

63 H 1271 II

Biblioteka
Politechniki
Wrocławskiej

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU MASZYN ELEKTRYCZNYCH
CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU KABLOWEGO

ROK XXVIII

ZESZYT 8

21.VIII.1952

W Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej władza należy do ludu pracującego miast i wsi
Konstytucja, art. 1

Do wielkiej księgi dziejów Polski wpisana została nowa zwycięska i pełna chwały karta — Konstytucja Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej.

Konstytucja Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej jest wcieleniem dążeń szeregu pokoleń, jest zabezpieczeniem rzeczy najdroższej sercu każdego Polaka — Ojczyzny Wolnej i Niepodległej, kwitnącej i sprawiedliwej.

Nie była daremna ciężka i długa walka naszych ojców, niedaremne były krew i znoj tych, którzy za wolność i zwycięstwo ludu polskiego oddali swe życie. Przynoszą i przynosić będą w coraz większym stopniu obfity plon praca i wysiłki całego dzisiejszego pokolenia przodowników i budowniczych Polski Ludowej.

Zadaniem naszego pokolenia jest znieść raz na zawsze podział ludzi na klasy, a droga do tego jest tylko jedna: rozwijać coraz wyżej gospodarkę społeczną i budować socjalizm.

Budujemy Polskę, budujemy socjalizm jako lepszy i sprawiedliwszy ustrój społeczny.

Spisowym, niezniszczalnym fundamentem socjalizmu jest nasz plan 6-letni, plan uprzemysłowienia i przebudowy gospodarczej. Jest to plan, który postawi gospodarkę narodową na poziomie współczesnych wymagań, zabezpieczy moc obronną kraju, stworzy podstawy dla coraz szybszego i pełniejszego zaspokojenia materialnych i kulturalnych potrzeb społeczeństwa.

Wielkim i najwznioślejszym zadaniem naszego pokolenia jest walka o to, aby nauka i wiedza miały jak najbardziej wolny i wszechstronny dostęp do umysłów wszystkich ludzi, aby prawda zatryumfowała nad oszustwem, aby myśl ludzka rozwijała się twórczo bez wszelkich przeszkód, aby wyzwalając lud pracujący z wyzysku dopomagać mu również do wyzwolenia z odwiecznej niewoli przesądów i niewiedzy.

Konstytucja Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej będzie tarczą i orężem naszego narodu w walce o rozkwit i świetność naszej Ojczyzny.

B. BIERUT

II Kongres Inżynierów i Techników Polskich — Wrzesień 1952 r. — Katowice.
Inżynierowie i technicy w szeregach Narodowego Frontu walki o Pokój i Socjalizm

SPIS RZECZY

Niewiadomski C. Możliwości oszczędzania metali nieżelaznych w przemyśle kabli i przewodów.

Mroczkowski Z. Zagadnienie oszczędności metali nieżelaznych przy budowie elektrowni i podstacji.

Rybicki Z. Samoczynna regulacja napięcia maszyn elektrycznych.

Berson L. Podstawy konstrukcji żarówek.

Szumilin W. Zagadnienia przewodowe w liniach najwyższych napięć.

Komunikaty SEP.

Biuletyn Instytutu Elektrotechniki:
Prototyp luksomierza obiektywnego.

Preszpan elektrotechniczny z dodatkiem celulozy słomowej.

Solenoidy hamulcowe tramwajowe.

Wydawnictwa nadesłane.

Przegląd Bibliograficzny Elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

Невядомский Ц. Возможности экономии нежелезных металлов в кабельной промышленности.

Мрочковский З. Вопросы экономии нежелезных металлов при постройке электрических станций и подстанций.

Рыбичий З. Автоматическое регулирование напряжения электрических машин.

Берсон Л. Основы конструкции ламп накаливания.

Шумилин В. Проблемы в области проводов для линий весьма высоких напряжений.

Сообщения О.П.Э.

Бюллетень Электротехнического Института:

Прототип объективного люксометра.

Электротехнический прессшпан с примесью соломенной целлюлозы.

Трамвайные тормазные соленоиды.

Поступившие публикации.

Библиографический Обзор Электротехники.

CONTENTS

Niewiadomski C. Opportunities for effecting savings in non-ferrous metals in the electric cable and conductor industry.

Mroczkowski Z. The problem of non-ferrous metals economy in electric plant and substation equipment.

Rybicki Z. Automatic voltage regulation in electric machines.

Berson L. Principles of electric lamp design.

Szumilin W. Conductor problems for very high tension lines.

Notes of the P.A.E.E.

Bulletin of the Electrotechnical Institute:

Prototype of an objective luxmeter. Electrical presspahn containing straw cellulose.

Tramway brake solenoids.

Publications received.

Electrotechnical Bibliography Review.

BIBLIOTEKI NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

I. BIBLIOTEKA GŁÓWNA, Warszawa, Czackiego 3/5, posiada:

a) czytelnię czasopism, obejmującą 1400 czasopism technicznych;

b) bibliotekę podręczną z działami: encyklopedii (450 tomów), słowników (150 tomów), podręczników podstawowych (550 tomów);

c) księgozbiór (10.000 tomów), obejmujący wydawnictwa techniczne, techniczno-gospodarcze i literaturę marksistowską.

Biblioteka uzupełnia stale swój księgozbiór wszelkimi nowymi publikacjami technicznymi polskimi i zagranicznymi, jak również wydawnictwami antykwarycznymi.

Biblioteka i czytelnia czynne są codziennie w dni powszednie w godzinach 9—19.

II. BIBLIOTEKI ODDZIAŁOWE w następujących miastach:

Białystok	Gliwice	Lublin	Poznań
Bydgoszcz	Katowice	Łódź	Rzeszów
Częstochowa	Kielce	Olsztyn	Szczecin
Gdańsk	Kraków	Płock	Wałbrzych
			Wrocław

są zaopatrzone w literaturę techniczną — polską i zagraniczną;

posiadają księgozbiory, obejmujące wydawnictwa techniczne i gospodarcze, ogólnotechniczne i specjalne oraz literaturę marksistowską;

są dobrze zaopatrzone w techniczne czasopisma polskie i zagraniczne, w szczególności radzieckie.

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU MASZYN ELEKTRYCZNYCH
CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU KABLOWEGO

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki. — Redaktorzy działowi inżynierowie: Stanisław Andrzejewski, Janusz Gni-
ewski, Leszek Zienkowski, Tadeusz Żarnecki.

Rok XXVIII

Warszawa, 21 sierpnia 1952 r.

Zeszyt 8

MGR INŻ. CYRYL NIEWIADOMSKI

Możliwości oszczędzania metali nieze- laznych w przemyśle kabli i przewodów

621.312+621.315.2:339.4:669.011.9

Treść. Omówiono możliwości oszczędzania metali nieżelaznych w przewodach elektroenergetycznych i teletechnicznych gołych, przewodach jezdnych, szynach rozdzielczych, przewodach izolowanych oraz kablach energetycznych i teletechnicznych. Podano szereg przykładów i środków oszczędzania, zwłaszcza miedzi i ołowiu.

Возможности экономии нежелезных металлов в кабельной промышленности. Обсуждаются возможности сбережения нежелезных ме-
таллов в голых энергетических и телетехнических проводах, в контактных проводах, в распределительных шинах, в изолированных проводах, в энерге-
тических и слоботочных кабелях. Дается ряд примеров и способов экономии нежелезных металлов — в особенности меди и свинца.

Opportunities for effecting savings in non-ferrous metals in the electric cable and conductor industry. The author deals
with the possibilities of effecting savings in non-ferrous metals in bare power and telecommunication conductors, trolley wires,
bus bars, as well as in insulated conductors, power and telecommunication cables. A number of instances and means of
effecting savings, particularly in copper and lead, are quoted.

Jakkolwiek nasz przemysł kabli i przewodów może wy-
kazać się już teraz bardzo znacznymi osiągnięciami w
dziedzinie oszczędności metali nieżelaznych, uzyskanymi
po drugiej wojnie imperialistycznej, a mianowicie wpro-
wadzeniem kabli i przewodów z żyłami aluminiowymi,
uruchomieniem produkcji kabli teletechnicznych oraz ka-
belków instalacyjnych w powłoce z igielitu, zmniejsze-
niem grubości płaszczy kabli teletechnicznych i silno-
prądowych, wyeliminowaniem cynowania żył miedzianych
i wielu innymi, nie należy uważać w chwili obecnej za
zakończoną walki z używaniem metali nieżelaznych w tym
przemysłe tam, gdzie można ich uniknąć. Istnieją bo-
wiem nowe, dodatkowe możliwości oszczędzania, które
pozwolą na dalsze zmniejszenie zużycia metali nieze-
laznych w przemysłe kabli i przewodów, który jest jed-
nym z największych użytkowników tych metali.

Drogi, zmierzające do tego ważnego celu, są różno-
rodne. Jedna z nich, na przykład, zależna wyłącznie od
użytkowników kabli i przewodów, powinna zmierzać do
podwyższenia obciążalności kabli, a tym samym zmniej-
szenia ich zapotrzebowania, co jest obecnie przedmiotem
daleko posuniętych prac specjalnej komisji w ramach
zadań Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Inne drogi,
zależne wyłącznie od wytwórcy, powinny zmierzać na-
tomiast do bezpośredniego zmniejszenia przez niego zuży-
cia metali nieżelaznych przez wprowadzanie materiałów
mniej deficytowych i zmiany konstrukcyjne, względnie
przez stosowanie dolnych odchyłek wymiarowych lub
właściwej technologii produkcji, co właśnie jest przed-
miotem rozważań niniejszego artykułu.

Przewody elektroenergetyczne
gołe. Jedyną poważną możliwością oszczędzenia me-
tali nieżelaznych w tych przewodach, jaka pozostała
obecnie po prawie całkowitym wyeliminowaniu linii ener-
getycznych miedzianych oraz po wprowadzeniu zamiast
nich linii aluminiowych, stalowo-aluminiowych oraz al-
drejowych, jest zastosowanie linii z ocynkowanych dru-
tów stalowych. Zastosowanie stopów cynku do linii
energetycznych nie może wchodzić w rachubę, ponieważ
materiały te mają małą wytrzymałość na pełzanie, wy-
wołującą niedopuszczalne zwisy przewodów przy ekono-
micznie opłacalnych długościach przęseł.

Możliwości stosowania linii stalowych opierają się
przede wszystkim na dobrych własnościach wytrzymało-
ściowych stali (R_r — 65 do 70 kG/mm²), jej niskiej cenie
oraz „niedeficytowości“, do produkcji bowiem linii sta-
lowych bynajmniej nie jest racjonalne stosowanie żelaza
armco, które pod względem własności elektrycznych jest
gorsze od zwykłej stali niskowęglowej o zawartości
0,07—0,11% C, max. 0,5 % Mn, max. 0,045 % P, max.

0,05% S i max. 0,08% Si, z ewentualnym dodatkiem
0,2—0,4% miedzi dla polepszenia o 40—50% odporności na
korozję stali [1, 2, 3]. Możliwości stosowania tych linii
są jednak ograniczone ze względu na dużą oporność wła-
ściwą stali — 7 do 8 razy większą niż miedzi — oraz ze
względu na straty na histerezę i naskórkowość przy prą-
dzie zmiennym, co jest związane ze stratami energetycz-
nymi i spadkiem napięcia w linii.

Pomimo takich ograniczonych możliwości stosowanie
linii stalowych o przekroju znamionowym 16—95 mm²
jest całkowicie opłacalne w szeregu przypadków, jak np.
w sieciach elektryfikacyjnych wiejskich, gdzie stosowanie
przewodów z metali nieżelaznych nie byłoby racjonalne
wobec małego obciążenia tych linii oraz wobec małego
spółczynnika wyzyskania mocy zainstalowanej. Również
właściwe jest stosowanie linii z metali nieżelaznych do
wszelkiego rodzaju linii prowizorycznych (na budowach,
w barakach itp.) oraz do przyłączy napowietrznych.

W przypadku wprowadzenia na szerszą skalę linii sta-
lowych nie byłby także obojętny problem gatunku cynku,
stosowanego do ocynkowania drutów, podobnie jak nie
jest obojętny ten problem już w chwili obecnej dla dru-
tów stalowych warstwy wewnętrznej w linkach stalowo-
aluminiowych. Zgodnie bowiem z normą PN/E-103 oraz
niesłuszną opinią większości energetyków dla drutów sta-
lowych wymaga się teraz niepotrzebnie ocynkowania
cynkiem elektrolitycznym, gdy do tego celu wystar-
cza najzupełniej cynk hutniczy przetopiony Zn 98,6
Raf według normy PN/H-82200, zawierający do 1,2% Pb,
do 0,2% Cd i do 0,03% Fe, o czym świadczą wyniki ba-
dań, przedstawione w tabl. I i II [5], jak również wszy-
stkie normy zagraniczne, które albo nie określają gatunku
cynku do cynkowania (GOST 5800-51 i GOST 833-41),
albo zezwalają na stosowanie cynku hutniczego (VDE
0210/I 47, ASA G8-11-1944, CSN ESC 48-1948, CSN ESC
178-1948 i inne). Stanowisko takie należy uważać za cał-
kowicie słuszne, gdyż z badań wynika, że w przypadku
właściwej jakości ocynkowania gatunek cynku, stosowa-
nego do cynkowania drutów stalowych, nie ma, praktycz-
nie biorąc, żadnego znaczenia dla odporności ich przeciw
korozji czynników atmosferycznych; na tę korozję ma
nieporównanie większy wpływ rodzaj atmosfery, niż za-
wartość zanieczyszczeń w cynku.

Nie należy wreszcie zapominać, iż stosunkowo duże
oszczędności materiału można uzyskać przez stosowanie
największych skoków skrętu linii oraz dolnych odchyłek
wymiarowych drutu, co w sposób poglądowy dla linii
aluminiowych przedstawia tabl. III, opracowana przez
Centralne Biuro Konstrukcji Kablowych.

Przewody teletechniczne gołe. Szczególnie duże możliwości oszczędzania metali nieżelaznych istnieją przy stosowaniu przewodów teletechnicznych gołych, które obecnie produkuje się wyłącznie z brązów przewodowych (przeważnie stopów miedzi z cyną i kadmem).

Tablica I. Wpływ zanieczyszczeń cynku na korozję czynników atmosferycznych (wg Pattersona)

Rodzaj i zawartość zanieczyszczeń	Strata na ciężarze wskutek korozji (mg/dm ²)			
	po 130 dniach	po 230 dniach	po 310 dniach	po 380 dniach
Cynk czysty	6,69	30,53	47,58	49,91
Cynk + 0,98% Cd	5,37	34,10	45,88	55,80
„ + 1,78% Fe	7,20	32,08	46,50	53,63
„ + 1,95% Pb	4,80	27,43	40,92	49,91
„ + 1,22% Cu	11,08	35,03	48,36	55,18
„ + 0,88% Sb	11,70	36,73	51,92	56,73

Ten stan rzeczy w teletechnice, bez przesady mówiąc — zaoferowany, winien ulec możliwie jak najszybszej i radykalnej zmianie, ponieważ na przewody, od których wymaga się — ze względu na obciążenie mechaniczne —

Tablica II. Odporność na korozję czynników atmosferycznych blachy ocynkowanej cynkiem elektrolitycznym i hutniczym (wg Hudsona)

Rodzaj atmosfery	Strata ciężaru w rozmaitej atmosferze (mg/cm ² · dzień)	
	Blacha ocynkowana cynkiem elektrolitycznym	Blacha ocynkowana cynkiem hutniczym
Rejon wiejski	0,585	0,575
„ podmiejski	0,985	0,94
„ miejski	1,88	1,94
„ przemysłowy	1,32	1,29
„ nadmorski	0,99	1,04

dużego przekroju i wysokich własności wytrzymałościowych przy stosunkowo małej przewodności, nie potrzeba stosować w większości przypadków brązu przewodowego. Materiał ten można z powodzeniem zastąpić bimetalem Cu-Fe o zawartości miedzi 30 lub 40%, stalą niskowęglową ocynkowaną lub aldrejem, stosowanymi na dużą skalę w innych krajach, o czym świadczą liczne dane sta-

tystyczne oraz normy zagraniczne (np. w Szwajcarii zastosowano do końca 1947 r. ok. 2200 ton aldreju dla linii teletechnicznych).

Przewody jezdne. W dziedzinie przewodów jezdnych istnieją przede wszystkim możliwości zastąpienia drutów miedzianych profilowych drutami bimetalowymi stalowo-aluminiowymi [6], które, jak wykazały wstępne doświadczenia eksploatacyjne w kraju, posiadają znacznie większą trwałość, niż druty miedziane [7]. Na razie jednak zastosowanie ich należy ograniczyć do trakcji tramwajowej i trolejbusowej, ponieważ zastosowanie w trakcji kolejowej musi być naprzód sprawdzone doświadczalnie. W trakcji kolejowej mogłyby natomiast znaleźć bez trudu zastosowanie druty jezdne bimetalowe stalowo-miedziane z rdzeniem stalowym, których produkcja w kraju jest jednak dotychczas nie wprowadzona.

Zastosowanie stali do przewodów jezdnych zasługuje poza tym na uwagę w przypadku przewodów jezdnych suwnicowych, które można wykonywać z profili stalowych zamiast z miedzi. Jakkolwiek opór tego rodzaju przewodów jest bardzo duży, zwłaszcza przy prądzie zmiennym, wysokie własności wytrzymałościowe, dobra odporność na ścieranie i łatwy montaż wyrównują braki, wynikające z wysokiego oporu elektrycznego [1].

Szyny rozdzielcze. Obliczenia szyn na obciążenia dynamiczne przy zwarciach wskazują, że przekrój szyn miedzianych i aluminiowych jest przeważnie nie całkowicie wykorzystany pod względem elektrycznym, na szyny rozdzielcze można przeto z powodzeniem stosować inne materiały, jak na przykład szyny bimetalowe stalowo-miedziane, szyny stalowe, szyny ze stopów cynku lub nawet szyny z magnezu.

Pod względem możliwości dużego oszczędzania metali nieżelaznych najbardziej interesujące są, oczywiście, szyny stalowe, których stosowanie komplikuje się jednak wskutek zjawiska naskórkowości; w związku z tym zjawiskiem szyny o grubości powyżej 2—3 mm trzeba wykonywać z szeregu elementów, połączonych śrubami. Lepsze pod tym względem są szyny bimetalowe stalowo-miedziane (50/50%), których granica sprężystości na zginanie wynosi 20—30 kG/cm², wytrzymałość na rozciąganie 28 do 35 kG/mm², a wydłużenie 14 do 25% [8], oraz szyny ze stopu Zn-Fe. Tych ostatnich nie można jednakże uważać jako pełnowartościowy materiał zamienny, gdyż przewodność i własności wytrzymałościowe stopu cynku są znacznie gorsze, niż aluminium, a tym bardziej miedzi.

Przewody instalacyjne izolowane silnoprowądowe. Jakkolwiek w produkcji tych przewodów uzyskano już w przemyśle kablowym poważne zaoszczędzenie metali nieżelaznych dzięki wprowadzeniu — jako izolacji — gumy bez wolnej siarki (wyeliminowanie cynowania żył miedzianych), dzięki wprowadzeniu przewodu KGp w powłocę z igielitu (oszczędność

Tablica III. Konstrukcje normalne i oszczędnościowe linek aluminiowych elektroenergetycznych wg PN/E-103

Przekrój znamionowy	L i n k i n o r m a l n e					L i n k i o s z c z ę d n o ś c i o w e					
	Budowa linki	Skok skreću warstwy zewnętrznej	Średnica linki	Przekrój rzeczywisty linki	Ciężar linki	Budowa linki	Skok skreću warstwy zewnętrznej	Średnica linki	Przekrój rzeczywisty linki	Ciężar linki	Oszczędność
	mm ²	mm	mm	mm ²	kg/km		mm	mm	mm ²	kg/km	kg/km
16	7 × 1,7	71,4	5,1	15,89	43,757	7 × 1,65	69,30	4,95	14,97	41,221	2,536
25	7 × 2,1	86,8	6,3	24,25	66,771	7 × 2,04	85,68	6,12	22,88	63,010	3,761
35	7 × 2,5	105	7,5	34,36	94,631	7 × 2,44	102,48	7,32	32,73	90,143	4,488
50	7 × 3,0	126	9,0	49,48	136,268	7 × 2,94	123,48	8,82	47,52	130,872	5,396
50	19 × 1,8	126	9,0	48,35	133,153	19 × 1,75	122,50	8,75	45,70	125,858	7,295
70	19 × 2,1	147	10,5	65,81	181,236	19 × 2,04	142,80	10,20	62,10	171,028	10,208
95	19 × 2,5	175	12,5	93,27	256,854	19 × 2,44	170,80	12,20	88,84	244,673	12,181
120	19 × 2,8	196	14,0	116,99	322,198	19 × 2,74	191,80	13,70	112,05	308,538	13,660
150	37 × 2,25	221,2	15,75	147,11	405,154	37 × 2,19	214,62	15,33	139,37	383,834	21,320
185	37 × 2,5	245	17,5	181,62	500,190	37 × 2,44	239,12	17,08	173,01	476,469	23,721
240	37 × 2,8	274,4	19,6	227,44	627,439	37 × 2,74	268,52	19,18	218,17	600,837	26,602
240	61 × 2,25	284,2	20,25	242,54	667,957	61 × 2,19	275,94	19,71	229,78	632,807	35,150
300	61 × 2,5	315	22,5	299,43	824,638	61 × 2,44	307,44	21,96	285,23	785,530	39,108

ołowiu) oraz dzięki częściowemu wprowadzeniu przewodów instalacyjnych z żyłami aluminium i z żyłami utleniającymi stalowymi, możliwości dalszego oszczędzania metali nieżelaznych w tych przewodach nie należy uważać bynajmniej za wyczerpane.

Pod względem materiałów przewodowych możliwości te istnieją przede wszystkim w dalszym rozszerzeniu stosowania przewodów instalacyjnych z żyłami aluminium (DG, LG, DY, LY, DGa, LGa, DGU, LGU, DPa, LPa, P, Pa i przewody kabelkowe), które przy odpowiednim osprzęcie instalacyjnym można stosować już od przekroju znamionowego 2,5 mm², dzięki czemu uzyskuje się ok. 50% mniejsze zużycie metali nieżelaznych. Przewody te, odznaczające się stosunkowo dobrą przewodnością (ok. 60% przewodności miedzi wzorcowej), stosunkowo dobrą wytrzymałością (13–17 kG/mm²) i dobrą odpornością na korozję, nie narażają przy tym żadnych trudności w eksploatacji, z wyjątkiem konieczności dysponowania odpowiednio przystosowanym do nich osprzętem instalacyjnym ze względu na odkształcanie się przewodów w zaciskach wskutek ich małej wytrzymałości na pełzanie.

Pewne możliwości oszczędzania metali nieżelaznych istnieją również przy wprowadzeniu przewodów instalacyjnych z żyłami ze stopu cynku, które stosowano podczas ostatniej wojny zamiast przewodów typu DG oraz typu P z żyłami miedzianymi o przekroju 1 mm². Tego rodzaju przewody typu DG można przy tym układać w rurkach izolacyjnych pod tynkiem lub na tynku (lecz nie w tynku) oraz na izolatorach, z wyjątkiem pomieszczeń wilgotnych, mokrych, akumulatorni, teatrów, budynków publicznych itp., natomiast przewody P — tylko w pomieszczeniach suchych na tynku, nie narażonych na drgania.

Przewodów z żyłami ze stopu cynku nie można jednak, niestety, w żadnym przypadku uważać za pełnowartościowe przewody zastępcze nawet w wykonaniu ze stopu Zn-Fe o zawartości 0,13–0,15% żelaza, znacznie lepszego niż dawniej stosowany stop Zn-Al oraz, oczywiście, niż cynk. Druty bowiem ze stopu Zn-Fe, pomimo stosunkowo wysokiej temperatury rekrytalizacji, dobrej odporności na korozję międzykrystaliczną przy produkowaniu ich z cynku rektyfikowanego (New-Jersey), posiadają, niestety, zbyt niską wytrzymałość na pełzanie (2 kG/mm²), która jest niższa nawet niż dla drutów aluminium w stanie wyżarzonym (3 kG/mm²). Dlatego przewody z żyłami ze stopu cynku wymagają specjalnego osprzętu instalacyjnego ze sprężynkami dociskowymi, uniemożliwiającymi nagrzewanie się przewodu wskutek braku styku (niebezpieczne przy długotrwałej pracy przewodu w temperaturze powyżej 80°C), jakkolwiek według wskazań VDE, w przypadku braku takiego osprzętu, można stosować przylutowanie przewodu miedzianego, co umożliwia instalowanie przy użyciu zwykłego osprzętu pod warunkiem zastosowania bezpieczników na 6 A [9].

Niezależnie od trudności eksploatacyjnych i produkcyjnych, wprowadzenie przewodów z żyłami ze stopu cynku, podobnie jak przewodów z żyłami stalowymi, nasuwa również wątpliwości natury ekonomicznej. Przy zastosowaniu bowiem tego rodzaju materiałów o małej przewodności wzrasta automatycznie znacznie przekrój przewodu, a wraz z nim zużycie materiału izolacyjnego, to znaczy gumy lub igielitu, co wynika z tabl. IV.

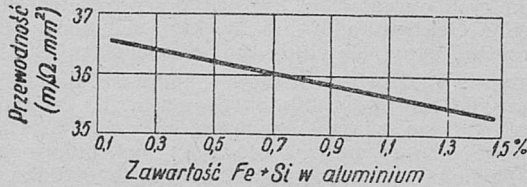
Tablica IV. Dane charakterystyczne przewodów z żyłami z materiałów zastępczych w porównaniu z przewodami z żyłami miedzianymi o równoważnym przekroju

Dane charakterystyczne	Materiał żyły			
	miedz	aluminium	stop Zn-Fe	stal
Przewodność elektryczna (m/Ω · mm ²)	56	35	15,5	6,7
Ciężar właściwy (g/cm ³)	8,9	2,7	7,2	7,85
Przekrój średnica	(%) 100	(%) 160	(%) 360	(%) 835
Ciężar	(%) 100	(%) 127	(%) 190	(%) 290
	(%) 100	(%) 50	(%) 290	(%) 735

Oprócz wyżej omówionych możliwości oszczędzania materiałów przewodowych nie wyczerpane są jeszcze w przewodach możliwości oszczędzania ołowiu, jako materiału

powłoki przewodów kabelkowych, który zastąpiono plastikami dopiero w przewodach typu KGp. Dalsze poważne możliwości oszczędzania ołowiu dopiero powstaną w przypadku zastosowania tiokolu zamiast ołowiu do pozostałych asortymentów przewodów kabelkowych, co jest możliwe po opracowaniu przez przemysł krajowy tiokolu niepodatnego na starzenie się, a jeszcze lepiej — tiokolu bezwonnego, który pod względem odporności na wilgoć jest bez porównania lepszym materiałem, niż igielit lub jemu podobne materiały.

Kable energetyczne. Tu na odcinku materiałów przewodowych, po uruchomieniu produkcji kabli z żyłami aluminium, dalsze oszczędności metali nieżelaznych są, niestety, niemożliwe, ponieważ stosowanie stopów cynku na żyły kablowe byłoby nieracjonalne wobec znacznego zwiększenia się średnicy kabla, a tym samym i zużycia ołowiu.



Rys. 1. Wpływ zawartości łącznej żelaza i krzemu na przewodność aluminium w stanie wyżarzonym

Jedyną pewnego rodzaju oszczędnością na tym odcinku byłoby zastosowanie w kablach aluminium o czystości 99,0% według normy PN/H-82160, zawierającego max. 0,50% Fe, max. 0,50% Si oraz max. 0,50% Cu, którego przewodność byłaby (rys. 1) tylko nieznacznie gorsza, niż aluminium o czystości 99,5% [10], co nie powinno mieć żadnego wpływu na obciążalność kabli. Oczywiście, to samo aluminium można byłoby zastosować także w przewodach izolowanych, oszczędzając w ten sposób aluminium 99,5-procentowe do tych celów, które wymagają bezwzględnie tej czystości.

Na odcinku materiałów na płaszcze istnieją natomiast w dalszym ciągu poważne możliwości oszczędzania metali nieżelaznych pomimo obniżenia już grubości płaszcza ołowianego do minimum — racjonalnego z punktu widzenia zarówno trwałości kabla, jak i trudności produkcyjnych — oraz pomimo wprowadzenia stopu Pb-Zn zamiast stopu Pb-Sn, względnie Pb-Sb [11]. Możliwości te polegają mianowicie na zastosowaniu kabli wewnętrznych (a nawet ziemnych) bez płaszcza ołowianego lub w płaszczu termoplastycznym, bądź tiokolowym, oraz na wprowadzeniu kabli w płaszczu aluminium.

Najbardziej radykalnym środkiem oszczędzania ołowiu byłoby, oczywiście, wprowadzenie kabli według pierwszej lub drugiej z powyższych konstrukcji, które dla kabli o napięciu przynajmniej do 1 kV powinny wykazać swą przydatność w praktyce, jeżeli zamiast płaszcza ołowianego zastosuje się dwie warstwy papieru metalizowanego, a następnie wiele warstw papieru nasyczonego na przemian z warstwami polewy asfaltowej [12, 13], względnie jeżeli zastosuje się dodatkowo powłokę z igielitu lub tiokolu [14].

Mniej radykalnym pod względem oszczędności, lecz zupełnie pewnym środkiem pod względem trwałości kabli jest natomiast zastosowanie aluminium jako płaszcza, co w przypadku dysponowania odpowiednimi dostawami taśmy aluminiowej byłoby nietrudne do wprowadzenia wobec opracowania w kraju zasad spajania na zimno rur aluminium [15]. Kable te w dodatku odznaczałyby się znacznie lepszymi własnościami, niż kable w płaszczu ołowianym [16].

Kable teletechniczne. Możliwości oszczędzania metali nieżelaznych w kablach teletechnicznych istnieją przede wszystkim dla kabli nie układanych w ziemi, które w wielu przypadkach (telefoniczne kable zakończeniowe, instalacyjne, sygnałowe, pomiarowe) można wykonywać w płaszczu igielitowym, uzyskując w ten sposób oszczędności ołowiu.

Dalsze poważne możliwości istnieją poza tym dla kabli układanych w ziemi, którym najwięcej uwagi poświęca się obecnie w Związku Radzieckim, gdzie postawiono sobie za cel daleko idącą telefonizację i radiofonizację bez

linii napowietrznych, które zużywają olbrzymie ilości słupów drewnianych, drutu i izolatorów, są narażone na wpływ rozmaitych warunków atmosferyczno-klimatycznych, jak również nie posiadają dostatecznej stateczności parametrów elektrycznych i ulegają częstym uszkodzeniom wskutek sadzy oraz wiatru. Cel ten osiąga się w Związku Radzieckim drogą układania kabli w powłoce igielitowej bezpośrednio w ziemi, stosując, oczywiście, zasadę, iż wobec niezbyt dobrych własności dielektrycznych igielitu przesył może odbywać się tylko w zakresie niedużych częstotliwości na niezbyt wielkie odległości, nie przekraczające 8—12 km (zwiększenie odległości przesyłu można osiągnąć przez pupinizację względnie przez specjalną małopojemnościową konstrukcję kabli). Pięcioletnie doświadczenie radzieckie wykazało przy tym, iż linie tego rodzaju pracują bez zarzutu, w związku z czym począwszy od 1948—1949 r. zaniechano w dużej mierze budowy napowietrznych linii telefonicznych i radiofonizacyjnych, z wyjątkiem tych okręgów, w których przeprowadza się jednocześnie elektryfikację lub w których można jeszcze wykorzystać istniejące słupy linii napowietrznych [17, 18].

Mniejsze możliwości istnieją natomiast dla kabli telefonicznych miejskich lub okręgowych, dla których jednym, jak się zdaje, rozwiązaniem oszczędnościowym mogą być cieńszy płaszcz ołowiany, ochroniony dodatkowo powłoką termoplastyczną, owinięcie ośrodka kabla taśmą metalową z następnym naprężaniem powłoki termoplastycznej względnie zastosowanie kabli w płaszczu aluminiowym.

Nie należy również zapominać o istniejących możliwościach oszczędzania metali nieżelaznych w zakresie żył

przewodowych kabli i przewodów teletechnicznych, na które używa się obecnie prawie wyłącznie miedzi. W asortymentach tych w wielu przypadkach można byłoby zastosować mianowicie żyły bimetalowe, aluminiowe, a nawet stalowe.

LITERATURA

- [1] Zajmowski A. S., Usow W. W. Miatally i spawy w elektrotechnice (1949)
- [2] Ganielin A. M. Prowoda stalnyje mnogoprowolocznyje dla wozdusznych elektriceskich linii pieriedacz, Elektricesstwo, (1952) (3) 78/80
- [3] GOST 5800-51. Przewody stalowe wielodrutowe dla napowietrznych elektrycznych linii przesyłowych
- [4] DIN 57295. Merkblatt über Stahlleitungen für Starkstrom-Freileitungen
- [5] Bablik H. Feuerverzinken (1941) 161/2
- [6] Niewiadomski C. Druty jezdne stalowo-aluminiowe, Przegl. Elektr. 26 (1950) 303/9
- [7] Ostaszewicz J. Pierwsze doświadczenia eksploatacyjne ze stalowo-aluminiowym przewodem jezdny, Przegl. Komunik. (1951) 256/62
- [8] Ginzburg L. A. Bimietall — zamiennik cwiernowo mietalla (1943)
- [9] VDE 0204 B/I.47. B-Vorschriften für Zink für Elektrotechnik
- [10] Masing G., Hohorst H. Wiss. Veröffentl. Siemens-Konzern 4 (1925) 91
- [11] Niewiadomski C. Stopy ołowiu na płaszcz kablowe. Przegl. Elektr. 25 (1949) 38/41
- [12] VDE 0270 B/I 47. B-Vorschriften für Starkstromkabel ohne Bleimantel bis 6 kV für Verlegung in Innenräumen
- [13] VDE 0271 B/I 47. B-Vorschriften für Starkstromkabel ohne Bleimantel bis 1 kV für Verlegung in feuchten, durchtränkten und ähnlichen Räumen und für Erdverlegung
- [14] Jankowski S. Zastosowanie materiałów termoplastycznych w przemyśle kablowym, Przegl. Elektr. 27 (1951) 64/9
- [15] Niewiadomski C., Olszewski M. Prace Badawcze G.I.M. (w druku)
- [16] Niewiadomski C. Kable z płaszczami aluminiowymi, Przegl. Elektr. 27 (1951) 60/4
- [17] Grodniew I. I., Jefimow I. E. Prowoda i kabli swiaz z polichlorwinilowej izolacji (1950)
- [18] Pogossjan I. N. Podziemnyje linii radiofikacji (1951)

MGR INŻ. ZDZISŁAW MROCZKOWSKI

Zagadnienie oszczędności metali nieżelaznych przy budowie elektrowni i podstacji

621.311.17 + 621.316.26:669.011.9.003

Treść. Zagadnienia oszczędności metali nieżelaznych przy budowie rozdzielni, w sieciach kablowych potrzeb własnych elektrowni oraz w sieciach przewodów pomocniczych. Dobór rozwiązań specjalnych. Usprawnienia.

Вопросы экономии нежелезных металлов при постройке электрических станций и подстанций. Бережливость в применении нежелезных металлов при постройке распределительных устройств, в кабельных сетях собственных нужд и в сетях вспомогательных проводов. Выбор решений специального характера. Усовершенствования, имеющие целью сбережение нежелезных металлов.

The problem of non-ferrous metals economy in electric plant and substation equipment. The problem of effecting savings in non-ferrous metals in the equipment of switch houses, in cable systems intended for the electric plant's own use and in auxiliary conductor systems. Selection of special designs. Improvements.

Zasady jak najdalej idącej oszczędności w gospodarce metalami nieżelaznymi, obowiązujące w przemyśle elektrotechnicznym¹⁾, mają w całej rozciągłości zastosowanie również w elektroenergetyce. Możliwość są tu jednak inne, bo gdy przemysł elektrotechniczny przerabia metale nieżelazne w swej normalnej codziennej produkcji, elektroenergetyka zużywa metale nieżelazne prawie wyłącznie do celów inwestycyjnych, jeżeli pominąć niewielkie zapotrzebowanie do celów remontowych.

W elektroenergetyce rozróżniamy dwie wielkie grupy inwestycji, a mianowicie: 1) inwestycje sieciowe, zużywające miedź, aluminium i ołów na przewody napowietrzne i kablowe, oraz 2) inwestycje elektrowniane i stacyjne, zużywające te same metale do budowy rozdzielni i sieci przewodów wewnętrznych. Na tym miejscu zatrzymamy się tylko na drugiej grupie²⁾.

Jeżeli pominąć same maszyny i aparaty elektryczne, to przy budowie elektrowni i podstacji zużywamy metale nieżelazne głównie na następujące cele:

- 1) rozdzielnie wysokiego i niskiego napięcia,
- 2) sieci kablowe potrzeb własnych,
- 3) przewody sygnalizacyjne, sterownicze i pomiarowe.

Miedź, jako materiał na szyny zbiorcze i odgałęziowe w rozdzielniach wysokiego i napięcia, wyszła już dawno z powszechnego użycia. Stosowana jest ona do tych celów obecnie już tylko wyjąt-

kowo i to wyłącznie do rozbudowy w bardzo ograniczonym zakresie starszych istniejących urządzeń. W projektach nowych instalacji stosuje się obecnie wyłącznie aluminium w postaci szyn płaskich, okrągłych, rurowych lub profilowych.

Przy normalnie spotykanych mocach zwarciovych w rozdzielniach wysokiego napięcia przekrój zastosowanych szyn musiał najczęściej być ustalany z punktu widzenia wytrzymałości mechanicznej, przy czym przekrój tak dobrany zwykle nie był pod względem obciążenia cieplnego w pełni wykorzystany. Jest to wynikiem zastosowania w klasycznych konstrukcjach rozdzielni, zaprojektowanych dla szyn miedzianych, szyn z materiału mniej wytrzymałego mechanicznie. Konstrukcje te przewidują z reguły pojedyncze podparcie na ściankach międzycełkowych. Dalszym powodem nadmiernego przekroju szyn było tradycyjne stosowanie na szyny płaskowników, ustawionych pionowo („na sztorc“) przy płaskim układzie szyn, oraz trudność otrzymania szyn rurowych i profilowych, które umożliwiłyby rozwiązanie bardziej oszczędne. Siły, działające przy zwarciu na odcińkę szyny zbiorczej między dwoma punktami podparcia, są tym większe, im większy jest udarowy prąd zwarcia, im większa jest długość szyny między punktami podparcia oraz im mniejsza jest odległość między szynami poszczególnych faz.

Możliwości zmniejszenia sił, działających na szyny, nasuwają się same przez się. Osiągnąć takie zmniejszenie można: 1) przez zmniejszenie udarowych prądów zwarcia, stosując szeroko sekcjonowanie rozdzielni oraz dławiki przeciwzwarciovie (konieczne jest dokładne obliczenie

¹⁾ Por. Zieliński J. i Zienkowski L. Zagadnienie oszczędności metali nieżelaznych w przemyśle elektrotechnicznym (PE, 1952, z. 5/6, str. 221).

²⁾ Por. Niewiadomski C. Możliwości oszczędzania metali nieżelaznych w przemyśle kabli i przewodów (PE, ob. str. 291 w niniejszym zeszycie). — Przyp. red.

prądów zwarciovych metodami uwzględniającymi wszystkie czynniki tłumiące); 2) przez zmniejszenie długości szyny między podporami przy zastosowaniu dodatkowego podparcia, niekoniecznie w podziale pola; 3) przez możliwie największe rozstawienie równoległe biegnących szyn poszczególnych faz. Dalsza możliwość zmniejszenia sił, działających na szyny zbiorcze przy zwarciu, polega na elastycznym podparciu ich przez zastosowanie wkładek sprężynujących między konstrukcją wsporczą a izolatorem lub między izolatorem a uchwytem szynowym.

Przy danych momentach zginających, wywołanych przez siły pochodzące od dynamicznego działania prądów zwarciovych, przekrój szyny wypada tym mniejszy, im większy moment wytrzymałości wykazuje przyjęty przekrój szyny w kierunku działania siły. Można tu dużo zaoszczędzić przez przemyślny dobór przekroju, stosując np. przekrój prostokątny, ułożony dłuższym bokiem w kierunku działania sił, lub przekrój profilowy. Oczywiście, należy tu uwzględnić warunki chłodzenia, które są gorsze przy układzie „na płask”. Z tych względów jako najkorzystniejszy wydaje się układ szyn pionowy z płaskownikami „na sztorc”. Układ taki powoduje jednak przedłużenie szyn łączeniowych oraz może spowodować powiększenie kubatury budynku.

Na ogół niemożliwe jest stosowanie rozwiązań szablonowych, a konieczne jest przeprowadzenie każdorazowo szczegółowej kalkulacji. Należy również pamiętać, że zmniejszanie naprężeń gnących daje zmniejszenie przekroju szyny tylko do tego punktu, kiedy przekrój, potrzebny ze względu na wytrzymałość mechaniczną, zrówna się z przekrojem, wyznaczonym ze względu na nagrzanie szyny prądem obciążenia. I tu kryją się również możliwości oszczędności, a mianowicie należy starannie przeprowadzić obliczenie prądów obciążeniowych, uwzględniając współczynniki równoczesności i współczynniki obciążenia poszczególnych odbiorów, a następnie rozmieścić poszczególne pola rozdzielni w ten sposób, aby rozpył prądów w szynach był korzystny, i stosować w miarę możliwości stopniowanie przekroju szyn zbiorczych.

Poza środkami, prowadzącymi do zmniejszenia przekroju szyn zbiorczych, należy przy projektowaniu rozdzielni bardzo starannie przeanalizować liczbę zastosowanych układów szynowych. Należy się mianowicie odważyć wyrzekać bardzo często stosowanego, tradycyjnego, podwójnego układu szyn zbiorczych. Stosowanie elementów rezerwowych przy budowie rozdzielni ma na celu przede wszystkim zwiększenie pewności ruchu urządzenia przez stworzenie możliwości natychmiastowego zastąpienia elementu uszkodzonego rezerwowym oraz przez przeprowadzanie planowych przeglądów, czyszczenia i remontów elementów podwójnych bez przerw w ruchu. Cel ten będzie osiągnięty, jeżeli będzie podwojony element, który musi być wyłączany do napraw czy czyszczenia części, niż na to pozwalają planowane wyłączenia całej rozdzielni lub sekcji, równocześnie jednak powiększenie liczby elementów nie powinno zwiększać zbytnio prawdopodobieństwa zaburzeń.

Porównując rozdzielnię z podwójnym układem szyn zbiorczych z rozdzielnią sekcjonowaną, wyposażoną w jeden układ, stwierdzimy, że stosowanie dwu układów szyn nie prowadzi do celu z następujących powodów:

1) szyny zbiorcze poprawnie zaprojektowane stanowią stosunkowo najpewniejszy element rozdzielni, narażony na uszkodzenia bardzo rzadko;

2) najczęściej nie ma konieczności dokonywania częstszego przeglądu szyn zbiorczych, niż jest to możliwe ze względów ruchowych po wyłączeniu całej sekcji i zasilanej przez nią części sieci — przy okazji remontu urządzeń zasilanych w danej sekcji rozdzielni;

3) podwójny układ szyn zbiorczych komplikuje w znacznym stopniu konstrukcję rozdzielni, co przy przełączaniach stwarza możliwość pomyłek, mogących prowadzić do poważnych uszkodzeń; aby tego uniknąć stosuje się blokadę, która pociąga za sobą dalszą poważną komplikację układu.

Z powyższych powodów podwójny układ szyn zbiorczych został zarucony w rozdzielniach potrzeb własnych w elektrowniach. W rozdzielniach zasilających zakłady przemysłowe należy każdorazowo szczegółowo przeanalizować warunki ruchowe i stosować podwójny układ szyn zbiorczych tylko tam, gdzie jest on naprawdę konieczny ze względu na swobodę manipulacji, na konieczność czę-

stego czyszczenia szyn lub innych ważnych powodów. Zastosowanie pojedynczego układu szyn zbiorczych daje poza oszczędnością aluminium na szyny jeszcze dodatkową poważną oszczędność miedzi na noże i styki drugiego zespołu odłączników.

Przy niezbyt dużych prądach obciążeniowych możliwe jest całkowite wyeliminowanie aluminium jako materiału na szyny zbiorcze i zastąpienie go stalą. Ze względu na niewielką dopuszczalną gęstość prądu w szynach stalowych wielkością decydującą o przekroju szyn będzie w większości przypadków nie wytrzymałość mechaniczna, lecz prąd obciążeniowy.

Na podstawie powiedzianego wyżej można ustalić następujący tok postępowania przy oszczędnym projektowaniu rozdzielni:

1) należy starannie przemyśleć układ rozdzielni, wyczerpując wszelkie możliwości stosowania pojedynczego układu szyn zbiorczych oraz ograniczenia prądów zwarcia do minimum;

2) pola zasilające należy rozmieścić w rozdzielni w ten sposób, aby otrzymać we wszelkich kombinacjach ruchowych najkorzystniejszy rozpył prądu w szynach;

3) przy mniejszych prądach należy stosować szyny zbiorcze stalowe;

4) dla szyn aluminiowych należy najpierw obliczyć najmniejszy możliwy przekrój ze względu na nagrzewanie prądem obciążeniowym, a następnie zaprojektować szyny pod względem mechanicznym w ten sposób, aby nie trzeba było przekroju poważnie zwiększać.

Przy projektowaniu sieci kabli silnoprządowych, zasilających potrzeby własne elektrowni, możliwości zaoszczędzenia metali nieżelaznych znajdujemy w ograniczeniu zarówno długości kabli, jak i ich przekroju. Przy projektowaniu nowego zakładu energetycznego trzeba pamiętać o tym od samego początku, już przy wyznaczaniu miejsca na rozdzielnię, które należy lokować jak najbliżej odbiorów, w ich środku ciężkości. Z tego względu nie zawsze korzystne jest stosowanie jednej rozdzielni centralnej, a lepsze może się okazać rozbić jej na kilka podrozdzielni grupowych. Nie można tu iść zbyt daleko, aby nie otrzymać za długich czasów wyłączenia ochrony nadmiarowo-prądowej, co pociąga za sobą zwiększenie przekroju kabli. Należy dołącznie przeanalizować system zasilania podrozdzielni i wybrać taki, który przy zapewnieniu wystarczającej rezerwy da się zrealizować przy pomocy najmniejszej liczby kabli.

Przekroje kabli w sieciach potrzeb własnych obliczamy normalnie na nagrzewanie prądem obciążeniowym oraz zwarciovym. Najmniejszy przekrój kabla, wychodzącego z danej rozdzielni, zależy od wielkości prądów zwarcia oraz od czasu, po którym następuje przerwanie ich przez ochronę. Dopiero powyżej tego najmniejszego przekroju o doborze przekroju kabla decyduje prąd obciążeniowy. Należy więc dążyć do ograniczenia tego przekroju najmniejszego. Prowadzi do tego przede wszystkim jak najdalej idące ograniczenie mocy zwarciovych środków, podanymi wyżej przy omawianiu szyn zbiorczych, i dochodzi jeszcze drugi czynnik, a mianowicie dążenie do ograniczenia do minimum czasu wyłączenia zwarć przy zachowaniu pełnej wybiórczości układu.

Redukcję czasu wyłączenia zwarć osiągamy przez ograniczenie liczby stopni zabezpieczenia zwarciovego i czynników, wpływających na wielkość stopnia czasowego. Liczba stopni czasowych zależy od rozczłonkowania sieci kablowej i jest tym mniejsza, im mniej stopni podrozdzielni stosujemy. Z tego względu nie należy iść powyżej dwóch stopni. Odgałęzienia z rozdzielni głównej obciążone są zwykle tak dużym prądem, że przekrój dobrany ze względu na prąd obciążeniowy łatwo może być większy od przekroju wyznaczonego względami na prąd zwarcia. Natomiast odgałęzienia od podrozdzielni są już wyłączone w najkrótszym osiągalnym czasie. Wielkość stopnia czasowego przy zabezpieczeniu zwarciovym zależy, jak wiadomo, od czasu własnego wyłączników i od uchybów czasowych zastosowanych przekładników. Droga do ograniczenia stopnia czasowego prowadzi więc przez zastosowanie nowoczesnych szybko działających wyłączników oraz ściślejszych przekładników, wykazujących niewielkie uchyby czasowe. Korzystne jest tu zastosowanie przekładników nadmiarowo-prądowych o charakterystyce częściowo-zależnej zamiast przekładników niezależnych.

Przy bardzo małych mocach odbioru duże oszczędności na przekroju kabli może dać zastosowanie do zabezpieczenia zwarciovego nowoczesnych bezpieczników topikowych, dających bardzo krótkie czasy wyłączenia.

Gdy najmniejszy przekrój kabla, obliczony ze względu na nagrzanie prądami zwarciovymi, jest stosunkowo niewielki w porównaniu z przenoszoną przez kabel mocą, wówczas o wyborze przekroju decyduje obliczenie na nagrzanie prądem obciążeniowym. Przepisy polskie uzależniają dopuszczalną gęstość prądu w kablu jedynie od warunków chłodzenia, podyktowanych sposobem ułożenia kabli, przy czym jako prąd obciążeniowy uważa się prąd szczytowy. Należałoby wpłynąć na nowelizację odpowiedniego punktu przepisów w kierunku uwzględnienia drugiego czynnika, a mianowicie czasu użytkowania obciążenia szczytowego, jak to przewidują radzieckie przepisy oszczędnościowe.

Ze względu na warunki chłodzenia najkorzystniejsze jest układanie kabli w ziemi. W sieciach potrzeb własnych jest to jednak niemożliwe. Tu kable biegną w kanałach, po ścianach lub pod stropami. Wyborowi trasy kabli należy poświęcić dość uwagi, aby przebiegały w sposób najkorzystniejszy pod względem chłodzenia, co pozwala na podniesienie obciążalności przekroju. Należy więc unikać prowadzenia kabli w pobliżu rurociągów parowych lub kanałów spalinowych i w ogóle w miejscach o podwyższonej temperaturze. Najkorzystniej jest układać kable w kanałach betonowych, przy czym należy unikać zbytniego skupienia wielkiej liczby kabli. Kanały kablowe należy przewietrzać stosując w razie potrzeby specjalne wentylatory.

