

Oплата pocztowa uiszczona ryczałtem.

Rok XIV.

Zeszyt 16

Przegląd Elektrotechniczny

organ Stowarzyszenia Elektryków Polskich

z dodatkiem **Przeglądu Radjotechnicznego**, ogłaszanego staraniem Sekcji Radjotechnicznej S.E.P.

Wychodzi 1 i 15 każdego miesiąca.

Cena zeszytu 1.50 zł

PRZEDPŁATA

kwartalnie zł. 9.—

rocznie zł. 36.—

za zmianę adresu
(znaczkami pocztowymi) gr. 75

Biuro Redakcji i Administracji Warszawa, Czackiego № 5 m. 24, I piętro
Gmach Stowarzyszenia Techników, telefon № 690-23.

Administracja otwarta codz. od godz. 9 do 15 w soboty od 9 do 13½,
Redaktor przyjmuje we wtorki i piątki od godziny 19-ej do 20-ej.

Konto № 363 Pocztovej Kasy Oszczędności.

Ceny ogłoszeń
podaje administracja
na zapytanie.

Warszawa, (Czackiego 5) 15 Sierpnia 1932 r.

— DNIE SĄ CORAZ KRÓTSZE
CZAS JUŻ ZAMAWIAĆ LICZNIKI



K. SZPOTAŃSKI I S-KA, SP. AKC.

WARSZAWA — KAŁUSZYŃSKA 4

PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA GRAFITU SPROSKOWANEGO.

Zdzisław Specht.

Prof. J. Tokarski i jego współpracownicy znaleźli w Polsce nowe złoża grafitu, który według wszelkiego prawdopodobieństwa nada się do zastosowań technicznych w formie proszku. Celem przygotowania pomiaru przewodności elektrycznej proszków grafitowych tego pochodzenia, poddano rewizji dotychczas stosowane metody w tej dziedzinie.

Dyrekcja Instytutu Fizyki Eksperymentalnej U. J. K. poczuwa się do obowiązku wyrażenia uprzejmego podziękowania Prof. J. Tokarskiemu oraz Zarządowi Fundacji Skarbowskiej za pokrycie części kosztów, związanych z opracowaniem tego tematu, z funduszu, przeznaczonego na badanie grafitu czywczyńskiego. (Przyp. Autora).

W wielu zagadnieniach elektrotechnicznych, stwierdzono ważne znaczenie elektrycznych własności ciał sproszkowanych, a zwłaszcza ich przewodności. Technicy, kierując się przede wszystkim potrzebami praktycznymi, zadawali sobie przeważnie stwierdzeniem, że opór proszków jest tem mniejszy, im większa jest powierzchnia styku między ziarenkami. Ponieważ zarówno ogrzanie, jak i zwiększenie ciśnienia, przyczynia się do zbliżenia i ściślejzego zetknięcia ziarenek, przeto oba te czynniki wpływają na zmniejszenie oporu elektrycznego proszków.

1. Badania dawniejsze.

Pierwsze prace, poświęcone przewodności elektrycznej proszków, a w szczególności sproszkowanego grafitu, wykonali F. Streintz¹⁾ i K. Arndt²⁾. Streintz interesował się głównie zależnością przewodności od temperatury. Obok grafitu nieznanego pochodzenia badał on tlenki i siarczki różnych metali, przyczem proszki badane formował w słupki, używając w tym celu wielkiego ciśnienia, wywieranego prasą śrubową. Wielkość tego ciśnienia można tylko zgrubsza ocenić. Wynosiło ono około 10 000 kg/cm². Dla grafitu otrzymał na oporność właściwą wartość $\sigma = 0,0014$ (om.cm). Jest to wartość niemal identyczna z wartością przewodności grafitu syberyjskiego, masywnego, niesproszkowanego: 0,0012³⁾. Wydaje się więc prawdopodobnem, że słupki używane przez Streintza były już działaniem wysokiego ciśnienia tak sprasowane, iż stanowiły masę niemal litą. Ich opór nie mówi zatem nic o przewodności ciał sproszkowanych.

K. Arndt (l. c.) mierzył opór sproszkowanych grafitów różnego rodzaju tylko okolicznościowo,

w związku z badaniem technicznym suchych ogniów galwanicznych typu Leclanche'a. Dla różnych gatunków sproszkowanego grafitu otrzymał różne wartości i przekonał się, że domieszka MnO₂ wpływa na zwiększenie oporu.

2. Wyniki pomiarów E. Ryschkewitscha.

Pierwsze i dotychczas jedyne systematyczne badania przewodności elektrycznej proszków grafitowych różnego pochodzenia, poddanych znanemu ciśnieniu w temperaturze pokojowej, wykonał E. Ryschkewitsch⁴⁾ w r. 1922. Ryschkewitsch przekonał się przede wszystkim, że pomiar przewodności proszku grafitowego daje wyniki dobrze odtwarzalne pod warunkiem, iż proszek ten uprzednio „uformowano”. „Formowanie” to polega na systematycznym ugniataniu proszku stałym, niezbyt dużym ciśnieniem, wywieranym na warstewki o niewielkiej, zaledwie kilkumilimetrowej grubości. O potrzebie takiego formowania przekonał się Ryschkewitsch empirycznie. Dopiero późniejsze i zupełnie niezależnie podjęte badania teoretyczne J. H. Shaxby'ego⁵⁾ oraz eksperymentalna praca J. C. Evansa⁶⁾ wykazały, że wpływ formowania na odtwarzalność wyników pomiaru jest prawdopodobnie następstwem prawa rozkładu ciśnienia substancji sproszkowanej.

Okazało się mianowicie, że rozkład ciśnienia w słupku substancji sproszkowanej nie jest równomierny, lecz zależy od jego wysokości. Ciśnienie w różnych wysokościach można mianowicie obliczyć na podstawie wzoru:

$$p = A (1 - e^{-Bx}) + p_0 e^{-Bx}$$

w którym p_0 oznacza ciśnienie zewnętrzne, zaś A i B dwa stałe współczynniki. Pierwszy składnik

¹⁾ Ann. d. Phys. 3, 1, 1900, Ann. d. Phys. 9, 854, 1902.

²⁾ Zeitschr. f. Elektrochem. 23, 165, 1917.

³⁾ H. Muraoka, Wied. Ann. 13, 307, 1881.

⁴⁾ Zeitschr. f. Elektrochem. 28, 289, 1922.

⁵⁾ Trans. Farad. Soc. 19, 60, 1923.

⁶⁾ Trans. Farad. Soc. 19, 62, 1923.



tej sumy pochodzi od ciężaru samego proszku, drugi — od ciśnienia zewnętrznego. Wynika stąd, że jeśli chcemy utworzyć z proszku słupkę, w którego wnętrzu panuje określone i równomiernie rozłożone ciśnienie, dość jeszcze niskie, by substancja sproszkowana nie stanowiła masy litej, musimy proszek ugniatać systematycznie, niezbyt grubymi warstwami. Na takim właśnie ugniataniu proszku znanym ciśnieniem polegało formowanie, które stosował Ryschkewitsch. Ryschkewitsch mierzył opór elektryczny spreparowanych w ten sposób słupków sproszkowanego grafitu za pomocą metody Wheatstone'a. Stwierdził przytem, że oporność właściwa (σ) proszku, zawierającego wysoki procent węgla, zależy od ciśnienia (p) w ten sposób, iż w granicy ciśnień od 14,5 kg/cm² do 215,5 kg/cm² zależność tę można wyrazić równaniem empirycznym

$$\sigma = \frac{a}{p} + b, \quad \dots \quad (1)$$

w którym a i b mają wartości stałe.

3. Fizykalna interpretacja stałych współczynników.

E. Ryschkewitsch przypisuje tym współczynnikom następujące znaczenie fizykalne. Stała b mierzy wartość oporności właściwej sproszkowanego grafitu, poddanego tak wielkiemu ciśnieniu, że niemal wszystkie pojedyncze ziarenka stykają się ze sobą, nie tworząc jednak jeszcze masy litej. Według Ryschkewitscha wartość tej stałej b jest ta sama dla wszystkich gatunków czystego grafitu, niezależnie od ich pochodzenia oraz od formy ziarna.

Z pomiarów, jakie wykonał Ryschkewitsch, wynikało, że $b = 0,0075$ om.cm. Natomiast stała a , z reguły znacznie większą, niż b , możnaby uważać za „współczynnik oporowy”, charakterystyczny dla danego gatunku grafitu, zależny od jego pochodzenia i jego formy (proszek ziarnisty, pył, płatki). Wartość tej stałej jest — jak to wynika z formuły (1) — w przybliżeniu równa oporowi właściwemu sproszkowanego grafitu pod ciśnieniem 1 kg/cm². Im mniejsza jest wartość tej stałej, tem lepszym przewodnikiem jest dana odmiana grafitu. Interpretacja fizykalna znaczenia współczynników a i b opiera się na przypuszczeniu, że poniżej pewnej granicy ciśnienia, przewodność proszku zależy od wielkości całej powierzchni zetknięcia drobnych ziaren substancji przewodzącej. Interpretacja ta odnosić się przeto może tylko do tych proszków, w których wielkość powierzchni zetknięcia rośnie — caeteris paribus — proporcjonalnie do ciśnienia. O tem, czy ta proporcjonalność zachodzi, decyduje jednak w znacznej mierze forma rozdrobnienia. Większe płatki grafitowe będą miały naogół przy tem samym ciśnieniu większą powierzchnię, niż drobne ziarenka pyłu. Możnaby się zatem spodziewać, że grafit w formie większych płatków będzie miał zawsze lepszą przewodność, niż grafit drobnosiarnisty, mielony. Jeżeli jednak grafit składa się z płatków drobnych i bardzo miękkich, które się łatwo rozcierają, jego przewodność może być nawet większa, niż przewodność grafitu o płatkach większych, lecz twardych. I w tym bowiem wypadku całkowita powierzchnia zetknięcia będzie większa skutkiem rozcierania się miękkich płatków.

4. Opór mieszanin grafitu z dwutlenkiem manganu.

Ryschkewitsch wykonał także szereg bardzo interesujących pomiarów oporności właściwej mieszanin, złożonych z proszku grafitowego o wysokim procencie węgla z proszkiem MnO₂, który jest bardzo złym przewodnikiem elektryczności. Okazało się, że oporność właściwa takich mieszanin zawierających np. 50, 100 lub 200% MnO₂, zmienia się z ciśnieniem według analogicznego prawa

$$\sigma = \frac{a'}{p} + b' \quad \dots \quad (2)$$

przyczem stałe a' i b' są oczywiście inne, niż w formule poprzedniej.

Ryschkewitsch zestawiał następnie wyniki pomiarów oporności właściwej grafitów czystych, zawierających wysoki procent węgla, pod różnemi ciśnieniami z wynikami analogicznych pomiarów, wykonanych z mieszaninami, które zawierały oprócz tego samego grafitu jako drugi składnik MnO₂ w różnych ilościach (l. c.).

Z porównania obu wzorów empirycznych (1) i (2) wynikało, że można powiązać ze sobą współczynniki, występujące w tych równaniach. „Wpływ zanieczyszczenia” można było mianowicie scharakteryzować współczynnikiem α , przy pomocy którego związek ten wyraża się wzorami:

$$a' = a(1 + \alpha) \text{ i } b' = b(1 + \alpha) \quad \dots \quad (3)$$

5. Sformułowanie zagadnienia.

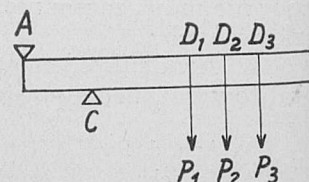
Zadaniem niniejszej pracy było przede wszystkim stwierdzenie, czy pomiary Ryschkewitscha, które stanowią po dziś jedyną metodycznie przeprowadzoną próbę pomiaru elektrycznego przewodności sproszkowanego grafitu, są w tym stopniu odzwierciedlające, by można na ich podstawie oprzeć charakterystykę oporności właściwej grafitów innego pochodzenia, dotychczas jeszcze niezbadanych.

Ponieważ zastosowanie udoskonalonej w technicznym wykonaniu metody Ryschkewitscha doprowadziło do wyników najzupełniej zadawalających, przeto aktualnem stało się ważne dla praktyki pytanie: czy i jak możnaby uzyskać metodę, pozwalającą scharakteryzować pod względem przewodności elektrycznej grafity niskoprocentowe, t. j. takie, które zawierają 15% lub i więcej domieszki ciał źle przewodzących. Do tej bowiem kategorii należą niewątpliwie odmiany grafitu napotykanego w Polsce.

6. Opis przyrządu.

Przyrząd do formowania z proszku słupków, nadających się do pomiaru, jest zbudowany na tej samej zasadzie, co waga ciśnieniowa Ryschkewitscha, różni się jednak od swego prototypu w szczegółach konstrukcyjnych (ryc. 1).

Jest to właściwie (ryc. 1) dźwignia jednoramienna, obracalna około osi poziomej A, która przy obciążeniu ciężarami $P_1, P_2, P_3, \dots$, zawieszonymi w miejscach $D_1, D_2, D_3, \dots$, pozwoli wy-



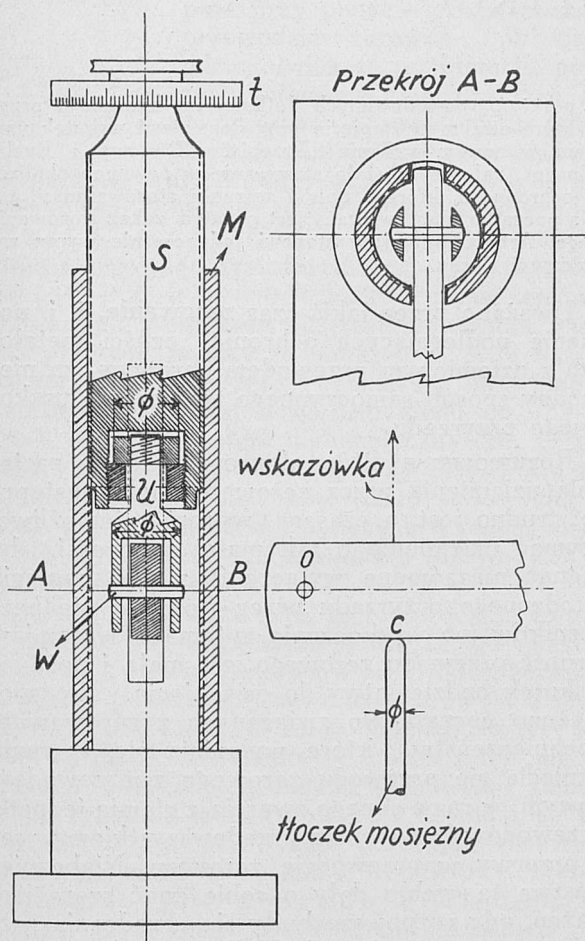
Ryc. 1.

wrząc na tłoczek, stykający się z nią w miejscu C, ciśnienie, z łatwością dające się obliczyć.

Przy budowie tego przyrządu należało uwzględnić podwójne jego zadanie: jako wagi, służącej do mierzenia wywieranego ciśnienia oraz jako prasy, przy pomocy której będziemy formowali słupki różnej wysokości.

