyby, zależnie od wielkości wykładnika potęgowego, dać wymaganą ochronę przed wilgocią wewnątrz kabli telefonicznych, zgodnie z podanymi wyżej założeniami, przez czas krótszy — zaledwie przez kilka lat, a niektóre tylko przez kilka miesięcy, zależnie jeszcze od grubości powłoki. Dotyczy to jednak tylko tych przypadków, kiedy wilgoć stale działa na powłoki

kabli teletechnicznych, można by wreszcie stosować powłoki kombinowane, np. bardzo cienką powłokę ołowianą z na-prasowanym na niej płaszczem z materiału syntetycznego, który chroni cienki ołów przed uszkodzeniami mechanicznymi i wpływami chemicznymi. Należy się jednak spodziewać, że rozwój konstrukcji kabli pójdzie raczej w kierunku całkowitego zastąpienia powłok ołowianych ma-



Rys. 5. Urządzenie do badania przepuszczalności wilgoci powłok kablowych

a — zbiornik z wodą
b — uszczelnienie badanej próbki
c — próbka powłoki kablowej
d — szlifowane złącze stożkowe
e — połączenie z pompą próżniową
f — sprężyna
g — rurka szklana

h — kurek
i — chłodnica
k — kurek
l — kurek
m — objętość miernicza
n — kurek
o — manometr rtęciowy I
p — manometr rtęciowy II.

kablowe tj. gdy kabel ułożony jest w wodzie, w mokrym gruncie lub w pomieszczeniu stale wilgotnym. W innych przypadkach, gdy kable tylko przejściowo narażone są na działanie wilgoci, powłoki ochronne z materiałów syntetycznych okażą się niewątpliwie wystarczającą ochroną kabla. Dotyczy to przede wszystkim kabli elektroenergetycznych niskiego i średniego napięcia. W pomieszczeniach wewnętrznych na ogół suchych stosowanie powłok kablowych z materiałów syntetycznych, termoplastycznych jak np. igelit lub mopolam nie powinno nasuwać żadnych wątpliwości. W wyjątkowych przypadkach, gdzie zależy szczególnie na zachowaniu dużego oporu izolacji

teriałem syntetycznym termoplastycznym. Niektóre materiały syntetyczne oparte na połączeniach krzemu wykazują całkowitą nieprzepuszczalność wody i będą mogły zastąpić powłoki ołowiane, jeżeli tylko pod innymi względami odpowiadać będą stawianym wymaganiom.

LITERATURA

P. O. Schupp. Über die Wasserdurchlässigkeit von Kunststoffmänneln für Fernmeldekabel. Europäischer Fernsprechdienst, 1940, str. 110.

T. Brzozowski i S. Bładowski. Materiały syntetyczne w budowie kabli i przewodów. Przegl. Elektr., 1938, z. 7, str. 176.

S. Bładowski. W sprawie badań szczelności płaszczy ołowianych kabli prądu silnego. Przegl. Elektr., 1932, str. 107.

INŻ. STANISŁAW BŁADOWSKI

Nowe typy żył okrągłych w kablach aluminiowych

Treść. Opis zaproponowanej przez autora konstrukcji żył aluminiowych w kablach trójfazowych, składającej się z trzech drutów sektorowych w środku oraz jednej lub więcej warstw drutu okrągłego.

Новый тип круглых жил в алюминиевых кабелях. Описание предложенной автором новой конструкции алюминиевых жил трехфазного кабеля, состоящей из трех проволок секторообразного сечения в середине и одного или большего числа слоев круглой проволоки снаружи.

New type of round strands in aluminium cables. Description of the construction, suggested by the author, of aluminium strands in three-phase cables, the strands consisting of three sector-shaped wires in the centre, and of one or more layers of round wire.

Nouveaux types de conducteurs ronds dans les câbles en aluminium. Description de la construction de conducteurs en aluminium pour câbles triphasés proposée par l'auteur, et qui se compose de 3 fils de section en forme de secteur de cercle au milieu et de une ou plusieurs couches de fils ronds.

Żyły kabli prądu silnego posiadać mogą kształt okrągły lub sektorowy. Ze względu na mniejsze średnice kabli, które można uzyskać przy stosowaniu żył sektorowych, wykonuje się je — w myśl przepisów PNE 6 — dla przekrojów ponad 16 mm² w kablach na napięcie 1 do 10 kV. W kablach na wyższe napięcia stosuje się z reguły żyły ekranowane. Na zewnętrznej warstwie izolacji z papieru nasyczonego nawinięta jest warstwa papieru metalizowanego, która stanowi ekran dla pola elektrostatycznego w izolacji.

Celem uzyskania bardziej jednostajnego rozkładu pola elektrycznego w kablach ekranowanych żyły, skręcone z drutów w postaci linki, posiadają z reguły kształt okrągły.

Dotychczas wykonywano najczęściej żyły okrągłe aluminiowe w taki sam sposób, jak żyły miedziane skręcone z drutów w linkę o jednakowej średnicy.

Przepisy PNE 6 na kable aluminiowe dopuszczają — ze względu na większą miękkość drutów aluminiowych — stosowanie żył aluminiowych w postaci drutu pełnego aż do przekroju 50 mm² włącznie. Dla wyższych wartości przekroju żyły linki mogą być skręcone ze znacznie mniejszej liczby drutów niż żyły miedziane tego samego przekroju.

Tabl. I podaje najmniejszą liczbę drutów w żyłach miedzianych i aluminiowych według przepisów PNE 6/48.

Dotychczas wykonywano wyższe przekroje żył aluminiowych, skręcone z drutów o jednakowej średnicy, jak żyły miedziane. Linki takie były w praktyce trudniejsze

Tablica I. Liczba drutów w okrągłych żyłach kablowych

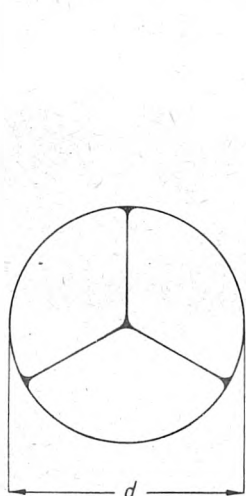
Okrągłe żyły miedziane		Okrągłe żyły aluminiowe	
przekrój (mm ²)	liczba drutów	przekrój (mm ²)	liczba drutów
1,5—10	1	2,5—50	1
16 —35	7	70—150	3
50 —95	19	185	11
120 —240	37	240—300	13
300 —500	61	400	24
625 —1000	91	500—625	26
		800—1000	39

do spawania w miejscach łączenia żył ze względu na mniejszą średnicę i większą liczbę drutów, stanowiących linkę.

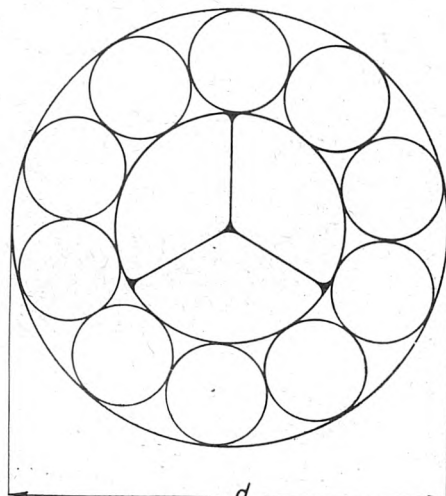
Tabl. II podaje budowę żył skęconych z n drutów o jednakowej średnicy d , średnicę zewnętrzną żyły D oraz współczynnik wyzyskania przekroju żyły f (stosunek procentowy sumy przekrojów wszystkich drutów stanowiących linkę do przekroju samej linki):

$$f = \frac{d^2 \cdot n}{D^2} \cdot 100\%$$

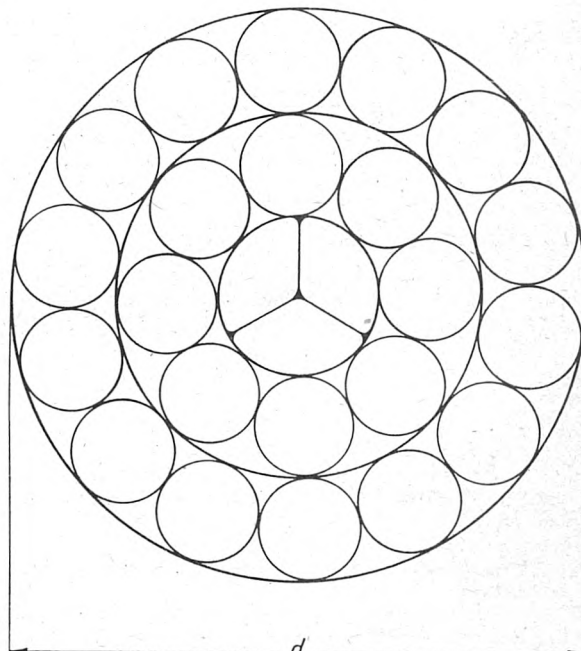
Rys. 1, 2 i 3 podają budowę żył aluminiowych wielodrutowych konstrukcji autora, wykonanych jako linki



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

skręcone z drutów o różnej średnicy i odpowiadających ściśle przepisom PNE 6/48:

Tabl. III podaje budowę okrągłych żył aluminiowych, skręconych z żył o różnej średnicy, dla najczęściej stosowanych przekrojów do 625 mm². Do budowy żył użyto średnic drutu, mających już zastosowanie dla innych przekrojów nie objętych tablicą, jak np. drut o średnicy

Tablica III. Budowa okrągłych żył aluminiowych

Przekrój żyły (mm ²)	Typ	Liczba drutów	Budowa żyły	Liczba warstw	Średnica zewnętrzna żyły (mm)	Współczynnik wyzyskania przekroju (%)
50	I	3	3 × sekt.	—	8,2	98
70	I	3	3 × sekt.	—	9,5	98
95	I	3	3 × sekt.	—	11,2	97
120	I	3	3 × sekt.	—	13,5	97
150	I	3	3 × sekt.	—	14,0	97
185	II	11	3 × sekt. (50 mm ²) + 8 × 4,65 mm	1	17,4	83
240	II	13	3 × sekt. (70 mm ²) + 10 × 4,65 mm	1	18,7	83
300	II	13	3 × sekt. (95 mm ²) + 10 × 5,10 mm	1	21,4	83
400	III	25	3 × sekt. (50 mm ²) + (8 + 14) × 4,52 mm	2	26,3	74
500	III	25	3 × sekt. (50 mm ²) + (8 + 14) × 5,10 mm	2	28,4	79
625	III	29	3 × sekt. (95 mm ²) + (10 + 16) × 5,10 mm	2	31,6	79

typ I (rys. 1) składa się z 3 drutów profilowych (sektorowych), stosowany jest dla przekrojów 50, 70, 95, 120 i 150 mm², ponadto jako rdzeń dla żył typu II i III;

wanych przekrojów do 625 mm². Do budowy żył użyto średnic drutu, mających już zastosowanie dla innych przekrojów nie objętych tablicą, jak np. drut o średnicy

typ II (rys. 2) składa się z rdzenia z 3 drutów sektorowych (jak typ I) oraz z jednej warstwy drutów okrągłych, stosowany jest dla przekrojów kabla 185, 240 i 300 mm²;

Tablica II. Żyły okrągłe skręcone z drutów o jednakowej średnicy

Przekrój (mm ²)	Budowa linki $n \times d$	Liczba warstw	Średnica linki (mm)	Współczynnik wyzyskania przekroju f (w%)
70	19 × 2,17	2	10,85	76
95	19 × 2,52	2	12,60	76
120	37 × 2,03	3	14,21	75,5
150	37 × 2,27	3	15,89	75,5
185	37 × 2,52	3	17,64	75,5
240	37 × 2,87	3	20,60	75,5
300	61 × 2,50	4	22,50	75,2
400	61 × 2,89	4	26,01	75,2
500	61 × 3,23	4	29,00	75,2
625	91 × 2,96	5	32,50	75

typ III (rys. 3) składa się z rdzenia z 3 drutów sektorowych (jak typ I) oraz z 2 warstw drutów okrągłych, stosowany jest dla przekrojów ponad 300 mm².

4,52 mm (o przekroju 16 mm²). Otrzymuje się więc budowę korzystną.

Zalety proponowanych konstrukcji żył okrągłych są następujące:

1) ok. 5—12% mniejsza średnica żyły nowego typu w stosunku do żyły skręconej z drutów jednakowych, stąd oszczędności w zużyciu papieru izolacyjnego, ołowiu i pancerzy;

2) prawie o 40% tańsze koszty wykonania żyły skutkiem zastosowania większej średnicy drutów (tańsza robocizna przeciągania), mniejszej liczby drutów i warstw w lince (mniejsze koszty szpulowania drutów i skręcania);

3) łatwiejszy sposób wykonywania połączeń żył przez spawanie.

Zachodziłoby jeszcze pytanie, czy przez zastosowanie żył nowego typu kabel nie będzie bardziej sztywny.

Żył nowego typu mają być wykonywane tylko z aluminium, które jest bardziej miękkie, aniżeli miedź. Giętkość linki zależy przede wszystkim od giętkości warstw zewnętrznych, skręconych z drutów.

Rdzeń złożony z sektorów wpływa na giętkość linki bardzo mało. Giętkość kabla wysokiego napięcia, posiadającego dość znaczną grubość izolacji papierowej, zależy przede wszystkim od sposobu wykonania samej izolacji. Wpływ żyły metalowej w grubej izolacji papierowej nasyconej na giętkość całego kabla wysokiego napięcia jest mały.

INŻ. CYRYL NIEWIADOMSKI

Aldrej jako materiał na przewody napowietrzne^{*)}

Treść. Przedstawiono zasady produkcji drutów z aldreju i porównano własności mechaniczne i elektryczne przewodów z tego stopu z własnościami przewodów z miedzi i aluminium oraz przewodów stalowo-aluminiowych. Stwierdzono, iż aldrej jest jednym z najlepszych materiałów na przewody napowietrzne.

Альдрей, как материал для воздушных проводов. Изложены основы производства альдреевой проволоки и сравниваются механические и электрические свойства проводов из этого сплава со свойствами медных, алюминиевых и сталюалюминиевых проводов. Установлено, что альдрей является одним из лучших материалов для воздушных проводов.

Aldrey as a material for overhead line conductors. The article explains the principles of manufacture of wire from aldrej alloy and provides comparisons of the mechanical and electrical properties of conductors made of this alloy, of copper, and of aluminium wire, as well as of steel-aluminium conductors. It has been proved that aldrej constitutes one of the best materials for the manufacture of conductors of overhead lines.

L'aldréj, alliage pour conducteurs aériens. L'auteur présente les principes de la production de fils en aldrej et compare les propriétés mécaniques et électriques des conducteurs en cet alliage avec les propriétés des fils de cuivre et d'aluminium, ainsi que des conducteurs en aluminium-acier. On peut constater que l'aldréj est un des meilleurs produits pour conducteurs aériens.

1. Wstęp²⁾.

Dopóki technika nie umiała rozwiązać zagadnienia produkcji aluminium o dostatecznej czystości i odpowiednio niskiej cenie, podstawowym materiałem, z którego budowano linie napowietrzne do przesyłania energii elektrycznej, była miedź.

Na przełomie XIX i XX wieku produkcję aluminium wreszcie praktycznie opanowano, dzięki czemu stworzono możliwości przewrotu w energetyce, oddając do jej dyspozycji materiał o trzykrotnie mniejszym ciężarze właściwym i jednocześnie tylko o ok. 40 proc. mniejszej (w porównaniu z miedzią) przewodności elektrycznej. Do przewrotu w krótkim czasie jednakże nie doszło, gdyż podaż miedzi w tym okresie była jeszcze znacznie większa niż podaż aluminium oraz ponieważ konserwatywni i uprzedzeni do nowego surowca nie sprzyjały jego zastosowaniu.

Z biegiem czasu konstruktorzy linii napowietrznych nabierali jednak coraz większego przekonania do aluminium, czego pierwszym wyrazem była budowa w Anglii w pobliżu Northallerton (Yorkshire) w 1899 r. linii z przewodów aluminiowych o długości kilku kilometrów. Prawdziwego wyłomu, podobnie jak i w wielu innych dziedzinach, dokonały jednak Stany Zjednoczone, budując w latach 1901—1904 przez firmę Niagara-Falls Power Co. linię o napięciu 22 kV, do której zużyto 132 t linki aluminiowej o przekroju 250 mm². Do 1910 r. waga przewodów aluminiowych, zużytych do budowy linii napowietrznych w Stanach Zjednoczonych, wynosiła już ok. 1000 t.

W 1910 r. zdecydowano się na budowę linii aluminiowych w Europie, a mianowicie w Niemczech i Francji, a następnie w 1914 r. i w Szwajcarii. Zastosowanie tego surowca było jednak wciąż jeszcze bardzo nieznaczne i dopiero brak możliwości zakupu miedzi w czasie pierwszej wojny światowej zmusił niektóre kraje, w szczególności Niemcy, do zwrócenia większej uwagi na aluminium, którego rud było i jest w Europie pod dostatkiem.

Od tego okresu następuje prawdziwie szybki wzrost zastosowania przewodów aluminiowych, których następnym etapem rozwoju technicznego były linki stalowo-aluminiowe o zwiększonych własnościach wytrzymałościowych.

Linki stalowo-aluminiowe posiadają jednak pewne wady, z których najbardziej zasadniczymi są: duży ciężar, sztywność i mała wartość jako łomu ze względu na duże koszty oddzielania drutów aluminiowych od rdzenia stalowego. Niedogodność, opanowaną praktycznie, stwarza również duża różnica plastyczności oraz współczynników rozszerzalności cieplnej elementów linki stalowo-aluminiowej.

Wymienione wady tych linek zniechęciły niektórych konstruktorów do ich stosowania i skłoniły do ponownego zastępowania linek stalowo-aluminiowych linkami splecionymi wyłącznie z drutów aluminiowych. Praktyka jednakże wkrótce wykazała, iż użycie tych ostatnich linek podraża znacznie koszty konstrukcji dźwiznej, która dla linek aluminiowych jest droższa niż dla miedzianych.

Ponieważ wszystkie znane materiały do budowy linii posiadały pewne braki, rozpoczęto badania nad wynalezieniem bardziej odpowiedniego materiału, który oprócz małego ciężaru właściwego, dobrej przewodności i odporności na korozję posiadałby wystarczające własności wytrzymałościowe, usprawiedliwiające gospodarczo jego zastosowanie do budowy linii napowietrznych do przesyłania energii elektrycznej.

Tym materiałem okazał się aldrej, stop o osnowie aluminiowej, typu Al-Mg-Si, wynaleziony i opatentowany w 1924 r. przez Aluminium-Industrie A. G., Neuhausen (Szwajcaria). Podobne stopy, znane pod nazwami: „alucable“, „almelec“, „silmalec“ i „telalco“, zostały wynalezione i opatentowane przez Tréfileries du Havre (Francja), British Aluminium Co Ltd (Anglia) względnie przez Società Metallurgica Italiana — Milano (Włochy).

Z chwilą wynalezienia i sprawdzenia możliwości zastosowania praktycznego aldreju zagadnienie zastąpienia miedzi w budowie przewodów napowietrznych zostało ostatecznie rozwiązane, czego najbardziej jaskrawym dowodem jest zarządzenie z dnia 17. 12. 1934 r., zabraniające używania miedzi w Niemczech do budowy przewodów napowietrznych o przekroju linki większym niż 10

¹⁾ Wstępne wiadomości o aldreju były podane już w Przeglądzie w artykule inż. J. Adamskiego pod tyt. „Aldrej — stop lekki na przewody elektryczne“ (PE, 1947, z. 11/12, str. 351). Niektóre z przytoczonych tam tablic są tu powtórzone dla całości obrazu. (Przyp. red.).

²⁾ Ob. wykaz literatury w końcu artykułu [1, 4, 5, 7—10, 18, 21, 62].

mm². Przewody napowietrzne miedziane zostały w Niemczech w ten sposób całkowicie zastąpione przewodami aluminiowymi, stalowo-aluminiowymi oraz aldrejowymi.

2. Zasady produkcji drutów aldrejowych.

A. Skład chemiczny [5, 7, 33, 37, 50, 53, 76, 77, 88]

W myśl patentu aldrej jest to stop lekki o osnowie aluminiowej, posiadający lepsze niż aluminium własności wytrzymałościowe, a ustępujący mu niewiele pod względem przewodności elektrycznej i odporności na korozję. Materiał taki otrzymano dzięki odpowiedniemu pod względem jakościowym i ilościowym doborowi składników stopowych oraz zastosowaniu odpowiedniej obróbki termicznej.

Składnikami stopowymi są magnez i krzem, tworzące związek międzymetaliczny Mg_2Si rozpuszczalny w aluminium w stanie stałym, tzn. tworzący z nim roztwór stały. Charakterystyczną cechą tego roztworu stałego jest zmienna rozpuszczalność Mg_2Si w aluminium w zależności od temperatury. W temperaturze eutektycznej wynosi bowiem ona ok. 1,8%, natomiast w temperaturze pokojowej tylko ok. 0,5% Mg_2Si .

Rozpuszczalność Mg_2Si zależy również od stosunku zawartości krzemu do magnezu w stopie. Jeżeli stop zawiera nadmiar krzemu, nie mogącego połączyć się z magnezem w postaci związku Mg_2Si , rozpuszczalność tego związku w aluminium maleje bardzo nieznacznie. Jeżeli stop zawiera natomiast nadmiar magnezu, rozpuszczalność Mg_2Si maleje bardzo wydatnie, co znowu ma niekorzystny wpływ na efekt końcowy obróbki termicznej. Dlatego nadmiar magnezu jest w stopie niepożądany, nadmiar zaś krzemu jest korzystny, ponieważ wprawdzie obniża on rozpuszczalność Mg_2Si , lecz jednocześnie zwiększa efekt obróbki termicznej dzięki temu, że sam tworzy z aluminium roztwór stały o zmiennej rozpuszczalności. Najkorzystniejsze własności wytrzymałościowe uzyskuje się wówczas, gdy zawartość krzemu jest mniej więcej dwa razy większa niż zawartość magnezu w związku Mg_2Si .

Przez dodanie wyżej wymienionych składników stopowych następuje automatycznie utwardzenie aluminium, którego efekt można zwiększyć przez odpowiednie warunki przeróbki plastycznej i obróbki termicznej materiału. Od tych warunków, omówionych poniżej, zależy również stopień spadku przewodności elektrycznej, spowodowanego dodaniem składników stopowych tworzących roztwór stały z aluminium. Spadek ten można zmniejszyć do wielkości, która umożliwia zastosowanie stopu w praktyce linii elektrycznych.

Uwzględniając powyższe uwagi ustalono, iż zawartość magnezu i krzemu w aldreju powinna wahać się w następujących granicach:

$$\begin{aligned} Si & 0,5 - 0,6\% \\ Mg & 0,4 - 0,7\% \end{aligned}$$

przy czym jako najkorzystniejszą zawartość uważa się dla krzemu — 0,55%, dla magnezu — 0,45%.

Inne dodatki lub zanieczyszczenia stopowe są w aldreju niepożądane, ponieważ powodują zmniejszenie przewodnictwa lub odporności na korozję, przy czym najbardziej szkodliwym zanieczyszczeniem jest miedź.

Niekorzystnym zanieczyszczeniem, znajdującym się zawsze w aluminium hutniczym, jest również żelazo. Powoduje ono wprawdzie utwardzenie stopu, ale jednocześnie w wyniku jego obecności następuje zahamowanie efektów obróbki termicznej oraz obniżenie odporności na korozję. Pierwsze zjawisko daje się zneutralizować przez obecność magnezu, natomiast drugiego zjawiska usunąć nie można i z tego właśnie powodu należy dążyć do jak najmniejszej zawartości żelaza możliwie do 0,1%, w żadnym zaś wypadku — nie należy przekraczać 0,3%.

B. Wytop i odlewanie bloków

Przy wytopie aldreju trzeba przestrzegać takich samych zasad, jak i przy innych stopach lekkich. Szczególną uwagę należy zwracać na utrzymanie możliwie niskiej temperatury wytopu, która nie powinna przekraczać 700—730°, oraz na właściwe użycie topników odtleniających i odgazowujących wytop. Do wsadu można używać tylko czystego siowca, własnych odpadków produkcyjnych oraz zanalizowanego przetopu z łożu aldrejowego. Krzem dodaje się w postaci stopu wstępnego z aluminium,

magnez zaś w postaci metalicznej lub w postaci stopu wstępnego również z aluminium.

Odewanie bloków do walcowania drutu (wirebars) lub bloków do jego tłoczenia nie przedstawia żadnych trudności. Zastosowanie wlewni przechylnych zapewnia uzyskanie całkowicie zdrowych odlewów.

C. Przeróbka plastyczna na gorąco [87, 88]

Przeróbkę plastyczną na gorąco odlanych bloków można przeprowadzać drogą walcowania lub prasowania. Najkorzystniejsza temperatura tej przeróbki wynosi 480 do 500° i nie powinna być w żadnym wypadku niższa niż 450°.

Końcowa średnica walcówki lub prasówki zależy od średnicy produkowanego drutu, ponieważ jego najlepsze własności uzyskuje się wówczas, gdy następny zgniot drogą przeciągania wynosi minimum 90—95%. Po uwzględnieniu tej okoliczności średnica walcówki lub prasówki powinna wahać się od 12 do 15 mm.

Własności drutu tłoczonego są zawsze lepsze niż własności drutu walcowanego. Drut tłoczony jest bardziej jednorodny i posiada gładszą powierzchnię w porównaniu z drutem walcowanym, gdyż w czasie tłoczenia następuje lepsza przeróbka plastyczna materiału. Wadą organiczną procesu walcowania jest niemożliwość usunięcia z powierzchni bloku odlewniczego do wnętrza materiału składników strukturalnych, segregujących się w czasie odlewania w kierunku ścian wlewnicy w wyniku zjawiska odwrotnej likwacji.

Powyższe rozważanie teoretyczne nie powinno jednak odstraszać praktyków od stosowania walcowania, ponieważ różnice własności drutu tłoczonego i walcowanego są w rzeczywistości bardzo małe.

D. Obróbka termiczna i przeciąganie drutu

Podstawy teoretyczne. Gdyby prasówkę lub walcówkę poddano tylko przeciągnięciu, wówczas zarówno własności wytrzymałościowe jak i własności plastyczne, odporność na korozję oraz przewodność elektryczna drutu nie odpowiadałyby żądanym wymaganiom. Sam zgniot nie mógłby dostatecznie utwardzić materiału, własności zaś plastyczne, przewodność elektryczna i odporność na korozję byłyby zbyt niskie z powodu obecności naprężeń wewnętrznych.

Dla uzyskania odpowiednich własności wytrzymałościowych i przewodności wykorzystuje się podatność stopu do obróbki termicznej dzięki zmiennej rozpuszczalności związku Mg_2Si w zależności od temperatury.

Jak wiadomo, każda obróbka termiczna stopów lekkich składa się z operacji hartowania, którego skutkiem jest spontaniczne starzenie naturalne oraz z ewentl. operacji sztucznego starzenia. W wyniku hartowania uzyskuje się strukturę homogenicznego roztworu stałego związku międzymetalicznego w aluminium. Stan ten charakteryzuje się stosunkowo niskimi własnościami wytrzymałościowymi i małą przewodnością elektryczną. Starzenie naturalne, w czasie którego powstaje specjalny stan rozmięszczenia atomów w siatce przestrzennej materiału bez zmiany jego mikrostruktury, podwyższa własności wytrzymałościowe, lecz obniża jeszcze bardziej przewodność. Dopiero zastosowanie sztucznego starzenia, dzięki tzw. wydzielaniu się cząsteczek związku międzymetalicznego z przesyconego roztworu stałego, powoduje powstawanie w materiale stanów pośrednich, termodynamicznie niestabilnych, lecz praktycznie trwałych, które charakteryzują się wysokimi własnościami wytrzymałościowymi oraz jednocześnie dobrą przewodnością bez zmiany wielkości ziarna. Od wielkości i sposobu tego wydzielania zależą ostateczne własności materiału, przy czym zasadniczy wpływ na nie posiada odpowiedni wybór czasu i temperatury sztucznego starzenia.

Stwierdzając konieczność stosowania hartowania i sztucznego starzenia należy jeszcze wyjaśnić, w jakim momencie produkcji należy rozpocząć przeciąganie prasówki lub walcówki. Gdyby przeciąganie przeprowadzono przed hartowaniem, stracono by jego efekt utwardzania wskutek ogrzania materiału do temperatury hartowania, przewyższającej znacznie temperaturę rekryształizacji. Wprawdzie przez następną obróbkę termiczną przeciągniętego drutu można uzyskać żądane własności, lecz

jej zasadniczą wadą w tej kolejności jest nieekonomiczna długotrwałość. Gdyby przeciąganie przeprowadzono po zakończeniu starzenia sztucznego, przewodność elektryczna zmalałaby z powodu obecności naprężeń wewnętrznych wywołanych zgniotem. Z tego wynika więc, że przeciąganie należy przeprowadzać w praktyce pomiędzy operacją hartowania i sztucznego starzenia, jakkolwiek teoretycznie jest ono usprawiedliwione również i przed hartowaniem.

W dalszym ciągu należy jeszcze wyjaśnić, czy przeciąganie trzeba przeprowadzać bezpośrednio po zahartowaniu, czy też po krótszym lub dłuższym okresie starzenia naturalnego. Z teorii starzenia wiadomo, że w stopach typu Al-Mg-Si, do których należy aldrej, istnieje ścisła zależność między zjawiskami starzenia naturalnego i sztucznego. Zależność ta polega m. in. na utrudnieniu procesu wydzielania po utworzeniu się stanu rozmieszczenia atomów, charakterystycznego dla starzenia naturalnego. Aby uniknąć tego zjawiska trzeba więc uniemożliwić utworzenie się omawianego stanu rozmieszczenia atomów, ponieważ w przeciwnym wypadku efekt starzenia sztucznego będzie niewystarczający. Powyższe daje się osiągnąć m. in. przez zastosowanie zgniotu bezpośrednio po zahartowaniu. Zgniot bowiem uniemożliwia starzenie naturalne i w dodatku przyspiesza wydzielanie podczas sztucznego starzenia.

Streszczając powyższe rozważania widzimy, że kolejność operacji po przeróbce plastycznej na gorąco powinna być następująca: hartowanie, przeciąganie bezpośrednio po zahartowaniu, starzenie sztuczne.

Hartowanie [20, 37, 87, 88]. Hartowanie prasówki lub walcówki przeprowadza się w piecach solnych względnie powietrznych.

Temperatura hartowania powinna wahać się w granicach 500°—530°, przy czym jako najkorzystniejszą temperaturę uważa się 520°.

Zbyt niskie temperatury hartowania są niepożądane, ponieważ powodują nadmierny spadek własności wytrzymałościowych podczas sztucznego starzenia, po pewnym jego czasie, w odpowiednio wysokiej temperaturze. Zbyt wysokie temperatury są również niepożądane, ponieważ mogą spowodować powstawanie tzw. pęcherzy na powierzchni materiału wskutek nadtopienia się niskotopliwej potrójnej eutektyki, znajdującej się zawsze w małej ilości w stopie. Pęcherze te są następnie przyczyną tworzenia się łuskwiny podczas przeciągania oraz obniżenia własności wytrzymałościowych materiału.

Na wielkość przyrostu własności wytrzymałościowych w pierwszym okresie sztucznego starzenia oraz na końcową wartość przewodności elektrycznej temperatura hartowania nie ma wpływu.

Przeciąganie [20, 82, 88]. Ponieważ starzenie naturalne stopu typu Al-Mg-Si rozpoczyna się natychmiast po zahartowaniu, tzn. bez okresu inkubacji, charakteryzującego np. stopy typu Al-Cu-Mg, przeto czas między hartowaniem i rozpoczęciem przeciągania powinien być możliwie jak najkrótszy. W przeciwnym wypadku rozpocznie się starzenie naturalne, którego niekorzystny wpływ został omówiony wyżej.

Zgniot w wyniku przeciągania powinien być możliwie wielki, w każdym razie większy niż 90%. Im większy będzie zgniot, tym wyższe będą własności wytrzymałościowe drutu, przy czym zgniot nie ma żadnego wpływu na wielkość przewodności po starzeniu sztucznym, co jest charakterystyczną właściwością stopów lekkich.

Przeciąganie przeprowadza się bez międzywyżarzeń, najlepiej na drutociągach wielobębnowych. Schemat przeciągania i jego szybkość końcowa, dochodząca do 240 m/min., są prawie takie same jak w produkcji drutów aluminiowych.

Pierwszy ciąg dla walcówki musi być wyrównujący, ponieważ drut walcowany nie posiada nigdy dokładnego owalu. Dla ostatnich ciągów najkorzystniej jest używać przeciągadeł z twardych stopów, których zastosowanie pozwala przeciągnąć bez szlifowania ok. 3 t drutu. W drutociągach wielobębnowych użycie przeciągadeł z twardych stopów jest nieodzowne.

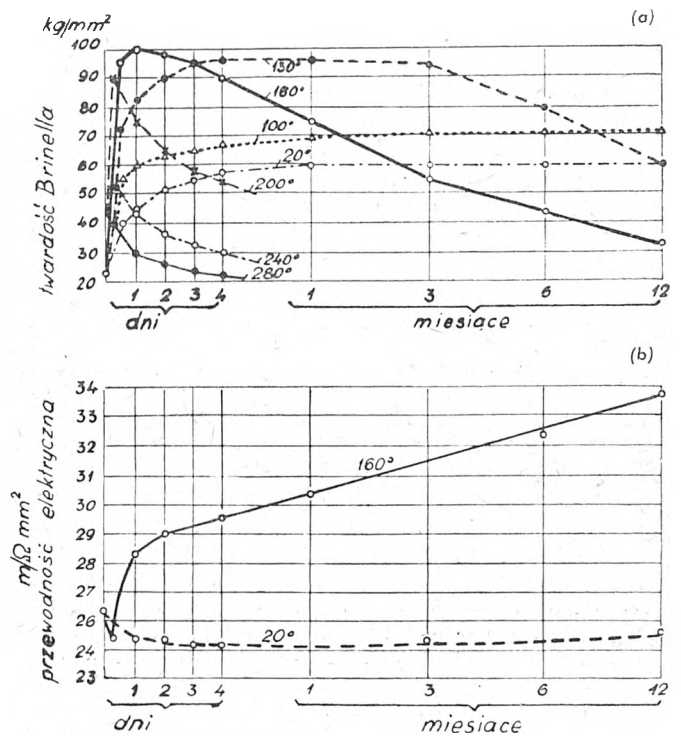
Intensywne smarowanie przeciąganego drutu jest warunkiem uzyskania dobrej wydajności technologicznej tej operacji. Do smarowania najlepiej nadaje się olej rze-

pakowy, jego mieszanina z olejem cylindrowym lub sam olejem cylindrowym.

Własności przeciągniętego drutu są następujące:

wytrzymałość na rozciąganie (R_r)	ok. 36 kg/mm ² ,
wydłużenie (A)	ok. 2%,
przewodność elektryczna właściwa (λ)	ok. 27 m/ Ω mm ² .

Sztuczne starzenie [2, 5, 7, 20, 27, 37, 44, 58, 59, 60, 70, 87, 88]. Krzywe, przedstawiające zmiany własności hartowanego i zgnieczonego materiału podczas sztucznego starzenia, posiadają różny przebieg w zależności od temperatury starzenia. Jeżeli temperatura ta jest dostatecznie niska, obserwuje się tylko stały nieznaczny wzrost własności wytrzymałościowych i przewodności elektrycznej w miarę postępu czasu starzenia. Począwszy od pewnej temperatury obserwuje się naprzód wzrost, a następnie spadek własności wytrzymałościowych, przy czym jednocześnie przewodność stale wzrasta. Wreszcie począwszy od pewnej, znowu wyższej, temperatury obserwuje się prawie natychmiast spadek własności wytrzymałościowych, połączony znowu z wzrostem przewodności (rys. 1). Taki lub inny bieg krzywej jest zależny od sposobu nakładania się efektów dwu zjawisk: regene-



Rys. 1a i 1b. Zmiana twardości i przewodności elektrycznej w zależności od temperatury i czasu starzenia sztucznego stopu Al-Mg-Si

racji (Kristallerholung) materiału zgnieczonego i wydzielania, połączonego ewtl. z koagulacją.

Niskie temperatury sztucznego starzenia są w praktyce nieekonomiczne z powodu zbyt wielkiego czasu potrzebnego na zakończenie tego procesu. Zbyt wysokie temperatury są niekorzystne z powodów więcej niż oczywistych. Dlatego najlepsze własności materiału uzyskuje się po zastosowaniu pośrednich temperatur, które w praktyce wahają się w granicach 140—160°, przy czym najczęściej stosuje się temperaturę 150—160°.

Czas starzenia powinien być tak dobrany, aby można było uzyskać najkorzystniejszy stosunek własności wytrzymałościowych do przewodności. Z przebiegu krzywych zmian własności wynika, że musi on być mniej więcej taki, jaki jest potrzebny dla przecięcia się krzywych przewodności i wytrzymałości na rozciąganie po przekroczeniu maksimum tej ostatniej własności. Czas ten wynosi dla temp. 160° ok. 6—8 godz. (rys. 2).

Należy podkreślić w tym miejscu możliwość wykorzystania drutu, który nie uzyskał odpowiednich własności wytrzymałościowych lub elektrycznych po przeciągnięciu i sztucznym starzeniu. Drut taki należy ponownie zahartować i poddać sztucznemu starzeniu bezpośrednio po za-

hartowaniu. Po ok. 22 godz. starzenia w temp. 155° drut o średnicy 2,8 mm wykazał następujące własności:

wytrzymałość na rozciąganie $R_r = 32,0 \text{ kg/mm}^2$,
wydłużenie $A = 15,1 \%$,
przewodność właściwa $\lambda = 31,6 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

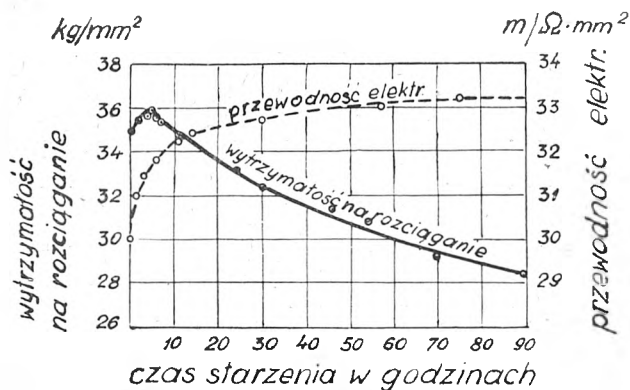
Wprawdzie tak długie starzenie jest nieekonomiczne, lecz pomimo wszystko lepsze od przetopienia materiału.

3. Porównanie własności przewodów aldrejowych i innych*).

A. Własności wymagane od materiałów na przewody

Dobry materiał na przewody napowietrzne powinien posiadać m. in. następujące własności:

- mały ciężar właściwy;
- dużą przewodność elektryczną oraz mały jej współczynnik cieplny;
- dobrze własności wytrzymałościowe przy krótkotrwałych rozciągających obciążeniach statycznych, a mianowicie korzystne wartości sprężystości ($E_{0,02}$ — naprężenie



Rys. 2. Zmiana wytrzymałości na rozciąganie i przewodności elektrycznej drutu z aldreju po zahartowaniu, przeciągnięciu i starzeniu w 155°

rozciągające w kg/mm^2 , przy którym wartość trwałego wydłużenia plastycznego wynosi 0,02%), płynności ($Q_{0,2}$ — naprężenie rozciągające w kg/mm^2 , przy którym wartość trwałego wydłużenia plastycznego wynosi 0,2%), wytrzymałości na rozciąganie (R_r) oraz twardości;

możliwie dobre własności plastyczne, tzn. wydłużenie próbki po zerwaniu $\left(A = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% \right)$, przewężenie

próbki po zerwaniu $\left(C = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% \right)$ oraz podatność do skręcania i przeginanania wielokrotnego;

dużą wytrzymałość na długotrwałe rozciągające obciążenia statyczne (W_D);

dużą wytrzymałość na zmęczenie od drgań (W_{zm}) tj. największe naprężenie w kg/mm^2 , przy którym materiał

Tablica I. Ciężar właściwy materiałów na przewody

Materiał	Ciężar właściwy (g/cm^3) w stanie zgniecionym
Aluminium	2,7
Aldrej	2,7
Miedź	8,9
Stal-alum. (1:6)	3,45

znosi założoną ilość powtarzanych zmiennych naprężeń (cykli);

dużą odporność na wpływy trwałego obciążenia elektrycznego (prądy zwarcia);

słaby efekt ulotu;

dobrą odporność na korozję ze strony składników atmosferycznych;

niską cenę.

*) Ob. wykaz literatury [22, 30, 35, 39, 42, 46, 55, 63, 75, 81, 84].

B. Ciężar właściwy [5, 7, 19, 23, 27]

Mały ciężar właściwy aluminium oraz aldreju jest ich najbardziej zasadniczą własnością. Z danych przedstawionych w tabl. I i II widzimy, że jest on więcej niż trzykrotnie mniejszy od ciężaru właściwego miedzi i o 22% mniejszy od ciężaru właściwego linki stalowo-aluminiowej.

Tablica II. Ciężar 1 km linki przewodowej z różnych materiałów

Przekrój linki (mm^2)		Liczba warstw	Ciężar linki (kg/km)			
znamionowy	rzeczywisty		aluminium	aldrej	miedź	stal-alum. (1:6)
16	15,9	1	44,5	44,5	146	62,5
25	24,2		67,5	67,5	222	97,5
35	34,4		95	95	312	140,5
50	49		136,5	136,5	449	197
50	48,3	2	133,5	133,5	440	—
70	65,8		183,5	183,5	605	277,5
95	93,2		259	259	852	371,5
120	117		326	326	1 075	510
150	147	3	409	409	1 345	619,5
185	182		507	507	1 670	767
340	228		635	635	2 090	870,5
240	243		675	675	2 230	980,5
300	299	4	832	832	2 740	1 220

Mały ciężar właściwy aluminium i aldreju był właśnie główną przyczyną, która spowodowała ich szerokie zastosowanie jako materiału przewodowego.

C. Przewodność elektryczna [5, 7, 19, 23, 29, 69, 78, 87]

Wielkość przewodności elektrycznej, oporu elektrycznego i współczynnika cieplnego przewodności w 20° C oraz średni opór 1 km linki z różnych materiałów przewodowych podają tabl. III i IV.

Tablica III. Własności elektryczne materiałów przewodowych

Materiał	Przewodność właściwa ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)	Opór właściwy ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Współczynnik cieplny oporu
Aluminium	34,8	0,0287	0,004
Aldrej	30,0	0,0333	0,0036
Stal-alum. (1:6)*)	34,8	0,0287	0,004
Miedź	56,0	0,01786	0,0038

*) Dla płaszczki aluminiowej.

Tablica IV. Opór średni 1 km linki przewodowej z różnych materiałów

Przekrój znamionowy linki (mm^2)	Liczba warstw	Opór średni linki przy 20° C (Ω/km)			
		aluminium	aldrej	miedź	stal-alum.(1:6)
16	1	1,805	2,095	1,122	1,875
25		1,185	1,378	0,737	1,205
35		0,845	0,982	0,525	0,837
50		0,587	0,682	0,364	0,594
50	2	0,598	0,695	0,372	—
70		0,435	0,505	0,271	0,434
95		0,309	0,359	0,192	0,319
120		0,245	0,285	0,153	0,234
150	3	0,196	0,227	0,122	0,193
185		0,158	0,183	0,098	0,156
240		0,126	0,146	0,078	0,137
240		4	0,118	0,137	0,074
300	0,096		0,111	0,060	0,097

Z przytoczonych danych wynika, że wprawdzie przewodność aldreju jest gorsza od miedzi, nie ustępuje jed-

nak wiele przewodności aluminium i przewodów stalowo-aluminiowych.

Jeżeli jednak uwzględnimy stosunek przewodności do ciężaru właściwego, to aluminium i aldrej okażą się bez porównania bardziej wartościowymi materiałami niż miedź, co widać wyraźnie z porównań, przedstawionych w tabl. V i VI.

Tablica V. Wartości porównawcze linek przewodowych o jednakowej przewodności elektrycznej

Wyszczególnienie	Aluminium	Aldrej	Stal-alum. (1:6)	Miedź
Ciężar	48,8	56,6	72,4	100
Przekrój	161	186	188	100
Średnica	127	136	137	100

Tablica VI. Porównanie przekrojów linek o jednakowej przewodności wykonanych z różnych materiałów

Przekrój znamionowy linki (mm ²)	Liczba warstw	Przekrój linki miedzianej o takiej samej przewodności elektrycznej (mm ²)		
		aluminium	aldrej	stal-alum. (1:6)
16	1	9,9	8,5	9,5
25		15	13	14,8
35		21,1	18,2	21,3
50		30	26,3	30
50		29,8	25,7	—
70	2	41	35,4	41,2
95		57,8	49,8	56
120		77,7	62,7	76,2
150	3	91,3	78,7	93
185		113	97,5	114
240	4	142	122	130
240		151	130	147
300		186	160	183

D. Własności mechaniczne przy krótkotrwałych obciążeniach statycznych [7, 19, 23, 29, 87, 88]

Dla konstruktorów elektrycznych linii napowietrznych przesyłowych podstawowe znaczenie mają własności mechaniczne przy krótkotrwałych obciążeniach statycznych, a w szczególności granica sprężystości, granica płynności ($Q_{0,2}$), wytrzymałość na rozciąganie (R_r) oraz współczynnik sprężystości. Im wyższe będą te własności, tym większe rozpiętości i mniejsze zwisy można stosować przy budowie linii, tym więc tańsza będzie jej konstrukcja.

Tablica VII. Własności mechaniczne linek z różnych materiałów przewodowych przy krótkotrwałych obciążeniach statycznych

Własność mechaniczna	Aluminium	Aldrej	Stal-alum. (1:6)	Miedź
R_r (kg/mm ²)	max. 20 min. 17—18	35 30	35 30—32	42 40
$Q_{0,2}$ (kg/mm ²)	max. 17 min. 15	33 28	— —	40 38
$E_{0,02}$ (kg/mm ²)	max. 12,5 min. 10,5	22 19	— —	25 —
$E_{0,01}$ (kg/mm ²)	max. — min. 9	— 17	— —	— 22
$A_{100 \text{ mm } \%}$	max. 5 min. 2	9 5	— —	8 2
$C \%$	max. 85 min. 60	50 20	— —	— —
Współczynnik sprężystości (kg/mm ²)	max. 6 700 min. 6 000	6 400 5 600	8 680 7 500	— 13 000

wać przy budowie linii, tym więc tańsza będzie jej konstrukcja.

Nie są, oczywiście, obojętne również i własności plastyczne, mające wpływ na kruchość materiału.

Porównując własności mechaniczne różnych materiałów przewodowych przy krótkotrwałych obciążeniach statycznych przedstawione w tabl. VII, widzimy, że dzięki wysokim własnościom wytrzymałościowym i jednocześnie małemu ciężarowi właściwemu aldreju można stosować dla tego materiału przy tym samym współczynniku bezpieczeństwa najmniejsze zwisy linii, względnie przy tym samym zwisie — największe rozpiętości linii, co daje w wyniku zmniejszenie wysokości słupów albo zmniejszenie ich liczby.

Najbardziej obrazowo przedstawia te zalety stosunek wytrzymałości na rozciąganie do ciężaru właściwego materiału, tzn. długość przewodu, przy której zrywa się on pod samym ciężarem własnym, względnie długość przewodu, przy której zrywa się on pod sumą ciężaru własnego i dodatkowego obciążenia sadyą. Wartości te podaje tabl. VIII.

Tablica VIII. Długość linki o przekroju 95 mm² z różnych materiałów przewodowych, przy której linka ulega zerwaniu pod własnym ciężarem (L), lub pod sumą ciężaru własnego i sadyi według VDE (L_1)

Materiał	L		L_1	
	m	%	m	%
Aluminium	6 670	148	2 350	94
Aldrej	11 100	247	4 330	173
Stal-alum. (1:6)	8 700	193	3 850	154
Miedź	4 500	100	2 500	100

Jak widzimy, stosunek ten jest wyraźnie najkorzystniejszy dla aldreju podobnie jak wielkość zwisu dla linek o tej samej przewodności.

Biorąc pod uwagę podane wyżej własności wytrzymałościowe, ustalono dla przewodów dopuszczalne i zalecane naprężenia rozciągające, których nie należy przekraczać podczas montażu linii. Wielkość tych naprężeń jest podana w tabl. IX.

Na podstawie powyższych naprężeń ustalono największe rozpiętości przewodów dla różnych przekrojów linek z materiałów przewodowych (tabl. X).

Tablica IX. Dopuszczalne i zalecane naprężenia rozciągające przewodów przy montażu linii

Materiał	Naprężenie dopuszczalne (kg/mm ²)	Naprężenie zalecane (kg/mm ²)
Aluminium	8	6 (7)
Aldrej	12	11
Stal-alum. (1:6)	11	10
Miedź	19	—

Tablica X. Największe rozpiętości dla różnych materiałów przewodowych i różnych przekrojów linek

Przekrój znamionowy linki (mm ²)	Największa rozpiętość (m)			
	aluminium	aldrej	stal-alum. (1:6)	miedź
10	—	—	—	100
16	35	35	200	160
25	60	490	300	240
35	80	660	420	350
50	110	880	600	540
70	140	1150	820	800
95	190	—	1120	—
120	230	—	—	—
150	290	—	—	—
185	360	—	—	—

Po uwzględnieniu jednak obciążenia sadyią i drgania linek, o czym będzie mowa niżej, wielkość zalecanych największych rozpiętości jest następująca:

aluminium 200 m
aldrej 300 m
stal-alum. (1:6) 300 m.

Powyższe dane potwierdzają ponownie przewagę aldreju nad innymi materiałami przewodowymi w budowie linii.

E. Twardość [23, 78]

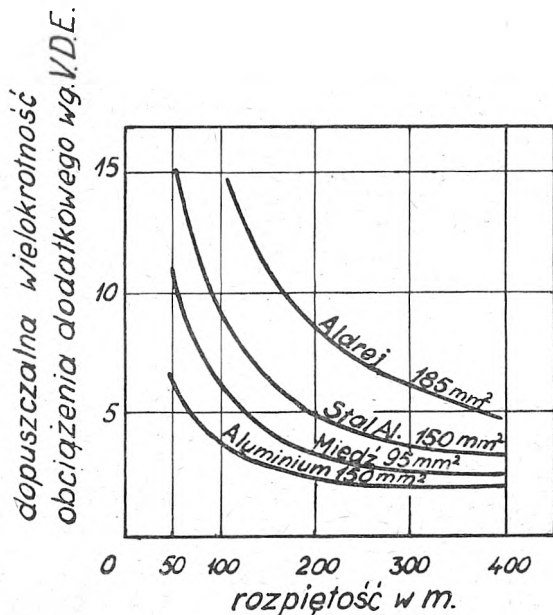
Duża twardość materiału jest ściśle związana z wielkością wytrzymałości na rozciąganie. Dlatego też twardość aldreju, zbliżona do twardości miedzi, jest dostatecznie duża, by zmniejszać uszkodzenia przewodu podczas budowy linii wskutek ciągnięcia linki po ziemi oraz wskutek zaciskania jej w bębnoch montażowych. Twardość aldreju wynosi 70—80, miedzi 100—120, aluminium zaś tylko 35—55 °Br. A więc i pod względem twardości własności aldreju są więcej niż zadawalające.

Na tym miejscu należy również wspomnieć o specjalnym procesie utwardzania powierzchni drutów z aldreju, opisanym przez O. Föppla i R. Holzera w 1943 r. [86]. Utwardzenie to ma rzekomo zwiększać długotrwałość przewodów o 35% *).

F. Wytrzymałość na długotrwałe rozciągające obciążenia statyczne [3, 16, 23, 57, 88]

Charakter pracy zawieszanej linki przewodowej wymaga od niej nie tylko dobrych własności wytrzymałościowych przy działaniu krótkotrwałych, rozciągających obciążeń statycznych, lecz również i przy działaniu długotrwałych tego rodzaju obciążeń, spowodowanych sadzą i własnym ciężarem.

Z teorii wytrzymałości materiałów wiemy, że materiał jest uważany za wytrzymały na długotrwałe działanie obciążenia, jeżeli pod jego wpływem nie ulega zerwaniu w ciągu jednego roku. Dla praktyki jednak bardziej odpowiedni jest okres dziesięciu lat, przy czym im wytrzy-



Rys. 3. Spółczynnik bezpieczeństwa linii przewodowych o jednakowej przewodności w zależności od rozpiętości przewodów

małość na długotrwałe obciążenia będzie większa od dopuszczalnego naprężenia linki, tym większy jest współczynnik bezpieczeństwa materiału (statische Bruchsicherheit).

W szeregu badań ustalono, iż powyższa wytrzymałość jest dla poszczególnych materiałów w stanie zgniecionym następująca:

aluminium	13—14 kg/mm ²
aldrej	29—30 "
stal-alum. (1:6)	ok. 15 "
miedź	ok. 34 "

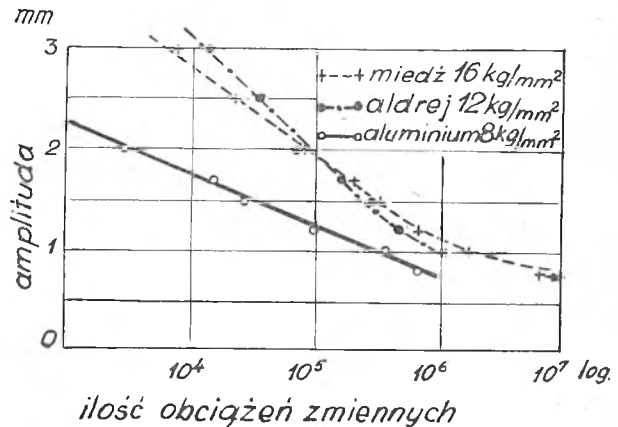
Uwzględniając tę okoliczność, że współczynnik bezpieczeństwa zmienia się w zależności od przekroju linki

* Z powodu niemożności uzyskania oryginału artykułu, niestety, nie można podać bliższych szczegółów o tym procesie. Należy przypuszczać, że utwardzenie to uzyskano za pomocą „eloksydacji”.

i jej rozpiętości, widzimy z rys. 3, że jest on dla aldreju przy wszystkich rozpiętościach praktycznie stosowanych wydatnie większy od współczynnika bezpieczeństwa innych materiałów przewodowych.

G. Wytrzymałość na zmęczenie od drgań [5, 23, 26, 32, 34, 43, 47, 51, 62, 67, 69, 78, 87, 88]

Zawieszona i naprężona linka jest narażona na działanie wiatru, który wywołuje jej drgania. Wielkość tych drgań jest zależna od siły i kierunku wiatru, który jest szczególnie niebezpieczny, jeżeli jest stały i równomierny. Powstające drgania są drganiami harmonicznymi o czę-



Rys. 4. Wytrzymałość na zmęczenie od drgań drutów o średnicy 2 mm wstępnie obciążonych

stotliwości 1—100, przy czym tworzą się przeważnie dobrze ukształtowane fale stojące o połowie długości fali równej 1—10 m.

Najbardziej niebezpiecznymi mogą okazać się te drgania równomierne, które wpadną w rezonans z drganiami własnymi linki. Mniej niebezpieczne będą drgania nieharmoniczne, spowodowane gwałtownymi wichrami lub opadaniem sadzi.

Szczególnie niebezpieczne są te miejsca linii, w których drgania są utrudnione, a mianowicie miejsca położone w pobliżu zacisków. W ich sąsiedztwie linka nie może bowiem odchylić się swobodnie do położenia określonego amplitudą drgań.

W bezpośrednim sąsiedztwie zacisków działają więc stale zmienne siły rozciągająco-ściskające oraz zginające, powodujące nierównomierny i zmienny rozkład naprężeń, co jest idealnym warunkiem wywołania złomu zmęczeniowego, obserwowanego często w tych miejscach linii.

Jest więc oczywiste, że dobry materiał przewodowy, niezależnie od wyżej wyszczególnionych zalet, powinien posiadać dobrą wytrzymałość na zmęczenie, spowodowaną zmiennym obciążeniem rozciągająco-ściskającym przy jednoczesnym działaniu pewnego momentu gnącego. Pomiaru tego rodzaju wytrzymałości, dokonane na specjalnie skonstruowanej maszynie zmęczeniowej, dały wyniki przedstawione na rys. 4. Z wyników tych widać, że przy tej samej amplitudzie drgań wytrzymałość na zmęczenie jest dla aluminium znacznie mniejsza niż dla miedzi, podczas gdy aldrej wcale jej nie ustępuje. Różnica w zachowaniu się materiałów maleje ze spadkiem amplitudy drgań.

Jeżeli porównamy poza tym wytrzymałość różnych materiałów przewodowych na zmęczenie przy obciążeniu tylko zginającym (tabl. XI), zobaczymy, że aldrej i miedź przewyższają wydatnie pod tym względem pozostałe materiały przewodowe, co potwierdzają doświadczenia praktyczne.

Z rozważań wytrzymałościowych wynika, iż materiały o małym ciężarze właściwym i dużym przekroju są bardziej podatne do drgań własnych przy jednakowych warunkach pracy. Pod tym względem linki z aluminium i aldreju są mniej korzystne niż linki miedziane o tej samej przewodności. Równoważą jednak te wady większa trudność wpadnięcia drgań własnych w rezonans z drganiami, wywołanymi przez wiatr, który dla spowodowania tego zjawiska musi być dla pierwszych dwu materiałów silniejszy niż dla miedzi. Równoważą również te wa-

dy mały współczynnik sprężystości aldreju i aluminium, uwidoczniiony w tabl. XII, ponieważ przy tej samej amplitudzie odchylenia linki w zacisku naprężenia będą

Tablica XI. Wytrzymałość na zmęczenie przy obciążeniu zginającym różnych materiałów przewodowych

Materiał	Średnica drutu (mm)	W_{zm} przy 10^7 drgań (kg/mm ²)
Aluminium	3,6 4,5	7,0 6,77
Aldrej	2,5 — 2,85	9,0 — 12,0
Miedź	2,5 — 2,85 4,5	13,5 12,5

tym mniejsze, im mniejszy jest współczynnik sprężystości. Dzięki więc małemu współczynnikowi sprężystości i dużej wytrzymałości na zmęczenie aldrej pod względem bezpieczeństwa przy drganiach jest materiałem bezkonkurencyjnym.

Tablica XII. Współczynnik sprężystości różnych materiałów przewodowych

Materiał	Współczynnik sprężystości (kg/mm ²)		
	rozciąganie statyczne	zginanie statyczne	zginanie dynamiczne
Aluminium	7 100	7 400	7 500
Aldrej	7 000	7 100	7 100
Miedź	12 900	12 600	12 700

Bezpieczeństwo w przypadku drgań można poza tym wydawnie zwiększyć przez użycie różnych zacisków i urządzeń tłumiących lub znoszących drgania oraz przewodów rurowych.

H. Inne własności mechaniczne [7, 29, 70]

Pewne znaczenie dla praktyki posiada także zachowanie się materiału przewodowego podczas skręcania i przeginalania wielokrotnego (tabl. XIII).

Tablica XIII. Podatność do skręcania i przeginalania wielokrotnego różnych materiałów przewodowych

Materiał	Liczba skrętów do pęknięcia	Liczba przegięć wielokrotnych do pęknięcia przy $r = 2,5 d$
Aluminium	12 — 16	10 — 14
Aldrej	8 — 12	5 — 10
Miedź	12	4

I. Wpływ niskich temperatur [23, 31, 38, 55, 61]

Doświadczenia wykazały, że własności wytrzymałościowe i plastyczne materiałów przewodowych poprawiają się ze spadkiem temperatury do -60° . Procentowe zmiany tych własności w porównaniu ze stanem przy temperaturze $+20^\circ$ podaje tabl. XIV.

Tablica XIV. Procentowe zmiany własności mechanicznych różnych materiałów przewodowych ze zmianą temperatury od $+20^\circ$ do -60° C

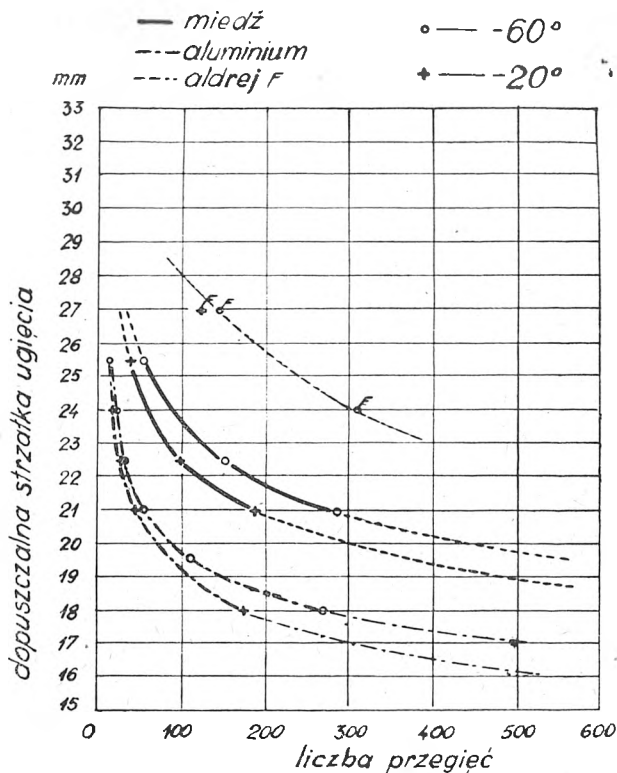
Materiał	Zmiana własności w %			
	Wytrzymałość na rozciąganie R_r	Wydłużenie A	Przewężenie C	Przeginalanie wielokrotne
Aluminium	+ 10,5	+ 13,5	0	wzrasta
Aldrej	+ 10,2	+ 18,5	0	bez zmiany
Miedź	+ 9,0	+ 67,0	0	wzrasta

Jak widać z danych zamieszczonych w tablicy, własności aldreju w niskich temperaturach są więcej niż zadawalające. Podobnie zadawalająca jest jego wytrzymałość na zmęczenie w niskich temperaturach przedstawiona na rys. 5. Dlatego też nie należy mieć żadnych obaw co do zachowania się aldreju w niskich temperaturach.

K. Wpływ temperatur podwyższonych [12, 15, 17, 19, 28, 29, 33, 71, 78, 87]

Przyczyny wzrostu temperatury przewodów powyżej temperatury otoczenia są następujące: promieniowanie słoneczne, ciepło Joule'a, prądy zwarcia.

Wskutek pochłaniania promieniowania słonecznego temperatura przewodnika może wzrosnąć w upalne dni



Rys. 5. Liczba przegięć w temperaturze -60° i -20° drutów przewodowych na specjalnej maszynie systemu Pester'a w zależności od ich średnicy drutu

letnie do 40° , natomiast wzrost temperatury przewodnika wskutek przepływu prądu zależy od gęstości prądu i rodzaju materiału przewodnika.

Ponieważ zbyt wielki wzrost temperatury przewodnika grozi spadkiem jego własności wytrzymałościowych wskutek zjawiska regeneracji i rekrytalizacji, znajomość największego przyrostu temperatury przewodnika ponad temperaturę jego otoczenia jest bardzo ważna.

Odpowiednie badania wykazały, że całkowite odmocnienie (zanik efektu utwardzenia materiału wskutek zgniotu, np. przeciągania, po niem. Entfestigung) miedzi i aluminium następuje w wyniku powyższych zjawisk przy 80° już po ok. 40 dniach, gdy odmocnienie aldreju nie występuje nawet przy $100-120^\circ$. Z badań tych więc wynika, że przewodnik z aldreju może być długotrwale obciążony prądem o większej gęstości niż przewodnik z innych materiałów przewodowych.

Słuszność powyższego rozumowania jest widoczna z tabl. XV i XVI, w których jest podana gęstość prądu, powodu-

Tablica XV. Gęstości prądu powodujące dane odmocnienie różnych materiałów przewodowych (czas przepływu prądu 3 sek., temp. otoczenia 20° C)

Materiał	Gęstości prądu (A/mm ²) powodujące odmocnienie			
	0 %	5 %	20 %	100 %
Aluminium	51	59	64,5	69
Aldrej	51	56	62	83,5
Stal-alum. (1:6)	53,5	64	69,5	72,5
Miedź	86	96,5	102	107

jąca dane odmocnienie przewodników, oraz stosunek natężenia prądów w przewodach o jednakowej przewodności, powodujących to samo odmocnienie materiałów.

Dla praktyki jest ważna także znajomość największych długotrwałych nateżeń prądu, dopuszczalnych dla danego przekroju linki. Wielkości te są podane w tabl. XVII.

Z powyższych rozważań jest widoczne, iż możliwość odmocnienia przewodów z aldreju wskutek promienio-

Tablica XVI. Stosunek nateżeń prądów różnych materiałów przewodowych o jednakowym przewodnictwie, powodujących dane odmocnienie tych materiałów

Materiał	Stosunek nateżeń prądów powodujących odmocnienie			
	0 %	5 %	20 %	100 %
Aluminium	94,5	98,5	102	104
Aldrej	94,5	105	110	141
Stal-alum.(1;6)	98,5	107	110	141
Miedź	100	100	100	100

wania słonecznego i długotrwałego przepływu prądu jest mniejsza niż dla innych materiałów przewodowych o tej samej przewodności, tym bardziej że zdolność odbicia

Tablica XVII. Dopuszczalne długotrwałe nateżenia prądu w linkach przewodowych z różnych materiałów

Przekrój znamionowy linki (mm ²)	Liczba warstw	Dopuszczalne nateżenie prądu (A)			
		aluminium	aldrej	miedź	stal-alum.(1:6)
16	1	92	88	115	90
25		121	115	151	125
35		149	142	174	145
50		187	178	234	170
50	2	185	176	231	—
70		226	215	282	235
95		283	269	357	290
120		329	313	411	345
150	3	382	363	477	400
185		435	414	544	455
240		502	479	630	490
240		4	513	488	641
300	598		568	747	615

promieniowania słonecznego aluminium i jego stopów jest większa niż miedzi.

Niezależnie od rozpatrzonych możliwości ogrzania przewodników istnieje jeszcze trzecia możliwość, a mianowicie prądy zwarcia, powstające np. wskutek zetknięcia się linek między sobą lub z ziemią. W wyniku zwarcia tworzy się łuk elektryczny, którego nawet krótkotrwałe działanie jest niebezpieczne dla przewodów z powodu jego wysokiej temperatury, powodującej częściowe lub całkowite odmocnienie materiału. Odmocnienie to zależy praktycznie od temperatury końcowej w czasie zwarcia, a nie od czasu przepływu prądu zwarcia, ponieważ linka ze względu na swoją masę posiada dużą bezwładność cieplną. Czas jej oziębiania jest znacznie większy niż czas przepływu prądu zwarcia. Z tego właśnie względu ważna jest znajomość temperatur zwarcia, powodujących określony procent odmocnienia materiału. Są one podane w tabl. XVIII.

Tablica XVIII. Temperatury końcowe zwarcia powodujące określony procent odmocnienia różnych materiałów przewodowych

Materiał	Temperatury końcowe zwarcia w °C powodujące odmocnienie			
	0%	5%	20%	100%
Aluminium	130	170	210	250
Aldrej	155	185	230	(500?)
Stal-alum. (1:6)	130	185	230	250
Miedź	170	210	240	290

Z danych tych wynika, że powyższe temperatury są dla aldreju nieco wyższe niż dla aluminium i przewodów stalowo-aluminiowych, nieco niższe zaś niż dla miedzi. Ta niewielka przewaga miedzi jest równoważona wydatnie mniejszym procentowym spadkiem własności mecha-

nicznych aldreju w porównaniu z miedzią po całkowitym ich odmocnieniu (wyżarzeniu). Spadek ten dla wytrzymałości na rozciąganie jest następujący:

aluminium	50%
aldrej	35%
stal-alum. (1:6)	24%
miedź	60%

Możliwość stopienia przewodników z aldreju w czasie zwarcia jest prawie taka sama jak dla miedzi. Wprawdzie temperatura topnienia aldreju, wynosząca 650°, jest prawie dwa razy mniejsza niż temperatura topnienia miedzi, jego duże ciepło właściwe (0,22 kal/g. °C) oraz ciepło topnienia (93 kal/g) stwarza to, że dla przewodników o jednakowej przewodności potrzeba w przypadku miedzi tylko o 15% mniej ciepła do stopienia niż w przypadku aldreju. W praktyce tak mała różnica jest bez znaczenia.

L. Zjawisko ulotu [19, 36, 87]

Straty na ulot nie mogą być nieuwzględniane, zwłaszcza przy napięciach ponad 50 kV oraz przy dużych wysokościach ponad poziom morza. Jak stwierdzono, straty na ulot są mniejsze dla aluminium i aldreju niż dla miedzi. Jeżeli przez nV oznaczymy napięcie, wywołujące to zjawisko w przypadku miedzi, to dla przewodów z innych materiałów o jednakowej przewodności będzie ono wynosiło:

aluminium	1,22 nV
aldrej	1,27 nV
stal-alum. (1:6)	1,32 nV.

W przewodach stalowo-aluminiowych spadek napięcia powstaje wskutek magnesowania się rdzenia stalowego. Z tego powodu, zwłaszcza w liniach o niskim napięciu, jest korzystne zastępowanie ich przewodami aluminiowymi lub aldrejowymi.

M. Odporność na korozję [2, 5, 14, 23, 24, 45, 48, 62, 66, 74, 76, 89]

Wśród praktyków istnieje zupełnie nieuzasadnione mniemanie, że miedź posiada większą odporność na korozję ze strony składników atmosferycznych niż aluminium i aldrej.

Mniemanie to całkowicie obalają doświadczenia teoretyczne i praktyczne, które wykazały, że przewodniki z aluminium oraz aldreju zachowują się doskonale nawet w najcięższych warunkach atmosferycznych, a mianowicie w atmosferze nadmorskiej. Najbardziej przekonującym doświadczeniem było badanie odporności na korozję próbnej linii z aluminium i aldreju, zmontowanej na wyspie Sylt — na Morzu Północnym. Po pięciu latach pracy tej linii, będącej bez przerwy pod prądem 35 A i narażonej na stałe działanie korozji ze strony mgły, soli oraz porwistych wiatrów, unoszących chmury piasku, nie stwierdzono żadnych wydatnych zmian własności mechanicznych przewodników wskutek korozji względnie występowania korozji powierzchniowej. Podobnie nie stwierdzono po pięciu latach pracy żadnej korozji na linii aldrejowej, zbudowanej w Szwajcarii.

Uzupełniające badania wytrzymałości na zmęczenie przy jednoczesnym działaniu ośrodka korozyjnego wykazały, że w najbardziej niekorzystnych warunkach korozja powoduje spadek wytrzymałości na zmęczenie aldreju zaledwie o ok. 10—15%.

Powyższe dane są chyba dostatecznie wystarczające dla przełamania fałszywego sądu, spowodowanego przeważnie wypadkami korozji, wywołanej albo nieodpowiednią jakością materiału, np. nadmierną zawartością miedzi lub żelaza, albo też błędami, popełnionymi w czasie montażu linii, np. zastosowaniem zacisków i złącz z materiałów o niewłaściwym składzie chemicznym.

4. Normy odbiorcze na aldrej. *)

Normy odbiorcze dla aldreju zostały opracowane w Niemczech i Włoszech. Dla przykładu podany jest poniżej wyciąg z normy niemieckiej, opracowanej przez Aldrey-Ring w Berlinie w 1935 r. (normy polskie są w opracowaniu).

A. Ogólne postanowienia

Analiza stopu. Do produkcji drutów należy używać stopu, dostarczonego przez hutę, przy czym miarowo-

*) Ob. wykaz literatury [64, 80, 87].

dajną jego analizą jest analiza huty. Odbiorca ma prawo skontrolowania tej analizy na swój koszt w odpowiedniej instytucji naukowej i wyniki tego sprawdzenia są rozstrzygające.

Powierzchnia wlewków. Powierzchnia wlewków do walcowania lub tłoczenia musi być gładka, bez wydatnych wad odlewniczych oraz ostrych krawędzi.

Spoiny. Spawanie należy przeprowadzać z największą starannością. Po spawaniu spoinę oraz jej sąsiedztwo trzeba skrupulatnie oczyścić z topnika i innych środków chemicznych. Przez sklepanie w odpowiedniej matrycy spoinę należy wyrównać i utwardzić bez jednoczesnego utworzenia gratu. Po sklepaniu spoina powinna być okrągła i posiadać w przybliżeniu średnicę drutu. Obróbka mechaniczna lub polerowanie po sklepaniu jest nieodwołalne.

Po przygotowaniu spoiny bada się jej wytrzymałość, która musi wynosić co najmniej 30% minimalnej wytrzymałości drutu. W przeciwnym wypadku jakość dostarczonych drutów jest nieodpowiednia.

Spoiny w linie muszą być oddalone co najmniej o 200 m. Miejsce każdej spoiny należy na linie wyraźnie zaznaczyć za pomocą owinięcia i podać ilość spoin na bębnie z linką.

Powierzchnia drutu powinna być gładka i nie wykazywać uszkodzeń mechanicznych. Przy przeciąganiu trzeba używać polerowanych przeciągadeł podczas ostatnich ciągów.

Na powierzchni drutu nie może być wtrąceń miedzi i jej stopów. W wypadku reklamacji z tego powodu o słuszności jej rozstrzyga specjalna komisja rzeczoznawców.

B. Badanie linek z aldreju

Tolerancja drutu. Tolerancję drutu określa norma DIN 48200.

Wytrzymałość drutu. Wytrzymałość na rozciąganie drutów wyjętych z linek musi być większa od 30 kg/mm². Czas przyrostu obciążenia do maksymalnej wartości powinien wynosić 1 minutę.

Wydłużenie. Wydłużenie drutu przy długości pomiarowej 100 mm powinno być większe od 5%.

Przebieganie wielokrotne. Drut musi wytrzymać bez pęknięć 5 przebiegów o 180°. Urządzenie do przebiegania wielokrotnego określa norma DIN DVM 1211, przy czym promień szczyk powinien równać się 2 1/2 średnicy drutu.

Nawijanie. Drut musi wykazać podatność do wykonania 6 zwojów obok siebie leżących wokół drutu o tej samej średnicy. W dalszym ciągu drut musi wykazać podatność do odwinienia i ponownego nawinięcia tych samych zwojów bez występowania głębokiego pęknięcia.

Przewodność elektryczna. Przewodność elektryczna drutu w stanie zgniecionym powinna być większa od 30 m/Ω·mm² w 20° C.

W innych temperaturach opór elektryczny należy obliczać z wzoru:

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + 0,0036(t - 20)].$$

Średni przekrój drutu oblicza się z pomiaru dwu jego średnic do siebie prostopadłych. Można także obliczać go przez zważenie drutu, zakładając ciężar właściwy jako równy 2,7.

C. Obciążenie zrywające linkę

Obciążenie zrywające linkę musi wynosić co najmniej 95% sumy obciążeń zrywających poszczególne druty. Obciążenie linki bada się na maszynie do rozciągania przy użyciu odpowiednich szczyk.

D. Gwarancja

Gwarancja trwa 1 rok, przy czym liczy się ją od dnia montażu przewodu, najpóźniej jednak od 91 dnia po dniu wysyłki dostawy. Gwarancja dotyczy zastosowania materiału oraz przeróbki drutów na linki przewodowe. Jeżeli w okresie gwarancji wynikną poważne braki podczas przeróbki, dostawca jest obowiązany za zwrotem wadliwego materiału wymienić go w jak najkrótszym czasie bezpłatnie na materiał odpowiedni.

5. Zastosowanie aldreju^{*)}.

Dobre własności aldreju jako materiału przewodowego całkowicie usprawiedliwiają jego duże zastosowanie.

Pierwszym krajem, który rozpoczął masowe stosowanie aldreju, była Szwajcaria, gdzie do 1927 r. wybudowano przeszło 500 km linii do przesyłania energii elektrycznej przy napięciach 132—150 kV. W Niemczech pierwszą linię z aldreju zbudowano w 1928 r. między miastami Stuttgart i Pforzheim na napięcie 100 kV.

Do połowy 1934 r. wybudowano 15 000 km przewodu z aldreju, używając do tego celu 5200 t materiału; w tym w Niemczech — 1900 km, w Szwajcarii — 2100 km, we Włoszech — 4300 km i w Hiszpanii — 3400 km. Od 1935 r. nastąpił wzrost zastosowania aldreju we Francji, gdzie wszystkie linie na 220 kV zaczęto budować z tego materiału lub przewodów stalowo-aluminiowych. Do 1940 r. zużycie aldreju we Francji wynosiło 6000 t.

Należy wreszcie zaznaczyć, że aldrej znajduje ostatnio również coraz większe zastosowanie do wyrobu przewodów telefonicznych. W 1935 r. zbudowano 1568 km tego rodzaju przewodów, w tym we Włoszech 1145 km, we Francji 210 km, w Szwajcarii 123 km i w Hiszpanii 90 km, zużywając ogółem do tego celu 41,3 t materiału [56, 65, 70, 73, 81].

Użycie aldreju w Szwajcarii do końca 1947 r. było następujące: przewody napowietrzne energetyczne 11 500 t, przewody telekomunikacyjne 2 200 t i przewody stalowo-aldrejowe 150 t, to znaczy razem 13 850 t o łącznej długości 115 700 km. Porównując te dane^{**)} wyżej podanymi, widzimy, jak wielki jest rozwój zastosowania tego materiału w Szwajcarii [90].

W Polsce duża ilość linii napowietrznych z aldreju znajduje się na terenie Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Mazurskiego. Łączna długość linii z aldreju w Okręgu Mazurskim wynosi ok. 2 100 km, w tym ok. 300 km linii na 60 kV i ok. 1 800 km linii na napięcia do 15 kV, co stanowi prawie całość linii napowietrznych do przesyłania energii elektrycznej w tym okręgu.

Powyższe linie aldrejowe zbudowane prawdopodobnie w okresie wojennym lub przed wojną pracują dotychczas bez zarzutu. Badania przewodów pobranych z tych linii nie wykazały istotnego spadku własności mechanicznych lub elektrycznych, jak również przewody te nie wykazywały oznak niebezpiecznej korozji, choć część linii pracuje w bardzo niesprzyjających warunkach, bo w pasie nadmorskim. Bez zarzutu zachowują się również linie ze stopu lekkiego typu Al-Mg-Si produkcji krajowej, zainstalowane w 1948 r.^{**)}.

LITERATURA

- [1] Schweiz. Pat. Nr 110527, 21. 5. 1924.
- [2] Aluminium-Industrie A. G., Neuhausen. Aluminium alloy wire as a substitute for pure Al and steel-cored Al-wires in electr. transmission lines. — Schweizer. Bauzeitung, 87, (1926), 323/6; J. Inst. Met., 39, (1928), 848.
- [3] A. Bürklin. Die mechanische Sicherheit von Freileitungen aus Al und Stahl-Al. — ETZ, 48, (1927), 355/7.
- [4] E. Dusaugy. A new light alloy of high mechanical resistance for wires and electric cables: "Almelec". — Rev. Gén. Electr., 21, (1927), 303/5; Rev. Aluminium, 4, (1927), (18), 1/4; J. Inst. Met., 37, (1927), 452.
- [5] A. Fuchs. Al-Legierung Aldrey (Drahtlegierung 3). — Z. Metallkde, 19, (1927), 361/2.
- [6] H. Schmitt. Hochleitfähige vergütbare Al-Legierungen in der Freileitungstechnik. — ETZ, 48, (1927), 1176/80.
- [7] A. von Zeerleder, M. Bosshard. Neue Wege Freileitungsbau. — Z. Metallkde, 19, (1927), 459/70.
- [8] An. Aldrey. — Metallwirtschaft, 6, (1927), 958/9; J. Inst. Met., 38, (1927), 409.
- [9] An. From copper to light metal as cable construction material for wide-span cables. — Metallborse 17, (1927), 2303/4; J. Inst. Met. 39, (1928), 609.
- [10] An. Germany produces new alloy. — J. Amer. Inst. Electr. Eng. 46, (1927), 1414; J. Inst. Met. 39, (1928), 484.
- [11] H. Bohner. Zugfestigkeits- und Leitfähigkeitsänderung hartgezogener Drähte aus Cu, Bronze, Al, Aludur und Aldrey unter dem Einfluss kurzzeitiger Erwärmungen. — Z. Metallkde, 20, (1928), 132/41.

^{*)} Ob. wykaz literatury [7, 23, 40, 41, 52, 55, 62, 79].

^{**)} Ob. inż. Tyflewskiemu z ZEOM, który umożliwił mi szczegółową inspekcję przewodów z aldreju, składam na tym miejscu serdeczne podziękowanie i wyrażam nadzieję, iż dane dzięki niemu uzyskane pozwolą na pokonanie nieufności, występującej w stosunku do tego pierwszorzędnego materiału wśród niektórych energetyków w Polsce. (C. N.)