Bardzo poważną pozycję w kablach silnoprądowych wewnątrz elektrowni stanowią wielokrotne linie kablowe, służące do wyprowadzenia energii z prądnic. Przy projektowaniu nowych obiektów należy unikać tego rodzaju połączeń kablowych, zastępując je kanałami lub pomostami szynowymi.

Przewody sygnalizacyjne, sterownicze i pomiarowe w elektrowni stanowią bardzo poważną pozycję w zużyciu metali nieżelaznych, zwłaszcza że próby zastąpienia miedzi przez aluminium w wielożyłowych kablach pomocniczych nie powiodły się i w tych przewodach stosowana jest dotąd wyłącznie miedź. Na przekrojach żył tego rodzaju kabli nie oszczędzić nie można. Można natomiast poczynić duże oszczędności na długości kabli i liczbie żył. Przede wszystkim należy, za przykładem zarządzeń oszczędnościowych Związku Radzieckiego, korzystać z tego samego kabla dla dla kilku różnych obwodów prądu stałego i zmiennego, należących do różnych pól rozdzielni. Dalej należy starać się o zmniejszenie liczby żył kabli pomocniczych, umieszczając większość przyrządów w bezpośrednim sąsiedztwie przekładników miernikowych. W myśl tych tendencji umieszcza się obecnie wszystkie przekładniki oraz liczniki w polach rozdzielni a nie — jak praktykowało się dotychczas — na specjalnych tablicach w nastawni. W nastawni umieszcza się natomiast tylko najkonieczniejsze przyrządy pomiarowe wskazujące i przyrządy do sterowania zdalnego aparaturą łączeniową, przy czym sterowanie zdalne z nastawni należy przewidywać tylko w wypadkach rzeczywiście koniecznych.

W mniejszych zakładach korzystne jest połączenie nastawni i rozdzielni w jedną całość, co prowadzi do rozwiązania najprostszego. Przy większej odległości rozdzielni od nastawni należy dążyć do stosowania układów oszczędnościowych sterowania aparaturą i wskazywania stanu jej włączenia. Typowym układem oszczędnościowym tego rodzaju jest tzw. „sterowanie jednodrutowe” Siemens.

Podane wyżej zagadnienia i naszkicowane sposoby ich rozwiązania nie wyczerpują całości spraw oszczędzania metali nieżelaznych w inwestycjach elektrownianych i stacyjnych. Jak w przemyśle elektrotechnicznym, tak i tu pole do pracy mają głównie kluby racjonalizatorskie przy współudziale instytucji naukowo-badawczych.

DR ZYGMUNT RYBICKI

Samoczynna regulacja napięcia maszyn elektrycznych

621.313:621.3.072.2.078

Treść. Regulacja statyczna i astatyczna, ciągła i impulsowa. Regulacja przez zmianę oporności w obwodzie wzbudzenia i regulacja przez nakładanie prądu dodatkowego. Regulatory węglowe, segmentowe, wibracyjne. Regulatory elektronowe. Regulacja za pomocą amplitudyny.

Автоматическое регулирование напряжения электрических машин. Статическое и астатическое, непрерывное и прерывистое регулирование. Регулирование путем изменения сопротивления в цепи возбуждения и путем наложения дополнительного тока. Угольные, реостатные и вибрационные регуляторы. Электронные регуляторы. Регулирование при помощи амплитуды.

Automatic voltage regulation in electric machines. Static and astatic, continuous and impulse regulation. Regulation by means of modifying the reactance in excitation circuits and regulation by means of an additional current. Carbon, segmental and oscillating regulators. Electronic regulators. Regulation by means of amplitudines.

1. Ogólne zasady regulacji samoczynnej.

Celem artykułu jest przedstawienie ogólnych zasad samoczynnej regulacji napięcia maszyn elektrycznych bez wnikania w szczegóły konstrukcyjne regulatorów, które można znaleźć w literaturze, w podręcznikach i w prospectach wytwórców.

Zmiana napięcia podczas pracy prądnicy elektrycznych przy zmianie ich obciążenia występuje szczególnie przy nagłych odłączeniach prądnicy od sieci lub przy zwarciach w sieci. W tych wypadkach równowaga między doprowadzoną energią mechaniczną a odbieraną z prądnicy energią elektryczną zostaje naruszona i prądnica może wypaść z synchronizmu, naruszając ciągłość pracy układu energetycznego. Z tego punktu widzenia regulowanie częstotliwości, a szczególnie napięcia ma zasadnicze znaczenie.

Regulacja ręczna jest niedostateczna ze względu zarówno na jej małą szybkość jak i na jej nieciągłość, gdyż odbywa się zazwyczaj skokami pęty, póki nie natrafi się na opór właściwy. Ciągłość i stateczność pracy układu energetycznego mogą zapewnić tylko regulatory samoczynne, działające bez przerwy podczas pracy maszyny i doprowadzające napięcie zmienione do wielkości znamionowej w możliwie najkrótszym czasie. Regulatory samoczynne winny więc być dostatecznie czułe, jak również zdolne przepuszczać dostateczną ilość mocy, zależną od wielkości regulowanej jednostki.

Rozróżniamy dwa rodzaje regulacji samoczynnej: z charakterystyką astatyczną i z charakterystyką statyczną.

Astatyczną nazywamy taką regulację, przy której wielkość regulowana, a więc napięcie, jest niezależna od wielkości obciążenia i może być przedstawiona przez prostą I równoległą do osi odciętych, jak na rys. 1, gdzie y jest wielkością regulowaną, x zaś jest wielkością wpływającą na zmianę y . W naszym przypadku y będzie napięciem, x — obciążeniem i możemy napisać:

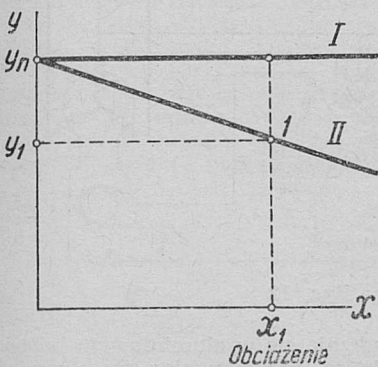
$$y = f(x) = \text{const.}$$

Regulację statyczną nazywamy taką regulację, przy której wielkość regulowana, a więc w naszym wypadku napięcie przybiera wartości różne zależne od wielkości obciążenia. Wykreślne charakterystyki takiej regulacji przedstawia na rys. 1 prosta pochyła II. Stopniem nierównomierności regulacji statycznej k_s nazywamy wyrażony w procentach stosunek różnicy między wartością znamionową y_n a wartością y_1 dla stanu x_1 do wartości znamionowej y_n :

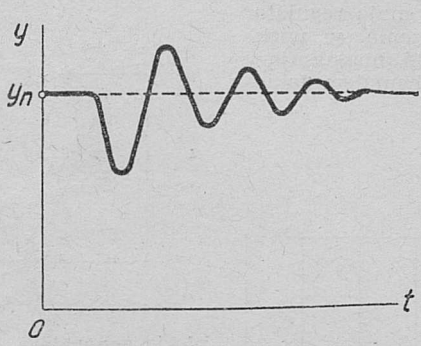
$$k_s = \frac{y_n - y_1}{y_n} \cdot 100\%.$$

Charakterystyka astatyczna jest szczególnym przypadkiem charakterystyki statycznej, gdy $k_s = 0$.

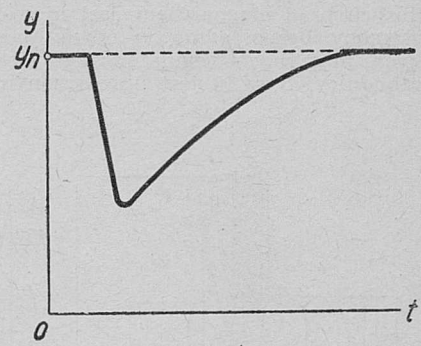
Sam przebieg regulacji odbywa się na ogół według krzywej okresowej o amplitudzie zanikającej, może jednak mieć również charakter aperiodyczny, lecz wtedy czas osiągnięcia znamionowej wartości regulowanej wielkości jest dłuższy niż przy przebiegu periodycznym. Rys. 2 przedstawia krzywą regulacji o przebiegu okresowo zanikającym, rys. 3 krzywą o przebiegu aperiodycznym.



Rys. 1



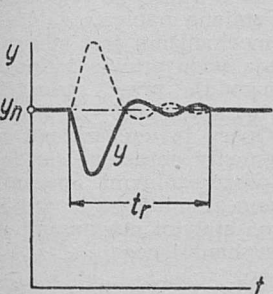
Rys. 2



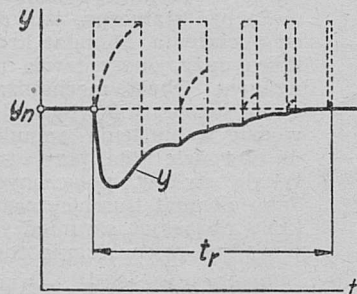
Rys. 3

Wartość regulowaną można osiągnąć w sposób ciągły albo w sposób przerywany — impulsami. Przy sposobie ciągłym (rys. 4) regulator pracuje stale aż do momentu, kiedy wielkość regulowana osiągnie swą wartość znamio-

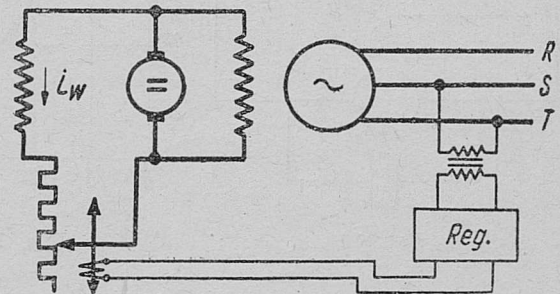
nalnie do odchylenia wielkości regulowanej od wartości znamionowej. Czas trwania impulsów zmienia się w miarę zbliżania się wielkości regulowanej do jej wartości znamionowej. Rys. 4 przedstawia przebieg regulacji ciągłej, przy czym tutaj czas regulacji jest mniejszy niż przy regulacji impulsami. Najwłaściwszy jest sposób regulacji ciągły wraz z pierwszą pochodną prędkości zmian prądu magnesującego. Przebieg regulacji zależy w tym wypad-



Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6

nową, przy sposobie zaś impulsów (rys. 5) osiągamy tę wartość za pomocą krótkich impulsów czynnika, powodującego zmianę regulowanej wielkości. W wypadku regulacji impulsami nie zachodzi możliwość przeregulowania, gdyż po każdym impulsie następuje przerwa dostatecznie duża tak, że gdy wielkość regulowana osiągnie już wartość znamionową, regulator nie potrzebuje dalej działać. Rys. 5 przedstawia przebieg regulacji impulsami w przypadku, kiedy regulator pracuje okresami proporc-

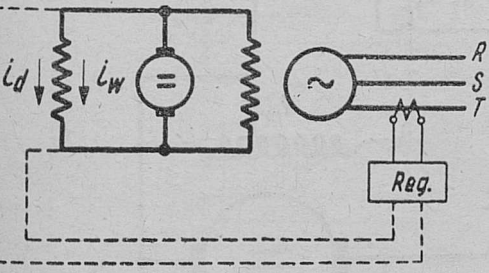
cyjnej regulacji przez pierwszą pochodną maleje, w końcu zaś regulator zachowuje się tak, jak gdyby nie posiadał dodatkowych urządzeń wpływających na szybkość przebiegu.

Pod względem zasadniczych schematów regulowania wzbudzenia prądnicy rozróżniamy dwa podstawowe sposoby regulacji: 1) zmiana prądu wzbudzenia następuje wskutek zmian oporności, włączonej w szereg ze wzbudzeniem (rys. 6), 2) zmiana prądu wzbudzenia następuje wskutek nakładania prądu dodatkowego w uzwojeniu wzbudzenia wzbudnicy (rys. 7, 8 i 9). Do pierwszego sposobu zalicza się regulatory pracujące na zasadzie elektromechanicznej, do drugiego sposobu regulatory elektromechaniczne i elektromagnetyczne.

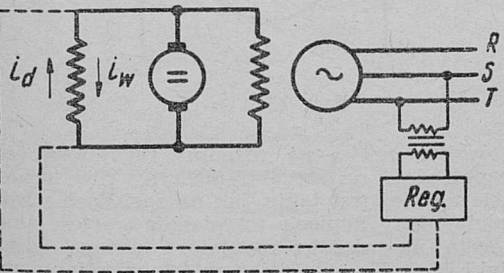
Na rys. 7 prąd dodatkowy jest zależny od zmian obciążenia maszyny, na rys. 8 jest zależny od zmian napięcia, na rys. 9 zależny jest również od zmian napięcia, jednak płynie przez dodatkowe uzwojenie na magnesach wzbudnicy.

2. Regulatory elektromechaniczne.

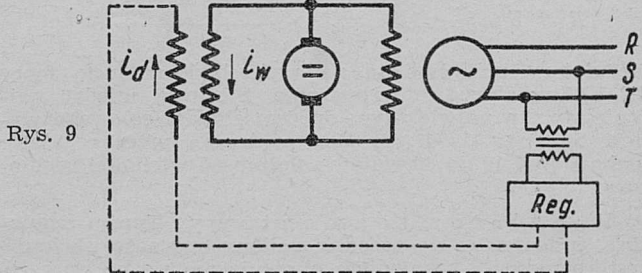
Grupę regulatorów elektromechanicznych możemy podzielić na 3 rodzaje zależnie od sposobu ich pracy: 1) re-



Rys. 7



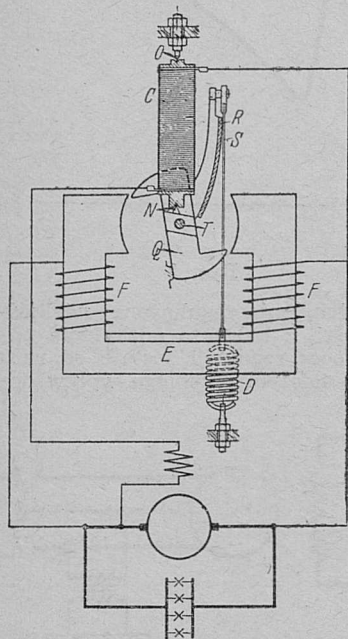
Rys. 8



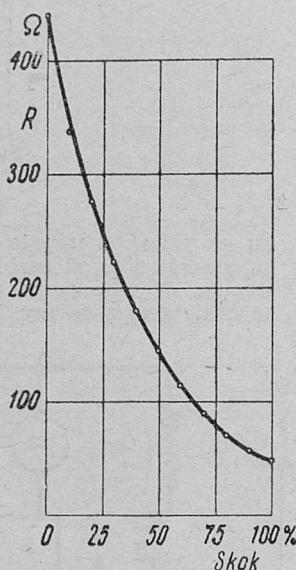
Rys. 9

ulatory pracujące na zasadzie zmiany oporności w sposób ciągły (regulatory typu węglowego), 2) regulatory pracujące na zasadzie zmiany oporności skokami, 3) regulatory pracujące na zasadzie vibracyjnej.

Regulator węglowy. Regulacja napięcia prądnicy sprowadza się do samoczynnej zmiany oporności w obwodzie wzbudzenia wzbudnicy zależnie od zmiany napięcia prądnicy (rys. 6). Mniejsze typy wzbudnic, w których prąd magnesujący jest niewielki, mają regulator włączony bezpośrednio w obwód wzbudzenia, w większych maszynach regulator reguluje prąd magnesujący wzbudnicy. Rys. 10 jest uproszczonym schematem takiego



Rys. 10



Rys. 11

go bezpośredniego regulowania prądnicy, przy czym przedstawia schemat regulatora węglowego. Zasada działania jest następująca. W obwodzie wzbudzenia prądnicy włączona jest oporność w postaci słupa C, składającego się z płytek węglowych, ułożonych jedna nad drugą. Oporność słupa zmienia się wraz ze zmianą nacisku wywieranego na płytki przez ruchomą zworę Q: im większy nacisk, tym opór jest mniejszy. Na zworę Q działają dwie siły: jedna pochodzi od elektromagnesu E i zależna jest od wielkości napięcia maszyny, druga od naciągu sprężyny D. Gdy napięcie maszyny pod wpływem obciążenia obniży się, pole elektromagnesu maleje i sprężyna D pokreca zworę w prawo, ściskając mocniej słup węglowy. Opór słupa włączonego w szereg ze wzbudzeniem maleje wskutek tego i prąd magnesujący maszyny zwiększa się. Pod wpływem zwiększonego prądu napięcie maszyny rośnie, elektromagnes pokreca zworę w lewo, nacisk na płytki węglowe rozluźnia się i opór słupa wzrasta, wskutek czego prąd magnesujący prądnicy maleje aż do ustalenia się równowagi między działaniem elektromagnesu i sprężyny.

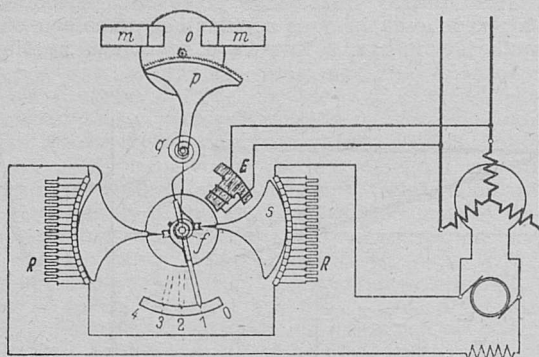
Rys. 11 przedstawia zmianę oporności R słupa węglowego w funkcji siły nacisku na płytki węglowe. Znajac prądy wzbudzenia przy największym obciążeniu i przy biegu luzem, możemy określić różnicę oporu dla całego obszaru pracy, a mianowicie:

$$R = R_{\max} - R_{\min} = U \cdot \frac{i_w \max - i_w \min}{i_w \max \cdot i_w \min}$$

Regulatory powyższe są na razie budowane do mocy 1,2 kW w obwodzie wzbudzenia. Stosunek między najmniejszym a największym oporem słupa węglowego wynosi od 1:40 do 1:60. Moc pobierana przez regulator waha się od 10 do 40 watów zależnie od wielkości regulatora.

Regulator segmentowy. Typem regulatora, pracującego na zasadzie zmiany oporności skokami, jest regulator z segmentem obracającym się po oporach.

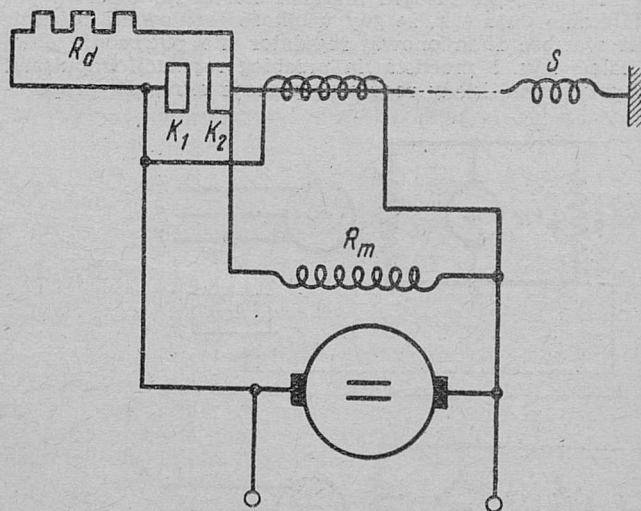
Na rys. 12 przedstawiony jest uproszczony schemat takiego regulatora. Mechanizm obrotowy regulatora pracuje na zasadzie prądów wirowych. Pod wpływem zmian strumienia elektromagnesu E, wywołanych zmianami na-



Rys. 12

napięcia generatora, wytwarzają się w aluminiowym bębnie B prądy wirowe, które oddziaływając na strumień elektromagnesu wytwarzają moment kręjący, obracający bębenek. Przeciwdziała temu sprężyna q. Dodatkowa sprężyna f wyrównuje przeciwdziałanie sprężyny q tak, że w całym obszarze pracy regulatora moment wypadkowy pochodzący od sprężyny jest jednakowy. Otrzymujemy w ten sposób charakterystykę astatyczną regulacji. Sprężyny mogą być jednak tak nastawione, że regulacja może być statyczna, tzn. dawać zmianę napięcia zależną od obciążenia. Moment kręjący mechanizmu jest stosunkowo duży, opory tarcia nie mają więc prawie żadnego wpływu. Obrót mechanizmu powoduje przez związane z nim segmenty S włączanie i wyłączanie oporów R w obwodzie wzbudzenia wzbudnicy. Opory te umieszczone są na obwodzie koła, przy czym segmenty obracając się dotykają styków, połączonych z poszczególnymi oporami. Jako element tłumiący zastosowano aluminiową tarczę T, która obracając się między dwoma stałymi magnesami m powoduje wytwarzanie momentu hamującego.

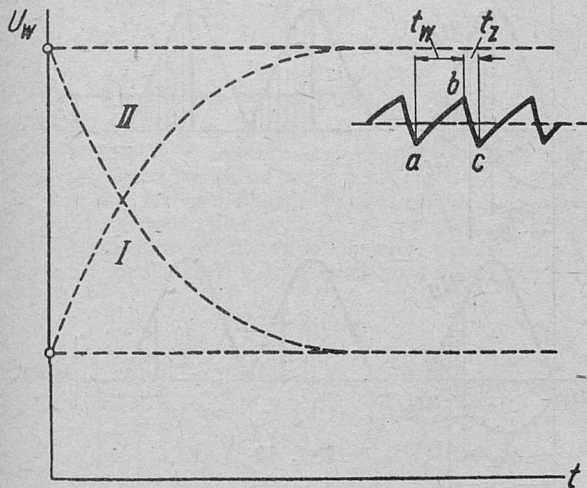
Regulator vibracyjny. Trzecim również bardzo rozpowszechnionym typem regulatora jest regulator vibracyjny. Może być on stosowany dla prądnic dowolnych mocy, przy czym przy wielkich prądnicach regulator oddziałuje na podwzbudnicę. Najprostszy schemat przedstawia rys. 13. Zasada działania jest następująca. Przy uruchamianiu prądnicy styki K₁ i K₂ są zwarte. W ten sposób uzwojenie magnesów włączone jest na szczotki



Rys. 13

maszyny. Również cewka na rdzeniu regulatora jest włączona bezpośrednio na szczotki maszyny i w każdej chwili napięcie na niej jest takie, jak na zaciskach wyjściowych prądnicy. Gdy napięcie to osiągnie wartość znamionową, cewka na rdzeniu regulatora wciąga rdzeń i rozłącza styki K₁ i K₂, włączając w ten sposób w ob-

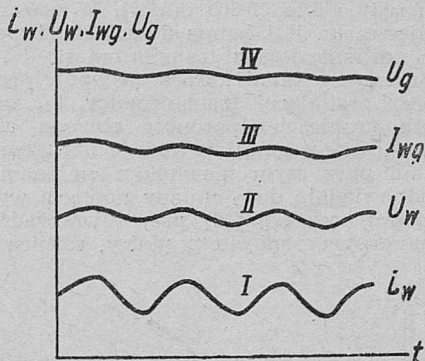
wód wzbudzenia opór dodatkowy R_d . Pod wpływem tego oporu napięcie prądnicy spada, styki znów się zwierają, wyłączając w ten sposób opór dodatkowy z obwodu magnesów. Napięcie znów się podnosi, cewka regulatora znów wciąga rdzeń i rozwierza styki i gra powtarza się od początku. Im obciążenie jest mniejsze, tym styki drgają częściej; im obciążenie jest większe, tym dłuższe są okresy czasu od jednego zwarcia do drugiego. Przeciwdziałaniem dla cewki na regulatorze jest sprężyna S , która doprowadza styki do zetknięcia się. Przybliżony przebieg wzrostu prądu magnesującego w funkcji czasu przedstawia na rys. 14 krzywa I , przebieg zaś zaniku prądu magnesującego przedstawia krzywa II . Sam przebieg regulacji podaje linia $a-b-c$, przy czym odcinek $a-b$ przedstawia wzrost, odcinek zaś $b-c$ zanik prądu magnesującego. Odległość t_w podaje czas, w którym prąd wzrasta



Rys. 14

wzdłuż krzywej $a-b$, odległość zaś t_z podaje czas, w którym prąd zanika wzdłuż krzywej $b-c$. Suma $t_w + t_z = t_r$ podaje czas jednego zwarcia i rozwarcia styków. Doświadczenie wykazało, że w sieci nie odczuwa się zmian napięcia, jeżeli liczba drgań regulatora wynosi co najmniej 10 na sekundę.

W układzie regulatora dla prądnicy ze wzbudnicą przebieg zmian prądu wzbudzenia i napięcia na wzbudnicy i prądnicy przedstawiają krzywe na rys. 15. Krzywa I podaje zmianę prądu magnesującego wzbudnicy wg



Rys. 15

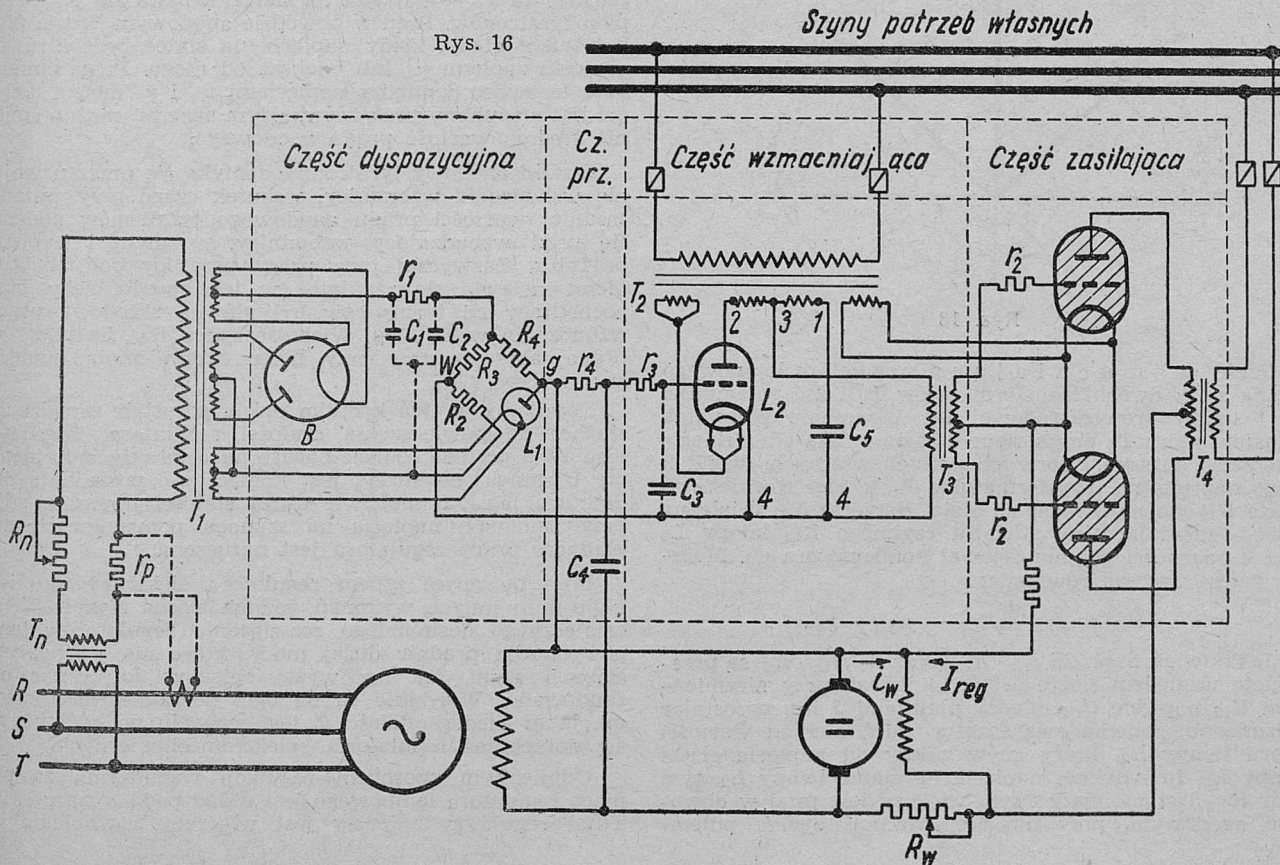
krzywej ząbkowanej. Krzywa II podaje napięcie na zaciskach wzbudnicy. Krzywa III podaje zmiany prądu wzbudzającego prądnicy, krzywa zaś IV podaje przebieg napięcia prądnicy. Z krzywych tych widzimy, że przy dostatecznie częstych drganiach regulatora wahanie napięcia prądnicy dla pewnego stanu ustalonego obciążenia, praktycznie biorąc, nie istnieje. Tłumaczy się to bezwładnością magnetyczną w obwodach wzbudnicy i prądnicy.

Poza wyżej opisanymi typami regulatora istnieje jeszcze wiele innych rozwiązań, które jednak oparte są w swym założeniu na takich samych zasadach.

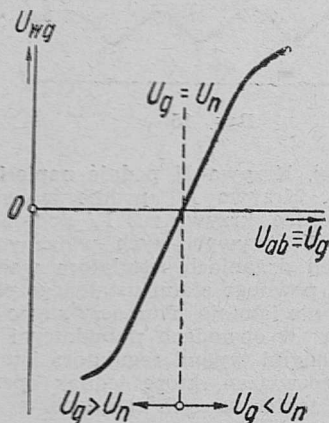
3. Regulatory elektronowe.

Ostatnimi czasy coraz częściej znajdują zastosowanie elektronowe regulatory napięcia, zwane inaczej lampowymi. Regulatory te można stosować nawet do bardzo wielkich maszyn. Na przykład dla prądnicy o mocy 50 MW na 10 500 V, zbudowanej przez zakłady „Elektrosiła” w Leningradzie, wykonano regulator elektronowy według systemu opracowanego przez Wszechzwiązkowy Instytut Elektrotechniczny. Jego zasadniczy schemat podany jest na rys. 16. W regulatorze odróżniamy zasadniczo 3 części: dyspozycyjną, wzmacniającą i zasilającą.

Rys. 16

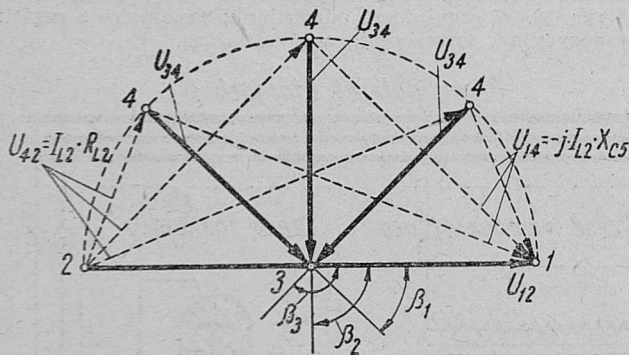


Część dyspozycyjna składa się z transformatora T_1 , zasilanego z sieci przez transformator napięciowy T_n , lampy prostowniczej B oraz mostku oporowego, przy czym w trzech gałęziach mostku są opory $R_1 = R_2 = R_3$ (rzędu około 50 000 omów). W czwartej gałęzi mostku umieszczona jest lampa dwuelektrodowa L_1 , której katoda zasilana jest z transformatora T_1 . Wraz ze zmianą temperatury katody, która następuje przy zmianie napięcia sieci zasilającej transformator T_1 , zmienia się w szerokich granicach oporność obwodu anodowego. Zmiana oporności tej gałęzi powoduje naruszenie równowagi mostku, przy czym niewielkim zmianom napięcia prądniczy odpowiadają duże zmiany napięcia wyjściowego U_{wg} na mostku (rys. 17). Gdy przy równowadze mostku, przy znanym napięciu prądniczy, różnica potencja-



Rys. 17

łów między punktami w i g jest zero, to przy naruszeniu równowagi występuje znaczna różnica potencjałów, którą doprowadza się do siatki lampy L_2 elementu wzmacniającego. Opór r_1 i pojemności C_1 i C_2 służą do tłumienia pulsacji napięcia wyprostowanego, doprowadzonego do mostku. Oporność r_3 i pojemność C_3 służą do tego samego celu dla napięcia doprowadzonego do siatki lampy L_2 .



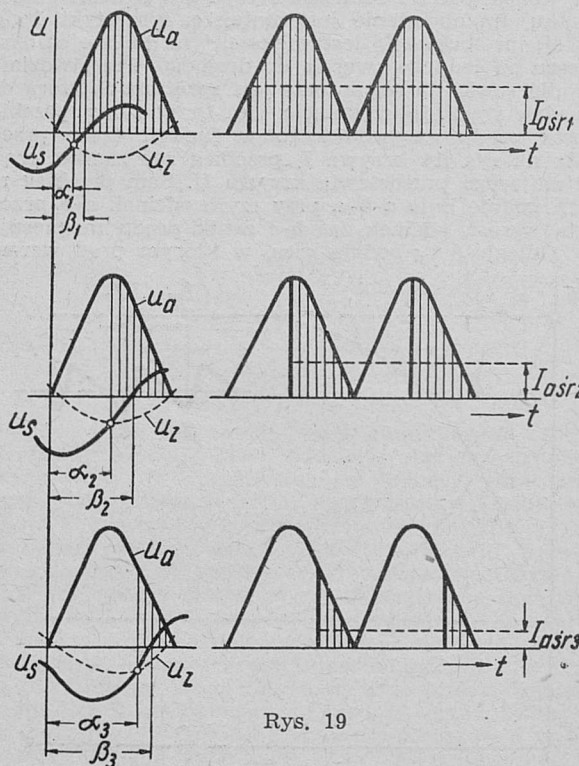
Rys. 18

Część wzmacniająca regulatora lampowego składa się z dwóch transformatorów T_2 i T_3 , pojemności C_3 i lampy trójelektrodowej L_2 . Uzwojenie pierwotne transformatora T_2 przyłączone jest do źródła oddzielnego, zazwyczaj do szyn zbiorczych potrzeb własnych, wskutek czego napięcie na transformatorze T_2 , a więc również napięcie U_{12} można uważać za stałe. Napięcie U_{12} działa na obwód, składający się z oporu czynnego R_{L2} lampy L_2 oraz z oporności pojemnościowej kondensatora C_5 . Możemy zatem napisać równanie:

$$\hat{U}_{12} = \hat{I}_{L2} \cdot R_{L2} - j\hat{I}_{L2} \cdot x_{C5}.$$

Jakkolwiek napięcia $\hat{I}_{L2} \cdot R_{L2}$ oraz $-j\hat{I}_{L2} \cdot x_{C5}$ są przesunięte względem siebie o 90° , to jednak przy niezmiennym U_{12} napięcie U_{34} między punktami 3 i 4, pozostając niezmiennie, zmienia swą fazę w zależności od wartości oporu lampy L_2 , który znowu zależy od napięcia siatki lampy L_2 . Im większe napięcie na siatce lampy L_2 , tym opór R_{L2} jest mniejszy i tym większy jest prąd w obwodzie anodowym, przy niezmiennym zaś oporze pojem-

nościowym x_{C5} tym mniejszy jest kąt przesuwu β między napięciem U_{12} i napięciem U_{34} . Rys. 18 pokazuje położenie wskazów napięcia U_{34} dla trzech różnych kątów β .



Rys. 19

Element zasilający składa się z transformatora T_4 i dwóch tyratronów. Napięcie U_{12} jest w fazie z napięciem w obwodzie anodowym tyratronów. Przy zmianie napięcia na siatce lampy L_2 zmienia się faza między napięciem siatki i napięciem obwodu anodowego tyratronów. Rys. 19 podaje krzywe, charakteryzujące pracę tyratronów. Krzywa U_a podaje napięcie obwodu anodowego, krzywa u_s — napięcie na siatce, krzywa zaś u_z — zapłon tyratronów. Prąd w obwodzie anodowym będzie płynął tylko wtedy, kiedy napięcie na siatce będzie równe napięciu zapłonu u_z lub większe od niego. Przez zmianę kąta fazowego β między napięciami u_a i u_s można zmienić kąt a zapłonu tyratronów, a tym samym można zmienić średnią wartość prądu anodowego.

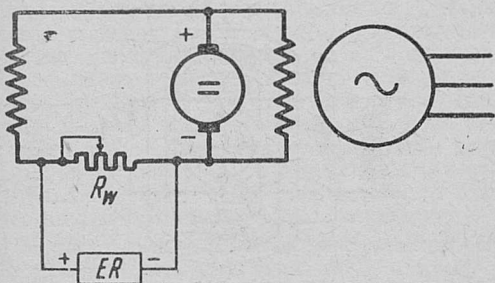
Obwód anodowy tyratronów zamyka się przez uzwojenie wzbudzenia wzbudnicy, wskutek czego przy zmianie średniej wartości prądu anodowego tyratronów zmienia się prąd wzbudzający wzbudnicę, a zatem i napięcie prądniczy. Zazwyczaj przy pracy prądniczy pod obciążeniem nastawia się regulator w ten sposób, żeby prąd pochodzący od tyratronów był główną składową prądu wzbudzenia wzbudnicy. Wielkość oporu R_{wb} jest tak dobrana, aby prądnicza przy biegu luzem miała napięcie znamionowe.

Pomijamy w tym krótkim opisie pozostałe urządzenia, służące do powiększenia czułości regulatora. Regulator tego typu posiada czułość bardzo dużą, praktycznie idealną. Ujemną jego stroną jest konieczność posiadania dodatkowej sieci o możliwie dużej stałości napięcia, gdyż przy zmianach napięcia na szynach pomocniczych dokładność pracy regulatora jest naruszona.

Poza opisanym typem regulatora elektronowego istnieje dużo innych wykonanych, jednak trzeba stwierdzić, że ostatecznego doskonałego rozwiązania regulatorów lampowych dla prądnic dużej mocy, które nie posiadałyby słabych stron, jak np. wyżej opisany, dotychczas nie zbudowano. Wszystkie są na ogół dokładne, lecz każdy ma jakąś niedoskonałość. Z tego powodu na ogół używa się dotychczas regulatorów elektromechanicznych.

Odminnym sposobem regulacji wzbudzenia za pomocą regulatora lampowego jest układ podany na rys. 20. Tutaj regulator lampowy jest włączony równolegle do

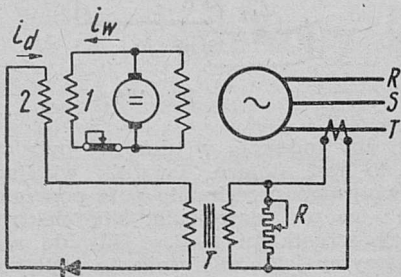
oporu, włączonego w szereg z uzwojeniem wzbudzenia wzbudnicy. W układzie tym obwód anodowy tyratronów spełnia rolę zmiennego oporu, wskutek czego oporność wypadkowa włączona w obwód wzbudzenia jest zmienna.



Rys. 20

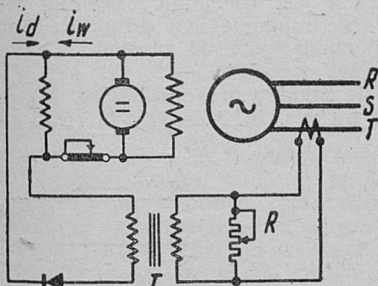
4. System wzbudzenia zdwojonego.

W ostatnich latach przed wojną zaczęto stosować do regulacji napięcia w maszynach prądu zmiennego metodę zdwojonego wzbudzenia na wzór szeregowo-bocznikowych maszyn synchronicznych w ten sposób, że amperozwoje wzbudzenia zależą od obciążenia prądnicy, wskutek czego napięcie na jej zaciskach pozostaje prawie niezmiennie.



Rys. 21

Zmianę wzbudzenia wzbudnicy dla prądnicy synchronicznej można uzyskać dwójako: za pomocą niezależnego dodatkowego wzbudzenia 2 (rys. 21) albo przez na-



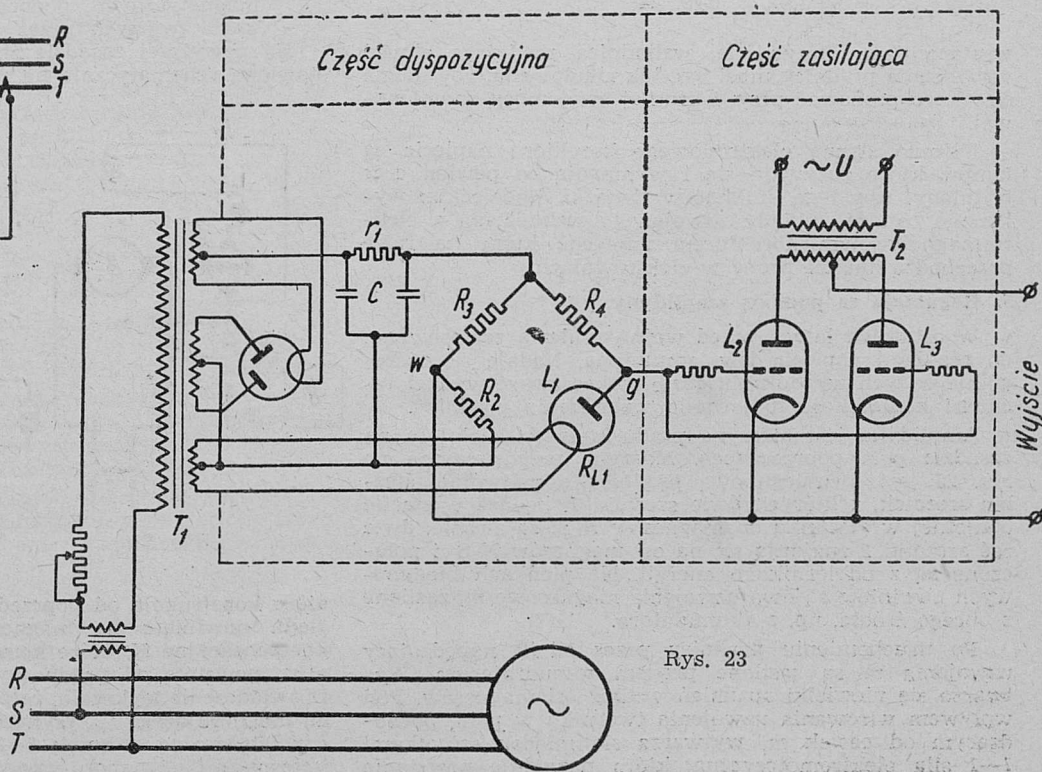
Rys. 22

kładanie dodatkowego prądu wzbudzenia zależnego od obciążenia prądnicy, na prąd własny wzbudzenia wzbudnicy (rys. 22). W tym wypadku całkowity prąd wzbudzenia będzie równy $i_c = i_w + i_d$. Prąd dodatkowy i_d można otrzymać z uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego, oczywiście, po jego uprzednim wyprostowaniu za pomocą prostownika stykowego. Transformator T służy do oddzielenia obwodu prądu zmiennego od obwodu prądu stałego. Opor-

ność R włączona jest na stałe w obwód wtórny przekładnika prądowego ze względu na wytworzenie dla transformatora normalnych warunków pracy. Układ ten ma tę wadę, że prąd dodatkowy i_d jest proporcjonalny do całego prądu, a nie do jego składowej bierniej. Dlatego napięcie na zaciskach prądnicy będzie się zmieniać w zależności od $\cos \varphi$ obciążenia prądnicy. Układ ten również nie zabezpiecza koniecznego forsowania wzbudzenia prądnicy przy zwarcia na sieci, gdyż przekładniki prądowe wskutek nasycenia nie dają przy większych prądach pierwotnych proporcjonalnie zwiększonych prądów wtórnych.

Aby uniknąć tych wad w układach więcej odpowiedziałnych stosuje się zasadę zdwojonego wzbudzenia z dodaniem tzw. elektronowego „korektora” napięcia według układu podanego na rys. 23. Elektronowy korektor napięcia składa się z dwóch części — dyspozycyjnej i zasilającej. Zasada działania części dyspozycyjnej podobna jest do poprzednio podanej przy elektronowym regulatorze napięcia. Przy zmianie napięcia na zaciskach prądnicy zmieniać się będzie napięcie na siatkach lamp L_2 i L_3 części zasilającej, a wskutek tego i wielkość prądu anodowego w obwodzie każdej triody.

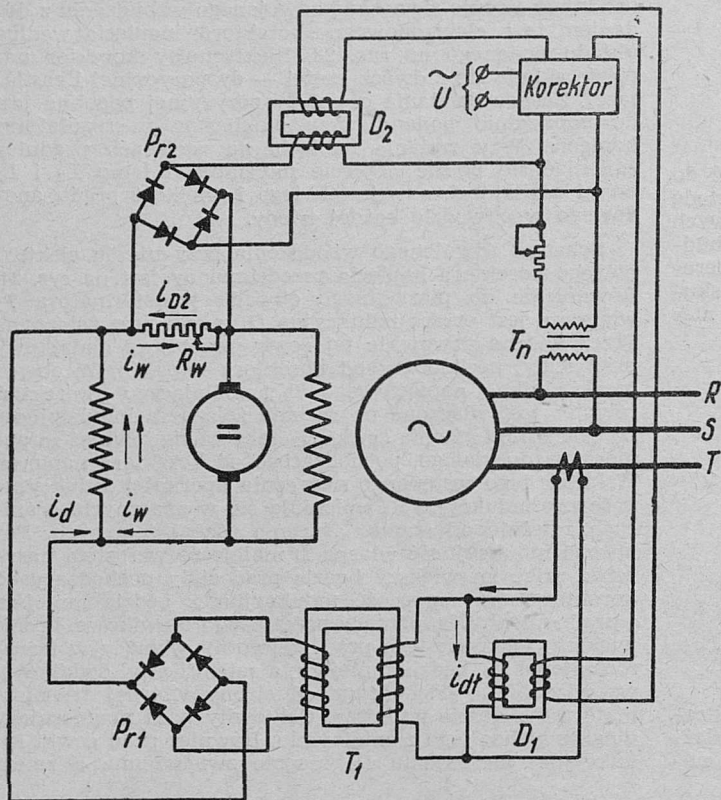
Schemat zdwojonego wzbudzenia przy użyciu elektronowego korektora napięcia przedstawiony jest na rys. 24. Równolegle do pierwotnego obwodu transformatora T_1 włączona jest cewka indukcyjna D_1 z rdzeniem żelaznym. Przez wtórne uzwojenie tej cewki przepływa dodatkowy prąd stały, pochodzący od korektora napięcia. W obwód przekładnika napięciowego T_n , zasilającego korektor, również jest włączona na rdzeniu żelaznym indukcyjność D_2 . Nasycenie rdzenia cewki D_2 odbywa się również za pomocą prądu stałego, pochodzącego od korektora napięcia. Wskutek tego wstępnego nasycenia oporności indukcyjne x cewek indukcyjnych zmieniają się w znacznych granicach zależnie od stanu nasycenia rdzeni żelaznych. Ponieważ indukcyjność własna L maleje ze wzrostem nasycenia, więc im większy będzie prąd stały pochodzący od korektora, tym oporność indukcyjna x będzie mniejsza i prąd zmienny i_d , płynący przez cewki dławikowe, będzie większy. Wskutek tego prąd pierwotny, płynący w transformatorze T_1 , będzie mniejszy, a zatem i prąd dodatkowy wzbudzenia i_d , pochodzący od strony wtórnej transformatora T_1 , będzie mniejszy. Całkowity prąd magnesujący ulegnie wobec tego zmniejszeniu. Również prąd cewki indukcyjnej na rdzeniu D_2 ulegnie zwiększeniu, a zatem



Rys. 23

spadek napięcia na oporze R_w wzrośnie, co spowoduje zmniejszenie prądu wzbudzenia i_w . Całkowite amperozwoje wzbudzenia wzbudnicy ulegną zatem zmniejszeniu, wskutek czego napięcie prądnicy obniży się. W wypadku zmniejszenia napięcia prądnicy, zjawisko przebiega odwrotnie.

Doświadczenie wykazało, że system powyższy daje dość statecznie dobre rezultaty nie tylko z punktu widzenia utrzymania stałości napięcia, ale również z punktu widzenia konieczności forsowania wzbudzenia przy zwarciach w sieci. Układ ten zabezpiecza nawet dwukrotny wzrost prądu wzbudzenia prądnicy ponad znamionowy dla znamionowego obciążenia prądnicy, co jest całkowicie



Rys. 24

wystarczające. Oczywiście, wzbudnica zasilająca obwód wzbudzenia prądnicy musi być tak zbudowana, aby mogła chwilowo pracować przy 4-krotnej swej mocy znamionowej.

Ujemną stroną elektronowego korektora napięcia są lampy, które zużywają się i wymagają co pewien czas wymiany. Aby tego uniknąć w Związku Radzieckim wykonano ostatnio układy zdwojonego wzbudzenia z elektromagnetycznym korektorem napięcia, które na razie przechodzą dłuższe próby w elektrowniach.

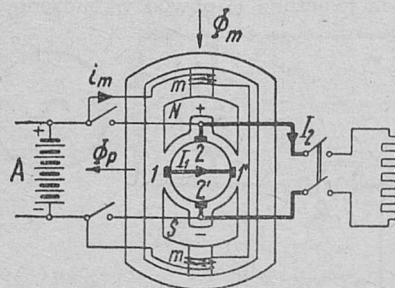
5. Regulacja za pomocą amplidyny.

W ostatnich latach przed wojną znalazła zastosowanie do regulacji napięcia tzw. amplidyna. Nadaje się szczególnie w tych wypadkach, gdzie wobec zwarć w sieci zachodzi konieczność forsowania wzbudzenia prądnicy.