W tym celu trzeba było znaleźć rozwiązanie konstrukcyjne, spełniające następujące warunki:

1. pozioma oś obrotu belki powinna być przesuwalna równolegle w płaszczyźnie pionowej;
2. przesunięcie to powinno się dać mierzyć ze znaczną dokładnością;
3. w każdej wysokości, na przestrzeni co najmniej kilku cm, powinna być możliwa szybka, czujna i dokładna kontrola ściśle poziomej pozycji belki zrównoważonej.



Ryc. 2.

Na ryc. (2) podano schematycznie rysunek przyrządu, zbudowanego zgodnie z temi wymaganiami w pracowni Instytutu.¹⁾

W ciężkim cokole z lanego żelaza tkwi odpowiedniej wysokości nakrętka stalowa M. Wzdłuż tej nakrętki przesuwając można masywną śrubę S o kroku równym 1 mm, zakończoną tarczą t, której obwód zaopatrzony jest w podziałkę. Obwód tarczy podzielono na 100 równych części; przesunięcie więc śruby można odczytać z dokładnością $\frac{1}{100}$ mm.

¹⁾ Panom J. Tomasikowi i Fr. Zelenie, mechanikom Zakładu Fizyki, składam podziękowanie za nadzwyczaj staranne wykonanie wagi ciśnienia. (Przyp. Autora).

W trzonie śruby S wisi luźno silny stalowy uchwyt w kształcie litery U. W dwóch przeciwnych otworach tego uchwytu tkwi wałeczek stalowy W długości 3 cm, obracalny luźno dookoła osi poziomej. Wałeczek ten jest wpuszczony w belkę wagi; jego oś jest osią obrotu.

Na przedłużeniu pionu, przechodzącego przez punkt zetknięcia belki z tłoczkiem, służącym do ugniatacia proszku, przymocowana jest do belki wskazówka o długości 50 cm. Tuż przed wskazówką umocowane jest lusterko, na którym nacięto rysę w kierunku pionu. Sprowadzając belkę do tej pozycji, w której igła wskazówki i jej obraz nakrywają się z rysą, ustala się położenie poziome belki. Podniesieniem jednego ramienia belki o $\frac{1}{100}$ mm sprawia się przesunięcie igły od pionu o $\frac{1}{20}$ mm. Przy pomocy odpowiedniej lupy przesunięcie takie łatwo już zauważyć. Dzięki temu można było wysokość słupków wyznaczyć bez trudu z dokładnością $\frac{1}{100}$ mm.

Celem porównania wyliczonej wartości R_i z wartością siły (R_p), jaką faktycznie wywierać będzie belka w pozycji poziomej przy różnych obciążeniach, wykonano systematyczną kalibrację wagi ciśnienia. W zakresie obciążeń mniejszych ($R_p < 13$ kg) użyto do tego dynamometru o czułości 0.01 kg na działkę. w zakresie obciążeń większych (13 kg $< R_p < 53$ kg) posługiwano się wagą techniczną.

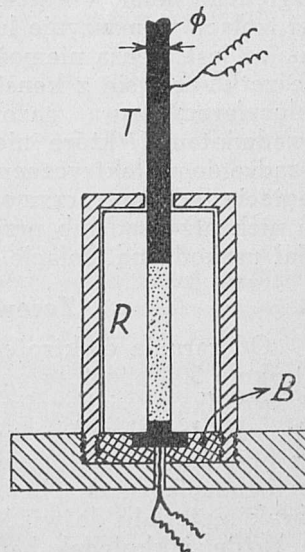
Przekonano się, że nawet przy największych obciążeniach, około 52 kg, gdy tarcie na osi dochodzi do 0,8 kg, różnica:

$$\Delta R = (R_p - R_i)$$

waha się w granicach, nie przekraczających 0,6%.

Drugą część przyrządu stanowił grubościenny wydrążony wałek R z dostosowanym doń tłoczkiem T, służącym do formowania słupków, a zarazem do doprowadzania prądu (ryc. 3). Ten wałek R o wysokości 10 cm, o średnicy zewnętrznej 3 cm tkwi w metalowym cylindrze i spoczywa na ebonitowej podstawie B. Część wewnętrzna, wymienna, sporządzona jest z bloku szklanego, w którym wydrążony jest cylindryczny kanał o dokładnie równym przekroju. Przygotowano kilka takich wałków szklanych o różnych średnicach wewnętrznych: 0,8 cm, 0,7 cm i 0,6 cm. Zarówno wewnętrzna, jak i zewnętrzna pobocznica wałka jest wypolerowana, przezroczysta, tak że przez podłużne szczeliny w metalowej osłonie można zawsze obserwować słupek proszku i stopień ewentualnego zanieczyszczenia powierzchni.

W ebonitową podstawkę wpuszczony jest krążek mosiężny izolowany, opatrzonej w środku cylindryczną wypustką, dostosowaną również ściśle



Ryc. 3.

do średnicy otworu w walcu szklanym. Jeden koniec przewodu, doprowadzającego prąd, dolutowywano do tej podstawki, drugi do tłoczka.

Wszystkie walce szklane miały wysokość 10 cm, skutkiem czego wysokość badanego słupka proszku była ograniczona do 7 cm. Ryschkewitsch używał słupków, dochodzących do 24 cm, z tego względu, że, posługując się przy pomiarze oporu zwykłą metodą Wheatstone'a, musiał starać się o zmniejszenie do minimum szkodliwego wpływu oporów stykowych na powierzchni zetknięcia tłoczka i dolnej elektrody z proszkiem. Można by jednak

przeciw temu podnieść ten zarzut, że przy formowaniu wysokich słupków pod stosunkowo niskimi ciśnieniami (między 14 kg/cm² a 60 kg/cm²) może już wystąpić nieuniknione drobne odprężanie się prasowanych sukcesywnie warstw. Ponieważ — jak się okaże w następnym ustępie — pomiary, o których będzie mowa, wykonywano dwiema metodami (Wheatstone'a i Thomsona), z których jedna eliminuje wpływ oporów stykowych przy elektrodach, przeto można było ograniczyć się do słupków nie wyższych, niż 7 cm. (C. d. n.).

ZARZĄDZENIA CHRONIĄCE OD NIEBEZPIECZNYCH NAPIĘĆ DOTYKU.

B. Szapiro.

Wobec licznych wypadków porażeń, spowodowanych dotknięciem kadłubów, przykryw lub konstrukcyj żelaznych, które otrzymały napięcie względem ziemi wskutek uszkodzeń w urządzeniu elektrycznym, w nowym wydaniu „Przepisów Budowy i Ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego”, zalecone zostało stosowanie w pewnych okolicznościach specjalnego wyłącznika ochronnego, którego opis i warunki stosowalności podane są w artykule niniejszym. Na początku umotywowany jest pozatem zakaz stosowania zerowania jako środka ochronnego. Artykuł niniejszy stanowi jednocześnie wyraz zaopiniowania Komisji Przepisów Budowy i Ruchu.

Można przy pewnej ostrożności unikać dotykania gołych przewodów elektrycznych lub prąd przewodzących części maszyn i przyrządów. Niepodobna jednak ustrzedz się przy maszynach i przyrządach dotknięcia kadłubów lub pokryw i wogóle części, które normalnie nie znajdują się pod napięciem, mogą jednak otrzymać potencjał względem ziemi wskutek uszkodzenia wewnętrznej izolacji w maszynie lub przyrządzie. Całkiem zaś już jest rzeczą niemożliwą uniknąć bezwzględnie zetknięcia się z konstrukcją żelazną budynku, kaloryferem, rurą gazową i innymi podobnymi przedmiotami, które nie mają nic wspólnego z urządzeniem elektrycznym, a mogą dostać się pod napięcie, gdy np. przymocowany lub przylegający do nich przyrząd lub przewód elektryczny będzie miał uszkodzoną izolację.

Zerowanie.

Od zarania elektrotechniki praktycznej — od lat około 50 — spostrzeżono związane z tego rodzaju wypadkami niebezpieczeństwa i szukano środków zaradczych. Wcześniej chwycono się **uziemia**nia przedmiotów, których dotknięcie stać się może niebezpiecznym. Niedostateczna jasność pojęć i brak materiału doświadczalnego kazały wierzyć, że każde, jakkolwiek bądź wykonane, uziemienie usuwa w każdym wypadku niebezpieczeństwo. Gromadzone doświadczenia obaliły — w sposób nieraz nader przykry — tę wiarę. Już w roku 1908 C. L. Weber, urzędowy komentator przepisów niemieckich VDE, stwierdza, że zaufanie do uziemienia jako środka ochronnego zmalało. Zaczęto kłaść większy nacisk przede wszystkim na jakość izolacji wszystkich części prąd wiodących i coraz więcej stosuje się osłon z materiału izolacyjnego zamiast metalu. Następnie zaczęto szukać nowych środków, chroniących od niebezpieczeństw napięcia dotyku.

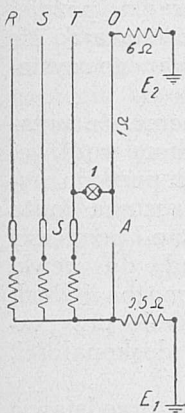
Uważano przez jakiś czas **zerowanie**, t. j. połączenie podlegających ochronie części metalowych z uziemionym przewodem zerowym, za niezawodny sposób samoczynnego wyłączenia uszkodzonego przyrządu.

Rozumowanie, które doprowadziło do zastąpienia uziemienia przez zerowanie było następujące: trudno jest, a czasem wprost niemożliwe, otrzymać uziemienie o tak małej oporności, by osiągnąć niezawodne wyłączenie z pod napięcia uszkodzonego przyrządu przez stopienie się bezpieczników lub wyskoczenie automatu. Natomiast oporność przewodu zerowego jest mała i pożądany skutek będzie łatwy do osiągnięcia. Nie spostrzeżono początkowo związanych z zerowaniem niebezpieczeństw, które wyłaniają się w razie zetknięcia się przewodu zerowego z przewodem fazowym, w razie silnego zwarcia z ziemią jednego z przewodów fazowych, a przedewszystkiem w razie przerwy w przewodzie zerowym. Niebezpieczeństwa te rychło dały o sobie znać szeregiem porażeń, gdy rozpowszechniły się urządzenia rozdzielcze o napięciu 380/220 V. Rozpoczęły się spory i dyskusje pomiędzy zwolennikami a przeciwnikami zerowania w różnych krajach. Między innymi powstała duża rozbieżność zdań wśród elektryków niemieckich. Gdy jedne elektrownie nakazywały, drugie zakazywały zerowania. Ostatecznie jednak przeważała tam opinia za zerowaniem, które w ostatnich przepisach niemieckich zostało zalecone, z rozmaitymi zresztą zastrzeżeniami. — Ponieważ zastrzeżenia te bynajmniej nie usuwają wspomnianych niebezpieczeństw, polskie Przepisy Budowy i Ruchu od samego początku odrzuciły zerowanie (zob. przedmowę do wydania pierwszego z roku 1928 oraz § 26 p. 1 nowego wydania roku 1932).

Nie mając zamiaru wyczerpującego uzasadnienia na tem miejscu zajętego przez nasze przepisy

stanowiska w tej sprawie, zilustrujemy mogące powstać niebezpieczeństwa na przykładzie liczbowym. Na Górnym Śląsku bowiem i w Wielkopolsce spotkać się można z zerowaniem jako pozostałością z czasów niemieckich, a analizy wypadku przez nas poniżej rozpatrywanego nie napotkaliśmy w literaturze elektrotechnicznej.

Na długiej linii trójfazowej (rys. 1) o napięciu fazowym 230 V z przewodem zerowym, uziomionym raz na stacji transformatorowej (opór uziemienia E_1 — 0,5 omów) oraz stosownie do przepisów niemieckich drugi raz na końcu linii (opór tego uziemienia E_2 przyjmujemy — 6 omów), następuje przy punkcie A przerwa w przewodzie zerowym. W sieci, gdziekolwiek za punktem A, pozostały włączone pomiędzy fazą T a przewodem zerowym różne jedno-



Rys. 1.

fazowe odbiorniki (grupy żarówek, jednofazowy transformator, grzejniki i t. d.) o oporności 1 om. Wówczas przepływać będzie prąd — od fazy T przez odbiorniki i oba uziemienia do punktu zerowego transformatora — o natężeniu $230 : (1 + 1 + 6 + 0,5) \cong 27$ A; przez ten prąd bezpiecznik s stopiony nie zostanie, wobec czego cały przewód zerowy za punktem A oraz wszystkie zerowane przyrządy znajdują się pod niebezpiecznym napięciem względem ziemi od 162 do 189 V. — Jest to tem niebezpieczniejsze, że pod takim napięciem znaleźć się mogą dziesiątki i setki zerowanych odbiorników (lamp stołowych, żelazek, grzejników i t. d.), będących w nienagannym stanie w urządzeniach doskonale utrzymywanych i kontrolowanych.

Przyjmuje się zwykle, że tego rodzaju wypadki zdarzać się mogą tylko wówczas, gdy nastąpi jednocześnie przerwa w przewodzie zerowym i zwarcie pomiędzy przewodem zerowym a jedną z 3 faz. Ponieważ taki zbieg okoliczności jest wyjątkowo rzadki, uważano, że można z tem się nie liczyć. (Takie między innymi stanowisko zajmuje VDE). Przykład jednak powyższy dowodzi, że wystarczające jest przerwanie przewodu zerowego, co zawsze zdarzyć się może, by stworzyć niebezpieczeństwo, gdyż pośrednie połączenie pomiędzy fazą a zerem przez odbiorniki istnieje prawie zawsze. Zresztą nierówne obciążenie faz wywołać może ten sam skutek, co jednostronne obciążenie.

Całokształt środków zaradczych.

Gdy odrzucimy zerowanie, pozostają następujące środki zaradcze przeciwko niebezpieczeństwom napięcia dotyku:

1) staranne izolowanie wszystkich części prąd wiodących w przyrządach elektrycznych oraz doskonała (ile możliwości z materiału izolacyjnego) osłona tych części, chroniąca je od dotknięcia.

2) obniżenie — w miejscach szczególnie niebezpiecznych — napięcia użytkowego najwyżej do 42 V zapomocą transformatorów, co zresztą ma praktyczne zastosowanie naogół tylko do zasilania niewielkich odbiorników,

3) uziemienie wreszcie, co do którego badania teoretyczne i liczne rezultaty pomiarów, prób i gromadzonego doświadczenia dały wyniki, przywracające zaufanie do tej metody zabezpieczenia od porażeń i wskazujące sposoby należytego wykonania. W bardzo licznych wypadkach, — zwłaszcza tam, gdzie istnieje w mieście lub zakładzie fabrycznym sieć rur wodociągowych, — należy znowu uważać uziemienie, prawidłowo i celowo wykonane a perjodycznie kontrolowane, za najpewniejszy środek ochronny. Tak wykonane uziemienia nie mają oczywiście nic wspólnego z dawniej wykonywanymi, a niestety jeszcze obecnie często spotykanymi, uziemieniami „byłe jak” i „byłe gdzie”, które spowodowały tyle rozczarowań.