- [12] H. Bohner. Über das Schrumpfen und die Oberflächenspannung hartgezogener Drähte aus Cu. Al. Bronze, Aldrey und Aludur. — Z. Metallkde 20, (1928), 286/8.
- [13] H. Bohner. Über einige Korrosionsfälle an Al-Freileitungseilen. — Z. Metallkde 20, (1928), 309/15.
- [14] A. Fuchs. Verwendung des Al und seiner Legierungen in der Elektrotechnik. — Elektricitätswirtschaft, 27, (1928), 91/6; J. Inst. Met. 42, (1929), 600.
- [15] A. Fuchs, Kaufmann. Lichtbogenwirkungen an Freileitungseilen. — ETZ, 49, (1928), 126/8.
- [16] A. Fuchs, H. Wisthaler. Zur mechanischen Sicherheit von Freileitungseilen. — ETZ, 49, (1928), 1705/13.
- [17] H. Schmitt. Über den Einfluss von Kurzschlussströmen auf die Festigkeit und Leitfähigkeit hartgezogener Drähte. — ETZ, 49, (1928), 684/8.
- [18] An Al and bauxite. — Mineral Ind., 36, (1928), 11/27; J. Inst. Met., 41, (1929), 592.
- [19] La Société Anonyme pour l'Industrie de l'Aluminium — Neuhausen. L'Aluminium et ses alliages, pp. 126. (1928).
- [20] H. Bohner. Zugfestigkeit und elektrische Leitfähigkeit von Reinaluminium und Al-Legierungsdrähten in Abhängigkeit von mechanischer und thermischer Behandlung. — Aluminium, 1, (1929), 12/30.
- [21] A. Fuchs. The Al alloy "Aldrey". — Siemens Z., 9, (1929), 153/7; J. Inst. Met., 41, (1929), 593.
- [22] F. Guhrauer. Aldrey, new construction material for conductors of electric lines. — Energia elettrica (Madrid), 31, (1929), 235/9; J. Inst. Met., 44, (1930), 484.
- [23] H. Schmitt. Vergleich der Freileitungswerkstoffe nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung. — Aluminium, 1, (1929), 3/12.
- [24] H. Schmitt. Die Al-Demonstrationsleitung auf Sylt. — Aluminium, 1, (1929), 31/42.
- [25] H. Schmitt. Die Al-Versuchsleitung auf Sylt. — Z. Metallkde, 21, (1929), 423/4.
- [26] W. Schwinning. Untersuchungen über die Wechselfestigkeit von Freileitungsdrähten. — Aluminium, 1, (1929), 54/8.
- [27] G. Shinoda. Metallographic study of Al-wire for electric conduction. — Denki — Hyoron, 17, (1929), 255/61; J. Inst. Met. 43, (1930), 447.
- [28] A. von Zeerleder, P. Bourgeois. Effect of temperatures attained in overhead electric transmission cables. — J. Inst. Met., 42, (1929), 321/9.
- [29] Aluminium-Beratungsstelle. Al und Al-Legierungen für Freileitungszwecke. — Aluminium, 2, (1930), 332.
- [30] L. Maillefert. Use of Al-base conductors for overhead lines. — Rev. Aluminium, 6, (1930), 1073/81; J. Inst. Met., 47, (1931), 556.
- [31] F. Pester. Die Festigkeitseigenschaften von elektrischen Leitungsdrähten bei tiefen Temperaturen. — Z. Metallkde, 22, (1930), 261/3.
- [32] W. Schwinning, E. Dorgerloh. Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften von Freileitungsdrähten aus Elektrolytkupfer, Bronze, Al und Aldrey bei Zerreisversuchen und bei Schwingungsbeanspruchung. — Aluminium, 2, (1930), 99/130.
- [33] An. Special alloys. — Fonderie mod., 24, (1930), 79/80; J. Inst. Met., 43, (1930), 490.
- [34] E. Honegger. Researches on the mechanical properties of free transmission wires of electrolytic copper, bronze, Al and Aldrey. — Schweizer. Bauzeit., 97, (1931), 137/8; J. Inst. Met., 50, (1932), 657.
- [35] H. Schmitt. Die Verwendung des Al in der Elektrotechnik. — Aluminium, 3, (1931), 253/60.
- [36] A. Zeerleder. Einfluss von Koronaerscheinungen auf Freileitungsdrähte. — Aluminium, 3, (1931), 267/9; Bulletin Schweiz. elektrotechn. Verein, 12, (1931), 215/7.
- [37] F. A. Borin, A. A. Boczwar, J. P. Weliczko, K. W. Gorew, M. O. Kuzniecowa. A study of the heat-treatment of alloys of the aldrey type. — Cwietnyje Mietaly, (1932), (12), 34/108; J. Inst. Met. Abstr., 1, (1934), 35.
- [38] F. Pester. Festigkeitsprüfungen an Stangen und Drähten bei tiefen Temperaturen. — Z. Metallkde, 24, (1932), 67/70, 115/20.
- [39] C. Pramaggiore. Conduttori in lega di alluminio. I conduttori in Aldrey. — Alluminio, 1, (1932), 80/107; J. Inst. Met., 50, (1932), 687.
- [40] Rtz. Al overhead lines in Italy. — ETZ, 53, (1932), 365; J. Inst. Met., 50, (1932), 687.
- [41] An. List of transmission lines with tension up to 60,000 volts executed in Italy with Al conductors. — Alluminio, 1, (1932), 252; J. Inst. Met., 50, (1932), 688.
- [42] An. Germany uses Al alloy for transmission lines. — Compressed Air Mag., 37, (1932), 3738; J. Inst. Met., 50, (1932), 375.
- [43] Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, Ausschuss für Al-Leitungen. Untersuchungen beschädigter Leitungseile. — Z. Metallkde, 24, (1932), 285/8.
- [44] G. Grube, F. Vaupel. Der Einfluss der Vorbehandlung auf die mechanischen Eigenschaften und die elektrische Leitfähigkeit von Magnesiumsilizidhaltigen Aluminium. — Z. Metallkde, 35, (1933), 84/8, 106.
- [45] R. Irmann, W. Müller. Corrosion of Aldrey and Avional D under prolonged load. — Light Metals Research, 2, (1932), (14), 18; J. Inst. Met., 53, (1933), 20.
- [46] L. Manfredini, C. Pramaggiore. L'alluminio e le sue leghe come materiale conduttore. — 32 Riunione Annuale deli A. E. J. Sorrento, (1933), pp. 52.
- [47] C. Pramaggiore. La vibrazioni di piccola ampiezza a grande frequenza sui conduttori delle linee elettriche di trasporto. — Alluminio, 2, (1933), 251/84.
- [48] H. Schmitt. Die Al-Versuchsleitung auf Sylt. — Z. Metallkde, 25, (1933), 170/2.
- [49] A. von Zeerleder, M. Bosshard, R. Irmann. Warmfestigkeit und Warmhärte verschiedener Al-Legierungen. — Z. Metallkde, 25, (1933), 293/8.
- [50] M. Dérivé. The Al-Si alloys. — Technique automobile et aérienne, 25, (1934), (164), 7/13; J. Inst. Met. Abstr., 1, (1934), 291.
- [51] W. Friedmann. Determination of the alternating bending strength of wires. Construction of a suitable testing machine. — Mitt. Wöhler-Inst., (1934), (22), pp. 91; J. Inst. Met. Abstr., 2, (1935), 438.
- [52] R. Irmann, W. Müller. Aldrey als Fahrleitungsdraht. — Aluminium, 17, (1934), 142/7.
- [53] S. Kishino. Effects of alloying processes on the electrical resistance of aldrey-type alloys. — Kogyo Kwagaku Zasshi, (1934), (4), 34; J. Inst. Met. Abstr., 1, (1934), 564.
- [54] W. Schwinning, E. Dorgerloh. Untersuchungen über das Verhalten von angebrochenen Al- und Cu — Freileitungseilen bei Schwingungsbeanspruchung. — Z. Metallkde, 26, (1934), 162/4.
- [55] M. Thomas. Einige Betriebserfahrungen mit Aldreyleitungen. — Bull. Schweiz. Elektrot. Ver., 25, (1934), 99/104; — J. Inst. Met. Abstr., 1, (1934), 215.
- [56] G. Dassetto. Linee telefoniche in aldrey. — Alluminio, 4, (1935), 149/55; J. Inst. Met. Abstr., 3, (1936), 732.
- [57] R. Irmann, W. Müller. Bestimmung der Dauerstandfestigkeit von Aldrey und Rein-Al. — Aluminium, 17, (1935), 7/10.
- [58] S. Kishino. Hardening effects of heat-treatment on aldrey type light alloys. — Nippon Kwagaku Kwai Shi, 56, (1935), 230/5; J. Inst. Met. Abstr., 2, (1935), 337.
- [59] S. Kishino. Study of the alloying of the aldrey type light alloys. — Kogyo Kwagaku Zasshi, 38, (1935), (3).
- [60] S. Kishino. Study of the ageing of aldrey type light alloys made by two different melting processes. — Kogyo Kwagaku Zasshi, 38, (1935), (3).
- [61] W. Schwinning. The mechanical properties of metals at low temperatures. — Z. V. D. I., 79, (1935), 35/40; J. Inst. Met. Abstr., 2, (1935), 422.
- [62] H. Wiesthaler. Freileitungen aus Al und Al-Legierungen. — Z. V. D. I., 79, (1935), 105/10.
- [63] An. Al-conductors. — Bull. Assoc. Suisse Electr., 26, (1935), (2), 46/7; J. Inst. Met. Abstr., 2, (1935) 186.
- [64] An. Lieferbedingungen für Aldrey-Drähte und Seile. — Metallwirtschaft, 14, (1935), 344/5.
- [65] G. Dassetto. Italienische Erfahrungen mit Fernmeldeleitungen. — Aluminium, 18, (1936), 253/6.
- [66] G. Dassetto. Resistenza alla corrosione dell'alluminio et dell'aldrey. — Energia elettrica, 13, (1936), 478/80; J. Inst. Met. Abstr., 4, (1937), 7.
- [67] T. Gröbl, H. Glasser. Entwicklung der Seilbauarten und ihre Bewährung im Freileitungsbau. — ETZ, 57, (1936), 1388/91.
- [68] R. Irmann, W. Müller. Beitrag zur Bestimmung der Wärme-dauerstandfestigkeit verschiedener Al-Legierungen. — Schweiz. Arch. angew. Wissensch. und Technik, (1936), (10).
- [69] M. Preiswerk. Non-vibrating cables for aerial conductors. — Bull. Assoc. Suisse Electr., 27, (1936), 543; J. Inst. Met. Abstr., 3, (1936), 481.
- [70] M. Preiswerk, W. Müller. Fernmeldeleitungen aus Aldrey-Draht. — Alluminio, 18, (1936), 184/191.
- [71] A. von Zeerleder, R. Irmann. Mechanical properties of Al and its alloys after prolonged heating. — J. Inst. Met., 59, (1936), 111/24.
- [72] M. Preiswerk, G. Dassetto. Conduttori antivibranti. — Energia elettrica, 13, (1936), 82/6; J. Inst. Met. Abstr., 5, (1938), 454.
- [73] F. Giolitti. Al telephone wire. — Metal Progress, 31, (1937), 534/5; J. Inst. Met. Abstr., 4, (1937), 418.
- [74] R. Irmann, W. Müller. Effect of salt spray on Al-alloys under simultaneous static stresses. — Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn., 3, (1937), 158/66; Metaux et corrosion, 13, (1938), 79/81; J. Inst. Met. Abstr., 4, (1937), 629.
- [75] O. Bleich jr. Aluminium. — Schwachstrom, 14, (1938), 137/8; J. Inst. Met. Abstr., 5, (1938), 645.
- [76] M. Bosshard, H. Hug. The influence of the iron content on the properties of Al-Mg-Si alloys. — Metallwirtschaft, 18, (1939), 6/8; J. Inst. Met. Abstr., 6, (1939), 211.
- [77] W. Geller. Zugfestigkeit und Dehnung von Kneflegierungen der Gattung Al-Mg-Si. — Z. Metallkde, 31, (1939), 9/11.
- [78] P. Behrens, L. Lux, J. Neffzer. Aluminiumfreileitungen. — Aluminium-Zentrale, (1940), Berlin, pp. 286.
- [79] L. Guillet. Les métaux légers et leurs alliages. — Dunod, (1940), Paris.
- [80] Schema di norme per conduttori di alluminio crudo, alluminio-acciaio e leghe di alluminio per linee aeree di trasporto d'energia. — Energia elettrica, 17, (1940), 230/7.
- [81] H. Gorsdorf. Fernmeldefreileitungen aus Aldrey. — ETZ, 62, 833/6.
- [82] C. Haase, H. Wurst. Zur Frage der Kalt- und Warmaushärtung bei Al-Mg-Si-Legierungen. — Z. Metallkde, 33, (1941), 399/403.
- [83] P. Muraour. Emploi des conducteurs en Al, en Al-acier et en almelec dans la construction des lignes aériennes. — B. Arthaud, (1941), Grénoble, pp. 81.
- [84] M. Preiswerk. The technology of Al overhead lines. — Bull. Assoc. Suisse Electr., 32, (1941), 655/7; J. Inst. Met. Abstr., 9, (1942), 191.
- [85] An. The use of Al for overhead lines especially in urban areas. — Bull. Assoc. Suisse Electr., 32, (1941), 63/5.
- [86] O. Föppel, R. Holzer. Increasing the service life of light alloy wires by pressures applied to the surfaces. — Werkstatttechnik u. Werksleiter, 36, (1942), (3/4), 62/5; J. Inst. Met. Abstr., 10, (1943), 106.
- [87] Aluminium Taschenbuch. — Aluminium Zentrale, (1942), Berlin.
- [88] A. von Zeerleder. Technologie des Al und seiner Leichtlegierungen. — Akad. Verlag, (1943), Leipzig.
- [89] P. Behrens, L. Reschke. The effect of wood-impregnating media on pure sheet Al and on cables of pure Al, steel-Al and aldrey. — Elektricitätswirtschaft, 41, (1942), 58/62.
- [90] Commission électrotechnique Internationale, Bulletin 7 (Suisse) 210, gruzdzien 1948.

INŻ. ZBIGNIEW SICIŃSKI
GŁÓWNY
INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI
Zakład Materiałoznawstwa Elektr.
(Wrocław)

Nowoczesne syntetyczne syciwa kondensatorowe

Chlorowane związki aromatyczne

Treść. Naftaleny i dwufenyle chlorowane jako syciwa syntetyczne do budowy kondensatorów. Produkcja tych syciw i warunki technicznego odbioru przy dostawach. Podstawy procesu nasycania izolacji przy budowie kondensatorów papierowych. Wpływ syciwa na cechy elektryczne kondensatorów papierowych. Krajowe możliwości produkcji syciw chlorowanych. Wyniki badania krajowego naftalenu chlorowanego w Głównym Instytucie Elektrotechniki.

Современные синтетические материалы для пропитки изоляции конденсаторов. Хлорированные нафталины и дифенилы, как синтетические пропитывающие материалы для постройки конденсаторов. Производство этих материалов и технические условия приемки их при поставке. Основы процесса пропитки бумажной изоляции при постройке конденсаторов. Влияние пропитывающего материала на электрические свойства конденсаторов с бумажной изоляцией. Возможности отечественного производства хлорированных материалов. Результаты испытания в Главном Электротехническом Институте хлорированного нафталина местного производства.

Modern synthetic impregnating mediums for condensers. Chlorinated naphthalenes and diphenyls as synthetic impregnating mediums in condenser construction. Manufacturing process of these saturating mediums and acceptance test conditions. Principles of the process of impregnating the paper insulation in condenser manufacture. Influence of the saturating medium on the electric properties of paper insulated condensers. Possibilities in Poland for the manufacture of chlorinated impregnating mediums. Results of test carried out with Polish-made chlorinated naphthalene at the Chief Electrical Institute.

Produits d'imprégnation synthétiques modernes pour condensateurs. Naphtalènes et diphenyles chlorés comme produits d'imprégnation synthétiques dans la construction des condensateurs. Production de ces produits et conditions techniques de réceptions des fournitures. Principes du processus d'imprégnation de l'isolement dans la fabrication des condensateurs au papier. Influence du produit d'imprégnation sur les propriétés électriques des condensateurs au papier. Possibilités de production des produits d'imprégnation chlorés en Pologne. Résultats des essais du naphtalène chloré à l'Institut Central Electrotechnique.

1. Wstęp.

Celem tego artykułu jest omówienie syciw syntetycznych, zakresu ich stosowania w elektrotechnice, ich produkcji, zalet w porównaniu z najczęściej stosowanymi syciwami pochodzenia mineralnego, technologii użytkowania oraz obecnych możliwości produkcyjnych w kraju.

Podział syciw kondensatorowych jest ściśle związany z podziałem samych kondensatorów:

- kondensatory na prąd stały niskonapięciowe,
- kondensatory na prąd stały wysokonapięciowe,
- kondensatory na prąd zmienny.

Grupę a), najliczniejszą, tworzą kondensatory teletechniczne (blokowe) i radiotechniczne (rurkowe). Zaprojektowanie krajowych kondensatorów grupy b) jest na razie małe. Natomiast grupa c), do której należą kondensatory statyczne, stanowi w chwili obecnej najpoważniejszą pozycję w dziedzinie kondensatorów papierowych.

W pierwszej grupie kondensatorów (niskonapięciowych) stosowana była w Polsce do r. 1939 prawie wyłącznie parafina, dopiero zaostrzone wymagania drugiej wojny światowej narzuciły i u nas znane od dawna zagranicą syciwa syntetyczne typu naftalenów chlorowanych (halowaks 1001, nibren D 88 itp.). W tej grupie kondensatorów znajdują zastosowanie również: cerezyna, ozokeryt naturalny i syntetyczny, oppanol, wosk Z i inne. Wszystkie syciwa tej grupy są ciałami stałymi.

Do nasycania kondensatorów grupy b) i c) stosowane są syciwa typu ciekłego i mazistego. Należą tu syciwa naturalne pochodzenia mineralnego: olej i wazelina kondensatorowa, syciwa pochodzenia roślinnego — olej rycynowy oraz syciwa syntetyczne jak dwufenyle chlorowane („clophen“, „piranol“, „sowol“, „interteen“, „chlorextol“) i wazelina syntetyczna.

Niektóre z chlorowanych dwufenylów w formie mieszaniny z trójchlorobenzenem są stosowane zagranicą nie tyle jako namiastki olejów transformatorowych, ile jako nowe oleje o znacznie lepszych właściwościach.

2. Produkcja syciw syntetycznych.

Dwie najpoważniejsze grupy syciw syntetycznych powstałe z chlorowania związków o budowie wielocząonowych układów pierścieniowych potraktujemy oddzielnie, pomijając zupełnie opis produkcji innych dopiero rozwijających się wosków i wazelin syntetycznych.

Produkcja naftalenu chlorowanego. Chlorowane naftaleny powstają wskutek oddziaływa-

nia chloru na czysty naftalen $C_{10}H_8$ w temperaturze około $100^{\circ}C$, pod ciśnieniem rzędu 4 atm. i w obecności antymonu ziarninowego spełniającego rolę katalizatora. Czas chlorowania zależy od pożądanego stopnia schlorowania, który ustala temperaturę topliwości syciwa. Dla najczęściej stosowanego syciwa kondensatorowego o temperaturze topliwości ok. $90^{\circ}C$ czas ten nie przekracza 100 godzin. Po chlorowaniu syciwo jest neutralizowane 50%-wym roztworem sody kaustycznej w temperaturze $140^{\circ}C$ oraz przepłukiwane miękką gorącą wodą.

Otrzymany brunatny produkt jest mieszaniną naftalenów chlorowanych o różnych stopniach schlorowania. Celem wydzielenia frakcji pojedynczej o wyrażonej temperaturze topliwości, np. rzędu $+90^{\circ}C$, syciwo jest dalej oczyszczane przez destylację w próżni około 5 mm słupa rtęci, w temperaturze rzędu $190^{\circ}C$, w obecności ziemi okrzemkowej i węglanu sodu. Proces oczyszczania jest kontrolowany przez okresowy pomiar temperatury topliwości i obserwację zabarwienia.

Produkt całkowicie oczyszczony jest koloru prawie białego, zawiera ponad 50% związanego chloru i składa się przeważnie z czterochloronaftalenu $C_{10}H_4Cl_4$ z małymi domieszkami głównie trójchloronaftalenu $C_{10}H_5Cl_3$, jego temperatura topliwości jest rzędu $+90^{\circ}C$. Rzadziej stosowane syciwo o temperaturze topliwości około $+130^{\circ}C$ zawiera 60% związanego chloru i składa się głównie z sześciochloronaftalenów $C_{10}H_2Cl_6$.

Produkcja dwufenylu chlorowanego. Bardzo czysty benzen C_6H_6 , przepływając przy temperaturze $800^{\circ}C$ przez rurę ze stopu miedź-mangan, przechodzi w dwufenyl $C_{12}H_{10}$, który następnie w obecności chlorku żelaza jest chlorowany w kotłach wyłożonych ołowiem. Temperatura procesu chlorowania zmienia się od $110^{\circ}C$ na początku procesu do $130^{\circ}C$ przy jego końcu. Nadmiar chlorowodoru przedmuchiwany jest z płynnego syciwa strumieniem powietrza. Następnie syciwo jest oczyszczane przy pomocy sody kaustycznej, ziemi okrzemkowej i węglanu sodu.

Zależnie od stopnia schlorowania otrzymuje się kilka różnych odmian chlorodwufenyli, w których ilość ciężkich drobin chloru związanych z dwufenylem narzuca syciwo pewne zasadnicze cechy chemiczne i elektryczne. Tak np. odmiany o trzech ciężkich drobinach chloru związanych z dwufenylem posiadają największą stałą dielektryczną, ale również największą wrażliwość na wilgoć i zanieczyszczenia. Chlorodwufenyle o pięciu drobinach związanego chloru cechują najniższe straty dielektryczne i najwyższa stateczność chemiczna; ta właśnie odmiana znalazła za-

stosowanie jako syciwo kondensatorowe. Sześcirodobinowe chlorodwufenyle posiadają znów najwięcej cech pożądaných w olejach transformatorowych: stateczność chemiczną, w szczególności niewrażliwość na tlen, małą lepkość i niepalność. Syntetyczne oleje

tryczna i które spowodowały prawie całkowite wyparcie parafiny z techniki kondensatorów papierowych, mają też poważne wady:

a) szkodliwy wpływ na organizm ludzki (wada najpoważniejsza),

Tablica I. Własności fizyczno-chemiczne syciw kondensatorowych

Własność	Jednostka	Warunki pomiaru	Chlorowane naftaleny			Chlorowany dwufenyl (klofen A50)	Parafina	Wosk syntetyczny „Z”	Wazelina mineralnego pochodzenia
			nibren		halowaks				
			D88	D130	1001				
Postać handlowa	—	—	ziarnista	ziarnista	plyty	ciecz	plyty	plyty	mazista
Kolor	—	—	biały	sz. biała	blad— żółty	prawie bezbarny	biały	biały	żółty
Ciepłota właściwa	g/cm ³	+ 20°C	1,57	1,73	1,53—1,59	1,55	0,9	0,93	0,83 — 0,9
Temperatura krzepnięcia (mięknienia)	°C	—	+90	+129	+115	+12	+95 do +100	+90 do +100	+30 do +50
Temperatura zapłonu	°C	—	—	—	158	222	205	260	> 295
Temperatura palenia	°C	—	niepalny	niepalny	niepalny	niepalny	245	310	—
Liczba kwasowa	mg KOH	—	0	0	—	0,01	0	0	0
Popiół	%	—	< 0,005	< 0,005	—	b. mały	0	0	< 0,005
Skurcz	%	150—20°C 100—20°C	11	10	mały	—	—	—	—
Stała dielektryczna	—	+ 20°C	5	4	5—6	6	2—2,2	2—2,1	< 14
Straty dielektryczne	—	+ 20°C, 50 Hz	10 ⁴	10 ⁴	< 20.10 ⁴	< 10.10 ⁴	3.10 ⁴ —7.10 ⁴	—	3.10 ⁴ —5.10 ⁴
Wytrzymałość dielektryczna	kV/cm	+ 20°C	60—200	200	—	200	120—200	—	200—250
Opór elektryczny	Ωcm	+ 20°C	10 ¹⁴	10 ¹⁵	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵ —10 ¹⁸	10 ¹⁸ —10 ¹⁹	10 ¹⁵

transformatorowe, np. radziecki sowtoł, amerykański piranol i niemiecki klofen T 64, są mieszaniną chlorodwufenylów i trójchlorobenzenu.

Inne woski syntetyczne. Zasada produkcji innych wosków syntetycznych polega przeważnie na ketonizacji ciężkodobinowych kwasów tłuszczowych oraz hydrogenizacji niektórych węglowodorów. Np. „wosk Z” produkcji IG. Farben-Industrie produkowany z wosku Montana posiada budowę podobną do parafiny, od której różni się większą ilością związaných cząstek węgla (55—60), dzięki czemu posiada wyższą temperaturę topliwości, rzędu 98—100° C.

3. Charakterystyka syciw chlorowanych.

Uwagi ogólne

Cechy dobrego syciwa kondensatorowego powinny być następujące:

- duża stała dielektryczna,
- małe straty dielektryczne,
- duża wytrzymałość dielektryczna,
- duży opór elektryczny,
- stałość powyższych czterech cech lub ich mała i dokładnie znana zależność od temperatury, wilgotności, czasu i częstotliwości.

Osiągnięcie wszystkich tych warunków jest na razie wciąż jeszcze utopią, natomiast dzięki zgodnej współpracy chemików i elektryków, z jednej strony, oraz producentów i użytkowników, z drugiej strony, otrzymano zależnie od przeznaczenia poszczególných syciw pewne cechy najkorzystniejsze.

Pierwsze cztery punkty (a—d) są ujęte w tabl. I wraz z szeregiem innych cech fizycznych, chemicznych i termicznych. Punkt ostatni (e) potraktowany jest opisowo, przy czym podana na końcu artykułu literatura umożliwi zainteresowanym szczegółowe zapoznanie się z tematem.

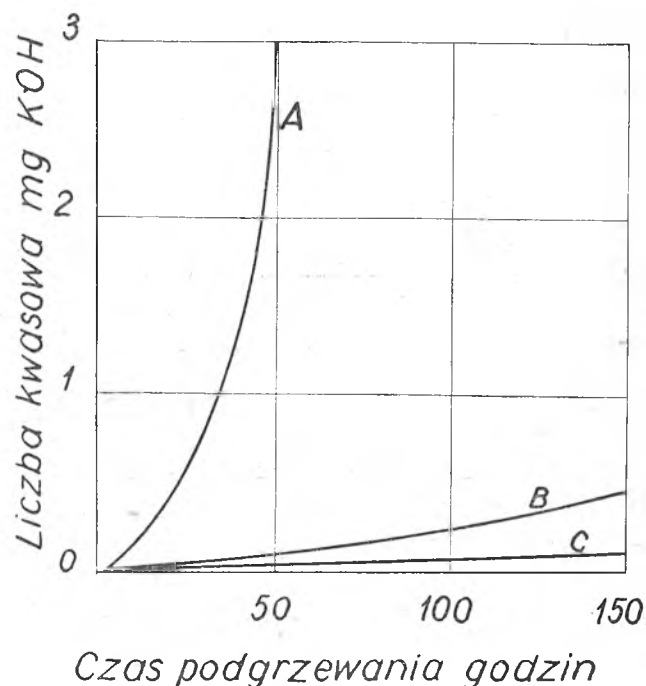
Naftaleny chlorowane

Naftaleny chlorowane mimo wyraźnych zalet, do których należy przede wszystkim duża stała dielek-

b) zmienność wartości dielektrycznych ϵ i $\text{tg} \delta$ z biegiem czasu,

c) zależność wielkości dielektrycznych od temperatury i częstotliwości,

d) stała wada wszystkich syciw woskowych — duży skurcz powodujący m. in. obniżenie wytrzymałości dielektrycznej.



Rys. 1. Zależność kwasowości syciw woskowych od czasu przegrzewania (wg Renne)

A parafina przy 150°C

B cerezyna przy 170°C

C halowaks (naftalen chlorowany) przy 185°C

Z chemicznego punktu widzenia naftaleny chlorowane pod względem czystości niczym nie ustępują parafinie, przewyższają ją natomiast mniejszą skłon-

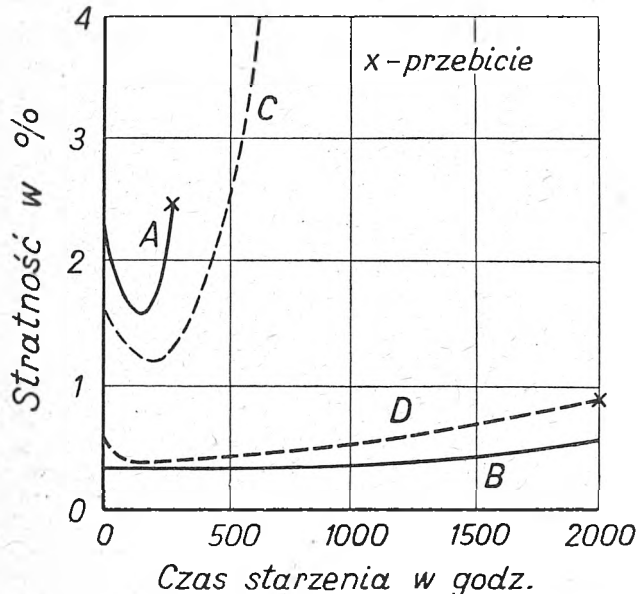
nością do utleniania i kwaśnienia z biegiem czasu przy powtarzających się nagrzewaniach (nasywanie). Rys. 1 przedstawia to graficznie.

Szkodliwość dla zdrowia. Szkodliwe działanie chlorowanych naftalenów objawia się w działaniu na naskórek szczególnie u ludzi posiadających jasną cerę. Wypadki trującego działania naftalenów chlorowanych spotyka się bardzo rzadko, np. na terenie Niemiec jedynie przy produkcji tych syciw stwierdzono parę ciężkich ataków żółtaczki (IG. Farben-Industrie, Troisdorf). Z drugiej znów strony trzeba przyznać, że zauważano również i dodatni wpływ chloronaftalenów na organizm ludzki, mianowicie obniżenie się skłonności do przeziębień. Niemniej jednak przemysł angielski np. zrezygnował z wprowadzenia tego syciwa na większą skalę właśnie z powodu jego szkodliwego wpływu na organizm ludzki.

Wystarczającymi środkami zapobiegawczymi dla ochrony zdrowia pracowników, stykających się bądź z samym syciwem, bądź z jego parami, są:

a) usuwanie par chloronaftalenu z miejsca pracy przy pomocy wyciągów — wystarczającą szybkość przepływu powietrza jest około 1 m/sek.; przy większych nasileniach par bardzo dobre wyniki daje ustawienie dwu rurociągów wyciągowych, działających równocześnie w dwu kierunkach, przy czym jeden z rurociągów umieszczony jest na poziomie podłogi, drugi na wysokości głowy pracujących;

b) stosowanie kremów (Desitin) dla ochrony skóry w miejscach stykających się z syciwem w formie stałej lub płynnej; miejsca skóry stykające się tylko z parami chloronaftalenów powinny być chronione pudrem (Fissan Schwefelpulver); najlepiej powinny być



Rys. 2. Wpływ siarki i gatunku papieru na starzenie kondensatorów nasyconych trójchlorodwufenylem przy folii cynowej. Stratność dla 1 kHz (D. A. Mc. Lean)

- A papier szmaciany, syciwo bez dodatku
B papier szmaciany, syciwo z dodatkiem 0,5% S
C papier sulfatowy, syciwo bez dodatku
D papier sulfatowy, syciwo z dodatkiem 0,5 S

chronione te miejsca, które są narażone na tarcie brzojem bielizny lub odzieży ochronnej;

c) staranne mycie skóry (ręce, twarz i szyja) gorącą wodą i przetłuszczonym mydłem zarówno po pracy, jak i przed jedzeniem;

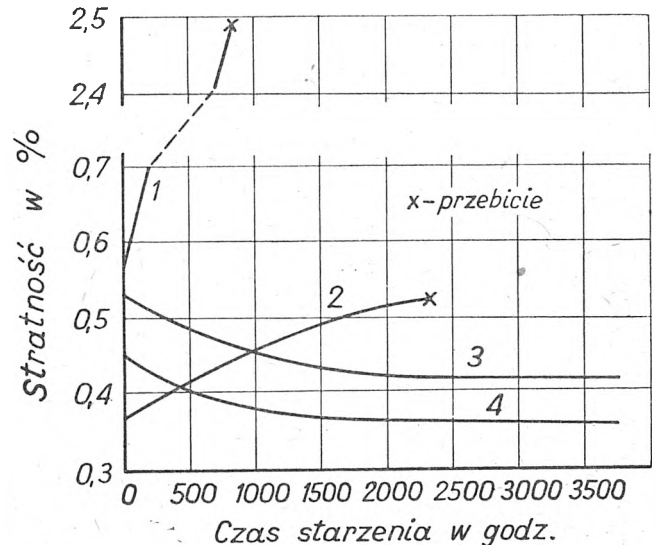
d) bezwzględny zakaz jedzenia w czasie pracy i w miejscu pracy;

e) częste (1 raz tygodniowo) pranie odzieży ochronnej i bielizny;

f) zakaz zatrudniania kobiet i młodzieży w nasycalnicach;

g) okresowa kontrola stanu zdrowotnego pracowników i przenoszenie ich do innych miejsc pracy w wypadku zauważenia pewnych niedomagań.

Koro zja. Naftaleny chlorowane są bardzo mało wrażliwe na utlenianie i normalnie nie wykazują dzia-



Rys. 3. Wpływ siarki i gatunku folii na starzenie kondensatorów z papieru sulfatowego nasyconego pięciochlorodwufenylem. Stratność dla 1 kHz (D. A. Mc. Lean)

- 1 folia cynowa, syciwo bez dodatku
2 folia cynowa, syciwo z dodatkiem 0,5% S
3 folia aluminiowa, syciwo bez dodatku
4 folia aluminiowa, syciwo z dodatkiem 0,5% S

łania korozyjnego. Jednak w pewnych warunkach następuje częściowy rozkład syciwa, oddzielenie cząstek chlorowodoru, który działając na folię aluminiową elektrod wytwarza sole doprowadzające do rozkładu organicznych części izolacji. Widać z tego, że kwestia starannego oczyszczenia naftalenów chlorowanych z resztek chlorowodoru i wolnego chloru jest kwestią dla kondensatorów bardzo ważną i warunek liczby kwasowej równej zeru jest przy badaniu dostawy tego surowca warunkiem nie do pominięcia.

Proces korozyjny przebiega tym szybciej, im wyższe są temperatura i napięcie prądu stałego — dwie zasadnicze cechy pracy kondensatora. Ponieważ chlorowane naftaleny są prawie wyłącznie używane do nasywania kondensatorów na prąd stały, powyższe działanie korozyjne, powodując stałą powolną zmianę cech kondensatora, doprowadza w końcu do jego zniszczenia.

Badania wielokrotne wykazały bardzo silną zależność procesu korozyjnego od czynnych materiałów kondensatora, jak syciwo, papier i materiał elektrod. Przykładowo zależności te wskazują wykresy na rys. 2 i 3.

Powyższe próby doprowadziły zarówno do zbadania przyczyn niestałości cech elektrycznych kondensatorów papierowych, jak również do rozwinięcia środków zapobiegawczych, z których największe rozpowszechnienie uzyskał antrachinon $C_{14}H_8O_2$ i jego pochodne. Antrachinon, jak i stosowana (na skalę tylko laboratoryjną) do stabilizacji cech elektrycznych naftalenów i dwufenyli siarka w najczystszej formie, rozpuszcza się w syciwie w ilości około 1/2%. Działanie jego polega prawdopodobnie na stworzeniu bardzo cienkiej błonki odgradzającej metalową folię od syciwa. Skutek działania tych utrwalczy ukazuje się w zmniejszeniu przewodności jonowej syciwa, a za-

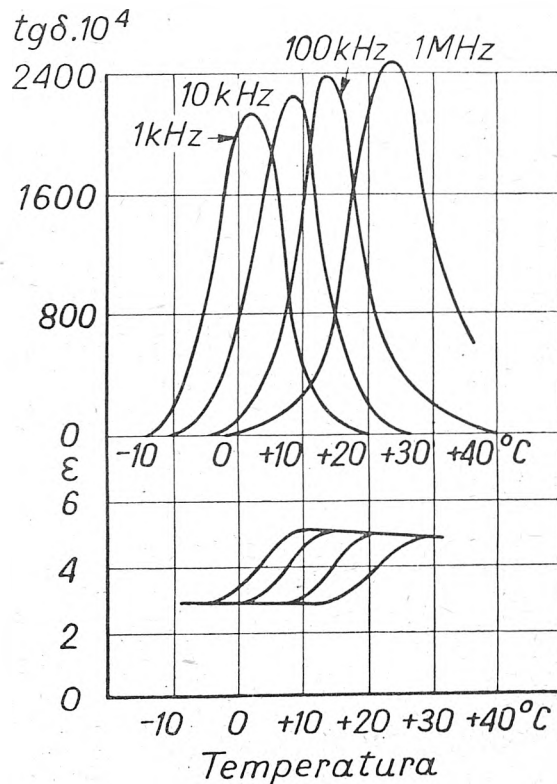
tem zmniejszeniu rozkładu syciwa, zmniejszeniu korozji elektrod, zmniejszeniu i ustaleniu upływu, wręcz zwiększeniu okresu czasu, w którym opór izolacji kondensatora jest jeszcze dostatecznie wielki, a straty dielektryczne nie przekraczają dopuszczalnej wartości.

Zależność stałej dielektrycznej i strat dielektrycznych od temperatury i częstotliwości. Trzecim zjawiskiem nieprzyjemnym przy stosowaniu chlorowanych naftalenów (również i dwufenyli) jest bardzo silna zależność stratności i nieco mniejsza stałej dielektrycznej od temperatury i częstotliwości. Zależności te tłumaczy się charakterem syciwa, będącego naturalną mieszaniną kilku izomerów o polaryzacji dipolowej (niesymetryczny rozkład dodatnich i ujemnych ładunków cząsteczek). Rys. 4 i 5 przedstawiają typowe przebiegi tych zależności dla chlorowanych dwufenyli (klofen A 50) oraz chlorowanych naftalenów (halowaks).

Skurcz. Chlorowane naftaleny są, jak już wspominaliśmy, naturalną mieszaniną kilku izomerów, których wzajemne oddziaływanie utrudnia krystalizację, a tym samym powoduje budowę woskową bezkrystaliczną. Jedną z cech charakterystycznych tej budowy jest duży skurcz powodujący obniżenie wytrzymałości dielektrycznej nasyconych w chlorowanym naftalenie kondensatorów papierowych.

Najczęściej spotykanym, praktycznie najprostszym sposobem ochrony kondensatora przed skutkami dużego skurczu chlorowanych naftalenów, specjalnie przy wymiarowo większych zwijkach (ponad 2–3 cm³), jest studzenie ich po nasyceniu w ośrodku o równie dobrych własnościach elektrycznych, a znacznie niższej temperaturze topliwości. Najczęściej do tego celu są używane: parafina rafinowana lub żółta wazelina (medyczna). Przestrzenie puste, które normalnie pozostają przy zastyganiu chlorowanych naftalenów, wypełnia w tym wypadku znacznie niższe styg-

Rzadziej stosowanym sposobem obniżenia szkodliwego wpływu skurczu jest dodawanie około 3 do 5% benzylocelulozy, która powoduje zmianę struktury syciwa, podwyższając zarówno mechaniczną, jak i elektryczną wytrzymałość zwijek kondensatorowych



Rys. 5. Zależność $\text{tg}\delta$ i ϵ klofenu A 50 (chlorowany dwufenyl) od temperatury i częstotliwości (Houwink)

oraz zmniejszając równocześnie współczynnik zmiany pojemności z temperaturą.

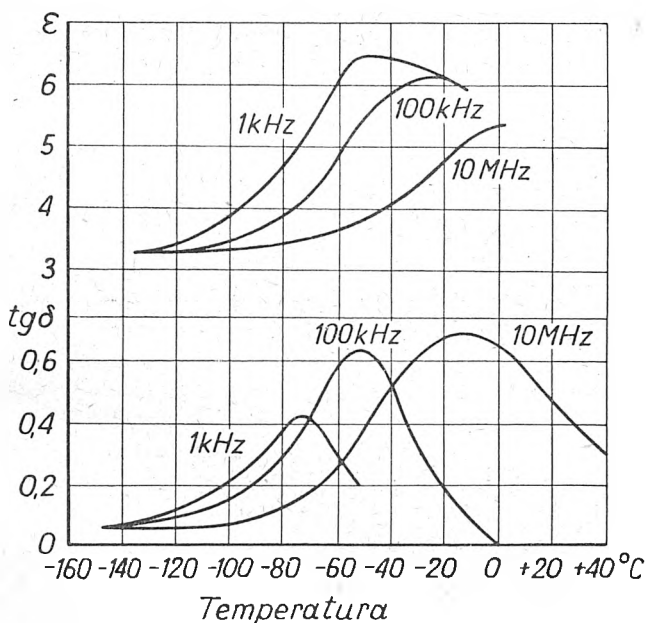
Dwufenyle chlorowane

Chlorowane dwufenyle posiadają szereg zalet, które wysunęły je na stanowisko poważnego konkurenta w stosunku do olejów pochodzenia mineralnego zarówno w technice budowy kondensatorów, jak i transformatorów.

Zagadnienie chlorowanych dwufenyli jest o tyle ważniejsze od kwestii chlorowanych naftalenów, że zakres zastosowania, a przede wszystkim zapotrzebowanie tego surowca jest znacznie większe.

W dziedzinie kondensatorowej chlorowane dwufenyle znalazły zastosowanie w najważniejszym gospodarczo dziale kondensatorów do poprawy współczynnika mocy i częściowo w dziale kondensatorów rozruchowych (do silników jednofazowych). Według źródeł amerykańskich syciwa te znalazły również drobne, lecz specjalne zastosowanie w budowie kondensatorów, przeznaczonych do bardzo szerokiego zakresu temperatur od -40 do +80°C. Syciwo to nosi nazwę „inerteen” specjalny i jest mieszaniną pięciochlorodwufenylu i wielochloroetylobenzenu. Ostatnio zaczęto również stosować chlorowane dwufenyle jako plastyfikatory do lakierów.

Wracając do zalet wykazywanych przez chlorodwufenyle, należałoby uszeregować je w następującej kolejności: niepalność, wodoodporność, bardzo duża odporność na utlenianie, duża stała dielektryczna, duża wytrzymałość dielektryczna, mała lepkość i dobre własności chłodzące. Dwie ostatnie cechy występują tylko w mieszaninach chlorodwufenylu z trójchlorobenzemem.



Rys. 4. Zależność stałej dielektrycznej i strat dielektrycznych chlorowanego naftalenu od temperatury i częstotliwości (Renne)

nąca parafina lub wazelina. Ze względu na stosunkowo szybkie kwaśnienie podgrzewanej parafiny oraz łatwe utlenianie się i dużą chłonność wilgoci wazelinę stosowanie obu tych środków powinno być stale kontrolowane.

Najważniejsze wady tych syciw są: trujące działanie na organizm ludzki, duży ciężar właściwy, oraz brak możliwości zastosowania ich do wyłączników olejowych ze względu na powstający w atmosferze łuku elektrycznego rokład na HCl i CO.

Niepalność jest poważną zaletą syntetycznych olejów syciwnych, tym cenniejszą, że jest ona związana z wykluczeniem możliwości wybuchu. Ma to wielkie znaczenie dla jednostek (zarówno transformatorów,

Tablica II. Skład procentowy gazów olejowych powstających wskutek rozkładu syciwa w atmosferze łuku elektrycznego (według F. M. Clarka)

Olej	H	O ₂	N	Cl	HCl	CO	CO ₂	Lotne węglowodory		Suma(%)
								nie-nasycone	nasycone	
1	60	2	9	—	—	3	0	16	10	100
2	—	—	—	—	ponad 99	0-0,3	0-0,3	—	—	100
3	—	0,25	2	—	97	0,25	—	0,50	—	100

jak i w mniejszym stopniu kondensatorów) ustawianych w pomieszczeniach zamkniętych, w szczególności w kopalniach. Niebezpieczeństwo stosowania w tych pomieszczeniach olejów mineralnych jest tym większe, że obok łatwopalności samego oleju mieszanka powietrza z gazami, które powstają przez rozkład węglowodorów w atmosferze łuku elektrycznego, posiada charakter wybuchowy. Skład powstających gazów zależy zarówno od gatunku oleju, jak i danych łuku elektrycznego.

Tablica II podaje skład procentowy powstających gazów w atmosferze łuku elektrycznego dla następujących olejów:

- olej transformatorowy mineralny,
- olej kondensatorowy syntetyczny (pięciochlorodwufenyl),
- olej transformatorowy syntetyczny (mieszanka chlorowanych dwufenyli z trójchlorobenzenem).

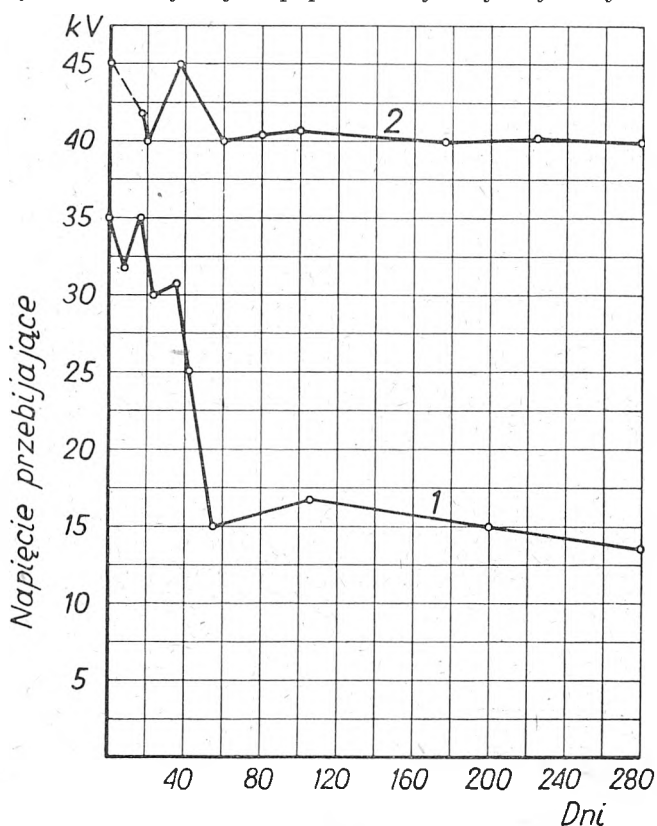
Stateczność chemiczna czyli odporność na utlenianie i działanie wody. Chlorowane dwufenyle są nadzwyczaj odporne na działanie wilgoci, która nawet w najgorszych warunkach zbiera się na powierzchni syciwa i nie przenika w głąb nasyconego materiału. Przypadki zastosowania kondensatorów, które wskutek uszkodzenia obudowy przebywały dłuższy czas pod bezpośrednim wpływem atmosfery i nie utraciły swego dużego oporu izolacji, nie należą do rzadkości.

Drugą cechą stałości chemicznej jest odporność na utlenianie. Oleje mineralne utleniają się względnie łatwo, chlorowane dwufenyle nawet w wyjątkowo niekorzystnych warunkach nie wykazują żadnych zmian. Próby laboratoryjnego starzenia, przeprowadzone w naczyniu zamkniętym, w atmosferze tlenu pod ciśnieniem około 18 atm., w temperaturze 140° C, dały po 42 godzinach wynik całkowicie dodatni: wygląd pozostał przejrzysty, odczyn wyciągu wodnego pozostał obojętny, wolne chlorki nie wystąpiły.

Rys. 6 daje obraz porównawczy starzenia oleju transformatorowego mineralnego i syntetycznego (mieszanka chlorodwufenyli z trójchlorobenzenem), wyrażony w funkcji napięcia przebijającego w zależności od czasu bezpośredniego działania atmosfery — łącznie ze zbieraniem się wody atmosferycznej na powierzchni syciwa. Jedynie przy zastosowaniu chlorowanych dwufenyli do kondensatorów papierowych przeznaczonych dla prądu stałego, przy wyższych natężeniach pola elektrycznego (ponad 10 kV/mm) oraz wyższych temperaturach (rzędu 80° C i wyżej), następuje w obecności elektrod z folii aluminiowej czę-

ściowy rozkład syciwa, powstające zaś sole glinu stopniowo doprowadzają do zniszczenia papieru (dielektryku). Zjawisko to ma prawie taki sam charakter jak przy chlorowanych naftalenach i te same są sposoby jego zwalczania przez antrachinon, stosowane już dziś na skalę przemysłową.

Stała dielektryczna. Duża stała dielektryczna chlorowanych dwufenyli, nieco ponad 5, jest podwójnie korzystna: po pierwsze ze względu na możliwość zmniejszenia wymiarów kondensatora, po drugie ze względu na ujednoczenie rozkładu pola elektrycznego, co ma znaczenie zarówno w kondensatorach, jak i w transformatorach. Suchy papier izolacyjny (nawojowy), a także preszpan mają stałą dielektryczną rzędu 4, olej mineralny około 2, powietrze w przybliżeniu 1. Izolacja papierowa nasycona jest dielektrykiem złożonym; pod działaniem doprowadzonego napięcia następuje nierównomierny rozkład pola elektrycznego, przy czym natężenia pola w poszczególnych dielektrykach są odwrotnie proporcjonalne do stałej dielektrycznej. Przy tego samego rzędu stałych dielektrycznych papieru i syntetycznych syciw



Rys. 6. Porównawcza charakterystyka starzenia oleju transformatorowego mineralnego i syntetycznego (F. M. Clark)

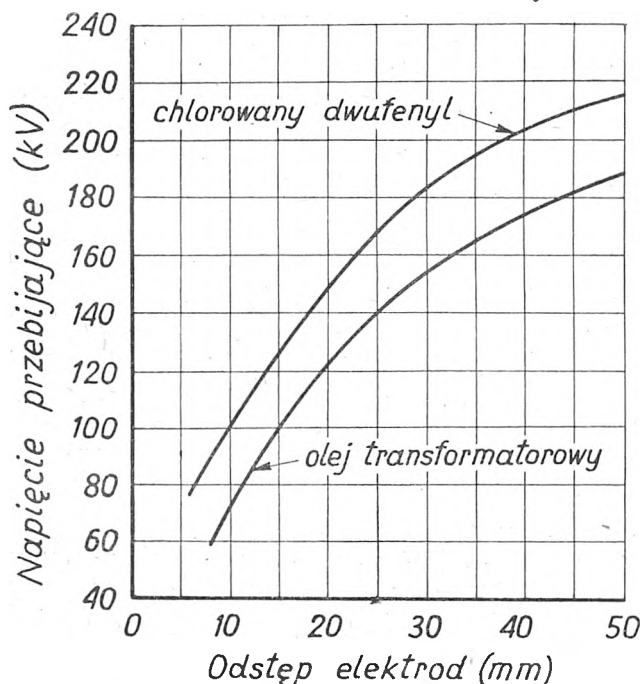
- olej transformatorowy mineralny
- olej transformatorowy syntetyczny (węglowodory chlorowane)

rozkład pola w dielektryku jest korzystniejszy niż w przypadku papieru i oleju mineralnego; umożliwia to dalsze zmniejszenie wymiarów nasyconego przedmiotu przez zwiększenie obciążenia dielektryku. Zauważyć przy tym należy, że wytrzymałość na przebicie samego oleju syntetycznego jest również nieco wyższa niż oleju mineralnego (rys. 7). Tą drogą osiągnięte zmniejszenie wymiarów przy racjonalnej konstrukcji i właściwym użyciu materiałów może dochodzić nawet do 50%:

Lepkość. Chlorowane dwufenyle w temperaturze otoczenia są mazisto-gęste, temperatura krzepnięcia wynosi około + 12° C.

Celem dopasowania obu tych cech do wymagań stawianych olejom transformatorowym opracowano w szeregu krajów mieszaniny pięciochlorodwufenyłu z trójchlorobenzenem (klofen T64, sowtoł itp.), osiągając przez to lepkość równą, a nawet poniżej + 40° niższą, oraz temperaturę krzepnięcia — 32° C tego samego rzędu, co w olejach transformatorowych pochodzenia mineralnego.

Działanie szkodliwe dla zdrowia. Szkodliwe dla zdrowia działanie chlorowanych dwu-



Rys. 7. Porównacza charakterystyka wytrzymałości elektrycznej oleju transformatorowego mineralnego i syntetycznego (F. M. Clark)

fenyli posiada te same cechy, co opisane już wyżej działanie chlorowanych naftalenów. Drobną różnicą między działaniem obu syciw tkwi w stanie ciekłym chlorodwufenyli, co nieco ułatwia zetknięcie się z naskórkiem. Różnica ta jest jednak tak mała, że nie wymaga żadnych specjalnych środków zapobiegawczych, które są identyczne dla obu syciw.

4. Warunki technicznego odbioru syciw syntetycznych.

Ze względu na wzrastające stale w Polsce możliwości zastosowania wymienionych wyżej syciw i trudno dostępną literaturę specjalną podajemy w skrócie warunki technicznego odbioru chlorowanych naftalenów i dwufenyli.

Naftaleny chlorowane

1. Ciężar właściwy przy + 20° C 1,55—1,59 g/cm³.
2. Stała dielektryczna przy + 100° C rzędu 4 (pomiar przy częstotliwości 800 Hz).
3. Temperatura topliwości wg Ubbelohdego w granicach 85—95° C.
4. Lepkość przy 100° C poniżej 1,15° E.
5. Skurcz poniżej 12%.
6. Straty przez wyparowanie poniżej 0,3% (2 godziny, 125° C).
7. Brak zanieczyszczeń mechanicznych.
8. Wchłanianie wody znikomo małe.
9. Zawartość popiołu poniżej 0,005%.
10. Kwasowość pochodzenia mineralnego niedopuszczalna.

11. Wolny chlor oraz zawartość wody niedopuszczalne.

12. Pożądana dostawa w formie ziarnistej.

Dwufenyle chlorowane

1. Gęstość przy + 20° C rzędu 1,57.
2. Stała dielektryczna w temperaturze otoczenia nie mniejsza niż 4,8.
3. Temperatura krzepnięcia rzędu + 12° C.
4. Lepkość przy + 20° C 7000° E, przy + 100° C 1,48° E.
6. Straty przez wyparowanie poniżej 0,1% (2 godziny, 125° C).
- 7—11. Jak dla naftalenów chlorowanych.
12. Zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie niedopuszczalna.

5. Przebieg nasycania.

Przebiegi nasycania mają dla syciw naturalnych i syntetycznych jednakowy charakter. Różnią się jedynie temperaturą, próżnią oraz czasem potrzebnym do wykonania poszczególnych fragmentów procesu.

Na typowy przebieg nasycania składają się następujące czynności:

1. suszenie zwojek kondensatorowych przy ciśnieniu atmosferycznym i temperaturze rzędu 100—125° C przez 4—36 godzin zależnie od wielkości zwojek, rodzaju kondensatora i gatunku syciwa;

2. suszenie próżniowe zwojek kondensatorowych;

a) dla chlorowanych naftalenów i parafiny próżnia rzędu 10—4, a nawet 2 mm słupa rtęci, temperatura 125° C, czas — kilka godzin,

b) dla chlorowanych dwufenyli, olejów mineralnych i wazelin próżnia rzędu 0,2—0,05 mm słupa rtęci, temperatura 125° C, czas do kilkudziesięciu godzin;

3. suszenie syciwa podobnie jak pod 2), lecz przy nieco niższej temperaturze — rzędu 110° C;

Uwaga I. Przy suszeniu olejów mineralnych i syntetycznych stosuje się często rozpryskiwanie, a nawet rozpylanie oleju w kotle służącym do nasycania. Osiąga się w ten sposób lepsze oczyszczenie syciwa ze śladów wody.

4. właściwy proces nasycania odbywa się w próżni tego samego rzędu co przy suszeniu zwojek, temperatura natomiast jest nieco wyższa — około 130° C, czas zależnie od syciwa: dla syciw woskowych kilka godzin, dla syciw olejowych kilkanaście godzin do jednej doby;

Uwaga II. Wciążanie syciwa do kotła z wysuszonymi zwojkami odbywa się bez dostępu powietrza.

5. studzenie wstępne w syciwie w próżni, temperatura końcowa około 100° C;

6. studzenie właściwe w oleju, wazelinie lub parafinie (kąpiel studząca zabezpiecza zwojki przed skutkami dużego skurczu);

7. studzenie końcowe do temperatury krzepnięcia lub poniżej (ta faza studzenia często łączona jest z równoczesnym sprasowywaniem zwojek do określonego wymiaru i pojemności).

Uwaga III. Punkty 5—7 dotyczą syciw woskowych; syciwa typu olejowo-mazistego są studzone normalnie.

6. Charakterystyka nasyczonego kondensatora.

U w a g i o g ó l n e. W zależności od zastosowanego syciwa oraz szczegółów konstrukcyjnych kondensatora otrzymuje się szereg charakterystycznych jego cech. Omówimy je pod kątem rozpatrzenia wpływu wywieranego przez syciwo, podając szczegóły konstrukcyjne jedynie w takim zakresie, by należyście naświetlić obraz warunków, w których syciwo będzie pracować.

Kondensatory papierowe zostały podzielone na trzy klasy.

Klasa I — o najwyższych wymaganiach do pracy w warunkach bardzo ciężkich (duże zmiany ciśnienia, temperatury i wilgotności) np. w lotnictwie. Kondensatory tego typu mają obudowę hermetycznie zamkniętą, wyprowadzenia przez metalizowane i lutowane przepusty ceramiczne. Stosowane syciwa: oleje mineralne i syntetyczne. W tej grupie również znajduje zastosowanie syntetyczny ozokeryt (np. wosk AL 1324, produkt IG Farben-Industrie) ze względu na duży opór izolacji przy wysokich temperaturach.

Klasa II przeznaczona jest do urządzeń przewodnych, a więc narażona również na wpływ zmian atmosferycznych, w mniejszym jednak stopniu niż w klasie I. Obudowa: pudełka metalowe lutowane zamknięte przepustami bakielitowymi. Stosowane syciwa: wazelina naturalna i sztuczna, rzadziej chlorowane naftaleny.

Klasa III przeznaczona do pracy w pomieszczeniach zamkniętych, w pudełkach uszczelnionych przez zalanie masą bitumiczną. Stosowane syciwa: chlorowane naftaleny, woski syntetyczne.

Kondensatorów statycznych (do poprawy $\cos \varphi$) nie zaliczono do żadnej z tych klas, hermetycznością zamknięcia jednak ciążą wyraźnie do klasy I. Stosowane w nich najczęściej syciwa są: oleje syntetyczne, oleje mineralne, wazeliny.

Dla tak zgrupowanych syciw omówimy pokrótce następujące cechy kondensatorów:

1. pojemność, a więc stałą dielektryczną zespołu: papier + syciwo,
2. straty dielektryczne,
3. opór izolacji,
4. wytrzymałość na przebicie oraz związane z nią dopuszczalne napięcie robocze.

Pojemność. Wpływ syciwa na pojemność kondensatora, poza wartością stałej dielektrycznej ϵ , objawia się również w charakterze i wielkości zmiany pojemności z temperaturą. Przy rozpatrywaniu tych zmian nie wolno zapominać o wpływie gęstości papieru: im większa gęstość, tym większy współczynnik

$$\alpha_c = \frac{C}{\Delta C} \cdot 100\%$$

A oto parę cyfr:

parafina	od -0,200 do +0,150%	na 1°C przy 1kHz
chlorowany naftalen	od -0,030 do +0,060%	„ „ „ „
wazelina	rzędu +0,04	„ „ „ „
olej mineralny	rzędu +0,01	„ „ „ „
chlorowany dwufenyl	od -0,05 do -0,03	„ „ „ „

Dla syciw stosowanych w urządzeniach napowietrznych ważna jest również zmiana pojemności temperatury poniżej 0° C:

wazelina	-20°C/ -1,3% i -50°C/ -8%
olej mineralny	-50°C/ -10%
chlorowane dwufenyle	-20°C/ -25%

Jak widać z powyższych cyfr, przy projektowaniu kondensatorów statycznych napowietrznych należy przewidzieć dużą rezerwę pojemności ze względu na silny jej spadek.

Straty dielektryczne. Poniższe zestawienie podaje stratność kondensatorów wykonanych z kondensatorowego papieru siarczkowego przy zastosowaniu różnych syciw. Rząd wielkości strat dielektrycznych dla częstotliwości 1 kHz jest następujący:

parafina	0,003
naftalen chlorowany	0,005—0,006
wazelina mineralna	0,004
olej mineralny	0,003
dwufenyl chlorowany	0,004

Przy niedostatecznym wysuszeniu lub zanieczyszczeniach o charakterze elektrolitycznym stratność wzrasta bardzo silnie, nawet do 0,2.

Ze względu na kondensatory statyczne ważny jest jeszcze wpływ częstotliwości na straty dielektryczne. Zależność ta jest tym większa, im wyższa jest częstotliwość; tak np. stratność kondensatorów papierowych nasyconych olejem mineralnym wzrasta do 0,05—0,06 przy częstotliwości 100 kHz. Oznacza to 5—6% strat na 1 kVAr i praktycznie stanowi górną granicę stosowania kondensatorów papierowych do poprawy $\cos \varphi$. Powyżej tej częstotliwości muszą już być stosowane kondensatory mikowe.

Opór izolacji*). Syciwo wywiera bardzo silny wpływ na opór izolacji kondensatorów papierowych. Poniższe cyfry dają ogólny przegląd spotykanych wielkości (w MΩ. μF):

parafina	naftalen chlorowany	dwufenyle chlorowane	oleje i wazeliny mineralne
10 ⁴ —2·10 ⁴	2·10 ³ —5·10 ³	10 ⁴	5·10 ³ —1,5·10 ⁴

Opór izolacji zmienia się silnie z temperaturą, przy czym szczególnie nieprzyjemny jest wzrost temperatury, np. dla kondensatorów nasyconych chlorowanym naftalaniem opór izolacji spada do 60% dla przyrostu temperatury z +20° C na +30° C. Nieodpowiednie nasylenie lub niedokładne zamknięcie kondensatora może w dalszym ciągu obniżyć stałą czasową nawet do 0,01 MΩ. μF. Naftaleny chlorowane wykazują przy tym znacznie większą wrażliwość niż dwufenyle chlorowane.

6. Wytrzymałość dielektryczna.

Niezależnie od wpływu równomiernego rozkładu pola elektrycznego (o czym była mowa w ustępie o stałej dielektrycznej w rozdz. 3) rodzaj syciwa ma zasadniczy wpływ na wielkość dopuszczalnego w nasycym papierze kondensatorowym naprężenia elektrycznego. Charakterystyczne wielkości są następujące:

naftaleny chlorowane	10—15 V = /μ
wazeliny mineralne	25—35 V = /μ
olej mineralny	40 V = /μ
dwufenyle chlorowane	46 V = /μ (13 V/~μ)
dwufenyle chlorowane dla napięć udarowych do 100 V _{max} /μ.	

W kondensatorach statycznych znaczne podwyższenie wymienionych wyżej napięć roboczych uzyskuje się przez umieszczenie dielektryku pod ciśnieniem.

7. Krajowe możliwości produkcyjne.

Przed drugą wojną światową, około r. 1938, Państw. Fabryka Związków Azotowych w Mościcach wypuściła na rynek krajowy pod nazwą zastrzeżoną „woskol” produkt otrzymany przez chlorowanie naftalenu. Produkt znalazł zastosowanie do nasycania drzewa, sieci rybackich i zapalników mineralnych. Do istniejącej wówczas w Warszawie fabryki kondensatorów i oporów inż. A. Horkiewicza syciwo to nie dotarło. Stosowano wówczas wyłącznie syciwa pochodzenia mineralnego.

W czasie wojny okupant niemiecki wywiózł z PFZA w Mościcach urządzenia chlorowni, uniemożliwiając

* Opór izolacji kondensatorów papierowych jest w literaturze i w praktyce charakteryzowany stałą czasową kondensatora, przy czym wymiarowo stała czasowa ze względów czysto praktycznych podawana jest w formie iloczynu „MΩ·μF”, a nie w „sek”. Dzięki takiemu ujęciu opór izolacji różnych typów kondensatorów może być, bez względu na pojemność, łatwo porównywany.

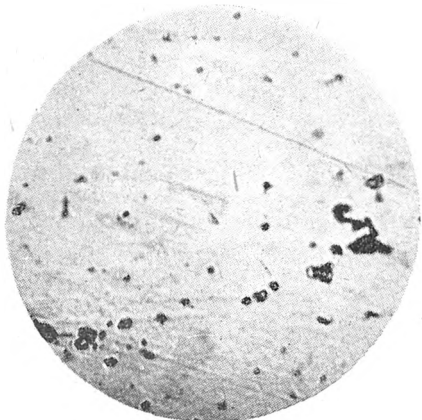
dalszą produkcję, a wprowadzając równocześnie na nasz rynek produkt IG. Farben-Industrie pod nazwą „nibren D88“ (skrót: nicht brennendes Wachs).

Dopiero w roku ubiegłym GIEI (Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego we Wrocławiu) powrócił do

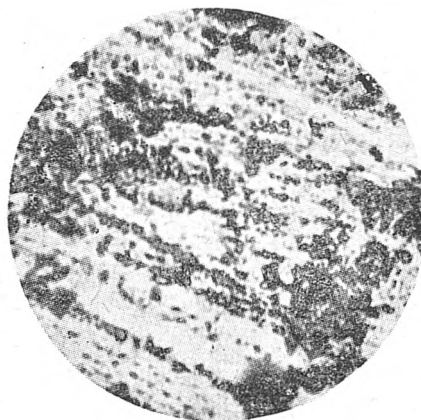
Zbadano próbkę krajową oraz porównawczą próbkę zagraniczną.

Wykonano następujące próby:

1. sprawdzono korozję na miedzi i żelazie,
2. to samo przy współudziale wilgoci,



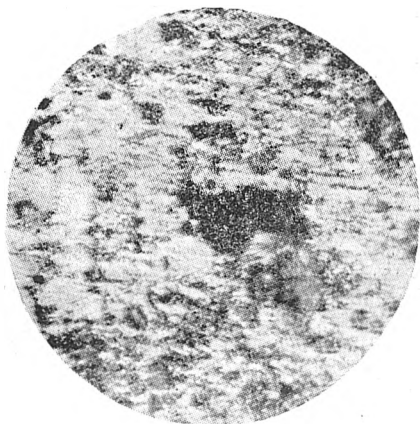
Rys. 8. Próbką żelazną po 200 godz. przy 125°C w syciwie zagranicznym



Rys. 9. Próbką żelazną po 200 godz. przy 125°C w syciwie krajowym

tej sprawy i zajął się sprawdzeniem możliwości zastosowania woskolu jako syciwa w elektrotechnice. Badania surowca dostarczonego przez jedną z firm

3. sprawdzono kwaśnienie przy przepływie powietrza,
4. to samo przy współudziale wilgoci,



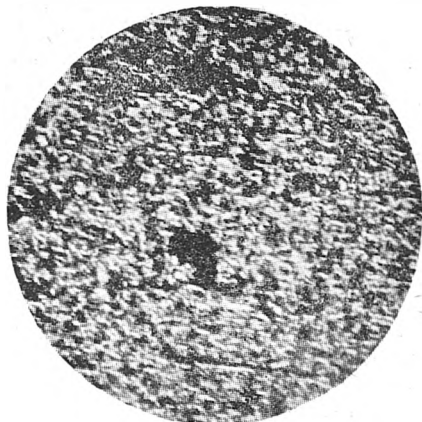
Rys. 10. Próbką żelazną po 200 godz. przy 125°C w syciwie wilgotnym zagranicznym



Rys. 11. Próbką żelazną po 200 godz. przy 125°C w syciwie wilgotnym krajowym

krajowych potwierdziły w pełni słuszność zajęcia się tą sprawą.

5. sprawdzono zmiany wskutek wielokrotnego nagrzewania syciwa,



Rys. 12. Próbką miedzianą po 200 godz. przy 125°C w syciwie krajowym suchym



Rys. 13. Próbką miedzianą po 200 godz. przy 125°C w syciwie krajowym wilgotnym

8. Wyniki badania naftalenu chlorowanego w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego we Wrocławiu.

6. sprawdzono przeciętne cechy fizyczno-chemiczne obu syciw.

Przebieg prób był następujący:

1. Próbkki metalowe — miedź i żelazo — stanowiły pręty, których jedną powierzchnię boczną (ok. 2—3 cm²) wypolerowano. Próbkki były umieszczone w cieczy i w parze. Ślepe próbkki były poddane tylko działaniu temperatury. Drugi komplet ślepych próbek pozostał w eksykatorze dla porównania ostatecznych wyników. Próba trwała 200 godzin przy temperaturze + 125° C.

2. Próbę poprzednią powtórzono przy wilgotności syciwa około 0,25%. Poza oględzinami próbek sprawdzono syciwo na zawartość popiołu, wolnego chloru i żelaza.

3. Przez syciwo przepływał stały strumień powietrza osuszonego. Próba trwała 100 godzin przy temperaturze + 125° C. Badano przed i po próbie kwasowość i obecność wolnego chloru.

4. Próbę poprzednią powtórzono przy wilgotności syciwa około 0,25%.

5. Syciwo grzane w temperaturze + 125° C ostygło potem do temperatury otoczenia. Cykl ten po-

6. Wielokrotne nagrzewanie. Podobnie jak przy poprzednich próbach wolnego chloru nie stwierdzono. Liczba kwasowa wzrosła znacznie mniej, bo z 0,00 na 0,01 mg KOH/g syciwa.

7. Porównawcze zestawienie cech fizyczno-chemicznych dla obu syciw, zagranicznego i krajowego, zawiera tabl. III.

Wnioski. Krajowy naftalen chlorowany posiada cechy fizyczno-chemiczne bardzo zbliżone do wartości syciwa zagranicznego. Syciwu krajowemu można by zarzucić działanie korodujące w obecności wilgoci. Jednak przy produkcji kondensatorów papierowych wilgoć musi być usunięta zarówno ze zwijek, jak i z syciwa jeszcze przed procesem właściwego nasycania. Jest to podstawowy warunek dobrych cech elektrycznych kondensatora. Osiąga się to przez suszenie atmosferyczne i próżniowe.

W praktyce spotykane ilości wilgoci są więc tak małe, że je można pominąć; tym samym wadę korozji można w stosunku do krajowego naftalenu chlorowanego od-

Tablica III. Przeciętne cechy fizyczno-chemiczne naftalenu chlorowanego pochodzenia zagranicznego i krajowego

Pochodzenie syciwa	Postać	Kolor	Ciężar właściwy (g/cm ³)	Temperatura zmięknienia wg Übbelohde (°C)	Temperatura zapłonu (°C)	Temperatura palenia	Zanieczyszczenia mechaniczne	Popiół (%)	Liczba kwasowa (mg KOH)	Wolny chlor (‰)	Żelazo (%)	Straty przez wyparowanie po 6 godz. 125° C (%)
Zagraniczne	ziarnina	biały	1,57	93,5	208	niepalne do 360°C	niema	0,004	0	0	0,0013	0,16
Krajowe	płyty	żółty	1,49	70,5	173	niepalne do 270°C	małe	0,011	0	0	0,0007	0,38

twórzono 10-krotnie. Badano przed próbą i po próbie kwasowość i obecność wolnego chloru.

Powyższe badania dały następujące wyniki:

1. Próba na działanie gryzące. Syciwo zagraniczne nie wywołało widocznego działania gryzącego na żadnej z metalowych próbek. Syciwo krajowe spowodowało bardzo lekkie zmatowienie próbki miedzianej.

2. Próba na działanie gryzące w przypadku wilgotnego syciwa. Oględziny próbek poddanych działaniu gryżącemu wykazały: dla surowca krajowego zupełne zmatowienie próbki miedzianej, silną rdzę na próbce żelaznej; dla surowca zagranicznego lekkie zmatowienie próbki miedzianej, matowo-plamiste zmiany powierzchni próbki żelaznej.

3. Badanie chemiczne syciwa przed próbą i po próbie nie wykazało zmian zawartości popiołu i wolnego chloru, natomiast zawartość żelaza (zgodnie z wynikami działania gryzącego) bardzo silnie wzrosła:

z 0,0007% na 0,0030% dla syciwa krajowego,
z 0,0013% na 0,0023% dla syciwa zagranicznego.

Na rys. 8—13 podano zdjęcia próbek żelaznych i miedzianych po próbach na nagryzanie, trwających 200 godz. w temperaturze + 125° C.

4. Próba kwaśnienia. Obydwa syciwa zachowały się jednakowo: liczba kwasowa wzrosła z wartości 0,00 na 0,02 mg KOH/g syciwa. Wolnego chloru nie stwierdzono.

5. Próba kwaśnienia w przypadku syciwa wilgotnego. W tej próbie zmiany również były jednakowe dla obu syciw. Liczba kwasowa wzrosła znacznie więcej — z wartości 0,00 na 0,035 mg KOH/g syciwa. Wolnego chloru analiza nie wykazała.

rzucić. Należy jednak przy stosowaniu tego surowca bacznie kontrolować przebieg suszenia.

W pierwszych miesiącach roku bieżącego Państwowa Fabryka Związków Azotowych w Mościcach po odzyskaniu urządzeń chlorowni uruchomiła dawną produkcję woskolu. Wyniki badania pierwszych próbek wykazywały dużą liczbę kwasową rzędu 0,2—0,6 mg KOH na 1 g syciwa oraz zanieczyszczenia mechaniczne. Należy się spodziewać, że obie te wady będą usunięte w najbliższym czasie.

9. Zakończenie.

Kwestię krajowych naftalenów chlorowanych należy uważać za rozwiązaną. Sprawa oczyszczania ich jest już tylko kwestią czasu.

Horzej przedstawia się sprawa dwufenyli chlorowanych — tym gorzej, że ich znaczenie gospodarcze jest dla naszego przemysłu większe niż naftalenów chlorowanych. Przyszłość dwufenyli chlorowanych to kondensatory statyczne, których potrzeba właśnie teraz, po zniszczeniach wojennych w przemyśle i energetyce, jest jednym z podstawowych zagadnień, to dalej transformatory kopalniane zabezpieczone przed możliwością wybuchu.

Opracowaniem produkcji tego syciwa zajął się Główny Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie.

LITERATURA

- W. T. Renne. Elektrizieskije kondensatory. 1947.
- R. Houwink. Chemie und Technologie der Kunststoffe. 1942.
- Impregnants used in German paper capacitors. B. I. O. S. Final Report Nr 893.
- Light Metals (Marzec 1946, str. 144—151).
- W. T. Renne. Primienjenje chloridow naftalina dla celow propitki. I. E. S. T., 1934, nr 4, 65.
- W. Jackson. The dielectric loss characteristics of a chlorinated diphenyl. Proceed. of the Royal Society of London. Vol. CLIII, 1936.
- F. M. Clark. Nonflammable dielectric organic compounds. Industrial and Engineering Chemistry, 1937, VI, 698—702.

8. K. A. Adrianow, Sowoł, ONTK, 1938.
 9. S. Morgan, W. Yaeger. Dielectric properties of organic compounds. Ind. & Eng. Chem., 1940, nr 11, 1519.
 10. M. G. Gercensztajn. Sowołowyje staticzeskije kondensatory. Wiestn. El. Prom., 1942, nr 9.
 11. D. A. McLean, L. Egerton, G. T. Kohman, M. Brotherton. Paper dielectrics containing chlorinated impregnants, deterioration in D. C. fields. Ind. and Eng. Chem., I, 1942, 101—109.
 12. M. Brotherton. Paper capacitors under direct voltages. Proceed. of the I. R. E., III, 1944, 139—143.

13. D. Mc. Lean, L. Egerton. Paper capacitors containing chlorinate impregnants. Ind. and Eng. Chem., 1945, nr 1, 73.
 14. R. Berberich, C. Fields, R. Marbury. Characteristics of chlorinated impregnants. Proceed. of the I. R. E., 1945, nr 6, 389.
 15. D. A. Mc. Lean, L. Egerton. Paper dielectrics containing chlorinated impregnants, effects of sulfur. Ind. and Eng. Chem., XI, 1946, 1110—1116.
 16. S. Seidel. Niepalne płyny izolacyjne jako materiały zastępcze dla oleju mineralnego. Przegl. Elektr. 1948, z. 6, str. 174—176.

PROF. Z. GOGOLEWSKI

Maszyny i transformatory elektryczne na MKWSE 1948 r.

Treść. Nowe zagadnienia z dziedziny generatorów dla wielkich sieci elektrycznych. Problemy oporności biernej turbogeneratorów. Niektóre zagadnienia konstrukcyjne dotyczące tych maszyn. Wytrzymałość udarowa transformatorów. Temperatura otoczenia i chłodzenie transformatorów. Normalizacja transformatorów dużych mocy.

Электрические машины и трансформаторы по докладом на CIGRE 1948 г. Новые проблемы в области генераторов для больших энергетических систем. Вопросы реактивного сопротивления турбогенераторов. Некоторые вопросы в области конструкции этих машин. Импульсная прочность трансформаторов. Температура окружающей среды и охлаждение трансформаторов. Стандартизация трансформаторов большой мощности.

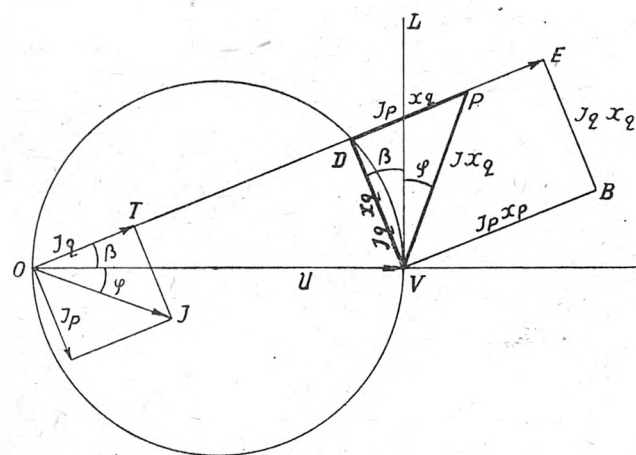
Electrical machines and transformers at the Intern. Conf. of Large Electric Systems of 1948. New problems pertaining to generators for large electric systems. The problems of turbogenerator reactance. Certain constructional problems relevant to these machines. Surge insulation of transformers. Ambient temperature and the cooling of transformers. Standardisation of high capacity transformers.

Machines et transformateurs électriques à la GIGRE 1948. Nouveaux problèmes dans le domaine des alternateurs pour grands réseaux électriques. Problèmes de la réactance des turboalternateurs. Quelques problèmes de construction touchant à ces machines. Rigidité de choc des transformateurs. Température ambiante et refroidissement des transformateurs. Normalisation des transformateurs de grande puissance.

1. Generatory elektryczne.

W referacie prof. Angelini [1] podane jest nowe ujęcie uproszczonego wykresu wskaźnikowego dla maszyn synchronicznych. Wykres ten, niestety, nie uwzględnia wpływu nasycenia w żelazie na wartości różnych oporów biernych i ich stosunek, odnosi się zatem do maszyn słabo nasyconych. Jednakże pomiary prof. Angelini wskazują, że dla każdego wypadku możliwe jest wprowadzenie odpowiednich poprawek uwzględniających wpływ nasycenia na opór bierny, przy czym dotyczy to zarówno maszyn z wystającymi biegunami, jak i z induktorem gładkim.

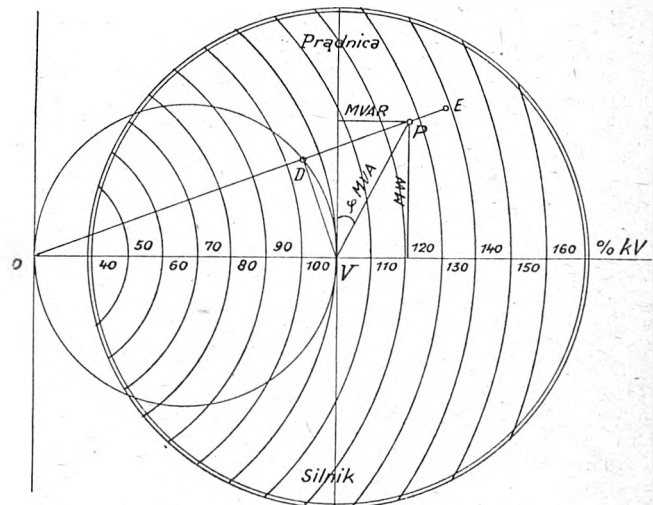
Przyjmijmy oznaczenie x_p dla całkowitego oporu biernego podłużnego, x_q dla poprzecznego. Wewnętrzny kąt stateczności pomiędzy siłą elektromotoryczną E a napięciem U oznaczamy przez β . Wówczas uproszczony wykres wskaźnikowy maszyny synchronicznej przedstawi się jak na rys. 1. Rozłożmy wektor prądu obciążenia I na składową poprzeczną I_q i składową podłużną I_p . Zauważmy, że jeśli z końca wektora U wystawimy pionową VL , na kierunku zaś wektora E spuścimy prostą VD , to długość odcinka VD odpowiadać będzie wartości $I_q x_q$. Prosta VD leży przy tym pod kątem β do pionowej VL . Jeżeli z punktu V poprowadzimy prostą VP pod kątem φ do VL , to otrzymamy trójkąt VDP , podobny do trójkąta OTI .



Rys. 1. Wykres prądnic synchronicznej (Angelini)

Skoro VD ma długość $I_q x_q$, to długość VP będzie wynosić $I x_q$, długość zaś DP będzie równa $I_p x_q$. Odcinek DE będzie równy VB , tj. $I_p x_p$. W oparciu o te zależności można zbudować wykres ogólny maszyny synchronicznej (rys. 2). Wykres ten obejmuje zarówno obszar pracy prąd-

nicowej, jak i silnikowej. Dla każdego konkretnego wypadku wystarczy mieć charakterystykę magnesowania maszyny, jak również jeden pomiar mocy czynnej i biernej (w kW i w kVAR), kąta β i prądu wzbudzenia odpowiadającego zmierzonemu obciążeniu. Mając te dane, wykreślamy pod kątem β do wektora U prostą OD . Pod kątem φ do pionu prowadzimy prostą VP do przecięcia z OD . Z długości rzutów odcinka VP na osie x i y znajdujemy



Rys. 2. Wykres ogólny maszyny synchronicznej (Angelini)

skalę dla mocy czynnej i biernej. Na prostej OD odkładamy od punktu O odcinek OE równy sile elektromotorycznej E z charakterystyki magnesowania, odpowiadającej zmierzonemu prądowi wzbudzenia i_m . Odcinki DE i DP mają się do siebie tak, jak opory bierne x_p i x_q . Cały wykres może być sporządzony w jednostkach odniesienia, np. w procentach napięcia i mocy znamionowej.

Pomiar kąta β może być dokonany nową metodą, podaną w referacie dra Mateny z Pragi [2]. Metoda polega na zastosowaniu stroboskopu elektronowego zasilanego z szyn zbiorczych generatora i oświetlającego tarczę wirującą, osadzoną na końcu wału generatora. Tarcza umieszczona jest w nieruchomej ramce kołowej, na której zrobiona jest skala kątowa. Kreska, wyrysowana promieniowo na tarczy i oświetlona stroboskopem przy pracy generatora w równowadze, jest dla oka nieruchoma. Pozorne położenie tej kreski przy biegu jałowym generatora można odczytać na nieruchomej skali. Przy obciążeniu, skutkiem przesunięcia się osi magnetycznej wirnika względem stojana o kąt β , kreska na

tarczy przesunie się o ten sam kąt β , który można odczytać na skali. W ten sposób teoretyczny wykres wskaźnikowy da się w sposób fizyczny pięknie poglądowo potwierdzić.

Niezwykle ważny i ciekawy temat opracował inż. David wana do badania synchronizacji oraz wszelkich zjawisk kołysania. Kołysania takie były wywoływane rozmyślnie przez raptowną zmianę oporu biernego, na który włączony jest generator. Przy próbach z turbogeneratorem o mocy 15 000 kVA stwierdzono w ten sposób charakterystyczne kołysania, zanikające w ciągu około 2 sek.

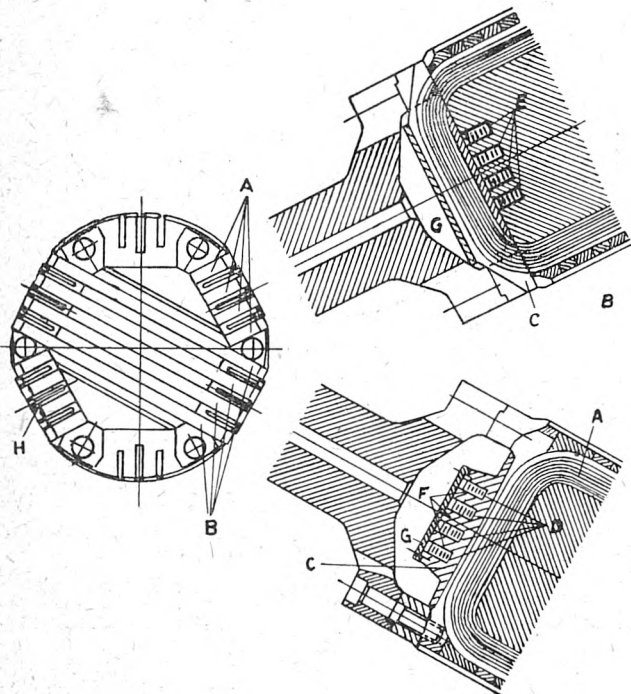
Niezwykle ważny i ciekawy temat opracował inż. Dawid w swym referacie o wyborze wielkości oporu biernego dla maszyn synchronicznych [3]. Inż. David bierze za punkt wyjścia znane wyrażenie na spadek napięcia, spowodowany przez którykolwiek z oporów biernych maszyny synchronicznej. W najprostszej formie wyrażenie ma wygląd następujący:

$$\Delta U = \frac{A_c}{B} \cdot G \cdot \text{const.},$$

gdzie A_c i B są wielkościami, które znamy z teorii maszyn synchronicznych, czynnik zaś G uwzględnia wymiary geometryczne maszyny. Z podanego wzoru widać, że zmniejszanie oporu biernego możliwe jest tylko przez zmniejszanie A_c , ponieważ indukcyjność B zazwyczaj jest bardzo duża i więcej powiększona być nie może. Wobec tego, że ostatnio obserwuje się tendencję do obniżania oporu biernego synchronicznego i udarowego ze względów ruchowych, obniżenie zaś to pociąga za sobą podrożenie maszyny, autor jest zdania, że obniżanie oporu biernego generatorów nie zawsze jest celowe. Z punktu widzenia konstrukcyjnego obniżenie oporu biernego jest kosztowne, ponieważ prowadzi do zwiększenia wymiarów maszyny. Z punktu widzenia ruchowego obniżenie tego oporu nie gra decydującej roli, ponieważ obecnie turbogeneratory pracują na wielkie sieci poprzez połączone z nimi w szereg transformatory.

W rezultacie swych rozważań autor podaje tabelę najkorzystniejszych, jego zdaniem, wartości oporu biernego dla turbogeneratorów synchronicznych (ob. tabl. I w końcu artykułu).

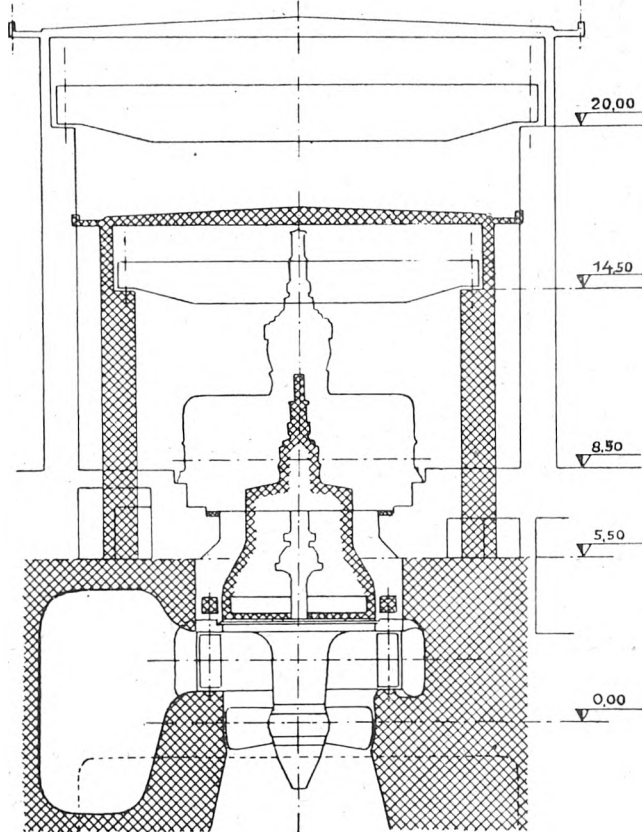
Ogólny pogląd na dzisiejszy stan techniki wielkich turbogeneratorów daje referat inż.



Rys. 3. Konstrukcja wirnika turbogeneratorowego ze skrzyżowanymi cewkami

Wilczka z Węgier [4]. Wprawdzie szczytowa moc generatorów osiągnięta obecnie w jednostce wynosi aż 140 000 kVA i to dla turbogeneratorów napędzanych zarówno przez turbiny parowe przy 3000 obr./min., jak i przez tur-

biny wodne przy 500 obr./min., jednak — zdaniem autora — najbardziej rozpowszechniają się jednostki mniejszej mocy. Jeden z autorów zaproponował 100 000 kVA



Rys. 4. Przekładnia planetowa między generatorem a turbiną wodną

jako najmniejszą jednostkę normalną dla turbozespołów parowych.

W dyskusji odrzucono tę sugestię w sposób stanowczy, podkreślając, że znacznie mniejsze moce mogą być potrzebne i w pewnych okolicznościach ekonomiczne. Wspomniano na przykład, że energetyka angielska znormalizowała moce turbogeneratorów na 37 500 kVA i 75 000 kVA przy 3000 obr./min. i $\cos \varphi = 0,8$.

Warto zauważyć, że moc turbogeneratorów, które przewidziane są w polskiej produkcji krajowej, wynosi 32 000 kVA, a więc jest dość bliska mocy znormalizowanej angielskiej. Napięcia generatorów, które obecnie normalnie się stosuje, wynoszą 10,5—13,2 kV, aczkolwiek w Anglii były również stosowane napięcia wyższe aż do 35 kV włącznie.

Z nowości konstrukcyjnych w dziedzinie turbogeneratorów do napędu parowego notujemy tylko jedną ciekawą zmianę w budowie wirników. Cewki uzwojeń wzbudających w wykonaniu klasycznym mają połączenia czołowe ułożone na powierzchni cylindrycznej i dla zabezpieczenia ich od działania sił odśrodkowych ujęte są w tzw. kapy końcowe, wykonane ze stali niemagnetycznej. W nowej konstrukcji (rys. 3) cewki są skrzyżowane na czołach w ten sposób, że połączenia czołowe przechodzą średnicowo na wskroś wirnika, który dopiero po wmontowaniu uzwojenia zostaje z obu stron uzupełniony czopami wałów, przykręconymi do wirnika na sześć śrub.

W generatorach do napędu turbin wodnych notujemy nową konstrukcję, przedstawioną przez dra Brambillę [5]. Nowość konstrukcji polega na zastosowaniu przekładni planetowej między turbiną wodną a generatorem. W ten sposób generator może być zbudowany na wyższe obroty, a zatem może być mniejszych wymiarów od generatorów sprzęganych z turbiną w zwykły sposób (rys. 4). Chłodzenie turbogeneratorów powinno być, zdaniem inż. Wilczka, wodorowe dla większych mocy, poczynając od 75 MVA w górę. Wodór jest lżejszy od powietrza, przy tym pojemność cieplna

wodoru jest siedem razy większa niż pojemność powietrza. Zastosowanie wodoru zamiast powietrza daje wzrost mocy o około 20% i podnosi sprawność o 0,6—1,2%.

Dalszym zagadnieniem konstrukcyjnym interesującym również ruchowców była próba na zwiększenie obrotów dużych generatorów do turbin wodnych. Ponieważ próba ta, jak to wykazuje statystyka, przechodzi w przeważającej większości wypadków pomyślnie bez najmniejszych uszkodzeń, a jednocześnie jest bardzo kosztowna (urządzenie specjalnej piwnicy, napędu regulowanego itd.), więc z tych powodów opinia sesji skłaniała się do zaniechania tej próby w fabryce, a wykonania jej na żądanie odbiorcy na miejscu ustawienia za osobną opłatą.

Bardziej naukowy charakter ma zagadnienie poruszone przez inż. Gaden i Ricalens z firmy Alsthom [6] i inż. Schulthessa z firmy Oerlikon [7]. Autorzy analizują problem momentu zamachowego generatorów w elektrowniach wodnych. Zwiększenie tego momentu polepsza stateczność zespołu, obniża prędkość największą, osiąganą przez zespół przy raptownych odciążeniach, natomiast podraża koszt wykonania generatorów. Wybór właściwego momentu zamachowego musi być zatem wynikiem kompromisu pomiędzy dezycjami technicznymi a względami ekonomicznymi.

Rys. 5 i rys. 6. Porównanie oscylogramów prób udarowych wykonanych na transformatorach zdrowych i uszkodzonych
Oznaczenia: I transformator zdrowy

zeniach, natomiast podraża koszt wykonania generatorów. Wybór właściwego momentu zamachowego musi być zatem wynikiem kompromisu pomiędzy dezycjami technicznymi a względami ekonomicznymi.

2. Transformatory.

Sprawy transformatorowe były rozpatrywane nie tylko pod kątem widzenia ruchu i zastosowania transformatorów w wielkich sieciach, lecz w dyskusjach zabierali głos również wybitni teoretycy i konstruktorzy. Dlatego też wyniki dyskusji paryskich są wszechstronnie ciekawe i pouczające. Dają one pewien aktualny przekrój zainteresowań, nurtujących świat techniczny krajów, które przodują w budowie i eksploatacji wielkich sieci. Jak w latach poprzednich, na pierwsze miejsce wysunęło się zagadnienie wytrzymałości transformatorów na przepięcia. Znajomość zjawisk przepięciowych i zachowania się izolacji pod działaniem przepięć została znacznie pogłębiona w ciągu ostatnich kilku lat. Początkowo prace badawcze w tej dziedzinie ograniczały się do rejestrowania faktów i kontrolowania zgodności ogólnych teorii z rzeczywistymi przebiegami zakłóceń. Następnie w drugiej fazie rozwoju wysiłki skierowane były na sprawdzanie celowości różnych konstrukcji z punktu widzenia wytrzymałości na przepięcia. Były to zatem badania prototypów metodami laboratoryjnymi. Dyskusje tegoroczne wskazują, że metody laboratoryjne zostały w poszczególnych fabrykach gruntownie opanowane, a nawet w pewnym stopniu znormalizowane. Na tej zasadzie można twierdzić, że badania izolacji na wytrzymałość udarową stanowią dzisiaj część składową teoretycznego i konstrukcyjnego opracowania prototypu.

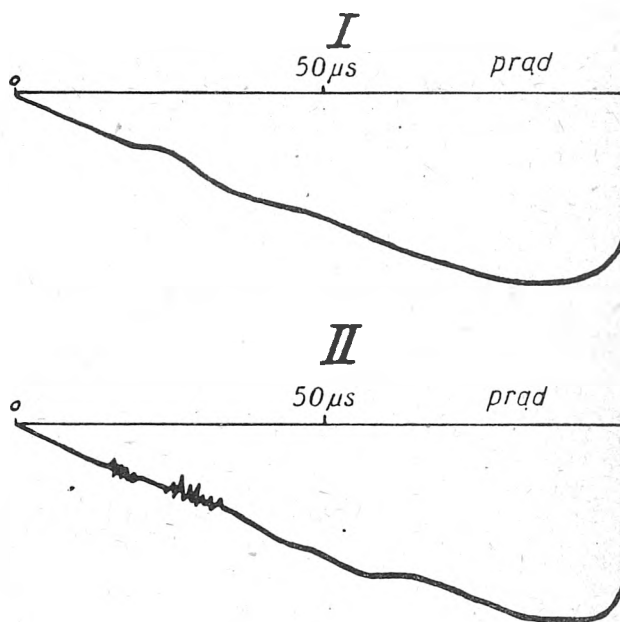
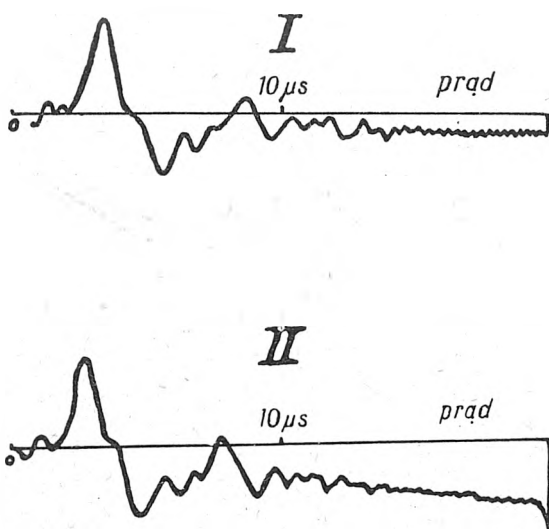
Z referatów i z innych publikacji z okresu 1945—1948 wynika, że w sprawie wykrywania słabych

miejsz w izolacji różne fabryki i różni badacze wypracowali dla swych celów odrębne metody, które dotąd nie nabrały cech powszechności. Jeszcze mniej posunęła się naprzód sprawa indywidualnych badań każdej wyprodukowanej jednostki w probierni fabrycznej. Pod tym względem ustalono zgodnie tylko dwie następujące tezy:

1. metoda prób fabrycznych i odbiorczych musi być jak najprostsza;

2. metoda ta musi umożliwiać w sposób jednoznaczny sprawdzenie, czy izolacja transformatorowa nie została w czasie próby uszkodzona bądź też nadwyreżona.

Jakkolwiek niektóre kraje wprowadziły już próbę udarową jako obowiązującą próbę odbiorczą każdej wykonanej jednostki, jednak z referatów zgłoszonych na konferencję bynajmniej nie wynika, że podane wyżej tezy są zrealizowane. Dlatego też nie należy się spodziewać szybkiego



II transformator uszkodzony

rozpowszechnienia prób udarowych jako odbiorczych i wprowadzenia ich do obowiązujących przepisów. Jak dotąd tylko przepisy szwedzkie i amerykańskie formalnie wprowadziły próbę udarową. We Włoszech i Szwajcarii sprawa znajduje się w stadium projektów. Nasze nadal obowiązujące przepisy PNE 33 również nie zawierają próby falami udarowymi, natomiast podają w formie nieobowiązującej przestarzałą próbę falami uskokowymi w układzie niemieckim, wzgl. szwajcarskim.

Jeżeliby na tle powyższych uwag uznać wprowadzenie próby odbiorczej falami udarowymi za przedwczesne, to bezspornym pozostanie podstawowe znaczenie badania falami udarowymi prototypów. Jak najbardziej wnikliwe zapoznanie się z metodami stosowanymi zagranicą przy tych badaniach jest zatem dla nas niezwykle ważne. Metodę podaną przez Hagengutha w r. 1944 rozwija w referacie tegorocznym inż. Wellauer z firmy szwajcarskiej Oerlikon [8]. Polega ona na poddawaniu transformatora trzem próbom przy zachowaniu następującej kolejności:

1. próbie 20 udarów falą o napięciu szczytowym zredukowanym,

2. próbie dwoma udarami falą ściętą o pełnej wartości amplitudy,

3. próbie dwoma udarami pełną falą nieobciętą.

Ta kolejność prób uzasadniona jest tym, że próba napięciem zredukowanym daje nam normalny oscylografowany przebieg napięcia i prądu dla izolacji zdrowej. Następnie przychodzi próba falą ściętą, która jest najgroźniejsza dla izolacji międzyzwojowej. Udary falą pełną poddają naprężeniom prócz izolacji do ziemi również izolację między zwojami, półcewkami i cewkami. Porównanie oscylogramów wykonywanych przy wstępnej próbie i przy udarach pełnym napięciem (rys. 5 i 6) daje możliwość

oceny, czy uszkodzenie nastąpiło, czy też transformator próbę wytrzymał. Jeżeli przebiegi napięć i prądów przy uderzeniach napięciem zredukowanym i pełnym są identyczne, to uszkodzenia nie ma. Jeśli zdjęcia oscylograficzne wskazują na istnienie uszkodzenia, to przez dłuższe włączenie transformatora na wzmożone napięcie indukowane uszkodzenie powiększa się o tyle, żeby je łatwo było odnaleźć. Ta sama technika prób stosowana jest w USA i udoskonalana od 16 lat. Jest przy tym rzeczą charakterystyczną, że metoda podana przez Wellauera nie przewiduje możliwości wykrycia uszkodzonego zwoju bez jego „wypalenia”. Ponieważ stanowi to słaby punkt metody, inni badacze usiłują ją ulepszyć.

Referat Aeschlimanna z Secheron [9] przedstawia wyniki prób udarowych transformatorów, w których podczas próby zwierane były sztucznie zwoje, a nawet całe cewki. Z poszczególnych cewek wyprowadzane były zaczepty dla umożliwienia oscylografowania przebiegu napięcia na każdej cewce z osobna. Przy udarze trójprzewodowym wyniki badań były niezadowolające, gdyż różnice między oscylogramami prób ze swojami zwartymi i bez nich były trudne do uchwycenia. Natomiast przy jednoprzewodowych falach udarowych zaobserwowano wyraźne i raptowne zmiany częstotliwości własnej transformatorów w chwili zwarcia zwojów. W konkluzji Aeschlimann oświadcza, że oznaczenie miejsca uszkodzenia, tj. odległości jego od zacisku, jest możliwe drogą obliczenia. Autor nie podaje jednak zastosowanego sposobu liczenia ani dokładności wyników.

Ciekawy referat inż. Novaka z Pragi (10) przedstawia wyniki badań udarowych transformatorów na 110 kV. W roku 1942 w Czechosłowacji znaczna ilość transformatorów regulacyjnych na 110 kV uległa uszkodzeniom. Uszkodzenia te w większości przypadków miały miejsce w uzwojeniach regulacyjnych. Badania inż. Novaka były robione na uzwojeniach wyjętych z oleju falami udarowymi o obniżonej amplitudzie. Celem tych badań było określenie rozkładu naprężeń izolacji wzdłuż uzwojenia. Autor wychodził z założenia, że próby przy obniżonym napięciu są łatwiejsze od prób przy pełnym napięciu, natomiast dają wyniki, które wystarczy przeliczyć na pełne napięcie próby, aby uzyskać pogląd o naprężeniach przy niej występujących. Wyniki badań inż. Novaka potwierdzają, że przy zerze izolowanym naprężenia izolacji są większe niż przy zerze uziemionym. W transformatorach regulacyjnych z uzwojeniami cylindrycznymi i dodatkowym cylindrem z częścią regulacyjną w tej właśnie części występują najsilniejsze oscylacje i największe nateżenia pola.

Związany z problemami napięciowymi był referat inż. Paillet i Dufous z Charleroi o częstotliwości własnej i oporności falowej transformatorów (11). Przyrównując transformator do linii długiej, można według metody Fallou łatwo określić oporność falową i rząd wielkości częstotliwości własnej transformatora. W tym celu należy wykonać pomiar prądu i napięcia przy zasilaniu transformatora z oscylatora raz przy zamkniętym, drugi raz przy otwartym wyłączniku A (rys.7). Z pomiaru tego obliczamy oporność przy uzwojeniu otwartym:

$$Z_v = \frac{U_v}{I_v}$$

oraz oporność przy wyłączniku A zamkniętym

$$Z_c = \frac{U_c}{I_c}$$

Z tych danych otrzymujemy częstotliwość własną:

$$f_0 = \frac{\omega}{4 \arctg \sqrt{\frac{Z_c}{Z_v}}}$$

Z równań linii długiej otrzymujemy wartość oporności falowej:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}}$$

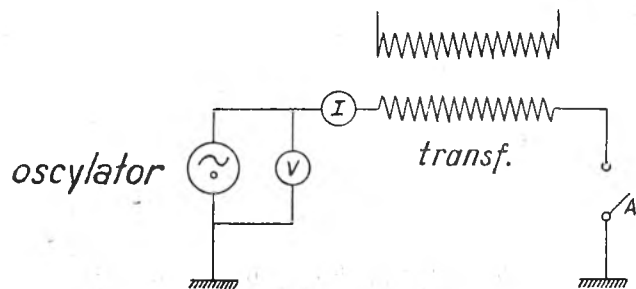
gdzie l jest indukcyjnością własną, c zaś pojemnością doziemną na jednostkę długości uzwojenia.

Równania ułożone przez Buneta zbliżają się więcej do rzeczywistości, uwzględniają bowiem pojemność międzyzwojową i indukcyjność wzajemną zwojów. Z równań

tych otrzymujemy bardziej skomplikowane wyrażenia na oporność falową, która tutaj występuje jako funkcja ω .

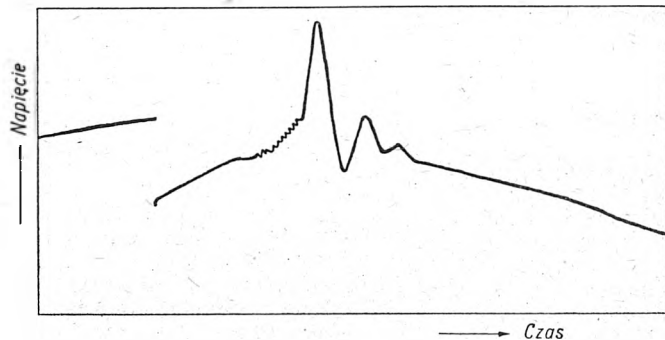
Autorzy ułożyli wykresy, umożliwiające posługiwanie się otrzymanymi wzorami i wyjaśnili, którymi wzorami i w jakich granicach ω należy się posługiwać. Rezultaty obliczeń podali autorzy w formie tabeli, z której wynika, że częstotliwość własna dla transformatorów 4—40 MVA znajduje się w granicach 10 000 — 35 000 okr./sek.

Referat inż. Descachs i Chevalier [12] traktuje sprawę naprężeń izolacji międzyzwojowej, występujących przy przeskokach podczas jednodominutowej próby dielektrycznej. Zjawisko tych przeskoków jest dobrze znane praktykom w laboratoriach fabrycznych. Przeskokom towarzyszą niepokojące trzaski wewnątrz skrzyni. Zjawisko likwiduje się jednak samoczynnie i jeżeli napięcie probiercze da się utrzymać do końca próby, to uważa się ją za przeprowadzoną pomyślnie. Z rozważań autorów wynika jednak, że zjawisko jest niebezpieczne dla izolacji międzyzwojowej. Przeskok zamyka pewien obwód



Rys. 7. Schemat pomiaru oporności transformatora Z_v i Z_c

drgający zawierający pojemność. Następuje wyładowanie i łuk prądu wyładowczego przy pierwszym przejściu przez zero urywa się, a jednocześnie zawieszona w oleju wtrącina powietrzna zostaje usunięta przez łuk i na przejściu zwarta pojemność powraca napięciu przyłożone. Jeżeli przeskok skończył się przed osiągnięciem maksimum napięcia przyłożonego, to przy powrocie napięcia i ponownym ładowaniu teoretycznie napięcie do ziemi może osiągnąć podwójną wartość. Z prostego obliczenia wynika, że napięcie to może być większe niż przy próbie falą udarową. Tak np. dla transformatora 110-kilowoltowego napięcie udarowe wynosi 530 kV. Przy próbie dielektrycznej napięciem $2U + 1$ kV amplituda wynosi $221 \cdot \sqrt{2} = 310$ kV, podskok zaś napięcia $310 \times 2 = 620$ kV tj. więcej niż przy



Rys. 8. Oscylogram przebiegu napięcia przy próbie dielektrycznej transformatora

próbie udarowej. Oscylogramy autorów potwierdzają słuszność tych rozważań teoretycznych (rys. 8).

Z powyższego przeglądu referatów o wytrzymałości udarowej można wyciągnąć szereg wniosków dla naszej codziennej praktyki, a przede wszystkim uznać je za argument przemawiający za rozpowszechnieniem prób udarowych jako nieodłącznej części badania prototypów i sprawdzania obliczeń konstrukcyjnych wielkich transformatorów dla energetyki.

W grupie transformatorów godny uwagi był jeszcze referat inż. Caudron [13], którego myślą przewodnią było termiczne wykorzystanie transformatorów w ruchu do granic dopuszczalnych przez przepisy. Zakładając, że temperatura 95° jest maksymalną dopuszczalną dla najgorętszych miejsc w uzwojeniach, Komitet

Studiów w Charleroi doszedł do wniosku, że transformatory można wykorzystywać przy zachowaniu następujących warunków:

1) temperatura 95° jest w zasadzie górną granicą dla uzwojeń;

2) granica ta może być przekroczona co najwyżej raz w ciągu 24 godzin, przegrzanie przy tym występujące może dochodzić do 110°, lecz nie może trwać dłużej ponad 2 godziny;

3) w drodze wyjątku przegrzanie może raz na dobę osiągnąć 115° dla najgorętszego miejsca uzwojenia.

Porównanie starych przepisów belgijskich z nowymi z roku 1943 przedstawia się jak następuje:

	przepisy stare	przepisy 1943 r.
temperatura otoczenia	40°	35°
przyrost temp. oleju (max.)	50°	60°
średni przyrost temp. miedzi	60°	70°
różnica między temp. średnią i temp. najgorętszego miejsca uzwojenia	10°	10°

Wychodząc z założenia, że transformator ma być uzyskany do temperatury 95° jako maksymalnej dla najgorętszego miejsca, i przyjąwszy przepisowe przyrosty jako miarodajne dla konstrukcji i określające wielkość transformatora, dochodzimy do „znamionowej“ temperatury otoczenia. Przy tej temperaturze otoczenia i obciążeniu znamionowym uzyskujemy założone przyrosty i nie przekraczamy granicznej temperatury 95°. Znamionowa temperatura otoczenia wynosi dla przepisów starych 25°, dla nowych 15°. Jeżeli średnia temperatura dzienna otoczenia odbiega od temperatury znamionowej, należy obciążenie transformatora odpowiednio zmienić.

Wychodząc najpierw z przepisów starych inż. Caudron dochodzi do następujących wskazań:

a) jeżeli temperatura średnia wynosi 25°—35°, obciążenie transformatora powinniśmy obniżyć poniżej znamionowego o 1% na każdy stopień temperatury; jeżeli temperatura przekracza 35°, dodatkowe obniżenie obciążenia ma wynosić 2% na każdy stopień temperatury;

b) jeżeli temperatura otoczenia jest niższa od znamionowej, a mianowicie znajduje się w granicach 25°—0°, obciążenie możemy podnieść o 1% na każdy stopień temperatury poniżej znamionowej.

W świetle nowych przepisów belgijskich, zgodnych z naszymi przepisami PNE 33, otrzymamy wskazania:

1) dla temperatury średniej otoczenia 15°—30° należy obniżyć obciążenie o 1% na każdy stopień temperatury, dla temperatury zaś otoczenia powyżej 30° o 2% na każdy dalszy stopień;

2) dla temperatury otoczenia 15°—0° obciążenie można podnieść o 1% na każdy stopień temperatury.

W ten sposób wychodząc z granicznej temperatury 95° i tezy wykorzystania przepisowych przyrostów, dochodzimy do tego, że w granicach temperatury otoczenia 0°—35° praktyczna moc transformatora waha się od 85 do 125%.

Pokrewnym tematem, a mianowicie kwestią różnych sposobów chłodzenia zajął się inż. Rossier z firmy Secheron [14]. Odróżnia on trzy sposoby chłodzenia:

1) chłodzenie naturalne przy użyciu skrzyń z blachy falistej, skrzyń rurowych i radiatorów;

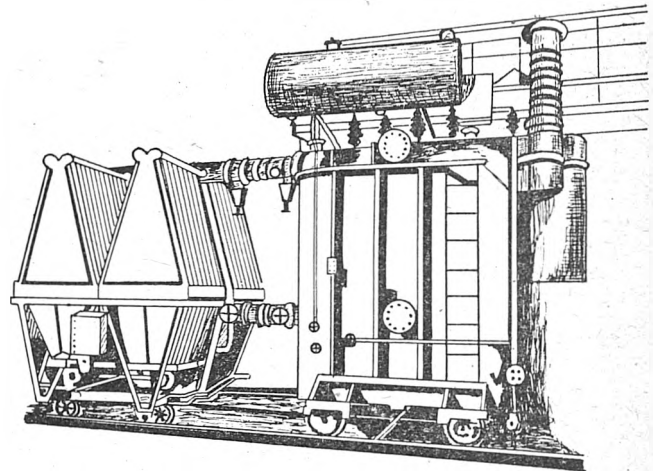
2) chłodzenie z podmuchem; skrzynie z przybudowanymi radiatorami lub z bateriami radiatorów osobno ustawionymi; w obu wypadkach na radiatory skierowane są strumienie chłodzącego powietrza;

3) chłodzenie wodne; do skrzyni przybudowana jest chłodnica wodna, przez którą krąży olej.

W porównaniu z chłodzeniem naturalnym chłodzenie wodne pozwala obniżyć straty w żelazie o 5%, podnieść straty w miedzi o 10—15% i powiększyć bez podniesienia wagi moc transformatora. Odpowiednio do tego kształtują się ceny. Przy zachowaniu tej samej mocy transformatory z podmuchem są o 10—25%, zaś transformatory z chłodzeniem naturalnym o 15—30% droższe od transformatorów z chłodzeniem wodnym. Autor jest zwolennikiem chłodzenia wodnego, za którym między innymi przemawia

mała rozpiętość pomiędzy temperaturą średnią a temperaturą najgorętszego miejsca w uzwojeniu. W konkluzji autor oświadcza się: 1) za chłodzeniem naturalnym dla małych jednostek, 2) za chłodzeniem wodnym dla dużych jednostek ustawianych pod dachem, 3) za chłodzeniem powietrznym z podmuchem dla dużych transformatorów napowietrznych. Sprawę chłodzenia jednostek bardzo dużych (powyżej 60 MVA) pozostawia autor bez rozstrzygnięcia.

Wnioski nasuwające się dla nas sprowadzają się do szerszego stosowania chłodzenia z podmuchem, jak również do wypróbowania konstrukcji z bateriami ustawianymi



Rys. 9. Układ chłodzenia transformatora z osobnymi bateriami radiatorów

mi osobno (rys. 9), czego krajowe fabryki dotąd nie stosowały.

Ostatnim referatem z grupy transformatorowej jest praca inż. Gaulet i Perrin o normalizacji transformatorów dużej mocy we Francji. Przedmiotem normalizacji były transformatory do sieci 220, 150 i 90 kV. Podstawą studiów było przede wszystkim sporządzenie kartoteki wszystkich będących w eksploatacji transformatorów. Na tej podstawie ustalono:

1) schematy: Y z zerem uziemionym dla 220 i 150 kV;

2) układy połączeń: Y/y/D, przy czym uzwojenia w trójkąt na 10,5 kV bez odbioru mocy;

3) napięcie zwarcia: 12% dla przekładni 220/150 kV.

Sprawa normalizacji napięcia zwarcia była rozpatrzona pod kątem widzenia poprawnej pracy równoległej. Dla jej oceny przyjęto następujący współczynnik mocy:

$$\Delta = \frac{P_1 + P_2 - P_{\max}}{P_1 + P_2}$$

gdzie P_1 i P_2 oznaczają moce znamionowe, P_{\max} zaś całkowitą moc, którą możemy otrzymać z dwóch transformatorów połączonych równoległe bez przekroczenia mocy znamionowej któregokolwiek z nich. Pracę równoległą uznano za zadawalającą, gdy $\Delta = 10\%$. Jako moc graniczną przyjęto we Francji 100 MVA w układzie trójfazowym i 225 MVA w układzie trzech transformatorów jednofazowych. Przy dużych mocach przeważały zalety układów amerykańskich. Jeżeli przez p oznaczymy koszt transformatora, przez t koszt instalacji, zaś przez r koszt regulacji pod obciążeniem, to otrzymamy porównanie następujące:

rozwiązanie	koszt
1 transf. trójfazowy o mocy P	$p + t + r$
3 „ jednofazowe o mocy $\frac{1}{3}P$	$1,25 p + t + r$
4 „ „ „ „ „	$1,66 p + t + r$
2 „ trójfazowe o mocy P	$2 p + t + r$

Regulację napięcia pod obciążeniem postanowiono rozwiązywać z pomocą osobnego autotransformatora regulacyjnego dającego się wymieniać niezależnie od transformatorów głównych. Warto zauważyć, że identyczną sugestią wysuwał nasz przemysł pod adresem energetyki jeszcze w roku 1946.

Wreszcie chłodzenie transformatorów rozwiązano z pomocą osobno montowanych i osobno wymienianych baterii radiatorów.

Posunięcia normalizacyjne przemysłu francuskiego nie przynoszą wprawdzie rewelacji, jednak stanowią cenny materiał porównawczy dla opracowywanej obecnie polskiej normalizacji dużych transformatorów sieciowych.

Tablica I. Najkorzystniejsze opory bierno-turbo-generatorów

Wielkości charakterystyczne	Turbogeneratory parowe	Turbogeneratory wodne szybko-bieżne	Turbogeneratory wodne wolno-bieżne
Stosunek prądu wzbudzenia przy biegu luzem i zwarcia	0,5 — 0,6	0,8 — 1,1	1,1 — 1,3
Opór bierny synchroniczny podłużny	240 — 180%	150 — 100%	100 — 90%
Opór bierny synchroniczny poprzeczny	240 — 180%	100 — 65%	65 — 55%
Opór bierny podudarowy	2 — 12%	30 — 22%	22 — 18%

Spis referatów

- [1] Angelini A. M. Topogramme général pour la machine synchrone. (Ref. 114, Włochy)
 [2] Matena S. Contribution à l'étude des turbo-alternateurs synchrones, en marche synchrone, asynchrone et avec des „à-coup“. (Ref. 135, Czechosłowacja)
 [3] David R. Conséquences du choix des valeurs à donner aux réactances d'une machine synchrone. (Ref. 103, Francja)

- [4] Wilczek E. Développement et conditions de service des alternateurs à grande puissance. (Ref. 136, Węgry)
 [5] Brambilla A. Du couplage entre turbine et alternateur dans les centrales hydrauliques à faible chute. (Ref. 124, Włochy)
 [6] Gaden D. et Ricalens J. Du choix du moment d'inertie des groupes hydroélectriques. (Ref. 102, Francja)
 [7] Schulthess H. L'influence de la vitesse d'emballlement et du moment de giration sur le poids et le coût des alternateurs triphasés entraînés par turbines hydrauliques à grande vitesse spécifique et la question de l'essai d'emballlement des roues polaires. (Ref. 116, Szwajcaria)
 [8] Wellauer M. Détermination des défauts de transformateurs à l'aide d'oscillogrammes du courant relevés lors des essais sous tension de choc. (Ref. 113, Szwajcaria)
 [9] Aeschlimann H. Recherches sur les sollicitations des enroulements de transformateurs et détermination des courts-circuits internes provoqués par les ondes de choc. (Ref. 118, Szwajcaria)
 [10] Novak B. Quelques notions résultant des essais relatifs aux oscillations dans des enroulements des transformateurs. (Ref. 134, Czechosłowacja)
 [11] Paillet G. et Dufour N. Etudes des fréquences propres et des impédances d'ondes des enroulements de transformateurs. (Ref. 109, Belgia)
 [12] Descans F. et Chevalier A. Danger de claquage par onde de choc lors de l'essai de rigidité des transformateurs. (Ref. 110, Belgia)
 [13] Caudron H. Définition d'une „température ambiante nominale“ liée à la notion de vie et de puissance nominale d'un transformateur. Règles généralement admises en Belgique pour l'utilisation des transformateurs sous le point de vue de l'échauffement. Comparaison de normes diverses. (Ref. 126, Belgia)
 [14] Rossier C. Considérations techniques et économiques sur les systèmes de refroidissement des transformateurs. (Ref. 120, Szwajcaria)
 [15] Gaule t G. et Perrin L. L'unification des transformateurs de grande puissance dans le réseau français. (Ref. 133, Francja)

DR INŻ. JERZY WIECZOREK

Prosty sposób obliczania złożonych układów z R i C

Treść. Układy z R i C w multiplikatorach napięcia prądu stałego i obliczanie takich układów metodą ogólną. Autor wyprowadza sposób obliczania tak samo dokładny, jednak znacznie prostszy i przejrzystszy. Nadaje się on do obliczania najbardziej złożonych układów z R i C. Porównanie wyników obliczeń obu metodami i wnioski.

Простой метод расчета сложных схем, содержащих R и C. Схемы мультипликаторов напряжения постоянного тока, составленные из R и C, и расчет таких схем общим методом. Автор предлагает способ расчета не менее точный, но более простой и ясный, применимый к самым сложным схемам, составленным из R и C. Сравнение результатов расчета обоими методами.

Simple method of calculating compound R and C assemblage. R and C assemblage in multipliers of D. C. voltage and calculation of such arrangements by general method. The method of calculation advanced by the author is just as accurate, yet considerably simpler and more lucid. It may be applied for calculating the most complex R and C assemblages. Comparison of the results of calculations by both methods. Conclusions.

Méthode simple de calcul des montages complexes en R et C. Montages en R et C dans les multiplicateurs de tension continue et calcul de tels montages par la méthode générale. L'auteur indique une méthode de calcul ainsi précise, mais bien plus claire et compréhensible. Elle s'applique au calcul des montages en R et C les plus complexes. Comparaison des résultats du calcul par les deux méthodes. Conclusions.

1. Wstęp.

Klasyczny sposób obliczania układów złożonych z R i C, spotykanych np. w multiplikatorach napięcia stałego, polega na tym, że pisze się równania różniczkowe dla poszczególnych obwodów, rozwiązuje się je ogólnie, ustala się następnie warunkę graniczną celem obliczenia stałych, a obliczywszy je wypisuje się w końcu szczegółowe wyrażenia na poszukiwane wielkości, a mianowicie napięcia i prądy jako funkcje czasu. Sposób ten jest zupełnie ścisły, jednak tak skomplikowany i uciążliwy, że jedynie w stosunkowo prostych układach, np. jedno- i dwustopniowych multiplikatorach, może doprowadzić do celu. W wielostopniowych multiplikatorach, o dużym stosunku wtórnego (wysokiego) napięcia stałego do pierwotnego (niskiego), układy z R i C są na ogół bardzo złożone. Ich szczegółowe obliczenie jest możliwe jednak przy pomocy prostego sposobu, którego wyprowadzenie i zastosowanie na konkretnym przykładzie jest podane dalej. Pominięto przy tym straty w kondensatorach. Jeżeli bowiem są one dostatecznie małe, to prawie nie wpływają na wielkości obliczane. Nie uwzględniono również znikomej indukcyjności obwodów; dla uniknięcia zjawisk rezonansowych opory czynne obwodów nie mogą być zbyt małe.

2. Obliczenie układu z R i C metodą ogólną i wnioski.

Jako przykład rozpatrzmy układ, przedstawiony na rys. 1, a składający się z dwu obwodów. R i r oznaczają

opory czynne, C_1 , C_2 i C_I — pojemności, W_1 i W_2 — łączniki. Przed zamknięciem obwodów przy pomocy łączników W_1 i W_2 na kondensatorach panują napięcia U_1 , U_2 i U_I .

Prądy i_1 , i_2 i i_I , płynące w obwodach po ich jednoczesnym zamknięciu przy pomocy łączników W_1 i W_2 , są ze sobą związane równaniami

$$i_1 + i_I - i_2 = 0$$

$$i_2 \cdot R + \frac{1}{C_2} \int i_2 \cdot dt + \frac{1}{C_1} \int i_1 \cdot dt = 0$$

$$i_I \cdot r + \frac{1}{C_I} \int i_I \cdot dt - \frac{1}{C_1} \int i_1 \cdot dt = 0$$

lub

$$i_1 + i_I - i_2 = 0 \quad (1)$$

$$R \cdot \frac{d i_2}{dt} + \frac{i_2}{C_2} + \frac{i_1}{C_1} = 0 \quad (2)$$

$$r \cdot \frac{d i_I}{dt} + \frac{i_I}{C_I} - \frac{i_1}{C_1} = 0 \quad (3)$$

Jeśli podstawimy do równań (1), (2) i (3) wyrażenia

$$\left. \begin{aligned} i_2 &= K_2 \cdot e^{-at} \\ i_1 &= K_1 \cdot e^{-at} \\ i_I &= K_I \cdot e^{-at} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

to otrzymuje się dla stałych

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_2 \left(\alpha R C_1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \\ K_1 &= K_2 \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \alpha R C_1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

oraz równanie

$$R r C_1 C_2 C_1 \cdot \alpha^2 - [R C_2 (C_1 + C_1) + r C_1 (C_1 + C_2)] \alpha + (C_1 + C_2 + C_1) = 0,$$

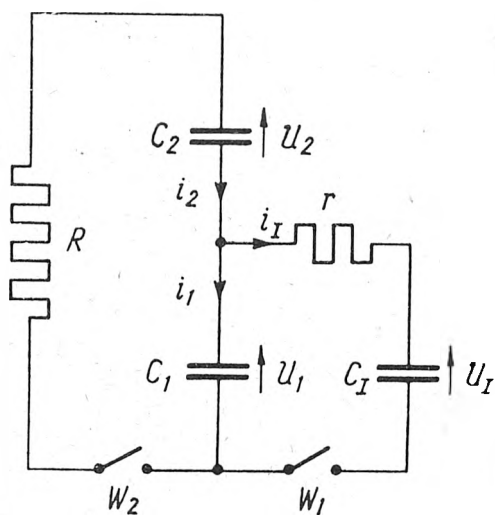
z którego otrzymuje się dwa rzeczywiste pierwiastki

$$\alpha = \frac{R C_2 (C_1 + C_1) + r C_1 (C_1 + C_2) + \sqrt{\Delta}}{2 R r C_1 C_2 C_1} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{R C_2 (C_1 + C_1) + r C_1 (C_1 + C_2) - \sqrt{\Delta}}{2 R r C_1 C_2 C_1} \quad (7)$$

gdzie

$$\Delta = [R C_2 (C_1 + C_1) + r C_1 (C_1 + C_2)]^2 - 4 R r C_1 C_2 C_1 (C_1 + C_2 + C_1) \quad (8)$$



Rys. 1. Dwa skojarzone ze sobą obwody z R i C

Wyrażenia na prądy według (4) przybierają postać:

$$\begin{aligned} i_2 &= K_{2\alpha} \cdot e^{-\alpha t} + K_{2\beta} \cdot e^{-\beta t} \\ i_I &= K_{1\alpha} \cdot e^{-\alpha t} + K_{1\beta} \cdot e^{-\beta t} \\ i_I &= K_{I\alpha} \cdot e^{-\alpha t} + K_{I\beta} \cdot e^{-\beta t} \end{aligned}$$

lub po uwzględnieniu (5)

$$\left. \begin{aligned} i_2 &= K_{2\alpha} \cdot e^{-\alpha t} + K_{2\beta} \cdot e^{-\beta t} \\ i_1 &= K_{2\alpha} \cdot \left(\alpha R C_1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \cdot e^{-\alpha t} + \\ &+ K_{2\beta} \cdot \left(\beta R C_1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \cdot e^{-\beta t} \\ i_I &= K_{2\alpha} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \alpha R C_1 \right) \cdot e^{-\alpha t} + \\ &+ K_{2\beta} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \beta R C_1 \right) \cdot e^{-\beta t} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Dla napięć otrzymuje się:

$$u_2 = -\frac{1}{C_2} \int i_2 \cdot dt + M_2 = \frac{K_{2\alpha}}{\alpha C_2} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{K_{2\beta}}{\beta C_2} \cdot e^{-\beta t} + M_2$$

$$u_1 = -\frac{1}{C_1} \int i_1 \cdot dt + M_1 = \frac{K_{1\alpha}}{\alpha C_1} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{K_{1\beta}}{\beta C_1} \cdot e^{-\beta t} + M_1$$

$$u_I = -\frac{1}{C_I} \int i_I \cdot dt + M_I = \frac{K_{I\alpha}}{\alpha C_I} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{K_{I\beta}}{\beta C_I} \cdot e^{-\beta t} + M_I$$

lub po uwzględnieniu (5)

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= \frac{K_{2\alpha}}{\alpha C_2} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{K_{2\beta}}{\beta C_2} \cdot e^{-\beta t} + M_2 \\ u_1 &= \frac{K_{2\alpha}}{\alpha C_1} \cdot \left(\alpha R C_1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \cdot e^{-\alpha t} + \\ &+ \frac{K_{2\beta}}{\beta C_1} \cdot \left(\beta R C_1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \cdot e^{-\beta t} + M_1 \\ u_I &= \frac{K_{2\alpha}}{\alpha C_I} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \alpha R C_1 \right) \cdot e^{-\alpha t} + \\ &+ \frac{K_{2\beta}}{\beta C_I} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \beta R C_1 \right) \cdot e^{-\beta t} + M_I \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Stałe $K_{2\alpha}$, $K_{2\beta}$, M_2 , M_1 i M_I oblicza się z równań na napięcia i prądy dla $t = 0$:

$$\left. \begin{aligned} u_{20} &= U_2 \\ u_{10} &= U_1 \\ u_{I0} &= U_I \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

i

$$\left. \begin{aligned} i_{20} &= \frac{U_1 + U_2}{R} \\ i_{I0} &= \frac{U_I - U_1}{r} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Równania (12) dają w połączeniu z (9):

$$K_{2\alpha} = \frac{1}{(\alpha - \beta) R C_1} \cdot \left[\frac{U_1 + U_2}{R} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \beta R C_1 \right) - \frac{U_I - U_1}{r} \right] \quad (13)$$

$$K_{2\beta} = \frac{1}{(\alpha - \beta) R C_1} \cdot \left[-\frac{U_1 + U_2}{R} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_2} - \alpha R C_1 \right) + \frac{U_I - U_1}{r} \right] \quad (14)$$

Z równań (10) otrzymuje się po podstawieniu wyrażeń (11), (13) i (14) równania wynikowe dla stałych M_2 , M_1 i M_I . Ogólne rozwiązanie zagadnienia jest tym samym zakończone.

Przy dalszych wyprowadzeniach uwzględnimy następujące założenia upraszczające zadanie, a odpowiadające rzeczywistości:

$$C_1 = C_2 = C \quad (15)$$

$$C_1 = k \cdot C \quad (16)$$

$$R \gg r \quad (17)$$

Po rozwinięciu w szereg wyrażenia (8) na $\sqrt{\Delta}$ i uwzględnieniu jedynie pierwszych członów szeregu otrzymuje się z równań (6) i (7):

$$\alpha = \frac{k + 1}{k \cdot r \cdot C} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{k + 2}{(k + 1) R C} \quad (19)$$

Stałe całkowania wynoszą:

$$K_{2\alpha} = -\frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_I - U_1}{R} = -\frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_I}{R} + \frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_1}{R} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} K_{2\beta} &= \frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_I - U_1}{R} + \frac{U_1 + U_2}{R} = \\ &= \frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_I}{R} + \frac{1}{k + 1} \cdot \frac{U_1}{R} + \frac{U_2}{R} \end{aligned} \quad (21)$$

$$M_1 = M_I = -M_2 = \frac{k}{k + 2} \cdot U_1 + \frac{1}{k + 2} \cdot U_1 - \frac{1}{k + 2} \cdot U_2 \quad (22)$$

Równania dla prądów i napięć jako funkcji czasu są ostatecznie:

$$i_2 = \left[\frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_I}{R} + \frac{1}{k + 1} \cdot \frac{U_1}{R} + \frac{U_2}{R} \right] \cdot e^{-\beta t} \quad (23)$$

$$i_1 = -\frac{U_I - U_1}{r} \cdot e^{-\alpha t} + \left[\frac{k}{(k + 1)^2} \cdot \frac{U_I}{R} + \frac{1}{(k + 1)^2} \cdot \frac{U_1}{R} + \frac{1}{k + 1} \cdot \frac{U_2}{R} \right] \cdot e^{-\beta t} \quad (24)$$

$$i_I = \frac{U_I - U_1}{r} \cdot e^{-\alpha t} + \left[\frac{k^2}{(k + 1)^2} \cdot \frac{U_I}{R} + \frac{k}{(k + 1)^2} \cdot \frac{U_1}{R} + \frac{k}{k + 1} \cdot \frac{U_2}{R} \right] \cdot e^{-\beta t} \quad (25)$$

$$u_2 = \left[\frac{k}{k+2} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_I + \frac{k+1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} - \frac{k}{k+2} \cdot U_I - \frac{1}{k+2} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (26)$$

$$u_1 = -\frac{k}{k+1} \cdot (U_I - U_1) \cdot e^{-\alpha t} + \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_I + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_I - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (27)$$

$$u_I = \frac{1}{k+1} \cdot (U_I - U_1) \cdot e^{-\alpha t} + \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_I + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_I + \frac{1}{k+2} \cdot U_I - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (28)$$

Z wyprowadzonych wzorów można wysnuć bardzo ważne wnioski, na podstawie których dochodzi się do wyrażenia, stanowiącego klucz do obliczenia złożonych układów kondensatorowych, spotykanych w mnożnikach napięcia.

Również układ przedstawiony na rys. 1 stanowi fragment jednostopniowego mnożnika według Böninga¹⁾ do podwojenia napięcia stałego. Kondensator pomocniczy C_I , ładowany przez źródło napięcia stałego na napięcie U_I , oddaje część swojego ładunku na przemian kondensatorom C_1 i C_2 , do których przyłączony jest odbiornik o oporze R ; r przedstawia opór połączeń między kondensatorami C_1 i C_2 lub C_I i C_1 .

Przy $R \gg r$, $C_1 = C_2 = C$ i $C_I = k \cdot C$ równania (23) do (28) przedstawiają wyrażenia na przebieg poszczególnych prądów i napięć w czasie od zamknięcia obwodów do ustalenia się zjawiska ładowania.

Wyrażenia na napięcia składają się z trzech członów, z których

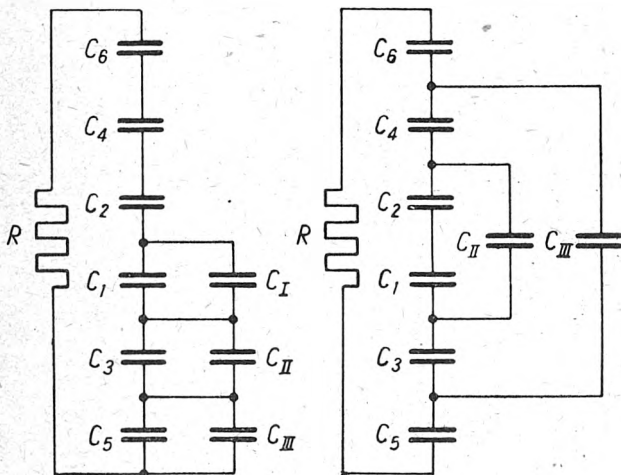
pierwszy odpowiada przebiegowi wyrównawczemu napięć między równolegle przez opór r połączonymi kondensatorami C_1 i C_I ,

drugi — przebiegowi wyładowania przez opór odbiornika R ,

trzeci — stanowi po zakończeniu obu przebiegów. Jeśli się dokładnie przyjrzemy poszczególnym członom, to dojdziemy przy porobionych założeniach do następujących wniosków:

- a) przebieg wyrównawczy napięć dotyczy jedynie obu połączonych ze sobą równolegle kondensatorów,
- b) napięcia równolegle ze sobą połączonych kondensatorów zmieniają się według tego samego prawa,
- c) po osiągnięciu stanu równowagi panują na wszystkich kondensatorach te same napięcia,
- d) przy bardzo małych r przebieg wyrównawczy napięć następuje momentalnie.

Ładunki przepływają zatem w ten sposób, że bezpośrednio po zamknięciu wyłączników napięcia równolegle



Rys. 2. Wielokrotnie skojarzone obwody z R i C

połączonych kondensatorów wyrównują się, następnie napięcia kondensatorów połączonych w szereg przez R

¹⁾ P. Böning, Ein neues Verfahren zum Erzeugen höchster Gleichspannung. Elektrotechnik und Maschinenbau, 1940, str. 69.

wyrównują się i wreszcie przebieg ustaje, gdy napięcia na wszystkich kondensatorach są równe.

W wielokrotnie skojarzonych obwodach z R i C, przedstawionych np. na rys. 2, przebieg jest podobny. Jeśli opory r w obwodach równolegle ze sobą łączonych kondensatorów są bardzo małe, a opór odbiornika R stosunkowo duży, to po połączeniu wszystkich kondensatorów ze sobą wynik będzie następujący: w pierwszej chwili kondensatory równolegle przybiorą napięcia, których suma algebraiczna jest równa zeru dla każdego obwodu równoległych kondensatorów; następnie napięcia kondensatorów zmierzają do wartości, których suma algebraiczna jest równa zeru dla obwodu wyładowania przez opór R .

W ten sposób przebieg napięć kondensatorów jest jednoznacznie określony. Wystarczy dla zadanego układu obliczyć stałą czasu lub jej odwrotność oraz napięcia końcowe kondensatorów na podstawie napięć początkowych i wielkości pojemności kondensatorów, żeby otrzymać równania na napięcia poszczególnych kondensatorów jako funkcje czasu. Ogólna postać tych równań jest następująca:

$$u_t = (u_0 - u_\infty) \cdot e^{-\alpha t} + u_\infty \quad (29)$$

gdzie u_0 oznacza napięcie kondensatora dla $t = 0$, u_∞ oznacza napięcie kondensatora dla $t = \infty$, α oznacza odwrotność stałej czasu odpowiedniego obwodu.

Równanie (29) umożliwia rozwiązanie najbardziej złożonych układów z R i C i stanowi tym samym klucz do obliczania nawet najbardziej skomplikowanych kondensatorowych mnożników napięcia, których nie można obliczyć przy pomocy równań różniczkowych.

Dla przykładu obliczymy opisaną metodą wyrażenia (18) i (19) oraz (26), (27) i (28) dla układu, przedstawionego na rys. 1.

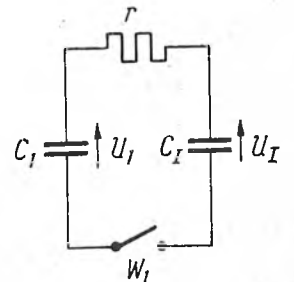
3. Obliczenie układu z R i C metodą szczególną.

a) Odwrotności stałych czasu

„Geometryczną” pojemność całkowitą C'_α obwodu, przedstawionego na rys. 3, oblicza się według wzoru:

$$\frac{1}{C'_\alpha} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_I}$$

Rys. 3. Obwód kondensatorów równoległych



Po uwzględnieniu założeń według (15) i (16) otrzymuje się

$$\frac{1}{C'_\alpha} = \frac{1}{C} + \frac{1}{kC} = \frac{k+1}{k \cdot C} \quad (30)$$

Podobnie oblicza się geometryczną pojemność całkowitą C'_β obwodu, przedstawionego na rys. 4, w którym po-

minięto opór r , gdyż nie wpływa on przy porobionych założeniach na przepływ ładunku przez opór R :

$$\frac{1}{C'_\beta} = \frac{1}{C_1 + C_I} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C + k \cdot C} + \frac{1}{C} = \frac{k + 2}{(k + 1) \cdot C} \quad (31)$$

Odwrotności stałych czasu obu rozpatrywanych obwodów wynoszą zatem

$$\alpha = \frac{1}{r \cdot C'_\alpha} = \frac{k + 1}{k \cdot r \cdot C} \quad (32)$$

$$\beta = \frac{1}{R \cdot C'_\beta} = \frac{k + 2}{(k + 1) \cdot R \cdot C} \quad (33)$$

b) Przebieg wyrównawczy napięć w obwodzie kondensatorów równoległych

W chwili $t = 0$ panują na kondensatorach C_1 i C_I (rys. 3) napięcia

$$u_{1a0} = U_I \quad (34)$$

$$u_{Ia0} = U_I \quad (35)$$

Dla $t = \infty$ jest

$$u_{1a\infty} = u_{Ia\infty} = \frac{u_{10} \cdot C_1 + u_{I0} \cdot C_I}{C_1 + C_I} = \frac{U_I \cdot C + U_I \cdot k \cdot C}{C + k \cdot C} = \frac{U_I + k \cdot U_I}{1 + k} \quad (36)$$

Dla obwodu rozpatrywanego jest ważne równanie kontrolne

$$\Sigma u_{a\infty} = u_{1a\infty} - u_{2a\infty} = 0.$$

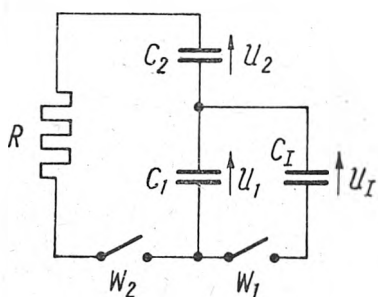
Dla chwili $t = t$ otrzymuje się na podstawie równania (29)

$$u_{1at} = (u_{1a0} - u_{1a\infty}) \cdot e^{-at} + u_{1a\infty} = \frac{1}{k + 1} \cdot (U_I - U_I) \cdot e^{-at} + \frac{k \cdot U_I + U_I}{k + 1} \quad (37)$$

$$u_{Iat} = (u_{Ia0} - u_{Ia\infty}) \cdot e^{-at} + u_{Ia\infty} = -\frac{1}{k + 1} \cdot (U_I - U_I) \cdot e^{-at} + \frac{k \cdot U_I + U_I}{k + 1} \quad (38)$$

c) Wyładowanie kondensatorów przez R

Rys. 4 przedstawia obwód wyładowania przez opór R ; pominięto w nim celowo opór r , gdyż przy porobionych założeniach nie wpływa on praktycznie na przebieg wyładowania.



Rys. 4. Obwód wyładowania przez opór R

Dla $t = 0$ przebiegu wyładowania kondensatorów przez R napięcia poszczególnych kondensatorów wynoszą według (36)

$$u_{I\beta 0} = u_{Ia\infty} = \frac{k \cdot U_I + U_I}{k + 1} \quad (39)$$

$$u_{1\beta 0} = u_{1a\infty} = \frac{k \cdot U_I + U_I}{k + 1} \quad (40)$$

$$u_{2\beta 0} = U_2 \quad (41)$$

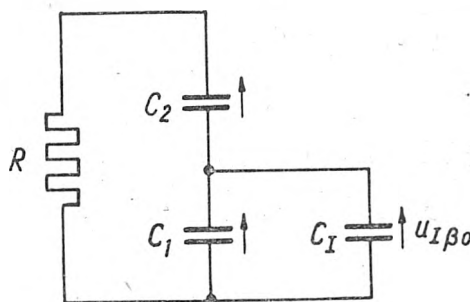
Dla $t = \infty$ oblicza się najpierw napięcia cząstkowe na poszczególnych kondensatorach, spowodowane przez napięcia tylko jednego kondensatora wchodzącego w skład obwodu; napięcie całkowite na każdym kondensatorze jest sumą napięć cząstkowych.

Strzałki na rys. 5, 6 i 7 wskazują kierunki napięć cząstkowych, wywołanych przez oznaczone na rysunkach napięcia kondensatorów.

Napięcia cząstkowe, wywołane przez $u_{I\beta 0}$ (rys. 5):

$$u_{I\beta\infty}(u_{I\beta 0}) \cdot (C_I + C'_I) = u_{I\beta 0} \cdot C_I$$

C'_I oznacza tu geometryczną pojemność całkowitą kondensatorów C_1 i C_2 , połączonych równoległe z C_I :
 $C'_I = C_1 + C_2 = 2 \cdot C.$



Rys. 5. Kierunki napięć cząstkowych wywołanych przez $u_{I\beta 0}$

$$u_{I\beta\infty}(u_{I\beta 0}) = u_{I\beta 0} \cdot \frac{C_I}{C_I + C'_I} = \frac{k(k \cdot U_I + U_I)}{(k + 1)(k + 2)}$$

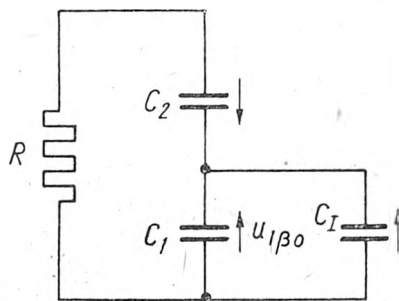
$$u_{1\beta\infty}(u_{I\beta 0}) = u_{I\beta\infty}(u_{I\beta 0}) = \frac{k(k \cdot U_I + U_I)}{(k + 1)(k + 2)}$$

$$u_{2\beta\infty}(u_{I\beta 0}) = -u_{1\beta\infty}(u_{I\beta 0}) = -\frac{k(k \cdot U_I + U_I)}{(k + 1)(k + 2)}$$

Napięcia cząstkowe, wywołane przez $u_{1\beta 0}$ (rys. 6):

$$u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) \cdot (C_1 + C'_1) = u_{1\beta 0} \cdot C_1$$

C'_1 oznacza geometryczną pojemność całkowitą kondensatorów C_1 i C_2 , połączonych równoległe z C_1 .
 $C'_1 = C_1 + C_2 = k \cdot C + C.$



Rys. 6. Kierunki napięć cząstkowych, wywołanych przez $u_{1\beta 0}$

$$u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) = u_{1\beta 0} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C'_1} = \frac{k \cdot U_I + U_I}{(k + 1)(k + 2)}$$

$$u_{I\beta\infty}(u_{1\beta 0}) = u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) = \frac{k \cdot U_I + U_I}{(k + 1)(k + 2)}$$

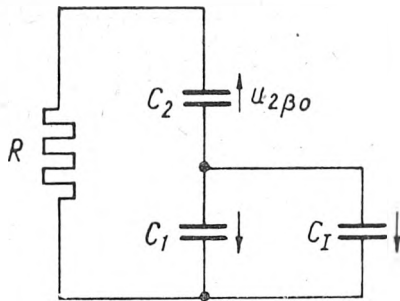
$$u_{2\beta\infty}(u_{1\beta 0}) = -u_{I\beta\infty}(u_{1\beta 0}) = -\frac{k \cdot U_I + U_I}{(k + 1)(k + 2)}$$

Napięcia cząstkowe, wywołane przez $u_{2\beta 0}$ (rys. 7):

$$u_{2\beta\infty}(u_{2\beta 0}) \cdot (C_2 + C'_2) = u_{2\beta 0} \cdot C_2$$

C'_2 oznacza geometryczną pojemność całkowitą kondensatorów C_1 i C_I , połączonych równoległe z C_2 .

$$C'_2 = C_I + C_1 = k \cdot C + C.$$



Rys. 7. Kierunki napięć cząstkowych, wywołanych przez $u_{2\beta 0}$

$$u_{2\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = u_{2\beta 0} \cdot \frac{C_2}{C_2 + C_1} = \frac{U_2}{k+2}$$

$$u_{1\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = -u_{2\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = -\frac{U_2}{k+2}$$

$$u_{1\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = -u_{2\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = -\frac{U_2}{k+2}$$

$$u_{1\beta t} = (u_{1\beta 0} - u_{1\beta\infty}) \cdot e^{-\beta t} + u_{1\beta\infty} =$$

$$= \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (45)$$

$$u_{1\beta t} = u_{1\beta t} = \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (46)$$

$$u_{2\beta t} = (u_{2\beta 0} - u_{2\beta\infty}) \cdot e^{-\beta t} + u_{2\beta\infty} =$$

$$= \left[\frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 + \frac{k+1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} - \frac{k}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (47)$$

d) Przebieg wyrównawczy napięć w obwodzie kondensatorów równoległych i przebieg wyładowania kondensatorów przez opór R, wyrażone przez jedno równanie

$$u_{1t} = \frac{1}{k+1} \cdot (U_1 - U_1) \cdot e^{-\alpha t} +$$

$$+ \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (48)$$

$$u_{1t} = -\frac{k}{k+1} \cdot (U_1 - U_1) \cdot e^{-\alpha t} +$$

$$+ \left[\frac{k}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{(k+1)(k+2)} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} + \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (49)$$

$$u_{2t} = \left[\frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 + \frac{k+1}{k+2} \cdot U_2 \right] \cdot e^{-\beta t} - \frac{k}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (50)$$

4. Wnioski.

Okazuje się, że wyrażenia na przebieg napięć poszczególnych kondensatorów, obliczone metodą szczególną [(32), (33), (48), (49) i (50)], są identyczne z wyrażeniami, obliczonymi metodą ogólną [(18), (19), (26), (27) i (28)]. Obliczenie metodą szczególną jest jednak prostsze i przejrzystsze; można je wykonywać szablonowo dla najbardziej skomplikowanych układów, złożonych z oporności czynnych i pojemności, występujących w multiplikatorach napięcia stałego*).

LITERATURA

1. M. Schenkel. Eine neue Schaltung für die Erzeugung hoher Gleichspannungen. *Elektrotechn. Zeitschr.* 40 (1919), str. 333.
2. H. Greinacher. Erzeugung einer Gleichspannung vom vielfachen Betrag einer Wechselspannung ohne Transformator. *Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver.* 11 (1920), 59. — Über eine Methode, Wechselstrom mittels elektrischer Ventile und Kondensatoren in hochgespannten Gleichstrom umzuwandeln. *Zeitschrift f. Phys.* 4 (1921), str. 195.

* Zastosowanie opisanego sposobu obliczania na przykładzie konkretnego multiplikatora będzie podane osobno.

Wskutek jednoczesnego oddziaływania wszystkich napięć zapanują na poszczególnych kondensatorach po skończeniu się przebiegu wyładowania kondensatorów przez opór R następujące napięcia:

$$u_{1\beta\infty} = u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{1\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (42)$$

$$u_{1\beta\infty} = u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{1\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{1\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = \frac{k}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (43)$$

$$u_{2\beta\infty} = u_{2\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{2\beta\infty}(u_{1\beta 0}) + u_{2\beta\infty}(u_{2\beta 0}) = -\frac{k}{k+2} \cdot U_1 - \frac{1}{k+2} \cdot U_1 + \frac{1}{k+2} \cdot U_2 \quad (44)$$

Dla obwodu rozpatrywanego jest ważne równanie kontrolne

$$\Sigma u_{\beta\infty} = u_{1\beta\infty} + u_{2\beta\infty} = 0.$$

Dla chwili $t = t$ otrzymuje się na podstawie równania (29):

Jeśli dodamy do siebie wyniki rozdziałów a, b i c, to otrzymamy dla przebiegu napięć w czasie dla poszczególnych kondensatorów wyrażenia:

3. A. Gemant. Untersuchungen zum Kondensatorenttransformator. *Arch. f. Elektrotechn.* 23 (1930), str. 695.
4. J. D. Cockroft i E. T. S. Walton. Experiments with high velocity positive ions. — (I) Further developments in the method of obtaining high velocity positive ions. *Proc. Roy. Soc. Lond.* 36 (1932), str. 619.
5. A. Bouwers, I. Kuntke. Ein Generator für 3 Millionen Volt Gleichspannung. *Zeitschr. f. Phys.* 18 (1937), str. 209.
6. H. Mehlhorn. Hochspannungsanlage für 3 Millionen Volt konstante Gleichspannung. *Siemens-Zeitschr.* 18 (1938), str. 417; Über die Greinacher-Ventilervielfachungsschaltung und ihre Verwendung zur Erzeugung hoher konstanter Gleichspannung. *Wiss. Veröff. aus d. Siemens-Werk.* 21 (1942), str. 141.
7. E. P. Vanonie. La progettazione dei circuiti moltiplicatori ad altissima tensione. *Elettrotecnica* 25 (1938), str. 766.
8. A. Liechti. Multiplicateur de tension Micafil. *Revue Micafil* (1939), str. 28.
9. P. Böning. Ein neues Verfahren zum Erzeugen höchster Gleichspannung. *Elektrotechn. u. Maschinenb.* 59 (1940), str. 69.
10. A. Nitsche. Eine besonders leistungsstarke Röntgen-Therapieanlage für 1,2 MV. *Elektrotechn. Zeitschr.* 61 (1940), str. 441.
11. A. Jaggi. Untersuchung des Aufladevorganges im Kaskadengenerator zur Erzeugung hochgespannten Gleichstroms aus Wechselstrom. *Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver.* 34 (1943), str. 386.
12. Th. Gerber. Über den Spannungsaufbau im Kaskadengenerator und in ähnlichen Spannungsvervielfachern. *Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver.* 39 (1947), str. 700.

INŻ. WŁADYSŁAW NEY

Turbiny parowe dla skojarzonej gospodarki cieplnej i elektrycznej

Treść. Znaczenie ekonomiczne skojarzonej gospodarki cieplnej i elektrycznej. Zasadniczym elementem tej gospodarki w nowoczesnej siłowni przemysłowej są specjalnie dostosowane turbiny parowe. Przegląd głównych typów tych turbin i ich charakterystyczne własności; wskazówki co do wyboru wielkości turbiny oraz schematy najprostszyc układów po stronie parowej i po stronie elektrycznej.

Паровые турбины для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Экономическое значение комбинированного теплоэлектрического хозяйства. Основным элементом этого хозяйства в современной промышленной силовой установке являются специально приспособленные паровые турбины. Обзор главных типов этих турбин и их характерные особенности; указания относительно выбора величины турбины и простейшие схемы для паровой и электрической части.

Steam turbines for combined thermal and electric schemes. Economical importance of combined thermal and electric schemes. Specially adapted steam turbines as the cardinal element of such modern practice in industrial power plants. Review of principal types of such turbines and their characteristic properties; recommendations as to the selection of the size of turbines and diagrams of the simplest form of arrangement on the steam side and the electrical side.

Turbines à vapeur pour l'économie thermique et électrique unifiée. Importance économique de l'économie thermique et électrique unifiée. L'élément essentiel de cette économie dans une centrale industrielle moderne sont des turbines à vapeur spécialement adaptées. Revue des principaux types de ce genre de turbines et de leurs propriétés caractéristiques; indications concernant le choix de la grandeur de la turbine. Schémas des montages les plus simples du côté vapeur et du côté électrique.

1. Wstęp.

Rozwój gospodarki energetycznej w Europie w okresie ostatniej wojny spowodowany był w dużym stopniu rozwojem przemysłu chemicznego, — przede wszystkim benzyny syntetycznej, kauczuku, karbidu — i nacechowany był dążnością do najlepszego wyzyskania paliwa pod względem energetycznym.

Wszystkie wymienione wyżej produkty są pochodnymi węgla i wymagają do produkcji ogromnych ilości energii elektrycznej. Na przykład sama produkcja karbidu pochłonięła w Niemczech w 1943 r. 7 mlrd. kWh. Węgiel, para i energia elektryczna — wyjściowe surowce dla wymienionych wyżej produktów — zdecydowały o tym, że wytwarzające je przedsiębiorstwa przemysłowe mają charakter połączonych zakładów energetyczno-chemicznych o skojarzonej gospodarce ciepłno-elektrycznej na wielką skalę.

Warto przytoczyć, że np. zakłady chemiczne „Espenheim“ przetwarzały 6 mln. ton węgla brunatnego rocznie i posiadały elektrownię o mocy 313 MW, w tym z górą 170 MW było zainstalowanych w turbinach przeciwprężnych; elektrownia spalała półkoks, odpadki i nieodpowiednie dla chemicznej produkcji gatunki węgla. Zakłady „Buna“ posiadały elektrownię o mocy 190 MW, w tym 135 MW stanowiła moc turbin przeciwprężnych. Zakłady tego typu mogły mieć bilans energii elektrycznej czynny lub bierny i z zasady posiadały silne połączenia elektryczne z sieciami krajowymi najwyższych napięć. Połączenia takie gwarantowały im dużą pewność ruchu i ekonomiczność pracy.

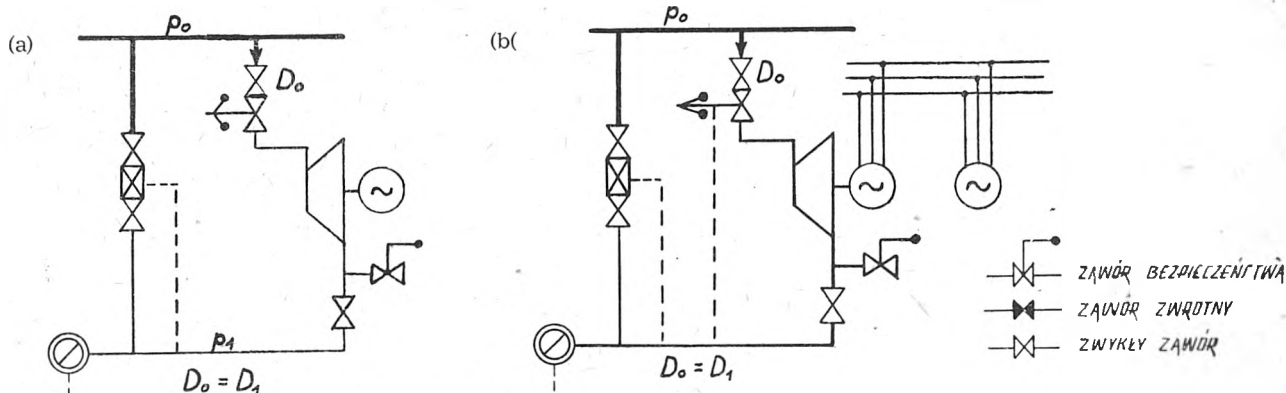
Drugą nowoczesną gałęzią energetyki, opartą na gospodarce skojarzonej na wielką skalę, jest ciepłownictwo — ogrzewanie całych dzielnic miejskich z wielkich centralnych ciepłowni. Ten system zaopatrywania odbiorców miejskich w energię cieplną zyskuje sobie coraz to więk-

moc turbin ogrzewniczych osiągnęła już w roku 1946, na skutek intensywnej odbudowy gospodarki energetycznej, wartość 129% w stosunku do roku 1940. W Europie zachodniej czynnikiem przyspieszającym rozwój ciepłownictwa jest niewątpliwie deficyt węgla, który zapowiada się jeszcze na długie lata.

Zasadnicza korzyść gospodarcza z połączenia produkcji energii cieplnej i energii elektrycznej w specjalnych turbinach przeciwprężnych i z międzystopniowym odbiorem pary (upustowych) polega na tym, że ciepło parowania (które w zwykłych turbinach kondensacyjnych zostaje bezpowrotnie i całkowicie stracone wraz z wodą chłodzącą, jest w turbinach typu wyżej wymienionego wyzyskane do ogrzewania lub do celów technologicznych.

Wyzyskanie ciepła parowania wody do podwyższenia ogólnej sprawności urządzenia odbywa się również w turbinach kondensacyjnych. Niewielkie ilości pary są pobierane w kilku różnych punktach i parę tę zużywa się do podgrzewania skroplin. Przy podgrzewaniu 1—5 stopniowym uzyskuje się podniesienie temperatury wody zasila-jącej — kosztem ciepła utajonego pary pobranej do podgrzewu — od 30—40° C panujących w skraplaczu do 110—220° C przed wejściem do kotła. Ogólną sprawność obiegu cieplnego instalacji można podnieść w ten sposób o 5—11% w zależności od ilości zastosowanych stopni podgrzewu oraz od parametrów pary wprowadzanej do turbiny.

W artykule niniejszym nie będziemy się zajmowali wymienionymi turbinami z wielostopniowym podgrzewaniem skroplin, lecz rozpatrzmy turbiny, w których ilość pary pobranej do celów grzejnych stanowi znaczną część całego strumienia pary, przechodzącego przez turbinę. Turbiny takie w literaturze technicznej noszą często nazwę turbin przemysłowych. Nazwa ta jest dziś niezupełnie



Rys. 1. Schematy turbiny przeciwprężnej

(a) Regulacja „na stałe obroty“
(b) Regulacja „na stałe ciśnienie“

sze zastosowanie w USA, we Francji, Holandii, Czechosłowacji i Wielkiej Brytanii. W ZSRR ciepłownictwo rozwinęło się na wiele lat przed wojną. W roku 1938 było już na terenie Związku Radzieckiego z górą 1000 MW mocy zainstalowanej w ciepłowniach. Łączna zainstalowana

śluszną, gdyż obecnie znajdują one szerokie zastosowanie właśnie w energetyce zawodowej — w ciepłownictwie.

Turbiny dla skojarzonej gospodarki cieplnej i elektrycznej można podzielić na 2 grupy:

1. turbiny przeciwprężne bez części kondensacyjnej,

2. turbiny kondensacyjne z jednym lub więcej upustami pary.

2. Turbina przeciwprężna.

Konstrukcyjnie turbina przeciwprężna tym różni się od kondensacyjnej, że nie posiada skraplacza i tych stopni wirnika, które pracują w strefie niskich ciśnień pary.

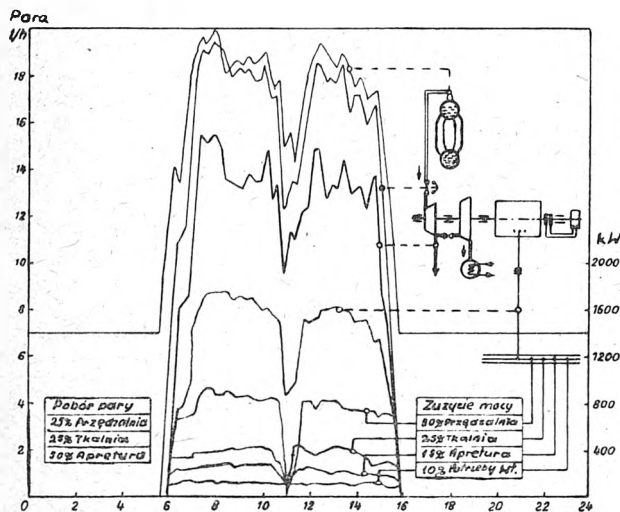
Schemat turbiny przeciwprężnej jest pokazany na rys. 1. Ciśnienie pary wylotowej dla celów grzejących waha się od 1,2 do 3 ata, dla celów przemysłowych od 4 do 12 ata. Elektryczna moc oddawana przez turbinę (P_e) jest związana z ilością pary pobieranej za turbiną (D_1). Między tymi dwiema wielkościami istnieje proporcjonalność: $P_e = kD_1$.

Ponieważ zapotrzebowanie energii elektrycznej nie jest związane z zapotrzebowaniem pary, turbina taka nie może pracować samotnie, lecz musi pracować równolegle z drugą turbiną kondensacyjną lub musi być połączona z siecią elektryczną (rys. 1) zasilaną z zewnątrz. Wtedy turbina produkuje taką ilość energii elektrycznej, jaką określa strumień pary przepływającej, niedomiar zaś energii daje współpracująca z nią równolegle turbina kondensacyjna lub sieć.

Wreszcie turbina przeciwprężna może pracować równolegle z samoczynnym zaworem redukcyjnym, połączonym z regulatorem ciśnienia. Jeśli pobór pary wzrasta, a obciążenie elektryczne turbiny nie zmienia się, wtedy strumień pary D_1 nie ulega zmianie, ciśnienie p_1 w zbiorniku pary odbieranej spada, regulator ciśnienia otwiera samoczynnie zawór redukcyjny, doprowadzając dodatkowo świeżą parę. Zawór redukcyjny stosuje się równolegle z turbiną przeciwprężną z reguły jako rezerwę dla poboru ciepła w wypadku unieruchomienia turbiny np. do remontu. Koszt zaworu redukcyjnego wraz z samoczynnym regulatorem temperatury wynosi 2—4% wartości turbiny.

Na rys. 1a turbina jest regulowana na stałe obroty, strumień pary D_0 zależy tylko od obciążenia generatora; w wypadku podanym na rys. 1b stałe obroty w turbinie przeciwprężnej narzucone są przez sieć lub drugą pracującą równolegle turbiną kondensacyjną. Regulator turbiny przeciwprężnej jest nastawiony na obroty wyższe od normalnych, a więc regulacja obrotów praktycznie jest niezyczna.

Na rys. 2 pokazany jest dla przykładu dobowy przebieg obciążenia elektrycznego i zapotrzebowania pary dla fabryki włókienniczej z przedziałnią na 30 000 wrzecion



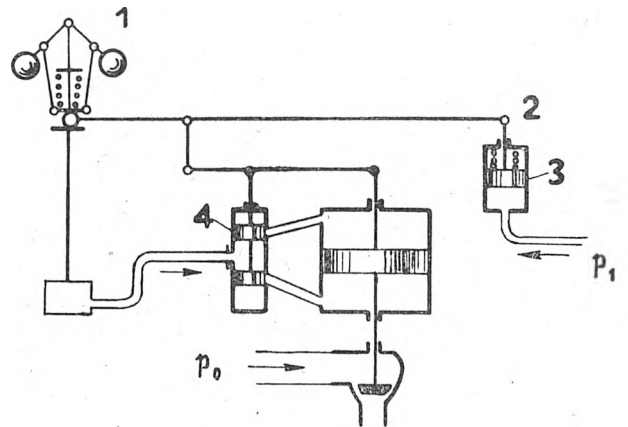
Rys. 2. Dobowy przebieg zapotrzebowania energii elektrycznej i pary w fabryce włókienniczej

i 1 000 krosien o produkcji tkanin 400—450 kg/h. W tym wypadku ilości spożywanej w fabryce pary są niewystarczające do wyprodukowania niezbędnej ilości energii elektrycznej; energię trzeba wytworzyć dodatkowo w turbinach kondensacyjnych lub pobrać z sieci elektrycznej. W cukrowniach sprawa przedstawia się odwrotnie. Ilości pary niezbędne do produkcji cukru są tak wielkie, że z pary produkcyjnej można wytworzyć więcej energii

elektrycznej niż jej potrzeba w cukrowni. Nadmiar energii można oddawać do sieci okręgowych.

Turbina powinna pokrywać taką część obciążenia cieplnego, aby wytworzona moc była najbardziej zbliżona do znamionowej mocy turbiny. Szczytowe zapotrzebowania pary o bardzo krótkim czasie użytkowania powinny być pokrywane drogą dławienia świeżej pary przez zawór redukcyjny.

Ta okoliczność, że moc turbiny przeciwprężnej uzależniona jest od obciążenia cieplnego, ogranicza bardzo za-



Rys. 3. Regulacja turbiny przeciwprężnej

kres zastosowania turbin przeciwprężnych. Bardzo celowe jest stosowanie turbin przeciwprężnych tam, gdzie zapotrzebowanie ciepła jest dość równomierne w ciągu doby i utrzymuje się na wysokim poziomie przez cały rok. Warunki takie spotyka się np. w przemyśle papierniczym, celulozowym, chemicznym, włókienniczym i cukrowniczym (w tym ostatnim tylko w okresie kampanii). Zasadniczo powinno być utrzymywane stałe ciśnienie pary dostarczanej do odbiornika ciepła.

Wszelkie naruszenia równowagi między ilością pary przepuszczanej przez turbinę a ilością pary pobranej przez odbiornik ciepła powodują zmiany prężności pary odlotowej. Jeśli zapotrzebowanie pary do odbiornika ciepła przewyższa w danym momencie ilość pary odlotowej z turbiny, ciśnienie pary za turbiną natychmiast spada, i, odwrotnie, ciśnienie w przewodzie parowym za turbiną podnosi się, jeśli odbiór pary do celów grzejących jest mniejszy od ilości pary odlotowej. Dlatego turbina przeciwprężna, aby móc samoczynnie pokrywać zapotrzebowanie pary dla odbiornika ciepła, posiada prócz zwykłego regulatora obrotów sprzężony z nim regulator ciśnienia, który, samoczynnie zmieniając rozpięty pary, utrzymuje stałe ciśnienie pary odlotowej (odbieranej). Moc elektryczna wytwarzana przez turbinę ulega wtedy zmianom narzuconym przez odbiór pary; jest to możliwe, jak już nadmieniono, tylko wtedy, gdy turbina pracuje równolegle z turbiną kondensacyjną lub z siecią elektryczną przejmującą wszelkie zmiany obciążenia elektrycznego.

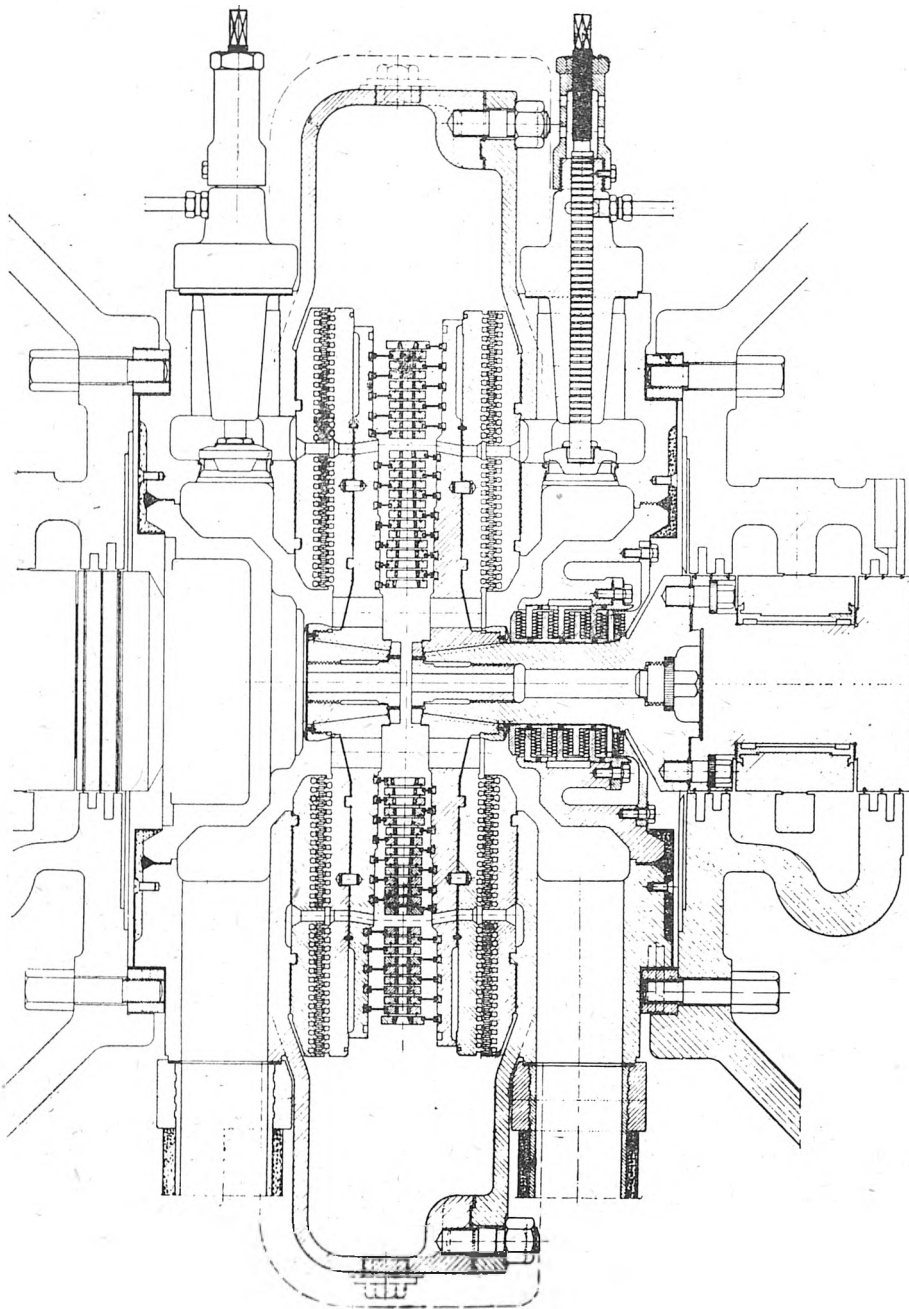
Na rys. 3 pokazana jest zasada działania regulacji turbiny przeciwprężnej. Suwak serwowatora znajduje się pod działaniem regulatora ciśnienia 2 i regulatora obrotów 1. Ciśnienie pary odbieranej p_1 zrównoważone jest w regulatorze naciskiem sprężyny 3. Przy niezminiającej się liczbie obrotów turbiny położenie mufy regulatora można uważać za stałe. Zwiększenie poboru pary spowoduje spadek ciśnienia p_1 , a zatem przesunięcie tłoka regulatora ciśnienia w dół, a równocześnie przesunięcie swaka (4) regulatora. Olej z układu regulacyjnego dostaje się do dolnej części cylindra, podnosząc tłok serwowatora i otwierając szerzej główny zawór regulacyjny turbiny.

Sprawność turbiny tym mniej zależy od stopnia niedociążenia turbiny, im większy adiabatyczny spadek ciepła przypada na pierwszy stopień turbiny. Najbardziej pozioma będzie krzywa sprawności dla turbiny, której całkowity spadek entalpii będzie uzyskany na pierwszym stopniu, a więc jeśli turbina będzie wykonana z wirnikiem Curtisa. W tym wypadku można przyjąć, że spadek ciepła, który turbina przerabia, jest stały przy wszelkich obciążeniach. Sprawność wewnętrzna turbiny zmienia się

zatem tylko o tyle, o ile zmieniają się straty na tarcie w parze. Turbiny przeciwprężne zawierające tylko wirnik Curtisa stosuje się jedynie przy małych mocach i wielkich wahaniami obciążenia. Dla jednostek większych mocy

Przyjmujemy jako dane wyjściowe roczny uporządkowany wykres trwania poborów pary (rys. 5) i zakładamy:

1. że w granicach zmian mocy dobieranych turbin jednostkowy rozchód pary na kWh oraz koszty zakła-



Rys. 4. Turbina przeciwprężna syst. Ljungströma (STAL)

takie wykonanie jest nieodpowiednie ze względu na niską sprawność wirnika Curtisa.

Im mniejszy spadek ciepłika przypada na pierwszy stopień turbiny oraz im więcej stopni ona posiada, tym wyższa może być osiągnięta sprawność turbiny przy obciążeniu znamionowym, ale tym gwałtowniej spada jej sprawność przy zmniejszeniu rozchodu pary. Dla uzyskania możliwie największej sprawności turbiny przeciwprężne budowane są na ogół jako wielostopniowe.

Na rys. 4 pokazany jest przekrój turbiny przeciwprężnej systemu Ljungströma w wykonaniu normalnym.

3. Dobór mocy turbiny przeciwprężnej.

Dla doboru wielkości turbiny przeciwprężnej z gruba możemy wykonać następujące całkiem orientacyjne obliczenie.

dowe 1 kW zainstalowanej mocy turbiny nie zmieniają się;

2. że całkowita wyprodukowana energia elektryczna będzie mogła być wyzyskana (jest to słuszne przy równoległej pracy turbiny z siecią okręgową);

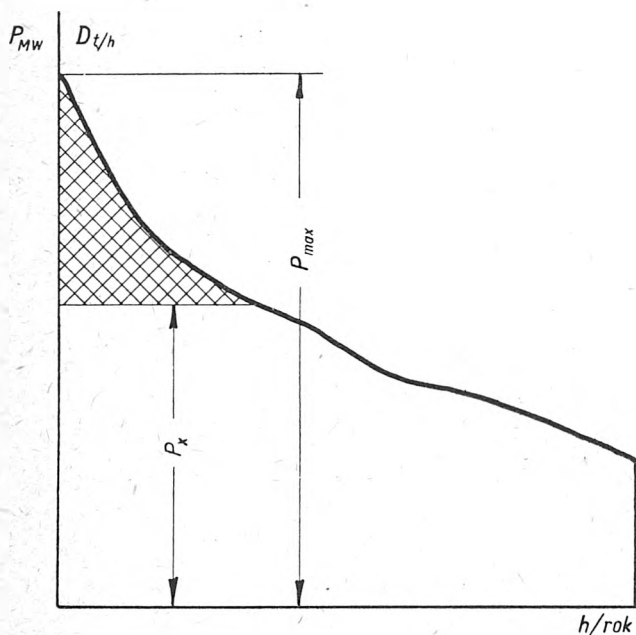
3. że czas amortyzacji urządzenia turbinowego jest dla różnych alternatyw jednakowy i wynosi np. 15 lat.

Powierzchnia zakreskowanej części wykresu odpowiada energii A (w kWh), utraconej w ciągu roku z powodu zastosowania turbiny o mocy P_x zamiast P_{max} . Jeżeli a jest średni koszt energii z sieci okręgowej loco fabryka (w zł/kWh), to wartość energii A (lewa strona poniższego równania) powinna być równa różnicy pomiędzy rocznymi kosztami kapitałowymi turbiny przeciwprężnej o mocy P_{max} , odpowiadającej największemu przepływowi pary, a rocznymi kosztami kapitałowymi turbiny przeciw-

prężnej o poszukiwanej mocy P_x (prawa strona równania) w założeniu, że k jest koszt turbiny na 1 kW mocy:

$$a \cdot A = \frac{k(P_{\max} - P_x)}{15}$$

Moc turbiny przeciwpiężnej P_x można dobrać przy pomocy wykresu, stosując kilka kolejnych przybliżeń tak,



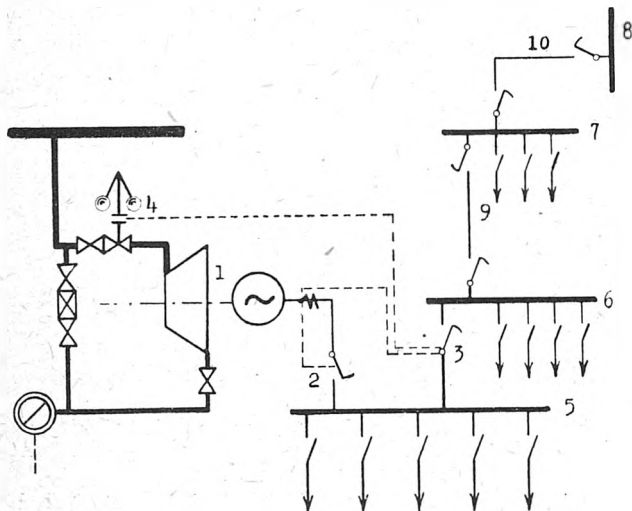
Rys. 5. Uporządkowany wykres rocznego spożycia pary w zakładzie przemysłowym

aby wielkość powierzchni zakreskowanej na wykresie oraz wartości P_{\max} i P_x spełniały warunek wyżej podanej równości.

4. Praca równoległa elektrowni przemysłowej z siecią okręgową.

Współpraca turbin przemysłowych z sieciami okręgowymi (elektrowniami zawodowymi) stała się ostatnio zjawiskiem prawie powszechnym.

Po wykonaniu państwowego 3-letniego planu inwestycyjnego, w roku 1950, nie będzie w kraju praktycznie



Rys. 6. Układy szyn zbiorczych przy współpracy zespołów przemysłowych z siecią okręgową

- 1 turbospój przeciwpieźny
- 2 wyłącznik generatorowy
- 3 wyłącznik sprzęgający
- 4 styk regulatora obrotów
- 5 główne szyny rozdzielni fabrycznej z ważnymi odbiorami,
- 6 szyny rozdzielni fabrycznej z mniej ważnymi odbiorami,
- 7 i 8 podstacje z odbiorami w sieci okręgowej
- 9 i 10 odcinki sieci okręgowej

żadnej elektrowni przemysłowej nie posiadającej połączenia z siecią okręgową. Zarówno projekt instalacji energetycznej zakładu przemysłowego, jak i późniejsze warunki eksploatacji elektrowni przemysłowej muszą z góry tę okoliczność uwzględnić.

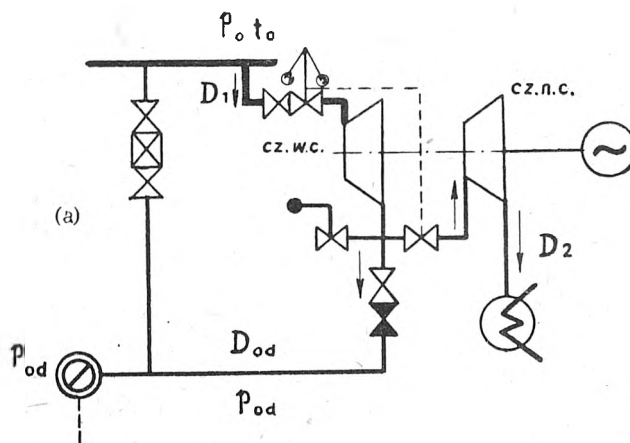
Na ogół trudności związane z taką współpracą zjawiają się przy zakłóceniach — zwarciach występujących dość często w sieciach okręgowych.

Dla zagwarantowania zakładom przemysłowym największej pewności ruchu z uniezależnieniem się od wpływów zewnętrznych elektryczny schemat zakładu przemysłowego winien być zaprojektowany z uwzględnieniem możliwości pracy równoległej z siecią okręgową.

Celowe jest rozgraniczenie odbiorców najważniejszych od mniej ważnych i zgrupowanie ich na osobnych układach szyn zbiorczych (rys. 6).

Ważne odbiory winny być zasilane bezpośrednio od generatora (szyny 5), mniej ważne z szyn 6 połączonych z szynami głównymi przy pomocy wyłącznika sprzęgowego 3.

Krótkotrwałe zwarcie w sieci okręgowej, likwidowane przez odpowiednie zabezpieczenie wybiórcze sieci, powo-



Rys. 7. Schematy turbiny (a) i przebiegi termodynamiczne (b) w turbinie jednoupustowej

Objaśnienie oznaczeń ob. przy rys. 1b

duje dopuszczalne krótkotrwałe przeciążenie elektrowni fabrycznej i przemijające spadki napięcia, które nie odbijają się na ruchu zakładu. Pożądane jest wyposażenie turbospoju fabrycznego w szybko działający regulator napięcia, wzmagający wzbudzenie w momencie zwarcia.

Jeśli natomiast zwarcie w sieci okręgowej nie zostanie odłączone bezzwłocznie, przekaźniki nadmiarowe generatora odłączają najpierw wyłącznik sprzęgowy 3, a w drugiej kolejności wyłącznik 2.

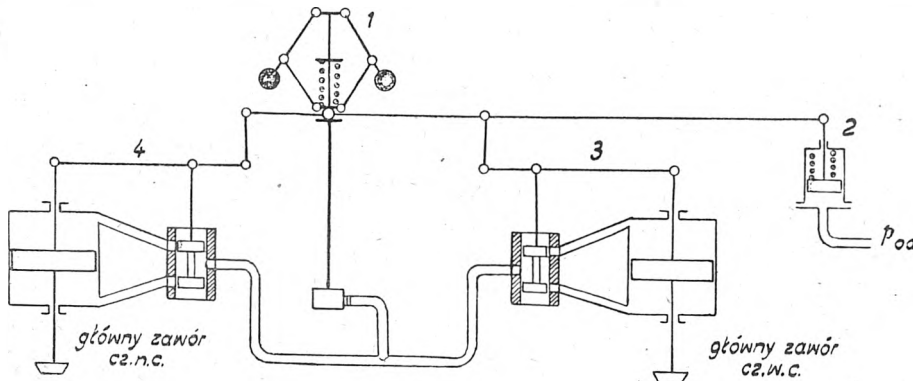
Może się również zdarzyć, że zwarcie w sieci okręgowej zostanie odłączone, ale część sieci utraci połączenie z elektrownią okręgową i jakaś grupa odbiorców sieci okręgowej, np. 7, zostanie przerwana na elektrownię przemysłową, powodując jej przeciążenie; również wtedy otwiera się wyłącznik 3.

Najpewniejszym wskaźnikiem konieczności rozerwania współpracy równoległej elektrowni przemysłowej z siecią okręgową jest gwałtowny spadek częstotliwości. Aby uniknąć specjalnych przekazników, można wykorzystać do tego celu osobny styk uruchamiany mufą regulatora obrotów. Po zerwaniu pracy równoległej z siecią okręgową turbina w elektrowni przemysłowej pracuje, oczywiście, na „stałe obroty“, a ciśnienie w kolektorze pary

części niskoprężnej, a zatem oddziaływającego na ilość pary D_1 i D_2 .

Regulowanie mocy i ciśnienia pary odbieranej może być wykonane dwoma zasadniczo różnymi sposobami, a mianowicie: a) sposobem regulacji niezależnej i b) sposobem regulacji sprzężonej.

Pierwszy, starszy, sposób sprowadzał się do tego, że regulator oddziaływał na zawór regulacji świeżej pary



Rys. 8. Schemat regulacji sprzężonej dla turbiny jednoupustowej

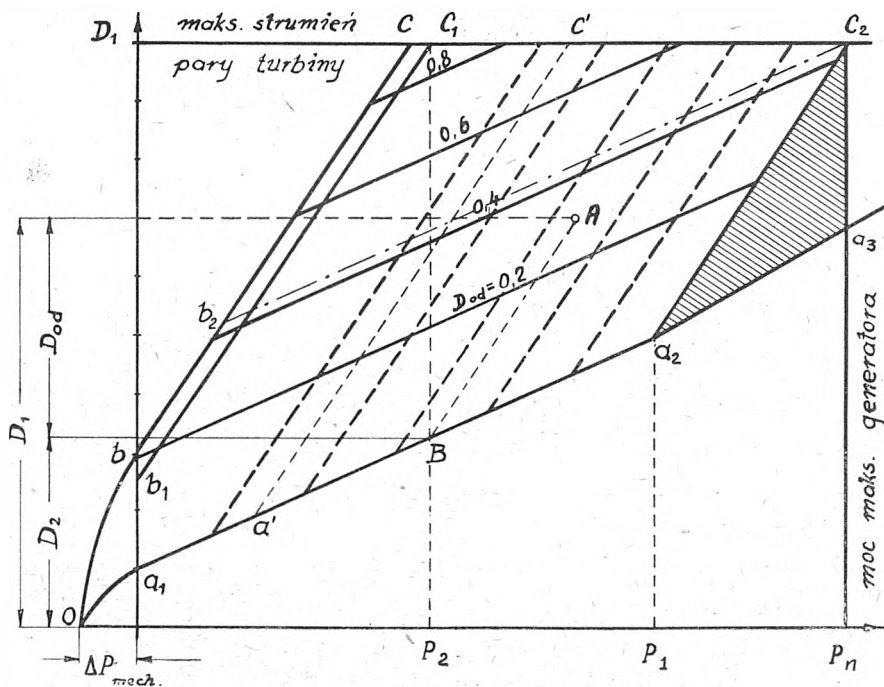
- 1 regulator obrotów
- 2 regulator ciśnienia pary odbieranej
- 3 serwomotor zaworu regulującego dopływ świeżej pary dołotowej dla części wysokoprężnej
- 4 to samo dla części niskoprężnej

odbieranej jest utrzymywane przez regulator przy pomocy zaworu redukcyjnego.

5. Turbina z jednym międzystopniowym odbiorem (upustem) pary.

Schemat turbiny oraz przebiegi termodynamiczne (w układzie i/S), występujące w turbinie upustowej, pokazane są na rys. 7. Całkowity strumień pary D_1 doprowadzony do turbiny rozdziela się na dwie części, strumień D_{od} po częściowym rozprężeniu się w części wysokoprężnej turbiny od ciśnienia p_0 do ciśnienia wymaganego dla odbioru p_{od} wyzyskuje spadek ciepłota Δi_1 i zostaje odprowadzony; pozostała część pary D_2 przechodzi do

wlotowej, zawór zaś części niskoprężnej był pod działaniem regulatora ciśnienia. W tym wypadku zmniejszenie obciążenia generatora powoduje wzrost liczby obrotów i zmniejszenie z kolei ilości pary dołotowej do turbiny. Równocześnie spada ciśnienie pary pobieranej i regulator ciśnienia zmniejsza odpływ pary w części niskoprężnej. W ten sposób zostaje przywrócona równowaga między ilością pary dołotowej i odbieranej. Przy zmianie ilości pary odbieranej, np. przy powiększeniu odbioru pary, regulator ciśnienia zmniejsza przepływ pary w części niskoprężnej; wtedy zmniejszy się całkowicie moc elektryczna turbiny, liczba obrotów spada i regulator obrotów otwiera zawór dołotowy, zwiększając ilość świeżej pary dopoty,



Rys. 9. Wykres pracy turbiny jednoupustowej

części niskoprężnej turbiny, gdzie rozpręża się do ciśnienia panującego w skraplaczu, wyzyskując spadek ciepłota Δi_2 .

Wewnętrzna indykowana moc turbiny z jednym upustem można oznaczyć jako sumę mocy uzyskanej w części wysokoprężnej i niskoprężnej turbiny:

$$P_i = D_1 \cdot \frac{\Delta i_1}{860} + D_2 \cdot \frac{\Delta i_2}{860}$$

Ciśnienie pary p_{od} utrzymuje się stałe, niezależnie od wielkości odbioru, przy pomocy regulatora oddziaływającego na główny zawór wlotowy i zawór przepustowy do

dopóki znów nie zostanie przywrócona równowaga między mocą turbiny i obciążeniem generatora. Przy pracy równoległej z siecią elektryczną i cieplną w turbinach tego rodzaju zmiany ilości pary odbieranej spowodują wahania mocy elektrycznej, zmiana zaś w ilości pary spowoduje wahania ciśnienia pary odbieranej.

Obecnie stosuje się niemal wyłącznie regulację sprzężoną, gdzie każdy regulator ciśnienia i obrotów oddziaływa na oba układy zaworów regulujących. W wypadku np. obniżenia obciążenia elektrycznego regulator obrotów przy- myka jednocześnie oba zawory, zmniejszając dopływ świeżej pary D_1 i dopływ pary do części niskoprężnej D_2

w ten jednak sposób, aby ilość pary odbieranej $D_{od} = D_1 - D_2$ nie uległa zmianie. Tak samo regulator ciśnienia przy zmianie ilości pary pobieranej oddziaływa również na oba układy zaworów regulujących, np. w wypadku powiększenia poboru pary regulator jednocześnie powiększy dopływ świeżej pary i zmniejszy ilość pary przepływającej przez część niskoprężną turbiny.

Zasadniczy schemat regulacji sprzężonej jest pokazany na rys. 8. W wypadku zakłócenia normalnej pracy regulatora może się zdarzyć, że zawór do części niskoprężnej zamknie się wcześniej niż główny otwór wylotowy, wtedy komora pary odbieranej oraz część przewodów pary odbieranej mogą się znaleźć pod pełnym ciśnieniem p_0 , które niekiedy jest kilkadziesiąt razy większe od p_{od} . Wtedy przewody parowe mogą ulec rozerwaniu. Dla uniknięcia takiego wypadku konieczne jest ustawienie na komorze pary odbieranej zaworu bezpieczeństwa. W przewodzie pary odbieranej winien być również umieszczony zawór zwrotny, aby zapobiec przedostaniu się pary z sieci do turbiny, co może się zdarzyć w wypadku odłączenia generatora od sieci, jeżeli zawiedzie zawór do części niskoprężnej turbiny. Ilość pary zawarta tylko w rurociągach, rozprężając się w części niskoprężnej turbiny do ciśnienia panującego w kondensatorze, może spowodować rozbieganie się i uszkodzenie turbiny.

Dla zanalizowania zależności między rozchodem pary świeżej i ilością pary pobieranej oraz mocą na zaciskach generatora najdogodniej jest posłużyć się wykresem pracy turbiny, przedstawionym na rys. 9.

Linia bc odpowiada pracy turbiny przeciwprężnej zwykłej; wtedy zawór przepustowy pomiędzy częściami wysokiego napięcia i niskiego ciśnienia jest zamknięty. Teoretycznie strumień pary przechodzący wtedy przez część niskoprężną $D_2 = 0$. W rzeczywistości jednak niedopuszczalne jest obracanie się wirnika turbiny zupełnie bez przepływu świeżej pary, gdyż to grozi przegrzaniem wirnika. Pewien bardzo mały przepływ pary przez część niskoprężną turbiny konieczny jest do chłodzenia wirnika. Wielkość tego strumienia waha się zwykle od 5 do 10% D_2 max. Na wykresie jest to odcinek b_1b . Rzeczywisty przebieg pracy części wysokoprężnej będzie więc b_1c_1 . Jeśli założyć, że przez część niskoprężną płynie stały strumień pary np. $D_2 = 0,2 \cdot D_1$ max, to moc turbiny przy strumieniu pary w części wysokoprężnej zmieniającym się od $D_1 = 0,2 \cdot D_1$ max, do $D_1 = D_1$ max będzie przebiegała wzdłuż linii kreskowanej $a'c'$. Wypadek, gdy $D_1 = 0,2 \cdot D_1$ max, oznacza, że cała para z części wysokoprężnej przechodzi do części niskoprężnej, że jest to więc praca czysto kondensacyjna turbiny; odbiór pary $D_{od} = 0$ i odpowiada to punktowi a' . Linia $a_1 a_2 a_3$ odpowiada czysto kondensacyjnej, linia $a_2 c_2$ odpowiada natomiast znamionowemu przepływowi pary przez część niskoprężną; wtedy zawór przepustowy przed częścią niskoprężną otwarty jest całkowicie, a ciśnienie P_{od} utrzymuje się na stałym poziomie.

Linia cc_2 odpowiada największemu możliwemu przepływowi pary przez część wysokoprężną.

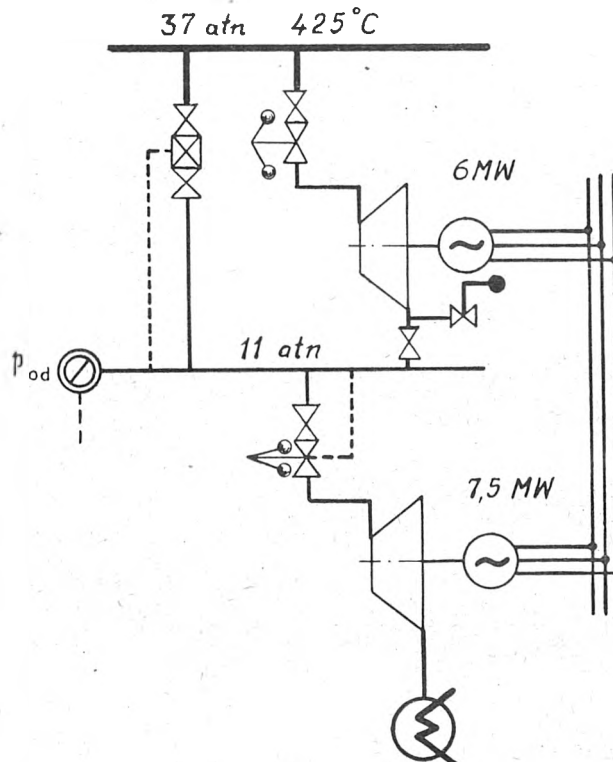
Największa moc elektryczna osiągnięta jest w punkcie c_2 przy największym przepływie przez część wysokoprężną oraz znamionowym przepływie przez część niskoprężną. Przy czysto kondensacyjnej pracy i minimalnym przepływie pary przez część niskoprężną można osiągnąć niepełną moc turbiny P_1 . Można również osiągnąć pełną moc turbiny P_n w ruchu kondensacyjnym dochodząc do punktu a_3 ; należy wtedy dopuścić wzrost ciśnienia P_{od} przed częścią niskoprężną, co jednak nie zawsze jest możliwe. Zakresowana część wykresu odpowiada właśnie pracy przy podwyższonym ciśnieniu p_{od} przed częścią niskoprężną. Sprawność części niskoprężnej jest w tym obszarze pracy niższa od nominalnej sprawności tej części. Komora pary pobieranej, zawory bezpieczeństwa i przewody pary odbieranej muszą być dostosowane do podwyższonego ciśnienia roboczego.

Dla określenia ilości pary odbieranej dla dowolnego punktu pracy A znajdujemy prostą AB stałego przepływu pary przez część niskoprężną odpowiadającą temu punktowi. Rzędna punktu B odpowiada strumieniowi pary D_2 przez część niskoprężną, rzędna punktu A to strumień pary D_1 części wysokoprężnej. Ilość pary odbieranej $= D_1 - D_2$.

Podobnie, jak linie kreskowane przedstawiają zależność mocy turbiny i pełnego poboru pary D_1 turbiny przy

stałym przepływie pary D_2 przez część niskoprężną, linie wykreślone ciągłymi liniami przedstawiają zależność mocy i pełnego poboru pary D_1 przez turbinę przy stałym odbiorze pary tj. stałym $D_1 - D_2 = D_{od}$. Cały wykres wykonany jest w funkcji mocy skutecznej turbiny P_e , mierzonej na sprzęgle turbiny. Dla przejścia do mocy indykowanej P_1 należy przesunąć początek układu w lewo o odcinek odpowiadający stratom mechanicznym turbiny ΔP_{mech} . Straty te zmieniają się w nieznacznym stopniu wraz z mocą turbiny.

Z wykresu widać, że turbina z upustem pozwala w szerokich granicach zmieniać obciążenie cieplne i elektryczne. Są jednak i dla takiej turbiny zakresy pracy, gdzie



Rys. 10. Zespół kaskadowy turbiny kondensacyjnej i przeciwprężnej

moc turbiny jest zależna od obciążenia. Cała część na lewo od linii bc do osi rzędnych przedstawia zakres małych mocy elektrycznych, których przy żądanym odbiorze pary osiągnąć nie można.

Przy największym poborze pary w punkcie c_1 moc generatora jest niewyzyskana, chociaż turbina w części wysokoprężnej jest całkowicie wyzyskana pracując przy największym odbiorze pary tj. według linii c_1b_1 . Gdy turbina pracuje jako przeciwprężna, nie można zejść z mocą elektryczną poniżej wartości odciętych linii c_1b_1 . Z drugiej strony największa moc elektryczna P_2 osiągnięta przy takiej pracy jest dużo mniejsza od pełnej mocy generatora. Przy pełnym zaś obciążeniu elektrycznym P_n można pobrać z upustu tylko ilość pary D_{od} odpowiadającą linii c_2b_2 , w tym wypadku na przykład $D_2 = 0,42 \cdot D_1$ max.

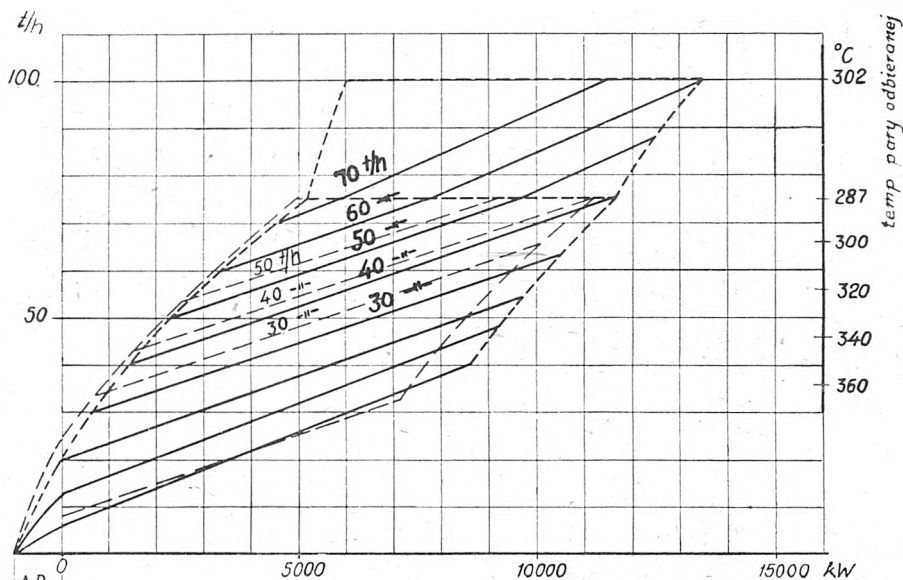
Ze względu na dużą niezależność obciążenia cieplnego i elektrycznego w szerokich granicach turbina z jednym regulowanym upustem pary zyskała szerokie zastosowanie w siłowniach przemysłowych. Układ turbiny z międzystopniowym odbiorem pary może być zastąpiony dwiema turbinami — kondensacyjną i przeciwprężną w układzie kaskadowym. Układ ten może się okazać korzystniejszy wtedy, gdy ciśnienie pośrednie jest względnie duże.

Na rys. 10 pokazany jest układ dwu turbin zamówionych dla jednej z elektrowni przemysłowych Zagłębia Węglowego. Na rys. 11 pokazane są wykresy robocze takiego zespołu kaskadowego dwu turbin (linia ciągła) oraz wykres roboczy odpowiedniej zastępującej ten układ turbiny kondensacyjnej z regulowanym upustem pary (linia przerywana). W wypadku tym układ dwu turbin posiada nieco korzystniejszą charakterystykę i mniejszy rozchód

pary w porównaniu z turbiną z odbiorem pary. Turbina przeciwprężna pracuje tu na „stałe obroty“, turbina zaś kondensacyjna na „stałe ciśnienie“.

Na rys. 12 pokazany jest schematycznie przekrój przeciwbieżnej turbiny syst. Ljungströma z jednym regulowanym odbiorem pary.

stopniowym upustem pary. Para odprowadzana jest z turbiny z dwu miejsc o dwu różnych ciśnieniach. Para z upustu niskoprężnego odbierana jest w dowolnych ilościach przy 1,2 — 1,5 ata i używana jest do ogrzewania; ciśnienie w drugim upuście waha się przeważnie od 3 do 10 ata. Regulacja w gwarantowanym zakresie pracy turbiny od-



Rys. 11. Wykresy robocze zespołu kaskadowego i zastępczej turbiny upustowej
Ciśnienie 37 atn; temper. pary 425° C; przeciwciśnienie 11 atn;
 $\cos \varphi = 1$; temper. wody chłodzącej 27° C

Na rys. 13 pokazany jest przekrój kondensacyjno-upustowej turbiny produkcji Leningradzkich Zakładów Metalowych o mocy 25 000 kW, na 3 000 obr./min., z regulowanym odbiorem pary przy ciśnieniu 7 ata w ilości 150 t na godzinę. W ZSRR budowane są duże turbiny ogrzewnicze o mocy 6, 12, 25 MW na ciśnienie pary odbieranej 1, 2, 5, 7 oraz 10 ata.

6. Turbina przeciwprężna z upustem pary.

Poprzednio omawiana turbina kondensacyjna z odbiorem pary ma zastosowanie w zakładach, w których produkcja energii jednak dominuje, wobec czego część pary odprowadza się do skraplacza dla wyzyskania całkowitego spadku ciepłota na wytworzenie energii elektrycznej. Jeżeli procesy technologiczne wymagają pary o dwu różnych potencjałach cieplnych i jeżeli prócz tego ilości pary są dostateczne, aby wyzyskiwane spadki ciepłota wystarczyły do wytworzenia wymaganej ilości energii elektrycznej, a zapotrzebowanie energii i ciepła pokrywają się w czasie, można zrezygnować całkowicie z części kondensacyjnej w turbinie.

Schemat turbiny upustowej przeciwprężnej oraz odpowiednie przebiegi w układzie spórzędnych i/S pokazane są na rys. 14. Moc turbiny, podobnie jak dla turbiny czysto przeciwprężnej zależna jest od obciążenia cieplnego. Dlatego też dla przyjmowania wahań obciążenia elektrycznego turbina powinna pracować równolegle z turbiną kondensacyjną.

Moc znamionową turbiny (wewnętrzna) można wyrazić w następujący sposób jako sumę mocy uzyskanych w obu częściach turbiny:

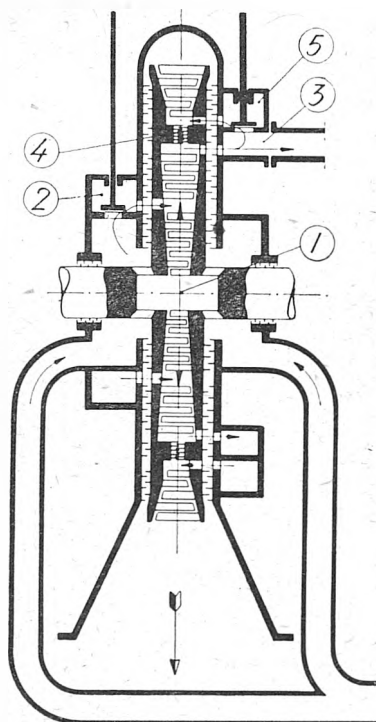
$$P_i = D_1 \cdot \frac{\Delta i_1}{860} + D_2 \cdot \frac{\Delta i_2}{860}$$

W okresie małego zapotrzebowania ciepła turbina nie może być całkowicie wyzyskana. Jest to wada ograniczająca zakres stosowania turbiny. System regulacyjny podobny jest do omawianego wyżej systemu regulacyjnego turbiny upustowej i polega na regulowaniu położenia zaworów wlotowych do części wysoko- i niskoprężnych, przy czym na położenie tych zaworów wywierają wpływ dwa regulatory ciśnienia, zależne od obu wielkości P_{od} i p_p .

7. Turbiny z dwoma międzystopniowymi upustami pary.

Turbiny te podobne są konstrukcyjnie do omawianej wyżej w p. 5 turbiny kondensacyjnej z jednym między-

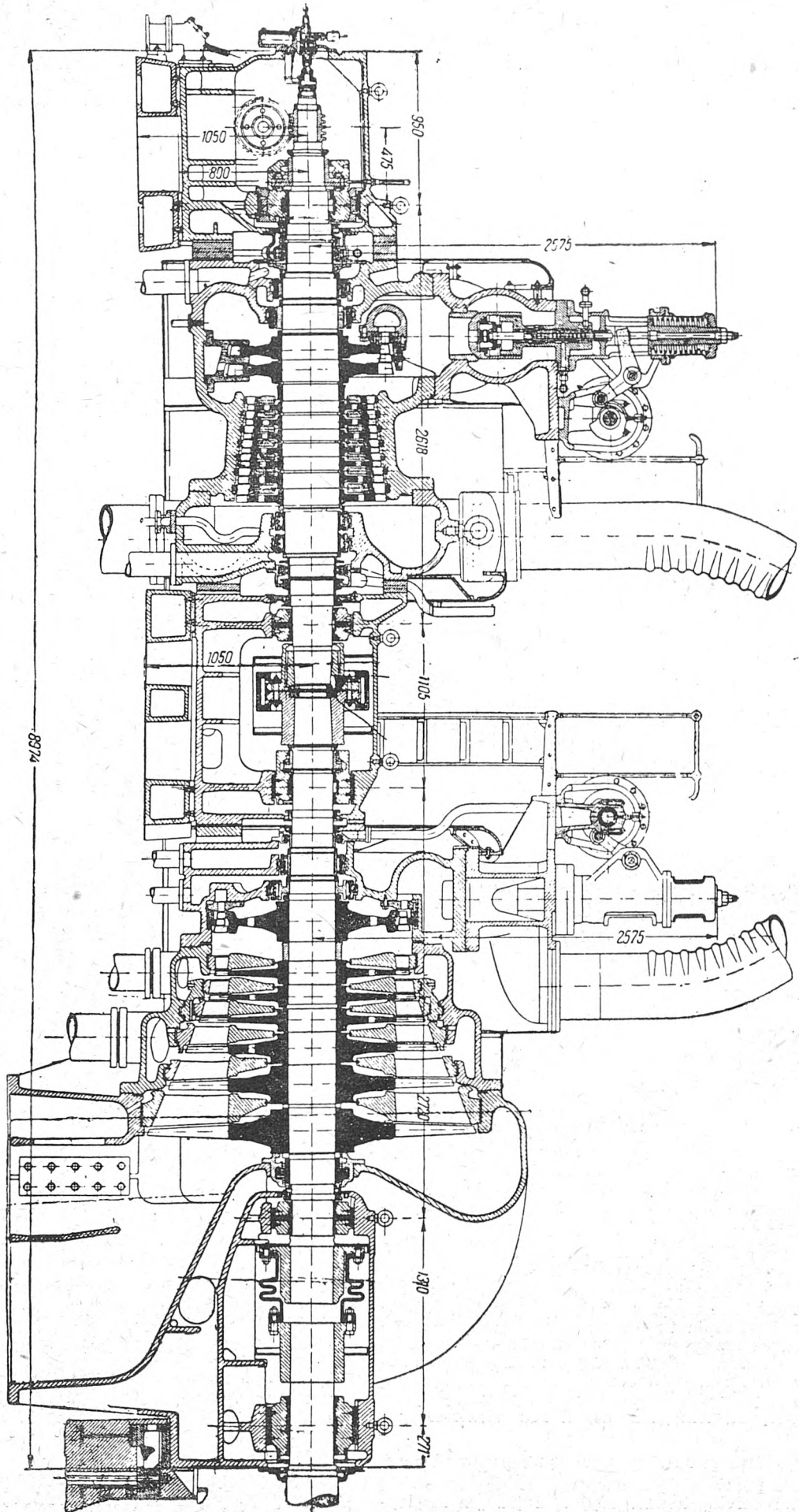
bywa się w ten sposób, że zmiany mocy oddawanej przez turbinę nie wpływają na ciśnienia i ilość pary odbieranej i odwrotnie.



Rys. 12. Schematyczny przekrój przeciwbieżnej upustowej turbiny Ljungströma

- 1 komora
- 2 zawór parowa na wlocie do wirników w osi turbiny
- 3 wylot do przewodu pary upustowej
- 4 uszczelnienie labiryntowe odcinające część wysokoprężną od niskoprężnej części turbiny za upustem
- 5 zawór regulujący przepływ pary przez część niskoprężną turbiny (utrzymuje samoczynnie stałe ciśnienie pary upustowej)

Schemat turbiny z dwoma upustami podany jest na rys. 15. Na rys. 16 pokazana jest w przekroju turbina konden-



Rys. 13. Turbina kondensacyjno-upustowa o mocy 25 000 kW (Leningr. Zakł. Metal.)

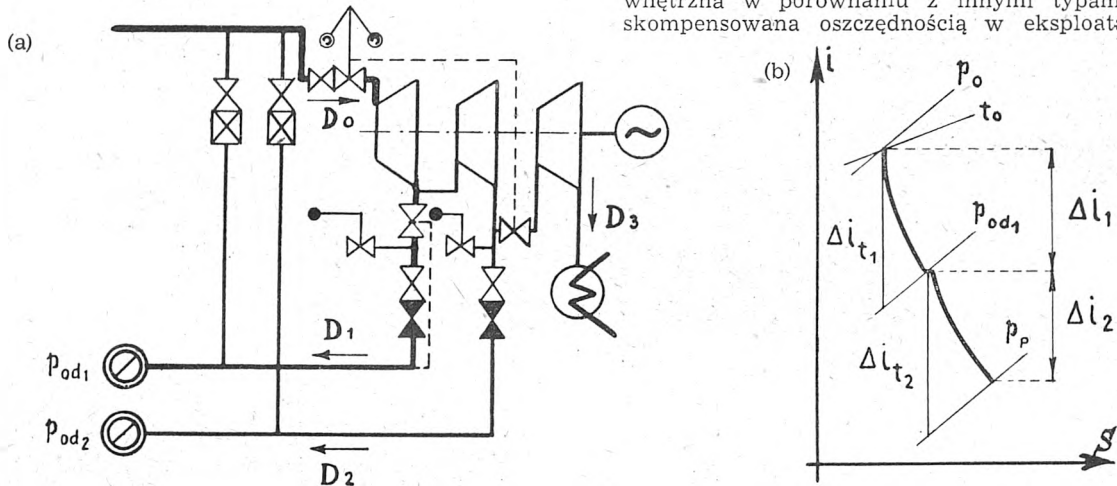
sacyjna firmy GEC z dwoma regulowanymi upustami pary.

8. Turbiny specjalne.

W niektórych gałęziach przemysłu utrzymuje się znaczne ilości pary już wyzyskanej o ciśnieniu 1—1,5 at, np. parę wydmuchową z młotów wielkich kuźni, która nie znajduje zastosowania do celów ogrzewniczych. Dla dal-

ciwprężnymi pracującymi równoległe z siecią okręgową. Moc ich byłaby ściśle dostosowana do poboru pary do celów technologicznych fabryki, a wszelkie wahania mocy in minus i in plus byłyby wyrównane z sieci państwowej.

Turbina przeciwprężna jest niewątpliwie konstrukcyjnie najprostszym, najtańszym i ruchowo najpewniejszym rodzajem turbiny parowej. Nieco gorsza jej sprawność wewnętrzna w porównaniu z innymi typami turbin jest skompensowana oszczędnością w eksploatacji. Bywały



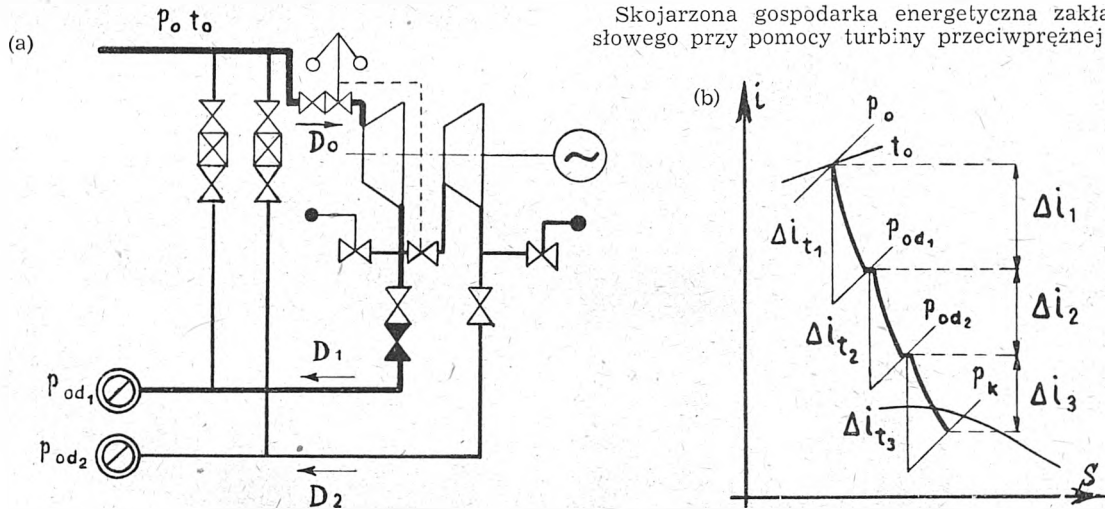
Rys. 14. Schemat turbiny upustowej przeciwprężnej i przebiegi termodynamiczne w układzie współrzędnych i/S
Objaśnienie oznaczeń ob. przy rys. 1b

szego wyzyskania takiej pary stosuje się turbiny na parę odłotową („dławioną“). Jest to turbina kondensacyjna, lecz dostosowana do niskoprężnej pary odłotowej. Wirnik takiej turbiny posiada tylko kilka stopni dla rozprężenia pary od 1—1,5 ata do ciśnienia ok. 0,07 ata, panującego w skraplaczu. Turbiny takie wykonane są do kilku megawatów mocy. Turbina na parę „dławioną“ posiada moc zależną od pracy urządzeń dostarczających jej pary i musi pracować równoległe ze zwykłą turbiną kondensacyjną.

Dla wyzyskania dwóch kotłowni o różnych ciśnieniach lub dogodniejszego wyzyskania odpadkowej pary nisko-

wypadki w naszej praktyce pracy takich turbin w ciągu dwudziestu kilku tysięcy godzin bez najmniejszej przerwy. Jest to najodpowiedniejszy technicznie i gospodarczo typ turbiny przemysłowej do pokrycia technologicznego zapotrzebowania ciepła. Za bardzo słuszną należy uznać więc inicjatywę Centralnego Zarządu Przemysłu Metalowego przystąpienia do uruchomienia krajowej produkcji turbin przeciwprężnych o mocy do 3 000 kW oraz tendencję Centralnego Zarządu Energetyki szerokiego stosowania takich turbin w nowobudujących się elektrowniach przemysłowych.

Skojarzona gospodarka energetyczna zakładu przemysłowego przy pomocy turbiny przeciwprężnej jest bezwa-



Rys. 15. Schemat turbiny dwuupustowej i przebiegi termodynamiczne w układzie współrzędnych i/S

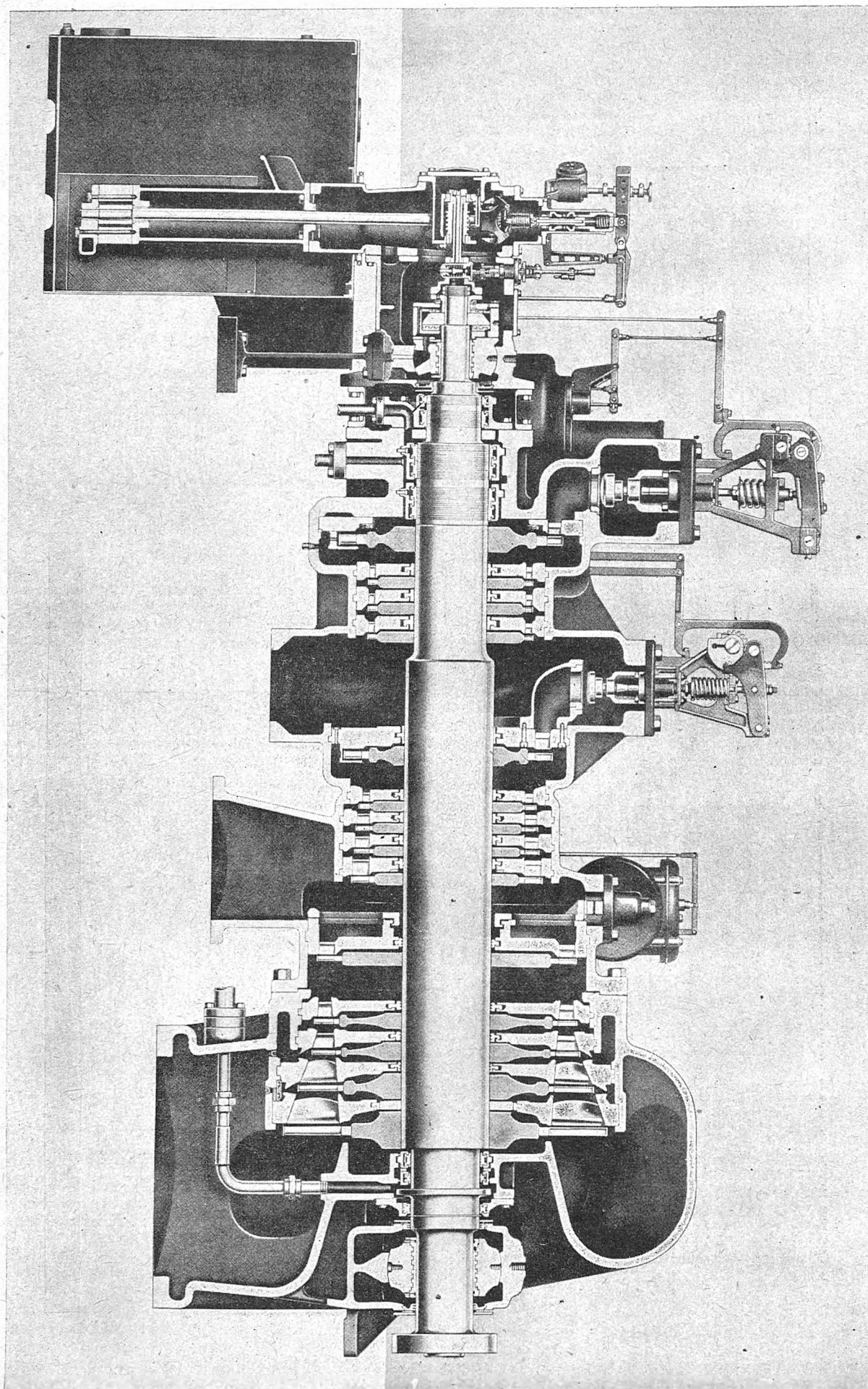
prężnej stosuje się turbinę dwuciśnieniową. Konstrukcyjnie turbina taka przypomina zwykłą turbinę kondensacyjną z jednym odbiorem z tą różnicą, że para jest doprowadzana do turbiny również w miejscu odbioru. Zasilanie turbiny odbywa się w dwóch punktach parą o dwóch różnych ciśnieniach.

9. Wnioski.

Za idealne — z punktu widzenia sprawności ogólnej całego układu — rozwiązanie udziału energetyki niewodowej w ogólnopństwowym układzie energetycznym można uważać zakłady przemysłowe z turbinami prze-

runkowo słuszną technicznie i gospodarczo od pewnej minimalnej mocy turbiny, którą szacować można na około 500—1 000 kW, jeżeli istnieje pewność, że moc turbiny będzie wykorzystana przez dużą liczbę godzin rocznie. Takie warunki istnieją na przykład w przemyśle chemicznym i papierniczym. Czas wyzyskania mocy turbiny w tych przemysłach sięga 6 000—7 000 godzin rocznie i więcej.

Jeżeli obciążenie cieplne zakładu przemysłowego podlega silnym wahaniom lub jeżeli charakter obciążenia ciepłowni jest taki, że szczyty zapotrzebowania mocy i ciepła są wobec siebie przesunięte w czasie, wtedy dla lepszego wykorzystania mocy kotłowej celowe jest również



Rys. 16. Turbina kondensacyjna z dwoma regulowanymi upustami pary (GECo)

zainstalowanie turbin kondensacyjno-upustowych lub turbin kondensacyjnych obok przeciwpiężnych.

Również w innych okolicznościach, gdy rezerwa sieciowa jest kosztowna i niedostatecznie pewna, oraz w wypadkach, gdy ciepło wody chłodzącej ze skraplacza turbiny, która wtedy pracuje zwykle z obniżoną próżnią, może być wykorzystane do celów technologicznych (np. przy produkcji włókna sztucznego lub celulozy), może się również okazać rzeczą gospodarczo uzasadnioną stosowanie turbiny kondensacyjnej z międzystopniowym poborem pary z upustów.

Przy pokrywaniu zapotrzebowania ciepła w przypadku sezonowych zmian obciążenia, np. w ogrzewnictwie miejskim, stosowanie części kondensacyjnej wymaga kalkulacji i może być często uzasadnione. Zbyt mały czas rocznego wyzyskania normalnego przełyku turbiny przeciwpiężnej, nie przekraczający w naszych warunkach klimatycznych 2—3 tys. godzin rocznie, może podważyć celowość turbiny przeciwpiężnej i narzucić jako rozwiązanie turbinę typu kondensacyjno-upustowego. Daje to możliwość znacznie lepszego wykorzystania urządzeń kotłowych. Tego rodzaju rozwiązanie przyjęte jest często (jako normalne) w okręgowych ciepłowniach miejskich w ZSRR.

Warto tu zaznaczyć, że jeżeli przed wojną przemysł turbinowy Związku Radzieckiego produkował 14 typów i wielkości turbin parowych, to projekt norm Radziec-

kiego Centralnego Instytutu Kotłowo-turbinowego z roku 1945 przewiduje 57 typów i wielkości turbin parowych; z tego 30 typów turbin czołowych i przeciwpiężnych, 17 typów turbin kondensacyjno-upustowych z jednym lub dwoma regulowanymi odbiorami pary oraz tylko 10 typów turbin czysto kondensacyjnych. Świadczy to o rosnącej zdolności produkcyjnej radzieckiego przemysłu turbinowego, o pokonaniu przezeń trudności konstrukcyjnych, o rosnących jego możliwościach coraz lepszego dostosowania się do potrzeb i wymagań odbiorców turbin parowych, a przede wszystkim o rosnącym zapotrzebowaniu rynku na turbiny dla skojarzonej gospodarki ciepłno-elektrycznej.

LITERATURA

1. Newman L. Modern turbines, 1944
2. Szczegłajew. Parowyje turbiny, 1940
3. Krearton W. J. Steam turbine theory and practice, 1945
4. Krearton W. J. Steam turbine operation, 1945
5. Łosiew. Parowyje turbiny, 1945
6. Skrotsky G. A. and Vopat W. A. Applied Energy Conversion, 1945
7. Guilhauman W. Parallelbetrieb von Industrieturbinen mit Elektrizitätswerken, VDE-Fachberichte (tom 9, 1937) und Wärmewirtschaft (tom 19, nr 8, 1938)
8. Kiriłow I. I. i Kantor S. A. Teoria i konstrukcja parowych turbin, 1947
9. Mastovsky. Vyoj a vyznam teplaren, Praha, 1948
10. Mielentiew. Tiepłofikacja, 1944

INŻ. ZYGMUNT SKOCZYŃSKI

Ogólne zasady sporządzania wykresów pracy^{*)}

Treść. Artykuł omawia pokrótce ogólne zasady upraszczania schematów układów przesyłowych i doprowadzanie ich do najprostszyszy schematów zastępczych. Podane są ogólne metody sporządzania wykresów pracy różnego przeznaczenia, jak wykres prądowy i napięciowy, skojarzony wykres mocy i kołowy najogólniejszy wykres pracy dla różnych schematów zastępczych. Jako ilustrację zastosowania podano przykład liczbowy dla wypadku współpracy dwóch elektrowni, zasilających wspólnie jedną podstację.

Общие основы построения диаграмм работы. Вкратце изложены основы последовательного упрощения схем передаточных устройств и приведения их к простейшим схемам замещения. Показаны общие методы построения диаграмм различного назначения, как диаграммы тока и напряжения, комбинированная диаграмма мощности и наиболее общая круговая диаграмма работы для различных схем замещения. Для наглядности рассмотрен численный пример совместной работы двух электрических станций, снабжающих сообща одну подстанцию.

General principles for the construction of power diagrams. The article deals briefly with the general principles of simplifying diagrams of transmission systems and with those of converting them to the simplest form of equivalent diagrams. General methods for constructing different types of line performance diagrams such as current diagram, voltage diagram, combined current and voltage diagram and power circle diagram. In order to illustrate application, a practical example is quoted applying to two electric plants supplying one common substation.

Principes généraux de l'établissement des diagrammes de travail. L'auteur décrit brièvement les principes généraux de la simplification des schémas des réseaux de transport, ainsi que leur réduction à des schémas de remplacement simplifiés. Il indique les méthodes générales d'établissement des diagrammes de travail de diverse destination, tel que les diagrammes de courant et de tension, le diagramme de puissance, enfin le diagramme circulaire de travail le plus général pour divers schémas de remplacement. Pour illustrer l'application de cette méthode il est indiqué l'exemple numérique de la coopération de deux centrales à l'alimentation en commun d'une sous-station.

1. Założenia ogólne.

W wielu przypadkach przez uprzednie sporządzenie wykresu pracy ułatwiamy sobie, skutkiem braku danych, wykreślenie wyznaczenie wielkości mocy przesyłanej w zależności od wzajemnego położenia wirników maszyn wirujących oraz wykreślenie określenie wielkości i fazy sił elektromotorycznych miarodajnych dla przesyłu mocy w danych warunkach.

Jeżeli, jak to zazwyczaj bywa, utrzymujemy stałe napięcie na szynach zbiorczych niskiego napięcia, to wykres pracy pozwala w prosty sposób określić kąt α , którego funkcją jest moc przesyłana w danych warunkach^{**)}.

Dla sporządzenia wykresu pracy i doprowadzenia jednofazowego schematu sieci przesyłowej do postaci, właściwej dla określenia warunków przesyłu mocy w układzie n maszyn, należy:

- 1) przedstawić moc w postaci wektorowej;
- 2) wyznaczyć stałe ogólne \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} układu równań:

$$\hat{U}_p = \hat{A}\hat{U}_k + \hat{B}\hat{I}_k$$

$$\hat{I}_p = \hat{C}\hat{U}_k + \hat{D}\hat{I}_k,$$

gdzie wskaźnik p odnosi się do początku układu, a wskaźnik k do końca (określenia „początek“ i „koniec“ układu

^{*)} Artykuł niniejszy jest wstępem do dwu następnych, które będą poświęcone zastosowaniu wykresów pracy w praktyce.

^{**)} Ob. artykuł autora pod tyt. Zachowanie warunku stateczności układu przesyłowego mocy w stanie nieustalonym w zależności od czasu wyłączenia zwarcia (Biulet. Inform. Główn. Inst. Elek., 1948, zesz. 3).

opierają się na kierunku przepływu mocy w normalnych warunkach pracy);

3) wybrać uproszczony schemat zastępczy dla danego rzeczywistego układu przesyłowego mocy.

Przedstawienie wektorowe mocy pozornej wiąże się ściśle z zasadniczym uzupełnieniem, którego wymaga metoda symboliczna wówczas, gdy iloczyn prądu i napięcia — wielkości wyrażonych w postaci liczb zespolonych — ma określać moc czynną i bierną.

W zależności od tego, czy przyjmiemy (dowolnie) moc bierną charakteru indukcyjnego za dodatnią albo ujemną, należy wprowadzić odpowiednio wektor sprzężony prądu albo napięcia (wektor sprzężony oznaczamy przy pomocy znaku \sim nad symbolem). W pracy niniejszej przyjęto moc bierną charakteru indukcyjnego jako dodatnią i określenie wektorowe mocy w postaci:

$$\hat{P}_z = P + jP_x = \hat{U}\hat{I} \quad (1)$$

Otrzymujemy więc następujące związki:

$$\hat{P}_z = \hat{U}\hat{I} = |\hat{U}|e^{j\varphi_u} |\hat{I}|e^{-j\varphi_i} = |\hat{U}||\hat{I}|e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} \quad (2)$$

Oczywiście, przyjęcie jedynie zależności (1) nie wystarcza do definitywnego ustalenia znaku mocy biernej, albowiem

$$P_z = |\hat{U}||\hat{I}| [\cos(\varphi_u - \varphi_i) + j \sin(\varphi_u - \varphi_i)] \quad (2')$$

a więc moc bierna może mieć oba znaki, jeżeli nie jest ustalony kierunek dodatni dla kątów przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem. Przy przyjętym kie-

runku dodatnim dla kątów w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wskazówek zegara otrzymamy tablicę I dla definicji

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

gdzie

- φ — różnica faz prądu i napięcia,
- φ_u — kąt fazowego przesunięcia napięcia względem przyjętego wektora podstawowego,
- φ_i — kąt fazowego przesunięcia prądu względem przyjętego wektora podstawowego.

Wzajemne położenie wektorów prądu i napięcia w zależności od przyjętej osi i wektora podstawowego przedstawia rys. 1 (a, b, c).

Zgodnie z definicją wektora mocy dla przypadku podanego w p. 1 tablicy I otrzymaliśmy równania (2) i (2').

Tablica I

L.p.	Definicja wektora mocy	Wektor podstawowy	Znak mocy indukcyjnej
1	$\hat{U}\hat{I}$	Wektor jednostkowy na dowolnej osi podstawowej	+
2	$\check{U}\hat{I}$	Wektor jednostkowy na dowolnej osi podstawowej	-
3	$\hat{U}\check{I}$	\hat{U}	+
4	$\check{U}\check{I}$	\hat{U}	-
5	$\hat{U}\hat{I}$	\hat{I}	+
6	$\check{U}\hat{I}$	\hat{I}	-

Moc bierna dla przyjętego dodatniego kierunku kątów będzie dodatnia, jeżeli $\varphi_u > \varphi_i$, jeżeli więc obciążenie ma charakter indukcyjny (rys. 1a). Przy ustalaniu zatem znaku mocy biernej odgrywa rolę znak nie tylko przesunięcia fazowego prądu i napięcia, ale również przesunięcia pomiędzy prądem i napięciem. Przy przyjętym dodatnim kierunku dla kątów znak przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem jest jednoznacznie określony. Przy zmianie wektora podstawowego otrzymamy dla $\varphi_i = 0$ rys. 1b, a dla $\varphi_u = 0$ rys. 1c.

Pomiędzy mocą pozorną dla dodatniego znaku mocy biernej i dla ujemnego znaku istnieje zasadnicza zależność:

$$\hat{P}_z (\text{ind} > 0) = \hat{U}\hat{I} = |\hat{U}| |\hat{I}| e^{j(\varphi_u - \varphi_i)}$$

i

$$\hat{P}_z (\text{ind} < 0) = \check{U}\hat{I} = |\hat{U}| |\hat{I}| e^{-j(\varphi_u - \varphi_i)}$$

a więc

$$\hat{P}_z (\text{ind} > 0) = \check{P}_z (\text{ind} < 0).$$

Jak wiadomo, prądy liniowe, moce i straty w układzie przesyłowym mogą być wyrażone równaniami, zawierającymi jedynie stałe układu oraz napięcia na początku i końcu badanej części układu.

Zastosowanie wykresu pracy, otrzymanego na podstawie powyższych równań, nie ogranicza się jedynie do zagadnień przesyłu mocy. Wykresy te — odpowiednio ujęte — dają się stosować również do problemów, związanych z rozdziałem i rozrzędem mocy oraz z równowagą w stanie ustalonym lub nieustalonym.

W wielu przypadkach badanie zachowania się układu przesyłowego wymaga uwzględnienia wpływu na warunki przesyłu mocy stałości napięcia, panującego w miejscu, uważanym za miejsce odbioru mocy (kraniec odbiorczy układu). W tych przypadkach ogólny wykres pracy może być dla jasności zredukowany do wykresu pracy jedynie dla krańca odbiorczego.

2. Schematy zastępcze.

W każdym przypadku sporządzenie wykresu pracy wymaga przyjęcia dla układu przesyłowego mocy pewnego schematu zastępczego, w którym ustalenie równań dla prądów, napięć i mocy jest proste i możliwe. Wybór schematu zastępczego dla samej linii przesyłowej zależy przede wszystkim od jej długości. Możemy mieć do czynienia

z następującymi przypadkami (przy obliczaniu \hat{Z} i \hat{Y} należy uwzględnić długość całej linii):

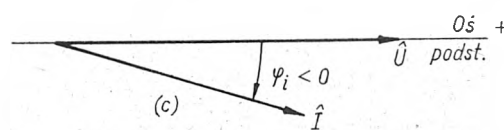
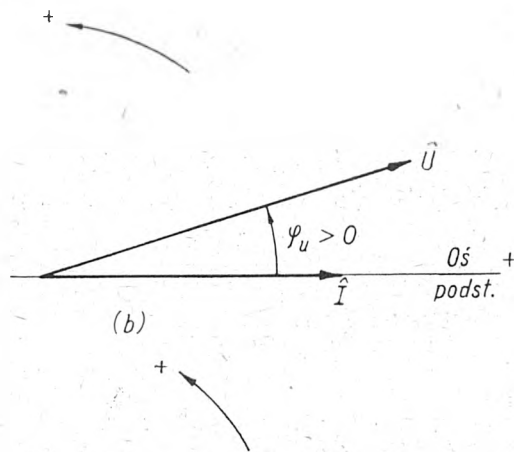
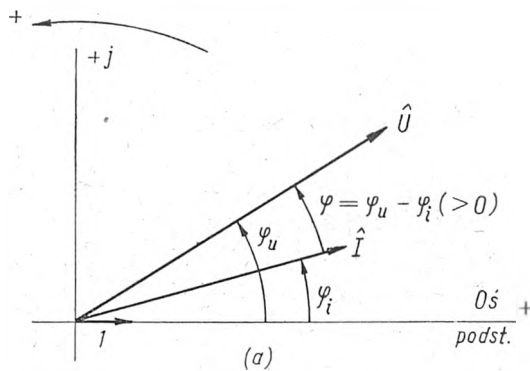
1. Linia krótka (ok. 80 km), dla której pomijamy wpływ pojemności i upływności, może być przedstawiona przy pomocy jednej oporności szeregowej

$$\hat{Z} = R + j\omega L.$$

Równania stanu dla takiej linii mają postać:

$$\hat{U}_p = \hat{U}_k + \hat{I}_k \hat{Z} \quad \hat{I}_p = \hat{I}_k.$$

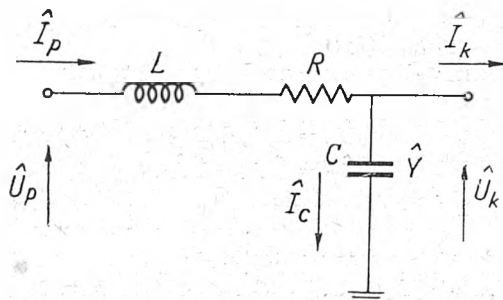
2. Dla linii średnich (80—250 km) prąd pojemnościowy nie może być pominięty. Wpływ jego na równania stanu



Rys. 1

- Wektorami podstawowymi są:
- a) wektor jednostkowy na dowolnej osi
- b) „ prądu
- c) „ napięcia

może być uwzględniony przy pomocy właściwie przyłączonej pojemności. Jeżeli pominiemy prąd upływnościowy, to otrzymujemy poniższe przypadki:



Rys. 2

a) pojemność skupiona na końcu linii (rys. 2):

$$\hat{Z} = R + j\omega L \quad \hat{Y} = j\omega C;$$

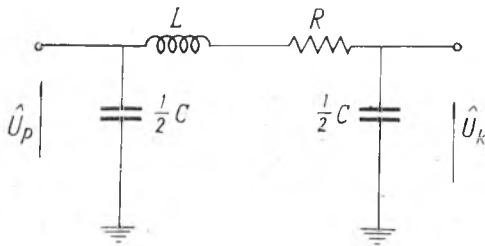
wówczas *):

$$\hat{U}_p = \hat{I}_p \hat{Z} + \hat{U}_k$$

$$\hat{I}_p = \hat{I}_k + \hat{U}_k \hat{Y}$$

$$\hat{U}_p = \hat{U}_k (1 + \hat{Y}\hat{Z}) + \hat{I}_k \hat{Z}$$

$$\hat{I}_p = \hat{U}_k \hat{Y} + \hat{I}_k$$



Rys. 3

b) pojemność skupiona na początku i końcu linii, schemat zastępczy □ symetrycznego (rys. 3):

$$\hat{Z} = R + j\omega L \quad \hat{Y} = j\omega C;$$

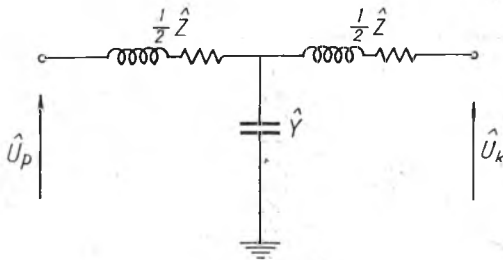
dla takiego schematu zastępczego otrzymujemy:

$$\hat{U}_p = \hat{U}_k (1 + 1/2 \hat{Y}\hat{Z}) + \hat{I}_k \hat{Z}$$

$$\hat{I}_p = \hat{U}_k \hat{Y} (1 + 1/4 \hat{Y}\hat{Z}) + \hat{I}_k (1 + 1/2 \hat{Y}\hat{Z});$$

c) pojemność skupiona w środku linii (rys. 4):

$$\hat{Z} = R + j\omega L \quad \hat{Y} = j\omega C.$$



Rys. 4

Dla schematu zastępczego w postaci T otrzymujemy:

$$\hat{U}_p = \hat{U}_k (1 + 1/2 \hat{Y}\hat{Z}) + \hat{I}_k \hat{Z} (1 + 1/4 \hat{Y}\hat{Z})$$

$$\hat{I}_p = \hat{U}_k \hat{Y} + \hat{I}_k (1 + 1/2 \hat{Y}\hat{Z}).$$

*) Przy układaniu równań tego typu należy \hat{U}_p i \hat{U}_k traktować jako fikcyjne siły elektromotoryczne.

Wszystkie otrzymane powyżej równania dla stanu elektrycznego linii mają, niezależnie od schematu zastępczego, wspólną cechę, wyrażającą się związkami charakteru liniowego pomiędzy prądami i napięciami w postaci:

$$\hat{U}_p = \hat{A}\hat{U}_k + \hat{B}\hat{I}_k$$

$$\hat{I}_p = \hat{C}\hat{U}_k + \hat{D}\hat{I}_k.$$

3. W przypadkach, kiedy operowanie pojemnościami skupionymi i pominięcie prądu upływnościowego nie jest możliwe (a więc przy liniach długich), należy zastosować ścisłą metodę, według której stałe ogólnie wyrażają się przy pomocy funkcji hyperbolicznych:

$$\hat{A} = \hat{D} = \cosh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$$

$$\hat{B} = \sqrt{\hat{Z}/\hat{Y}} \sinh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$$

$$\hat{C} = \sqrt{\hat{Y}/\hat{Z}} \sinh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$$

We wszystkich sieciach, które nie są czynne, tzn. nie posiadają wewnętrznych sił elektromotorycznych, spełnione musi być równanie:

$$\hat{A}\hat{D} - \hat{B}\hat{C} = 1 \quad (3)$$

w układach zaś symetrycznych warunek:

$$\hat{A} = \hat{D}.$$

Stałe \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} , będące najogólniejszą formą przedstawienia układu przesyłowego (w tym przypadku samej linii), posiadają ściśle określone znaczenie fizyczne:

$\hat{A} = |\hat{A}| e^{j\alpha}$ jest operatorem wektorowym bez wymiarowym, którego moduł określa napięcie na początku linii, przypadające na jednostkę napięcia na końcu linii, znajdującym się w stanie jałowym;

$\hat{B} = |\hat{B}| e^{j\beta}$ jest operatorem wektorowym o wymiarze oporności, którego moduł określa napięcie na początku linii, przypadające na jednostkę natężenia prądu na końcu linii, znajdującym się w stanie zwartym;

$\hat{C} = |\hat{C}| e^{j\gamma}$ jest operatorem wektorowym o wymiarze przewodności, którego moduł określa natężenie prądu na początku linii, przypadające na jednostkę napięcia na końcu linii, znajdującym się w stanie jałowym;

$\hat{D} = |\hat{D}| e^{j\delta}$ jest operatorem wektorowym bez wymiarowym, którego moduł określa natężenie prądu na początku linii, przypadające na jednostkę natężenia prądu na końcu linii, znajdującym się w stanie zwartym.

Sprowadzając więc otrzymane równania stanu do postaci ogólnej, otrzymamy tabl. II.

Różnice, wynikające z przyjęcia jednego z rozwiązań metodą przybliżoną, zamiast rozwiązania metodą ścisłą, są najmniejsze dla przykładu pojemności, skupionej na

Tablica II

Schemat zastępczy linii	\hat{A}	\hat{B}	\hat{C}	\hat{D}
1. Bez uwzględnienia pojemności i upływności	1	\hat{Z}	0	1
2. Uwzględniona pojemność skupiona na końcu linii	$1 + \hat{Y}\hat{Z}$	\hat{Z}	\hat{Y}	1
3. Uwzględniona pojemność skupiona w środku linii	$1 + 1/2 \hat{Y}\hat{Z}$	$\hat{Z} (1 + 1/4 \hat{Y}\hat{Z})$	\hat{Y}	$= \hat{A}$
4. Uwzględniona pojemność skupiona na początku i końcu linii	$1 + 1/4 \hat{Y}\hat{Z}$	\hat{Z}	$\hat{Y} (1 + 1/4 \hat{Y}\hat{Z})$	$= \hat{A}$
5. Uwzględnienie pojemności i upływności rozłożonych równomiernie:				
a) metoda hyperboliczna	$\cosh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$	$\sqrt{\hat{Z}/\hat{Y}} \sinh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$	$\sqrt{\hat{Y}/\hat{Z}} \sinh \sqrt{\hat{Y}\hat{Z}}$	$= \hat{A}$
b) metoda trygonometryczna ($\hat{Y}\hat{Z} = a + jb$)	$\cosh a \cdot \cos b + j \sinh a \cdot \sin b$	$\sqrt{\hat{Z}/\hat{Y}} (\sinh a \cdot \cos b + j \cosh a \cdot \sin b)$	$\sqrt{\hat{Y}/\hat{Z}} (\sinh a \cdot \cos b + j \cosh a \cdot \sin b)$	$= \hat{A}$
c) metoda algebraiczna	$1 + \frac{\hat{Y}\hat{Z}}{2} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^2}{24} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^3}{720}$	$\hat{Z} \left(1 + \frac{\hat{Y}\hat{Z}}{6} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^2}{120} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^3}{5040} \right)$	$\hat{Y} \left(1 + \frac{\hat{Y}\hat{Z}}{6} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^2}{120} + \frac{(\hat{Y}\hat{Z})^3}{5040} \right)$	$= \hat{A}$

Tablica III

L. p.	Rodzaj układu	Schemat zastępczy	\hat{A}	\hat{B}	\hat{C}	\hat{D}
1	Oporność posobna		1	\hat{Z}	0	1
2	Przewodność bocznikująca		1	0	\hat{Y}	1
3	Transformator T symetryczny		$1 + \frac{1}{2} \hat{Y} \hat{Z}$	$\hat{Z} (1 + \frac{1}{4} \hat{Y} \hat{Z})$	\hat{Y}	$1 + \frac{1}{2} \hat{Y} \hat{Z}$
	T niesymetryczny		1	\hat{Z}	\hat{Y}	$1 + \hat{Y} \hat{Z}$
	"		$1 + \hat{Y} \hat{Z}$	\hat{Z}	\hat{Y}	1
4	Linia z transformatorem na końcu: bez uwzględnienia prądu wzbudzenia		\hat{A}	$\hat{B} + \hat{A} \hat{Z}$	\hat{C}	$\hat{D} + \hat{C} \hat{Z}$
	z uwzględnieniem prądu wzbudzenia		$\hat{A} (1 + \hat{Y} \hat{Z}) + \hat{B} \hat{Y}$	$\hat{A} \hat{Z} + \hat{B}$	$\hat{C} (1 + \hat{Y} \hat{Z}) + \hat{D} \hat{Y}$	$\hat{C} \hat{Z} + \hat{D}$
5	Linia z transformatorem na początku: bez uwzględnienia prądu wzbudzenia		$\hat{A} + \hat{C} \hat{Z}$	$\hat{B} + \hat{D} \hat{Z}$	\hat{C}	\hat{D}
	z uwzględnieniem prądu wzbudzenia		$\hat{A} + \hat{C} \hat{Z}$	$\hat{B} + \hat{D} \hat{Z}$	$\hat{A} \hat{Y} + \hat{C} (1 + \hat{Y} \hat{Z})$	$\hat{D} (1 + \hat{Y} \hat{Z}) + \hat{B} \hat{Y}$

L. p.	Rodzaj układu	Schemat zastępczy	\hat{A}	\hat{B}	\hat{C}	\hat{D}
6	Linia z transformatorami na początku i końcu: bez uwzględnienia prądu wzbudzenia z uwzględnieniem prądu wzbudzenia		$\hat{A} + \hat{C}\hat{Z}_p$ $\hat{A}(1 + \hat{Z}_k \hat{Y}_k) + \hat{C}\hat{Z}_p \cdot (1 + \hat{Z}_k \hat{Y}_k) + \hat{B}\hat{Y}_k + \hat{D}\hat{Z}_p \hat{Y}_k$	$\hat{B} + \hat{A}\hat{Z}_k + \hat{D}\hat{Z}_p + \hat{C}\hat{Z}_k \hat{Z}_p$ $\hat{A}\hat{Z}_k + \hat{B} + \hat{C}\hat{Z}_p \hat{Z}_k + \hat{D}\hat{Z}_p$	\hat{C} $\hat{A}\hat{Y}_p(1 + \hat{Z}_k \hat{Y}_k) + \hat{D}\hat{Y}_k(1 + \hat{Z}_p \hat{Y}_p) + \hat{C}(1 + \hat{Z}_p \hat{Y}_p)(1 + \hat{Z}_k \hat{Y}_k) + \hat{B}\hat{Y}_p \hat{Y}_k$	$\hat{D} + \hat{C}\hat{Z}_k$ $\hat{A}\hat{Z}_k \hat{Y}_p + \hat{B}\hat{Y}_p + \hat{C}\hat{Z}_k(1 + \hat{Z}_p \hat{Y}_p) + \hat{D}(1 + \hat{Z}_p \hat{Y}_p)$
7	Linia z przewodnością boczną nikującą na końcu		$\hat{A}_1 + \hat{B}\hat{Y}$	\hat{B}	$\hat{C} + \hat{D}\hat{Y}$	\hat{D}
8	Linia z przewodnością boczną nikującą na początku		\hat{A}	\hat{B}	$\hat{C} + \hat{A}\hat{Y}$	$\hat{D} + \hat{B}\hat{Y}$
9	Linia z przewodnościami bocznymi nikującymi na końcu i początku		$\hat{A} + \hat{B}\hat{Y}_k$	\hat{B}	$\hat{C} + \hat{A}\hat{Y}_p + \hat{D}\hat{Y}_k + \hat{B}\hat{Y}_k \hat{Y}_p$	$\hat{D} + \hat{B}\hat{Y}_p$
10	Dwa układy o stałych $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$, połączone posobnie		$\hat{A}_1 \hat{A}_2 + \hat{C}_2 \hat{B}_1$	$\hat{B}_2 \hat{A}_1 + \hat{D}_2 \hat{B}_1$	$\hat{A}_2 \hat{C}_1 + \hat{C}_2 \hat{D}_1$	$\hat{B}_2 \hat{C}_1 + \hat{D}_1 \hat{D}_2$
11	Trzy układy o stałych $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$, połączone posobnie		$\hat{A}_1 (\hat{A}_2 \hat{A}_3 + \hat{C}_3 \hat{B}_2) + \hat{B}_1 (\hat{A}_3 \hat{C}_2 + \hat{C}_3 \hat{D}_2)$	$\hat{A}_1 (\hat{B}_2 \hat{A}_2 + \hat{D}_3 \hat{B}_2) + \hat{B}_1 (\hat{B}_3 \hat{C}_2 + \hat{D}_3 \hat{D}_2)$	$\hat{C}_1 (\hat{A}_3 \hat{A}_2 + \hat{C}_3 \hat{B}_2) + \hat{D}_1 (\hat{A}_3 \hat{C}_2 + \hat{C}_3 \hat{D}_2)$	$\hat{C}_1 (\hat{B}_2 \hat{A}_2 + \hat{D}_3 \hat{B}_2) + \hat{D}_1 (\hat{B}_3 \hat{C}_2 + \hat{D}_3 \hat{D}_2)$
12	Dwa układy o stałych $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$, połączone obocznie		$\frac{\hat{A}_1 \hat{B}_2 + \hat{B}_1 \hat{A}_2}{\hat{B}_1 + \hat{B}_2}$	$\frac{\hat{B}_1 \hat{B}_2}{\hat{B}_1 + \hat{B}_2}$	$\frac{\hat{C}_1 + \hat{C}_2 + (\hat{A}_1 - \hat{A}_2)(\hat{D}_2 - \hat{D}_1)}{\hat{B}_1 + \hat{B}_2}$	$\frac{\hat{B}_1 \hat{D}_2 + \hat{D}_1 \hat{B}_2}{\hat{B}_1 + \hat{B}_2}$

początku i końca linii (□ symetryczne), względnie w środku (T symetryczne). Metoda wymieniona pod p. 1 tablicy II daje znacznie za duże wartości prądu i napięcia na początku linii.

Znajomość stałych \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} linii przesyłowej pozwala sporządzić wykres pracy w najogólniejszej formie. Sporządzenie wykresu pracy jest wykreślnym wyznaczeniem miejsc geometrycznych końców pewnych wektorów, przedstawiających wielkości elektryczne dla określonych warunków przesyłu mocy.

3. Rodzaje wykresów.

Sporządzenie kołowego wykresu pracy, czy też wykresu skojarzonego, dla samej linii nie ma z praktycznego punktu widzenia większego znaczenia. Wykresy takie sporządzane są zazwyczaj dla pewnej części układu przesyłowego, obejmującej oprócz samej linii i inne elementy.

Możemy tu rozróżnić dwa zasadnicze i najczęściej spotykane przypadki:

1. kołowy wykres pracy lub wykres skojarzony tzw. mocy w odniesieniu do stałych \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} ;
2. kołowy wykres pracy w odniesieniu do schematu zastępczego w postaci niesymetrycznego □.

Sporządzenie wykresu pracy kołowego, czy też skojarzonego według pierwszego przypadku wymaga wyznaczenia, w zależności od przyjętych założeń, stałych \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} już nie samej linii, ale pewnego układu.

Sposób wyznaczania tych stałych dla najbardziej typowych układów przedstawiony jest w tabl. III.

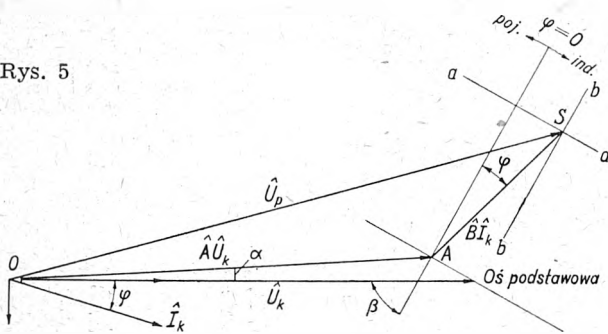
W wielu przypadkach, związanych z przesyłem, rozdziałem i rozrządem mocy lub równowagą układu przesyłowego w stanie ustalonym albo nieustalonym, pożądane jest przejście z jednego schematu zastępczego do drugiego. Jako najczęściej spotykane przypadki występują tu schematy zastępcze:

1. stałe ogólne \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} ,
2. równoważne □,
3. równoważne T.

Pomiędzy wielkościami oporów i przewodności, charakteryzujących te schematy zastępcze, istnieją zależności podane w tabl. IV.

a) Wykres napięciowy. Znajomość stałych ogólnych \hat{A} , \hat{B} , \hat{C} , \hat{D} tej części układu, której zachowanie się ze względu na przesyłaną moc chcemy zbadać, pozwala sporządzić uproszczony wykres pracy, charakteryzujący się występowaniem rodziny kół i prostych, jako miejsc geometrycznych dla różnych warunków pracy przy stałości jednego z czynników, np. mocy na końcu układu,

Rys. 5



współczynnika mocy odbioru, napięcia na końcu układu. Są to tzw. wykresy: napięciowy i prądowy.

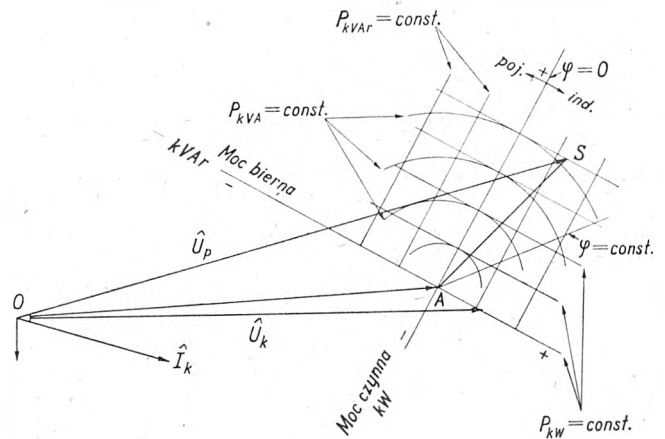
Wykres napięciowy opiera się na interpretacji wykreślonej równania:

$$\hat{U}_p = \hat{A}\hat{U}_k + \hat{B}\hat{I}_k,$$

daje więc możliwość określenia napięcia na początku układu w zależności od stałych układu oraz warunków obciążenia na jego końcu.

Opierając się na tym, że układ trójfazowy o napięciu międzyprzewodowym \hat{U} , mocy całkowitej P i oporności fazowej \hat{Z} jest równoważny pod względem procentowego

spadku napięcia i sprawności układowi jednofazowemu o napięciu \hat{U} , mocy P i oporności \hat{Z} , z wyjątkiem tego, że prąd w układzie jednofazowym jest $\sqrt{3}$ razy większy, wykres może być odniesiony do napięcia fazowego lub międzyprzewodowego. W zależności od tego, do jakich celów wykres ma służyć, dogodniejszy jest wybór takiego



Rys. 6

lub innego napięcia. Jeżeli założymy, że stan prądowy układu można określić przy pomocy wykresu prądowego, to najdogodniej jest przyjąć jako podstawę napięcie fazowe, a wykres sporządzić w odniesieniu do mocy całkowitej układu (takie założenie przyjęto przy omawianiu wykresu prądowego i napięciowego).

Przy stałym napięciu na końcu układu moc odbierana na końcu (w kVA) będzie proporcjonalna do prądu \hat{I}_k , a ponieważ $\hat{B} = \text{const.}$ — również do iloczynu $\hat{B}\hat{I}_k$, czyli do długości odcinka \overline{AS} , który może być przyjęty w skali jako moc pozorna (rys. 5).

Ustalenie skali dla mocy nie jest jednak dowolne i zależy od skali, przyjętej dla wektora napięcia \hat{U}_k , jako wektora podstawowego dla całego wykresu. Jeżeli przyjmujemy, że w skali napięciowej

$$1 \text{ cm} \equiv \frac{10^4}{x} \text{ woltów,}$$

to odcinkowi $\hat{B}\hat{I}_k$, przedstawiającemu pewną stratę napięcia, będzie odpowiadała wartość liczbowa, wyrażona w woltach (przy $\cos \varphi = 1$ dla końca układu) i wynosząca:

$$|\hat{B}\hat{I}_k| = |\hat{B}| \frac{P_{kVA}}{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}}} \text{ woltów}$$

czyli

$$|\hat{B}| \frac{P_{kVA}}{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}}} \cdot \frac{x}{10^4} \text{ centymetrów.}$$

Temu samemu odcinkowi w skali woltów będzie odpowiadała w skali mocy moc P_{kW} . W ten sposób ustalona zostaje skala napięć fazowych i mocy całkowitej układu:

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ cm} &\equiv \frac{10^4}{x} \text{ woltów,} \\ 1 \text{ cm} &\equiv \frac{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}} \cdot 10^4}{|\hat{B}|x} \text{ kilowatów (napięcie w kV)} \end{aligned} \right\} (4)$$

Sporządzenie więc wykresu dla różnych napięć i prądów na końcu linii w skali napięć pozwala łatwo przejść do skali mocy przesyłanej. Z rys. 5 wynika, że przesuwanie się punktu S po linii $a-a$ odpowiada stałej mocy czynnej, a więc stała składowa czynna prądu na końcu układu, przesuwanie się zaś punktu S po linii $b-b$ stała moc bierna na końcu układu. Pozwala to sporządzić siatkę mocy biernej i czynnej dla różnych wartości \hat{I}_k przy stałym napięciu na końcu \hat{U}_k i zmiennym napięciu na początku układu \hat{U}_p (rys. 6).

Sporządzony w tej formie wykres pozwala łatwo określić wielkość koniecznej kompensacji pojemnościowej lub

indukcyjnej tak, aby przesył danej mocy czynnej odbywał się przy pożądanym spadku napięcia (rys. 7).

Przesył określonej mocy Aa_1 , przy współczynniku mocy na końcu układu $\cos \varphi_1$, związany jest ze spadkiem na-

b) Wykres prądowy. Uproszczony wykres pracy może jednak służyć nie tylko do określenia warunków przesyłu mocy ze względu na regulację napięcia, ale również do określenia sprawności układu przesyłowego. Ma-

Tablica IV

		Układ wyjściowy			Przyjęte kierunki i oznaczenia
		$\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$	równoważny \square	równoważny Γ	
Układ otrzymany	$\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$	$\hat{A} = \hat{A}$ $\hat{B} = \hat{B}$ $\hat{C} = \hat{C}$ $\hat{D} = \hat{D}$	$1 + \hat{Z}\hat{Y}_k$ \hat{Z} $\hat{Y}_p + \hat{Y}_k + \hat{Z}\hat{Y}_p\hat{Y}_k$ $1 + \hat{Z}\hat{Y}_p$	$1 + \hat{Y}\hat{Z}_p$ $\hat{Z}_p + \hat{Z}_k + \hat{Y}\hat{Z}_p\hat{Z}_k$ \hat{Y} $1 + \hat{Y}\hat{Z}_k$	
	równoważny \square	$\hat{Z} = \hat{B}$ $\hat{Y}_p = \frac{\hat{D} - 1}{\hat{B}}$ $\hat{Y}_k = \frac{\hat{A} - 1}{\hat{B}}$	\hat{Z} \hat{Y}_p \hat{Y}_k	$\hat{Z}_p + \hat{Z}_k + \hat{Y}\hat{Z}_p\hat{Z}_k$ $\frac{\hat{Y}\hat{Z}_k}{\hat{Z}_p + \hat{Z}_k + \hat{Y}\hat{Z}_p\hat{Z}_k}$ $\frac{\hat{Y}\hat{Z}_p}{\hat{Z}_p + \hat{Z}_k + \hat{Y}\hat{Z}_p\hat{Z}_k}$	
	równoważny Γ	$\hat{Y} = \hat{C}$ $\hat{Z}_p = \frac{\hat{A} - 1}{\hat{C}}$ $\hat{Z}_k = \frac{\hat{D} - 1}{\hat{C}}$	$\hat{Y}_p + \hat{Y}_k + \hat{Z}\hat{Y}_p\hat{Y}_k$ $\frac{\hat{Z}\hat{Y}_k}{\hat{Y}_p + \hat{Y}_k + \hat{Z}\hat{Y}_p\hat{Y}_k}$ $\frac{\hat{Z}\hat{Y}_p}{\hat{Y}_p + \hat{Y}_k + \hat{Z}\hat{Y}_p\hat{Y}_k}$	\hat{Y} \hat{Z}_p \hat{Z}_k	

pięcia — 5%. Przesył mocy Aa_2 przy tym samym współczynniku mocy będzie już związany ze spadkiem napięcia — 21% bez kompensacji. Jeżeli moc ta ma być przesyłana również przy spadku napięcia wynoszącym — 5%, to konieczne jest zastosowanie kompensacji pojemnościowej. Moc bierna charakteru pojemnościowego, która musi być w tym wypadku pobierana na końcu układu przez kondensatory statyczne lub synchroniczne, określona jest odcinkiem S_2S_3 .

Uproszczony napięciowy wykres pracy odnosi się również do przypadku, gdy utrzymujemy stałe napięcie na początku i końcu układu. Wykres ten pozwala w prosty sposób określić moc bierną na końcu układu przy różnych wartościach mocy przesyłanej, dając w ten sposób łatwą metodę wyznaczania wymaganej mocy kompensacyjnej, zazwyczaj charakteru pojemnościowego, dla wszystkich możliwych stanów obciążenia.

W celu wyznaczenia tej mocy należy na siatkę mocy biernej i czynnej nanieść łuk koła, odpowiadający miejscu geometrycznemu końców wektora spełniającego warunek $|\hat{U}_p| = \text{const.}$ Otrzymujemy w ten sposób moce: bierną i czynną na końcu układu dla dowolnego położenia punktu S (rys. 8). Jedynie w punkcie S_0 , któremu odpowiada moc czynna przesyłana Aa_0 , odbiór o współczynniku mocy $\cos \varphi$ jest dopasowany do układu przesyłowego i nie jest potrzebna regulacja napięcia. Przy innych wielkościach obciążenia, ale stałych współczynnikach mocy, konieczna jest kompensacja dla utrzymania stałego napięcia na początku linii. Moc kompensująca określona jest odcinkiem, którego wielkość i zwrot dany jest przez równanie:

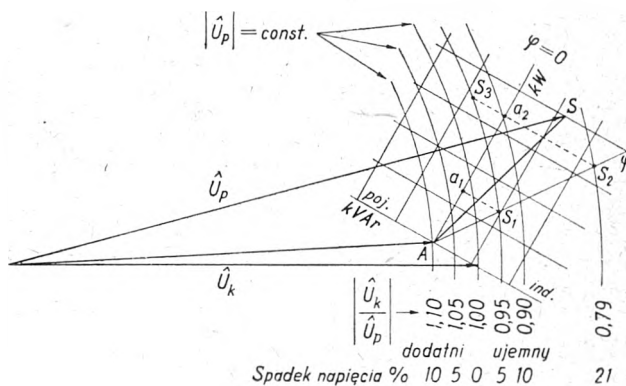
$$P_{x \text{ komp}} = a_1S_2 - a_1S_1$$

Otrzymana w ten sposób krzywa eliptyczna $P_x \text{ komp}$ przedstawia moc kompensującą w funkcji mocy czynnej obciążenia, uwarunkowaną danym spadkiem napięcia i danym współczynnikiem mocy obciążenia. Z wykresu powyższego wynika, że moc kompensująca wzrasta gwałtownie z chwilą, gdy wielkość mocy przesyłanej zbliża się do wartości, określonej przez maksimum teoretyczne.

my wówczas do czynienia z tzw. skojarzonym wykresem mocy. Dla obliczenia sprawności układu przesyłowego należy wyznaczyć dane charakterystyczne, a więc prąd, napięcie i współczynnik mocy $\cos \varphi_p$ na początku układu dla określonych warunków obciążenia. Wyznaczenie tych danych wiąże się z interpretacją wykresną równania stanu

$$\hat{I}_p = \hat{C}\hat{U}_k + \hat{D}\hat{I}_k,$$

przy czym jako wektor podstawowy przyjmujemy podob-



Rys. 7

nie jak dla wykresu napięciowego napięcie na końcu układu \hat{U}_k . Jest to tzw. wykres prądowy.

Ustalenie skali prądowej, jeżeli wykres prądowy nie ma być skojarzony z wykresem napięciowym, jest dowolne przez przypisanie pewnej długości odcinkowi skierowanemu $\hat{C}\hat{U}_k$, który przedstawia składową prądu na początku, niezależną od prądu obciążenia.

Podobnie jak na wykresie napięciowym można ustalić siatkę mocy czynnej i biernej i określić \hat{I}_p dla danych warunków obciążenia (rys. 9).

Ważniejszy jednak z punktu widzenia zastosowań jest wykres prądowy, skojarzony z wykresem napięciowym. Zasadą tego wykresu jest zachowanie dla części napięciowej i prądowej tej samej skali dla mocy, a więc identycznej siatki kW i kVAr, co znacznie ułatwia określenie wykreślone sprawności i strat w układzie przesyłowym.

Ponieważ dwa wektory — charakterystyczny dla wykresu napięciowego wektor $\hat{B}\hat{I}_k$ i występujący w wykresie prądowym wektor $\hat{D}\hat{I}_k$ są proporcjonalne do \hat{I}_k , więc dobranie skali prądowej tak, aby

$$|\hat{B}\hat{I}_k| = |\hat{D}\hat{I}_k|,$$

spełni jednocześnie warunek równości skal mocy na obu wykresach.

Ponieważ

$$|\hat{B}\hat{I}_k| \text{ (woltów)} = |\hat{B}| \frac{P_{kVA}}{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}} \cdot 10^4} \cdot x \text{ (centymetrów)},$$

a więc

$$|\hat{A}\hat{I}_k| \text{ (amperów)} = |\hat{B}| \frac{P_{kVA}}{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}} \cdot 10^4} \cdot x \text{ (centymetrów)}.$$

Stąd stosunek skal dla amperów i woltów wynosi:

$$\frac{\hat{A}}{\hat{B}}$$

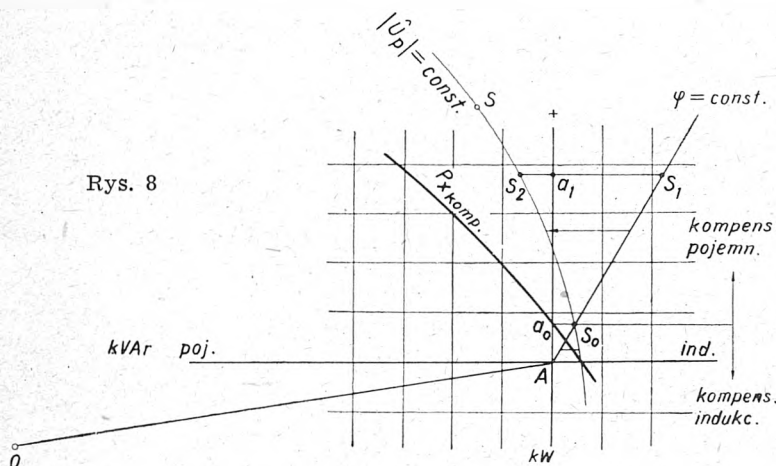
czyli

$$1 \text{ cm} = \frac{10^4}{x} \text{ woltów},$$

$$1 \text{ cm} = \frac{\hat{A}}{\hat{B}} \cdot \frac{10^4}{x} \text{ amperów},$$

$$1 \text{ cm} = \frac{3|\hat{U}_k|_{\text{faz}}}{\hat{B}} \cdot \frac{10^4}{x} \text{ kilowatów}.$$

c) Wykres skojarzony mocy. Na podstawie powyższych danych można sporządzić (skojarzony) wy-



Rys. 8

kres mocy (prądowy i napięciowy), pozwalający określić wszystkie dane charakterystyczne na początku układu przy danym obciążeniu (rys. 10).

Sporządzamy przede wszystkim część wykresu napięciowego

$$\hat{U}_k \text{ i } \hat{A}\hat{U}_k = |\hat{A}| e^{j\alpha} \hat{U}_k$$

w skali napięcia i z punktu A prowadzimy pod kątem β , określonym z równania

$$\hat{B} = |\hat{B}| e^{j\beta}$$

prostą dla $\cos \varphi = 1$ na krańcu odbiorczym.

Prosta dla $\cos \varphi = 1$ pozwala ustalić siatkę mocy biernej i czynnej w skali, określonej równaniami (4). Załóżmy, że danemu stanowi obciążenia odpowiada punkt S_1 , a więc przesył mocy $a = P_{kW}$ przy współczynniku mocy $\cos \varphi$ (bez regulacji napięcia). Z punktu O zataczamy łuk koła promieniem, równym $|\hat{U}_k|$, określając w ten sposób wielkość koniecznej kompensacji dla warunku równości napięcia na końcu i na początku układu. W razie zastosowania właściwej kompensacji, dla zachowania warunku regu-

lacji zerowej, punkt S_1 przesunie się do punktu S_2 (rys. 10).

Następnie, z punktu O odmierzymy odcinek $\overline{OB} = |\hat{C}\hat{U}_k|$ w skali prądowej pod kątem γ ($\hat{C} = |\hat{C}| e^{j\gamma}$) i przez punkt B prowadzimy prostą dla $\cos \varphi = 1$, a więc pod kątem δ ($\hat{D} = |\hat{D}| e^{j\delta}$) do wektora podstawowego czyli napięcia na końcu układu. W odniesieniu do tej prostej sporządzamy siatkę mocy podobnie jak w części napięciowej wykresu, przy czym ustalamy punkt W tak, że

$$AZ = BW.$$

Przesyłowi mocy $a = P_{kW}$ przy współczynniku mocy $\cos \varphi$ będzie odpowiadał na wykresie prądowym punkt T_1 (bez regulacji napięcia).

Wyznaczenie miejsca geometrycznego punktu T_1 , a więc końców wektora prądu na początku układu przy równości napięć na początku i końcu, opiera się na przeniesieniu właściwych danych z wykresu napięciowego do wykresu prądowego. Na siatce mocy wykresu prądowego wyznaczamy punkty, odpowiadające punktom stałego napięcia $|\hat{U}_p| = |\hat{U}_k|$, przeniesione z wykresu napięciowego.

Wyznaczenie miejsca geometrycznego tych punktów na wykresie prądowym może być wykonane wykreślnie w następujący sposób:

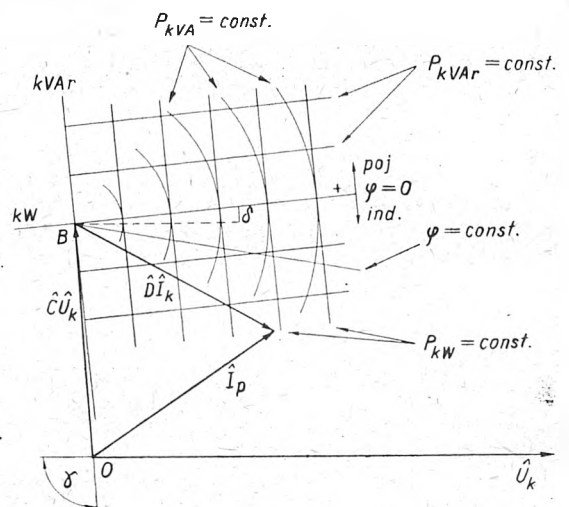
z punktu B zataczamy łuk promieniem \overline{OA} ,

z punktu W zataczamy łuk promieniem \overline{OZ} .

Z punktu O_1 przecięcia się obu łuków zataczamy łuk promieniem $|\hat{U}_p| = |\hat{U}_k|$ i otrzymujemy w ten sposób miejsce geometryczne końców wektora prądu na początku układu przy regulacji zerowej napięcia.

Punktowi T_1 przy kompensacji, dobranej do warunków regulacji zerowej, będzie odpowiadał punkt T_1 .

W ten sposób dla mocy przesyłanej P_{kW} możemy wyznaczyć dla początku układu współczynnik mocy $\cos \varphi_p$ prąd (w skali prądowej) i napięcie (w skali napięciowej). Określenie trzech powyższych wielkości pozwala obliczyć



Rys. 9

moc na początku układu, a więc sprawność przesyłu energii oraz straty.

d) Wykres kołowy pracy. Operowanie skojarzonym wykresem prądowym i napięciowym, jako specjalnym typem wykresu mocy, jest jednak ze względów praktycznych dość kłopotliwe z uwagi na sposób wyznaczania mocy na początku układu w zależności od stanu obciążenia na końcu. Ponieważ podstawowym wymaganiem, które stawiamy wykresom tego typu, jest możliwość szybkiego i prostego wyznaczenia trzech zasadniczych wielkości, a mianowicie:

- 1) mocy urządzenia kompensacyjnego,
- 2) strat,
- 3) sprawności,

przy założonym z góry stałym spadku napięcia, właściwszą rzeczą wydaje się sporządzenie innego wykresu pracy, opierającego się na definicji wektora mocy, a mianowicie kołowego wykresu pracy. Przy takim założeniu

otrzymujemy możliwość odczytu bezpośredniego dwóch pierwszych z podanych powyżej wielkości. W odniesieniu jednak do prądu, napięcia i współczynnika mocy na początku układu przesyłowego (skojarzony) wykres mocy posiada niewątpliwie cały szereg zalet.

Kołowy wykres pracy może być również odniesiony do mocy fazowej lub całkowitej układu w zależności od tego, czy jako podstawę przyjmiemy odpowiednio napięcie fazowe, czy też międzyprzewodowe (należy zwrócić uwagę

W celu łatwiejszego operowania i interpretacji otrzymanych równań przejdziemy do wyrażeń wektorowych, przedstawionych przy pomocy modułów i argumentów:

$$\begin{aligned} \hat{U}_p &= \hat{U}_p | e^{j\theta_p} \\ \hat{U}_k &= \hat{U}_k | e^{j\theta_k} \\ \hat{Z} &= \hat{Z} | e^{j\rho_z} \\ \hat{Z}_p &= \hat{Z}_p | e^{j\rho_p} \\ \hat{Z}_k &= \hat{Z}_k | e^{j\rho_k} \end{aligned}$$

Opierając się na przyjętej definicji wektora mocy

$$\hat{P}_z = \hat{U} \hat{I},$$

zgodnie z założonym znakiem dodatnim dla mocy biernej o charakterze indukcyjnym, należy obliczyć wyrażenie tego typu dla początku i końca układu:

$$\hat{P}_{zp} = \hat{U}_p \hat{I}_p, \quad \hat{I}_p = \frac{\hat{U}_p | e^{-j\theta_p} - \hat{U}_k | e^{-j\theta_k}}{\hat{Z} | e^{-j\rho_z}} = \frac{\hat{U}_p | e^{-j\theta_p}}{\hat{Z}_p | e^{-j\rho_p}},$$

a więc

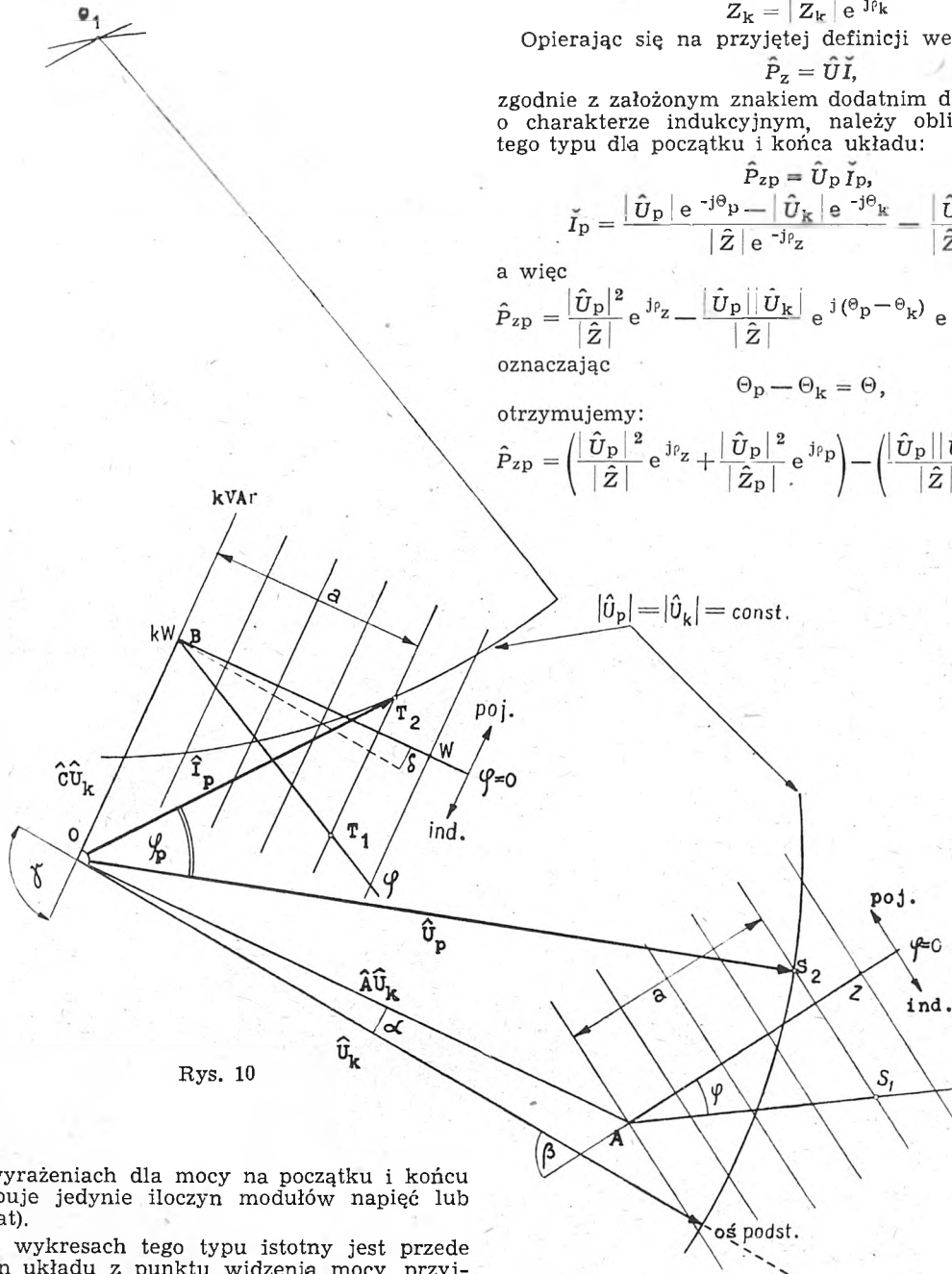
$$\hat{P}_{zp} = \frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}|} e^{j\rho_z} - \frac{|\hat{U}_p| |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j(\theta_p - \theta_k)} e^{j\rho_z} + \frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}_p|} e^{j\rho_p},$$

oznaczając

$$\theta_p - \theta_k = \theta,$$

otrzymujemy:

$$\hat{P}_{zp} = \left(\frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}|} e^{j\rho_z} + \frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}_p|} e^{j\rho_p} \right) - \left(\frac{|\hat{U}_p| |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\rho_z} \right) \cdot e^{j\theta} \quad (5)$$



Rys. 10

na to, że w wyrażeniach dla mocy na początku i końcu układu występuje jedynie iloczyn modułów napięć lub też ich kwadrat).

Ponieważ w wykresach tego typu istotny jest przede wszystkim stan układu z punktu widzenia mocy, przyjmujemy jako podstawę napięcie międzyprzewodowe i przytoczone poniżej równania odnoszą się do mocy całkowitej układu przesyłowego trójfazowego.

Jako przykład rozpatrzmy wykres pracy, sporządzony dla schematu zastępczego w postaci niesymetrycznego [] do którego to schematu daje się zawsze sprowadzić układ przesyłowy mocy z chwilą, gdy w skład jego wchodzi nie tylko sama linia (rys. 11).

Dla prądu na początku i końcu układu otrzymujemy równania:

$$\begin{aligned} \hat{I}_p &= \frac{\hat{U}_p - \hat{U}_k}{\hat{Z}} + \frac{\hat{U}_p}{\hat{Z}_p}, \\ \hat{I}_k &= \frac{\hat{U}_p - \hat{U}_k}{\hat{Z}} - \frac{\hat{U}_k}{\hat{Z}_k}. \end{aligned}$$

Analogicznie dla krańca odbiorczego:

$$\hat{P}_{zk} = \hat{U}_k \hat{I}_k,$$

gdzie:

$$\hat{I}_k = \frac{\hat{U}_p - \hat{U}_k}{\hat{Z}} - \frac{\hat{U}_k}{\hat{Z}_k} = \frac{\hat{U}_p | e^{-j\theta_p} - \hat{U}_k | e^{-j\theta_k}}{\hat{Z} | e^{-j\rho_z}} - \frac{\hat{U}_k | e^{-j\theta_k}}{\hat{Z}_k | e^{-j\rho_k}},$$

stąd:

$$\begin{aligned} \hat{P}_{zk} &= - \left(\frac{|\hat{U}_k|^2}{|\hat{Z}|} e^{j\rho_z} + \frac{|\hat{U}_k|^2}{|\hat{Z}_k|} e^{j\rho_k} \right) + \\ &+ \left(\frac{|\hat{U}_p| |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\rho_z} \right) e^{-j\theta} \quad (6) \end{aligned}$$

Sporządzenie wykresu pracy polega na interpretacji wykreślnej równań (5) i (6). Jeżeli założymy, że wielkość

napięcie na początku i na końcu układu jest stała, to jedyną zmienną wielkością w powyższych równaniach jest argument θ , wyrażający różnicę faz napięcia na początku układu i na końcu. Możemy więc napisać:

$$\hat{P}_{zp} = \hat{a} + \hat{b}e^{j\theta}$$

$$\hat{P}_{zk} = \hat{c} + \hat{d}e^{-j\theta}$$

gdzie

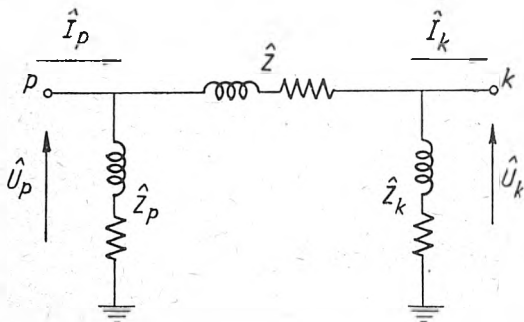
$$\hat{a} = \frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z} + \frac{|\hat{U}_p|^2}{|\hat{Z}_p|} e^{j\varphi_p}$$

$$\hat{b} = -\frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z}$$

$$\hat{c} = -\left(\frac{|\hat{U}_k|^2}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z} + \frac{|\hat{U}_k|^2}{|\hat{Z}_k|} e^{j\varphi_k}\right)$$

$$\hat{d} = \frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z}$$

Wyrażenia powyższe odnoszą się, jak to już wspomniano, do mocy całkowitej układu, jeżeli \hat{U}_p i \hat{U}_k mają wartości napięć międzyprzewodowych. Z otrzymanych powyżej wyrażen wynika, że oba wektory, wyrażające



Rys. 11

moc na początku i na końcu układu, mają składową stałą, proporcjonalną do kwadratu odpowiedniego napięcia, oraz składową zmienną, będącą funkcją kąta θ i proporcjonalną do iloczynu obu napięć. Jeżeli więc wielkość napięć jest stała, to końce wektorów \hat{P}_{zp} i \hat{P}_{zk} będą opisywały koła o środkach, których współrzędne określone są równaniami:

$$\text{dla początku układu } \left(\frac{e^{j\varphi_z}}{|\hat{Z}|} + \frac{e^{j\varphi_p}}{|\hat{Z}_p|}\right) |\hat{U}_p|^2,$$

$$\text{dla końca układu } -\left(\frac{e^{j\varphi_z}}{|\hat{Z}|} + \frac{e^{j\varphi_k}}{|\hat{Z}_k|}\right) |\hat{U}_k|^2.$$

Wielkość i faza wektorów promieni kół dla $\theta = 0$ określone są przez równania:

$$\text{dla początku układu } -\frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z},$$

$$\text{dla końca układu } +\frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} e^{j\varphi_z}.$$

Dane powyższe wystarczają do tego, aby sporządzić ogólny wykres pracy. Uzgodnienie skali dla poszczególnych wielkości elektrycznych nie jest w tym wypadku istotne, albowiem wykres odnosi się zazwyczaj wyłącznie do mocy bierniej i czynnej. Należy jedynie zwrócić uwagę na proporcjonalność odpowiednich odcinków do napięcia na początku lub końcu układu (rys 12). Wykres ten wykonujemy zazwyczaj w ten sposób, że przede wszystkim wyznaczamy analitycznie w postaci liczby zespolonej współrzędne środków kół. (Symbol U_p na rysunku oznacza moduł wektora \hat{U}_p).

Dla początku układu współrzędną wzdłuż osi mocy czynnej jest część rzeczywista wyrażenia

$$\left(\frac{\hat{Z}}{|\hat{Z}|^2} + \frac{\hat{Z}_p}{|\hat{Z}_p|^2}\right) |\hat{U}_p|^2,$$

współrzędną zaś wzdłuż osi mocy bierniej jest część urojona tegoż wyrażenia.

Dla końca układu współrzędną wzdłuż osi mocy czynnej jest część rzeczywista wyrażenia

$$-\left(\frac{\hat{Z}}{|\hat{Z}|^2} + \frac{\hat{Z}_k}{|\hat{Z}_k|^2}\right) |\hat{U}_k|^2,$$

współrzędną zaś wzdłuż osi mocy bierniej jest część urojona tegoż wyrażenia.

Następnie określamy położenie punktów I i II, a więc moc na początku i końcu układu przy $\theta = 0$.

Dla początku układu współrzędną wzdłuż osi mocy czynnej jest część rzeczywista wyrażenia

$$OS_p + \hat{R}_{p0},$$

współrzędną zaś wzdłuż osi mocy bierniej jest część urojona tegoż wyrażenia.

Dla końca układu współrzędną wzdłuż osi mocy czynnej jest część rzeczywista wyrażenia

$$OS_k + \hat{R}_{k0},$$

współrzędną zaś wzdłuż osi mocy bierniej jest część urojona tegoż wyrażenia.

W równaniach powyższych OS_p i OS_k określają odpowiednio położenia środków kół dla początku i końca układu, natomiast

$$\hat{R}_{p0} = -\frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|^2} \hat{Z},$$

$$\hat{R}_{k0} = \frac{|\hat{U}_p||\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|^2} \hat{Z}.$$

Znając położenie wszystkich czterech punktów (S_p, S_k, I i II), zakreślamy z punktów S_p i S_k koła, przechodzące odpowiednio przez punkty I i II (rys. 13).

Dla warunków przesyłu mocy, określonych kątem θ , a więc wyprzedzeniem fazowym napięcia na początku układu do stosunku do napięcia na końcu, otrzymujemy z wykresu wartości P_p i P_{xp} , jako moc czynną i bierną dostarczoną do układu na początku, oraz wartości P_k i P_{xk} , jako moc czynną i bierną odbieraną z układu na końcu. Różnica pomiędzy P_p i P_k daje bezpośrednio straty I^2R (rys. 13) w samym układzie przesyłowym przy danych warunkach przesyłu (dane wielkości napięć na początku i końcu układu oraz dany kąt θ).

Wykres według rys. 13 daje również moc bierną, która musi być dostarczona na początku układu P_{xp} , oraz odbierana na końcu układu P_{xk} , aby wielkości napięć \hat{U}_p i \hat{U}_k mogły mieć z góry założone wartości, określone przyjętym spadkiem napięcia.

Najczęściej zdarza się, że obciążenie, pobierające pewną określoną moc czynną P_0 przy danym współczynniku mocy, nie pobiera jednocześnie mocy bierniej koniecznej do utrzymania założonego napięcia. Różnica pomiędzy tymi mocami — pojemnościową lub indukcyjną samego układu i indukcyjną obciążenia P_{x0} — musi być dostarczona przez układ kompensacyjny; np. przewzbudzony silnik synchroniczny, pobierając z układu moc bierną o charakterze pojemnościowym, będzie jednocześnie zaopatrywał obciążenie w niezbędną moc charakteru indukcyjnego, stwarzając sztucznie warunki dopasowania obciążenia do układu przesyłowego mocy.

Z wykresu wynika również, że dla danych stałych układu i stałych napięć na początku i końcu układu istnieje zawsze pewna górna granica mocy przesyłanej. Granica ta osiągnięta jest przy spełnieniu warunku:

$$\theta = \varphi_z$$

(maksimum mocy czynnej na końcu układu).

Powiększenie mocy przesyłanej w danym układzie może nastąpić jedynie przez jednoczesną zmianę napięcia na końcu i początku układu, względnie przez zmianę tylko jednego z napięć. Wszelka zmiana poza tym w kierunku zmniejszenia oporności \hat{Z} będzie zwiększała graniczną moc przesyłaną.

Podana powyżej metoda wyznaczania wykresu kołowego przez wyznaczenie położenia środków kół dla początku i końca układu oraz mocy na początku i końcu przy $\theta = 0$ może być, oczywiście, zastosowana nie tylko do wypadku, gdy jako schemat zastępczy przyjmujemy niesymetryczny Π , ale do każdego schematu zastępczego.

Tabl. V podaje dane dla kołowych wykresów pracy, które w zupełności wystarczają do ich wykreślenia.

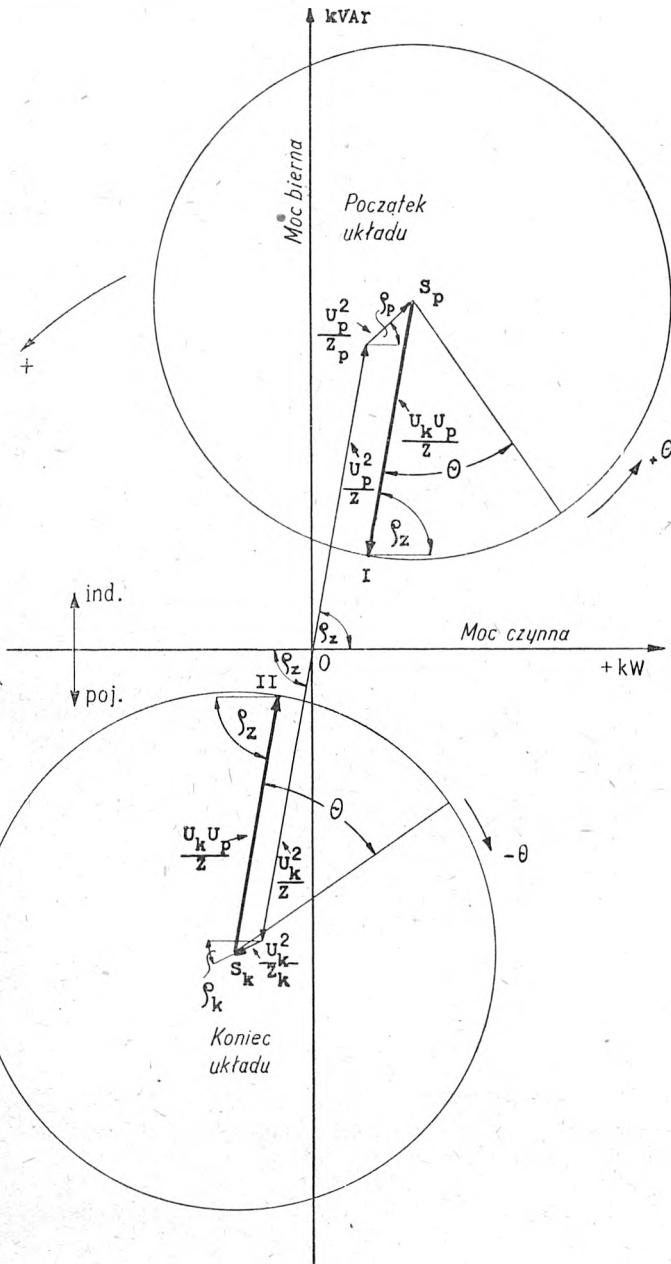
Jak już wspomniano, kołowe wykresy pracy w swej najogólniejszej formie mogą być również stosowane do zagadnień, związanych z rozrządem i rozdziałem mocy w sieciach zamkniętych.

Rozpływ mocy czynnej i bierniej w układzie zamkniętym może być rozpatrywany w trzech alternatywach.

łączonego w określonym miejscu sieci), przy którego pomocy możemy kierować rozplływem mocy.

4. Przykład.

Jako przykład zastosowania wykresu pracy do alternatywy 2), wymienionej w końcu poprzedniego rozdziału, rozpatrzmy współpracę elektrowni A i B w przypadku istnienia podstacji pośredniej C (rys. 14).



Rys. 12

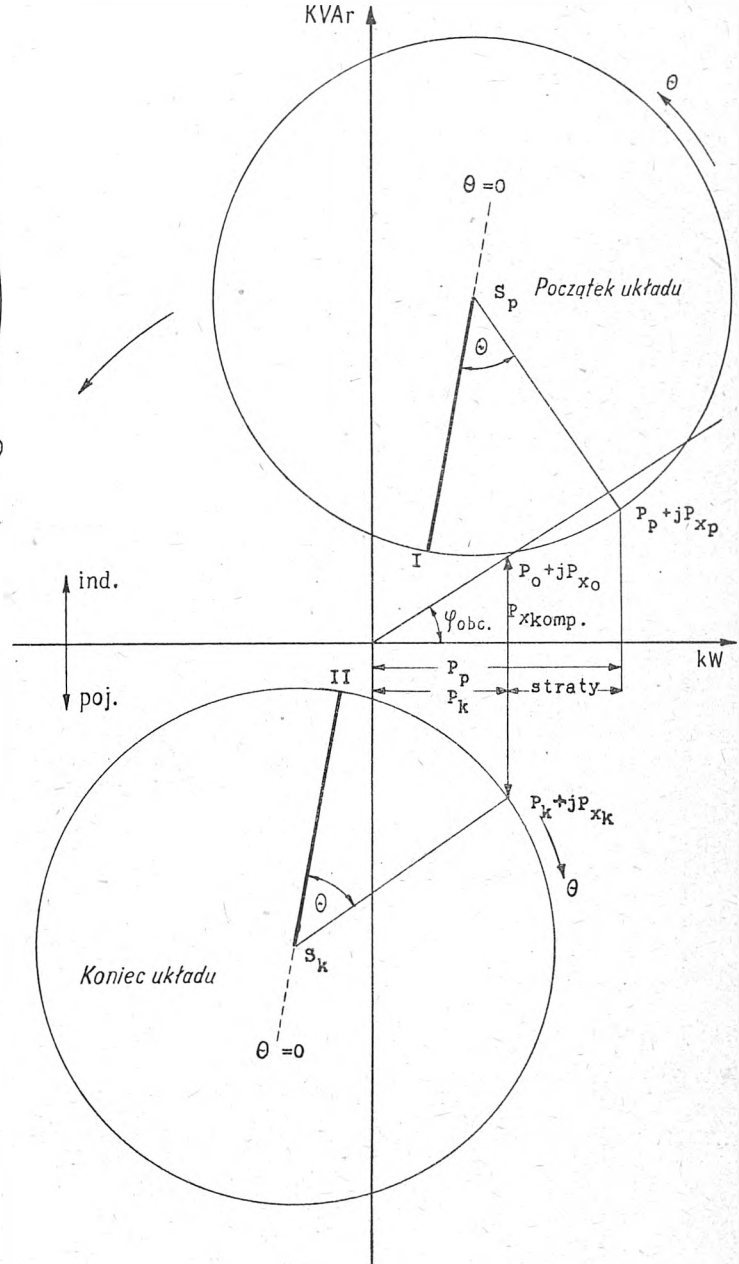
Na rysunku:

$$\overline{S_p I} = R_{po} \quad \overline{S_k II} = R_{ko}$$

1) Bezpośrednia współpraca elektrowni przy stałych napięciach na szynach zbiorczych. W tym przypadku pomijamy pozostałą część układu.

2) Współpraca elektrowni z podstacją pośrednią. Podstawowym zagadnieniem w takim układzie jest obliczenie napięcia na szynach podstacji lub też utrzymanie określonego napięcia na szynach podstacji w zależności od napięć na szynach elektrowni i rozplwywu mocy.

3) Rozpływ mocy w sieci zamkniętej. W układzie takim rozpatrujemy zazwyczaj zachowanie się transformatora regulacyjnego (tzw. poprzecznego, przy-



Rys. 13

Dane (według obliczeń autora wykonanych w Anglii):

Elektrownia A:

4 turbogeneratory o łącznej mocy	90 MVA
2 transformatory na 11/132 kV	po 45 MVA
oporność pozorna	12%
prąd magnesujący (132 kV)	9,6 A
straty w żelazie	160 kW
straty w miedzi przy pełnym obciążeniu	370 kW
obciążenie miejscowe	65 + j 40 MVA

Linia A — C:

132 kV, napowietrzna, dwutorowa
przewód typu SCC, przekrój 0,175", budowa 30/087
długość 45 mil ang.
przewód odgromowy, SCA, 19/110

Podstacja C:
 obciążenie miejscowe 30 + j 14 MVA
 Linia C — B (jak linia A—C)
 Elektrownia B:
 4 turbogeneratory o łącznej mocy 200 MVA
 2 transformatory 11/132 kV po 45 MVA
 (dane jak dla transformatorów elektrowni A)
 obciążenie miejscowe 160 + j 50 MVA
 Na podstawie powyższych danych można wyznaczyć oporności poszczególnych części układu przesyłowego A—B w odniesieniu do 132 kV.

Na obu odcinkach AC i CB pracuje tylko jeden tor o napięciu 132 kV. Dla uproszczenia obliczeń pomijamy prąd wzbudający transformatorów. Wówczas otrzymujemy schemat zastępczy według rys. 15.

Jako pierwszą alternatywę rozpatrzmy przypadek, gdy napięcie szyn zbiorczych podstacji C ma mieć określoną wartość. Zakładamy przy tym, że linią A—C ma być przesyłana moc czynna 8 MW, a więc moc czynna wytwarzana w elektrowni A wynosi 65 + 8 = 73 MW. Napięcie

Podstacja C:
 rozkład zasilania z elektrowni A i B.
 Elektrownia B:
 moc czynna i bierna przesyłana linią B—C,
 moc czynna i bierna wytwarzana w elektrowni.
 Dla obu odcinków doprowadzamy linię i transformator do schematu zastępczego w postaci niesymetrycznego □.

Kolejność uproszczeń przedstawiają rys. 16—18. Lewą część schematu zastępczego w postaci niesymetrycznego T zastępujemy układem niesymetrycznego □. Zgodnie z tabl. IV otrzymamy schemat zastępczy na rys. 17, gdzie:

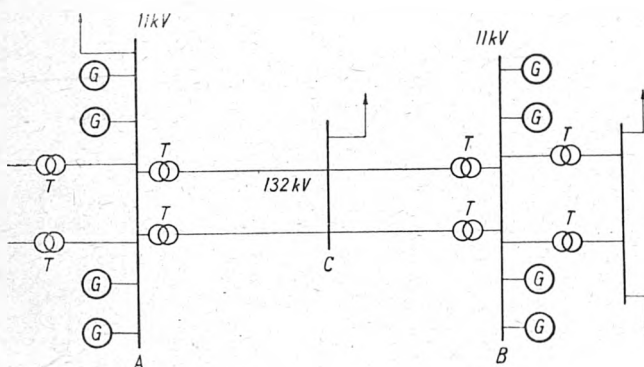
$$\hat{Z} = (3,2 + j46,5) + (11,2 + j30,6) + \frac{(3,2 + j46,5)(11,2 + j30,6)}{(-j10300)} = 14,34 + j76,97 = 78,31 e^{j79,45^\circ}$$

$$\hat{Z}_p = \frac{78,31 e^{j79,45^\circ} \cdot 10300 e^{-j90^\circ}}{32,57 e^{j69,9^\circ}} = 24800 e^{-j80,45^\circ} = 4092 - j24453$$

$$\hat{X} = \frac{78,31 e^{j75,45^\circ} \cdot 10300 e^{-j90^\circ}}{46,7 e^{j86,1^\circ}} = 17280 e^{-j56,65^\circ} = -1987 - j17159$$

Tablica V

Schemat zastępczy	Dla początku układu $P_p + j P_{xp}$		Dla końca układu $P_k + j P_{xk}$	
	Wektor do środka koła	Wektor promień koła	Wektor do środka koła	Wektor promień koła
Linia krótka	$\frac{ \hat{U}_p ^2}{ \hat{Z} ^2} \hat{Z}$	$-\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{j\theta}$	$-\frac{ \hat{U}_k ^2}{ \hat{Z} ^2} \hat{Z}$	$\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{-j\theta}$
□ symetryczne	$\left(\frac{\hat{Z}}{ \hat{Z} ^2} + \frac{1}{2} \check{Y}\right) \hat{U}_p ^2$	$-\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{j\theta}$	$-\left(\frac{\hat{Z}}{ \hat{Z} ^2} + \frac{1}{2} \check{Y}\right) \hat{U}_k ^2$	$\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{-j\theta}$
□ niesymetryczne	$\left(\frac{\hat{Z}}{ \hat{Z} ^2} + \frac{\hat{Z}_p}{ \hat{Z}_p ^2}\right) \hat{U}_p ^2$	$-\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{j\theta}$	$-\left(\frac{\hat{Z}}{ \hat{Z} ^2} + \frac{\hat{Z}_k}{ \hat{Z}_k ^2}\right) \hat{U}_k ^2$	$\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{Z} ^2} \cdot \hat{Z} e^{-j\theta}$
T	$\frac{(1 + \check{Z}_k \check{Y}) \hat{U}_p ^2}{\check{Z}_k + \check{Z}_p + \check{Y} \check{Z}_p \check{Z}_k}$	$-\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k e^{j\theta}}{\check{Z}_k + \check{Z}_p + \check{Y} \check{Z}_p \check{Z}_k}$	$-\frac{(1 + \check{Z}_p \check{Y}) \hat{U}_k ^2}{\check{Z}_k + \check{Z}_p + \check{Y} \check{Z}_p \check{Z}_k}$	$\frac{ \hat{U}_k \hat{U}_p e^{-j\theta}}{\check{Z}_k + \check{Z}_p + \check{Y} \check{Z}_p \check{Z}_k}$
$\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$	$\hat{B} \frac{\check{D}}{ \hat{B} ^2} \hat{U}_p ^2$	$-\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{B} ^2} \cdot \hat{B} e^{j\theta}$	$-\hat{B} \frac{\check{A}}{ \hat{B} ^2} \hat{U}_k ^2$	$\frac{ \hat{U}_p \hat{U}_k }{ \hat{B} ^2} \cdot \hat{B} e^{-j\theta}$



Rys. 14

na początku linii (w elektrowni A) zakładamy 132 kV, napięcie na podstacji C 125 kV.

Do wyznaczenia są następujące wielkości:

Elektrownia A:

moc bierna przesyłana linią A—C,
 moc bierna wytwarzana w elektrowni A.

Obliczamy obecnie oporność zastępczą dla obocznice połączonych oporności \hat{X} i $(-j10300)$:

$$\hat{Z}_k = \frac{-j10300}{\hat{X} - j10300} = 6451 e^{-j92,5^\circ} = -315 - j6443$$

Ostatecznie więc otrzymujemy schemat zastępczy w postaci niesymetrycznego □:

$$\hat{Z} = 14,34 + j76,97 = 78,31 e^{j75,45^\circ} \Omega$$

$$\hat{Z}_p = 4092 - j24453 = 24800 e^{-j80,45^\circ} \Omega$$

$$\hat{Z}_k = -315 - j6443 = 6451 e^{-j92,5^\circ} \Omega$$

Na podstawie powyższych danych sporządzamy wykres pracy dla odcinka A—C.

Dane dla początku odcinka (elektrownia A):

$$U_p = 132 \text{ kV} \quad U_k = 125 \text{ kV}$$

Współrzędne środka koła:

$$\overline{OS}_p = \left(\frac{\hat{Z}}{|\hat{Z}|^2} + \frac{\hat{Z}_p}{|\hat{Z}_p|^2}\right) |\hat{U}_p|^2 = 222,85 e^{j79,3^\circ} = 41,38 + j218,97 \text{ MVA}$$

Wektor promień dla $\theta = 0$:

$$\hat{R}_{po} = - \left(\frac{\hat{U}_p |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|^2} \right) \hat{Z} = -210,95 e^{j 79,45^\circ} = -38,6 - j 207,36 \text{ MVA}$$

Moc dostarczona na początku układu przy $\theta = 0$:

$$\hat{P}_{zpo} = \overline{OS}_p + \hat{R}_{po} = 2,78 + j 11,61 \text{ MVA}$$

Dane dla końca odcinka (podstacja C):

$$U_p = 132 \text{ kV} \quad U_k = 125 \text{ kV}$$

Współrzędne środka koła:

$$\overline{OS}_k = - \left(\frac{\hat{Z}}{|\hat{Z}|^2} + \frac{\hat{Z}_k}{|\hat{Z}_k|^2} \right) |\hat{U}_k|^2 = -197,52 e^{j 79,2^\circ} = -37,02 - j 194,01 \text{ MVA}$$

Wektor promień dla $\theta = 0$:

$$\hat{R}_{ko} = \frac{|\hat{U}_p| |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|^2} \hat{Z} = 38,6 + j 207,36 \text{ MVA}$$

Moc na końcu układu przy $\theta = 0$:

$$\hat{P}_{zko} = \overline{OS}_k + \hat{R}_{ko} = 1,58 + j 13,35 \text{ MVA}$$

Wykres pracy dla odcinka A—C przedstawia rys. 19. Przesyłowi mocy 8 MW (na początku odcinka w elektrowni A) odpowiada jednocześnie moc bierna, wynosząca 10,9 kVAR (z wykresu). Temu samemu kątowi na części wykresu dla początku odcinka odpowiada na części wykresu dla końca odcinka (z dokładnością odczytu) moc $7 + j 11,8$ kVA.

Analogiczny wykres sporządzamy obecnie dla części B—C, traktując podstację C jako koniec układu (rys. 20). W tym wypadku napięcie na początku, a więc w elektrowni B nie jest znane i należy je wyznaczyć z wykresu pracy dla podstacji C (koniec odcinka).

Napięcie to wyznaczamy, obliczając promień koła, które odpowiada końcowi odcinka B—C układu. Obliczenie to wykonywamy na podstawie znanego położenia środka tego koła oraz znanej wartości mocy, którą dostarcza elektrownia B do podstacji C. Moc ta jest uzupełnieniem mocy, dostarczanej do podstacji C przez elektrownię A.

Wykonanie wykresu pracy dla odcinka C—B wymaga poprzedniego wyznaczenia napięcia na szynach zbiorczych

współrzędne punktu na kole dla końca odcinka C—B (moc dostarczona z elektrowni B),

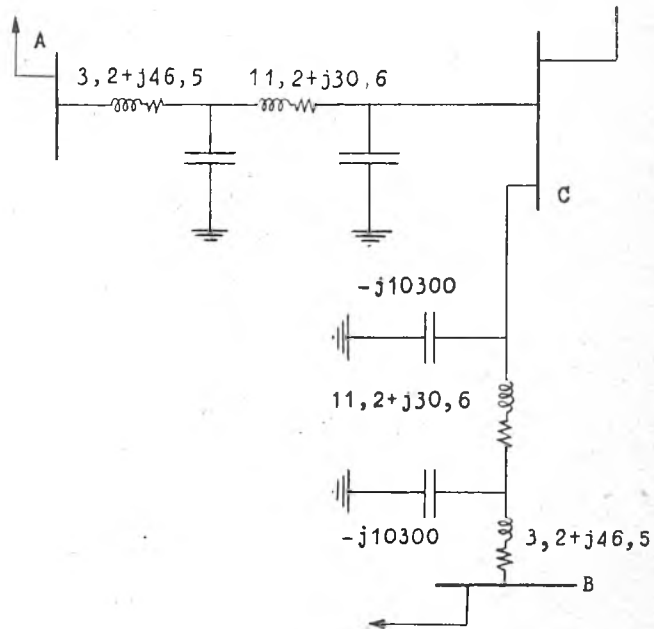
$$23 + j 2,2 \text{ MVA.}$$

Z wykresu na rys. 20 odczytujemy promień koła

$$|\hat{R}_k| = \frac{|\hat{U}_p| |\hat{U}_k|}{|\hat{Z}|} = \frac{125 |\hat{U}_p|}{78,31} = 205,8 \text{ MVA};$$

stąd

$$|\hat{U}_p| = 129 \text{ kV.}$$



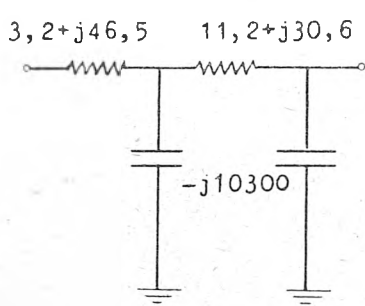
Rys. 15

Wyznaczamy obecnie wektor promień koła dla końca odcinka przy $\theta = 0$:

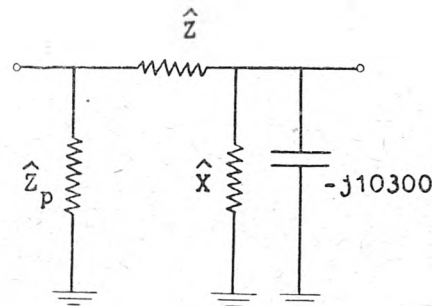
$$\hat{R}_{ko} = 205,8 e^{j 76,45^\circ} = 37,6 + j 202,3 \text{ MVA};$$

stąd

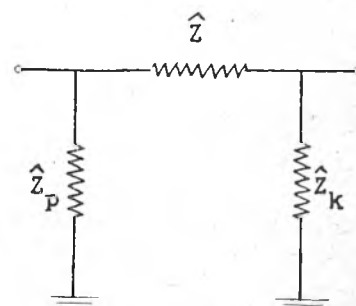
$$\hat{P}_{zko} = 0,58 + j 8,3 \text{ MVA.}$$



Rys. 16



Rys. 17



Rys. 18

elektrowni B na podstawie już przytoczonych wyżej oraz następujących danych:

1) napięcie na szynach podstacji 125 kV, jako napięcie na końcu odcinka linii CB,

2) moc na podstacji C, otrzymywana z elektrowni B, jako różnica mocy obciążenia miejscowego na podstacji oraz mocy, otrzymywanej z elektrowni A:

obciążenie miejscowe	30 + j14 MVA
dostarczone z elektrowni A	7 + j11,8 MVA
dostarczone z elektrowni B	23 + j 2,2 MVA

Stąd otrzymujemy:

współrzędne środka koła dla końca odcinka linii C—B, czyli dla podstacji C

$$\overline{OS}_k = - \left(\frac{\hat{Z}}{|\hat{Z}|^2} + \frac{\hat{Z}_k}{|\hat{Z}_k|^2} \right) |\hat{U}_k|^2 = -197,52 e^{j 79,2^\circ} = -37,02 - j 194,01 \text{ MVA};$$

Dla początku odcinka linii B—C, a więc dla elektrowni B, otrzymujemy

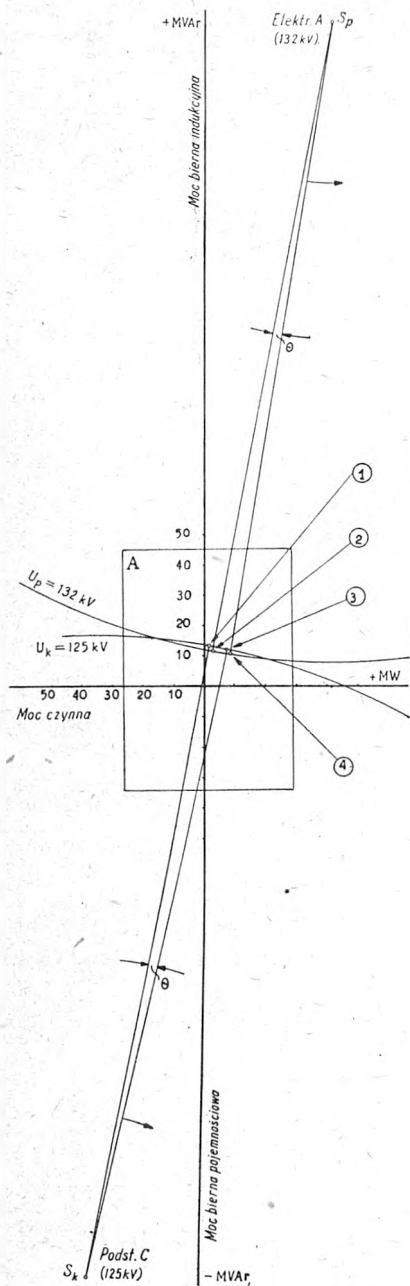
$$\overline{OS}_p = 222,85 \left(\frac{129}{132} \right)^2 e^{j 79,3^\circ} = 212,15 e^{j 79,3^\circ} = 39,46 + j 208,45 \text{ MVA};$$

stąd

$$\hat{R}_{po} = -37,6 - j 202,3, \quad \hat{P}_{zpo} = 1,86 + j 6,15 \text{ MVA.}$$

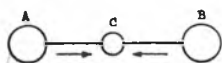
Na kole dla początku linii B—C znajdujemy punkt, odpowiadający punktowi $23 + j 2,2$ MVA na kole dla końca i otrzymujemy, że moc zasilania podstacji C przez elektrownię B wynosi

$$25,5 + j 3,5 \text{ MVA.}$$

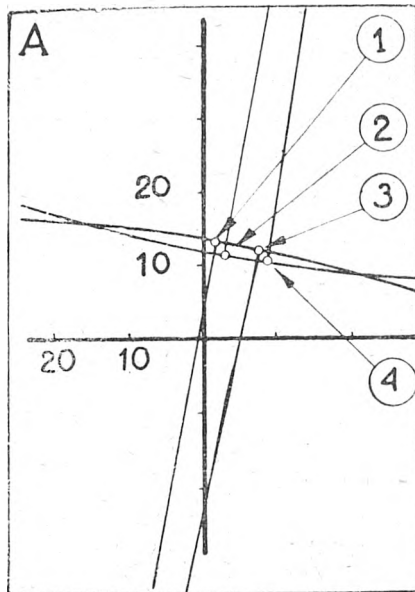


Rys. 19. Wykres pracy dla linii A—C

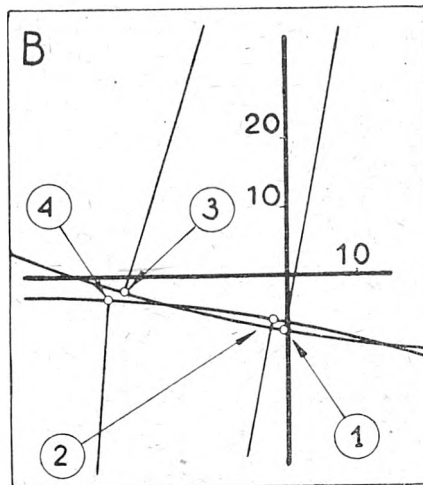
- Oznaczenia:
- 1 Moc na końcu linii dla $\theta = 0$
 - 2 Moc na początku linii dla $\theta = 0$
 - 3 Moc zasilania podstacji C z elektrowni A
 - 4 Moc przesyłana linią AC z elektrowni A
 - S_p Środek koła dla początku linii w elektrowni A (132 kV)
 - S_k Środek koła dla końca linii w podstacji C (125 kV)



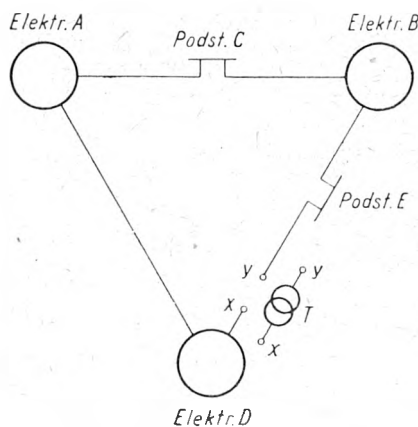
Schemat ogólny do rys. 19 i 20



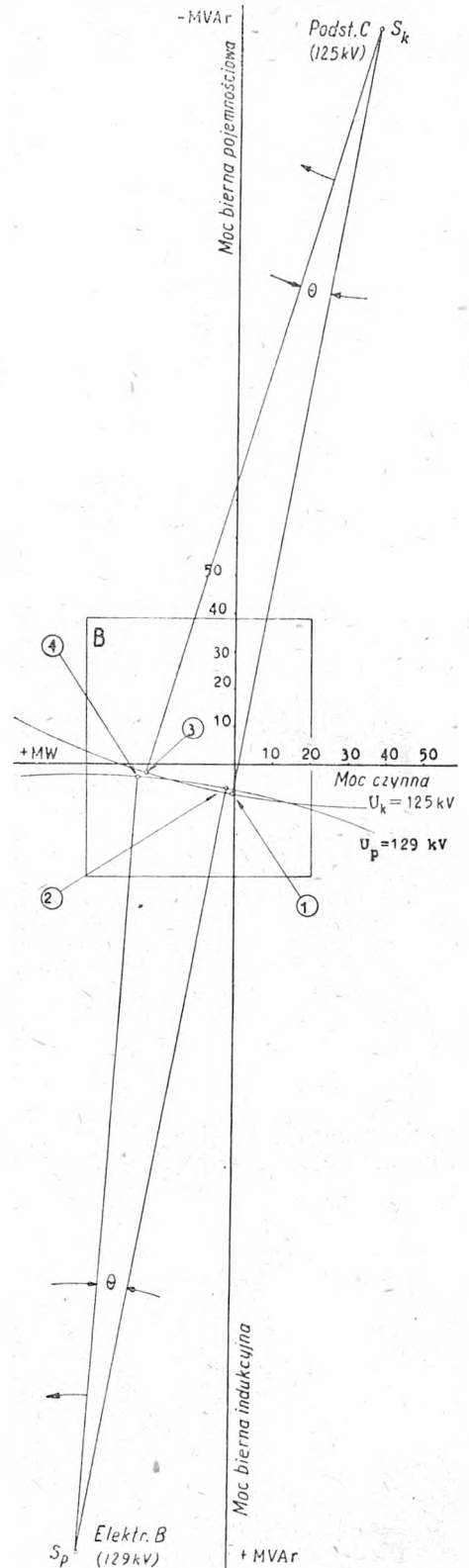
Rys. 19a. Wycinek z rys. 19 w większej skali



Rys. 20a. Wycinek z rys. 20 w większej skali



Rys. 21



Rys. 20. Wykres pracy dla linii B—C

- Oznaczenia:
- 1 Moc na końcu linii dla $\theta = 0$
 - 2 Moc na początku linii dla $\theta = 0$
 - 3 Moc zasilania podstacji C z elektrowni B
 - 4 Moc przesyłana linią BC z elektrowni B
 - S_k Środek koła dla końca linii na podstacji C (125 kV)
 - S_p Środek koła dla początku linii w elektrowni B (129 kV)

Ostatecznie więc otrzymujemy:

Elektrownia A
 moc przesyłana linią A—C 8+j 10,9 MVA,
 moc wytwarzana 73+j 50,9 MVA.

Podstacja C
 zasilanie z elektrowni A 7+j 11,8 MVA,
 zasilanie z elektrowni B 23+j 2,2 MVA.

Straty w linii A—C
 1 MW i 0,9 kVAR (pojemnościowe).

Elektrownia B
 moc przesyłana linią B—C 25,5+j 3,5 MVA,
 moc wytwarzana w elektrowni 185,5+j 53,5 MVA,
 napięcie na szynach 129 kV.

Straty w linii B—C
 2,5 MW i 1,3 kVAR (indukcyjne).

U w a g i k o ń c o w e. Współpracę elektrowni A i B przy określonym obciążeniu na podstacji C, według powyższego przykładu, można również rozpatrywać przy innym założeniu, a mianowicie przy ustalonych napięciach na szynach obu elektrowni, oraz założonym rozdziale zaopatrzenia podstacji C w moc czynną. Założenia takie wymagają jednak — ze względu na określoną wielkość mocy biernej, odbieranej z podstacji C — dopasowania drogą kilkakrotnie powtórzonych prób rozdziału pomiędzy obie elektrownie zaopatrzenia podstacji w moc bierną.

W takim wypadku pożyteczne jest sporządzenie wykresu, przedstawiającego zależność mocy biernej, dostarczanej do podstacji, od napięcia na szynach podstacji.

Założony obecnie, że sieć, składająca się z elektrowni A i B oraz podstacji C, zostaje rozbudowana w ten sposób, że powstaje pierścień zamknięty. Zachowanie pewnego określonego rozprywu mocy w całej sieci zamkniętej

wymaga określenia przekładni zespolonej wektorowej transformatora T przez sporządzenie właściwego wykresu pracy.

Przekładnia ta może być wyznaczona dla dowolnego rozprywu mocy, a więc w szczególności dla przepływu jednostronnego.

W ten sposób możemy ustalić taki zakres zmienności przekładni transformatora (rys. 21), że unikniemy prądów wyrównawczych, których obecność w sieci zamkniętej jest ze wszechmiar niepożądana.

Posługujemy się w tym wypadku ważną zasadą, której podlega rozpryw mocy w każdej sieci, a więc również zamkniętej. Mianowicie, jeżeli napięcie na szynach zbiorczych elektrowni A, B i D oraz prędkość maszyn wirujących będą stałe, to przepływ jakiegokolwiek mocy linią D—B, określony przekładnią transformatora T, nie wpływa w żaden sposób na przepływ mocy w pozostałej części zamkniętego pierścienia.

LITERATURA

- Westinghouse. Electrical Transmission and Distribution Reference Book, 1944
 H. Waddicor. Electric Power Transmission. Chapman and Hall, 1946
 A. T. Starr. Generation, Transmission and Utilization of Electrical Power. Pitman, 1945
 W. W. Lewis. Transmission Line Engineering. Mc Graw Hill Book Co., 1928
 S. Konecnykowski. Wykres kołowy układu elektroenergetycznego i jego zastosowanie. Przegl. Elektr., 1947, z. 1/2, str. 2
 C. L. Fortescue, C. F. Wagner. Some Theoretical Consideration of Power Transmission. A. I. E. E. Transactions, 1924 (t. 43)
 R. D. Evans, H. K. Sels. Power Limitations of Transmission Systems. A. I. E. E. Transactions, 1924 (t. 43)
 E. B. Shand. The Limitations of Output of a Power System Involving Long Transmission Lines. A. I. E. E. Transactions, 1924 (t. 43)

INŻ. M. WILAND

Wykreślne wyznaczanie spadków napięcia w sieci przesyłowej*)

Tręść. Jednorazowe sporządzenie pewnej liczby stosunkowo prostych wykresów dla istniejących w danym okręgu linii i transformatorów przesyłowych pozwala bardzo szybko i z dostateczną dla praktyki dokładnością wyznaczać spadki oraz bezwzględna wartość napięcia, a także i stratę mocy w interesujących nas częściach sieci. Ta sama metoda ułatwia nam ponadto rozwiązywanie szeregu zagadnień, dotyczących kompensacji linii najwyższych napięć i rozprywu prądu w gałęziach równoległych.

Графическое определение падений напряжения в сетях для передачи электрической энергии. Построение один раз определенного числа сравнительно простых диаграмм для существующих в данном районе линий и трансформаторов для передачи энергии позволяет быстро и с достаточной для практики точностью определять падение напряжения, а также абсолютное значение напряжения и потери мощности в интересующих нас частях сети. Этот же метод облегчает нам решение ряда вопросов, относящихся к компенсации и распределению токов в сетях очень высоких напряжений.

Voltage regulation diagrams for transmission lines. The construction of a certain number of comparatively simple master diagrams for transmission lines and transformers in existence in any particular district provides the means for rapid and, for practical purposes, sufficiently accurate determination of voltage drop and of absolute voltage value, as well as of power loss in any particular section of the system. This same method also facilitates solution of a number of problems pertaining to voltage control in high tension lines and to the power distribution in parallel lines.

Détermination graphique des chutes de tension dans le réseau de transport. L'établissement en une fois d'un certain nombre de graphiques relativement simples pour les lignes et transformateurs de transport existants dans une région donnée permet de déterminer rapidement et avec une précision suffisante dans la pratique, les chutes et les valeurs absolues de la tension, ainsi que les pertes de puissance dans les parties du réseau qui nous intéressent. Cette même méthode permet de plus de résoudre un certain nombre de problèmes se rapportant à la compensation des lignes à très hautes tensions et au partage du courant dans des dérives parallèles.

1. Wstęp.

Przy prowadzeniu ruchu sieci częstokroć istnieje potrzeba szybkiego określenia spadków napięcia, występujących na poszczególnych odcinkach sieci. Pozostaje to w związku z dążeniem do zmniejszenia wahań napięcia, co staramy się osiągnąć przez odpowiednią regulację wzbudzenia generatorów, właściwe nastawienie transformatorów regulacyjnych, kompensację prądów biernych, bądź przez różne manipulacje łączeniowe, wpływające na zmianę rozprywu prądów w sieci. Ażeby w zmiennych warunkach sieciowych wydawać najbardziej celowe dyspozycje, zmierzające do zmniejszenia wahań napięcia, trzeba sobie dobrze zdawać sprawę z wielkości spadków napięcia, które przy tych czy innych obciążeniach mogą wystąpić na rozpatrywanych odcinkach sieci. Owe spadki napięcia decydują bardzo często o zdolności przesyłowej pewnej linii, zwłaszcza przy większej jej długości, gdyż ograniczają moc przesyłaną bardziej, aniżeli dopuszczalny

prąd przekładników prądowych, kabli i innych elementów urządzenia. Określenie tych spadków napięć za pomocą ruchów rachunkowych nie jest dla inżyniera czy technika ruchowego dogodnym rozwiązaniem, gdyż zazwyczaj na taki rachunek brak jest czasu, a nadto wymaga to znajomości danych technicznych poszczególnych linii i odpowiednich wzorów obliczeniowych. Dlatego w praktyce najczęściej szacuje się poszukiwane spadki napięcia „na oko”, opierając się np. na porównaniu z podobnymi — obliczonymi lub zmierzonymi przedtem — przykładami. Szacunek taki nie może, oczywiście, dawać dokładniejszych rezultatów, a nieraz wprowadza nawet bardzo znaczne błędy. Błędów tych unikniemy, posługując się opisaną niżej metodą, pozwalającą wyznaczyć spadki napięcia dla dowolnych wartości obciążenia w sposób prosty i szybki, a jednocześnie z wystarczającą do celów praktycznych dokładnością.

Metoda polega na uprzednim sporządzeniu dla każdego odcinka linii przesyłowej stosunkowo prostego wykresu, zawierającego między innymi dwie wzajemnie prostopadłe osie współrzędnych. Na jednej z tych osi odkładamy moc czynną, na drugiej — moc bierną. Dla dowolnych warto-

*) Artykuł podaje przystosowanie do bezpośredniego użytku praktyki ruchowej jednego fragmentu teorii, którą w ogólnej formie zawiera m. inn. zamieszczona wyżej praca inż. Z. Skoczyńskiego. (Przyp. red.)

ści mocy czynnej i biernej możemy wyznaczyć wprost z wykresu wartości spadku napięcia, straty napięcia i rozchylenia wektorów napięcia na początku i końcu rozpatrywanego odcinka linii. Najczęściej interesuje nas tylko spadek napięcia i wówczas nie potrzebujemy rysować pełnego wykresu, a więc możemy zmniejszyć znacznie jego wymiary. Ponadto do wyznaczenia spadku napięcia nie trzeba rysować żadnych linii ani znaków lub uzupełnień na raz sporządzonym wykresie — wystarczy tylko przyłożyć miarkę i odczytać długość odpowiedniego odcinka, a gdy wykres wykonany jest na papierze milimetrowym, nawet i ta czynność jest zbędna, gdyż gotowy wynik odczytujemy bezpośrednio z wykresu.

2. Wzory pomocnicze, objaśniające konstrukcję wykresów.

W celu wyjaśnienia sposobu budowania wykresu wprowadzimy kilka wzorów pomocniczych.

Weźmy pod uwagę odcinek linii trójfazowej o oporności czynnej R w omach i biernej indukcyjnej $X = \omega L$ w omach (pojemności i upływności na razie dla uproszczenia nie uwzględniamy), obliczonych na jeden przewód. Niech napięcie międzyprzewodowe na końcu odcinka wynosi U w kilowoltach, moc czynna trójfazowa zmierzona w tymże punkcie — P_w w megawatach, moc bierna trójfazowa — P_b w megawarach, napięcie międzyprzewodowe na początku odcinka — U_1 w kilowoltach, międzyprzewodowy spadek napięcia

$$\Delta U = U_1 - U$$

w kilowoltach. Równocześnie przyjmujemy, że wzdłuż odcinka odbiorów nie ma.

Oznaczmy dalej oporność pozorną odcinka linii na jeden przewód przez Z , moc pozorną na końcu odcinka przez P , a natężenie prądu przez I o składowych: I_w w kierunku napięcia U oraz I_b prostopadle do niego. Przy wielkościach fazowych dodawać będziemy dla odróżnienia znaczków f .

Wprowadzając następnie wielkości wektorowe i rachunek symboliczny, oznaczmy międzyprzewodową stratę napięcia przez

$$\delta \hat{U} = \hat{U}_1 - \hat{U}$$

oraz przyjmijmy kierunek wektora napięcia fazowego \hat{U} na końcu odcinka za podstawowy (wyjściowy). W ten sposób otrzymamy:

$$\text{stratę napięcia} \quad \delta \hat{U}_f = \hat{I}\hat{Z} \quad (1)$$

$$\text{moc pozorną na fazę} \quad \hat{P}_f = \hat{U}_f \hat{I} = U_f \hat{I} \quad (2)$$

Wprowadzając do wzoru (1) wartość \hat{I} uzyskaną ze wzoru (2) otrzymamy:

$$\begin{aligned} \delta \hat{U}_f &= \frac{\hat{P}_f \hat{Z}}{U_f} = \frac{(P_{wf} - jP_{bf})(R + jX)}{U_f} = \\ &= \frac{(P_{wf} R + P_{bf} X) + j(P_{wf} X - P_{bf} R)}{U_f} \quad (3) \end{aligned}$$

Mnożąc $\delta \hat{U}_f$ przez $\frac{100\%}{U_f}$ otrzymamy stratę napięcia wyrażoną w %:

$$\frac{\delta \hat{U}_f}{U_f} \cdot 100\% = \frac{(P_{wf} R + P_{bf} X) + j(P_{wf} X - P_{bf} R)}{U_f^2} \cdot 100\% \quad (4)$$

Oczywiście, ta sama procentowa strata napięcia wystąpi w odniesieniu do napięcia międzyprzewodowego. Możemy zatem napisać:

$$\frac{\delta \hat{U}}{\hat{U}} \cdot 100\% = \frac{(P_w R + P_b X) + j(P_w X - P_b R)}{U_f^2} \cdot 100\% \quad (5)$$

Ale

$$\frac{P_w}{P_{wf}} = \frac{P_b}{P_{bf}} = 3 = \frac{U^2}{U_f^2} \quad (6)$$

skąd

$$\frac{\delta \hat{U}}{\hat{U}} = \frac{(P_w R + P_b X) + j(P_w X - P_b R)}{U^2} \quad (7)$$

Jeżeli przyjmiemy kierunek wektora napięcia międzyprzewodowego \hat{U} na końcu odcinka linii jako podstawowy, to wektor międzyprzewodowej straty napięcia $\delta \hat{U}$ mieć będzie postać następującą:

$$\delta \hat{U} = \frac{(P_w R + P_b X) + j(P_w X - P_b R)}{U} = \frac{\hat{P}\hat{Z}}{U} \quad (8)$$

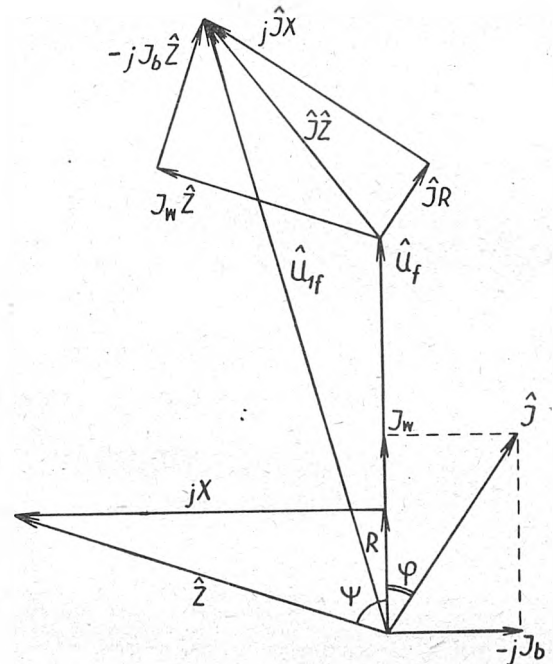
Pierwsza forma wzoru (8) nadaje się do arytmetycznego wyznaczenia spadku napięcia ΔU , druga — do geometrycznego.

Jeżeli wyrażenie $\frac{P_w X - P_b R}{U}$ będzie małe, np. nie większe od 0,1 U , co w praktyce bywa najczęściej, to spadek napięcia można wyrazić w przybliżeniu:

$$\Delta U \cong \frac{P_w R + P_b X}{U} \quad (9)$$

Wzór ten wskazuje, że spadek napięcia zależy jest liniowo zarówno od mocy czynnej jak i biernej. Wzór ten jest znacznie prostszy od wzorów, zawierających $\cos \varphi$ zamiast mocy biernej, i w razie bezpośredniego pomiaru mocy biernej pozwala na dokładniejsze wyznaczenie spadku napięcia niż przy korzystaniu z pomiaru $\cos \varphi$.

Druga postać wzoru (8) zbliżona jest formą do wzoru (1). We wzorze (1) wektor fazowej straty napięcia przed-



Rys. 1

stawiony jest jako iloczyn dwóch wektorów — wektora prądu i wektora oporności pozornej, we wzorze (8) zamiast wektora prądu mamy wektor zastępczy w postaci ilorazu wektora mocy pozornej \hat{P} i napięcia międzyprzewodowego \hat{U} .

3. Uzasadnienie konstrukcji wykresów.

W ujęciu graficznym (rys. 1) wzoru (1) obieramy za zwyczaj kierunek wektora podstawowego \hat{U}_f , a następnie wykreślamy wektor prądu \hat{I} . Z kolei od końca wektora \hat{U}_f równoległe do wektora \hat{I} wykreślamy składową $\hat{I}R$ straty napięcia w oporze czynnym, a dalej prostopadle do niej składową $\hat{I}X$ straty napięcia w oporze biernym (indukcyjnym). W ten sposób otrzymujemy wektory: $\hat{I}\hat{Z}$ jako stratę napięcia oraz \hat{U}_{1f} jako napięcie na początku linii.

Identyczny rezultat otrzymamy sporządzając wykres jeszcze inaczej. Ponieważ wektor $\hat{I}\hat{Z}$ straty napięcia powstaje jako iloczyn dwóch wektorów, możemy zmienić porządek operacji nad tymi wektorami. W tym celu wykreślamy kierunek wektora $\hat{Z} = R + jX$ analogicznie do wektora $\hat{I} = I_w - jI_b$. Potem od końca wektora \hat{U}_f równoległe do wektora \hat{Z} wykreślimy składową $I_w \hat{Z}$ straty napięcia od prądu czynnego, a dalej prostopadle do niej składową $-jI_b \hat{Z}$ straty napięcia od prądu biernego. Oczywiście, wypadkowa $\hat{I}\hat{Z}$ straty napięcia musi pozostać ta sama co

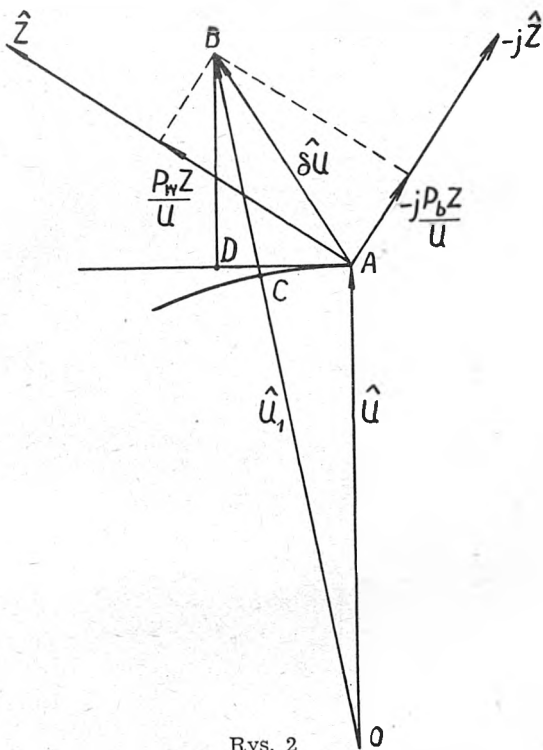
przy poprzedniej konstrukcji. Wynika to chociażby z rozwinięcia analitycznego:

$$\delta \hat{U}_f = \hat{I} \hat{Z} = (I_w - j I_b)(R + j X) = \hat{I} R + j \hat{I} X = I_w \hat{Z} - j I_b \hat{Z} \quad (10)$$

Tę samą metodę zastosujemy do graficznego ujęcia wzoru (8), który przekształcimy analogicznie:

$$\delta \hat{U} = \frac{\hat{P} \hat{Z}}{U} = \frac{(P_w - j P_b)(R + j X)}{U} = \frac{P_w \hat{Z} - j P_b \hat{Z}}{U} \quad (11)$$

Celem uproszczenia konstrukcji po wykreśleniu wektora podstawowego \hat{U} (rys. 2) od końca tego wektora rysujemy kierunek wektora \hat{Z} oraz prostopadle do niego kierunek $-j\hat{Z}$. Traktując iloraz $\frac{Z}{U}$ jako pewien współczynnik proporcjonalności, odkładamy w odpowiedniej skali na osi \hat{Z} wartości mocy czynnej P_w , na osi $-j\hat{Z}$ wartości mocy bierniej P_b . Otrzymamy w ten sposób składowe straty napięcia od mocy czynnej i od mocy bierniej.



Rys. 2

Wypadkowa ich będzie, oczywiście, całkowitą stratą napięcia $\delta \hat{U}$. Stąd mamy od razu wektor napięcia \hat{U}_1 na początku odcinka, równy sumie geometrycznej wektorów \hat{U} i $\delta \hat{U}$. Spadek napięcia ΔU znajdziemy, zataczając z punktu O łuk o długości wektora \hat{U} do przecięcia w punkcie C z wektorem \hat{U}_1 . Odcinek B C będzie miarą spadku napięcia ΔU .

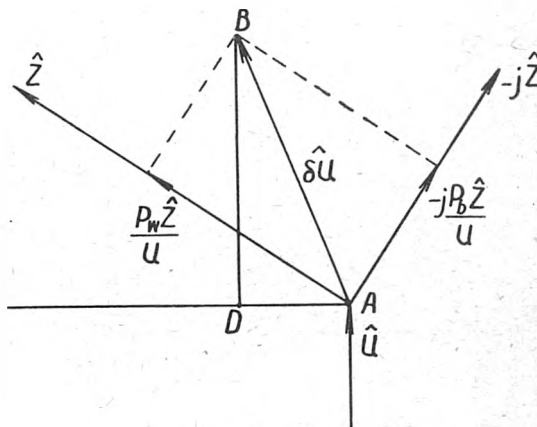
Ponieważ w normalnych zastosowaniach strata napięcia δU jest niewielka w porównaniu z napięciem U , możemy nie popełniając większego błędu* dokonać dalszego uproszczenia konstrukcji. Zamiast łuku wyprowadzamy mianowicie z punktu A prostopadłą do wektora \hat{U} aż do przecięcia w punkcie D w wykreślonej z punktu B równoległą do wektora \hat{U} . Otrzymana przybliżona wartość spadku napięcia $\Delta U = BD$ równa jest, jak łatwo się przekonać, wartości spadku napięcia, wyrażonej analitycznie we wzorze (9).

4. Dobór skali dla wykresów.

Dzięki dokonaniu uproszczenia zmniejszamy równocześnie znacznie rozmiary wykresu (rys. 3), który ogra-

* Wielkość błędu zależy od stosunku poprzecznego spadku napięcia (składowa δU prostopadła do U czyli $P_w X - P_b R$) do całkowitego napięcia. Gdy stosunek ten wynosi 5%, błąd nie przekracza 0,125% pełnego napięcia, dla 10% nie przekracza odpowiednio 0,5%, dla 20% — 1,95%. Opisane przybliżenie możemy zatem stosować nawet przy 10-procentowym poprzecznym spadku napięcia; przy większym lepiej odmierzać spadek napięcia do łuku, biorąc odcinek BC zamiast BD.

nicza się tylko do górnej części wykresu poprzedniego. Dla określonego odcinka linii możemy, pomijając zmienne warunki temperatury i związaną z tym zmianę oporności przewodów, uznać oporność Z za stałą. Również występującą we wzorze na spadek napięcia wartość napięcia U można przyjąć jako stałą, równą np. napięciu znamionowemu lub napięciu najczęściej występującemu w linii. Dla obliczonych w ten sposób wartości spadku napięcia



Rys. 3

możemy zresztą w razie potrzeby obliczyć odpowiednie poprawki na temperaturę i różnicę napięć. Na ogół jednak tak wielka ścisłość nie jest w praktyce potrzebna.

Przy ustalonych dla rozpatrywanego odcinka linii wartościach Z oraz U możemy na naszym wykresie narysować osie \hat{Z} i $-j\hat{Z}$ oraz ustalić skalę dla mocy. Skala ta winna być tak dobrana, aby odczyt wielkości spadku napięcia był możliwie najłatwiejszy. Załóżmy np., że chcemy, aby 1 kV odpowiadał a mm, i znajdziemy skalę dla mocy, tzn. liczbę b mm, przypadającą na 1 MW.