Amplidyna jest maszyną prądu stałego, działającą na zasadzie pola poprzecznego. Maszyna przedstawiona na rys. 25 jest dwubiegunową prądnicą o podwójnej liczbie szczotek, z których dwie szczotki 1, będące w strefie obojętnej w stosunku do magnesów N-S, są zwarte, dwie zaś szczotki 2 znajdują się na osi magnesów N-S i połączone są z odbiornikiem energii. Na pieńkach biegunowych nawinięte są dwa uzwojenia magnesowe m , zasilane z obcego źródła, np. z akumulatora.

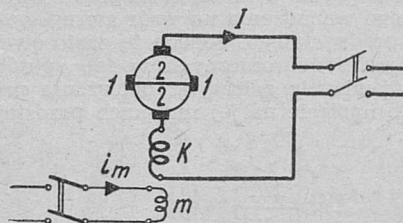
Po uruchomieniu prądnicy przez silnik napędzający uzwojenia m są zasilane prądem wzbudzącym. Wytwarza się niewielki strumień wzdłuż osi magnesów. Pod wpływem wirowania uzwojenia twornika w polu, pochodzącym od cewek m , wytwarza się między szczotkami 1—1 siła elektromotoryczna, która powoduje powstanie

dużego prądu w uzwojeniu twornika, gdyż oporność twornika i połączenia między szczotkami 1—1 jest mała. Prąd ten wytwarza silne pole magnetyczne poprzeczne Φ_r ,



Rys. 25

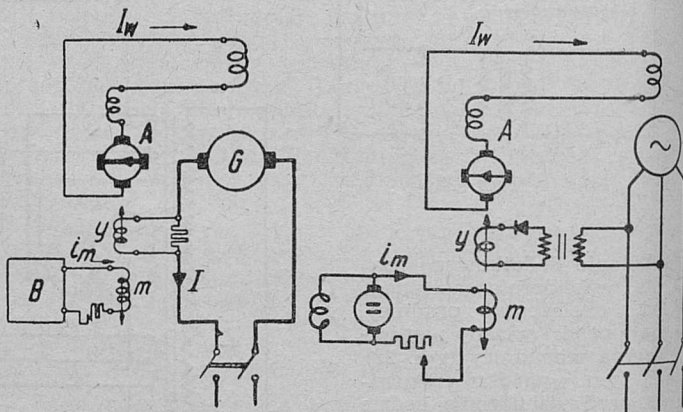
którego kierunek pokazany jest na rysunku. Ze względu na to, że pole to przechodzi przez nabiegunniki muszą być one o dostatecznie dużym prze-



Rys. 26

kroju, aby indukcja w nich nie była zbyt wielka. Pole to jest stojące. Twornik wirując wytwarza pod wpływem przecinania pola poprzecznego przez pręty swego uzwojenia, siłę elektromotoryczną między szczotkami 2—2. Gdy do szczotek 2—2 przyłączymy jakiś odbiornik, to popłynie prąd proporcjonalny do wytworzonej sem. Prąd ten ze swej strony wytwarza pole magnetyczne podłużne, mające kierunek przeciwny do pola powstałego od uzwojenia m . W rezultacie powstanie pole podłużne pod wpływem różnicy sił magnetomotorycznych. Dla polepszenia komutacji szczotek 2—2 w nabiegunnikach utworzona jest specjalna szczelina, powiększająca oporność magnetyczną drogi dla linii magnetycznych, pochodzących od prądów w cewkach zwartych przez szczotki 2—2.

Na powyższej zasadzie zbudowano amplidynę, przedstawioną schematycznie na rys. 26. Maszyna ta różni się



Rys. 27

Rys. 28

niewielką konstrukcją od poprzednio opisanej, przy czym posiada nawinięte na magnesach dodatkowe uzwojenie kompensacyjne K , które kompensuje pole podłużne twornika, powstałe od prądu płynącego przez szczotki 2—2. Doświadczenie wykazało, że przy użyciu niewielkiego prądu magnesującego i_m , płynącego przez uzwojenie m , prąd I pobierany ze szczotek 2—2 do sieci jest bardzo duży i stosunek $I : i_m$ może wynosić nawet do 10 000. Na pod-

stawie tych właściwości amplitudyna została użyta jako wzбудnica dla maszyny prądu stałego i zmiennego. Schemat na rys. 27 pokazuje użycie amplitudyny jako wzbudnicy dla maszyny prądu stałego, na następnym zaś rys. 28 dla maszyny prądu zmiennego. Amplitudyna A zasila obwód wzbudzenia maszyny prądu stałego, sama zaś jest wzbudzana od uzwojenia znajdującego się na biegunach amplitudyny i zasilane z obcego źródła — akumulatora lub przeważnie niewielkiej podwzбудnicy. Na magnesach amplitudyny znajduje się dodatkowe uzwojenie magnesujące y , które jest włączone na bocznik prądu głównego I maszyny. Oba te uzwojenia m i y działają przeciw sobie, co pozwala na szybkie reagowanie amplitudyny i prądnicy przy gwałtownych zmianach stanu ustalonego.

Przy regulacji napięcia cewką sterującą jest uzwojenie y , które może być włączone bocznikowo i wtedy jest zależne od prądu płynącego, lub też może być włączone na oba bieguny i wtedy jest zależne od zmian napięcia. W obu układach niewielkie zmiany prądu w uzwojeniu y powodują duże zmiany prądu I_w amplitudyny. Dla prądnicy prądu zmiennego zasadniczy schemat pozostaje ten sam z tą jednak różnicą, że uzwojenie y jest zasilane z prądnicy przez przekładnik napięciowy oraz prostowniki stykowe. Każdej najmniejszej zmianie napięcia odpowiada zmiana prądu w uzwojeniu y , co pociąga za sobą zmianę różnicy sił magnetomotorycznych uzwojenia m i y . Ampli-

dyna zareaguje natychmiast przez zmianę prądu I_w . Jest to szczególnie ważne dla stanu zwarcia w sieci, kiedy zachodzi potrzeba forsowania wzбудzenia prądnicy. Ponieważ amplitudyna reaguje prawie natychmiast na wszelkie zakłócenie stanu równowagi, więc prąd magnesujący I_w mógłby również praktycznie wzrosnąć prawie natychmiast do wielkości wynikłej z konieczności forsowania wzbudzenia, gdyby nie bezwładność magnetyczna obwodu magnetycznego prądnicy. Dla przyspieszenia tego procesu należy obwód magnetyczny prądnicy obliczać z dostatecznym zapasem, aby normalna praca prądnicy odpowiadała części prostej krzywej magnesowania.

Poza opisaną amplitudyną ostatnio ukazały się w literaturze technicznej wzmianki o innych jeszcze układach maszynowych do forsowania wzbudzenia; dotychczas znajdują się one w próbach i o rzeczywistej ich użyteczności dla regulacji napięcia jeszcze nic dokładnego powiedzieć nie można.

LITERATURA

- Elektryczne oświetlenie wagonów. Wydawnictwo P.K.P., 1929
 Sołowiew I. I. Awtomatizacja energieticzeskich sistem. 1950
 Kostienko M. P. Elektriczieskie masziny, cz. II. 1950
 Leonhard A. Die selbsttätige Regelung in der Elektrotechnik, 1940
 Juillard E. Die selbsttätige Regelung elektrischer Maschinen, 1931
 Arnold E., la Cour J. L. Die Gleichstrommaschine, t. II, 1927
 Arnold E., la Cour J. L. Die synchronen Wechselstrommaschinen, 1923.

MGR INŻ. BERSON

Podstawy konstrukcji żarówek

621.326.002.612(083.7)

Treść. Podano najważniejsze wymagania stawiane żarówkom. Omówiono warunki fizyczne pracy żarówek i główne problemy ich konstrukcji. Zanalizowano własności podstawowych materiałów i wpływ niektórych urządzeń produkcyjnych na warunki pracy żarówek. Podano wyniki osiągalne przy odpowiednim doborze surowców, urządzeń i metod pracy.

Основы конструкции ламп накаливания. Приводятся важнейшие требования, предъявляемые к лампам накаливания. Рассмотрены физические условия работы ламп накаливания и главные проблемы их конструкции. Проанализированы свойства основных материалов и влияние некоторых производственных процессов на условия работы ламп накаливания. Приведены результаты, которых можно достигнуть при надлежащем подборе сырья, заводского оборудования и способов производства.

Principles of electric lamp design. The author refers to the most important requirements with which lamps should comply and deals with the physical conditions under which lamps work, as well as with the problems involved in lamp design. He analyses, moreover, the basic properties of materials and the influence of certain production equipment on lamp service conditions. The author also refers to results obtainable in the event of proper selection of raw materials, works' equipment and work methods.

1. Wstęp.

Nowe typy żarówek lub ich udoskonalenia wymagają bardzo licznych prób i pomiarów laboratoryjnych, nim otrzyma się prototyp, który można wypróbować na skalę fabryczną. W tworzeniu nowych konstrukcji żarówek główną rolę odgrywa biuro studiów i laboratorium, a nie biuro konstrukcyjne. Tłumaczy się to tym, że żarówka jest produkowanym na masową skalę przyrządem fizycznym, w którym drut o grubości często nie większej niż 0,015 mm świeci się w temperaturze rzędu 2500 do 3000°K, w kruchej bańce szklanej pochłaniającej zaledwie 2% jego światła, w atmosferze o ciśnieniu niższym niż jedna miliardowa atmosfery, w ciągu tysiąca godzin. W dodatku takich przyrządów wychodzi z jednego zespołu, obsługiwanego przez ok. 10 ludzi, więcej niż tysiąc na godzinę i to o zdumiewająco równomiernych własnościach, np. o poborze mocy pozostającym w granicach tolerancji $\pm 3\%$.

Osiągnięcie tych wyników możliwe było tylko przez drobniagowe badanie zjawisk, które przy pracy i produkcji żarówek występują, i praw fizyki, które nimi rządzą.

Opanowana przy budowie żarówek technika wysokiej próżni stała się punktem wyjścia dla nowoczesnej fizyki atomowej i jądrowej i dla nowych gałęzi techniki, jak np. elektronika, ceramika metali i inne.

W niniejszej pracy ograniczymy się do najważniejszych problemów konstrukcji z zupełnym pominięciem spraw czysto produkcyjnych, jeżeli one na konstrukcję w sposób decydujący nie wpływają.

2. Zadania i wymagania.

Żarówka jest elektrycznym źródłem sztucznego światła, a źródło sztucznego światła jest tym lepsze, im (a) ekonomiczniej światło wytwarza, im (b) barwa światła jest lepsza — na ogół bardziej zbliżona do białej, im (c) mniej powoduje oślnienie, im (d) jest mniejsze (co koliduje z poprzednim punktem), im (e) jest jednostajniejsze i pew-

niejsze w ruchu, łatwiejsze do utrzymania w należyтым stanie i do wymiany.

Strona gospodarcza. Granice gospodarności w eksploatacji zakreślone są warunkami przyrodniczymi, w szczególności prawami promieniowania temperaturowego i zachowaniem się drutu względnie skrętki wolframowej w próżni i atmosferze gazów obojętnych. Przy danej „dobroci” żarówek (określenie niżej w rozdz. 3), uwarunkowanej jakością materiałów i celowością oraz starannością wykonania, określa się gospodarność żarówek wyborem punktu roboczego tj. taką konstrukcją skrętki, aby trwałość żarówki i jej sprawność dawały w sumie jak najniższy koszt eksploatacji z uwzględnieniem amortyzacji. Jeżeli oznaczmy koszt żarówki u konsumenta przez Z (zł), koszt energii dostarczonej do żarówki przez E (zł/kWh), a moc pobierana przez M (kW), to przy pominięciu kosztów ubocznych najkorzystniejsza trwałość żarówki będzie (w godzinach):

$$(1) \quad T_e = \frac{6}{M} \cdot \frac{Z}{E}$$

tj. zależy tylko od stosunku kosztu samej żarówki loco miejsce jej pracy na jednostkę mocy (Z/M) do kosztu jednostki energii elektrycznej w miejscu pracy żarówki (E). Niezbyt wielkie odchyłki trwałości od wartości najkorzystniejszej dają małe zwyczajki kosztu jednostki strumienia świetlnego*).

Barwa światła. Barwa światła jest ściśle wyznaczona przez temperaturę żarzącej się skrętki, która znów zależy od poboru mocy przez żarówkę, ten zaś zależy przy danej „dobroci” od trwałości, a więc od gospodarności w myśl wzoru (1). Ale nawet gdyby podwyższyć temperaturę kosztem gospodarności, to przesunięcie w kierunku białego światła byłoby bardzo małe. Jak wiadomo, żarówka wysyła za dużo światła w zakresie pro-

*) Por. Berson L. Wybór punktu roboczego przy normalizacji żarówek (PE, 1951, z. 4/5/6, str. 176).

mieni czerwonych, za mało zaś w zakresie promieni zielonych i niebieskich (ob. niżej rozdz. 3).

Istnieje możliwość poprawiania barwy światła przez wyzyskanie bańki żarówki jako filtru, zatrzymującego część promieni czerwonych. Jednak przy zadowalających wynikach pogorszenie gospodarności jest ogromne. Na przykład dobra 500-watowa żarówka „dzienne światło“, umożliwiając właściwe rozpoznanie kolorów, traci w filtrze (w ściągach bańki) 83% swego strumienia świetlnego, wydając zaledwie 17% na zewnątrz. Odkąd mamy w świetłówkach (rurach fluoryzujących) źródło światła o potrzebnych kolorach, tego rodzaju filtrowanie światła nie wchodzi już w rachubę. Poprawianie koloru światła żarówek jest sprawą beznadziejną, której konstruktor nie zaradzi.

Olśnienie. Jaskrawość żarówek jest wielka i wynosi dla żarówek:

110 V — 15 W (próżn.) ok. 200 sb

110 V — 25 W „ „ 220 „

220 V — 60 W (gazow.) „ 500 „

220 V — 2000 W „ ponad 1000 „

natomiast dla lampy sodowej 7—10 sb, dla świetlówki średnio 0,5 sb.

Tak obliczona jaskrawość nie uwzględnia jednak wpływu, który ma bardzo mała średnica drutu, a nawet skrętki na jaskrawość subiektywną. Źródła światła, które widzimy w obrębie kąta mniejszego niż 1' (np. gwiazdy), nie wypełniają całkowicie swym światłem jednego elementu odbiorczego siatkówki oka. W tym wypadku zależy więc jaskrawość subiektywna nie od gęstości, lecz od strumienia światła osiągniętego dany element. Jeżeli np. przyjmiemy przy mniejszej żarówce odległość od oka przynajmniej 2,5 m, przy wielkiej zaś (np. 300 lub 500 W) przynajmniej 5 m, to kąt widzenia 1' będzie odpowiadał 0,73 wzgl. 1,45 mm. Jeżeli przy skręce żarówki próżniowej na 220 V — 25 W przyjmiemy średnicę zewnętrzną skrętki zależną od jej konstrukcji na 0,12 mm, a współczynnik wypełnienia cylindra o tej średnicy świecąca skrętką ok. 0,9, otrzymamy średnią średnicę ok. 0,11 mm, co daje zmniejszenie jaskrawości w stosunku 0,11/0,79 z 200 sb na ok. 30 sb. To wyjaśnia, dlaczego bezpośrednie patrzenie w żarówkę próżniową nie jest tak szkodliwe, jakby wynikało z pozornej jaskrawości.

W żarówce na 220 V — 300 W wynika co prawda tylko około 2,5-krotne obniżenie jaskrawości na ~ 300 sb. Również w żarówkach o skręconej skrętce (tzw. dwuskrętkowych) warunki są niekorzystne.

Dla wszelkich więc wypadków, w których świecąca skrętka widoczna jest dla oka choćby pod stromym kątem, konstruktor żarówki powinien przewidzieć bańkę przynajmniej matowaną wewnątrz, przy czym obniża się jaskrawość do 3—15 sb.

Dopuszczalna granica jaskrawości waha się wedle różnych przepisów od 0,15 do 0,3 sb w polu widzenia dla wnętrza o świetleniu żarówkowym. Dlatego konstruktor musi się liczyć z tym, że skrętka żarówki wzgl. nawet żarówka wewnątrz matowana będzie przy dobrze zaprojektowanym oświetleniu osłonięta przed wzrokiem z wyjątkiem żarówek, na które patrzymy pod bardzo stromym kątem. Mimo to przy często bardzo błędnym wykonaniu oświetlenia, spotykamy zarówno w mieszkaniach, jak i w instytucjach oraz fabrykach, należy się zastanowić, czy ogólne matowanie wewnętrzne przynajmniej typów 25—150 W nie byłoby celowe.

Ostatnio zaczęto wprowadzać zagranicą żarówki wewnętrznie opalizowane. Strata strumienia ma wynosić 3—5%, równomierność zaś jaskrawości ma być większa, niż w dawnych żarówkach mlecznych. Największa jaskrawość tych żarówek powinna być ok. 3 do 4 razy mniejsza niż wewnątrz matowanych.

Wielkość. Zwiększanie żarówek wewnątrz matowanych lub opalizowanych nie wchodzi w rachubę ze względów gospodarczych. Zawsze dużo tańszy będzie klosz ze szkła mlecznego, czy też inna do tego celu przystosowana oprawa. Zmniejszaniu żarówek stawiają kres zbyt wysokie temperatury i związane z tym oddawanie gazów przez wewnętrzną powierzchnię bańki tudzież — zwłaszcza w żarówkach próżniowych — zwiększone czernienie. Nie-

mniej jednak rozważa się sprawę zmniejszenia średnicy żarówek

o mocy 60 W z 65 mm na 60 mm,

„ „ 100 W z 75 mm na 70 mm,

„ „ 150 W z 80 mm na 75 mm.

Znacznie mniejsze wymiary mają żarówki napełniane kryptonem wskutek mniejszego chłodzenia przez ten gaz a więc mniejszego nagrzewania się bańki.

Na ogół jednak wielkość żarówek jest mała w stosunku do produkowanego przez nie strumienia świetlnego i raczej rzadko powstają trudności — przy stosowaniu żarówek do celów ogólnego oświetlenia — z powodu zbyt wielkich rozmiarów.

Jednostajność i pewność w ruchu, łatwość utrzymywania i wymiany. Pod tymi względami stawiamy duże i uzasadnione wymagania. Wyjątkiem jest sprawa zmiany strumienia świetlnego przy zmianie napięcia sieci (w potęgę mniej więcej 3,5), spowodowana wielką zależnością strumienia od temperatury żarnika, tudzież zależność trwałości od napięcia mniej więcej w potęgę 13 w żarówkach próżniowych i 14 w żarówkach gazowanych.

Od żarówek musimy żądać przede wszystkim zachowania pewnego minimalnego strumienia świetlnego aż do końca założonego przez konstruktora czasu świecenia, a następnie możliwie małej zmiany tego strumienia i utrzymania mocy poniżej pewnej gwarantowanej granicy.

Wreszcie należy żądać jak najmniejszego rozrzutu właściwości poszczególnych sztuk, a więc przede wszystkim strumienia świetlnego, następnie dobroci, wreszcie trwałości, co już związane jest z pewnością ruchu. W tej dziedzinie żąda się, żeby mniej niż 10% żarówek przepalało się przed osiągnięciem 70% trwałości założonej, żeby łuk wywołujący przepalenie bezpieczników należał do rzadkości oraz żeby trzonek nie przypalał się do oprawki. Dla uniknięcia dwu ostatnio wymienionych usterek jedną lub obie elektrody wykonuje się w żarówkach dwuskrętkowych, a po części i wielowatowych jako bezpiecznik (z drutu monelowego lub konstantanowego o odpowiednim przekroju); ponadto w żarówkach dwuskrętkowych izoluje się ten drut albo też cały trzonek od wewnątrz, żeby łuk nie przeskoczył na łuskę trzonka.

Łatwość utrzymania zależy zwykle w większej mierze od opraw i sposobu zawieszenia niż od konstrukcji żarówek. W każdym razie należy, o ile możliwości, unikać zewnętrznej matowania, sprzyjającego osadzaniu się kurzu (również pod względem pochłaniania światła znacznie gorszego od matowania wewnętrznego). Ważne jest używanie kitu wytrzymałego na wpływy atmosferyczne do łączenia żarówki z trzonkiem, unikanie naprężeń w szkłe — zwłaszcza w miejscu stopienia bańki z zestawem, wreszcie przylutowywanie końców elektrod do trzonka w żarówkach wielowatowych kadmem celem uodpornienia na wysokie temperatury, mogące powstać przy niedostatecznej wentylowanych oprawach.

Specjalną uwagę należy zwracać na wykonanie żarówek pracujących w warunkach wstrząsów lub wibracji. Przez odpowiedni gatunek drutu wolframowego, przez obniżenie temperatury świecenia (co wiąże się z obraniem innego punktu roboczego: trwałość zwykle 2000 godz. przy świeceniu bez wstrząsów i odpowiednio niższa sprawność światła), przez zwiększenie liczby podpórki i odpowiednie ich rozmieszczenie, przez elastyczną budowę słupka w żarówkach wielowatowych można na ogół opanować te wpływy. W warunkach wyjątkowo niekorzystnych trzeba się uciec do konstrukcji specjalnych. W każdym razie przy znacznej kruchości, którą nawet najlepszy i najlepiej wykonany drut wolframowy już wkrótce po rozpoczęciu świecenia wykazuje, odporność na silne wstrząsy i wibracje będzie prawdopodobnie zawsze słabą stroną żarówek.

Łatwa wymiennność żarówek jest jedną z ich największych zalet. Oczywiście, warunkiem jest trzymanie się w granicach tolerancji wymiarów trzonków, a ze strony wytwórców opraw — tolerancji wymiarów oprawek.

Stosowanie trzonków żelaznych cynkowanych, kadmowanych lub mosiądzowanych prowadzi często w razie niepomysłnych warunków do kłopotów przy wymianie z powodu rdzewienia trzonków, wkręconych w oprawki. Dlatego trzonki powinny być sporządzone z mosiądzu, jeżeli pozwolą na to ogólne warunki gospodarcze.

3. Fizyczne warunki wytwarzania światła w żarówkach.

Prawa promieniowania temperaturowego czarnego ciała. Są trzy zasadnicze sposoby wytwarzania światła w lampach elektrycznych: 1) przez nagrzewanie prądem elektrycznym ciał stałych (żarówki), 2) przez bezpośrednią emisję światła przez wzbudzone atomy par lub gazów (większość lamp wyładowczych), 3) przez promieniowanie luminoforów — ciał stałych — pod wpływem wzbudzenia promieniami niewidzialnymi (nadfioletowymi), wytworzonymi jak w przypadku poprzednim (światłówki czyli rury fluoryzujące).

Każdy z tych sposobów wytwarzania światła podlega swoistym prawom fizycznym, które przy świetle temperaturowym są szczególnie proste, ale też mocno ograniczające swobodę konstruktora i — co ważniejsze — możliwości rozwojowe źródeł światła temperaturowego, a więc i żarówek.

Najważniejsze prawo promieniowania temperaturowego ciała czarnego — prawo Plancka — dotyczy ciała doskonale czarnego (to znaczy takiego, które pochłania całkowicie promienie wszystkich długości fal, padające nań) i podaje moc promieniowania tzn. energię wypromienioną w ciągu sekundy w paśmie danej długości fali z 1 cm^2 ciała ogrzanego do danej temperatury. Wyraża się ona wzorem:

$$(2) \quad E_{\lambda T} = \frac{3,704 \cdot 10^{-12}}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{2718 \cdot 10^{13} / \lambda T - 1} \quad (\text{W/cm} \cdot \text{cm}^2)$$

i pozwala obliczyć i wykreślić krzywe zdolności emisyjnej promieniowania temperaturowego dla różnych temperatur.

Całkowitą wypromienioną z 1 cm^2 powierzchni świecącej moc (łącznie we wszystkich długościach fal) otrzymuje się według prawa Boltzmanna ze wzoru:

$$(3) \quad E_T = 5,75 \cdot 10^{-12} T^4 \quad (\text{W/cm}^2).$$

Wielkość ta jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury, a więc żarówka o temperaturze skrętki 2750°K wypromieniowuje w stosunku do rozżarzonego węgla o temperaturze $1000^\circ\text{C} = 1273^\circ\text{K}$ $(2750/1273)^4 = 22$ razy większą moc z 1 cm^2 . (Założono przy tym obliczeniu, że rozżarzony węgiel i skrętka wolframowa mają w przybliżeniu ten sam stopień wybiórczości, co nie jest ściśle, ob. niżej). Stosunek strumienia świetlnego będzie jeszcze większy. Prosty jest również wzór na długość fali, odpowiadającą szczytowi krzywej zdolności emisyjnej, wyrażający prawo Wiena:

$$(4) \quad \lambda_{\max} \cdot T = 2,88 \cdot 10^7$$

gdzie λ jest wyrażone w $\text{\AA}$, T w $^\circ\text{K}$. Wynika z niego, że maksimum emisji przypadnie na punkt największej wrażliwości wzroku dopiero przy

$$T = \frac{2,88 \cdot 10^7}{5,55 \cdot 10^3} = 5190^\circ\text{K}.$$

przy temperaturach zaś osiąganych w wielkich żarówkach gazowanych (np. 2880°K) maksimum emisji odpowiada fali $2,88 \cdot 10^7 / 2,88 \cdot 10^3 = 10000 \text{ \AA}$, więc występuje w dość głębokiej podczerwieni. Jest to jeden z powodów, dla których sprawność żarówek wzrasta szybko z temperaturą.

Równie prosty jest wzór na obliczenie zdolności emisyjnej w punkcie maksimum krzywej emisji:

$$(5) \quad E_{\max} = 13,14 \cdot 10^{-12} T^5 \quad (\text{W/cm} \cdot \text{cm}^2);$$

wynika z niego, że emisja szczytowa wzrasta szybciej niż emisja całkowita (do piątej potęgi zamiast czwartej). W miarę więc wzrostu temperatury krzywe emisji nie tylko przesuwają się w kierunku promieni widzialnych, ale równocześnie robią się coraz smuklejsze, co jest drugim powodem gwałtownego wzrostu sprawności żarówek przy wzroście temperatury.

Choć emisja mocy z jednostki powierzchni nie jest dla konstruktora obojętna, bo określa powierzchnię drutu wolframowego potrzebną dla żarówki o danej mocy, jednak przede wszystkim interesuje nas porównanie krzywych emisji o równej mocy wypromienianej przy różnych temperaturach. Ważne jest, jaka część powierzchni krzywej przypada na pasmo promieni widzialnych, gdyż jest

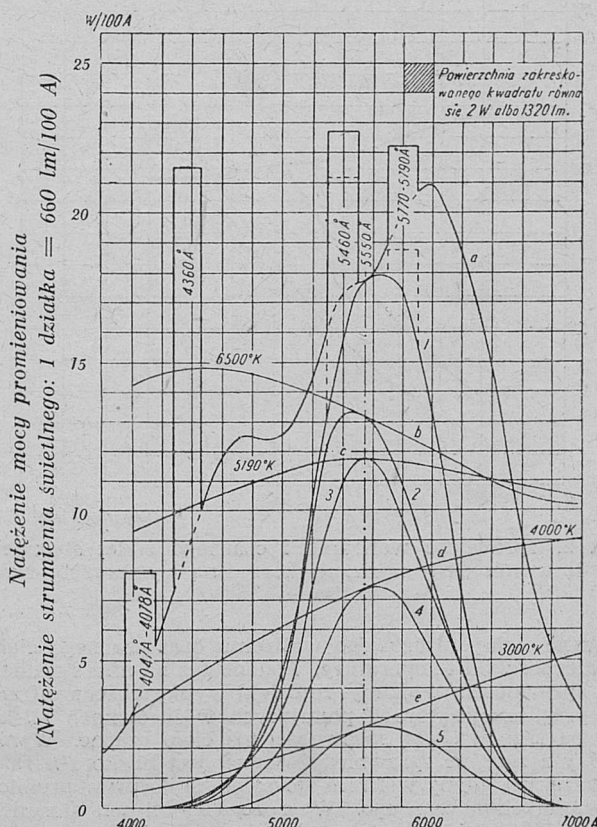
to użyteczna część mocy, i przede wszystkim jaki jest całkowity strumień świetlny.

Odpowiedź na to dają krzywe rys. 1*). Podają one rozkład emisji nie z 1 cm^2 , lecz z 1 kW przy różnych temperaturach. Część powierzchni objęta krzywą i znajdującą się w paśmie fal widzialnych podaje bezpośrednio w W widzialną część energii promieniowania otrzymaną z 1 kW . Jeżeli za równoważnik świetlny 1 wata przyjmujemy umownie strumień świetlny, otrzymywany w najkorzystniejszych warunkach, (tj. wyłącznie na fali $5550 \text{ \AA}$) i wynoszący około 660 lm , to powierzchnie, objęte krzywymi z rys. 1, dadzą nam sprawność w lm/W .

Najwyższa teoretycznie możliwa sprawność przy świeceniu temperaturowym czarnego ciała wynosi około 93 lm/W , jest więc ok. 4-krotnie większa niż sprawność bardzo wielkich i mocno obciążonych żarówek.

Znacznie korzystniej przedstawia się sprawność promieniowania lamp wyładowczych nie podlegającego prawom promieniowania temperaturowego. Na rys. 1 wkreślono część widzialną promieniowania światłówki (rury fluoryzującej) — krzywa a — z 1 kW i jego efekt świetlny — krzywa 1 . Prawie 44% mocy promieniowania znajduje się w paśmie widzialnym, a sprawność wynosi 127 lm/W .

Promieniowanie temperaturowe ciał nieczarnych. Większość ciał, wchodzących w rachubę jako źródła światła temperaturowego, nie należy do kategorii ciał czarnych. Według prawa Kirchhoffa ciało, pochłaniające w pewnym zakresie fal tylko $a\%$ (gdzie $a < 100$) wszystkich promieni, które na nie padną, będzie wysyłać w tym zakresie w stosunku do ciała czarnego tylko $a\%$ promieni.



Rys. 1. Krzywe natężenia mocy promieniowania i strumienia świetlnego czarnego ciała przy różnych temperaturach oraz rury fluoryzującej o białym świetle 4500°K w paśmie widzialnym

Litery dotyczą krzywych mocy, liczby dotyczą krzywych strumienia świetlnego. Krzywe 1 i a dotyczą rury fluoryzującej

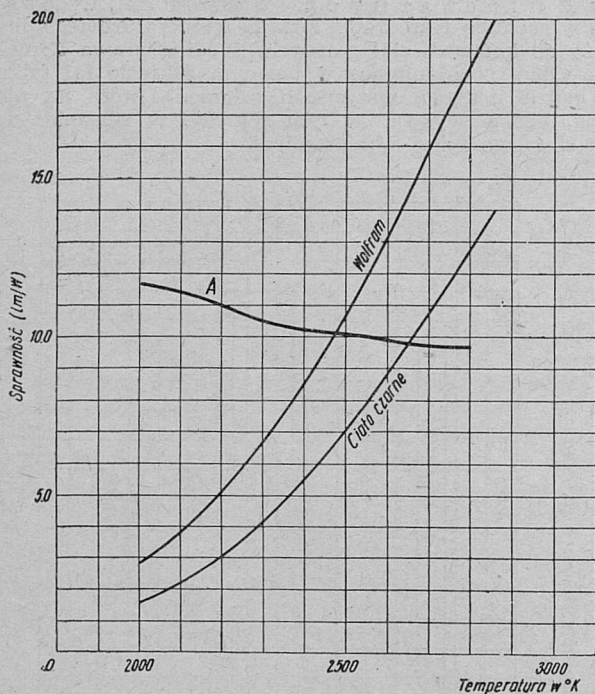
Rozróżniamy pod względem promieniowania dwa rodzaje ciał nieczarnych — ciała szare i wybiórcze. Szarym nazywamy ciało, które we wszystkich zakresach długości fal pochłania równy procent energii otrzymanej, tzn. że a

*) Por. Berson L. Rury fluoryzujące, 1950, PWT.

jest równe dla wszystkich długości fal. Tego rodzaju ciała stosują się do praw promieniowania ciała czarnego z tą jedynie różnicą, że moc promieniowania jest mniejsza. Ciała wybiórcze niejako wyszukują sobie pewne zakresy fal, których zarówno pochłanianie, jak i wysyłanie są mniejsze. Do ciał wybiórczych należą prawie wszystkie materiały wchodzące w rachubę jako źródła światła temperaturowego, w szczególności także metale.

Wybiórczość może wpływać zarówno korzystnie, jak i niekorzystnie na efekt świetlny promieniowania temperaturowego: jeżeli dane ciało wysyła np. przy temperaturze 3000°K mniejszy procent promieni niż ciało czarne w zakresie fal najkorzystniejszych dla efektu świetlnego, a więc zielonych lub żółtych, wysyłając w innych zakresach pełną energię promieniowania ciała czarnego, to oczywiście całkowita moc promieniowania zmniejszy się bardzo nieznacznie, natomiast strumień świetlny bardzo poważnie zmaleje. Jeżeli jednak wybiórczość przypada np. w zakresie fal podczerwonych, a więc niewidzialnych, całkowita moc może zmniejszyć się znacznie bez zmniejszenia się, a nawet z powiększeniem się efektu (strumienia) świetlnego.

Jako najbardziej interesujący nas przykład weźmy efekt świetlny promieniowania wolframu w porównaniu z ciałem czarnym. Rys. 2 przedstawia sprawność promie-



Rys. 2. Sprawność wolframu i czarnego ciała; stosunek obu sprawności (A) wykazuje korzystną wybiórczość wolframu

niowania temperaturowego wolframu oraz czarnego ciała w zależności od temperatury. Podano też na nim stosunek obu sprawności. Widzimy, że dzięki wybiórczości wolfram ma przy temperaturach panujących w żarówkach blisko półtora raza większą sprawność, niż ciało czarne. Wynikałoby z tego, że sprawność żarówek jest blisko $1\frac{1}{2}$ raza większa, niż gdyby wolfram stosował się do praw promieniowania ciała czarnego. W rzeczywistości ten stosunek jest nieco mniej korzystny wskutek zwinienia drutu w żarówce w kształt skrętki. Promienie nie wychodzące z widocznej powierzchni drutu bezpośrednio na zewnątrz, lecz odbijające się kilkakrotnie od sąsiednich zwojów drutu wewnątrz skrętki zmieniają widmo — wskutek kilkakrotnego pochłaniania — w kierunku widma czarnego ciała. Niemniej jednak zwiększenie sprawności żarówek wskutek wybiórczości wolframu jest znaczne.

Parowanie ciał stałych w wysokich temperaturach. W wysokiej temperaturze próżni wytwarza się pewne ciśnienie pary gorącego ciała, które wzrasta szybko z temperaturą. Jeżeli — jak na przykład w żarówce — ciało rozgrzane znajduje się

w zamkniętym naczyniu, które posiada stosunkowo niską temperaturę, para będzie się osadzać na chłodnych częściach (w żarówce przede wszystkim na bańce), odpowiadające zaś danej temperaturze ciśnienie pary będzie podtrzymywane przez parowanie gorącego ciała. Im wyższe jest ciśnienie pary, tym więcej jej będzie osiadać w jednostce czasu na częściach chłodnych, tym większa będzie szybkość parowania. Szybkość parowania wolframu wzrasta proporcjonalnie do 39-ej potęgi temperatury, a więc niezwykle gwałtownie. Warunki zmieniają się, jeżeli parowanie odbywa się w atmosferze gazu obojętnego (to znaczy nie wchodzącego w chemiczne związki z ciałem rozgrzanym). Wtedy cząstki odrywające się od ciała rozgrzanego zderzają się z cząstkami gazu i odbijają się od nich. Jeżeli ciśnienie gazu jest dostatecznie duże, to „wolna droga“ cząsteczek pary od oderwania się od rozgrzanego drutu w żarówce do zetknięcia się z cząstką gazu jest niewielka w porównaniu ze średnicą drutu i istnieje znaczne prawdopodobieństwo, że odbita od cząstki gazu cząstka pary trafi z powrotem na drut, na którym się osadzi. Wynikiem tego jest znaczne zmniejszenie szybkości parowania. I tak np. szybkość parowania wolframu w atmosferze azotu pod ciśnieniem 0,8 at jest blisko 25 razy mniejsza, a w atmosferze argonu pod tym samym ciśnieniem blisko 50 razy mniejsza niż w próżni. Jeżeli więc temperaturę żarówki próżniowej, wynoszącą ok. 2450°K, podnieśliśmy na 2700°K, szybkość parowania wzrosłaby w stosunku (2700/2450)³⁹, to jest blisko 45-krotnie. Jeżeli jednak żarówkę tę wypełnimy argonem z niewielkim (około 5–8%) dodatkiem azotu o ciśnieniu bliskim 1 at, to szybkość parowania spadnie w tym samym mniej więcej stosunku. Rzeczywiście też w praktyce mniejsze żarówki gazowane posiadają temperaturę skrętki wolframowej ok. 2700°K, a więc blisko 250°C wyższą, niż żarówki próżniowe. Im większy jest ciężar atomu gazu, zderzającego się z cząsteczką pary wychodzącą z żarzącego się drutu, tym silniej zostanie ona odrzucona, a więc tym większe jest prawdopodobieństwo, że osiadzie ona z powrotem na drucie. Tym mniejsza jest więc szybkość parowania. Na tym polega częściowo lepsza sprawność żarówek napełnionych argonem (ciężar atomowy 39,9), niż napełnionych azotem (ciężar atomowy 14,0, ciężar drobinowy N₂ — 28,0). Krypton posiada ciężar atomowy 83,7, a więc przeszło dwa razy większy niż argon. Zgodnie z tym pomiary wykazały, że szybkość parowania wolframu w kryptonie jest ok. 2 razy mniejsza, niż w argonie. Toteż w małych żarówkach wypełnionych kryptonem osiąga się wyższą sprawność (przy tej samej trwałości) niż w żarówkach argonowych (sprawność kryptonowej żarówki dwuskrętkowej na 220 V, 40 W jest o 6–7% większa niż odpowiedniej żarówki argonowej).

Jonizacja. Katoda czyli elektroda ujemna (przy prądzie zmiennym ta, która w danej chwili jest ujemna) wysyła elektrony. Liczba wysyłanych elektronów wzrasta z temperaturą i napięciem. Elektrony te mając ładunek ujemny są przyciągane przez elektrodę dodatnią czyli anodę i w sprzyjających warunkach osiągają znaczną szybkość. Gdy dostatecznie szybki elektron zderzy się z atomem gazu, wybija z niego jeden z krążących naokoło jego jądra elektronów. Taki atom straciwszy wraz z tym elektronem część ładunku ujemnego wyrównującego dodatni ładunek jego jądra, staje się jonem dodatnim. Dąży on do ujemnej elektrody — katody, która go przyciąga. Uwolniony elektron wkrótce się rozpędza i wybija dalszy elektron z napotkanego po drodze atomu gazu. W ten sposób elektrony przenoszą ku anodzie, jony zaś gazu ku katodzie coraz większe ilości ujemnych względnie dodatnich ładunków elektrycznych. Przez gaz zaczyna płynąć prąd elektryczny, gaz staje się zjonizowany. Najłatwiej i najsilniej jonizacja występuje przy ciśnieniach gazów rzędu dziesięciotysięcznych do tysięcznych atmosfery. Przy znacznie wyższych ciśnieniach skłonność do jonizacji zmniejsza się wskutek zmniejszenia wolnej drogi elektronu, przy bardzo zaś niskim ciśnieniu — wskutek małej ilości będących do dyspozycji atomów.

Przez jonizację zwiększa się natężenie prądu części drutu świetlnego żarówki leżących najbliższych elektrod przez bezpośredni przepływ prądu od jednej przyelektrodowej do drugiej przyelektrodowej części drutu, przez co podwyższa się ich temperatura, co znowu zwiększa jonizację często aż do łuku włącznic. Dlatego wewnątrz żarówki musi być albo bardzo wysoka próżnia (rzędu dziesięciomilionowej części atmosfery), albo ciśnienie gazu rzędu

1 at. Przez podwyżkę temperatury jonizacja zwiększa więc bezpośrednio rozpylanie drutu; poza tym zwiększa je również przez bombardowanie jonami i elektronami.

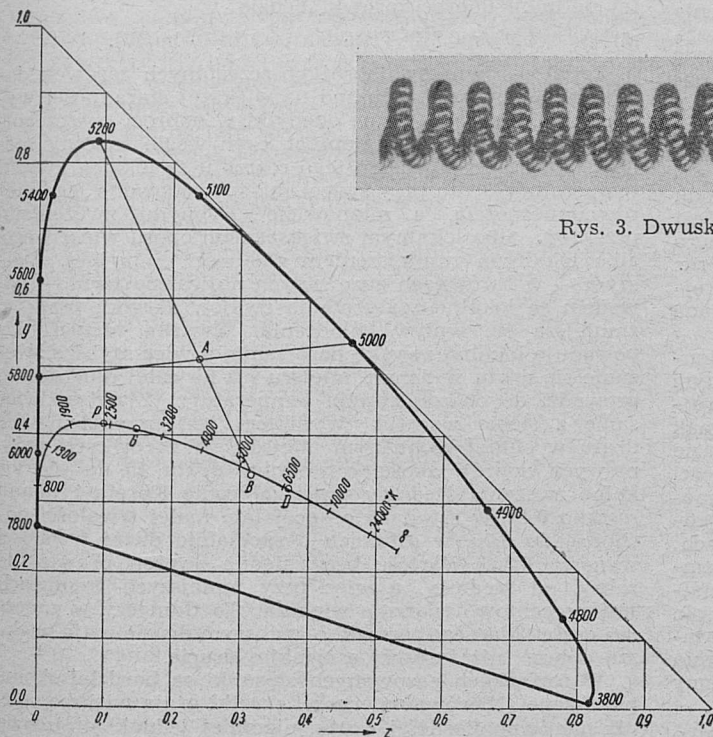
Chłodzenie przez gazy. Chłodzenie rozgrzanego powietrza przez gazy odbywa się w dwojaki sposób: przez przewodzenie i przenoszenie (konwekcję). Przewodzenie polega na oddawaniu ciepła przez jedno cząsteczki innym przy zderzeniu się ich. Przenoszenie polega na tym, że gaz rozgrzany jako lżejszy płynie ku górze, ustępując miejsca gazowi chłodniejszemu. Gaz rozgrzany spotyka gdzieś chłodne ciała (np. ścianki szklane) i tam oddaje swe ciepło. Przenoszenie jest decydujące dla chłodzenia w atmosferze gazu.

Intensywność przenoszenia ciepła zależy od geometrycznych wymiarów ciała gorącego i otoczenia. Langmuir stwierdził, że naokoło bardzo cienkich drutów (a także skrętek) tworzy się nieruchoma cylindryczna osłona z rozgrzanego gazu o średnicy 1 do 2 mm, wskutek czego odprowadzanie ciepła przez przenoszenie odbywa się nie bezpośrednio z powierzchni drutu, lecz z powierzchni tej osłony. Średnice drutów małych i średnich żarówek są kilkadziesiąt razy mniejsze (np. w żarówce gazowanej na 220 V — 40 W rzędu 0,03 mm), a także średnice zewnętrzne skrętek są w stosunku do średnicy tego „płaszczka gazowego” niewielkie (np. w żarówkach na 220 V — 40 do 500 W są rzędu 0,1 do 0,5 mm zależnie od konstrukcji). Jak z tego wynika, energia cieplna zabierana przez gaz zależy głównie od długości drutu w żarówkach o prostym

Gazy pochłonięte przez ciała stałe i przyłączone do nich. Ciała stałe pochłaniają gazy i pary. Ilość gazów pochłoniętych (okludowanych) jest tym większa, im większe jest ciśnienie i im niższa jest temperatura otaczającej atmosfery gazowej. Jeżeli chce się mieć wysoką próżnię względnie dużą czystość gazu wypielającego żarówkę, należy gazy pochłonięte usunąć z części metalowych, a przede wszystkim tych, które ogrzewają się do wysokiej temperatury, a więc żarnika (szkło gazów nie pochłania). Gazy te należy wypompować lub związać przed rozpoczęciem normalnej pracy żarówki.

Podobnie ma się rzecz z gazami (a także z parą wodną), przyklepionymi (adsorbowanymi) pod działaniem sił cząsteczkowych pod znacznym ciśnieniem do wszystkich wewnętrznych powierzchni żarówki, w szczególności do bańki szklanej. Każdemu ciśnieniu i temperaturze odpowiada pewien (dynamiczny) stan równowagi tej tzw. „skórki” gazowej. Osiągnięcie nowego stanu przy zmienionych warunkach (np. wskutek pompowania żarówki) wymaga długiego czasu. Ogrzewanie żarówki, a zwłaszcza jej świecenie przyspiesza ten proces znacznie. Również gazy i pary przyklepione muszą być przed rozpoczęciem normalnego świecenia żarówki odpompowane lub związane.

Za pomocą specjalnych pochłaniaczy („getter”) udaje się unieszkodliwić zarówno tę część gazów, która pozostała po krótkim pompowaniu (w żarówkach gazowanych przy temperaturze pokojowej, w próżniowych przy ok. 400°C)



studiów i rozważań, których nie będziemy tu przytaczać. Zewnętrzna krzywa jest miejscem geometrycznym kolców nasyconych, które będziemy nazywać barwami widmowymi. Wysyłają je źródła światła monochromatyczne tj. o jednej długości fali. Punkty na krzywej z podanymi obok cyframi oznaczają odpowiednie długości fali (w Å). Punkt B oznacza białe światło. Wszystkie punkty leżące wewnątrz figury ograniczonej krzywą 7800—5200—3800 i prostą 3800—7800 są kombinacjami poszczególnych barw widmowych i nie są nasycone. Jeżeli np. będziemy się posuwać po prostej 5200 — B (wrysowanej dla przykładu), będziemy przechodzić przez szereg barw o tym samym odcieniu, co barwa widmowa oznaczona punktem 5200, lecz coraz bledszych, coraz bardziej zbliżonych do białej, coraz mniej nasyconych. Jeżeli np. zatrzymamy się na punkcie A, otrzymamy barwę widmową długości fali 5200 Å (intensywnie zieloną, lecz słabo nasyconą, gdyż silnie zbliżoną do białej). Tę samą barwę możemy otrzymać przez zmieszanie promieniowania dwóch monochromatycznych źródeł światła — żółtego o lekko pomarańczowym odcieniu ($\lambda = 5800$ Å) i zielonego, wpadającego w niebieski ($\lambda = 5000$ Å), w odpowiednim stosunku, gdyż punkt A leży na prostej łączącej punkty odpowiadające światłu wysłanemu przez źródło widmowe 5800 i 5000 Å.

W wykres wrysowana jest krzywa barw światła temperaturowego czarnego ciała w zależności od temperatury bezwzględnej. Jak widać, w niższych temperaturach barwa światła jest ciemnoczerwona, co spowodowane jest tym, że w tych temperaturach ciało czarne wysyła w paśmie widzialnym prawie wyłącznie długofalowe (czerwone) promienie. W miarę wzrostu temperatury barwa zmienia się na pomarańczową (punkty leżące na prostych łączących punkt B białego światła z punktami między 5890 a 6270 Å na krzywej zewnętrznej), a następnie w temperaturze ok. 2000°K (w przybliżeniu 1700°C) przechodzi na żółtą. Równocześnie nasycenie zaczyna się zmniejszać, barwy stają się nie tylko coraz bardziej jasnożółte, ale także coraz bledsze, coraz bielsze. W temperaturze ok. 5000°K barwa przechodzi w żółtozieloną, jest jednak już tak mało nasycona, że ów żółtozielonawy odcień jest prawie niewidoczny — światło wydaje się białe. Dopiero w temperaturze ok. 6500°K zaczyna się nasycenie coraz szybciej zwiększać i światło przybiera coraz intensywniejszy odcień niebieski. Kolor błękitnego nieba odpowiada temperaturze od ok. 10 000 do 50 000°K.

Dla ciała o promieniowaniu wybiórczym krzywa intensywności promieniowania może być inna, niż przy czarnym ciele. Wtedy także krzywa miejsca geometrycznego w trójkącie kolorów będzie przebiegać inaczej. Może się jednak zdarzyć, że ciało o promieniowaniu wybiórczym będzie miało przy pewnej temperaturze krzywą intensywności promieniowania (a więc i krzywą intensywności fotometrycznej) bardzo podobną do krzywej czarnego ciała, jednak o innej temperaturze. Tak jest istotnie w żarówkach: np. żarówka o skrętce wolframowej rozżarzonej do temperatury 2750°K ma widmo w zakresie promieni widzialnych odpowiadające czarnemu ciału o temperaturze ok. 2830°K. Gdybyśmy więc na podstawie analizy widma takiej żarówki — wychodząc z rozkładu promieniowania przy czarnym ciele — oznaczyli temperaturę, doszlibyśmy do fałszywego wniosku, że wynosi ona 2830°K.

Temperaturę, przy której czarne ciało ma to samo albo przybliżone widmo w zakresie pasma widzialnego co jakieś ciało wybiórcze, nazywamy temperaturą koloru (T_k) tego ciała w odróżnieniu od jego prawdziwej temperatury, jeżeli punkt koloru tego ciała w trójkącie kolorów jest identyczny z punktem koloru czarnego ciała o tej własnej temperaturze.

Ponieważ zarówno naturalne źródła światła (światło dzienne, słoneczne, światło księżyca), jak i większość lamp, posiada w paśmie widzialnym widma zbliżone do widm ciała czarnego w różnych temperaturach, używa się często temperatury koloru danego źródła światła dla oznaczenia jego barwy.

Temperatura koloru żarówek próżniowych wynosi 2400 do 2500°K, gazowanych zaś małych, średnich i wielkich 27000—2800—2900°K. Temperatura prawdziwa jest średnio o $\sim 80^\circ$ niższa (różnica ta zwiększa się z temperaturą). Na krzywej temperatur czarnego ciała w trójkącie kolorów zaznaczono odpowiednie punkty P (dla żarówek próżniowych) i G (dla żarówek gazowanych średniej wielkości), jak również punkt D odpowiadający światłu dziennemu

północnego zachmurzonego nieba w letnich godzinach południowych. Światło takie otrzymuje się np. przy oknie zwróconego ku północy pokoju. Jego temperatura koloru wynosi ok. 6500—7000°K. W podobnych warunkach pracuje się zwykle tam, gdzie chodzi o dokładne rozróżnienie kolorów w dziennym świetle.