Istnieją jednak wypadki, gdzie niepodobna osiągnąć uziemienia o wymaganej stosownie do danych okoliczności małej oporności, lub gdzie stała kontrola uziemień jest niepewna, albo kiedy warunki pracy są tak niebezpieczne, że wymagają dodatkowego zabezpieczenia. Gdy zatem w roku zeszłym zdarzył się na Górnym Śląsku w ciągu jednego niemal miesiąca cały szereg śmiertelnych porażeń elektrycznych (przy ruchomych maszynach roboczych w fabryce chemicznej oraz pod ziemią w ciężkich warunkach pracy kopalnianej, pomimo że tam uziemienia jakoby formalnie istniały*), Komisja, opracowująca nowe wydanie Przepisów Budowy i Ruchu, postanowiła wprowadzić następujący przepis (§ 3 p. 11 g):

W wypadkach szczególnie niebezpiecznych pod względem możliwości porażenia (np. motory i przyrządy przenośne w miejscach bardzo wilgotnych, przesiąkniętych płynami żrącymi lub o wyziewach żrących), o ile nie można osiągnąć uziemienia o tak małej oporności, która zapewniałaby sa-

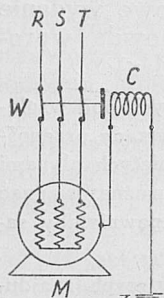
*) Opis niektórych z wypadków powyższych znajduje się w Sprawozdaniu za rok 1931 „Stowarzyszenia Dozoru Kotłów Parowych” w Katowicach. Jest to jedyna u nas instytucja, która zajmuje się badaniem wypadków na swoim terenie, podaje co rok szczegółowy ich opis i analizę przyczyn każdego wypadku. Pomimo wielokrotnych starań, podjętych przez Główną Komisję Przepisową dawnego PKE, niema u nas niestety dotąd żadnej urzędowej rejestracji i żadnego badania coraz liczniejszych wypadków porażeń elektrycznych. Tem większa jest zasługa Stowarzyszenia, które pierwsze podjęło systematyczne badanie dostępnych mu wypadków i od kilku lat zaznajamia ogół z wynikami swej pracy. Z niektórymi jednak wnioskami, wysnuwanymi z analizy wypadków w Sprawozdaniach, zgodzić się nie możemy. Zwłaszcza mylny jest zdaniem naszym pogląd o rzekomej szkodliwości uziemienia punktu zerowego transformatorów w sieciach trójfazowych 4-o-przewodowych. Uważamy przeciwnie uziemienie punktu zerowego o możliwie małej oporności w połączeniu z celowo i systematycznie przeprowadzonym uziemieniem kadłubów maszyn, przyrządów i t. p. za jeden z najsukuteczniejszych środków ochronnych przeciwko niebezpiecznym napięciom dotyku. Nie mogąc na tem miejscu dłużej się zatrzymywać przy tej sprawie trudnej i skomplikowanej, odsyłamy czytelnika do broszury autora „Uziemienia ochronne w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia”, Warszawa 1923, oraz do artykułów autora w tej sprawie w Prz. El., czasopiśmie wiedeńskim „Elektrotechnik u. Maschinenbau” i Biuletynie szwajcarskim.

moczyne wyłączenie z pod napięcia motoru lub przyrządu w razie przeskoku napięcia na jego kadłub, zaleca się stosowanie specjalnych wyłączników ochronnych, których celem jest samoczynne wyłączenie przyrządu lub silnika z pod napięcia, jeżeli napięcie osłony lub kadłuba względem ziemi przekroczy określoną wartość. Taki wyłącznik ochronny musi niezawodnie wyłączyć dany przyrząd lub motor z chwilą, gdy jego kadłub przybierze potencjał względem ziemi o wysokości 24 do 42 V.

Łączniki ochronne.

Wprowadzony obecnie do naszych przepisów system ochronny nie jest bynajmniej nowy. Już w roku 1914 Heinisch, dyrektor elektrowni reńsko-westfalskich, opisuje (ETZ 1914, str. 32) urządzenie ochronne, wprowadzone przymusowo przez powyższe elektrownie wskutek licznych wypadków porażen elektrycznych wśród bydła w stajniach i oborach. Urządzenie to miało na celu automatyczne wyłączenie elektrycznej instalacji stajni lub obory, jeżeli jakkolwiek część konstrukcji żelaznej budynku otrzymywała wskutek wady w izolacji urządzenia elektrycznego napięcie względem ziemi, dochodzące do 24 V.

Pokażemy na rysunku schematycznym (rys. 2) zasadę działania tego systemu, znanego w Niemczech pod nazwą „Heinisch-Riedl”. Wyłącznik *W* motoru *M* pozostaje pod działaniem cewki ochronnej *C*. Jeden koniec cewki przyłączony jest do części metalowej (do maszyny, przyrządu lub do konstrukcji żelaznej), która może dostać się pod niebezpieczne napięcie, na naszym rysunku do kadłuba motoru, a drugi koniec cewki przyłączony jest do jakiegokolwiek uziemienia *Z*, przy czym cewka jest tak zbudowana, że działa już przy prądzie niewiele mA, t. j. silnik zostaje odłączony od sieci, skoro prąd



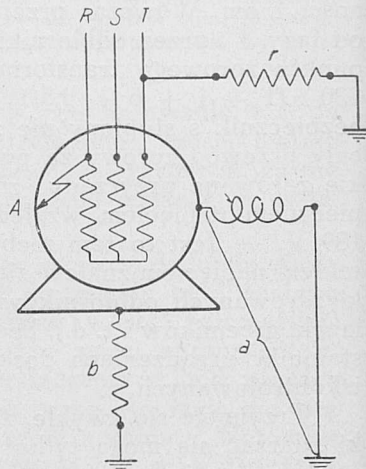
Rys. 2.

o natężeniu niewiele mA przejdzie przez cewkę. Wobec tak małego zapotrzebowania prądu przez cewkę opór uziemienia *Z* może wynosić do 200 omów, gdy chcemy, żeby motor został odłączony, skoro potencjał kadłuba względem ziemi osiągnie ok. 20 V, a ok. 500 omów, gdy wyłączenie motoru ma nastąpić przy 40 V. — Przy zwykłych uziemieniach ochronnych przez uziemienia muszą przepływać prądy o natężeniu dostatecznie dużym, by wywołać stopienie się odpowiednich bezpieczników lub działanie samoczynnego wyłącznika, wskutek czego wielkości oporu uziemień muszą być dostatecznie małe, a uziemienia muszą posiadać zdolność przepuszczania prądów o bardzo dużym natężeniu. Tego rodzaju uziemienia nie zawsze dadzą się bez wielkich kosztów zbudować, gdy uziemienia, potrzebne do cewek ochronnych, dadzą się z łatwością osiągnąć przy wszelkich warunkach miejscowych. Jednakże ochronne te urządzenia, istniejące w Niemczech już od lat ok. 20, weszły do przepisów niemieckich dopiero w roku 1930. Musiały wprawdzie powstać pewne w działaniu wyłączniki ochronne i gniazdzka wtyczkowe odpowiedniej konstrukcji i przejść przez ogień próbny doświadczania praktycznego. Gdy konstrukcje odpowiednie powstały, opisywane łączniki ochronne zaczęły w

latach ostatnich rozpowszechniać się także w innych krajach, w Szwecji, Anglii, Szwajcarii. W końcu roku 1930 Szwajcarski Związek Elektryków urządził posiedzenie dyskusyjne, poprzedzone obszernym referatem jednego z twórców systemu ochronnego inż.-doradcy B e s a g'a (Bulletin Nr. 2 r. 1931). Piszący te słowa przeprowadził później dyskusję w tej sprawie w prasie*), starając się ustalić granice stosowności opisywanego systemu ochronnego.

Należy przedewszystkiem nadmienić, że urządzenie nie zapobiega oczywiście skutkom wadliwej izolacji przewodów, doprowadzających prąd do wyłącznika ochronnego. Działanie wyłącznika może też być sparaliżowane przez zwarcie pomiędzy przewodami, doprowadzającymi prąd do cewki ochronnej. Tego rodzaju wypadkom można jednak zapobiedz przez odpowiednią konstrukcję przyrządu, doprowadzoną obecnie do dużej doskonałości, i przez staranny montaż.

Rozpatrzmy natomiast, jak się przedstawia teoretycznie działanie urządzenia ochronnego. Na rys. 3 mamy silnik, przyłączony do sieci trójfazowej o napięciu międzyprzewodów *U*. Kadłub silnika przyłączony jest do cewki ochronnej, działającej na wyłącznik silnika jak wyżej (wyłącznik na rysunku nie jest podany). Przyjmujemy, że opór cewki wraz z jej uziemieniem ma wielkość *a*, opór kadłuba silnika względem ziemi — *b*, przyczem opór ten może być bardzo duży, gdy silnik stoi na suchym fundamencie betonowym, lub też bardzo mały, gdy stoi na mokrym fundamencie lub na rusztowaniu żelaznym. Przyjmujemy przytem, że kadłub silnika bezpośrednio uziemiony nie został, gdyż przy stosowaniu nowego systemu ochronnego jest to zbędne. — Jeżeli przy punkcie *A* nastąpi przebicie fazy *R* uzwojenia silnika do kadłuba, a jednocześnie, — jak to zwykle bywa w rozgałęzionych sieciach, — druga faza *T* posiada różne słabe miejsca o oporności względem ziemi *r*, przez cewkę ochronną i opór *b*, do niej równoległy, przepłynie prąd *i*.



Rys. 3.

Opór kadłuba względem ziemi składa się z 2 równoległych oporów *a* i *b*, czyli wynosi $\frac{a \cdot b}{a + b}$, wobec czego otrzymamy: $i = \frac{U}{r + \frac{a \cdot b}{a + b}}$, a potencjał *U_z* kadłuba względem ziemi będzie

$$U_z = \frac{U}{r + \frac{a \cdot b}{a + b}} \cdot \frac{a \cdot b}{a + b} = \frac{U}{r \cdot \frac{a + b}{a \cdot b} + 1}$$

*) Bulletin. Gemeinsames Publikationsorgan des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke (VSE). Nr. 13 r. 1931 i Nr. 3 r. 1932.

Jeżeli mamy sieć 4-o — przewodową z uziemionym przewodem zerowym o oporności względem ziemi r , wzór powyższy pozostanie w mocy, lecz pod U należy wówczas rozumieć napięcie fazowe. (Jednocześnie istniejące drobne wady izolacji w przewodach fazowych komplikują zjawisko, ale w zasadzie na wywody nasze nie wpływają).

Przypuśćmy, że $U = 230$ V (napięcie międzyprzewodowe w systemie trójprzewodowym, albo napięcie fazowe w systemie 4-o-przewodowym z uziemionym przewodem zerowym), a cewka ochronna zbudowana jest tak, że wyłącznik ochronny silnika zostaje wyłączony już przy napięciu kadłuba względem ziemi $U_z = 24$ V. — Oczywiście cewka działać nie będzie, o ile $U_z < 24$ V, czyli:

$$r \cdot \frac{a+b}{ab} + 1 > (230 : 24) \cong 9.6 \Omega,$$

albo

$$r \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) > 8,6 \Omega.$$

Jeżeli cewka jest zbudowana dla wyłączenia przy napięciu nie 24, lecz 42 V, wówczas wyłączenie nie nastąpi, o ile

$$r \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) > 4,5 \Omega.$$

Póki cewka nie działa, silnik z przebitą fazą pozostaje pod prądem, czyli zwarcie fazy R z kadłubem może trwać przez czas bardzo długi. Dotknięcie kadłuba nie stanowi jednak niebezpieczeństwa wobec niskiego potencjału kadłuba względem ziemi. — Zilustrujemy to na przykładzie liczbowym w poniższej tabelce przy różnych wartościach a , b i r .

Nr.	a	b	r	U_z w volt.
1	300	50	1	ok. 225
2	300	1	5	" 38
3	300	2	10	" 38
4	100	5	25	" 36
5	300	10	200	" 11
6	300	50	1 000	" 9
7	500	50	1 000	" 10
8	1 000	100	5 000	" 4
9	500	∞	5 000	" 21
10	500	∞	1 000	" 77
11	500	1 000	200	" 144

Widzimy z tabeli, że tylko w wypadku 1, 10 i 11 nastąpi bezwarunkowe odłączenie uszkodzonego silnika. W wypadku 2, 3, 4 odłączenie nastąpi, jeżeli cewka ochronna będzie zbudowana dla wyłączenia przy napięciu 24 V. W wypadkach 5 — 9 wyłączenie w żadnym razie nie nastąpi.

Wracając do powyższych wzorów, rozpatrzmy 2 alternatywy:

1. Jeżeli mamy sieć trójfazową 4-o-przewodową z przewodem zerowym starannie i celowo uziemionym, wówczas r jest wielkością małą (nie powinna przekraczać kilku omów, często równać się będzie ułamkowi oma), $\frac{1}{a}$ — jest zawsze, a $\frac{1}{b}$ — prawie zawsze ułamkiem. Wobec tego wyraz $r \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$ w wyjątkowych tylko wypadkach może być większy niż 8,6, a nawet niż 4,5 Ω , czyli wyłącznik ochronny zawsze spełni swoje zadanie, odłączając od sieci uszkodzony odbiornik (Nr. 1 powyższej tabelki).

2. Gdy mamy sieć trójprzewodową lub sieć 4-o-przewodową z izolowanym (nieuziemionym) przewodem zerowym, wielkość r może być najrozmaitsza, duża lub mała. Wtedy zdarzyć się może, że wyłącznik ochronny działać nie będzie i uszkodzony odbiornik pozostanie przyłączony do sieci (numery 2 — 9 tabelki).

Przy alternatywie 1 odłączenie od sieci uszkodzonego przyrządu lub silnika jest prawie pewne. Lecz w tym właśnie wypadku, kiedy posiadamy dobrze uziemiony przewód zerowy i kiedy kadłuby lub pokrywy odbiorników mogą również otrzymać „naturalne” uziemienie (przez przyłączenie do istniejącej sieci rur wodociągowych), można osiągnąć w sposób pewniejszy i tańszy wyłączenie uszkodzonych aparatów przez celowo przeprowadzone uziemienia o małej oporności.

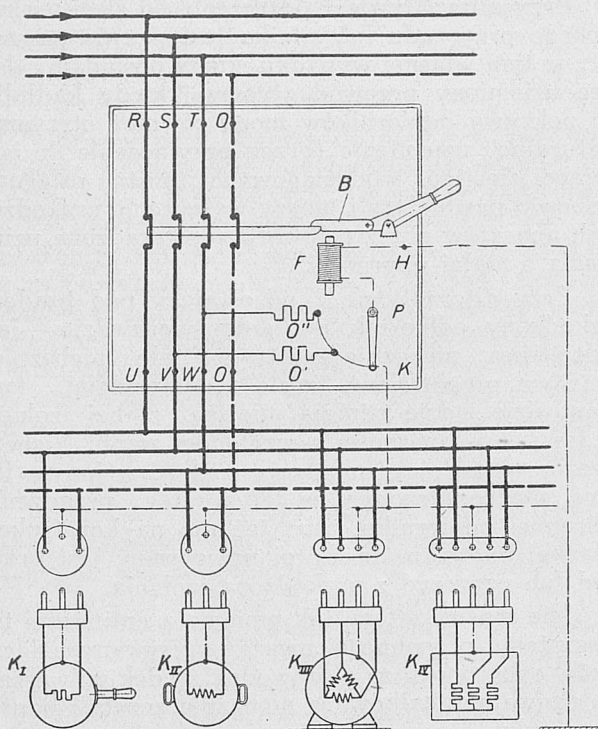
Przy alternatywie 2 pozostający pod prądem uszkodzony odbiornik nie grozi wprowadzić, jak widzieliśmy, niebezpieczeństwem, ale niebezpieczeństwo przeniesione zostaje gdzieś indziej, tam mianowicie, gdzie istnieją miejsca słabej izolacji na fazie T o oporności r względem ziemi. Niebezpieczne te miejsca mogą się znaleźć w innym jakimś, niezaopatrzonego w takie same urządzenie ochronne, odbiorniku, albo też np. na konstrukcji żelaznej budynku, do której umocowany jest przewód lub przyrząd z uszkodzoną izolacją.

Nie można zatem, jak mniemają entuzjaści tego systemu ochronnego, uważać opisywanych łączników ochronnych za niezawodny środek uniwersalny, usuwający całkowicie niebezpieczeństwa napięcia dotyku.

Pomijając okoliczności, przy których, jak mówiliśmy, uważamy zwykle uziemienie za bardziej celowe, musimy w każdym poszczególnym wypadku rozważyć, czy przez ochronę jednego przyrządu niebezpieczeństwo nie zostanie przeniesione do innego niebezpiecznego miejsca. Jeżeli mamy np. w szeregu hal fabrycznych, przesiągniętych wilgocią lub gazami żrącymi, pewną ilość odbiorników, z którymi stykają się robotnicy, nie należy wykonywać instalacji elektrycznej tak, by jedne odbiorniki otrzymały łączniki ochronne, a drugie nie. Wówczas bowiem mogłyby właśnie nastąpić opisany wypadek, że uszkodzony silnik, zaopatrzony w wyłącznik ochronny, nie zostałby wyłączony, a kadłub drugiego nie chronionego odbiornika dostałby się pod niebezpieczne napięcie względem ziemi.

Schemat urządzenia, całkowicie zaopatrzonego w łączniki ochronne, podajemy na rysunku 4, zaczerpniętym z rozprawki Besag'a. — Mamy tu sieć 4-o-przewodową z uziemionym lub nieuziemionym przewodem zerowym. Cały szereg odbiorników K_I — K_{IV} (garnek elektryczny, wiertarka ręczna, silnik i kuchenka trójfazowa) przyłączony jest do tej sieci zapomocą gniazd wtyczkowych (kontaktów) i wtyczek. Wszystkie odbiorniki mają wspólny czterobiegunowy wyłącznik, zaopatrzony w cewkę ochronną F . Jeden koniec cewki przyłączony jest do kadłubów chronionych odbiorników. W tym celu każdy z giętkich przewodów, łączących odbiorniki, posiada dodatkową żyłę ochronną (3-cią, 4-tą lub 5-tą), a gniazda i wtyczki mają dodatkowe zaciski dla żył ochronnych. Drugi ko-

niec cewki połączony jest z ziemią. Skoro kadłub lub pokrywa któregośkolwiek z 4 odbiorników otrzyma skutek wewnętrznego uszkodzenia napięcie względem ziemi, dochodzące do 24 albo 42 V, przejdzie przez cewkę prąd o natężeniu dostatecznym, by przyciągnąć drążek B wyłącznika



Rys. 4.

ochronnego i spowodować wyłączenie czterobiegunowego wyłącznika. Tem samym wszystkie odbiorniki — zarówno uszkodzone jak i nieuszkodzone — zostaną odłączone od sieci. — Odłączenie całego urządzenia z powodu uszkodzenia jednego tylko odbiornika jest oczywiście niedogodne. Chcąc tej niedogodności uniknąć, należałoby zamiast jednego wspólnego dla wszystkich odbiorników wyłącznika czterobiegunowego dać każdemu odbiornikowi odrębny wyłącznik ochronny.

Jak widać z rysunku, cewka F połączona jest z ziemią przez przełącznik P. Przełącznik ten stanowi użyteczne i konieczne uzupełnienie urządzenia ochronnego. Pewność działania urządzenia zależy bowiem od sprawnego działania wyłącznika ochronnego i od braku jakiegokolwiek przerwy w uziemieniu. By się o tem przekonać, łączy się cewkę na krótką chwilę za pomocą przełącznika P z jedną lub drugą fazą przez opory pomocnicze O' i O'', by skontrolować, czy wyłącznik działa. Normalnie przełącznik P trzymany jest przez sprężynę na kontakcie K.

W powyższym schemacie spełniony jest warunek, by wszystkie istniejące odbiorniki posiadały wymaganą ochronę. Jest to, jak wynika z rozstrząsań teoretycznych, konieczne, jeżeli odbiorniki znajdują się w takim położeniu lub w takich pomieszczeniach, gdzie dotknięcie stać się może niebezpieczne. Jeżeli natomiast mamy np. do czynienia z jakimś zasilanym przez własny transformator folwarkiem, możnaby zaopatrzyć w wyłączniki ochronne stajnie, obory, silnik do pompy i t. p., a zaniechać tej ochrony w suchych domach mieszkalnych o drewnianej podłodze, wychodząc z założenia, że tam uszkodzona lampa, żelazko lub grzejnik nie mogą powodować niebezpieczeństwa. Przypuszczenie takie może również stać się oczywiście zawodnym, jeżeli istnieje możliwość jednoczesnego dotknięcia np. lampy stołowej i aparatu radiowego lub telefonicznego.

Jednym słowem przy stosowaniu wszelkiego rodzaju zarządzeń ochronnych nie można kierować się raz na zawsze ustalonym szablonem, nie można też spraw tych zostawiać uznaniu monterów. Należy natomiast w każdym poszczególnym wypadku stosować zarządzenia po starannym rozważeniu wszystkich okoliczności. Zacytujemy wypowiedzianą w tym względzie — z okazji dyskusji nad referatem Besag'a — opinię szwajcarskiego inżyniera Schiessera, który od szeregu lat zajmuje się badaniami w tej dziedzinie: „Traktowanie każdej sprawy, związanej z uziemieniem, jest rzeczą bardzo drażliwą (ein sehr heikles Thema) i budzi prawie zawsze skrupuły sumienia. Im bardziej człowiek zagłębia się w tych sprawach, tem jaśniej spostrzega trudności”.

WYŁĄCZNIK ROZPRĘŻENIOWY (EKSPANSYJNY).

Dr. F. Kesselring.

Zasady ogólne.

Do włączania i wyłączania obwodów wysokiego napięcia stosowano dotychczas jedynie wyłączniki olejowe, których zasadnicze urządzenie w ciągu ostatnich 30-u lat nie uległo żadnej prawie zmianie; natomiast wydajność ich została znacznie zwiększona przy tem samym zużyciu materiału, a to dzięki celowemu układowi, ulepszeniu styków, wprowadzeniu komór gaśniczych i t. p. Technika jest dziś w stanie wytwarzać wyłączniki olejowe dla wszelkich mocy i natężeń prądu, napotykanych w praktyce. Przy ogromnych zaletach, polegających

głównie na prostocie budowy i na łatwości nadzoru, wyłączniki olejowe mają jedną poważną wadę: olej, użyty jako ośrodek gaszący, jest palny, a produkty jego rozkładu, metan, etylen i wodór, tworzą z tlenem powietrza mieszaninę wybuchową, która w razie zapłonu może spowodować wielkie zniszczenie; silne wytwarzanie duszących dymów przy spalaniu oleju pogarsza jeszcze sprawę. Okolicznością niezmiernie wagi, którą należy z naciskiem podkreślić, jest to, że wybuchy w wyłącznikach olejowych bynajmniej nie są związane z wielką mocą wyłączanego prądu, — przeciwnie, wystarcza prąd kilku amperów, aby spowodować stra-

sżliwe spustoszenia. Jeżeli np. działanie wyłącznika zawodzi w ten sposób, że powstaje luźny styk, to powstający pod olejem mały łuk rozkłada stopniowo olej, i całe pomieszczenie rozdzielni napędza się mieszaniną wybuchową. Doświadczenie poucza, że zakłócenia w wyłącznikach olejowych zdarzają się częściej skutkiem wadliwego działania mechanizmu, aniżeli z powodu wyłączania wielkich mocy.

Wobec tych faktów zrozumiałe są wysiłki, z jakimi starano się zastąpić olej innym, niepalnym ośrodkiem gaszącym. Najprostszymi wydawały się próby budowy wyłączników powietrznych także i dla napięć powyżej 1000 V. Tą drogą posłała najpierw firma Westinghouse Electric and Manufacturing Co w Pittsburgu, stwarzając tak zw. wyłącznik dejonizacyjny. Inne rozwiązanie, tak zw. wyłączniki o sprężonym powietrzu, zostały wprowadzone w Anglii przez pp. Whitney'a i Wedmore'a, a w Niemczech — przez prof. Ruppela łącznie z firmą Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft. Zakłady Siemens-Schuckert również pracowały w latach 1927/28 nad rozwojem wyłączników o sprężonym powietrzu.

Równoległe do tego opracowywano wyłącznik rozprężeniowy, (ekspansyjny), który zostanie tu szczegółowo opisany. W toku badań okazało się, że wyłącznik rozprężeniowy przewyższa jednak pod niejednym względem wyłączniki o ściśnionym powietrzu, posiada zaś wszystkie zalety, które zapewniły wyłącznikom olejowym pierwszeństwo przed wszelkimi innymi typami w ciągu ostatnich lat 30-u.

W przeciwstawieniu do wyłącznika olejowego wyłącznik rozprężeniowy pracuje z cieczą niepalną, zasadniczo z wodą o pewnych domieszkach. Ponieważ uruchomiono już setki tych przyrządów i przekonano się w ciągu ostatnich 2-3 lat o ich zaletach, należy przeto nieco bliżej poznać podstawy fizyczne ich działania oraz szczegóły konstrukcyjne.

Podstawy naukowe wyłącznika rozprężeniowego.

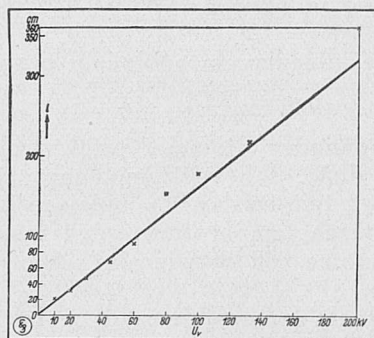
Przy rozwieraniu obwodu indukcyjnego o sile elektromotorycznej, wynoszącej np. 60 000 V i o prądzie 100 A, przez rozsuwanie elektrod metalowych powstaje łuk, który w suchym powietrzu gaśnie naogół dopiero wtedy, gdy długość jego osiągnie 18 cm. Jeśli te same elektrody zanurzyć w cieczy (np. w wodzie lub oleju) to łuk gaśnie już przy długości 1,8 cm. To dowodzi narazie tylko tego, że warunki do utrzymania łuku przez pomieszczenie go w cieczy, stały się mniej pomyślne. Zbadajmy bliżej to zjawisko.

Każdy łuk prądu zmiennego, niezależnie od tego, czy płonie w powietrzu, czy pod cieczą, gaśnie przy każdym przejściu prądu przez 0. Istnieją tu tylko dwie możliwości fizyczne: jeśli jonizacja przez zderzenie i skutek emisji rozżarzonych styków przeważa nad dejonizacją wskutek powrotnego łączenia się jonów, osiadania na elektrodach i t. d., to łuk zapala się nanowo; w przeciwnym przypadku gaśnie całkowicie. W powietrzu normalnym dejonizacja odbywa się stosunkowo powoli, tak że gaśnięcie łuku następuje dopiero na bardzo dużych odległościach. Natomiast umieszcze-

nie łuku w atmosferze wodoru bardzo przyspiesza dejonizację, przede wszystkim wskutek wysokiej przewodności cieplnej wodoru. Maksymalną długość łuku, możliwą w atmosferze wodoru podaje wzór następujący:

$$l = \frac{U}{0,29} \dots \dots \dots (1)$$

U oznacza powracające napięcie w kV, l — długość łuku w cm. *) Jeśli porównać długości łuku, wynikające z wzoru (1), z wartościami, otrzymanymi doświadczalnie w wyłącznikach olejowych, to można się przekonać, że przy określonym powtarzającym się napięciu zgadzają się one dość dokładnie z wartościami, obliczonymi na podstawie wzoru (1); widać to np. na rys. (1), na którym są wskazane te wartości dla wyłączników olejowych dawniejszej konstrukcji wyrobu Zakładów Siemens - Schuckert; linia wyciągnięta odpowiada wzorowi (1).



Rys. 1.

Wyłącznik olejowy wysokiej mocy. Rozsuniecie przerywające w zależności od napięcia.

Z tej zgodności wynika, że gaszenie łuku w zakresie prądów niezbyt silnych należy przypisać obecności wodoru. Jak wiadomo, gazy, tworzące się przy rozwieraniu wyłączników olejowych, składają się w 70% z wodoru; wodór powstaje wskutek rozkładu skomplikowanych związków węglowodorowych.

Lecz przy wyłączaniu przez wyłączniki cieczowe prądów ponad 1 000 A można stwierdzić doświadczalnie długości łuku znacznie mniejsze od wynikających z wzoru (1); to wskazuje, że istnieje inny jeszcze proces dejonizujący. Można stwierdzić, że w przestrzeni kulistej, otaczającej łuk, znajdują się nie tylko gazy, lecz i pary. **) Badania spadku temperatury w bezpośrednim otoczeniu łuku wykazują co najmniej 3 000° w skali bezwzględnej, są możliwe temperatury, wynoszące zaledwie paręset stopni. Sprawdzenie doświadczalne potwierdziło ten rachunkowo wyprowadzony wynik. Nie jest więc słuszne twierdzenie, że łuk płonie w atmosferze gazu; jest on raczej ciasno otoczony płaszczem par.

Autor niniejszego dostrzegł, że łuk prądu zmiennego, płonący w cieczy, gaśnie zawsze przy mniejszym rozsunięciu styków, gdy w atmosferze

*) Wyprowadzenie tego wzoru będzie podane w oddzielnej publikacji Zakładów Siemens-Schuckert.

**) Por. v. Engel w „Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern“, t. 9, zeszyt I, 1930, str. I.

otaczającej go pary następuje — z jakichkolwiek przyczyn zewnętrznych — nagle zmniejszenie ciśnienia. Gerdien pierwszy wskazał na to, że przy rozprężeniu gazu musi zachodzić dejonizacja wskutek tworzenia się mgły, — zjawiska, odkrytego przez Thomsona i Wilsona. Jak wiadomo, można uwidocznic jony gazowe i elektrony przez adyabatyczne rozprężenie atmosfery pary nasyconej, zawierającej te jony. Nośniki naboju elektrycznego stają się zarodkami skroplenia pary wodnej. Aby jasno zrozumieć przebieg dejonizacji, wywołanej przez zjawiska Wilsona, trzeba wnikać nieco głębiej w mechanizm tworzenia się kropelek. Różni autorowie, w szczególności Veronnet,^{*)} wykazali, że pomiędzy elektronem a atomem obojętnym istnieje siła przyciągania, której wartość średnia, wzięta dla wszelkich możliwych położeniach wzajemnych elektronu i atomu, zmniejsza się wraz z 4-ą potęgą ich odległości. Stąd wynika, że siła działa skutecznie tylko wtedy, gdy odległości elektronów od atomów są bardzo małe.

W gazie, ulegającym ogólnemu prawu

$$pv = RT, \dots (2)$$

odległości pomiędzy atomami wzgl. drobinami są stosunkowo duże. Jak wiadomo, gazy stosują się do tego prawa tem ściślej, im mniejsze jest ich ciśnienie a wyższa temperatura, gdyż wówczas siły międzydrobinowe nie wywierają już wpływu dostatecznego.

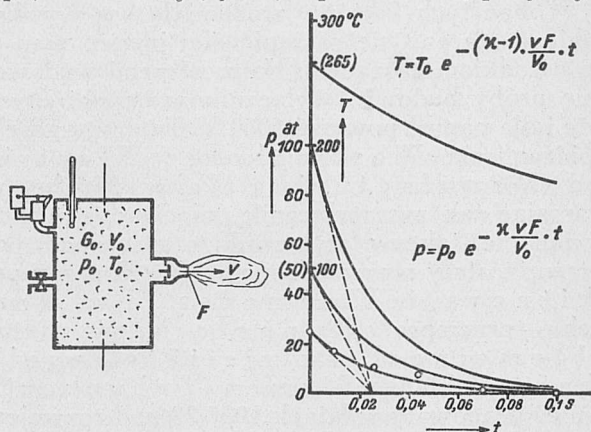
Gdy jednak gaz zostaje zgęszczony i oziębiony, tak że przechodzi w stan pary, zmiany jego stanu nie mogą już być ujęte wzorem (2); zamiast niego stosuje się równanie van der Waalsa

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT. \dots (3)$$

Stała a wynika z założenia van der Waalsa, że pomiędzy poszczególnymi drobinami działają siły przyciągające, których wartość można, odwrotnie, wyznaczyć z jego równania. Wyprowadzone stąd wartości zgadzają się dokładnie z badaniami doświadczalnymi nad sferą działania sił, wywieranych przez drobiny. Na tej podstawie wnioskujemy, że w parze drobiny znajdują się tak blisko siebie, iż przyciągają się nawzajem. Ponieważ w niższej temperaturze prędkości nieuporządkowanych ruchów cieplnych są małe w porównaniu z gazami, przeto w zjawiskach fizycznych, zachodzących w parze, siły drobinowe muszą grać rolę wybitną. Gdy w atmosferę takiej pary dostanie się cząstka naelektryzowana, znajdzie się ona niebawem w tak małej odległości od jednej z drobin, że zostanie przez nią przyciągnięta. W ten sposób powstanie jon, który ze swej strony będzie przyciągał dalsze drobiny obojętne. W końcu tego procesu powstaje kropelka, znana z doświadczeń Wilsona. W gazie, w którym odległości i prędkości drobinowe są wielkie, rzadka tylko wprowadzony elektron tak zbliży się do powoli poruszającej się drobin, by mogło zająć przyciąganie, a zatem i utworzenie jonu. Te rozważania wskazu-

ją na zasadniczą różnicę pomiędzy dejonizacją w gazie i w parze.

Przekonawszy się, że para nasycona bardzo silnie działa wiążąco na elektrony, zbadajmy, w jaki sposób można prostymi środkami technicznymi wytworzyć atmosferę pary w bezpośrednim sąsiedztwie łuku. Jeśli do zamkniętego naczynia o pojemności V_0 (rys. 2) wpuścić masę pary G_0 , to



Rys. 2.

Adyabatyczne rozprężanie pary.

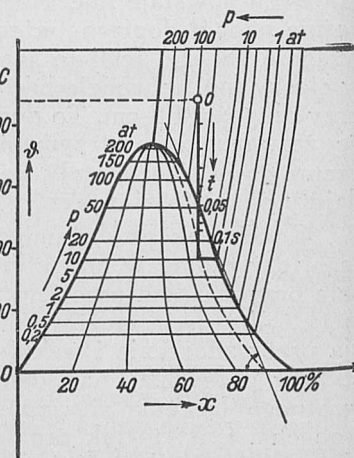
w temperaturze T_0 powstaje określone ciśnienie p_0 . Jeśli parę wypuszczać przez zawór o przekroju wylotu F , to zapomocą indykatora można zbadać w prosty sposób przebieg ciśnienia w zależności od czasu. Wyniki pewnej serii pomiarów są podane na rys. 2. Przebieg ten można wyrazić matematycznie równaniem:

$$p = p_0 e^{-\kappa \frac{vF}{V_0} t} \dots (4)$$

Przez proste przekształcenia można stąd wyprowadzić równanie przebiegu temperatury

$$T = T_0 e^{-(\kappa-1) \frac{vF}{V_0} t} \dots (5)$$

Te równania dowodzą, że spadek ciśnienia, wywołany wypływem pary, powoduje również spadek temperatury. Szczególnie jasno widać to na wykresie w stosunku do entropji (rys. 3). Niechaj stan początkowy będzie wyobrażony przez punkt O ; odpowiada mu ciśnienie 100 atm. i temperatura 440° . Przy adyabatycznej zmianie stanu można uważać entropję jako stałą, o ile się pominie wyrównywanie temperatury wewnątrz samej pary. Przebieg odbywa się wzdłuż linii prostej, równoległej do osi rzędnych i przechodzącej przez punkt O . Skalę czasu na tej linii przebiegu można wyznaczyć na podstawie przytoczonej metody obliczania. W naszym przykładzie widać, że ciśnienie spada w ciągu 0,05 sek. ze 100-u na 50 atm. W tym momencie para,

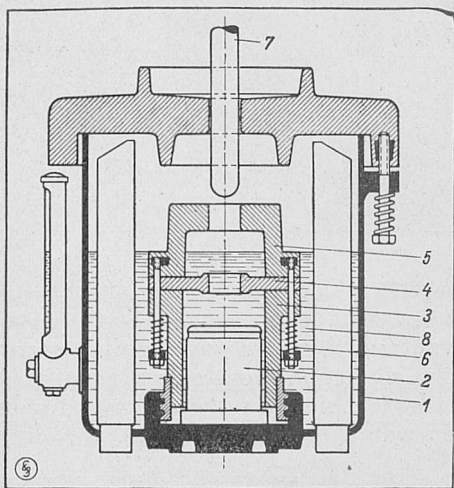


Rys. 3.

Wyłącznik rozprężeniowy.
Wykres entropji.

^{*)} Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris, t. 189, 1929, str. 1249.

z początku przegrzana, ochłodziła się tak dalece, że staje się parą nasyconą. W atmosferze pary nasyconej zjawisko przebiega trochę wolniej; pytanie zasadnicze dla naszych dalszych rozważań dotyczy ilości cieczy, powstałej przez skroplenie wskutek dalszego ochłodzenia. Procentowe zawartości wydzielonej cieczy odczytujemy na wykresie entropji, jako odcinki poziome, zawarte pomiędzy krzywą graniczną dla pary nasyconej a linią przebiegu, przechodzącą przez punkt O. Widzimy np., że po osiągnięciu ciśnienia 10 atm. skropliło się około 10-u% pary. Styczna, przeprowadzona względem linii granicznej wskazuje, że wydzieloną ilość cieczy możemy przyjąć w przybliżeniu za proporcjonalną do obniżenia temperatury. Słusznie więc będzie na przyszłość wyrażać cały przebieg w stosunku do spadku temperatury, choć bezpośrednia obserwacja wymagała narazie odnośnienia do spadku ciśnienia.



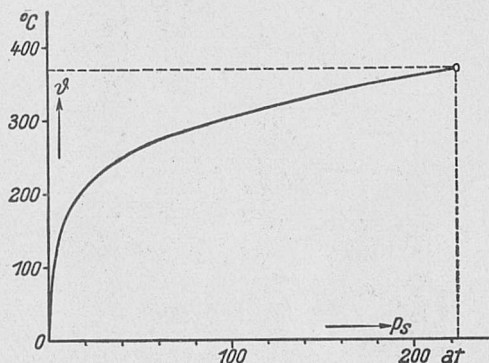
Rys. 4.

Rys. 4 wskazuje proste urządzenie do wytwarzania dużego spadku temperatury, nadające się szczególnie do wyłączników: 1 jest to komora metalowa, na dnie której jest umieszczony styk 2. Ten styk jest otoczony walcem metalowym 3, zaopatrzonym w płytkę izolującą 4. Nad nią jest umieszczony dzwon 5 z materiału izolującego. Części 3, 4 i 5 są ściśnięte sprężynami 6; 7 jest to ruchomy pręt włączający, pociągany w górę przy wyłączaniu. Obie komory są zapełnione cieczą 8, np. wodą. Przy rozłączaniu styków 2 i 7 powstaje naogół łuk, który odparowuje część cieczy. Przy zupełnie określonym ciśnieniu, zależnym od początkowego napięcia sprężyny 6, pod lub nad płytką 4 powstaje, dzięki ściśnięciu sprężyny, szpara w postaci pierścienia, przez którą para uchodzi wprost do komory 1, gdzie zostaje skroplona. Z równania (4) można bezpośrednio wywnioskować, jak bardzo korzystnym jest działanie tej komory. Biorąc pochodną, znajdujemy dla spadku ciśnienia

$$\left(\frac{dp}{dt} \right)_{t=0} = - \alpha p_0 \frac{v F}{V_0} \quad \dots \quad (6)$$

Znaczy to, że duży spadek ciśnienia daje się osiągnąć przy dużej powierzchni wylotu i dużej prędkości wypływu v . Ta ostatnia jest zależna od oporów hydrodynamicznych, a przy układzie według

rys. 4 opory te są możliwie jaknajmniejsze. Ponad to jest rzeczą ważną, by objętość pary V_0 była mała, co można wprost osiągnąć przez nadanie komorom 3 i 5 odpowiednich rozmiarów. Wreszcie widać, że spadek ciśnienia, a więc i temperatury, rośnie z ciśnieniem początkowym p_0 . Lecz z rys. 5



Rys. 5.

Para wodna nasycona. Ciśnienie i temperatura.

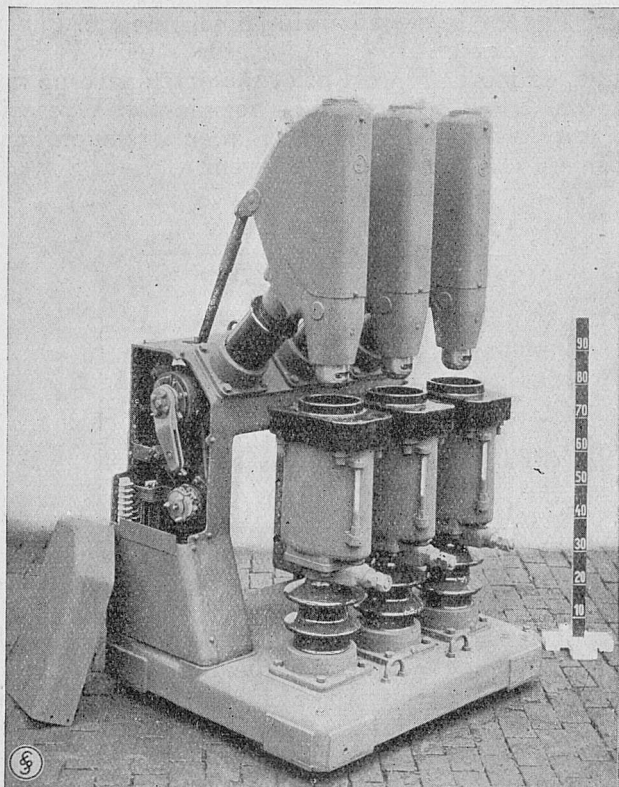
wynika, że niema praktycznego celu pracować z ciśnieniami powyżej 30 atm., gdyż w tej dziedzinie znaczne nawet spadki ciśnienia wywołują tylko niewielkie obniżenie temperatury; to znaczy, że przy wysokich ciśnieniach sprawność wyłącznika jest mała, z drugiej zaś strony wysokie ciśnienia wymagają konstrukcji ciężkich i kosztownych. Z tego powodu reguluje się sprężyny 6 na ciśnienia od 15-u do 30-u atm., zależnie od warunków, w których przyrząd ma być użyty. Przychodzimy stąd do wniosku, że komora rozprężeniowa, przedstawiona na rys. 4, urzeczywistnia konstrukcyjnie zależności, znalezione drogą rachunkową.

Według powyższych wywodów gaszenie łuku w cieczy odbywa się w sposób następujący:

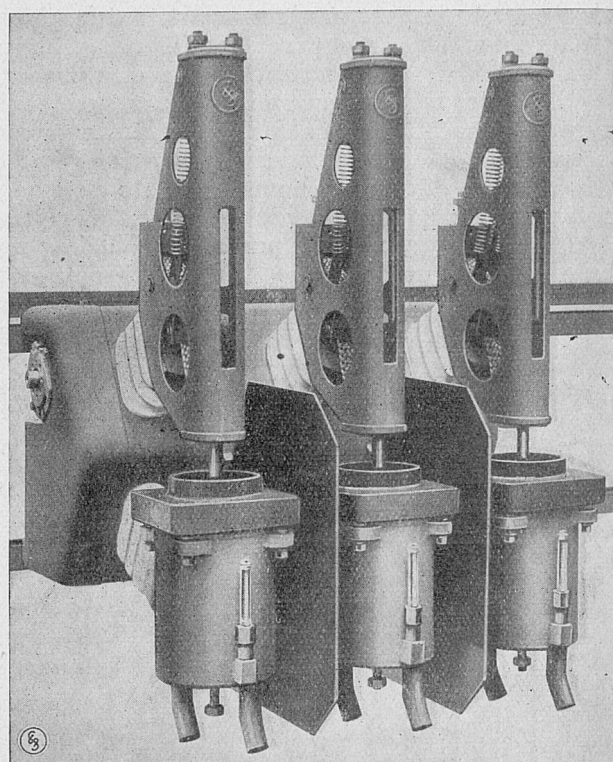
Po rozłączeniu styków część cieczy, otaczającej łuk, wyparowuje, dalsza część przechodzi w stan gazowy. W chwili przejścia prądu przez O łuk gaśnie. Wówczas pomiędzy stykami powstaje pole elektryczne, zgodnie z przebiegiem powracającego napięcia. Pole wywiera siły na poszczególne nośniki ładunku i przyspiesza ich ruch. Jeśli w polu znajduje się jeszcze dostateczna liczba swobodnych elektronów, to prędkość ich może wzrosnąć do granicy, potrzebnej do wywołania jonizacji przez zderzenie. Wtedy to tworzą się jak lawina coraz to liczniejsze nośniki ładunku, co doprowadza do ponownego rozwinięcia się łuku. Jeśli natomiast osiadanie elektronów odbywa się na drobnych pary prędkiej, niż tworzenie nowych nośników ładunku, to liczba niezwiązanych elektronów i jonów z czasem maleje, a to zapobiega ponownemu powstaniu łuku: przez dołączenie do elektronu drobiny wody powstaje jon o masie około 30 000 razy większej, a przyspieszenie jego ruchu w polu elektrycznym jest już znikomo małe. Naogół proces nie ogranicza się do dołączenia jednej tylko drobiny, gdyż zgodnie ze znanym doświadczeniem Wilsona wkrótce powstają kropelki wody.

Budowa wyłącznika rozprężeniowego.

Tak zwana komora rozprężeniowa, stanowiąca zasadniczą część wyłącznika, została już objaśniona

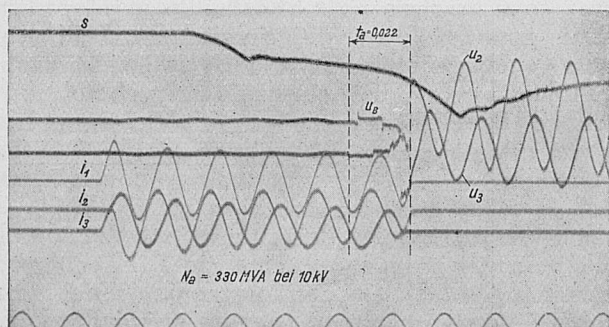


Rys. 6.



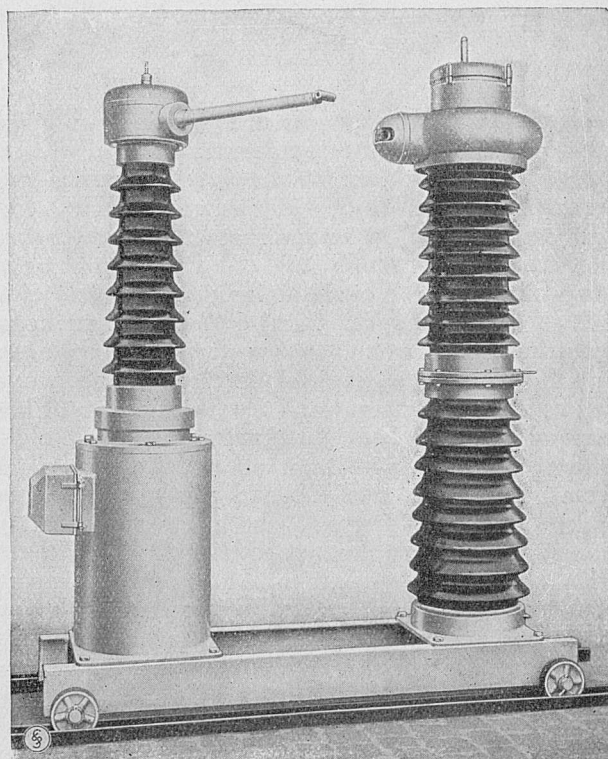
Rys. 8.

na podstawie rys. 4. Rys. 6 przedstawia zewnętrzny widok wyłącznika rozprężeniowego dla prądu 10 kV i 30 kA. Na podstawie z kątowników żelaznych opierają się za pośrednictwem izolatorów wsporczych komora rozprężeniowa i mechanizm do poruszania pręta wyłączającego. Panwie wału włączającego znajdują się w żelaznym cokole; wał jest sprzężony z mechanizmem włączającym za pomocą pręta izolującego. Rys. 7 zawiera oscylogram procesu wyłączania; widać z niego, że łuk gaśnie po upływie 0,022 sek. Drugi typ dla prądu 15 kA jest wyobrażony na rys. 8. Główna różnica w porównaniu z rys. 6 polega na tym, że ten wyłącznik, podobnie jak odłączniki, może być przymocowany do ściany lub do szyny żelaznej. Pozatem całe urządzenie odpowiada w punktach zasadniczych urządzeniu wyłącznika rys. 6.



Rys. 7.

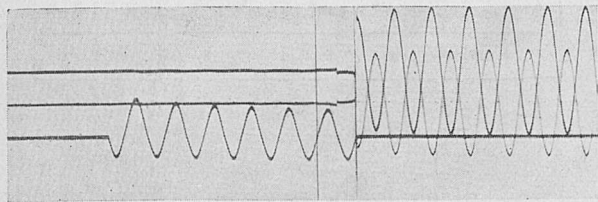
Wyłącznik rozprężeniowy. Oscylogram przebiegu wyłączania przy wysokiej mocy.
 s — ruch wyłącznika. i_1 i_2 i_3 — prądy. U_B — napięcie łuku.
 u_2 u_3 — napięcia powrotne.



Rys. 9.

Wyłącznik rozprężeniowy R 620 dla 100 kV i 600 A (jednobiegunowy).

punkty widzenia przy projektowaniu rozdzielni. Instalacje o wyłącznikach rozprężeniowych dają naogół znaczną oszczędność miejsca. Rys. 9 pokazuje widok instalacji takich wyłączników rozprężeniowych dla napięcia 100 kV i dla prądu wyłączanego 10 kA, czyli na 1,5 miliona kVA. Na mocnej podstawie ustawiony jest właściwy



Rys. 10.

wyłącznik o jednej przerwie — dla jednego bieguna; składa się on zasadniczo z wielostopniowej sprężystej komory rozprężeniowej oraz z odpowiedniego urządzenia, poruszającego pręt włączający. Wyłącznik jest wprawiany w działanie za pośrednictwem odłącznika, zmontowanego razem z wyłącznikiem i poruszanego zapomocą umieszczonego pod nim mechanizmu, który pozwala wprawiać w ruch z odległości. Oscylogram przebiegu

wyłączenia przy 100 kV napięcia skojarzonego jest przedstawiony na rys. 10. Widać na nim, że łuk gaśnie po 0,02 sek., to jest po 2-ch pół-okresach. Jest to zapewne pierwszy wyłącznik cieczo- wy, który daje trwanie łuku równe zaledwie dwu pół-okresom.

Doświadczenia z praktyki.

Wiosną 1930 r. zainstalowany został pierwszy wyłącznik rozprężeniowy, którego budowa była taka jak na rys. 6. Wyniki w działaniu praktycznym odpowiadały pod każdym względem wynikom prób, dokonanych na stacji badania urządzeń wysokiej mocy do 1 miliona kVA, oraz wykazały celowość konstrukcji; wobec tego zainstalowano w szybkim tempie dalsze wyłączniki. Zakłady Siemens-Schuckert mają obecnie już do rozporządzenia doświadczenia z około 150 wyłączników, zainstalowanych w 23-ch rozmaitych elektrowniach: można twierdzić bez przesady, że wyniki przeszły najśmielsze oczekiwania. Straty na cieczy i odpał styków są tak nieznaczne, że np. w jednym z wyłączników, który w ciągu pół roku wyłączał 1 800 razy, powierzchnie styku nie doznały praktycznie żadnej widocznej zmiany. Dopełnianie cieczy było potrzebne dopiero po 1 500 wyłączeniach.

PRĄDY ZWARCIA W SIECIACH WYSOKIEGO NAPIĘCIA.

Inż. H. Tarnawski.

(Ciąg dalszy)

Reaktancja generatora.

Przy zwarcu trójbiegunowym na zaciskach maszyny zasilającej ustalony prąd zwarcia będzie następujący:

$$J_k = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (X_a + X_s)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_0}; \quad X_0 = X_a + X_s$$

$$X_a + X_s = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_k} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_n \cdot m_d'''},$$

gdzie:

- U — napięcie (skojarzone, J_n — nominalny prąd,
- J_k — prąd zwarcia przy biegu jałowym maszyny,
- m_d''' — współczynnik zwarcia przy zwarcu trójbiegunowym,
- X_s — opór indukcyjny rozproszenia w omach,
- X_a — zastępczy opór indukcyjny, jaki możemy przyjąć zamiast uwzględnienia wpływu reakcji na wielkość pola magnetycznego.

Dla turbogeneratorów $m_d''' = \frac{J_k}{J_n} = 0,7^*)$.

Reaktancję rozproszenia otrzymamy z równania:

$$X_s = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_n} \cdot \frac{E_s}{100},$$

gdzie E_s — całkowite napięcie rozproszenia w %.

Przy obliczeniu ustalonego prądu zwarcia przyjmujemy napięcie jego dla maszyn nowoczesnych

$$E_s = 24\%.$$

Przy obliczeniu natomiast uderzeniowego prądu zwarcia, kiedy przyjmuje się pod uwagę tylko rozproszenie stojana, bez uwzględnienia reakcji, wielkość tego napięcia wynosi:

$$E_s = 15\%.$$

Wielkość ta może być otrzymana z podanego niżej wzoru

$$X_a = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_n \cdot m_d'''} - X_s$$

Reaktancja transformatora na każdą fazę.

Reaktancję dowolnie połączonych transformatorów otrzymamy z wzoru

$$X_T = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_n} \cdot \frac{E}{100} \text{ omów,}$$

gdzie E oznacza napięcie zwarcia w procentach nominalnego napięcia. W wielu razach wygodniej jest użyć wzoru zmodyfikowanego

$$X_T = \frac{U^2 \cdot E}{N \cdot 100},$$

*) M. Walter. Selektivschutzrichtungen für Hochspannungsanlagen.

gdzie N oznacza moc nominalną transformatora w VA.

Pierwszy wzór stosuje się też przy obliczeniu reaktancji cewki dławikowej, tylko w tym razie E oznacza spadek napięcia w cewce w % nominalnego napięcia przy normalnym prądzie. Jeżeli cewka ma przepuszczać przez siebie całkowity prąd zwarcia, to jej reaktancja określa się z wzoru:

$$X_D = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_d'''},$$

gdzie J_d''' — ustalony prąd zwarcia przy zwarcu trójbiegunowym.

$$\begin{aligned} \text{Ponieważ } X_D &= \omega L, \text{ więc } L = \frac{X_D}{\omega} \text{ Henrów} = \\ &= \frac{X_D \cdot 1000}{\omega} \text{ mH.} \end{aligned}$$

Reaktancja przewodów napowietrznych na fazę i kilometr.

Reaktancję przewodu na kilometr i fazę otrzymamy z wzoru

$X_L = \omega \cdot L$, gdzie $\omega = 2\pi f$; L — indukcyjność przewodu na kilometr i fazę.

Dla zwyczajnej linii trójfazowej jednotorowej o symetrycznym układzie przewodników

$$L_1 = \left(4,6 \log \frac{d}{r} + \frac{\mu}{2} \right) \text{ w jednostkach H/km}$$

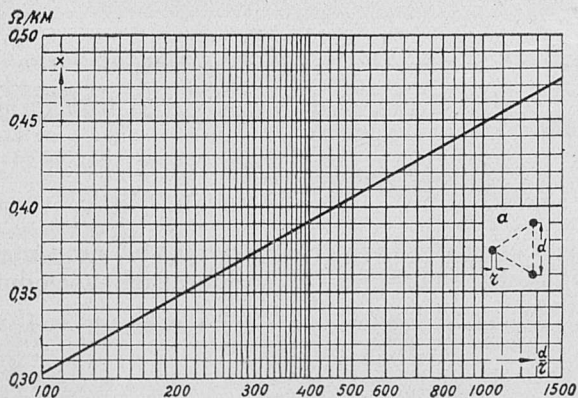
gdzie

d — odległość pomiędzy przewodnikami w cm,
 r — promień przekroju przewodu w cm,
 μ — przenikalność magnetyczna materiału przewodu (dla miedzi $\mu = 1$).

Ponieważ reaktancja przewodu zależy od ilorazu $\frac{d}{r}$, reaktancję tę możemy otrzymać z wykresu na rys. 2, gdzie podana jest zależność reaktancji na kilometr i fazę zwykłego przewodu trójfazowego od wielkości $\frac{d}{r}$.

Jeżeli odległości pomiędzy przewodnikami nie są jednakowe, to wprowadza się średnią geometryczną poszczególnych odległości

$$d = \sqrt[3]{d_{1.2} \cdot d_{2.3} \cdot d_{3.1}}$$



Rys. 2.

Reaktancja na km i fazę zwykłej linii napowietrznej przy częstotliwości 50 okr./sek.

Krzywą rys. 2 można posługiwać się też dla przewodów trójfazowych dwutorowych przy wprowadzeniu poprawki stosownie do rys. 3.

b	c	d	e	f
1,015	1,027	1,038	1,036	1,067

Rys. 3.

Spółczynniki przeliczeniowe na linii dwutorowej.

Przy liniach wielotorowych i przy układzie przewodników niesymetrycznych wzory te są więcej skomplikowane. Dla celów praktycznych nie jest konieczne otrzymywanie zupełnie dokładnej wielkości indukcyjności przewodów, ponieważ ścisłość ta wpłynie w stopniu bardzo nieznacznym na wynik ostateczny. Dlatego też przy tych obliczeniach wprowadzamy jeszcze pewne uproszczenia i posługujemy się danymi, które otrzymane zostały z praktyki.

Dla normalnego przewodu jednotorowego o symetrycznym rozkładzie przewodników indukcyjność na fazę wynosić będzie

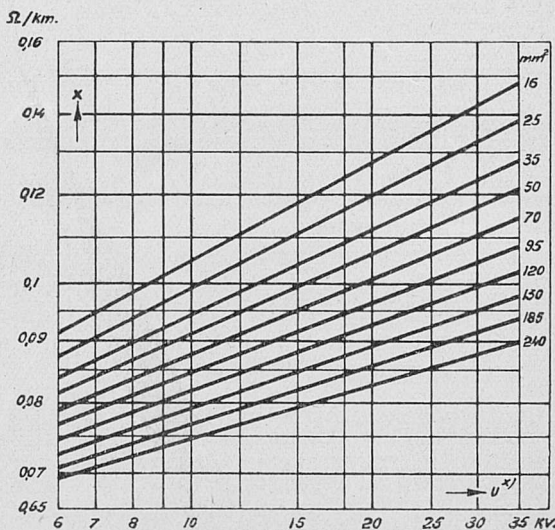
$$L = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ Henra/km;}$$

stad reaktancja na fazę i km

$$X_L = \omega \cdot L = 314 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3} \cong 0,4 \text{ oma.}$$

Reaktancja kabla podziemnego na fazę i kilometr.

Na rys. 4 i 5 podane są reaktancje kabli trójfazowych w zależności od napięcia, przyczem rys. 4 dotyczy kabli zwyczajnych, rys. 5 — kabli Hoechstädter'a. Tablice te oparte są na danych całego szeregu fabryk niemieckich. Być może, że więcej racjonalne byłoby podanie wielkości reaktancji kabla w zależności od grubości izolacji pomiędzy żyłami oraz średnicy żyły, dla praktycznych jednak celów w zupełności wystarczy uzależnienie reaktancji od jednego czynnika (napięcia) tembardziej, że reaktancja kabli w porównaniu

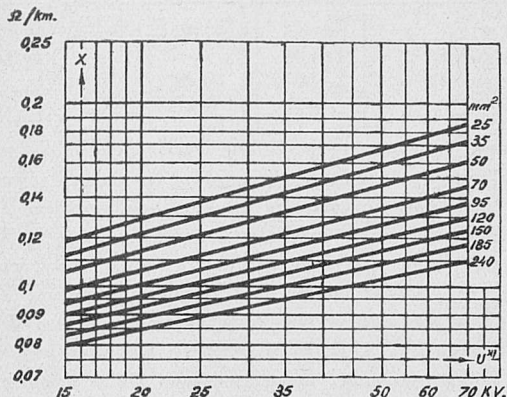


Rys. 4.

Reaktancja na km i fazę normalnego kabla trójfazowego w zależności od napięcia.

z reaktancją generatorów i transformatorów i przewodów napowietrznych jest nieznaczna.

Jak już poprzednio wspominałem, prąd uderzeniowy przy zwarciu trójbiegunowym i dwubiegunowym praktycznie jest tej samej wielkości, za-



Rys. 5.

Reaktancja na km i fazę trójfazowego kabla w wykonaniu „N” w zależności od napięcia.

leżny jest tylko od: napięcia roboczego, rozproszenia generatora i oporu obwodu zewnętrznego. Przy zwarciu na zaciskach generatora najwyższa amplituda uderzeniowego prądu zwarcia wynosić będzie

$$J_s = K \cdot \frac{100}{E_s} \cdot J_n \cdot \sqrt{2} \quad 4)$$

gdzie

- J_s — uderzeniowy prąd zwarcia w amp. max.,
- J_n — nominalny prąd w amp. skutecz.,
- E_s — rozproszenie pola magnetycznego stojana w %, która to wielkość stosownie do przepisów V. D. E. dla nowoczesnego generatora nie może być mniejsza od 12%,
- K — 1,8 wielkość stała, która ustalona została na mocy doświadczenia.

Jeżeli pomiędzy maszyną zasilającą a miejscem zwarcia znajdują się oporności, jak: transformatory, przewody, cewki dławikowe, to z powodu powiększenia się oporności w obwodzie uderzeniowy prąd zwarcia zmniejsza się. W tym wypadku prąd oblicza się według wzoru

$$J_s = K \cdot \frac{100}{E_s \left(\frac{\sqrt{(x_s + x_n)^2 + r^2}}{x_s} \right)} \cdot J_n \cdot \sqrt{2},$$

gdzie

- x_s — reaktancja rozproszenia stojana, która stosownie do poprzedniego oblicza się z równania

$$x_s = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot J_n} \cdot \frac{E_s}{100},$$

- x_n — reaktancja obwodu zewnętrznego,
- r — oporność omowa obwodu.

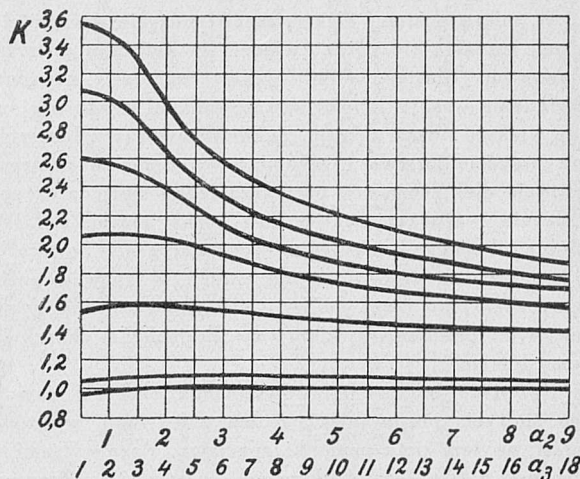
Jeżeli oporność omowa obwodu r jest mała, wzór przyjmie formę

$$J_s = K \cdot \frac{100}{E_s \left(1 + \frac{x_n}{x_s} \right)} \cdot J_n \cdot \sqrt{2} \quad 5).$$

4) R. Rüdenberg. Kurzschlussströme beim Betrieb von Grosskraftwerken.

5) Johann Waltjen. Schaltanlagen für Drehstromkraftwerken.

Przy obliczeniu ustalonego prądu zwarcia do normalnego wzoru wprowadza się współczynnik K_a , który uwzględnia każdorazowe przesunięcia faz pomiędzy prądem i napięciem przed nastąpieniem zwarcia.



Rys. 6.

Krzywe współczynnika zwarcia.

Współczynnik ten jest uzależniony od rodzaju zwarcia i dla trójbiegunowego i dwubiegunowego zwarcia jest różny. Wykres dla ustalenia tego współczynnika podany jest na rys. 6. Współczynnik ten otrzymuje się na podstawie wielkości stosunkowej wzbudzenia V i obliczeniowej wielkości oddalenia miejsca zwarcia. Stosunkowe wzbudzenie $V = \frac{A \cdot W}{A \cdot W_0} = \frac{\text{amperozwoje wzbudzenia przed zwarcie}}{\text{amperozwoje biegu jałowego}}$ oblicza się z wzoru

$$V = 1,08 + \left(4,45 \cdot \frac{E_s}{100} + \frac{1}{m_d'''} - 0,43 \right) \cdot F \cos \varphi^6),$$

gdzie funkcję $F \cos \varphi$ otrzymamy z tabelki:

$\cos \varphi$	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1
$F \cos \varphi$	1,00	0,91	0,86	0,80	0,72	0,60	0,30

Wielkość obliczeniowa oddalenia miejsca zwarcia

$$a = \frac{x_s + x_n}{x_s}$$

Ustalony prąd zwarcia przy zwarciu trójbiegunowym otrzymamy z wzoru

$$J_d''' = \frac{U}{\sqrt{3} (X_a + X_s + X_n)} \cdot K_{a3},$$

przy dwubiegunowym zwarciu z wzoru

$$J_d'' = \frac{U}{2 \left(\frac{X_a}{2} + X_s + X_n \right)} \cdot K_{a2}.$$

Przy zwarciu na zaciskach maszyny $x_n = 0$.

Wzory powyższe stosuje się do obwodów z przeważającą opornością indukcyjną. W znacznej większości wypadków mamy do czynienia z takimi obwodami elektrycznymi. (C. d. n.).

6) M. Walter. Selektivschutzrichtungen für Hochspannungsanlagen. R. Rüdenberg. Kurzschlussströme beim Betrieb von Grosskraftwerken.

Z DZIEDZINY ELEKTRYFIKACJI.

Produkcja energii elektrycznej w Polsce na tle kryzysu światowego.

W miarę postępu elektryfikacji spożycie energii elektrycznej rośnie się coraz więcej w kierunku poziomym i pionowym. Zastosowanie elektrycznej siły napędowej i oświetlenia wraz z innymi zastosowaniami prądu obejmuje coraz większe obszary kraju, jednocześnie zaś zelektryfikowane przedsiębiorstwa i gospodarstwa domowe rozszerzają zużycie elektryczności, przyłączając do sieci coraz nowe urządzenia i aparaty. Dlatego też coraz więcej, zwłaszcza w dobie obecnego przesilenia gospodarczego, powszechna uwaga zwrócona jest w stronę wahań w zużyciu energii elektrycznej, jako niezawodnego wskaźnika stosunków ekonomicznych przedewszystkiem w krajach o charakterze przemysłowym.

Rok 1929 był niemal powszechnie okresem największego spożycia prądu poza paroma państwami, w których działały na tem polu czynniki specjalne. Poza cyframi absolutnymi, bardzo interesującymi, niemniej ciekawe są zmiany produkcji w miarę rozwijającego się kryzysu, jak wskazuje poniższe zestawienie.

Wyprodukowano mianowicie w ważniejszych państwach w miliardach kWh:

Państwa	1928	1929	1930	1931
Belgia ¹⁾	3,62	4,03	4,1	—
Francja ²⁾	12,98	14,35	—	a
Italia ²⁾	8,67	9,75	9,94	9,75 ⁴⁾
Japonia ²⁾	12,04	{ 15,08 ¹⁾ 13,31	—	—
Kanada ²⁾	{ 17,33 ¹⁾ 15,93	17,63	17,86	—
Niemcy ¹⁾	—	30,66	29,0	25,0
Norwegia ¹⁾	8,5	10,0	—	—
Polska ¹⁾	2,59	3,02	2,865	2,5
Szwajcaria ¹⁾	5,3	5,52	5,46	—
Szwecja ¹⁾	—	4,967	5,117	—

¹⁾ Elektrownie publiczne i prywatne.

²⁾ Elektrownie publiczne.

³⁾ Większe elektrownie publiczne.

Państwa	1928	1929	1930	1931
U. S. A. ²⁾	87,85	97,35	95,94	91,7
W. Brytania ¹⁾	14,96	—	—	16,75
W. Brytania ³⁾	9,07	10,29	10,91	—
Z. S. R. R. ¹⁾	5,18	6,47	8,8	12,7 b)

Dane, dotyczące się produkcji poszczególnych państw, niestety są ujęte rozmaicie, jak widać z umieszczonych indeksów przy nazwach państw lub liczbach, pozatem za niektóre lata brak lub jeszcze niema pewnych danych. W każdym razie widać, że wierzchołek krzywej spożycia leży w roku 1929, wykazując po tym punkcie zwrotnym spadek mniej lub więcej zdecydowany. Wyjątek stanowią: W. Brytania, Kanada i Z. S. R. R. W Anglii i Kanadzie prawdopodobnie z tego powodu, że rozwijająca się w tych krajach elektryfikacja siłą pewnej bezwładności nie uległa szybkiemu zatamowaniu szczególnie na polu zastosowania elektryczności w gospodarstwach domowych, w Sowietach zaś wskutek bezwzględnie przeprowadzanego przez państwo pięcioletniego planu gospodarczego, wpływ którego trwa i nadal.

Przyjmując produkcję energii elektrycznej w r. 1929 za 100, otrzymamy następujące cyfry porównawcze dla poszczególnych państw:

Państwa	Elektrownie publiczne w r. 1929 miliar. kWh	1929	1930	1931
Belgia	4,03	100	102	—
Italia	9,75	100	102	99
Kanada	17,63	100	101	—
Niemcy	16,39	100	96	85
Polska	3,02	100	95,5	83
Szwajcaria	5,52	100	99	—
W. Brytania	10,29	100	106	110
U. S. A.	97,35	100	98	94
Z. S. R. R.	6,47	100	136	—

⁴⁾ Liczba przypuszczalna.

L. J.

a) spadek ok. 6% w stosunku do r. 1930.

b) Liczba przewidywana w planie pięcioletnim.

Z ŻYCIA ORGANIZACYJ.

STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH.

ODDZIAŁ LWOWSKI.

Protokół

z zebrania odczytowego Oddziału Lwowskiego S. E. P., odbytego dnia 2 maja 1932 r. w sali Polskiego Towarzystwa Politechnicznego przy ul. Zimorowicza 9.

Zebranie zagaja o godz. 18.30 Prezes Oddziału inż. Knaus, zapraszając p. inż. Pawła Jana Nowackiego do wygłoszenia odczytu p. t.:

„O wyłącznikach ekspansyjnych“.

Na wstępie wskazał prelegent na niebezpieczeństwa, grożące przy uszkodzeniach wyłączników olejowych, stwierdzając, że technika, szukając nowych dróg w budowie wyłączników na duże moce odłączalne, stworzyła zasadniczo 3 typy wyłączników, a mianowicie: wyłączniki „De-Ion“, wyłączniki powietrzne i wyłączniki ekspansyjne. Po opisa-

niu pierwszych 2 typów omówił szczegółowo wyłączniki ekspansyjne pod względem teoretycznym z uwzględnieniem procesów termo - dynamicznych oraz fizyki cząsteczkowej. Następnie ustalił kryterjum gaszenia łuków.

Podczas odczytu pokazał i objaśnił przy pomocy liczbnych przezrocz (ok. 50 sztuk) konstrukcję wyłączników ekspansyjnych dla napięć od 6000 — 200 000 V, w wykonaniu wewnętrznym i napowietrznym. Zwrócił także uwagę na stronę gospodarczą, przyczem omówił również konstrukcję nowych rozdzielni i przedstawił wykresy porównawcze kosztów rozdzielni z wyłącznikami ekspansyjnymi i olejowymi.

W dyskusji zabierali głos: przewodniczący inż. Knaus, prof. Krukowski, inż. Jasilkowski, poczem przewodniczący podziękował prelegentowi za wygłoszenie interesującego odczytu i zamknął posiedzenie.

TRZONY DO IZOLATORÓW NISKIEGO NAPIĘCIA**)

U w a g a: Wszelkie prawa przedruku zastrzeżone przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

I. WSTĘP.

§ 1. Zakres stosowania norm.

Normy niniejsze dotyczą trzonów do izolatorów niskiego napięcia prądu silnego PNE-32.

§ 2. Określenia ogólne.

a. Trzony dzielą się zależnie od ich kształtu na trzony: hakowate (haki) — oznaczenie TH i trzony proste — oznaczenie T.

b. Trzony hakowate (haki) i proste, każde z nich, dzielą się na dwa rodzaje: 1 i 2 zależnie od wielkości izolatorów, do których są przeznaczone.

c. Trzony proste, zależnie od wielkości dopuszczalnego naciągu, mogą być wykonane w dwóch odmianach: „a” i „b”.

d. Oznaczenia trzonów hakowatych (haków) są:

TH1 — do izolatorów N n 1.

TH2 — do izolatorów N n 2.

e. Oznaczenia trzonów prostych są:

T1a lub T1b (zależnie od naciągu) do izolatorów N n 1.

T2a lub T2b (zależnie od naciągu) do izolatorów N n 2.

§ 3. Przeznaczenie i dopuszczalne obciążenie trzonów podaje tablica I dla trzonów hakowatych, tablica II dla trzonów prostych.

*) Wszelkie wnioski i uwagi do powyższego projektu należy nadsyłać pod adresem Stowarzyszenia Elektryków Polskich ul. Czackiego 3 m. 3 do dnia 1 listopada 1932 roku.

**) Opracowane przez Komisję VIII-mą Izolatorów i Napięć (Podkomisja Trzonów) Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Tablica I.

Znak PNE	Siła dopuszczalna		Do izolatorów
	Pozioma P kg ¹⁾	Pionowa Q kg ¹⁾	
TH1	125	100	N n 1
TH2	80	70	N n 2

Tablica II.

Znak PNE	Wyko- nanie	Siła dopu- szczalna P kg ¹⁾	Do izola- torów
T1a	a	140	N n 1
T1b	b	610	
T2a	a	75	N n 2
T2b	b	300	

§ 4. Oznaczenia katalogowe.

Dla określenia rodzaju trzona wytwórca powinien podawać w katalogu oznaczenie trzonów według § 2 p. „d” i „e”.

§ 5. Znakowanie.

Wytwórnice mogą uzyskać uprawnienie do znakowania wyrabianych przez siebie trzonów Znakiem Przepisowym, skoro znak taki będzie ustanowiony, o ile upoważnienie na używanie znaku zostanie uzyskane przez wytwórcę w sposób przewidziany w odpowiednim regulaminie.

II. WYMAGANIA OGÓLNE.

§ 6. Materiał.

Trzony winny być wykonane ze stali F 38, odpowiadającej warunkom odbioru PN/G-998²⁾).

§ 7. Wykonanie.

a) Trzony winny być wykonane z jednolitego kawałka stali.

b) Płaszczyzna przylgowa kołnierza w trzonach prostych ma być gładka i prostopadła do osi trzona.

c) Gwint do drzewa na trzonach hakowatych (hakach) może być wykonany drogą walcowania na gorąco lub też narzynania i winien odpowiadać Polskim Normom.

d) Trzony proste mają posiadać gwint Whitworth'a według PN/G-240.

¹⁾ przy naprężeniu 1 600 kg/cm².

²⁾ PN — „Polskie Normy” ustalone przez Polski Komitet Normalizacyjny.

e) Do trzonów prostych stosuje się nakrętki sześciokątne surowe o wymiarach według PN/G-924 oraz podkładki według PN/G-602.

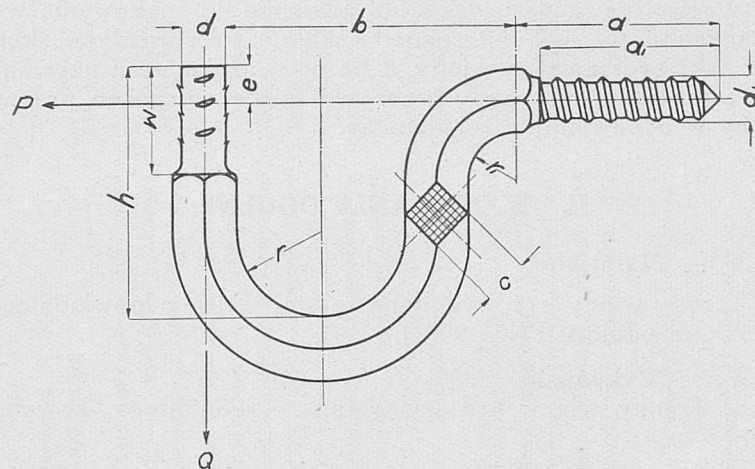
f) Trzony winny być zabezpieczone przed rdzewieniem np. przez pomalowanie. Część nagwintowana winna być tylko natłuszczona.