Jak łatwo sprawdzić, jednostki kV, Ω i MW we wzorze $\delta U = \frac{PZ}{U}$ przyjęte są właściwie, gdyż

$$10^3 \text{ (V)} = \frac{10^6 \text{ (W)} \cdot 1 \text{ (}\Omega\text{)}}{10^3 \text{ (V)}}$$

Zostawiając czynnik stały po jednej stronie otrzymujemy:

$$\frac{\delta U}{P} = \frac{Z}{U} \quad (12)$$

$$\text{ale } \delta U \text{ (kV)} \cdot a \left(\frac{\text{mm}}{\text{kV}} \right) = P \text{ (MW)} \cdot b \left(\frac{\text{mm}}{\text{MW}} \right) \quad (13)$$

$$\text{wobec czego } b = \frac{\delta U}{P} \cdot a = \frac{Z \cdot a}{U} \left(\frac{\text{mm}}{\text{MW}} \right) \quad (14)$$

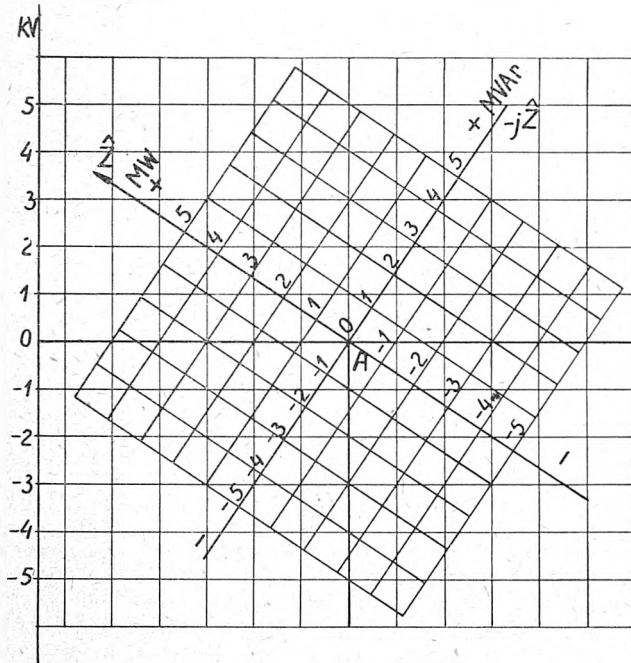
Po wykreśleniu osi \hat{Z} i $-j\hat{Z}$ nanosimy na nich obliczoną skalę dla mocy. Na osi \hat{Z} odkładamy będziemy moce czynne, na osi $-j\hat{Z}$ moce biernie. By ułatwić sobie późniejsze wyznaczenie wypadkowej straty napięcia, na osiach tych budujemy siatkę w sposób wskazany na rys. 4. Po jednej stronie punktu A na osi mocy czynnych w kierunku wektora \hat{Z} odkładamy moce dodatnie, tj. pobierane z danego odcinka linii, po drugiej — moce ujemne, czyli oddawane do rozpatrywanego odcinka. Analogiczne moce indukcyjne, pobierane z odcinka, odkładamy będziemy jako dodatnie moce po stronie wektora $-j\hat{Z}$, moce zaś indukcyjne oddawane, jako ujemne moce biernie, po stronie przeciwnej.

Gdybyśmy zamiast mocą bierną chcieli operować współczynnikiem mocy $\cos \varphi$, to z punktu A musielibyśmy wykreślić pęk prostych, tworzących odpowiednie kąty φ z wektorem \hat{Z} . By nie zaciemniać rysunku, lepiej wówczas nie rysować skali dla mocy bierniej, lecz spośród prostych pęku wykreślić tylko kilka, odpowiadających głównym podziałkom mierników $\cos \varphi$. Ilustruje to najlepiej rys. 5.

Posługiwanie się $\cos \varphi$ jest jednak na ogół znacznie mniej dogodnie niż korzystanie z mocy bierniej. W tym ostatnim przypadku dzięki skali proporcjonalnej unikamy błędów interpolacji, a ponadto ułatwiamy sobie przeprowadzenie bilansu mocy, co jest nader ważne przy badaniu

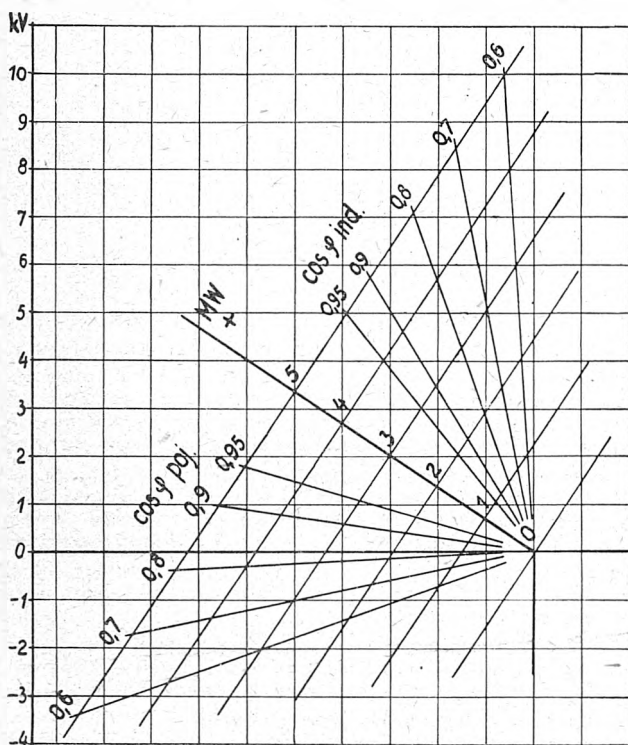
rozplywu prądów i spadków napięć w bardziej złożonych układach sieciowych.

Z konstrukcji wykresu uproszczonego (rys. 3) wynika, że przy zmianie kierunku przepływu prądu o 180° nie zmieni się wartość spadku napięcia, a zmieni się jedynie



Rys. 4

znak. Dzięki temu zamiast rysować pełny wykres, jak na rys. 5, zawierający wszystkie kąty φ od -180° do $+180^\circ$, wystarczy narysować jedynie połowę, odpowiadającą dodatnim mocom czynnym, tj. kątom φ od -90° do $+90^\circ$, przez co zmniejszamy jeszcze bardziej rozmiary wykresu. By ułatwić odczytywanie wartości spadku na-



Rys. 5

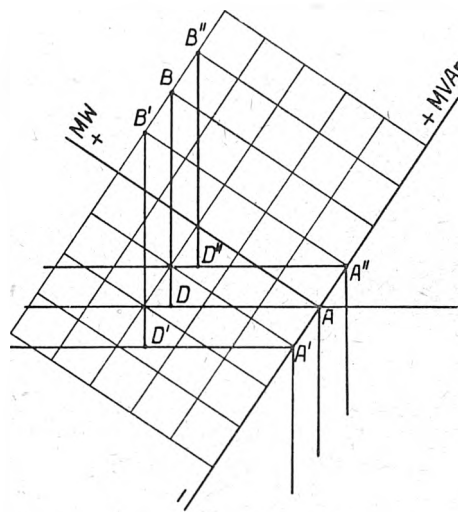
pięcia, korzystnie jest sporządzić wykres na papierze milimetrowym tak, aby kierunek napięcia \vec{U} zgodny był z kierunkiem siatki milimetrowej. W ten sposób do posługiwania się wykresem nie potrzebujemy używać żadnych przyborów. Jeszcze lepiej wykonać wykres na kalce

milimetrowej, z której sporządzać można dowolną ilość kopii potrzebnych nieraz równocześnie dla różnych osób.

5. Zastosowanie wykresów przy wyznaczaniu spadków napięcia w liniach przesyłowych.

Zaznaczyliśmy wyżej, że wzdłuż rozpatrywanego odcinka niema odbiorów. Stan taki mamy normalnie w sieciach przesyłowych wysokiego napięcia, gdzie na odcinku pomiędzy rozdzielniami odbiorów zazwyczaj nie ma. W razie istnienia odgałęzień możemy bądź podzielić odcinek między rozdzielniami na odcinki mniejsze, od rozdzielni do odgałęzienia, bądź zastąpić obciążenia w punkcie odgałęzienia obciążeniami zastępczymi odpowiedniej wielkości na początku i końcu odcinka. W podobny sposób możemy sobie poradzić przy dłuższych liniach, gdzie wpływ pojemności nie daje się pominąć. Natomiast prądu wpływowego uwzględniać nie potrzeba, gdyż w normalnych warunkach jest on nieznaczny i na spadek napięcia praktycznie zupełnie nie oddziałują. Poprawkę na pojemność linii warto wprowadzić dla odcinków linii napowietrznych o długości powyżej 50 km, a w sieciach kablowych dla odcinków ponad 30 km^{*}). Przy mniejszych długościach poprawka ta nie odgrywa poważniejszej roli.

Dla uwzględnienia wpływu pojemności należy obliczyć moc bierną, pobieraną przez dany odcinek sieci w stanie jałowym. Pojemność równomiernie rozłożoną wzdłuż linii zastępujemy dwiema 2 razy mniejszymi pojemnościami skupionymi, z których jedna umieszczona jest na początku, druga na końcu linii (układ \square). Połowę obliczonej mocy biernej pojemnościowej (ujemnej) należy zatem dodać do istniejącego obciążenia na końcu odcinka i dla skorygowanego w ten sposób obciążenia znaleźć nowy spadek napięcia. Można też na stałe wprowadzić poprawkę do wykresu (rys. 6) odkładając połowę mocy biernej pojemnościowej po dodatniej stronie osi mocy biernej



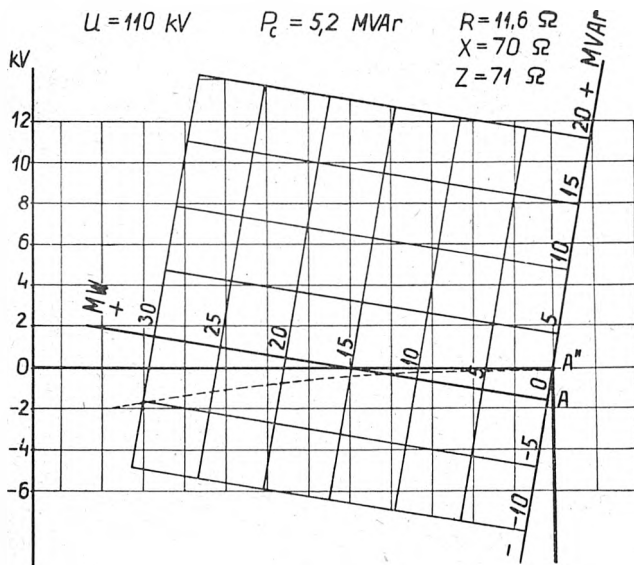
Rys. 6

i z otrzymanego punktu A'' prowadząc prostopadłą do kierunku napięcia \vec{U} . Na rozpatrywanym wykresie punkt B'' reprezentuje obciążenie na końcu linii, punkt B' na początku tj. od strony zasilania, punkt zaś B — obciążenie linii w układzie \square . Punkt przecięcia D'' wystawionej z A'' prostopadłej z równoległą do \vec{U} opuszczoną z punktu B'' wyznacza nam odcinek $B''D''$, przedstawiający spadek napięcia z uwzględnieniem pojemności linii. Jeśli obciążenie mierzone jest na początku linii, przy czym wektor napięcia na początku linii przyjmujemy za wyjściowy, to konstrukcja zmieni się o tyle, że połowę mocy pojemnościowej linii odłożymy po ujemnej stronie osi mocy biernej do punktu A' , z którego poprowadzimy równoległą do $A''D''$ i — jak poprzednio — wyznaczmy nowy punkt D' . Spadek napięcia będzie tym razem wyrażony przez odcinek $B'D'$. Jak widać z wykresu, niezależnie od sposobu wyznaczania, wszystkie 3 spadki napięcia, odpowiadające odcinkom BD , $B''D''$ i $B'D'$, są sobie równe.

^{*}) W ogólności można powiedzieć, że poprawkę tę należy stosować wówczas, kiedy w stanie jałowym linii podwyższenie napięcia na jej końcu jest już widoczne.

Metoda powyższa, opierająca się na zastąpieniu równomiernie rozłożonej pojemności linii przez pojemności skupione w układzie \square , daje wyniki dostatecznie ścisłe dla odcinków linii napowietrznych o długości do 300 km, a zatem w polskich warunkach sieciowych może być dzisiaj wszędzie zastosowana.

W celu lepszej ilustracji metody podajemy na rys. 7 wykres, sporządzony dla niedawno wybudowanej linii 220 kV Łagisza—Janów o długości 161 km. Skale wykresu dobrane są do napięcia 110 kV, przy którym linia obecnie



Rys. 7

pracuje. Po przejściu na 220 kV wykres nie ulegnie zmianie, wypadnie jedynie zmniejszyć dwukrotnie skalę napięcia (na 1 kV = $\frac{a}{2}$ mm) i czterokrotnie skalę mocy (na

1 MW = $\frac{b}{4}$ mm). Dla umożliwienia dokładniejszego wyznaczenia spadku napięcia, podobnie jak na rys. 2, oprócz

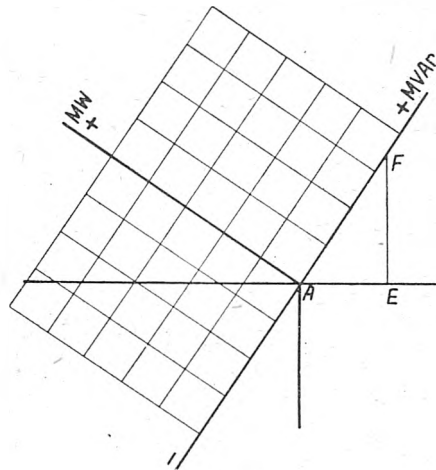
prostokątnej do kierunku napięcia \hat{U} , wyprowadzonej z punktu A'' , wykreślono jeszcze i odpowiedni łuk. Stąd widać odrazu, jak wielki błąd popełniamy, odczytując spadek napięcia do prostej zamiast do łuku.

Wyżej opisane wykresy sporządzić warto dla wszystkich ważniejszych linii przesyłowych, znajdujących się całkowicie we własnym rejonie, jak również dla linii wbiegających do sąsiednich rejonów dyspozycyjnych. Wykresy nie zajmują zbyt wiele miejsca, zebranie nawet większego ich kompletu nie utrudni korzystania z nich. Jednorazowy nakład pracy na sporządzenie wykresów da korzyści niewątpliwie. Powtórzmy pokrótce kolejność czynności przy wykonywaniu wykresów.

Dla danego odcinka linii obliczamy oporność czynną R na jeden przewód przy przeciętnych warunkach temperatury, oporność indukcyjną $X = \omega L$ także na jeden przewód, wreszcie oporność pozorną $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. Jeśli chcemy uwzględnić wpływ pojemności, obliczamy również moc pojemnościową $P_c = U^2 \omega C$, wymaganą do ładowania całego odcinka linii. We wzorze tym U jest napięciem międzyprzewodowym, C — pojemnością odcinka linii na jeden przewód. Napięcie międzyprzewodowe przyjmujemy w wysokości napięcia znamionowego lub innego — najczęściej występującego w linii. Dla wszystkich odcinków linii o tym samym napięciu obieramy wspólną skalę napięciową $a \frac{\text{mm}}{\text{kV}}$. Następnie dla poszczególnych odcinków obliczamy według wzoru (14) skalę $b \frac{\text{mm}}{\text{MW}}$ dla mocy. Po tych obliczeniach możemy już przystąpić do sporządzenia wykresu (rys. 8).

Na przecięciu głównych linii kalki milimetrowej obieramy punkt A , będący środkiem układu współrzędnych mocy. Z punktu tego opuszczamy wzdłuż jednego kie-

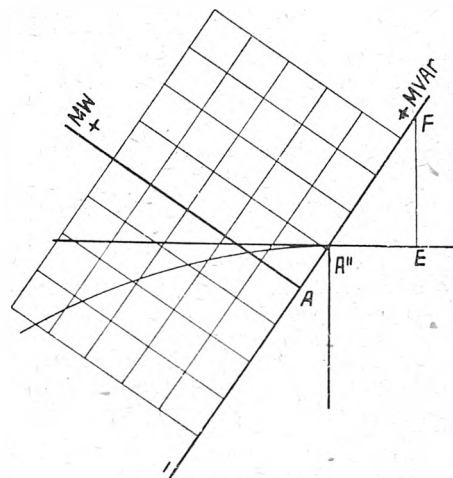
runku siatki milimetrowej półprostą, stanowiącą kierunek napięcia \hat{U} , wzdłuż drugiego prowadzimy prostą poziomą. Na prostej tej w prawo od punktu A odkładamy odcinek AE , przedstawiający w dowolnej skali oporność czynną R , a od punktu E pionowo w górę odcinek EF równy w tej



Rys. 8

samej skali oporności indukcyjnej X . Prosta AF wyznacza nam oś mocy biernych. Prostopadła do AF wystawiona z punktu A stanowi oś mocy czynnych. By nie zaciemniać rysunku, odcinek EF , służący jedynie jako konstrukcja pomocnicza, może być po wykreśleniu współrzędnych mocy usunięty. Na osi mocy biernych zaznaczamy podziałkę dla mocy z obydwu stron punktu A , na osi mocy czynnych tylko po stronie dodatniej, po czym wykreślamy odpowiednią siatkę.

Jeśli chcemy uwzględnić wpływ pojemności za punkt wyjściowy przyjmujemy A'' zamiast A (rys. 9). Po wy-



Rys. 9

kreśleniu osi mocy biernych od punktu A'' odmierzamy na niej w dół odcinek $A''A$, odpowiadający połowie mocy pojemnościowej tj. $\frac{P_c}{2}$, po czym z punktu A wyprowadzamy

oś mocy czynnych. Podziałkę na osiach mocy zaznaczamy w sposób analogiczny do poprzedniego, odmierzając ją od punktu A i budując w ten sam sposób odpowiednią siatkę. Gdy zależy nam na większej dokładności, wyprowadzamy z punktu A'' łuk, zatoczony promieniem, odpowiadającym przyjętemu napięciu międzyprzewodowemu. Do tego łuku lub prostej $A''E$ odmierzamy odcinki, przedstawiające poszukiwane spadki napięcia.

6. Zastosowanie wykresów do obliczania spadków napięcia w transformatorach.

Tę samą metodę zastosować możemy do wyznaczania spadków napięcia w transformatorach. Najczęściej wystarczy sposób uproszczony, pomijający wpływ prądu

stanu jałowego na spadek napięcia w transformatorze. Za punkt wyjścia do sporządzenia wykresu bierzemy moc znamionową transformatora P_n (w MVA), procentowy indukcyjny spadek napięcia ΔU_x praktycznie równy procentowemu napięciu zwarcia ΔU_z i procentowy czynny spadek napięcia ΔU_r równy procentowym stratom obciążeniowym ΔP_{cu} przy $\cos \varphi = 1$. Mając procentowe spadki napięcia ΔU_x i ΔU_r , możemy wykreślić osie mocy czynnej i biernej jak poprzednio dla oporności indukcyjnej X i czynnej R . Skalę mocy obliczamy po obraniu skali napięciowej. Oczywiście, dla każdej strony transformatora skala napięciowa będzie inna, natomiast możemy mówić o wspólnej dla danego transformatora skali procentowych spadków napięcia np. d (w $\frac{\text{mm}}{\%}$).

Zważywszy, że mocy znamionowej transformatora P_n odpowiada strata napięcia ΔU_z (w %), wyrazimy łatwo skalę mocy b (w $\frac{\text{mm}}{\%}$) z równania:

$$\Delta U_z \cdot d = P_n \cdot b \quad (15)$$

skąd

$$b = \frac{\Delta U_z \cdot d}{P_n} \quad (16)$$

Dzieląc skalę d przez $\frac{1}{100}$ normalnego napięcia którejkolwiek ze stron transformatora, otrzymamy odpowiednią skalę wyrażoną w $\frac{\text{mm}}{\text{kV}}$, a więc tak samo, jak dla linii przesyłowych. Ze względu na jednolitość zaleca się tak dobierać skalę d , by skale napięciowe transformatora wyrażone w $\frac{\text{mm}}{\text{kV}}$ były identyczne ze skalami linii przesyłowych tego samego napięcia. W ten sposób osiągniemy jednakową skalę procentowego spadku napięcia dla wszystkich elementów sieci, co bardzo ułatwi orientację w ocenie spadków napięcia przy różnych napięciach sieci przesyłowej.

Oprócz wykresu spadków napięć dla transformatorów przesyłowych jest rzeczą korzystną sporządzanie jeszcze dodatkowej skali, przeliczającej siłę elektromotoryczną transformatora z jednej strony na drugą. Skala ta winna uwzględniać różne przekładnie transformatorów, otrzymywane po przestawieniu zaczerpów lub stopni transformatora. W ten sposób, znając rozpięty, posiadając wykresy poszczególnych linii i transformatorów przesyłowych oraz znając napięcie w jednym punkcie sieci, możemy szybko i bez trudu ustalić nie tylko spadki napięcia, ale i bezwzględne wartości napięć we wszystkich punktach węzłowych niezależnie od konfiguracji sieci i wysokości napięcia roboczego poszczególnych jej fragmentów.

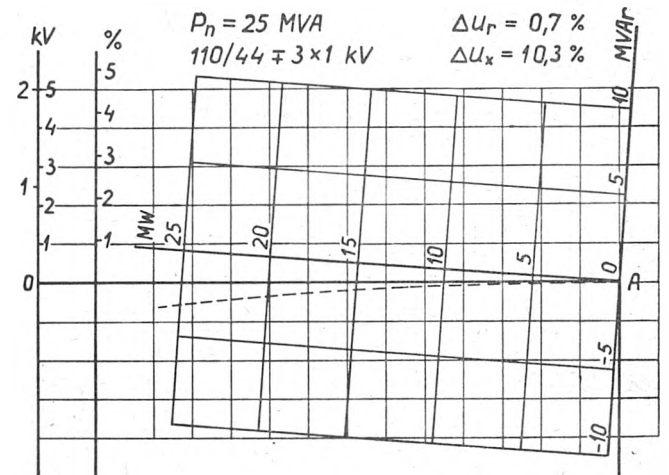
Na rys. 10 przedstawiono jako przykład wykres transformatora regulacyjnego na 25 MVA, 110/44 \pm 3 \times 1 kV, ilustrujący przytoczone wywody. Jak widzimy, przy większych transformatorach o wysokości spadku napięcia decyduje prawie wyłącznie moc bierna. Jeśli transformator posiada duże napięcie zwarcia, to przy większym obciążeniu czynnym składowa poprzeczna (prostopadła do kierunku napięcia) straty napięcia jest również znaczna, przez co wzrasta uchyb, spowodowany zastąpieniem na wykresie łuków przez proste. Z tego powodu, gdy zależy nam na większej dokładności, zaleca się, jak przy długich liniach, odmierzać spadek napięcia nie do prostej, lecz do łuku.

Wymagania większej ścisłości zmuszają nas także do uwzględnienia wpływu prądu stanu jałowego transformatora. Wprawdzie przy ten jest nieznaczny, rzadko kiedy przekraczający 5% prądu znamionowego, ale jako obciążenie bierne wywołuje nieraz stosunkowo spory spadek napięcia.

Jak wiemy, normalny schemat zastępczy transformatora posiada formę układu T. My zastosujemy jednak równoważny układ \square , który w danym wypadku jest dogodniejszy. Zakładamy przy tym dla uproszczenia, że procentowa strata napięcia w obu uzwojeniach jest jednakowa. Wskutek tego przed i za opornością szeregową transformatora, na której przy znamionowym obciążeniu występuje napięcie zwarcia, mamy 2 jednakowe oporności równoległe, z których każda odprowadza połowę prądu stanu jałowego. Jedna z tych połówek wywołuje na oporności

szeregową transformatora ów dodatkowy spadek napięcia, który pomijamy w metodzie uproszczonej.

Poprawkę tę uwzględniamy na wykresie (rys. 11) w sposób podobny jak poprawkę na podwyższenie napięcia w długich liniach przesyłowych. Różnica polega tylko na tym, że w danym wypadku moc bierna indukcyjną, od-

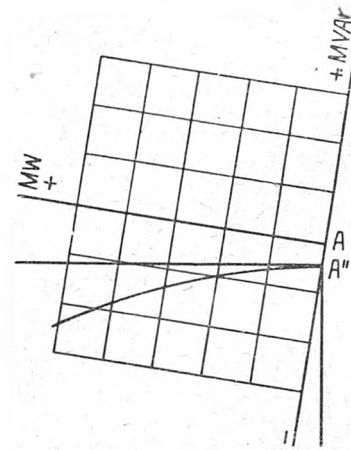


	38	39	40	41	42	
43	44	45	46	47	48	49
	39	40	41	42	43	
42	43	44	45	46	47	48
	40	41	42	43	44	
41	42	43	44	45	46	47
40	41	42	43	44	45	46
100		105		110		115

Rys. 10

powiadającą połowie prądu stanu jałowego odkładamy jako odcinek AA'' w kierunku ujemnych wartości mocy biernej, po czym podobnie jak przy liniach długich odmierzamy spadek napięcia do prostej lub łuku, wyprowadzonych nie z punktu A, lecz z A''.

Przy transformatorach stosowane bywają nieraz cewki dławikowe, głównie do wyrównania napięć zwarcia i roz-



Rys. 11

plywu prądu w równoległe pracujących transformatorach. Ponieważ cewki te doбира się do transformatorów, więc napięcie zwarcia podaje się zazwyczaj dla transformatora i cewki łącznie. Wskutek tego wykres dla transformatora z cewką sporządzamy w sposób podobny jak przy samym transformatorze.

Poza transformatorami cewki dławikowe instaluje się często na odcinkach poszczególnych linii w celu zmniejszenia prądów zwarcia na liniach. W tym przypadku znamiona cewki obejmują procentowe napięcie zwarcia ΔU_z (w %) oraz prąd znamionowy I_n (w amp.). Poszukiwaną

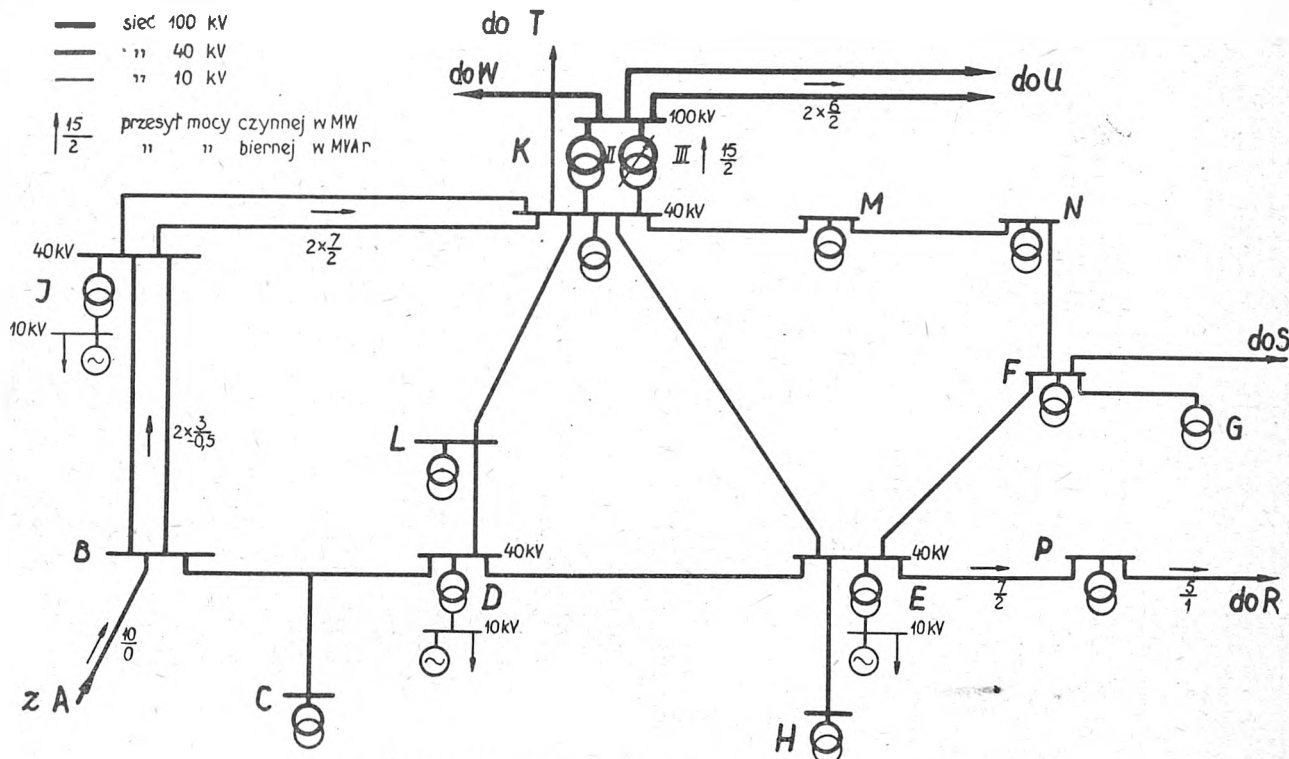
oporność indukcyjną cewki X_L (w omach na fazę) wyznaczamy ze wzoru:

$$X_L = \frac{\Delta U_z \cdot U}{I_n} \cdot \frac{10}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

po czym dodajemy ją do oporności linii, wykorzystując obliczoną oporność sumaryczną linii i cewki do sporządzenia odpowiedniego wykresu.

7. Przykłady zastosowania wykresów do obliczania spadków napięcia w sieci przesyłowej.

Dla lepszego zilustrowania metody przytaczamy przykład zaczerpnięty z istniejącej sieci przesyłowej na 40 i 100 kV. Rys. 12 przedstawia uproszczony schemat tej sieci, na którym nazwy poszczególnych rozdzielni zastąpiono wielkimi literami. Na schemacie uwidoczniło się powiązanie linii przesyłowych o napięciach 40 i 100 kV,



Rys. 12. Uproszczony schemat sieci przesyłowej

dokonywane w rozdzielni K za pomocą 2 transformatorów. Dla rozdzielni, które poza zasilaniem z sieci przesyłowej zasilane są także z generatorów pobliskich elektrowni o łącznej mocy powyżej 5 MVA, podano na schemacie oprócz transformatora na 40/10 kV jeszcze generator (generatory pracują na napięciu 10 kV) i odbiór pewnej mocy przez sieć rozdzielczą 10-kilowoltową. W innych rozdzielniach dla uwidocznienia niezbyt wielkiej wymiany mocy pomiędzy siecią przesyłową a rozdzielczą zaznaczono na schemacie jedynie transformator przyłączony do sieci 40-kilowoltowej.

Rys. 13 i 14 zawierają komplet wykresów poszczególnych członów rozpatrywanej sieci przesyłowej. Linie, łączące węzłowe punkty sieci przesyłowej, posiadają oddzielne wykresy; linie, łączące rozdzielnie przelotowe o niewielkiej wymianie mocy z siecią rozdzielczą, np. E-P i P-R, potraktowane są dla uproszczenia jako jedna linia. Skale wykresów dobrano dla napięć 42 i 105 kV, gdyż tej wielkości napięcia można uznać w rozpatrywanej sieci za przeciętne. Na wykresach transformatorów wprowadzono poprawkę, uwzględniającą to, że napięcie 105 kV przyjęte do obliczenia skali jest niższe od napięcia znamionowego transformatorów, wynoszącego 110 kV. Wskutek tego odpowiednia skala mocy $b' \left(\frac{\text{mm}}{\text{MW}} \right)$ jest $\left(\frac{110}{105} \right)^2 = 1,1$ razy większa od skali b , wyrażonej wzorem (16).

Poprawki na pojemność linii nie wprowadzono, ponieważ długości poszczególnych linii nie przekraczają 50 km. Nie uwzględniano również poprawki na prąd stanu jałowego transformatorów.

Przykład 1. Dane są napięcia w rozdzielni A, wynoszące 43,5 kV, oraz uwidoczniony na schemacie rozpływ mocy czynnej i biernej wzdłuż trasy A-B-J-K-U. W rozdzielni K pracuje tylko transformator III, nastawiony na stopień 41/110 kV. Należy wyznaczyć napięcia w rozdzielniach B, J, K, U.

Rozwiązanie. Z wykresów znajdujemy napięcia w sieci 40-kilowoltowej.

Spadek napięcia na AB	— 1,25 kV,
" " na BJ	— 0,5 kV,
" " na JK	— 2,65 kV,
Stąd napięcie w B	— 42,25 kV,
" " w J	— 41,75 kV,
" " w K	— 39,1 kV.

Następnie, korzystając ze skali przekładni 41/110 kV, przeliczamy napięcie w K na stronę 100 kV i otrzymujemy 104,9 kV. Spadek napięcia w transformatorze prze-

liczony na stronę 100 kV wynosi 1,5 kV, a zatem napięcie w K na szynach 100 kV będzie 103,4 kV.

Znalezione z wykresu spadek napięcia na K-U równa się 0,8 kV, skąd otrzymujemy napięcie w U — 102,6 kV.

Przykład 2. Dane jest napięcie w rozdzielni E, wynoszące 42 kV, oraz zaznaczony na schemacie rozpływ mocy na trasie E-P-R. Należy znaleźć napięcie w rozdzielni R.

Rozwiązanie. Ponieważ oporności odcinków E-P i P-R nie różnią się wiele, a moc pobierana w rozdzielni P nie jest zbyt duża, przyjmujemy w przybliżeniu, że na całej trasie E-P-R płynie jednakowa moc średnia, wynosząca 6 MW oraz 1,5 MVAR. Odpowiedni spadek napięcia znaleziony z wykresu wynosi 2,8 kV, skąd napięcie w R równe jest 39,2 kV.

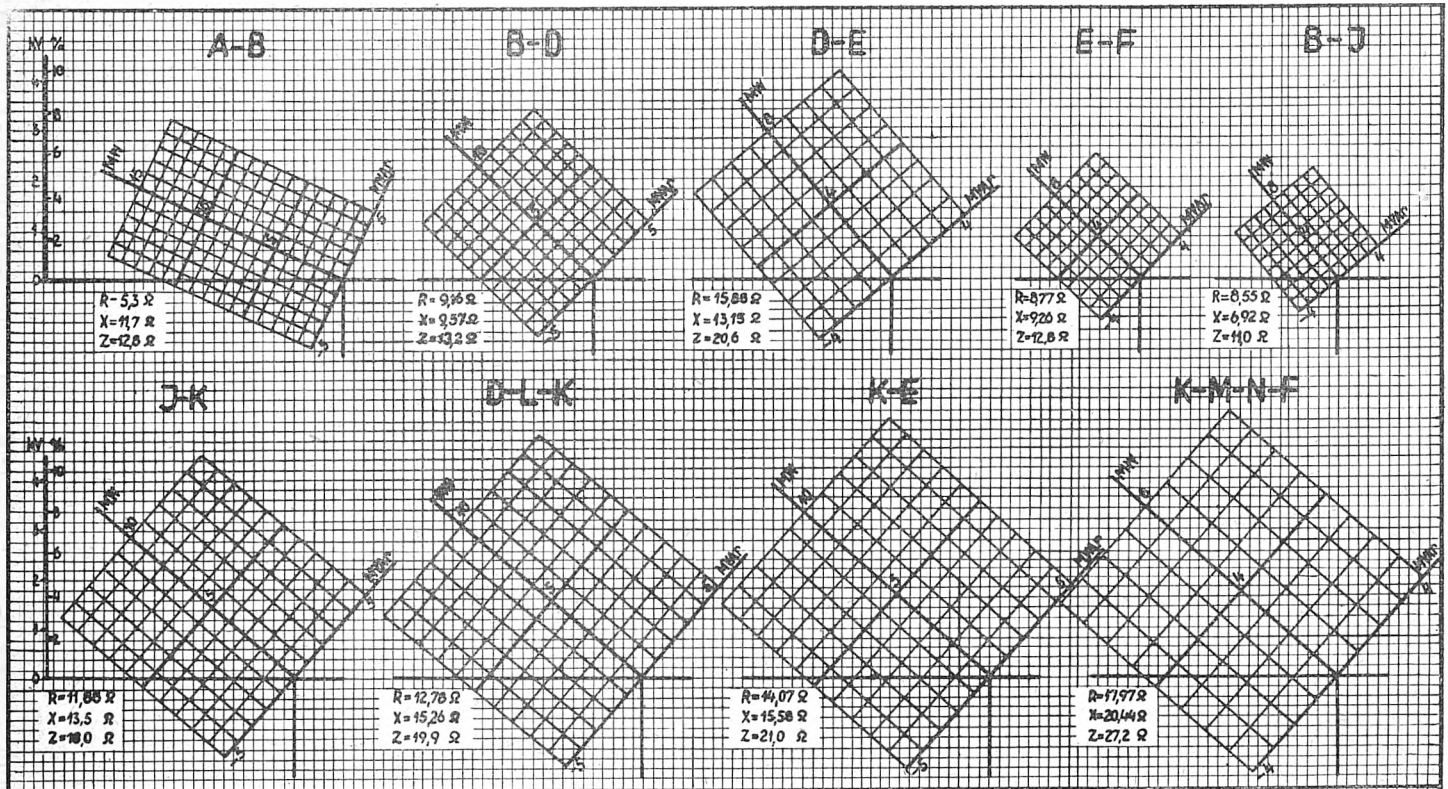
8. Inne zastosowania.

a) Wyznaczanie procentowej straty mocy. Przy pomocy sporządzonych wykresów można bez trudu wyznaczyć procentową stratę mocy w linii czy transformatorze. Sposób wyznaczania wymaga jednak pewnego uzasadnienia.

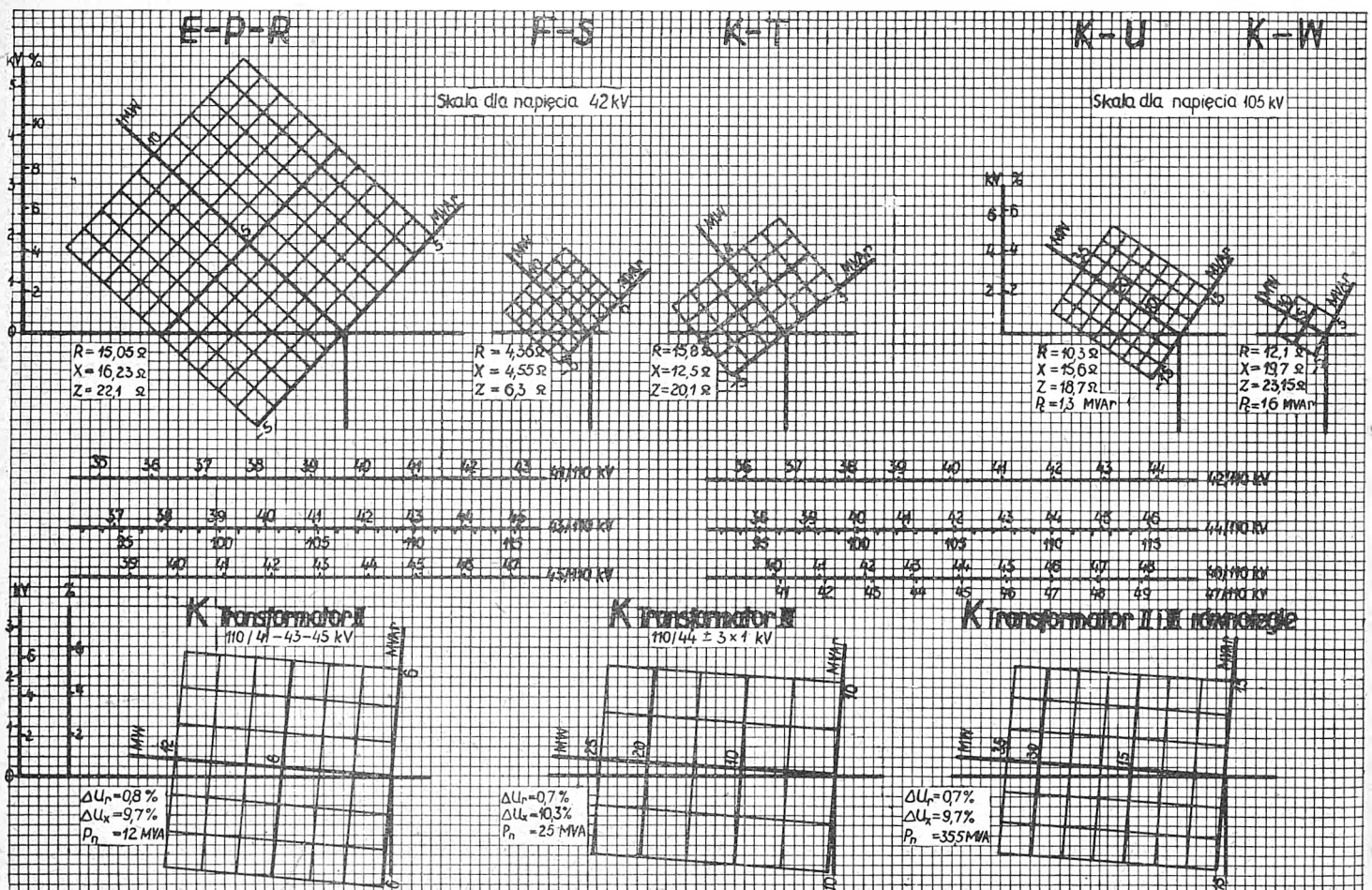
Przypuśćmy, że przez pewien odcinek linii o opornościach R, X, Z przepływa moc czynna P_w oraz bierna P_b , co odpowiada współczynnikowi mocy

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P_w^2 + P_b^2}}$$

Dla tego odcinka sporządziliśmy już normalny wykres spadków napięć, na którym wybranemu obciążeniu odpo-



Rys. 13. Wykresy linii przesyłowych do wyznaczania spadku napięcia

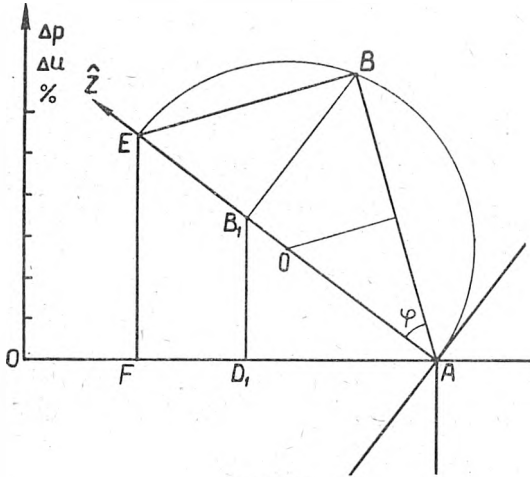


Rys. 14. Wykresy linii i transformatorów przesyłowych do wyznaczania spadku napięcia

wiada punkt B (rys. 15). Skala spadku napięcia wyrażona została nie tylko w kV, ale i w $\%$. Obecnie chcemy wyznaczyć jeszcze procentową stratę mocy w linii. Nie trudno wprowadzić, że wyrazi się ona wzorem:

$$\Delta P (\%) = \frac{3 I^2 R}{P_w} \cdot 100 = \frac{(P_w^2 + P_b^2) R}{P_w \cdot U^2} \cdot 100 = \frac{P_w R}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100 \quad (18)$$

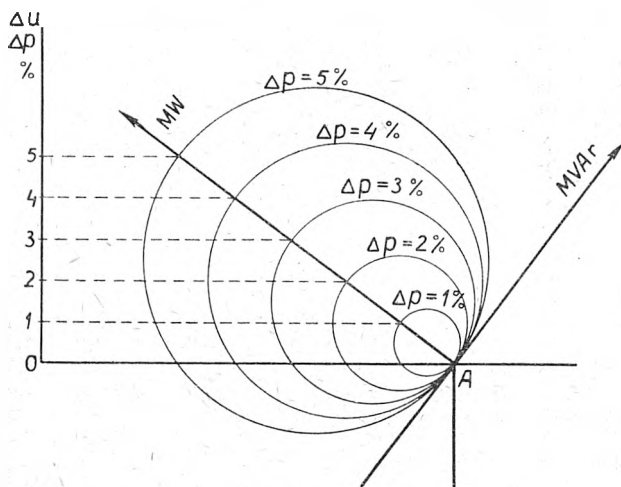
Gdyby moc bierna P_b była równa zeru, moc zaś czynna pozostawała bez zmiany (obciążenie na wykresie przed-



Rys. 15

stawiałby punkt B_1 zamiast B), to procentowa strata mocy byłaby równa procentowemu spadkowi napięcia i wyrażałaby się przeniesionemu na skalę $\%$ odcinkowi $B_1 D_1$. Wynika to z zestawienia wzorów (9) i (18) oraz warunku, że $P_b = 0$.

Jeśli teraz wprowadzimy moc bierną, to, jak widać ze wzoru (18), procentowe straty mocy wzrosną odwrotnie



Rys. 16

proporcjonalnie do $\cos^2 \varphi$. Chcąc więc wyznaczyć poszukiwaną procentową stratę mocy, wystarczyłoby podzielić procentową stratę mocy dla $P_b = 0$, odpowiadającą odcinkowi $B_1 D_1$, przez $\cos^2 \varphi$. Przez zastosowanie dość prostej konstrukcji możemy jednak takiego rachunku uniknąć.

W tym celu ze środka odcinka AB przeprowadzamy prostopadłą do przecięcia w punkcie O z osią \hat{Z} , po czym z punktu O zakreślamy półkoło przez punkty A i B do przecięcia z osią \hat{Z} w punkcie E . Odcinek pionowy EF przedstawia nam właśnie procentową stratę mocy.

Uzasadnienie tej konstrukcji nie nastęca żadnych trudności. Z podobieństwa pary trójkątów prostokątnych AB_1B i ABE o wspólnym kącie φ oraz z podobieństwa innej pary trójkątów AB_1D_1 i AEF wynika zależność:

$$EF = B_1 D_1 \cdot \frac{AE}{AB_1} = B_1 D_1 \cdot \frac{AE}{AB} \cdot \frac{AB}{AB_1} = \frac{B_1 D_1}{\cos^2 \varphi}$$

A zatem odcinek EF jest istotnie miarą poszukiwanej procentowej straty mocy.

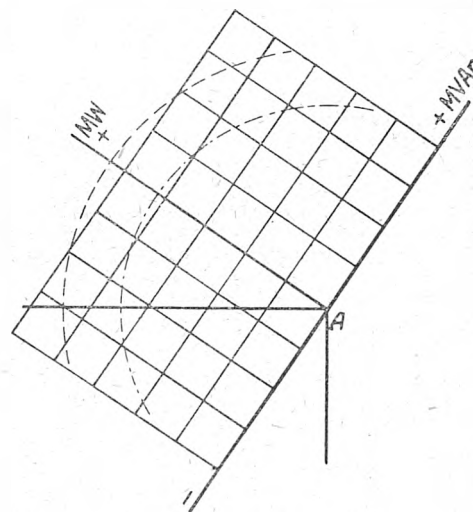
Wykreślając z punktu O promieniem $OA = OB$ pełne koło, możemy je traktować jako miejsce geometryczne punktów, przedstawiających obciążenia o jednakowych procentowych stratach mocy. Punkty leżące wewnątrz koła odpowiadają stratom mniejszym, zewnątrz — większym. Prowadząc kilka kół dla różnych procentowych strat mocy, będziemy mogli po jednorazowym sporządzeniu wykresu nie wykonywać przy odczytywaniu strat mocy żadnych pomocniczych konstrukcji. Ilustruje to rys. 16. By nie zaciemniać rysunku, skala nie powinna być zbyt gęsta. Przy wyznaczaniu procentowej straty mocy można tu z powodzeniem stosować interpolację, pamiętając, że dla tego samego $\cos \varphi$ poszczególne odcinki są do siebie proporcjonalne.

Opisany sposób może być użyty zarówno do linii, jak i transformatorów. Dla transformatorów ma on zresztą mniejsze znaczenie, gdyż tam strata mocy jest na ogół niewielka, a ponadto popełniamy pewien błąd pomijając straty w żelazie.

b) Zdolność przesyłowa linii i transformatorów. Jako zdolność przesyłową rozumiemy tutaj największą moc, która może być jeszcze przesłana przez transformator czy linię. Moc ta może być ograniczona względami termicznymi, nastawieniem przekładników lub wyzwalaczów, bądź też wielkością spadku napięcia lub strat mocy.

Omówiliśmy już sposoby wyznaczania spadku napięcia i straty mocy. Mając zadane z góry największe dozwolone wartości spadku napięcia i straty mocy, potrafimy odwrotnie ustalić, jakie możemy w tych warunkach dopuścić największe wartości mocy czynnej i biernej. Pozostaje jeszcze omówić wpływ reszty czynników, decydujących o zdolności przesyłowej. Względami termicznymi sprowadzają się do określenia wielkości prądu, który przy obciążeniu trwałym nie może być przekroczony. Dla transformatorów jest nim zazwyczaj prąd znamionowy transformatora, dla linii — najczęściej dopuszczalny prąd przekładników prądowych, kabli, cewek dławikowych, rzadziej nieco wyłączników lub branych na ogół z zapasem odłączników. Decyduje najmniejszy z dopuszczalnych prądów poszczególnych elementów. Nastawienie wyzwalaczów lub przeliczone poprzez przekładnie przekładników prądowych na-

--- dopuszczalne obciążenie chwilowe
 - - - " " trwałe

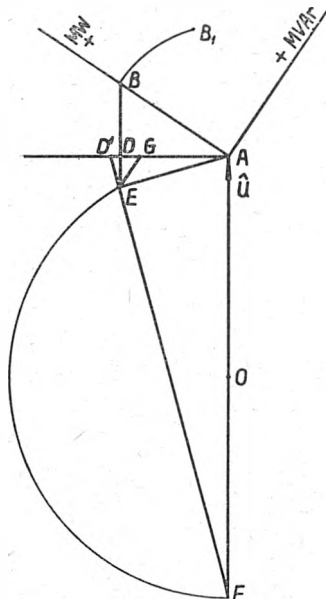


Rys. 17

stawienie przekładników stanowi ograniczenie chwilowego, najwyżej kilkusekundowego przeciążenia*). Obydwa ograniczające prądy — trwałe i chwilowy możemy przeliczyć na moc pozorną i nanieść na wykres. Prąd chwilowy winien być podany na wykresie zawsze, prądu trwa-

*) O dopuszczalnym krótkotrwałym przeciążeniu decyduje nie prąd, przy którym przekładnik lub wyzwalacz wzbudza się (w języku niemieckim "Ansprechstrom"), ale mniejszy od niego prąd, przy którym po wzbudzeniu puszcza. Stanowi on zwykle 80 — 90% prądu wzbudzającego.

tego można nie podawać, jeżeli jest większy od chwilowego. Prądy, a raczej odpowiadające im moce pozorne wykreślone zostaną w formie kół, zatoczonych z punktu A jako ze środka promieniami, odpowiadającymi mocom pozornym w przyjętej dla wykresu skali mocy (rys. 17).



Rys. 18

Jeśli te dopuszczalne moce nie są na obu końcach odcinka jednakowe, rysujemy oczywiście jedynie koła, odpowiadające mocom mniejszym.

Rozmiary siatki wykresu należy tak dobrać, aby nie przekraczać zbytnio najmniejszych wartości zdolności przesyłowej. Jeśli więc prąd, ograniczony przez przekładniki prądowe pewnej linii i przez nastawienie przekładników, jest niewielki, to nie należy rysować siatki na większe moce, choćby nawet spadki napięcia w linii były o wiele niższe od dopuszczalnych. Dzięki temu osiągniemy zarówno zmniejszenie wymiarów, jak i większą przejrzystość wskutek bezpośredniego, optycznego uchwycenia charakteru pracy poszczególnych linii.

Powyżej zaznaczyliśmy, że dopuszczalny prąd przelicza się na dopuszczalną moc pozorną. Zasada wykresu polega właściwie na operowaniu prądami i spadkami napięć, wytworzonymi przez te prądy na opornościach czynnych i indukcyjnych. Jeśli na wykresie stosujemy zamiast skali prądów — skalę mocy, to jedynie ze względu na łatwiejsze postępowanie się wielkościami mocy czynnej i biernej, które w odróżnieniu od prądów czynnych i biernych dają się bezpośrednio zmierzyć. Jeżeli rzeczywiste napięcie odbiega od przyjętego do obliczenia skali wykresu, wyniki będą obarczone pewnym błędem. Ponieważ do obliczenia skali staramy się przyjąć napięcia średnie, przeto błędy te są na ogół nieznaczne. W wypadku jednak poważniejszych różnic w napięciu należy na to źródło błędów zwrócić większą uwagę i ewentualnie wprowadzić odpowiednią poprawkę.

c) Moc naturalna i kompensacja linii. Dla pracujących przy najwyższych napięciach długich linii przesyłowych duże znaczenie posiada tzw. moc naturalna lub charakterystyczna linii. Przy przesyłaniu tej mocy, uzależnionej od wysokości napięcia i stałych linii następuje całkowita kompensacja pomiędzy pobieraną przez linię mocą pojemnościową a indukcyjną. Wskutek tego, jeśli np. odbiornik pobiera tylko moc czynną, to źródło będzie dostarczać także wyłącznie mocy czynnej. Przy przesyłaniu mocy mniejszych od naturalnej przeważać będzie moc pojemnościowa linii, przy większych — moc indukcyjna. W takich warunkach staramy się wytworzoną przez linię różnicę mocy indukcyjnej i pojemnościowej skompensować sztucznie. Na naszych wykresach można uwidocznić nie tylko pobieraną przez linię moc pojemnościową, w przybliżeniu niezależną od obciążenia, ale i zmienną moc indukcyjną, albo też pozostałą do skompensowania różnicę tych mocy. Równocześnie znajdujemy z wykresu i moc naturalną, przy której linia kompensuje się sama.

Wyznamy moc bierną indukcyjną P_L , pobieraną przez linię wskutek przepływu prądu roboczego I przez jej oporność indukcyjną $X = \omega L$. Moc tę wyrazić można wzorem

$$P_L = 3 I^2 X = 3 I^2 \omega L \quad (19)$$

By umożliwić wprowadzenie mocy P_L na wykres, zastąpimy prąd I przez napięcie międzyprzewodowe U oraz przesyłaną moc pozorną P . Otrzymamy wówczas:

$$P_L = 3 \left(\frac{P}{U\sqrt{3}} \right)^2 \omega L = \frac{P^2 \omega L}{U^2} \quad (20)$$

Załóżmy dla uproszczenia, że przesyłana moc P zawiera wyłącznie składową czynną, tzn. że odbiór odbywa się przy $\cos \varphi = 1$. Stan taki nie odbiega zresztą daleko od rzeczywistości, gdyż na liniach długich najwyższego napięcia z reguły staramy się pracować w pobliżu $\cos \varphi = 1$. Wspomnianą wyżej moc $P = P_w$ odmierzymy w odpowiedniej skali jako odcinek AB na osi mocy czynnych normalnego uproszczonego wykresu linii (rys. 18). Z punktu O , będącego początkiem wektora napięcia odbiornika \hat{U} , jako ze środka, prowadzimy promieniem OA łuk, przecinający w punkcie E równoległą do wektora \hat{U} , opuszczoną z punktu B . Następnie ze znalezionej punktu E kreślimy równoległą do osi mocy biernych do przecięcia w punkcie G z wystawioną z punktu A prostą prostopadłą do wektora \hat{U} . Odcinek EG przedstawia w skali mocy poleowaną poszukiwaną moc indukcyjną P_L .

By uzasadnić tę konstrukcję, przedłużamy łuk AE do przecięcia w punkcie F z przedłużeniem wektora \hat{U} . Ponadto oznaczamy przez D i D' punkty przecięcia prostej AG odpowiednio z odcinkiem BE oraz przedłużeniem odcinka FE .

Z podobieństwa trójkątów EDG i ADB wynika:

$$\frac{EG}{ED} = \frac{AB}{AD}$$

Dalej z podobieństwa innej pary trójkątów ADE i FAD' wyprowadzamy:

$$\frac{ED}{AD} = \frac{AD'}{AF} \cong \frac{AD}{AF} = \frac{AD}{2 \cdot AO}$$

Łącząc powyższe proporcje otrzymujemy:

$$EG = AB \cdot \frac{ED}{AD} \cong AB \cdot \frac{AD}{2 \cdot AO}$$

Odcinek AB w skali mocy przedstawia moc P , w skali napięcia $\delta U = \frac{PZ}{U}$; stąd ze sposobu konstrukcji osi mocy czynnych i biernych wynika, że odcinek AD odpowiada napięciu $\frac{PX}{U} = \frac{P\omega L}{U}$. Wreszcie odcinek AO jest miarą napięcia U .

Wstawiając te wartości do wyrażenia na EG , znajdziemy:

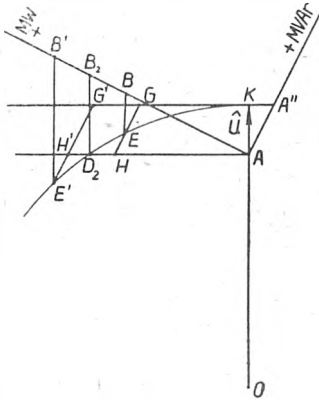
$$EG \cong AB \cdot \frac{AD}{2 \cdot AO} = P \cdot \frac{P\omega L}{2U^2} = \frac{P^2 \omega L}{2U^2} = \frac{P_L}{2}$$

Wykazaliśmy, iż konstrukcja, wyznaczająca moc indukcyjną linii przy przesyłaniu mocy P i $\cos \varphi = 1$ jest prawidłowa. Ponieważ moc indukcyjna określonej linii przy stałym napięciu zależy tylko od przesyłanej mocy pozornej, więc dla $\cos \varphi \neq 1$ (na rys. 18 odpowiada temu punkt B_1) przenosimy moc pozorną P na oś mocy czynnych, prowadząc odpowiedni łuk, po czym postępujemy jak poprzednio.

Gdy $\cos \varphi$ odbiega bardziej od 1, wówczas przy dłuższych liniach i wysokich napięciach wskutek prądu pojemnościowego moc pozorna, przepływająca przez różne punkty linii na początku i końcu, różni się dość znacznie. W takim wypadku należy stosować zastępczy układ \square i przy wyznaczaniu P_L brać pod uwagę nie moc pozorną czerpaną przez odbiornik, ale płynącą przez linię w układzie \square .

Moc indukcyjna na ogół kompensuje się częściowo z mocą pojemnościową linii. Chcąc znaleźć nieskompensowaną część mocy biernej linii, musimy od stałej mocy pojemnościowej $P_c = U^2 \omega C$ odjąć zależną od przesyłanej mocy pozornej moc indukcyjną linii. Wykreślne wyznaczenie

owej nieskompensowanej mocy bierniej nie przedstawia żadnych trudności. Za podstawę bierzemy normalny wykres dla długiej linii przesyłowej z poprawką na pojemność linii (rys. 19). Po obraniu punktu A i przechodzącego przezzeń wektora \vec{U} wyznaczamy kierunki osi mocy czynnych i biernych, po dodatniej stronie osi mocy biernych



Rys. 19

odmierzamy odcinek AA' , wyrażający połowę mocy pojemnościowej linii, po czym z punktów A i A' wyprowadzamy 2 prostopadłe do wektora \vec{U} . Następnie promieniem, odpowiadającym wielkości przyjętego napięcia, zataczamy łuk, styczny w punkcie K do wystawionej z A' prostopadłej do wektora \vec{U} (K jest punktem przecięcia tej prostopadłej z wektorem \vec{U}).

Na osi mocy czynnych odmierzamy teraz odcinek AB , odpowiadający pewnej przesyłanej mocy pozornej i z punktu B prowadzimy równoległą do wektora \vec{U} aż do przecięcia się z łukiem w punkcie E . Z punktu E prowadzimy dalej wzdłuż kierunku osi mocy biernych prostą, przecinającą wystawione z A i A' równoległe odpowiednio w punktach H i G . Porównując to z konstrukcją przedstawioną na rys. 18, łatwo zauważyć, że odcinek EG przedstawia połowę mocy indukcyjnej linii. Ponieważ zaś odcinek HG równy odcinkowi AA' reprezentuje połowę mocy pojemnościowej, więc odcinek EH będzie miarą połowy nieskompensowanej mocy linii. Jeśli przy pewnej mocy przesyłanej moc indukcyjna linii jest mniejsza od pojemnościowej ($2 EG < 2 HG$), nieskompensowana moc linii ma charakter pojemnościowy, gdy jest odwrotnie ($2 E'G' > 2 H'G'$) — indukcyjny. Kiedy wreszcie moc indukcyjna i pojemnościowa są sobie równe, osiągamy całkowitą kompensację. Na naszym rysunku punkty E i H schodzą się wówczas w punkcie D_2 , a odcinek AB_2 przedstawia moc naturalną linii. Przy korzystaniu z wykresu nie potrzebujemy na ogół prowadzić ani linii BE ani EH , gdyż leżą one bądź na odmierzającej napięcie siatce milimetrowej, bądź na siatce mocy bierniej.

Aczkolwiek przy wyznaczaniu mocy indukcyjnej wprowadzamy pewne przybliżenie, to jednak popemiona nieścisłość nie posiada żadnego znaczenia. Dużo większe błędy wywołać może niewłaściwy dobór napięcia, przyjętego do wykresu, gdyż już niewielkie różnice napięcia powodują spore zmiany w warunkach kompensacji.

d) Określanie rozplywu w gałęziach równoległych. Wykresy do wyznaczania spadków napięcia mogą być z powodzeniem wyzyskane do określenia rozplywu prądów w gałęziach równoległych. Sposób postępowania najlepiej zilustrują przykłady.

Przykład 1. Elektrownia wytwarzająca moc czynną P_w i bierną P_b połączona jest z główną rozdzielnią, odbierającą całą produkcję elektrowni, dwiema liniami przesyłowymi. Jedna z linii jest napowietrzną o opornościach $R_1 = 1,2 \Omega$, $X_1 = 2,4 \Omega$, $Z_1 = 2,7 \Omega$, druga kablową o opornościach $R_2 = 1,86 \Omega$, $X_2 = 0,46 \Omega$, $Z_2 = 1,92 \Omega$. Napięcie robocze wynosi 15 kV. Dla dowolnych wartości P_w i P_b wyznaczyć należy: 1) spadki napięcia przy pracy pojedynczymi liniami oraz przy pracy równoległej obu linii; 2) rozdział mocy czynnej i bierniej na poszczególne linie przy ich pracy równoległej.

Rozwiązanie. Sposobem analitycznym obliczamy wypadkowe oporności linii połączonych równoległe otrzymując:

$$R = 0,70 \Omega \quad X = 1,01 \Omega \quad Z = 1,23 \Omega$$

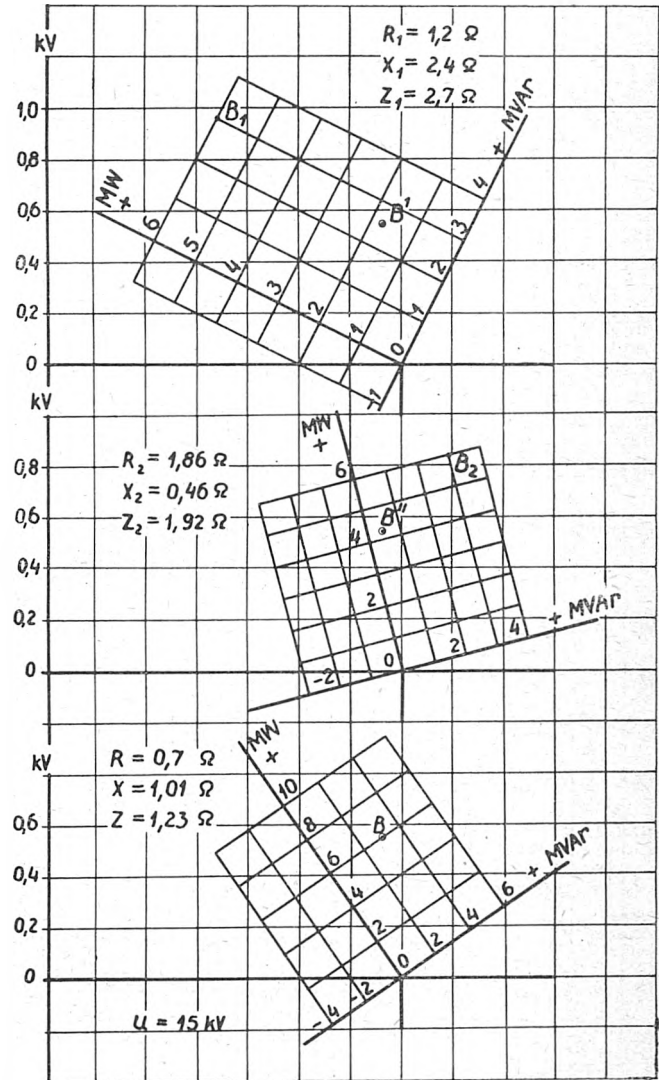
Po znalezieniu tych oporności sporządzamy w jednej skali napięciowej 3 wykresy (rys. 20): dla poszczególnych linii oddzielnie pracujących i dla zespołu linii połączonych równoległe*). Niechaj

$$P_w = 6 \text{ MW} \quad \text{ i } \quad P_b = 3 \text{ MVAR}$$

Dla tego obciążenia znajdujemy z poszczególnych wykresów spadki napięcia odpowiadające punktom B_1 , B_2 i B tj.

$$\Delta U_1 = 0,96 \text{ kV}, \quad \Delta U_2 = 0,84 \text{ kV}, \quad \Delta U = 0,54 \text{ kV}.$$

Celem znalezienia rozplywu mocy zaznaczamy na wykresach poszczególnych linii punkty B' i B'' o tych samych



Rys. 20

składowych straty napięcia, co punkt B , po czym ze skali mocy odcytujemy obciążenia linii odpowiadające punktom B' i B'' . Obciążenia te w danym przypadku wynoszą: $P_{w1}=1,7 \text{ MW}$; $P_{b1}=2,55 \text{ MVAR}$; $P_{w2}=4,3 \text{ MW}$; $P_{b2}=0,45 \text{ MVAR}$. Jak widzimy, po jednorazowym sporządzeniu wykresów, które przydać się nam mogą do rozlicznych celów, wielokrotne korzystanie z wykresów jest już bardzo proste. Wobec wykonania wykresów na siatce milimetrowej również samo porównywanie składowych straty napięcia nie sprawia żadnych trudności.

Przykład 2. Dwie elektrownie I i II połączone są liniami przesyłowymi z główną rozdzielnią, odbierającą całą ich produkcję. Elektrownia I połączona jest z roz-

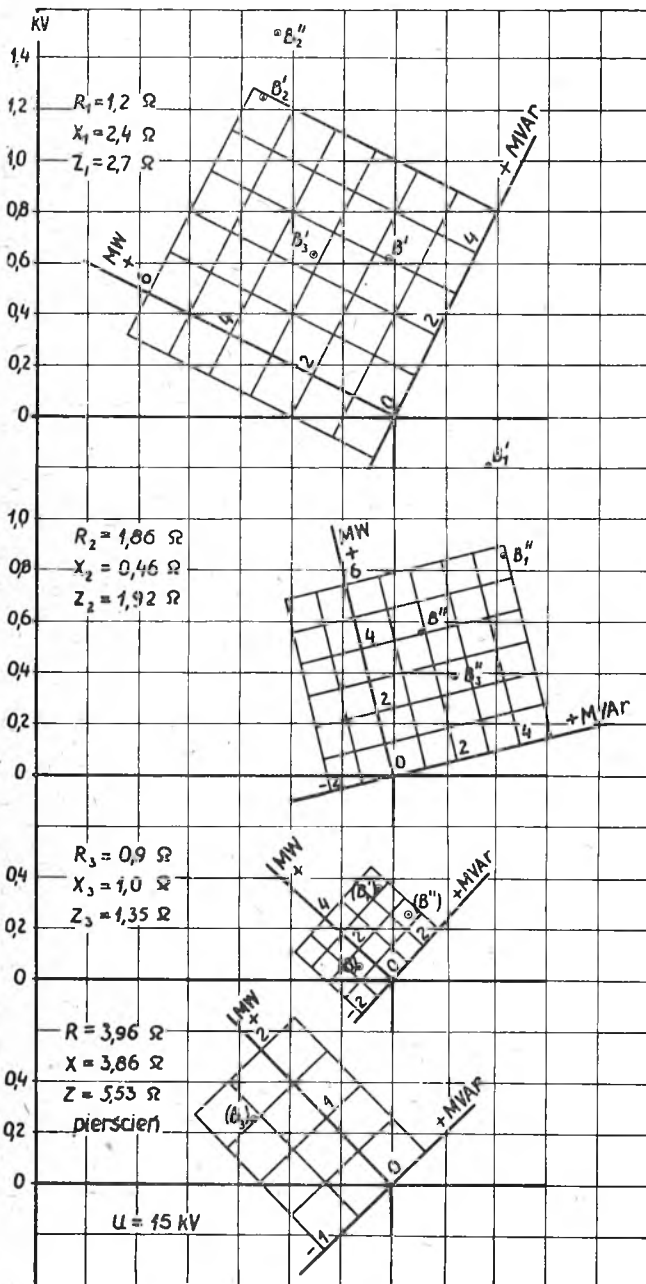
*) Wykres dla linii połączonych równoległe można zbudować także bez obliczania oporności R , X i Z przy pomocy wykresów poszczególnych linii.

dzielnią linią napowietrzną o opornościach $R_1 = 1,2 \Omega$, $X_1 = 2,4 \Omega$, $Z_1 = 2,7 \Omega$; elektrownia II — linią kablową o opornościach $R_2 = 1,86 \Omega$, $X_2 = 0,46 \Omega$, $Z_2 = 1,92 \Omega$. Ponadto elektrownie połączone są między sobą linią rezerwową o opornościach $R_3 = 0,9 \Omega$, $X_3 = 1,0 \Omega$, $Z_3 = 1,35 \Omega$. Napięcie robocze wynosi 15 kV. Dla mocy poszczególnych elektrowni, wynoszących:

$P_{w'} = 3,2 \text{ MW}$, $P_{b'} = 2,4 \text{ MVar}$, $P_{w''} = 2,5 \text{ MW}$, $P_{b''} = 2,5 \text{ MVar}$,
wyznaczyć należy:

- 1) spadki napięcia $\Delta U'_1$ i $\Delta U''_1$ od elektrowni do rozdzielni przy wyłączonej linii napowietrznej;
- 2) spadki napięcia $\Delta U'_2$ i $\Delta U''_2$ od elektrowni do rozdzielni przy wyłączonej linii kablowej;
- 3) spadki napięcia $\Delta U'_3$ i $\Delta U''_3$ od elektrowni do rozdzielni przy wyłączonej linii rezerwowej;
- 4) rozptył mocy w poszczególnych liniach przy pracy wszystkich linii w pierścieniu;
- 5) spadki napięcia $\Delta U'$ i $\Delta U''$ od elektrowni do rozdzielni przy pracy wszystkich linii w pierścieniu.

Rozwiązanie. Największą trudność sprawia tu może punkt 4, tj. wyznaczenie rozptyłu przy pracy linii w pier-



Rys. 21

ścieniu. Zasada rozwiązania polega na znalezieniu przepływu wyrównawczego, czyli mocy, która dodatkowo popłynie w pierścieniu przez linię rezerwową z chwilą jej

włączenia. Ten wyrównawczy przepływ wywołuje na całkowitej oporności pierścienia stratę napięcia, równą wektorowej różnicy napięć pomiędzy elektrowniami I i II przed włączeniem linii rezerwowej. By wyznaczyć zatem ów przepływ, musimy poza wykresami spadków napięcia dla poszczególnych 3 linii zbudować jeszcze wykres dla całego pierścienia.

Spadek napięcia $\Delta U''_1$ znajdujemy z wykresu linii kablowej dla odpowiadającego punktowi B''_1 łączącego obciążenia obu elektrowni (rys. 21). Spadek napięcia $\Delta U'_1$ otrzymujemy, dodając do $\Delta U''_1$ spadek napięcia od obciążenia elektrowni I, znaleziony z wykresu linii rezerwowej. By uwidocznić wzajemne położenie wektorów napięcia w elektrowni i rozdzielni, dodano geometrycznie stratę napięcia na linii rezerwowej do wektora napięcia elektrowni II, wyznaczonego przez punkt B''_1 , znajdując w ten sposób punkt B'_1 , reprezentujący napięcie elektrowni I. W analogiczny sposób znajdujemy odpowiadające spadkom napięcia $\Delta U'_2$ i $\Delta U''_2$ punkty B'_2 i B''_2 oraz spadkom napięcia $\Delta U'_3$ i $\Delta U''_3$ — punkty B'_3 i B''_3 . Te ostatnie punkty wyznaczamy bezpośrednio z wykresu linii napowietrznej dla obciążenia elektrowni I, a z wykresu linii kablowej dla elektrowni II. Na wykres pierścienia nakładamy następnie wektorową różnicę napięć pomiędzy punktami B'_3 i B''_3 i znajdujemy przepływ wyrównawczy. Przepływ ten dodajemy do mocy elektrowni II otrzymując obciążenie kabla, a odejmujemy od mocy elektrowni I określając obciążenie linii napowietrznej. Dla tak uzyskanych obciążeń linii kablowej i napowietrznej znajdujemy już bez trudu spadki napięcia $\Delta U'$ i $\Delta U''$, odpowiadające punktom B' i B'' .

Otrzymane z wykresów wyniki są następujące:

$$\begin{aligned} \Delta U'_1 &= 1,21 \text{ kV} & \Delta U''_1 &= 0,86 \text{ kV} \\ \Delta U'_2 &= 1,25 \text{ kV} & \Delta U''_2 &= 1,5 \text{ kV} \\ \Delta U'_3 &= 0,63 \text{ kV} & \Delta U''_3 &= 0,39 \text{ kV} \end{aligned}$$

Przepływ wyrównawczy:

$$P_{w3} = 1,04 \text{ MW}, \quad P_{b3} = -0,6 \text{ MVar}.$$

Obciążenie linii napowietrznej:

$$P_{w1} = 1,66 \text{ MW}, \quad P_{b1} = 3,0 \text{ MVar}.$$

Obciążenie linii kablowej:

$$\begin{aligned} P_{w2} &= 4,04 \text{ MW}, & P_{b2} &= 1,9 \text{ MVar} \\ \Delta U' &= 0,61 \text{ kV} & \Delta U'' &= 0,56 \text{ kV} \end{aligned}$$

Podobną metodę jak w przykładzie 2 stosować należy także w przypadku gałęzi równoległych, jeżeli w jednej z nich znajduje się transformator regulacyjny lub jeśli przekładnie transformatorów, umieszczonych w obu gałęziach, nie są wyrównane. W obwodzie otrzymanego z linii równoległych pierścienia zjawia się bowiem wówczas pewna siła elektromotoryczna wywołująca przepływ wyrównawczy. Gdy w obwodzie takiego pierścienia nie ma dodatkowej siły elektromotorycznej, znacznie dogodniejszy jest sposób zastosowany w przykładzie 1.

e) Projektowanie linii. Opisane wykresy, jako przeznaczone dla potrzeb ruchu, sporządzane są na podstawie konkretnych danych istniejących linii i umożliwiają przedstawienie interesujących nas wielkości, jak spadek napięcia lub strata mocy w funkcji obciążenia. Na ich podstawie możemy łatwo stwierdzić, jak wielka moc czynna i bierna może być przesłana przez rozpatrywaną linię.

Przy projektowaniu punkt wyjściowy jest inny. W tym przypadku zakładamy pewne przypuszczalne obciążenie, a szukamy właściwych przekrojów przewodów linii. Jakkolwiek role danych i niewiadomych wielkości ulegają tu zamianie, w rzeczywistości sposób postępowania bywa niejednokrotnie zbliżony. Najczęściej po wstępnym obliczeniu musimy bowiem wybrać najwłaściwsze z kilku możliwych rozwiązań, co da się rozstrzygnąć jedynie przez dokładną analizę poszczególnych rozwiązań. Ponieważ przy takiej analizie rozpatrujemy linie o konkretnych już danych, więc opisana metoda wykreślnego obliczania spadków napięcia, straty mocy itp. może oddać poważne usługi. Jest to sposób o tyle właściwy, że przyjęta do obliczenia moc zazwyczaj nie będzie osiągnięta od razu, ale dopiero z biegiem czasu, a nawet i wówczas ta największa wartość nie będzie utrzymywać się stale; nieraz zdarzyć się może także, iż obciążenie okaże się większe, niż przewidywano. Jeśli linia zasilająca jakiegoś większego odbiorcę lub grupę odbiorców, możemy łatwo na podstawie wykresów ustalić, o ile da się podnieść obciążenie linii przez poprawę współczynnika mocy, a równocześnie,

jaki zespół kondensatorów lub kompensatorów należy w tym celu zastosować.

Największe jednak usługi oddać mogą wykresy przy projektowaniu linii przesyłowych, gdzie analiza poszczególnych rozwiązań musi być znacznie staranniejsza, niż przy liniach zasilających lub rozdzielczych. W liniach przesyłowych kierunek przepływu mocy czynnej i bierniej ulega bardzo często zmianie w zależności od rozmaitych czynników, poza tym każda nowa linia wprowadza spore różnice w dotychczasowych rozpiętych mocy. By przeprowadzić dostateczną analizę, trzeba nieraz rozpatrzyć kilka różnych układów sieciowych, w których nowa linia będzie mogła pracować. W razie, gdy projektowana linia ma poprawić niedogodny rozpiętym mocy, można dzięki wykresom w łatwy sposób ustalić, czy istotnie linia ta spełni stawiane jej wymagania, czy też rozwiązania szukać należy na jakiejś innej drodze. Z przytoczonych względów zastosowanie wykresów do projektowania linii przesyłowych jest szczególnie pożądane.

9. Uwagi ogólne.

Jak widzieliśmy, zasadniczą cechą wykresów jest ich uniwersalność, gdyż możemy je wykorzystać do najrozmaitszych celów. We wszystkich przypadkach korzystanie z gotowych wykresów jest bardzo proste i nie wymaga większego przygotowania technicznego. Cały szereg zagadnień może być rozwiązany z dostateczną dla praktyki ścisłością w sposób łatwiejszy i szybszy, niż przy użyciu innych metod. Ta łatwość i prostota sprawia, że możemy przy rozpatrywaniu różnych zagadnień uwzględnić dość istotne czynniki, które inaczej, ze względu na wprowadzane komplikacje, zostałyby pominięte.

Sporządzenie wykresów wymaga pewnego jednorazowego nakładu pracy, składającego się z dwóch części. Pierwsza polega na określeniu stałych linii, tj. oporności R , X i Z , a przy dłuższych liniach jeszcze i pojemności C . Wielkości te powinny być właściwie dobrze znane prowadzącym ruch sieci, gdyż są potrzebne także i do innych

celów, np. do nastawiania przekaźników, których działanie jest uzależnione od oporów lub do obliczania prądów zwarcia. W razie braku dokumentacji technicznej linii i trudności wyznaczenia oporności indukcyjnej X można z dokładnością do 10% przyjąć dla wszystkich linii napowietrznych $X = 0,4 \Omega/\text{km}$. Druga część pracy polega na samym wykonaniu wykresów. Technika ich wykreślenia jest prosta. Jeśli dla każdej linii określimy R , X i Z , a dla każdego transformatora — P_D , ΔU_T i ΔU_X , jeśli obierzemy odpowiednie skale napięciowe (dla całej sieci zaleca się przyjąć jednakową skalę dla procentowego spadku napięcia i straty mocy), jeśli obliczymy skalę mocy oraz ustalimy zakresy mocy czynnych i biernych, to dalszą część pracy możemy od razu powierzyć kreślarzowi. Jedynie przy wykresach specjalnych, np. w przypadku linii i transformatorów w układzie $||$ jako rzadziej stosowanych, trzeba udzielić kreślarzowi dodatkowych wyjaśnień.

Należy wspomnieć o jeszcze jednej korzyści, wynikającej ze stosowania wykresów: dzięki prostocie posługiwania się wykresami, korzystający z nich, choćby nie znali nawet różnych teoretycznych zależności między rozpiętymi mocy, spadkami napięć, kompensacją linii itd., mogą na podstawie wykresów nabrać o tym pojęcie, wystarczającego dla prowadzenia prawidłowego ruchu sieci. Ponadto wykresy poszczególnych linii z własnego rejonu dyspozycyjnego dają się opanować po jakimś czasie dzięki pamięci wzrokowej człowieka, wskutek czego doświadczony kierownik ruchu nawet nie mając pod ręką wykresów potrafi szybko ocenić sytuację i podjąć właściwe kroki np. w przypadku zakłócenia ruchu.

LITERATURA

- Burger O. Bestimmung und Regelung der Spannung in Drehstromnetzen (ETZ, 1925, nr 35)
 Burger O. Spannungsregelung (w książce Rziha u. Seidener — Starkstromtechnik, 1931, str. 109 — 114)
 Kallir L. Berechnung von Wechselstromnetzen mit Rücksicht auf Spannungsabfall (w książce Rziha u. Seidener — Starkstromtechnik, 1931, str. 338 — 422)

INŻ. STEFAN KRZYCKI

Przewodniczący Komisji Koordynacyjnej południowych zjednoczeń energetycznych

Prace unifikacyjno-racjonalizatorskie południowych zjednoczeń energetycznych^{*)}

Treść. Podany jest program prac komisyjnych z zakresu współpracy sieci, posiadających uziemiony i izolowany punkt zerowy, z zakresu zabezpieczeń przekaźnikowych, gospodarki olejowej i węglowej, z zakresu normalizacji parametrów pary oraz mocy jednostek kotłowych i turbinowych.

Работы Южных энергетических объединений по унификации и рационализации. Дается программа комиссионных работ по вопросам совместной работы сетей с заземленной и изолированной нейтралью, по вопросам релейной защиты, масляного и угольного хозяйства, стандартизации параметров пара и мощности котельных и машинных единиц.

Unification and rationalization work by the southern regional power groups. A program is provided of the work of commissions dealing with the interconnection of systems having an earthed and not-earthed neutral point, with relay protection, oil and coal management and with the standardization both of steam parameters and of the power of boiler and turbine units.

Travaux d'unification et de rationalisation dans les groupements méridionaux de production et distribution de l'électricité. L'auteur indique le programme des travaux des commissions dans le domaine de la coopération des réseaux possédant un point neutre isolé et à la terre; dans le domaine de protection par relais, de l'économie en huiles et charbon; dans le domaine de la normalisation des paramètres de la vapeur ainsi que de la puissance des unités de chaudières et de turbines.

Powstała z inicjatywy Centralnego Zarządu Energetyki grupa południowych zjednoczeń energetycznych powołała do życia kilka podkomisji technicznych celem wspólnego opracowania szeregu tematów i utworzyła komisję koordynacyjną, mającą między innymi za zadanie koordynowanie prac podkomisji. W skład komisji koordynacyjnej weszli przedstawiciele zjednoczeń: Dolnośląskiego, Górnośląskiego, Krakowskiego, Lubelskiego, Łódzkiego, Radomsko-Kieleckiego i Warszawskiego.

Analogiczna komisja koordynacyjna grupy północnych zjednoczeń obejmuje pozostałe zjednoczenia energetyczne. Prace podkomisji wyłonionych przez tę drugą grupę zogniskowały się na tematach normalizacji elementów sieci 110-kilowoltowych^{**)}.

^{*)} Artykuł dyskusyjny.

^{**)} Wierzbowski Z. Zagadnienie normalizacji sieci 110-kilowoltowych (PE, 1949, z. 1, str. 12).

Warunki pracy i współpracy zjednoczeń energetycznych południowych są nieco odmienne niż w zjednoczeniach północnych. Na południu istnieją np. już obecnie, choć w fazie początkowej, sieci 110-kilowoltowe łączące zjednoczenia. Na terenach zjednoczeń południowych koncentruje się większość elektrowni przemysłowych i zawodowych Polski, wreszcie na tych terenach buduje się już obecnie szereg potężnych nowych siłowni.

Nic więc dziwnego, że tematyka prac obu komisji jest różna; niemniej obydwie komisje koordynacyjne współpracują ze sobą harmonijnie, łącząc swe wysiłki przy rozwiązywaniu zagadnień interesujących obydwie grupy.

Część zagadnień opracowywanych przez podkomisję grupy południowej to zagadnienia czysto eksploatacyjne, wynikające z obecnych często nienormalnych

warunków pracy i układów sieci, i nie będzie przypuszczalnie interesowała ogółu. Większość jednak poruszanych przez podkomisję tematów — to tematy, z którymi spotykają się energetycy stale w praktyce; z tymi tematami będziemy chcieli zapoznać czytelników Przeglądu Elektrotechnicznego.

Wiele tematów narzuciło życie. I tak tematem prac Podkomisji I (przewodniczący inż. K. Przanowski przy współpracy inż. M. Kobylińskiego ze Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Łódzkiego) była Współpraca systemów uziemionego i izolowanego punktu zerowego w sieciach 110-kilowoltowych Górny Śląsk — Dolny Śląsk. Zadaniem podkomisji było opracowanie układu i warunków współpracy sieci 110-kilowoltowej okręgu dolnośląskiego (sieci skompensowanej i połączonej z sieciami czeskimi) z siecią reszty tzw. układu śląskiego (posiadającą punkt zerowy 110 kV uziemiony).

Niezależnie od ostatecznej decyzji Centralnego Zarządu Energetyki, czy przyszłe polskie sieci 110-kilowoltowe będą pracowały jako skompensowane, czy też nie, ewentualne przejście na jednolity system potrwać musi czas dłuższy.

Podkomisja ustaliła, że współpraca sieci w okresie przejściowym jest możliwa po sprzężeniu tych sieci transformatorami izolującymi (110/110 kV), wyposażonymi w regulację pod obciążeniem.

Podkomisja II — Gospodarki przekaźnikowej; przewodniczący inż. T. Ejsmond ze Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Radomsko-Kieleckiego.

Linie 110-kilowoltowe łączące sieci zjednoczeń południowych były budowane przy różnych założeniach, z zachowaniem różnych przepisów, rozmaicie zabezpieczane i najczęściej niedostosowane do pracy w pierścieniach.

Zjednoczenia przejęły po okupantach przekaźniki najróżnorodniejszych typów; rozmieszczenie przekaźników w sieciach było bardzo różne: w jednych zjednoczeniach nawet linie o charakterze lokalnym posiadały takie zabezpieczenia, jakich w innych zjednoczeniach nie posiadały ważniejsze linie międzyokręgowe.

Zanalizowanie sytuacji obecnej, usunięcie istniejących dysproporcji, opracowanie zasad właściwej gospodarki przekaźnikowej istniejącym sprzętem — to jedno z zagadnień rozwiązywanych przez podkomisję.

Do kraju nadeszła większa seria przekaźników L3 (Brown-Boveri); zbadanie tych przekaźników, właściwy rozdział w terenie i właściwe ich nastawienie to następne zadanie podkomisji.

Podkomisja ma również ustalić zapotrzebowanie przekaźników dla przewidzianej w planie sześciolletnim rozbudowy sieci*).

Podkomisja III — Gospodarki olejowej; przewodniczący inż. Orski przy współpracy inż. Webermana ze Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Krakowskiego.

Oleje turbinowe i izolacyjne są poza paliwem i wodą najważniejszym materiałem używanym przez energetykę. Dobry stan tych olejów i właściwa gospodarka nimi często decydują o zadawalającej pracy takich podstawowych urządzeń energetycznych, jakimi są turbozespoły i transformatory. Niewłaściwa gospodarka olejami powoduje nadto marnotrawstwo tego cennego materiału.

*) Blższe naświetlenie niektórych zagadnień dyskutowanych przez podkomisję ob. w artykułach inż. Ejsmonda i inż. Lidwina na dalszych stronicach niniejszego zeszytu.

Zjednoczenia, odczuwając potrzebę uregulowania problemu olejowego, określili zadania podkomisji jak następuje:

a) ustalenie jednolitej organizacji laboratoriów olejowych, ich rodzajów i wyposażenia;

b) ustalenie metod regeneracji i czyszczenia oleju opartych na naszych doświadczeniach i możliwościach technicznych;

c) opracowanie przepisów i zasad przechowywania oleju;

d) zbadanie celowości i możliwości stworzenia rezerw olejowych w zjednoczeniach.

Podkomisja IV — Gospodarki węglowej; przewodniczący inż. Tomaszewicz ze Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Górnośląskiego.

Elektrownie ciepłe napotykały często trudności spowodowane bądź jakością dostarczanego węgla, bądź też warunkami wyładunku i składowania węgla w siłowniach.

Jakość dostarczanego do siłowni węgla winna być dostosowana do urządzeń kotłowni, do założeń, na których oparto konstrukcję kotłów i ich palenisk; dotyczy to w znacznej mierze ziarnistości węgla. Praca obsługi kotłów może być znacznie ułatwiona przez zaopatrywanie siłowni w węgiel stale z tych samych kopalń. Podkomisja ma zaproponować, które gatunki węgla i z których kopalń mają być dostarczane do poszczególnych elektrowni.

Wobec znacznych początkowo trudności transportowych oraz celem zapewnienia elektrowniom ciągłości pracy elektrownie były obowiązane utrzymywać na składach swych kilkumiesięczne zapasy węgla. Powodowało to dodatkowe koszty składowania oraz zmniejszenie wartości kalorycznej węgla złożonego na składzie.

Podkomisja ustali, jakie największe ilości węgla mogą być składowane w poszczególnych elektrowniach oraz jakie ilości węgla, zależnie od położenia elektrowni względem kolejowej sieci transportowej, winny być magazynowane na okres zimy.

Podkomisja V — Parametry; przewodniczący inż. J. Michejda ze Zjednoczenia Energetycznego Okręgu Górnośląskiego.

W planie sześciolletnim przewidziana jest budowa szeregu elektrowni zawodowych; w wielu wypadkach w zakładach przemysłowych, zużywających większe ilości pary do celów technologicznych, uzasadnione będzie ustawienie turbozespołów czołowych dla dodatkowego wyzyskania ciepła pary.

Niewątpliwie i w następnych etapach naszej planowej gospodarki energetyka będzie progresywnie rozwijana. Zarówno krajowym fabrykom turbin i kotłów, jak i energetyce zależy na właściwym wyborze parametrów pary oraz na znormalizowaniu wielkości jednostek kotłowych i turbinowych, instalowanych — w ramach planowego rozwoju energetyki — w elektrowniach zawodowych i przemysłowych.

Prace podkomisji zostały zapoczątkowane referatem inż. W. Neya ogłoszonym w Przeglądzie Elektrotechnicznym (1948, z. 10/11) oraz podanymi w Biuletynie Technicznym ZEOG (Nr 4 z 1948 r.) informacjami co do parametrów pary i norm stosowanych w Niemczech, Stanach Zjednoczonych, Czechosłowacji i Rosji.

Szereg wymienionych prac podkomisje już ukończyły, a wszystkie ważniejsze będą ukończone w ciągu roku bieżącego.

INŻ. TADEUSZ EJSMOND
Przewodn. Komisji Przekąźnikowej A-II (CZE)

Niektóre zagadnienia gospodarki przekąźnikowej w energetyce*)

Treść. Prace międzyzjednoczeniowej komisji przekąźnikowej obejmują takie sprawy, jak gospodarka istniejącym sprzętem przekąźnikowym, rejestracja wadliwości zabezpieczeń, dobór właściwych typów zabezpieczeń przekąźnikowych, ustalenie zapotrzebowania przekąźników i programu produkcji ich, wreszcie organizacja laboratoriów przekąźnikowych.

Некоторые проблемы энергетика в области релейной защиты. Комиссионные работы энергетических объединений по релейным делам обнимают такие вопросы, как: использование существующего оборудования, регистрирование неправильностей в защитных установках, выбор надлежащих типов релейной защиты, определение потребности в релейном оборудовании, программа производства реле, организация релейных лабораторий.

Certain relay problems in power practice. The work of the regional power group commission for relay problems comprises such items as the management of existing relay equipment, the recording of deficiencies in protective devices, the selection of suitable types of relay protecting devices and the program for their manufacture, as well as the organizing of relay laboratories.

Quelques problèmes dans le domaine des relais dans la production et la distribution de l'électricité. Les travaux de la Commission des groupements de producteurs et distributeurs d'électricité, chargée de la question des relais englobent des problèmes tels que l'emploi du matériel de relais existant, le relevé des défauts des dispositifs de protection, le choix des types adéquats de relais de protection, l'établissement des besoins en relais et le programme de leur production, enfin l'organisation des laboratoires de relais.

Zagadnienie przekąźników ochronnych nie istniało właściwie w Polsce przed 1939 rokiem. Energetyka znajdowała się w przeważnej części w ręku kapitalistów zagranicznych, eksploatujących rzadką sieć promieniastą opartą przeważnie na niedużych elektrowniach, nazywających się szumnie okręgowymi. Współpraca elektrowni była rzadkością, np. Żur-Gródek, Pruszków-Warszawa (dla potrzeb P. K. P.), Zeork (zasilanie z elektrowni przemysłowych). Odrębny problem stanowił Górny Śląsk, gdzie granica przecięła układ energetyczny O. E. W.

W samych elektrowniach zabezpieczenia generatorów były dostarczane przez dostawcę generatorów; tak samo rzecz się miała z większymi transformatorami. Przekąźniki nadmiarowe, w olbrzymiej większości pierwotne, zupełnie wystarczały dla zabezpieczeń sieciowych. Generatory i transformatory zabezpieczano przeważnie przekąźnikami nadmiarowymi wtórnymi, przy dużych jednostkach — różnicowymi. Pewna liczba generatorów posiadała kompletne zabezpieczenia. Zabezpieczenia sieciowe typu odległościowego istniały w Zeorku (LB i LC), na linii Starachowice-Mościce oraz na Śląsku (AEG i Siemens, mocno przestarzałe).

Miarą braku zainteresowania problemami przekąźnikowymi w energetyce jest fakt, że z wyjątkiem jednego rozdziału w książce prof. Morawskiego w całej literaturze technicznej polskiej przed 1939 nie spotykamy ani słowa o tej dziedzinie.

Po odzyskaniu niepodległości w roku 1945 przed energetykami polskimi problem zabezpieczeń stanął w całej ostrości. Z jednej strony zastaliśmy na Ziemiach Odzyskanych gęstą, wielokrotnie zamkniętą sieć wysokiego napięcia, mającą zabezpieczenia odległościowe (w rzadkich wypadkach porównawcze). Sieć ta po odbudowie ze zniszczeń wojennych musiała w dalszym ciągu pracować w układzie zamkniętym, zasilanym z wielu elektrowni, gdzie trzeba było zastosować zabezpieczenia nowoczesne.

Z drugiej strony planowa rozbudowa energetyki w ramach planu 3-letniego, a następnie 6-letniego spowoduje połączenie dotychczas samodzielnie pracujących zespołów w jeden wielki układ energetyczny, którego sprawne funkcjonowanie nie jest możliwe bez racjonalnego rozwiązania problemu zabezpieczeń linii, stacji, transformatorów i elektrowni.

W okresie 1945-47 każde zjednoczenie energetyczne rozwiązywało swoje trudności w zakresie zabezpieczeń na własną rękę według posiadanej aparatury i... fachowców, których w dodatku w Polsce prawie nie ma.

Dopiero w czerwcu 1948 roku na konferencji dyrektorów technicznych zjednoczeń południowych (zwołanej przez Centralny Zarząd Energetyki) postanowiono powołać komisję, której zadaniem miało być

przepracowanie problemów zabezpieczeniowych. Komisja ta, obejmująca początkowo tylko Zjednoczenia Warszawskie, Łódzkie, Radomsko-Kieleckie, Krakowskie, Górnośląskie i Dolnośląskie, objęła z czasem wszystkie 14 zjednoczeń energetycznych; liczba członków komisji wzrosła z 9 na 15, a liczny udział gości na każdym posiedzeniu świadczy o zainteresowaniu problemem.

Komisja otrzymała do opracowania 5 tematów: 1. gospodarka istniejącym sprzętem przekąźnikowym, 2. systematyka rejestracji wad zabezpieczeń, 3. dobrane najkorzystniejszego typu zabezpieczenia porównawczo-kierunkowego na prądach nośnych wysokiej częstotliwości, 4. zapotrzebowanie przekąźników w planie 6-letnim i program produkcji krajowej, 5. rozmieszczenie i wyposażenie aparatury laboratoriów przekąźnikowych.

Temat 1. Komisja opracowała kartę przekąźnikową, która już w roku 1948 została wprowadzona w życie. W ten sposób stworzono jednolitą kartotekę przekąźnikową we wszystkich zjednoczeniach. Kompletna kartoteka znajduje się również w sekretariacie komisji. Aby wprowadzić racjonalną gospodarkę istniejącym sprzętem przekąźnikowym, należało przede wszystkim opracować kryteria zabezpieczenia obiektów. W tym celu komisja dokonała podziału całej sieci wysokiego napięcia na następujące kategorie:

- I a — linie międzyokręgowe i sieci na 100 i 110 kV,
- I b — linie łączące między sobą wielkie elektrownie,
- I c — linie bardzo ważnego zasilania,
- II — linie ważnego zasilania,
- III — wszystkie pozostałe linie wys. nap.

Propozycje 14 zjednoczeń co do kwalifikacji ich sieci zostały przedyskutowane w obecności głównego rozrządy, uzgodnione i zatwierdzone przez CZE jako obowiązujące.

Dla linii I kategorii (a, b, c) przyjęto zabezpieczenia odległościowe z warunkiem, że sieć 100-kilowoltowa (dolnośląska) będzie zabezpieczona przekąźnikami typu RZ4 (Siemensa) i SD4 (AEG) posiadany przez ZEOD, natomiast układ ZEOD — ZEOK — ZEOL — ZEORK — ZEOW zabezpieczony będzie tymczasowo posiadany przekąźnikami L3 (BBC). Związany z tym problem dokładnego zbadania przekąźników L3 oraz opracowania planu zabezpieczeń został przez komisję rozwiązany.

Dla linii kategorii II przyjęto zabezpieczenia bądź odległościowe, bądź nadmiarowo-kierunkowe — w zależności od potrzeb i posiadanej aparatury.

Na podstawie kartoteki komisja zaprojektowała cały szereg przeniesień przekąźników nie tylko z miejsca na miejsce, ale i z jednego zjednoczenia do drugiego. Przeniesienia te uzyskały sankcję wykonawczą CZE i są w toku.

Dla transformatorów ustalono następujące kryteria:

*) Artykuł dyskusyjny.

ponad 5 MVA — zabezpieczenia różnicowe, ciepłe dwustopniowe, gazowe dwustopniowe i nadmiarowe wtórne;

800 kVA — 5 MVA — ciepłe jedno- lub dwustopniowe, gazowe dwustopniowe, w miarę możliwości różnicowe z nadmiarowym jednostronnym lub nadmiarowe dwustronne;

320 kVA — 800 kVA — nadmiarowe pierwotne lub wtórne.

Dla generatorów:

ponad 5 MVA — różnicowe, nadmiarowe, ziemnozwarciowe, przeciw zwarciom międzyzwojowym — dla b. dużych jednostek zabezpieczenie od zwarć z ziemią magnetyczny — napięciowe nadmiarowe i nie-domirowe;

do 5 MVA — nadmiarowe (ew. różnicowe), nadnapięciowe i podnapięciowe.

Plan racjonalnego rozmieszczenia posiadanych prze-kazników na transformatorach i generatorach jest w opracowaniu.

Temat 2. Dla systematyki rejestracji wad za-bezpieczeń opracowano kartę i arkusz statystyczny. Kartę połączono z opracowaną przez Komisję kartą ochrony. I karty i arkusz zostały zatwierdzone przez CZE i będą wprowadzone w życie w najkrótszym czasie.

Temat 3. Temat ten nastęrczył komisji bardzo poważne trudności. Wielki postęp w dziedzinie za-bezpieczeń w ostatnich paru latach, zupełnie nowe kierunki (zabezpieczenia oparte na działaniu składo-wych symetrycznych), ogromna rozbieżność poglądów na różne typy zabezpieczeń w literaturze i praktyce różnych krajów — utrudniały autorytatywne wy-powiedzenie się. Niemniej jednak komisja opracowała wytyczne do planu 6-letniego, a jednocześnie przepro-wadza studia nad najnowszymi wynalazkami w tej dziedzinie. Planowany jest również wyjazd delegacji komisji za granicę celem zapoznania się z najnow-szymi typami przekazyńników i doświadczeniami ru-chowymi.

Temat 4. Opracowanie zapotrzebowania przekazyń-ników w planie 6-letnim i planu produkcji krajowej są na ukończeniu.

Temat 5. Opracowano rozmieszczenie i zasadni-czy ekwipunek laboratoriów terenowych. Zaprojek-towano również całkowicie nowy stół cechowniczy, który będzie mógł być wykonany przez przemysł kra-jowy i pozwoli na próby i cechowanie wszystkich ty-pów przekazyńników:

Prócz powyższych zleconych tematów komisja opra-cowuje protokoły kontroli różnych typów przekazyń-ników, sprawozdanie o zakłóceniach ruchu, które będzie zawierało dane dotyczące zadziałania przekazyńników i szereg problemów wyłaniających się podczas pracy.

Jak wynika z powyższego, komisja przekazyńnikowa (zabezpieczeń) Centralnego Zarządu Energetyki za-jęła się prawie całokształtem gospodarki przekazyń-nikowej. Jest jednak jeden bardzo poważny problem ściśle z tą gospodarką związany, a nie wchodzący w zakres działalności komisji. Jest to sprawa szko-lenia kadr.

Przekazyńnikowców w Polsce brak. Członkowie ko-misji — to wszyscy przekazyńnikowcy polscy. A po-trzebne są całe rzesze i to na wszystkich szczeblach: inżynierowie, technicy, laboranci, monterzy. Próby szkolenia już były: w początkach 1948 roku kurs trzy-miesięczny w Nysie (ZEOG), który jednak nie dał spodziewanych wyników z powodu niewłaściwego programu, zbyt nierównego poziomu słuchaczy (od młodszego montera do wawelberczyka), a przede wszystkim z powodu niedostatecznej ilości zajęć prak-tycznych — zbyt ciasne i niedostatecznie wyekwipo-wane laboratorium. Krótkie kursy monerskie zor-ganizowało również ZEOG. Cykle odczytowe z za-kresu przekazyńników zorganizowały oddziały SEP: Opolski i Radomsko-Kielecki. Ale to wszystko jest kroplą w morzu. Natomiast w niedługim czasie uka-że się obszerna książka z zakresu przekazyńników pióra inż. Lidwina i inż. Trojaka, członków komisji.

Na sprawę szkolenia należy zwrócić baczniejszą uwagę. Politechnika Gdańska już zainteresowała się tym problemem (prof. Szpor). Powinny się tym za-jąć inne politechniki, SEP, GIEŁ, a przede wszystkim Dział Szkolnictwa Zawodowego Centralnego Zarządu Energetyki.

NŻ. A. LIDWIN

Klasyfikacja linii wysokich napięć w państwowej sieci elektrycznej^{*)}

Treść. Komisja przekazyńnikowa zjednoczeń energetycznych dokonała klasyfikacji polskich linii wysokonapięciowych z punktu widzenia ich ważności w państwowej gospodarce sieciowej oraz z punktu widzenia potrzebnych zabezpieczeń.

Классификация высоковольтных линий государственных электрических сетей. Комиссия энергетических объединений по релейным вопросам про-извела классификацию польских высоковольтных линий с точки зрения их хозяйственной важности и с точки зрения требуемых защитных устройств.

Classification of H. T. lines in the national electric system. The relay commission of regional power groups has classified Polish H. T. lines from the point of view of their importance for the national grid system operation and from the point of view of protective equipment required.

Classification des lignes de haute tension dans le réseau national électrique. La commission des relais des groupements de produ-cteurs et distributeurs d'électricité a procédé à la classification des lignes de haute tension polonaises, du point de vue de leur importance dans l'économie nationale des réseaux ainsi que du point de vue des protections nécessaires.

Uporządkowanie i usystematyzowanie linii elek-trycznych wysokich napięć jest sprawą dużej wagi, ponadto zaś jest sprawą pilną. Ważność tego zagad-nienia jest oczywista; w każdym systemie gospodaro-wania byłoby ono jednym z głównych. W systemie gospodarki planowej — dla należytej eksploatacji sieci elektrycznych — zagadnienie to staje się sprawą podstawową i wyjściową. Uporządkowanie i usyste-matyzowanie linii oznacza ich jakościowe określenie, celowe zestawienie, a następnie zliczenie i przed-stawienie na planie.

Kto mógłby dokonać oceny jakościowej sieci i jakie kryteria należałoby w tym celu zastosować? Centralny Zarząd Energetyki zlecił opracowanie tego problemu powołanej w sierpniu ub. roku Komisji przekazyńnikowej A II. Wydaje się, że wybór ten był słuszny z wy-luszczonej niżej względów.

Rozwój techniki przekazyńnikowej został wywołany w ciągu ostatnich kilkunastu lat następującymi czyn-nikami:

a) rozrastaniem się sieci,

b) zdynamizowaniem się problemu przesyłania ener-gii elektrycznej z uwagi na przesyłanie wielkich mocy na coraz to większe odległości,

^{*)} Artykuł dyskusyjny.

c) zróżniczkowaniem się wymagań ruchowych przy przesyłaniu energii ze względu na różnorodne układy sieciowe,

d) modernizacją aparatury wysokiego napięcia.

To daleko idące oddziaływanie rozwoju sieci i warunków jej ruchu na kształtowanie się nowych typów przekładników zrodziło nowy rodzaj specjalisty-przekładnikowca.

W nowoczesnych większych sieciach energetycznych nie można sobie wyobrazić przekładnikowca odpowiedzialnego za stan zabezpieczeń sieci, któremu byłyby obce — konfiguracja sieci oraz jej organizacja ruchu.

ciągła współpraca oddziału zabezpieczeń z rozrządnią i biurem ruchu sieci i elektrowni jest obecnie rzeczą nieodzowną.

Z tego powodu zagadnienie jakości i ważności linii wysokich napięć nie może być dla członków Komisji przekładnikowej rzeczą trudną i nową; przeciwnie, jest ono dla nich sprawą bliską i naturalną.

Ponieważ w Komisji przekładnikowej nie są reprezentowane wszystkie zjednoczenia, a klasyfikacja linii jest dla każdego zjednoczenia sprawą bezpośrednio obchodzącą, przeto dla gruntownego i wszechstronnego rozpatrzenia i przedyskutowania zagadnienia postanowiono pracami tymi zainteresować również zjednoczenia nie mające swoich delegatów w Komisji.

Z tych samych przyczyn przyjęto jako zasadę, że klasyfikacje linii powinny opracować każde zjednoczenie w porozumieniu i uzgodnieniu z właściwym organem rozrządczym i wydziałem sieci według wytycznych, które miały być opracowane przez Komisję.

Na plenarne posiedzenie członków Komisji i przedstawicieli zjednoczeń nie reprezentowanych w Komisji zaproszono w celach opiniotwórczych również głównego rozrządcę sieci 110-kilowoltowych.

Tak więc zrobiono wszystko, aby zagadnienie było naświetlone w sposób praktycznie wyczerpujący, a jego rozwiązanie technicznie słuszne.

Przy opracowywaniu wytycznych do klasyfikacji linii wzięto pod uwagę — oprócz ważności ruchowej danej linii, określanej dla danego obszaru gospodarczego do pewnego stopnia wielkością przesyłanej mocy i wysokością napięcia — także znaczenie i rolę przesyłanej linii mocy pod względem ogólnogospodarczym, społecznym, kulturalnym lub ogólnopublicznym.

Względniac wszystkie te założenia i przesłanki, wprowadzono podział linii na następujące kategorie:

kategoria Ia, do której zaliczono linie międzyokręgowe i linie o napięciu 110 kV;

kategoria Ib, do której wchodzi linie łączące między sobą wystarczająco ważne elektrownie (z punktu widzenia warunków lokalnych, a nie w jakiejś bezwzględnej skali, zależnej od wielkości mocy);

kategoria Ic, do której mogą być włączone linie bardzo ważnego zasilania (podkreślamy, że kryterium bezwzględnej wielkości przesyłanej mocy nie jest tu najważniejsze);

kategoria II, do której należy zaliczyć linie ważnego zasilania, dostatecznie umotywowanego, względnie linie przesyłowe na terenie podokręgu;

kategoria III, do której zalicza się wszystkie pozostałe linie, a więc linie mało ważnego zasilania i linie rozdzielcze.

Dokonana na podstawie tych założeń i definicji klasyfikacja linii wysokich napięć daje wynik przedstawiony w tabl. I, w której dla poszczególnych zjedno-

czeń zebrana jest ogólna liczba linii kategorii I i II z pominięciem linii zaliczonych do kategorii III.

Oczywiście, tak dokonanej klasyfikacji nie można uważać za rzecz sztywną. Z podanych założeń wynika, że klasa danej linii może ulec zmianie ze zmianą któregoś z istotnych założeń. Ewentualna zmiana przydzielonej klasy winna być dokonana przez Centralny Zarząd Energetyki po odpowiednim umotywowanym zgłoszeniu jej przez zainteresowane zjednoczenie.

Jak względny i zmienny był wpływ napięcia roboczego linii lub mocy przesyłanej daną linią przy

Tablica I

Zjednoczenie	Liczba linii w kategorii				Razemliczba linii
	Ia	Ib	Ic	II	
I. ZEOW (W-wa)	2 ^{1/2}	2	13	4	21 ^{1/2}
II. ZEORK (Sk.-Kam.)	3	5	4	4	16
III. ZEOL (Ł.)	1 ^{1/2}	9	5	5	20 ^{1/2}
IV. ZEOPW (Pł.)	—	5	2	7	14
V. ZEOB (Bł.)	—	—	—	—	—
VI. ZEOL (Lub.)	1 ^{1/2}	—	—	1	1 ^{1/2}
VII. ZEOK (Kr.)	4 ^{1/2}	2	7	14	27 ^{1/2}
VIII. ZEOG (Kt.)	14 ^{1/2}	21	26	59	120 ^{1/2}
IX. ZEODs. (Wr.)	10 ^{1/2}	18	12	36	76 ^{1/2}
X. ZEOP (Pz.)	1 ^{1/2}	10	1	6	17 ^{1/2}
XI. ZEOS (Szcz.)	4	19	3	18	44
XII. ZEObT (Bg.)	1 ^{1/2}	3	3	1	8 ^{1/2}
XIII. ZEOM (Ol.)	8	1	10	9	28
XIV. ZEON (Gd.)	4	5	3	7	19
Ogółem	55	100	89	171	415

Półowki w powyższych liczbach oznaczają symbolicznie przedczenie niektórych linii przez teren dwóch zjednoczeń. Liczba potrzebnych ochron jest równa dwukrotnej liczbie linii.

ustalaniu powyższej klasyfikacji, niech posłużą następujące przykłady:

a) linie kablowe na 6 kV służące do współpracy równoległej dwóch dużych elektrowni w ZEOG uznane zostały za linie kategorii Ib, gdy jedna z linii 60-kilowoltowych w tym samym zjednoczeniu z trudem utrzymała się, jako linia przeważnie rezerwowa, w kategorii II;

b) wiele linii kablowych 6-kilowoltowych, służących do przenoszenia około 4—7 MW, zostało zaliczonych do kategorii III, gdy w innym zjednoczeniu linie o napięciu 15 kV przenoszące mniejsze moce musiały być uznane za linie bardzo ważne w kategorii Ib.

Na czym polega wartość i znaczenie dokonanej klasyfikacji linii wysokich napięć?

Najogólniej mówiąc trzeba stwierdzić, że dopiero z chwilą posiadania tej klasyfikacji można rozpocząć celową i planową gospodarkę sieciową.

Różnymi i kolejnymi etapami na drodze ulepszenia tej gospodarki będzie opracowanie takich zagadnień, jak:

- dokumentacja techniczna poszczególnych elementów i urządzeń sieciowych,
- ich inwentaryzacja,
- racjonalna konserwacja doraźna,
- planowe remonty zwykłe,
- planowe remonty kapitalne.

Jeśli czynności te będą realizowane kolejno, najpierw dla linii kategorii Ia, Ib i Ic, a później dla linii kategorii II i wreszcie kategorii III, to korzyść posiadania takiego podziału linii okaże się bezsporną.

Prawdopodobnie nie dla wszystkich spraw sieciowych rozdział linii kategorii I na podgrupy Ia, Ib, Ic będzie konieczny. Można sądzić, że dla celów eksploatacji głównych elementów linii przyjęcie podziału tylko na linie kategorii I, II i III okaże się

wystarczające. Tego rodzaju zwięźlenie podziału nie będzie, oczywiście, w całokształcie gospodarki eksploatacyjnej sieci stanowić żadnej zasadniczej trudności.

I b, I c podkreśla jedynie pewną ich gradację, usprawnioną potrzebą zróżniczkowania sposobu ich zabezpieczenia.

Tablica II zawiera opracowany przez Komisję A II

Tablica II. Liczba brakujących ochron na liniach i plan częściowego usunięcia braków w dwu terminach 1949 r.

Zjednoczenie	Kat. Ia		Kat. Ib		Kat. Ic		Kat. II		Razem	
	IV. 49	XII. 49	IV. 49	XII. 49	IV. 49	XII. 49	IV. 49	XII. 49	IV. 49	XII. 49
I. ZEOW	5	—	4	2	8	4	—	—	17	6
II. ZEORK	6	2	—	—	—	—	—	—	6	2
III. ZEOŁ	1	—	16	8	4	—	—	—	21	8
IV. ZEOPW	—	—	6	—	—	—	4	4	10	4
V. ZEOB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VI. ZEOL	1	1	—	—	—	—	—	—	1	1
VII. ZEOK	7	—	4	—	14	3	28	28	53	31
VIII. ZEOG	2	—	19	—	18	—	(70)	(70)	39+(70)	(70)
IX. ZEODs	—	—	12	—	9	—	10	10	31	10
X. ZEOP	1	—	6	2	1	1	—	—	8	3
XI. ZEOS	4	—	6	—	6	—	15	15	31	15
XII. ZEOBT	3	—	6	2	—	—	—	—	9	2
XIII. ZEOM	5	—	1	—	10	2	6	6	22	8
XIV. ZEON	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Brak ochron w %	31,8	2,7	40	7	36,8	5,6	38,8	38,8	37,5	19,3

Przyjęcie natomiast przez przekąźnikowców dodatkowego rozgraniczenia między liniami kategorii Ia,

program usprawnienia w ciągu 1949 roku stanu zabezpieczeń na liniach kategorii I i II.

INŻ. T. EJSMOND

Sprawa zabezpieczeń dla różnych układów sieciowych*)

Przekąźniki BBC o tzw. polu wirującym (L3) są to typowe przekąźniki biernoporowe. Kilkanaście lat temu — dla uniknięcia wpływu oporu łuku zwarcioowego na pomiar oporu pozornego pętli zwarcia — kilka firm, a przede wszystkim BBC, wprowadziło na rynek przekąźniki odległościowe o charakterystyce biernoporowej. Było to uzasadnione, gdy czas podstawowy przekąźnika wynosił 0,5 sek., do czego dochodził dość długi czas wyłączania wyłączników olejowych. Obecnie, gdy czas podstawowy przekąźnika wynosi 0,1 sek. i poniżej, a czas wyłączania nowoczesnych wyłączników 0,12 sek., wpływ oporu łuku na dokładność pomiaru jest znikomy i charakterystyka biernoporowa, przy której na ogół dokładność pomiaru zależy od natężenia prądu i $\cos \varphi$, została powoli zarzucona. Jest stosowana jeszcze w przekąźnikach GEC typu GCX, w niektórych innych przekąźnikach, a przede wszystkim przez BBC. Niemniej jednak BBC produkuje również przekąźnik o charakterystyce wyraźnie pozornoporowej (typ L4).

Jeśli chodzi o przekąźnik L3, to posiada on pewną niedużą zależność od $\cos \varphi$, pewną zależność od napięcia, a przede wszystkim dość dużą strefę martwą. Rozszerzanie strefy szybkiej, opisane przez dr. inż. Jankowskiego (typy L3wc i L3wd), zostało uzupełnione przez ryglowanie wielką częstotliwością w typie L3wa, a ostatnio L3wl dla bardzo długich odcinków sieci.

Przy sieci skompensowanej nie zachodzi potrzeba izolowania odcinka sieci przy zwarcu jednofazowym z ziemią, gdyż urządzenie kompensacyjne powinno zgasić łuk.

Stosowanie chwilowego zwierania urządzenia kompensacyjnego było i jest jeszcze obecnie praktykowane w Stanach Zjednoczonych.

*) Uwagi do artykułu dyskusyjnego dra inż. A. Jankowskiego pod tyt. Wybór systemu połączenia punktu zerowego z ziemią w sieci państwowej 110-kilowoltowej (PE, 1949, z. 1, str. 16).

Zastosowanie pobudzenia podimpedacyjnego przy pomocy członów utykowych (przekąźniki Krizik SD4-AZE i SD4 — ZD) zamiast indukcyjnych pozwala na osiągnięcie dostatecznej pewności działania.

We Francji stosowana jest z wielkim powodzeniem ochrona ziemnozwarciowa kierunkowa samodzielna lub połączona z ryglowaniem przez wysoką częstotliwość.

Uwagę dra Jankowskiego o różnicowym zabezpieczeniu linii należy rozumieć, oczywiście, w ten sposób, że ma on na myśli tzw. systemy porównawcze mocy i prądu, rozpowszechniające się w ostatnich latach.

Pierwsze oparte są przeważnie na porównaniu przy pomocy wielkiej częstotliwości kierunku przepływu mocy na obu końcach linii, przy czym członem pomiarowym jest człon kierunkowy przekąźnika odległościowego.

Drugie oparte są na porównaniu fazy prądu na obu końcach linii. Pozwalają one na stosowanie ponownego włączania jednofazowego i nie wymagają bardzo kosztownych przy najwyższych napięciach transformatorów napięciowych, które są poza tym źródłem wadliwych zjawisk (strefa martwa).

Prócz tych dwóch zasadniczych systemów istnieje cały szereg systemów pośrednich. Wszystkie opisane wyżej układy pracują bardzo dobrze przy sieciach uziemionych lub kompensowanych. W chwili obecnej trudno jest powiedzieć, który jest najlepszy.

Wszystkie systemy z wielką częstotliwością nadają się do szybkiego ponownego włączania. Wobec rozpowszechnienia telefonii w. cz., pomiarów i sterowania zdalnego dodanie kanałów w. cz. dla zabezpieczeń nie przedstawia trudności.

W uzupełnieniu powyższych uwag załączamy tabelę porównawczą różnych układów sieci wysokiego napięcia zaczerpniętą z „Westinghouse Reference Book. Transmission and Distribution“.

Przeгляд porównawczy różnych układów sieciowych

L. p.	Układ:	A) izolowany	B) bezpośrednio uziemiony	C) uziemiony przez cewkę	D) uziemiony przez opór	E) skompensowany
1.	Izolacja aparatury	pełna	najniższa	częściowo stopniowana	jak pod C	jak pod C
2.	Prąd jednofazowego zwarcia z ziemią	zwykle mały	wartość największa rzadko przewyższa prąd zwarcia trójfazowego	wartość najmniejsza = $1/3 - 1/2$ wartości z p. B	mały	b. mały wyjąwszy wypadki zwierania urządzeń kompensujących w celu lepszego zabezpieczenia; w tych wypadkach taki jak w p. B
3.	Stateczność	zwarcia jednofazowe zwykle wpływają na stateczność	gorsza niż w innych wypadkach; może być polepszona przez zastosowanie szybko działających wyłączników	lepsza niż pod B, jeżeli uziemienie jest na krańcu odbiorczym	lepsza niż pod B, jeżeli uziemienie jest na krańcu odbiorczym	zwarcia jednofazowe wpływają na stateczność, jeżeli nie zachodzą okoliczności wymienione pod 2E
4.	Zabezpieczenia	trudne	łatwe i dobre	łatwe i dobre	łatwe i dobre	dobre przy specjalnej aparaturze
5.	Powrotne zapłony łuku zwarcia z ziemią	prawdopodobne	nieprawdopodobne	możliwe przy zbyt dużej indukcyjności cewki	nieprawdopodobne	nieprawdopodobne
6.	Umieszczenie zakłócenia	skutek zakłócenia w postaci podwyższenia napięcia względem ziemi przenosi się na całą galwanicznie sprzężoną sieć	zakłócenie umiejscowione	jak p. B, jeżeli indukcyjność cewki nie jest zbyt duża	jak pod A	jak pod A
7.	Podwójne zwarcia z ziemią	prawdopodobne	nieprawdopodobne	nieprawdopodobne, jeżeli indukcyjność cewki nie zbyt duża i izolacja dobra	nieprawdopodobne, jeżeli oporność uziemienia nie zbyt duża i izolacja dobra	wydaje się prawdopodobne; brak danych
8.	Ochrona przepięciowa	kosztowna i mało skuteczna	najtańsza i najskuteczniejsza	jeśli indukcyjność cewki duża — jak pod A	jeśli oporność uziemienia duża — jak pod A	jak pod A
9.	Zakłócenia w telekomunikacji	zwykle małe z wyjątkiem wypadków podwójnych zwarć z ziemią lub indukcji elektrostatycznej przy przesunięciu punktu zerowego; długotrwałe	największe, lecz krótkotrwałe	mniejsze niż pod B	mniejsze niż pod B	zwykle małe z wyjątkiem wypadków podwójnych zwarć z ziemią lub rezonansu częstotliwości harmonicznych; długotrwałe
10.	Zakłócenia radiowe	mogą być duże podczas zakłóceń lub przesunięć punktu zerowego	najmniejsze	większe niż pod B przy zakłóceńiach	większe niż pod B przy zakłóceńiach	mogą być duże podczas zakłóceń
11.	Gotowość do ruchu	zakłócenia eliminują się samoczynnie przy krótkich liniach; przy długich liniach odcinki muszą być wyłączane	odcinki dotknięte zakłóceniem muszą być wyłączane	jak pod B	jak pod B	zakłócenia eliminują się samoczynnie w 0-80%

PRZEGLĄD CZASOPISM

WYSOKONAPIĘCIOWE LINIE KABLOWE W UKŁADACH ENERGETYCZNYCH

Bragin S. M. Wysokowoltne kablonyje linii w energetycznych systemach. *Elektrichestwo*, 1947, nr 2, str. 23-29

Rozwój energetyki i przesyłanie wielkiej mocy na duże odległości pociągają za sobą konieczność coraz częstszego stosowania kabli wysokonapięciowych w sieciach energetycznych. Kable podziemne muszą być stosowane przede wszystkim w sieciach miejskich, w pobliżu miast, w przejściach przez tory kolejowe, rzeki, jeziora itd. W wielu przypadkach stosuje się kable wysokiego napięcia w elektrowniach i podstacjach do połączeń wewnętrznych.

Postępy dokonane w budowie kabli wysokonapięciowych, przede wszystkim olejowych, a następnie gazowych, sprawiły, że kabel podziemny odgrywa już wielką rolę w energetyce i długości linii kablowych wysokiego napięcia wynoszą dziś tysiące kilometrów. W stosunku do linii napowietrznych nowoczesne kable wysokonapięciowe mają te zalety, że ciągła automatyczna kontrola ich stanu (kontrola ciśnienia oleju czy gazu) pozwala unikać nagłych uszkodzeń linii. Pewną stroną ujemną praktyki kablowej jest długotrwałość napraw i pewne trudności w odnajdywaniu miejsc uszkodzenia kabli. Sprawa ta wymaga dalszych prac i poprawy obecnego stanu rzeczy.

Najważniejszym jednak powodem tego, że rozwój linii kablowych w sieciach energetycznych nie jest dostatecznie szybki, są ich duże koszty w porównaniu z kosztami linii napowietrznej. Koszt linii kablowej można rozdzielić w następujący sposób:

kabel	45%
sprzęt kablowy	15%
roboty ziemne	30%
ulożenie i montaż	10%
	100%

Dażenie do potania linii kablowych sprowadza się przede wszystkim do obniżenia cen samych kabli, co osiąga się przez stosowanie kabli olejowych i gazowych pod ciśnieniem, w których obok dostatecznej pewności ruchu osiągamy wybitne zmniejszenie grubości izolacji, a co za tym idzie mniejsze zużycie surowców. Dalsze potanie linii kablowej można osiągnąć przez zmniejszenie kosztów robót ziemnych i kosztów układania dzięki zastosowaniu daleko idącej mechanizacji. Zmniejszenie kosztów montażu i sprzętu odgrywa tu, oczywiście, również pewną rolę.

W kwestii kosztów eksploatacji linii kablowej należy zwrócić specjalną uwagę na straty ciepłe występujące w kablu, a więc na właściwe jego obciążenie. Wiadomo, że przy zwiększaniu przekroju żyły i podwyższaniu napięcia zwiększa się moc przesyłana, a przez to zmniejsza koszt kabla na jednostkę mocy przesyłanej (kVA). Wzrost ten jest jednak ograniczony jednoczesnym zwiększeniem strat ciepłych, na które składają się straty w żyłach, w izolacji kabla, a w przypadku kabli jednożyłowych również w płaszczu ołowianym. Jeżeli skutek niedostatecznego odprowadzania ciepła, spowodowanego zbyt dużą opornością cieplną otoczenia (ziemi w przypadku kabla podziemnego), temperatura płaszczka osiągnie wartość zbyt wysoką, równowaga cieplna w kablu zostanie naruszona i kabel może ulec przebicciu. Wielką więc rolę odgrywa tu oporność cieplna ziemi, a więc np. jej wilgotność. Ze zwiększeniem temperatury płaszczka, a tym samym i żyły, właściwe dla kabla obciążenie wzrasta aż do osiągnięcia pewnej wartości największej, po czym maleje. Oczywiście, zależnie od oporności cieplnej otoczenia należy obciążenie regulować poniżej tej wartości największej.

Niebezpieczeństwo przegrzania i przebiccia kabla jest najniższym punktem kabla wysokonapięciowego ograniczającym jego obciążalność. Poprawa jakości izolacji kablowej w tym sensie, żeby podnoszenie temperatury nie powodowało wzrostu strat dielektrycznych, jak najlepsze odprowadzenie ciepła przez możliwie ciekłą warstwę izolacji, jak najniższe straty w ołowiu (zastąpienie płaszczka ołowianego syntetycznym), wreszcie jak najniższa oporność cieplna otoczenia dzięki właściwemu ułożeniu

pozwoła w bardzo dużym stopniu na zwiększenie obciążalności kabla i stopnia bezpieczeństwa jego pracy (oczywiście, z zachowaniem właściwych warunków elektrycznych dla izolacji — zapobieganie nadmiernym napięciom elektrycznym, jonizacji itp.).

Jako zasadę należy przyjąć, że przy ustaleniu się warunków cieplnych ciepło wytwarzane w kablu winno być równe ciepłu odprowadzanemu z kabla, a więc suma strat w żyłach kabla ($P_m = I^2 R$) i w warstwie izolacji ($P_d = U^2 2\pi f C t g \delta$) musi odpowiadać nagrzewaniu się płaszczka ołowianego ponad temperaturę otoczenia, dzielonemu przez oporność cieplną tego otoczenia. Wprowadzając przekształcenia

$$P_d = 2\pi \gamma_d \cdot \frac{U^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}},$$

gdzie

$$\gamma_d = \frac{f \varepsilon t g \delta \cdot 10^{-12}}{1,8} \cong \gamma_0 e^{a\tau},$$

możemy napisać równanie

$$I^2 Q_{20} \frac{(1 + a\tau_m)}{s} + 2\pi \gamma_0 U^2 \frac{e^{a\tau}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{\tau_s}{\sigma_0},$$

gdzie

s przekrój żyły kabla w cm^2 ,

Q_{20} oporność właściwa żyły przy 20°C w $\Omega \text{ cm}$,

τ_m największy przyrost temperatury żyły ponad 20°C ,

τ_s także przyrost temperatury płaszczka ołowianego,

$\tau = \frac{\tau_m + \tau_s}{2}$ średnie nagrzanie się warstwy izolacji kabla,

a współczynnik cieplny oporności żyły ($\alpha_{\text{Cu}} = 0,004$),

r_1, r_2 promienie — wewnętrzny i zewnętrzny — izolacji kabla,

γ_d równoważna przewodność izolacji,

σ_0 oporność cieplna otoczenia kabla,

a współczynnik cieplny izolacji.

Oznaczając $A = Q_{20} (1 + a\tau_m)$, otrzymujemy prąd obciążenia dla danej temperatury

$$I = \sqrt{\frac{s}{A} \left(\frac{\tau_s}{\sigma_0} - 2\pi \gamma_0 U^2 \cdot \frac{e^{\frac{a\tau_m}{2}} \cdot e^{\frac{a\tau_s}{2}}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right)}.$$

Jeżeli $r_2 = r_1 + \Delta$, gdzie Δ grubość izolacji, i

$$B = 2\pi \gamma_0 U^2 e^{\frac{a\tau_m}{2}},$$

to

$$I = \sqrt{\frac{s}{A} \left(\frac{\tau_s}{\sigma_0} - B \cdot \frac{e^{\frac{a\tau_s}{2}}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right)}.$$

Dla kabli olejowych przyjmujemy $\tau_m = 50^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 3,5$ i $a = 0,06$.

Wtedy przy $f = 50 \text{ Hz}$ i np. $U = \frac{110000}{\sqrt{3}}$ woltów otrzymamy

$$I = 68,5 \sqrt{s} \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{\sigma_0} - 1,12 t g \delta \cdot \frac{e^{0,03\tau_s}}{\ln \frac{r_1 + \Delta}{r_1}}}.$$

Z równania tego widać wyraźnie, jaki wpływ na wartość możliwego obciążenia kabla ma przekrój żyły, grubość izolacji i oporność cieplna otoczenia kabla.

K. K.

BADANIA ELEKTRYCZNYCH CHARAKTERYSTYK IZOLACJI KABLOWEJ NA MODELU KABLA

Bragin S. M. Izsledowanie elektricheskich charakteristik kablinoj izolacii na modelach kabla. *Elektrichestwo*, 1946, nr 12, str. 28-33

O dobroci kabla decyduje w każdym przypadku nie tylko jakość surowców użytych do jego budowy, lecz również sposób wykonania, a więc procesy technologiczne.

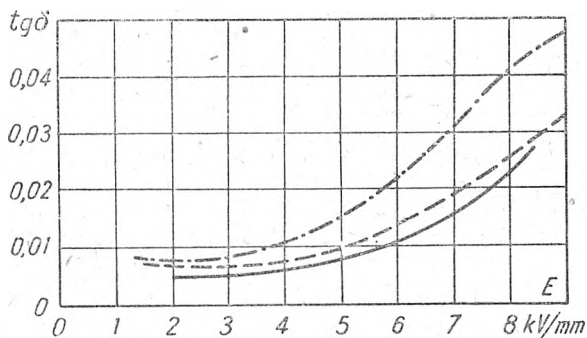
Wszechstronne badanie kabli sprawia często duże trudności i jest kosztowne, zwłaszcza jeżeli chodzi o badanie kabli bardzo wysokimi napięciami. Dużo łatwiejsze jest badanie kabla na modelu o identycznych charakterystykach fizycznych. Metoda ta daje przede wszystkim wielkie korzyści w przypadku budowy nowych typów kabli. Chociaż badania na modelu odpowiadają tylko w pewnym stopniu badaniom na właściwym kablu, ale możliwość dokonania wielkiej liczby pomiarów na dużej liczbie modeli daje szersze możliwości pod warunkiem, oczywiście, że modele są fizycznie całkowicie i ściśle podobne do oryginału.

Metodę badania modeli kabli zastosowano w Centralnym laboratorium kablowym Ministerstwa Przemysłu Elektrotechnicznego i w laboratorium techniki kablowej Moskiewskiego Instytutu Energetycznego im. Mołotowa.

Model kabla wykonywano w postaci kondensatora, otrzymywanego przez nawijanie papieru na rurkę miedzianą o średnicy 11 lub 19 mm i długości 150–180 mm. W nawijanym papierze powycinano otworki w taki sposób, że po nawinięciu papieru otworki odpowiadały szczelinom powstającym przy nawijaniu taśmy papierowej w kablu.

Do suszenia i nasycania izolacji wykonano specjalną instalację ogrzewaną elektrycznie z pompami próżniowymi oraz odpowiednimi przyrządami kontrolnymi. Przygotowywano jednocześnie 8 do 12 modeli, przy czym w czasie suszenia i nasycania przeprowadzano powszechnie stosowane przy produkcji kabli wysokonapięciowych pomiary oporności izolacji i pojemności prądem stałym, względnie stałej dielektrycznej i stratności dielektrycznej prądem zmiennym.

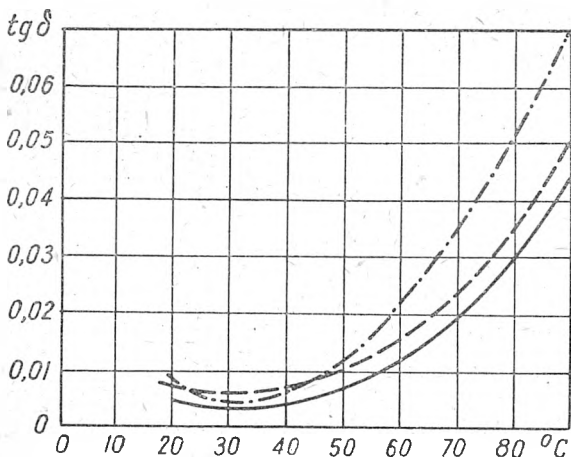
Główną uwagę przy badaniach modeli zwrócono na trzy czynniki: 1) wpływ końcowej wilgotności podczas susze-



Rys. 1

nia modelu, 2) jakość syciwa, 3) ciśnienie, pod którym pozostaje izolacja kabla.

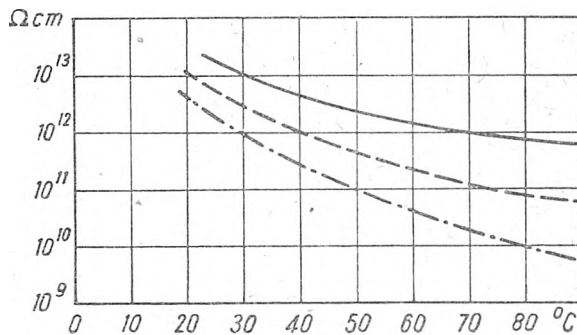
Wilgotność końcową, którą mierzono metodą obserwacji punktu rosenia (prężność pary wodnej w suszarce),



Rys. 2

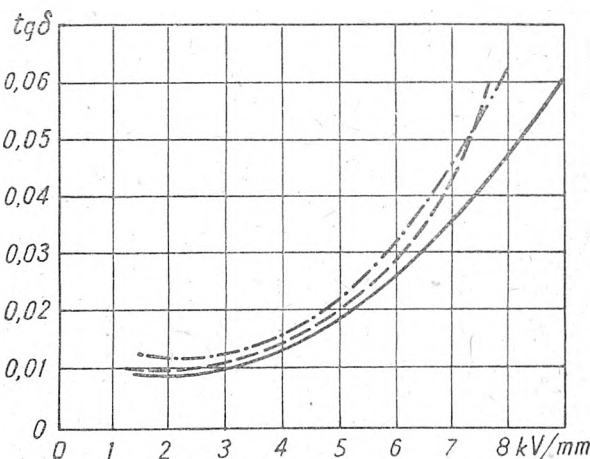
doprowadzono do wartości od 0,3 do 0,8%. Na rys. 1 i 2 podano wykresy stratności dielektrycznej w zależności od napięcia i temperatury, a na rys. 3 zależność oporności izolacji od temperatury, przy czym krzywe wykreślono

dla różnych wilgotności końcowych (ciągłe linie 0,3%, kreskowe 0,5%, kreskowe z punktami 0,7%), których wpływ widać bardzo wyraźnie zwłaszcza w przypadku oporności izolacji. Wpływ suszenia na stratność dielektryczną ($\text{tg } \delta$) jest widoczniejszy w przypadku wyższych



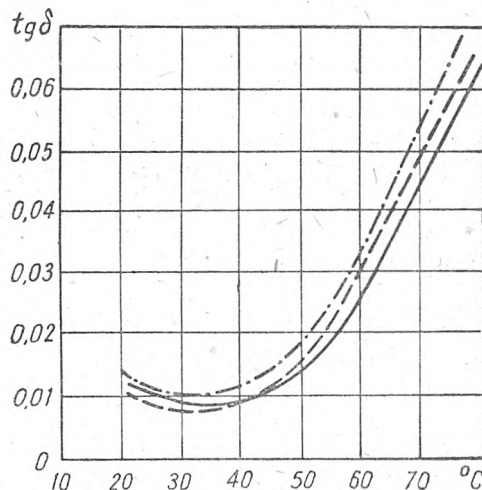
Rys. 3

napięć i większych naprężeń elektrycznych przy zastosowaniu dobrego syciwa. Gorsze syciwo może obniżyć



Rys. 4

oporność izolacji kabla wysuszonego do wilgotności 0,3%, ale nie wpływa na oporność izolacji kabli gorzej wysuszonych (0,7%), co widać z porównania wykresów na



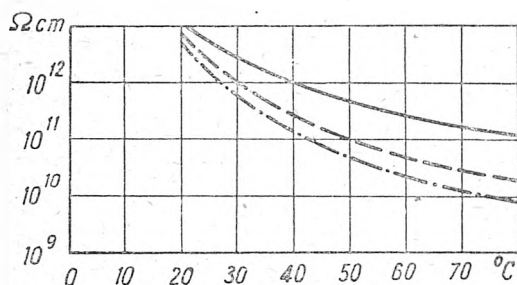
Rys. 5

rys. 3 i 6. Wykresy na rys. 4, 5 i 6 są to te same zależności, co na rys. 1, 2 i 3, lecz dla starych syciw.

Przy badaniach nad wpływem jakości syciwa na dobroć izolacji kabla stwierdzono przede wszystkim, że bardzo korzystne jest filtrowanie oleju i nasycanie następnie azotem pod ciśnieniem 1–1,2 atm. Otrzymano również ciekawe wyniki badań wytrzymałości elektrycznej w przypadku różnego rodzaju domieszek. Olej z domieszką kalafonii przy wzroście wilgotności osiąga pewną minimalną

wartość wytrzymałości elektrycznej na przebicie (14–16 kV/mm), gdy np. w przypadku domieszkania poliizobutylenowi wytrzymałość elektryczna przy większej wilgotności gwałtownie spada.

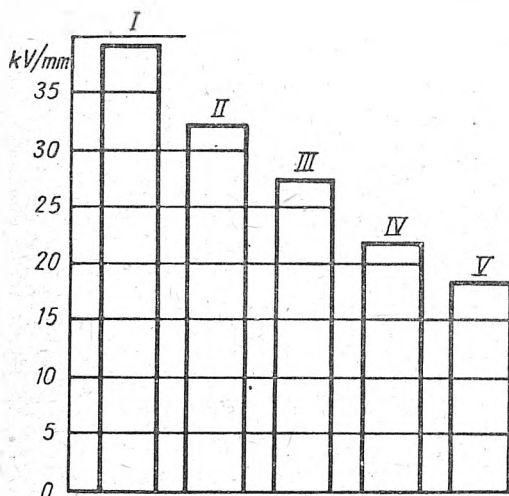
Przesycenie syciwa azotem pod ciśnieniem 1,5 atm. podwyższa wytrzymałość elektryczną izolacji o 50% nie-



Rys. 6

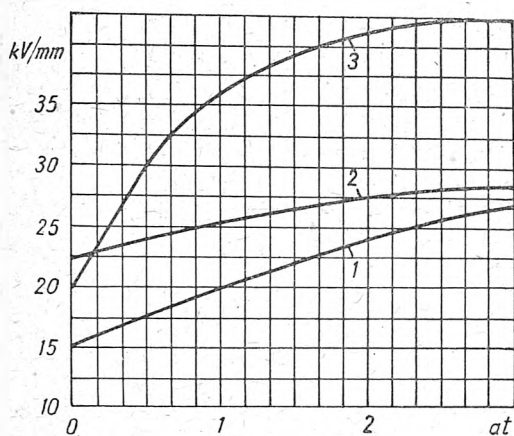
zależnie od tego, czy przed wprowadzeniem azotu olej był odgazowany, czy nie.

Na rys. 7 pokazano krzywe wytrzymałości dielektrycznej modeli wysuszonych do próżni 0,3%, nasyconych róż-



Rys. 7

nego rodzaju materiałami (I — syciwo odgazowane, II — syciwo z izobutylenem, III — syciwo nieodgazowane, IV — syciwo świeże, V — syciwo stare). Wytrzymałość na przebicie określano w ciągu 30 minut przy niejednostajnym wzroście napięcia. Najlepsze wyniki dało, jak widać, syciwo przygotowane z oleju odgazowanego, a na-



Rys. 8

stępnie nasycone azotem pod ciśnieniem 1,5 atm. Lepkość syciwa wynosiła 9 do 10⁹E przy 80°C.

Wpływ zwiększonego ciśnienia na izolację kabla badano po umieszczeniu modelu kabla w bombie stalowej. Na rys. 8 podano wyniki wytrzymałości na przebicie modeli

kabli przy różnych ciśnieniach azotu w przypadku syciwa z oleju uprzednio nieodgazowanego (krzywa 1) i uprzednio odgazowanego (krzywa 2); krzywa 3 zdjeta została dla modelu pod ciśnieniem nie azotu, lecz oleju, kiedy wartości osiągnięte dla wytrzymałości na przebicie są o 80% wyższe.

Metodę badania na modelach można stosować we wszelkich zagadnieniach związanych z badaniem izolacji elektrycznej, a więc również w przemyśle maszyn i aparatów elektrycznych.

K. K.

ROZKŁAD „MIEJSC PUSTYCH” W IZOLACJI KABLI SILNOPRĄDOWYCH

I. G. Gercensztejn. Raspredielenie pustot w izolirujuszczem stoje silowych kabielej. Elektrichestwo, (1946, nr 12, str. 33–37)

Jonizacja powstająca we wtrącinach gazowych w izolacji kabla jest zawsze szkodliwa dla jego wytrzymałości dielektrycznej. Badania wykazały, że skutki jonizacji nie są jednakowe w różnych warstwach izolacji. W pobliżu żyły powstają wyładowania ślizgowe powodujące przebicia i zwęglenie materiału izolacyjnego, dalej od żyły jonizacja powoduje raczej powstawanie wosku kablowego. Rola, którą „miejsca puste” odgrywają w izolacji kabla, wymaga poznania rozkładu tych miejsc wzdłuż osi kabla i w kierunku prostopadłym do tej osi.

Badania takie przeprowadzono na kablach na napięcie od 1 do 10 kV z grubością izolacji 0,5 do 3 mm produkcji Związku Radzieckiego i General Cable Corporation. Wykonano pomiary stratności $\text{tg } \delta$ i stałej dielektrycznej ϵ w funkcji napięcia, wycinając pierścienie ołowiu w pewnej odległości od siebie na kablu jednożyłowym, a owijając folią żyły kabla trójfazowego. W ten sposób badano rozkład „miejsc pustych” wzdłuż osi kabla. Do pomiaru rozkładu „miejsc pustych” w kierunku promieniowym nakładano pierścienie z folii po kolejnym zdejmowaniu warstw papieru. Punkty, otrzymane dla stratności dielektrycznej mierzonej wzdłuż osi kabla przy tych samych wartościach napięcia, mają bardzo duży rozsiew, który zmniejsza się przy wyższych napięciach, co można tłumaczyć tym, że jonizacja występująca przy wyższych napięciach przyczynia się do zwiększenia jednorodności izolacji pod względem jej własności dielektrycznych (rys. 1, 2 i 3).

Zasadniczo niejednorodność elektrycznych własności izolacji może być spowodowana bądź nierównomiernością rozkładu miejsc pustych o bardzo dużych objętościach, bądź nierównomiernością odpowiednich własności elektrycznych papieru nasyconego, z którego wykonano izolację.

Przypadek bardzo dużych przestrzeni pustych tu raczej nie występuje, gdyż wartość stałej dielektrycznej utrzymuje się w granicach wartości właściwych (2,8 do 3,6).

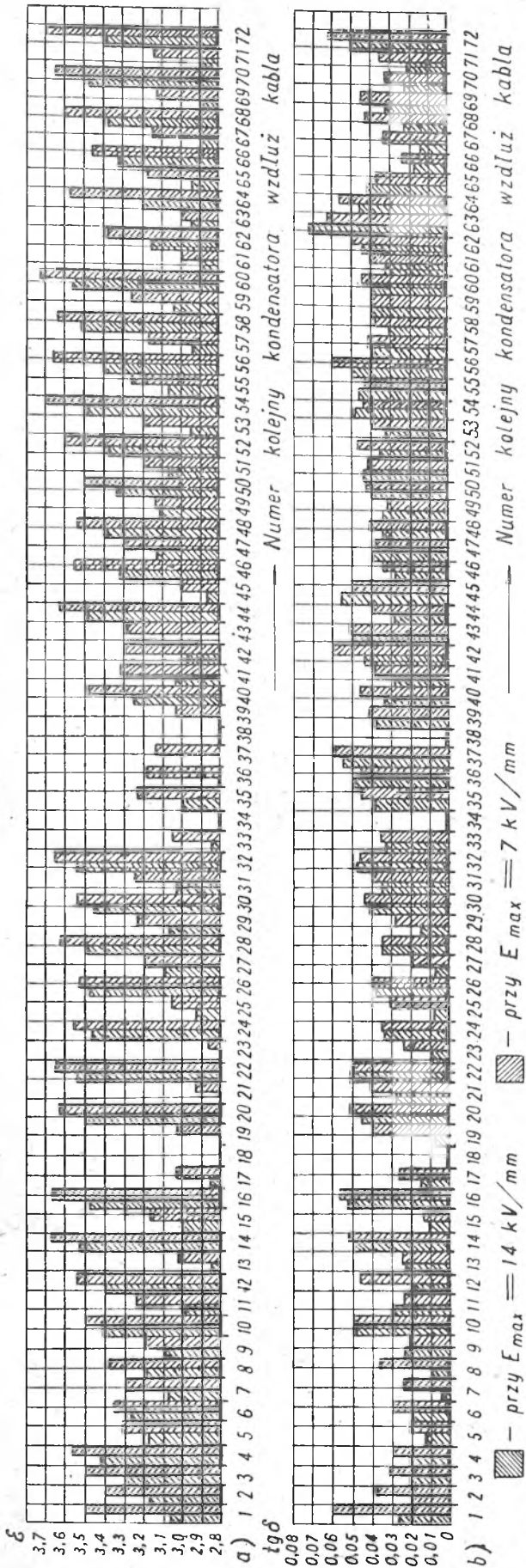
Do obliczania stosunku między składowymi częściami izolacji, którymi są papier i wtrąciny gazowe, można użyć wzorów

$$\text{tg } \delta = \text{tg } \delta_a + \frac{\mu \eta (\text{tg } \delta_b - \text{tg } \delta_a)}{\mu \eta + (1 + \text{tg } \delta_b)^2}; \quad \frac{\epsilon}{\epsilon_a} = \frac{1}{a + \frac{b \eta}{(1 + \text{tg } \delta_b)^2}}$$

gdzie przez a i b oznaczono objętości części składowych izolacji, $\mu = b : a$; $\eta = \frac{\epsilon_a}{\epsilon_b}$, $a + b = 1$. Dla przestrzeni zajętej przez wtrąciny gazowe — do chwili powstania w nich jonizacji — mamy $\text{tg } \delta_b = 0$ i wtedy równania powyższe przybierają postać:

$$\text{tg } \delta = \frac{\text{tg } \delta_a}{1 + \mu \eta}; \quad \epsilon = \frac{\epsilon_a}{a + b \eta}$$

Z krzywych $\text{tg } \delta = f(U)$ i $\epsilon = \varphi(U)$ otrzymano dla jednego z kondensatorów utworzonych na kablu $b = 0,0138$, $\epsilon_a = 3,58$ czyli $\eta = 3,58$, gdyż $\epsilon_b = 1$. Średnia wartość b dla szeregu kondensatorów utworzonych na danym odcinku kabla wynosiła 4,4%, norma rozproszenia $\delta_a = 2,58\%$, a współczynnik zmienności równy był 58%, czyli że rozkład próżni w kablu jest w kierunku jego długości bardzo nierównomierny. Dla samego papieru nasyconego otrzymano stratność dielektryczną $\text{tg } \delta_a = 0,0388$, normę jej rozproszenia $\delta_{\text{tg } \delta_a} = 0,0176$, a współczynnik jej zmien-

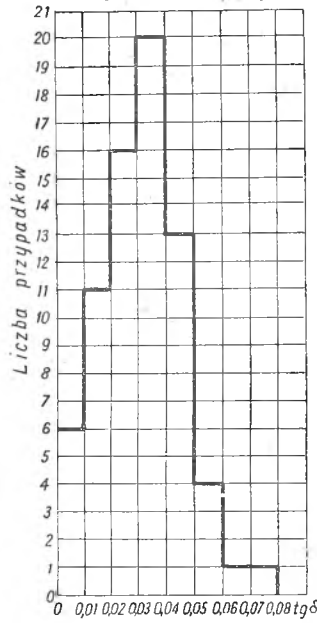


Rys. 1. Rozkład wielkości $tg\delta$ i ϵ przy $13^\circ C$ wzdłuż kabla typu SG 1×300 mm², 3 kV, przy dwu wartościach największego natężenia pola o częstotliwości 50 Hz: $E_1 = 1,4$ kV/mm, $E_2 = 7,0$ kV/mm (kondensatorów 18, 34 i 33 nie mierzone)

ności $V_{tg\delta a} = 45,4\%$. Nierównomierność ta może pochodzić bądź z niejednakowego wysuszenia papieru, bądź różnych własności dielektrycznych syciwa (np. zabrudzenie

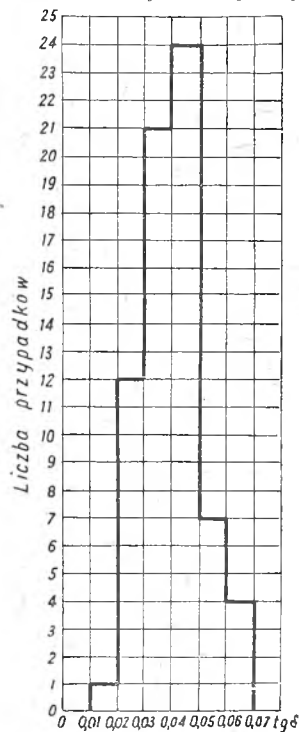
nia w kotle). To drugie jest raczej bardziej prawdopodobne.

Badania przeprowadzone nad warstwami izolacji w kierunku promieniowym stwierdziły dla izolacji fazo-



Rys. 2. Wykres statystyczny rozkładu wielkości $tg\delta$ wzdłuż izolacji kabla typu SG 1×300 mm², 3 kV przy $E_{max} = 1,4$ kV/mm. Średnia wartość $tg\delta = 0,0326$; norma rozproszenia $\sigma_{tg\delta} = 0,0139$; współczynnik zmienności $V_{tg\delta} = 42,6\%$

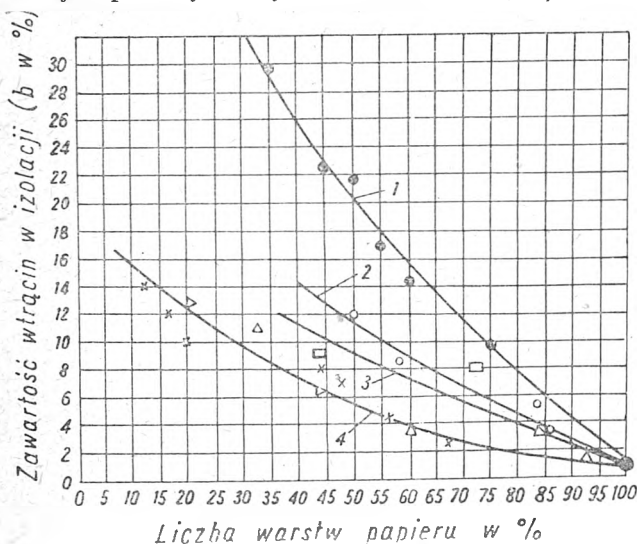
wej różnych typów kabli zmianę stałej dielektrycznej w taki sposób, że ϵ w miarę zbliżania się do żyły zmniejsza się i wynosi 60–70% wartości pierwotnej, gdy na żyłę pozostanie 10–20% warstw papieru. Objętość wtrącin gazowych ogólnie dla całej izolacji wynosi przeciętnie



Rys. 3. Wykres statystyczny rozkładu wielkości $tg\delta$ wzdłuż kabla typu SG 1×300 mm², 3 kV, przy $E_{max} = 7,0$ kV/mm. Średnia wartość $tg\delta = 0,0409$; norma rozproszenia $\sigma_{tg\delta} = 0,108$; współczynnik zmienności $V_{tg\delta} = 26,4\%$

0,8 do 1,4%. W pobliżu żyły objętość ta wyraźnie wzrasta. Przypuszczenie, że na zmianę ϵ w zależności od liczby warstw taśmy nawiniętej na żyłę wpływa nieszczelne przyleganie ekranu staliolowego do powierzchni izolacji,

nie potwierdziło się przy obliczeniach dokonanych dla kabla $3 \times 16 \text{ mm}^2$ na 10 kV (rys. 4 i 5). Wynik tych obliczeń jest podobny do wyników doświadczalnych, nie po-



Rys. 4. Promieniowy rozkład procentowej zawartości wtrącin (b) w izolacji kablowej

- 1 — typ SG, $1 \times 300 \text{ mm}^2$, 3 kV, wykonanie sowieckie z marca 1944r
- 2 — żyła kabla typu SAD $3 \times 10 \text{ mm}^2$, 1 kV, w wykonaniu General Cable Corporation (1942)
- 3 — żyła kabla typu SAD, $3 \times 16 \text{ mm}^2$, 1 kV, wykonanie sowieckie (marzec 1944)
- 4 — 1 i 3 żyły kabla SAD, $3 \times 16 \text{ mm}^2$, 10 kV, wykonanie sowieckie (1943)

twierdza jednak słuszność powyższego przypuszczenia. Szczelina między ekranem i izolacją jest mniejsza w rzeczywistości niż założona przy obliczeniu 0,2 mm i nie wpływa na wartość ε w dużym zakresie zmienności grubości izolacji. Pozostaje więc jako wytłumaczenie zmian ε w kierunku promieniowym nierównomierny rozkład wtrącin gazowych.

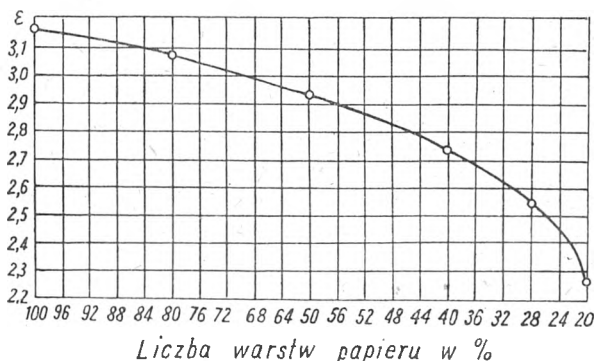
Powodem powstawania tych „miejsz pustych“ w wewnętrznej części izolacji już w czasie produkcji kabla jest to, że w kotle syciwnym część zewnętrzna izolacji ma możliwość wchłonięcia syciwa szybciej i w większym stopniu niż wewnętrzna w pobliżu żyły. Z tego też powodu należy w końcowej fazie nasycania kabla, przy

chłodzeniu go do możliwie niskiej temperatury stosować ciśnienie zewnętrzne, którego wielkość Bragin określa wzorem

$$p = \frac{\beta k \eta}{4h} \cdot \frac{d\theta}{dt} \left(R^2 - r^2 - 2r^2 \ln \frac{R}{r} \right),$$

gdzie k — współczynnik wypełnienia izolacji syciwem, h — współczynnik przenikalności ośrodka, r — promień żyły, R — promień zewnętrzny izolacji, $\frac{d\theta}{dt}$ — prędkość zmiany temperatury, η — lepkość syciwa i β — wielkość stała.

W sprawie zmian objętościowych podczas pracy kabla należy zaznaczyć, że podczas stygnięcia zewnętrzne warstwy izolacji oziębiają się wcześniej i wskutek tego po-



Rys. 5. Zmienność wielkości ε w miarę zdejmowania warstw papierowych z żyły kabla SAD, $3 \times 16 \text{ mm}^2$, 10 kV i przy stałej wielkości szczeliny pod płaszczem ołowianym. Grubość warstwy izolacji 3,0 mm, grubość szczeliny 0,2 mm, liczba warstw papieru 25

wstają przerwy w syciwie. Gdy do tego dodać trwałe odkształcenia płaszcza ołowianego wskutek silnego przegrzania, powstanie jeszcze większych próżni jest zupełnie zrozumiałe i przebieg zmienności objętości „miejsz pustych“ będzie miał kształt litery U z jednym maksimum przy żyłce, gdzie rozszerzenia są największe wskutek najwyższej temperatury, drugim — przy płaszczu ołowianym.

Usunięcie pustych przestrzeni w kablu, zwłaszcza w kablu wysokonapięciowym, jest właśnie zadaniem kabli olejowych i gazowych. K. K.

Przegląd Techniczny organem NOT

Z dniem 1 stycznia rb. Przegląd Techniczny, czasopismo mające już poza sobą 69 lat pożytecznej pracy na niwie polskiego piśmiennictwa technicznego, został przejęty przez NOT i rozpoczął 70 rok wydawnictwa, jako organ główny Naczelnej Organizacji Technicznej w Polsce.

Przegląd Techniczny, „miesięcznik poświęcony sprawom przemysłu i techniki“, stawia sobie w swej nowej roli za zadanie rozwijanie działalności zmierzającej do podniesienia kultury technicznej w Polsce. Pismo stanie się ogniwem łączącym cały polski świat techniczny, dążąc w swej działalności do utrzymania wartości polskiego świata technicznego na jak najwyższym poziomie, przyswojenia technice polskiej światowego dorobku technicznego oraz związania myśli technicznej z ideą uspołecznionej gospodarki planowej, w szczególności zaś z okresowymi planami gospodarczymi.

Przegląd Elektrotechniczny składa zasłużonemu czasopismu życzenia powodzenia w urzeczywistnieniu tych doniosłych zadań.

Redaktorem naczelnym pisma jest mgr inż. J. W. Czarnowski, jego zastępcą mgr inż. J. Tymowski.

Program czasopisma przewiduje następujące stałe działy: zagadnienia techniczne w ujęciu społeczno-gospodarczym, zagadnienia ogólnotechniczne i branżowe w ujęciu ogólnym, mechanizację pracy, historię techniki i przemysłu, technikę zagraniczną, sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń branżowych i inne.

W trzech podwójnych zeszytach z pierwszego półroczna rb. znajdujemy w Przeglądzie następujące artykuły: B. Rumński: Kongres grudniowy mobilizacją polskiej tech-

niki. J. W. Czarnowski: Bunt inżynierów w 1937 roku. A. Bolewski: Rozmieszczenie złóż surowców mineralnych na kulę ziemską. T. Laskowski: Rola Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w odbudowie Europy. L. Biernacki: Energia atomowa i jej pokojowe zastosowanie. W. Bratkowski: Len i konopie w gospodarce włókienniczej Europy. L. Taniewski: Mechanizacja ciężkiej pracy fizycznej w Z.S.R.R. D. Gajewski: Stowarzyszenia inżynierów i techników w Związku Radzieckim. L. Szewiakow: Radziecka technika w ciągu 30 lat. W. Budryk: Aglomeracja jako sposób magnetycznego prażenia rud żelaznych. L. Czajkowski: Przemysł gumowy, jego znaczenie gospodarce oraz drogi rozwojowe w planie 3- i 6-letnim. W. Skoraszewski: Jedna z możliwości oszczędzania żeliwa i stali. M. Lesz: Mechanizacja pracy — dźwignią wzrostu wydajności. A. Wittels: Unowocześnienie metod wykonawczych budownictwa — nakazem chwili. B. Koń: W sprawie usprawnienia techniki transportu węgla. Z. Wilk: Zasady nowoczesnej eksploatacji ropy i gazu. Z. Tokarski: Surowce ceramiczne Polski. M. Zdunkiewicz: Ogólny zarys produkcji lekkich profili. A. Wiślicki: Radziecki punkt widzenia na cele i zadania mechanizacji budownictwa. J. Śmigieński: Z zagadnień rolnictwa w 6-letnim Planie Gospodarczym. H. Rzepecki: Zadania prefabrykacji w planie sześcioletnim. B. Mączewski-Rowiński: Uwagi o wagonach samoopróżniaczach typu przechyłnego. J. Tichy: Wręboładowarka o pracy ciągłej. L. Biernacki: Mechaniczne zasilanie węglem lokomotyw angielskich. J. Walukiewicz: Radziecki ekskavator uniwersalny T. E. 1. do prac tarfowych.

PORAŻENIA ELEKTRYCZNE w POLSCE

Komunikaty Komitetu Bezpieczeństwa Pracy SEP

(ciąg dalszy)

22. Przewody pod napięciem w spalonym domu (woj. wrocław.)

12-letni chłopiec K. wszedł do ruin domu, aby znaleźć deszczulki potrzebne mu do prac w szkole.

Dotknął się wiszącego przewodu połączonego z mufą sąsiedniego domu i uległ porażeniu. Kolekty chłopca zaraz dali znać o wypadku, tak że w krótkim czasie porażonego, dającego oznaki życia, przewieziono do szpitala, gdzie lekarz wkrótce stwierdził zgon.

Odpowiedzialnym za wypadek uznano pracownika, który zaniedbał dopilnowania odłączenia od sieci przewodów w zrujnowanych domach.

Wnioski.

Wypadek ten powinien być przestrogą dla pracowników sprawujących kontrolę nad siecią rozdzielczą w miejscowościach, gdzie są zrujnowane domy.

Z opisu wypadku można wnosić, że były wszelkie szanse na uratowanie chłopca, gdyby pomocy udzielono mu zaraz na miejscu, zamiast przewozić go do szpitala. Wskazuje to, że najprostsze zasady ratownictwa powinny być znane szerokiemu ogółowi.

23. Zerwany przewód uziemienia (woj. warszawskie)

W zakładzie włókienniczym monter K. został wezwany do kotłowni celem zbadania silnika, z którego zaczął wydobywać się dym, wobec czego silnik wyłączono.

Silnik (napędzający wentylator) umieszczony był na szynach stalowych wmurowanych w ścianę na wysokości ok. 2,5 m. Wyłącznik z napędem dźwigniowym przymocowany był do ściany na wysokości ok. 1,5 m. Napięcie międzyprzewodowe wynosiło 500 V.

Monter stwierdził duże nagrzanie jednego z łożysk i brak w łożysku oleju. Nalał więc oleju i pozostawił silnik do ostygnięcia. Gdy po dwóch godzinach, stwierdziwszy ostygnięcie silnika, włączył dźwignią wyłącznik, uległ śmiertelnemu porażeniu.

Przeprowadzone po wypadku dochodzenie wykazało:

a) Wskutek wytarcia łożysk wirnik ocierał się o stojan, uszkodził jego izolację i spowodował w ten sposób zwarcie z kadłubem, który wobec tego znalazł się pod napięciem.

b) Kadłub silnika był połączony gołym drutem z obudową wyłącznika celem wspólnego połączenia z uziemieniem. Przewód łączący z uziemieniem był jednak zerwany. Wobec tego poprzez łączący drut obudowa wyłącznika znalazła się pod tym samym napięciem co kadłub silnika.

c) W tym samym czasie jedna z faz prądniczy zasilającej instalację była wskutek uszkodzenia uziemiona. Wskutek tego pomiędzy obudową wspomnianego wyłącznika a ziemią istniało w chwili wypadku pełne międzyfazowe napięcie 500 V.

Gdy monter zamknął wyłącznik, prąd przeszedł z fazy zwartej z kadłubem silnika poprzez drut łączący kadłub z obudową wyłącznika do dźwigni wyłącznika, skąd przez rękę i ciało montera do ziemi, a następnie do uziemionej fazy prądniczy.

Trzeba dodać, że pod wyłącznikiem znajdowała się położona na ziemi płyta stalowa, co zmniejszyło opór przepływu prądu z nog montera do ziemi.

Wnioski.

Zbyt często zapomina się, że uziemienie tylko wówczas może być urządzeniem ochronnym, jeżeli jest należycie utrzymane.

Zerwany przewód uziemiający stanowi wprost niebezpieczeństwo dla obsługi, bo przebicie do kadłuba w jednym z przyrządów zawsze się może zdarzyć, a wówczas wszystkie połączone z nim obudowy innych przyrządów znajdują się pod napięciem, jak w danym wypadku obudowa wyłącznika połączona z korpusem silnika.

Trzeba z naciskiem podkreślić, że wartość ochronna uziemienia zależy od tylu zmiennych czynników, że często tylko fachowiec dobrze obeznany z zagadnieniami

uziemia jest w stanie orzec, czy w danych warunkach uziemienie można uważać za pewny środek zabezpieczający przed porażeniem. Dlatego też nawet tam, gdzie zgodnie z przepisami zainstalowano uziemienie, zaleca się stosowanie chodników izolujących przy przyrządach i maszynach elektrycznych.

W opisanym wypadku dymienie silnika przed wyłączeniem powinno być nasunąć monterowi konieczność zbadania także, czy nie powstało przebicie izolacji w silniku.

24. Praca na słupie linii o napięciu 380 V (woj. poznańskie)

Monter elektrowni Sz., zakładając w pewnej wsi odgałęzienie do jednego z domów od linii 380-woltowej, dotknął podczas pracy na słupie równocześnie dwu przewodów i uległ porażeniu, jakkolwiek przed rozpoczęciem pracy wyłączył sieć spod napięcia w zamykanej na klucz stacji transformatorowej, znajdującej się w tejże wsi.

Pomocnicy porażonego zarzucili na linię drut celem spowodowania zwarcia, następnie zdjęli uszkodzowanego ze słupa i zastosowali sztuczne oddychanie, które jednak nie dało rezultatu; wezwany lekarz stwierdził śmierć.

Natychmiast po wypadku zaczęto badać, w jaki sposób pojawiło się napięcie na linii wyłączonej. Okazało się, że jeden z mieszkańców wsi, zirytowany widocznie przerwą w dopływie prądu, dostał się przy pomocy dobranego klucza do stacji transformatorowej i włączył linię wówczas, gdy na niej odbywała się praca.

Wnioski.

Wypadek jest specjalnie pouczający, gdyż rzuca światło na warunki, które mogą występować na wsi, co jest ważne w związku z przeprowadzaną na wielką skalę elektryfikacją wsi. Trzeba się liczyć z możliwością wypadków specyficznych dla warunków wiejskich.

Drzwi pomieszczeń elektrycznych powinny być zawsze zaopatrzone w specjalne zamki, nie dające się otworzyć dobranym kluczem.

Zalecenie zawarte w § 56 PNE-10, aby także przy niskim napięciu zwierać i uziemiać przewody w miejscu prowadzonej pracy po wyłączeniu dopływu prądu, powinno być ogólnie stosowane. Monterzy dla własnego bezpieczeństwa nie powinni się zrażać dodatkową pracą związaną ze zwieraniem i uziemianiem przewodów, uchronią się bowiem w ten sposób od śmiertelnego, jak w tym wypadku, włączenia linii pod napięcie przez osobę niepowołaną lub wskutek omyłki.

25. Konserwacja transformatora o nap. 15 000/380 V (woj. pomorskie)

W podstacji transformatorowej wyłączono transformator spod napięcia po stronie niskiego i wysokiego napięcia, a po stronie wysokiego napięcia zwarto ponadto przewody i uziemiono je, nie wyjmując jednak bezpieczników. Następnie pomocnik monterski S. przystąpił do malowania konserwatora oleju.

W chwilę po ukończeniu pracy, gdy usunięto już zwarcie i uziemienie przewodów, lecz nie dano jeszcze sygnału włączenia, pomocnik monterski S. chciał jeszcze jakiś szczegół poprawić, wszedł na transformator i uległ śmiertelnemu porażeniu, zetknąwszy się z jedną z części, będącej pod napięciem.

Powstało zagadnienie, w jaki sposób pojawiło się napięcie na zaciskach transformatora, skoro nie był dany umówiony sygnał włączenia. Okazało się, że monter, który obsługiwał wyłącznik wysokiego napięcia, znajdujący się w odległości ok. 300 m od stacji transformatorowej, dostrzegł ruch przy usuwaniu zwarcia i uziemienia przewodów i biorąc to za dowód ukończenia pracy dokonał włączenia, pomimo że wyraźnie był umówiony sygnał akustyczny, którego nie dano.

Wnioski.

Każdy monter powinien pamiętać, że jak obowiązkiem jego jest dbać o własne bezpieczeństwo, tak samo musi dbać o to, aby nie spowodować zagrożenia towarzyszących

pracy i osób postronnych. Słusznie więc wspomniany wyżej monter został ukarany za lekkomyślne włączenie bez umówionego sygnału i spowodowanie tym śmierci kolegi.

Wypadki wskutek włączenia urządzeń pod napięcie w czasie pracy zdarzają się tak często, że na ten szczególny należy zwracać szczególnie baczną uwagę przy organizowaniu prac.

W sprawie danego wypadku należy zaznaczyć, że po zdjęciu zabezpieczeń w postaci zwarcia i uziemienia przewodów nie wolno prowadzić żadnych dalszych prac i dlatego w tym wypadku część winy spada na porażonego. Towarzyszący mu monter, który zdejmował zabezpieczenia, powinien był powstrzymać kolegę od ponownego wejścia na transformator.

Najpewniejsze są przerwy w obwodzie widoczne z miejsca pracy. Trudno zrozumieć, dlaczego w danym wypadku nie wyjęto na czas pracy bezpieczników znajdujących się przy transformatorze.

26. Czyszczenie rozdzielni na 6000 V (woj. śląskie)

W jednej z hut brygada złożona ze starszego montera i dwu monterów czyściła poszczególne celki rozdzielni na 6000 V, wyłączając uprzednio urządzenia w czyszczonych celkach spod napięcia i uziemiając wyłączone przewody. Do czyszczenia użyto odkurzacza elektrycznego na drążku izolacyjnym zbudowanym do użycia przy napięciu 6000 V.

Zdawałoby się, że o wypadku w tych warunkach nie może być mowy. Jednak w czasie przerwy śniadaniowej starszy monter wyszedł z jednym z pomocników do sąsiedniej hali. Tam usłyszeli krzyk, a powróciwszy do rozdzielni zobaczyli drugiego pomocnika S. w płonącym ubraniu w celce będącej pod napięciem.

Pomimo szybkiego ugaszenia pożaru gaśnicami pianowymi i przywiezienia poszkodowanego do szpitala nie dało się go uratować i po dwu dniach monter zmarł wskutek doznanych poparzeń.

Dochodzenie wykazało, że poszkodowany korzystając z nieobecności starszego montera wszedł do celki znajdującej się pod napięciem i zaczął czyścić urządzenia zwykłą szczotką wygodniejszą niż odkurzacza na drążku izolacyjnym. Ponieważ szczotka była wiązana drutem, powstało zwarcie pomiędzy fazami, a łuk elektryczny poparzył poszkodowanego i zapalił na nim ubranie.

Wnioski.

Cechą charakterystyczną urządzeń elektrycznych jest to, że niebezpieczeństwo z nimi związane nie jest tak oczywiste, jak na przykład w wielu urządzeniach mechanicznych. Mało wykwalifikowany personel jest więc narażony każdej chwili na wypadek wskutek własnej nieświadomości.

Wynika stąd nauka, że zwłaszcza przy urządzeniach wysokiego napięcia nie wolno pozostawiać mało wykwalifikowanych pracowników bez nadzoru. Ponadto praktyczne szkolenie pracowników elektrotechnicznych trzeba zaczynać od wymagań bezpieczeństwa pracy.

Wielu monterów ma tendencję do posługiwania się dla ułatwienia sobie pracy niewłaściwym sprzętem (jak w tym wypadku zwykłą szczotką, w dodatku wiązaną drutem), chociaż sprzęt ochronny, niezależnie od innych wskazań bezpieczeństwa, jest nakazany po to, aby uchronić ich samych od możliwości wypadku.

27. Stacja transformatorowa o napięciu 15 000 V (woj. poznańskie)

W zakładzie mechanicznym ślusarz B., zatrudniony w hali fabrycznej przy robotach ślusarskich, wszedł podczas przerwy obiadowej i pod nieobecność współtowarzyszy pracy do stacji transformatorowej, znajdującej się obok.

Drzwi do stacji, zwykle zamknięte na kłódkę, były tym razem pozostawione otwarte.

Ponieważ w stacji transformatorowej zgromadzono zwoje kabli, zapasowe rozruszniki, żarówki itd., nieobeznany ślusarz sądził prawdopodobnie, że znalazł się w składzie materiałów elektrotechnicznych, chociaż na drzwiach wejściowych była tablica ostrzegawcza „Baczność, wysokie napięcie”. Zobaczywszy przez uszkodzone

oszalowanie z desek drewnianych goły przewód, prowadzący od mufy do transformatora, sięgnął po niego ręką prawdopodobnie chcąc go wyciągnąć.

Przewód był pod napięciem 15 000 V, to też ślusarz uległ porażeniu, zdołał jednak oderwać się od przewodu, dotknął go bowiem końcami palców.

Ze taki był przebieg wypadku, wywnioskowano z położenia ciała poszkodowanego po wypadku i z obrażeń, które odniósł (znamiona prądowe na palcach).

Gdy po przerwie obiadowej współtowarzysze pracy znaleźli poszkodowanego bez przytomności, wynieśli go do sąsiedniej hali, następnie na podwórze i zastosowali sztuczne oddychanie. Jednak wezwana sanitariuszka fabryczna, stwierdziwszy brak tętna i brak reakcji źrenic na światło, poleciła przerwać sztuczne oddychanie i przewieźć porażonego do lekarza. Lekarz zastosował zastrzyki i przewiózł porażonego do szpitala, gdzie nadal stosowano zastrzyki i sztuczne oddychanie do chwili stwierdzenia zgonu ponad wszelką wątpliwość.

Wnioski.

Niewątpliwie przyczyną wypadku była niedbałość strony personelu elektrotechnicznego, który wbrew wyraźnemu nakazowi PNE-10, § 55, p. 3, pozostawił niezamknięte drzwi od transformatorni, co umożliwiło ślusarzowi wejście do tego pomieszczenia.

Trzeba jednak również zanotować także inne uchybienia:

a) oszalowanie transformatora i mufy było zrobione z desek zamiast z materiału ogniotrwałego,

b) oszalowanie było uszkodzone i pozostawione bez naprawy,

c) w pomieszczeniu ruchu elektrycznego zrobiono podręczny skład materiałów, co jest niedopuszczalne.

Ponadto, jak w tytu innych wypadkach, zapomniano, czy nie wiadano o najważniejszej zasadzie ratowania porażonych: trzeba sztuczne oddychanie stosować na miejscu wypadku i wezwać lekarza. Strata czasu połączona z przewożeniem porażonego może być przyczyną nieskuteczności zabiegów ratowniczych. Sanitariuszka źle postąpiła przerywając sztuczne oddychanie po stwierdzeniu u porażonego braku tętna i braku reakcji źrenic na światło.

Brak zewnętrznych oznak życia, czyli tak zwana „śmierć pozorną”, bynajmniej nie upoważnia ratujących do przerwania zabiegu sztucznego oddychania, które należy stosować bez przerwy przez kilka godzin po wypadku, chyba że wezwany lekarz wcześniej stwierdzi zgon porażonego.

28. Wymiana bezpieczników w kopalni (woj. śląskie)

W kopalni węgla na dole górnik L., wymieniając bezpiecznik znajdujący się we wspólnej obudowie z wyłącznikiem doprowadzenia prądu do wrębiarki, dotknął ręką gwintu drugiego bezpiecznika i został śmiertelnie porażony. Napięcie sieci wynosiło 500 V. Górnik nie był uprawniony do otwierania obudowy wyłącznika i wymiany bezpieczników, a wezwany do naprawy elektromonter był już w drodze.

Po wypadku stwierdzono, że chociaż wyłącznik był zaopatrzone w zaryglowanie uniemożliwiające otworzenie obudowy przy zamkniętym wyłączniku, jednak ponowne zamknięcie wyłącznika było możliwe przy otwartej pokrywie. Widocznie więc górnik po otworzeniu pokrywy zamknął wyłącznik, aby się przekonać, czy samo ponowne włączenie nie usunie defektu, a następnie przystąpił do wymiany bezpieczników, nie zdając sobie sprawy, że znalazły się one znowu pod napięciem.

Wnioski.

Wypadek ten potwierdza słuszność żądania, aby pokrywy aparatów elektrycznych miały taką konstrukcję, przy której do odkręcenia śrub konieczny jest specjalny klucz, powierzany elektromonterowi obsługującemu urządzenia.

Ponadto cały personel kopalni — bez względu na to, czy jest upoważniony do manipulowania przy urządzeniach elektrycznych — powinien być pouczony o niebezpieczeństwie porażenia przy nieumiejętnym lub nieostrożnym obchodzeniu się z tymi urządzeniami, albowiem lekceważenie zakazów, jak w tym wypadku, wynika często z niezrozumienia ich słuszności.

BIBLIOGRAFIA CZASOPISM ELEKTROTECHNICZNYCH

w opracowaniu

GŁÓWNEGO INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Nr 1

(1-121)

1949

Źródła energii

1 620.9

Atomic energy, its future and yours. — Atom jako nowe źródło energii. Porównanie kosztów produkcji energii elektrycznej przy wykorzystaniu procesów atomowych i węgla. Znaczenie możliwości otrzymywania izotopów i transmutacji. Znaczenie promieniotwórczości w przemyśle i metalurgii. Badania nad energią atomową i ich organizacja. *Electr. World*, 1947, t. 127, nr 11, str. 101 do 108, 3 rys. Z. S.

2 620.9

Perspettive economiche per sfruttamento dell'energia atomica. — Perspektywy gospodarcze wykorzystania energii atomowej. Pokłady uranu. Oczyszczanie. Koszty wydobycia. Przetwarzanie energii atomowej w mechaniczną. Problem radioaktywnych pozostałości. Zapotrzebowanie uranu dla zaspokojenia całkowitego spożycia w U. S. A. — *Energia Elettr.*, 1947, IV—V, str. 164 do 169. A. B.

3 620.9

Światowa gospodarka energetyczna w czasie wojny. **Kożuchowski J.** — Omówienie źródeł energetycznych pierwotnych: węgiel, torf, drzewo i węgiel drzewny, paliwa płynne i gaz ziemny, siłownie wodne. Omówienie wtórnych źródeł energetycznych, elektrownie ciepłne, gazownie. Sposoby oddziaływania na zapotrzebowanie paliw i energii. — *Przegl. Elektr.*, 1947, nr 11/12, str. 322—330. J. W.

4 66260.98:621.365

Comparisons between gas and electricity on the basis of coal economy. **Schiller P.** — Porównanie gazu i elektryczności z punktu widzenia oszczędzania węgla. Krytyczne uwagi, dotyczące porównania gazu i elektryczności z punktu widzenia wydajności ich produkcji. Jedyna godna zaufania metoda porównania polega na określaniu ilości paliwa, gazu i elektryczności, potrzebnych do pokrycia całkowitego zapotrzebowania energii cieplnej w gospodarstwie domowym przy różnej proporcji powyższych środków. Wnioski, wykazujące, że elektryczność jest równie opłacalna jak i gaz. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, t. 94, cz. I, nr 80, str. 355—361, 7 rys. Z. S.

Kotły i silniki ciepłne

5 621.1

Feed heating cycle. **Oldroyd G.** — Obieg pary do podgrzewaczy wody zasilającej. Sposób analityczny doboru miejsca upustów do międzystopniowego podgrzewania pary. Określenie entalpii pary na każdym z zaczepów. Określenie zużycia pary i sprawności termodynamicznej. Budowa wykresu obrazującego rozpiływ pary na poszczególnych stopniach podgrzewania przy obciążeniu turbiny. — *Electr. Rev.*, 1947, 17. I, str. 115—118, 4 rys. A. P.

6 621.165

La turbina a gas. **Rubbo V.** — Obecny stan rozwoju turbin gazowych. Podstawy termodynamiczne: obiegi termiczne (zamknięty i otwarty). Sprawność. Części główne turbiny. Problemy konstrukcyjne: materiał, regulacja, paliwa. Opis różnych typów turbin. Zastosowanie (rezerwa w elektrowniach wodnych, trakcja, marynarka, rafinerie nafty, piece hutnicze, samoloty). Przykład obliczeniowy turbiny o mocy 10 MW. — *Energia Elettr.*, 1947, str. 193—207, 247—255, 383—401, 453—463, 6 tabl., 91 rys. A. B.

7 621.165

Turbine clearances. **Barson H.** — Odstępy między uszczelnieniami w turbinach. Wy tłumaczenie zwiększania

się odstępów uszczelnień labiryntowych w turbinach, wpływ na większe zużycie pary i proponowane środki zaradcze. — *Electr. Rev.*, 1947, 31. I, str. 211—212, 2 rys. A. P.

8 621.18

Pulverized fuel boilers. — Kotły o paleniskach pyłowych. Sprawozdanie z dyskusji nad zaletami palenisk pyłowych w związku z referatem C. H. Sparks'a (Babcock-Wilcox). — *Electr. Rev.*, 1947, 3. I, str. 34—36. A. P.

9 621.181.656

Un générateur de vapeur Velox en service permanent depuis dix ans. **Spaerli A.** — Opis kotłów „Velox”, zainstalowanych w elektrowniach. Wyniki badań, przeprowadzonych na kilku kotłach. Wyniki eksploatacyjne z okresu 10 lat. — *B. B. C. Rev.*, 1947, nr 13, str. 253—256, 2 tabl., 3 rys. A. M.

Ogólne podstawy elektrotechniki

10 621.3.011.1:621.392

Geometrieskaja teoria elektriceskich cepiej. **Mejerowicz E. A.** — Artykuł teoretyczny. Tensorowa metoda obliczania sieci elektrycznych oparta na publikacji G. Krona'a. Ogólny sposób przechodzenia z równań jednego układu do równań drugiego przy tych samych opornościach. — *Elektricesstwo*, 1947, nr 2, str. 30—39, 8 rys. B. K.

11 621.3.011.1

Zur Energetik elektrischer Stromkreise. **Brunn A.** — Zagadnienia teoretycznej elektrotechniki w zastosowaniu do energetyki. Algebra obwodów elektrycznych. Określenie napięcia na zaciskach przy prądzie stałym i zmiennym. Wykresy wektorowe napięć. Rozważania nad siłą elektromotoryczną. Określenie dynamicznego napięcia na zaciskach „V”. Rozważania energetyczne układów prądu zmiennego przy pomocy wykresu napięć. — *Bull. Schweiz El. Ver.*, 1947, nr 5 i 12, str. 109—125 i 356—358, 22 rys. A. M.

12 621.3.014.3

Atmospherics and their location. **Clarke C.** — Znaczenie i możliwości lokalizacji wyładowań atmosferycznych. Zjawiska fizyczne przy wyładowaniach. Metody pomiarowe przy wykrywaniu i lokalizacji wyładowań atmosferycznych. Źródła błędów przy pomiarach. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. I, nr 73, str. 54—55. Z. S.

13 621.3.015.33:621.313.045

Die Spannungsbeanspruchung der Eingangsspulen von Wicklungen beim Auftreten von Stossspannungen verschiedener Steilheit. **Wellauer M.** — Naprężenia w cewkach wejściowych uzwojeń wywołane napięciami udarowymi o różnej stromości czoła. Wielkość napięcia międzyzwojowego przy przepięciach. Metoda obliczenia teoretycznego, wyprowadzona z najprostszego przypadku (cewka o 2 zwojach). Porównanie wyników obliczeń teoretycznych i pomiarów. Literatura. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 21, str. 655—665, 25 rys. A. M.

14 621.3.016.31

Equilibrage d'une charge monophasée. Générateur des courants inverses. **Genkin V.** — Podstawy teoretyczne wyrównywania obciążenia niesymetrycznego. Układ rezonansowy L—C jako odbiornik prądów kolejności ujemnej. Zastosowanie układu rezonansowego L—C do wyrównywania obciążenia jednofazowego w układach trójfazowych. Wykresy wektorowe. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 66, str. 116—118, 10 rys. A. M.

- 15 621.3.016.31
Equilibrage statique d'une charge monophasée. Genkin V. — Artykuł teoretyczny o równowadze statycznej przy obciążeniu jednofazowym. Część pierwsza: rozważania ogólne co do stanu wyrównania obwodu wielofazowego (metoda oparta na pojęciu mocy pulsującej). Część druga: analiza wektorowa sposobów równoważenia, a w szczególności metody rezonansowej. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 12, str. 489—503, 50 rys. W. M.
- 16 621.3.017.7
Simplified graphical method of computing thermal transients. Narbutovskii P. — Zagadnienie wytrzymałości urządzeń elektrycznych na przeciążenia o charakterze nieustalonym. Metody zabezpieczeń oparte na zjawiskach cieplnych. Ogólne prawo zmienności temperatury urządzenia elektrycznego. Metoda wykresowa, wykorzystująca specjalny układ współrzędnych. — *Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, t. 66, str. 78—82, 4 rys., 2 tabl. Z. S.
- 17 621.3.082
Significance of functional analysis of measurements. Dickinson H. C. — Opis metody analizy funkcjonalnej skomplikowanych pomiarów, wyjaśniony na kilku przykładach. — *Gen. Electr. Rev.*, 1947, nr 10, str. 13—16, 5 rys. S. D.
- Układy jednostek elektrycznych*
- 18 621.3.081:53.081
Sur les systèmes absolus d'unités électriques. Brylinski E. — Analiza zastosowania układów bezwzględnych jednostek elektrycznych w teorii i technice. Układ Gaussa i układ Giorgi jako najodpowiedniejsze w teorii i technice. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 5, str. 235—236. A. M.
- 19 621.3.081
Absolute units replace international electrical units. Gardner G. F. — Wejście w życie uchwały o zmianie jednostek. Znaczenie tej zmiany. Stosunek jednostek bezwzględnych do międzynarodowych. Krótki opis kilku pomiarów bezwzględnych. — *Gen. Electr. Rev.*, 1947, nr 12, str. 45—47, 4 rys. S. D.
- 20 621.3.081.1.537.081
Le système d'unités Giorgi dans ses rapports avec la tradition, la pratique et l'enseignement. Grivet P. — Krytyka układów elektrycznych c.g.s. System jednostek Giorgi'ego. Rys historyczny, cele nowego układu. Porównanie układu z teorią klasyczną. Jednostki podstawowe i ich wybór. Charakterystyka układu zracjonalizowanego Giorgi. Zestawienie jednostek, zestawienie wzorów w różnych układach jednostek. Wymiary jednostek. Współczynniki przejścia z układu do układu. Literatura. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 75, str. 594—628, 4 tabl. A. M.
- Gospodarka elektryfikacyjna*
- 21 621.31.63(73)
Die Elektrifizierung landwirtschaftlicher Betriebe in den Vereinigten Staaten. — Stan elektryfikacji rolnictwa w USA w 1939—1946. Zestawienie charakterystycznych danych liczbowych w różnych stanach. Ilość aparatów i urządzeń elektr. zainstalowanych na wsi. Sieci rozdzielcze. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 24, str. 776 do 777, 2 tabl., 4 rys. A. M.
- 22 621.311:620.9
Multiplication of substations found most economical. Polster M. A. — Zagadnienie najbardziej ekonomicznej rozbudowy sieci rozdzielczej na 4 kV w okręgu Baltimore. Rozpatrzone alternatywy: 1) pozostawienie tej samej liczby podstacji i utworzenie sieci promienistych, 2) zwiększenie liczby podstacji przy zachowaniu układu sieci, 3) zwiększenie liczby podstacji i utworzenie sieci zamkniętej. Wady i zalety każdej z alternatyw. *Electr. World*, 1947, nr 11, str. 109—111, 3 rys. Z. S.
- 23 621.211:63(71)
Elektryfikacja wsi w Ameryce. Moszczyński St. — Uwagi ogólne. Obniżenie kosztów dostawy prądu. Zwiększenie spożycia prądu. Ustrój i działalność organizacji, zajmujących się elektryfikacją wsi. Biuro Elektryfikacji Wsi i Zarząd Doliny rzeki Tennessee jako państwowe instytucje, elektryfikujące wieś. Zarząd Elektrowni Wodnych w Ontario jako przedsiębiorstwo spółdzielcze. Osiągnięcia w elektryfikacji wsi w latach 1928 — 1943. — *Prze gl. Elektr.*, 1947, nr 1/2, str. 32—38. J. W.
- 24 621.311:631.5
Elektryfikacja wsi w Lubelszczyźnie. — Zadania Zjednoczenia Energetycznego Okręgu. Metoda przeprowadzania elektryfikacji. Ogólne trudności. — *Prze gl. Elektr.*, 1947, nr 1/2, str. 31. J. W.
- 25 621.311:620.9
Electricity generation and fuel utilization. Warren W. — Wytwarzanie energii elektrycznej a sprawa paliw. Sprawa oszczędzania węgla w Anglii. Możliwości wykorzystania energii wodnej. Wprowadzenie oszczędzania w produkcji oraz spożyciu energii elektrycznej. Spożytkowanie ciepła utajonego wody i pary wylotowej (zakłady termoelektryczne). Zastosowanie turbin gazowych. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, t. 94, cz. I, nr 75, str. 135—137. Z. S.
- 26 621.311:33
Tied generating station is both efficient and economical. Sporn P. — Podstawy gospodarcze oszczędnego wytwarzania energii elektrycznej. Wybór właściwego miejsca dla elektrowni z uwagi na: zaopatrzenie w paliwo, powierzchnię zabudowań, dołączenie do układu energetycznego i dostawę energii do większych skupionych obciążeń. Znaczenie właściwego doboru jednostek (prądnice, turbiny). Koszty inwestycji i eksploatacji. Podstawy ekonomicznej eksploatacji wytwarzanej energii. — *Electr. World*, 1947, t. 128, nr 5, str. 60—62, 2 rys. Z. S.
- 27 621.311:631.5
Gospodarcze warunki elektryfikacji wsi. Maliszewski P. — Zagadnienie rentowności w dotychczasowej polskiej praktyce. Ujemne strony finansowania elektryfikacji wsi przez samą wieś. Trudności formalistyczne. Potrzeba uporządkowania warunków dla elektryfikacji wsi. — *Prze gl. Elektr.*, 1947, nr 1/2, str. 27—30. J. W.
- 28 621.311
L'équipement électrique de la France. Modernisation et perspectives d'avenir. Thomas M. J. — Główne wytyczne tzw. planu Monneta modernizacji elektryfikacji Francji. Planowane użycie energii elektrycznej w roku 1951 w ilości 40 mlrd. kWh. Sposoby i środki realizacji planu (normalizowanie istniejących urządzeń, szkolenie odpowiednich kadr technicznych). — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 4, str. 173—178. W. M.
- 29 621.311.1
Caractéristique générale de la production et de l'utilisation d'énergie électrique en Espagne. Garcia de Vinuesa A. — Ogólny stan elektryfikacji Hiszpanii i jej plany na przyszłość. Produkcja energii elektrycznej w zakładach parowych i wodnych, główne elektrownie i ich moc, spożycie jednostkowe energii elektrycznej w poszczególnych grupach odbiorców. Zagadnienie współpracy sieci okręgowych ze specjalnym podkreśleniem wagi wielkich linii przesyłowych, ich stanu obecnego i projektów przyszłej rozbudowy. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 4, str. 155—158, 4 rys. W. M.
- 30 621.311.1
L'équipement électrique de la vallée du Tennessee. Hugon J. — Główne wytyczne organizacji produkcji energii elektrycznej w dolinie Tennessee w Ameryce. Opis wyposażenia elektrycznego elektrowni wodnych i parowych oraz ich charakterystyczne wielkości. Ogólny rzut oka na system przesyłania oraz rozdziału energii. Przegląd stosowanych w okręgach taryf. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 1, str. 20—31, 2 tabl., 8 rys. W. M.
- 31 621.311(494)
L'economia dell'energia Svizzera. — Niedobór mocy w Szwajcarii. Problem ograniczeń spożycia energii elektrycznej. Planowanie budowy nowych elektrowni wodnych. — *Energia Elettr.*, styczeń 1947, str. 51. A. B.

- 32 621.311(494) **Die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung im Winter 1946/47.** — Analiza ciężkiej sytuacji energetycznej Szwajcarii w zimie 1946/47. Konieczność wprowadzenia ograniczeń. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1947, nr 4 str. 95—98, 3 tabl., 2 rys. A. M.
- 33 621.311(494) **Die Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie im Betriebsjahr 1945/46.** — Wyniki badań statystycznych w roku 1945/46. Porównanie z latami ubiegłymi. Liczne tabele i wykresy, charakteryzujące gospodarkę energetyczną w Szwajcarii w okresie 1930—1946. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1947, nr 1, str. 1—14, 3 tabl., 10 rys. A. M.
- 34 621.311.1 **Elektryfikacja wsi ze stanowiska rolnika. Modrak P.** — Koszty elektryfikacji wsi skomasowanej i nieskomasowanej. Zagadnienie finansowania elektryfikacji wsi. Materiały do budowy sieci. Silniki elektryczne dla rolnictwa. Grzejnictwo elektryczne na wsi. Sprawa kadr technicznych. Propaganda elektryfikacji. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 25—27. J. W.
- 35 621.311.1 **Państwowa organizacja elektryfikacji wsi. Czarnowski J.** — Zasadnicze cele elektryfikacji wsi. Zagadnienia finansowe, przemysłowe, surowcowe, jako podstawowe problemy elektryfikacji wsi. Projekt centralnej organizacji elektryfikacji wsi. Rola spółdzielczości. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 13—16. J. W.
- 36 621.311.1 **Elektryfikacja wsi z punktu widzenia zakładu energetycznego. Jung Z.** — Wybór napięcia dla sieci rozdzielczych. Jakość wykonywanych sieci i instalacji jako podstawa do sprawnego funkcjonowania układów energetycznych. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 23—24. J. W.
- 37 621.311.1 **Spółdzielcza elektryfikacja wsi. Siwiecki K.** — Elektryfikacja wsi. Spółdzielnia elektryczna jako detanie elektryczne jako warunek powodzenia i rozwoju elektryfikacji wsi. Spółdzielnia elektryczna jako detaliczny rozdzielca energii elektrycznej. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 16—17. J. W.
- 38 621.311.1 **Zagadnienie opłacalności elektryfikacji wsi. Kożuchowski J.** — Finansowe widoki elektryfikacji wsi w gospodarce opartej na zasadach rentowności. Rodzaj i wielkość przeciętnego osiedla. Zapotrzebowanie mocy. Kalkulacja kosztów i ocena opłacalności. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 19—23. J. W.
- 39 621.311.1:620.9 **Change-over to peace. Connel A. G.** — Wpływ gwałtownego rozwoju przemysłu w czasie wojny na warunki pracy zakładów wytwórczych energii elektrycznej oraz na jej rozdział. Przyszłe wykorzystanie źródeł energii. — Journ. Inst. El. Engrs., 1947, cz. I, nr 74, str. 111—113. Z. S.
- 40 621.311.151 **Towards the all-electric idea: a review and a forecast. de Ferranti V. Z.** — Zagadnienie oszczędności węgla w Anglii i jego lepszego wykorzystania. Zwiększenie produkcji energii elektrycznej oraz podniesienie sprawności tej produkcji. Rola przemysłu elektrotechnicznego w kampanii oszczędności węgla. — Journ. Inst. El. Engrs., 1947, cz. I, nr 73, str. 21—25, 5 rys. Z. S.
- 41 621.311.1 **Situazione e programmi postullici dell'industria elettrica in Spagna.** — Sytuacja i program powojenny elektryfikacji Hiszpanii. Początek rozbudowy zakładów elektrycznych. Zjednoczenie towarzystw wytwarzających energię elektryczną. Stan obecny produkcji. — Energia Elettr., 1947, II—III, t. 24, str. 107—108, 1 tabl. A. B.
- 42 621.311.1 **London load building; sources of supply; transmission to very heavily loaded areas; distribution in a densely loaded areas; service in the domestic field; the commercial survey.** — Siłownie londyńskie, źródła energii, przesyłanie energii do ośrodków o dużym zapotrzebowaniu mocy, rozdział w tych ośrodkach, instalacje domowe, odbiorcy przemysłowi. Dane statystyczne produkcji, pobieżny opis zespołów, rozwiązanie techniczne pewnych zagadnień (odpopielanie, uziemienie punktu zerowego). Rozwiązanie sprawy przesyłu energii i budowy podstacji przy jak najlepszym wykorzystaniu terenu. Opis urządzeń podstacji i nastawni. Wymagania stawiane podstacjom rozdzielczym niskiego napięcia. Różne rodzaje podstacji miejskich w Londynie. Charakter obciążeń gospodarstw domowych i rozdziału i wartości. Rodzaje obciążeń większych odbiorców. — Electr. Rev. 1947, 3. I, 24. I, 7. II, 4. IV i 25. IV, str. 6—12, 147—152, 243—249, 515—520, 647—652 57 rys. A. P.
- 43 621.311.1 **Zagadnienie energetyki w polskim Zagłębiu Węglowym. Z. Ficki i W. Oleczakowski.** — Organizacja energetyki zagłębia po wojnie. Stan zawodowych elektrowni w okresie przejściowym. Elektrownie w okręgach sąsiednich. Elektrownie przemysłu węglowego. Inwestycje i naprawy w zakładach wytwórczych. Linie przemysłowe. Porównanie spodziewanego obciążenia i wyników inwestycji za okres 1945—1949 r. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 49—53 (por. Przegl. Gór., 1946, nr 10). J. W.
- 44 621.311.1 **What happened when France nationalized utilities? — Stan elektryfikacji Francji w roku 1947. Przyczyny polityczne, społeczne i ekonomiczne upaństwowienia sieci elektrycznych. Węgiel i woda jako źródła energii. Wzrost ceny energii elektrycznej. Zasady upaństwowienia i nowa organizacja.** — Electr. World, 1947, t. 127, nr 11, str. 96—99, 1 tabl., 2 rys. Z. S.
- 45 621.311.1 **Energetyka Okręgu Warszawskiego. Witwiński B.** — Główne cechy charakterystyczne poboru energii elektrycznej w wielkim mieście i metoda badania tego poboru. Założenia pomocnicze i „hipoteza ludnościowa“ (załadnienie obszaru oraz zawodowy podział ludności). Pobór mocy i energii elektrycznej w różnych latach i dla różnych grup odbiorców. Istniejące i projektowane źródła do pokrycia zapotrzebowania energii. Sposób tego pokrycia w ciągu 25-letniego okresu. Program inwestycji energetycznych. — Przegl. Elektr., 1947, nr 5/6, str. 151—164, 13 rys. J. W.
- 46 621.311.1 : 621.3.018.41 **Programma unificazione della frequenza della rete della Società Adriatica di elettricità. Mainards M.** — Projekt ujednoczenia częstotliwości sieci spółki Società Adriatica di Elettricità. Założenia ujednoczenia: otrzymanie częstotliwości 50 okr./sek. przy tych samych sprawnościach, mocy i stateczności co dla 42 okr./sek. Badania sprawności istniejących zespołów turbinowych, opis prób. Sprawdzenie naprężeń mechanicznych maszyn: przy 50 okr./sek. naprężenia pozostają na ogół w granicach bezpieczeństwa. Z punktu widzenia prędkości krytycznych współczynniki bezpieczeństwa są za niskie. Konieczność zmian w budowie wirników. Warunki stateczności. Straty energii w wypadku pozostawienia częstotliwości 42 okr./sek. wynoszą 80 mln. kWh rocznie. Koszt zmian konstrukcyjnych 500 mln. lir. — Energia Elettr., 1947, VIII, str. 340—346, 5 tabl. A. B.
- 47 621.311.1 **L'attività del gruppo SADE nel campo della costruzione di impianti idroelettrici dal 1936 a oggi.** — Działalność Towarzystwa SADE na polu budowy urządzeń hydroelektrycznych od roku 1936 do dzisiaj. Opisy elektrowni na Aadydze, kanale Brenntella, rzekach Isonzo, Cordevole, Ledra, Brenta. Dane produkcji rocznej poszczególnych elektrowni, dane mocy zainstalowanej. Konstrukcja zapór. Współpraca SADE z Tow. Edison. Dane elektrowni będących w budowie. — Energia Elettr., 1947, VIII, str. 303—327, 58 rys. A. B.

- 48 621.311.1 : 621.316.726
Theoretical approach to speed and tie line control. Brandt R. — Wpływ nadmiaru lub niedoboru wytwarzanej energii elektrycznej na częstotliwość układu współpracujących elektrowni. Linia sprzęgająca jako układ regulujący ilość wytwarzanej energii w zależności od częstotliwości. Układy regulacji samoczynnej, uzależnionej od stopnia obciążenia. Uniezależnienie zmian obciążenia w częściach współpracującego układu od prędkości działania regulatorów maszyn napędowych. Metoda regulacji samoczynnej przy pomocy układów blokujących, czułych na zmiany częstotliwości. Wady i zalety różnych metod tego rodzaju regulacji w układach współpracujących elektrowni. — *Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, t. 66, str. 24—30, 7 rys. Z. S.
- 49 621.311.14
Sul dimensionamento dei gruppi generatori della centrale elettriche. Buoncorno C. — Dobieranie mocy zespołów dla elektrowni. Generatory elektrowni wodnej. Dobór z punktu widzenia całkowitego kosztu urządzeń oraz sprawności układu. Rezerwy. Wpływ przebiegu obciążenia. Zalety stosowania 3 zespołów, z których każdy ma 2 razy większą moc od poprzedniego. — *Energia Elettr.*, 1947, VII, str. 422—426, 4 tabl., 4 rys. A. B.
- 50 621.311.14
Generator ratings and load-carrying capabilities of utility systems. Foote J. H. — Zagadnienie wystarczającej mocy znamionowej, zainstalowanej w elektrowni, z punktu widzenia rzeczywistej zdolności pokrywania zapotrzebowania układu energetycznego. Podstawy do określania mocy znamionowej prądnic. Definicja obciążenia układu energetycznego i koniecznej zdolności wytwórczej. Zagadnienie równoczesności pokrywania zapotrzebowania szczytowego przez współpracujące w układzie energetycznym elektrownie. Godzinne zmiany obciążenia i ich wpływ na moc znamionową prądnic. Uwzględnienie potrzeb własnych elektrowni. — *Electr. World*, 1947, t. 128, nr 21, str. 72—73, 1 tabl. Z. S.
- 51 621.311.18
Power supply for generating station auxiliary services. Szwander W. — Analiza czynników, wpływających na sposób i zasadę zasilania. Pomocnicze układy zasilania. Uzyskanie niezawodności pracy elektrycznych urządzeń napędowych przez odpowiednie zaprojektowanie układów połączeń (sposób zasilania, rozdział urządzeń pomocniczych). Schematy, ilustrujące różne możliwe alternatywy. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, t. 94, cz. II, str. 372—440, 9 rys. Z. S.
- Elektrownie wodne*
- 52 621.311.21
Wzstanowienie elektriceskiej czasti Dnieprowskiej Gidroelektriceskiej Stancji im. Lenina. Czernogubowski Z. P. — Odbudowa urządzeń elektrycznych dnieprowskiej elektrowni wodnej im. Lenina. Modernizacja elektrycznej części odbudowywanej elektrowni. Zasadnicze schematy nowoczesnych elektrowni. Opis i objaśnienia ważniejszych elementów elektrowni. — *Elektricesstwo*, 1947, nr 1, str. 34—44, 4 rys. B. K.
- 53 621.311.21
L'impianto idroelettrico di Domodossola. Società Dinamo. — Nowoczesna elektrownia wodna pracująca na średnim spadku. Moc zainstalowana 20,8 MW. Elektrownia jako część układu energetycznego na rzece Toce (obszar zlewiska 675 km², produkcja energii 105 · 10⁶ kWh). Urządzenia wodne: zapory, kanały, rurociągi. Wyposażenie maszynowe — turbiny i generatory. Urządzenia rozdzielcze oraz zabezpieczenia. Automatykacja sterowania urządzeń wodnych i elektrycznych. — *Energia Elettr.*, 1947, styczeń, str. 7—18, luty-marzec, str. 69—77, kwiecień-maj, str. 145—159, 2 tabl., 55 rys. A. B.
- 54 621.311.21(494.434)
L'usine hydro-électrique du Chatelot. — Wzmianka o projekcie elektrowni wodnej na granicy francusko-szwajcarskiej. Spadek użyteczny 96 m, moc zainstalowana 30 MW, przewidziana produkcja roczna 100 mln. kWh. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 4, str. 84—85. A. M.
- 55 621.311.21(494.262.3)
Kraftwerk Rabiusa-Realta. Leuch H. — Wzmianka o uruchomieniu elektrowni wodnej Rabiusa-Realta (Szwajcaria) o mocy 35 MVA. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 14, str. 392, 2 rys. A. M.
- Maszyny elektryczne*
- 56 621.313
Przyszłe drogi rozwojowe przemysłu maszyn elektrycznych. Gogolewski Z. — Konieczność rozwoju przemysłu maszyn elektrycznych. Nowe tworzywa: blacha magnetyczna, tkaniny szklane, żywice syntetyczne. Doskonalenie procesów fabrykacyjnych. Centralizacja przemysłu maszynowego. — *Przeł. Elektr.*, 1947, nr 1/2, str. 67—68. J. W.
- 57 621.313.2
Medium frequency magnetization of sheet-steel: the interdependence of hysteresis, eddy currents and magnetic utilization. Pohl R. — Uwzględnienie strat w żelazie i wykorzystanie magnetycznego żelaza w maszynach częstotliwości średniej, używanych w przemyśle i w lotnictwie. Wpływ zjawiska histerozy na strumień pozorny, współczynnik wyzyskania oraz straty skutkiem prądów wirowych. Wzory teoretyczne i metody graficzne do wyznaczania tego wpływu. Zestawienie wyników doświadczalnych. Wpływ struktury fizycznej blach. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 38, str. 118—123, 7 rys. Z. S.
- 58 621.313.04
Du choix de quelques caractéristiques des alternateurs. Ricalens J. — Wybór napięcia generatorów. Moment bezwładności dla turbogeneratorów i prądnic o napędzie wodnym. Współczynnik zwarcia i jego dobór. Zestawienia danych liczbowych dla różnych typów generatorów. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 71, str. 390—396, 2 tabl., 1 rys. A. M.
- 59 621.313.045.7
Parasitic losses in synchronous machine damper windings. Walker T. H. — Teoria strat dodatkowych w uzwojeniach tłumiących klatkowych i fazowych (rozruchowych). Wpływ wielkości poskoku żłobkowego wirnika i stojana. Eliminacja strat w uzwojeniach tłumiących i fazowych. Metody obliczania strat skutkiem tętnienia strumienia magnetycznego i strat powierzchniowych. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 37, str. 13—25, 15 rys. Z. S.
- 60 621.313.322
Stabilité et auto-amorçage sur capacité des machines synchrones excitées par excitatrice série. David H. — Równowaga stateczna generatorów o wzbudzeniu zwykłym i posiadających szybkodziałającą regulację wzbudzenia. Zachowanie się generatorów przy nagłym zdjęciu obciążenia (zostaje pojemność Lmnia) i przy zwarceniu. Zalety wzbudzenia w układzie szeregowym. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 73, str. 495—502, 12 rys. A. M.
- 61 621.313.322.82
Evolution de la technique des groupes générateurs des usines génératrices hydroélectriques. Vadot L. — Omówienie wielkości charakterystycznych generatorów dla siłowni wodnych: dobór napięcia, obrotów, momentów bezwładności, wielkości prądu zwarcia. Wirnik generatora w zależności od typu turbiny wodnej. Wzbudzenie generatora. Graniczne moce jednostki. Postęp w dziedzinie techniki turbin wodnych dla dużych, średnich i małych spadków wody. Układ generatorów w elektrowni. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 12, str. 479—488, 5 rys. A. M.
- 62 621.313.332.012.5
Short circuit characteristics and load performance of inductor type alternators. Mandl A. — Wyznaczanie prądu zwarcia prądnicy asynchronicznej przy uwzględnieniu działania obwodów tłumiących, zapobiegających oscylacjom strumienia magnetycznego. Zależność prądu zwarcia od rozproszenia i rozkładu strumienia magnetycznego. Wyznaczanie obwodów zastępczych. Wpływ stanu nasycenia magnetycznego. Kompensacja oporności

- indukcyjnej przy pomocy kondensatorów szeregowych. Współpraca prądnic kompensowanych. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 38, str. 102—117. 1 tabl., 33 rys. Z. S.
- 63 389.6:621.313.333(494)
Anschlussbedingungen für Drehstrom-Asynchron-Motoren. **Werdenberg W.** — Wahania napięcia wywołane zmianą prądu silnika asynchronicznego przy rozruchu, hamowaniu i zmianie stanu pracy. Dopuszczalne wahania napięcia. Określenie warunków przyłączania silników do sieci. Porównanie różnych warunków. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1947, nr 10, str. 273—279, 1 tabl., 6 rys. A. M.
- 64 621.313.045
Piereszczot obrotowych przewodów. **Moldawier A. I.** — Przeliczanie średnicy drutów nawojowych i ilości zwojów przy przewijaniu maszyn elektrycznych. Tablica współczynników przeliczeniowych dla silników trójfazowych. Przykłady przeliczeń. — Promyszl. Energ., 1947, nr 3, str. 13—14, 2 tabl. T. S.
- 65 621.313.047 2:621 313.2
Protoczka kolektorów s bolszoi vyrabotkoi. **Prejs K. A.** — Sposób przetaczania mocno zużytych komutatorów dużych prądnic prądu stałego zastosowany w jednym z zakładów uralskich. — Promyszl. Energ., 1947, nr 10, str. 7—8, 3 rys. T. S.
- 66 621.313.2.045:621 317.333 4
Prostiejszy sposob otyskania powieźdienij obmotok elektromaszyn postojannowo toka. **Bogdanow K. A.** — Sposób wykrywania uszkodzeń w uzwojeniach maszyn prądu stałego za pomocą akumulatora, przerywacza oraz słuchawki telefonicznej. — Promyszl. Energ., 1947, nr 7, str. 9—10, 2 rys. T. S.
- 67 621.313 3—212
Elektriceskaja maszynna z katiaszczymisia rotorom. **Moskwitin A. J.** — Maszyna elektryczna o obiegającym tworniku wirnika. Opis maszyny. Maszyna nisko-obrotowa o dużym momencie obrotowym. Porównanie z maszynami wirującymi oraz posuwanymi. — Elektricestwo, 1947, nr 3, str. 56—59, 4 rys. B. K.
- 68 621.313.333
„Krajewoj effekt“ w indukcjonnych maszynach z zamkniętym magnitoprowodem. **Szturman G. J. i Aronow R. L.** — Analityczne obliczenie silników asynchronicznych o specjalnie ukształtowanych stojanach z otwartym obwodem magnetycznym. Wyznaczenie prądu wtórnego i jego zależności w czasie od prądu pierwotnego. Dodatkowy wpływ pulsacji wywołanej przerwami obwodu magnetycznego. — Elektricestwo, 1947, nr 2, str. 54—59, 1 rys. B. K.
- 69 621.313.333.017
Efektownost ziamieny niezagrużonnych asynchronnych elektrowigatieliej. **Osokin M. N.** — Zastępowanie niedociążonych silników asynchronicznych silnikami mniejszej mocy. Obliczenie zmniejszenia strat w samym silniku i w sieci oraz wyznaczenie wynikającej stąd rocznej oszczędności energii. Literatura. — Promyszl. Energ., 1947, nr 4, str. 10—12, 1 tabl. T. S.
- 70 621.313.333.2
Nowoje w remontie rotorow s aluminiewoj obmotkoi. **Zilberberg W. I. i Szmidt A. O.** — Opis remontu wirnika silnika indukcyjnego o liczbie obrotów na minutę ok. 6000. Zastąpienie aluminiowej klatki silnika kombinowaną klatką mosiężno-miedzianą o tej samej oporności. Porównanie wyników pomiarów przed i po remoncie. — Promyszl. Energ., 1947, nr 12, 4 rys., 1 tabl. T. S.
- 71 621.313.334.017
Pctieri energii w synchronizirowanom asynchronnom elektrowigatieliej. **Razumow B. A.** — Rozpatrzenie, z punktu widzenia oszczędzania energii, celowości stosowania synchronizowanych silników asynchronicznych. Wyznaczenie najekonomiczniejszego stopnia obciążenia tych silników. Obliczenie zwiększenia strat w silniku i zmniejszenia strat w sieci przy zastosowaniu silnika synchronizowanego zamiast zwykłego silnika asynchronicznego. Wnioski z obliczenia stwierdzające, w jakich warunkach opłaca się stosować silniki synchronizowane. — Promyszl. Energ., 1947, nr 8, str. 3—5, 3 rys. T. S.
- 72 621.315.6:621.313
Modiernizacja izolacji elektriceskich maszyn pri remontach. **Kalitwianski W. I.** — Przyczyny uszkodzeń izolacji maszyn elektrycznych. Rozpatrzenie sposobów zwiększenia wytrzymałości izolacji międzyzwojowej przy remontach, z uwzględnieniem zastosowania izolacji szklanej i mieszanej szklano-bawełnianej. Wzmacnianie izolacji uzwojeń maszyn względem korpusu. Stosowanie specjalnych lakierów i past izolacyjnych na połączeniach czołowych. Literatura. — Promyszl. Energ., 1947, nr 3, str. 1—5, 5 tabl. T. S.
- 73 621.315.6.045:621 313.323
Remont i modiernizacja obmotok importnych elektrowigatieliej. **Rogow W. P.** — Opis remontu dwóch synchronicznych silników AEG, 2900 kW, 1000 obr./min., 11 000 V. Przewinięcie stojanów silników drutem w izolacji szklanej. Omówienie trudności związanych z wymianą klatek rozruchowych. Wyniki prób dokonanych z wyremontowanymi silnikami. — Promyszl. Energ., 1947, nr 12, str. 10—11, 5 rys. T. S.
- 74 621.315.612.7
Rastworitieli dla lakow i metody oswożdienia ot staroj izolacii pri remontie elektriceskich maszyn. **Stonim N. M.** — Zastosowanie odpowiednich rozpuszczalników dla różnych rodzajów lakierów używanych do nasycania izolacji maszyn elektrycznych. Usuwanie lakieru ze starych uzwojeń przy remoncie za pomocą ługu i sposobem termicznym. — Promyszl. Energ., 1947, nr 5, str. 15, 1 rys., 1 tabl. T. S.
- Przesył i rozdział energii elektrycznej
- 75 518.3:621.315
Nomogrammes et abaques universels basés sur le circuit en π pour la résolution sans calculs préparatoires des problèmes relatifs au transport de l'énergie électrique. **Schmitt P.** — Charakterystyczne wielkości, których wyznaczenie w linii przesyłowej jest konieczne. Sposoby ich wyznaczenia przy użyciu nomogramów i wykresów uniwersalnych, opartych na schemacie π . Uzasadnienie matematyczne wykresów, sposób konstrukcji i posługiwanie się nimi. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 3, str. 133—139, 1 tabl., 12 rys. W. M.
- 76 621.315:621.3.09
Wykres kołowy układu elektroenergetycznego i jego zastosowanie. **Konczykowski St.** — Zalety wykresu kołowego przy obliczaniu energetycznych układów przesyłowych. Budowa wykresu kołowego w układzie π lub T w oparciu o stałe A, B, C, D obwodu. Obliczanie układów przesyłowych metodą określania stałych A, B, C, D dla równoważnego układu sumarycznego lub metodą przekształcania elementów π , T lub I¹ połączonych łańcuchowo w równoważny układ π i obliczanie stałych dla tego układu. Przykłady stosowania wykresu kołowego przy obliczaniu mocy, napięcia $\cos \varphi$ układu. Obliczanie mocy granicznej układów, znajdujących się w równowadze statycznej, wyznaczenie współczynnika równowagi. — Przegl. Elektr., 1947, nr 1/2, str. 2—10, 13 rys. J. W.
- 77 621.315:621.319.4
Note relative à deux exemples particuliers d'emploi de condensateurs dans des réseaux de distribution. **Cabanes L.** — Opis dwóch szczególnych przypadków zastosowania kondensatorów w przeciążonych sieciach: wiejskiej i przesyłowo-wiejskiej. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 1, str. 60—61. A. M.
- 78 621.315.014.3
Contribution à l'étude des „incidents du matin“ sur les lignes de transport d'énergie. **Schuepp P.** — Charakterystyka „wylączeń porannych“ i statystyka dla sieci francuskich. Program badań doświadczalnych. Obserwacja wielkości meteorologicznych. Rozkład rosy na powierzchni różnych typów izolatorów. Pomiar elektryczne

(prąd powierzchniowy, jego zmiany w czasie, zależnie od stanu wilgotności powietrza). Zależność oporności powierzchniowej izolatorów od wilgotności. Wyniki badania i ich analiza. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 3, str. 103—124, 11 tabl., 37 rys. A. M.

79 621.315.014.3:621.316.935

Statistique des incidents d'exploitation sur un réseau à 30 kV muni de bobine d'extinction d'arc. Haour M. — Szczegółowa analiza wpływu długości sieci napowietrznych na ilość uszkodzeń w sieci 30-kilowoltowej, wyposażonej w cewki kompensacyjne. Wpływ kompensacji i wyłączników z ponownym włączeniem samoczynnym na zmniejszenie wyłączeń. Uwagi na temat obliczania cewek kompensacyjnych. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 70, str. 368—373, 4 tabl., 2 rys. A. M.

80 621.315.015.3

Théorie de la propagation d'ondes de choc sur deux lignes parallèles. Cotte M. — Znaczenie w elektroenergetyce teorii rozchodzenia się fal udarowych w liniach równoległych. Równania różniczkowe cząstkowe. Rozwiązanie przybliżone układu. Rozwiązanie ścisłe. Rozwiązania nad wpływem wielkości oporności zamykającej obwód linii. Porównanie wyników teoretycznych z doświadczalnymi. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 8, str. 343—352, 6 rys. A. M.

81 621.315.015.3:621.317.755

Étude à l'oscillographe cathodique des ondes mobiles et des oscillations dans une ligne aérienne d'essais. Mauduit A. — Opis doświadczalnej linii napowietrznej do badania przebiegów falowych oscylografem katodowym. Metoda zasilania linii falami udarowymi. Opis doświadczeń, wykonanych na linii jedнопроводowej otwartej, uziemionej na wejściu bezpośrednio lub przez oporność charakterystyczną. Tłumienie w linii. Przebiegi falowe w liniach równoległych. Wpływ oporności uziemienia linii na wielkość fali indukowanej. — *Rev. Gén. Electr.*, 1947, nr 8, str. 331—343, 16 rys. A. M.

82 621.315.015.3

Weather and electric power stations. — Rola komunikatów meteorologicznych w pracy sieci elektroenergetycznych. Ustalenie miejsca uderzenia pioruna i przewidywany przebieg zaburzeń atmosferycznych. Organizacja służby meteorologicznej w Szkocji. Znaczenie obserwacji meteorologicznych dla zakładów wytwórczych o napędzie wodnym. (Dyskusja). — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. I, nr 73, str. 49—53. 3 rys. Z. S.

83 621.315.027.2:621.316.923

Défauts sur les câbles souterrains b. t. et protection par fusibles des réseaux maillés b. t. Dejou A. — Uszkodzenia linii kablowych niskiego napięcia i ochrona sieci zamkniętych niskiego napięcia przy pomocy bezpieczników. Dane z eksploatacji sieci paryskiej. Sieć wieloprzewodowa prądu stałego (3- i 5-przewodowa, 2×115 i 4×115 V). Badanie kabli. Sieci prądu zmiennego. Zabezpieczenie sieci niskiego napięcia. Wybór i ilość bezpieczników. Dobór bezpieczników. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 70, str. 336—344, 2 tabl., 7 rys. A. M.

84 621.315.027.3:621.316.935

Mise à la terre du point neutre des réseaux à moyenne tension par bobine d'extinction d'arc. Gires P. — Uziemienie punktu zerowego sieci średnich napięć przy pomocy cewki kompensacyjnej. Wyniki eksploatacyjne kompensacji sieci na 10 i 45 kV okręgu Valenciennes-Anzin. Dostrojenie cewek. Czułość przekazywności. Eksploatacyjne dane liczbowe. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 70, str. 366—368, 1 tabl. A. M.

85 621.315.027.3:621.316.935

Résultats d'exploitation de bobines d'extinction sur réseaux à moyenne tension aériens et souterrains. Bourdon R. — Cel stosowania cewek kompensacyjnych w sieciach średnich napięć. Skrót teorii działania cewki kompensacyjnej. Rozszerzona teoria działania cewki kompensacyjnej. Dostrojenie cewki i wielkości napięć. Asymetria przy zerwaniu przewodu. Przykłady liczbowe i oscylogramy prób zwarć. Charakterystyka sieci

omawianej. Zasady eksploatacyjne kompensacji. Lokalizacja i eliminacja uziemień. Dane statystyczne. Ilość unikniętych wyłączeń sieci. Statystyka uszkodzeń. Metoda wykrywania wcześniejszego uszkodzenia. Uziemienie fazy, podniesienie potencjału punktu zerowego przy pomocy transformatora. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 70, str. 345—365, 4 tabl., 16 rys. A. M.

86 621.315.051.2:621.315.051.3

Regional transmission and distribution of electricity. Ayres T. M. — Ekonomiczność i pewność rozdziału energii elektrycznej w sieciach wysokiego i niskiego napięcia. Organizacja i metody pracy. Opanowywanie wahań napięcia. Centralny rozrząd i jego zadania. Obsługa urzędów rozdzielczych, transportu, telekomunikacji. Pomiar zasadniczych wielkości. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. I, nr 74, str. 87—90. Z. S.

87 621.315.1:621.3.014.3

Lightning targes on transmission lines in Ireland. Cuffe R. C. — Krótki przegląd badań nad wyładowaniami atmosferycznymi w Irlandii. Dane dla okresu 10-letniego dla linii 110, 38 i 10 kV. Pomiar prądów udarowych w liniach (1000 A) i trudności związane ze stosowaniem sztabek magnetycznych. Zagadnienia ekonomiczne w technice ochrony przepięciowej. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 40, str. 270—277, 8 rys. Z. S.

88 621.315.1.016.3

Die Belastbarkeit von Freileitungen mit Rücksicht auf höchstzulässige Leitertemperaturen Ludwig H. — Zarys historyczny zagadnienia obciążalności przewodów napowietrznych ze względu na przyrost temperatury. Wpływ metody i układu pomiarowego na wyniki prób nagrzewania. Obliczenie teoretyczne przyrostu temperatury przewodu. Dobór wielkości stałej proporcjonalności C. Wyniki pomiarów i wykres zależności stałej C od przekroju dla rozmaitych materiałów przewodu. Wykresy obciążenia przewodu w funkcji przekroju dla rozmaitych przyrostów temperatur. Wpływ wiatru. Zastosowanie wykresów w praktyce. Przykłady liczbowe. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 3, str. 50—58, 2 tabl., 10 wyk. A. M.

89 621.315.1.056.3.0014

Les systèmes de mesures pour l'enregistrement des vibrations des lignes aériennes Preiswerk M. & Dassetto G. — Artykuł napisany na prośbę Komitetu linii napowietrznych CIGRÉ. Badania laboratoryjne. Omówienie parametrów, mających wpływ na zjawisko drgania przewodów. Badania na liniach bez napięcia i na liniach pod napięciem. Wnioski. Literatura. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 13, str. 371—374. A. M.

90 621.315.2:621.315.618

The development of the gas-cushion cable system for the highest voltages. Harrison T. R. P. — Rozwój techniki produkcyjnej kabli gazowych dużego ciśnienia dla najwyższych napięć. Dostawianie wyników osiągniętych przy próbach do potrzeb praktyki. Porównanie z kablami z izolacją stałą w warunkach prób napięciem 50-okresowym i udarowym. Specjalne wymagania przy próbach napięciem udarowym. Widoki rozwojowe na przyszłość. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 39, str. 233—242, 15 rys. Z. S.

91 621.315.616.96.0014

Prüfungen an elektrischen Isoliermaterialien der Draht- und Kabelisolation. Zürcher M. — Zarys ogólny metod, stosowanych przy próbach izolacji przewodów i kabli z uwzględnieniem szczególnym prób mas plastycznych. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 13, str. 374—377, 5 rys. A. M.

92 621.315.668.1

Die Isolation von Freileitungen auf Holzstangen. Klay H. — Wyniki badań nad wytrzymałością izolatorów na słupach drewnianych. Zalety stosowania drewnianych poprzeczników na słupach linii elektrycznych. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 2, str. 25—28, 11 rys. A. M.

- 93 621.315.668.1
The operational characteristics of modern h. v. wood-pole lines Garwood G. T. — Linie wysokiego napięcia na słupach drewnianych, których żelazne poprzeczniki są nieziemione. Zastosowanie poprzeczników żelaznych i drewnianych. Własności izolacyjne całej konstrukcji mechanicznej słupa (porcelana, drzewo). Próby przeprowadzone przy mgłę i opadach. Wpływ wyładowań atmosferycznych a rodzaj poprzecznika. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 41, str. 481—493, 14 rys. Z. S.
- 94 621.315.722.076.12:621.319.4
Compensation des lignes de transport d'énergie à l'aide de condensateurs série. Satche P. — Zagadnienie kompensacji linii długich przy użyciu kondensatorów łączonych w szereg z linią. Zagadnienia stateczności, zabezpieczenia przed przetężeniami. Rezultaty badań amerykańskich. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 62—63. A. M.
- 95 621.316:621.316.92
Problèmes d'actualité, intéressant les réseaux de distribution à basse et moyenne tension. Marec E. — I. Sieci niskiego napięcia. Bezpieczniki napowietrzne, utrzymywanie symetrii obciążeń, zabezpieczenia transformatorów. II. Sieci średnich napięć. Ponowne samoczynne włączanie, ustalenie wybiórczości wyłączeń, samoczynne przełączenia sieci. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 70, str. 322—326, 7 rys. A. M.
- 96 621.316:621.316.92
La protection des réseaux à moyenne tension, radiaux ou maillés. Petit H. — Zabezpieczenia sieci. Wielkości prądów zwarcia, skutki prądów zwarcia, czas zadziałania zabezpieczenia, wybiórczość. Typy zabezpieczeń: nadmiarowe, zabezpieczenie oparte na asymetrii prądu, różnicowe z wykorzystaniem przewodu pomocniczego lub prądów nośnych, odległościowe. Opis zabezpieczeń w sieciach na 5,5 i 15 kV. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 70, str. 315—322, 3 rys. A. M.
- 97 621.316.025.2:621.316.26:621.316.92
Les réseaux maillés diphasés à basse tension de Paris. Les postes sous hauteurs et leurs protections. Poyart R. — Sieci zamknięte dwufazowe nisk. nap. w Paryżu: Schemat sieci zasilającej i rozdzielczej. Podstacje rozdzielcze. Schemat zabezpieczenia sieci wysokiego napięcia i sieci niskiego napięcia. Aparatura podstacji: transformatory, wyłączniki, odłączniki, uziemienia. Układy sterowania i sygnalizacji na podstacji. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 70, str. 326—335, 5 rys. A. M.
- 98 621.316.1
The development of public electricity distribution in Great Britain. Howard W. H. — Strona ekonomiczna koncepcji zamkniętej sieci elektrycznej. Krytyczna ocena sposobu rozdziału energii. Sposoby podniesienia ogólnej sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Napięcia gospodarcze i sposoby rozdziału obciążeń. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. I, nr 75, str. 138—140. Z. S.
- 99 621.316.1:621.3.018.41:621.3.016.2
Détermination expérimentale de l'influence de la fréquence sur la puissance absorbée par un réseau de consommation. Gaden D. — Doświadczalne określenie wpływu zmiany częstotliwości na moc pobieraną przez sieć rozdzielczą. Określenie zasadniczych wielkości i ich wzajemne zależności. Wyniki badań przeprowadzonych na sieci. Pomiar zmian mocy. Zmiany obciążenia. Analiza wyników prób. Wyniki badań i ich zastosowanie. Wymagania konstrukcyjne. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 75, str. 574—582, 7 rys. A. M.
- 100 621.316.26—742
Der Bau von Freiluftanlagen. Howald W. — Rozwój budowy urządzeń napowietrznych w okresie ostatnich 25 lat. Kierunki rozwojowe budowy odłączników, transformatorów mierniczych, transformatorów energetycznych. Napowietrzne rozdzielnie amerykańskie, niemieckie, szwajcarskie i francuskie. Zestawienie wymiarów, charakterystycznych dla rozdzielni napowietrznych na 150 i 50 kV. — Bull. Schweiz. El. Ver., 1947, nr 8, str. 215—221, 1 tabl., 8 rys. A. M.
- 101 621.316.261
Seven years developments of an urban distribution system. Wright J. F. — Etapy rozwoju towarzystwa elektrycznego Swansea od 1939 r. Zmiany i przebudowa w układzie sieci 33/66/0,4 kV wywołane wzrostem obciążeń. Rozbudowa podstacji wys. nap. (35 kV). Aparatura rozdzielcza, transformatory, zabezpieczenia, kable, regulacja napięcia. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. I, nr 75, str. 147—149. Z. S.
- 102 621.316.57
Sprawozdanie z posiedzeń Stowarzyszenia Elektryków Francuskich. Dyskusja nad zagadnieniami wyłączników średniego i wysokiego napięcia. — I. Zagadnienia normalizacji i prób wyłączników. Wpływ częstotliwości własnej. Próby napięciem zniżonym. Dyskusja. Zestawienie wyników. II. Zagadnienia konstrukcyjne. Wyłączniki powietrzne. Wyłączniki małoolejowe. Rozwiązania techniczne rozmaitych producentów. Dyskusja nad zagadnieniami konstrukcyjnymi. Zestawienie wyników dyskusji. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 67, str. 136—184, 27 rys. A. M.
- 103 621.316.57.064
Les possibilités de rénovation des disjoncteurs à grand volume d'huile. Dormont J. — Stan obecny wyłączników olejowych. Zarys rozwoju konstrukcji wyłączników. Opis przebudowanego wyłącznika olejowego na 220 kV. Porównanie wielkości charakterystycznych wyłącznika przed przebudową i po przebudowie: wzrost mocy wyłączalnej, zmniejszenie czasu wyłączenia i włączenia, możliwość ponownego włączania. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 76, str. 648—652, 1 tabl., 3 rys. A. M.
- 104 621.316.57.064.24
The performance of high-voltage oil circuit-breakers incorporating resistance switching. Cox H. E. & Wilcox T. — Polepszenie warunków pracy wyłączników przez zastosowanie specjalnej komory wybuchowej. Rola opornika obocznego przy komorze. Wpływ największego napięcia znamionowego i największego prądu wyłączanego na konstrukcję komory. Zastosowanie oporników obocznych (wyłącznik na 132 kV, 2500 MVA). Wpływ charakteru obciążenia na działanie opornika. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 40, str. 351—361, 21 rys. Z. S.
- 105 621.315.024
Puti k reszeniu osnovnykh voprosow pieredachi energii postojannym tokom. Czerwonenkis M. — Kierunki rozwojowe zagadnienia przesyłu energii prądem stałym. Przesył energii prądem stałym jako jedno z głównych zagadnień nowego pięciolecia w Z. S. R. R. Trudności techniczne. Rozwiązanie niektórych zagadnień dotyczących prostowania prądu (dobór odpowiedniego schematu prostowniczego, zastosowanie regulacji wolnej od bezwładności). Próby poprawienia pracy układów prostowniczych przez odpowiednie uziemienie punktów zerowych urządzeń prostowniczych. — Elektrichestwo, 1947, nr 1, str. 22—24, 15 rys. B. K.
- 106 621.315.212.13
Elektrischeskoje pole trechfaznowo kabiela. Lomonosow W. J. — Pole elektryczne kabla trójfazowego. Przykład obliczeniowy — rozkład pola w kablu trójfazowym. Warunki, przy których wymiary kabla są najmniejsze. — Elektrichestwo, 1947, nr 3, str. 10—14, 1 rys. B. K.
- 107 621.316.99:621.317.31
Issledowanie zaziemlitlej w plocho prowadiaszczich gruntach. Wajner A. L. — Badania uziemień w gruntach źle przewodzących. Wyniki badań nad rozplywem prądów udarowych w uziemieniach w gruntach źle przewodzących. Uziemienia rurowe, pierścieniowe i rozległe. Wielkości współczynników udarowych uziemień. Współczynniki wykorzystania pojedynczych elektrod w układzie wielokrotnym. Celowość stosowania odpowiednich typów uziemień w gruntach źle przewodzących. — Elektrichestwo, 1947, nr 2, str. 40—47, 14 rys., 3 tabl. B. K.

- 108 621.316.5.064.4
The extinction of arcs in air-blast circuit-breakers. Allan A. & Amer D. — Rozwój konstrukcji wyłączników powietrznych. Sposoby poprawienia warunków pracy. Uwzględnienie zjawiska przepływu burzliwego w konstrukcji wyłączników. Zastosowanie tzw. turbolatorów powietrznych w wyłącznikach na 66 i 132 kV. Zestawienie wyników prób. — Journ. Inst. Electr. Engrs, 1947, cz. II, nr 40, str. 333—350, 9 tabl., 24 rys. Z. S.
- 109 621.316.57.064.45
Progrès récents réalisés dans la technique des disjoncteurs à air comprimé en Grande-Bretagne et aux États-Unis. Robert R. — Zdobyte techniki angielskiej i amerykańskiej, stan techniki w 1939 r. Rozwiązania techniczne (opis i dane liczbowe) poszczególnych konstruktorów. Zagadnienia specjalne dotyczące techniki wyłączania wyłączników powietrznych. Porównanie wyłączników małosięgowych i powietrznych. Przedstawienie linii wytycznych rozwoju techniki angielskiej i amerykańskiej. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 76, str. 653—676, 25 rys. A. M.
- 110 621.316.7
Tecnica delle regolazioni. Buzzi E. — Artykuł ogólny. Zasady regulacji w technice. Kryteria utrzymania stateczności. Przykład regulacji turbin parowych. Przybliżona metoda obliczenia zakresu regulacji. — Energia elettr., 1947, nr 1, str. 29—34, 4 rys. A. B.
- 111 621.316.7—519
Electric positioning systems of high accuracy for industrial use. Garr D. E. — Elektryczne systemy regulacji zdalnej o dużej dokładności do celów przemysłowych. Części składowe, zasada działania, właściwości. Dwa przykłady zastosowań przemysłowych. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 7, str. 17—24, 13 rys. S. D.
- 112 621.316.7.076.12
Note sur l'utilisation de condensateurs dans des réseaux de distribution. Villiers C. — Zastosowanie kondensatorów w sieciach rozdzielczych przedmieścia Paryża (ponad 16 000 kVAR). Metody zachęcania odbiorców do instalowania kondensatorów. Wybór kondensatorów i napięcia. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 58—59. A. M.
- 113 621.316.7.076.12
Influence sur le fonctionnement des réseaux de transport de l'installation de condensateurs dans les réseaux de distribution. Henriot P. — Podział mocy biernej na trzy grupy: 1) moc bierna odbiorników, straty mocy biernej w sieciach rozdzielczych i transformatorach rozdzielczych, 2) straty mocy biernej w transformatorach przesyłowych obniżających napięcie oraz 3) straty mocy biernej w liniach przesyłowych. Wpływ kondensatorów w sieciach rozdzielczych na pierwszą grupę oraz na zmniejszenie mocy kompensatorów synchronicznych. Rozdział obciążeń biernych pomiędzy generatory i kondensatory sieci rozdzielczych. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 53—55. A. M.
- 114 621.316.722:621.314.223
Le réglage de la tension sur les réseaux du Nord-Lumière. Sellier G. — Regulacja napięcia w podstacjach 60-kilowoltowych przy pomocy autotransformatorów, przełączanych pod obciążeniem. Spadki napięcia w sieci 15-kilowoltowej i transformatorach podstacji rozdzielczych. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 70, str. 374—380, 1 tabl., 8 rys. A. M.
- 115 621.316.722.076.12
Deux dispositifs de réglage de la tension des réseaux de distribution. Pichon M. — Regulacja samoczynna napięcia sieci rozdzielczej przy pomocy transformatora regulacyjnego. Schemat układu, zasada działania. Regulacja samoczynna napięcia przy pomocy baterii kondensatorów. Opis urządzenia włączającego baterię. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 70, str. 380—384, 4 rys. A. M.
- 116 621.316.722.076.12:621.316.1
Compensation des réseaux de distribution à l'aide de condensateurs branchés en dérivation. Cahen F. — Wpływ kondensatorów na pracę sieci rozdzielczej, ustalony na podstawie analizy obwodu zastępczego sieci. Spadki napięć, straty mocy czynnej i biernej w sieci niekompensowanej i kompensowanej. Przykłady liczbowe, wykresy. Analiza elementów obwodu sieci, pochłaniających moc bierną — podział na elementy szeregowo, których zużycie mocy biernej jest proporcjonalne do kwadratu prądu, i równoległe, których zużycie mocy biernej jest proporcjonalne do kwadratu napięcia. Wytyczne rozmieszczania kondensatorów do celów kompensacji. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 42—48, 8 rys. A. M.
- 117 621.316.722.076.12:621.316.1
Le réglage en basse tension par les condensateurs. Aries E. — Zastosowanie kondensatorów do regulacji napięcia w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Wyjaśnienie zasad regulacji na schemacie zastępczym sieci rozdzielczej. Obliczenie pojemności kondensatora włączonego równoległe do obciążenia oraz w szereg z obciążeniem. Wykres oporności pozornych wypadkowych. Wyniki obliczeń przykładu liczbowego i porównanie zalet układu szeregowego i równoległego. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 36—41, 2 tabl. 2 rys. A. M.
- 118 621.316.727:621.398
Influence de condensateurs utilisés dans le réseaux de distribution sur le fonctionnement de dispositifs d'action „Actadis“. Masson E. & Eluard R. — Zakłócenia powstające w sieciach, w których jednocześnie istnieją kondensatory do poprawy współczynnika mocy oraz urządzenia sterowania zdalnego systemu „Actadis“ (system sterowania na częstotliwości akustycznej). Zjawiska rezonansu powstające w takich układach. Zapobieganie zakłóceniom przy pomocy dławików. Podstawy obliczenia odpowiedniego dławika. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 3, str. 90—95, 1 tabl., 7 rys. W. M.
- 119 621.316.728.076.12
Note sur la compensation de l'énergie réactive au moyen des condensateurs statiques. Revol P. — Kompensacja mocy biernej. Zalety kondensatorów statycznych. Przykłady zastosowania kondensatorów we Francji. Zabezpieczenia kondensatorów. Wyniki eksploatacyjne. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 56—57. A. M.
- 120 621.316.99
L'état actuel de la technique des mises à la terre des installations électriques. Petrocokino D. — Definicje różnego rodzaju uziemień. Podstawy teoretyczne obliczenia uziemień, ich rola, działanie i sposoby wykonania. Normy francuskie dotyczące uziemień. Uziemienia ochronne urządzeń ogromowych, punktu zerowego i uziemienia w urządzeniach prądu stałego. Kilka rodzajów elektrod uziemiających. Metody pomiaru oporności uziemień. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 5, str. 193—216, 4 tabl., 23 rys. W. M.
- 121 621.316.99
La sécurité des personnes et la question des mises à la terre des postes de distribution. Bodier G. — I. Niebezpieczeństwo porażenia — wielkości natężeń prądu, powodującego porażenie śmiertelne. Oporność ciała ludzkiego. Określenie napięcia krokowego i ustalenie maksymalnych jego wielkości, bezpiecznych dla człowieka. Oporność na prądy udarowe. Metody zmniejszenia niebezpieczeństwa porażenia. II. Uziemienie podstacji. Zagadnienie najodpowiedniejszego łączenia uziemień ogromników, uziemień zerowego niskiego i wysokiego napięcia i części metalowych normalnie nie będących pod napięciem. Analiza zagadnienia w wielkich podstacjach przemysłowych i małych stacjach rozdzielczych. Zabezpieczające urządzenia specjalne. III. Granice górne wielkości oporności uziemień. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 74, str. 545—562, 9 rys. A. M.

Przesył i rozdział energii elektrycznej

- 122 621.316.98:620.19
Prévention de l'autocorrosion et de l'électrolyse des canalisations souterraines. Guery F. — Zjawisko korozji elektrochemicznej i jego znaczenie dla przewodów ułożonych w ziemi. Własności ziemi jako elektrolitu. Zabezpieczenie przed korozją przez zastosowanie odpowiednich metali lub przez odpowiednie pokrycie powierzchni przewodu. Elektroliza wywołana niejednorodnym układem ziemi. Elektroliza wywołana prądami stałymi przemysłowymi i trakcyjnymi. Analiza rozplywu prądu w sieci trakcyjnej. Przepisy. Metody zabezpieczenia przed prądami ziemnymi: odpowiednie pokrycie chronionej powierzchni, izolacja złącz, sztuczne obniżenie potencjału powierzchni chronionej. Literatura. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 10, str. 401—411, 9 rys. A. M.

Miernictwo elektryczne

- 123 621.317:621.385.883
Measuring by electron microscopy. Fullam E. F. — Sposoby określenia powiększenia, korygowanie zniekształceń obrazu, metody pomiarów za pomocą mikroskopów elektronowych. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 10, str. 18—21, 5 rys. S. D.
- 124 621.317:77
Photographic records and measuring devices in engineering. — Zdjęcia fotograficzne i urządzenia pomiarowe w technice. Odbitki i kopiowanie. Kinematografia. Zastosowania specjalne w elektrowni, mikrografii, telewizji i oscylografii. Rentgenografia. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. I, nr 74, str. 95—98. Z. S.
- 125 621.317.32:621.38
Mesure des hautes tension de crête par diffraction d'électrons. Trillat J. & Barraud J. — Zastosowanie metody pomiaru wysokiego napięcia stałego, opartej na dyfrakcji elektronów, do pomiaru wysokiego napięcia zmiennego. Metody pomiaru wielkości największej napięcia zmiennego. Teoria metody dyfrakcyjnej. Możliwości i przyczyny błędów. Dokładność metody. Zastosowania i wyniki pomiarów. Literatura. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 7, str. 310—314, 1 tabl., 6 rys. A. M.
- 126 621.317.385
Totalization of wathours. Edgerly H. E. — Metody łącznego pomiaru energii elektrycznej kilku odbiorców w różnych warunkach. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 11, str. 28—30, 14 rys. S. D.
- 127 621.317.39:531.7
The measurement of sea-water velocities by electromagnetic induction. Guelke R. W. & Schoutevann C. A. — Zastosowanie zasady elektrodynamiki do pomiaru szybkości wody morskiej. Wykorzystanie zjawiska ruchu wody (przewodnik) w polu magnetycznym. Opis urządzenia podwodnego, wytwarzającego pole magnetyczne oraz aparatury pomiarowej. Porównywanie szybkości i pomiary w czasie burz i przypływów. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, nr 37, str. 71—74, 6 rys. Z. S.
- 128 621.317.42:681
A sensitive recording magnetometer. Butterworth A. — Opis magnetometru zapisującego do pomiaru zmian pola magnetycznego ziemskiego. Wykorzystanie zmian oporności paska z „mu-metalu“ w badanym polu magnetycznym. Zapisywanie zmian oporności przez układ pomiarowy. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 40, str. 325—330, 7 rys. Z. S.
- 129 621.317.44:620.11
Testing loudspeaker magnets. George E. E. — Opis urządzenia do szybkiego sprawdzania magnesów głośnikowych przy fabrycznej kontroli produkcji. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 10, str. 24—26, 6 rys. S. D.
- 130 621.317.7
Progress in instrument design. Fisk D. B. & Whittenton J. M. — Przegląd kierunków rozwoju przy-

- rządów pomiarowych. Przykłady udoskonalenia podstawowych typów przyrządów i rozszerzenia zakresu zastosowań. Nowe przyrządy lampowe. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 10, str. 8—11, 9 rys. S. D.
- 131 621.317.7:628.9
New meters for germicidal energy. Taylor A. H. and Haynes H. — Opis przyrządów do pomiaru działania promieni bakteriobójczych. Mierzenie współczynnika odbicia, natężenia promieniowania i mocy promieniowania lampy. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 10, str. 27—29, 7 rys. S. D.
- 132 621.317.7.083.5
Self-balancing potentiometer. Rich T. A. and Gardner G. F. — Opis przyrządu, mierzącego automatycznie metodą kompensacyjną napięcia stałe rzędu mikrowoltów. Przykłady zastosowań. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 9, str. 29—32, 10 rys. S. D.
- 133 621.317.72
The design of an ellipsoid voltmeter for the precision measurement of high alternating voltages. Bruce F. M. — Dyskusja czynników wpływających na wielkości konstrukcyjne woltomierza elipsoidalnego do ściśle pomiarów wysokiego napięcia (zmiennego). Wymiary elipsoidy i metody obliczania zasadniczych wymiarów. Zależność częstotliwości drgań elipsoidy od natężenia pola. Dyskusja o błędach wskazań. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 38, str. 129—137, 5 tabl., 9 rys. Z. S.
- 134 621.317.73:621.316.935
Impedance network for production-testing current-limiting reactors. Leonard S. C. — Opis aparatu do pomiaru metodą kompensacyjną oporu pozornego i współczynnika mocy, przystosowanego do fabrycznego sprawdzania dławików przeciwzwarceniowych. Zasada pomiaru, rozwiązania techniczne poszczególnych elementów, inne możliwości zastosowań. — Gen. Electr. Rev., 1947, nr 10, str. 31—35, 8 rys. S. D.
- 135 621.317.733
Quelques considérations sur les equations d'équilibre d'un pont de Wheatstone en courant alternatif. Romanowski M. et Leclerc G. — Rozważania nad równaniami mostka Wheatstone'a prądu zmiennego w stanie równowagi. Błędy pomiaru, związane ze szkodliwymi pojemnościami. Układ uwzględniający pojemności, umieszczone w wierzchołkach mostka. Metoda carvallo. Układ równań dla mostka zrównoważonego. Eliminacja wpływu bocznikujących oporności pojemnościowych w wierzchołkach mostka oraz w gałęzi mostka. — Rev. Gén. Electr., 1947, nr 3, str. 129—131, 8 rys. A. M.
- 136 621.317.75.015.3
Les oscillographes pour phénomènes transitoires rapides. Leur application à l'étude des surtensions dans les réseaux. Grassot P. — Opis i dane charakterystyczne rozmaitych typów oscylografów do badania i rejestracji krótkotrwałych przebiegów. Różne układy podstaw czasu oscylografów. Zastosowanie oscylografów do rejestracji przebiegów nieustalonych. Przykłady oscylogramów napięć i prądów. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 66, str. 95—101, 11 rys. A. M.
- 137 621.317.761:621.3.072.8
Présentation d'un nouveau type de fréquence-mètre et son application au réglage fréquence-puissance. Esclanong F. — Zasada pomiaru częstotliwości (układ mostkowy rezonansowy). Opis działania układu mostkowego, jego czułość i dokładność. Zasady regulacji mocy opartej na zmianie częstotliwości. Zastosowanie miernika częstotliwości do regulacji mocy. — Bull. Soc. Franç. Electr., 1947, nr 65, str. 11—20, 3 rys. A. M.
- 138 621.317.784:621.3.072:627.313.3
A new sine-wave motor-generator set. Aston K. — Zespół silnika prądu stałego i dwóch prądnic (po 10 kVA) do zasilania obwodów prądowych i napięciowych watomierzy. Uzyskanie przesunięcia fazowego drogą elektryczną. Wyniki uzyskane przy próbach powyższych zespołów. — Journ. Inst. Electr. Engrs., 1947, cz. II, nr 41, str. 543—546, 3 rys. Z. S.

- 139 621.317.785
Trend and development in meters and instruments. Matthews L. I. — Ogólne kierunki i stan produkcji liczników energii elektrycznej. Wpływ zastosowanych materiałów na stateczność warunków pracy liczników. Łożyska liczników. Kompensacja temperatury. Liczniki dla różnych taryf i liczniki wielofazowe. Przepisy dla liczników i normalizacja. Trudności i rozwój w budowie przyrządów pomiarowych. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. I, nr 73, str. 39—44, 3 rys. Z. S.
- 140 621.317.785
Quality control in production testing of single-phase watt-hour meters. Wallis T. M. — Kontrola jakości przy próbach fabrycznych liczników jednofazowych. Opis metody pracy na półautomatycznej wzorcowni liczników. Osiągnięta dokładność wzorcowania. Metoda sprawdzania dokładności wzorcowania. — *Gen. Electr. Rev.*, 1947, nr 4, str. 38—41, 1 tabl., 6 rys. S. D.
- 141 621.317.787.2
A milisecond chronoscope. Spilsbury R. S. J. and Telton A. — Omówienie różnych metod pomiaru krótkich przedziałów czasowych. Zastosowanie pojemnościowego obwodu elektrycznego do pomiaru czasu w zakresie 2—1000 msek. Pomiar napięcia układem lampowym i przeliczenie przy pomocy tablic czasu — napięcia. Źródło napięcia. Dokładność milisekundomierza. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 40, str. 316—324, 7 rys. Z. S.
- Taryfy elektryczne*
- 142 621.317.8.519.24
Mathematische Statistik und Tarifwesen. Morel J. Ch. — Wyjaśnienie zasadniczych pojęć, wielkości i zależności matematyki statystycznej i zastosowanie ich w taryfikacji. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 6, str. 141—149, 4 rys. A. M.
- 143 621.317.8.(494)
La révision des tarifs d'électricité des services industriels de Genève. Dufour E. — Przyczyny rewizji taryf. Opis dawnych taryf stosowanych przed rewizją. Cel badań statystycznych i metoda ich realizacji. Wybór właściwej taryfy dla różnych kategorii odbiorców. Opis nowych taryf. — *Bull. Schweiz. El. Ver.*, 1947, nr 9, str. 243—254, 6 rys. A. M.
- Źródła światła*
- 144 621.326.1
Razwicie dugowych lamp i projektorów za ostatnie lata. Koriakin N. — Przegląd rozwoju światłowej techniki budowy reflektorów elektrycznych. Zastosowanie światła łukowego. Analiza intensywności łuku. Charakterystyka węgla rozmaitych rodzajów. Wykorzystanie łuku węglowego. — *Elektrichestwo*, 1947, nr 10, str. 28—37, 3 rys., 3 tabl. B. K.
- 145 621.326.652.3
Nowe konstrukcje elektrycznych lamp nakalowania. Nilender R. — Opis nowych konstrukcji lamp żarowych. Elementy grzejne punktowe o kształcie stożkowym oraz płaskie. Zastosowanie w lampach projekcyjnych lekarskich, samochodowych i in. — *Elektrichestwo*, 1947, nr 10, str. 38—40, 5 rys. B. K.
- 146 621.327.012
Elektronrazriadnyje lampy. Izwiakow R. — Właściwości i wady lamp oświetleniowych, lekarskich i in. Ich charakterystyki i niektóre parametry. Zakres stosowania. Krótki zarys rozwoju. — *Elektrichestwo*, październik 1947, nr 10, str. 24—27, 3 rys. B. K.
- 147 621.327.3
The high-pressure mercury-vapour discharge and its applications. Frances F. I. and Stevens W. R. — Przegląd dzisiejszego stanu rozwoju lamp rtęciowych z parą o wysokim ciśnieniu. Wyjaśnienie strony fizycznej wyładowań. Zastosowanie lamp rtęciowych w technice oświetleniowej. Zagadnienie lepszego wykorzystania zjawiska wyładowań ze względu na sprawność i barwę wyładowania. Zastosowania i widoki rozwoju. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 41, str. 423—438, 9 rys. Z. S.
- 148 628.9:621.327.43
Light distribution from fluorescent lamps. Eonhorn H. D. and Sauermann. — Obliczenie jasności pochodzącej z liniowych źródeł oświetlenia. Analogia z oświeceniem lampami fluorescencyjnymi. Czynniki, od których zależy ten rodzaj oświetlenia. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. II, nr 41, str. 535—542, 11 rys. Z. S.
- Trakcja elektryczna*
- 149 621.332.3
Analticzeskij raszczet sietiej elektricheskich železnych dorog. Rozenfeld B. — Analiza stosowanych dotychczas metod elektrycznego obliczenia sieci trakcyjnych. Najistotniejsze źródła błędów obliczenia. Metoda analitycznego obliczenia średnich i skutecznych wartości obciążeń, spadków napięć, strat mocy, pozwalająca uwzględnić rzeczywisty rozkład obciążeń wzdłuż linii. Prawdopodobne warunki ruchu pociągów. Wpływ wahań liczby pociągów. Wpływ oporów. Zastosowanie metody obliczenia do sieci energetycznych innego rodzaju. — *Elektrichestwo*, 1947, nr 9, str. 6—17, 1 rys., 4 tabl. B. K.
- 150 621.337.4.078:621.335.42
Awtomaticzeskoje regulirovanie uprawlenia tramwajnych wagonów. Petrow B. P. — Nowy sposób regulacji obrotów silników tramwajowych, polegający na włączaniu i wyłączaniu oporów równoległych. Teoretyczna analiza matematyczna. — *Elektrichestwo*, 1947, nr 3, str. 52—55, 4 rys. B. K.
- 151 621.331:625.1
Some aspects of railway electrification in Great Britain. — Stan przemysłu kolejowego. Źródła energii dla sieci elektrycznej kolejowej. Systemy i wzrost stopnia elektryfikacji w kolejnictwie. Taryfy. Warsztaty przenośne i lokomotywy elektryczne. Warunki gospodarcze elektryfikacji. Wytczne rozwoju elektryfikacji kolei w Wielkiej Brytanii. — *Journ. Inst. Electr. Engrs.*, 1947, cz. I, nr 74, str. 83—86, 1 rys. Z. S.
- 152 621.332.33
La costruzione in curva della cotenaria per linea di contatto. Petrassi A. — Obliczenie i porównanie sposobu pionowego i ukośnego zawieszania przewodu jezdni na łukach. Zalety i wady zawieszania ukośnego. Metoda obliczenia O. M. Jorstad'a. — *Energia Elettr.*, 1947, nr 1, str. 35—43, 1 tabl., 21 rys. A. B.
- 153 621.335.4
Le trolleybus. Gasquet R. — Rys historyczny rozwoju trolejbusów. Przewaga trolejbusu nad innymi środkami lokomocji. Statystyka eksploatacji komunikacji trolejbusowej oraz liczby trolejbusów. Opis techniczny 4 typów wozów trolejbusowych, produkowanych we Francji. Rozwiązania techniczne w innych krajach. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 73, str. 503—514, 10 rys. A. M.
- Napędy elektryczne*
- 187 621.34.024:621.34.012
Struktura i charakteristiki nowoczesnych schematów awtomatycznego upravlennia elektropriwodami postojanowo toka. Bulgarkow A. A. — Struktura i charakterystyki nowoczesnych schematów automatycznego sterowania urządzeń napędowych prądu stałego. Krótki przegląd nowoczesnych schematów sterowania. Porównanie typowych schematów, uwytadniające ich strukturę i ogólne właściwości. Analiza charakterystyki urządzeń napędowych o zamkniętym obwodzie sterowania. — *Elektrichestwo*, 1947, nr 4, str. 14—21, 12 rys., 1 tabl. B. K.
- 140 621.34:621.9
Recherche des caractéristiques propres au matériel électrique équipant les machines-outils. Polard I. — Badanie najodpowiedniejszych własności wyposażenia elektrycznego obrabiarek. Własności, rodzaj pracy i szczególności mechaniczne silników obrabiarek. Umieszczenie silnika w obrabiarce. Dane elektryczne silników obrabiarek. Warunki rozruchu. Nagrzewanie maszyny. Hamowanie maszyny. Hamowanie. Wytczne wyboru silników obrabiarek. Charakterystyczne własności sprzętu elektrycznego wyposażenia obrabiarek. Stan normalizacji wyposażenia elektrycznego obrabiarek. — *Bull. Soc. Franç. Electr.*, 1947, nr 72, str. 461—480, 9 rys. A. M.