Jak widać, światło żarówki jest pod względem koloru bardzo odległe zarówno od białego, jak i od dziennego światła, a istotna poprawa jest, jak już podano w rozdz. 2, niemożliwa.

Dopasowanie do światła dziennego przez filtrowanie (tzw. żarówki światła dziennego) nie wchodzi już obecnie w rachubę, gdyż tam, gdzie zależy na wytworzeniu „sztucznego” światła dziennego, używamy dziś rur fluoryzujących, które rolę tę spełniają znacznie lepiej i bez porównania taniej.

Lokalne wyższe temperatury. Jeżeli większą serię żarówek o możliwie równej jakości surowców i wykonania podzieli się na dwie partie, które będą świecić aż do przepalania się przy dwóch różnych napięciach, średnia statystyczna pomiarów wykaże, że

$$(5) \quad T^{1/7} \cdot S = c,$$

przy czym T oznacza trwałość (czas świecenia do przepalenia), S — sprawność (przy danym napięciu), c — stałą wyrażającą dobroć żarówki (w tym wypadku średnią dobroć partii żarówek). Zwykle jako dobroć określamy sprawność (w lm/W), którą żarówka posiadałaby przy tym napięciu, przy którym trwałość jej wynosiłaby 1000 h. Przy tej definicji dobroć żarówki będzie

$$(6) \quad D = 0,373 \, T^{1/7} \cdot S \quad (h^{1/7} \cdot \text{lm/W}).$$

Jeżeli porównamy dobroć poszczególnych żarówek danej partii, to nawet pomimo największej staranności wykonania otrzymamy różne odchyłki w dobroci poszczególnych sztuk od średniej dobroci, czyli wcale znaczny rozrzut. Głównym powodem tego rozrzutu są lokalne wyższe temperatury drutu przy świeceniu, spowodowane jego nierównomiernością, a mianowicie drobnymi zwięzzeniami przekroju, albo lokalnym zwiększeniem oporu właściwego, albo lokalnym zmniejszeniem zdolności emisyjnej. Dalszym — w żarówkach gazowanych najważniejszym — powodem są lokalne zagęszczenia zwojów skrętki, przez co zmniejsza się wpływ chłodzenia. Zwykła temperatura powoduje lokalną wyższkę parowania, a więc szybsze zwięzanie się drutu w danym miejscu niż na całej długości, co prowadzi do dalszej wyższki temperatury. Zjawisko więc samo z siebie wzrasta. Wynikiem jest przepalenie się drutu w silniej nagrzanym miejscu. W żarówkach próżniowych dobrej jakości o średnicy drutu 15 do 45 μ lokalne zwięzienia średnicy wynoszą wedle Korefa i Plauta średnio 0,4 μ , w sztukach o specjalnie małej trwałości dochodzą do 0,7 μ , w sztukach o specjalnie dużej trwałości wynoszą 0,2 μ . Wartość bezwzględna zwiężeń prawie nie zależy od średnicy, a więc przy mniejszych średnicach jest procentowo znacznie większa. To tłumaczy w znacznej części, dlaczego żarówki o grubszym drucie mają większą dobroć, niż żarówki o cienkim drucie.

W żarówkach gazowanych stosunki są bardziej skomplikowane. Nierównomierności skrętki grają większą rolę, niż nierównomierności drutu, niemniej jednak miejscowe wyższki temperatury są i tu najważniejszym powodem przepalania.

Współczynnik rozszerzalności. Napięcia w szkło. Przy łączeniu dwóch ciał przez rozgrzanie powrót do temperatury otoczenia wywołuje naprężenia, jeżeli współczynnik rozszerzalności obu ciał nie jest praktycznie jednakowy. Ponadto jeżeli miejsce połączenia ma być szczelne (miejscie przejścia elektrod przez szkło), współczynnik rozszerzalności drutu musi być równy współczynnikowi szkła albo nieco mniejszy od niego, gdyż inaczej druty kurczą się silniej niż szkło, przez co powstają kanały wzdłuż drutów. Ponadto nie może się tworzyć na powierzchni drutu zendra, która powoduje nieszczelność. Ale nawet i w szkło jednorodnym powstają często przy stygnięciu naprężenia, jeżeli nie zastosowano specjalnego wychładzania.

Szkło zachowuje się dzięki swej bezpostaciowej strukturze podobnie jak płyn. Opór, który szkło w stanie plastycznym przeciwstawia odkształceniu, nazywamy lepkością. Szkło wychładzane po obróbce termicznej przechodzi

przez plastyczną strefę temperatury, w której kształt utrzymuje się, jeżeli na obrabiany przedmiot nie działają większe siły, jednak naprężenia w szkłe wyrównują się przez małe odkształcenia. Następnie dochodzimy do punktu sztywnienia, charakterystycznego się tym, że poniżej niego nie ma już praktycznie odkształceń plastycznych. Szkło zachowuje swój kształt, a drobne odkształcenia połączone są ze znacznymi naprężeniami. Jeżeli więc w tej strefie (sztywności) nastąpi chociażby drobne odkształcenie (np. wywołane wyrównywaniem się temperatur), to w szkłe powstaną silne naprężenia trwałe, tzn. nie wyrównujące się.

Szkło wchodzi ze strefy plastyczności w strefę sztywności praktycznie bez naprężeń, gdyż naprężenia wyrównały się w strefie plastyczności, jeżeli chłodzenie nie było bardzo raptowne, gdyż i w strefie plastyczności do wyrównania naprężeń potrzeba pewnego czasu tym dłuższego, im bardziej zbliża się temperatura przedmiotu do temperatury sztywnienia.

Są dwie skrajne możliwości: a) wszystkie części przedmiotu przechodzą przez punkt sztywnienia równocześnie (tzn. posiadają wtedy jednakową temperaturę), b) nawet blisko siebie położone części (ewentualnie także części tego samego przekroju) mają przy przechodzeniu przez punkt sztywnienia różną temperaturę.

W pierwszym przypadku po dojściu do pokojowej temperatury układ geometryczny ciała chłodzonego będzie taki sam, jak przy przejściu przez punkt sztywnienia, gdyż w strefie sztywności wszelkie trwałe odkształcenia są niemożliwe, a odkształceń naprężeniowych — wywołanych tylko przez różnicę temperatur — nie ma, gdyż stan temperaturowy jest taki, jak przy przejściu przez punkt sztywnienia, tj. różnic temperatur nie ma (przyjmuje się, że na przedmiot nie działają większe siły). Jeżeli w strefie sztywnienia nastąpi w ciągu szybkiego wychładzania znaczniejsza różnica temperatur sąsiadujących części, to wystąpią, oczywiście, chwilowe naprężenia, które, jeżeli przedmiot je wytrzyma, znikną wraz ze zniknięciem różnicy temperatury.

Oto przykład: przedmiot szklany w przypadku a) o temperaturze niższej niż punkt sztywnienia (który w zwykłych szklach żarówkowych przewyższa 400°C), a więc np. 300°C , wrzucony do wody bądź natychmiast pęknie, bądź po wyjściu po krótkim czasie z wody nie będzie naprężen. W przypadku b) przy przejściu przez punkt sztywnienia również nie będzie naprężeń, będą jednak różnice temperatury. Póki te różnice nie ulegną zmianie, naprężenia nie wystąpią. Gdy jednak w miarę dalszego wychładzania różnice będą znikać, wystąpią naprężenia, gdyż części o wyższej temperaturze będą się kurczyć silniej niż części o niższej temperaturze. Naprężenia będą więc zwiększać się w zależności od różnicy temperatur przy przechodzeniu przez punkt sztywnienia i od współczynnika rozszerzalności.

Jak widać, szkło należy po obróbce termicznej wychładzać (zależnie od grubości, różnic przekrojów, niesymetrii itp. czynników sprzyjających wytwarzaniu się różnic temperatur) w ten sposób, aby przez punkt sztywnienia przechodziło możliwie bez różnic temperatury. Da się to osiągnąć przez powolne wychładzanie powyżej punktu sztywnienia — w warunkach żarówek najlepiej przez jednostajne przesuwanie przez podłużny piec, w którego poszczególnych przekrojach panuje jednostajna i w kierunku poruszania się przedmiotów obniżająca się temperatura.

Jeżeli lepkość w strefie plastyczności obniża się powoli, strefa ta jest (temperaturowo) długa. Szkło takie nazywamy „długim“. Szkła „długie“ nadają się lepiej do obróbki termicznej, niż szkła „krótkie“.

Przykład wrzucenia do wody szkła, posiadającego znacznie wyższą niż otoczenie jednostajną temperaturę i nie posiadającego naprężeń, zwraca uwagę na jeszcze jedną ważną właściwość — wytrzymałość termiczną. Mierzy się ona właśnie najwyższą różnicą temperatur, którą jeszcze wytrzymuje, nie pękając, szkło o danych wymiarach geometrycznych gwałtownie wychłodzone np. przez zanurzenie w wodzie lub rtęci. Wysoka wytrzymałość termiczna jest wielką zaletą szkła obrabianego w szybkich procesach termicznych, gdyż pozwala na szybkie grzanie i chłodzenie szkła w strefie temperatur poniżej punktu sztywnienia.

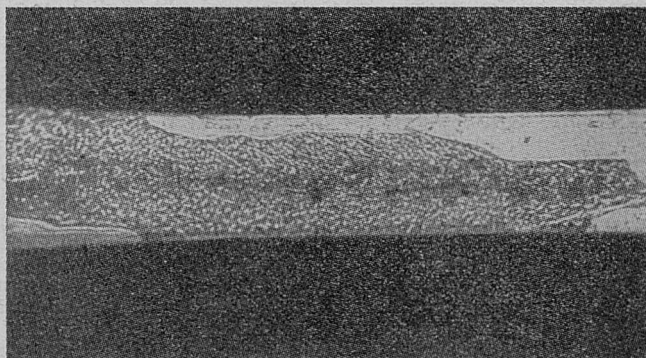
Pochłanianie promieniowania przez szkło. Szkło bańkowe pochłania ok. 10% całego promieniowania żarówki. Jednak pochłaniane są głównie promienie z głębokiej podczerwieni. Przezroczystość dobrego szkła żarówkowego dla promieni widzialnych, a więc i dla strumienia świetlnego jest bardzo dobra (ok. 98%). Niemniej jednak dość znaczne pochłanianie promieniowania ma decydujący wpływ na temperaturę bańki żarówki próżniowej, a więc i na jej wymiary. Im wyższa jest temperatura świecenia, tym bardziej widmo przesuwają się w kierunku promieni krótszych i tym niższy jest współczynnik pochłaniania.

4. Materiały podstawowe.

Żarnik. Wolfram ma najwyższy ze wszystkich metali punkt topliwości (ok. 3650°K). Istnieje jednak szereg niemetalu o znacznie wyższym punkcie topliwości. Autor przeprowadził w r. 1925 bardzo skromnymi środkami próby z żarówkami węglowymi napełnionymi argonem. Próby te, jak i próby dokonane przez wielkie fabryki żarówek na wielką skalę, nie dały dodatniego wyniku: ciśnienie pary węgla jest w stosunku do ciśnienia pary wolframu w tej samej temperaturze około 100 razy wyższe, co wyklucza osiągnięcie wysokich temperatur w żarówkach próżniowych. W żarówkach napełnionych czystym argonem występuje już poniżej 3000°K jonizacja, mieszaniny zaś argonu z azotem nie da się użyć ze względu na działanie chemiczne azotu na węgiel. Systematyczne próby przeprowadzone z najrozmaitszymi materiałami w fabrykach żarówkowych również dały wyniki ujemne. Tam, gdzie można by uzyskać temperatury wyższe niż przy użyciu wolframu, własności wytrzymałościowe są nie wystarczające. Tak więc wolfram jest i przypuszczalnie pozostanie najlepszym materiałem na żarnik.

Niektóre własności wolframu podano już wyżej. Ciężar właściwy drutu wolframowego wynosi ok. $19,3\text{ g/cm}^3$, wytrzymałość cienkich drutów na ciągnięcie dochodzi do 400 kg/mm^2 . Wolfram da się ciągnąć mechanicznie na druty aż do $0,01\text{ mm}$ średnicy i nawijać — zależnie od grubości — na rdzenie aż do 1,5-krotnej swej średnicy. Wyrób drutów wolframowych o wysokiej jakości jest bardzo trudny i został opanowany przez niewielką liczbę fabryk produkujących.

Budowa krystaliczna drutu wolframowego nie jest rzeczą obojętną ani ze strony termicznej (odbudowa przy świeceniu przez parowanie i rozpylanie), ani pod względem własności mechanicznych (szybko w miarę świecenia zwiększająca się kruchość i przy złych drutach przewieszanie się skrętek wskutek zbyt małej sztywności w wysokiej temperaturze). Jak struktura wpływa na własności mechaniczne wskazuje fakt, że udało się otrzymać druty długości kilku centymetrów, składające się z jednego kryształu (patent firmy Pintsch); druty te zachowują elastyczność nawet do długim świeceniu, gdy druty o nor-



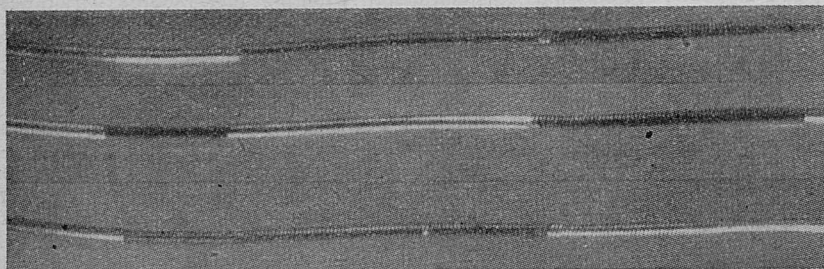
Rys. 5. Drut wolframowy o podłużnych ząbzących się kryształach w 450-krotnym powiększeniu

malnej strukturze już po kilku minutach świecenia stają się kruche. Dłuższy czas ważną trudnością w użyciu żarników ze skrętką było przewieszanie się skrętki przy świeceniu; trudność tę usunięto przez uzyskanie długich kryształów, ciągniętych się wzdłuż osi drutu i wzajemnie się ząbzących. Rys. 5 pokazuje takie ząbienie.

Rys. 6 pokazuje długie kryształy, ciągnące się przez szereg zwojów skrętki (każdy kryształ jest inaczej ułożony, co wyraża się zmianą kierunku błyszczących powierzchni uzyskanych przez trawienie).

Wielkie fabryki produkują drut w różnych (około 10) gatunkach zależnie od celu i warunków, w których ma się on świecić. Konstruktor musi starannie obrać i przepisać fabrykacji odpowiedni gatunek drutu, jeżeli chce osiągnąć pierwszorzędą dobroć żarówki i inne w mniejszym lub większym stopniu wymagane warunki (np. odporność na wstrząsy lub specjalną sztywność).

Sprawa uzyskania odpowiedniego drutu jest w ogóle kwestią zaufania do producenta. Tam, gdzie o jakości i źródłach zakupu drutu nie będą decydować technicy odpowiedzialni za konstrukcję i produkcję żarówek, nigdy jakość nie stanie na należytej wysokości. Nie wystarczy korzystny wynik z jedną lub kilku partiami drutu, które mogą się udać np. dzięki przypadkowi, utrzymaniu partii wysokogatunkowego surowca itp. Tylko fabryki, produkujące drut wolframowy od początku — z rudy, nie z gotowego proszku — i rozporządzające wielkimi laboratoriami, jak i wieloletnim doświadczeniem, mogą mieć pewność, że produkt ich będzie stale na wysokości. Jest to tym ważniejsze, że kontrola jakości drutu wolframowego jest trudna i uciążliwa, a ilości nawinięte na 1 spulkę (które stanowią „partię” dla kontroli i to tylko wtedy, jeżeli nie są wiązane z kilku kawałków) nie przekraczają kilkuset do kilku tysięcy metrów.



Rys. 6. Skrętka o długich kryształach

Wyższy koszt drutu wolframowego nie stoi w żadnym stosunku do zwiększonych kosztów eksploatacji gorszych żarówek i dlatego zakup tańszego, lecz gorszego drutu wolframowego jest bardzo droгим zakupem, a w gospodarce narodowej byłby szkodnictwem społecznym.

To samo dotyczy własnej fabrykacji drutu wolframowego: należy nie tylko zaopatrzyć fabrykę w najlepsze urządzenia produkcyjne, ale także wyposażyć bogato biuro studiów, biuro konstrukcyjne, nie szczędząc kosztów i trudów, we wszystko, czego potrzeba do pracy, zaczynając od biblioteki, a kończąc na urządzeniach spektrograficznych, metalograficznych i rentgenologicznych. Mimo ogromnych trudności, związanych z fabrykacją drutu wolframowego, własna fabrykacja drutu jest konieczna dla fabryki żarówek, chcącej osiągnąć najwyższą jakość i równomiernie ją utrzymać, gdyż dopiero fabryka rozporządzająca własnym drutem ma w ręku czynnik decydujący o jakości żarówek.

Pomimo stosunkowo niskiego ciśnienia pary wolframu nie udaje się zbliżyć z temperaturą drutu w żarówce aż do punktu topliwości, gdyż wtedy trwałość żarówki zmniejsza się raptownie. Jak widać z tabl. I, właściwe temperatury żarnika dla żarówek próżniowych do ogólnego oświetlenia zawarte są w granicach około 2400—2500°K, dla żarówek argonowych 2700—2950°K, przy czym ostatnia temperatura dotyczy żarówek niskowoltowych

(np. 127 V) o mocy 1000 W i wyższej oraz trwałości ok. 500 godzin.

Dla właściwej fabrykacji żarówek materiałem wyjściowym jest nie drut wolframowy, lecz gotowe skrętki, które się produkuje w osobnych oddziałach lub sprowadza z fabryk specjalnych. Sprowadzanie skrętek ma poza zależnością od obcej fabryki tę wadę, że nie można ich dopasować do możliwości fabrycznych i obowiązujących norm. Wysokogatunkowe skrętki są bowiem sprzedawane przeważnie w wykonaniu standartowym dla fabryki produkującej je. Jeżeli więc fabryka żarówek ma niższą dobroć żarówek niż fabryka dostarczająca skrętki, wynikiem będzie mniejsza trwałość. W odwrotnym przypadku żarówki będą mniej obciążone niż pozwalają na to możliwości fabryki żarówek, a więc punkt roboczy będzie nieekonomiczny.

Głównym argumentem, przemawiającym za własną skrętkarnią, jest jednak możliwość „trzymania ręki na pulsie” jakości skrętek i możliwości eliminowania partii niepełnowartościowych. Do tego konieczna jest doskonała kontrola produkcji skrętek i najściślejsza współpraca z właściwą montownią żarówek, gdyż tam wychodzą dopiero w całość jaskrawości błędy popełnione w produkcji skrętek, jak i wady samego drutu wolframowego. Potrzebna jest wreszcie zakrojona na wielką skalę problematyka, która przez ciągłe pomiary elektryczno-fotometryczne żarówek i próby trwałości daje obraz zarówno

jakości drutu i skrętki, jak i częściowo jakości innych materiałów oraz jakości wykonania żarówki. Sprawy te, jak i sam wyrób skrętek, należą do najtrudniejszych problemów fabrykacji żarówek.

Nie zatrzymujemy się tu na samym obliczaniu skrętek*). Dla pewnej temperatury i napięcia średnica drutu wolframowego dla żarówek próżniowych jest proporcjonalna do mocy w potęgę $2/3$, długość zaś do mocy w potęgę $1/3$. Przy różnych napięciach, lecz tej samej temperaturze dla średnicy miarodajnej jest natężenie prądu (w potęgę $2/3$), długość zaś przy tym samym natężeniu prądu jest wprost proporcjonalna do napięcia. W rzeczywistości zależności są bardziej skomplikowane. W miarę wzrostu średnicy drutu obciąża się żarówka silniej (podwyższa się temperaturę), a ze wzrostem napięcia obniża się temperaturę przy tej samej grubości drutu (ze względu na wpływ emisji elektronów, wytwarzającej prąd dodatkowy, co podwyższa nieco temperaturę przebiegów części skrętki). Do tego dochodzi wpływ kształtu geometrycznego skrętki, zmieniający własności wybiorecz żarnika, a w żarówkach gazowanych malejący procentowo ze zwiększającą się średnicą drutu wpływ chłodzenia przez gaz. Jakkolwiek istnieją krzywe i różne wzory, uwzględniające te wszystkie wpływy, jednak zwykle trzeba wprowadzać jeszcze pewne poprawki po sfotometrowaniu żarówek próbnych.

T a b l i c a I. Temperatura, sprawność, trwałość i dobroć niektórych charakterystycznych typów żarówek

R o d z a j ż a r ó w k i	Napięcie i moc (V — W)	Temperatura (°K)	Sprawność (lm/W)	Trwałość (h)	Dobroć lm/W · h ^{1/7}
Główny szereg (próżniowa)	220 — 15	2450	8,6	1000	8,6
Główny szereg (dwuskrętkowa)	220 — 100	2700	13,5	1000	13,5
Główny szereg (jednoskrętkowa)	220 — 500	2800	17	1000	17
Fotograficzna do zdjęć (Osram)	220 — 250	3250 — 3300	32	2	13,2

*) Por. Czarnecki E. Projektowanie skrętek wolframowych do żarówek (PE, 1949, z. 10/11/12, str. 348).

Konieczne jest uwzględnienie możliwości, wynikających z jakości urządzeń do wyrobu skrętek i kwalifikacji pracowników. Tak np. im niższy jest pod tym względem stan wytwórni skrętek, tym wyższa musi być granica największej gęstości skrętek, albowiem im gęstsza jest skrętka, tym większy procentowo jest błąd, wynikający z nierównomierności nawijania, a mogący mieć w żarówkach gazowanych decydujące znaczenie dla ich dobroci.

Należy wreszcie mieć na uwadze, że proces technologiczny fabrykacji drutu wolframowego nie kończy się w wytwórni drutu. Skręcanie drutu wolframowego odbywa się często przy podwyższonej temperaturze, a skrętki są dwa razy wyżarzane w toku ich wyrobu: raz na rdzeniu, drugi raz już pocięte i bez rdzenia. W przypadku dwuskrętek temperatura dochodzi przy tym do ok. 2000°K. Przy tym wyżarzaniu odbywa się dalszy proces rekryształizacji, który kończy się w znaczeniu fabrycznym przy pierwszym fabrycznym świeceniu żarówki. Również dla składu i ilości gazów okładowanych w drucie to wyżarzanie w skrętkarni, które odbywa się w atmosferze mieszanej azotu i wodoru, nie jest obojętne.

Gaz do napełniania żarówek. Krypton, który zresztą tylko w małych typach daje istotne korzyści, jest ze względu na jego bardzo małą zawartość w powietrzu (pięć milionowych procentu objętościowo) bardzo drogi (otrzymuje się go, podobnie jak argon, z powietrza przez wychładzanie i frakcjonowanie pod ciśnieniem). Toż używanie kryptonu w żarówkach do ogólnego oświetlenia nie opłaca się. Natomiast opłaca się w warunkach specjalnych, np. w żarówkach do akumulatorowych latarek górniczych, gdzie dobroć żarówki decyduje o ciężarze akumulatora wzgl. jego czasie pracy do wyładowania.

Pozostaje tedy argon, do którego dodaje się ok. 5–8% azotu, zmniejszającego skłonność do jonizacji. W wielkich żarówkach (od 300 lub 500 W) zwiększa się ten procent do 12–16% ze względu na wyższą temperaturę żarnika, sprzyjającą jonizacji.

Argonu o czystości wymaganej w żarnikach dostarcza ją tylko nieliczne fabryki. Inne dostarczają argonu o zawartości ok. 0,1% tlenu i małych ilości tlenku węgla, który wymaga doczyszczania. Kontrola czystości argonu jest trudna, gdyż metody chemiczne przy wymaganej ogromnej czystości są niecelowe, analiza zaś spektralna jest utrudniona wskutek obecności w znacznym procencie drugiego gazu — azotu. Mimo to śledzenie wyładowań przy użyciu induktora Tesli w ciemności daje przy dużej wprawie pewną orientację. Innym sposobem jest śledzenie stanu podpórek i końców elektrod po krótkim czasie świecenia żarówek próbnych. W razie obecności śladów tlenu osadza się w pewnej strefie temperatury (np. na podpórkach blisko oczek, przez które przechodzą skrętka) cieniutka warstwa czarnego tlenku wolframu. Dalszym wreszcie sposobem jest badanie zmian oporu żarnika (w zimnym stanie) po krótkim czasie świecenia żarówek próbnych.

Sprawa jakości argonu, który większość fabryk żarówek sprowadza, i ewentualnych metod i urządzeń do doczyszczania go (jak i sprawa nienagannego stanu tych urządzeń) jest dla dobroci żarówek gazowanych najważniejsza po jakości drutu wolframowego i skrętek.

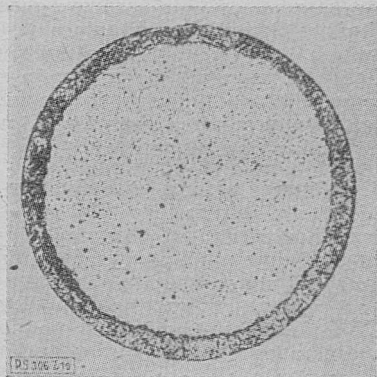
Pochłaniacze*). Prawie dla wszystkich gatunków żarówek używa się czerwonego fosforu jako podstawowego pochłaniacza. Musi on być najwyższej czystości i posiadać nie za cienkie i nie za grube ziarno, co da się osiągnąć przez mielenie i wypłukiwanie. Używa się go zwykle jako zawiesiny w czystym alkoholu. Istnieje kilka sposobów nakładania go na skrętki, najprostszy — przez maczanie gotowego żarnika na zestawie — używany jest dla żarówek gazowanych do 100 lub 150 W. Dla żarówek próżniowych dodaje się zwykle jakiś związek halogenu, najczęściej odpowiednio przygotowany kryolit, w żarówkach gazowanych kryolitu nie używa się, gdyż sprzyja on w tych warunkach powstawaniu jonizacji.

W żarówkach o bardzo małej bańce lub o wielkiej ilości metalu fosfor może okazać się nie wystarczającym, w samochodowych żarówkach reflektorowych używa się np. cyrkonu.

Ważna jest ilość pochłaniacza, którą można regulować przez koncentrację zawiesiny, kontrolować zaś przez badanie koloru żarówek: przy odpowiedniej ilości pochłaniacza bańka powinna wpadać w bardzo lekki prawie niedostrzegalny żółty kolor; przy zbyt małej ilości kolor jest sinawy, przy zbyt wielkiej wyraźnie żółty. Wspominamy o tej kontroli, która właściwie należy do technologii samego wyrobu żarówek, gdyż może ona dać cenne wskazówki co do jakości pochłaniacza, a nawet i argonu.

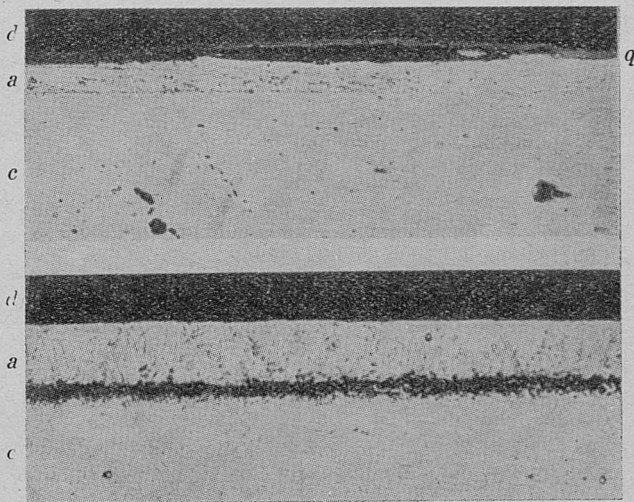
Elektrody. Przełomowym dla elektrod żarówkowych był wynalazek drutu o płaszczu miedzianym. Jest to drut ze stopu żelazo-niklowego, pokryty nakładanym elektrolitycznie lub w postaci nalutowanej rurki płaszczem z miedzi (rys. 7). Pokrywa się tym płaszczem grubsze sztaby, które się na odpowiednie wymiary walcuje

Rys. 7. Przekrój przez drut miedziopłaszczowy — płaszcz z miedzi, naokoło drutu ze stopu żelazo-niklowego (po większ. 300-krotnie)



i ciągnie. Przez dobór właściwego stosunku żelaza do niklu osiąga się współczynnik rozszerzalności taki sam, jaki ma szkło ołowiowe, w które się wtapia drut płaszczowy jako część elektrody przechodzącą przez szkło. Od szczególności miejsca wtopienia zależy już nie tylko dobroć, ale w ogóle funkcjonowanie żarówki.

Drut płaszczowy pokrywa się zwykle cienką warstwą boraksu dla ochrony przed utlenieniem przy wtapianiu w szkło (wyrobie nóżki). Powstające w małych ilościach tlenki miedzi rozpuszczają się w gorącym szkłe i to jest główną zaletą drutu o płaszczu miedzianym. Temperatura wtopienia jest tu rzeczą ważną. Rys. 8 pokazuje u gó-



Rys. 8. Wtopienie drutu miedziopłaszczowego w szkło przy zbyt niskiej (górne zdjęcie) i zbyt wysokiej temperaturze (dolne zdjęcie)

a — płaszcz miedziany, b — tlenek miedzi, c — rdzeń, d — tło

ry wtopienie przy zbyt niskiej temperaturze, co spowodowało oderwanie się warstewki tlenku miedzi, który powinien był rozpuścić się w szkłe. Dolny rysunek pokazuje zbyt gorące zatopienie, co spowodowało oddzielenie się płaszcza miedzianego od rdzenia.

*) Jako polską nazwę „getterów” proponowano również wyraz „łapacze”.

Ważne jest, żeby drut płaszczowy w momencie wtapiania go w szkło nie wydzieliał gazów, które małymi bańkami gromadzą się wzdłuż drutu i mogą psuć próżnię względnie czystość gazu, a nawet spowodować nieszczelność żarówki.

Współczynnik rozszerzalności drutu płaszczowego (liniowy) wynosi ok. $90 \cdot 10^{-7}$ cm/cm. $^{\circ}\text{C}$.

Część elektrody, wykonaną z drutu płaszczowego o długości ok. 4 mm (łącznik), spawa się z częścią pozostającą na zewnątrz żarówki (prądnik) i częścią wchodzącą do wnętrza żarówki (wspornik). Prądnik wykonuje się zwykle z miedzi, przy czym jeżeli elektroda ma być po wykonaniu wyżarzana w wodorze (z ewent. domieszką azotu), należy dodać jakiegoś metalu dla usunięcia kruchości, której miedź nabiera po wyżarzeniu w wodorze. Wsporniki wykonuje się zwykle dla żarówek próżniowych z miedzi, dla żarówek gazowanych z niklu. Dla jakości elektrod rozstrzygająca jest przede wszystkim omówiona już jakość drutu płaszczowego i jakość drutu użytego na wspornik, który powinien przy rozgrzaniu w żarówce (przez przewodzenie z żarnika i przy żarówkach gazowanych przez ogrzewanie przez gorący gaz) wydzielać jak najmniej gazów.

Materiał na podpórki. Ogólnie używa się drutu molibdenowego. Ważne jest, żeby drut ten posiadał czystą, nieutlenioną powierzchnię (srebrzysty wygląd) wydzielając jak najmniej gazów i aby schodząc z rolki nie krzywił się (a więc miał dostateczną sztywność i nie był naprężony), w przeciwnym bowiem razie nie trafi na automatach do wtapiania podpórek we właściwy punkt rozgrzanego guzika słupka szklanego.

Niektóre fabryki używają dla większych żarówek (od 300 lub 500 W) jako materiału na podpórki stopu wolframu z molibdenem. Ze względu na większą sztywność — zwłaszcza w wyższych temperaturach — można przy użyciu tego drutu wykonywać podpórki cieńsze, co z kolei wskutek zmniejszenia przewodności cieplnej zmniejsza rozgrzewanie się guzika szklanego, w który podpórki są wtopione.

Ważna jest obróbka cieplna i mechaniczna przy wyrobie drutu molibdenowego, gdyż wpływa ona decydująco na wytrzymałość i ciągliwość drutu. Rys. 9 pokazuje pod-

metrów) i 4) na pręty (zwykle o średnicy kilku milimetrów).

Bańki, z wyjątkiem niektórych typów specjalnych, wykonuje się ze szkła wapniowego lub magnezytowego o współczynniku rozszerzalności ok. $95 \cdot 10^{-7}$; rurki — ze szkła ołowiowego o tym samym mniej więcej współczynniku; pręty — ze szkła ołowiowego lub bańkowego.

W wielkich żarówkach (od 300 lub 500 W) wtapia się zwykle w krótki słupek kawałek drutu żelazo-niklowego, na który nasadza się guzik ze szkła twardego (wysokotopliwego) o współczynniku rozszerzalności $30\text{--}40 \cdot 10^{-7}$. W guzik ten wtapia się podpórki molibdenowe. Konstrukcja ta jest zarówno odporniejsza na wstrząsy wskutek elastyczności drutu łączącego guzik ze słupkiem, jak i na przewieszanie się podpórek wskutek deformacji guzika w wyższych temperaturach.

W stosunku do szkła wysuwa się na pierwszy plan sprawa doboru współczynników rozszerzalności, przede wszystkim między bańką a talerzykiem, które są wykonane z różnych gatunków szkła i mają być szczelnie oraz bez większych naprężeń stopione w jedną całość. Nawet przy najlepszych wyrobach musimy się liczyć z pewnymi wahaniami współczynnika rozszerzalności w granicach $\pm 2\%$. Szkło jest mniej więcej 10-krotnie wytrzymalsze na ciśnienie niż na ciągnięcie. W procesie tzw. zatapia- nia, to znaczy wtapiania zestawu w bańkę (przy czym stapia się z bańką kołnierz talerzyka), bańka stanowi część zewnętrzną, kołnierz talerzyka część wewnętrzną. Jeśli więc współczynnik rozszerzalności bańki będzie większy niż talerzyka, bańka będzie się przy stygnięciu starała skurczyć silniej niż talerzyk i pozostaną naprężenia ściskające, w przeciwnym razie powstanie rozciąganie. Należy więc od razu przepisać współczynnik rozszerzalności bańki o ok. 3% wyższy niż współczynnik rurki talerzowej, np dla bańki $97 \cdot 10^{-7}$, dla rurki talerzowej $94 \cdot 10^{-7}$. Wtedy otrzymamy w najniekorzystniejszych wypadkach dla powyższego przykładu przy granicach tolerancji $\pm 2\%$:

- a) współcz. rozsz. bańki $97 \cdot 10^{-7} + 2\%$ tolerancji = $99 \cdot 10^{-7}$,
współcz. rozsz. rurki $94 \cdot 10^{-7} - 2\%$ tolerancji = $92 \cdot 10^{-7}$,



Rys. 9. Podpórka molibdenowa żarówki 1000-watowej po 1000 godzin świecenia (powiększenie 61-krotne)

czyli pozostanie różnica współczynników ok. 7% , wywołująca naprężenia ściskające, które szkło dobrze wytrzyma;

- b) współcz. rozsz. bańki $97 \cdot 10^{-7} - 2\%$ tolerancji = $95 \cdot 10^{-7}$,
współcz. rozsz. rurki $94 \cdot 10^{-7} + 2\%$ tolerancji = $96 \cdot 10^{-7}$,

a więc powstanie wprawdzie naprężenie rozciągające, lecz bardzo małe, gdyż różnica współczynników wynosi tylko ok. 1% .

Gdybyśmy przepisali współczynniki rozszerzalności równe, to w najniekorzystniejszym wypadku wytworzyłyby się naprężenia rozciągające, odpowiadające różnicy współczynników ok. 4% , a więc już groźne dla żarówki.

Złe dobrane współczynniki rozszerzalności mogą wywołać katastrofalne skutki. Oprócz gwałtownie zwiększonego odpadu w samej produkcji, wywołującego chaos w procesie technologicznym, powstaje wtedy ogromny odpad gotowych wypróbowanych żarówek u odbiorców. Prócz bowiem żarówek, które już pękły w fabryce, znaczny procent żarówek ma w miejscu zatopienia naprężenia bliskie

pórkę z dobrego drutu molibdenowego, która pracowała w żarówce 1000-watowej w ciągu 1000 godzin. Koniec uległ daleko idącej rekrytalizacji, jednak część nośna, chłodzona przez przewodzenie, została drobnokrystaliczna i sprężysta.

Szkło. Do wyrobu żarówek (oprócz niektórych typów specjalnych) potrzeba czterech rodzajów szkła, a mianowicie: 1) na bańki, 2) na rurki talerzykowe (zwykle o średnicy zewnętrznej kilkunastu milimetrów), 3) na rurki pompowe (zwykle o średnicy zewnętrznej kilku mili-

granicy wytrzymałości. W żarówkach takich przy najmniejszym zwiększeniu naprężenia — przez wstrząs w transporcie lub wskutek różnic temperatury przy samym świeceniu u odbiorcy — powstają małe pęknięcia w miejscu wtopienia, przez które dostaje się z zewnątrz powietrze. Żarówkę te „bieleją“, rzadziej niebieszczeją przez spalenie się wolframu w tlenie i oczywiście przestają świecić. Miejsca pęknięcia są zasłonięte trzonkiem i mało widoczne, a same pęknięcia są często tak drobne, że trudno je odszukać.

Jak widać, nie wystarczy przepisanie odpowiednich współczynników rozszerzalności, trzeba je jak najczęściej — najlepiej przy odbiorze każdej partii szkła — kontrolować. Bezpośredni pomiar współczynnika rozszerzalności szkła jest trudny i często niepewny. Doskonała jest metoda, polegająca na stapianiu płytek szkła badanego z płytkami ze szkła o znanym współczynniku rozszerzalności, a następnie powolnym wychładzaniu i badaniu — za pomocą polaryskopu lub mikroskopu polaryzującego — naprężenia w miejscu stopienia obu szkieł. Naprężenie to jest proporcjonalne do różnicy współczynników rozszerzalności.

Równie ważny, jak dobór współczynników rozszerzalności szkła bańkowego i talerzykowego, jest dobór współczynników szkła talerzykowego i drutu płaszczowego elektrod. Sprawa ta jest jednak z kilku powodów łatwiejsza. Najpierw dlatego, że z powodu cienkich drutów płaszczowych (około 0,3 mm w żarówkach małych i średnich), umieszczonych w stosunkowo grubym szkłe, pęknięcia następują dopiero przy dość znacznych różnicach współczynników rozszerzalności (współczynnik szkła musi być zawsze nieco większy, niż współczynnik drutu). Następnie nóżki wychładza się starannie w piecu, gdy żarówkę po zatopieniu nie przepuszcza się przez piec. Unika się w ten sposób naprężeń dodatkowych, powstających wskutek zbyt szybkiego wystudzenia. Wreszcie zawsze mamy tu do czynienia z naprężeniami ściskającymi, na które szkło jest stosunkowo odporne, ważną rolę odgrywa też większa elastyczność szkła ołowiowego. Bardzo ważne jest natomiast umiejętne wychłodzenie w piecu. Nóżka bowiem posiada dość znaczne różnice przekrojów, zwłaszcza skupienie szkła w gławiku (części sprasowanej), z którego przejdzie do cienkościennej rurki jest dość nagłe. Toteż przy nieumiejętnym wychłodzeniu pęknięcie nóżek zaraz lub w związku z zatapianiem może przybrać zastraszające rozmiary.

Oczywiście, także odpowiedni dobór współczynników rozszerzalności rurek talerzykowych, pompowych i prętów jest ważny, ale i nie trudny, gdyż są one sporządzone z tego samego szkła ołowiowego (z wyjątkiem niekiedy prętów). Szkła ołowiowego używa się z powodu jego znacznie mniejszej wrażliwości na naprężenia. Jest ono jednak droższe i dlatego już od dawna niektóre z fabryk zastępują do wyrobu nóżek szkło ołowiowe szkłem mało ołowiowym (kilka procentów zamiast około 30% tlenku ołowiu), a nawet bezołowiowym. W każdym razie potrzebna tu jest wielka ostrożność.

Drut molibdenowy, z którego są zrobione podpórki, ma współczynnik rozszerzalności rzędu $40 \cdot 10^{-7}$, wskutek czego przy wtapianiu podpórek w główkę słupka powstają naprężenia. W podpórkach dla mniejszych żarówek, które są zrobione z drutu o średnicy ok. 0,1 mm, naprężenia te nie są groźne. W wielkich żarówkach wykonuje się guzik ze szkła „twardego“ tj. boro-krzemowego o współczynniku ok. $40 \cdot 10^{-7}$ i łączy się go z bardzo krótkim w tym wypadku słupkiem za pomocą sztywnego drutu z żelazo-niklu o pośrednim współczynniku rozszerzalności. W tym wypadku w guziku nie powstają naprężenia, w końcu zaś słupka naprężenia są umiarkowane.

Choć bańki żarówek absorbują bardzo nieznaczny procent strumienia świetlnego (ok. 2%), jednak — przy ogólnym znaczeniu ekonomicznym dobroci żarówek — należy zwrócić uwagę i na bańki. Sprawdzenie przez pomiar w kuli Ulbrichta nie powinno sprawiać trudności. Łącząc się z tym wymagania co do czystości baniek, które nie powinny wykazywać smug, bąbli powietrznych itp. Także „kapilary“ powietrzne w rurekach są niedopuszczalne, gdyż mogą oddawać gazy do wnętrza żarówek.

Ważna jest przechowalność baniek. Bańki nie powinny — nawet przy mniej dobrych warunkach magazynowania

— wykazywać w przeciągu 1/2 roku żadnych zmian ani przy oględzinach, ani przy obróbce termicznej. Niemniej jednak należy je magazynować w suchych przewiewnych pomieszczeniach i używać w kolejności ich wyprodukowania. Szkło ołowiowe jest dużo wytrzymalsze na wpływy atmosferyczne, ale ostrożność nakazuje nie robić zapasu ponad roczny nawet w rzadko używanych gatunkach.

Jedną z najważniejszych spraw jest geometryczna równomierność szkła. Są tu dwa zagadnienia: 1) równomierność średniej grubości ścianek i średnic rurek poszczególnych sztuk partii i 2) równomierność grubości ścianek różnych miejsc jednego przekroju poszczególnych sztuk i średnic różnych miejsc rurek.

Przy dzisiejszym tempie wyrobu żarówek (na wielkich zespołach od 1000 do 1300 szt. na godzinę) nie jest możliwe regulowanie ogni palników zależnie od grubości ścianek (wzgl. masy szkła mającego ulec rozgrzaniu) poszczególnych sztuk. Jeżeli więc są większe różnice w grubości ścianek, a w rurekach także średnic pomiędzy poszczególnymi sztukami, niektóre sztuki będą przegrzane, inne niedogrzone, czego wynikiem będzie zwiększony odpad. Wprawdzie rurki pompowe i słupki sortuje się na średnicę (zewnętrzną dla rurek), a najważniejsze rurki talerzowe na średnicę i grubość ścianek, jednak rurki talerzowe przychodzą z huty cięte na długość 1 do 1,2 m i ich nie tnę się na mniejsze kawałki, gdyż automaty do wyrobu talerzyków same odcinają z rurki już gotowy talerzyk. Jeżeli więc na przestrzeni 1 m będą różnice co do grubości ścianki i średnicy rurki (a bywają często), będą też różnice między poszczególnymi talerzykami nawet przy najstaranniejszym sortowaniu.

Podobnie jest z bańkami: na ogół bańki powinny być już w hucie sortowane wedle wagi. To jednak nie wystarczy, gdyż w niektórych bańkach grubość szyjki (która ulega stopieniu z nóżką, a więc na której zależy) będzie mniejsza kosztem kopuły, w innych zaś będzie na odwrót.

Istnieją od niedawna przyrządy do szybkiego pomiaru grubości ścianek przedmiotów szklanych drogą optyczną. Możliwe, że przyrządy te rozwiążą sprawę masowego sortowania baniek na grubość ścianki szyjki.

Nierównomierność grubości ścianki (wzgl. miąższo szkła rurek) powoduje wyrób krzywych talerzyków, krzywe zatapianie żarówek (których potem nie można prosto zatronkować), a przede wszystkim naprężenia w szkłe i znacznie zwiększony odpad.

Jak z powyższego wynika, bardzo ścisła współpraca z hutą szkła jest konieczna dla uzyskania szkła odpowiadającego wszystkim skomplikowanym i niełatwym do spełnienia warunkom. Toteż decydujący wpływ techniczny fabryki na hutę daje najlepsze rezultaty.

Trzonki. Należy wymagać, żeby wymiary trzonków były utrzymywane w granicach tolerancji, żeby trzonki posiadały dostateczną odporność mechaniczną, wystarczający opór elektryczny między łuską a płytką stykową i — jeżeli są żelazne galwanizowane — żeby nie rdzewiały. Przy odbiorze trzonków należy sprawdzać, czy powyższe wymagania są zachowane.

Kit do trzonkowania. Choć kit do trzonkowania nie ma bezpośredniego wpływu na dobroć żarówek, jest on materiałem mogącym spowodować poważne reklamacje ze strony odbiorców, jeżeli jego skład i sposób przyrządzania nie są właściwe. Kity do trzonkowania są zwykle złożone z szelaku lub jego namiastek (albertol, lakkaina itp.), ewentualnie z materiałów typu bakielitowego (żywica fenolowa), rozpuszczonych w spirytusie, przy czym dodaje się materiał wypełniający (np. kredy szlamowanej lub mączki marmurowej) o przepisanej grubości ziarna w ilości znacznie większej od ilości właściwej masy wiążącej. Zwykle dodaje się nieco czterotaminy sześciometylenowej (urotropiny), działającego uelastyczniająco, co zmniejsza ewent. naprężenia w szkłe spowodowane naciskiem kitu. Proces kitowania odbywa się w temperaturze 150—180°C. Często dodaje się nieco zieleni malachitowej, jako indykatora, czy właściwa temperatura została osiągnięta (wtedy kolor zielony znika). Wytrzymałość na ukręcanie trzonka powinna przekraczać

150 kg/cm i być starannie sprawdzana. Wytrzymałość na wpływy atmosferyczne sprawdza się np. przez trzymanie zatrzonkowanych żarówek próbnych przez określony czas w roztworze soli lub nad gotującą się wodą w gorącej parze. Ważne jest, żeby zwłaszcza przy wyższych temperaturach, występujących w większych żarówkach, kit nie „sypał się”. W przypadkach, kiedy występuje specjalnie wysoka temperatura, należy uciec się do środków specjalnych, jak np. wkładka azbestowa.

Lut. Zwykle wystarczą lut cynowy o zawartości 20—25% cyny, przy wielkich żarówkach stosuje się lut kadmowy. Na automatach do trzonkowania używa się przeważnie drutu o średnicy 1 do 2 mm. W pewnych wypadkach korzystne jest używanie drutu tinolowego. Zupelnienie dałoby się uniknąć lutu przez przyspawanie końców elektrod do łuski wzgl. płytki stykowej trzonka. Autorowi nie wiadomo, czy sposób ten jest gdzieś w użyciu w zastosowaniu do żarówek na wielką skalę. W niektórych wypadkach zwłaszcza w okresie wojny, np. w żarówkach górniczych, metoda ta była stosowana.

5. Urządzenie maszynowe i środki warsztatowe.

Uwagi ogólne. Na ogół można osiągnąć wyrób żarówek o wysokiej dobroci, odpowiadających pod każdym względem wymaganiom, nawet na stosunkowo prymitywnych maszynach, jeżeli wytwórnia dysponuje doskonałymi materiałami, dobrze wyszkolonym personelem oraz doświadczonym i posiadającym wystarczający stopień teoretycznego wykształcenia kierownictwem. Wysokie wskaźniki wydajności na robotniko-godzinę, z 1 m² powierzchni i w ogóle dobry wynik gospodarczy da się osiągnąć, oczywiście, tylko przy bardzo zmechanizowanych i zautomatyzowanych, nowoczesnych urządzeniach.

Są jednak pewne fragmenty urządzeń, których odpowiednia jakość jest konieczna do osiągnięcia dobrego wyrobu i te należy pokrótce omówić.

Powietrze i gaz. Zależnie od typu maszyn potrzebna jest sieć rurociągów powietrza sprężonego o ciśnieniu 0,12 do 0,8 at i dobrego gazu świetlnego (o wielkiej szybkości spalania i wysokiej temperaturze spalania) o ciśnieniu 0,05 do 0,08 at. Ciśnienie musi być utrzymywane na jednostajnym poziomie za pomocą dostatecznie czułych urządzeń regulacyjnych i zbiorników wyrównawczych, a rurociągi powinny mieć tak duże wymiary, aby przy wahaniami odbioru nie występowały szkodliwe wahania ciśnienia na poszczególnych maszynach. Palniki muszą mieć mieszalniki do mieszania gazu z powietrzem i muszą być bardzo dobrze skonstruowane.

Jeżeli szybkość spalania gazu nie jest dostateczna, to jest większa, niż szybkość wypływu mieszanki z palnika, płomień „ucieka” i gaśnie. Jeżeli temperatura spalania jest zbyt niska, szkło zmiękcza się zbyt wolno. Obie wymienione wielkości nie idą bynajmniej w parze z wartością opałową: np. metan o wartości opałowej ok. 8000 kcal/m³ jest nieprzydatny dla fabryk żarówek, gdy gaz świetlny o 4000 kcal/m³ i normalnym składzie nadaje się doskonale.