§ 8. W razie wątpliwości, czy trzony odpowiadają wymaganiom niniejszych norm, rozstrzygają powołane do tego probiernie według PN/G-999.

III. WYMIARY TRZONÓW.

Trzony hakowate (haki).

Wymiary w mm.



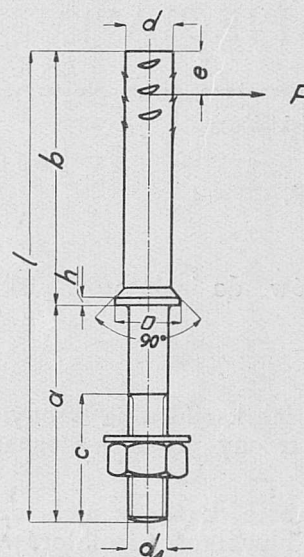
Tablica III.

Znak PNE	a	a ₁	b	c	d	d ₁	e	h	r	r ₁	w	Do izolatorów
TH 1	85	75	120	19	19	3/4"	16	105	35	20	45	N n 1
TH 2	75	65	100	16	16	5/8"	13	100	30	15	38	N n 2

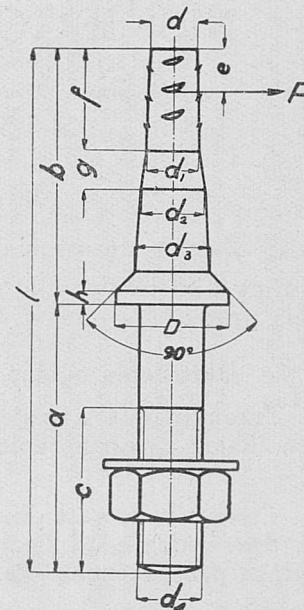
Trzony proste

Wymiary w mm.

Wykonanie „a”



Wykonanie „b”



Tablica IV.

Znak PNE	Wyko- nanie	a	b	c	D	d	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	e	f	g	h	l	Do izola- torów
T 1a	a	85	100	50	26	19	—	—	—	5/8"	17	—	—	5	185	Nn1
T 1b	b	105		65	45		21	27	30	1"		40	15	5	205	
T 2a	a	85	95	60	26	16	—	—	—	1/2"	13	—	—	3	180	Nn2
T 2b	b	100			35		16	19	24	3/4"		30	10	4	195	

U w a g a: Długość części nagwintowanej (wymiar „c”) może być zmieniona zależnie od konstrukcji poprzecznika.

B I B L I O G R A F J A.

Momento d'Electrotechnique par A. Curchod. *Licencié es sciences, ingénieur E. S. E., directeur technique de la „Revue Générale de l'Electricité“.* prof. à l'Ecole d'Electricité et Mécanique industrielles. Tom I. *Electricité et magnétisme. Formules et tables — Lois fondamentales — Mesures. Constantes.* XVI—526 str. 13×21 cm, 182 fig. 1932 r. 90 F. Wydawca Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris (VI^e).

Kieszonkowy podręcznik elektrotechniki prof. A. Curchod'a pomyślany został jako dzieło dość obszerne w czterech tomach, z których narazie ukazał się tom pierwszy.

Zawiera on podstawy elektrotechniki; w t. II mają być podane wiadomości o maszynach elektrycznych i przyrządach, w t. III — wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej, a t. IV — zastosowanie energii elektrycznej: oświetlenie, napęd, ciepło, elektrochemia, telefonia i telegrafia i promienie Röntgena.

Układ pierwszego tomu jest bardzo przejrzysty, treść zawiera dużo szczegółów, które mogą się przydać technikowi, pracującemu w najróżnorodniejszych dziedzinach. W rozdziale pierwszym znajdujemy tablice i wzory z dziedziny

matematyki, mechaniki oraz definicje jednostek i wielkości geometrycznych, mechanicznych, elektrycznych, magnetycznych, cieplnych i świetlnych. Podstawy elektrotechniki są ujęte w rozdziale pod tytułem „Phénomènes électriques et magnétiques“. Najszerzej przedstawione są prawa makroskopowe, które zdaje się są już ustalone ostatecznie i mogą być uznane za nienaruszalne. W końcu rozdziału podane są krótkie wiadomości z teorii budowy materji i współczesnych uśiloowań sformułowania praw, rządzących zjawiskami, odbywającymi się w świecie elektronów i protonów. Dalej mamy specjalny dział, poświęcony miernictwu elektrycznemu, gdzie są omówione podstawy różnych metod pomiarowych, stosowanych do elektryczności i magnetyzmu. Ostatni rozdział został przeznaczony na przedstawienie mechanicznych, cieplnych, elektrycznych i magnetycznych własności zasadniczych materiałów, stosowanych w elektrotechnice. Liczbowe dane musiały być nieraz podane chwiejnie, wobec wielkiej różnorodności materiałów, mających tę samą nazwę, pewne granice jednak, w których tablice są zawarte, będą często bardzo cenną wskazówką w praktyce.

M. P.

S Z K O L N I C T W O.

Kurs dla elektromonterów Łódzkiego Towarzystwa Kursów Technicznych w Łodzi w bieżącym roku szkolnym.

Prowadzony od roku szkolnego 1929/30 przez Łódzkie Towarzystwo Kursów Technicznych (Ł. T. K. T.) w Łodzi kurs dla elektromonterów przejęty został w roku 1929 przez powyższe T-wo od Łódzkiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Pierwotny program nauczania został przytem rozszerzony, przyczem nad programem tym czuwa obecnie Łódzkie Stowarzyszenie Elektryków w osobie komisji, w skład której wchodzi inżynierowie pp. Cz. Dąbrowski, W. Kopczyński, Z. Rau i H. Wendt.

Kurs dla elektromonterów jest kursem rocznym; każdy z wykładanych na Kursie przedmiotów ma ściśle wyznaczoną liczbę godzin, przyczem po zakończeniu wykładów odbywają się z danego przedmiotu egzaminy. W bieżącym roku szkolnym wykładane są na kursie następujące przedmioty: elektrotechnika — 74 godz., obliczenia elektryczne — 44 godz., przepisy bezpieczeństwa — 20 godz., maszyny elektryczne i transformatory — 42 godz., instalacje wysokiego napięcia, projektowanie instalacji elektrycznych — 21 godz., ćwiczenia pomiarowe — 39 godz., kalkulacja kosztów instalacji elektrycznych — 12 godz., materiałoznawstwo — 18 godz. i prawoznawstwo — 12 godz. Wykładowcami na Kursie dla elektromonterów są przeważnie inżynierowie elektrowni w Łodzi. Kurs korzysta z pomocy naukowych oraz bogato wyposażonych pracowni Państwowej Szkoły Włókienniczej w Łodzi, w gmachu której odbywają się wykłady i ćwiczenia; wydatnie ułatwia pracę Kursowi na terenie powyższej Szkoły kierownik jej wydziału elektrycznego, a jednocześnie wykładowca Kursu p. inżynier L. Temerson.

Słuchacze Kursu dla elektromonterów Łódzkiego To-

warzystwa Kursów Technicznych rekrutują się z pośród elektromonterów, posiadających co najmniej pięcioletnią samodzielną praktykę elektromonterską; wymagane jest od kandydatów świadectwo z ukończenia 7 kl. szkoły powszechnej. Pożądane jest poza tem ukończenie 3 letniej szkoły dokształcającej wieczorowej dla elektryków; przyjmowani są słuchacze bez egzaminów wstępnych, przyczem przeciętny wiek kandydatów na Kurs wynosi ok. 25 l. Słuchacze Kursu wykazują naogół duże zainteresowanie nauką i odznaczają się pilnością w pracy. Odbywający się w bieżącym roku szkolnym Kurs jest trzecim z kolei kursem prowadzonym przez Łódzkie T-wo Kursów Technicznych.

W bieżącym roku szkolnym przyjęto na Kurs dla elektromonterów 19 osób wobec 32 w ubiegłym roku szkolnym. Ukończyło Kurs w ubiegłym roku szkolnym 23 słuchaczy.

Dane dotyczące frekwencji oraz ilości wydanych na dowód ukończenia Kursu w roku szkolnym 1929/30 świadectw przedstawiają się jak następuje: przyjęto na Kurs 35 osób, ukończyło Kurs 24 osoby.

Co się tyczy wreszcie wahań we frekwencji uczęszczających na Kurs dla elektromonterów w związku z kryzysem gospodarczym, jaki Łódź przechodzi w silnym stopniu, to — według łaskawie nam udzielonych przez Dyrektora Łódzkiego T-wa Kursów Technicznych p. M. Bogdanowicza informacji — spadek frekwencji w bieżącym roku szkolnym tłumaczyć raczej należy wyczerpaniem się kontyngentu pragnących uzupełnić swą wiedzę fachową starszych wiekiem elektromonterów na terenie Łodzi. Ze względu bowiem na to, że słuchacze Kursu rekrutują się, jak dotychczas, w większej części z pracowników elektrowni Łódzkiej oraz większych zakładów przemysłowych — spadku frekwencji w związku z bezrobociem, jakoteż innych objawów powyższego oczekiwać w tych warunkach nie należy. (n.).

Z RUCHU I WYTWÓRNI.

Oleje izolacyjne.

W zeszytce 4-ym na str. 78 oraz na str. 325 wszczęta jest nadzwyczaj ciekawa dyskusja w sprawie olejów izolacyjnych. Wobec wielkiego znaczenia zagadnienia olejowego w budowie wyłączników i transformatorów na wyższe napięcia i większą moc, oświetlenie danej kwestji z rozmaitych punktów widzenia jest bardzo wskazane.

Poniżej pragnę podać kilka argumentów za jednym gatunkiem oleju. W kwestji jednego czy dwóch gatunków oleju decydować będzie w wielkiej mierze cena a właściwie różnica cen obu gatunków oleju. Przyjmując, że mamy do wyboru dwa gatunki oleju o nieznacznej różnicy w cenie i o różnych w przybliżeniu własnościach, z wyjątkiem punktu krzepnięcia, jasne jest, że życie zmusi nas do stosowania jednego gatunku o niższym punkcie krzepnięcia. Będzie to miało miejsce w elektrowniach, posiadających pewną ilość transformatorów i wyłączników, ustawionych w stacjach zewnętrznych na wolnym powietrzu lub też w kioskach ulicznych, wykonanych naprz. z blachy. Do tej normalizacji zmusi nas oszczędność kapitału, wkładanego w olej, posiadany na składzie. Transformatory większej mocy, ustawiane w budynkach, są dziś często wykonywane w ten sposób, że mogą być również ustawiane pod gołym niebem. Koszt izolatorów oraz koszt wykonania dla pracy zewnętrznej nie wpływa tak silnie na cenę tych transformatorów. Posiadanie takich transformatorów zmniejsza znacznie koszt rezerwy w transformatorach. Kierownictwu sieci dobrze wiadomo, jak często zachodzi potrzeba przestawiania transformatorów z jednego miejsca na inne. Taki „kontredans transformatorowy” jest racjonalny, gdyż pozwala na przenoszenie obciążenia p.g. chwilowych potrzeb, przy mniejszej ilości transformatorów rezerwowych. Jeśliby zachodziła potrzeba przestawiania jednostek mniejszych, to lepiej posiadać jeden gatunek oleju, niż dwa. Posiadanie dwóch gatunków oleju wymaga przeprowadzenia spisu rodzajów olejów w transformatorach oraz zmiany oleju przy przenoszeniu transformatorów z budynku na zewnątrz, co jest niepotrzebnym utrudnieniem.

Nawet przy dość znacznej różnicy w cenie względu na pieniądze będą przemawiały za stosowaniem jednego gatunku oleju. Jeśliby jednakże olej o wyższym punkcie krzepnięcia był znacznie tańszy, to jest oczywiste, że ścisła kalkulacja w poszczególnych wypadkach będzie jedynie miarodajną, czy mamy stosować jeden czy dwa gatunki oleju. W przeciwnym wypadku olej o wyższym punkcie krzepnięcia znajdowałby chętnych nabywców, gdyby posiadał jakieś wybitne cechy łatwo ujawnione. Niestety, zalet olejów parafinowych nie wykazują próby laboratoryjne i inż. Gryff-Chamski nazywa błędem wnioskowanie o wartości oleju na zasadzie wyników próby laboratoryjnej. Otóż

próby te są to próby, które może powtórzyć i sprawdzić każdy rozporządzający laboratorium olejowym, podczas gdy próby praktyczne z zachowaniem się olejów w ciągu kilku lat w transformatorach są bardzo trudne do wykonania i mogą dawać wyniki bardzo rozbieżne. Wyniki prób takich będą zależały od wielu czynników, trudnych do uzgodnienia.

Dwa transformatory z dwoma gatunkami olejów muszą być możliwie ściśle jednakowej konstrukcji, ze ściśle jednakowymi kanałami chłodzącymi między uzwojeniami. Deformacje tych kanałów przy wysuszaniu się uzwojeń oraz zatykanie przez osad muszą być możliwie podobne. Poza tem transformatory muszą przez cały czas próby posiadać możliwie jednakowy dopływ świeżego tlenu, co wymaga utrzymania możliwie równej szczelności kadzi transformatorów. Temperatura gorących punktów w obu transformatorach musiałaby być możliwie równa, co jest trudne do zachowania przy wyższej temperaturze oleju, t. j. przy niezbędnym przeciążeniu transformatorów. Utrzymanie stale równego obciążenia nawet przy pracy równoległej nie jest łatwe. Powyższe względy skłaniają nas do opierania swych wniosków o wartości oleju raczej na „błędnej” drodze laboratoryjnej, niż na niepewnej drodze praktycznej w transformatorach.

Jeśli więc wyższa cena oleju parafinowego jest oparta na tak trudnych do określenia podstawach, to oczywiście będziemy stosowali tańsze naftenowe o niższym punkcie krzepnięcia. Dotknąłem tu tak drażliwej sprawy, jaką jest cena dlatego, że póki cena oleju parafinowego będzie wyższa od naftenowego, to wszelka dyskusja w sprawie jednego czy dwóch gatunków oleju będzie czysto teoretycznym sporem. Wspomnę, że jeszcze przed czterema laty za jedynie dobry był poczytywany u nas olej amerykański lub rosyjski. M. Vidmar w książce: „Der Transformator im Betrieb”, na str. 298 pisze: „Russische Oele waren vorzüglich. Auch amerikanische Oele sind gut. Galizische und rumänische Transformatoren-Oele haben sich indessen weniger bewährt. Es kann nicht genug empfohlen werden nur erstklassige Oele für Transformatorenbetrieb zu verwenden”. Obecnie zaś znany mi jest wypadek, gdy transformator jednej z pierwszorzędných niemieckich wytwórni miał być poddawany próbie na przebiecie na miejscu w elektrowni, na co ta wytwórnia tylko z trudem się zgodziła przy bardzo uciążliwych warunkach. Wytwórnia ta poleciła napełnić transformator 3000 kVA, 30 kV olejem polskim naftenowym.

W końcu pozwolę sobie nadmienić, że zasługą Dyrekcji „Gródka” oraz Dr. St. Namysłowskiego jest to, że wykazali oni, że oleje polskie nie ustępują w niczem amerykańskim, a dziś te oleje znajdują taką samą ocenę u obcych.

W. Kopczyński.