Pompowanie. Całą pompownię można przy odpowiednim doświadczeniu zbudować przy pomocy rurek szklanych i dmuchacza szkła albo specjalnych rurek metalowych i dobrego gumowego węża wysokopróżniowego własnymi środkami i osiągnąć przy jej pomocy pierwszorzędne wyniki. Dziś używa się na ogół (z wyjątkiem np. produkcji niektórych typów żarówek projekcyjnych i innych specjalnych) samoczynnych pompowni obrotowych, będących maszynami skomplikowanymi. W każdym razie potrzebne są pierwszorzędne pompy na dużą próżnię, przy czym przemysł żarówkowy porzucił na ogół rtęciowe pompy dyfuzyjne i powrócił do obrotowych pomp olejowych. Pompuje się zwykle w dwu stopniach. Utrzymanie w należyłym stanie i drobniagowej czystości pomp i pompowni jest koniecznym warunkiem należytej dobroci żarówek i wymaga dużej troskliwości i doświadczenia ze strony zarówno kierownictwa jak i obsługi.

Koniecznym uzupełnieniem urządzeń do pompowania są induktory wysokiej częstotliwości potrzebne do kontroli próżni; przyrządy te powinny być pewne w ruchu i trwałe.

Czyszczenie gazu. Zawsze przepuszcza się argon przez pięciotlenek fosforu dla usunięcia śladów pary wodnej, które mogły się np. znajdować w pustej butli stalowej przed napełnieniem lub w rurociągach. Jeżeli argon trzeba doczyszczać, to odpowiednie urządzenia, jako niezbyt skomplikowane, mogą być wykonane własnymi środkami. Najtrudniejsze do wykonania elementy stanowią piece rurowe (wypełnione wiórkami miedzianymi, które absorbują tlen), pracujące przy temperaturach rzędu 600°C. Warunki dobrych wyników są tu jak przy pompach: najdalej posunięta czystość, staranność obsługi i doświadczenie.

Chłodzenie szkła. Jednym z zasadniczych urządzeń nie zawsze stojącym na wysokości są dobre piece chłodzące, przez które nóżki muszą przechodzić natychmiast po wyprodukowaniu. Koniecznym uzupełnieniem jest dobry polaryskop, który wykazuje przy pomocy spolaryzowanego światła naprężenia w nóżkach lub w zatopionych żarówkach (miejsca naprężeń występują w innym kolorze, np. czerwonym na sinym tle).

Inne urządzenia. Wszystkie powinny być na wysokim poziomie. Do najważniejszych należą dobre nóżkarki. Po nóżkarce żarówki idą na podpórkarki, a w nowoczesnie urządzonych fabrykach zestawiaarki, które samoczynnie spłaszczają i zaginają końce elektrod, przenoszą przygotowane na rowkowanym bębnie lub tacy skrętki do elektrod i tam je zamocowują, wtapiają podpórki, zakręcają ich oczka naokoło skrętki, fosforują i same oddają gotowy zestaw na taśmę. Dalej idzie zatapiarka, łącząca zestaw z bańką, wspomniana już wyżej pompownica, na której może się też odbywać napełnienie argonem, za nimi wyświetarka i trzonkarka, albo samoczynna trzonkarka, na której oprócz trzonkowania odbywa się również wyświetanie i lutowanie żarówek. Wreszcie następuje ostatnia kontrola — w żarówkach próżniowych połączona zazwyczaj z kilkominutowym świeceniem, po czym żarówki idą do pakowania — obecnie często samoczynnego. W dobrze urządzonych fabrykach maszyny ustawione są zespołowo, a przy nowoczesnych szybkobieżnych zespołach półfabrykat jest częściowo samoczynnie podawany z jednej maszyny na taśmę i samoczynnie zabierany przez następną maszynę.

Z urządzeń pomocniczych do najważniejszych należy wspomniana już talerzykarka, którą jednak często umieszcza się w zespole przed nóżkarką, dalej samoczynne lub półsamoczynne aparaty do wsmarowywania kitu w trzonki, automaty do wewnętrznego izolowania trzonków do żarówek dwuskrętkowych, urządzenia do sortowania szkła, do mielenia fosforu, mielenia i przyrządzania kitu, wreszcie aparaty do stemplowania żarówek, jeżeli nie odbywa się ono na zespole.

Ogólnie należy stwierdzić, że istnieją dziś doskonałe urządzenia i maszyny do produkcji wszelkiego rodzaju żarówek — zmechanizowane i zautomatyzowane jak w mało którym przemyśle.

Urządzenia do kontroli surowców. Należy jeszcze raz podkreślić decydujące znaczenie jakości surowców, a więc i ich kontroli oraz potrzebnych do niej urządzeń. Na urządzenia te zwrócono już uwagę w poprzednim rozdziale. Tylko doskonale urządzona i obsadzona probiernia, jako uzupełnienie kontroli technicznej, może zapewnić najwyższą i jednostajną jakość.

Należy stwierdzić, że urządzenie takiej stacji kontrolnej może być trudniejsze do zaprojektowania, a poszczególne aparaty mogą być trudniejsze do nabycia czy też sporządzenia niż wyposażenie części produkcyjnej.

Oddział próbnej produkcji. Jeżeli fabryka ma samodzielnie konstruować nowe typy żarówek wzgl. maszyny do ich produkcji, to biuro studiów i konstrukcji powinno posiadać własny oddział próbnej produkcji, gdzie zarówno prototypy mogłyby być produkowane na skalę półfabryczną, jak i nowe maszyny wypróbowywane.

6. Wyniki.

Uwagi ogólne. Jeżeli wszystkie omówione warunki zostały spełnione, konstruktor ma prawo oczekiwać i wymagać od produkcji odpowiednio wysokiego poziomu wyrobów. Założone przez konstruktora normy muszą

być w rzeczywistości wypełnione. W następnych ustępach podane są w skrócie najważniejsze cyfrowe wymagania, którym powinny czynić zadość żarówki głównego szeregu, dla dwu głównych napięć — 220 i 127 V. Podane niżej cyfry dotyczą żarówek wysokiego gatunku, produkowanych z doskonałych surowców przez najlepsze fabryki światowe.

Dobroć. Do wzoru (6) na dobroć:

$$D = 0,373 T^{1/7} S$$

można wstawić bądź początkową sprawność S_0 , bądź średnią sprawność

$$S_{sr} = \frac{\int_0^T S dt}{T}$$

gdzie T — trwałość, S — sprawność po czasie t . W pierwszym przypadku otrzymamy „dobroć początkową“, w drugim „dobroć średnią“.

Tablice II i III podają dobroć początkową. Oczywiście, dla skontrolowania, czy rzeczywista dobroć początkowa pokrywa się z założoną, trzeba brać średnią wyważoną dobroć danego typu z dłuższego okresu np. z 1 roku.

T a b l i c a II. Dobroć początkowa żarówek głównego szeregu

R o d z a j	Moc (W)	Dobroć początkowa przy napięciu założonym ($h^{1/7} \cdot \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)	
		220 V	127 V
Żarówki próżniowe	15	8,45	8,95
„ „	25	9,60	10,20
Żarówki argonowe dwuskrętk.	40	10,85	12,45
„ „	60	12,35	13,85
„ „	100	13,90	15,65
Żarówki argonowe ednoskrętk.	150	14,25	15,50
„ „	200	15,30	15,90
„ „	300	16,10	16,70
„ „	500	16,90	18,15
„ „	1000	18,80	20,70
„ „	1500	20,00	20,70

T a b l i c a III. Dobroć początkowa jednoskrętkowych argonowych żarówek głównego szeregu

Moc (W)	Dobroć początkowa ($h^{1/7} \cdot \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$) przy napięciu założonym	
	220 V	127 V
40	8,65	10,90
60	10,25	12,60
100	13,45	14,55

Strumień świetlny. Początkowy strumień świetlny jest dany przez dobroć i wybór punktu roboczego (to znaczy założonej trwałości). Podajemy przeciętny końcowy strumień świetlny w procentach początkowego (po założonym czasie świecenia). Ważne jest, żeby spadek strumienia świetlnego był jak najmniejszy, gdyż on decyduje o tym, do jakiego czasu żarówki spełniać będą należycie swoje zadanie, tzn. dawać oświetlenie, stwarzające odpowiednie warunki do wykonywania zadanej czynności. Inaczej mówiąc, spadek strumienia świetlnego określa nierzadko użyteczną trwałość żarówki. Do obliczania oświetlenia należałoby, ściśle mówiąc, brać końcowy strumień świetlny tam, gdzie jasność jest określona jedną lub dwiema żarówkami, i średni strumień świetlny tam, gdzie większa liczba żarówek oświetla jedno miejsce. (Dla odróżnienia używamy oznaczenia „średni“, gdy mamy na myśli średnią wartość pewnej cechy, zmieniającej się w czasie świecenia, dla jednej sztuki, i oznaczenia „przeciętny“ przy obliczaniu średniej arytmetycznej jednej cechy dla większej liczby żarówek).

Tabl. IV podaje strumień świetlny 4 typów żarówek po 25, 50, 75 i 100% czasu świecenia wedle dawnych prób fabryki Osram. Żarówki na 110 V, 40 W, próżniowe, które wykonywa się tylko jako odporne na wstrząsy, podano ze względu na charakterystyczny spadek strumienia świetlnego w czasie świecenia w żarówkach próżniowych o grubszym drucie. Wyjaśnia to, dlaczego żarówki na 220 V, 40 W wykonuje się jako gazowane, chociaż ich początkowa sprawność jest gorsza od sprawności żarówek próżniowych tego typu. Wartości dla żarówek na 127 V, 25 W przypadają mniej więcej nośrodku między wartościami dla żarówek na 220 V, 25 W a 110 V, 40 W. Jak widać, różne typy żarówek gazowanych mają mniej więcej ten sam przebieg spadku strumienia świetlnego.

Podane w tablicach liczby są tylko orientacyjne. Wyniki zależą w dużym stopniu od metod produkcji. W żarówkach próżniowych głównymi powodami spadku strumienia są: spadek temperatury wskutek zmniejszania się przekroju drutu (wzrost oporu) i czernienie bańki (przy grubszych drutach to ostatnie odgrywa główną rolę). W żarówkach gazowanych główną rolę odgrywa spadek temperatury wskutek zmniejszania się przekroju drutu i wskutek zwiisu (przedłużenia skrętki, a więc zwiększenia chłodzenia); czernienie nie odgrywa tu wielkiej roli.

T r w a ł o ś ć. Ta wynika z dobroci żarówki i właściwego dobrania punktu roboczego. Ważna jest jednak trwałość użyteczna, to jest czas świecenia do przepalenia się żarówki, bądź do spadku strumienia poniżej pewnej granicy, jeżeli spadek tak następuje przed przepaleniem się żarówki. Jako taką granicę można obrać np. spadek strumienia świetlnego poniżej 75% — 70% dla żarówek próżniowych i poniżej 85% dla żarówek gazowanych.

S p a d e k s p r a w n o ś c i. Ten spadek, decydujący o koszcie lumenogodziny, podaje orientacyjnie tabl. V, sporządzona na podstawie tych samych prób, co tabl. IV.

T a b l i c a IV. Spadek strumienia świetlnego w czasie świecenia

T y p	Strumień świetlny w %% początkowego				
	po czasie świecenia				średni
	25%	50%	75%	100%	
220 V, 25 W, próżniowa	92	85	79,5	76	86
110 V, 40 W, próżniowa	88	78	70,5	66,5	80
220 V, 40 W, jednoskrętk. gazow.	95	92	89,5	88	92,5
110 V, 100 W, jednoskrętk. gazow.	96,5	93,5	90,5	88	93,5

T a b l i c a V. Spadek sprawności żarówek w czasie świecenia

T y p	Sprawność w %% początkowej				
	po czasie świecenia				średnia
	25%	50%	75%	100%	
220 V, 25 W, próżniowa	94	89	84,5	82	89,5
110 V, 40 W, próżniowa	92	85	79	76	86
220 V, 40 W, jednoskrętk. gazow.	95,5	93	91	90	93,5
110 V, 100 W, ednoskrętk. gazow.	96,5	94	91,5	89,5	94

R ó w n o m i e r n o ś ć. Należy rozróżniać równomierność wewnątrz jednej partii, wyprodukowanej jednocześnie z tej samej partii materiałów i w tych samych warunkach produkcyjnych, równomierność z dłuższego okresu czasu, np. 1 roku, kiedy zmieniają się nawet przy największej staranności zarówno surowce, jak i warunki produkcji. Wartości przeciętne będą więc przy trafnym zaprojektowaniu tym więcej zbliżać się do założonych, im dłuższy okres czasu bierzemy pod uwagę. Największe odchyłki skrajnych egzemplarzy od przeciętnej założonej wartości będą, oczywiście, wzrastać zarówno z liczbą sztuk poddanych próbie, jak i z okresem czasu, z którego próby pochodzą. Jeśli znów będziemy badać procent poszczególnych sztuk, przekraczających pewną granicę tolerancji, to różne partie dadzą różny procent, a przeciętna z dłuższego okresu znajdzie się, oczywiście, pomiędzy tymi wartościami. Podane niżej cyfry co do równomierności partii dotyczą partii od kilku do kilkudziesięciu tysięcy sztuk.

Na wielkiej r ó w n o m i e r n o ś c i d o b r o c i nam nie zależy. Jest rzeczą bardzo ważną, aby przeciętna średnia dobrze była jak największa, gdyż obniża jej o 1% kosztuje np. narodową gospodarkę polską około 10 milionów złotych rocznie. Natomiast wahania, które występują przy średnim poziomie wyrobu, są — nawet dla konsumenta używającego tylko jednej żarówki równocześnie — bez większego znaczenia.

Tu należy wyjaśnić sprawę, czy rzeczywiście koszt l u m e n o g o d z i n y jest miarodajny dla oceny gospodarności oświetlenia. Spotyka się następujące rozumowanie: jeżeli przez przesunięcie punktu roboczego zmniejszymy trwałość, zwiększając jednocześnie strumień świetlny, odbiorca nie zastąpi np. żarówki 60-watowej żarówką 40-watową, gdyż zwiększenie strumienia jest zbyt małe (np. przy zmniejszeniu trwałości o $\frac{1}{3}$ część strumień świetlny zwiększy się zaledwie o 6%). Rozumowanie to jest mylne. Prawie wszędzie, a u nas na pewno jeszcze przez długie lata jasność pomieszczeń przy sztucznym świetle będzie z małymi wyjątkami znacznie niższa od najkorzystniejszej. W tych warunkach każde zwiększenie strumienia świetlnego, a więc jasności, zwiększa gospodarność pracy — jak to wykazały niezliczone pomiary — niewspółmiernie nawet do kosztu większej żarówki o tej samej dobroci, a tym bardziej jeżeli koszt lumenogodziny nawet maleje. Zwiększanie się gospodarności pracy jest, oczywiście, krzywą ciągłą, nie przebiegającą skokami.

Należy jeszcze zauważyć, że stopień równomierności dobroci, zwłaszcza średniej, jest nieocenionym wskaźnikiem równomierności materiałów i opanowania wzgl. utrzymania na należytych poziomie jakościowym głównych procesów produkcyjnych.

Natomiast ważna z punktu widzenia odbiorcy jest r ó w n o m i e r n o ś ć strumienia świetlnego w partii produkcyjnej, zwłaszcza średniego i końcowego, gdyż jeżeli — zwłaszcza przy korzystaniu tylko z jednej lub dwu żarówek — odbiorca trafi na znacznie mniejszy strumień świetlny, może znacznie ucierpieć gospodarność i jakość pracy, samopoczucie, a w pewnych wypadkach nawet (przynajmniej przejściowo) stan wzroku pracującego. Niebezpieczeństwo to jest, oczywiście, tym większe, im mniejsza jest jasność w danym miejscu pracy przy użyciu żarówki o normalnym strumieniu świetlnym. Niestety, strumień świetlny zmienia się właśnie bardzo znacznie, często nawet wskutek drugorzędnych błędów fabrykatu, np. wskutek drobnych odchyłków w długości drutu wzgl. w wymiarach skrętki (np.

jej średnicy). Jeżeli np. przy tej samej średnicy drutu zwiększy się jego długość o 1%, to strumień świetlny zmniejszy się o ok. 2,5%. Jeżeli średnica drutu przy tej samej długości zmniejszy się o 1%, strumień świetlny zmniejszy się o 4,1%. Jeżeli więc jakaś żarówka ma drut tylko o 1% dłuższy i tylko o 1% cieńszy niż założono przy konstrukcji, jej początkowy strumień świetlny będzie wynosił 0,975.0,959 założonego, tzn. będzie o ok. 6,6% niższy niż założony.

Oto dlaczego warunek, aby nie więcej niż 10% żarówek partii miało średni wzgl. końcowy strumień mniejszy od ~ 90% przewidzianego w założeniach konstrukcji przeciętnego średniego wzgl. końcowego strumienia, jest możliwy do spełnienia tylko przy wysokim poziomie materiałów i fabrykacji.

R ó w n o m i e r n o ś ć t r w a ł o ś c i nie jest zbyt ważna. Natomiast ważne jest, aby tylko bardzo mały procent żarówek przepalił się po bardzo krótkim czasie. Dobry wyrób bez trudu spełni warunek, żeby trwałość użytkowa przynajmniej 90% partii była większa od 70% trwałości założonej.

R ó w n o m i e r n o ś ć m o c y może być ważna w większych instalacjach, jednak na ogół w znacznie szerszych granicach, niż wykazują żarówki dobrej jakości. Wahania mocy są podobnie jak wahania dobroci — aczkolwiek w mniejszym stopniu — wskaźnikiem stopnia równomierności surowców i pracy wytwórni. Zmiana długości drutu o 1% wywołuje zmianę mocy o ok. 0,6%, zmiana średnicy o 1% zmianę mocy o ok. 1,85%. Równoczesne więc skrócenie i zgrubienie drutu o 1% powoduje zwiększenie mocy o ok. 2,45%.

Utrzymanie 90% partii poniżej górnej granicy malejącej dla większych typów od ok. 106% założonej mocy żarówek 15-watowych do ok. 103% mocy żarówek 200-watowych i większych można założyć pod warunkami podanymi na wstępie niniejszego rozdziału. Przeciętna odchyłka partii powinna być nie większa niż $\frac{3}{4}$ podanych procentów.

Z n a c z e n i e p o w y ż s z y c h c y f r. Podane cyfry są tylko orientacyjne, zwłaszcza w stosunku do własności średnich lub końcowych. Samo statystyczne uchwycenie tych własności jest trudne. W żadnym wypadku cyfry te nie mogą być użyte jako podstawa do warunków odbioru, gdyż podano tu je nie z punktu widzenia odbioru, lecz z punktu widzenia przeciętnych wyników produkcji. Warunki odbioru muszą zawierać na ogół niższe wymagania, aby dla niewielkich i mało szkodliwych odchyłek nie odrzucano partii ze szkodą dla gospodarki ogólnej, a bez istotnej korzyści dla danego odbiorcy.

LITERATURA

- Abhandlungen aus dem Osramkonzern, t. I do IV (Berlin, 1930—36).
 B e r s o n L. Zagadnienie próżni w żarówkach próżniowych (Przegl. Elektr., 1926, str. 161, 186, 193)
 B e r s o n L. Rury fluoryzujące (PWT, 1950)
 B e r s o n L. Wybór punktu roboczego przy normalizacji żarówek (Przegl. Elektr., 1951, str. 173)
 B r u m a P. J. Physical aspects of colour (Eindhoven, 1948)
 C z a r n e c k i E. Projektowanie skrętek wolframowych do żarówek (Przegl. Elektr., 1949, str. 348)
 E s p e W., K n o l l M. Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936
 G e h l h o f f G. Lehrbuch der techn. Physik, t. III (Lipsk, 1929)
 I w a n o w A. P. Elektriceskije istoczniki swieta (Moskwa-Leningrad, 1938)
 S e w i g R. Handbuch der Lichttechnik, t. I (Berlin, 1938)
 U l m i s z e k L. G. Proizvodstvo elektriceskich lamp nakaliwania (Moskwa-Leningrad, 1949)
 W e i g e l R. G., K n o l l O. H. Strukturuntersuchungen an Wolfram-Leuchtkörpern (Das Licht, 1943, 8/9, str. 112)

Nasza Konstytucja wyrasta z najgłębszych pokładów polskiej gleby, z walk i z woli polskiego ludu, wyrasta z dziejów naszego narodu i jest wcieleniem jego wielowiekowych dążeń, jest rozwinięciem jego najbardziej postępowych tradycji, które są dla nas przedmiotem dumy.

Konstytucja jest uwieńczeniem zwycięstwa bohaterskich zmagani polskiego ruchu robotniczego na przestrzeni 70 lat.

B. BIERUT

Zagadnienia przewodowe w liniach najwyższych napięć*) (MKWSE, 1950)

Opracował prof. WŁODZIMIERZ SZUMILIN

WSTĘP

Ważniejsze zagadnienia w dziedzinie przesyłu energii na napięciach wyższych od dotychczas stosowanych dają się zestawić, jak następuje [1]:

- 1) wpływ zjawiska ulotu przy napięciach międzyprzewodowych rzędu 400 kV;
- 2) zagadnienia specjalne dotyczące przewodów bliźniaczych oraz gospodarcze porównanie tych przewodów z przewodami (dwuprzewodowymi) dwuprzewodowymi z
- 3) charakterystyki urządzeń w sieciach do wytwarzania, transformacji i kompensacji;
- 4) ustalenie najkorzystniejszych warunków pracy sieci;
- 5) badanie gospodarczych wartości napięcia przesyłowego w zakresie bardzo wysokich napięć.

Poza tym przy przesyłaniu energii na bardzo wysokim napięciu ze szczególną ostrością występują te zagadnienia, które również przy niższych napięciach są wciąż aktualne; a więc np. stateczność pracy sieci, właściwy układ połączeń, stosowanie oporności szeregowych i bocznikowych, sprawy dotyczące wyłączników, kompensatorów synchronicznych, przekładników, transformatorów, zabezpieczeń, koordynacji izolacji itp.

Przedmiotem badań jest również udział kosztów słupów w całkowitych kosztach linii i znalezienie właściwej konstrukcji słupów dla tych linii.

Co do izolatorów uważa się, że obecne izolatory typu wiszącego dadzą się — w odpowiedniej liczbie — bez żadnych zmian konstrukcyjnych zastosować do linii bardzo wysokich napięć.

Co do przewodów bliźniaczych stwierdzono, że posiadają one wielkie zalety techniczne (szczególnie pod względem strat na ulot i zakłóceń radiofonicznych), jednakże istnieją różnice poglądów co do gospodarczego uzasadnienia stosowania tych przewodów.

Podane niżej streszczenia referatów dotyczą przede wszystkim zagadnień przewodowych, występujących w technice budowy napowietrznych linii przesyłowych najwyższych napięć.

O osiągnięciach ZSRR czytelnicy Przeglądu Elektrotechnicznego byli już informowani**). Wiemy, że w ZSRR w związku z budową olbrzymich elektrowni wodnych na Wołdze (w Kujbyszewie i Stalingradzie) są w opracowaniu i wykonaniu wielkie układy sieciowe o napięciach rzędu 400 kV i rozciągłości ok. 1000 km, które mają przenosić energię z tych elektrowni do centralnych okręgów europejskiej części ZSRR oraz połączyć między sobą istniejące i przyszłe układy sieciowe 220-kilowoltowe.

We Francji wybudowano linię przesyłową (Le Breuil-Chevilly, ok. 400 km) na 380—400 kV, która pracuje na razie na 220 kV. W Szwecji jest na ukończeniu układ przesyłowy na 380—400 kV (Harspranget-Midskog-Hallsberg, ok. 970 km), który ma rozpocząć pracę w 1952 r. W Anglii studiowane są linie na 275—300 kV i tytułem próby zostały wydane zamówienia dla wyposażenia próbnego odcinka o niewielkiej długości linii tego typu. W Stanach Zjednoczonych zostały daleko posunięte projekty i badania wyposażenia dla licznych linii bardzo wysokiego napięcia (rzędu 500 kV), jednakże napięcie robocze tych linii nie zostało jeszcze ostatecznie ustalone. W ten sposób napięcie 287,5 kV linii Boulder Dam-Los Angeles (430 km) pozostaje jeszcze (od 15 już lat) najwyższym osiągniętym w energetyce napięciem przesyłowym.

P. AILLERET i F. CAHEN. Wybór przewodów dla linii 380—400 kV [2]

Referat obejmuje wyniki badań w okresie 1948—1950 r., dokonanych głównie w stacji doświadczalnej na 500 kV w Chevilly pod Paryżem. Prowadzono je dla praktycznego ustalenia właściwego wyboru uzbrojenia linii na 380—400 kV, przede wszystkim pod kątem widzenia ulotu (straty i zakłócenia radiofoniczne) oraz porównania przewodów zwykłych i bliźniaczych (dwa przewody stalowo-aluminiowe o przekroju 411 mm² i średnicy 26,4 mm). Badano również działania mechaniczne pomiędzy przewodami bliźniaczymi w wiązce, jak również działania na przewody wiatru i sady przy przewodach bliźniaczych oraz pojedynczych o dużej średnicy.

1. Działania mechaniczne na przewody w wiązce. Zostało stwierdzone, zgodnie z obliczeniami teoretycznymi, że zbliżanie się przewodów bliźniaczych danej wiązki, poddanych jednokowym siłom, jest znacznie słabsze przy pionowym układzie tych przewodów niż przy poziomym. Zetknięcia się pod działaniem wiatru dwóch przewodów odległych od siebie o 40 cm — bez rozpórki w przeszle długości 500 m — nigdy nie zaobserwowano przy pionowym układzie przewodów. Przy układzie poziomym takie stykanie się występowało często przy dużym wietrze.

Przy zwarciach natężenie prądu zlepiania i odlepiania się przewodów — przy jednakowych między nimi odległościach — jest znacznie większe przy układzie pionowym, niż przy poziomym. Stosunek prądu zlepiania i odlepiania się przy układzie pionowym do tegoż prądu przy układzie poziomym wynosi według obliczeń teoretycznych 2—2,4 (zależnie od sposobu zamocowania przewodu); potwierdziły to doświadczenia, które dały liczby 2,2—2,3.

Wyniki tych badań są zestawione w tabl. I, w której podane są liczby rozpórek w przeszle długości 500 m,

Tablica I

Odległość między przewodami bliźniaczymi o średnicy 26,4 mm (411 mm ²) (cm)	Najmniejsza liczba rozpórek przy układzie przewodów	
	poziomym	pionowym
30	2	1
40	2	0
50	1	0
60	1	0

stosowanych dla uniknięcia zlepiania się przewodów bliźniaczych pod działaniem prądów zwarcia.

Co do działania wiatru nie ma żadnych dodatkowych zaleceń przy układzie pionowym. Natomiast przy układzie poziomym, gdy występuje zbieg dwóch czynników — wiatru i zwarcia, zaleca się zwiększyć liczbę rozpórek o jedną w stosunku do podanych w tabl. I, a więc np.

Tablica II

Prędkość wiatru (m/s)	Parcie wiatru (kg/m.b.) w linii o 2 przewodach bliźniaczych przy średnicy ich 26,4 mm i odległości 40 cm	
	Układ poziomy	Układ pionowy
10	0,28	0,39
20	1,05	1,29
24,4	1,57	2,03
34,5	3,2	4,2

musimy dać 3 rozpórki przy odległości między przewodami bliźniaczymi 40 cm lub też 2 rozpórki przy odległości 50 cm.

*) Por. Przegl. Elektr., 1950, z. 4/5/6, str. 141—150.
**) Epokowe budowle ZSRR w dziedzinie hydrotechniki i elektroenergetyki — II (Przegl. Elektr., 1951, z. 10, str. 394).

Ciekawe są podane w tabl. II wyniki badań w tunelu aerodynamicznym nad zjawiskiem „cienia wiatrowego”, które występuje przy poprzecznym poziomym wietrze, dmącym na wiązkę dwóch poziomych przewodów bliźniaczych. Jak widać, zmniejszenie parcia wiatru na przewód, znajdujący się w „cieniu wiatrowym”, jest bardzo znaczne, bo wynosi 40 do 50%, co dla całości wiązki stanowi redukcję ok. 20 do 25%.

2. **Straty na ulot.** Konstrukcyjne wykonanie przewodów stalowo-aluminiowych, które były poddane badaniom, pokazane jest na rys. 1. Poza tym dla porównania badano również normalny pełny przewód stalowo-aluminiowy o średnicy 26,4 mm (411 mm²), stosowany w liniach na 220 kV, oraz wiązkę z 2 takich samych przewodów bliźniaczych, oddległych od siebie o 40 cm.

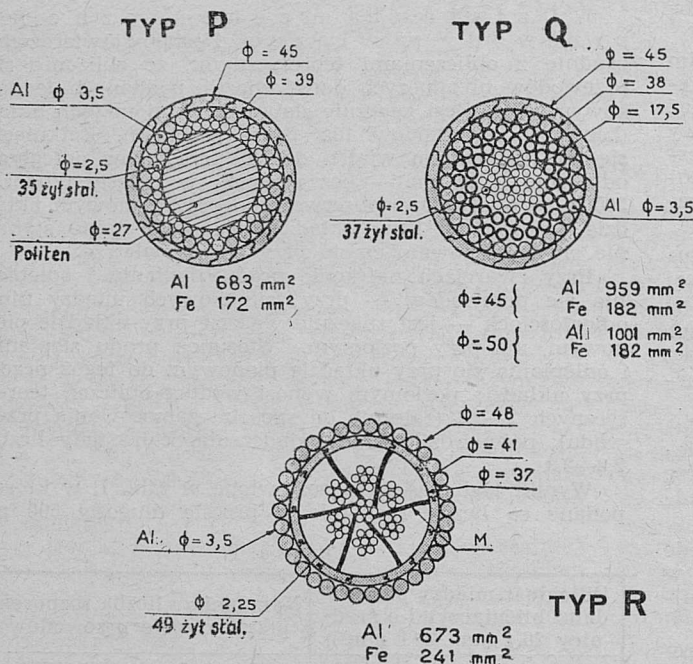
W miarę tego, jak przewód napowietrzny „starzeje się” pod działaniem napięcia i wpływów atmosferycznych, następuje przesunięcie krzywych strat w kierunku osi odciętych tj. napięć wyższych, przy tym pochylenie tych krzywych staje się bardzo strome. Różne typy przewodów różnie „starzeją się”. Przy tym samym napięciu roboczym

Krzywe rys. 3 podają przykładowo niektóre z licznych pomiarów tych strat.

Najkorzystniejszymi z przewodów pojedynczych okazały się typ R o średn. 48 mm i typ Q o średn. 50 mm. Niemniej jednak straty tych przewodów są przy deszczu ok. 1,5 do 2 razy większe niż dla wiązki. Stosunek ten wzrasta do 2—2,5 przy porównaniu przewodów pojedynczych o średnicy 45 mm.

Po uwzględnieniu strat zarówno przy dobrej pogodzie jak i przy deszczu, należy uznać, że najlepszy z przewodów pojedynczych jest typ R o średn. 48 mm.

Analiza powyższych badań doprowadza do wniosków w pewnej mierze nieoczekiwanych. Istotnie, można by się spodziewać, że przewód pojedynczy o dużej średnicy oraz wiązka 2 przewodów bliźniaczych — przy jednakowym stanie powierzchni i przy jednakowym natężeniu pola elektrycznego na tej powierzchni — dadzą straty proporcjonalne do swych powierzchni zewnętrznych. Gdy mówimy o polu na powierzchni wiązki, to — ponieważ wzdłuż obwodu poszczególnych przewodów bliźniaczych pole to zmienia się — mamy tutaj na myśli równoważne natężenie pola elektrycznego tj. takie, które, panując

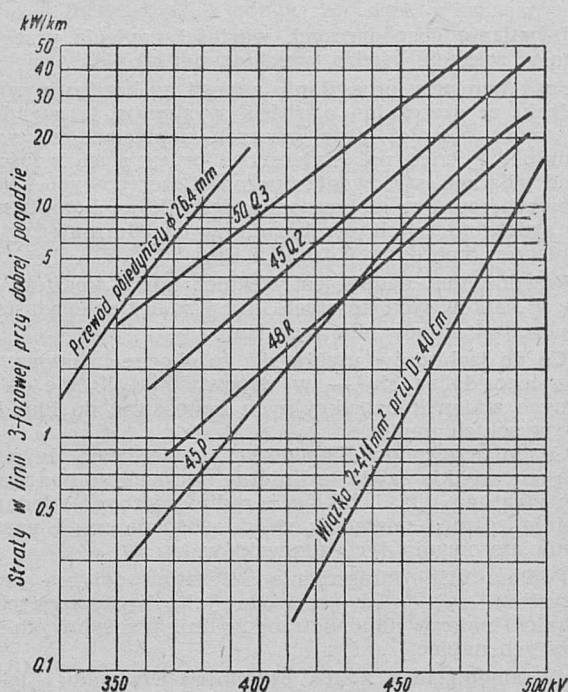


Rys. 1. Różne typy przewodów stalowo-aluminiowych dla linii bardzo wysokiego napięcia (dla typu R litera M oznacza płaskownik aluminiowy o grub. 1 mm, skręcony śrubowo)

różnice w stratach występują także wskutek różnic natężenia pola elektrycznego na powierzchni różnego typu przewodów.

Z rys. 2 widzimy, że najlepsze wyniki dają przewody typu P o średnicy 45 mm oraz typu R o średnicy 48 mm. Jednakże przy napięciach rzędu 400 kV, przewidywanych w eksploatacji, straty występujące na tych przewodach są co najmniej 10-krotnie większe niż dla wiązki 2 razy 26,4 mm i osiągają wartość ok. 1,5 kW/km, straty zaś pojedynczego przewodu o średnicy 26,4 mm byłyby co najmniej 100-krotnie większe przy tych napięciach niż dla wiązki 2 × 26,4 mm.

Badania strat na ulot przy deszczu wykazały, że dla przewodów pojedynczych są one większe niż dla wiązki, lecz rozpiętość strat jest znacznie mniejsza. Przy tym różnice w stratach nie wykazują zawsze tych samych wartości ani w mocy, ani w energii. Wynika to z różnych warunków z moczenia przewodów przez deszcz, tworzenia się kropli zawieszających na przewodach (co ma duży wpływ na straty ulotu), wysychania przewodów itp.



Rys. 2. Straty na ulot w kW/km linii 3-fazowej przy dobrej pogodzie dla różnych rodzajów przewodów w zależności od napięcia międzyprzewodowego (oznaczenia przewodów według rys. 1; 45 Q₂ i 50 Q₃ oznaczają typ Q o średn. 45 i 50 mm)

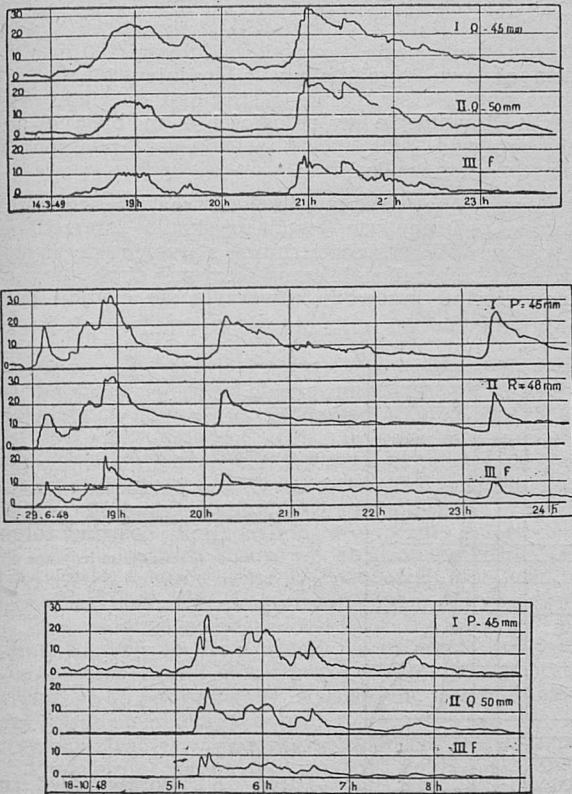
przy polu jak dla pojedynczego przewodu cylindrycznego, dawałoby te same straty, co daje pole rzeczywiste.

Dla wiązki 2 × średn. 26,4 mm (D = 40 cm) średnica przewodu równoważnego wynosi 42 mm. A więc przewód pojedynczy o średn. 42 mm, złożony z drutów okrągłych, dawałby straty na ulot równe tymże dla wiązki 2 × średn. 26,4 mm (D = 40 cm), pomnożone przez odpowiedni stosunek powierzchni zewnętrznych, a mianowicie $42/2 \cdot 26,4 = 0,8$. Zdawałoby się zatem, że przewód pojedynczy o powierzchni gładkiej i średnicy od 45 do 50 mm powinien dawać straty mniejsze. Jednakże, jak wykazuje doświadczenie, przypuszczenie to nie odpowiada rzeczywistości.

Wykonano liczne próby specjalne, zarówno na doświadczalnym odcinku linii, jak też na specjalnym 11-metrowym odcinku linii 1-fazowej, zawieszonym w osi cylindrycznej siatki metalowej uziemionej*). Próby te miały na celu wyłączenie wszelkiej przypadkowości przy pomiarach, jak np. rozplatanie się żył przewodu, stan po-

*) Ob. Przegl. Elektr., 1950 r., z. 4/5/6, str. 142.

wierzchni itp. Próby wykazały, że przy przewodach pojedynczych, doskonale gładkich i czystych, gdy pracuje się poniżej granicznego napięcia strat (napięcia odpowiadające zagięciu do pionu krzywych strat przewodów pojedynczych), a bywa to zawsze przy liniach przesyłowych, nie jest możliwe zmniejszenie strat przez odpowiednie powiększenie średnicy przewodu. Potwierdzają to krzywe na rys. 4, otrzymane dla gładkich przewodów rurowych o średnicach od 14 do 40 mm.



Rys. 3. Straty na ulot przy deszczu
P, Q, R — typy przewodów według rys. 1
F — wiązka

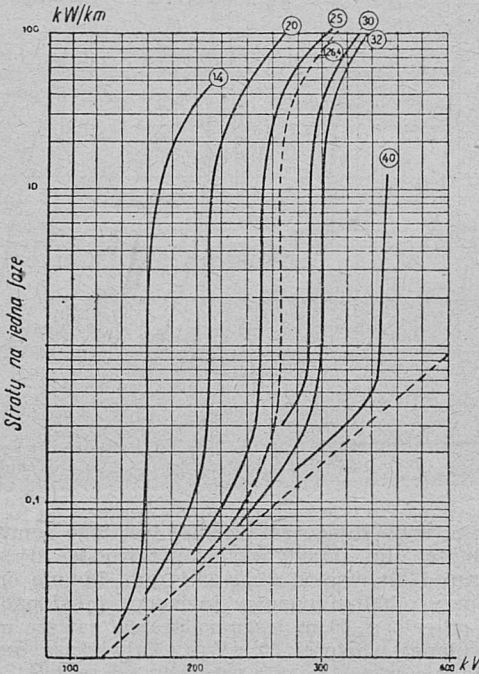
Wydaje się zatem, że każdej wartości napięcia roboczego odpowiada pewne minimum strat, poniżej którego nie można zejść nawet za cenę powiększenia średnicy przewodów pojedynczych. To minimum natomiast (w zakresie napięć niższych od granicznego) może być wydatnie zmniejszone przez zastosowanie wiązki o dwu przewodach bliźniaczych.

Nasuwa się następujące uzasadnienie teoretyczne tych zjawisk. Gdy promień krzywizny przewodu wzrasta, to z jednej strony pole przebicia powietrza maleje i traci się przy tym część korzyści wynikającej z redukcji pola powierzchniowego, skoro powierzchnia zewnętrzna wzrasta proporcjonalnie do średnicy. Z drugiej strony zmniejszanie się pola w bezpośredniej bliskości przewodu jest powolniejsze, co ułatwia wytwarzanie się upływów przez chropowatość powierzchni i osady kurzu.

W konkluzji można stwierdzić, że przy podwyższaniu skali napięć roboczych zwiększanie średnicy przewodów linii przesyłowych nie może być bez ograniczenia uważane jako skuteczny środek do zwalczania strat na ulot. Poczynając od pewnego napięcia, które można oszacować nieco powyżej 400 kV, a więc w zakresie skali przewidywanych napięć roboczych, konieczne jest — dla uniknięcia nadmiernych strat — uciekać się do zastosowania wiązki złożonej z dwu przewodów bliźniaczych.

Jest prawdopodobne, że w przyszłości, gdy przejdziemy do skali napięć jeszcze wyższych, np. rzędu 700 lub 800 kV, liczba przewodów bliźniaczych w wiązce ulegnie z analogicznych względów powiększeniu.

3. Ustalenie średnich rocznych strat na ulot w linii przesyłowej. Ustalenie średnich rocznych strat na ulot w linii długiej o napięciu roboczym rzędu 400 kV — na podstawie badań dokonanych na linii doświadczalnej — nie jest ani łatwe, ani pewne, gdyż zależy od licznych czynników, trudnych do ujęcia teoretycznego i w dużym zakresie zmiennech w czasie i w przestrzeni. Znając przebieg trasy linii, rodzaj przewodów i wielkość napięcia roboczego, ustalamy interesujące nas straty na podstawie strat, występujących przy dobrej i przy złej pogodzie (deszcz, śnieg, mgła, sadź). Należy więc ustalić liczbę dni w roku pogodnych i niepogodnych. Przy linii długiej rzędu 400 do 500 km podział tych dni wzdłuż linii będzie zmienny, zależnie od warunków klimatycznych tych obszarów, przez które linia przebiega. Poza tym należy mieć na uwadze następujące czynniki: wysokość trasy linii nad poziomem morza i wynikające stąd średnie gęstości powietrza, zmienność tychże zależnie od dziennych i sezonowych wahań ciśnienia barometrycznego, wahania temperatury otoczenia, stopień czystości powietrza i inne. Do obliczenia strat przy deszczu może być pomocna w obliczeniach zależność, występująca (ob. niżej) pomiędzy całkowitymi stratami energii mierzonymi podczas deszczu a wysokością opadu tego deszczu. Trudniejsze do ujęcia są straty podczas mgły. Ponadto jednym z czynników, zależnych od warunków eksploatacji i wpływających na wielkość strat, jest zmienność napięcia roboczego w przestrzeni tzn. wzdłuż linii, przy czym straty tym raptowniej zmieniają się wraz z napięciem, im jest ono wyższe.



Rys. 4. Straty na ulot gładkich przewodów rurowych o średnicach od 14 do 40 mm dla jednej fazy

Średnie roczne straty na ulot w kW/km linii 3-fazowej dla 400-kilowoltowej linii Le Breuil-Chevilly o długości ok. 400 km podaje tabl. III. Tabl. IV podaje za-

Tablica III

	Wiązka 2 × 26,4 mm przy rozstawieniu prze- wodów D		Przewód pojedynczy z żył okrąg- łych o śred- nicy 48 mm
	D = 40 cm	D = 60 cm	
Pierwsze ustalenie	2,5	5,0	—
Drugie ustalenie	4,0	8,0	8,0

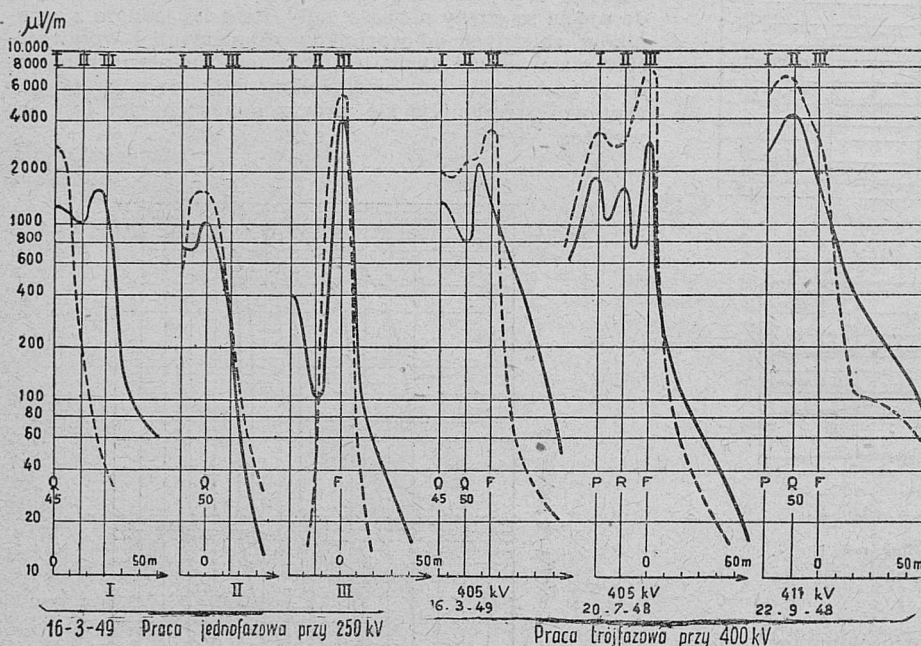
leżność pomiędzy stratami a deszczem na podstawie obserwacji w miesiącach sierpień-listopad 1949 r.

Ostatecznie średnie roczne straty na ulot dla linii Le Breuil-Chevilly zostały ustalone na 2—2,5 kW/km linii 3-fazowej.

Tablica IV

	Energia stracona w kWh/km linii trzyfazowej	Wysokość opadu (mm)	Energia stracona kWh/km i na mm opadu
Sierpień	450	27	17
Wrzesień	675	56	12
Październik	345	12	29
Listopad	340	14	24
Razem	1810	109	16,5

4. Zakłócenia radiofoniczne. Badanie zakłóceń radiofonicznych dla różnych typów przewodów linii przesyłowej przy pracy 1 fazy i 3 faz, dla różnych warunków atmosferycznych doprowadziło do następujących stwierdzeń.



Z lewej strony:

Rys. 5. Zakłócenia radiofoniczne w funkcji oddalenia od linii doświadczalnej

P, Q, R — przewody pojedyncze
F — wiązka 2 × średn. 26,4 mm przy D = 40 cm

U dołu:

Rys. 6. Porównanie zmian pola zakłóceń radiofonicznych i strat na ulot

Linia podwójna — straty na ulot
Linia pojedyncza — zakłócenia przy długości fali 360 m

Linia przerywana — zakłócenia przy długości fali 1450 m

P — pogoda
D — deszcz

a) Pole, wywołujące zakłócenie, jest tego samego rzędu wielkości dla pojedynczych przewodów o średnicy 45—50 mm i dla wiązki 2 × 26,4 mm. Maleje ono raptownie przy oddalaniu się w kierunku prostopadłym do linii. W odległości 60 m jest ono prawie zawsze mniejsze od dozwolonej wartości 50 µV/m. Największa amplituda tego pola nie wzrasta przy przejściu od pracy 1 fazą do 3 faz, co wskazuje na to, że wypadkowe pole zakłócające nie może być uważane jako suma pól zakłócających każdego z przewodów. Rys. 5 przedstawia odpowiednie zależności. Z krzywych widzimy, że największe natężenia pól zakłócających znacznie się różnią, jednakże w oddaleniu ponad 50—60 m od osi linii różnic tych praktycznie już nie obserwujemy.

b) Pole, wywołujące zakłócenie, wykazuje przy wzroście napięcia roboczego wyraźną tendencję do nasycenia się i to zarówno przy dobrej pogodzie, jak i przy deszczu. Pole to wzrasta znacznie powolniej niż straty i nasycy się przy dużo niższym napięciu. Rys. 6 przedstawia te zależności.

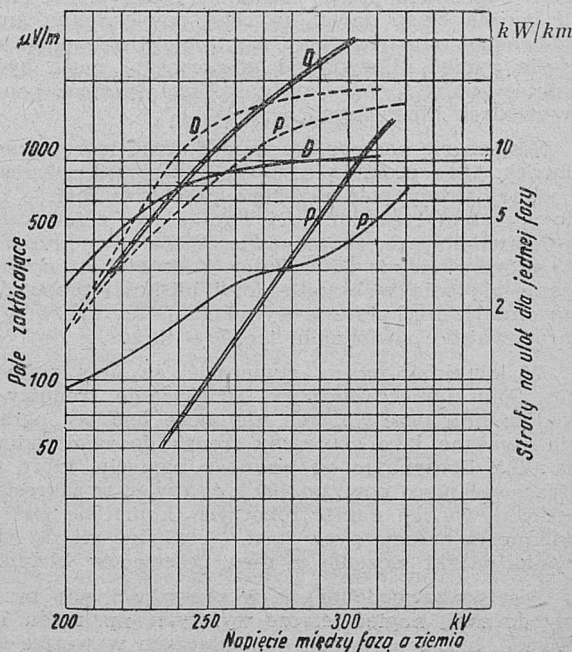
c) Pole, które wywołuje zakłócenie, odpowiadające napięciu robocznemu 400 kV przy zastosowaniu bądź odpowiedniego przewodu pojedynczego, bądź też wiązki przewodów bliźniaczych, jest tego samego rzędu co przy będących już obecnie w eksploatacji liniach 220-kilowoltowych.

d) Zakłócenia radiofoniczne nie rozchodzą się więcej w kierunku trasy czyli wzdłuż linii niż w kierunku poprzecznym tj. prostopadle do linii.

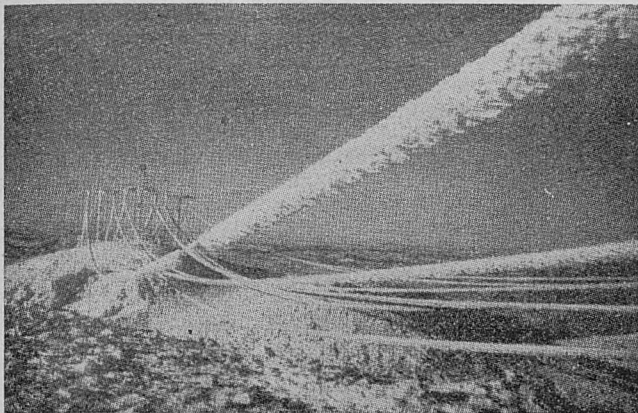
5. Wpływ wysokości na straty i zakłócenia. W celu zbadania wpływu wysokości trasy linii nad poziomem morza na wielkość strat ulotu i na zakłócenia radiofoniczne pobudowano dwie identyczne stacje doświadczalne: jedną na wysokości 100 m n.p.m., drugą — na wysokości 1850 m n.p.m. Stosunek gęstości powietrza na obydwu stacjach — jeśli uwzględnić średnie różnice ciśnień barometrycznych oraz temperatur — wynosi 0,86.

Każda stacja posiada przęsło o długości 100 m z przewodem stalowo-aluminiowym o średnicy 16 mm. Największe napięcie skuteczne w stosunku do ziemi wynosi 130 kV. Równolegle w odległości 4 m biegnie analogiczny przewód, który pozwala zwiększyć pole powierzchniowe na przewodach.

Przewody na obydwu stacjach zostały jednocześnie włączone pod napięcie gwoi uzyskania „starzenia się” przewodów. Na stacji nizinnej starzenie się nastąpiło przy dość szybkiej stabilizacji krzywej strat, przy czym na powierzchni przewodu utworzyła się ciemna powłoka



ka (skutkiem dymu i kurzu przedmieść Paryża). Na stacji górskiej starzenie się przewodu spowodowało z początku szybką, lecz nieznaczną redukcję strat, następnie zaś bardzo łagodną zmianę krzywej strat; metal przewodów pozostał błyszczący.



Rys. 7. Linia doświadczalna do badania sadzi

Porównanie krzywej strat obydwu stacji w zależności od napięcia — przy dobrej pogodzie, po ustaleniu się starzenia — wykazuje, że napięcie, odpowiadające pewnej zadanej wielkości strat, zmienia się mniej więcej proporcjonalnie do potęgi $2/3$ gęstości powietrza. Ta przybliżona zależność występuje przede wszystkim przy wysokich natężeniach pola powierzchniowego. Przy natężeniach niższych straty zależą w znacznej mierze od osadu na przewodach i krzywe strat mają różny przebieg zależnie od stopnia czystości powietrza. Nie jest tu możliwe ustalenie tak prostej zależności, jak poprzednio.

Przy złej pogodzie — wskutek trudności w porównaniu danych obydwu stacji — ustalenie wpływu wysokości jest mniej dokładne, wydaje się jednak, że wzrost strat powodowany wysokością jest mniejszy przy złej pogodzie niż przy dobrej.

Przyrost strat powodowany wysokością będzie mniejszy.

Przeciętnie zatem dla pogody dobrej i złej średni niż w stosunku potęgi $2/3$ odpowiednich gęstości powietrza.

Co do zakłóceń radiofonicznych stwierdzono, że ich poziom jest znacznie niższy na stacji górskiej i że pole zakłócające maleje znacznie raptownie w miarę prostopadłego oddalania się od linii. Natomiast straty na ulot są o wiele większe na stacji górskiej (np. 2,42 kW/km i 0,72 kW/km).

6. Zachowanie się przewodów w blizniaczych podczas sadzi. Dla szeregu względów omówionych niżej ważne jest wiedzieć, jak zachowuje się wiązka, złożona z dwóch przewodów blizniaczych, w przypadku tworzenia się sadzi i znacznych osadów lodowych.



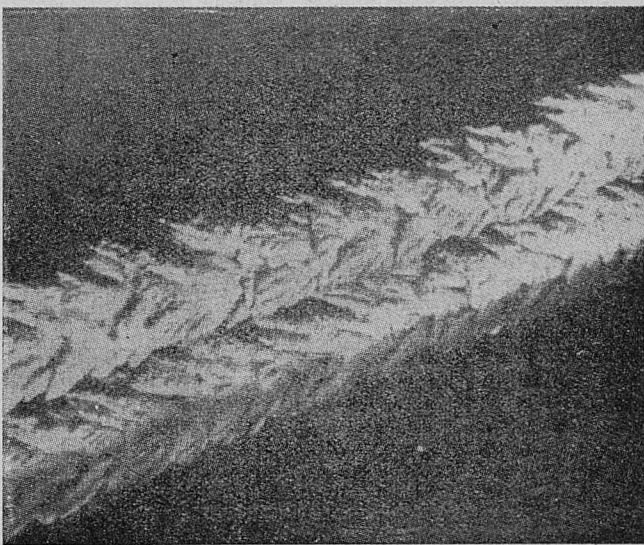
Rys. 8. Osad lodowy na pojedynczym przewodzie o średnicy 48 mm

Przed wszystkim należy wyjaśnić czy przewód obciążony sadią przy gwałtownym jej opadnięciu i przy dokonaniu „skoku wzwyż” nie owinie się dokoła drugiego przewodu blizniaczego. Zostały dokonane próby po-

zorujące raptowne opadanie sadzi: w pierwszej serii doświadczeń sadź imitowały woreczki z piaskiem zawieszane wzdłuż jednego z przewodów, luzowanie zawieszania było dokonywane przez wybuchający równocześnie na całej długości lont; w drugiej serii — zwis przewodu był powiększany przez naciąganie go za pomocą linki, raptownie potem puszczonej. Doświadczenia te wykazały, że owijanie się jednego przewodu dokoła drugiego przy gwałtownym opadaniu sadzi może nastąpić wtedy, kiedy przewody blizniacze wiązki mają układ pionowy i kiedy nie posiadają rozpórki w prześle 500-metrowym. Powstałe w ten sposób owinięcie utrzymuje się w sposób samoistny. Owinięcie przewodów nie powstaje jeżeli w w środku prześła dać rozpórkę. Przy poziomym układzie przewodów, gdzie tak czy inaczej — ze względów omówionych wyżej — jest konieczna przynajmniej jedna rozpórka w prześle 500-metrowym, owijanie się przewodów jest niemożliwe.

Druga sprawa — to pytanie, jak zachowuje się wiązka przy sadzi, a mianowicie, czy powstaje na obydwu przewodach blizniaczych jeden wspólny osad o pokaźnej zatem średnicy, czy też na każdym z przewodów tworzą się odrębne osady. W tym drugim przypadku, czy nie ma niebezpieczeństwa wzajemnego owijania się przewodów bądź przy tworzeniu się sadzi, bądź przy jej zanikaniu. Jaka jest tu rola rozpórek?

Dla wyjaśnienia tych zagadnień wybudowano w górskiej okolicy (około 1500 m n.p.m.), obfitującej specjalnie w opady śnieżne i osady lodowe, linię doświad-



Rys. 9. Osad lodowy na wiązce przewodów blizniaczych (2 × średn. 26,4 mm)

czalną składającą się z pewnej liczby prześel o rozpiętości 200 m (rys. 7).

Uzyskane na tej linii zimą 1948—49 r. wyniki doświadczeń dadzą się streścić, jak następuje.

a) Średnica osadu lodowego jest, praktycznie biorąc, niezależna od średnicy przewodu. Obecność rozpórek w wiązce przewodów blizniaczych nie ma żadnego wpływu na masę lodu. Obciążenie lodem dwuprzewodowej wiązki jest prawie dwukrotnie większe od obciążenia, obserwowanego na przewodzie pojedynczym o dużej średnicy (rys. 8 i 9).

b) Nawet przy bardzo intensywnej sadzi nigdy nie zaobserwowano zlepiania się lub łączenia się w jedną całość osadów lodowych poszczególnych przewodów blizniaczych (por. rys. 9). Wynika to może z ruchów względnych tych przewodów albo też z faktu, że sadź musiałaby być niepomiarowo intensywna, aby móc utworzyć jeden wspólny na nich osad.

c) Przy pionowym układzie przewodów blizniaczych z jedną rozpórką w prześle 200-metrowym tworzyły się powolne i stale postępujące owijania się jednego przewodu dokoła drugiego. Rozpórka, która ma na celu utrzymanie odległości między przewodami, usztywnia całość wiązki, jednak sprzyja wzajemnemu okręcaniu się

przewodu. Przy poziomym układzie przewodów podobne zjawiska nie występowały.

d) Zaobserwowano, że różnice w zwisach przewodów bliźniaczych, wywołane niejednakowym obciążeniem sady, mogą przy układzie pionowym spowodować stykanie się przewodów, gdy przewód górny jest bardziej obciążony (częściej jednak zaobserwowano większe obciążenie przewodu dolnego). Ryzyko jest większe, gdy nie ma rozpórki, nie istnieje ono natomiast przy poziomym układzie przewodów.

e) Wskutek nierównomiernego obciążenia sady przewodów bliźniaczych mogą powstawać trwałe odkształcenia geometryczne w układzie wiązki, spowodowane bądź niejednakowym stałym wydłużeniem przewodów, bądź niejednakowym poślizgiem przewodów w zaciskach przelotowych.

Na następujące pytania jeszcze nie znaleziono odpowiedzi przy tych doświadczeniach: a) jak dalece możliwe jest dociąganie zacisków przelotowych, ażeby linia nie rozregulowywała się zbyt łatwo, a jednocześnie ażeby zaciski te umożliwiały w pewnej mierze poślizg przewodów gwoździ ulżenia pracy słupów; b) czy pożądane jest sztywne zaciśnięcie ropórek na przewodach, czy też można pozwolić im na swobodne obracanie się dokoła przewodu.

7. Wniośki porównawcze. Istnieje możliwość wyposażenia linii przesyłowej o napięciu 380–400 kV w dwójaki sposób: za pomocą wiązki przewodów bliźniaczych o średnicy normalnej (stosowanej przy niższych napięciach), bądź też za pomocą przewodu pojedynczego o dużej średnicy. Jeżeli wybierzemy pierwszy sposób, wystarczy zastosowanie w wiązce 2 przewodów bliźniaczych, gdyż daje to już bardzo umiarkowane straty na ulot oraz poważną redukcję (co najmniej o 20%) oporności biernej linii. Zastosowanie większej liczby przewodów w wiązce nie wydaje się potrzebne, chyba jeżeli chodzi o podniesienie granicy stateczności pracy bardzo długich układów przesyłowych oraz o jeszcze większe obniżenie oporności biernej linii i to pod warunkiem, że odpowiedni wzrost kosztów linii znajdzie gospodarce uzasadnienie. Prawdopodobnie wypadnie uciec się do większej niż 2 liczby przewodów bliźniaczych w wiązce przy przejściu do następnej, wyższej jeszcze skali napięć przesyłowych.

a) Przy zastosowaniu wiązki o dwóch normalnych stalowo-aluminiowych przewodach bliźniaczych rozstawienie między nimi powinno wynosić około 40–45 cm, jeśli pragniemy osiągnąć najmniejsze straty na ulot. Z drugiej jednak strony dąży się do wzajemnego oddalenia przewodów bliźniaczych w wiązce celem zmniejszenia oporności biernej linii oraz dla uniknięcia większej liczby rozpórek. Przy rozstawieniu 60-centymetrowym straty na ulot są już dwa razy większe niż przy 40-centymetrowym, natomiast oporność bierna linii maleje tylko o 5%. Poziomy układ przewodów bliźniaczych jest gospodarczo korzystniejszy, gdyż wymaga nieco niższych słupów, a poza tym w dużo mniejszym stopniu powoduje stykanie się i owijanie się przewodów bliźniaczych przy sady. Linia powinna być wyposażona w dwie albo nawet trzy rozpórki między przewodami bliźniaczymi w przesłach 500-metrowych dla uniknięcia stykania się względnie zlepiania się przewodów w wiązce pod działaniem wiatru i prądów zwarciovych.

b) Przy użyciu przewodu pojedynczego o dużej średnicy (rzędu 45–50 mm) znajdzie zastosowanie raczej typ przewodu z żyłami zewnętrznymi okrągłymi, chyba że z całą pewnością da się uniknąć rozplatania się przewodu przez zastosowanie odpowiedniej konstrukcji przewodu o powierzchni zewnętrznej gładkiej. Czynione są jeszcze badania z pełnym przewodem o średnicy 38 mm i żyłach okrągłych celem wyjaśnienia, czy średnica ta jest jeszcze dopuszczalna przy napięciu 400 kV.

c) Przy tej czy innej budowie przewodu napięcie największe 400 kV może być przyjęte w eksploatacji; w szczególności zakłócenia radiofoniczne, które tłumią się rapidly w miarę oddalania się od linii, są praktycznie biorąc jednakowe w obu przypadkach i są tego samego rzędu, co w sąsiedztwie istniejących linii 220-kilowoltowych. Z punktu widzenia zakłóceń radiofonicznych można by napięcie największe podnieść np. do 420 kV. Z punktu widzenia strat można by bez trudności przy wiązce $2 \times$ średn. 26,4 mm (przy $D = 40$ cm) osiągnąć napięcie największe 440 lub 450 kV, natomiast przy przewodach pojedynczych o dużej średnicy największe napięcie 400 kV nie powinno być o wiele przekraczane w sposób ciągły.

d) Prowadzenie linii przesyłowych na wysokości ponad 1000 m nie wywoła żadnych trudności ani pod względem strat na ulot, ani pod względem zakłóceń radiofonicznych.

e) Budowa wiązki o 2 przewodach bliźniaczych jest szczególnie korzystna w liniach dwutorowych na 220 kV, które mogą być w późniejszym czasie przekształcone na jednotorowe linie o napięciu 380–400 kV przez przegrupowanie istniejących przewodów w 3 wiązki przewodów bliźniaczych, po jednej wiązce dla każdej fazy.

f) W przypadku linii przeznaczonej od razu do pracy na napięciu 380–400 kV mogą powstać wahania co do zastosowania jednego z wymienionych rozwiązań budowy przewodów. Decyzja winna być powzięta przede wszystkim pod kątem widzenia korzyści gospodarczych.

Stosowanie wiązki daje w porównaniu z przewodem pojedynczym następujące korzyści:

a) zmniejszenie strat na ulot, wydatniejsze przy dobrej pogodzie niż przy złej, jednakże nawet w tym ostatnim przypadku sięgające 50%;

b) znaczną redukcję oporu biernego linii (przy równoczesnym wzroście pojemności), co powoduje zwiększenie się stateczności układu i zmniejszenie spadku napięcia; przy przesyłaniu na znaczne odległości osiąga się przez to wzrost zdolności przesyłowej o 20 do 25%;

c) zmniejszenie wpływu naskórkowości: przy równości przekrojów oporność przewodów maleje o 6 do 7% przy przejściu od przewodu pojedynczego do wiązki przewodów bliźniaczych.

Natomiast budowa linii o przewodach pojedynczych jest bardziej ekonomiczna. Działanie wiatru na przewody jest słabsze, wskutek czego słupy wypadną lżejsze, i tańsze; cena ich będzie mniejsza jeszcze i dzięki temu, że odległości między osiami poszczególnych faz będą mniejsze. Zawieszenie przewodów rurowych o dużej średnicy (wewnątrz pustych) będzie wymagało szczególnie pieczołowitości, co zaważy na kosztach budowy, jednakże zawieszenie 2 przewodów bliźniaczych (choć zwykłych) wraz z ich rozpórkami zaciąży na kosztach budowy wiązki.

Tablica V. Porównawczy bilans strat w liniach na 220 i 380 kV

Wielkość	220 kV		380 kV	
	$1 \times$ średn. 26,4 mm	$2 \times$ średn. 26,4 mm $D = 40$ cm	$2 \times$ średn. 26,4 mm $D = 60$ cm	$1 \times$ średn. 48 mm
Napięcie robocze (kV)	225	400	400	400
Moc natura na (MW)	128	490	505	405
Energia przesyłana rocznie (10^6 kWh)	512	1960	2020	1620
Straty cieplne roczne (10^6 kWh)	31	72,5	77	49
(%)	6	3,7	3,8	3
Straty na ulot roczne (10^6 kWh)	3,2	8	16	16
(%)	0,6	0,4	0,8	1
Straty całkowite roczne (10^6 kWh)	34,2	80,5	93	65
(%)	6,6	4,1	4,6	4,0

Wobec niemożności na razie, przy posiadanych obecnie danych, sporządzenia szczegółowego gospodarczo-technicznego porównania obydwu rozwiązań przewodowych podany jest w tabl. V przybliżony bilans porównawczy strat na ulot, przesyłanej energii i strat ciepłych dla czterech alternatyw:

- 1) linia na 220 kV z normalnych stalowo-aluminiowych przewodów o przekroju 411 mm^2 i średnicy 26,4 mm;
- 2) linia na 380 kV w postaci wiązki z dwu przewodów bliźniaczych: $2 \times 411 \text{ mm}^2 = 822 \text{ mm}^2$, $2 \times$ średn. 26,4 mm, przy rozstawieniu przewodów 40 cm;
- 3) linia na 380 kV z przewodów jak w p. 2, lecz o rozstawieniu 60 cm;
- 4) linia na 380 kV z pojedynczych przewodów stalowo-aluminiowych typu R, o średnicy 48 mm i przekroju 914 mm^2 .

Oszacowanie zrobione jest w założeniu linii o długości 400 km, użytkowanej rocznie w ciągu 8000 godzin, z rocznym wykorzystaniem mocy naturalnej przez 4000 godzin, przy obliczeniu strat ciepłych na podstawie umyślnego obciążenia mocą naturalną w ciągu 2700 godzin, co odpowiada prostoliniwnemu przebiegowi rocznej krzywej obciążenia, wytyczonej według punktów: moc naturalna — 0 godzin, moc 0—8000 godzin.

Co do strat na ulot, przyjęto następujące średnie wartości:

- 1) linia na 220 kV, przewód o średnicy 26,4 mm, 1,0 kW/km,
- 2) linia na 380 kV, wiązka o rozstawieniu 40 cm, 2,5 kW/km,
- 3) linia na 380 kV, wiązka o rozstawieniu 60 cm, 5,0 kW/km,
- 4) linia na 380 kV, przewód pojedynczy o średn. 48 mm, 5,0 kW/km.

O. GERBER. Straty na ulot przewodów zwykłych i bliźniaczych [3]

1. Cel badań i opis linii doświadczalnej. Już na sesji MKWSE w 1948 r. ustalono, że dla linii przesyłowej o napięciu 400 kV — przy bezpośrednim uziemieniu punktu zerowego układu — przewód pojedynczy o średn. 50 mm spełnia warunki dyktowane przez straty na ulot. W niniejszym referacie poświęcono główną uwagę na zachowanie się pod tym względem przewodów bliźniaczych.

W linii doświadczalnej w tym celu wybudowanej przestrzegano szczególnie dwóch następujących warunków;

a) długość, zwis i wysokość zawieszenia nad ziemią badanego przewodu powinny być w miarę możliwości takie same, jak przy badaniach przewodów pojedynczych o średnicach od 20 do 50 mm, aby móc porównać bezpośrednio straty obydwu rodzajów przewodów;

b) ważne jest, aby dla tych samych warunków atmosferycznych móc wykonać kolejno w jak najkrótszym czasie pomiary strat dla obydwu rodzajów przewodów.

Linia doświadczalna o długości 52 m składa się z jednej strony z pełnego aluminiowego przewodu pojedynczego o średn. 30,2 mm, z drugiej strony z wiązki o 2 takich samych przewodach bliźniaczych w układzie poziomym przy odstępach między przewodami 40 cm. Wysokość zawieszenia przewodów nad ziemią wynosząca 9 m jest utrzymywana za pomocą specjalnego urządzenia na całej długości jako stała.

Na końcach odcinków przewodów badanych są umieszczone cztery odłączniki, których przełączanie dla umożliwienia badań nad tym lub innym rodzajem przewodów nie trwa dłużej niż 10 minut. Rys. 10 przedstawia odpowiedni układ połączeń. Obydwa odcinki linii znajdują się zawsze jednocześnie pod tym samym napięciem jednofazowym względem ziemi. Zależnie od położenia odłączników jeden z odcinków linii jest przyłączony do mostku pomiarowego Scheringa, natomiast drugi posiada wtedy styk z ekranem kabla zasilającego. Układ połączeń przedstawiony na rys. 10 odpowiada pomiarom na przewodach bliźniaczych.

Przed rozpoczęciem badań przewody zostały bardzo dokładnie oczyszczone z tłuszczu i wymyte, a następnie oddane w ciąg pewnego czasu pod napięcie 500 kV względem ziemi dla uzyskania ich „zestarzenia się” pod działaniem silnego ulotu.

2. Straty na ulot przewodów badanych. Zaobserwowano, że straty na ulot w badanej linii wypadają zawsze większe przy napięciu wzrastającym, niż przy napięciu malejącym. Aby wyeliminować to zjawisko, wynikające ze „zstarzenia się” przewodów, poddawano linię na początku każdej próby pod działaniem napięcia 450 kV względem ziemi przez co najmniej 5 min., a następnie wykonywano pomiary strat przy stopniowo malejących napięciach.

Straty na ulot obliczano według wzoru:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg} \delta,$$

w którym oznaczają: P — moc traconą w kW; U — napięcie linii względem ziemi, przeliczone na gęstość powietrza $= 1$; $\omega = 2\pi f = 314 \text{ s}^{-1}$ przy 50 okr./sek; C — pojemność linii; $\text{tg} \delta$ — stratność. Dwie ostatnie pozycje mierzone mostkiem Scheringa.

W linii przesyłowej wysokiego napięcia natężenie pola na powierzchni przewodów osiąga zazwyczaj w normalnej pracy 15 do 17 kV/cm (wartość skuteczną). W przypadku przewodów bliźniaczych dopiero przy deszczu, śniegu lub mgłę występują znacznie większe straty na ulot, gdyż przy dobrej pogodzie straty zaczynają występować dopiero przy natężeniu pola większym niż 21 kV/cm. Krzywe strat przy dobrej pogodzie są bardziej strome niż przy złej. Przy deszczu straty na przewodach pojedynczych są mniejsze, jak również mniejsza jest stromość odpowiednich krzywych strat, niż w przypadku wiązki przewodów bliźniaczych. Jak można było się spodziewać, krzywe strat przy mgłę znajdują się pomiędzy krzywymi dla dobrej pogody i dla deszczu (rys. 11).

Duży wpływ na wielkość strat podczas deszczu mają tworzące się na przewodzie kropelki wody — zależnie od ich wielkości, ruchliwości, prędkości wysychania itd.

Wielokrotnie obserwowano gwałtowny wzrost strat podczas burzy. Rys. 12 podaje zmiany strat na ulot podczas burzy dla wiązki przewodów bliźniaczych przy utrzymywaniu napięcia 425 kV w stosunku do ziemi. Również podczas mgły występują znaczne wahania strat, jak widać to np. z rys. 13.

Liczne pomiary wykazały i tym razem, że — pomimo całej skrupulatności ich wykonywania dla podobnych warunków atmosferycznych — jest prawie niemożliwością uzyskanie identycznych wartości strat dla 2 różnych pomiarów, przeto zawsze musimy się liczyć z pewnym „rozrzutem” wielkości strat na ulot. Rys. 14 przedstawia ten rozrzut dla wszystkich dokonanych pomiarów na przewodach bliźniaczych i pojedynczych. Straty przeliczono w stosunku do jednostkowego promienia przewodu.

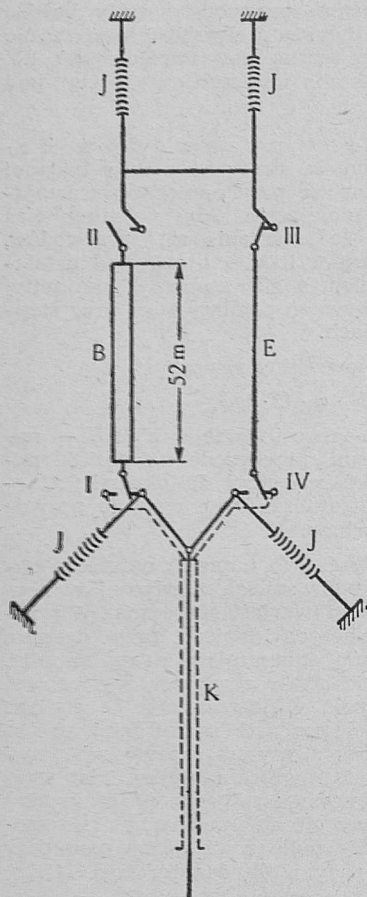
Z dokonanych pomiarów wynika, że dla tego samego powierzchniowego natężenia pola straty ulotowe na przewodach bliźniaczych (i przy pogodzie i przy deszczu) są w przybliżeniu dwukrotnie większe niż straty na pojedynczym przewodzie o tej samej średnicy.

Straty na przewodzie wzrastają wraz z jego średnicą, gdy bierzemy je w funkcji natężenia pola powierzchniowego. Należy tu szczególnie podkreślić różnicę, która istnieje pomiędzy przewodem pojedynczym o średnicy 50 mm a wiązką przewodów bliźniaczych $2 \times$ średn. 30,2 mm. Obydwa te wykonania dają, praktycznie biorąc, to samo natężenie pola przy danym napięciu, jednakże straty tych dwóch linii nie są jednakowe.

3. Zależność pomiędzy stratami na ulot a natężeniem pola powierzchniowego przewodu. Maszkillejson*), a następnie Markt i Mengele**), proponując zastosowanie przewodów bliźniaczych w wiązkach dla linii przesyłowych bardzo wysokiego napięcia, wychodzili z założenia, że przewód pojedynczy i wiązka przewodów

*) Maszkillejson L. E. Rasszczepienie проводов линий электропередач (Elektricitestwo, 1925, nr 3).

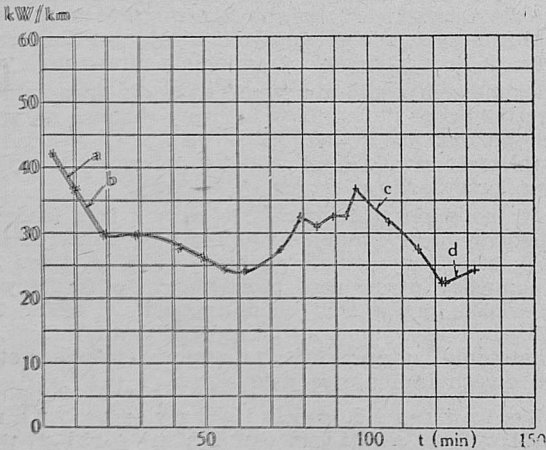
**) Markt G., Mengele B. Drehstromfernübertragung mit Bündelleitern (Elektrotechnik und Maschinenbau, 1932 t. 50, z. 20).



Rys. 10. Układ połączeń stacji doświadczalnej

I do IV — odłączniki
J — łańcuchy izolatorów
B — przewody bliźniacze
E — przewód pojedynczy
K — kabel zasilający

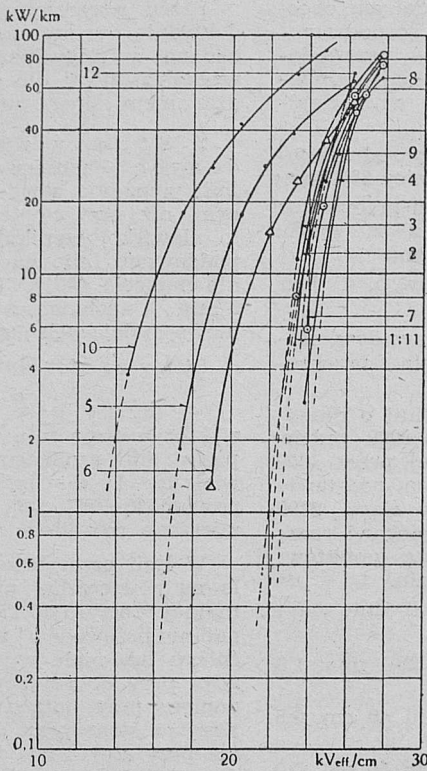
bliźniaczych powinny posiadać jednakowe straty na ulot dla tego samego natężenia pola powierzchniowego. Jeśli założenie to było słuszne, to przy jednakowym napięciu winny wystąpić te same straty na jednostkę długości linii w trzech alternatywach układu, przedstawionych na rys. 15. Są to: przewód pojedynczy o średnicy 50 mm,



Rys. 13. Straty na ulot w czasie mgły przy napięciu 400 kV względem ziemi

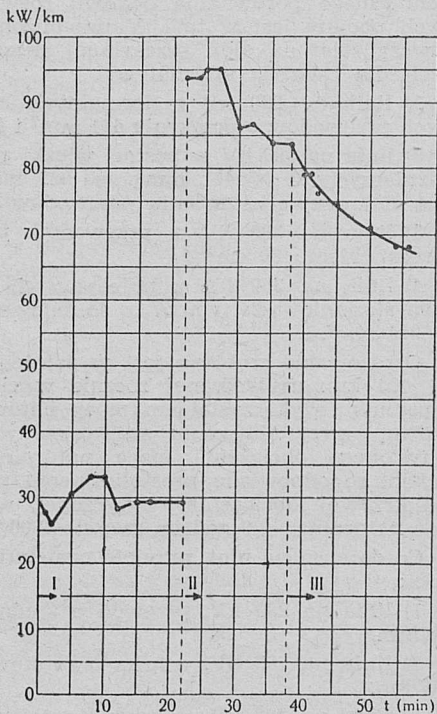
Warunki atmosferyczne podczas próby: wilgotność 88%, temperatura + 9°C, ciśnienie 730,6 mm Hg (październik 1949 r.)

wiązka o 2 przewodach bliźniaczych 2 × średn. 33,4 mm, wiązka o 4 przewodach 4 × średn. 20,2 mm. Wszystkie trzy układy posiadają to samo natężenie pola powierzchniowego. Tymczasem dokonane przez autorów referatu



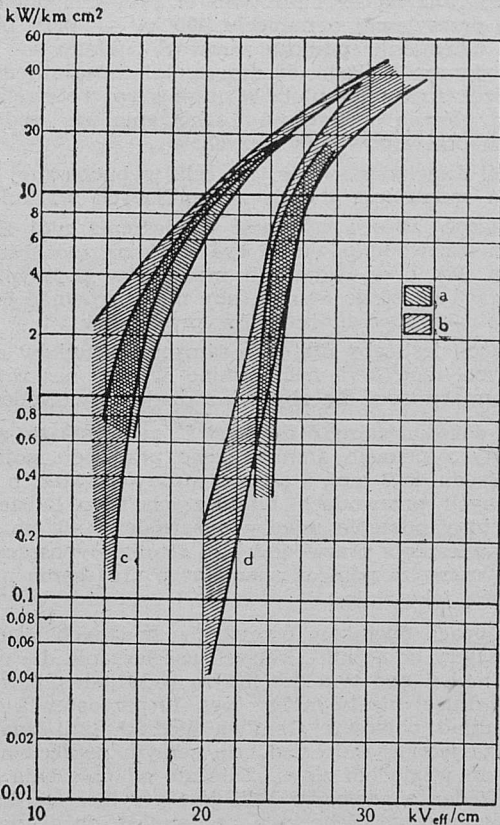
Rys. 11. Krzywe strat na ulot dla przewodów bliźniaczych

1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12 — pogoda sucha, dobra
10 — deszcz 1 mm/godz.
5 — śnieg, ok. 10 mm sady na przewodach
mżeniu 'głun — 9



Rys. 12. Straty na ulot podczas burzy

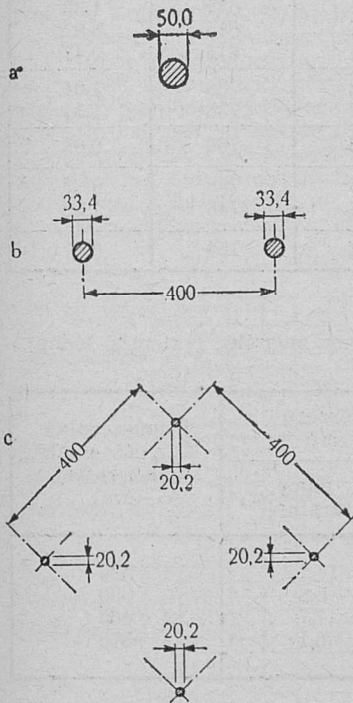
I — drobny, nieregularny deszcz
II — ulewa burzowa (4,6 mm/h)
III — deszcz ustaje



Rys. 14. Rozrzut strat na ulot

a — przewody bliźniacze c — podczas deszczu
b — przewód pojedynczy d — przy dobrej pogodzie

pomiary wykazują, że takie uproszczenie nie jest możliwe, straty na ulot zależą bowiem nie tylko od pola powierzchniowego, lecz również od średnicy przewodu. Właściwe krzywe charakterystyczne strat otrzymamy dopiero wówczas, gdy przeliczymy zmierzone straty na ulot, redukując je w stosunku do promienia jednostkowego.



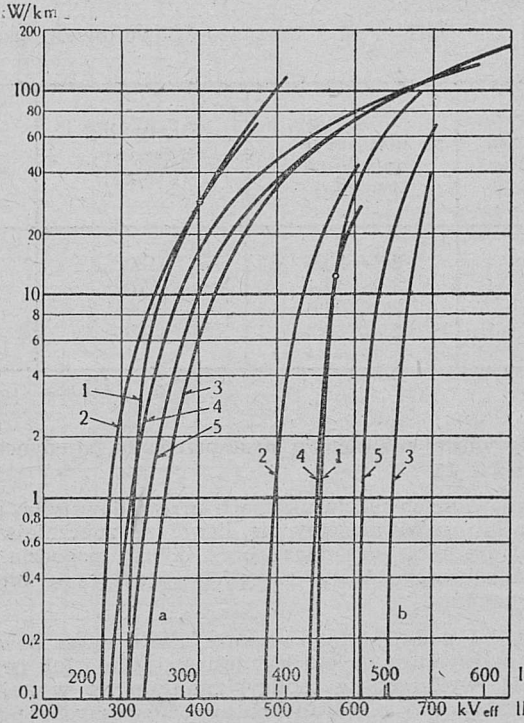
Rys. 15. Układy przewodów o jednakowym natężeniu pola powierzchniowego

Dla danego pola powierzchniowego straty rosną w przybliżeniu proporcjonalnie do kwadratu promienia przewodu (a właściwie nieco szybciej). Straty wiązki przewodów bliźniaczych mogą być obliczone — jeśli wyjdziemy dla pewnego pola powierzchniowego ze strat pojedynczego przewodu o tej samej średnicy — przez pomnożenie ich przez liczbę przewodów w wiązce.

Nie wchodząc w szczegóły zjawisk fizycznych, które występują na powierzchni przewodów, można by wyjaśnić zmiany strat w funkcji średnicy przewodów w sposób następujący. Jak wykazują badania, straty na ulot przewodu są dla danego natężenia pola powierzchniowego proporcjonalne do powierzchni przewodu. Ponieważ powierzchnia ta jest proporcjonalna do promienia, wynika z tego, że straty powinnyby wzrastać co najmniej linowo wraz z promieniem przewodu. Lecz ponieważ natężenie pola maleje szybciej ku zewnętrznej stronie dla przewodu o mniejszej średnicy niż dla przewodu o większej średnicy, przeto straty zmieniają się co najmniej proporcjonalnie do kwadratu promienia przewodu.

4. **Straty na ulot w linii przesyłowej na 400 kV.** Przyjęto do rozważań jednotorową linię przesyłową o poziomym układzie przewodów fazowych, oddległych od siebie o 13 m; średnia wysokość zawieszania nad ziemią 16 m. Straty na ulot w kW/km i przewód obliczono na podstawie dokonanych

badan. Wyniki są przedstawione na rys. 16 w postaci krzywych strat w funkcji napięcia międzyprzewodowego. Krzywe podają średnie wartości strat. Mając na uwadze „rozrzut“ wskazań, o którym była mowa wyżej, należy się liczyć z możliwością różnic podanych strat dla danego napięcia w granicach do 30%. Z podanych krzywych wynika, że gdy natężenie pola powierzchniowego jest to samo dla przewodu pojedynczego (krzywe 1) i dla wiązki 2 przewodów bliźniaczych (krzywe 3), te ostatnie dają te same straty (zarówno przy deszczu, jak i przy pogodzie) przy napięciu o 15 do 20% wyższym. Jeśli zastosujemy wiązkę przewodów bliźniaczych taką, aby przy 400 kV i deszczu otrzymać te same straty, co dla przewodu pojedynczego o średn. 50 mm, wówczas napięcie krytyczne wiązki przy dobrej pogodzie będzie niższe niż dla przewodu pojedynczego (krzywe 1 i 2). Jeśli wiązka ma te same straty przy dobrej pogodzie co przewód pojedynczy, jej straty przy deszczu nie będą



Rys. 16. Straty ulotowe na przewód w linii 400-kilowoltowej
a — straty przy deszczu
b — straty przy dobrej pogodzie
Skala I — przypadek uziemienia jednej z faz
„ II — praca normalna

- 1 — przewód pojedynczy o średnicy 50 mm
- 2 — wiązka przewodów bliźniaczych 2 × średn. 23,4 mm, rozstawienie D = 400 mm; przy 400 kV straty przy deszczu są te same co dla przewodu pojedynczego o średn. 50 mm
- 3 — przewody bliźniacze 2 × średn. 33,4 mm, D = 400 mm; natężenie pola powierzchniowego to samo, co dla przewodu o średn. 50 mm
- 4 — przewody bliźniacze 2 × średn. 27,6 mm, D = 400 mm; przy dobrej pogodzie straty są te same, co dla przewodu o średn. 50 mm
- 5 — przewody bliźniacze 2 × średn. 30,2 mm, które były przedmiotem badań na linii doświadczalnej, D = 400 mm

T a b l i c a VI. Straty na ulot w linii przesyłowej na 400 kV

Nr krzywej według rys. 16	Wiązka przewodów bliźniaczych (średnica w mm)	Straty linii 3-fazowej (kW/km)	Straty w MW i stosunek do mocy naturalnej w % przy następującej długości linii pod deszczem					
			100 km		200 km		300 km	
			MW	%	MW	%	MW	%
2	2 × 23,4	78	7,8	1,52	15,6	3,04	31,2	6,08
3	2 × 33,4	18	1,8	0,342	3,6	0,684	7,2	1,368
4	2 × 27,6	51	5,1	0,985	10,2	1,97	20,4	3,94
5	2 × 30,2	30	3,0	0,58	6,0	1,16	12,0	3,32

Tablica VII. Opór pozorny, moc naturalna i gęstość prądu linii przesyłowej na 400 kV (odległość międzyprzewodowa 13 m, wysokość zawieszenia nad ziemią 16 m)

Nr krzywej według rys. 16	Rodzaj przewodu (średnica w mm)	Przekrój (mm ²)	Opór pozorny (Ω)	Moc naturalna (MVA)	Prąd (A)	Gęstość prądu (A/mm ²)
1	50, Cu, rurowy	456	375	425	615	1,35
	50, Al, rurowy	705	375	425	615	0,872
	50, Stal-Al, pełny	1310	375	425	615	0,47
2	2 × 24,4, Cu, pełny	710	313	512	738	1,04
	2 × 23,6, Stal-Al, pełny	564	313	512	738	1,31
3	2 × 33,9, Stal-Al, pełny	1210	304	526	760	0,63
4	2 × 27,3 Cu, pełny	912	309	518	748	0,82
	2 × 27,5 Stal-Al, pełny	724	309	518	748	1,32
5	2 × 30,2, Al, pełny	1120	307	522	754	0,67

Tablica VIII. Praca linii 400-kilowoltowej, zaopatrzonej w cewkę gasikową, przy zwarciu z ziemią jednej z faz

Nr krzywej według rys. 16	Przewód bliźniaczy (średnice w mm)	Straty linii 3-fazowej (kW/km)	Prąd resztkowy (A/km)	Straty przy deszczu dla 400 km linii		Dopuszczalna długość strefy deszczowej (km)
				MW	% mocy naturalnej	
2	2 × 23,4	180	0,465	72	14,1	255
3	2 × 33,4	76	0,197	30,4	5,8	600
4	2 × 27,6	100	0,260	40	7,7	465
5	2 × 30,2	80	0,208	32	6,1	570

wynosiły więcej niż połowę strat przewodu pojedynczego (krzywe 1 i 4).

W omówionych pięciu układach przewodów tylko przy deszczu lub sadi możemy się liczyć ze znaczniejszymi stratami na ulot, natomiast przy dobrej pogodzie dla napięcia roboczego straty na ulot, praktycznie biorąc, można pominąć.

Tabl. VI podaje straty ulotowe, które mogą powstać w linii przesyłowej na 400 kV, jeśli cała linia lub pewna jej część (wykazana w tablicy) znajduje się w najbardziej niekorzystnych warunkach atmosferycznych, spowodowanych deszczem lub sadią. Numeracja krzywych, jak na rys. 16. Procentowe wartości są podane względem mocy naturalnej linii.

W tabl. VII podane jest zestawienie stosowanych przewodów (szwajcarskich), które najbardziej zbliżają się do teoretycznych krzywych strat nr 2, 3 i 4 na rys. 16.

Widzimy, że z punktu widzenia przekroju gospodarczego przewody bliźniacze są równorzędne z przewodem pojedynczym o większej średnicy pod warunkiem użycia przewodów aluminiowych lub stalowo-aluminiowych. Dla pojedynczego stalowo-aluminiowego przewodu pełnego gęstość prądu wynosi zaledwie 0,47 A/mm², gdy moc przenoszona odpowiada mocy naturalnej linii. Gdyby cena takiego przewodu nie przekraczała zbytńo ceny przewodu rurowego (wewnątrz pustego) o tej samej średnicy zewnętrznej, to tym pierwszym przewodem można by wyposażyć linię na 400 kV. Pełny przewód miałby niewątpliwą przewagę nad przewodem rurowym tak pod względem montażu, jak i utrzymania. W porównaniu z przewodami bliźniaczymi byłby on pewniejszy w eksploatacji wobec braku ryzyka stykania czy owijania się przewodów podczas sadi, wiatru lub naprężeń dynamicznych wywołanych prądami zwarcia.

W przypadku, gdyby — wbrew panującym obecnie opiniom — linia była wyposażona w cewki gasikowe, prąd resztkowy, wynikający ze strat na ulot i płynący w miejscu zwarcia z ziemią jednej z faz, byłby miarodajny do określenia skuteczności tych cewek. Tabl. VIII

daje zestawienie porównawcze odpowiednich wielkości dla 400-kilometrowej linii będącej całkowicie pod deszczem.

Ostatnia kolumna podaje największą dopuszczalną długość strefy deszczowej na linii, która pozwoliłaby jeszcze skutecznie zgasić łuk ziemnozwarciowy przez cewki gasikowe.

5. Wnioski. Badania potwierdziły, że istnieje granica zwiększania średnicy przewodu pojedynczego z punktu widzenia zmniejszenia strat na ulot w liniach najwyższych napięć, gdyż zmniejszenie natężenia pola powierzchniowego jest częściowo skompensowane przez wzrost powierzchni tych przewodów.

Założenie, że straty są różne, jeśli natężenia pola powierzchniowego przewodów są jednakowe, jest słuszne tylko wówczas, kiedy przewody mają jednakowe średnice. Jeśli chcemy porównać przewody pojedyncze i bliźniacze lub też przewody pojedyncze o różnych średnicach, należy wprowadzić poprawkę, uwzględniającą średnice przewodów.

Z punktu widzenia strat na ulot już badania wcześniejsze wykazały, że przewód pojedynczy o średnicy 50 mm jest w zupełności zadowalający dla linii 400-kilowoltowej, której punkt zerowy jest bezpośrednio uziemiony. Ponieważ przy dobrej pogodzie przewód taki nie wykazuje, praktycznie biorąc, strat na ulot przy normalnej pracy, przeto porównanie tego przewodu z przewodami bliźniaczymi należy przeprowadzić dla złych warunków atmosferycznych. Wiązka o 2 przewodach bliźniaczych 2 × średn. 23,4 mm wykazuje w tych warunkach te same straty, co wymieniony wyżej przewód pojedynczy.

Moc naturalna linii przesyłowej wyposażonej w przewody bliźniacze jest około 30% większa niż przy przewodach pojedynczych.

W każdym przypadku należy dokonać szczegółowego porównania gospodarczego, gdyż nie można od razu przewidzieć i rozstrzygnąć wyłącznie na drodze technicznej wszystkich zagadnień, które wyłaniają się przy budowie linii przesyłowej na 400 kV. Od wyników takiego porównania zależeć będzie również wybór najwłaściwszego przewodu.

SPORN Ph. i MONTEITH A. C. Postępy badań na stacji doświadczalnej 500-kilowoltowej nad stratami na ulot i zakłóceniami radiofonicznymi [4]

Referat omawia postępy prac, osiągnięte w ciągu ostatnich 2 lat na doświadczalnej stacji próbnej 500-kilowoltowej w Tidd*, a dotyczące studiów nad stratami na ulot, zakłóceniami radiofonicznymi i innymi czynnikami w liniach przesyłowych najwyższych napięć.

Pokróćce przypomnimy wyposażenie stacji. Posiada ona zespół 3 transformatorów jednofazowych o łącznej mocy 5000 kVA, dzięki któremu możliwe jest uzyskanie napięcia pomiędzy przewodami linii 3-fazowej w stopniach zmiennych od 265 do 530 kV. Są tu trzy linie doświadczalne: dwie o długości 2250 m każda, jedna o długości 245 m. Stacja wyposażona jest w ścisłą aparaturę pomiarową i rejestrującą do pomiaru strat na ulot i zakłóceń radiofonicznych, w radioodbiorniki z modulacją

jeszcze do wyników ostatecznych, tak że przedstawione materiały należy traktować jako wstępne, mogące ulec po zakończeniu badań modyfikacji.

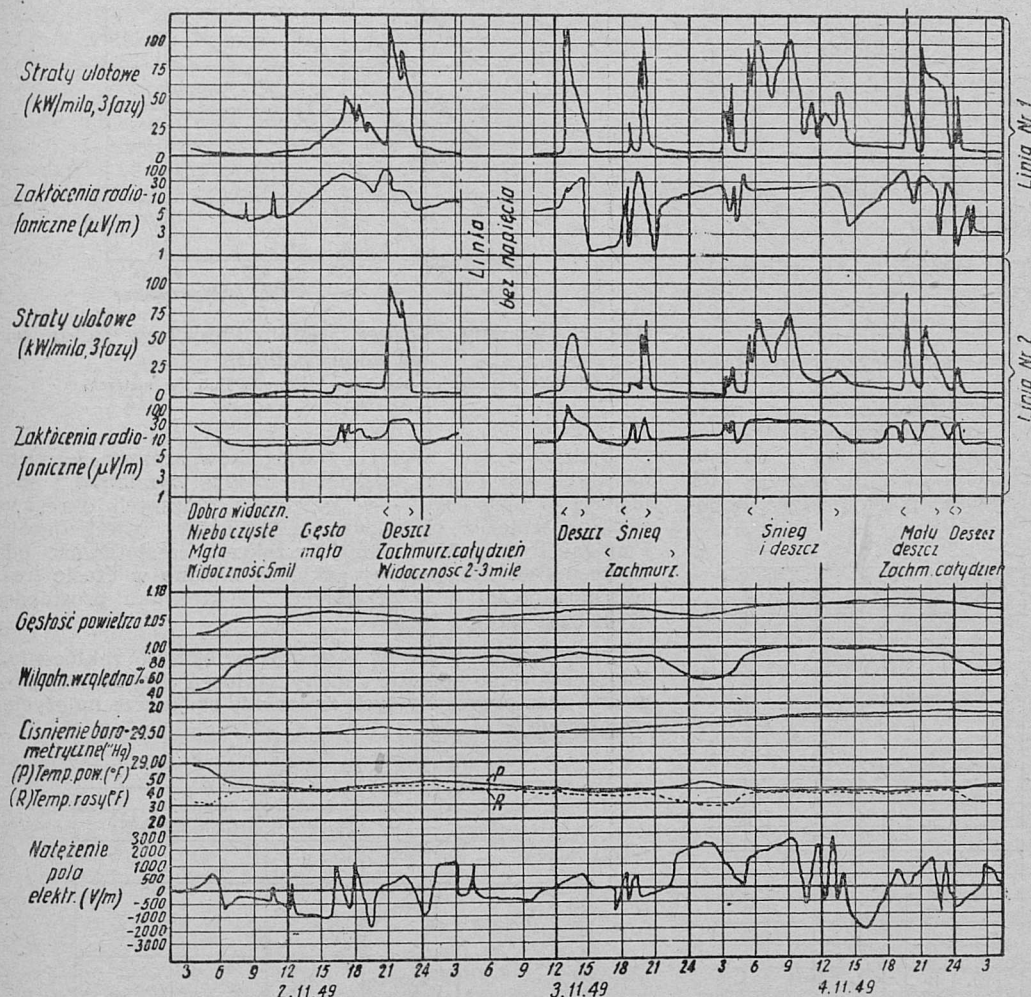
1. Badanie strat na ulot. Wobec szeregu zmiennych czynników, które wpływają na wielkość rocznych strat ulotowych dla różnego rodzaju przewodów i typów linii, a w szczególności zmian napięcia i warunków atmosferycznych, zastosowano ciągły system obserwacji przez stałe rejestrowanie na taśmie papierowej najważniejszych z tych czynników gwoli przeprowadzenia następnie — na podstawie zebranego w ten sposób materiału — wszechstronnej analizy. W miarę możliwości eliminowano badania dorywcze, dokonywane dla różnych warunków atmosferycznych. Rys. 17 przedstawia dla przykładu jeden z wykresów rejestrujących.

Co pewien czas badaną linię poddawano innemu napięciu. Szczegółowe badania prowadzono dla następujących napięć międzyprzewodowych: 280, 345, 396 i 452 kV.

Poza tym prowadzono badania dorywcze dla innych napięć.

Zaobserwowano dużą rozbieżność w pomiarach strat na ulot, co potwierdzają również inni autorzy. Czynniki wpływające na to są dwójakiego rodzaju: a) te, które zależą od stanu powierzchni przewodu, b) te, które wynikają z warunków atmosferycznych. Toteż różne przewody mogą mieć jednakowe straty przy dobrej pogodzie, lecz bardzo różniące się przy złej pogodzie.

Powierzchnia przewodu będącego pod napięciem ulega zmianom (jeden z czynników „starzenia się” przewodów) w ten sposób, że straty na ulot na ogół maleją — różnie dla różnego rodzaju przewodów. Zatem przewód pod napięciem powinien „ustabilizować się”. Na odwrót, straty czasowo wzrastają, jeżeli przewód przez jakiś czas (dzień lub kilka dni) pozostawał bez napięcia. Jeśli przewód taki ponownie włączymy pod napięcie i zmierzmy jego straty, będą one znacznie wyższe od przeciętnych, jednak szybko będą malały. Stabilizacja strat następuje po kilku lub kilkunastu godzinach, a niekiedy i dłużej. Przy wzrastającym stopniu



Rys. 17. Wykres rejestrujący badania linii trójfazowej pod napięciem międzyprzewodowym 454 kV

amplitudy i częstotliwości, w odbiornik telewizyjny, w aparaty do pomiaru natężenia pola elektrycznego powierzchniowego oraz strat na łańcuchach izolatorów, w aparaturę do rejestracji temperatury, ciśnienia barometrycznego, opadów, wilgotności powietrza itd.

Poza tym jest samoczynny aparat fotograficzny, wykonujący co 20 min. zdjęcia przewodów i izolatorów dla określenia ogólnych warunków atmosferycznych, jak deszcz, śnieg, sadz, mgła itd.

Badane przewody posiadają średnice od 23,4 do 50,8 mm. Badania na stacji trwają nadal i nie doprowadziły

napięciu straty są wyższe, przy malejącym — niższe. Przy pomiarach dorywczych dla utrzymania możliwie zgodnych wyników przewodów utrzymywano uprzednio pod danym napięciem co najmniej przez 15 min.

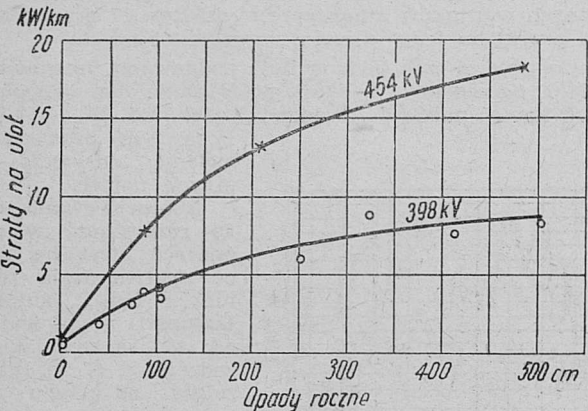
Co do warunków atmosferycznych stwierdzono, że zmiany temperatury, wilgotności powietrza, ciśnienia barometrycznego i natężenia pola atmosferycznego stosunkowo mało wpływają na straty w porównaniu z deszczem, śniegiem i sadzią, które są decydującymi w tej mierze czynnikami.

Istnieje zależność pomiędzy wielkością strat a wysokością opadów deszczowych. Otrzymujemy bardzo regularne krzywe, jeśli weźmiemy średnie straty na ulot za okres od 2 dni wwyż (do kilkunastu dni lub dłużej)

*) Por. Przegl. Elektr., 1950, z. 4/5/6, str. 144.

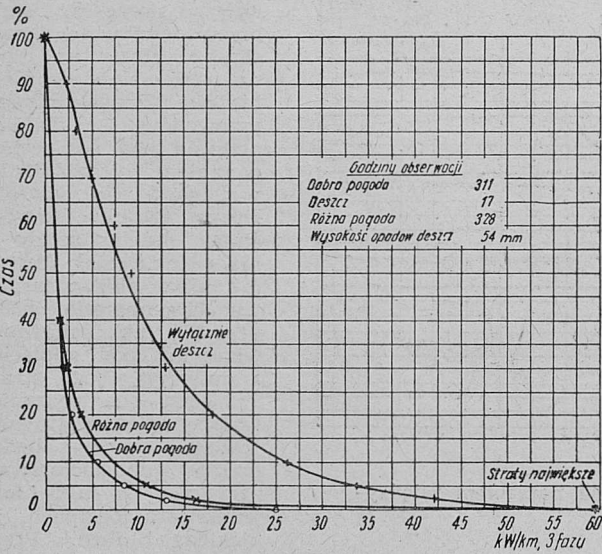
dla linii pracującej pod stałym napięciem i jeśli obliczymy te straty w stosunku do średniej intensywności opadów deszczowych w tym samym okresie. Krzywe takie dla napięć 398 i 454 kV podane są na rys. 18. Są one oparte na danych wziętych dla bardzo różnych warunków atmosferycznych i w różnych porach roku. Regularność krzywych wskazuje, że między innymi przyczynami mogą one również stanowić podstawę do obliczenia rocznych strat na ulot.

Ciągła rejestracja wykreślna strat na ulot przy wszelkich warunkach atmosferycznych daje bardziej wartościowe dane niż pomiary pojedyncze przy zmiennym na-



Rys. 18. Straty na ulot w zależności od opadów deszczowych

pięciu podczas dobrej pogody. Wykresy tej rejestracji pozwalają ustalić straty roczne i ich wartość gospodarczą. Na podstawie analizy tych wykresów, których przykład podany był na rys. 17, można wykreślić krzywe charakterystyczne, przedstawione na rys. 19 i podające w procentach ułamek czasu pracy linii, podczas którego straty przekroczyły wartość, podaną przez odpo-



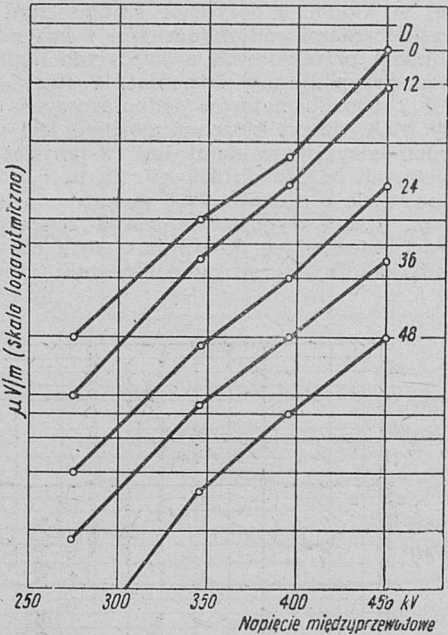
Rys. 19. Straty na ulot w ciągu miesiąca w trójfazowej linii doświadczalnej o napięciu międzyprzewodowym 395 kV dla różnych warunków atmosferycznych

Rzędne podają w procentach czas, w ciągu którego straty przekraczały wartość podaną przez odczyt w kW/km linii 3-fazowej

wiednią współrzędną. Widzimy, że straty przy dobrej i różnej pogodzie są nieznaczne, natomiast wyraźnie wzrastają przy deszczu.

Dla ustalenia średnich i największych strat dla całej linii przesyłowej o znacznej długości należy określić warunki atmosferyczne wzdłuż trasy, dzieląc ją ewentualnie na poszczególne strefy.

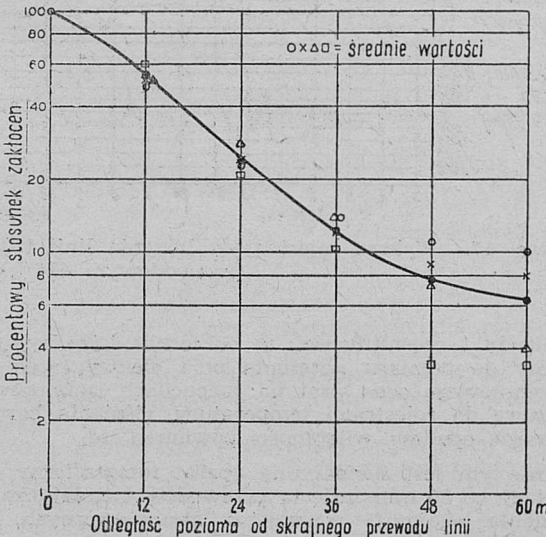
2. Zakłócenia radiofoniczne. Zagadnienie zakłóceń radiofonicznych dzieli się na dwa: a) określenie konstrukcyjnych elementów linii przesyłowej, które wywołują zakłócenia; b) ustalenie wielkości zakłóceń radiofonicznych, wywoływanych przez te elementy.



Rys. 20. Zmiany zakłóceń radiofonicznych w zależności od napięcia linii
D — odległość pozioma od skrajnego przewodu linii (w metrach)

Badano wpływ napięcia i warunków atmosferycznych na zakłócenia — dla różnych rodzajów, wymiarów i odległości przewodów — w przeciągu dłuższych okresów czasu, również z zastosowaniem aparatury rejestrującej. Pomiary były wykonywane dla zakresu częstotliwości od 15 kc do 400 Mc. Zmiany zakłóceń badano w czasie (rejestracja ciągła) i w przestrzeni: w kierunku prostopadłym oraz wzdłuż linii.

Stwierdzono, że śnieg i deszcz zwiększają zakłócenia. Zaobserwowano znaczne zmiany zakłóceń przy dobrej pogodzie, lecz przyczyny tych zmian nie są jeszcze należycie wyjaśnione.



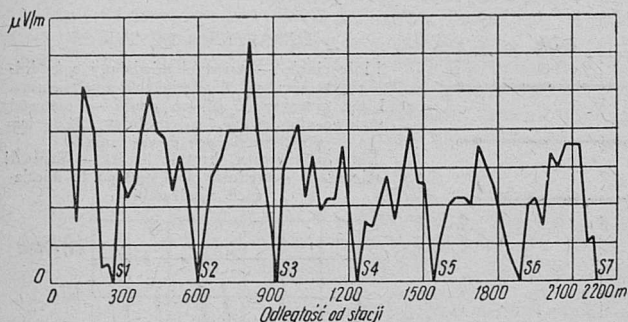
Rys. 21. Tłumienie zakłóceń radiofonicznych podane w procentach wartości, mierzonych bezpośrednio pod przewodem skrajnym, dla napięć międzyprzewodowych od 138 do 450 kV

Zmiany zakłóceń w zależności od napięcia linii dla różnych odległości poziomych od skrajnego przewodu są pokazane na rys. 20. Jak widać, z jednej strony zakłócenia szybko wzrastają wraz z napięciem linii, z drugiej strony maleją przy wzrastającej odległości od linii.

Pomiary bocznego tłumienia zakłóceń, w miarę oddalania się od linii, były wykonywane dla różnych częstotliwości oraz dla linii jedno- i trójfazowych. Rys. 21 podaje wyniki 62 pomiarów przy napięciach międzyprzewodowych od 138 do 450 kV. Małe odchylenia pomiędzy punktami średnich wartości procentowych zakłóceń dla jednakowych odległości poziomych i różnych napięć wskazują na to, że boczne tłumienie jest, praktycznie biorąc, niezależne od napięcia linii.

Wyniki badań zakłóceń radiofonicznych wzdłuż linii podane są na rys. 22. Pomiarów dokonano pod średnim przewodem linii przy napięciu międzyfazowym 475 kV. Zmiany zakłóceń wzdłuż linii wynikają prawdopodobnie z działania ekranującego słupów, ze zmiany wysokości przewodów i z odbicia fal. Pozorne tłumienie, które można zauważyć w miarę posuwania się wzdłuż linii, wynika zapewne ze zmian poziomu zakłóceń w ciągu 3 godzin, podczas których wykonywano pomiary.

Badania zakłóceń w zależności od częstotliwości wykazały, że zakłócenia zmieniają się w odwrotnym stosunku do częstotliwości. Zakłócenia wpływały na radioodbiorniki pod względem modulacji amplitudy, nie wpływając w widoczny sposób na modulację częstotliwości ani na telewizję.



Rys. 22. Wykres zakłóceń radiofonicznych wzdłuż linii przesyłowej

Wydaje się rzeczą słuszną, aby dla linii przesyłowych najwyższych napięć dopuścić wyższy poziom zakłóceń radiofonicznych niż dla linii o niższych napięciach, a to ze względów następujących: a) sprzężenie z antenami odbiorczymi będzie na ogół słabsze; b) w pobliżu tych linii znajdzie się mała liczba odbiorników; c) będzie mało linii równoległych i skrzyżowań.

3. W n i o s k i k o ń c o w e. a) Wyniki badań strat na ulot — dla porównania różnego rodzaju przewodów — przy zmieniającym się napięciu są interesujące przede wszystkim z teoretycznego punktu widzenia i są na ogół mniej ważne niż badania pod danym napięciem w ciągu dłuższego czasu. Znajomość strat przy wszelkich możliwych warunkach atmosferycznych jest nieodzowna dla ustalenia wartości gospodarczej strat w linii przesyłowej.

b) Straty na ulot są funkcją łącznego oddziaływania dwu czynników: powierzchni przewodu i warunków atmosferycznych. Przewody nowe dają na ogół większe straty niż przewody długo-pracujące.

c) Zagadnienie zakłóceń radiofonicznych zawiera w sobie określenie czynników mogących wywoływać te zakłócenia oraz ustalenie wielkości tych zakłóceń na danym obszarze.

d) Dane podane w niniejszym referacie, choć zawierają szereg konkretnych liczb i sugestii, należy traktować jedynie jako wstępne.

W. S. PETERSON, B. COZZENS i J. S. CARROLL. Pomiary strat na ulot w liniach o napięciu powyżej 230 kV [5]

1. P r z e d m i o t b a d a ń. Referat zawiera opis urządzeń pomiarowych, omawia stopień dokładności pomiarów i podaje niektóre wyniki badań strat na ulot w doświadczalnej linii, pobudowanej w pustyni Mojave w południowej Kalifornii, przez którą przebiega linia przesyłowa 287,5 kV Boulder Dam-Los Angeles. Całkowita długość linii wynosi 425 km. Gospodarczo najkorzystniejszy przekrój miedzianych przewodów rurowych wynosi 259 mm², średnica 35,6 mm. Po uruchomieniu dwu pierwszych torów linii stwierdzono, że straty na ulot przy dobrej pogodzie w postaci trzasków i wyładowań widocznych są większe niż przewidywano, w szczególności na odcinku trasy przebiegającym przez wspomnianą pustynię. Ponieważ przewidywano uruchomienie trzeciego toru linii, uznano za konieczne przeprowadzenie badań na terenach tej pustyni.

Badania trwały 3 lata. Z początku badano możliwość zastosowania dla trzeciego toru przewodu o średnicy 32 mm dla ulżenia konstrukcji słupów. Następnie usiłowano określić, w jakiej mierze możliwe są odchylenia w średnicach przewodów (zarówno rurowych, jak i z żył okrągłych) przy zachowaniu dopuszczalnych strat na ulot. Wreszcie, wzmożone straty stwierdzone w warunkach pustynnych zasługiwały na bliższe zbadanie.

2. B a d a n i e s t r a t n a u l o t. Trójfazowa linia doświadczalna o czterech przesłach, przez przyłączenie jej do właściwej linii przesyłowej, mogła być zasilana przez osobną prądnicę z elektrowni Boulder Dam odległej o 290 km. Przez odpowiednie wzbudzenie prądnicy można było uzyskać na linii doświadczalnej zmiany napięcia w granicach od 220 do 365 kV.

Słupy linii są drewniane ze stalową poprzeczką o rozpiętości 19 m. Układ przewodów w płaszczyźnie poziomej, odstępy między przewodami 9,5 m. Linki odgromowe, umocowane na wierzchołkach słupów, zostały zawieszone na wysokości 6 m nad poprzeczką słupów przelotowych oraz 9 m nad poprzeczką słupów odporowych. W ten sposób uzyskano układ przewodów jak w linii przesyłowej z tą różnicą, że tam wysokość linek odgromowych nad poprzeczką wynosi 15 m, jednakże ta zmiana mogła wywrzeć tylko znikomy wpływ na wyniki końcowe.

Dwa pierwsze przesła linii o rozpiętości 243 m i rurowym przewodzie miedzianym średnicy 32 mm zostały przyłączone do urządzeń pomiarowych; dwa dalsze przesła o rozpiętości 212 m posiadały przewód stalowo-aluminiowy o średnicy 35,6 mm. Na słupie odporowym rozgraniczającym te dwa odcinki linii możliwe było połączenie w szereg obydwu odcinków za pomocą odpowiednich złącz, a zatem określenie strat na drugim odcinku linii było dokonywane w drodze odejmowania. Przy końcu badań przewód na dwu pierwszych przesłach linii został zamieniony analogicznym, lecz o średnicy 35,6 mm.

Na rys. 23 podany jest układ urządzeń służących do pomiarów; jest to tzw. moltiplikator watomierzowy. Aby ograniczyć mierzone straty jedynie do przesła badanych, połączenia między aparaturą pomiarową a badanymi przesłami wykonano ekranowym przewodem miedzianym o średnicy 32 mm.

Rys. 24 przedstawia opornik wodny jednej fazy. Miejsca woda posiadała oporność 3000 Ω/cm³, co pozwoliło użyć jej bezpośrednio do oporników.

Odczytywano wskazania na watomierzu i na miliamperomierzu; poza tym notowano za każdym razem: wielkość prądu płynącego przez oporniki wodne, napięcie linii (za pomocą sprzężonych pojemności), oporność i temperaturę wody opornika, napięcie prądnicy w elektrowni (podawane przez telefon), temperaturę otoczenia, wilgotność powietrza, ciśnienie barometryczne oraz trzaski wyładowań ulotu. Pomiary sprowadzano do temperatury 21°C.

Do pomiarów użyto dwa komplety watomierzy: jedno o wysokiej czułości i małym prądzie, o niskim współczynniku mocy dla pomiarów na odcinku 243 m; drugie — o większym prądzie dla badań na całej długości 456 m linii doświadczalnej. Odczyty na watomierzach dokonywa-

ne były przy pomocy lunetek, co oспrowadzało do minimum błędy paralaksy. Błąd odczytu o 0,2 podziałki mógł spowodować przy watomierzach o małym prądzie błąd 14 Wm, przy watomierzach o większym prądzie 32 Wm.

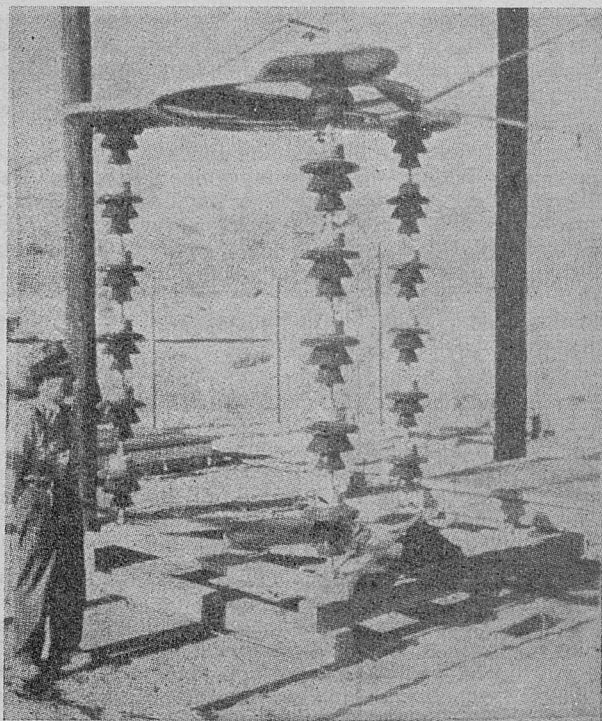
Przyjęta metoda pomiaru napięcia mogła dawać błąd do 1,73 kV przy napięciu międzyfazowym 287,5 kV.

Błędy przy pomiarze oporności kolumny opornikowej mogły sięgać 2% dla prądu i 1% dla napięcia. Błąd pomiaru oporności nie przekraczał 1%.

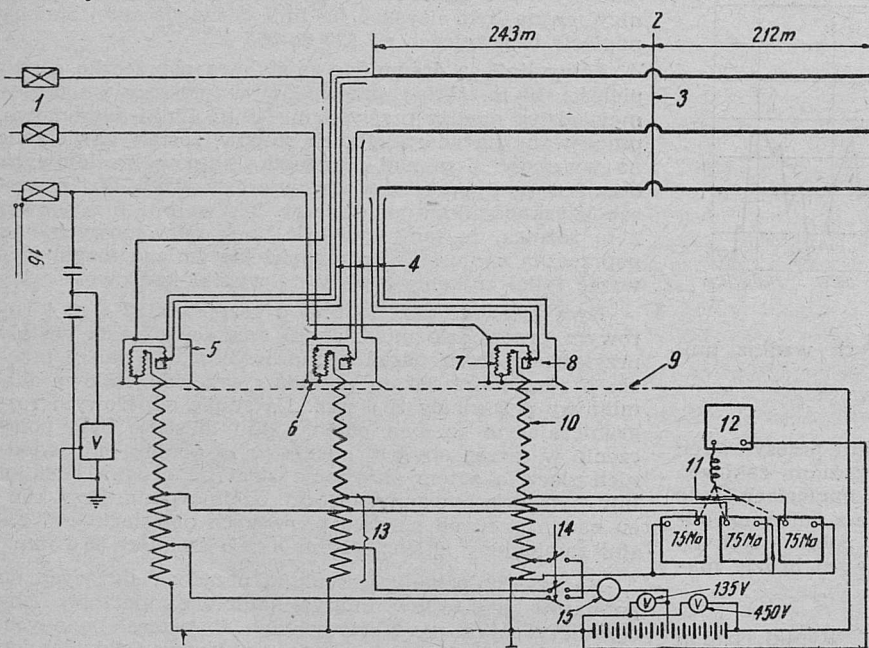
Można przyjąć, że największy błąd popełniony przy pomiarach strat na ulot stanowił ułamek kilowata na 1 milę.

3. W y n i k i b a d a ń. Badania przeprowadzono, jak już była mowa wyżej, dla przewodu miedzianego rurowego o średnicy 32 mm oraz stalowo-aluminiowego o średnicy 35,6 mm dla różnych stanów powierzchni tych przewodów: a) w takim stanie, w jakim przewody przyszły z fabryki; b) po 4 tygodniach wystawienia ich na działanie czynników atmosferycznych; c) po starannym umyciu przewodów benzyną, wodą z mydłem i spłukaniu czystą wodą pod wysokim ciśnieniem; d) po wystawieniu ich na działanie czynników atmosferycznych w ciągu 8 tygodni. Poza tym był badany przewód stalowo-aluminiowy, który po wyjściu z fabryki był starannie wmyty i przeleżał na składzie kilka lat. Następnie przewód miedziany o średnicy 32 mm zdemonstrowano i zastąpiono go analogicznym, lecz o średnicy 35,6 mm, na którym straty mierzono dwukrotnie: a) po wymyciu go oraz b) po 16 miesiącach zawieszenia na słupach.

Stwierdzono ogólnie, że mycie przewodów wzmacnia straty, natomiast przewody „zestarzałe” wykazują mniejsze straty, przy czym redukcja ta jest większa w zakresie słabych strat niż w zakresie strat dużych.



Rys. 24. Opornik wodny



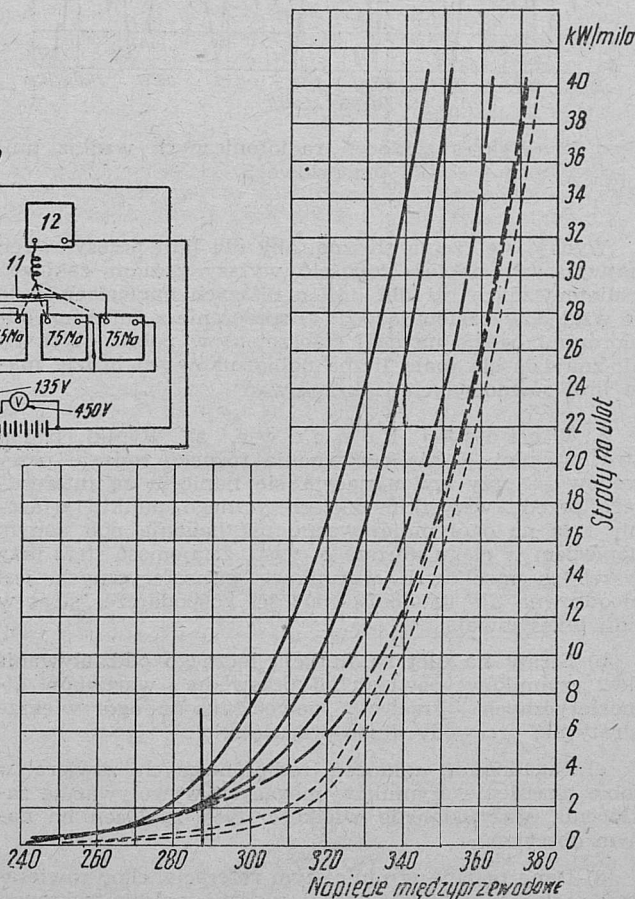
Rys. 23. Układ pionowy do badania strat na ulot

- 1 — wyłącznik olejowy
- 2 — przęsła badane
- 3 — złącza
- 4 — przewód ekranowany
- 5 — klatka ekranująca aparaty pomiarowe
- 6 — ekran górnej części opornika głównego
- 7 — watomierz
- 8 — miliamperomierz
- 9 — połączenia pokazane linią przerywaną są przewidziane jedynie do pomiarów o dużej oporności
- 10 — główny opornik wodny (5–7 megomów)
- 11 — połączenia wykonywane jedynie w chwili pomiarów oporności
- 12 — mikroamperomierz
- 13 — pomocniczy opornik wodny (ok. 160 000 Ω)
- 14 — wyłączniki zamykane dla sprawdzenia oporności
- 15 — miliamperomierz
- 16 — obwód sterujący wyłącznikami z podstacji

Krzywe rys. 25 podają wyniki badań strat na ulot dla wspomnianych trzech rodzajów przewodów. Dla każdego przewodu podane są 2 krzywe, zakreślające graniczne wartości dokonanych pomiarów. Z krzywych widoczne

OZNACZENIA DO RYS. 25

Linie ciągłe — przewód miedziany o średnicy 32 mm po 2 miesiącach zawieszenia
 Linie przerywane, długie kreski — przewód stalowo-aluminiowy o średnicy 35,6 mm po 2 miesiącach zawieszenia
 Linie przerywane, krótkie kreski — przewód miedziany o średnicy 35,6 mm po 16 miesiącach zawieszenia



Rys. 25. Straty na ulot

są korzyści przewodu miedzianego o średnicy 35,6 mm, które uwydatnione są również w tabl. IX, podającej skrajne wartości strat dla każdego z trzech przewodów przy napięciu roboczym 287,5 kV, zredukowane do 21°C i ciśnienia 698,5 mm Hg.

Wnioski, które można wyciągnąć z powyższych badań, są następujące. W terenie pustynnym, gdzie przeprowadzone były badania, dla przewodu miedzianego o średnicy 32 mm punkt pracy znajduje się tak blisko zgięcia krzywej strat, że wszelkie zmiany napięcia, czy warunków atmosferycznych, czy też wysokości trasy nad poziomem morza mogłyby powodować straty, przekraczające dopuszczalną granicę gospodarczą. Punkt pracy na krzywych strat przewodu miedzianego o średnicy 35,6 mm wykazuje dostatecznie jego oddalenie od zgięcia krzywej; straty będą umiarkowane przy eksploatacyjnych wzrostach napięcia i wznoszeniu się trasy linii na średnie wysokości. Krzywe przewodu stalowo-aluminiowego o średnicy 35,6 mm zajmują położenie pośrednie.

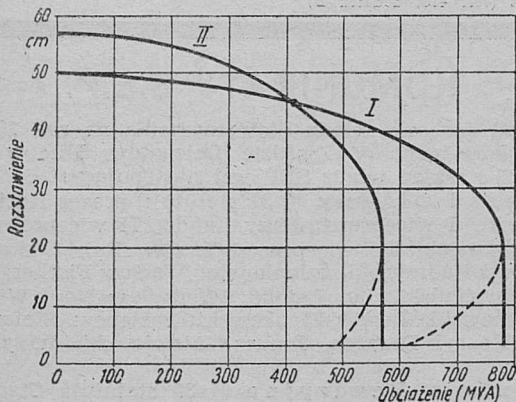
Tablica IX. Straty na ulot w linii 3-fazowej (kW/mila)

Rodzaj przewodu	Po zawieszeniu w przeciągu					
	0 miesięcy		2 miesięcy		16 miesięcy	
Cu, średnica 32 mm	—	4,8	2,3	3,6	—	—
Stal-Al, średn. 35,6 mm	4,2	4,8	2,0	2,1	—	—
Cu, średn. 35,6 mm	3,4	4,6	—	—	0,5	0,9

W wyniku powyższego dla trzeciego toru wspomnianej linii przesyłowej na 287,5 kV zatrzymano się na przewodzie miedzianym rurowym o średnicy 35,6 mm takim samym, jak przewód zawieszony już na pracujących torach linii. Wszystkie trzy tory linii obecnie już pracują i to przy napięciach nieco wyższych od znamionowego, nie powodując ani nadmiernych strat, ani zakłóceń radiofonicznych.

O. D. ZETTERHOLM. Przewody bliźniacze w liniach przesyłowych na 380 kV [6]

1. Rozstawienie przewodów bliźniaczych. Dla uniknięcia stykania się przewodów bliźniaczych jednej wiązki i dla utrzymania właściwego skutku zastosowania tych przewodów jest konieczne rozstawienie ich na pewną odległość od siebie i utrzymywanie tej odległości — w pewnych granicach — jako niezmiennej. W linii 380-kilowoltowej przewody bliźniacze nie powinny być bardziej zbliżone do siebie niż na



Rys. 26. Rozstawienie między przewodami bliźniaczymi linii na 380 kV

I — prześła normalne (330 m)
II — prześła największe (550 m)

20 cm ze względu na straty na ulot i na zakłócenia radiofoniczne.

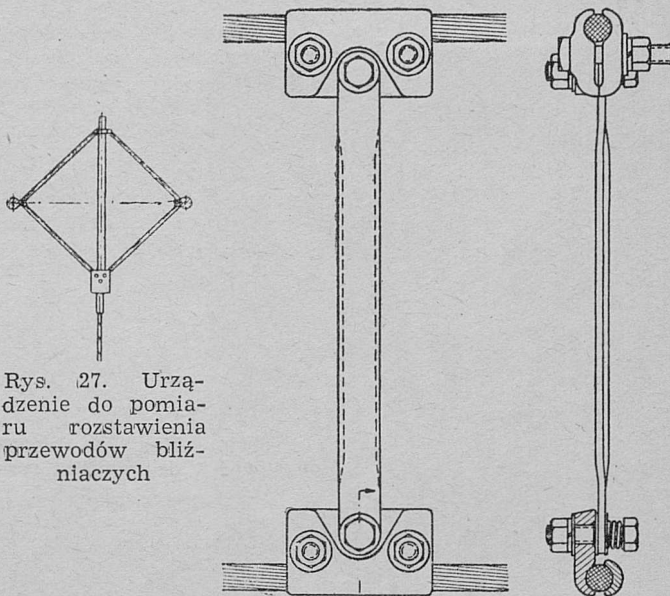
Wpływ zmniejszenia odstepu między przewodami bliźniaczymi na oporność bierną linii jest stosunkowo słaby, ponieważ w pracy normalnej średnie rozstawienie

we wszystkich prześłach nie różni się zbytnio od przewidzianej wartości.

Wielkość rozstawienia określona jest przez działanie naprężeń elektrodynamicznych pomiędzy przewodami bliźniaczymi oraz przez skutki działania wiatru i sadi.

2. Wpływ naprężeń elektrodynamicznych. W kierunku poprzecznym przewody bliźniacze podlegają działaniom sił pochodzenia elektrycznego i mechanicznego.

Działania sił pochodzenia elektrycznego są to: przyciąganie elektromagnetyczne proporcjonalne do kwadratu prądów oraz odpychanie elektrostatyczne proporcjonalne do kwadratu napięć.



Rys. 27. Urządzenie do pomiaru rozstawienia przewodów bliźniaczych

Rys. 28. Rozpórki do przewodów bliźniaczych

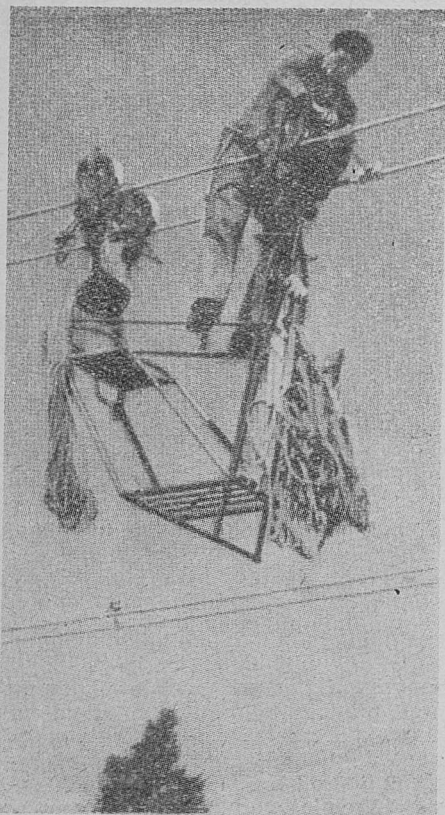
Położenie przewodów bliźniaczych zostało obliczone dla różnych długości prześła i dla różnych obciążeń. Otrzymane wyniki zostały sprawdzone w drodze pomiarów przy pełnym napięciu i prądzie całkowitego obciążenia. Rys. 26 podaje w postaci krzywych wielkości rozstawienia pomiędzy środkami dwóch stalowo-aluminiowych przewodów bliźniaczych $2 \times 31,7 \text{ mm}$ ($2 \times 592 \text{ mm}^2$) dla linii 380-kilowoltowej. Normalne rozstawienie wynosi 45 cm.

W stanie jałowym rozstawienie między przewodami bliźniaczymi jest o kilka centymetrów większe niż przy obciążeniu normalnym. Przy wzroście obciążenia do ok. 400 MVA naprężenia elektrostatyczne i elektromagnetyczne kompensują się i rozstawienie na całej długości prześła pozostaje równe wartości normalnej tj. 45 cm. Gdy obciążenie dalej wzrasta przewody mają tendencję do zbliżania się. Gdy rozstawienie zmaleje do 19 cm, powstaje nieustalony stan przewodów, które wreszcie zetkną się ze sobą. Zachodzi to w prześle normalnym o długości 330 m przy obciążeniu 790 MVA. Jeśli przewody zbliżą się z jakiegoś innego powodu, powstaje ich stan nieustalony przy mniejszym obciążeniu. Przerywane części krzywych pokazują wówczas stosunek pomiędzy rozstawieniem a obciążeniem. Dla rozdzielenia przewodów, które utrzymują się w zetknięciu, należy zmniejszyć obciążenie do wartości odpowiadającej punktowi niestłości dla przewodów zetkniętych. Dla prześła normalnego obciążenie to, jak widać z krzywej, wynosi 610 MVA.

Przewiduje się, że w przyszłości linia 380-kilowoltowa będzie przenosiła moc rzędu 600 MVA. Dla spowodowania oderwania się przewodów, które zetknęły się ze sobą, konieczne jest więc, ażeby długość wolnych przewodów pomiędzy stałymi punktami nie przekraczała odległości rzędu 330 m. Dla dłuższych prześła należałoby zastosować rozpórki, rozdzielające przewody bliźniacze.

T a b l i c a X. Wyniki badań przewodów bliźniaczych $2 \times 31,7 \text{ mm}$ ($2 \times 592 \text{ mm}^2$) linii 380-kilowoltowej pod działaniem wiatru

Rozpiętość przęsła (m)	Liczba dni obserwacji	Liczba rozpórek	Odległość między punktami stałymi (m)	Liczba zestknięć się przewodów	Najmniejsze rozstawienie zaobserwowane		Największa prędkość wiatru (m/s)
					(cm)	liczba rejestracji	
200	18	0	200	1700	—	—	21
460	21	2	153	8	—	—	16
460	44	4	140	0	20	32	24
460	44	4	130	0	25	14	24
460	44	4	120	0	25	4	24



Rys. 29. Wózek
do montażu roz-
pórek

3. W p ł y w w i a t r u. Dla zbadania wpływu działania wiatru na przewody bliźniacze i na ich rozstawienie pobudowano 3 przęsła doświadczalne o długościach: 460, 300 i 200 m. Długości te odpowiadają w przybliżeniu przęsłu największemu, przęsłu średniemu i przęsłu najmniejszemu linii na 380 kV. Próby dokonano z bliźniaczymi przewodami stalowo-aluminiowymi $2 \times 31,7 \text{ mm}$ ($2 \times 592 \text{ mm}^2$). Badano również drgania przewodów i sprzęt mający zapewnić wymagane rozstawienie przewodów.

Dla stwierdzenia, ile razy przewody zetknęły się ze sobą, zastosowano urządzenie, w którym przy zetknięciu się przewodów powstawał obwód elektryczny zawierający odpowiedni licznik. Dla zmierzenia rzeczywistego rozstawu przewodów bliźniaczych zastosowano urządzenie (rys. 27), posiadające styki elektryczne, które odpowiadają rozstawowi skalowanemu co 5 cm; każdy styk był przyłączony do licznika.

Dane dotyczące prędkości i kierunku wiatru były dostarczane przez stację meteorologiczną znajdującą się w pobliżu. Prędkości wiatru były podawane jako średnie na godzinę; obliczono, że największe prędkości uderzeń wiatru przewyższały o 50% wartości średnie. Badania rozciągały się jedynie na wiatry, skierowane pod kątem większym niż 45° do kierunku przewodów.

Ruchy przewodów były obserwowane jednocześnie, kiedy przewody miały możliwość swobodnego wahaniasię na całej długości przęsła i kiedy wolna długość wahaniasię

była ograniczona przez zastosowanie rozpórki. Z wyjątkiem kilku odchyleń otrzymane wyniki badań dają należyłą podstawę do ustalenia liczby rozpórek (tabl. X).

4. R o z p ó r k i d o p r z e w o d ó w b ł i Ź n i a c z y c h. Jak już powiedziano, rozstawienie między przewodami bliźniaczymi linii 380-kilowoltowej nie powinno być mniejsze od 20 cm. Jak wykazały badania, stykania się przewodów występowały przy wolnej długości 153 m pomiędzy punktami stałymi, co wskazuje na to, że długość ta jest zbyt duża. Próby wykonane dla wolnych długości wahaniasię przewodów 120, 130 i 140 m wykazały, że najkorzystniejsza jest długość 130 m. Długość tę ustalono jako odległość pomiędzy rozpórkami.

Konstrukcja rozpórek pokazana jest na rys. 28. Same zaciski są wykonane z lekkiego stopu, natomiast właściwa rozpórka, śruby itd. ze stali galwanizowanej. Układ przewodów bliźniaczych jest poziomy.

Do montażu rozpórek zastosowano wózek, mogący się poruszać wzdłuż przewodów (rys. 29). Jest to klatka z rur stalowych, której części przednia i tylna są względem siebie ruchome. Każda z tych części ma swoją parę kół jezdnych z urządzeniem hamulcowym. Monter w pozycji siedzącej może własnymi siłami poruszać wózek w przód lub w tył; może on również przejechać tym wózkiem z jednego przęsła na drugie.

SPIS REFERATÓW

- [1] Sporn Ph. Rapport du Comité International d'Étude pour le transport de l'énergie en courant alternatif à très haute tension (ref. 407).
- [2] Ailleret P., Cahen F. Le choix des conducteurs pour l'armement des lignes à 380—400 kV, d'après les essais effectués à la station expérimentale à 500 kV de Chevilly (ref. 411).
- [3] Gerber O. Les pertes par effet de couronne de conducteurs simples et de conducteurs en faisceaux (ref. 403).
- [4] Sporn Ph., Montheit A. C. L'avancement du programme d'essais à 500 kV comportant l'étude de l'effet de couronne, de l'influence sur les perturbations radioélectriques et d'autres facteurs (ref. 412).
- [5] Peterson W. S., Cozzens B., Carroll J. S. Mesure pratique des pertes par effet de couronne au-dessus de 230 kV (ref. 401).
- [6] Zetterholm O. D. Investigations concernant les conducteurs jumelés (ref. 410, dodatek B)

KOMUNIKATY S.E.P.

Skład osobowy władz Stowarzyszenia na rok 1952/53.
Po wyborach na V Zjeździe Delegatów SEP w dniu 16. 6. 52 r. skład władz SEP jest następujący:

Zarząd Główny (§ 32 statutu): prezes Kazimierz Kolbiński, I wiceprezes Jerzy Lando, II wiceprezes Tadeusz Żarnecki, III wiceprezes Czesław Rajski, skarbnik Eugeniusz Zadrzyński, członkowie: Wacław Fischer, Anatol Kopystiański, Jan Latour, Władysław Ney, Wilhelm Smoluchowski, Leszek Zienkowski; zastępcy: Stefan Darecki, Henryk Dietrich, Janusz Gniewiewski, Jerzy Statkiewicz.

Komisja Rewizyjna (§ 39 statutu): Stanisław Andrzejewski, Tomiła Luberadka, Ignacy Malecki, Stanisław Ostrowski, Wojciech Piróg; zastępcy: Wacław Torbus, Ryszard Wiśniewski.

Komisja Kwalifikacyjna (§ 40 statutu): Członkowie z wyborów: Tadeusz Czaplicki, Dionizy Gajewski, Bolesław Hac, Bolesław Jabłoński, Bolesław Konorski, Karol Morsztyn, Zygmunt Rafałowicz, Arkadiusz Sławiński, Jerzy Statkiewicz, Edward Szacki. — Członkowie z ramienia Zarządu Głównego SEP: Kazimierz Kolbiński, Anatol Kopystiański. — Zastępcy: Ignacy Baran, Ignacy Malecki.

BIULETYN INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok VI — nr 35

Warszawa, Al. Niepodległości 222

Sierpień 1952 r.

Zakład Techniki Światłej

PROTOTYP LUKSOMIERZA OBIEKTYWNEGO

Kontrola natężeń oświetlenia w zakładach przemysłowych jest uniemożliwiona z braku luksomierzy. Ponieważ utrudnia to właściwe utrzymywanie urządzeń oświetleniowych i uniemożliwia obiektywną ocenę jakości oświetlenia, stanowiącą pierwszy krok do racjonalizacji wadliwych urządzeń oświetleniowych, potrzeba jak najszybszego wyprodukowania prostych luksomierzy jest palącą. Ta tendencja oddania luksomierzy do rąk techników fabrycznych w możliwie krótkim czasie skłoniła do skorzystania z konstrukcji galwanometru, który już do innych celów opracowano w Zakładach Wytwórczych Przyrządów Pomiarowych.

Postanowiono również nie obarczać przyrządu żadnymi dodatkowymi przyborami, jak filtr poprawkowy lub

to jednak zmianę charakterystyki prądowej ogniwa fotoelektrycznego, która odbiega znacznie od linii prostej. Stąd bardzo silne zagęszczenie działek w górnej części zakresu. Jeżeli odstąpić od zasady zastosowania bez zmian galwanometru Zakładów Wytwórczych Przyrządów Pomiarowych i dopuścić drobną przeróbkę jego skrzynki bakielitowej, to można przez zastąpienie oporności szeregowej bocznikiem otrzymać i przy zakresie 0 — 3000 lx skalę proporcjonalną.

Skalę prototypu luksomierza pokazano na rys. 1. Poza omówionymi podziałkami 0 — 300 i 0 — 3000 lx figurują na niej zakresy oznaczone literami B, C, . . . K. Odpowiadają one klasom natężeń oświetlenia przyjętym w normie PN/E02030. Jakkolwiek oznaczenia literowe klas, których wprowadzenie przewidywał projekt normy (PE, 1950, z. 9/10/11), zostały w ostatniej redakcji usunięte, pożądane jest pozostawienie na skali luksomierza podziału na zakresy, gdyż umożliwi to sprawdzanie przez niższy personel fabryczny, bez określania wartości licz-



Rys. 1. Skala luksomierza



Rys. 2. Luksomierz i ogniwo fotoelektryczne

filtr obojętny, a poprzestać na dołączeniu do przyrządu tablicy poprawek, które należy stosować przy badaniu oświetlenia żarówkowego, fluorescencyjnego różnych odciń i oświetlenia dziennego. Jako odbiornik promieniowania przyjęto ogniwo fotoelektryczne selenowe Lange-go o średnicy czynnej ok. 37 mm i średnicy całkowitej ok. 60 mm.

Galwanometr zastosowany do prototypu posiada oporność wewnętrzną 252 omy, nadaje się więc dobrze do pracy z ogniwem, którego prąd w zakresie od zera do kilku tysięcy luksów jest tylko wtedy funkcją liniową natężenia oświetlenia, gdy oporność zewnętrzna jego obwodu nie przekracza wartości ok. 300 omów. Inna cecha ogniwa selenowych, mianowicie zależność prądu fotoelektrycznego od temperatury przemawia również na korzyść obranego galwanometru, albowiem właśnie przy opornościach zewnętrznych obwodu rzędu 200 — 400 omów błąd z tego tytułu jest niewielki, a przy opornościach większych szybko wzrasta z temperaturą.

Pełne wychylenie wskazówki występuje w obranym przyrządzie przy natężeniu prądu 200 — 220 μ A, co przy obranym ogniwie odpowiada natężeniu oświetlenia 300 lx.

W ten sposób otrzymano przyrząd o skali proporcjonalnej dla zakresu 0 — 300 lx. Powyższy zakres pomiarowy rozszerzono do natężenia oświetlenia 3000 lx przez dodanie oporności szeregowej 1200 omów. Spowodowało

bowej, czy natężenie oświetlenia znajduje się w granicach przepisanych przez normę.

Ogniwo fotoelektryczne nie jest z galwanometrem sztywno związane, a połączenie elektryczne zapewnia giętki przewód dwużyłowy zakończony wtyczkami (rys. 2). Umożliwia to odsunięcie się obserwatora od punktu pomiarowego i zabezpiecza od błędów, które wynikają przy pomiarach, gdy obserwator nachyla się przy odczycie nad ogniwem i rzuca nań cień, zmniejszający natężenie oświetlenia. Umożliwia to również łatwy pomiar natężeń oświetlenia w miejscach mniej dostępnych, np. w głębi maszyn produkcyjnych lub na większej wysokości. W tym celu obudowa ogniwa posiada otwór gwintowany umożliwiający osadzenie ogniwa na drążku.

Skrzynka galwanometru ma pomieszczenie z otworem w dolnej ścianie zakrytym płytką. Przez pewne przekonanie obudowy ogniwa udało się zredukować jej wysokość tak, że wraz z przymocowaną do jej dolnej powierzchni cewką z nawiniętym na niej przewodem mieści się w wymienionym pomieszczeniu.

Dokumentacja do produkcji luksomierzy powyższej konstrukcji wraz z prototypem, wykonanym w Zakładzie Techniki Światłej I. El., została przekazana Zakładom Wytwórczym Przyrządów Pomiarowych, które przystąpiły już do produkcji tego typu luksomierzy i mają w roku bieżącym wyprodukować ich pierwszą partię próbną.

W. F.

Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego

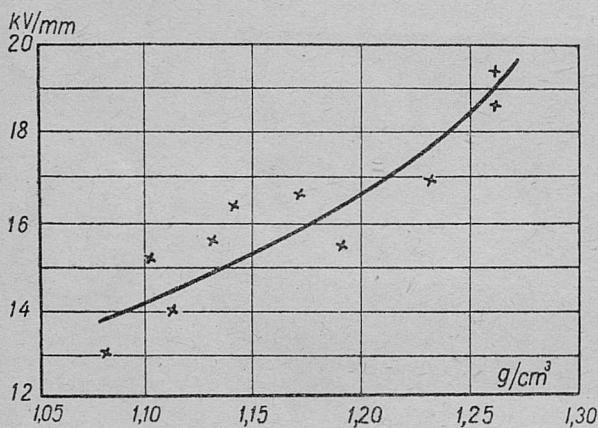
PRESZPAN ELEKTROTECHNICZNY Z DODATKIEM CELULOZY SŁOMOWEJ

Produkcja szlachetnego preszpanu elektrotechnicznego została po raz pierwszy w kraju uruchomiona po wojnie. Przedtem przemysł elektrotechniczny posługiwał się preszpanami importowanymi.

Przemysł papierniczy wskutek braku doświadczenia produkcyjnego w tej dziedzinie napotykał w pierwszym okresie duże trudności. Dla ich pokonania została nawiązana pomiędzy zakładem produkcyjnym w Krapkowicach a Zakładem Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki ścisła współpraca. Zakład Materiałoznawstwa ustalił wymagania, którym preszpan powinien odpowiadać oraz wykonywał badania wyprodukowanego preszpanu. Na wspólnych konferencjach omawiano aktualne wady i trudności oraz sposoby ich usunięcia. Współpraca ta z jednej strony w dużej mierze przyczyniła się do podniesienia jakości produkcji, z drugiej zaś strony pozwoliła na opracowanie metod pomiarowych właściwości preszpanu, co znalazło zastosowanie przy opracowywaniu projektu normy.

Szlachetny preszpan elektrotechniczny wyrabia się z siarczanowej celulozy z drzew iglastych. Proces produkcji preszpanu jest bardzo zbliżony do procesu produkcji papieru, przy czym preszpan od papierów elektroizolacyjnych różni się w zasadzie grubością.

Dobór surowca i przebieg procesu produkcyjnego mają na celu uzyskanie najlepszych właściwości elektrycznych (duża wytrzymałość elektryczna i niska stratność) oraz



Rys. 1. Zależność wytrzymałości elektrycznej preszpanu od ciężaru objętościowego

mechanicznych (duża wytrzymałość na rozrywanie) przy równoczesnym utrzymaniu dużej rozciągliwości oraz odporności na zginanie.

Zwiększenie wytrzymałości elektrycznej uzyskuje się przez zwiększenie ciężaru właściwego. Zależność wytrzymałości elektrycznej od ciężaru objętościowego pokazuje rys. 1. Stratność dielektryczna zależna jest od czystości chemicznej preszpanu. Właściwości mechaniczne uwarunkowane są długością włókna celulozowego. Wszystkie trzy wymienione cechy są poza tym silnie zależne od struktury preszpanu.

Dla uzyskania najkorzystniejszych właściwości preszpanu przemysł papierniczy wykonał próbę dodania do celulozy drzewnej pewnej ilości celulozy słomowej. Próba ta miała na celu zwiększenie ciężaru objętościowego preszpanu dzięki temu, że krótkie włókna celulozy słomowej wypełnią przestrzeń powietrza pomiędzy długimi włóknami celulozy drzewnej. Zwiększenie ciężaru właściwego powinno podnieść wytrzymałość elektryczną preszpanu, nie obniżając jego właściwości mechanicznych.

Przyjmując właściwości preszpanu z celulozy drzewnej za 100%, otrzymano w wyniku wykonanych prób następujące zmiany wartości dla preszpanu z dodatkiem celulozy słomowej:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1) ciężar objętościowy | + 12% |
| 2) wytrzymałość na rozrywanie | a) wzdłuż — 25%
b) w poprzek — 10% |
| 3) rozciągliwość: | a) wzdłuż — 30%
b) w poprzek — 25% |
| 4) wytrzymałość elektryczna | 0% |

Poza tym preszpan słomowy zaginany po starzeniu pękał i rozwarstwiał się.

Pomimo znacznego wzrostu ciężaru objętościowego nie uzyskano spodziewanego zwiększenia wytrzymałości elektrycznej, zmniejszyły się natomiast właściwości mechaniczne preszpanu.

Dodatek krótkich włókien celulozy słomowej zmniejszył jednorodność materiału, co spowodowało w zasadzie zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej, gdyż preszpan bezsłomowy o tym samym ciężarze objętościowym posiadałby wytrzymałość elektryczną znacznie wyższą.

Zasadniczą jednak wadą preszpanu słomowego było pogorszenie jego właściwości mechanicznych, a przede wszystkim zwiększenie łamliwości, spowodowane wprowadzeniem krótkich włókien.

W wyniku powyższych badań dodatek celulozy słomowej został wyeliminowany z preszpanów elektrotechnicznych przez odpowiednie zarządzenie PKPG i zakazie stosowania celulozy słomowej do produkcji preszpanów elektrotechnicznych.

J. B.

Zakład Trakcji Elektrycznej

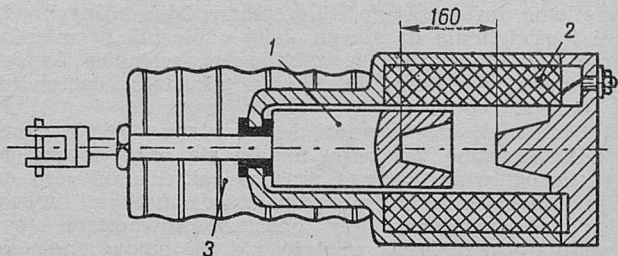
SOLENOIDY HAMULCOWE TRAMWAJOWE

Zniszczenia taboru tramwajowego (szczególnie w Warszawie) podczas ostatniej wojny były bardzo duże. Po zakończeniu działań wojennych przystąpiono niezwłocznie do remontu zniszczonych wagonów oraz w możliwie krótkim czasie do produkcji nowych wraz z kompletnym ich wyposażeniem. W związku z tym przystąpiono do opracowania nowych typów poszczególnych elementów wyposażenia. Między innymi Zakłady Wytwórcze Aparatury Niskiego Napięcia rozpoczęły produkcję elektromagnesów hamulcowych tramwajowych typu T-411, zwanych powszechnie solenoidami.

Przedwojenne solenoidy nie odpowiadały wzrastającym coraz bardziej wymaganiom eksploatacji ze względu na zbyt małą siłę pociagową. Przy wyborze i opracowywaniu nowego typu, Zakład Trakcji Elektrycznej brał czynny udział, przeprowadzając szereg badań laboratoryjnych.

Sprawa doboru odpowiedniego typu jest bardzo ważna z uwagi na to, że solenoid, biorąc czynny udział w hamowaniu pojazdu, ma duży wpływ na bezpieczeństwo ruchu tramwajów.

Solenoidy są umieszczone pod doczepnymi wagonami tramwajowymi i służą do ich hamowania. Na rys. 1 po-



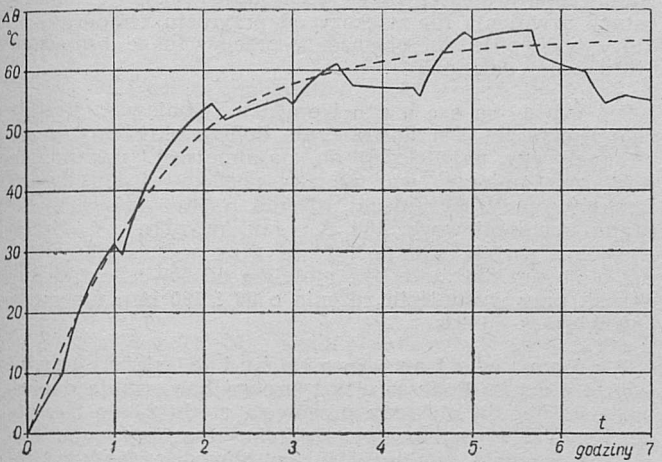
Rys. 1. Przekrój solenoidu hamulcowego tramwajowego

kazany jest przekrój solenoidu hamulcowego stosowanego w tramwajach. Podczas przepływu prądu przez uzwojenie solenoidu rdzeń jest wciągany i przez odpowiedni układ dźwignien powoduje docisk klocków hamulcowych do obrotów kół, lub do tarcz hamulcowych umieszczonych na osiach w przypadku hamulców tarczowych.

Ze względu na to, że docisk klocków hamulcowych zależy od wysunięcia rdzenia solenoidu, przy czym wysunięcie rdzenia z kolei zależy od stopnia zużycia klocków, pożądanym jest, ażeby siła pociagowa solenoidu w funkcji wysunięcia rdzenia nie zmieniała się w sposób

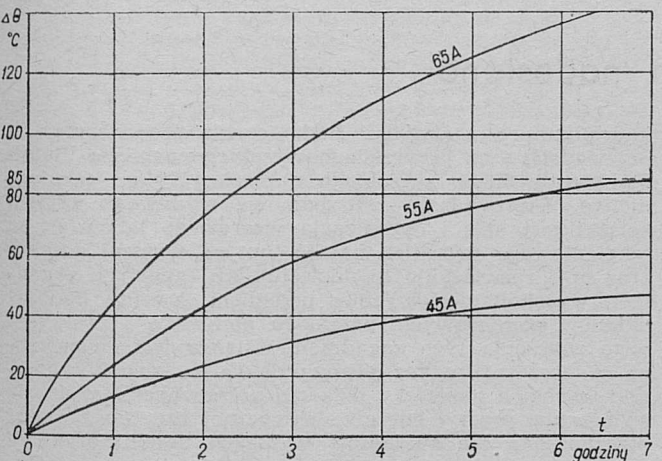
wyraźny w miarę zużywania się klocków. Ma to duży wpływ na skuteczność działania całego układu hamulcowego.

Badania hamulcowych solenoidów tramwajowych produkcji Krajowej zostały zlecone Zakładowi Trakcji Elektrycznej. Przeprowadzone badania obejmowały próby cieplne i mechaniczne.



Rys. 2. Krzywa nagrzewania się uzwojenia solenoidu w eksploatacji na jednej z linii tramwajowych w Warszawie

Próby cieplne wykonane w laboratorium wykazały, że solenoidy nagrzewają się nadmiernie zarówno podczas pracy ciągłej przy prądzie znamionowym 25 A, jak i podczas pracy przerywanej: 7 sek. — 65 A i 40 sek. — przerwa. Wartości dla pracy przerywanej podane zostały pierwotnie przez eksploatację, jako typowy cykl pracy hamulcowego solenoidu tramwajowego.



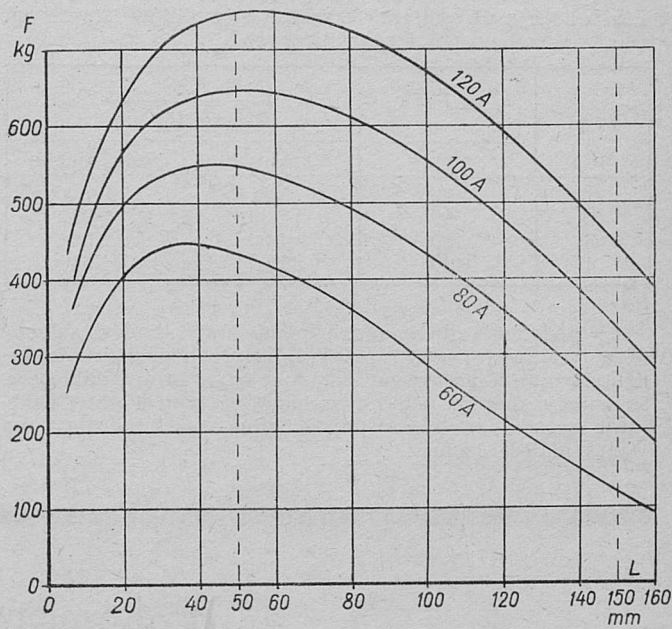
Rys. 3. Krzywe nagrzewania się uzwojenia solenoidu na stanowisku probierczym w laboratorium przy pracy przerywanej: 8 sek. pod prądem, 52 sek. bez prądu

Ponieważ w eksploatacji — oprócz kilku przypadków uszkodzeń spowodowanych niestarannym wykonaniem — solenoidy pracowały zupełnie dobrze nie wykazując nawet tendencji do nadmiernego nagrzewania się, powstało zagadnienie skorygowania podanych przez eksploatację wymagań dla próby pracy przerywanej. Wymagało to przeprowadzenia szeregu prób w eksploatacji oraz w laboratorium. Na rys. 2 pokazano krzywą nagrzewania się solenoidu w eksploatacji na jednej z linii tramwajowych w Warszawie.

W wyniku prób eksploatacyjnych obliczono dla każdego hamowania prąd zastępczy, a następnie średni czas pracy solenoidu na danej trasie. Jak się w rzeczywistości okazało, średni cykl pracy solenoidu dla tych warunków wynosi 16 sek. — 45 A i 104 sek. — przerwa. Ponieważ za ustaloną temperaturę przyjmuje się tę, której przyrost już nie przekracza 2°C na godzinę, oraz z uwagi na charakter krzywych nagrzewania i stygnię-

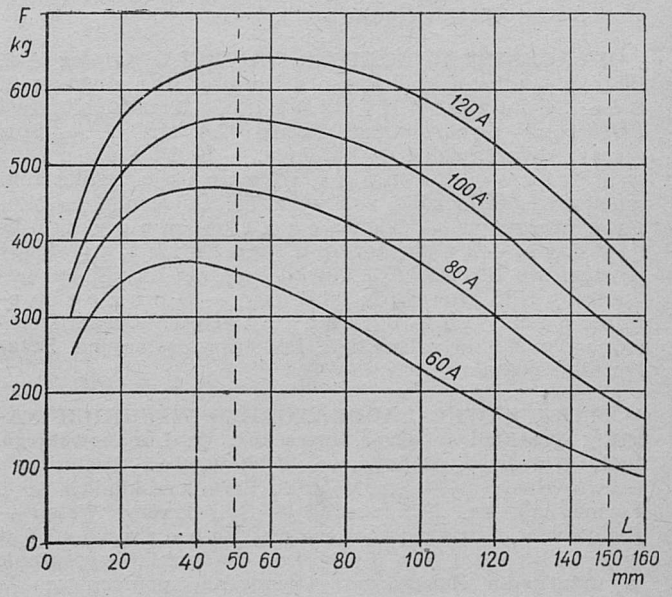
cia, można przyjąć inny zastępczy cykl pracy solenoidu równoważny pod względem wyników na stanowisku probierczym. Dla łatwiejszego przeprowadzenia prób, na podstawie badań laboratoryjnych ustalono dla solenoidu typu T-411 cykl 8 sek. obciążenia i 52 sek. bez prądu.

Dla obciążenia 45 A przy pracy przerywanej przyrost temperatury uzwojenia solenoidu jest znacznie mniejszy od wartości dopuszczalnej przez PNE-37/1950 i wynoszącej 85°C dla izolacji rodzaju A. Badania dokonane w eksploatacji nie dają gwarancji, że przeprowadzono je dla najcięższych warunków ruchowych, wobec czego należało ustalić pewien typowy cykl pracy o ostrzejszych wymaganiach, niż to wynika z przeprowadzonych pomiarów w ruchu. Na podstawie badań laboratoryjnych



Rys. 4. Charakterystyka solenoidu produkcji krajowej (zero na osi odpowiada rdzeniowi całkowicie wsuniętemu)

przyjęto 8 sek. — 55 A i 52 sek. — przerwa. Dla tych warunków przyrost temperatury uzwojenia solenoidu przypada poniżej wartości dopuszczalnej (rys. 3).



Rys. 5. Charakterystyka solenoidu produkcji zagranicznej

Jak widać z porównania wartości na próby przerywanego obciążenia solenoidu, wymagania podane poprzednio przez eksploatację były zbyt wygórowane.

W sprawie prób mechanicznych należy stwierdzić, że dały one dobre wyniki. Osiągnięto przebieg charakterystyki siły pociągowej w funkcji wysunięcia rdzenia dostatecznie „płaski”. Dla porównania podajemy charakterystyki solenoidu krajowej produkcji (rys. 4) oraz dobrego solenoidu produkcji światowej firmy zagranicznej (rys. 5).

Charakterystykę solenoidu ocenia się na podstawie stosunku siły największej, która występuje przy wysunięciu rdzenia o 40 — 60 mm, do siły najmniejszej, występującej przy całkowitym wysunięciu rdzenia tj. 150 mm dla tej samej wartości prądu. Tablica I wykazuje, że charakterystyka krajowych solenoidów nie ustępuje charakterystyce solenoidów zagranicznych.

Tablica I. Charakterystyka solenoidów krajowych i zagranicznych

L. p.	I amp.	$F_{\max}$ F przy 150 mm	
		krajowe	zagraniczne
1	60	3,71	3,7
2	80	2,39	2,77
3	100	1,96	2,02
4	120	1,69	1,64

Na podstawie dokonanych pomiarów i badań solenoidów tramwajowych typu T-411 opracowano w Zakładzie Trakcji Elektrycznej instrukcję na próby odbiorcze. Instrukcja dotyczy jedynie solenoidów typu T-411 i obejmuje zasadniczo trzy próby: cieplną, mechaniczną i na wytrzymałość izolacji.

Próba cieplna. Ponieważ próby cieplne zarówno obciążenia ciągłego, jak i przerywanego, wymagają czasu około 6 — 8 godzin, co jest zbyt uciążliwe przy próbach wyrobu i może być włączone tylko do zakresu prób typu, opracowano próbę zastępczą obciążenia prądem jednogodzinnym. Prąd ten (35 A) — przy przepływie w ciągu jednej godziny podczas próby na stanowisku probierczym — spowoduje przyrost temperatury uzwojenia nie większy od przyrostu temperatury, który występuje dla obciążenia przerywanego typowego cyklu pracy solenoidu.

Próba mechaniczna. Ponieważ kształt charakterystyki jest dostatecznie dobrze określony przez stosunek siły największej do najmniejszej, uznano, że wystarczy zmierzyć wartość siły pociągowej dla dwóch punktów: przy wysunięciu rdzenia o 50 i 150 mm dla prądu obciążeniowego 100 A. Jak wynika z potrzeb eksploatacyjnych, siła pociągowa przy wysunięciu rdzenia o 50 mm nie może być mniejsza od 550 kG, a stosunek sił przy wysunięciu rdzenia o 50 i 150 mm nie może być większy od 2,5.

Próba wytrzymałości elektrycznej i izolacji. Podczas elektrycznego hamowania oporowego występują niekiedy przebiegi rzędu 2- do 3-krotnego napięcia znamionowego silnika tramwajowego. Ponieważ solenoid znajduje się w obwodzie hamowania silnika, próba wytrzymałości elektrycznej izolacji solenoidu jest taka sama, jak i dla silnika. Solenoid należy badać napięciem probierczym $2U + 1500$ V w ciągu jednej minuty.

Zebrane podczas opracowywania zagadnienia materiały oraz opracowane dla solenoidu typu T-411 próby wyrobu będą stanowiły materiał do późniejszego opracowania ogólnych przepisów na solenoidy hamulcowe. W. S.

Wydawnictwa nadesłane

RAMOWY PLAN AKCJI ZMNIEJSZENIA STRAT ENERGII ELEKTRYCZNEJ W PRZEMYSŁE. 1950, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Centralny Zarząd Energetyki. Komisja Badania Strat. Wyd. II. Format A5, str. 15, rys. 1. — Spis rzeczy: Plan akcji zmniejszenia strat energii elektrycznej. Walka o zmniejszenie strat energii elektrycznej.

ODŁĄCZNIKI WYSOKIEGO NAPIĘCIA. Katalog A-2. 1951. Centrala Handlowa Przemysłu Elektrotechnicznego. Przedsiębiorstwo Państwowe Wyodrębnione. Format A4, str. 47. — Spis rzeczy: Uwagi ogólne do katalogu. — Odłączniki wewnętrzne i napowietrzne. Odłączniki wewnętrzne. Odłączniki napowietrzne. Odłączniki teleskopowe wewnętrzne. — Odłączniki mocy wewnętrzne. — Napędy odłączników. Napędy dźwigniowe N1, N2 i N3. Napęd linkowy NL. Napęd powietrzny NP3. Sterownik tablicowy. — Sprzęt pomocniczy do odłączników. Drażki izolacyjne. Drażki do uziemiania. Podstawy izolacyjne. Przełączniki sygnałowe.

MARX ERWIN. LABORATORIUM WYSOKICH NAPIĘĆ. Przekład w oprac. mgr inż. W. Limanowskiego. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Główny Instytut Elektrotechniki. Seria przekładów nr 4. Format A5, str. 292, rys. 79. — Spis rzeczy: Wstęp — Budowa i wyposażenie laboratoriów wysokiego napięcia. Budynki. Wyposażenie w urządzenia elektryczne. Urządzenia pomocnicze. — Wytczne zestawienia układów probierczych. Środki bezpieczeństwa. Podstawowa zasada postępowania przy wszelkich pracach wysokonapięciowych. — Ćwiczenia. Wybór tematu. Oznaczenia. Wytwarzanie, regulacja i pomiar wysokich napięć. Przeskoki w gazach. Badanie materia-

łów płynnych i stałych. Badania przeprowadzane na przewodach i na przyrządach wysokiego napięcia. Badanie prostowników wysokiego napięcia. Wykaz piśmiennictwa. Skorowidz. — Przedmowa wydawcy: Treścią książki jest opis i organizacja wzorowego laboratorium szkoleniowego wysokich napięć (np. na wyższej uczelni) oraz opis rozwiązania dwudziestukilku typowych zagadnień wysokonapięciowych z podaniem sposobu budowy układów pomiarowych, przebiegu pomiarów i praktycznego znaczenia tych zagadnień. Książka jest zaopatrzona w obszerny wykaz piśmiennictwa z dziedziny techniki wysokich napięć i z dziedzin pokrewnych, jak teoria wytwarzania, przesył energii elektrycznej itp. Książka jest przeznaczona dla studentów wyższych uczelni oraz dla inżynierów stykających się w praktyce z zagadnieniami wysokonapięciowymi.

RIABKOW A. prof. OBLICZANIE ELEKTROENERGETYCZNYCH UKŁADÓW PRZESYŁOWYCH. Tłum. z III wyd. dr inż. A. Myśliki. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Główny Instytut Elektrotechniki. Seria przekładów nr 3. Format A5, str. 282, rys. 105. — Spis rzeczy: Podstawowe parametry układu przesyłowego. Oporności i przewodności linii transformatorów. Obliczanie linii przesyłowych przez operowanie prądami. Obliczanie linii przesyłowych przez operowanie mocami. Regulacja napięcia w układach przesyłowych. Wykresy kołowe układu przesyłowego. Obliczenia techniczno-gospodarcze. — Przedmowa wydawcy: Tematem książki są podstawy obliczeń oraz praktyczne metody obliczenia linii przesyłowych wysokiego napięcia, zagadnienie regulacji napięcia wraz z określeniem mocy kompensatorów, wykresy pracy układów przesyłowych i analiza techniczno-gospodarcza obliczeń. Książka przeznaczona jest dla studentów wyższych szkół technicznych oraz dla inżynierów i techników zajmujących się w praktyce obliczeniami linii przesyłowych.

PRZEGLĄD BIBLIOGRAFICZNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI

Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 4

Warszawa, sierpień 1952 r.

Nr 8

Gwiazdkami, obok porządkowych liczb artykułów, oznaczone są publikacje znajdujące się w bibliotece Instytutu Elektrotechniki

Ogólne wiadomości z elektrotechniki

278* 621.3.015.13 D1 — 8.52

Kalinin E. W.: **Parametry dzielnika pojemnościowego**. „Paramietry jemkostnowo dieliteli”. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 8, sierp. 49, s. 45; A4, 4,5 str., 2 rys., 6 wyk., 5 poz. bibl. — Rodzaje dzielników pojemnościowych. Wpływ kabla doprowadzającego do oscylografu. Metoda obliczania dzielnika pojemnościowego. Krytyka dotychczas stosowanych metod obliczania.

279* 621.3.015.3 D1 — 8.52

Ter-Gazarjan G. N.: **Badanie doświadczalne przepięć ziemnozwarciowych**. „Eksperimentalnnoe issledowanie dinamiczeskich pierienaprazhenij”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 49, s. 60; A4, 2,5 str., 5 wyk., 1 tab., 6 poz. bibl. — Metoda badania doświadczalnego przepięć ziemnozwarciowych (pomiaru w sieci). Wyniki badań i ich analiza. Wnioski.

280* 621.3.015.33 D1 — 8.52

Chodorow T. J.: **Analiza przebiegów zmiennych przy od-twarzaniu jednorazowych zjawisk**. „Czastotnyje iskażen-ja pri wosproizwiedienji odnokratnych processow”. Elek-tricestwo, Moskwa, mies., nr 9, wrzes. 49, s. 30; A4, 2 str., 1 wyk. — Metoda analityczna rozwiązywania ogólnego równania napięć i prądów w obwodzie elektrycznym. Przybliżenia.

281* 621.3.061.31 D1 — 8.52

Bruk I. S., Markowicz I. M., Goruszkina W. I., Sowałow S. A.: **Samoczynny rozdział mocy czynnej w układzie elektroenergetycznym**. „Awtomatizieskoje raspridelenje aktiwnych nagruzok w elektroenergeticeskoj sistemie”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 9, wrzes. 49, s. 3; A4, 4 str., 3 rys., 1 poz. bibl. — Zagadnienie automatyzacji rozprawy mocy czynnej w układach elektroenergetycznych ZSRR. Opis urządzenia do samoczynnego rozdziału obciążeń opracowanego w ZSRR. Zasada działania. Regulacja częstotliwości.

282* 621.3.02.669 D1 — 8.52

Liwszic S. M.: **Zagadnienie rodzaju prądu i napięcia do mechanizmów i dźwigów w metalurgii**. „K woprosu o rodie toka i napriazhenia dla stacionarnych mehaniz-mow i kranow w metalurgiji”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 5, maj 48, s. 1; A4, 6,5 str., 2 tab., 13 poz. bibl. — Analiza wypowiedzi radzieckich inżynierów elektryków, zatrudnionych w przemyśle metalurgicznym, na temat rodzaju prądu do zasilania napędów urządzeń metalurgicznych. Względny techniczne i ekonomiczne przemawiają za stosowaniem przede wszystkim prądu trójfazowego; prąd stały należy stosować tylko do napędów urządzeń, w których konieczna jest regulacja szybkości w szerokich granicach. Zastosowanie zaleceń przy budowie nowych zakładów i przy rozbudowie starych; potwierdzenie zasady w praktyce przemysłowej ZSRR.

283* 621.3.025.3 D1 — 8.52

Gorbatow N. M.: **Obliczanie prądów i napięć przy zwarciu z jednoczesnym przerwaniem fazy**. „Raszczot tokow i napriazhenij pri korotkich zamykanjach s odswotriemien-nym obrywom fazy”. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 7, lip. 49, s. 58; A4, 2,5 str., 1 rys., 2 poz. bibl. — Metoda obliczania stanu linii przy zwarciu międzyfazowym z jednoczesnym przerwaniem fazy przy użyciu składowych symetrycznych.

284* 621.3.045/017.71 D1 — 8.52

Waszura B. F.: **O obliczaniu nagrzewania uzwojeń według obowiązujących przepisów**. „Ob opriedielenij pieriegriewa obmotok po dijestwujuszczemu standartu”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 8, sierp. 49, s. 85; A4, 2 str. — Uwagi dotyczące obliczania nagrzewania uzwojeń według GOST 2933—45. Wprowadzenie współczynni-

ka poprawkowego ze względu na niewłaściwie przyjętą wartość współczynnika cieplnego zmiany oporności. Uwagi L. M. Sznicaera do artykułu prof. Waszury.

285* 621.3.051.2 D1 — 8.52

Kalman W. S.: **Odwzorowanie sieci szyn**. „Modelirowan-je rielsowych sietiej”. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 8, sierp. 49, s. 63; A4, 2,5 str., 2 rys., 2 wyk., 5 poz. bibl. — Metoda badania rozprawy prądów w szynach trakcyjnych przy pomocy odwzorowania. Zastosowanie metody. Przykład obliczenia rozkładu potencjału w szynach tramwajowych miejskich.

286* 621.3.064 D1 — 8.52

Pfann W. G.: **Erozja styków wskutek tworzenia się mostków roztopionego metalu. Zapobieganie erozji**. „Bridge Erosion in Electrical Contacts and Its Prevention”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs., New York, t. 67, cz. II, 1948, s. 1528; A4, 5,5 str., 3 fot., 4 rys., 2 wyk., 3 tab., 4 poz. bibl. — Zjawisko specyficznej erozji styków w obwodach prądu stałego. Tworzenie się mostków roztopionego metalu pomiędzy stykami. Przenoszenie się materiału ze styku na styk. Badanie doświadczalne zjawiska. Wpływ materiału styków. Sposób zapobiegania erozji.

287* 621.3.077.2 D1 — 8.52

Woldiek A. I.: **Regulator indukcyjny z połączonymi uzwojeniami stojana i wirnika w trójkąt**. „Indukecjonnyj rieglulator s sojedineniem obmotok statora i rotora w ob-szczyj triegolnik”. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 7, lip. 49, s. 55; A4, 3 str., 1 rys., 3 wyk. — Opis regulatora indukcyjnego z uzwojeniami stojana i wirnika połączonymi we wspólny trójkąt. Teoria działania regulatora. Wykres pracy regulatora.

288* 621.3.072.2:621.3.071.1 D1 — 8.52

Miasnikow I. N., Poszerstnik M. J.: **Wybór samoczynnego węglowego regulatora napięcia**. „Wybór awtomatiziesko-wo uogolnowo rieglatora napriazhenia”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 9, wrzes. 48, s. 13; A4, 1,3 str., 1 rys. — Wybór regulatora napięcia z produkowanych w ZSRR regulatorów węglowych do prądnic prądu stałego i prądnic synchronicznych. Obliczanie oporu maksymalnego i minimalnego regulatora i jego mocy. Moc maksymalna regulatora.

289* 621.3.072.2:621.3.077.8 D1 — 8.52

Bajachczew M. S.: **Regulacja napięcia przy zastosowaniu szeregowo włączonych kondensatorów**. „Riegluirowanie napriazhenia posledowatielno wkluczonnymi kondensato-rami”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 9, wrzes. 49, s. 78; A4, 1 str., 3 poz. bibl. — Opis zastosowanej w linii 66 kV kompensacji przy użyciu kondensatorów szeregowych 500 A 14 omów. (Kompensacja indukcyjności linii i znacznej części obciążenia). Bateria kondensatorów. Wyniki pracy układu.

290* 621.3.077.2/3 D1 — 8.52

Mejerow M. W.: **Badanie układu regulacyjnego i sterowania silnika walcowniczego z regulatorami maszynowymi**. „Issledowanie sistemy riegluirowanija i uprawle-nija dźwigatiela rewersiwnno prokatnowo stana s elektromaszinnymi riegluatorami”. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 7, lip. 49, s. 16; A4, 9 str., 3 rys., 6 wyk., 4 poz. bibl. — Zastosowanie układów elektrycznych maszynowych do regulacji. Wymagania techniczne dla układu regulacyjnego silnika walcowniczego. Schemat układu sterowniczego i regulacyjnego. Porównanie teorii z wynikami doświadczalnymi.

291* 621.3.077.2/3 D1 — 8.52

Ettingier J. Ł.: **Obliczenia statyczne dokładności regulacji napędów elektrycznych ze wzmacniaczami elektromechanicznymi**. „Staticzeskije raszczoty tocznosti riegluirowan-ja elektropriwodow s elektromiechaniceskimi usilitiela-

mi". Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., Nr 6, czerw. 48, s. 13; A4, 6 str., 14 rys., 2 wyk., 1 poz. bibl. — Założenia upraszczające. Podstawowe człony maszynowe układu regulacyjnego: człony złożone z maszyny prądu stałego z jednym uzwojeniem wzbudzącym i człony o dwóch uzwojeniach wzbudzących. Połączenia kaskadowe członów. Człony z oporami dodatkowymi i potencjometrami. Dokładność regulacji napięcia i jej związek ze współczynnikiem wzmocnienia układu. Rodzaje regulacji napędu. Wpływ temperatury i wpływ zmiany napięcia porównawczego na dokładność regulacji napędu.

Cewki gaszące

- 292* 621.316.935.3 D1 — 8.52
Salzmann A.: **Dostrajanie cewek gaszących („Petersena“)**. „Tuning arc suppression coils.“ Electr. Rev., London, tyg., t. 148, Nr 3830, 20 kw. 51, s. 779; A5, 4,5 str., 4 rys., 3 poz. bibl. — Zastosowanie cewek gaszących. Analiza pracy cewki gaszącej w przypadku zwarć doziemnych. Wady dostrajania cewek gaszących do rezonansu. Metoda właściwego dostrajania cewek gaszących.

Uziemienia

- 293* 621.316.99 D1 — 8.52
Wettstein M.: **Wstępne obliczenie wielkości, kształtu i usytuowanie uziołów przy instalowaniu urządzeń uziemających**. „Vorausberechnung der Masse, der Form und der Anordnung der Erdelektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen“. Bull. Schwei. El. Ver., Zürich, 2-tyg., Nr 2, 27 stycz. 51, s. 49; A4, 15 str., 22 wyk., 2 tabl., 1 poz. bibl. — Uproszczona metoda obliczania wielkości, kształtu i usytuowania uziołów uwzględniająca zmiany oporności ziemi w czasie, oraz maksymalny dopuszczalny przyrost temperatury ziemi przy przepływie prądu.

- 294* 621.316.99 D1 — 8.52
Ratnier M. P.: **Przyczynek do metody obliczania uziemienia roboczego w sieciach o napięciu do 1000 V**. „K metodikie rasczota eksploatacionnowo zaziemlenja w sieciach napriazhenjem do 1000 V“. Promysl. Energ., mies., Moskwa, Nr 3, marz. 51, s. 12; A4, 2 str., 1 rys. — Przepisy radzieckie na uziemienia robocze urządzeń niskiego napięcia a praktyka ich wykonania. Zależność dopuszczalnej wartości oporności uziemienia od oporności właściwej gruntu. Właściwy stosunek oporności uziemienia do oporności obwodu ziemnozwarciowego jako kryterium bezpieczeństwa. Metoda obliczania i budowy uziemień roboczych urządzeń niskiego napięcia.

- 295* 621.316.90 D1 — 8.52
Tier-Oganiesjan I. M.: **Metoda badania zerowania urządzeń energoelektrycznych bez odłączania od sieci**. „Mietod ispytania zanulajuszczich ustrojstw elektrosilowowo oborudowanja bez otkluczenja ot sieti.“ Promysl. Energ., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 51, s. 7; A4, 4,5 str., 4 rys., 10 poz. bibl. — Wymagania stawiane uziemieniom ochronnym urządzeń niskiego napięcia przez przepisy radzieckie. Powszechnie stosowane metody pomiaru oporności pętli: przewód fazowy — szyna uziemniająca, przy i bez odłączania od sieci i ich wady. Teoretyczne podstawy nowego sposobu pomiaru oporności pętli opracowanego przez autora. Błędy pomiarów. Porównanie nowego i starego sposobu pomiaru bez odłączenia urządzenia od sieci.

- 296* 621.316.99 D1 — 8.52
Zejlidzon E. D.: **Nowe warunki doboru czułości zabezpieczenia ziemnozwarciowego prądu**. „Nowyje usłowja wybora czuwstwitielnosti zaszczyty ot zamykanij na ziemiul gienieratorow“, Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 2, luty 51, s. 36; A4, 1 str. — Nowe wymagania stawiane zabezpieczeniem ziemnozwarciowym prądnic, jako przyczynek do powtórnego przeglądu warunków doboru czułości zabezpieczenia. Wytyczne stosowania tego zabezpieczenia.

Miernictwo elektryczne

- 297* 621.317.18.011 D1 — 8.52
Stubbings C. W.: **Wykrywanie kolejności faz metodą Varley'a**. „Varley phase sequence test“. Elestr. Rev., Lon-

don, tyg., t. 148, Nr 3819, 2 luty 51, s. 225; A5, 2 str., 3 rys. — Podstawy teoretyczne metody Varley'a służącej do wykrywania kolejności faz układu trójfazowego. Wyznaczenie parametrów określających najkorzystniejsze warunki pracy układu probierczego.

- 298* 621.317.333.621.315.615.2:621.14.212 D1 — 8.52
Kułakowski W. B.: **Zastosowanie przyrządu do kontroli zawilgocenia izolacji transformatorów**. „Primienienie pribora dla kontrola wlažnosti izolacii transformatorow“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 51, s. 40; A4, 4 str., 2 rys., 2 wyk., 2 tabl. 4 poz. bibl. — Przyrząd do kontroli zawilgocenia izolacji na podstawie porównywania pojemności przy różnych częstotliwościach. Badanie zawilgocenia izolacji transformatorów. Wpływ temperatury, oporności izolacji i nasycenia olejem na wyniki pomiarów zawilgocenia. Wskazania przyrządu a zewnętrzne pola elektryczne.

- 299* 621.317.7:621.3.017.22:669.1—41 D1 — 8.52
Koppelman F.: **Miernik strątności. Pomiar strątności całych arkuszy blach silnikowych lub transformatorów**. „Der Vektormesser. Messung der Verlustziffer ganzer Dynamo- oder Transformatorenblechtafeln“. E. und M., Wien, dwu-tyg., Nr 9, maj 51, s. 225; A4, 5 str. 1 fot., 4 rys., 2 wyk. — Opis przyrządu do pomiaru strątności całych arkuszy blach, pozwalającego w prosty sposób wyznaczyć straty histerezy w W/kg z dokładnością do 1%.

Trakcja elektryczna

- 300* 621.332.33 D1 — 8.52
Kraus H.: **O izolatorach sieci jezdnej i przesyłowej Związku Kolei Austriackich**. „Über die Isolatoren der Fahr- und Übertragungsleistungen der Österreichischen Bundesbahnen“. E. und M., Wien, 2-tyg., Nr 9, 1 maj 51, s. 230; A4, 4,2 str., 7 rys., 2 tab., 4 poz. bibl. — Omówienie typów izolatorów stosowanych w trakcji elektrycznej przez koleje austriackie. Własności mechaniczne i elektryczne izolatorów.

- 301* 621.317.714.014.3 D1 — 8.52
Gusiew W. W.: **Ferromagnetyczne mierniki amplitudy prądów zwarciovych**. „Ferromagnitnyje izmiritieli amplitud tokow korotkowo zamykanja“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 51, s. 60; A4, 1 str., 3 rys., 1 wyk., 1 poz. bibl. — Pomiar amplitudy prądu zwarciovego na podstawie wartości magnetyzmu szczątkowego w rdzeniu cewki, przez którą przepływa wyprostowany prąd zwarciovych. Dobór części składowych układu. Dokładność metody i jej zalety. Pomiar przy pomocy miernika ferromagnetycznego a pomiar oscylografem.

Napęd elektryczny

- 302* 621.34:621.313.13.631.361 D1 — 8.52
Scheven O.: **Silnik do napędu młockarni. Badanie pracy różnych typów silników**. „Der Dreschmotor. Untersuchung über das Verhalten der verschiedenen Motorenbauarten“. Elektrizitätswirtschaft, mies., Göttingen, Nr 2, luty 51, s. 36; A4, str. 7, 1 rys., 4 wyk., 2 tabl. — Problem wyboru silnika o obrotach nie zależnych od zmian obciążenia. Przyczyny i skutki stosowania silników o zbyt dużej mocy. Zastosowanie silników klatkowych z urządzeniami ułatwiającymi rozruch. Omówienie pomiarów, przeprowadzonych na różnych typach silników, napędzających młockarnie.

Rozrząd zdalny

- 303* 621.398.2(73) D1 — 8.52
Minder P.: **Urządzenia do samoczynnego sterowania w sieci przy użyciu częstotliwości akustycznej w U.S.A.** „Tonfrequenz-Netzkommandoanlagen in den U.S.A.“, Bull. Schweiz. El. Ver., Zürich, 2-tyg., Nr 25, 9 grud. 50, s. 914; A4, 3,5 str., 2 fot. — Systemy automatycznego sterowania w sieci stosowane w U.S.A.: zasada sterowania przy użyciu częstotliwości akustycznej, krótki opis systemu G.E.C. i L.M.C. Zastosowanie: oświetlenie uliczne, silniki do pomp.

Niniejszy Przegląd Bibliograficzny zawiera jedynie część analiz dokumentacyjnych publikacji z zakresu elektrotechniki. Pełna dokumentacja ukazuje się w postaci kart dokumentacyjnych, wydawanych przez Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej (Warszawa, Al. Niepodległości 188). CIDNT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne. Cena karty dokumentacyjnej wynosi w prenumeracie 10 groszy.

CIDNT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych przeglądem bibliograficznym, jak i kartami dokumentacyjnymi.

Kandydatury na członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich

W myśl § 12 Statutu SEP ogłasza się następującą listę kandydatów na członków zwyczajnych Stowarzyszenia:

ODDZIAŁ BYDGOSKI

Czerniak Wiktor, Grudziądz, Kościuszki 6
Czubczenko Leon, Bydgoszcz, Al. 1 Maja 220
Gajewski Zygfryd, (T), Toruń, Kościuszki 16
Przeczewski Roman, Świecie, Mickiewicza 10
Sek Stefan, Grudziądz, Groblowa 13
Sinoracki Józef, Toruń, Polski Czerwony Krzyż 26
Stebart Józef, Grudziądz, Stroma 8

ODDZIAŁ GDAŃSKI

Biskupski Jerzy, Wrzeszcz, Sobótki 21a m. 1
Bitel Henryk, Gdańsk, Kopernika 1
Brygoła Bolesław, Kwidzyń, Konopnickiej 10
Butkiewicz Władysław, Siedlice, Zakopiańska 59 m. 7
Goliński Bogdan, Orunia, Zawiejska 3 m. 4
Jurkowski Zygmunt, Sopot, 1 Maja 22
Kiejziewicz Antoni, Wrzeszcz, Pełtalożskiego 34/2
Kotakowski Wacław, Gdynia, Śląska 51/8
Kranc Franciszek, Kwidzyń, Braterstwa Narodów 3/4
Krzyżański Ryszard, Gdynia, Bema 7/11
Nowakowski Władysław, Orłowo, Dworcowa 108
Olaszkiewicz Stanisław, Wrzeszcz, Grunwaldzka 131b m. 2
Paczkowski Leon, Kwidzyń, Łąkowa 5
Piech Edward, Orunia, Głucha 2 m. 1
Piłaszewski Zygmunt, Wrzeszcz, Jaśkowa Dolina 8
Polański Józef, Gdynia, Czerwonych Kosynierów 106/14
Radziszewski Juliusz, Kwidzyń, Wiśłana 12
Sawicki Jerzy, Gdańsk, Grobta 42
Stojek Marian, Sopot, 1 Maja 22
Styżek Stanisław, Siedlice, Malczewskiego 39/1
Sztajer Bolesław, Sopot, Bitwy pod Płowcami 24/2
Wasilewski Eugeniusz, Wrzeszcz, Grunwaldzka 6 m. 3
Wasinowski Alfred, Siedlice, Wesoła 6 m. 8
Wenta Brunon, Oliwa, Cysternów 3
Zabiegała Eugeniusz, Wrzeszcz, Kościuszki 98 m. 1
Zegarek Marian, Wrzeszcz, Jaśkowa Dolina 8

ODDZIAŁ LUBELSKI

Banach Mieczysław, Lublin, św. Mikołaja 17/23
Buczek Julian, Lublin, Grodzka 7 m. 15
Dobrosielski Bohdan, Lublin, Staszycza 16
Drzymulski Eugeniusz, Lublin, Morsztynów 12 m. 2b
Drzymulski Kazimierz, Lublin, Morsztynów 12 m. 2b
Dziuganowski Bogusław, Lublin, 3 Maja 2
Gilarowski Zdzisław, Lublin, Wincenego Pola 6 m. 3
Goldstein Józef, Lublin, 1 Maja 19 m. 10
Gorajski Zygmunt, Lublin, Przemysłowa 6 m. 5
Krukowski Jerzy, Lublin, Długa 36 m. 4
Kurzeja Jerzy, (T) Lublin, Stalingradzka 8
Mazurek Stanisław, Lublin, Bernardyńska 13 m. 19
Nowakowski Zygmunt, Lublin, Rusałka 6E m. 1
Olszewski Tadeusz, Lublin, 1 Maja 23 m. 19

Paplińska Barbara, Lublin, Weteranów 36 m. 3
Przeddziecki Janusz, Lublin, Kunickiego 43 m. 8
Rosiński Stanisław, Lublin, Czwartek 38
Szczęśniak Czesław, Lublin, Sierakowczyzna 4a
Szewc Jerzy, Lublin, Bucza 25 m. 4
Szpora Zygmunt, Biała Podlaska, pl. Wolności 21 m. 3
Szydło Jan, Lublin
Świątkowski Artur, Lublin, Żelazna 32a
Winiarski Mieczysław, Lublin, Szewska 3
Wolniewicz Marian, Lublin, Kalinowczyzna 40 m. 1
Wrona Bolesław, (T), Zamość, Urząd Telef. i Teleg.
Zborowski Kazimierz, Lublin, Okopowa 16 m. 17
Ziutek Kazimierz, (T), Puławy, Słowackiego 8
Żydek Bolesław, Lublin, Kunickiego 42/11

ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Bawolski Edward, Łódź, Klonowa 17 m. 6
Błażewicz Marian, Łowicz, Żymierskiego 23
Dąbrowski Tadeusz, Łódź, Towarowa 10
Dominiak Zbigniew, Łódź, Naruszewicza 17 m. 1
Głogoz Ryszard, Łódź, Południowa 76 m. 10
Jędrachowicz Tadeusz, Łódź, Zgierska 116
Kalisz Stefan, Łódź, Piotrkowska 207 m. 1
Kazimierzczak Stanisław, Łódź, Młynarska 77
Kędziński Ludwik, Łódź, Podrzeczna 16 m. 4
Kozłowski Ryszard, Łódź, Żwawa 10 m. 1
Krupiński Bolesław, Zgierz, Okrzei 1
Michalski Tadeusz, Łódź, Brzostkowiowa 36
Mikołajczyk Tadeusz, Łódź, Wólczańska 144 m. 41
Niedzielski Zdzisław, Łódź, Abramowskiego 30 m. 15
Opacki Bronisław, Łódź, Wiechowskiego 52 m. 1a
Ornowski Jerzy, Łódź, Piotrkowska 167 m. 3
Pinek Marian, Łódź, Zarzewska 11
Pohl Stanisław, Łódź, Obrońców Stalingradu 51 m. 6
Sobela Zdzisław, Łódź, Narutowicza 50 m. 32
Sylwestrzak Jerzy, Łódź, Świerczewskiego 46
Winnicki Adam, Łódź, Sienkiewicza 28 m. 9
Zdrzałik Jan, Łódź, Południowa 20 m. 55

ODDZIAŁ POZNAŃSKI

Kamyszek Jerzy, Poznań, Hetmańska 25 m. 7
Marszałek Henryk, Poznań, Pałacza 3
Mrowiński Tadeusz, Września, Rzeczna 5
Pocztowy Zygmunt, Poznań, Wiśniowa 41

ODDZIAŁ ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Lewortowski Józef, Bielsko-Biała, Lenartowicza 9
Miodoński Tadeusz, Bielsko, Mickiewicza 2 m. 6
Pryka Bolesław, Letnisko Żarki
Przybyło Tadeusz, Bielsko, Gen. Stalina 6/5
Wieniewski Kazimierz, Katowice, pl. Wolności 3

Treść nr 5 Przeglądu Technicznego 1952 r.

1 Maja 1952. — Porębski J. O dalszy wzrost wydajności pracy. — Klingofer H. Biblioteki fachowe i techniczne. — Majewski Z. Dokumentacja naukowa. — S. S. Uwagi na temat dyskusji nad projektami statutów NOT i stowarzyszeń. — Gajewski D. Działalność radzieckich stowarzyszeń naukowo-technicznych na przełomie 51—52 r. — Kłębowski Z. O nowej uogólnionej teorii wytrzymałości N. N. Dawidienkowa i J. B.

Fridmana. — Wittels A. O budowie uniwersytetu moskiewskiego.

Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Wśród książek i wydawnictw. — Kronika. — Biuletyn Centralnego Instytutu Dokumentacji Naukowo-Technicznej. — Przegląd Bibliograficzny Zagadnień Dokumentacji. — Przegląd Bibliograficzny Metrologii.

Treść nr 6 Przeglądu Technicznego 1952 r.

O świadomą postawę kadr inżyniersko-technicznych na obecnym etapie realizacji Planu 6-letniego. — Janczewski H. Budowa wspaniałego daru przyjaźni — Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie. — Wakalski M. Planowanie procesów technologicznych. — Ney W. Nowoczesne tendencje w budownictwie elektrycznym. — Mi-

chalski F. Produkcja płyt pilśniowych. — Kryszak S. Pompy śrubowe.

Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Wśród książek i wydawnictw. — Kronika. — Biuletyn Centralnego Instytutu Dokumentacji Naukowo-Technicznej. — Biuletyn Głównego Urzędu Miar.

PRACE INSTYTUTÓW NAUKOWO-BADAWCZYCH wydawane przez Państwowe Wydawnictwa Techniczne

W obrocie księgarskim „Domu Książki” znajdują się „Prace” następujących instytutów:

Centralnego Instytutu Ochrony Pracy
Głównego Instytutu Górnictwa
Głównego Instytutu Lotnictwa
Głównego Instytutu Pracy
Głównego Urzędu Miar
Instytutu Architektury i Urbanistyki
Instytutu Budownictwa Mieszkaniowego
Instytutu Celulozowo-Papierniczego
Instytutów Chemii Przemysłowej
Instytutu Elektrotechniki
Instytutów Mechanicznych
Instytutu Metalurgii
Instytutu Naftowego
Instytutu Odlewnictwa
Instytutu Organizacji i Mechanizacji Budownictwa
Instytutu Przemysłu Rolnego i Spożywczego
Instytutu Przemysłu Skórzanego
Instytutu Techniki Budowlanej
Instytutu Torfowego
Instytutu Włókiennictwa
Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji

W celu zapewnienia zainteresowanym systematycznej dostawy kolejnych zeszytów „Prac Instytutów Naukowo-Badawczych” Księgarnia Techniczna „Domu Książki” w Warszawie, ul. Bracka 20, wprowadziła z dniem 1 kwietnia 1952 r. system abonamentowy dostawy (sprzedaż wiazaną) wyżej wymienionych wydawnictw. Zakłady pracy, instytucje i osoby prywatne, które pragną otrzy-

mywać „Prace INB”, powinny przesłać zamówienie na dostawę tych wydawnictw do wyżej wymienionej księgarni „Domu Książki”. W zamówieniu należy podać:

- a) dokładny adres zamawiającego,
- b) pełną nazwę instytutów, których „Prace” mają być dostarczane,
- c) liczbę egzemplarzy zamawianych „Prac”, oddzielnie dla każdego instytutu.

Przesłane zamówienie zobowiązuje do odbioru i opłacania wszystkich zeszytów, wychodzących w ramach planu wydawniczego danego instytutu na rok 1952.

Na podstawie zamówień księgarnia „Domu Książki” będzie wysyłać zamawiającemu kolejne zeszyty „Prac INB” z roku 1952. Przesyłka następuje w miarę ukazywania się poszczególnych zeszytów za zaliczeniem pocztowym z doliczeniem kosztów przesyłki.

Księgarnia będzie dostarczać również na zamówienie poszczególne zeszyty „Prac INB” z roku 1951 w miarę posiadania ich na składzie. Niezależnie od rozprowadzania „Prac INB” systemem abonamentowym są one do nabycia w wolnej sprzedaży w następujących księgarniach „Domu Książki”:

Gdańsk-Wrzeszcz, ul. Grunwaldzka 8	Rzeszów, ul. 3 Maja 2
Gliwice, ul. Zwycięstwa 31	Szczecin, ul. Sikorskiego 7
Katowice, ul. Młyńska 2	Warszawa, ul. Bracka 20
Kraków, Rynek 36	Warszawa, ul. Poznańska 12
Łódź, ul. Piotrkowska 45	Warszawa, ul. Wilcza 27
Poznań, ul. Paderewskiego 6	Wrocław, Rynek 14

DOM KSIĄŻKI

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

KOLPORTAŻ ZAKŁADOWY KSIĄŻEK TECHNICZNYCH

(ważne dla zakładów przemysłowych, urzędów, instytutów, biur projektowych, uczelni technicznych)

Zwracamy uwagę na możliwość zaopatrywania bibliotek naukowo-technicznych oraz całego personelu w książki techniczne przez wprowadzenie na terenie Zakładu kolportażu zakładowego, który zapewni stałą i sprawną dostawę książki technicznej.

Główne zasady kolportażu zakładowego:

- 1) wybrany przez Radę Miejscową kandydat na kolportera zgłasza się do najbliższej księgarni „Domu Książki”, gdzie składa opinię Rady Miejscowej o sobie, zawiera umowę kolporterską i uzyskuje bliższe informacje;
- 2) kolporter zakładowy pobiera z księgarni książki o wartości łącznej do 1000 zł, sprzedaje je na terenie swego zakładu pracy oraz rozlicza się raz w miesiącu z księgarnią; za swoją pracę kolporter otrzymuje 10% prowizji od ogólnego obrotu.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE