

A 127111

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN

MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

ROK XXXI

ZESZYT 12

21.XII.1955

Po to, by zwiększyć zakres rzeczowy inwestycji przez potanie kosztów budownictwa, skrócić cyki budownictwa, znacznie rozszerzyć stosowanie projektów typowych, zmniejszyć zużycie materiałów budowlanych i znacznie lepiej wykorzystać posiadane maszyny, urządzenia i sprzęt—niezbędne jest za przykładem Związku Radzieckiego i w oparciu o wyniki ostatnich wielkich narad budowlanych ZSRR przystąpienie do wielkiej kampanii o potanie i usprawnienie budownictwa.

Przestrzeganie żelaznej dyscypliny w wydatkowaniu środków na inwestycje ma na celu utrzymanie założonego w planie podziału dochodu narodowego na środki przeznaczone dla zaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych społeczeństwa i środki przeznaczone na akumulację, tj. dla zapewnienia dalszego rozwoju produkcji społecznej.

B. BIERUT



PRZEGŁĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rok XXXI, z. 12
21 grudnia 1955 r.

XXXI-й год, вып. 12
21 декабря 1955 г.

Vol. XXXI, No 12
December 21, 1955

SPIS RZECZY

- Lebson S. Jednolita metoda wypro-
wadzania momentu napędowego
ustrojów pomiarowych mierników
elektrycznych.
- Preminger J. O wyborze elektrowni
przewodzących w układach elek-
troenergetycznych.
- Michałowski S. Rola i znaczenie
energii wodnej w energetyce pol-
skiej.
- Kruszyński M. Modernizacja pro-
dukcji wyrobów tłoczonych przez
zastosowanie podgrzewania styko-
wo-promiennikowego.
- Pomykański Z. Metody suszenia
transformatorów i pomiary spraw-
dzające.
- Berson L. Nowe metody obiektyw-
nych pomiarów kolorów.
- Nasiłowski J. Uwagi o konstrukcji
i zastosowaniach wyłączników
szybkich prądu stałego.
- Kanclerz J. Stacja transformatorowo-
rozdzielcza na 110/30 kV, 31,5 MVA
(Międzynarod. Targi Poznańskie).
- Wydawnictwa nadesłane.
Przegląd Dokumentacyjny Elektro-
techniki.

СОДЕРЖАНИЕ

- Левсон С. Однообразный метод
расчета вращающего момента из-
мерительных механизмов в элек-
троизмерительных приборах.
- Премингер Ю. Выбор ведущих
электростанций в энергосисте-
мах.
- Михаловский С. Роль и значение
гидроэнергии в польской энерге-
тике.
- Крушинский М. Модернизация
производства изделий из термо-
реактивных материалов путем
применения лучисто-контактного
подогрева.
- Помыкальский З. Методы сушки
трансформаторов и контрольные
измерения.
- Берсон Л. Новейшие методы объ-
ективного измерения цветов.
- Канцлех Я. Трансформаторно-рас-
пределительная станция 110/30
кВ, 31,5 тыс. кВт (Междунар.
Ярмарка в Познани).
- Канцлех Я. Трансформаторно-
распределительная станция
110/30 кВ, 31,5 тыс. кВт (Между-
народная Ярмарка в Познани).
- Поступившие публикации.
Библиографический обзор электро-
техники.

CONTENTS

- Lebson S. A. Uniform Method of
Calculation of the Drive Moment of
Measurement Systems of Electrical
Measuring Instruments.
- Preminger J. On the Choice of Gui-
ding Power Plants in Electric Po-
wer Systems.
- Michalowski S. The Role and Signi-
ficance of Water Power in Polish
Power Engineering.
- Kruszyński M. The Modernisation of
Production of Plastics Manufactu-
res by the Application of Con-
tact-Radiation Heating.
- Pomykański Z. Methods of Drying
Transformers and Controlling Mea-
surements.
- Berson L. Recent Methods of Objec-
tive Colorimetry.
- Nasiłowski J. Remarks on the Con-
struction and Application of Rap-
pid D. C. Circuit-Breakers.
- Kanclerz J. A. 110/30 kV, 31,5 MVA
Transformer - Distribution Station
(International Fair in Poznań).
- Publications Received.
Electrical Bibliographic Review.

Warunki prenumeraty PRZEGŁĄDU ELEKTROTECHNICZNEGO na 1956 r.

I. Prenumerata normalna

Prenumerata normalna wynosi: roczna 108 zł, półroczna 54 zł, kwartalna 27 zł.

Zgłoszenia na prenumeratę normalną przyjmują wyłącznie urzędy pocztowe oraz listonosze miejscy i wiejscy w tym rejonie do-
zeń, gdzie zamieszkuje prenumerator.

Termin zgłaszania prenumeraty normalnej na okres roczny, roczny lub kwartalny upływa z dniem 10 każdego miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty.

II. Prenumerata ulgowa

Prenumerata ulgowa wynosi: roczna 54 zł, półroczna 27 zł, kwartalna 13,50 zł.

Prenumeraty ulgowej mogą korzystać w 1955 r. jedynie członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w NOT z członkowie klubów techniki i racjonalizacji przy zamawianiu zbiorowym przez koła zakładowe. Członkowie stowarzyszeń nie

zrzeszeni w kołach zakładowych korzystają z prenumeraty ulgowej przy zamawianiu zbiorowym przez oddziały stowarzyszeń.

Prenumeratę można zgłaszać na okres kwartalny, półroczny i roczny.

Koła zakładowe i oddziały stowarzyszeń przekazują zamówienia zbiorowe w podanych niżej terminach wraz z należnością pod adresem: „Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, Warszawa, ul. Srebrna 12, konto: PKO 1-6-100.020.

Terminy zgłaszania prenumeraty ulgowej w kołach zakładowych i oddziałach stowarzyszeń:

- „ I kwartał 1956 r. — do 30 listopada 1955 r.
- „ II „ „ — do 28 lutego 1956 r.
- „ III „ „ — do 31 maja 1956 r.
- na IV kwartał 1956 r. — do 31 sierpnia 1956 r.

Terminy powyższe powinny być ściśle przestrzegane.

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki — Wydawca: Naczelna Organizacja Techniczna. — Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego 3/5, tel. 674-61, wewn. 18.

Nakład 7.000. Ark. druk. 6. Papier. ilustr. kl. V, 70 g, 86 × 122/16. Oddano do skład. 25.X.55. Podpis. do druku 6.XII.55. Druk ukończ. 13.XII.55. Drukarnia im. Rewolucji Październikowej, Warszawa. Zam. 1428c/55. B-6-14065

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN

MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki. — Redaktorzy działów inżynierowie: Stanisław Andrzejewski, Janusz Gniewiewski,
Leszek Zienkowski, Tadeusz Żarnecki

Rok XXXI

Warszawa, 21 grudnia 1955 r.

Zeszyt 12

STEFAN LEBSON

Jednolita metoda wyprowadzania momentu napędowego ustrojów pomiarowych mierników elektrycznych

621.317.08:621.3.082.7

Treść. W literaturze technicznej brak jest jednolitej metody wyprowadzania wzorów na moment napędowy ustrojów pomiarowych. Wzory te wyprowadza się na podstawie różnych praw fizycznych w zależności od zasady działania ustroju. Autor proponuje stosowanie metody jednolitej, która, jak się wydaje, jest jednocześnie najprostsza w większości przypadków. Metoda polega na zestawieniu bilansu energii dostarczonej do ustroju przez obwód elektryczny, do którego ustrój jest dołączony, oraz energii zużytej przez ten ustrój.

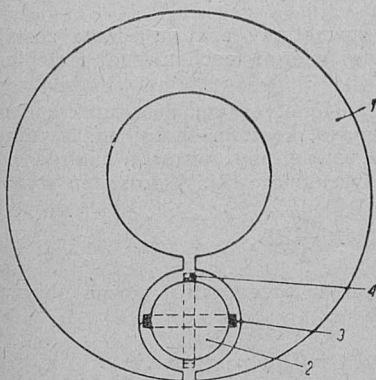
Однообразный метод расчета вращающего момента измерительных механизмов в электроизмерительных приборах. В технической литературе нет доныне такого метода. Формулы выводятся на основании различных физических законов в зависимости от принципа действия прибора. Автор предлагает однообразный метод, который, как кажется, является наиболее простым в большинстве случаев. Метод основан на подсчете баланса энергии подводимой к системе из электрической цепи, в которую система включена, и энергии использованной в системе.

A Uniform Calculation Method of the Drive Moment of Measurement Systems of Electrical Measuring Instruments. There is a lack in technical literature, of a uniform method for calculating the drive moment formulas of measuring systems. These formulas are derived from various physical laws according to the principle of action of the system. The author suggests the application of a uniform method which appears to be the simplest in the majority of cases. It consists in establishing the balance of the energy supplied to the system by the electric circuit to which the system is connected, and the energy consumed by this system.

W literaturze technicznej brak jest jednolitej metody wyprowadzania wzorów na moment napędowy ustrojów pomiarowych. Wzory te wyprowadza się na podstawie różnych praw fizycznych w zależności od zasady działania ustroju. Autor proponuje stosowanie metody jednolitej, która, jak się wydaje, jest jednocześnie najprostsza w większości przypadków. Metoda polega na zestawieniu bilansu energii dostarczonej do ustroju przez obwód elektryczny, do którego ustrój jest dołączony, oraz energii zużytej przez ten ustrój. Poniżej podane są zastosowania tej metody do obliczania momentu napędowego dla różnych rodzajów ustrojów.

1. Moment napędowy ustroju magnetoelektrycznego o ruchomej cewce.

W ustroju magnetoelektrycznym podanym na rys. 1 cewka, przez którą płynie mierzony prąd, obraca się w polu trwałego magnesu. Między nabiegunkami magnesu osadzony jest rdzeń stalowy w kształcie walca. Dwa boki cewki znajdują się w szczelinach między nabiegunkami a rdzeniem.



Rys. 1. Ustrój magneto-elektryczny (schematycznie)

- 1 — magnes trwały
- 2 — rdzeń stalowy
- 3 — cewka ruchoma w położeniu poziomym
- 4 — cewka ruchoma w położeniu pionowym

Linie pola magnetycznego wytworzonego przez magnes przecinają boki cewki pod kątem prostym. Szerokość szczelin jest stała, można więc założyć stałość indukcji.

Przez współdziałanie prądu stałego płynącego przez zwoje cewki i pola magnetycznego, w którym te zwoje się znajdują, powstaje moment sił obracający cewkę dookoła osi. Moment ten nazywa się momentem napędowym M . Na odchylenie cewki o kąt da od położenia równowagi zużywa się energia

mechaniczna Mda . Skutkiem przepływu prądu i przez zwoje cewki o oporności R ustrój zużywa w czasie dt energię ciepłą $i^2 R dt$. Całkowita energia zużyta przez ustrój w czasie odchylenia o kąt da wynosi zatem

$$dW_z = Mda + i^2 R dt.$$

Energii tej musi dostarczyć obwód elektryczny, do którego włączony jest ustrój. Możemy tę energię obliczyć ze wzoru

$$dW_d = uidt,$$

gdzie u oznacza spadek napięcia na obwodzie cewki.

Ponieważ energia zużyta przez ustrój musi być równa energii dostarczonej, można założyć

$$dW_z = dW_d,$$

czyli

$$(1) \quad Mda + i^2 Rdt = uidt.$$

Zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa

$$u + e = iR.$$

Siła elektromotoryczna e powstaje w obwodzie cewki dlatego, że w czasie ruchu boki cewki przecinają linie sił pola magnetycznego. Siłę tę można wyznaczyć z równania

$$e = -z \frac{d\Phi}{dt},$$

gdzie Φ — strumień w szczelinie magnesu skojarzony z cewką, z — liczba zwojów cewki. Gdy płaszczyzna cewki jest prostopadła do kierunku strumienia magnetycznego w rdzeniu Φ_c , cewka obejmuje cały ten strumień. Po odchyleniu cewki o kąt $\pi/2$ strumień magnesu skojarzony z cewką równy jest zeru. Strumień skojarzony z cewką równy jest więc

$$\Phi = \Phi_c \frac{2}{\pi} \alpha,$$

gdzie α oznacza kąt między kierunkiem pola magnetycznego w rdzeniu a płaszczyzną cewki. Równanie słuszne jest dla

$$-\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}.$$

Po podstawieniu znalezionej zależności do wzoru na siłę elektromotoryczną otrzymuje się

$$e = -z \frac{d\Phi}{dt} = -z \Phi_c \frac{2}{\pi} \frac{d\alpha}{dt}$$



oraz

$$u = z\Phi_c \frac{2}{\pi} \frac{d\alpha}{dt} + iR.$$

Po pomnożeniu obu stron ostatniego równania przez idt otrzymuje się

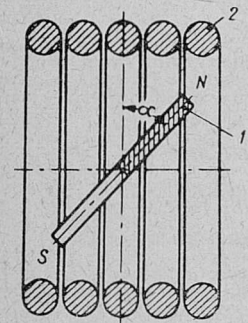
$$(2) \quad uidt = z\Phi_c \frac{2}{\pi} id\alpha + i^2 Rdt.$$

Z równań (1) i (2) wynika

$$Md\alpha + i^2 Rdt = z\Phi_c \frac{2}{\pi} id\alpha + i^2 Rdt$$

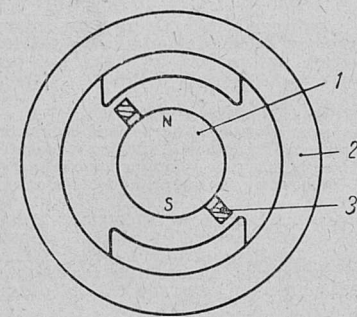
czyli

$$M = z\Phi_c \frac{2}{\pi} i.$$



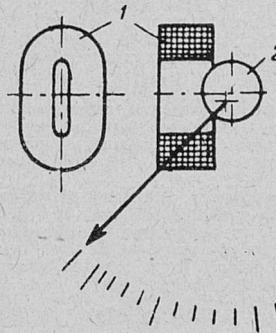
Rys. 2. Ustrój magnetoelektryczny o ruchomym magnecie (schematycznie)

1 — magnes trwały ruchomy
2 — cewka nieruchoma



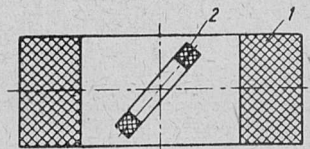
Rys. 3. Ustrój magnetoelektryczny z magnesem wewnętrznym (schematycznie)

1 — magnes trwały nieruchomy
2 — pierścień z nabiegunkami
3 — cewka ruchoma



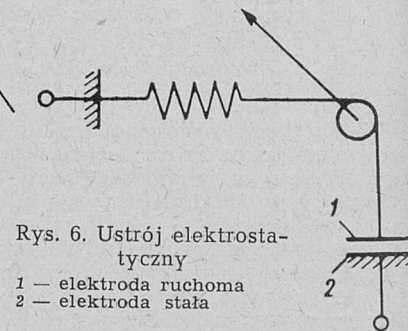
Rys. 4. Ustrój elektromagnetyczny

1 — cewka nieruchoma
2 — rdzeń ruchomy



Rys. 5. Ustrój elektrodynamiczny

1 — cewka nieruchoma
2 — cewka ruchoma



Rys. 6. Ustrój elektrostatyczny

1 — elektroda ruchoma
2 — elektroda stała

2. Moment napędowy ustroju magnetoelektrycznego o ruchomym magnecie.

Ustrój składa się z nieruchomej cewki, przez którą płynie prąd mierzony, i ruchomego magnesu trwałego (rys. 2). Moment napędowy powstaje skutkiem współdziałania prądu w cewce z polem magnetycznym magnesu trwałego. Można przyjąć, że strumień magnesu Φ_m jest strumieniem wypadkowym dwu umyślonych strumieni: $\Phi_m \sin \alpha$ — strumienia prostopadłego do płaszczyzny cewki i $\Phi_m \cos \alpha$ — strumienia równoległego do tej płaszczyzny.

Jeżeli oznaczyć strumień własny cewki przez Φ_c , to całkowity strumień skojarzony z cewką będzie

$$\Phi = \Phi_c + \Phi_m \sin \alpha,$$

a więc siła elektromotoryczna powstająca w cewce skutkiem odchylenia magnesu wynosi

$$e = -z \frac{d\Phi}{dt} = \Phi_m \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt}.$$

Korzystając z równań wyprowadzonych w p. 1 otrzymamy

$$M = z\Phi_m i \cos \alpha.$$

Zależność ostatnia jest słuszna również wtedy, kiedy magnes jest nieruchomy, a cewka ruchoma, jak w urządzeniach magnetoelektrycznych rdzeniowych. W urządzeniu takim (rys. 3) magnes trwały umieszczony jest nieruchomo w środku obracającej się cewki. Obwód magnetyczny zamyka się przez szczeliny, nabiegunki i zwierający nabiegunki rdzeń stalowy.

3. Moment napędowy ustroju elektromagnetycznego.

Znane są dwie zasadnicze odmiany tego ustroju — jednordzeniowy (rys. 4) i wielordzeniowy. W urządzeniach należących do pierwszej odmiany ruchomy rdzeń stalowy jest umieszczony w polu magnetycznym cewki, przez którą płynie prąd mierzony. W urządzeniach zaliczanych do drugiej odmiany w polu magnetycznym cewki znajduje się dwa lub więcej rdzeni,

z których jeden jest ruchomy. Ruchomy rdzeń w obu odmianach ustroju elektromagnetycznego dąży do zajęcia takiego położenia, żeby energia magnetyczna cewki $\left(\frac{Li^2}{2}\right)$ osiągnęła największą możliwą wartość. Ta zasada działania ustroju pozwala stosować go przy prądzie zarówno stałym, jak i zmiennym. Poniższe dowodzenie zakłada, że przez cewkę ustroju płynie prąd stały.

Energia dostarczona do ustroju wyniesie (oznaczenia jak wyżej)

$$dW_d = uidt,$$

przy czym

$$u + e = iR,$$

skąd

$$u = iR - e = iR + \frac{d\psi}{dt}.$$

Tu ψ oznacza strumień skojarzony cewki ustroju o indukcyjności L , a więc

$$\psi = L \cdot i.$$

Po podstawieniu otrzymuje się

$$u = iR + i \frac{dL}{dt}$$

oraz

$$(3) \quad dW_d = i^2 R dt + i^2 dL.$$

Dostarczona przez obwód zewnętrzny energia zużyta zostaje przez ustrój. Wartość zużytej energii mechanicznej i cieplnej określona została w p. 1.

Ponadto w urządzeniu elektromagnetycznym, na skutek zmiany położenia rdzenia nieruchomego, kosztem energii elektrycznej dostarczonej przez obwód zewnętrzny, wzrasta energia nagromadzona w polu magnetycznym cewki. Wzrost ten wynosi

$$dW_m = \frac{i^2}{2} dL,$$

a więc całkowitą energię zużyta przez ustrój można obliczyć z równania

$$(4) \quad dW_z = M \cdot d\alpha + i^2 Rdt + \frac{i^2}{2} dL.$$

Ponieważ $dW_z = dW_d$, przeto na podstawie równania (3) i (4)

$$M \cdot d\alpha + i^2 Rdt + \frac{i^2}{2} dL = i^2 Rdt + i^2 dL,$$

skąd

$$M = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\alpha}.$$

W przypadku pomiaru prądu zmiennego należy uważać otrzymaną wartość momentu jako wartość chwilową.

Wartość średnią momentu otrzymujemy ze wzoru

$$M_{\text{sr}} = \frac{1}{T} \int_0^T M dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} dt,$$

gdzie T — okres prądu zmiennego. Dla prądu sinusoidalnego o pulsacji ω wartość chwilowa jest

$$i = I_{\text{max}} \sin \omega t = I \sqrt{2} \sin \omega t.$$

Po podstawieniu i całkowaniu otrzymuje się

$$M_{\text{sr}} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dt}.$$

4. Moment napędowy ustroju elektrodynamicznego.

Działanie ustroju elektrodynamicznego (rys. 5) jest oparte na wyzyskaniu sił występujących między przewodami, przez które płynie prąd. W polu magnetycznym cewki nieruchomej, przez którą płynie prąd i_1 , umieszczona jest cewka ruchoma. Przez cewkę ruchomą przepływa prąd i_2 . Pod wpływem występujących między cewkami sił cewka ruchoma dąży do takiego położenia w przestrzeni, przy którym energia magnetyczna ustroju osiąga maksimum. Ustrój nadaje się do pomiarów przy prądzie zarówno stałym, jak i zmiennym. Wzór na moment napędowy wyprowadzimy w założeniu, że przez obie cewki ustroju płynie prąd stały.

Energia dostarczona do obu cewek ustroju równa jest

$$dW_d = u_1 i_1 dt + u_2 i_2 dt,$$

gdzie u_1 oraz u_2 — spadki napięć na obwodach cewki nieruchomej i cewki ruchomej.

W czasie obrotu cewki ruchomej zmienia się indukcyjność wzajemna M_{12} obu cewek. Zmiana indukcyjności wzajemnej wywołuje w obu cewkach siły elektromotoryczne:

$$e_1 = -i_2 \frac{dM_{12}}{dt} \quad i \quad e_2 = -i_1 \frac{dM_{12}}{dt}.$$

Zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa

$$u_1 + e_1 = i_1 R_1 \quad i \quad u_2 + e_2 = i_2 R_2.$$

Po podstawieniu i uporządkowaniu otrzymamy:

$$u_1 = i_1 R_1 + i_2 \frac{dM_{12}}{dt} \quad i \quad u_2 = i_2 R_2 + i_1 \frac{dM_{12}}{dt}.$$

Energia dostarczona wynosi więc

$$(5) \quad dW_d = i_1^2 R_1 dt + i_2^2 R_2 dt + 2i_1 i_2 dM_{12}.$$

Energia ta zużywa się na odchylenie cewki ruchomej (energia mechaniczna Mdx), na energię cieplną wydzieloną w obu cewkach oraz na zwiększenie energii magnetycznej ustroju, wywołane przez zmianę położenia cewek względem siebie.

Energia magnetyczna ustroju równa jest

$$W_m = \frac{i_1^2 L_1}{2} + \frac{i_2^2 L_2}{2} + i_1 i_2 M_{12},$$

przeto zwiększenie jej spowodowane odchyleniem cewki ruchomej o kąt $d\alpha$ wynosi

$$dW_m = i_1 i_2 dM_{12}.$$

Energii zużytą przez ustrój można więc określić z następującego równania

$$(6) \quad dW_z = Mdx + i_1^2 R_1 dt + i_2^2 R_2 dt + i_1 i_2 dM_{12}.$$

Przyrównując energię dostarczoną do energii zużytej otrzymujemy z równań (5) i (6) moment obrotowy

$$M = i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

W przypadku prądu zmiennego należy określić wartość średnią momentu podobnie jak w p. 3:

$$M_{\text{sr}} = \frac{1}{T} \int_0^T M dt = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt.$$

Zakładając

$$i_1 = I_{1\text{max}} \sin \omega t = I_1 \sqrt{2} \sin \omega t,$$

$$i_2 = I_{2\text{max}} \sin (\omega t - \varphi) = I_2 \sqrt{2} \sin (\omega t - \varphi),$$

gdzie φ — jest kątem przesunięcia fazowego prądu w cewce ruchomej względem prądu w cewce stałej, otrzymamy po podstawieniu

$$M_{\text{sr}} = \frac{2}{T} I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \int_0^T \sin \omega t \sin (\omega t - \varphi) dt = I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

5. Moment napędowy ustroju elektrostatycznego.

Ustrój elektrostatyczny (rys. 6) stanowi właściwie kondensator o jednej elektrodzie ruchomej, a drugiej nieruchomej. Elektrody przyciągają się po doprowadzeniu napięcia. Elektro-

energia zawarta w ustroju $\left(\frac{u^2 C}{2}\right)$ osiągnęła wartość maksymalną.

Przy wyprowadzeniu równania na moment napędowy rozpatrujemy ustrój jako kondensator o dielektryku idealnym ($\text{tg } \delta = 0$). Ustrój taki pobiera energię z sieci tylko podczas ruchu elektrody. Energia dostarczona do ustroju pod działaniem napięcia prądu stałego u wynosi w ciągu czasu dt

$$dW_d = uidt = u dQ,$$

gdzie $dQ = idt$ jest przyrostem ładunku kondensatora. Przyrost ten jest związany z przyrostem pojemności ustroju pomiarowego dC równaniem:

$$dQ = u dC.$$

Otrzymujemy więc dla energii dostarczonej wartość

$$dW_d = u^2 dC.$$

Na przesunięcie elektrody zużywa się energia mechaniczna Mdx . Prócz tego skutkiem zmiany położenia elektrod względem siebie zwiększa się energia zawarta w polu elektrycznym kondensatora o $\frac{u^2}{2} dC$. Stąd

$$dW_z = Mdx + \frac{u^2}{2} dC.$$

Z równości $dW_z = dW_d$ wynika:

$$Mdx + \frac{u^2}{2} dC = u^2 dC,$$

skąd

$$M = \frac{u^2}{2} \frac{dC}{d\alpha}.$$

W przypadku pomiarów przy prądzie zmiennym zakładamy $u = U_{\text{max}} \sin \omega t = U \sqrt{2} \sin \omega t$ i obliczamy średni moment napędowy

$$M_{\text{sr}} = \frac{U^2}{2} \frac{dC}{d\alpha}.$$

Wszystkie podane wyżej wyprowadzenia są zgodne co do wyników z wyprowadzeniami opartymi na innych założeniach.

JULIUSZ PREMINGER, k. n. t.

Politechnika Wrocławska

Wybór elektrowni przewodzących w układach elektroenergetycznych

621.311:621.311.154:621.311.2

Treść. Częstotliwość układu wskaźnikiem stosunku wytwarzania do poboru. Główne elementy układu elektroenergetycznego a regulacja częstotliwości. Krótkie porównanie elektrowni parowych i wodnych. Wybór elektrowni przewodzącej na tle pracy układu elektroenergetycznego.

Выбор ведущих электростанций в энергосистемах. Частота как указатель отношения производства к потреблению. Главные элементы энергосистемы и регулировка частоты. Сравнение паровых электростанций с гидравлическими. Выбор ведущей электростанции в связи с работой энергосистемы.

On the Choice of Guiding Power Plants in Electric Power Systems. Frequency of the system as an indicator of the relation of production to consumption. Principal elements of an electric power system and frequency regulation. A short comparison of steam and water driven power plants. The choice of the guiding power plant in connection with the operation of the electric power system.

1. Wstęp.

Właściwy układom elektroenergetycznym brak bezpośrednich możliwości akumulowania (składowania) energii elektrycznej jest przyczyną dopasowywania w każdej chwili wytwarzania do zapotrzebowania. Ciągłe zmiany poboru mocy wywołane wyłączaniem i przyłączaniem odbiorów, powodują przy stałej wytwarzanej mocy czynnej odchylenia od częstotliwości znamionowej, dzięki bowiem charakterystykom regulacyjnym turbozespołów częstotliwość układu jest wskaźnikiem określającym stosunek wytwarzania do poboru. Częstotliwość znamionowa świadczy, że wytwarzana moc czynna odpowiada zapotrzebowaniu; przy częstotliwości niższej od znamionowej w układzie istnieje niedobór mocy czynnej, przy wyższej na odwrót. Dlatego też regulacja częstotliwości w układzie elektroenergetycznym, mająca za cel utrzymanie z pewną wąską tolerancją częstotliwości znamionowej [1], sprowadza się do dostosowania w każdej chwili wytwarzanej mocy czynnej do mocy pobieranej. Regulacja częstotliwości bez względu na to, czy jest przeprowadzana ręcznie czy też automatycznie, jest nieodzowna w każdym układzie elektroenergetycznym.

W związku z szybkim rozwojem układów elektroenergetycznych, regulacja ręczna nie zawsze może sprostać stawianym wymaganiom i jest coraz silniej wypierana przez regulację automatyczną. Powstał cały szereg mniej lub bardziej doskonałych metod i urządzeń do automatycznej regulacji częstotliwości, z których wiele znalazło już zastosowanie w praktyce zagranicznej [2, 3].

Jednak — poza zagadnieniem metod i urządzeń służących do automatycznej regulacji częstotliwości — na pierwsze miejsce wysuwa się problem wyboru tzw. elektrowni przewodzących. Nazwę tę stosuje się do elektrowni (lub turbozespołów), którym powierzona jest regulacja częstotliwości. Elektrownie prowadzące zmieniają swe wytwarzanie zgodnie z ciągłymi zmianami mocy pobieranej i wspólnie z resztą elektrowni, pracujących w określonych odcinkach doby przy stałym obciążeniu, tj. według zadanego wykresu, pokrywają pełne zapotrzebowanie układu. Zadaniem regulacji częstotliwości jest pokrywanie różnicy między rzeczywistym a zaplanowanym poborem mocy czynnej. Dostosowywanie zgrubsza mocy wytwarzanej do przewidywanego wykresu dobowego prowadzi — niezależnie od regulacji częstotliwości — rozrząd (dyspozycja mocy).

O dokonaniu wyboru elektrowni (turbozespołów), przeznaczonych do regulacji częstotliwości, decydują czynniki natury ekonomicznej i ruchowej. Po należytych uwzględnieniu warunków ruchowych najistotniejszą zasadą wyboru powinno być dostarczenie odbiorcom energii elektrycznej przy najmniejszych stratach wytwarzania i przesyłu.

Podane niżej rozważania co do właściwego wyboru elektrowni przewodzących ważne są niezależnie od tego, czy regulacja odbywa się ręcznie, czy też automatycznie.

W pracy niniejszej przyjęto, że czytelnikowi znane są zasady ekonomicznego rozdzielenia obciążenia przy pracy równoległej turbin i kotłów parowych zgodnie z teorią przystosów względnych [4, 5].

2. Główne elementy układu elektroenergetycznego a regulacja częstotliwości.

Celem właściwego wyboru elektrowni przewodzących scharakteryzujemy główne elementy układu elektroenergetycznego, którymi są kotły i turbiny parowe, turbiny wodne i urządzenia elektryczne. Przydatność wymienionych urządzeń będzie poddana zbadaniu pod następującymi względami: a) dopuszczalnej szybkości zmiany obciążenia, b) dopuszczalnego zakresu zmiany obciążenia, c) zasobu czynnika, d) strat związanych z ciągłymi zmianami obciążenia, e) najkorzystniejszego ekonomicznego rozkładu obciążenia przy pracy równoległej (w obrębie elektrowni przewodzącej).

Dla wszystkich urządzeń pracujących przy zmiennym obciążeniu istotna jest maksymalna szybkość, z którą obciążenie może się zmieniać (narastać lub gwałtownie spadać). Dla porównania należy podać, że wymagany obecnie w związku z regulacją częstotliwości czas dokonania zmian wytwarzania nie przekracza kilku do kilkunastu sekund zależnie od charakteru regulacji i układu elektroenergetycznego oraz wymagań dokładności [3].

Tak samo ważne są granice, w których może się zmieniać obciążenie nie powodując przy tym naruszenia właściwej pracy danego urządzenia. Górna granica ograniczona jest maksymalną wydajnością urządzenia, o szerokości zakresu decyduje więc granica dolna — minimalnie dopuszczalne obciążenie. Znajomość zakresu regulacyjnego poszczególnych urządzeń jak również całych elektrowni jest bardzo ważna. Jakkolwiek zmiany wytwarzania mające na celu wyregulowanie częstotliwości nie przekraczają na ogół dziesiątej części obciążenia układu, to przy skoncentrowaniu na jednej lub kilku elektrowniach mogą znacznie przekroczyć zakres dopuszczalnej regulacji, choć moc zainstalowana im odpowiada.

Kotły parowe. Szybkość zmiany obciążenia oraz dopuszczalny zakres regulacji zależne są od typu kotła, konstrukcji paleniska i rodzaju paliwa.

Największe możliwości zarówno co do szybkości, jak i co do zakresu regulacji, dają kotły na paliwo gazowe i płynne, nie spotykane w zawodowej energetyce krajowej. Dopuszczalny zakres regulacji wynosi dla tych kotłów średnio od 10 do 100% pełnego obciążenia. Pozwalają one również na bardzo szybki wzrost obciążenia, osiągając w kotłach okrętowych pełną zmianę obciążenia (100%) w ciągu 4 sekund.

Równie szeroki, ale powolny, zakres mają kotły o paleniskach rusztowych. Duże zmiany obciążenia przez forsowanie paleniska zachodzą w tych kotłach stosunkowo bardzo wolno (do kilkunastu minut), co redukuje ich przydatność do regulacji częstotliwości, niemniej jednak duża objętość wodna tych kotłów w elektrowniach zawodowych przeważnie starszych pozwala im przy nagłym wzroście obciążenia na pokrycie w ciągu kilku minut wytwarzania pary kosztem energii cieplnej zmagazynowanej w wodzie przy jednoczesnym spadku ciśnienia i temperatury. Przy potrzebie wyregulowania jedynie niewielkich zmian obciążenia mogą one sprostać wymaganiom regulacji częstotliwości.

Kotły pyłowe, najczęściej spotykane w większych krajowych elektrowniach zawodowych, mają ograniczony zakres regulacji, wahający się zależnie od typu kotła oraz gatunku spalnego węgla od 40—60 do 100% pełnego obciążenia. Główną przeszkodą w obniżeniu dolnej granicy obciążenia jest urywanie się i gaśnięcie płomienia. Rozszerzenie tego zakresu jest możliwe, wymaga jednak specjalnych środków (zastosowanie rusztu dla małych obciążeń, instalacja specjalnych palników względnie podtrzymywanie ognia ropą). Dodatkowymi czynnikami ograniczającymi zmiany obciążenia kotłów jest możliwość zakłócenia obiegu wody wskutek nierównomiernego ogrzewania poszczególnych części kotła, niemożliwość utrzymania wymaganej temperatury przegrzewu pary itp.; usunięcie ich wymaga zastosowania specjalnych konstrukcji.

Kotły pyłowe z zasobnikami pośrednimi przy indywidualnej instalacji młynowej z zasobnikiem pośrednim pozwalają na stosunkowo szybki wzrost obciążenia i rozważane są [6] wspólnie z kotłami na paliwo gazowe i ciekłe. Inne instalacje młynowe opóźniają forsowanie kotła. Opóźnienie powoduje również uwzględnianie w czasie forsowania kotła (przy właściwej automatyce kotłowej) możliwie najkorzystniejszego przebiegu spalania, wymagającego przede wszystkim odpowiedniego dostosowania dopływu paliwa i powietrza. Przeciętne nowoczesne kotły opalane pyłem węglowym i wyposażone w automatyczną regulację pozwalają na uzyskanie

wzrostu obciążenia o 70% po czasie od 5 do 10 minut [7]. Czas ten może ulec skróceniu przez zastosowanie specjalnych urządzeń pomocniczych i zasilających.

Dla elektrowni prowadzących wchodzi przede wszystkim w rachubę opalane pyłem kotły średnich ciśnień, mające dużą objętość wodną (kotły wielowalczakowe). Przy odpowiednich urządzeniach pomocniczych i zasilających uzyskuje się wzrost obciążenia przez forsowanie kotła po upływie kilku minut. W międzyczasie wzrost obciążenia pokryty zostaje kosztem ciepła zmagazynowanego w wodzie kotła (podobnie jak w kotłach o paleniskach rusztowych). Według danych amerykańskich [8] kotły przeznaczone do zasilania turbin elektrowni regulujących częstotliwość powinny mieć pojemność wodną rzędu 4 kg wody na 1 kW mocy zainstalowanej w turbinach. Przy kotłach o mniejszej zawartości wody w okresie od chwili wzrostu poboru mocy w układzie do podniesienia wydajności kotła, obciążenie turbin nie będzie mogło wzrosnąć. Spowoduje to nieuchronne odchylenie częstotliwości w układzie. Pomocą w takich wypadkach mogą służyć zasobniki ciepła.

Mniej przydatne do regulacji częstotliwości są kotły przepływowe, mające małą zawartość wodną oraz wymagające czasu kilku minut dopóki woda dostarczana przez pompy dotrze do przegrzewacza.

Przy wyborze elektrowni prowadzących należy — poza średnimi danymi co do szybkości i zakresu zmiany obciążenia znanymi z literatury — opierać się przede wszystkim na konkretnych danych doświadczalnych, zdjętych dla poszczególnych kotłów.

Elektrownie parowe przewidziane do regulacji częstotliwości powinny mieć kotły o możliwie płaskim przebiegu współczynnika sprawności w dopuszczalnym zakresie zmian obciążenia. Wobec tego, że najkorzystniejsze warunki ekonomiczne współpracy kotłów wewnątrz danej elektrowni występują przy równych względnych przyrostach paliwa ze wzrostem obciążenia (dB/dP), zaleca się wybór elektrowni wyposażonej w jednako-
we kotły, albowiem ten warunek zapewni pracę przy równych sobie względnych przyrostach podczas zmian obciążenia, które rozkładają się proporcjonalnie na poszczególne kotły.

Nieuniknione straty związane z ciągłą zmianą obciążenia, występujące dla wszystkich elementów układu elektroenergetycznego i zależne od krzywizny zależności strat od obciążenia (charakterystyki energetycznej) [9], w wypadku kotłów parowych powiększają się o straty dodatkowe związane z naruszeniem podczas tych zmian przebiegu spalania. W celu jak największego ograniczenia tych strat, osiągających znaczne rozmiary, konieczny jest wybór kotłów wyposażonych w urządzenia do automatycznej regulacji.

Turbiny parowe. Szybkość regulacji turbin parowych uwarunkowana jest osiągalną szybkością serwowatorów olejowych. W nowoczesnych turbozespołach parowych osiąga się wyregulowanie zmian wytwarzania w ciągu czasu rzędu jednej sekundy a nawet mniejszym. Dla starszych turbozespołów wartości te są nieco wyższe, nie przekraczają jednak kilku sekund. Odnosi się to do szybkości maksymalnie osiągalnych. Wyregulowanie mniejszych zmian wytwarzania może trwać znacznie dłużej (do kilkunastu sekund).

Osiągalne szybkości zmiany obciążenia turbin parowych są znacznie większe od szybkości uzyskiwanych w kotłach parowych. Stąd nagle duże zwiększenie mocy turbiny parowej odbywa się w pierwszych minutach przy pomocy pary wytwarzanej kosztem ciepła zmagazynowanego w gorącej wodzie kotłów lub w zasobnikach. Jeśli w międzyczasie kotły nie potrafią jeszcze podnieść wytwarzania do wymaganego poziomu, moc turbin obniży się, powodując obniżenie się częstotliwości w układzie. Zasób czynnika zasilającego turbiny parowe nie jest więc nieograniczony i zależy od możliwości zasilających kotłów parowych.

Poza możliwościami kotłów dopuszczalna szybkość przyrostu obciążenia turbin parowych ograniczona jest reżymem skraplacza i wydajnością pompy chłodzącej. Chociaż temperatura wody w skraplaczu waha się w granicach od 20 do 25°C, to jednak wskutek głębokiej próżni woda w skraplaczu jest bliska punktu wrzenia. Dlatego też nagle znaczne zwiększenie obciążenia turbiny przy niedostatecznym dopływie wody chłodzącej może spowodować wrzenie skropliny i związane z tym zaburzenia w pracy pompy skroplinowej. Uniknięcie tego możliwe jest jedynie przy dostatecznym przepływie wody chłodzącej przez skraplacz. Pożądane jest więc zaautomatyzowanie przepływu wody chłodzącej przez skraplacz w zależności od obciążenia turbiny.

Instrukcje dostawców w sprawie dopuszczalnych szybkości zwiększania obciążenia (rzędu 10 MW na minutę dla starych

turbin i rzędu 1 MW na minutę dla nowoczesnych turbin o wysokich parametrach pary) dotyczą raczej okresu uruchamiania turbiny. Po wielogodzinnej pracy dopuszczalna szybkość jest znacznie większa, każda bowiem turbina jest w każdej chwili narażona na przecięcie w ciągu od kilku do kilkunastu sekund deficytu mocy, który może powstać w przypadku wypadnięcia innych turbozespołów lub wyłączenia linii zasilających daną część układu. Wypadki takie są konstruktorom znane i turbina jest na nie obliczona. W całym świecie istnieje obecnie tendencja rewizji dotychczasowych ostrych przepisów co do szybkości zmiany obciążenia turbin, uważanych za zbyt daleko posuniętą asekurację. Nowsze dane amerykańskie [7] zezwalają nawet dla turbin na wysokie parametry pary na nagłe zwiększenie mocy o 25%. Mimo to turbiny zasilane parą o wysokich parametrach należy traktować jako mniej przydatne do regulacji częstotliwości i ochraniać je od szkodliwych naprężeń cieplnych związanych z ciągłymi zmianami temperatury.

Najszerszy zakres regulacji obciążenia mają turbiny kondensacyjne. Wynosi on w starszych turbinach od 10—15 do 100% mocy znamionowej; w nowoczesnych dużych turbinach jest — ze względu na zachowanie cyklu regeneracyjnego — nieco mniejszy i wynosi od 20—25 do 100%. Obniżenie obciążenia turbiny poniżej dopuszczalnych dolnych wartości może stać się przyczyną uszkodzenia (musi być zapewnił dostateczny przepływ pary na chłodzenie łopatek turbiny).

Zakres ekonomicznej zmiany obciążenia turbin przeciwnie, których obciążenie elektryczne uwarunkowane jest odbiorami ciepła, równy jest zeru. Jest to przyczyna, dla której turbiny przeciwnie nie nadają się do regulacji częstotliwości. Dotyczy to również turbin ciepłowniczych, posiadających mały zakres regulacji i pracujących nieekonomicznie przy ciągłych zmianach obciążenia.

W elektrowni regulującej częstotliwość — ze względu na konieczność utrzymywania określonego zakresu regulacyjnego (rezerwy wirującej) — obciążenie rozłożone jest proporcjonalnie na wydzielone turbozespoły, co w zasadzie nie pokrywa się z zaleceniami teorii przyrostów względnych, zalecającej kolejne obciążanie turbozespołów począwszy od zakresów i jednostek o najmniejszym przyroście względnym. Względny przyrost zużycia pary ze wzrostem obciążenia (dB/dP) turbin kondensacyjnych jest jednak niewielki i zmienia się nieznacznie, co z punktu widzenia ekonomicznej współpracy większej liczby turbozespołów obniża straty związane z dowolnym rozdziałem obciążenia między nimi.

Straty zmiennego obciążenia związane z krzywizną charakterystyki energetycznej nie wystąpią jedynie wtedy, kiedy zmienne obciążenie nie wykróczy poza zakres odpowiedniej prostoliniowej części charakterystyki turbiny. Dodatkowe straty związane ze zmiennym obciążeniem wystąpią podobnie — jak w kotłach parowych — w związku z ciągłym naruszeniem pracy pomocniczych urządzeń (podgrzewaczy, wyparek, urządzeń odpowietrzających itp.), związanych z innymi elementami układu cieplnego elektrowni. Niewłaściwa praca tych urządzeń może stać się powodem obniżenia temperatury wody zasilającej, obniżenia poziomu w kondensatorze itd., tzn. pogorszenia sprawności cieplnej części elektrowni.

Wpływ dodatkowych strat, związanych z naruszeniem najkorzystniejszego przebiegu pracy kotłów i turbin parowych, może być nieznaczny przy stosunkowo powolnej i płynnej zmianie obciążenia w ciągu doby, wzrasta jednak znacznie ze wzrostem szybkości i amplitudy zmian mocy. Z drugiej strony przy takich samych zmianach obciążenia w poszczególnych elektrowniach cieplnych straty te nie są jednakowe. Dlatego też przy wyborze elektrowni prowadzących straty te muszą być porównywane i brane pod uwagę.

Turbiny wodne. Szybkość zmiany ilości dostarczanego czynnika dla turbin wodnych ograniczona jest szczególnie warunkami hydraulicznymi (wytrzymałość rurociągów, duże siły konieczne do przestawiania łopatek). Osiągalne maksymalne szybkości zawarte są średnio w granicach od kilku do kilkunastu sekund zależnie od warunków lokalnych. Dotyczy to, jak w przypadku turbin parowych, tylko szybkości maksymalnych. Wyregulowanie mniejszych zmian wytwarzania może trwać znacznie dłużej (do kilkudziesięciu sekund). Szybkość zmiany obciążenia osiągane w turbinach wodnych są kilkakrotnie niższe od szybkości uzyskiwanych w turbinach parowych. Natomiast zdolność dostarczenia wystarczających ilości czynnika (zasób regulacji) jest dla elektrowni wodnych zbiornikowych natychmiast po wystąpieniu przyrostu obciążenia praktycznie nieograniczona.

Dopuszczalny zakres regulacji turbin wodnych wynosi praktycznie od 0 do 100% pełnego obciążenia (przy odpowiednich

środkach zapobiegających kawitacji). Jednak z większą sprawnością przy małych obciążeniach pracują tylko turbiny Kaplana, natomiast turbiny Francisza oraz śmigłowe bardzo szybko pogarszają swą sprawność ze spadkiem obciążenia.

Zgodnie z teorią przyrostów względnych najekonomiczniejszy przebieg równoległej pracy turbin wodnych odpowiada wzajemnej równości przyrostów względnych (podobnie jak dla kotłów parowych, gdyż charakterystyki energetyczne obrócone są wypukłością w dół). W elektrowniach wodnych wyposażonych z reguły w jednakowe turbozespoły równość przyrostów względnych uzyskuje się przez równomierne obciążanie poszczególnych turbozespołów, utrzymujące się mimo zmiany obciążenia.

W odróżnieniu od kotłów i turbin parowych, których uruchamianie wymaga wielu godzin, okres uruchamiania turbin wodnych nie przekracza kilku minut. Wynosi to — zaznaczymy dla porównania — mniej niż forsowanie przeciętnego kotła pylowego przy wzroście obciążenia, w przypadku więc turbin wodnych odpadają straty związane z uruchamianiem i zatrzymywaniem, jak również straty związane z naruszaniem procesu technologicznego przy zmianach obciążenia występujące w elektrowniach ciepłych.

Urządzenia elektryczne. Strona elektryczna układu elektroenergetycznego — począwszy od generatorów, a kończąc na liniach zasilających odbiory — nie naraża na komplikacji ruchowych w rodzaju tych, które występują przy kotłach oraz turbinach parowych i wodnych. Zakres regulacji obciążenia wynosi od 0 do dopuszczalnego maksimum. Szybkość zmiany obciążenia w tym zakresie nie jest niczym ograniczona.

Urządzenia elektryczne wpływają na wybór elektrowni prowadzących jedynie przez straty związane z przesyłem energii elektrycznej, które korygują wspólnie ze zużyciem na potrzeby własne przyrosty względne danej elektrowni.

Przy zmienności obciążenia w przypadku elektrowni odległych od ośrodków poboru mocy i słabo z nimi związanych elektrycznie może istnieć niebezpieczeństwo naruszenia stateczności, wymagające stosowania środków specjalnych.

3. Krótkie porównanie elektrowni parowych i wodnych.

Z podanych wyżej rozważań wynika bezsporna przewaga przystosowania elektrowni wodnych zbiornikowych do regulacji częstotliwości, jeśli rozporządzamy nimi przy odpowiedniej mocy zainstalowanej i wystarczających zapasach wody. Za takim rozwiązaniem przemawiają następujące względy:

- a) zakres regulacji, który dla elektrowni wodnych jest prawie równy mocy zainstalowanej, podczas gdy zakres regulacji elektrowni parowej ograniczony jest minimalnym obciążeniem turbin, a zwłaszcza kotłów, wskutek czego moc zainstalowana w elektrowni parowej musi być prawie dwukrotnie większa od wymaganego zakresu regulacji;
- b) szybkie uruchamianie dalszych turbozespołów, co również można traktować jako rozszerzenie zakresu regulacji;
- c) duży zasób regulacji zbiornikowych elektrowni wodnych;
- d) brak ograniczeń eksploatacyjnych, które występują w elektrowniach parowych i są szczególnie kłopotliwe w nowoczesnych elektrowniach z wysokimi parametrami pary;
- e) brak poważnych strat związanych z zaburzeniami przebiegu technologicznego przy ciągłych zmianach obciążenia, występujących nieuchronnie w elektrowniach ciepłych;
- f) możliwość pracy elektrowni parowych przy stałym obciążeniu, stwarzająca najkorzystniejsze warunki dla sprawności tych elektrowni.

Z praktyki układów elektroenergetycznych w ZSRR i USA wynika zakres regulacyjny elektrowni prowadzących, który powinien wynosić co najmniej 10% mocy układu. Dotyczy to dużych układów; w mniejszych układach elektroenergetycznych wymagany zakres regulacji może być większy. W warunkach krajowych — wobec rozwoju powiązań sieciowych pomiędzy poszczególnymi okręgami powinna prawdopodobnie wystarczyć wartość 10%.

Udział elektrowni wodnych w większości krajowych układów elektroenergetycznych (z wyjątkiem układu dolnośląskiego) jest dotychczas zbyt mały, aby można było powierzyć elektrowniom wodnym regulację częstotliwości nawet w ciągu kilku godzin dziennie, nie mówiąc już o całej dobie. Możliwości rozwoju energetyki wodnej są w Polsce ograniczone i wiadomo, że podstawową rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej spełniają i spełniać będą elektrownie parowe, niemniej jednak rozbudowanie energetyki wodnej w granicach możliwości pozwoliłoby w pewnym stopniu odciążyć elektrownie parowe z prowadzenia częstotliwości.

W innych krajach, gdzie istnieją ku temu wystarczające możliwości, powierza się regulację częstotliwości elektrowniom wodnym. W ZSRR Dnieprowska Elektrownia Wodna („Dnieproges”) prowadzi regulację częstotliwości w południowym układzie elektroenergetycznym; podobnie jest w elektrowniach wodnych układu moskiewskiego i leningradzkiego. Analogiczne przykłady można znaleźć w energetyce USA i innych krajów.

Jeżeli przekazanie regulacji częstotliwości elektrowniom wodnym jest niemożliwe, to muszą ją wykonywać elektrownie parowe. Z dokładnego rozpatrzenia sprawy wynika, że regulacja częstotliwości powinna być powierzana elektrowniom kondensacyjnym, mającym następujące wyposażenie: a) kotły pylowe na średnie ciśnienie, b) zautomatyzowane kotłownie, c) kotły o możliwie dużej zawartości wody, d) urządzenia pomocnicze i paleniska przystosowane do forsowania i zmiany obciążenia.

Powierzenie regulacji częstotliwości pewnej elektrowni zawsze pociągnie za sobą mniejsze lub większe nakłady w celu jak najlepszego przystosowania jej do warunków pracy przy zmiennym obciążeniu. W niektórych wypadkach w celu wyrównywania nagłych zmian obciążenia może okazać się konieczne wyposażenie kotłowni w zasobniki Ruthsa.

Elektrownie wyznaczone do regulacji częstotliwości nie powinny być zbyt odległe od głównych ośrodków poboru mocy.

W celu uproszczenia urządzeń do automatycznej regulacji częstotliwości należy wybierać elektrownie, wyposażone w jak najmniejszą liczbę turbozespołów, innymi słowy w turbozespoły o dużej mocy. Z tych samych powodów należy dążyć do powierzania regulacji częstotliwości jak najmniejszej liczbie elektrowni jednocześnie (najlepiej jednej), jednakże przy uwzględnieniu strat przesyłu.

4. Wybór elektrowni prowadzących na tle pracy układu elektroenergetycznego.

Najekonomicznieszą pracą układu elektroenergetycznego, czyli wytwarzanie i dostarczanie energii elektrycznej odbiorcom przy najmniejszym możliwym nakładzie kosztów, wystąpi — zgodnie z teorią przyrostów względnych — wówczas kiedy wszystkie elektrownie pracują przy równych, możliwie niskich przyrostach względnych. Z drugiej strony — w celu uniknięcia dodatkowych strat związanych z ciągłymi zmianami obciążenia (naruszanie cieplnego procesu technologicznego) — większość elektrowni powinna pracować przy stałym obciążeniu, a wszystkie zmiany obciążenia powinny przejmować elektrownie prowadzące. W układach elektroenergetycznych zależności przyrostu względnego od obciążenia są różne dla poszczególnych elektrowni, dlatego też obciążane są przede wszystkim elektrownie o niższych przyrostach względnych co jednocześnie odpowiada mniejszemu zużyciu paliwa lub wody na 1 kWh.

Z punktu widzenia możliwie ekonomicznej pracy układu elektrownie prowadzące częstotliwość powinny pracować przy przyroście względnym możliwie bliskim do przyrostu względnego, przy którym pracują pozostałe elektrownie układu. Wobec ciągłej zmiany obciążenia pożądane jest powierzenie regulacji częstotliwości elektrowniom z możliwie płaskim przebiegiem zależności przyrostu względnego od obciążenia w wymaganym zakresie regulacji. Spełnienie obu ostatnich warunków nie zawsze jest możliwe.

W związku z koniecznością pracy elektrowni prowadzących z przyrostami względnymi bliskimi przyrostom względnym układu może okazać się konieczne powierzenie regulacji częstotliwości pewnym elektrowniom w okresie szczytowym, gdy układy pracują przy wyższych przyrostach względnych, a innym elektrowniom w okresach pozaszczytowych. Dlatego też nie należy utożsamiać elektrowni prowadzących częstotliwość z elektrowniami szczytowymi. Określenia te mogą być jednoznaczne jedynie w okresie szczytowym, przy czym nawet wtedy nie są wykluczone elektrownie szczytowe nie biorące udziału w regulacji częstotliwości. Elektrownie szczytowe (poza elektrowniami wodnymi) mają gorsze wskaźniki ekonomiczne (wyższe wartości przyrostu względnego) i użycie ich do regulacji częstotliwości w okresach pozaszczytowych w większości wypadków jest niecelowe.

Niemniej ważnym warunkiem wyboru elektrowni prowadzących jest, jak już wspomniano, posiadanie przez daną elektrownię, czy dane elektrownie, wymaganego zakresu regulacyjnego, który zależnie od wielkości układu powinien wynosić od 10 do 20% obciążenia układu. Jednak poza przejmowaniem zmian obciążenia nieprzewidzianych planowanym do-

bowym wykresie obciążenia elektrownie prowadzące przejmują również mniej strome planowane zmiany obciążenia. Udział elektrowni prowadzących w przejmowaniu planowanych zmian obciążenia nie może w żadnym wypadku wyczerpywać ich całego zakresu regulacyjnego, nad czym powinna czuwać dyspozycja mocy. Dane radzieckie [2] wymagają, aby po przejściu planowanej zmiany obciążenia zakres regulacji elektrowni prowadzących wynosił jeszcze co najmniej 5% obciążenia układu. Odpowiedni zakres regulacji elektrowni prowadzących powinien być zapewniony zarówno przy wzroście, jak i przy spadku obciążenia na układzie.

Czy jednak regulacja częstotliwości we właściwym tego słowa znaczeniu dojrzała już w energetyce krajowej i czy przytoczone wyżej rozważania mają realne znaczenie dla energetyki krajowej? Wydaje się, że w kwestii godzin pozaszczytowych można na to pytanie odpowiedzieć twierdząco. Właściwy wybór elektrowni prowadzących w godzinach pozaszczytowych może dać pewne oszczędności. Należy jednak przy tym pamiętać, że pojęcie elektrowni prowadzącej jest aktualne tylko przy właściwej regulacji częstotliwości, to znaczy wtedy, kiedy częstotliwość jest utrzymywana w odpowiednim wąskim zakresie (co najmniej $50 \pm 0,2$ Hz). Przy dopuszczaniu znacznych odchyłen od częstotliwości znamionowej regulację częstotliwości prowadzą — odwrotnie proporcjonalnie do stopnia niejednostajności charakterystyki regulacyjnej — wszystkie turbozespoły układu [10].

5. Rozwój elektroenergetyki a zagadnienie elektrowni prowadzących.

W okresie przedwojennym przy stosunkowo niskim procencie kotłów i turbin na wyższe parametry pary, których przydatność do regulacji częstotliwości jest ograniczona, prowadzenie częstotliwości nie nastroczało większych trudności. Regulację częstotliwości w małych jeszcze wtedy układach elektroenergetycznych powierzano elektrowniom wyposażonym w urządzenia, pracujące przy stosunkowo niskich parametrach pary (duża zawartość wody w kotłach, dopuszczalne duże szybkości zmiany obciążenia dla niewielkich stosunkowo turbin itd.).

W okresie powojennym potężny rozwój energetyki zawodowej odbywał się i odbywa się przede wszystkim przez instalację urządzeń na średnie i wysokie parametry pary. Nowouruchomione kotły i turbiny są w olbrzymiej swej większości mało przydatne do regulacji częstotliwości. Wśród ograniczeń omówionych wyżej (rozdz. 2) najbardziej nieprzyjemne są: dopuszczalna mała szybkość zmian obciążenia oraz stosunkowo duże minimalne obciążenie kotłów i turbozespołów. Procentowy udział wytwarzania przy wysokich parametrach pary jest już obecnie dość duży, a w roku 1960 pod koniec planu pięcioletniego osiągnie około 60% mocy zainstalowanej w całej zawodowej energetyce krajowej.

Ze zwiększeniem się udziału procentowego elektrowni mało przydatnych do regulacji częstotliwości wiąże się poważne trudności z powierzaniem prowadzenia częstotliwości, szczególnie w okresach pozaszczytowych, albowiem w okresie pozaszczytowym są w ruchu turbozespoły, na wysokie parametry pary i o najmniejszym zużyciu jednostkowym (najmniejsze względne przyrosty) — mało przydatne lub zupełnie nieprzydatne do regulacji częstotliwości. Powierzanie prowadzenia częstotliwości elektrowniom starszym o większym zużyciu jednostkowym (większych przyrostach względnych), dogodne od strony ruchowej, stałoby się przyczyną poważnych strat.

Z drugiej strony trudności związane z ponownym uruchamianiem nowoczesnych dużych turbozespołów są tak duże, że pozostawia się je w ruchu przez całą dobę (ponowne uruchomienie może nastąpić bądź po kilku godzinach, bądź dopiero po okresie kilkunastogodzinnym, a nawet większym).

Wspomniane trudności dają się już obecnie we znaki w energetyce polskiej, a ze zwiększeniem się udziału instalowanych urządzeń wysokoprężnych urosną niewątpliwie do poważnego problemu (przesuwając się jednocześnie na godziny obciążeń szczytowych).

Zagadnienie powyższe stało się już w całej swej ostrości w krajach o wyżej rozwiniętej energetyce, lecz nie posiadających bądź zupełnie, bądź tylko w niektórych okęgach wystarczającej mocy w elektrowniach wodnych. Wyjściem z sytuacji jest budowa specjalnych elektrowni prowadzących. Elektrownie te wyposażone są w kotły i turbozespoły, które przy wykorzystaniu najnowszych zdobyczy techniki w celu zmniejszenia zużycia jednostkowego (wysokie parametry pary, duże moce) odznaczają się możliwie szerokim zakresem regulacji i wystarczającą zwrotnością przy zmianach obciążenia [7]. Moc zainstalowana w tych elektrowniach powinna wynosić od 10 do 20% mocy danego układu.

Z drugiej strony budowa tych elektrowni czyni zadość wymaganiom samoczynnej regulacji częstotliwości, która powinna być powierzona turbozespołom o dużej mocy (zmniejszenie liczby turbozespołów objętych samoczynną regulacją upraszcza urządzenie regulacyjne).

W energetyce krajowej, przy słabych możliwościach rozwoju energetyki wodnej, omówione zagadnienia powinny możliwie szybko znaleźć odbicie przy planowaniu dalszego rozwoju energetyki. Dla odpowiedniej części nowoprojektowanych elektrowni powinny być zamówione kotły i turbiny mogące sprostać wymaganiom samoczynnej regulacji częstotliwości. Należy przy tym pamiętać, że wybór miejsca na elektrownie prowadzące nie jest dowolny, gdyż one powinny być położone możliwie blisko głównych ośrodków spożycia i powinny mieć silne powiązanie elektryczne z całym układem.

LITERATURA

- [1] P r e m i n g e r J. Zmiany częstotliwości w układach elektroenergetycznych i wymagania stawiane samoczynnym regulatorom częstotliwości i mocy czynnej (Energetyka, 1955, nr 3, str. 127—130).
- [2] M o s k a l e w A. G. Awtomaticzeskoje regulirovanie czastoty w energosistiemach (Gosenergoizdat, 1952).
- [3] P r e m i n g e r J. Samoczynna regulacja częstotliwości i mocy czynnej w układach energetycznych (praca kandydacka, Politechnika Wrocławska, 1953).
- [4] W o j c i e c h o w s k i J. Ekonomiczny rozdział obciążenia przy pracy równoległej turbin i kotłów parowych (Przegl. Elektr., 1950, nr 9/10/11, str. 422—431).
- [5] G o r n s z t e i n W. M. Nalwygodniejsze raspriedelenie nagruzok miedzu parallelnorabotajuszczimi elektrostancijami (Gosenergoizdat, 1949).
- [6] V e r e i n i g u n g d e r G r o s s k e s s e l b e s i t z e r. Kesselbetrieb (Vulkan-Verlag, Essen, 1953).
- [7] M c D a n i e l G. H., D i c k e y P. S., L o u g h i n P. R., R e y n o l d s R. L., P a r k e r E. E., E l s t o n C. W. Steam Plant Performance on Fluctuating Loads (Electric Light and Power, 1949, IV, str. 87—102).
- [8] P h i l o F. G. Load Pickup and Steam Standby (General Electric Review, 1939, nr 12, str. 520—524).
- [9] B o l o t o w W. W. Teorieticeskije osnovy wybora ekonomiceskowo riezima sloznoj elektroenergeticeskoj sistiemy (Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR, 1947).
- [10] P r e m i n g e r J. Charakterystyki częstotliwościowe układów elektroenergetycznych (Energetyka, 1954, nr 5, str. 251—255, nr 6, str. 313—317).

MGR INŻ. STANISŁAW MICHAŁOWSKI

Rola i znaczenie energii wodnej w energetyce polskiej

621.311.21:627.8(438)

Treść. Przewidywana rola energetyki wodnej wśród pozostałych zagadnień gospodarki wodnej. Przykład ZSRR. Oszacowanie zasobów netto energii wodnej w Polsce. Trudności w pokrywaniu szczytów obciążenia układu energetycznego. Duża przydatność elektrowni wodnych do pracy szczytowej. Możliwość otrzymania energii szczytowej z całej energii wodnej. Oszacowanie mocy możliwej do zainstalowania w elektrowniach wodnych. Rozmieszczenie energii wodnej na terenie Polski. Korzystny wpływ elektrowni wodnych na sieć państwową. Znaczenie energii wodnej w przyszłości. Wartość zaoszczędzonego węgla.

Роль и значение гидроэнергии в польской энергетике. Первоступающая роль гидроэнергетики среди остальных проблем водного хозяйства. Пример СССР. Количественная оценка запасов гидроэнергии в Польше. Трудности в покрытии пиковых нагрузок энергетической системы и пригодность гидроэлектрических станций для этого покрытия. Вся гидроэнергия может быть использована для работы в пиках нагрузки. Оценка мощности, которую можно будет установить в гидроэлектрических станциях. Размещение гидроэнергии на территории Польши. Полезное влияние гидроэлектрических станций на электрическую систему страны. Значение гидроэнергии в будущем. Оценка сэкономленного угля.

Energia wodna jest wykorzystywana przez człowieka od czasów przedhistorycznych, lecz wyzyskanie jej w obecnej skali datuje się od czasu wprowadzenia wysokich napięć i budowy wielkich sieci okręgowych i państwowych.

Wśród szeregu dziedzin gospodarki wodnej jak żegluga, melioracja, ochrona przed powodzią, zaopatrzenie w wodę energetyka, ta ostatnia wysunęła się na pierwszy plan, gdyż jest przedsięwzięciem najbardziej rentownym i przy tym amorf-

tyzującym się w najkrótszym czasie. Nawodnienie stepów pomiędzy rzekami Wołgą i Uralem stało się możliwe dzięki temu, że elektrownia Kujbyszewska o mocy 2000 MW będzie produkować rocznie 10—12 miliardów kilowatogodzin. Toteż w ZSRR energetyka wodna jest wysunięta na czoło zagadnień wodnych, a budowa wielkich zapór i węzłów wodnych jest ześrodkowana w Ministerstwie Budowy Elektrowni.

W splocie zagadnień wodnych wyzyskanie energii wodnej jest tym czynnikiem, który umożliwia śmiało i szeroko rozwiązania wyzyskania wody również do innych celów, produkcja bowiem energii elektrycznej zapewnia opłacalność i szybką amortyzację całego przedsięwzięcia. W krajach posiadających duże i racjonalnie wyzyskane zasoby energii wodnej jest ona głównym źródłem dochodu narodowego i ogólnego dobrobytu. Nie jest przypadkiem to, że kraje, w których prawie 100% produkcji energii elektrycznej dają elektrownie wodne, są krajami o najwyższej stopie życiowej ludności.

Wspaniały rozwój energetyki wodnej w Związku Radzieckim jest przedmiotem podziwu polskiego świata technicznego. Przed Rewolucją Październikową zacofana Rosja miała zaledwie 10 000 kW zainstalowanych w elektrowniach wodnych, z których największa miała moc 1250 kW. Przy ogólnej mocy wszystkich elektrowni $1,1 \cdot 10^6$ kW moc elektrowni wodnych stanowiła zaledwie 0,9%.

W roku 1921 zakończono opracowanie wielkiego planu elektryfikacji Rosji GOELRO, którego realizację obliczano na 10—15 lat. W tym terminie miało być uruchomionych 30 elektrowni o łącznej mocy 1750 MW, a w tym 10 elektrowni w o d n y c h o m o c y 640 MW. Już w roku 1926 uruchomiono pierwszą radziecką dużą elektrownię wodną o mocy 56 MW z 8 turbozespołami na razie produkcji zagranicznej.

W roku 1937 moc elektrowni wodnych wynosiła 1400 MW, co stanowiło 17,3% mocy wszystkich elektrowni, produkcja zaś wynosiła 5,7 mld. kWh czyli 15,6% ogólnej produkcji.

Dalsza konsekwentna rozbudowa elektrowni wodnych stała się zwiększa procentowy udział energii wodnej w produkcji energii elektrycznej. Udział ten w najbliższych latach osiągnie 40% całej produkcji. W roku bieżącym rozpoczyna pracę pierwsze turbozespoły największej na świecie Kujbyszewskiej elektrowni wodnej.

Zasoby energii wodnej w Polsce są oszacowane przez Państwową Radę Energetyczną na wydajność $16,4 \cdot 10^9$ kWh brutto rocznie. Oszacowanie to nie obejmuje mniejszych rzek nizinnych, których energia wodna wniesie co najmniej 15% energii większych rzek, a więc około $2,5 \cdot 10^9$ kWh. Otrzymujemy razem około $18,9 \cdot 10^9$ kWh rocznej energii brutto. Jest to energia średniego rocznego spływu, czyli energia objętości wody spływającej w naszych rzekach w roku przeciętnym.

Możliwą produkcję roczną netto otrzymamy mnożąc energię brutto przez współczynniki: 1) wyzyskania spływu, 2) wyzyskania spadu, 3) sprawności turbin, 4) sprawności generatorów.

Przy niewyrównanym i zmiennym przepływie w rzece część spływu rocznego nie będzie mogła być wyzyskana w turbinach. Na rzekach nizinnych — przy prawidłowym wyborze przekrytu turbin elektrowni i nawet przy całkowitym braku wyrównania przepływu — współczynnik wyzyskania spływu jest powyżej 0,9, a przy całkowitym wyrównaniu jest bliski jedności. Na rzekach górskich bez wyrównania przepływu przy pomocy zbiorników współczynnik ten wynosi powyżej 0,7. Dla wyzyskania energii wodnej konieczne jest więc wyrównanie przepływu przy pomocy zbiorników.

Wyrównanie przepływu konieczne jest również dla żeglugi, dla ochrony przed powodziami i dla regulacji rzek. Licząc się z tym, że wyrównanie przepływu w naszych rzekach musi być i będzie wykonane, przyjmujemy do swych obliczeń średni współczynnik wyzyskania spływu równy 0,92. Przy całkowitym wyzyskaniu rzeki przez budowę zwartej kaskady elektrowni współczynnik wyzyskania spadu będzie wynosił co najmniej 0,9. Średnią sprawność turbin przyjmujemy 0,84, a generatorów 0,94, ogólny współczynnik wyzyskania energii wodnej wypada więc $0,92 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 0,94 = 0,65$. Stąd otrzymuje się możliwą roczną produkcję na zaciskach generatorów przy całkowitej wyzyskanej energii wodnej $18,9 \cdot 10^9 \cdot 0,65 = 12,3 \cdot 10^9$ kWh. Gdyby więc wszystkie nasze źródła energii wodnej były wyzyskane, to w roku 1954 pokrylibyśmy z nich 81% swego całorocznego spożycia energii elektrycznej w tym roku.

Ponieważ szacunek nasz jest przybliżony, powstaje pytanie, czy otrzymany wynik jest poniżej dokładnej liczby, którą otrzymamy po opracowaniu dokładnego katastru polskich rzek. W ZSRR obliczeniowa moc spływu rocznego rzek wzra-

stała kolejno w następujący sposób: 1921 — $19,5 \cdot 10^6$ kW, 1924 — $61 \cdot 10^6$ kW, 1925 — $80 \cdot 10^6$ kW, 1934 — $280 \cdot 10^6$ kW. Wprawdzie w naszych warunkach nie możemy spodziewać się podobnych niespodzianek, jednak dokładne badania i obliczenia energii naszych rzek dadzą prawdopodobnie wyniki korzystniejsze od dotychczas przewidywanych. Możemy więc uważać, że $12,3 \cdot 10^9$ kWh jest realną roczną produkcją energii, możliwą do uzyskania z naszych sił wodnych pod warunkiem całkowitego wyzyskania ich w sposób planowy i naukowy.

Elektrownie wodne mogą — zależnie od rodzaju — dawać energię „przepływową” albo „szczytową”. Elektrownie przepływowe mają małą wartość dla układu energetycznego, ponieważ mogą dawać tylko energię przepływową 24-godzinną, która zajmuje miejsce w podstawie wykresu obciążenia wypierając elektrownie parowe do szczytowej części wykresu. Moc rozporządzalna tych elektrowni jest zmienna w zależności od przepływu w rzece i znaczna część mocy instalowanej musi być utrzymywana w postaci rezerwy w elektrowniach parowych. Natomiast elektrownie wodne szczytowe, mające zdolność pokrywania szczytów wykresu obciążenia, są bardzo cenne dla układu energetycznego, ponieważ pracują na szczyty obciążenia i moc ich jest gwarantowana.

Nowoczesne elektrownie parowe, których coraz więcej będzie w naszym układzie energetycznym, są to elektrownie przeznaczone z przyczyn natury technicznej do pracy ciągłej przy możliwie równym obciążeniu, a więc powinny pracować tylko w podstawowej części wykresu obciążenia. Obecnie posiadamy jeszcze bardzo dużo starych elektrowni parowych, których kotły spalają węgiel na rusztach mechanicznych i mogą swoją wydajność pary zmieniać w sposób ciągły od przeciążenia aż do zera. Te właśnie stare elektrownie parowe dzięki swojej elastyczności w pracy kotłów służą obecnie do pokrywania szczytów obciążenia. W miarę wprowadzania do ruchu nowoczesnych elektrowni o wysokiej sprawności technicznej, stare elektrownie parowe będą likwidowane, a w związku z tym zaczną zwiększać się trudności w pokrywaniu szczytów.

Obok ciągłego rozwoju uprzemysłowienia kraju, które będzie sprzyjało zmniejszeniu stosunku mocy szczytowej do mocy dolinowej, inne czynniki będą wpływały na zwiększenie tego stosunku. Na zwiększenie wpłyną: 1) wzrost stopy życiowej ludności i z tym związane zwiększenie zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, 2) dalszy rozwój elektryfikacji wsi i 3) rozwój miast i polepszenie oświetlenia ulic.

Można przypuszczać, że stosunek mocy szczytowej do dolinowej w sieci państwowej zawsze będzie większy od 2, a w tych warunkach pokrycie obciążenia szczytowego przez nowoczesne elektrownie parowe będzie bardzo trudne i kosztowne.

Wykres obciążenia miasta Moskwy wykazuje moc szczytową 2,7 raza większą od mocy w dolinie wykresu obciążenia.

Zarówno w Związku Radzieckim, jak i w krajach Europy zachodniej i w Stanach Zjednoczonych pracę szczytową wykonują przeważnie elektrownie wodne. W ZSRR moc elektrowni wodnych pracujących na szczyty jest tak duża, że do pracy szczytowej przeznacza się tylko te elektrownie wodne, w których straty energii spowodowane pracą szczytową są najmniejsze, a pozostałe elektrownie wodne szczytowe pracują jako przepływowe w podstawie wykresu obciążenia. Widzimy więc, że w ZSRR pokrywanie mocy szczytowej przerzuca się na elektrownie wodne szczytowe.

Nie ulega, zdaje się, wątpliwości, że problem mocy szczytowej już w najbliższych latach stanie przed nami w całej swojej ostrości i wówczas trzeba będzie sięgnąć do energii wodnej.

Inne źródła mocy szczytowej, jak akumulatory parowe Ruthsa i silniki dyzelskie nie są obecnie stosowane, a specjalne szczytowe elektrownie parowe byłyby bardzo drogie i ulegałyby prędkiemu zużyciu. Turbiny gazowe, których stosowanie w energetyce nie wyszło poza zakres prób, byłyby w naszych warunkach również rozwiązaniem drogim.

Pracę szczytową może dawać elektrownia wodna, mająca zbiornik o odpowiednio dużej objętości warstwy użytkowej. Do pracy na dwa szczyty — ranny i wieczorny — potrzebna jest objętość warstwy użytkowej:

$$V_u \geq 10800 \cdot Q_{el} \quad (m^3),$$

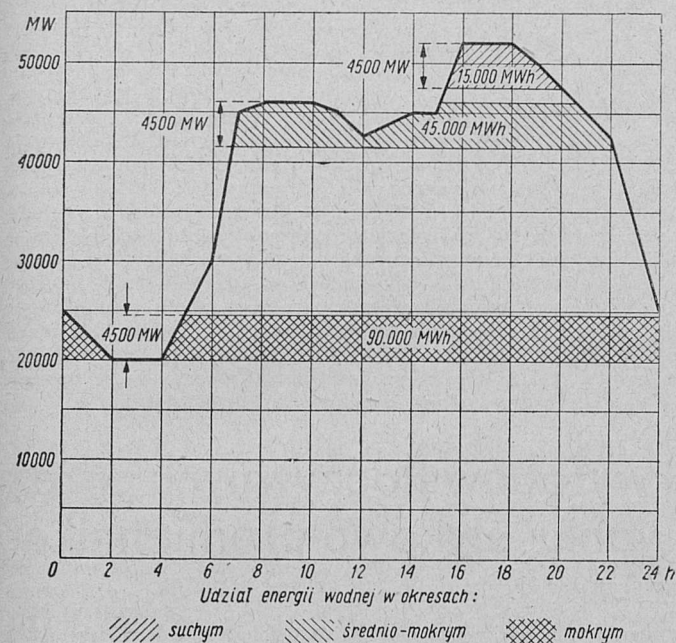
gdzie Q_{el} — przelęg maksymalny wszystkich turbin elektrowni (m^3/s). Do pracy na jeden szczyt w ciągu doby jest potrzebna większa objętość:

$$V_u = 21800 \cdot Q_{el} \quad (m^3).$$

Gdy $V_u < 10800 \cdot Q_{el}$, praca szczytowa jest możliwa tylko przy mniejszych dopływach do zbiornika, a przy $V_u < 6000 \cdot Q_{el}$ elektrownia może pracować tylko przepływowo, tzn. przez 24 godziny mocą równą i odpowiadającą przepływowi w rzece.

W wielu przypadkach warunki topograficzne nie pozwalają otrzymać zbiornika o potrzebnej objętości użytecznej i elektrownia przy takim zbiorniku daje energię przepływową mało wartościową dla układu energetycznego. Jeżeli jednak elektrownia przepływowa lub większa ilość takich elektrowni będzie włączona w kaskadę, zaprojektowaną według pewnych zasad naukowych, to wszystkie te elektrownie będą mogły pracować jako szczytowe zgodnie z taktem, nadawanym im przez jedną wyżej położoną elektrownię szczytową.

Zgodnie z powyższym możemy stwierdzić, że cała energia wodna naszych rzek i potoków, wyzyskana według pewnego planu i w sposób naukowy będzie mogła dawać — z bardzo małymi wyjątkami — energię szczytową lub podszczytową*, a zatem energia wodna może mieć



Rys. 1. Przypuszczalny wykres obciążenia dobowego sieci państwowej w zimowym dniu 1985 roku
Produkcja dobową 10^6 MWh

w Polsce bardzo duże znaczenie. Najlepszym dowodem, jak cenna jest dla nas wodna energia szczytowa, jest to, że pracą dwu naszych średniej mocy elektrowni wodnych szczytowych, kieruje centralnie Państwowa Dystrybucja Mocy i że praca tych elektrowni ma wpływ na znaczną część państwowego układu energetycznego.

Mając do wykorzystania $12,3 \cdot 10^9$ kWh energii wodnej zadajemy sobie pytanie, jaką moc można będzie i należy zainstalować, aby w warunkach naszych rzek otrzymać energię szczytową?

Przyjmujemy, że 0,25 całej energii wodnej można będzie wyzyskać przy spadach powyżej 10 m, a 0,75 energii — przy spadach poniżej 10 m. Dla elektrowni na spadach powyżej 10 m można będzie uzyskać średnio 1600 h rocznego wyzyskania mocy instalowanej, a dla elektrowni na spadach poniżej 10 m — 3600 h. Przeciętnie dla całej energii wodnej otrzymamy 3100 h rocznego wyzyskania mocy zainstalowanej i w tym przypadku potrzebna moc instalowana wyniesie około 4000 MW. Do tego trzeba dodać co najmniej 500 MW zainstalowanych w elektrowniach pompowych na poczet energii otrzymanej z pompowania.

Jak wiemy, moc rozporządzalna elektrowni przepływowych waha się w szerokich granicach, gdyż jest zależna od przepływu; wymaga to przewidzenia znacznego procentu tej mocy w postaci rezerw w elektrowniach parowych.

*) Pomysł wyzyskania do pracy szczytowej elektrowni wodnych na stopniach kanalizacji Wisły pierwszy rzucił w r. 1945 inżynier T. Tilingier w swej znakomitej pracy „Kanalizacja i wyzyskanie sił wodnych Wisły”.

Przy wyzyskaniu energii wodnej w kaskadzie, która jest wykonana według określonych zasad, otrzymujemy moc szczytową gwarantowaną, która będzie do dyspozycji codziennie bez względu na suche czy mokre okresy roku. Od zmian przepływu w rzece będzie zależał czas pracy szczytowej na dobę, jak również produkcja dobową. W okresach suchych moc instalowana elektrowni wodnych będzie pokrywać najwyższą część wykresu obciążenia i w związku z tym dawać małą produkcję, a w okresach mokrych będzie się przesunąć do niższych części wykresu obciążenia zawierających większą produkcję, a nawet może częściowo przejść do podstawy wykresu (rys. 1).

Zmniejszenie mocy rozporządzalnej może wystąpić jedynie w czasie bardzo wielkiej wody na rzece nizinnej mającej elektrownie o małych spadach. Należy przy tym zauważyć, że — ze względu na duże różnice klimatyczne pomiędzy różnymi dzielnicami kraju — zmniejszenie mocy w czasie wielkiej wody może być jednocześnie tylko na pewnej rzece i przy tym w rejonie przejścia kulminacji fali powodziowej. Częściowe zmniejszenie spadu i mocy na rzece nizinnej będzie skompensowane przez zwiększenie spadu i mocy elektrowni na zbiornikach o wyrównaniu rocznym i sezonowym, skutkiem czego nie należy się obawiać zmniejszenia mocy elektrowni wodnych w czasie wielkiej wody.

Wreszcie trzeba wziąć pod uwagę, że budowa zbiorników o dużym wyrównaniu w ogóle wydatnie wpłynie na zmniejszenie fal powodziowych, a wtedy nie będzie obawy zmniejszenia mocy w czasie wielkiej wody.

Wyzyskanie całej naszej energii wodnej wywrze bardzo doniosły i dodatni wpływ na naszą sieć państwową i na rozpył mocy czynnej i biernej. Niezmiernie korzystnym czynnikiem jest decentralizacja źródeł energii wodnej i rozmiesz-

Tablica I

Rzeka	Produkcja netto (10^9 kWh)	Razem (10^9 kWh)
Wisła od Przemszy do Sanu	0,55	
Wisła od Sanu do Bugu	1,55	
Wisła od Bugu do Brdy	1,80	
Wisła od Brdy do Tczewa	1,35	
Wisła od Przemszy do Tczewa		5,25
Karpackie dopływy Wisły	2,00	
Bug	0,40	
Narew, Pilica, Wieprz, Brda	0,30	
Większe dopływy Wisły		2,70
Odra od granicy ČSR do ujścia		
Warty	1,26	
Górskie dopływy Odry	0,67	
Warta	0,50	
Drugorzędne dopływy Odry	0,19	
Odra z dopływami		2,62
Rzeki Pomorza	0,13	0,13
Razem	10,70	10,70

czenie ich na terenie całego państwa, a szczególnie w rejonach oddalonych od zagłębi węglowych.

Rozmieszczenie energii wodnej na terenie PRL podaje dla większych rzek tabl. I. Produkcję netto poszczególnych rzek autor oszacował na podstawie opracowania zasobów wodno-energetycznych Polski prof. Balcerskiego z roku 1951 oraz pracy inż. T. Tilingera „Kanalizacja i wyzyskanie sił wodnych Wisły”, ogłoszonej w „Przeglądzie Komunikacyjnym” (1945, nr 6). Dodając do wyniku podanego w tabl. I produkcję netto małych rzek, rozmieszczonych na terytorium całego państwa, w ilości $1,6 \cdot 10^9$ kWh, otrzymamy jako całkowitą produkcję polskich rzek netto $12,3 \cdot 10^9$ kWh.

Rozmieszczenie wyzyskanych źródeł energii szczytowej na terenie całego kraju odbija się bardzo korzystnie na sieciach państwowych, okręgowych i lokalnych. Trudno jest obliczyć oszczędności, które uzyska się na sieciach elektrycznych i na liniach przesyłowych najwyższych napięć przez wykorzystanie energii wodnej, ale niewątpliwie będą one duże, gdyż poważnie zmniejszy się przesyłanie mocy i związane z nim straty

mocy oraz spadki napięć przy jednoczesnej oszczędności na materiale przewodowym.

Jakie znaczenie mają elektrownie wodne dla podtrzymania napięcia w sieciach, mogliśmy się przekonać w rejonach zasilanych przez te elektrownie. Nawet mała elektrownia wodna, pracująca na końcu linii 10-kilowoltowej podnosi napięcie o 5 do 10%, a wypadnięcie jej z ruchu powoduje zakłócenie w pracy odbiorników.

Poza pracą szczytową elektrownie wodne mogą dawać do sieci w razie potrzeby moc bierną utrzymując napięcie na potrzebnym poziomie. Do tego możemy dodać zalety ruchowe elektrowni wodnych, jako rezerwy zakłóceńowej i dużą pewność ruchu, większą bezsprzecznie niż w elektrowniach parowych.

Polska Rzeczpospolita Ludowa jest krajem o nieznanym wyzyskaniu energii wodnej, na którą w roku 1954 przypadło zaledwie około 3,5% całkowitej produkcji rocznej. Ponieważ roczny przyrost produkcji energii elektrycznej wynosi u nas około 13%, więc produkcja otrzymana z energii wodnej procentowo z biegiem lat maleje (w roku 1946 wyniosła 6%).

Można uważać, że nie planową rozbudową naszych źródeł energii wodnej będzie potrzebny okres około 30 lat. Jest to okres realny z punktu widzenia naszych możliwości technicznych i finansowych. Licząc, że 1 kW instalowany elektrowni wodnych będzie kosztował 6000 zł (od 2500 do 10000 zł/kW) na rozbudowę całej naszej energii wodnej (4500 MW) potrzeba będzie 27 mld. zł. Roczny wydatek w ciągu 30 lat na energetykę wodną wyniosłby wtedy 2,8% środków, przeznaczonych na finansowanie przemysłu w budżecie państwowym na rok 1955.

Gdybyśmy założyli nawet w sposób przesadny, że po 30 latach roczna produkcja energii elektrycznej w Polsce wyniesie około 300 mld. kWh (licząc roczny przyrost produkcji w wysokości 10%) wówczas produkcja otrzymywana ze wszystkich naszych źródeł wodnych będzie stanowiła jeszcze 4,1% ogólnej produkcji, a przy tym będzie to cenna energia szczy-

towa. Jeżeli przyjąć, że elektrownie ciepłone i atomowe będą miały 6000 h rocznego wyzyskania mocy instalowanej, to moc ich wyniesie 48 000 MW, a więc 4500 MW w elektrowniach wodnych będzie stanowił 8,6% ogólnej mocy instalowanej. Łatwo można obliczyć, że do wyprodukowania 300 mld. kWh rocznie nie wystarczy nam całego naszego rocznego wydobycia węgla.

Jesteśmy u progu ery atomowej i możemy przypuszczać, że po trzydziestu latach spalanie w paleniskach kotłowych jednego z najcenniejszych surowców chemicznych, jakim jest niewątpliwie węgiel, będzie uważane za niedopuszczalne marnotrawstwo. Natomiast elektrownie wodne dziś wybudowane nie będą przestarzałe ani za 30, ani za 100 lat, gdyż wyzyskują niewyczerpalne zasoby przyrody, przetwarzając energię wodną w energię elektryczną ze sprawnością nie osiągalną dla elektrowni ciepłych.

Dotychczas jest u nas dosyć szeroko rozpowszechniony pogląd, że najgłówniejszą korzyścią, którą dają gospodarce narodowej elektrownie wodne, jest oszczędzenie węgla. Pogląd ten jest częściowo słuszny, jeżeli chodzi o elektrownie przepływowe, których znaczenie jest małe dla układu energetycznego. Wobec doniosłej dla energetyki roli elektrowni wodnych pracujących na szczyty, można uważać, że oszczędność węgla otrzymana w wyniku ich produkcji jest korzyścią wtórną, lecz zarazem bardzo cenną dla gospodarki narodowej. Zakładając zużycie w elektrowniach parowych 0,5 kg/kWh węgla umownego otrzymamy, że średnia roczna produkcja elektrowni wodnych, wynosząca $12,3 \cdot 10^9$ kWh, da roczną oszczędność $6,15 \cdot 10^6$ ton węgla umownego. Uwzględniając rzeczywistą kaloryczność naszego węgla i zwiększenie sprawności elektrowni parowych dzięki pracy szczytowej elektrowni wodnych, można przyjąć, że wyzyskanie całej energii wodnej pozwoli nam zaoszczędzić rocznie około 10 milionów ton węgla rzeczywistego, czyli roczną produkcję dziesięciu dużych kopalni węgla. Wartość tej produkcji jest większa od kwoty, która byłaby wydatkowana rocznie na wyzyskanie całej energii wodnej w planie trzydziestoletnim.

M. KRUSZYŃSKI
Instytut Elektrotechniki

Modernizacja produkcji wyrobów tłoczonych przez zastosowanie podgrzewania stykowo-promiennikowego

608.1:621.98:621.315.92

Treść. Jednym z istotnych czynników modernizacji produkcji wyrobów z tłoczyw termoutwardzalnych jest stosowanie podgrzewania wstępnego. Podgrzewarki pojemnościowe mają niewątpliwie zalety technologiczne, lecz są dość kosztowne, a ich produkcja jest częściowo uzależniona od dostaw zagranicznych. W warunkach krajowych celowe jest zastąpienie ich znacznie prostszymi i tańszymi podgrzewarkami stykowo-promiennikowymi, zapewniającymi, jak wykazały próby przemysłowe, równorzędne wyniki.

Модернизация производства изделий из термореактивных материалов путем применения лучисто-контактного подогрева. Одним из существенных факторов модернизации производства изделий из термореактивных материалов является применение предварительного подогрева. Генераторы высокой частоты обладают бесспорными технологическими достоинствами, однако обходятся сравнительно дорого и их производство зависит частично от заграничного импорта. В польских условиях является целесообразным применение более простых и более дешевых лучисто-контактных подогревателей, которые, как это бесспорно доказано производственными испытаниями, дают равнокачественные результаты.

The Modernisation of Production of Plastics Manufactures by the Application of Contact-Radiation Heating. One of the major factors of this modernisation is the application of preliminary heating. Capacitance heaters have undoubted technical advantages, but are fairly expensive and their production is partly dependent on foreign supplies. In the conditions prevailing in Poland, it is indicated to replace them by considerably simpler and cheaper contact-radiation heaters, which — as shown by tests made on an industrial scale — ensure equally good results.

Tłoczwa termoutwardzalne stały się jednym z podstawowych materiałów konstrukcyjnych w wielu gałęziach przemysłu, a zwłaszcza w przemyśle elektrotechnicznym. W związku z tym wzrosły również wymagania stawiane produkcji wyrobów z tych tłoczyw. Poza wymaganiami jakościowymi, jak trwałość, wytrzymałość mechaniczna, wytrzymałość dielektryczna, estetyczny wygląd i inne, dąży się do przyspieszenia i potania produkcji tych wyrobów.

Produkcja krajowa wyrobów z tłoczyw termoutwardzalnych nie stoi na odpowiednim poziomie technicznym. Pomimo wyposażenia w nowoczesne prasy większość fabryk nie ma należyte opracowanych warunków technologicznych procesu prasowania tłoczyw do poszczególnych wyrobów; podgrzewanie wstępne tłoczyw przeważnie nie jest stosowane. Wskutek tego fabryki produkują wyroby o zmniejszonej wytrzymałości mechanicznej i elektrycznej przy znacznej ilości braków i małej wydajności produkcji. Stan ten pociąga za sobą straty i jest tym jeszcze szkodliwy, że produkcja wyrobów tłoczowych nie nadąża za stale wzrastającym zapotrzebowaniem, co dotkliwie odczuwa szczególnie przemysł elektrotechniczny. W związku z tym podniesienie krajowej produkcji wyrobów tłoczowych na odpowiedni poziom stało się pilną potrzebą.

Główne trudności napotykane przy prasowaniu wyrobów

tłoczowych są związane z uzyskaniem równomiernego rozkładu temperatur w tłoczywie podczas procesu prasowania. Tłoczwa mają małą przewodność cieplną, toteż do równomiernego nagrzania i uplastycznienia tłoczwa w formie potrzebny jest dość długi okres czasu. Gdy tłoczywo nagrzewa się nierównomiernie, warstwy przypowierzchniowe, jako bardziej nagrzane, mogą ulec przedwczesnemu stwardnieniu, kiedy warstwy wewnętrzne nie stały się jeszcze dość plastyczne. Prowadzi to do zmniejszenia jednorodności i wytrzymałości tłoczwa, zwłaszcza w odniesieniu do większych wyprasek — o masie przekraczającej 50 g.

Najbardziej skutecznym środkiem stosowanym do usuwania powyższych trudności jest podgrzewanie wstępne tłoczyw. Do wyrobu tego rodzaju wyprasek stosuje się tłoczywo w postaci pastylek uprzednio uformowanych w tabletkarkach. Przy stosowaniu podgrzewania wstępnego uplastycznienie pastylek następuje przed umieszczeniem ich w formie, dzięki czemu czas prasowania ulega odpowiedniemu skróceniu. Poza tym, ponieważ podgrzewanie wstępne jest niezależne od kształtu formy, możliwe jest znacznie bardziej równomierne uplastycznienie pastylek, niż przy nagrzewaniu ich dopiero w samej formie. Przyczynia się to dodatkowo do skrócenia czasu prasowania oraz podwyższenia jakości wypraski.

Podgrzewarki pojemnościowe produkcji krajowej nie roz-

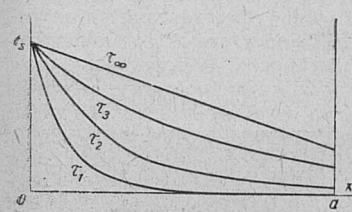
więzały problemu podgrzewania wstępnego tłoczyw. Wymagają one odpowiednio wyszkolonej obsługi, co nie zawsze daje się zapewnić w obecnej fazie naszego uprzemysłowienia, a brak części zamiennych, które niejednokrotnie trzeba sprowadzać z zagranicy (lampy generacyjne), powoduje, że podgrzewarki te wypadają często z ruchu. Należy również mieć na uwadze, że są to urządzenia kosztowne.

W tych warunkach powstała konieczność opracowania podgrzewarki prostej w konstrukcji, łatwej w użyciu i zapewniającej odpowiednią wydajność przy możliwie małych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Zagadnienie to rozwiązano w Zakładzie Elektrotechniki Instytutu Elektrotechniki przez zastosowanie stykowo-promiennikowej metody nagrzewania.

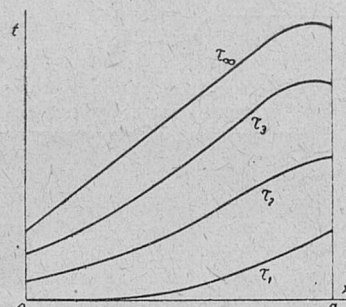
Pod względem zasady działania, podgrzewarkę stykowo-promiennikową można uważać za zespół dwóch grzejników: oporowego i promiennikowego, przebieg zaś zachodzących w niej zjawisk cieplnych traktować należy jako przebieg wypadkowy ze zjawisk nagrzewania oporowo-stykowego i nagrzewania promiennikowego.

Gdyby pastylki tłoczywne, umieszczone na płytowym grzejniku oporowym, były podgrzewane jedynie przez ten grzejnik (podgrzewanie oporowo-stykowe), to skrośny rozkład temperatur w pastylce w różnych okresach przedstawiałby się tak, jak podano na rys. 1.

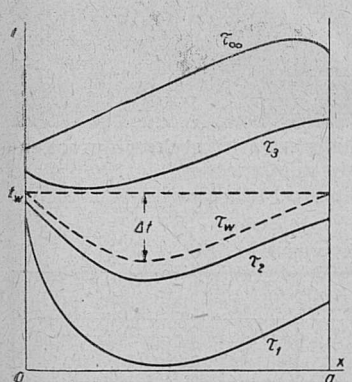
Na powierzchni pastylek stykających się z płytą grzejną,



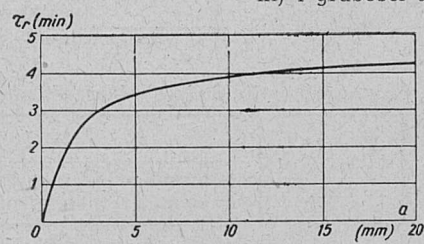
Rys. 1. Charakter skrośnego rozkładu temperatur przy jednostronnym podgrzewaniu oporowo-stykowym



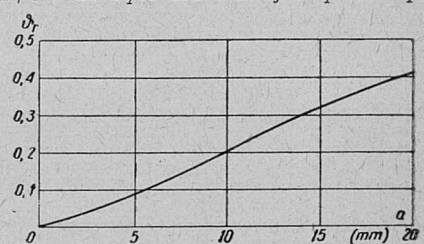
Rys. 2. Charakter skrośnego rozkładu temperatur przy jednostronnym podgrzewaniu promiennikowym



Rys. 3. Charakter skrośnego rozkładu temperatur przy podgrzewaniu stykowo-promiennikowym



Rys. 4. Zależność czasu podgrzewania od grubości pastylki



Rys. 5. Zależność współczynnika nierównomierności wyrównania temperatur od grubości pastylki

tj. na głębokości $x = 0$, temperatura od pierwszej chwili byłaby równa temperaturze t_s płyty grzejnej i utrzymywałaby się na tej wysokości przez cały czas podgrzewania. W głębi pastylki temperatura wzrastałaby z upływem czasu, przy czym krzywa rozkładu temperatur dążyłaby do linii prostej, odpowiadającej nieskończonej dużej wartości czasu nagrzewania τ_{∞} . Na przeciwległej powierzchni pastylki, tj. na głębokości $x = a$, temperatura wzrastałaby do wartości granicznej, odpowiadającej stanowi równowagi cieplnej. Rozkład temperatur w omawianym przypadku wynika jedynie z przewodzenia ciepła w tłoczywie.

Natomiast gdyby pastylki tłoczywne były podgrzewane jedynie przez umieszczoną nad nimi promieniującą płytę grzejną (podgrzewanie promiennikowe), to skrośny rozkład temperatur miałby charakter przedstawiony na rys. 2. Charakter krzywych wynika ze zjawisk wnikania energii promienistej w głąb tłoczywa i przewodzenia ciepła w tłoczywie.

Początkowo krzywe te miałyby przebieg odpowiadający głównie rozkładowi strumienia promienistego, przepuszczanego

w głąb tłoczywa. Z upływem czasu wpływ przewodzenia ciepłego stawałby się coraz wyraźniejszy, a po nieskończone długim czasie τ_{∞} krzywa rozkładu temperatur przechodziłaby w głębi pastylki w linię prostą, a przy powierzchni napromienianej wystąpiłoby charakterystyczne dla metody promiennikowej maksimum temperatury.

Do koncepcji podgrzewarki stykowo-promiennikowej dochodzi się przez skojarzenie obu omówionych sposobów podgrzewania. Gdyby zastosować obustronne podgrzewanie oporowo-stykowe, to z powodu obrzeża, które często tworzy się na jednej z powierzchni pastylek przy wykonywaniu ich w tabletkarce, i różnic grubości pastylek, nie byłoby dostatecznej styczności między pastylkami a jedną z płyt grzejnych, wskutek czego przewodzenie ciepła z tej płyty do pastylek byłoby utrudnione i nierównomierne. Natomiast gdyby zastosować obustronne podgrzewanie promiennikowe, to — wobec konieczności umieszczenia pastylek na jakimś wsporniku np. na siatce metalowej — dolne powierzchnie pastylek byłyby nagrzewane nierównomiernie.

Przez zastosowanie podgrzewania w układzie stykowo-promiennikowym unika się wad zarówno dwustronnego podgrzewania stykowego jak i dwustronnego podgrzewania promiennikowego. Umieszczenie pastylek na dolnej płycie grzejnej (stykowej) zapewnia nagrzewanie się ich przez przewodzenie przy dobrej styczności, a niejednakowa grubość pastylek nie stanowi przeszkody w napromienianiu ich przez górną płytę grzejną (promiennikową).

O charakterze podgrzewania stykowo-promiennikowego można wnosić nakładając na siebie przebiegi jednostronnego podgrzewania stykowego (rys. 1) i promiennikowego (rys. 2). Można oczekiwać, że przy podgrzewaniu stykowo-promiennikowym rozkład temperatur w podgrzewanej pastylce będzie się przedstawiał jak na rys. 3. Jak widać z przebiegu rodziny krzywych $t = f(x)$, po pewnym czasie podgrzewania (czas wyrównawczy τ_w) nastąpi zrównanie się temperatur (temperatura wyrównawcza t_w) na obu powierzchniach pastylki. Jest to chwila, w której należy zakończyć podgrzewanie. Stosunek największej różnicy temperatur Δt do temperatury wyrównawczej t_w pozwoli określić współczynnik nierównomierności wyrównania temperatur θ_w w podgrzewanej pastylce. Ten przypuszczalny charakter rozkładu temperatur potwierdziły pomiary przeprowadzone w laboratoryjnym układzie grzejnym *).

Określając pomiarowo przebieg krzywych skrośnego rozkładu temperatur $t = f(x)$ przy różnych wartościach mocy P podgrzewarki, współczynnika rozkładu mocy k (stosunek mocy stykowej płyty grzejnej do całkowitej mocy podgrzewarki) i grubości a pastylki, można było dla każdej z tych krzy-

wych określić, po jakim czasie wyrównawczym τ_w osiąga się temperaturę wyrównawczą t_w i przy jakim współczynniku nierównomierności wyrównania temperatur θ_w . Z kolei pozwoliło to ustalić przebieg krzywych wyrównawczych $t_w = f(k)$, $\tau_w = f(k)$ i $\theta_w = f(k)$ przy różnych wartościach mocy P , podgrzewarki i grubości a pastylki.

Biorąc pod uwagę, że temperatura wyrównawcza t_w powinna być równa temperaturze roboczej t_r , określonej przez wymagania technologiczne dla danego rodzaju tłoczywa, wyznaczono z krzywych wyrównawczych roboczy współczynnik rozkładu mocy k_r , roboczy czas podgrzewania τ_r oraz roboczy współczynnik nierównomierności wyrównania temperatur θ_r — w zależności od mocy P podgrzewarki i grubości a pastylki.

Badania przeprowadzono nad powszechnie stosowanym tłoczywem K-18-2, dla którego przyjęto wartość temperatury roboczej podgrzewania $t_r = 140^{\circ}\text{C}$. Z otrzymanych zależności

* K r u s z y ń s k i M. Podgrzewanie pastylek bakelitowych metoda stykowo-promiennikowa, Biuletyn Instytutu Elektrotechniki, 1954, nr 5 (Przegl. Elektr., 1954, z. 9, str. 402).

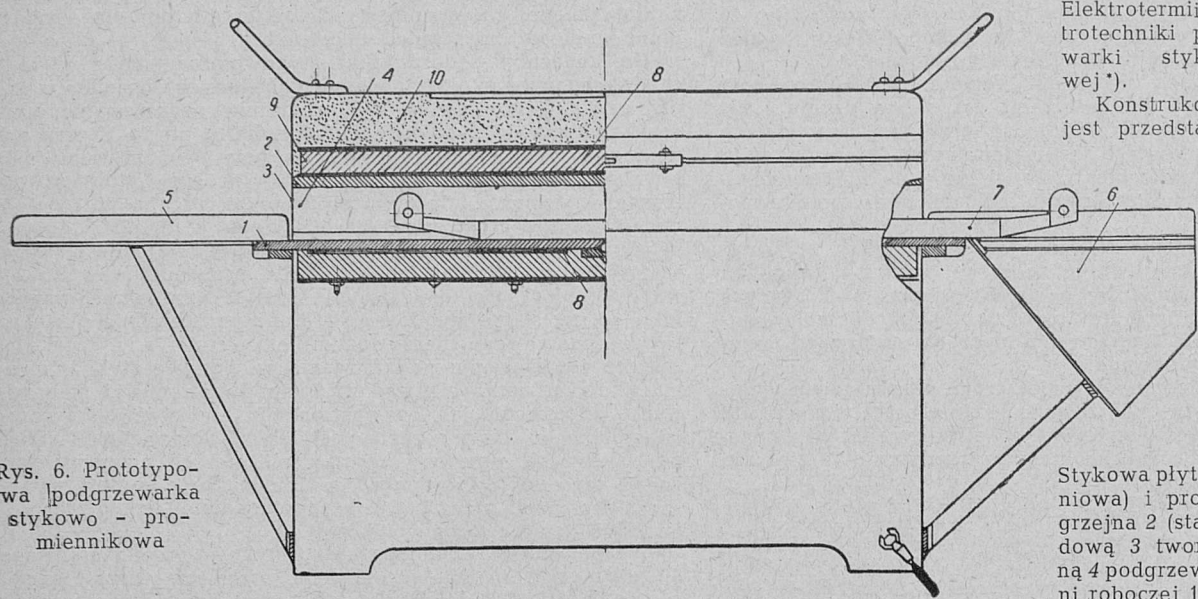
$\tau_r = f(P, a)$ i $\theta_r = f(P, a)$ można było określić przy jakiej nierównomierności wyrównania temperatur i po jakim czasie podgrzewania tłoczywo osiąga temperaturę roboczą.

Analiza tych zależności wykazała*), że przy powierzchni

scu podgrzewanej w tych warunkach pastylki tłoczywnej nie jest niższa od temperatury roboczej 140°C o więcej niż 10%, tj. 14°C.

Na podstawie powyższych założeń zbudowano w Zakładzie Elektrotechniki Instytutu Elektrotechniki prototyp podgrzewarki stykowo-promiennikowej*).

Konstrukcja podgrzewarki jest przedstawiona na rys. 6.



Rys. 6. Prototypowa podgrzewarka stykowo-promiennikowa

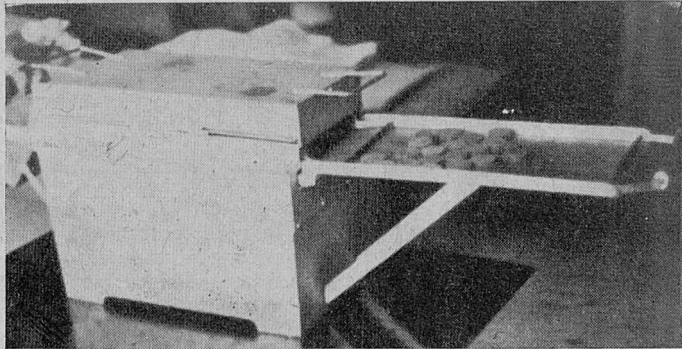
Stykowa płytka grzewcza 1 (alumi-niowa) i promiennikowa płytka grzewcza 2 (stalowa) wraz z obudową 3 tworzą komorę grze-ną 4 podgrzewarki o powierz-chni roboczej 180 mm × 310 mm.

roboczej podgrzewarki 180 mm × 310 mm i odległości między płytami grzejnymi 30 mm najkorzystniejsza wartość mocy podgrzewarki wynosi 700 W. Przy tej mocy zależność $\tau_r = f(a)$ ma przebieg przedstawiony na rys. 4, a zależność $\theta_r = f(a)$ ma przebiegi jak na rys. 5.

Jako wartość dopuszczalną współczynnika θ_r przyjęto 0,1, co jest równoznaczne z wymaganiem, żeby temperatura pa-stylki zawierała się w granicach od 126 do 140°C. Odpowiada to wymaganiom technologicznym podgrzewania wstępnego tłoczyw.

Z krzywej $\theta_r = f(a)$ na rys. 5 wynika, że wartości $\theta_r = 0,1$ odpowiada wartość $a = 5,5$ mm, a z krzywej $\tau_r = f(a)$ (rys. 4), że wartości $a = 5,5$ odpowiada wartość $\tau_r = 3,5$ min. Oznacza to, że przy podgrzewaniu wstępnym tłoczywa K-18-2 metodą promiennikową najkorzystniej jest stosować pastylki o gru-bości nie przekraczającej 5 — 6 mm, przy czym czas podgrze-wania nie przekracza 3,5 min, a temperatura w żadnym miej-

Konstrukcyjnie górna płyta stanowi część pokrywy, otwieranej w razie potrzeby oczyszczenia wnętrza komory. U wlotu



Rys. 7. Wygląd zewnętrzny podgrzewarki stykowo-promiennikowej (w stanie zamkniętym)

*) Zaprojektowany przez mgra inż. O. Klozego.

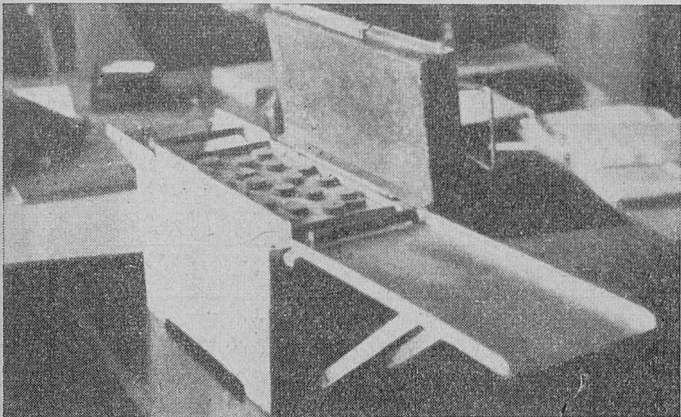
*) K r u s z y ń s k i M. Określenie optymalnych warunków podgrzewania pastylek tłoczywowych metodą stykowo-promiennikową, (Prace Instytutu Elektrotechniki, zesz. 17/1955, w druku).

T a b l i c a I. Wyniki prób wykonanych w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IEL

Lp.	Warunki	Jednostki	Wartości dopuszczalne	Wyniki prób				
				bez podgrzewania	z podgrzewaniem stykowo-promiennik.	z podgrzewaniem pojemnościowym		
1	Grubość pastylki	mm	—	8	8	8	8	8
2	Czas podgrzewania	min	—	—	3	3	1	1
3	Czas prasowania	min	—	6	3	3	3	3
4	Temperatura prasowania	°C	—	155 ± 5	155 ± 5	180 ± 5	155 ± 5	180 ± 5
Własności								
1	Ciężar właściwy	G/cm³	1,3 — 1,4	1,32	1,35	1,35	1,35	1,35
2	Wodochłonność	%	<0,3	0,154	0,191	0,176	0,158	0,122
3	Udarność (próba młotem Charpy)	kGcm/cm²	>4,0	4,84	9,06	10,39	9,17	8,67
4	Wytrzymałość na zginanie	kG/cm²	>550	544	606	616	588	612
5	Oporność właściwa powierzchniowa	Ωcm/cm	>1,0 · 10⁹	41 · 10⁹	110 · 10⁹	470 · 10⁹	420 · 10⁹	200 · 10⁹
6	a) po 48 godz. klimatyzacji w 65% wilgotności wzgl.	" "	>1,0 · 10⁹	3,2 · 10⁹	2,7 · 10⁹	5,6 · 10⁹	3,8 · 10⁹	3,8 · 10⁹
	b) po 48 godz. klimatyzacji w 100% wilgotn. wzgl.			6,7 · 10⁹	31 · 10⁹	150 · 10⁹	88 · 10⁹	69 · 10⁹
7	a) jak w p. 5a	Ωcm	>1,0 · 10⁹	0,77 · 10⁹	5,6 · 10⁹	12 · 10⁹	16 · 10⁹	3,4 · 10⁹
	b) jak w p. 5b			11,1	21,7	22,7	17,0	16,0
8	Wytrzymałość dielektryczna	kV/mm	>10	119	148	136	125	143
8	Wytrzymałość cieplna wg Martensa	°C	>110	119	148	136	125	143

komory grzejnej znajduje się półka 5, na której umieszcza się pastylki przeznaczone do podgrzewania, a u wylotu lej zsypowy 6. Za pomocą ruchomej ramki 7 przesuwają się ręcznie pastylki z półki do komory, a po podgrzaniu — do leja zsypowego, skąd pobiera się je do dalszego przerobu. Elementy grzejne 8 w postaci przewodu grzejnego nawiniętego na mikanicie, są izolowane od obudowy tekturą azbestową 9 i watą żużlową 10 w celu zmniejszenia strat ciepłych. Napięcie znamionowe podgrzewarki 220 V, moc dolnej płyty (stykowej) 110 W, moc górnej płyty (promiennikowej) 600 W.

Według powyższego opisu wykonano dwie podgrzewarki prototypowe (rys. 7 i 8). Dla wypróbowania w warunkach przemysłowych jedną z nich przekazano do Zakładu A-13 w Łodzi, drugą zaś do Zakładu A-19 w Wierbce. Prócz tego na jednej z tych podgrzewarek wykonano w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu próby porównawcze przy zastosowaniu podgrze-



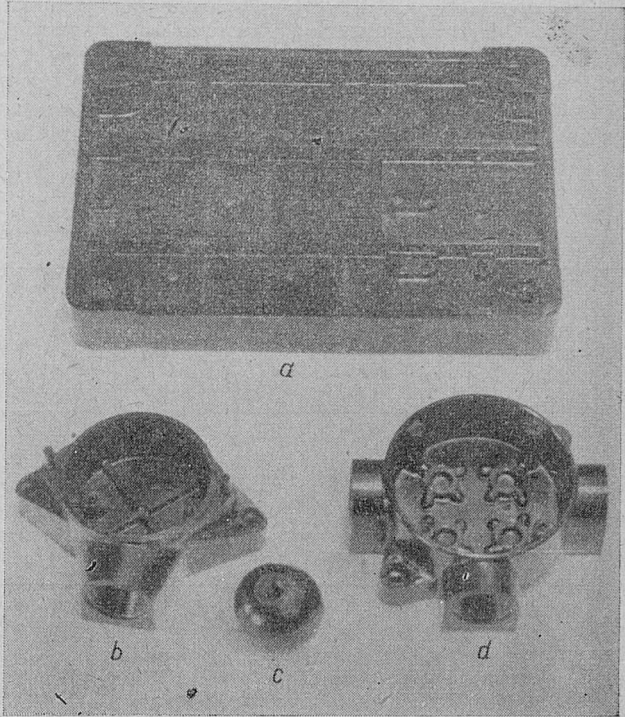
Rys. 8. Wygląd zewnętrzny podgrzewarki stykowo-promiennikowej (z otwartą pokrywą)

warki stykowo-promiennikowej i podgrzewarki pojemnościowej.

Próby w Zakładzie Materiałoznawstwa IEL, wykonane na próbkach znormalizowanych (uzyskanych bez podgrzewania, z podgrzewaniem stykowo-promiennikowym i z podgrzewaniem pojemnościowym), dały wyniki podane w tabl. I.

W zakładzie A-13 jako wypraski do prób wzięto: gałkę o średnicy 35 mm i podstawę stycznika, a w Zakładzie A-19 kadłub hermetyczny i puszkę rozgałęźną (rys. 9), wykonane

Otrzymane wyniki wskazują przede wszystkim na korzyści, które uzyskuje się w produkcji wyrobów tłoczonych przy zastosowaniu podgrzewania wstępnego. Udarność i wytrzymałość na zginanie *) znacznie wzrastają. Poprawiają się też



Rys. 9. Wyroby tłoczone wykonane z zastosowaniem podgrzewania stykowo-promiennikowego

- a — podstawa stycznika
- b — kadłub hermetyczny
- c — gałka o średn. 35 mm
- d — puszka rozgałęźna

wyrażnie własności elektryczne (oporność, wytrzymałość dielektryczna). Wyniki te należy uważać za pomyślne tym bardziej, że próby przeprowadzono w warunkach gorszych niż najkorzystniejsze (grubość pastylek wynosiła 6÷10 mm zamiast 5 mm, przy czasie podgrzewania niewiele większym od najkorzystniejszego).

T a b l i c a III. Wyniki prób w Zakładzie A-13 na wypraskach wykonanych w Zakładzie A-13

Lp.	Warunki	Jednostki	Wartości dopuszczalne	Gałka o średn. 35 mm		Podstawa stycznika	
				bez podgrzewania	z podgrzewaniem stykowo-promiennik.	bez podgrzewania	z podgrzewaniem stykowo-promiennik.
1	Grubość pastylki	mm		6	6	6	6
2	Czas podgrzewania	min.		—	4	—	4
3	Czas prasowania	min.		11	6	6	4
4	Temperatura prasowania	°C		160 ± 5	160 ± 5	160 ± 5	160 ± 5
Własności							
1	Ciężar właściwy	G/cm³	1,3 — 1,4	1,3	1,33	1,41	1,33
2	Wodochłonność	%	< 0,3	0,091	0,087	0,103	0,087
3	Wytrzymałość na zginanie dynamiczne (próba na dynstacie)	kGcm/cm²	> 1,4	1,31	2,04	2,86	3,90
4	Wytrzymałość na zginanie statyczne (próba na dynstacie)	kG/cm²	> 25	25,1	30,3	40,0	41,4
5	Współczynnik polikondensacji		> 4	4,96	4,44	5,79	5,46

bez podgrzewania i z podgrzewaniem stykowo-promiennikowym.

Z wyprasek tych wycięto próbki w postaci płytek o określonych wymiarach. Próby przeprowadzono w Zakładzie A-13 w Łodzi. Wyniki prób podane są w tabl. II i III.

*) Wyniki liczbowe prób młotem Charpy i prób na dystansie są ze sobą nieporównywalne, ponieważ próbki w nich używane mają odmienne kształty. Natomiast istotne znaczenie w omawianym temacie ma porównanie ze sobą wartości uzyskanych przy zastosowaniu podgrzewania z wartościami uzyskanymi bez podgrzewania i wartościami dopuszczalnymi.

W próbach wykonanych w Zakładzie Materiałoznawstwa IEL wyniki dla podgrzewania stykowo-promiennikowego wypadły korzystniej niż dla podgrzewania pojemnościowego.

Charakterystyczne jest też to, że i podwyższenie temperatury prasowania *) daje lepsze wyniki przy podgrzewaniu stykowo-promiennikowym niż przy podgrzewaniu pojemnościowym. Nie należy z tego jednak wysnuwać wniosku ogólnego, że stykowo-promiennikowa metoda podgrzewania jest lepsza niż metoda pojemnościowa. Do tego potrzebne były by próby porównawcze, w których podgrzewanie pojemnościowe przebiegałoby w najkorzystniejszych dla tej metody warunkach.

warki stykowo-promiennikowej musiałaby być 3 razy większa od pojemności podgrzewarki pojemnościowej.

W tym stanie rzeczy, zagadnienie sprowadza się do porównania kosztów budowy podgrzewarek różnego rodzaju i kosztów zużycia energii elektrycznej. Jeżeli wziąć pod uwagę, że koszt budowy podgrzewarki stykowo-promiennikowej jest rzędu 1000 — 2000 zł, a koszt podgrzewarki pojemnościowej wynosi ok. 35 000 zł, to jasne jest, że zainstalowanie nawet kilku podgrzewarek stykowo-promiennikowych wypadnie znacznie taniej niż jednej podgrzewarki pojemnościowej o równorzędnej przełotności.

Tablica III. Wyniki prób w Zakładzie A-13 na wypraskach wykonanych w Zakładzie A-19

Lp.	Warunki	Jednostki	Wartości dopuszczalne	Kadłub hermetyczny		Puszka rozgałęźna	
				bez podgrzewania	z podgrzewaniem stykowo-promiennik.	bez podgrzewania	z podgrzewaniem stykowo-promiennik.
1	Grubość pastylki	mm		10	10	10	10
2	Czas podgrzewania	min.		—	5	—	5
3	Czas prasowania	min.		2	1,5	2	1,5
4	Temperatura prasowania	°C		160 ± 5	160 ± 5	160 ± 5	160 ± 5
	Własności						
1	Ciężar właściwy	G/cm ³	1,3 — 1,4	1,334	1,314	1,327	1,34
2	Wodochłonność	%	< 0,3	0,311	0,343	0,456	0,425
3	Wytrzymałość na zginanie dynamiczne (próba na dynstacie)	kGcm/cm ²	> 1,4	2,44	2,6	2,8	3,18
4	Wytrzymałość na zginanie statyczne (próba na dynstacie)	kG/cm ²	> 25	35,2	38,4	35,5	44,5
5	Współczynnik polikondensacji		> 4	4,27	4,23	4,06	4,45

Jeżeli jednak wziąć pod uwagę, że zarówno moc wyjściowa użytej podgrzewarki pojemnościowej (1,2 kW), jak i czas podgrzewania (1 min), odpowiadają przeciętnym danym z praktyki podgrzewania pojemnościowego w przemyśle tłoczynym, to można stwierdzić, że stykowo-promiennikowa metoda podgrzewania zapewnia poprawę własności tłoczywa, tego samego rzędu, co metoda pojemnościowa **).

Największe znaczenie w omawianym zagadnieniu ma jednak czynnik czasu. Przy ocenie różnych metod podgrzewania tłoczyw można się często spotkać z błędnym poglądem, że skrócenie czasu podgrzewania zwiększą przełotność produkcji. Tymczasem w rzeczywistości o przełotności produkcji wyrobów tłoczynnych rozstrzyga przełotność pras, toteż podgrzewanie wstępne ma na celu nie skrócenie czasu obróbki tłoczywa, lecz skrócenie czasu przebywania (utwardzanie) tłoczywa w prasie. Czynnności odbywające się poza prasą (podgrzewanie wstępne) nie zmniejszają przełotności prasy, gdyż — nawet jeżeli są zbyt długotrwałe — można zawsze osiągnąć przełotność podgrzewania równą przełotności prasy przez zainstalowanie odpowiednio dużej liczby podgrzewarek. Tak np. jeżeli przy podgrzewaniu stykowo-promiennikowym w ciągu 3 min, czas prasowania wynosi 3 min, a przy podgrzewaniu pojemnościowym w ciągu 1 min, czas prasowania wynosi również 3 min (dane zaczerpnięte z opisanych wyżej prób), to przełotność prasy w obu przypadkach jest jednakowa (wobec jednakowego czasu prasowania), a tylko pojemność podgrze-

Przy mocy wyjściowej 1,2 kW, którą miała podgrzewarka pojemnościowa użyta do prób (moc wyjściowa rzędu 1 kW jest typowa dla generatorów elektronicznych, stosowanych do podgrzewania tłoczyw), moc wejściową można oceniać na ok. 2,4 kW, przyjmując sprawność generatorów elektronicznych równą około 0,5. Przy czasie podgrzewania 1 min energia zużyta wynosi 2,4 kW.min.

Przy mocy 0,7 kW podgrzewarki stykowo-promiennikowej, mającej w przybliżeniu taką samą pojemność wsadową jak podgrzewarka pojemnościowa, w czasie podgrzewania 3 min. energia zużyta wynosi 2,1 kW. min.

Jak wynika z powyższego, energia zużyta jest tego samego rzędu w podgrzewarkach obu rodzajów, a zatem zastosowanie podgrzewarki stykowo-promiennikowej nie pociąga za sobą zwiększenia zużycia energii, pomimo dłuższego czasu podgrzewania.

Przytoczone wyżej porównanie pozwala stwierdzić, że zastosowanie podgrzewarek, zarówno stykowo-promiennikowej jak i pojemnościowej, przyspiesza produkcję wyrobów tłoczynnych w przybliżeniu dwukrotnie. Pod względem zużycia energii i poprawy jakości wyrobów obydwa rodzaje podgrzewarek należy uważać za równorzędne. Natomiast podgrzewarki stykowo-promiennikowe mają tę wyższość nad podgrzewarkami pojemnościowymi, że są znacznie tańsze i — co jest nie mniej ważne — pewniejsze w eksploatacji, nie zawierają bowiem części ulegających łatwo zużyciu lub uszkodzeniu.

Prototypowe podgrzewarki stykowo-promiennikowe, zainstalowane w wymienionych wyżej zakładach przemysłowych, zyskały sobie wkrótce — dzięki prostocie obsługi i niezawodności pracy — uznanie załogi.

Wykonanie odpowiedniej liczby podgrzewarek omawianego typu i zaopatrzenie zakładów przemysłowych, wytwarzających wyroby z tłoczyw termoutwardzalnych, w potrzebne do tego tabletkarki, co oczywiście wymagałoby odpowiednich zarządzeń w ramach akcji wprowadzenia postępu technicznego, przyczyniłoby się w rozstrzygającym stopniu do potania, przyspieszenia i polepszenia produkcji tych wyrobów.

*) Zastosowanie podgrzewania wstępnego pozwala na podwyższenie temperatury prasowania, na co wskazuje się też w literaturze (np. J. Sz. P. i k. Proizvodstvo izděl'ij iz plasticeskich mass, Goschimizdat, 1954).

**) Badania teoretyczne, przeprowadzone w Zakładzie Elektrotechniki IEL nad plastycznością, jako wskaźnikiem skuteczności podgrzewania tłoczyw różnymi metodami elektrotermicznymi dały podobne wyniki (Por. T. Skrzypek. „Plastyczność tłoczywa jako kryterium wyboru najkorzystniejszej metody elektrotermicznej podgrzewania wstępnego tłoczyw“, Prace Instytutu Elektrotechniki, zesz. 17/1955).

MGR INŻ. ZDZISŁAW POMYKALSKI
M-3 Łódź

Metody suszenia transformatorów i pomiary sprawdzające

621.3.035.63:621.314.2:681.2.089

Treść. Klasyfikacja sposobów suszenia transformatorów. Metody transformatora jako całości. Metody suszenia części wymo-
walnej transformatora. Rola i skuteczność próżni. Pomiary sprawdzające: próby oleju, pomiar bezwzględnej wartości oporności izo-
lacji oraz pomiar współczynnika absorpcji, pomiar pojemności w funkcji częstotliwości i temperatury, pomiar współczynnika strat
dielektrycznych, pomiar prądu przewodzenia przy wyprostowanym napięciu. Wnioski.

Методы сушки трансформаторов и контрольные измерения. Классификация способов сушки. Методы сушки трансформатора в целом.
Методы сушки вынимаемой части. Роль и эффективность вакуума. Контрольные измерения: испытание масла, измерение абсолютного значения со-
противления изоляции, измерение коэффициента абсорбции, измерение емкости в функции частоты и температуры, измерение коэффициента диэлектри-
ческих потерь, измерение тока при выпрямленном напряжении. Выводы.

Methods of Drying Transformers and Controlling Measurements. Classification of such methods. Methods of drying transfor-
mers as a whole. Methods of drying the removable part of a transformer. The role and efficacy of vacuum. Controlling measurements:
oil testing measurement of the absolute value of insulation resistance, measurement of the absorption coefficient; measurement of ca-
pacity as a function of frequency and temperature; measurement of dielectric losses, measurement of conducting current at rectified
voltage. Conclusions.

Woda w oleju transformatora, obniżająca własności rucho-
we transformatora, może znaleźć się w transformatorze trzema
drogami: 1) przez przypadkowe wleki z zewnątrz, 2) wsku-
tek chemicznych reakcji zachodzących w oleju, 3) przez
absorpcję pary wodnej z atmosfery. Instrukcja E-002/1949
omawia w punkcie 3.7.1. warunki, których stwierdzenie wy-
maga poddania transformatora suszeniu.

Suszenie wszelkiego materiału jest uwarunkowane dyfuzją
wilgoci (w postaci pary) z powierzchni suszonego materiału
do otaczającego ośrodka; proces ten nazywamy dyfuzją ze-
wnętrzną. Poprzedza go proces ruchu wilgoci w materiale
zwany dyfuzją wewnętrzną, a polegający na przemieszczaniu
się wilgoci wewnątrz materiału, uwarunkowanym istnieniem
gradientu wilgotności, ciśnienia i temperatury. Przesuwanie
się wilgoci w materiale odbywa się w ten kierunek, w którym
obniża się wilgotność, ciśnienie i temperatura.

Z powyższego wynika, że istnieją dwa skuteczne środki
przyspieszenia procesu suszenia transformatora:

1) wzmożenie procesu odpływu wilgoci z powierzchni ma-
teriału suszonego (izolacji) do otaczającego ośrodka, tzn.
wzmożenie procesu zewnętrznej dyfuzji przez intensywne od-
bieranie wilgoci z ośrodka;

2) przyspieszenie procesu przemieszczania się wilgoci, za-
rtającej w materiale izolacyjnym, przez okresowe ochładzanie
otaczającego ośrodka, wówczas bowiem obniża się tempera-
tura skrajnych, zewnętrznych warstw izolacji w stosunku do
warstw wewnętrznych i wilgoć — wskutek dyfuzji termicz-
nej — zacznie intensywnie przesuwać się do warstw ze-
wnętrzych. Po wyrównaniu się temperatur w materiale, cze-
mu towarzyszy ustalenie się gradientu wilgotności, należy
ośrodek ponownie podgrzać aż do ustalenia się temperatury
na poziomie dopuszczalnym dla danego materiału i danych
warunków (lecz, oczywiście, wyższym od tego, przy którym
ustało wydzielanie się wilgoci), po czym znowu obniżamy
temperaturę otoczenia materiału, powodując w ten sposób
zmianę gradientu temperatury i wilgotności; skutkiem tego
wilgoć przesuwą się w kierunku, umożliwiającym suszenie, tj.
na zewnątrz, a nie w głąb materiału.

Proces ten powinien być powtarzany póty, póki nie ustanie
wydzielanie się wilgoci z materiału suszonego.

Metody suszenia transformatorów można podzielić ogólnie
na dwie grupy: 1) suszenia transformatora jako całości (rdzeń,
uzwojenie, olej), 2) suszenie części wymo-
walnej transformato-
ra.

2. Metody suszenia transformatora jako całości.

1) Podgrzewanie (zwane częstokroć gotowaniem) oleju cie-
plem strat zwarcia, a więc wytwarzaniem wewnątrz transfor-
matora z umożliwieniem swobodnego ujścia odparowującej
wilgoci na zewnątrz; temperatura oleju w górnej warstwie
nie może przy tym sposobie suszenia przekroczyć 90°C.

2) Podgrzewanie oleju przez przepompowywanie go przez
elementy grzejne (a więc podgrzewanie ciepłem wytwarzanym
na zewnątrz transformatora) przy jednoczesnym umożliwieniu
swobodnego ujścia odparowującej wilgoci poza transfor-
mator; temperatura oleju nie może przekroczyć 100°C; w celu
przyspieszenia przejścia wilgoci z izolacji do oleju korzystne
jest podgrzewanie uzwojenia prądem zwarcia w okresach
przerw w pompowaniu oleju.

3) Podgrzewanie oleju jak w punkcie 1) lub 2) przy jedno-
czesnym wytworzeniu przestrzeni z próżnią rzędu 200÷
300 mm Hg (560÷460 mm Hg ciśnienia bezwzględnego) pod

pokrywą transformatora nad zanurzoną w oleju częścią wy-
mawalną; wilgoć w postaci pary zostaje wyssana przez pompę
próżniową spod pokrywy.

4) Filtrowanie i odwirowywanie oleju, zabieranego z dol-
nej części kadzi i przepompowywanego przez prasę filtracyj-
ną lub wirówkę do górnej części kadzi; przyspieszenie proce-
su odwilżenia oleju osiągnie się przez podgrzanie go do
temperatury 40÷60°C.

Zasadniczą wadą tych wszystkich metod suszenia transfor-
matora przez olej jest długi czas ich trwania.

W trzech pierwszych metodach, wykonywanych przy mak-
symalnej temperaturze oleju 90 czy 100°C, długotrwałość pro-
cesu suszenia powoduje szybkie starzenie się oleju, wskutek
czego trzeba go wymienić po zakończeniu suszenia. Z tych
względów metody suszenia transformatorów przez olej, nie
gdyś powszechnie stosowane, wychodzą obecnie z użycia.

Suszenie transformatora przez filtrowanie i odwirowywa-
nie oleju jest z natury rzeczy bardzo powolne i pełnego —
dostatecznego — wysuszenia w ten sposób osiągnąć nie
można.

W Związku Radzieckim już w 1945 r. zabroniło Ministerstwo
Stacji Elektrycznych suszenia transformatorów przez olej
zalecając metody suszenia części wymo-
walnej transformato-
ra przy oddzielnym suszeniu oleju.

Obydwie metody — filtrowania i odwirowywania — zna-
lazły pełne zastosowanie przy suszeniu i oczyszczaniu oleju

Filtrowanie ma na celu usunięcie wody i zanieczyszczeń;
staje się ono bardziej skuteczne przy podgrzaniu oleju, a więc
przy zmniejszeniu jego lepkości. Zbyt wysoka temperatura
oleju jest tu jednak niepożądana, gdyż pogarsza się wówczas
chłonność wilgoci przez bibułę filtracyjną (przy 100°C tem-
peratury oleju papier przestaje w ogóle chłonić wilgoć
z oleju). Najkorzystniejsza jest tu temperatura 40÷50°C.

Odwirowywanie jest najefektywniejsze w temperaturach
45÷55°C. W zbyt zimnym oleju trudno jest oddzielić zanie-
czyszczenia, a w temperaturze powyżej 70°C trudno jest od-
dzielić wodę z powodu zaczynającego się procesu parowania
i emulgowania wody w oleju. Przy odwirowywaniu olej po-
dlega wzburzeniu, miesza się z powietrzem i wskutek tego
ulegają znacznemu pogorszeniu jego własności; intensywne
utlenianie się oleju prowadzi w konsekwencji do wytwarza-
nia się kwasów i wody. Proces odwirowywania powinien być
możliwie krótki, a stąd wynika konieczność stosowania wi-
rówek o odpowiednio dużej wydajności.

W celu zapobiegnięcia burzeniu się oleju i pochłanianiu
przez niego większych ilości powietrza stosuje się wirówk
próżniowe.

Wirówki mają znacznie większą wydajność niż prasy fil-
tracyjne i powodują — przy dołączeniu ich do transformato-
ra — powstanie silnych prądów wewnątrz kadzi. Okoliczność
ta może stanowić niebezpieczeństwo przy odwirowywaniu
oleju transformatora znajdującego się pod napięciem, jest na-
tomiast korzystna przy oczyszczaniu oleju transformatora wy-
łączonego spod napięcia, gdyż umożliwia oczyszczenie uzwo-
jenia z osadów.

Gdy zachodzi konieczność wysuszenia i oczyszczenia oleju
dużego transformatora w jego kadzi za pomocą wirówki, nale-
ży dobrać jej wydajność (w l/h) tak, by wynosiła ona nie
mniej niż 1/3 objętości kadzi.

W wytwórni daje się pierwszeństwo metodzie suszenia
i oczyszczania oleju w prasie filtracyjnej z zastosowaniem
próżni, natomiast wirowanie oleju może mieć pełne zastoso-
wanie w eksploatacji.

3. Metody suszenia części wymowlanej transformatora.

Metody suszenia części wymowlanej transformatora można podzielić między innymi z punktu widzenia czynnika powodującego wydzielanie się wilgoci na dwie grupy:

- 1) metody suszenia, w których używa się doprowadzanego z zewnątrz gorącego suchego powietrza,
- 2) metody suszenia w próżni z jednoczesnym podgrzewaniem wnętrza zbiornika, w którym umieszcza się część wymowlaną transformatora.

Suszenie transformatora powietrzem doprowadzanym z zewnątrz. Suszenie według tej metody przeprowadzane bywa w kadzi transformatora lub też w specjalnej do tego celu przystosowanej skrzyni; konieczne tu jest ciepłe izolowanie kadzi (skrzyni) od otoczenia w celu uniknięcia zbyt dużych strat ciepłych i osiągnięcia temperatury wewnątrz zbiornika równej najwyżej 100°C. Maksymalna temperatura gorącego powietrza przy wlocie do zbiornika nie może przekraczać 105°C.

Podgrzane poza zbiornikiem powietrze wlatwa się przez osuszacz sylikażelowy do otworu w dolnej części zbiornika (kadzi), a wypuszcza przez otwór u góry zbiornika na jego przeciwną stronę tak, że powietrze gorące owiewa na swej drodze uzwojenie transformatora, podgrzewa je i unosi ze sobą wydzielające się cząstki wilgoci.

Sposób ten nie zapewnia równomiernego podgrzania całości uzwojenia; górna część uzwojenia suszy się lepiej, a nawet jest narażona na przegrzanie, na dolnej części zbiera się wilgoć.

Wadami tej metody są: a) długi czas jej trwania i w związku z tym szybkie starzenie się izolacji, b) duży rozchód energii, powietrze bowiem podgrzewa się przez przepuszczanie go przez węzownicę parową lub grzejniki elektryczne.

Suszenie części wymowlanej transformatora we własnej kadzi stratami w żelazie kadzi z zastosowaniem próżni. Metoda ta jest ekonomiczniejsza od poprzedniej. Na ścianki kadzi, pokryte izolacją cieplną, nawija się odpowiednio dobrane uzwojenie, zasilane z sieci niskiego napięcia. Dno kadzi podgrzewa się od dołu grzejnikami w celu uniemożliwienia skraplania się wilgoci. Po osiągnięciu temperatury rzędu 95 do 100°C we wnętrzu kadzi i utrzymaniu jej przez okres czasu, zależny od wielkości transformatora (okres nagrzewania), wytwarza się w kadzi przy niezmienniej temperaturze próżnię rzędu 150 mm słupa rtęci (760 — 150 = 610 mm słupa Hg ciśnienia abs.). W tym okresie następuje odparowanie wilgoci.

Po stwierdzeniu zmniejszenia się ilości kondensatu u wylotu skraplacza podnosi się stopniowo próżnię do wartości dopuszczalnej dla konstrukcji kadzi; wtedy następuje okres właściwego suszenia. Czas trwania suszenia tą metodą jest dość długi; w transformatorach o znacznym posunięciu stopniu zawilgocenia może sięgać 300 i więcej godzin; zależy on, oczywiście, od parametrów temperatury, wartości próżni i wspomnianego już stopnia zawilgocenia izolacji transformatora. Ten ostatni czynnik powoduje już znaczne rozbieżności wyników, gdyż zależy on od sposobów magazynowania materiałów izolacyjnych, szybkości wytwarzania transformatora i pory roku (klimat), w której transformator jest produkowany, gdy chodzi o transformatory opuszczające wytwórnię. Bardzo zasadniczą rolę w tej metodzie gra próżnia.

Rola i skuteczność próżni. Ze zmniejszeniem się ciśnienia w otaczającym ośrodku prędkość odparowania wilgoci wzrasta, zwiększa się też tempo wewnętrznej dyfuzji cieplnej i to zarówno z powodu wzrostu gradientu ciśnienia na drodze przesuwania się wilgoci, jak i z powodu obniżenia się temperatury parowania wilgoci, zawartej w izolacji.

Ma to zasadnicze znaczenie dla izolacji, która wtedy w mniejszym stopniu podlega działaniu wysokiej temperatury niż przy suszeniu bezpróżniowym, a przez to mniej się starzeje. Suszenie próżniowe daje dobre rezultaty wtedy, kiedy proces suszenia odbywa się przy dużej próżni, wytwarzanej pompą próżniową o wydajności 50 do 200 m³/h. Dobre rezultaty suszenia zanotowano już przy wydajności pompy rzędu 20 m³/h i co najmniej 50-procentowej próżni.

Zastosowanie w praktyce suszenia próżniowego przy stosunkowo niewielkiej próżni (100÷200 mm sł. Hg) i niewielkiej wydajności pompy próżniowej (rzędu 3 — 5 m³/h) nie tylko nie daje spodziewanych efektów, lecz utrudnia i opóźnia proces suszenia w porównaniu z metodą suszenia przelo-

tem podgrzanego powietrza, gdyż zapoczątkowany wewnątrz kadzi proces suszenia ulega po pewnym czasie zahamowaniu wskutek nasycenia ośrodka wilgocią.

Odmiany próżniowej metody suszenia. Proces suszenia przebiega prędzej (co wydać się może paradoksalne) w przypadku istnienia nieszczelności w izolacji między kadzią a pokrywą, gdy próżnię trzeba utrzymywać kosztem powiększenia wydajności pompy próżniowej.

W praktyce w Związku Radzieckim stwierdzono, że w normalnej temperaturze nagrzewania (100°C) i próżni rzędu 200÷300 mm sł. Hg (560÷460 mm sł. Hg ciśnienia absolutnego) można powiększyć prędkość suszenia przez odpowiednie urządzenie wentylacji wnętrza kadzi i cykliczne wytwarzanie w niej wahań temperatury. Warunki te osiąga się przez okresowe otwieranie na pewien czas zaworu (np. zaworu radiatora) i wpuszczanie przezeń suchego podgrzanego powietrza. Umiejscowienie tego zaworu nie jest rzeczą obojętną; powinien on być położony w dolnej części kadzi jak najdalej od wlotu kanału do pompy próżniowej. W tym przypadku strumień suchego powietrza najpóźniej owiewa uzwojenie transformatora i tak oddawanie ciepła, jak i przejmowanie wilgoci przez powietrze staje się najbardziej skuteczne.

Źródła radzieckie podają, że suszenie dwóch transformatorów o mocy 30 MVA na 38/10 kV bez zastosowania wentylacji trwało 288 i 300 godzin, gdy przy zastosowaniu wentylacji skrócono czas suszenia podobnie zawilgoconej jednostki do 110 godzin.

Nagrzewanie części wymowlanej transformatora, przedstawiającej dużą masę, nie przebiega równomiernie. Warstwy zewnętrzne nagrzewają się szybciej, wilgoć z nich z razu odparowuje na zewnątrz, po czym zgodnie z przepływem strumienia cieplnego przesuwają się ku chłodniejszym, wewnętrznym warstwom uzwojenia. Gdy wilgoć swobodna zostaje wyszana, obniżenie ciśnienia (przez wpuszczenie suchego powietrza) i temperatury wewnątrz zbiornika powoduje zmianę kierunku przepływu ciepła i wilgoci od warstw wewnętrznych na zewnątrz, skąd przy nieprzerwanym działaniu pompy próżniowej zostaje ona wydalona poza transformator.

Metoda ta ma poważne zalety w porównaniu ze sposobem suszenia bez próżni gorącym powietrzem, tłoczonym przez wentylator po przekątnej kadzi. Ilość powietrza zużywanego w tej metodzie jest wielokrotnie mniejsza (100 do 200 razy), co zmniejsza niebezpieczeństwo zanieczyszczenia izolacji, nieuchronne przy dużych ilościach przetłaczanego powietrza nawet przy zastosowaniu filtrów.

Przy suszeniu przelotem podgrzanego powietrza powinno ono nie tylko zabrać wydzielającą się wilgoć, lecz także musi podgrzać i utrzymywać na pewnym poziomie temperaturę obiektu suszonego, co związane jest z dużym rozchodem energii cieplnej.

W metodzie suszenia stratami w kadzi przy okresowej wentylacji rozchody ciepła są znacznie mniejsze.

Suszenie w komorze próżniowej. Metoda suszenia w specjalnej komorze próżniowej może mieć, na razie przynajmniej ze względu na znaczne koszty inwestycji, zastosowanie tylko w dużych zakładach wytwórczych lub ośrodkach remontowych. Jest to typowa metoda fabryczna. Konstrukcja komory umożliwia osiągnięcie dużej próżni.

Cały proces rozбивa się na trzy fazy: podgrzewania, odparowania i właściwego suszenia. Jeżeli komora jest do tego odpowiednio przygotowana, można w niej bezpośrednio po wysuszeniu zalać transformator w próżni olejem wysuszonym i podgrzanym. Gdy olej wypełni wszystkie szczeliny, na co przy dużych jednostkach liczyć trzeba co najmniej 24 godziny, usuwa się próżnię, przez co pod wpływem ciśnienia atmosferycznego olej przesyca izolację. W efekcie uzyskuje się w ten sposób pełne i właściwe nasycenie. W tym stanie część wymowlaną transformatora przenosi się szybko do właściwej kadzi z olejem.

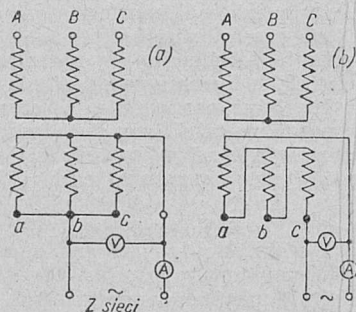
4. Suszenie bezpróżniowe transformatorów małych.

Transformatory małej mocy — od 20 do 315 kVA — można suszyć bez próżni prądem składowej zerowej. Zasilając stronę dolnego napięcia ze źródła prądu jednofazowego (rys. 1) według układu *a* dla połączenia w gwiazdę, lub według układu *b* — przy połączeniu w trójkąt, przy rozwartym uzwojeniu górnego napięcia osiąga się nagrzewanie transformatora wskutek wytworzenia strat od strumienia magnetycznego w maszynach, stalowych częściach konstrukcji — belki i konsoli — i w rdzeniu oraz wskutek strat prądowych w uzwojeniu. Składnik pierwszy — straty od strumienia ma-

gnetycznego — dominuje w bilansie cieplnym. Wytwarzające się ciepło oddawane zostaje uzwojeniu, wskutek czego z niego wyparowuje wilgoć. Zastosowanie przy tej metodzie wentylacji gorącym powietrzem przyspiesza znakomicie proces suszenia. Proces ten kontroluje się za pomocą termoelementów, wbudowanych w górnych częściach uzwojeń i w rdzeniu, bacząc, by maksymalna temperatura nie przekroczyła 100°C.

5. Pomiary sprawdzające.

W okresie powojennym opracowano w Związku Radzieckim szereg pomiarów, pozwalających na rozstrzygnięcie zagadnienia, czy transformator powinien być poddany suszeniu czy też nie. Nie wszystkie te metody z biegiem czasu okazały



Rys. 1

się jednoznaczne i niezawodne. Lansowane np. przez niektóre wytwórnie pomiary sprawdzające przy różnych temperaturach, które wymagają częstokroć kłopotliwego podgrzania transformatora, zostały zarzucone wskutek opracowania takich metod, które w sposób bezpieczny pozwalają określić stopień zawilgocenia transformatora bez kontrolnego podgrzania.

Z pomiarów kontrolnych omówimy: 1) próby oleju; 2) pomiar oporności izolacji po 60 sekundach od chwili rozpoczęcia pomiaru R_{60} i pomiar współczynnika absorpcji $R_{60} : R_{15}$; 3) pomiar pojemności temperatury i częstotliwości; 4) pomiar współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$; 5) pomiar prądu upływu przy wyprostowanym napięciu.

Próby oleju. Pogorszenie się stanu izolacji transformatorów, znajdujących się w eksploatacji, może być wywołane obniżeniem się jakości oleju transformatorowego. Bezsporna ocena izolacji transformatora wymaga wykonania pełnych prób transformatora i jego oleju. Przy pomiarach sprawdzających jakość oleju oprócz pomiarów, mających na celu stwierdzenie jego fizyko-chemicznych własności (liczba kwasowa, zawartość wody, barwa itd.), należy dokonać pomiarów ściśle elektrycznych: wytrzymałości dielektrycznej, oporności właściwej i współczynnika strat dielektrycznych oraz zmierzyć stosunek C_2 do C_{50} dla całej izolacji transformatora.

Suchy olej, którym zalewa się transformator, wykazuje w zakresie temperatur do 50°C współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$ mniejszy od 0,1‰ i oporność właściwą rzędu $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$.

W eksploatacji olej starzeje się, zwiększa swą wilgotność, zanieczyszcza się produktami rozkładu, wskutek czego jego własności dielektryczne pogarszają się, powodując obniżenie się ogólnego stanu izolacji transformatora. Pogorszenia tego nie można, jak wykazała praktyka, stwierdzić jedynie na podstawie pomiaru wytrzymałości elektrycznej i liczby kwasowej; trzeba ponadto zmierzyć współczynnik strat dielektrycznych $\text{tg} \delta$ i oporność właściwą. Tak np. olej o napięciu przebicia 43 kV przy elektrodach kulowych o średnicy 25 mm i odstępzie elektrod 2,5 mm oraz o liczbie kwasowej 0,1 mg KOH kwalifikowałby się, sądząc po tych właściwościach, jako dobry, tymczasem dodatkowe pomiary wykazały, że jego $\text{tg} \delta = 13\%$ i oporność właściwa $\rho = 5,25 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$.

Wymiana tego oleju w transformatorze spowodowała radykalne polepszenie się izolacji transformatora jako całości i umożliwiła przekazanie go do ruchu bez suszenia.

Pomiar bezwzględnej wartości oporności izolacji oraz pomiar współczynnika absorpcji. Pomiaru dokonuje się z reguły induktorem o napędzie ręcznym i napięciu 1000 V, taki bowiem przyrząd jest najłatwiej dostępny; rzadsze są u nas mierniki oporności izolacji o napięciu ponad 1 kV. W MTZ (Moskiewska Wytwórnia Transformatorów) używa się do tego celu induktorów o napięciu 2500 V z napędem silnikowym, co zasadniczo ułatwia obsługę i odczyt.

Na tle od dawna praktykowanych pomiarów oporności izolacji wystąpiła w pewnym okresie tendencja do ustalenia normy na dopuszczalne wartości, poniżej których nie może spadać oporność izolacji transformatora. Takie schematyczne potraktowanie zagadnienia doprowadziło, jak wykazała praktyka radziecka, do zupełnie niecelowego, gospodarczo i ruchowo nieuzasadnionego odrzucania i kwalifikowania do remontu jednostek, które składają mogły się wykazać nie-naganną pracą i których suszenie — nawet długotrwałe — nie doprowadziło do polepszenia stanu izolacji. Ten stan rzeczy skłonił Ministerstwo Elektrowni ZSRR do wydania zakazu stosowania wszelkich norm na minimalne dopuszczalne wartości oporności izolacji w praktyce.

W eksploatacji należy opierać się bądź na wynikach prób fabrycznych danej jednostki, bądź też, gdy chodzi o jednostki poddane już kiedyś kapitalnemu remontowi, na wartościach oporności izolacji zawartych w protokole odbioru po remoncie. Pamiętać przy tym jednak należy, że decydujący wpływ na wartość oporności izolacji transformatora ma stan oleju.

Zagadnienie dopuszczalnego stopnia zawilgocenia izolacji może być rozstrzygnięte na podstawie obserwacji i bieżącej kontroli transformatora, znajdującego się dłuższy czas w eksploatacji. Niezbędne staje się wobec tego posiadanie dla każdego transformatora metryki, w której — między innymi — wpisuje się okresowo wartości oporności izolacji i wyniki prób oleju. Instrukcja Ministerstwa Elektrowni ZSRR, jak i Instrukcja Eksploatacji Transformatorów wydana przez CZE, mówi o konieczności suszenia transformatora wtedy, kiedy stwierdzono obniżenie się wartości oporności izolacji więcej niż o 30% w porównaniu z wartościami początkowymi; za dane początkowe zgodnie z powyżej przytoczonymi uwagami należy uważać wyniki prób fabrycznych dla nowych jednostek lub też wyniki prób po ostatnim remoncie dla jednostek remontowanych.

Wyniki pomiaru oporności izolacji transformatora mogą być wskaźnikiem skuteczności procesu suszenia. Suszenie należy traktować jako ukończone, gdy oporność izolacji po przejściu minimum i fazy wzrostu nie ulega przy stałej temperaturze zmianie w okresie 6 godzin.

Charakterystyczną właściwością oporności izolacji jest jej zależność od temperatury, wyrażająca się wzorem przybliżonym

$$R_T = \frac{R_{T_0}}{\left(\frac{T - T_0}{10} \right)^2},$$

gdzie R_T i R_{T_0} — wartości oporności izolacji, odpowiadające temperaturom T i T_0 (w °C).

Wzór powyższy mówi, że oporność izolacji zmniejsza się do połowy na każde 10°C przyrostu temperatury.

Z pomiarem bezwzględnej wartości oporności izolacji związany jest pomiar współczynnika absorpcji.

Wynik pomiaru oporności izolacji zależy jest, jak wiadomo, od czasu trwania pomiaru, tzn. od czasu, w którym do obiektu mierzonego jest doprowadzone napięcie. Stan izolacji transformatora można scharakteryzować stosunkiem

$$K = R_{60} / R_{15},$$

gdzie R_{60} i R_{15} są to wartości oporności izolacji zmierzone po 15 i 60 sekundach od chwili rozpoczęcia pomiaru.

Przy zdejmowaniu krzywych absorpcji, które odbywa się w czasie trwania procesu suszenia, odczyty powinny być dokonywane co 15 s przy równomiernym obracaniu się twornika induktora (przydatny tu jest bardzo silnikowy napęd miernika). Punkty pośrednie pomiaru, odpowiadające 30 i 45 sekundom, umożliwiają sprawdzenie dokładności wyniku, w przypadku znacznego rozsiewu wyników zaleca się powtórzenie pomiaru. W celu uniknięcia uchybów, wywołanych ładunkiem szcztąkowym w izolacji, zaleca się uziemienie uzwojenia mierzonego przed pomiarem na okres kilku minut.

Współczynnik K ma w suchych transformatorach wartość większą od 1,3; wartość jego w transformatorach zawilgoczonych maleje. Jak nie używa się już żadnych norm na bezwzględną wartość oporności izolacji, tak nie normalizuje się też wartości współczynnika absorpcji.

Współczynnik K zależy nie tylko od ogólnego stanu izolacji, jej stopnia zawilgocenia itp., lecz również od ewentualnych miejscowych defektów izolacji; wskutek tego pomiar współczynnika absorpcji nie może być uznany za kryterium, wystarczające do oceny, czy izolacja transformatora wymaga suszenia czy nie. Pomocny tu będzie jednoczesny pomiar po-

jemności uzwojeń w funkcji częstotliwości, a — ściślej biorąc — pomiar stosunku pojemności uzwojenia przy częstotliwości małej (rzędu 2–3 Hz) do pojemności tego uzwojenia przy częstotliwości technicznej 50 Hz, czyli pomiar stosunku $C_2 : C_{50}$.

Pomiar pojemności w funkcji temperatury i częstotliwości. Metoda pomiaru pojemności w funkcji temperatury, wprowadzona w 1945 r. w Moskiewskiej Fabryce Transformatorów, służyła przez dłuższy czas jako kryterium przy rozstrzygnięciu kwestii, czy transformator powinien być suszony czy nie. Metoda ta zakłada możliwość wykonania pomiaru w miejscu ustawienia transformatora, jednak w warunkach eksploatacyjnych nie zawsze możliwe jest podgrzanie transformatora, a w każdym razie jest ono związane z dużymi trudnościami. Według danych Mosk. Fabr. Tr. izolację transformatora można traktować jako niezawilgoconą, gdy stosunek pojemności uzwojenia przy 80°C do pojemności tegoż uzwojenia przy 20°C jest mniejszy od 1,2:

$$\frac{C_{80}}{C_{20}} < 1,2,$$

przy czym liczba ta dotyczy transformatorów nowych.

Według danych eksploatacyjnych, zebranych ze 180 pomiarów transformatorów w eksploatacji po remoncie, izolację transformatora należy traktować jako dostatecznie suchą, gdy spełniony jest warunek

$$\frac{C_{70}}{C_{20}} < 1,3,$$

co znaczy, że jeżeli przy nagrzewaniu transformatora od 20 do 80 lub 70°C pojemność jego uzwojeń, mierzona przy częstotliwości technicznej, zmieni się więcej niż o 20 lub 30%, to transformator nie wymaga suszenia. Odmienność kryteriów tłumaczyć należy tym, że trudno było w warunkach eksploatacji, czy w warsztacie, osiągnąć temperaturę ponad 70°C, nie przedstawiało to natomiast żadnych zasadniczych trudności w wytwórni przy próbach transformatorów nowych, podgrzewanych w trakcie suszenia.

Metoda powyższa miała swego czasu szerokie zastosowanie, zasadnicza jednak jej wada w eksploatacji (konieczność podgrzewania transformatora) oraz pojawienie się nowej metody kontroli zawilgocenia (pomiaru pojemności w funkcji częstotliwości), nie wymagającej kłopotliwego podgrzewania, spowodowały zarzucenie jej.

Zmiany pojemności izolacji w funkcji temperatury i częstotliwości wywołane są zmianami stałej dielektrycznej izolacji, a te wypływają ze zjawiska wewnątrz-warstwowej polaryzacji. Występuje ona w niejednorodnym dielektryku, w którym niejednorodność uwarunkowana jest obecnością czynnika półprzewodzącego, np. wody. W tego rodzaju dielektryku, umieszczonym w polu elektrycznym, występuje — oprócz normalnych zjawisk polaryzacji i przesunięcia — powolny proces skupiania się ładunków na granicy dielektryku i półprzewodnika. Obecność tych ładunków powoduje zwiększenie się stałej dielektrycznej szczególnie wtedy, gdy półprzewodnik występuje w dielektryku w postaci cienkich, długich nitów, warstw itp. Z takim rozkładem półprzewodnika spotykamy się w zawilgoconym materiale o strukturze włóknistej. Obecność kilku procent wilgoci może, jak wykazały doświadczenia, spowodować wielokrotny wzrost stałej dielektrycznej, np. wzrost wilgotności tkaniny perkalowej z 0,8% do 11,2% spowodował zwiększenie pojemności kondensatora, w którym tkanina ta służyła jako dielektryk, prawie 17 000 razy (pomiaru pojemności dokonano metodą balistyczną).

Wewnątrz-warstwowa polaryzacja jest procesem bardzo powolnym, czas jej trwania może wynosić dziesiątki i setki minut. Okazało się, że dla wykrycia jej przy prądzie zmiennym okres zmian tego prądu musi być odpowiednio duży. Wskutek tego nie stwierdza się jej prawie wcale przy częstotliwościach wysokich, dostrzegalna jest przy częstotliwościach akustycznych, natomiast odbija się już w zasadniczy i wyraźny zupełnie sposób na stałej dielektrycznej i współczynniku strat dielektrycznych zawilgoconego dielektryku przy częstotliwości technicznej. Przy prądzie stałym lub przy prądzie zmiennym o częstotliwości kilku herców stała dielektryczna izolacji, zawierającej kilka procentów wilgoci, może osiągnąć znaczne wartości.

Szybkość procesu wewnątrz-warstwowej polaryzacji zależy w znacznym stopniu od temperatury. Przy wzroście temperatury przewodność składników dielektryku zwiększa się,

wskutek czego proces skupiania się ładunków ulega przyspieszeniu. Dlatego właśnie przy stałej częstotliwości polaryzacja wewnątrz-warstwowa występuje wyraźniej w dielektryku nagrzanym. Stała dielektryczna dielektryku wzrasta ze wzrostem temperatury.

Z powyższego wynika, że pojemność zawilgoconego dielektryku zależy od częstotliwości i temperatury i to tym wyraźniej, im większe jest zawilgocenie izolacji i spowodowane nim zwiększenie się procesu wewnątrz-warstwowej polaryzacji. Na wykorzystaniu tego zjawiska polega metoda pomiaru pojemności w funkcji częstotliwości.

Nie wnikając w opis i szczegóły aparatury pomiarowej (ob. literaturę), podamy tu w skrócie kryteria ustalone statystycznie — na podstawie szeregu pomiarów, a znajdujące zastosowanie przy ocenie stanu izolacji transformatora przez pomiar pojemności w funkcji częstotliwości.

Pomiarów pojemności dokonuje się nie mostkiem prądu zmiennego, lecz metodą ładowanie-wyładowanie przy częstotliwościach 2 i 50 Hz, gdyż okazało się, że stosunek $C_2 : C_{50}$ jest dostatecznie czułym wskaźnikiem, świadczącym o istnieniu już kilku procentów wilgoci w izolacji.

Transformator nie wymaga suszenia, jeżeli

$$\frac{C_2}{C_{50}} < 1,2 \text{ przy temperaturze } 10^\circ\text{C},$$

$$\frac{C_2}{C_{50}} < 1,3 \text{ przy temperaturze } 20^\circ\text{C}.$$

Wadą metody jest jej zależność od temperatury. Gdy temperatura maleje i osiąga wartość rzędu 5°C, stosunek $C_2 : C_{50}$ dąży do 1 nawet w bardzo zawilgoconym transformatorze. Dla osiągnięcia odpowiedniej czułości układu pomiarowego trzeba starać się o to, by temperatura uzwojeń w czasie pomiaru $C = f(f)$ zawierała się w granicach od 15 do 25°C. Spełnienie tego wymagania nie następuje specjalnych trudności, łatwo tego dokonać przez podgrzanie części wymiadowalnej transformatora prądem stałym lub zmiennym nawet bez oleju.

W transformatorach, które przeszły proces suszenia, lecz nie zostały jeszcze zalane olejem, stosunek $C_2 : C_{50}$ jest w nieznacznym stopniu zależny od temperatury. Po zalaniu transformatorów wysuszonym olejem i nasiąknięciu izolacji zależność $C_2 : C_{50}$ od temperatury jest zupełnie wyraźna. Wyjaśnia się to tym, że olej, mający stosunkowo znacznie większą stałą dielektryczną, wypełnia przestrzeń powietrzną w izolacji, wskutek czego powstają zmiany rozkładu pola elektrycznego, a więc i natężeń pola w materiale izolacyjnym, jego pojemność w większym stopniu wpływa na pojemność całej konstrukcji. Zawilgocenie materiału i wywołane nim zmiany zależności pojemności od częstotliwości i temperatury w obecności oleju w znacznie większym stopniu odbijają się na zależności pojemności całej konstrukcji od częstotliwości i temperatury niż bez oleju.

Jeżeli wykonanie pomiaru pojemności w funkcji częstotliwości nie jest możliwe, należy zmierzyć przynajmniej współczynnik strat dielektrycznych.

Pomiar współczynnika strat dielektrycznych $\tan \delta$. Pomiar, wykonywany wysokonapięciowym mostkiem Scheringa, możliwy jest, tak ze względów bezpieczeństwa, jak i ze względów na aparaturę, tylko w dużej wytwórni.

Pomiar współczynnika strat dielektrycznych, konieczny według obowiązującej w ZSRR instrukcji, jest ważny dlatego, że umożliwia wykrycie najczęściej zdarzających się defektów izolacji.

Oporność izolacji, mierzona prądem stałym, może w niektórych przypadkach nie wykazać pogorszenia się stanu izolacji w zespole różnych elementów, jakim jest transformator. Z praktyki istnieją dowody na to, w szczególności gdy chodzi o izolację międzyzwojową, że przy znacznym wzroście współczynnika strat dielektrycznych oporność izolacji była jeszcze dostatecznie duża.

Wielkość $\tan \delta$ przedstawia właściwą charakterystykę izolacji, daje znacznie bardziej pewną ocenę stanu izolacji, szczególnie w transformatorach dużych mocy, w których normalnie maleje znacznie oporność izolacji ze względu na duże rozmiary powierzchni izolacji. W odniesieniu do pomiaru R_{iz} pomiar $\tan \delta$ jest również ważny.

W stosunku do pomiaru pojemności w funkcji częstotliwości pomiar współczynnika strat dielektrycznych do określenia stopnia zawilgocenia izolacji transformatora jest bardziej czuły.

Zaleta pomiaru współczynnika strat dielektrycznych polega na tym, że jest on niezależny od gabarytu transformatora i można porównywać jego wartości dla uzwojenia i dla oleju. Jednakże wyrokować tylko na podstawie pomiarów $\tan \delta$ o stopniu zawilgocenia izolacji nie można, gdyż nie tylko wilgoć wpływa na wartość $\tan \delta$; bardzo zasadniczy wpływ odgrywają tu i inne czynniki, jak osady na uzwojeniu, stan oleju, stan przepustów, stopień wysuszenia drewna użytego do konstrukcji itp.

Pomiar prądu przewodzenia przy wyprostowanym napięciu jest zasadniczo biorąc środkiem do pomiaru oporności izolacji z tym tylko uzupełnieniem, że wykonuje się go na znacznie wyższym napięciu (napięcie prostowane przez lampy prostownikowe) i znacznie dokładniejszymi i czulszymi przyrządami (magnetoelektrycznymi) niż przy pomiarze oporności izolacji np. meggerem. Prąd upływa, jak i oporność izolacji, zależą od właściwości transformatora, od temperatury i od czasu działania doprowadzonego napięcia, co ma praktycznie duże znaczenie w dużych transformatorach. Z tego względu przyrządy należy odczytywać po ustaleniu się wielkości prądu, to znaczy po upływie 15–60 sekund.

Jak w przypadku oporności izolacji, nie można się tu opierać na „znormalizowanych” wartościach prądu upływu, jakkolwiek pewne tendencje w tym kierunku istniały. Należy raczej i tu przez porównanie wyników pomiarów z różnych czasów pracy transformatora wysnuwać wnioski co do stanu jego izolacji.

6. Wnioski.

1) Zarówno w eksploatacji, jak i po okresowych remontach, konieczne jest wykonanie prób oleju z punktu widzenia jego właściwości fizyko-chemicznych i elektrycznych.

2) Pomiar oporności izolacji bezpośrednio bądź pośrednio przez pomiar prądu upływu przy wyprostowanym napięciu pozwala na stwierdzenie stanu izolacji transformatora, jednakże nie na tyle, by jednoznacznie rozstrzygnąć zagadnienie, czy transformator wymaga czy nie wymaga suszenia.

3) Pomiar poprzedni wraz z pomiarem pojemności w funkcji częstotliwości rozwiązują to zagadnienie zupełnie jednoznacz-

nie z tym tylko ograniczeniem, że metoda pojemność — częstotliwość wymaga temperatury wyższej od 10°C w celu zwiększenia czułości pomiaru.

4) Pożądane byłoby, żeby krajowe wytwórnie transformatorów mogły otrzymać przyrządy, których zastosowanie przy kontroli pozwoliłoby na znaczne podniesienie jakości produkcji; chodzi tu szczególnie o induktry do napięcia 2,5 kV czy wyżej i przyrząd do kontroli zawilgocenia izolacji ($C = f(f)$), którego prototyp już w kraju zbudowano (Zakład Wysokich Napięć Elu i Politechnika Wrocławska).

LITERATURA

- K a ł a n t a r o w P. Ł. Profilaktyczne badanie izolacji dużych transformatorów mocy (Elektr. Stancji, 1948/3/27)
 L e g e z o I. T. Bezpróżniowe suszenie transformatorów we własnej kadzi bez oleju (Elektr. Stancji, 1948/9/50)
 Ł o n g i n o w i O w s i a n n i k o w a. Charakterystyki izolacyjne transformatorów mocy (Elektr. Stancji, 1948/8/27)
 K u ł a k o w s k i W. B. Kontrola zawilgocenia izolacji metodą pojemność — częstotliwość (Elektryczestwo, 1951/2/25)
 K u ł a k o w s k i W. B. Zastosowanie przyrządu do kontroli zawilgocenia izolacji transformatorów (Elektr. Stancji, 1951/3/40)
 W d o w i n B. E. O szybkości suszenia transformatorów w próżni (Elektr. Stancji, 1952/4/34)
 F i d e l m a n I. O. Suszenie transformatora (Elektr. Stancji, 1952/4/35)
 C h o m i a k o w M. W. Do zagadnienia o suszeniu transformatorów (Elektr. Stancji, 1952/4/36)
 R y c l i n A. M. i J u r o w s k i j G. Sz. O suszeniu transformatorów w próżni (Elektr. Stancji, 1952/4/38)
 I r ł a c h m a n J. A. O podgrzewaniu transformatorów metodą strat w kadzi (Elektr. Stancji, 1951/6/53)
 S y r o m i a t n i k o w I. A. Określenie stopnia zawilgocenia i suszenie transformatorów i generatorów (Elektryczestwo, 1952/8/9)
 F u f u r i n N. P. Metody kontroli zawilgocenia izolacji transformatorów (Elektr. Stancji, 1952/1/36)
 G o l c m a n M. K. Kontrola zawilgocenia izolacji transformatorów (Elektr. Stancji, 1952/1/36)
 Z w i e z d k i n - N a d e l s o n. Wpływ właściwości oleju na charakterystyki izolacji transformatorów (Elektr. Stancji, 1953/3/45)
 M i e l i n o w. Suszenie transformatorów małej mocy prądem składowej zerowej (Energietyk, 1953/2/18)
 B u r i a n o w. Eksploatacja oleju transformatorowego (Gosenergoizdat, 1951)
 C Z E. Instrukcja eksploatacji transformatorów mocy (PWT, 1950)
 H o l l a n d - M e r t e n. Die Vakuum-Impraegnierung (Halle/Sale, 1951)

DOC. LUCJAN BERSON
Instytut Elektrotechniki

Nowsze metody obiektywnych pomiarów kolorów

535.65.001.8

Treść. Praktyczne znaczenie szybkich obiektywnych metod pomiaru kolorów. Metoda trzech bodźców. Przykłady kolorymetrów obiektywnych z przesłonami i z filtrami. Obliczanie filtrów. Ocena metod kolorimetrii.

Новейшие методы объективного измерения цветов. Практическое значение объективных методов быстрого измерения цветов. Метод трех импульсов. Примеры объективных колориметров с диафрагмами и фильтрами. Расчет фильтров. Оценка методов колориметрии.

Recent Methods of Objective Colorimetry. Practical significance of rapid objective colorimetric methods. The three-impulses method. Examples of objective colorimeters with diaphragms and filters. Calculation of filters. Comparison of various methods of colorimetry.

Z rozważań naszych o przestrzeni i płaszczyźnie kolorów*) wynika wielkie znaczenie obiektywnych metod pomiarów kolorymetrycznych i ich przewaga zasadnicza nad metodami subiektywnymi (wizualnymi).

Jakkolwiek pomiary spektrometryczne stosowane są już od dawna i stanowią główną — prawie wyłącznie używaną — metodę, gdy chodzi o określenie rozkładu widmowego światła badanego, to jednak do określenia koloru światła, wyznaczonego, jak wiadomo, współzrzednymi koloru w płaszczyźnie kolorów (w trójkącie kolorów Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej), używa się zazwyczaj metod subiektywnych, gdyż do oznaczania współzrzednych koloru nie jest potrzebna znajomość rozkładu widmowego światła, a pomiary ich za pomocą kolorymetrów subiektywnych są znacznie szybsze i prostsze, niż pomiary rozkładu widmowego za pomocą spektrofotometru lub monochromatora i obliczanie z tego rozkładu współzrzednych koloru.

Istnieją jednak metody bezpośredniego pomiaru współzrzednych koloru metodą obiektywną, znane w zasadzie już dawniej, lecz w praktyce stosowane na szeroką skalę dopiero od niedawna. Nadają się one nie tylko do prac naukowych, ale — dzięki swej prostocie i szybkości pomiaru oraz możliwości otrzymania wyniku w krótkim czasie — także do sto-

sowania w przemyśle**). Toteż z metodami tymi i służącymi do ich stosowania urządzeniami powinni się zapoznać zwłaszcza ci wszyscy inżynierowie i technicy, którzy w praktyce swej spotykają się z zagadnieniem określania i pomiaru kolorów.

2. Wyznaczanie współzrzednych koloru metodą trzech bodźców.

Jeżeli znamy współczynniki bodźców (współzrzedne przesłonne koloru) dla monochromatycznych światel mieszanych ze sobą — $\bar{X}_m, \bar{Y}_m, \bar{Z}_m$ — oraz ich moc promieniowania E_m , to współzrzedne koloru światła wynikowego można, jak wiadomo, obliczyć w następujący sposób***):

$$(1) \quad X = \sum_{m=1}^{m=n} E_m \bar{X}_m; \quad Y = \sum_{m=1}^{m=n} E_m \bar{Y}_m; \quad Z = \sum_{m=1}^{m=n} E_m \bar{Z}_m;$$

skąd

$$(2) \quad x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}.$$

**) Szybkimi metodami pomiaru kolorów są zainteresowane m. in. przemysły: farbiarski, włókienniczy, poligraficzny, porcelanowy, emaliarski.

***) Por. wymieniony wyżej artykuł, w którym podane są tablice cytowane tutaj.

*) Berson L. Przestrzeń i płaszczyzna kolorów (PE, 1955, z. 5, str. 345).

Przy pomiarach spektrometrycznych znana jest długość fali poszczególnych światła monochromatycznych. Z tablicy III cytowanego artykułu odczytujemy wtedy odpowiednie wartości współczynników bodźców X, Y, Z , a następnie z równań (1) i (2) obliczamy współrzędne koloru.

Z równania (1) wynika sposób postępowania przy wyznaczaniu współrzędnych koloru światła wynikowego z pomiarów własności światła składowych. Jeżeli np. mamy dwa światła składowe o znanej długości fali, to musimy zmierzyć moc promieniowania każdego z nich, przy czym dalszy tok badania jest już czysto rachunkowy, gdyż wartości $\bar{X}_m, \bar{Y}_m, \bar{Z}_m$ bierzemy z tablic. Światło o widmie ciągłym musimy rozszczepić za pomocą spektrometru i zmierzyć moc poszczególnych wąskich pasm między λ_m a $(\lambda_m + \Delta\lambda)$.

Jest to klasyczna metoda kolorymetrii obiektywnej. Daje ona przy wielkiej staranności bardzo dokładne wyniki, jest jednak żmudna, gdyż wymaga — zwłaszcza przy światłach o widmach ciągłych — wielu pomiarów i obliczeń. Dlatego coraz więcej wchodzi w użycie inny sposób wyznaczania współrzędnych koloru, a mianowicie metoda trzech bodźców, którą objaśnimy na przykładzie składania dwu światła o długościach fali 5000 i 6000 Å. Wyobraźmy sobie, że są to dwie (jedyne) linie promieniowania widzialnego jakiejś lampy wyładowczej. Współczynnik bodźca X promieniowania wynikowego będzie

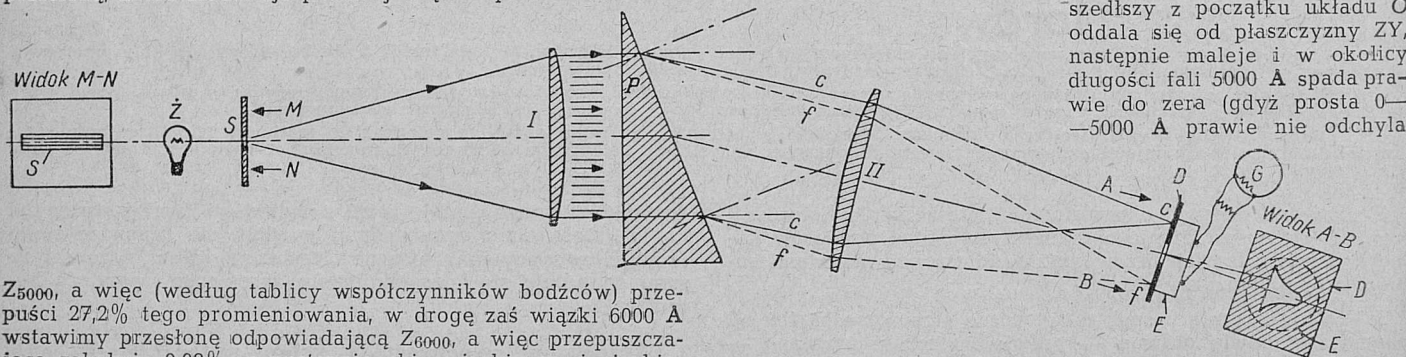
$$X = \bar{X}_{5000} \cdot E_{5000} + \bar{X}_{6000} \cdot E_{6000} \text{ i analogicznie}$$
$$Y = Y_{5000} \cdot E_{5000} + Y_{6000} \cdot E_{6000}, \quad Z = Z_{5000} \cdot E_{5000} + Z_{6000} \cdot E_{6000}$$

Jako przyrządu pomiarowego użyjemy zespołu, składającego się z przetwornika w postaci np. stosu termoelektrycznego, który przetwarza padającą nań energię promieniowania na energię elektryczną, i umieszczonego w jego obwodzie galwanometru, który mierzy natężenie prądu płynącego przez ten obwód. Jeżeli skierujemy promieniowanie naszej lampy wyładowczej na ów stos, to natężenie prądu będzie proporcjonalne do mocy promieniowania.

$$I = c(E_{5000} + E_{6000}).$$

Pomiar nie da nam więc poszukiwanej wiadomości o wielkości współczynników bodźców (współrzędnych przestrzennych) X, Y, Z .

Jeżeli jednak za pomocą pryzmatu rozszczepimy światło naszej lampy wyładowczej na promieniowania składowe i w drogę wiązki promieni o długości fali 5000 Å wstawimy przesłonę, która zredukuje przekrój wiązki np. w stosunku do



Z_{5000} , a więc (według tablicy współczynników bodźców) przepuści 27,2% tego promieniowania, w drogę zaś wiązki 6000 Å wstawimy przesłonę odpowiadającą Z_{6000} , a więc przepuszczającą zaledwie 0,08%, a następnie obie wiązki promieni skierujemy na nasz stos termoelektryczny, to wychylenie wskazówki galwanometru będzie proporcjonalne do poszukiwanego współczynnika bodźca Z , na stos bowiem padną dwie wiązki promieni

$$0,272 E_{5000} + 0,0008 E_{6000},$$

a więc natężenie prądu będzie

$$I_Z = c(0,272 E_{5000} + 0,0008 E_{6000}) = c \cdot Z.$$

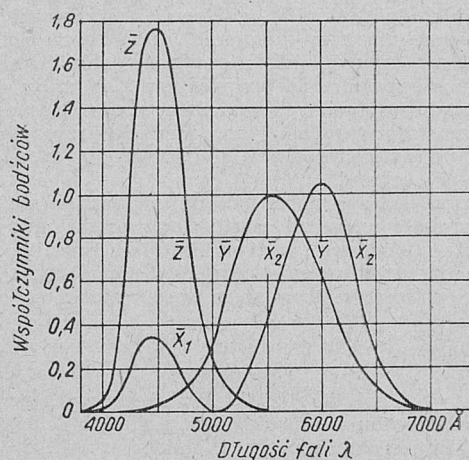
W podobny sposób możemy zmierzyć I_X oraz I_Y , i wtedy znajdujemy w myśl wzoru (2):

$$(3) \quad x = \frac{I_X}{I_X + I_Y + I_Z}; \quad y = \frac{I_Y}{I_X + I_Y + I_Z}; \quad z = \frac{I_Z}{I_X + I_Y + I_Z}.$$

Zamiast przesłon możemy, oczywiście, użyć filtrów. Jeżeli jednak potrafimy wykonać filtr, który z promieniowania o długości fali 5000 Å przepuści 27,2%, a z promieniowania 6000 Å przepuści 0,08%, to nie potrzebujemy w ogóle rozszczepiać światła, wystarczy bowiem między jego źródło a przetwornik (stos termoelektryczny) wstawić ów filtr.

Powyższych dwóch metod (z rozszczepianiem światła i z filtrami) można użyć również dla większej liczby światła mieszanych ze sobą, a nawet dla promieniowania o widmie ciągłym. Jeżeli narysujemy wykres np. współrzędnej przestrzennej (współczynnika bodźca) $\bar{X}$ dla promieniowania równoenergetycznego w zależności od długości fali, to krzywa ta da nam w zasadzie kształt przesłony, której należy użyć dla otrzymania współrzędnej przestrzennej X dowolnego światła (w rzeczywistości kształt ten musi być nieco zmodyfikowany, jak będzie mowa dalej).

Rys. 1 pokazuje te wykresy dla wszystkich trzech współczynników bodźców (współrzędnych przestrzennych) promie-



Rys. 1. Współczynniki bodźców (przestrzenne współrzędne kolorów) światła równoenergetycznego $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ w funkcji długości fali; przyjęto $\bar{Y} = 1,0$ dla $\lambda = 5550$ Å, co odpowiada wartościom tablicy M. K. Ośw.

niowania równoenergetycznego*). Na przykład współrzędna X na rys. 1 jest to odległość punktów odpowiadających poszczególnym długościom fal od płaszczyzny YZ . Widzimy jak $\bar{X}$ początkowo wzrasta, gdyż krzywa przestrzenna wyszedłszy z początku układu O oddala się od płaszczyzny ZY , następnie maleje i w okolicy długości fali 5000 Å spada prawie do zera (gdyż prosta $O-5000$ Å prawie nie odchyła

Rys. 2. Spektrometr z przesłoną do pomiaru współczynnika bodźca Y ; po wymianie przesłony D na przesłonę o otworach odpowiadających kształtem krzywym współczynników bodźców $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ względnie $\bar{Z}$ — mierzy się współczynniki bodźców $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{Z}$

- Z — źródło mierzonego światła
- S — szczelina
- I, II — soczewki
- P — pryzmat
- D — przesłona (na rysunku do pomiaru Y)
- E — przetwornik (np. stos termoelektryczny)
- G — galwanometr
- c — promienie czerwonego krańca widma
- f — promienie fioletowego krańca widma

się od płaszczyzny YZ), a następnie zwiększa się i osiągnąwszy około $\lambda = 6000$ Å swą największą wartość spada poza 6200 Å szybko do zera. Oczywiście, rzędne rys. 1 są też

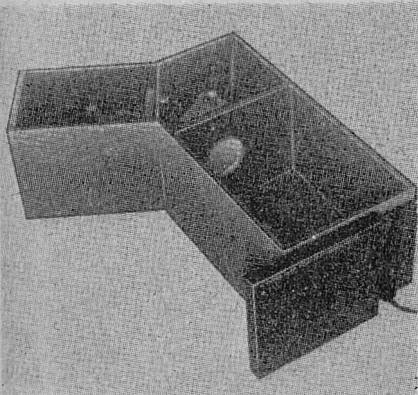
*) Krzywe promieniowania równoenergetycznego w przestrzeni kolorów są podane w poprzedniej pracy autora „Przestrzeń i płaszczyzna kolorów” (PA, 1955, zes. 5, str. 352, rys. 12).

identyczne z wartościami tablicy współczynników bodźców promieniowania równoenergetycznego, podanej również w poprzedniej pracy (PE, 1955, zes. 5, str. 352).

Rys. 2 przedstawia schematycznie urządzenie pomiarowe z przesłonami dla pomiaru współczynników bodźców $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ (przekrój poziomy). Ze źródła światła badanego (np. żarówki) światło przechodzi przez pionową szczelinę S umieszczoną w płaszczyźnie ogniska soczewki I , wskutek czego pęk promieni staje się równoległy. Natrafiając na prostopadłą do swego biegu ścianę pryzmatu P promienie przechodzą przez pryzmat bez rozszczepienia, które następuje dopiero na pochylonej względem biegu promieni ścianie pryzmatu; c oznacza kierunek promieni czerwonych (7800 Å), f — kierunek promieni fioletowych (3800 Å); kierunki innych promieni leżą między kierunkami c i f . Soczewka II rzuca rzeczywisty obraz widma na przesłonę D z wyciętym otworem, którego kontury odpowiadają krzywej współczynnika bodźców, pokazanej na rys. 1 (przykładowo pokazano przesłonę dla pomiaru $\bar{Y}$). Światło o różnej długości fali przedostaje się w różnej ilości na przetwornik E (np. stos termoelektryczny), wywołując prąd mierzony za pomocą galwanometru G . Zakładając kolejno 3 przesłony o wycięciach odpowiadających krzywym $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ mierzymy trzy natężenia prądu I_x , I_y , I_z , z których obliczamy według wzorów (3)

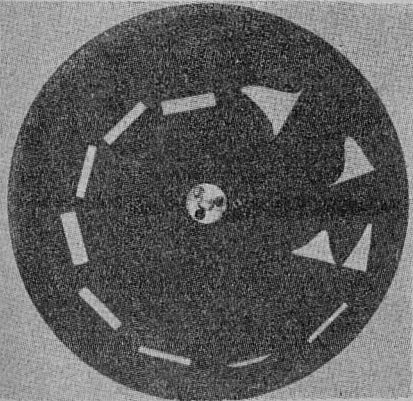
$$\alpha = \frac{I_x}{I_x + I_y + I_z} \text{ itd.}$$

Takiego samego spektrometru używa się do pomiaru współrzędnych koloru klasyczną metodą obiektywną, przy czym przesłonę D zastępuje się przesuwalną szczeliną. Mierząc wychylenie galwanometru dla poszczególnych wąskich wiązek światła, które przechodzą kolejno przez tę szczelinę przy jej



Rys. 3. Kolorymetr z przesłonami konstrukcji Siemens Electric Lamps and Supplies

stopniowym przesuwaniu, i porównując wskazania galwanometru I_λ dla badanego źródła światła i I'_λ dla mierzonego następnie promieniowania o znanym rozkładzie energetycznym (np. promiennika A lub B), obliczamy z ich stosunku względną moc promieniowania dla kolejnych pasm widma $E_\lambda = \frac{I_\lambda}{I'_\lambda} E'_\lambda$, gdzie E'_λ jest mocą promieniowania dla promieniowania porównawczego. Następnie tworzymy iloczyn



Rys. 4. Obracalna przesłona kolorymetru z rys. 4

$\bar{X}_\lambda, E_\lambda$ dla kolejnych pasm $\Delta\lambda$ i obliczamy ich sumę $X_\lambda = \sum \bar{X}_\lambda \cdot E_\lambda$. To samo obliczenie przeprowadzamy dla Y i Z . Jest to więc metoda bardzo żmudna.

Do należytego pomiaru współczynników bodźców za pomocą filtrów musimy mieć filtr, którego przepuszczalność dla różnych długości fal odpowiada rzędnym krzywej $\bar{X}$ na rys. 1. Ponieważ krzywa $\bar{X}$ składa się praktycznie z dwóch krzywych (przy $\lambda = 5050 \text{ Å}$ wynosi X poniżej 1/4% wartości maksymalnej), mierzymy kolejno z jednym filtrem o przepuszczalności, odpowiadającej części krzywej $\bar{X}$ od najkrótszych fal do 5050 Å, następnie zaś z drugim o przepuszczalności odpowiadającej części krzywej od 5050 Å do najdłuższych fal widzialnych. Dla Y nie mamy tego kłopotu i wystarczy jeden pomiar, tak samo dla Z .

Szczegóły dotyczące obliczania i wykonania takich filtrów będą podane niżej.

3. Przykład kolorymetru obiektywnego z przesłonami.

Bardzo ciekawym praktycznym rozwiązaniem jest fotometr do pomiaru koloru świetlówek skonstruowany i wykonany w laboratorium angielskiego Siemens'a).

Tablica 1. Wyniki pomiarów rozkładu światła przeprowadzonych na kolorymetrze obiektywnym

Pasmo widma (Å)	Odczyt galwanometru (μA)	Mnożnik	Względna jaskrawość (%)
4000—4200	0,033	0,46	0,016
4200—4400	0,102	3,75	0,40
4400—4600	0,056	6	0,355
4600—5100	0,195	27	5,46
5100—5600	0,377	94	37,2
5600—6100	0,450	100	47,0
6100—6600	0,094	93	9,15
6600—7600	0,013	18	0,25

Przy świetłówkach w wielu wypadkach ważny jest nie tylko kolor światła samej lampy, ale także kolor przedmiotów przez nią oświetlonych zależący od rozkładu spektralnego światła świetlówki, który nie jest — jak już wyżej objaśniono — określony jednoznacznie przez współrzędne koloru.

Opisywany kolorymetr służy nie tylko do pomiaru współrzędnych koloru światła świetlówek, ale także do pomiaru względnej jaskrawości w poszczególnych pasmach widma. Z tego rozkładu kolorów można wnioskować o kolorze światła przedmiotów oświetlonych i można oznaczyć tolerancję dla procentowego udziału poszczególnych pasm w mocy lub jaskrawości całego widma danego źródła światła.

Rys. 3 jest fotografią przyrządu ze zdjętą pokrywą. Jego konstrukcja odpowiada zasadniczo rys. 2, przy czym jako przetwornika energii użyto ogniwa fotoelektrycznego, którego przydatność do tego celu będzie omówiona niżej.

Oryginalnym rysem przyrządu jest konstrukcja przesłony (rys. 4). Otwory w liczbie 11 umieszczone są na tarczy obracanej w ten sposób, że coraz inny otwór zachodzi na ogniwo. Linie równych długości fal są tu współosiowymi kołami. Oprócz otworów do pomiaru X , Y , Z o charakterystycznym kształcie widzimy tu szereg otworów prostokątnych (w liczbie 8) do pomiaru jaskrawości (albo mocy promieniowania). Obejmują one pasma widma, podane w tabl. I.

Współczynniki bodźców mierzy się, jak podano powyżej, przesuwając na ogniwo kolejno trzy otwory odpowiadające krzywym $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$. Natomiast do wyznaczania mocy lub jaskrawości danego pasma widma wystarczy jeden pomiar. Przyrząd cechuje się za pomocą źródła światła o ściśle określonym rozkładzie widmowym (np. promiennika E), wyznaczając mnożniki, przez które mnożyć należy odczyty galwanometru dla otrzymania względnej jaskrawości. Tablica I podaje wyniki pomiaru jednej ze świetlówek o białym świetle.

4. Przykład kolorymetru obiektywnego z filtrami.

Przyrząd ten zasługuje na specjalną uwagę dzięki prostocie swej budowy i obsługi. Za przykład służyć może kolorymetr wykonany najprostszymi środkami w Instytucie Elektrotechniki (Zakład Techniki Świetlnej) w Warszawie.

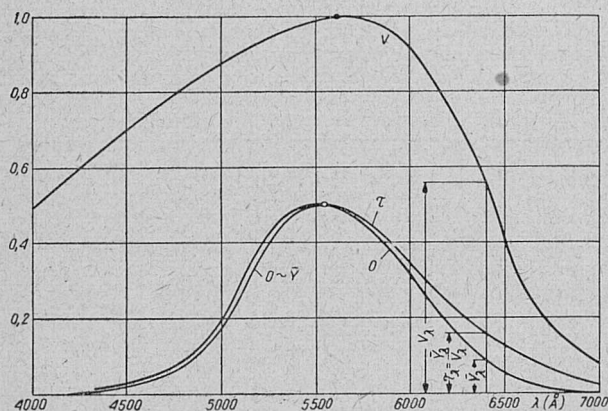
Jedną z prac Instytutu było opracowanie metody i urządzenia do pomiaru współrzędnych koloru dla zakładu produ-

*) Harrison W. A. Spectral Band Photometer for Fluorescent Lamps (Light and Lighting, 1952, 4).

kującego świetlówki celem masowej kontroli fabrykatów. Spośród metod subiektywnych i obiektywnych wybrano — z podanych niżej powodów — metodę pomiaru współczynników trzech bodźców przy pomocy filtrów.

Wytwórca miał 3 filtry wyrobu zagranicznego o przepuszczalnościach spektralnych zbliżonych do krzywych $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ przy użyciu jako przetwornika ogniwa fotoelektrycznego, natomiast nie posiadał przystosowanego do tych filtrów ogniwa ani wzorców lamp o znanych współrzędnych koloru.

Ogniwo fotoelektryczne — w przeciwieństwie do stosu termoelektrycznego lub bolometru — odznacza się wybiórczością, to znaczy, że jego sprawność jako przetwornika jest dla promieniowania o różnych długościach fal różna. Jeżeli obwód ogniwa o stałych opornościach nasświetlimy kolejno promieniowaniem o różnej długości fali, to otrzymamy krzywą V podaną na rys. 5. Odbiornik — tak nazwiemy zespół filtru



Rys. 5. Wyznaczanie charakterystyki filtru

V — krzywa względnej wrażliwości spektralnej typowego ogniwa selenowego
 O — krzywa wrażliwości spektralnej odbiornika wynikająca z współdziałania filtru i ogniwa; krzywa ta ma pokrywać się z krzywą bodźca Y
 Z powyższych krzywych wynikają wartości rzędnych krzywej spektralnej przepuszczalności filtru dla każdej długości fali

$$\tau_\lambda = \frac{\bar{Y}_\lambda}{V_\lambda}$$

i ogniwa fotoelektrycznego wraz z jego obwodem i galwanometrem — ma mieć charakterystykę energetyczną identyczną z charakterystyką jednego z współczynników bodźców promieniowania równoenergetycznego, np. Y . Znaczy to, że gdy na ogniwo pada kolejno promieniowanie o różnej długości fali, lecz o równej energii, galwanometr pokazuje wychylenia proporcjonalne do rzędnych krzywej Y . Da się to osiągnąć, jeżeli iloczyn spektralnej wrażliwości ogniwa i spektralnej przepuszczalności filtru będzie dla każdej długości fali równy rzędnej $\bar{Y}$ (rys. 5). Na rysunku wykreślona jest charakterystyka

typowego ogniwa fotoelektrycznego V i żądana charakterystyka odbiornika O proporcjonalna do rzędnych krzywej $\bar{Y}$. Jak widać wynikająca krzywa przepuszczalności spektralnej filtru $\tau = \frac{O}{V}$ odchyła się, zwłaszcza dla długich fal (światła czerwonego) dość znacznie do krzywej $\bar{Y}$.

Trudność przy obliczaniu filtrów polega na tym, że ogniwa fotoelektryczne nawet tej samej serii fabrykacyjnej mają indywidualne różniące się między sobą charakterystyki, a nawet poszczególne ogniwa nierzadko zmieniają z czasem swoją charakterystykę. Konstruktorzy kolorymetru z przesłonami, opisanego w poprzednim ustępie, poradzi sobie w ten sposób, że mając do dyspozycji dużo ogniw dobrali — do dopasowania do typowego ogniwa przesłon — ogniwo swoją charakterystyką tym przesłonem odpowiadające.

Używanie ogniw fotoelektrycznych do kolorymetrów obiektywnych pracujących metodą trzech bodźców tłumaczy się ich wielkimi zaletami oraz łatwością otrzymania. Należy jednak stwierdzić, że do dokładnych pomiarów odpowiedniejsze są stosy termoelektryczne lub bolometry, gdyż ich charakterystyka jest prostolinijna, można więc do przesłony lub filtru mającego charakterystykę współczynnika bodźca użyć dowolnego termostatu lub bolometru oczywiście o wystarczającej czułości.

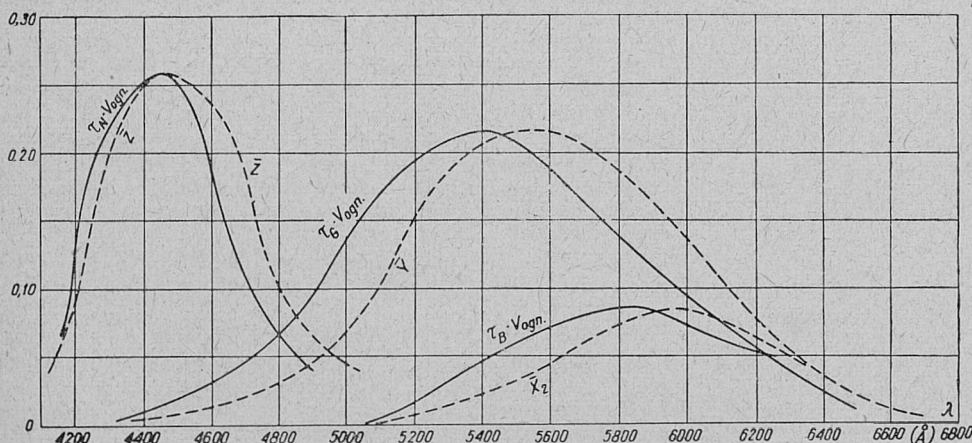
Instytut Elektrotechniki musiał z konieczności zastosować jako przetwornik ogniwo termoelektryczne, gdyż charakterystyki filtrów u producenta świetlówek były dostosowane do ogniwa. Instytut nie mógł jednak pójść drogą, którą poszli wytwórcy opisanego poprzednio kolorymetru z przesłonami, gdyż nie rozporządzał większą liczbą zbędnych ogniw. Należało więc znaleźć inną drogę.

Najprzód zdjęto przy pomocy monochromatora charakterystyki spektralne filtrów i przyjmując krzywą typowego ogniwa fotoelektrycznego według rys. 6 wykreślono krzywe odbiorników *). Z trzech otrzymanych filtrów filtr niebieski (oznaczenie N) służył równocześnie do pomiaru Z i niższej gałęzi X zwanej w dalszym ciągu X_1 , gdyż $\bar{Z}$ i $\bar{X}_1$ są do siebie bardzo podobne, przy czym można przyjąć, że $\bar{X}_1 = 0,175 \bar{Z}$, dla bardzo dokładnych pomiarów trzeba jednak używać osobnych filtrów dla X_1 i Z ; używa się wtedy 4 filtrów, to jest dla Y , dla Z i osobno dla X_1 i X_2 . Wyniki w porównaniu z współczynnikami $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ podano na rys. 6.

Jak widać, charakterystyki trzech odbiorników przesunięte są w stosunku do współczynników bodźców dość znacznie w kierunku krótszych fal. Pochodzi to częściowo z niedostatecznego dopasowania charakterystyk filtrów i ogniwa.

Następnie według wysokości amplitud uzyskanych krzywych obliczono mnożniki, przez które należałoby mnożyć odczyty galwanometru, aby otrzymać stosunek amplitud wychylenia galwanometru odbiorników, równy stosunkowi amplitud $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$, przy czym amplitudę $\bar{Y}$ przyjęto równą 1. Stosunek ten wynosi (jak wynika z tablicy współczynników bodźców) $X_2 : Y : Z = 1,062 : 1,00 : 1,783$. Na rysunku 6 podano rzędne odbiorników jako iloczyny zmierzonych przepuszczalności filtrów i względnych wartości wrażliwości ogniwa V . Krzywe współczynników bodźców podano w różnych skalach, tak aby ich amplitudy na rysunku były równe amplitudom krzywych odbiorników, co ułatwia porównanie.

Oczywiście dla obliczenia względnych wartości X , Y , Z należy odczyty galwanometru I , I_Y , I_Z pomnożyć przez odpowiednie mnożniki, aby otrzymać ich właściwy stosunek. Jeżeli przyjmiemy za podstawę porównania Y (a więc mnożnik dla $Y = 1$) i zważywszy, że zmierzone amplitudy krzywych dla $\tau_N \cdot V_{ogn}$ (dla Z) i $\tau_Y \cdot V_{ogn}$ (dla Y) wynoszą 26,25 wzgl. 21,75 (rys. 6), a więc, że ich stosunek wynosi 1,21:1, a ma wynosić 1,733:1, to otrzymamy mnożnik $m_Z = 1,47$. Dla X_2 obliczono w ten

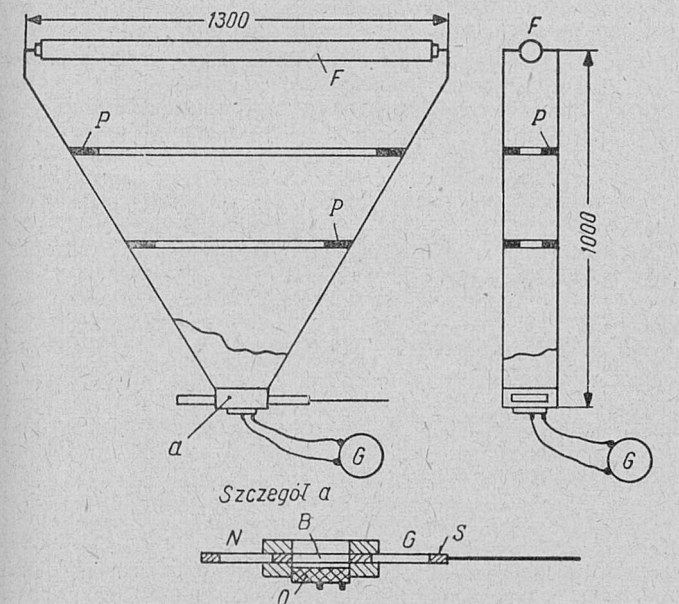


Rys. 6. Porównanie charakterystyk odbiorników badanych w Instytucie Elektrotechniki z współczynnikami trzech bodźców promieniowania równoenergetycznego

*) Szczegółowy opis pomiarów wykonanych w Instytucie Elektrotechniki (Zakład Techniki Świetlonej), jak i wyprowadzenie i przykład obliczenia filtrów czytelnik znajdzie w artykule autora w numerze oświetleniowym Prac Instytutu Elektrotechniki (2).

sam sposób mnożnik $m_2 = 2,65$, a dla X_1 przyjęto $m_1 = 0,175 \cdot m_z = 0,258$.

Aby sprawdzić doświadczalnie metodę, sporządzono kolorymetr przedstawiony i objaśniony na rys. 7 (skrzynka była wykonana z drzewa i wewnątrz na czarno polakierowana)



Rys. 7. Kolorymetr obiektywny z filtrami wykonany w Instytucie Elektrotechniki (Zakładzie Techniki Światłowej)

(a) Szkic schematyczny kolorymetru

F — świetlówka
S — suwak z trzema filtrami kolorowymi N (niebieskim), B — (brunatnym) i G (zielonym)
O — ogniwo fotoelektryczne
P — czarne przesłony

i zmierzono dwie posiadane przez Zakład Techniki Światłowej żarówki A (o temperaturze koloru 2854°K), których współrzędne koloru są znane i wynoszą

$x = 0,4475$, $y = 0,4075$.

Jeżeli natężenie prądu galwanometru uzyskane przy użyciu trzech filtrów niebieskiego (N), zielonego (G) i brunatnego (B) nazwiemy I_N itd., mnożniki zaś oznaczmy literą m z odpowiednimi wskaźnikami, to otrzymamy

(4)
$$\begin{cases} X = X_1 + X_2 = 0,175 \cdot m_z \cdot I_N + m_x \cdot I_B; \\ Y = m_y \cdot I_G; \quad Z = m_z \cdot I_N. \end{cases}$$

Z pomiarów otrzymano $I_N = 23,0 \mu A$; $I_G = 80,8 \mu A$; $I_B = 30,8 \mu A$, z czego, jak łatwo sprawdzić, wynika: $x = 0,434$ (różnica w stosunku do wartości rzeczywistej — 3,0%), $y = 0,400$ (różnica w stosunku do wartości rzeczywistej — 1,8%).

Różnic tego rzędu wielkości należało oczekiwać z powodu niepokrywania się charakterystyk odbiorników z krzywymi $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ (por. rys. 6).

Ażeby móc bez sporządzania nowych filtrów wyznaczyć z większą dokładnością współrzędne kolorów świetlówek, postanowiono z pomiarów świetlówek o znanych współrzędnych koloru oznaczyć mnożniki dla trzech wyrabianych u nas rodzajów świetlówek, jeżeli bowiem znamy dla jakiegoś światła współrzędne koloru x, y, z i zmierzmy natężenie prądu galwanometru I_N, I_G, I_B , to możemy obliczyć m_x, m_z .

Jeżeli obierzemy $m_y = 1$, to $Y = I_G$, więc $y = \frac{Y}{X+Y+Z} = \frac{I_G}{X+Y+Z}$, a ponieważ

(5)
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = \frac{m_z \cdot I_N}{X+Y+Z},$$

przeto $\frac{z}{y} = m_z \cdot \frac{I_N}{I_G}$, skąd

(6a)
$$m_z = \frac{I_G}{I_N} \cdot \frac{z}{y}.$$

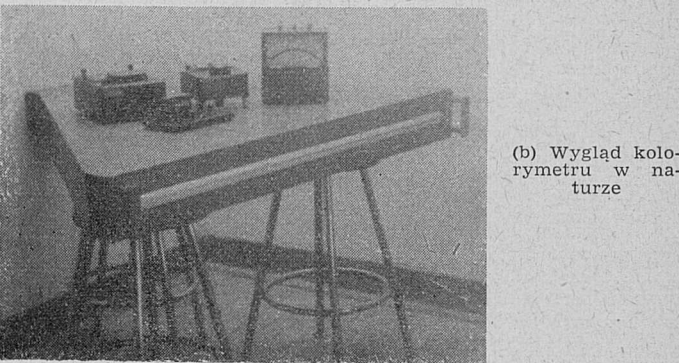
Jak dawniej przyjęto dla średnio dokładnych pomiarów (6b)
$$m_{x_1} = 0,175 \cdot m_z.$$

Wreszcie analogicznie do m_z jest $m_{x_2} = \frac{I_G}{I_B} \cdot \frac{x_2}{y}$, a ponieważ $x_2 = x - x_1 = x - 0,175 z$, przeto

(6c)
$$m_{x_2} = \frac{I_G}{I_B} \cdot \frac{x - 0,175 z}{y}.$$

Pomiary grup świetlówek dały wyniki ujęte w tabl. II.

Punkt koloru światła żarówki A oraz świetlówki „dzienne światło” (Dz) przypada na krzywej kolorów promieniowania czarnego ciała (por. [1], rys. 11), punkt światła białej świetlówki



ki B_s bardzo blisko tej krzywej. Natomiast punkt światła świetlówek ciepłobiałej (Cb) jest dość znacznie oddalony od tej krzywej. Otóż mnożniki poszczególnych światel wzrastają ze zwiększaniem się temperatury koloru z wyjątkiem właśnie mnożników światła świetlówek Cb.

Zespół ogniwa i filtrów badany w Zakładzie Techniki Światłowej Instytutu Elektrotechniki stanowi wystarczające urządzenie do pomiarów współrzędnych kolorów świetlówek przy użyciu zmiennych mnożników. Błędy pomiarów przy użyciu sztywnych mnożników — zwłaszcza przy pomiarze kolo-

Tablica II. Mnożniki dla odbiorników zmierzonych w Instytucie Elektrotechniki

Źródło światła	Kolor	Współrzędne koloru		Mnożniki		
		x	y	m_{x_1}	m_{x_2}	m_z
Żarówka A	temperatura koloru 2854°K	0,4475	0,4075	0,219	2,71	1,25
Świetlówka ciepło-biała	niedu zbliżony do temp. kol. 3000°K	0,445	0,391	0,218	2,67	1,24
Świetlówka biała	silnie zbliżony do temp. kol. 4200°K	0,3765	0,3655	0,221	2,73	1,26
Świetlówka dzienne światło	temperatura koloru 6400°K	0,314	0,3245	0,251	2,89	1,43

rów bardziej nasyconych — byłyby jednak spore. Powstaje pytanie, czy możemy tak dopasować filtry do przetwornika, aby odchyłki krzywych odbiorników od $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ były bardzo małe, a tym samym wyznaczanie współrzędnych kolorów przy sztywnych mnożnikach zapewnione ze znaczną dokładnością.

5. Obliczanie filtrów.

Filtry skleamy — dla otrzymania charakterystyk widmowych jak najbardziej zbliżonych do przepisanych — z kilku warstw o różnych charakterystykach. Podstawowe prawo pochłaniania orzeka, że spadek strumienia świetlnego w kierunku drogi promienia światła jest w każdym punkcie drogi proporcjonalny do strumienia w tym punkcie, a więc

$$-d\Phi = c\Phi dl, \text{ skąd } \ln \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = cl,$$

lub dla warstwy o grubości g

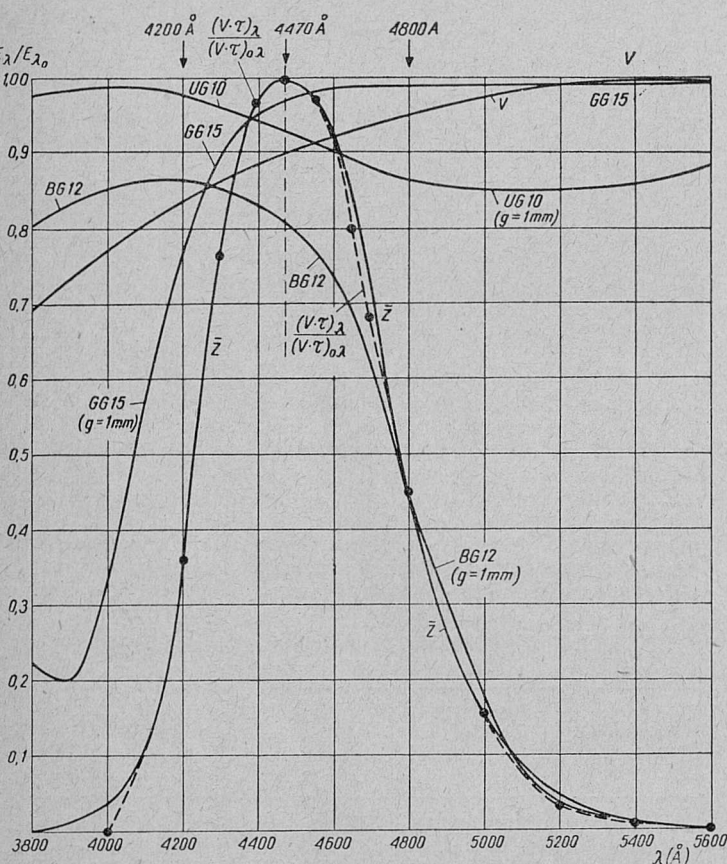
$$\tau = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = e^{-c \cdot g}$$

lub dla danej długości fali λ

$$(7) \quad \tau_{(\lambda)g} = e^{-c_{(\lambda)} \cdot g}$$

gdzie $\tau_{\lambda} = e^{-c_{(\lambda)}}$ — przepuszczanie dla jednostki grubości, $\tau_{(\lambda)g}$ — przepuszczanie dla długości fali λ i grubości warstwy g .

Z tego równania podstawowego do obliczania filtrów dadzą się dla n warstw filtrów wyprowadzić następujące równania



Rys. 8. Krzywe do przykładu obliczenia filtru Z

Grubość trzech filtrów Schotta BG12, GG15, UG10 obliczono tak, aby po sklejeniu dawały wraz z ogniwnem selenowym V dla długości fali 4200 Å i 4800 Å względną wrażliwość odbiornika równą względnym wartościom krzywej Z oraz aby maksimum ich wrażliwości występowało przy tej samej długości fali (4470 Å) co maksimum krzywej Z. Krzywa $\frac{(V \cdot \tau)_{\lambda}}{(V \cdot \tau)_{\lambda_0}}$ jest charakterystyką wrażliwości obliczonego odbiornika i, jak widać, tylko w trzech miejscach odbiega nieznacznie od krzywej Z.

przy warunku, że $\tau_{\lambda} V_{\log n}$ jest dla długości fal $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ proporcjonalne do odpowiedniej wartości współczynnika bodźca promieniowania, równoenergetycznego (np. Y):

$$(8) \quad \begin{cases} g_1 \lg a_{(\lambda_1)1} + g_2 \lg a_{(\lambda_1)2} + \dots + g_n \lg a_{(\lambda_1)n} = A_{(\lambda_1)}, \\ g_1 \lg a_{(\lambda_n)1} + g_2 \lg a_{(\lambda_n)2} + \dots + g_n \lg a_{(\lambda_n)n} = A_{(\lambda_n)}, \end{cases}$$

gdzie $a_{(\lambda)m} = \frac{\tau_{(\lambda)} N r m}{\tau_{(\lambda_0)} N r m}$; słowami jest to stosunek przepuszczania

warstwy filtru Nr m o grubości 1 mm dla jakiejś obranej długości fali do przepuszczania tej warstwy filtru dla długości fali, przy której krzywa odbiornika osiąga swoje maksimum; A zaś oznacza dla filtru Y

$$A_{(\lambda m)} = \lg \left(\frac{\bar{Y}_{\lambda m}}{\bar{Y}_{\lambda_0}} \cdot \frac{V_{\lambda_0}}{V_{\lambda m}} \right);$$

jest to więc iloczyn stosunku współczynnika bodźca promieniowania równoenergetycznego dla tej obranej długości fali do współczynnika dla długości fali amplitudy współczynnika bodźca (tu przykładowo Y) i stosunku wrażliwości przetwornika (np. ogniwa) dla długości fali amplitudy i długości fali obranej. Dla stosu termoelektrycznego lub bolometru jest

$$\text{oczywiście } \frac{V_{\lambda_0}}{V_{\lambda m}} = 1.$$

Z warunku, aby szczyt (amplituda) krzywej odbiornika przypadła przy tej samej długości fali, co szczyt współczynnika bodźca promieniowania równoenergetycznego (np. Y), wynika jeszcze jeden warunek:

$$(9) \quad g_1 \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\tau_{(\lambda_0)1}} + \dots + g_n \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\tau_{(\lambda_0)n}} = -B_{\lambda_0},$$

gdzie α_m oznacza kąt, który tworzy styczna krzywej przepuszczania danej warstwy filtru m z osią odciętych przy długości fali odpowiadającej amplitudzie (maksimum krzywej) łącznej charakterystyki całego odbiornika; w powyższym równaniu

$$B_{\lambda_0} = \frac{1}{V_{\lambda_0}} \cdot \frac{dV_{\lambda_0}}{d\lambda_0};$$

jest to tangens kąta stycznej w punkcie charakterystyki przetwornika (np. ogniwa), odpowiadający długości fali λ_0 , podzielony przez rzędną tej charakterystyki. Jeżeli więc chcemy, aby krzywa odbiornika $V_{\log n}$ była w n punktach (długościach fal) proporcjonalna np. do krzywej Y (a więc względne wartości obu krzywych pokrywały się w tych punktach), a ponadto aby obie krzywe przy tej samej długości fali przechodziły przez maksimum, musimy skleić $n + 1$ warstw filtrów i z n równań (8) oraz równania (9) obliczyć grubości warstw filtrów $g_1 \dots g_{n+1}$, które — będąc nałożone na siebie — spełnią ten warunek. Teoretycznie trzeba by więc nieskończonej liczby filtrów, aby krzywa odbiornika pokrywała się z krzywą promieniowania równoenergetycznego. W praktyce przy użyciu 3 do 4, wyjątkowo 5 filtrów starannie wybranych można osiągnąć daleko idące pokrywanie się obu względnych krzywych.

Dla zorientowania się w tej sprawie obliczono filtr dla współczynnika Z składający się z 3 warstw*). Wyniki obliczenia podano na rys. 8. Charakterystyki przepuszczalności zaprojektowanych filtrów Schotta dla grubości 1 mm BG12, GG15 i UG10 wzięto z katalogu tej firmy, charakterystykę względną wrażliwości widmowej ogniwa przyjęto wedle danych typowego ogniwa (krzywa V na rysunku). Charakterystyka odbiornika $\frac{(V \cdot \tau)_{\lambda}}{(V \cdot \tau)_{\lambda_0}}$ podana jest we względnych wartościach (dla maksimum przy długości fali $\lambda = 4470 \text{ Å}$ równa

jedności) tam, gdzie odbiega ona od krzywej Z (podanej również we względnych jednostkach) jako krzywa kreskowana. Jak widać, niewielka różnica występuje w okolicy $\lambda = 4000 \text{ Å}$, gdzie zarówno obie krzywe są bliskie zera, bardzo małe zaś różnice między 4600 i 4800 Å oraz między 5000 i 5400 Å. Jeżeli porównamy te krzywe z krzywymi na rys. 7, stwierdzimy nieporównanie lepsze upodobnienie charakterystyki odbiornika obliczonego do krzywej Z niż przy filtrach badanych przez Instytut Elektrotechniki.

W praktyce okazało się, że charakterystyki filtrów Schotta podawane w katalogu tej firmy nie są wystarczające, gdyż ich własności wahają się o tyle, że trzeba zdejmować charakterystyki egzemplarzy przeznaczonych do odbiorników kolorymetru. Dotyczy to również ogniwa fotoelektrycznego, zamiast którego zresztą zaleca się użycie stosu termoelektrycznego lub bolometru, co zapewnia niezmienną charakterystykę kolorymetru w czasie.

Po dokonaniu tych w zasadzie niezbyt trudnych pomiarów, po obliczeniu filtrów i doszlifowaniu ich warstw na miarę można przy starannym wykonaniu spodziewać się dokładności wyznaczania współrzędnych koloru x, y w granicach $\pm 1\%$ przy widmie ciągłym światła badanego.

Jak więc widać, metoda ta ze względu na ogromną precyzję

*) Dokładny tok obliczania ob. w Pracach Instytutu Elektrotechniki [2].

stotę urządzeń, łatwość ich obsługi i dokładność wyników zasługuje ze wszelkich miar na uwagę. Dla wyciągnięcia ostatecznych wniosków należy porównać metody obiektywne z subiektywnymi i między sobą.

6. Ocena porównawcza metod kolorymetrii.

Dalsze nasze rozważania musimy nawiązać do analizy powiązania wrażeń wzrokowych z wielkością bodźców. Zamiast intensywności wrażenia podstawiamy zarówno w fotometrii, jak i w kolorymetrii, dla pewnego ściśle określonego wrażenia wielkość bodźca, który je wywołuje, a następnie mierzymy już tylko fizyczną intensywność bodźców, nie troszcząc się przy pomiarach o to, w jakiej skali zmienia się intensywność wrażeń w zależności od intensywności bodźców, gdyż określić tego nie możemy.

Jeżeli więc przy pomiarze posługujemy się metodą wzrokową (wizualną) czyli subiektywną, używając zmysłu wzroku jako przyrządu zerowego, musimy dokładnie ustalić warunki, gdyż różne bodźce o równej intensywności nie zawsze wywołują wrażenia wzrokowe o równej intensywności.

Jeżeli np. obserwator przebywał przed pomiarem jakiś czas w takich warunkach, że światło, które do niego dochodziło, miało większą niż zazwyczaj zawartość promieniowania pomarańczowego, to wrażliwość wzroku na światło pomarańczowe przejściowo zmniejszyła się. Jeżeli więc obserwator w tym stanie będzie porównywał dwa światła o identycznych współrzędnych koloru $x = 0,39$; $y = 0,435$ o składzie^{*)}:

światło A = promien. 4550 Å (kolor niebieski prawie fiolet.) +
+ prom. 5710 Å (kolor żółty),
światło B = prom. 5000 Å (kolor zielony) + prom. 6000 Å (kolor pomarańcz.),

to kolor światła B wydawać mu się będzie przesunięty na prostej 5000 — 6000 Å w kierunku 5000 Å, a więc jego fala podstawowa zmienia się dla obserwatora z 5700 np. na 5600 Å. Kolor z żółtego o odcieniu lekko zielonkawym zmienia się na wyraźnie zielony chociaż o odcieniu żółtawym.

Dla osiągnięcia dobrych wyników przy pomiarach kolorów metodą subiektywną (wzrokową) powinny być spełnione następujące warunki:

- a) własności wzroku obserwatora muszą być w dużym stopniu upodobnione do własności „obserwatora normalnego”;
- b) oko musi być wypoczęte — zwłaszcza pod względem spostrzegania kolorów;
- c) pomiar musi być tak dokonany, aby oba światła porównywane padały na żółtą plamkę siatkówki — najbardziej wrażliwą na kolory;
- d) natężenie oświetlenia zarówno kolorów porównawczych, jak i tła, musi być takie, aby oko było nastawione na jasność, nie na zmrok; przy tym kolor tła musi być neutralny;
- e) obserwator musi też psychicznie być „nastawiony” na pomiar i w stanie pełnej równowagi psychicznej.

Z powyższych warunków pierwszy jest bardzo trudny do spełnienia, w laboratoriach pracuje zwykle większa liczba obserwatorów, o których zazwyczaj nawet nie wie się, w jakim stopniu własności ich wzroku odchylają się od własności „normalnego obserwatora”. Ponadto własności wzrokowe zmieniają się ciągle, a nawet jak wykazały badania, okresowo z porami roku.

Również drugi warunek jest trudny do spełnienia: wzrok największej części ludzi męczy się bardzo szybko właśnie przy badaniach i pomiarach kolorymetrycznych. Warunek ostatni jest równie trudny do spełnienia jak i do skontrolowania. Fizyczne „bodźce” są po „odebraniu” przez aparat oka „opracowywane” i „przerabiane” na wrażenia. Bodźcem odbieranym jest tylko światło, a celem zmysłu wzroku jest nie spostrzeganie światła, lecz poznanie własności przedmiotów otaczających, od których światło tylko odbija się. Analiza tych spraw przekracza cel i rozmiary niniejszej pracy. Tu jednak musimy podkreślić, że psychiczna część aparatu odbiorczego zmysłu wzroku gra ogromną rolę w formowaniu się wrażeń, przetwarzając niekiedy bardzo znacznie reakcję odebraną przez zewnętrzne organy.

Tych wszystkich trudności unika się stosując obiektywne metody pomiaru. Toteż możemy stwierdzić, że kolorymetryczne pomiary obiektywne będą na ogół nie tylko dokładniejsze, ale także pewniejsze od pomiarów subiektywnych (wzrokowych). Musimy pamiętać, że w kolorymetrii — podobnie jak w fotometrii — mierzymy nie wrażenia, lecz pewne właściwości bodźców, ich zaś działanie na organ wzroku uwzględniamy obliczeniowo w sposób umowny.

Obliczenie to możemy wykonać w trojaki sposób.

1) Obliczenie na papierze. Za pomocą spektrometru lub monochromatora rozszczepiamy promieniowanie i mierzymy za pomocą odpowiedniego odbiornika moc wąskich pasm widma, po czym mnożąc na papierze $\Delta E_{\lambda} \cdot \bar{X}_{\lambda} = \Delta X$ dla poszczególnych pasm otrzymujemy po dodaniu ich, znów na papierze $X = \sum \Delta X_{\lambda}$ i analogicznie dla Y i Z.

Jest to klasyczny sposób wyznaczania współrzędnych koloru metodą obiektywną. Przy doskonałych urządzeniach pomiar taki wykonany bardzo starannie przez pracownika o wysokich kwalifikacjach daje najdokładniejsze wyniki. Ponadto wyznacza on równocześnie rozkład widmowy badanego promieniowania w zakresie widzialnym. Zarówno pomiary, jak i obliczenia, pochłaniają dużo pracy.

2) Całkowanie za pomocą spektrometru i przesłona lub za pomocą filtrów. Operacja mnożenia w tym wypadku $dE_{\lambda} \cdot \bar{X}_{\lambda} = dX_{\lambda}$ oraz tworzenia całki $X = \int dX_{\lambda}$ odbywa się tu automatycznie, a jej dokładność zależna jest od dokładności wykonania urządzeń. Ta metoda, którą autor nazywa „metodą pomiaru trzech bodźców”, gdyż wartości bodźców nie są obliczone, lecz bezpośrednio mierzone, nie dorównywa dokładnością metodzie obliczeniowej, gdyż obliczenia można wykonywać z dowolną dokładnością, urządzenia zaś mechaniczne względnie optyczne mogą być wykonane tylko z ograniczoną dokładnością.

3) Całkowanie za pomocą organu wzroku indywidualnego obserwatora. Tu błędy wywołane są zarówno granicami czułości zmysłu wzroku jako organu zerowego, jak i omówionymi już właściwościami wzroku indywidualnego obserwatora. Jest rzeczą jasną, że metoda ta — subiektywna, zwana także wzrokową — nie może pod względem dokładności, a także pewności dorównać metodom pomiaru trzech bodźców wymienionym w p. 2).

Z powyższej analizy wynika jasno, że metody obiektywne obliczeniowej użyjemy przy najdokładniejszych pomiarach naukowych, natomiast dla pomiarów naukowych o średniej dokładności i dla pomiarów praktycznych, np. przemysłowych, gdzie wymagana jest stosunkowo znaczna dokładność, zastosujemy jedną z metod pomiaru trzech bodźców wymienionych w p. 2). Metody subiektywne zastosujemy tylko tam, gdzie specjalne warunki pomiaru utrudniają zastosowanie metod obiektywnych.

Należy podkreślić, że powyższa ocena dotyczy tylko wyznaczania współrzędnych koloru, a więc wielkości „psychofizycznych”. Tam, gdzie chodzi o ocenę pełnego wrażenia wzrokowego (a więc zjawiska psychicznego), dochodzą takie cechy, jak rodzaj powierzchni (gładkość lub szorstkość, matowość lub połysk), kształt itd. Wtedy już nie światło badamy, lecz powierzchnię oświetloną, a często nawet przedmiot oświetlony. Tu oznaczenie koloru za pomocą współrzędnych w trójkącie kolorów nie jest jedyną, a częstą i nie najważniejszą sprawą, natomiast np. oznaczenie „koloru” za pomocą porównania z atlasem kolorów lub nawet z próbkami może być w wielu wypadkach nie tylko wystarczającą, ale nawet najlepszą metodą.

Pozostaje jeszcze porównanie obu metod pomiaru trzech bodźców — za pomocą przesłony lub filtrów.

Bezsprzecznie metoda oparta na użyciu trzech przesłon jest teoretycznie dokładniejsza. W praktyce jednak można, jak to podano w rozdz. 5, obliczyć i wykonać filtry umożliwiające znaczną dokładność pomiarów. Gdy zważymy ogromną prostotę tak potrzebnej aparatury (nie potrzeba spektrometru ani na ogół żadnych optycznych przyrządów) i samego pomiaru, musimy dla większości wypadków przyznać wyższość metodzie pomiaru trzech bodźców za pomocą filtrów. Metoda ta zasługuje nie tylko w laboratoriach naukowych, ale także w przemyśle i w życiu gospodarczym wszędzie tam, gdzie pomiar współrzędnych koloru jest potrzebny lub pożyteczny, na jak najszersze zastosowanie.

LITERATURA

- [1] Berson L. Przestrzeń i płaszczyzna kolorów (Przegl. Elektr., 1955, z. 5)
- [2] Berson L. Wyznaczanie współrzędnych koloru metodą pomiaru trzech bodźców (Prace Inst. Elektr., r. IV, nr 14).
- [3] Goldschmidt J. Objektive Farbemessungen in der Meteorologie (Zeitschr. f. Meteorologie, 1950, 6)
- [4] Bachmann K. H. Die rechnerische Bestimmung von Lichtfilterkombinationen mit vorgegebener Durchlässigkeit (Zeitschr. f. Meteor., 1950, 6)
- [5] Harrison W. A. Spectral Band Photometer for Fluorescent Lamps (Light and Lighting, 1952, 4)

^{*)} Por. Berson L. Przestrzeń i płaszczyzna kolorów (PE, 1955, z. 6, str. 351, rys. 11a).

INŻ. JAN NASIŁOWSKI
Instytut Elektrotechniki

Uwagi o konstrukcji i zastosowaniach wyłączników szybkich prądu stałego

62.002.86:621.3.066.024

Treść. Systematyka wyłączników prądu stałego. Rozwiązania mechanizmów wyłączników prądu stałego. Wpływ zastosowania wyłączników na ich konstrukcję. Konstrukcja komór łukowych.

О конструкции и применении быстродействующих выключателей постоянного тока. Систематика выключателей. Устройство механизмов в выключателях постоянного тока. Влияние способа применения выключателей на их конструкцию. Конструкция дуговых камер.

Remarks on the Construction and Applications of Rapid D. C. Circuit-Breakers. Systems of D. C. circuit-breakers. Types of mechanisms of D. C. circuit-breakers. The effect of the application of circuit-breakers on their construction. The construction of arc chambers.

1. Wstęp.

Wszechstronny rozwój naszej gospodarki sprawia, że coraz częściej spotyka się urządzenia elektryczne prądu stałego, które znajdują szerokie zastosowanie technologiczne w elektrotechnice i elektrometalurgii (hutnictwo aluminium, rafinacja miedzi), w napędach (walcownie, wyciągi górnicze), w trakcji elektrycznej (koleje główne, podmiejskie i przemysłowe, tramwaje i trolejbusy). Wszystkie wymienione zastosowania prądu stałego charakteryzują się znacznymi mocami zainstalowanymi i dość wysokimi napięciami znamionowymi, dochodzącymi do 3300 V. Sprawia to, że prądy zwarciovowe w tych urządzeniach osiągają znaczne wartości — nierzadko dziesiątki tysięcy amperów i więcej. Poważne skutki cieplne i dynamiczne działania takich prądów są oczywiste. Celem ograniczenia szkód w skutek nieuniknionych w eksploatacji przecieżeń i ułatwienia przerwania zwarcia stosuje się wyłączniki szybkie.

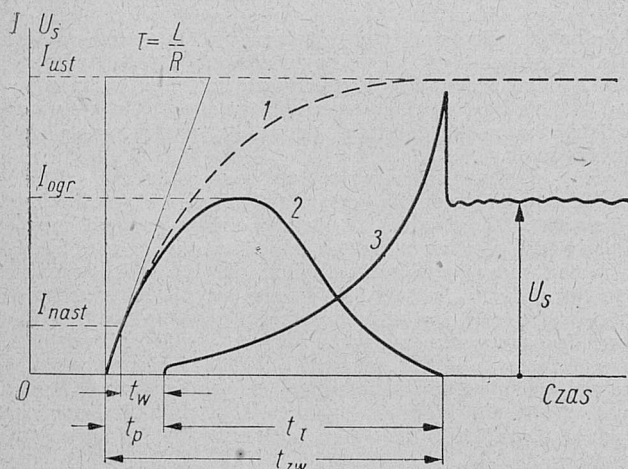
Przez wyłącznik szybki rozumiemy taki wyłącznik, w którym otwarcie styków i ograniczanie prądu zwarciovowego rozpoczyna się na tyle wcześniej, że prąd zwarciovowy w obwodzie nie zdąży osiągnąć wartości ustalonej wynikającej z prawa Ohma $I = U : R$. Oczywiście wartość ustalona prądu zwar-

cia wyłącznika. Próbę taką przeprowadzać należy w obwodzie, w którym prąd ustalony może osiągnąć wartość nie mniejszą od 40 kA przy początkowej strumieniu jego narastania nie mniejszej od $2 \cdot 10^6$ A/s; oporność i indukcyjność obwodu nie powinny być przy tym w sposób sztuczny zwiększane. Rys. 1 przedstawia schemat oscylogramu próby zwarciovowej z zaznaczeniem interesujących nas wielkości.

Jak widać, wymagania dotyczące szybkości działania wyłączników są przy prądzie stałym odmienne niż w przypadku wyłączników prądu zmiennego, gdzie dąży się do przerywania ustalonej wartości prądu zwarciovowego, która jest znacznie mniejsza od wartości udarowej występującej bezpośrednio po zwarciu (rys. 2). Natomiast w obwodzie prądu stałego prąd zwarciovowy narasta według zależności:

$$I = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right),$$

dążąc asymptotycznie do wartości ustalonej (rys. 1). W takim obwodzie opóźnienie chwili otwarcia styków wyłącznika stwarza dla niego cięższe warunki pracy i utrudnia przerwanie zwarcia, czemu nie sprzyja jak przy prądzie zmiennym,



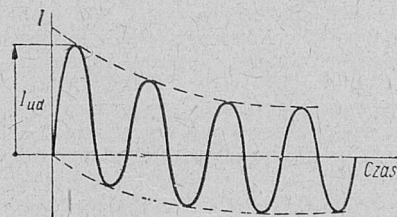
Rys. 1. Schemat oscylogramu próby zwarciovowej wyłącznika prądu stałego

- 1 — teoretyczny przebieg narastania prądu zwarciovowego do wartości ustalonej
- 2 — przebieg prądu zwarciovowego w obwodzie chroniowym wyłącznikiem szybkim
- 3 — przebieg napięcia między stykami wyłącznika podczas wyłączania zwarcia

I_{nast} — wartość prądu nastawienia wyłącznika na zadziałanie
 I_{ogr} — ograniczona wartość prądu zwarciovowego
 I_{ust} — ustalona wartość prądu zwarciovowego
 t_p — czas przedłukowy
 t_l — czas palenia się łuku między stykami wyłącznika
 t_w — czas własny wyłącznika
 t_{zw} — czas trwania zwarcia
 U_{max} — maksymalna wartość napięcia między stykami wyłącznika

$T = L : R$ — stała czasowa obwodu zwarciovowego

ciowego jest przy tym kilkakrotnie większa od wartości prądu nastawienia wyłącznika na zadziałanie. Radziecka norma na wyłączniki szybkie GOST 2585—44 precyzuje to ogólne wymaganie, żądając żeby wyłącznik szybki w określonym obwodzie zwarciovym wykazywał czas własny nie dłuższy niż 5 ms, całe zwarcie nie powinno trwać dłużej niż 20 ms, napięcia zaś powstające przy wyłączaniu zwarcia nie powinny przekraczać więcej niż o 100% wartości znamionowego na-



Rys. 2. Przebieg prądu zwarciovowego w obwodzie prądu zmiennego
 I_{ud} — wartość udarowa prądu zwarciovowego

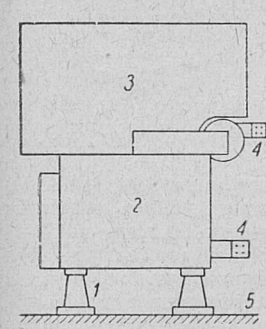
samoczynne okresowe przechodzenie chwilowych wartości prądu i napięcia przez wartość zerową.

W normie GOST 2585—44 wyłączalność wyłączników szybkich dla różnych napięć (600 V, 1650 V i 3300 V) została określona w sposób jednakowy — żądaniem zadowalającej pracy w obwodzie o ustalonej wartości prądu co najmniej 40 kA. Oczywiście, wyłącznik szybki ma nie dopuścić do osiągnięcia tej wartości. Próba zwarciovowa powinna odbyć się przy napięciu znamionowym. Spełnienie powyższych wymagań szybkości działania i wyłączalności nie jest bynajmniej sprawą łatwą i wymaga zastosowania szeregu specjalnych środków konstrukcyjnych. Trudność znalezienia zadowalającego rozwiązania sprawia, że istnieje wiele różnorodnych konstrukcji, opierających się nieraz na zupełnie odmiennych koncepcjach. Jak dalece koncepcje wyłączników szybkich różnią się między sobą, niech świadczy porównanie ciężaru dwóch wyłączników o tych samych danych znamionowych — 3000 V, 2000 A. Wyłącznik HS-3 produkcji włoskiej waży ponad 500 kg; wyłącznik WAB-2 produkcji radzieckiej — poniżej 200 kg.

2. Ogólne charakterystyki wyłączników.

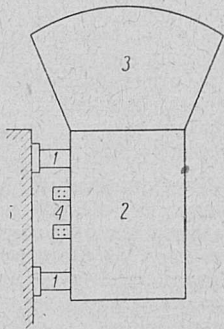
Spotyka się czasem rodziny wyłączników szybkich (jak np. WAB-2), pokrywających zakres potrzebnych napięć znamionowych i prądów. Wspólną cechą takiej rodziny jest tożsamość konstrukcji mechanizmu. Zależnie od napięcia znamionowego wyłączniki jednej rodziny różnią się izolacją i układem gaszenia łuku. Najczęściej spotykamy następujące wartości napięć znamionowych w wyłącznikach szybkich: 600 V, 825 V, 1500 V, 3000 V. Wyłączniki o tym samym napięciu znamionowym różnią się będą między sobą wartościami prądu znamionowego. Najczęściej spotyka się wyłączniki na następujące prądy znamionowe: 600 A, 1000 A, 1600 A, 2000 A, 2400 A, 3000 A. Rzadziej spotyka się wyłączniki na większe prądy znamionowe. Jest to odbiciem nietylko potrzeb, ale i trudności konstrukcyjnych w uzyskaniu szybkiego działania tych wyłącz-

ników, których układ przewodzący, zawierający styk ruchomy, nie może być wówczas lekki i o małej bezwładności. Czasem w takich przypadkach dla zmniejszenia masy styku ruchomego stosuje się intensywne chłodzenie wodne drażonego styku nieruchomego, kiedy indziej natomiast konstruktorzy zalecają równoległe połączenie dwóch jednakowych wyłączników na mniejsze prądy znamionowe. Zasadniczym posunięciem, zmniejszającym bezwładność układu ruchomego, dla zapewnienia szybkiego działania wyłączników prądu stałego,



Rys. 3. Ukształtowanie wyłącznika stojącego

- 1 — izolator wsporczy
- 2 — mechanizm wyłącznika
- 3 — komora łukowa
- 4 — zaciski wyjściowe
- 5 — płaszczyzna umocowania

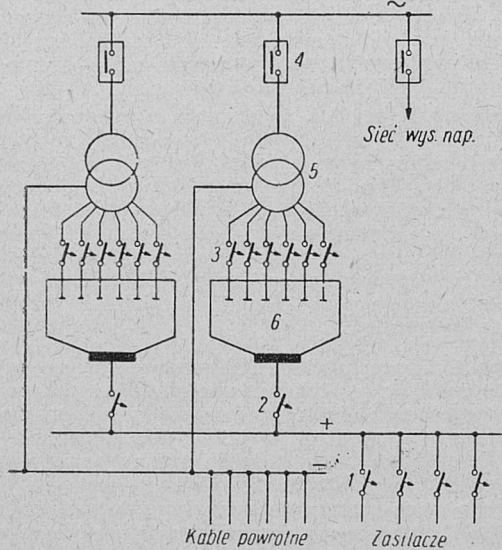


Rys. 4. Ukształtowanie wyłącznika wiszącego

Oznaczenia jak na rys. 3

jest to, że buduje się je jako jednobiegunowe. Wyłączniki te są konstruowane jako samoczynne, co oznacza, że w aparacie jest wbudowany wyzwalacz pierwotny, stanowiący całość konstrukcyjną wraz z wyłącznikiem. Układ wyzwalający wyłącznika prądu stałego umożliwia w pewnym zakresie zmianę wartości prądu nastawienia wyłącznika; rzadziej spotyka się wyłączniki o jednej wartości prądu nastawienia, jakimi np. mogą być wyłączniki w obwodzie katody prostownika.

Dalszą wspólną cechą wyłączników prądu stałego jest ich wykonanie wewnętrzne, co znaczy, że nie mogą być



Rys. 5. Schemat zabezpieczeń po stronie prądu stałego podstacji prostownikowej

- 1 — wyłącznik zasilaczowy
- 2 — wyłącznik katodowy
- 3 — wyłącznik anodowy
- 4 — wyłącznik prądu zmiennego
- 5 — transformator prostownikowy
- 6 — prostownik

one narażone na bezpośrednie wpływy atmosferyczne. Elementem wyłącznika szczególnie wrażliwym na wilgoć jest komora łukowa, wykonana prawie wyłącznie z płyt azbestocementowych; rzadko spotyka się próby zastosowania materiałów ceramicznych prawdopodobnie z uwagi na rozmiary komory. Zawilgocenie komory łukowej może być przyczyną znacznego obniżenia wyłączalności. Wyłączniki prądu stałego są powietrzne. Nie stosuje się oleju jako ośrodka gaszenia łuku.

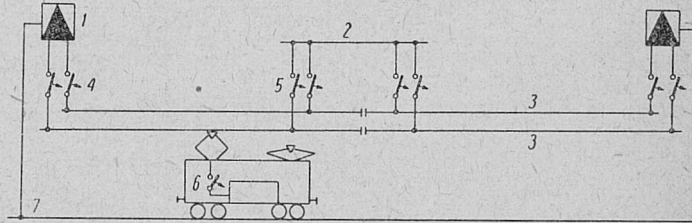
Rozróżniamy dwa ukształtowania wyłączników prądu stałego — są to wyłączniki stosujące (rys. 3) i wiszące (rys. 4). Wyłączniki napięć wyższych są z reguły budowane jako stojące, gdyż taka konstrukcja umożliwia najłatwiejsze osadzenie odpowiednio dużej komory łukowej bez potrzeby rozwiązywania zagadnienia zachowania odstępów izolacyjnych od uziemionej płaszczyzny umocowania.

3. Zastosowania wyłączników prądu stałego.

Wyłączniki prądu stałego o odpowiedniej konstrukcji są stosowane jako zabezpieczenia nadmiarowe od przeciążeń i zwarc lub jako zabezpieczenia kierunkowe przeciwko przepływowi nadmiernego prądu o jednym określonym kierunku. Możliwe jest również jednocześnie połączenie obu zastosowań i wówczas wyłącznik będzie zabezpieczał przed zmianą kierunku prądu i nadmiernym przeciążeniem o prawidłowym kierunku przepływu prądu w chronionym obwodzie.

Ze względu na miejsce pracy wyłączników w obwodzie możemy je podzielić na pięć grup: a) zasilaczowe, b) katodowe, c) anodowe, d) kabinowe, e) taborowe.

a) Wyłączniki zasilaczowe są to wyłączniki zainstalowane na odpływie od źródła prądu do odbioru lub grupy odbiorów. Przez źródło prądu rozumiemy tu szyny rozdzielcze podstawy. W tym miejscu obwodu kierunek przepływu prądu jest najczęściej jeden — od źródła na sieć. Jeśli na sieci są inne źródła energii, to możliwy jest i przeciwny kierunek prądu. Wyłączniki te pracują jako zabezpieczenie nadmiarowe.



Rys. 6. Schemat zasilania kolei elektrycznych z kabiną sekcijną

- 1 — podstacja prostownikowa
- 2 — kabina sekcyjna
- 3 — sieć jezdną jednego toru
- 4 — wyłącznik zasilaczowy
- 5 — wyłącznik kabinowy
- 6 — wyłącznik taborowy na lokomotywie
- 7 — szyny jezdne

b) Wyłączniki katodowe są to wyłączniki umieszczone w przewodach katodowych zespołów prostownikowych równolegle pracujących na wspólne szyny; stanowią one zabezpieczenie kierunkowe, działające przy nieprawidłowym kierunku prądu w przewodzie katodowym. Zjawisko zmiany kierunku prądu w tym przewodzie obserwuje się przy zapłonie wstecznym, a więc wyłącznik katodowy jest przykładem jednego ze sposobów zabezpieczenia prostowników przeciwko skutkom zapłonów wstecznych. Dzięki zadziałaniu tego wyłącznika uszkodzony zespół prostownikowy zostaje oddzielony od zespołów pracujących prawidłowo (rys. 5).

c) Wyłączniki anodowe, instalowane w przewodach anodowych zespołów prostownikowych między anodami prostownika a wtórnymi uzwojeniami fazowymi transformatora, są również zabezpieczeniem kierunkowym działającym przy zapłonie wstecznym w prostowniku. Wyłączniki te lepiej chronią prostowniki i transformator niż sam wyłącznik katodowy, który odłącza tylko uszkodzony zespół od szyn zbiorczych, przerywając przez to dopływ prądu od równolegle pracujących jednostek; zwarcie wewnętrzne w prostowniku trwa aż do stosunkowo powolnego zadziałania wyłącznika prądu zmiennego. Natomiast wyłącznik anodowy przerywa zwarcie faz transformatora, wywołane zapłonem wstecznym w prostowniku i to znacznie szybciej niż jest w stanie to wykonać wyłącznik prądu zmiennego.

Jeśli podstacja prostownikowa ma jeden zespół, to odpada potrzeba instalowania wyłącznika katodowego, a przy niskim napięciu prądu wyprostowanego rezygnuje się również z wyłączników anodowych, gdyż tam zapłony wsteczne są rzadkie i mniej szkodliwe. Istnieją natomiast podstacje o wielu zespołach prostownikowych, nie mające zabezpieczenia w zasilanym obwodzie roboczym (elektrometalurgia), i wówczas wyłączniki katodowe oraz anodowe zabezpieczają zespoły od zapłonów wstecznych, a od przeciążeń i zwarc chronią za-

bezpieczenia po stronie prądu zmiennego i częściowo spolaryzowane wyłączniki anodowe.

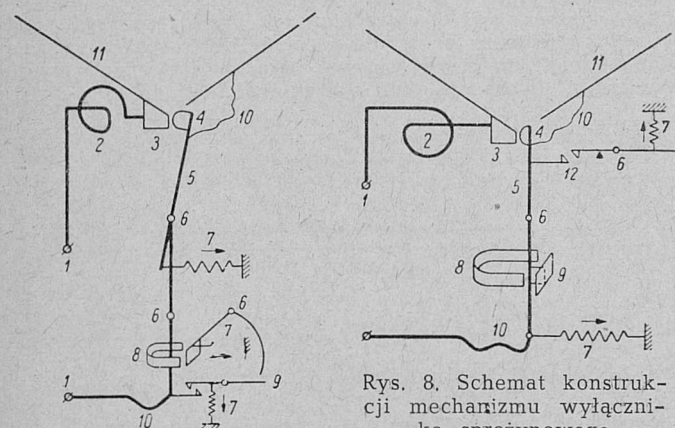
Poza wymienionymi wyżej zastosowaniami wyłączników prądu stałego na podstacjach prostownikowych są inne ich zastosowania ściśle związane z trakcją elektryczną. Są to wyłączniki kabinowe i taborowe (rys. 6).

d) Wyłączniki kabinowe instaluje się w kabinach sekcyjnych sieci trakcyjnych, gdzie mają one działać przy przepływie nadmiernego prądu tylko w kierunku od szyn kabiny do sieci jezdnej.

e) Ostatnią wreszcie grupą są wyłączniki taborowe, pracujące jako zabezpieczenie nadmiarowe na taborze kolei elektrycznych. W stosunku do wyłączników zasilaczowych wyłączniki taborowe muszą być odporniejsze na wstrząsy.

Z powyższego pobieżnego przeglądu zastosowań wyłączników wynika ich dalszy podział z uwagi na działanie w zależności od kierunku przepływającego prądu w chronionym obwodzie. Rozróżniamy tu trzy typy wyłączników: niespolaryzowane, spolaryzowane oraz częściowo spolaryzowane.

Samoczynny wyłącznik niespolaryzowany otwiera swoje styki przy przepływie nadmiernego prądu niezależnie od jego kierunku, przy czym dla określonego nastawienia zadziałanie



Rys. 7. Schemat konstrukcji mechanizmu wyłącznika zapadkowego

- 1 — zaciski wejściowe
- 2 — cewka wydmuchowa
- 3 — styk nieruchomy
- 4 — styk ruchomy
- 5 — ramię stykowe
- 6 — oś obrotu
- 7 — sprężyna
- 8 — nieruchoma część układu wyzwalającego
- 9 — mechanizm zapadkowy
- 10 — giętki łącznik
- 11 — rozki opalenio

Rys. 8. Schemat konstrukcji mechanizmu wyłącznika sprężynowego

- 1 — zaciski wejściowe
- 2 — cewka wydmuchowa
- 3 — styk nieruchomy
- 4 — styk ruchomy
- 5 — ramię stykowe
- 6 — oś obrotu
- 7 — sprężyna
- 8 — nieruchoma część układu wyzwalającego
- 9 — ruchoma zwora przymocowana do ramienia stykowego
- 10 — giętkie połączenie
- 11 — rozki opalenio
- 12 — zapadkowy zamek przychwyty bierny

wyłącznika następuje przy tej samej wartości prądu dla obu możliwych kierunków przepływu. Wyłączniki te mogą pracować jako zasilaczowe lub taborowe.

Wyłącznik spolaryzowany jest to taki wyłącznik, który otwiera swoje styki tylko przy przepływie nadmiernego prądu o określonym kierunku, a nawet bardzo duży prąd przeciwnego kierunku nie powoduje wyzwolenia styku ruchomego. Wyłączniki takie mogą pracować jako zabezpieczenie nadmiarowe (na zasilaczach, taborze) lub też zabezpieczenie kierunkowe (w przewodach katodowych, anodowych i w kabinach sekcyjnych trakcyjnych sieci kolejowych).

Wyłączniki częściowo spolaryzowane otwierają swe styki przy przepływie nadmiernego prądu o dowolnym kierunku, lecz zadziałanie następuje przy różnych wartościach prądu zależnie od jego kierunku. W wielu przypadkach wyłącznik taki może zastąpić wyłącznik spolaryzowany, jednakże dla wybiorszej pracy zabezpieczeń jest konieczne, ażeby różnica prądów zadziałania dla obu kierunków przepływu była możliwie duża.

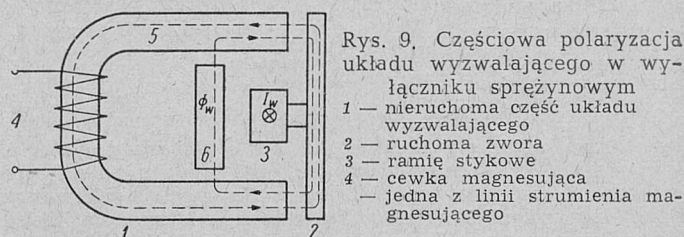
4. Konstrukcje przychwyty.

Z zagadnieniem polaryzacji wyłącznika ściśle wiąże się sposób przychwyty jego układu ruchomego i utrzymanie go w stanie włączonym. Rozróżniamy pod tym względem wy-

łączniki zapadkowe, sprężynowe i z przychwytem elektromagnesowym.

Wyłącznik zapadkowy jest to taki wyłącznik, w którym zamknięcie styków głównych następuje po uchwyceniu układu ruchomego przez zamek z mechaniczną zapadką i wówczas styk ruchomy zostaje dociśnięty do styku nieruchomego pod działaniem sprężyn lub dzięki sprężystości ramienia stykowego; uwolnienie układu ruchomego w takim wyłączniku następuje wskutek wybicia zapadki i wtedy napięte przy załączaniu sprężyny odsuwają styk ruchomy od nieruchomego. Wyłączniki zapadkowe są w zasadzie niespolaryzowane, jednak przez wstępne namagnesowanie układu wyzwalającego mogą uzyskać częściową polaryzację. Rys. 7 przedstawia schemat konstrukcji wyłącznika zapadkowego. Przykładem szybkiego wyłącznika zapadkowego może być wyłącznik firmy szwedzkiej ASEA typ ASMJD 3/1600.

W wyłączniku sprężynowym styk ruchomy jest stale dociskany do nieruchomego pod działaniem silnej sprężyny, a jeśli na skutek przeciążenia obwodu styk ruchomy zostanie odrzucony od nieruchomego, to w położeniu otwartym styk ruchomy musi być utrzymywany w sposób wymuszony np. za pomocą zamka zapadkowego. Takie rozwiązanie jest o tyle korzystniejsze od poprzedniego, że podczas samoczynnego



Rys. 9. Częściowa polaryzacja układu wyzwalającego w wyłączniku sprężynowym

- 1 — nieruchoma część układu wyzwalającego
- 2 — ruchoma zwora
- 3 — ramię stykowe
- 4 — cewka magnesująca
- jedna z linii strumienia magnesującego

otwierania styków nie traci się czasu na pokonanie bezwładności zapadki, co powoduje wydłużenie czasu przedłukowego i zwiększa wartość prądu ograniczonego. Wyłączniki sprężynowe są w zasadzie niespolaryzowane, jednakże mogą być wykonane również jako częściowo spolaryzowane przez wstępne namagnesowanie układu wyzwalającego. Rys. 8 przedstawia schemat konstrukcji wyłącznika sprężynowego. Przykładem wyłącznika sprężynowego może być wyłącznik anodowy 6 X WAB-10 produkcji radzieckiej.

Wspomniano wyżej już dwukrotnie o wstępnym namagnesowaniu układu wyzwalającego jako środka, zapewniającym częściową polaryzację wyłącznika. Realizuje się to za pomocą dodatkowej cewki, nawiniętej na rdzeń układu wyzwalającego, a zasilanej z pomocniczego źródła prądu stałego (rys. 9).

W takim rozwiązaniu na strumień wstępnego magnesowania nakłada się strumień wyzwalający i zależnie od tego, czy strumienie te wspomagają się, czy przeciwdziałają sobie, uzyskujemy zadziałanie przy różnych wartościach prądu płynącego przez wyłącznik.

Wyłączniki z przychwytem elektromagnesowym są to takie, w których zamknięcie styków następuje po uchwyceniu układu ruchomego przez elektromagnes prądu stałego, dzięki czemu ramię stykowe wraz ze stykiem ruchomym może być dociśnięte do styku nieruchomego. Układ ruchomy uwalnia się tu po zniesieniu na powierzchni przechwytywowej strumienia magnetycznego przez przeciwnie skierowany strumień, pochodzący od prądu płynącego przez wyłącznik, po czym sprężyny odciągają styk ruchomy od nieruchomego i obwód zostaje przerywany. Z powyższego opisu zamka elektromagnesowego wynika, że wyłącznik taki jest spolaryzowany. Rys. 10 przedstawia schemat konstrukcji wyłącznika z przychwytem elektromagnesowym. Konkretnym przykładem takiego wyłącznika mogą być wyłączniki typu WAB-2, których produkcję rozpoczęto w Polsce na podstawie dokumentacji radzieckiej.

W wyłączniku takim przy wyzwalaniu układu ruchomego nie znosi się całkowicie strumienia cewki trzymającej, gdyż wymagałoby to pokonania magnetycznej bezwładności układu, co wiąże się z nieuniknioną stratą czasu. Dla uwolnienia układu ruchomego trzeba zlikwidować strumień płynący przez powierzchnię przechwytywową, a do tego wystarcza wypchnięcie strumienia trzymającego z rejonu przychwyty, jak to przedstawiono na rys. 11.

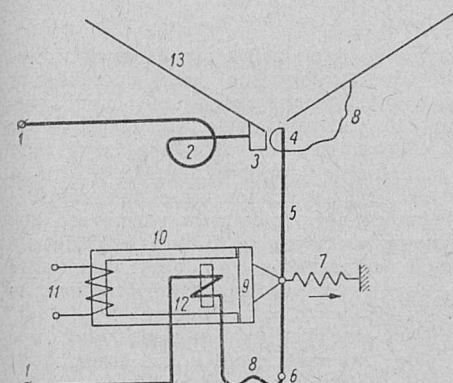
5. Wyzwalanie układu ruchomego wyłącznika.

W konstrukcjach wyłączników prądu stałego spotykamy trzy systemy wyzwalania mechanizmu wyłącznika: elektromagnetyczny, zanikowy i indukcyjny. Elektromagnetyczny system wyzwalania stosuje się w wyłącznikach zapadkowych i sprężynowych; polega on na wykorzystaniu pola magnetycznego wokół przewodów z prądem do przyciągnięcia ruchomych części żelaznych, które przez swój ruch albo uwalniają zapadkę, albo wprost odrywają styk ruchomy od nieruchomego. Dla zapewnienia potrzebnej prędkości wyłączenia konieczne jest ograniczenie tłumiącego działania prądów wirowych, powstających w układzie wyzwalającym podczas gwałtownego narastania prądu zwarciovego lub ruchu tego układu w polu magnetycznym. Ograniczenie niekorzystnego działania prądów wirowych osią-

nie. W wyłącznikach z przychwytem elektromagnesowym stosuje się dwa sposoby zmiany wartości prądu nastawienia przez regulację strumienia trzymającego Φ_t . Jak wynika ze wzoru

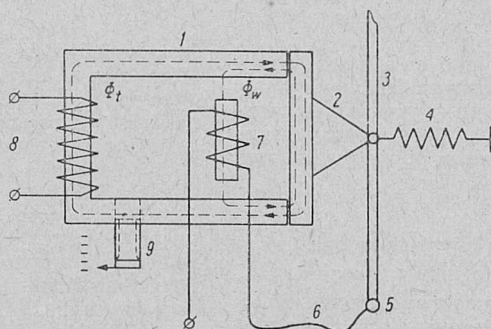
$$\Phi_t = \frac{iz}{R_M}$$

przy danej liczbie zwojów cewki trzymającej (z), strumień Φ_t może być zmieniany przez zmianę oporności magnetycznej jarzma (R_M) cewki trzymającej lub przez zmianę prądu tej cewki (i). Zmiana wartości prądu cewki trzymającej jest łatwa w technicznej realizacji, ale pociąga za sobą tę niedogodność, że układ przychwytywy wyłącznika musi pracować na liniiowej części charakterystyki magnesowania, co powoduje dużą wrażliwość nastawienia wyłącznika na wahania napięcia ste-



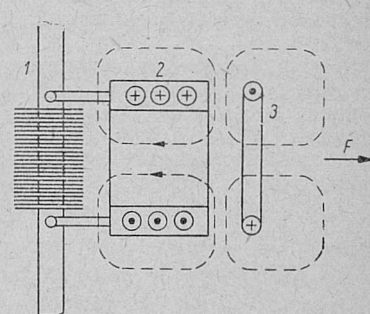
Rys. 10. Schemat konstrukcji wyłącznika z przychwytem elektromagnesowym

- 1 — zacisk wejściowy
- 2 — cewka wydmuchowa
- 3 — styk nieruchomy
- 4 — styk ruchomy
- 5 — ramię stykowe
- 6 — oś obrotu ramienia
- 7 — sprężyna
- 8 — giętkie połączenie
- 9 — zwora przychwytywa
- 10 — elektromagnes przychwytywy
- 11 — cewka trzymająca
- 12 — cewka wyzwalająca
- 13 — rozki opaleniowe



Rys. 11. Strumienie magnetyczne w zamku przychwytywym

- 1 — jarzmo elektromagnesu przychwytywego
 - 2 — zwora
 - 3 — ramię stykowe
 - 4 — sprężyna
 - 5 — oś obrotu
 - 6 — giętkie połączenie
 - 7 — cewka wyzwalająca
 - 8 — cewka trzymająca
 - 9 — śruba do regulacji wartości prądu nastawienia wyłącznika
- Φ_t — strumień trzymający
 Φ_w — strumień wyzwalający



Rys. 12. Schemat ideowy wyzwalacza indukcyjnego

- 1 — obwód główny wyłącznika z pakietem żelaznym blach
 - 2 — nieruchome uzwojenie pierwotne transformatora wyzwalającego
 - 3 — ruchome uzwojenie wtórne (alumi-niowy pierścień) oddziaływujące mechanicznie na ramię stykowe wyłącznika
- F — siła odpychająca oba uzwojenia od siebie

go się przez blachowanie elementów układu wyzwalającego. Konkretnymi przykładami takiego rodzaju rozwiązania mogą być wyłączniki ASMD 3/1600, Gearapid, WAB-10 i inne.

Zanikowy sposób uwalniania układu ruchomego z przychwytu jest stosowany w wyłącznikach spolaryzowanych, w których wypchnięcie (zanik) strumienia z powierzchni przychwytywych umożliwia pracę sprężyn odciągających styk ruchomy od nieruchomego. Przykładami konkretnych rozwiązań tego rodzaju są wyłączniki: WAB-2, HS-3, RIR 603 itd.

Wyłączniki obu wspomnianych rozwiązań wyzwalania (zanikowe i elektromagnetyczne) reagują na nadmierny prąd, przy obecności zaś tzw. bocznika indukcyjnego wyłącznik zostaje również uczulony na szybkość narastania prądu zwarciovego w obwodzie.

Typowym rozwiązaniem wyzwalania reagującym na stromość narastania prądu zwarciovego jest wyzwalanie indukcyjne, zastosowane przez konstruktorów czechosłowackich. Polega ono na tym, że narastający prąd zwarciovowy może być transformatory, a siły działające między pierwotnym a wtórnym uzwojeniem tego transformatora są wykorzystywane do wybicia styku ruchomego z mechanicznego przychwyty. Rys. 12 przedstawia ideowy schemat elektryczny takiego rozwiązania wyzwalacza.

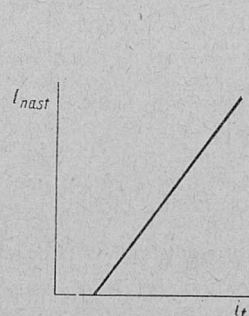
Wyłącznik taki działa tym szybciej, im szybciej narasta prąd zwarciovowy w obwodzie, nie reaguje natomiast samoczynnie na nadmierny prąd powolnie narastający. Konstruktor wyszedł tu z założenia, że szybkie wyłączenie jest niezbędne tylko przy zwarciu, przy zwykłym zaś przeciążeniu wystarczy powolniejsze działanie, które wprowadzi dodatkowo przekąźnik nadmiarowy.

6. Skalowanie wyłączników.

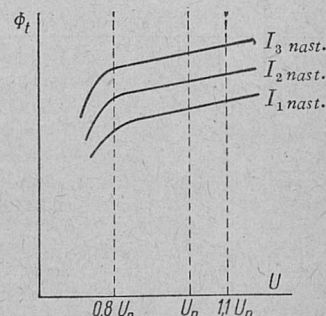
W wyłącznikach prądu stałego najczęściej mamy możliwość regulacji wartości prądu nastawienia wyłącznika na zadział-

rowniczego (rys. 13). W pewnych przypadkach może to narzucić wymaganie stabilizacji napięcia obwodów pomocniczych. W przedstawiony wyżej sposób rozwiązano skalowanie wyłączników HS-3 i WUT.

Częściej w wyłącznikach spolaryzowanych stosuje się regulację wartości prądu nastawienia przez zmianę oporności magnetycznej jarzma cewki trzymającej. W takim rozwiązaniu



Rys. 13. Charakterystyka skalowania wyłącznika przez zmianę prądu cewki trzymającej



Rys. 14. Charakterystyka skalowania wyłącznika przez zmianę oporności magnetycznej jarzma

układ magnetyczny wyzwalacza pracuje na nasyconej części charakterystyki magnesowania, a więc skalowanie praktycznie nie jest wrażliwe na eksploatacyjne zmiany napięcia zasilającego obwody pomocnicze (rys. 14). Technicznie zmianę oporności magnetycznej jarzma realizuje się za pomocą żelaznej śruby wkręcanej w to jarzmo. Tego rodzaju rozwiązanie zastosowano w wyłącznikach: WAB-2, RIR 603 i innych.

W wyłącznikach zapadkowych zmianę wartości prądu nastawienia osiąga się przez zmianę naciągu sprężyny, zwracającej układ wyzwalający w położenie wyjściowe, lub przez zmianę odległości punktu wyjściowego wyzwalacza od położenia, w którym następuje wyzwolenie. Przykładowo —

pierwsze rozwiązanie zastosowano w wyłączniku ASMJD 3/1600, a drugie w wyłączniku TRIN 600 V. Istnieje również możliwość wykorzystania bocznika indukcyjnego w celu zmiany zakresu nastawień w kierunku jego powiększenia. Przykładem takiej roli bocznika indukcyjnego może być rodzina wyłączników WAB-2.

7. Wyłączniki z bocznikiem indukcyjnym.

Wyżej wspomniano o szczególnej własności wyłączników z bocznikiem indukcyjnym, które reagują na szybkość narastania prądu zwarciovego. Wyłączniki takie stosuje się jako zasilaczowe na podstacjach trakcyjnych w zasadzie tylko tam, gdzie minimalne wartości ustalonych prądów zwarciovych mogą być mniejsze niż prąd nastawienia wyłącznika. W tym przypadku wyłącznik szybki z bocznikiem indukcyjnym — dzięki uczuleniu na szybkość narastania prądu — spełnia rolę zabezpieczenia od zwarć, chroniąc równocześnie obwód od przeciążeń większych niż prąd nastawienia wyłącznika.

Bocznik indukcyjny wykonuje się jako miedzianą szynę z nałożonym na nią pakietem blach żelaznych. Tak wykonany element dołącza się równolegle do pętli wyzwalającej wyłącznika. W stanie ustalonym rozprywar prądów między bocznik i zwój wyzwalający jest uwarunkowany opornościami rzeczywistymi obu gałęzi:

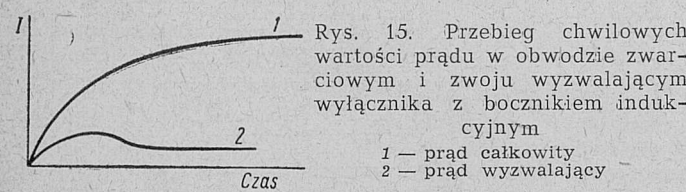
$$i_1 : i_2 = r_2 : r_1,$$

gdzie i_1 i r_1 — prąd i oporność zwoju wyzwalającego,

i_2 i r_2 — prąd i oporność bocznika indukcyjnego.

Oporności obu gałęzi równoległych mogą być równe lub — częściej — oporność bocznika jest mniejsza od oporności zwoju wyzwalającego tak, że większa część prądu wyłącznika płynie przez bocznik omijając zwój wyzwalający.

Natomiast w stanie niestabilnym podczas narastania prądu indukcyjność bocznika — znaczna w porównaniu z indukcyjnością pętli wyzwalającej — powoduje, że przez zwój wy-



Rys. 15. Przebieg chwilowych wartości prądu w obwodzie zwarciovym i zwoju wyzwalającym wyłącznika z bocznikiem indukcyjnym

1 — prąd całkowity
2 — prąd wyzwalający

zwalający płynie większy prąd niż to wypada ze stosunku oporności rzeczywistych obu gałęzi równoległych.

Przy dołączeniu bocznika indukcyjnego prąd zwoju wyzwalającego narasta według zależności:

$$i_1 = \frac{U}{R} \left[\frac{L \cdot r_2 - R \cdot l_2}{L(r_1 + r_2) - R(l_1 + l_2)} \left(e^{-\frac{r_1 + r_2}{l_1 + l_2} t} - e^{-\frac{R}{L} t} \right) + \frac{r_2}{r_1 + r_2} \left(1 - e^{-\frac{r_1 + r_2}{l_1 + l_2} t} \right) \right],$$

gdzie r_1, l_1 — oporności i indukcyjność zwoju wyzwalającego, r_2, l_2 — oporność i indukcyjność bocznika indukcyjnego,

R, L — oporność i indukcyjność obwodu zwarciovego.

W wyłącznikach z bocznikiem indukcyjnym szybciej osiąga się wartość prądu statycznego nastawienia, niż w przypadku bez bocznika indukcyjnego; co więcej, możliwe jest osiągnięcie przejściowego „spiętrzenia prądu” w zwoju wyzwalającym, co uzasadnia działanie wyłącznika przy prądach zwarciovych mniejszych niż wartość prądu nastawienia wyłącznika na prąd powolnie narastający (rys. 15).

Drugie zastosowanie bocznika indukcyjnego — to prosty sposób zmiany zakresu nastawień wyłącznika w kierunku jego podwyższenia, np. wyłącznik WAB-2000/30 bez bocznika ma zakres nastawień 800 do 2000 A, a po dołączeniu bocznika odprowadzającego połowę prądu zakres nastawień ulega podwyższeniu na 1600 — 4000 A. W ten sposób bez kłopotliwego przekonstruowania układu magnetycznego uzyskuje się różne zakresy nastawień.

Przez dołączanie boczników indukcyjnych o różnych opornościach rzeczywistych zmienia się rozprywar prądów między zwój wyzwalający i bocznik indukcyjny. W związku z tym możemy mówić o przekładni bocznika (p). Przekładnią będziemy nazywać stosunek prądu nastawienia wyłącznika przy

dołączonym boczniku (I_{RL}) do prądu nastawienia przy odłączonym boczniku (I_R):

$$p = \frac{I_{RL}}{I_R} = \frac{r_1 + r_2}{r_2} > 1.$$

W konkretnych rozwiązaniach konstrukcyjnych spotyka się różne przekładnie bocznika, przy czym wartość liczbowa przekładni może sięgać 10. Wprowadzenie bocznika indukcyjnego do układu wyzwalającego okazuje istotny wpływ na rozrzut zadziałań wyłącznika.

Jeśli przy odłączonym boczniku obserwuje się dokładność punktu S_1 skali nastawień jako:

$$S_1 = A \pm \alpha,$$

gdzie α jest rozrzutem zadziałania, to po dołączeniu bocznika o przekładni p nastawienie i rozrzut odpowiednio wzrosną do wartości:

$$S_2 = p \cdot A \pm p\alpha = B \pm p\alpha.$$

Jest to jedna z przyczyn wysokich zakresów nastawień wyłączników z bocznikami indukcyjnymi o dużej przekładni, gdyż przy niskim nastawieniu rozrzut zadziałania czyni wątpliwym skalowanie, jak to ilustruje następujący przykład: Jeśli rozrzut zadziałań mechanizmu wyłącznika szybkiego wynosi $\alpha = 20$ A, a przekładnia jego bocznika $p = 10$, to punkt skali $S = 1000$ A będzie oznaczony z dokładnością ± 200 A, a więc wyłącznik będzie działał w paśmie od 800 do 1200 A przy tym samym nastawieniu. Z tego względu nie zaleca się konstruowania wyłączników o dużej przekładni bocznika. Wydaje się, że $p = 4$ powinno być górną wartością graniczną.

Wyłączniki z bocznikami indukcyjnymi nie powinny być w zasadzie stosowane jako zabezpieczenie kierunkowe, gdyż mogą powodować błędne odłączenia przy nagłym zaniku obciążenia, np. wyłączenie przeciążenia wyłącznikiem nadmiarowym. W takim przypadku zasób energii magnetycznej, nagromadzonej w polu bocznika ($E_M = \frac{LI^2}{2}$), rozładowując

się powoduje przepływ prądu przez zwój wyzwalający. Niebezpieczeństwo mylnego odłączenia jest bardziej realne przy dużej indukcyjności bocznika.

8. Napędy wyłączników prądu stałego.

Ze względu na sposób napędu podczas włączania możemy podzielić wyłączniki na trzy grupy — z napędem selenoidowym, silnikowym i pneumatycznym. Napęd ręczny jest stosowany tylko dodatkowo i to nie we wszystkich rozwiązaniach.

Napęd solenoidowy jest najczęściej stosowanym napędem w wyłącznikach spolaryzowanych, gdyż istnieje tu możliwość współpracy strumienia trzymającego z złączającym, co zmniejsza pobór mocy na cewkę włączającą. Jednakże mimo to pobór mocy na cewkę włączającą jest duży (do 10 — 12 kW), co jest zasadniczą wadą powyższego rozwiązania.

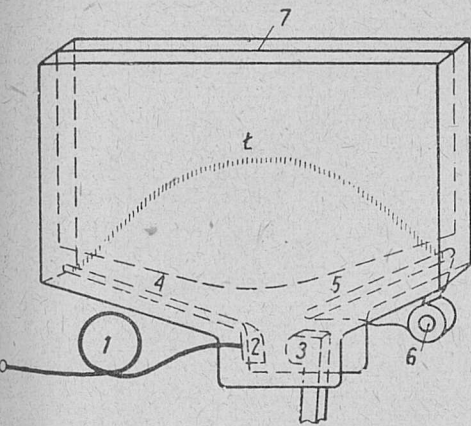
Napęd silnikowy chętnie bywa stosowany w wyłącznikach niespolaryzowanych, gdyż umożliwia on najłatwiejsze rozwiązanie zagadnienia izolacji obwodów sterowniczych od wysokiego napięcia roboczego obwodu wyłącznika. Napęd silnikowy charakteryzuje się małym poborem mocy (ułamki kilowata), co jest jego główną zaletą.

Napęd pneumatyczny stosuje się zamiast selenoidowego, gdyż daje pewne zmniejszenie ciężaru wyłącznika i oszczędność miedzi nawojowej. Jednakże wprowadzenie na podstawę sieci sprężonego powietrza nie zawsze jest możliwe i pożądané.

Napęd ręczny jako jedyny w wyłączniku jest spotykany tylko w przestarzałych konstrukcjach. Zwykle możliwość włączania ręcznego jest traktowana jako rezerwa dająca pewne zalety przy konserwacji.

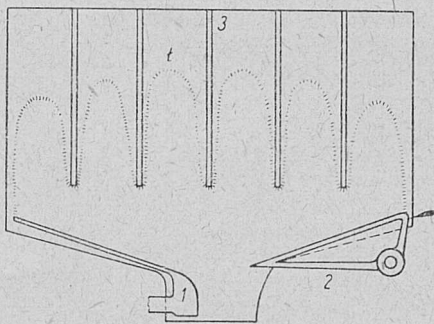
9. Konstrukcje komór łukowych.

Istotną częścią wyłącznika prądu stałego jest jego komora łukowa. W wyłącznikach tych gaszenie łuku odbywa się w powietrzu w zamkniętej przestrzeni tworzącej komorę łukową. Obudowana przestrzeń ma kształt prostokątnego kolumny, otwartego u góry a zamkniętego od dołu rozkami opaleniwymi i stykami wyłącznika. Powstający między stykami łuk zostaje za pomocą wydmuchu magnetycznego przesunięty na rozki do komory łukowej, gdzie wydłuża się i przy osiągnięciu odpowiedniej długości gasnie. W konstrukcjach komór łukowych przyjmuje się, że dla przerwania łuku trzeba wydłużyć go do 1 mm na wolt napięcia powrotnego. Szybki ruch łuku między ściankami komory (chłodzenie), działanie



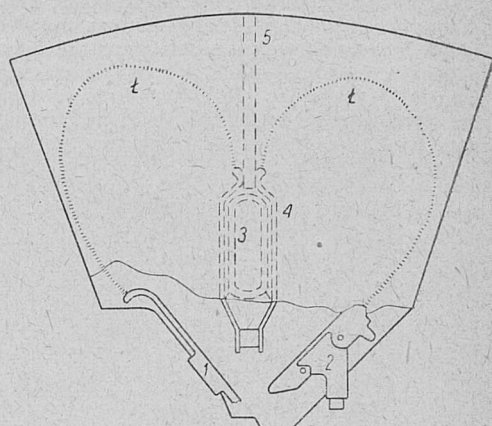
Rys. 16. Szkic konstrukcji komory skrzynkowej

- 1 — cewka wydmuchowa
- 2 — styk nieruchomy
- 3 — styk ruchomy
- 4 — rożek opaleniowy wyłącznika
- 5 — rożek opaleniowy komory łukowej
- 6 — otwór na czop osadzenia komory
- 7 — przegroda podłużna
- L — łuk elektryczny przy wyłączaniu



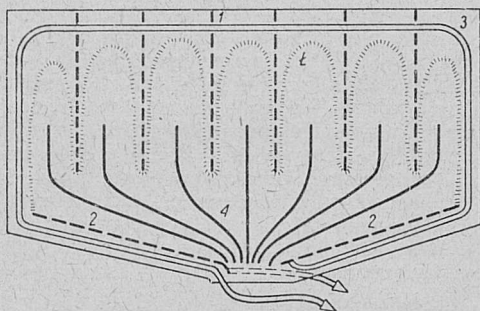
Rys. 17. Szkic komory łukowej z przegrodami poprzecznymi — widok po zdjęciu bocznej ściany

- 1 — styk nieruchomy wraz z rożkiem
- 2 — rożek opaleniowy komory łukowej
- 3 — przegrody poprzeczne
- L — łuk elektryczny przy wyłączaniu



Rys. 18. Szkic komory łukowej z wewnętrzną cewką wydmuchową

- 1 — rożek wyłącznika
- 2 — rożek komory łukowej
- 3 — wewnętrzna cewka wydmuchowa
- 4 — rożek cewki wydmuchowej
- 5 — przegroda poprzeczna
- L — łuk elektryczny przy wyłączaniu



Rys. 19. Szkic konstrukcji komory z cewką zewnętrzną

- 1 — przegrody poprzeczne
- 2 — rożki opaleniowe
- 3 — cewka zewnętrzna
- 4 — żelazne blachowane „wąsy” dla koncentracji pola wydmuchowego
- L — łuk elektryczny przy wyłączaniu

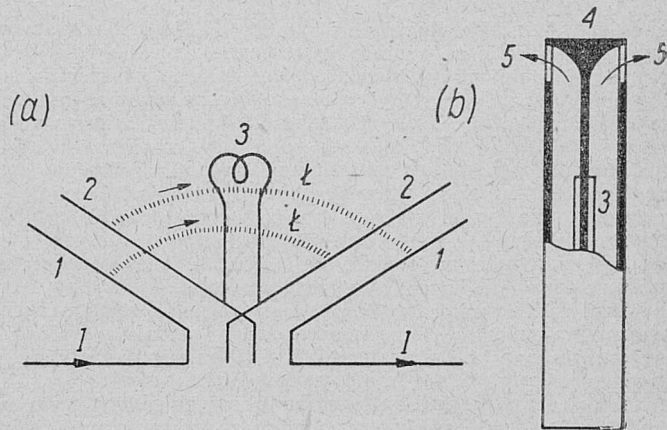
dejonizacyjne ścianek komory w zetknięciu się z łukiem i inne zjawiska traktuje się jako czynniki dodatkowo sprzyjające dejonizacji przerwy łukowej i zgaszeniu łuku. Z powyższego wynika, że wymiary komory łukowej zwiększają się ze wzrostem napięcia znamionowego wyłącznika.

Pod względem konstrukcji komory łukowe możemy podzielić na kilka zasadniczych typów: a) skrzynkowa, b) z przegrodami poprzecznymi, c) z wewnętrzną cewką wydmuchową, d) z zewnętrzną cewką wydmuchową, e) podwójna, f) grzebieniowa, g) labiryntowa.

Komora skrzynkowa spotyka się w wyłącznikach niskich napięć. Jest ona utworzona przez obudowanie rożków opaleniowych wyłącznika płytami z materiału o właściwościach izolacyjnych i ogniotrwałych. Szkic konstrukcji takiej komory przedstawia rys. 16. Komora taka spełnia przede wszystkim rolę osłony części wyłącznika przed opaleniem i bez niej wyłączałość jednobiegunowego wyłącznika nie ulega zmniejszeniu. Zazwyczaj w górnej części dzieli się taką komorę na kilka równoległych podłużnych przestrzeni. Łuk w takiej komorze wędruje do góry jedną wąską szczeliną, co sprzyja chłodzeniu go i dejonizacji.

Komora skrzynkowa nie daje możliwości znacznego wydłużenia łuku i dlatego dla wyższych napięć (do ~ 1000 V) stosuje się komory z poprzecznymi przegrodami, jak przedstawiono szkicowo na rys. 17. W komorze takiej na działanie łuku szczególnie narażone są dolne części przegród i przyległych ścian, ponieważ tu łuk utrzymuje się najdłużej. W tych miejscach obserwuje się znaczne wypalenie materiału komory.

Dla napięć ponad 1000 V najpowszechniej stosuje się komory z wewnętrzną cewką wydmuchową. Szkic takiej komory przedstawia rys. 18. W tej komorze łuk wydłużając się na roż-



Rys. 20. Szkic konstrukcji komory podwójnej

(a) ideowy schemat elektryczny (b) przekrój osiowy

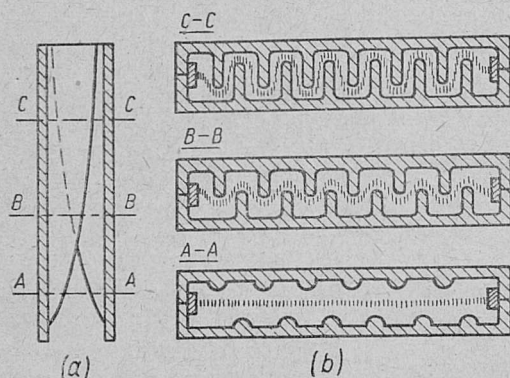
- 1 — rożki wyłącznika
- 2 — rożki komory łukowej
- 3 — wewnętrzna cewka wydmuchowa
- 4 — przegroda
- 5 — wylot zjonizowanych gazów

kach napotyka na swej drodze rożki cewki wewnętrznej i przez obwód cewki łuk zostaje podzielony na dwie części. Szeregowa cewka wewnętrzna wytwarza strumień magnetyczny, który działając na łuk przesuwając go ku górze, wydłużając aż do zgaśnięcia. Rzadko spotkać można konstrukcje komór o wielu wewnętrznych cewkach wydmuchowych. W takich konstrukcjach znacniejszą rolę w gaszeniu łuku odgrywają przebiegające spadki napięcia. Wadą komory z wewnętrzną cewką jest to, że cewka wewnętrzna i jej rożki niełatwo poddają się dozorowi. Dla sprawdzenia stanu rożków we wnętrzu komory konieczne jest kłopotliwe rozebranie komory łukowej, przy czym często kruchy materiał komory (zwykle płyty azbestocementowe) ulega zniszczeniu.

Wspomnianej wady nie wykazuje komora z zewnętrzną cewką wydmuchową, której szkic przedstawiono na rys. 19. Ten typ komory łukowej zastosowała z powodzeniem szwedzka firma ASEA dla swych wyłączników 3-kilowoltowych prądu stałego. Komora z cewką zewnętrzną może pracować w pełni zadowolająco tylko wówczas, gdy łuk przerywa się wewnątrz komory bez wychodzenia poza kontur cewki wewnętrznej. Łuk, który by wydłużył się poza komorę łukową zostanie z powrotem wciągnięty do jej wnętrza przez pole hamujące na zewnątrz konturu cewki. Wewnątrz konturu wytwarza się pole wydmuchowe, a na zewnątrz — pole hamujące. Prowadzi to do nadmiernie dużych wymiarów komory lub powtórnych zapłonów łuku między stykami, gdyż wskutek przyhamowania łuku w polu zewnętrznym utrudniony jest wydmuch poza komorę zjonizowanych par metali, które kondensując się mogą spadać w rejon przystykowy.

Komorę taką można by udoskonalić przez ekranowanie pola hamującego pierścieniem żelaznym wokół wylotu komory.

W innym kierunku poszli konstruktorzy niemieckiego wyłącznika Gearapid na 3 kV, gdzie zastosowano komorę podwójną, składającą się z dwóch równoległych przestrzeni łukowych, pracujących szeregowo pod względem elektrycznym. Łuk zapala się między stykami wyłącznika, a następnie prze-



Rys. 21. Przekroje komory grzebieniowej
(a) przekrój osiowy
(b) przekroje poprzeczne

rzuca się na różki wyłącznika i komory łukowej. Oba odcinki łuku są połączone za pomocą wewnętrznej cewki wydmuchowej. Dzięki takiemu rozwiązaniu potrzebne do zgaszenia wydłużenie łuku osiąga się przy stosunkowo niedużych wymiarach geometrycznych komory. Rys. 20 przedstawia schemat ideowy takiej komory. Pewną wadą tego rozwiązania jest konieczność zapewnienia doskonałej izolacji obwodu wewnętrznej cewki wydmuchowej, gdyż przy niedostatecznej jej trwałości następuje zwarcie cewki wewnętrznej i komora przestaje przerywać łuk. Również różki komory łukowej muszą być starannie izolowane od siebie, co nie jest sprawą prostą z uwagi na wysoką temperaturę łuku.

Celem zapewnienia trwałego zgaszenia łuku wyloty zjonizowanych gazów są skierowane na boki i oddzielone śródkową przegrodą w kształcie litery T. Celki na wyłączniki tego typu muszą mieć ściany z materiałów izolacyjnych.

Dalszy rozwój konstrukcji komór łukowych polega na wyeliminowaniu cewki wewnętrznej przy równoczesnym zmniejszeniu wymiarów komory. Takie możliwości daje konstrukcja grzebieniowa komory łukowej. Wystające z bocznych ścian komory grzebienie mają zmienną wysokość wzrastającą ku górze, dzięki czemu łuk w miarę przesuwania się do góry po różkach opaleniowych wydłuża się. W swej wędrówce do góry łuk elektryczny nie zatrzymuje się na różkach, lecz stale przesuwa się w wąskich szczelinach, dzięki czemu mniej zużywają się różki, materiał komory łukowej nie ulega wypaleniom, a łuk jest intensywnie chłodzony, co ułatwia jego zgaszenie. Zasadę budowy takiej komory łukowej ilustruje rys. 21.

MGR INŻ. JANUSZ KANCLERZ

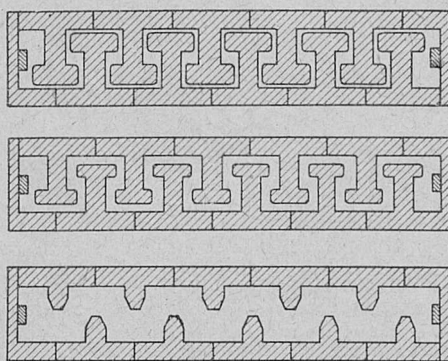
Centr. Zarz. Zbytu Min. Przem. Maszyn.

Stacja transformatorowo-rozdzielcza na 110/30 kV, 31,5 MVA — Największy ekspozat na XXIV Międzynarodowych Targach Poznańskich

Nasz przemysł elektrotechniczny i nasza energetyka godnie reprezentowały na ostatnich targach poznańskich możliwości techniczne, produkcyjne, gospodarcze i eksportowe Polski w dziedzinie elektrotechniki, wystawiając kompletną elektroenergetyczną stację transformatorowo-rozdzielczą na 110/30 kV o mocy 31,5 MVA w wykonaniu zewnętrznym wraz ze specjalnie wybudowaną na czas targów nastawnią, umożliwiającą pomiary, synchronizację oraz sterowanie z odległości całą aparaturą 110-kilowoltową oraz manewrowanie 4-polową dwuukładową rozdzielnią napowietrzną 30-kilowoltową (rys. 1, 2, 3, 4), a więc pod względem rozmiarów ekspozat na targach niezwykły.

Stację wystawili w ciągu dwu miesięcy wspólnym wysiłkiem cztery instytucje — Krakowskie Biuro Projektów Sieci Elektrycznych, Centralny Zarząd Przemysłu Maszyn Elektrycznych, Centralny Zarząd Przemysłu Aparatów Elektrycznych

Dalszą ewolucją komory grzebieniowej jest zbudowana przez konstruktorów czechosłowackich komora labiryntowa. W komorze tej wprowadzono grzebienie o specjalnym kształcie znacznie zwiększającym długość łuku. Dalszą innowacją jest tu segmentowa budowa komory. Poszczególne segmenty są wykonane z ceramicznych materiałów izolacyjnych. Rys. 22 przedstawia budowę komory labiryntowej.



Rys. 22. Przekroje poprzeczne komory labiryntowej

Ściany boczne komór łukowych okłada się blachami żelaznymi dla rozszerzenia obszaru działania pola wydmuchowego, wytworzonego przez szeregową cewkę wydmuchową. Prócz tego wydmuchowe pole magnetyczne wywiera działanie dejonizacyjne na ładunki łuku. Rzadziej spotyka się konstrukcje o lokalnej koncentracji silnego pola wydmuchowego („wąsy”), gdyż w takim przypadku łuk w komorze może być łatwo zerwany, co powoduje znaczne przepięcia i może być przyczyną ponownego zapłonu łuku w dole komory. Dla osiągnięcia niezawodnego zgaszenia łuku wydmuch nie może być zbyt silny, szarpący łuk. Trzeba tu rozumieć, że w okresie palenia się łuku wytraca się energię magnetyczną obwodu. Przy prawidłowym dobraniu wydmuchu osiąga się praktycznie bezprzepięciowe wyłączanie zwarć.

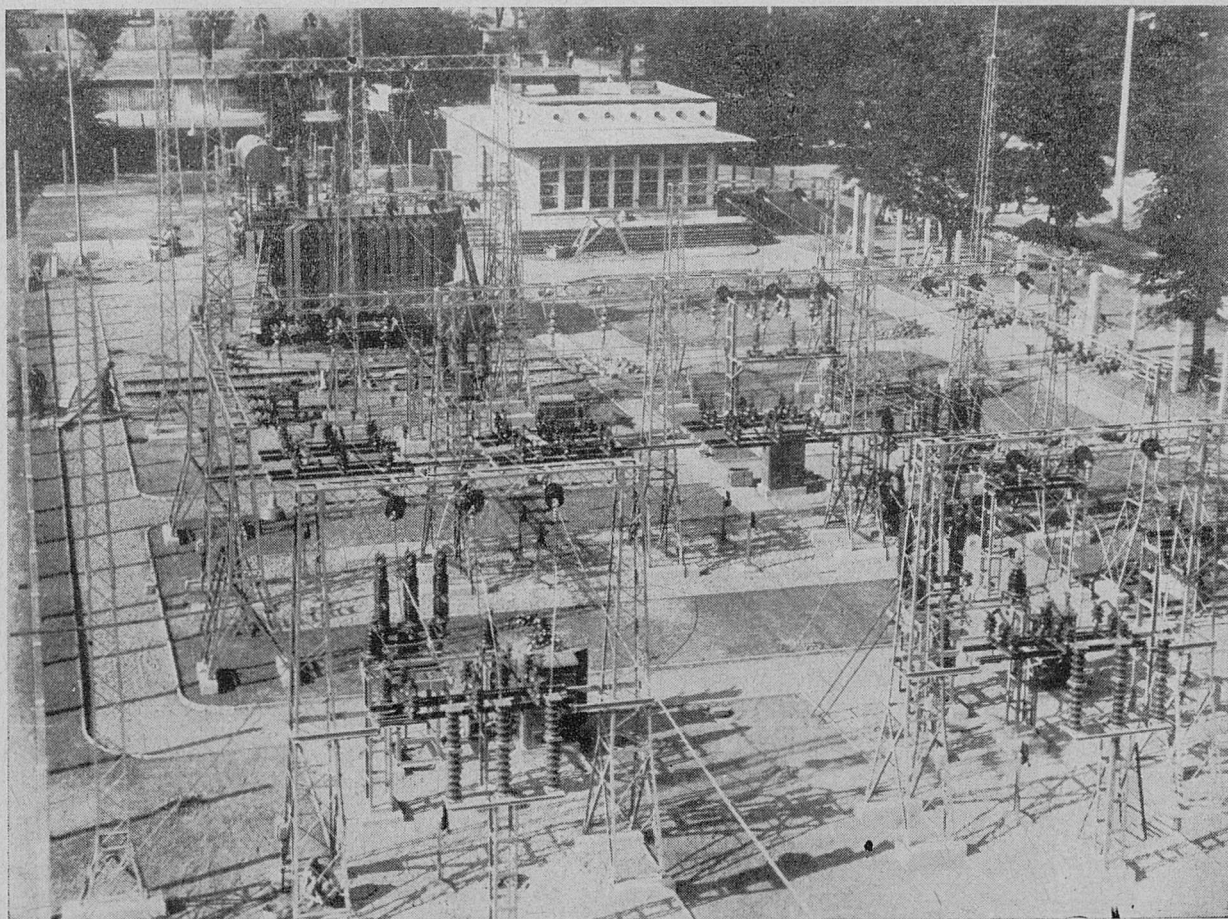
LITERATURA

- B a b i k o w. Elektrieskije apparaty, 1951
B l a n t i e r S. G. Elektrooborudowanije tiagowych podstancij, 1948
J a b ł o ņ s k i A. Wylaczniki szbykie pradu stalogo produkcij krajowej (Przegl. Elektr. 1953, s. 526)
N a w r o t M., W o y n a r o w s k i Z. Prace konstruktorskie w dziedzinie lacznikow przemyslowych (Przegl. Elektr., 1953, s. 457)
R y s z k o w s k i. Tiagowyje podstancij, 1949
W ü r t h E. Neue Wege für magnetische Lichtbogenlöschung in Schalterbau, 1936
Z a j i c V. Novy stejnosměrny rychlovypínač na 3000 V pro dráhové užely (El. Obzor, 1951, s. 293)
GOST 2585-44
Anodnyje bystrodejstwujuščyje wykluczatieli. — Instrukcija montažu i eksploataci.

stosowania każdego aparatu elektrycznego, uzyskując tą drogą znaczne oszczędności w nakładach inwestycyjnych. Uniknięto przesadnego zmniejszania wymiarów stacji, pomieszczeń, przejść i zacieśniania urządzeń, co w znacznej mierze przy-

tycznego prowadzenia wszystkich kabli (z wyjątkiem blokady odłączników szynowych) pod drogą.

Budynek nastawni (rys. 1) zaprojektowano w sposób prosty, tani, a równocześnie estetyczny. Ulokowano go w sposób



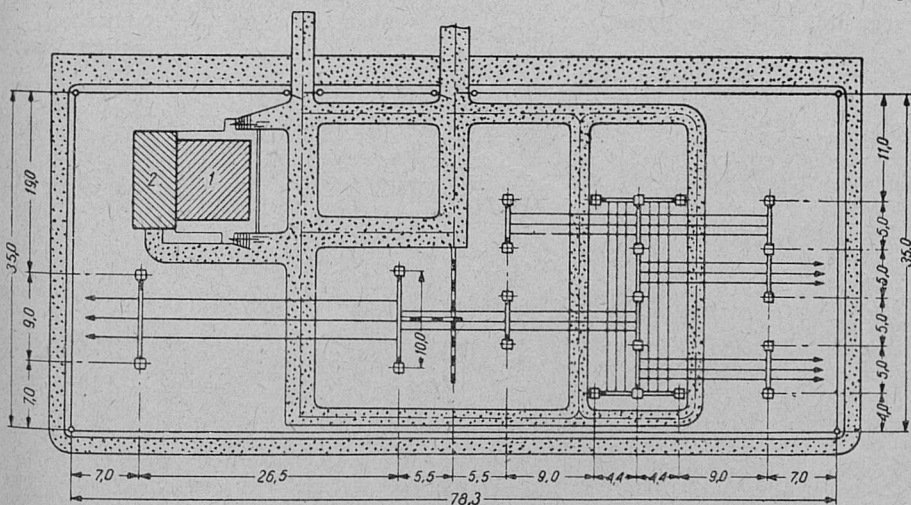
Rys. 1. Widok ogólny stacji 110/30 kV w budowie na tydzień przed otwarciem targów

Prawidłowy układ dróg, stanowiska żwirowane pod aparaty, trawniki; w głębi zdjęcia widoczny pośrodku budynek nastawni

czyniło się do utrzymania pełnego bezpieczeństwa obsługi i osiągnięcia wielu zalet.

Aparaturę i transformator ustawiono w ten sposób, aby nadzór był łatwy i zapewniona była łatwość ewentualnych napraw lub demontażu. Szafki kablowe rozgałęźne rozdzielni

praktyczny, zapewniający widok na całą stację podczas sterowania z nastawni. Niestety, projekt tablicy sterowniczo-pomiarowej w nastawni cechowała jeszcze przypadkowość, jak również rozwiązywanie wynikające ze źle zrozumianych zadań oszczędnościowych spowodowało nierównomierność układu



Rys. 2. Szkic wymiarowy terenów głównych zajętych pod stację (powierzchnia $\sim 3000 \text{ m}^2$)

Dokoła ogrodzenia wyłożony płytami chodnik dla zwiedzających; długość ogrodzenia 78,3 m. Szup linii 110-kilowoltowej oraz słupy linii odchodzących 30-kilowoltowych były ustawione poza terenem ogrodzonym

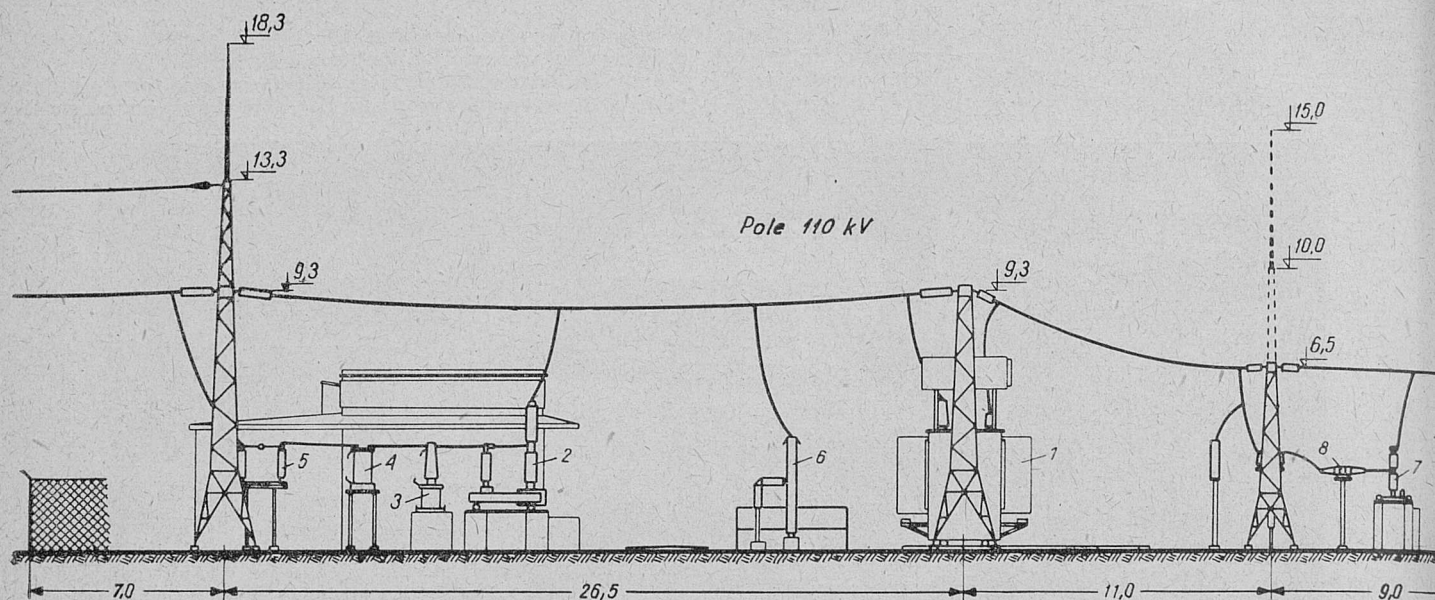
- 1 — nastawnia
3 — pomieszczenie pomocnicze

30-kilowoltowej, jak również szafkę kontrolno-kablową 110-kilowoltową ustawiono przy drogach w ten sposób, aby manipulujący stojąc na drodze zawsze był zwrócony frontem do głównych urządzeń odnośnego pola wysokiego napięcia (rys. 5). Bagatelizowanie przez projektantów tego szczegółu zmniejsza na wielu stacjach bezpieczeństwo obsługi i zmusza do niepraka-

schematu listewkowego i różnorodność zagęszczenia przyrzadów.

2. Wyposażenie stacji.

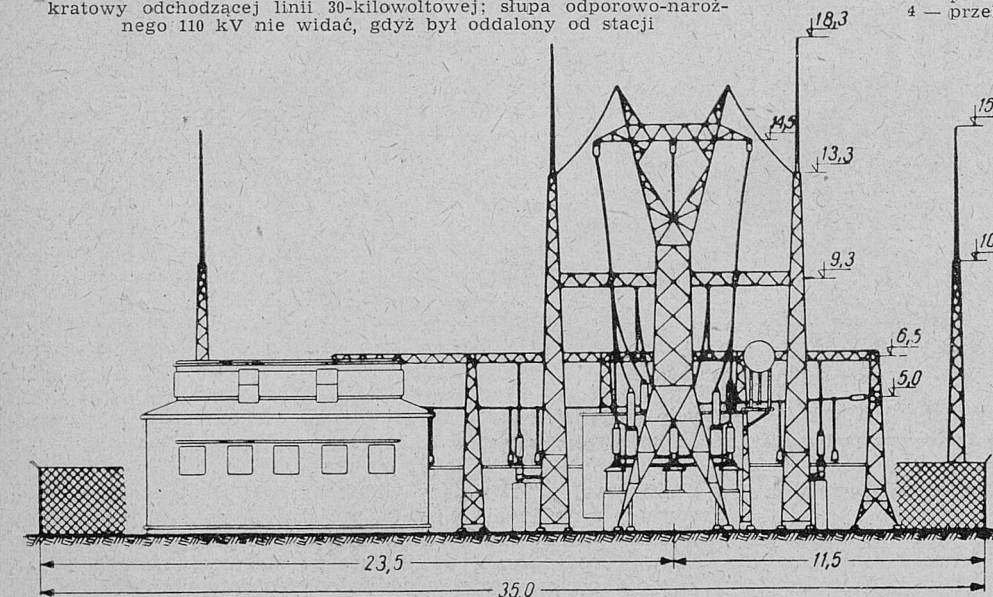
Pole „linia 110 kV — transformator”. Uwagę zwracał tu wyłącznik 3-biegunowy z powietrznym ga-



Rys. 3. Stacja transformatorowo-rozdzielcza na 110/30 kV

Wysokości i długości podano w metrach; w prawym końcu słup kratowy odchodzącej linii 30-kilowoltowej; słupa odporowo-naróżnego 110 kV nie widać, gdyż był oddalony od stacji

- 1 — transformator — 31,5 MVA, 110/30/6 kV
- 2 — wyłącznik powietrzny — 110 kV
- 3 — przekładnik prądowy — 110 kV
- 4 — przekładnik napięciowy — 110 kV



Rys. 4. Stacja 110/30 kV od strony przychodzącej linii 110-kV

Na tle bramki wejściowej pokazano ustawiony w Poznaniu słup kratowy odporowo-naróżny serii B linii przesyłowej 110-kilowoltowej, wchodzącej na stację. Wysokości i długości podano w metrach

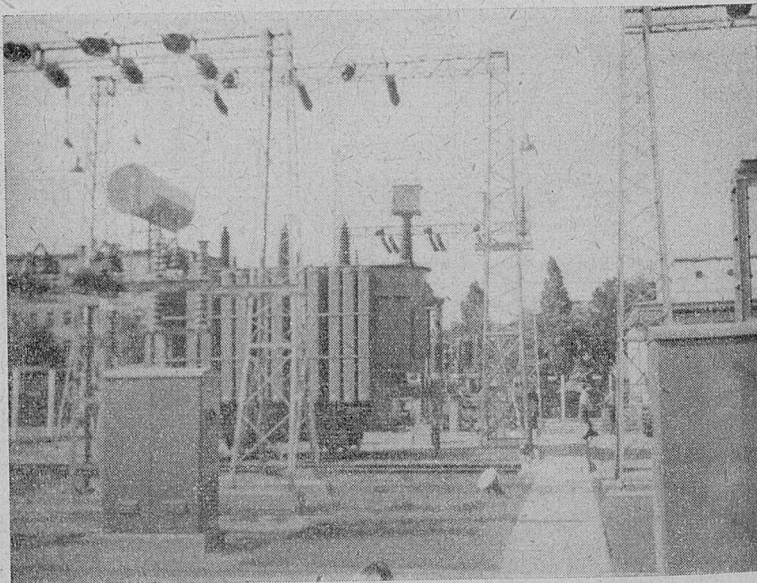
szeniem łuku typu WP 110, na napięcie robocze 110 kV, na prąd znamionowy 600 A, o mocy wyłączalnej 2500 MVA, do pracy pod gołym niebem, na ciśnienie znamionowe sprężonego powietrza 20 atm, przystosowany do jednokrotnego samoczynnego ponownego jednobiegowego załączania (rys. 6, 6a i 7), które gwarantuje utrzymanie ciągłości ruchu całych układów energoelektrycznych, pracujących równolegle lub w sieciach zamkniętych w pierścieni. Wyłącznik był w czasie trwania targów poznańskich w pełnym ruchu.

Widoczny na rys. 6 odłącznik 3-biegunowy jedno-przerwowi typu ON3JR-110/6, zewnętrzny, na 600 A, 110 kV, był wyposażony w napęd powietrzny na 12 atm. i podwieszoną od dołu kolumnę sterowniczo-sygnałową, z nożami uziemiającymi o napędzie ręcznym.

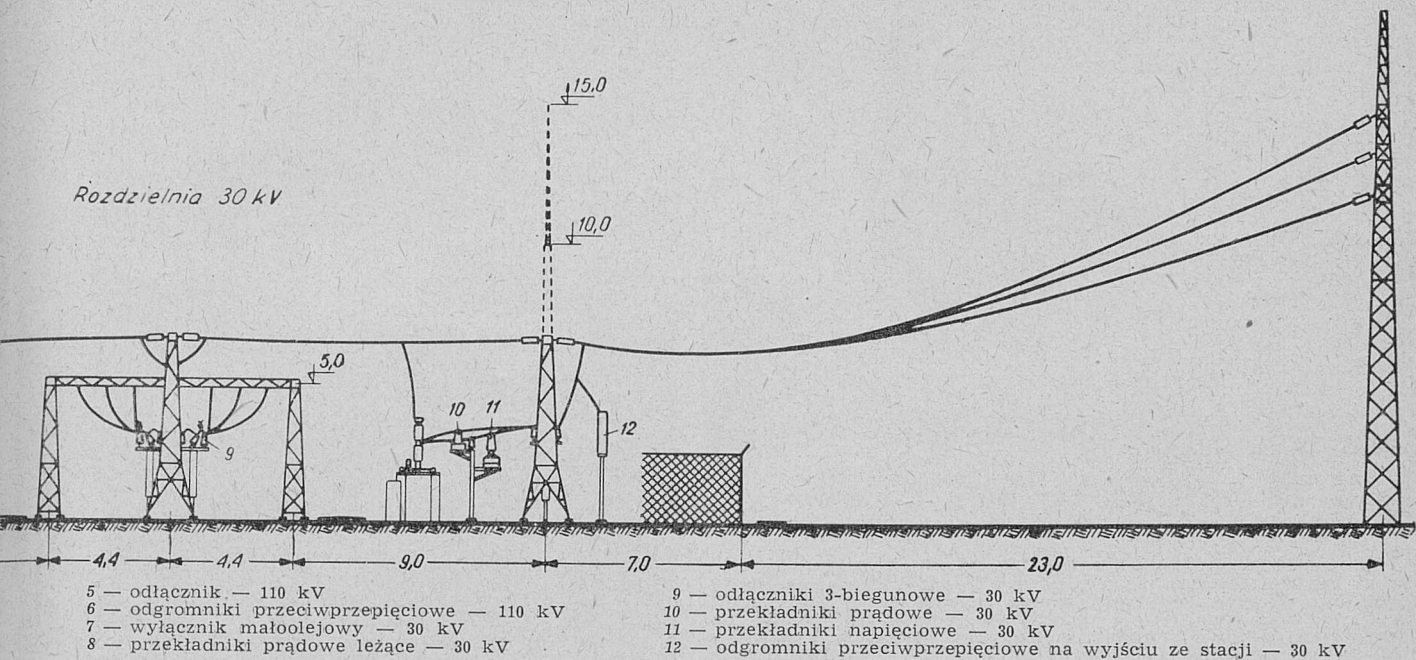
Przekładniki prądowe trójrdzeniowe małoolejowe, typu J 110-3 MO, z uzwojeniem pierwotnym przełączalnym na dwa zakresy prądu, o przekładni 100—200/5/5A nowością swej konstrukcji pokazywały postęp w produkcji przekładników pomiarowych w Polsce.

Ponieważ stacja przeznaczona była dla sieci ze skutecznie uziemionym punktem zerowym, pole „linia 110 kV — transformator” było wyposażone w odgromniki typu GZ 110—80%/10 z 80-procentowym napięciem zapłonu, o sprawdzonej obciążalności udarowej 10 kA przy czasie do zapłonu 10—30 μ sec (rys. 8). Każdy odgromnik zaopatrzony był w licznik przepięć (działał odgromnika) typu GLZ-81, działający nienagannie przy uderzeniach prądowych w granicach 600 do 10 000 A i rejestrujący do 11 uderzeń (rys. 9).

Na stacji ustawiono transformator trójuzwojeniowy olejowy typu TONTRb 31500/110 o mocy 31,5/31,5/31,5 MVA, $117 \pm \pm 10\%/33,5 \pm 2 \times 2,5\%/6,3$ kV, od którego napięcie 6,3 kV z trzeciego uzwojenia odprowadzono kablem ziemnym do oddzielnej



Rys. 5. Fragment stacji transformatorowo-rozdzielczej 110/30 kV. Na pierwszym planie szafka kablowe rozgałęźne po stronie 30 kV



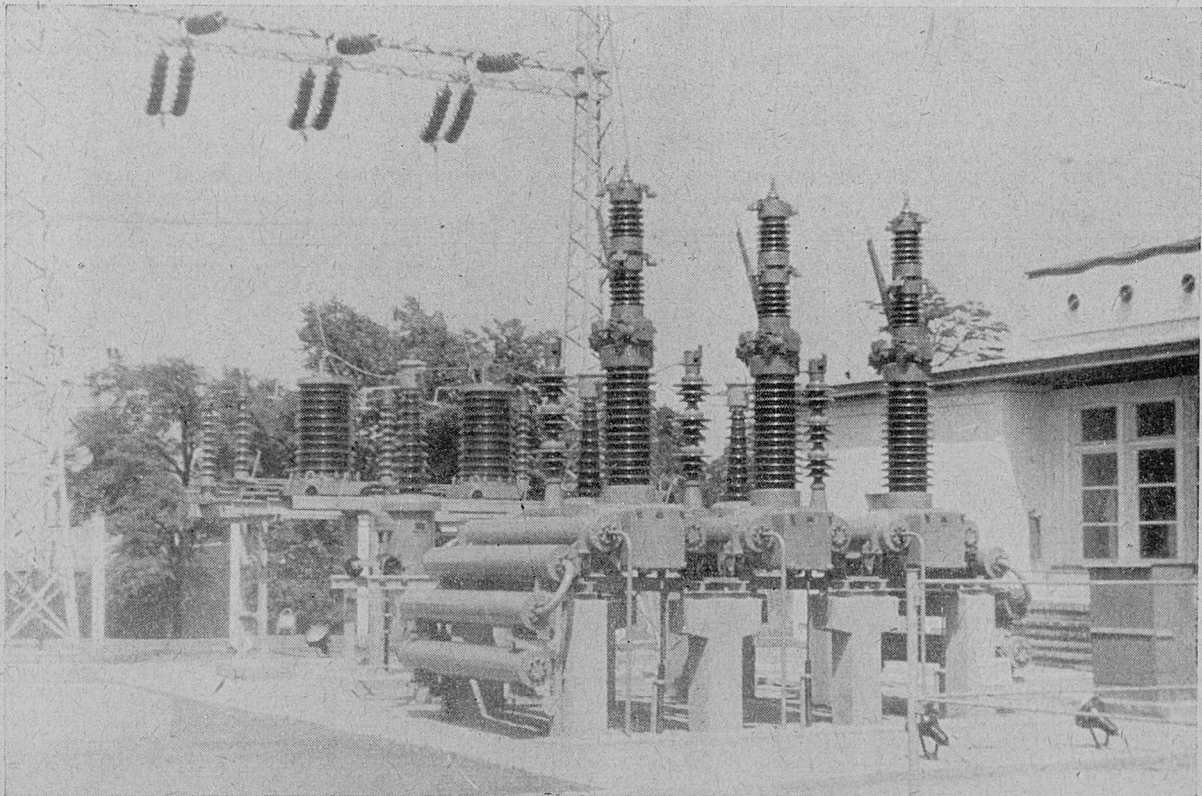
rozdzielnicy wewnętrznej 6-kilowoltowej (rys. 10). Transformator był produkcji Zakładów Wytwórczych Transformatorów w Łodzi. Miał on zdalną regulację napięcia pod obciążeniem (± 6 stopni regulacji) w granicach $\pm 10\%$ napięcia górnego i był wyposażony w 18 wentylatorów podmuchowych, wbudowanych pod radiatorami i uruchamianych przy wzroście obciążenia transformatora ponad 60%. Przy stwierdzeniu przekroczenia dopuszczalnej temperatury transformatora możliwe było uruchomienie zdalne przyciskiem z nastawni wymienionych wentylatorów podmuchowych.

Ciężar transformatora wynosił 107 t.

Powietrze do obsługi aparatury 110-kilowoltowej dostarczało uruchomione w jednym z pomieszczeń budynku nastawni kompletne samoczynne dwuukładowe urządzenie sprężarkowe

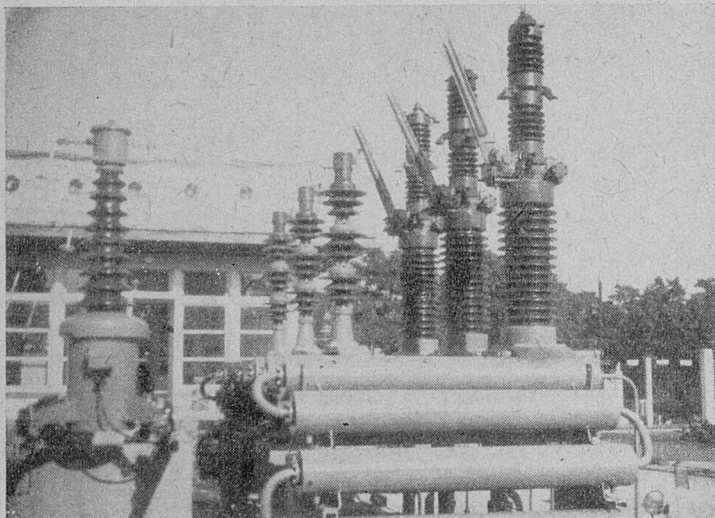
o wydajności każdej sprężarki 2000 litrów powietrza na minutę przy 32 atm.

Rozdzielnia 30-kilowoltowa (rys. 11). Zastosowano dwa układy szyn zbiorczych z możliwością łączenia ich za pomocą małoolejowego wyłącznika sprężelowego sterowanego elektrycznie z nastawni. Cała rozdzielnia (pole transformatorowe, pole sprężelowe i 2 pola liniowe) była wyposażona w wyłączniki małoolejowe 3-biegunowe, zewnętrzne, z komorą tłokową, typu WMt NS 30/6/5 (rys. 12 i 13). Wyłączniki te zbudowano na prąd znamionowy 600 A, na napięcie znamionowe 30 kV, na zdolność wyłączalną 500 MVA; mają one napęd silnikowy do sterowania zdalnego. Cechują je małe wymiary i zmniejszony ciężar. Na podstawie atestów z badań zwarciovych w zagranicznych laboratoriach wielkiej mocy są



Rys. 6. Aparaty pod bramką wejściową 110-kilowoltową

a) na pierwszym planie wyłącznik typu WP-110 z powietrznym gaszeniem łuku, 110 kV, moc wyłączalną 2500 MVA; z każdego boku wyłącznika widać po 3 dodatkowe zbiorniki sprężonego powietrza dla SPZ;
b) na drugim planie przekładniki małoolejowe prądowe i olejowe napięciowe;
c) w głębi z lewej strony odłącznik typu ON3JR-110/6.



Rys. 6a. Fragment stacji 110/30 kV

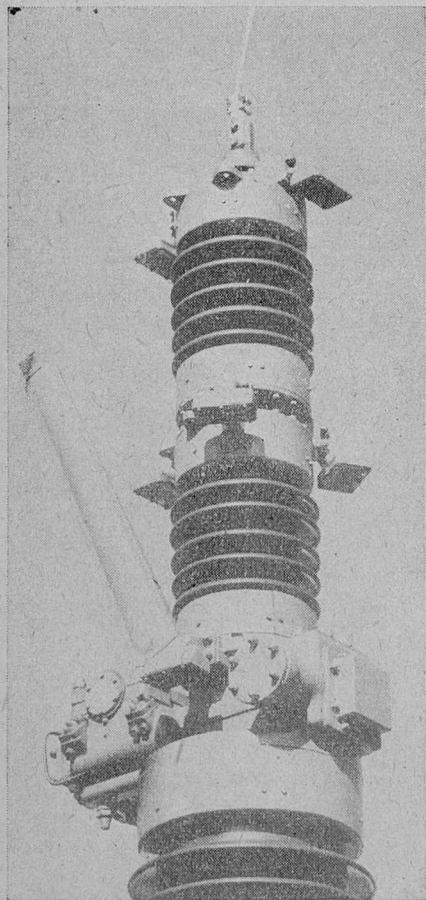
a) z prawej strony wyłącznik z powietrznym gaszeniem łuku na 110 kV w stanie otwarcia (na pierwszym planie dodatkowe zbiorniki sprężonego powietrza do samoczynnego jednokrotnego jednobiegunowego włączania);

b) z lewej strony przekładnik małosilowy prądowy na 110 kV.

one uważane za konkurencyjne pod każdym względem z podobnymi wyłącznikami produkowanymi w innych krajach.

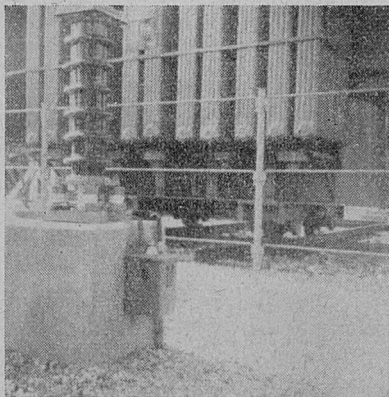
Wśród nowości w wyposażeniu rozdzielni 30-kilowoltowych wystawiono nowoczesne polskie konstrukcje przekładników pomiarowych małosilowych — zarówno napięciowych, jak i prądowych (rys. 14); kształtem i budową odpowiadają one wymaganiom prób udarowych.

Rozdzielnia 30 kV chroniona była od szkodliwego działania przepięć atmosferycznych odgromnikami zaworowymi typu GZ30/10 krajowej produkcji, o sprawdzonej obciążalności udarowej 10 kA, które ustawione były między transformatorem a szynami zbiorczymi rozdzielni oraz na odcinkach liniowych 30 kV.

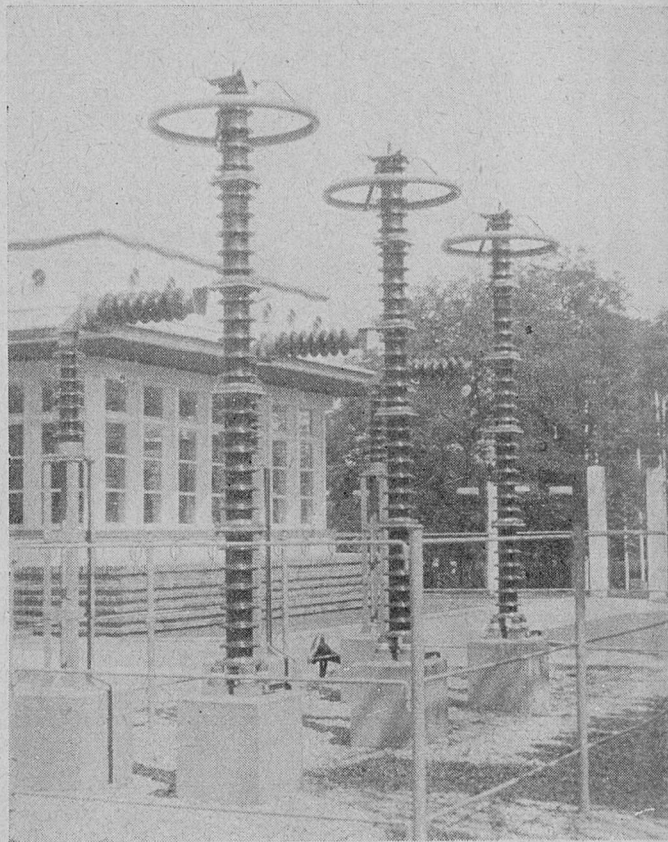


Rys. 7. Biegun wyłącznika powietrznego typu WP-110 po wyłączeniu

W górnej części otwory, skierowane w dół i osłonięte sitkami, do odprowadzenia powietrza rozprężającego się przy wyłączeniu



Rys. 9. Licznik przepięć przy odgromniku 110-kilowoltowym



Rys. 8. Odgromniki przeciwprzepięciowe na 110 kV z przepięciowym ogrodzeniem

Liczniki przepięć niewidoczne; umieszczono je z drugiej strony fundamentu

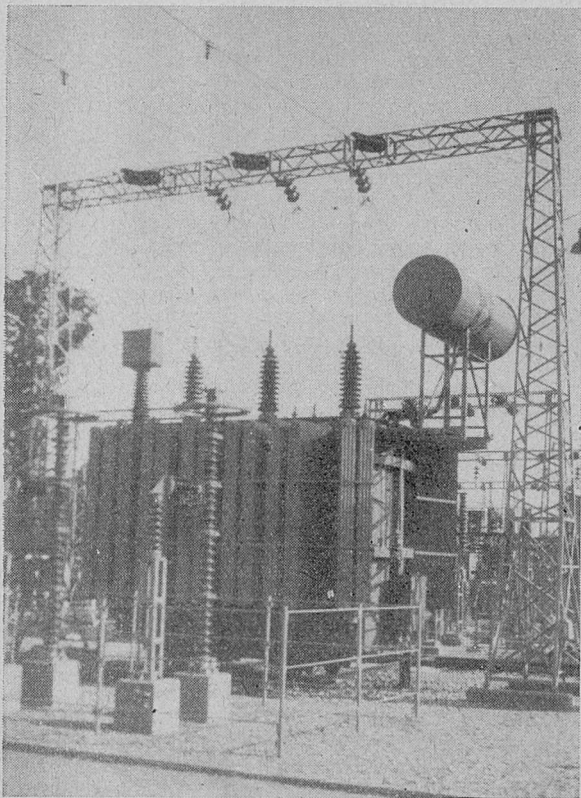
Konstrukcje stalowe. Szyny zbiorcze i połączenia stacji wykonano przewodem AFL 120 i zawieszono na brankach stalowych kratowych. Wszystkie aparaty elektryczne, z wyjątkiem odgromników 110-kilowoltowych ustawiono na konstrukcjach stalowych o takiej wysokości, że dół izolatora aparatuowego przypadał o 250 cm nad ziemią. Wobec tego uniknięto dodatkowego ogradzania aparatury wysokiego napięcia.

Konstrukcje stalowe, jak również liniowe słupy stalowe kratowe, pomimo pełnej wytrzymałości statycznej na naciągi i parcie wiatru, odpowiadającej przepisom krajowym i zagranicznym, były znacznie lżejsze od dawnych konstrukcji krajowych i podobnych konstrukcji zagranicznych, można więc je zaliczyć do rozwiązań konkurencyjnych (rys. 15). Konstrukcje te, dzięki łatwemu obrotowemu ustawianiu na przegubach, wzbudzały duże zainteresowanie fachowców zagranicznych, przy czym prace projektowe Krakowskiego Biura Projektów Sieci Elektrycznych oraz prace Przedsiębiorstwa Produkcji Pomocniczej Energetyki w Krakowie, które konstrukcje te wykonało, spotkały się z ich uznaniem.

Podstawowe wymiary konstrukcji są następujące: 1) pole 110-kilowoltowe — szerokość 9 m, wysokość bramek 9,3 m; 2) pole 30-kilowoltowe — szerokość 5 m, wysokość bramek szynowych 5 m, wysokość bramek liniowych 6,5 m.

Racjonalne wyzyskanie stali w konstrukcjach wsporczych pozwoliło na zmniejszenie ciężaru stali zużywanej dotychczas do budowy podobnych stacji o 30%. Skutek ten osiągnięto dzięki zastosowaniu — w konstrukcjach kratowych na ukośnikach — stali okrągłej. Obniżenie ciężaru konstrukcji kratowych dało obniżkę kosztów fundamentów o 40%.

Ochrona przeciwprzepięciowa i odgromowa. Jak wynika z rozmów z fachowcami zagranicznymi oraz z badań i studiów, przeprowadzonych przez nasze politechniki i instytuty naukowe, nie pozostaliśmy w tyle również w dziedzinie projektowania i ustawiania ochrony przeciwprze-



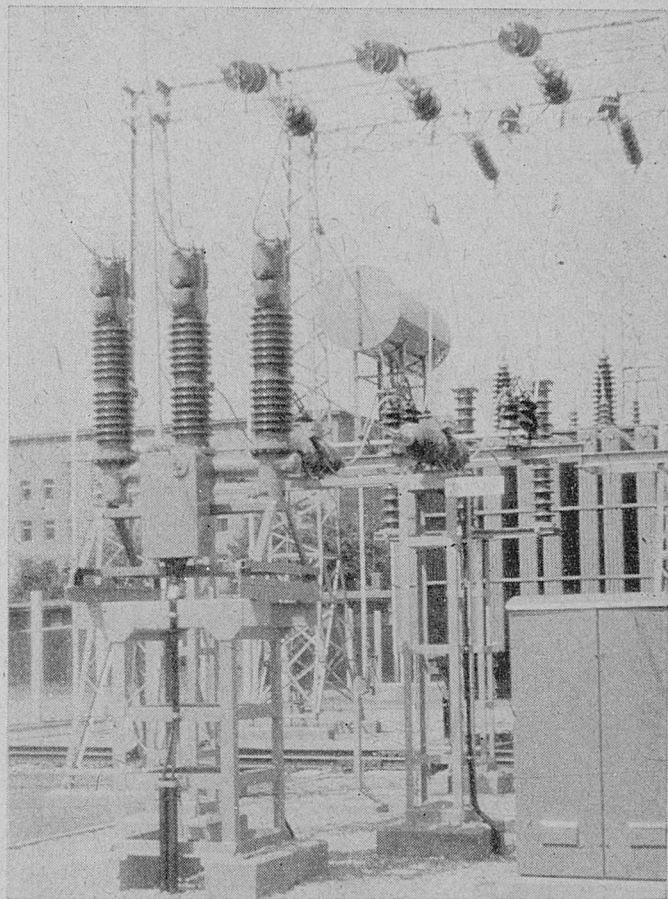
Rys. 10. Transformator na 31,5 MVA, 117/33,5/6,3 kV i jego bramka

Z lewej strony u góry transformatora widać głowicę wbudowanego regulatora napięcia pod obciążeniem

pieciowej i odgromowej na naszych stacjach wysokich napięć. Już dziś nie stawiamy w dowolnych miejscach odgromników przeciwprzebiegowych, jak to jeszcze można spotkać w niektórych krajach naszego kontynentu względnie też na stacjach



Rys. 11. Fragment stacji po stronie 30 kV



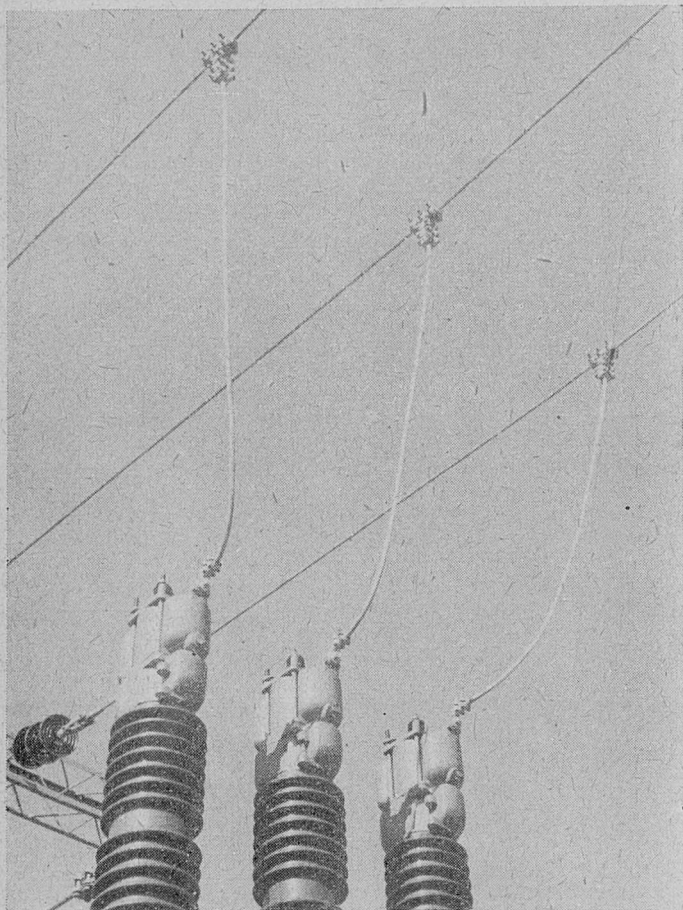
Rys. 12. Wyłącznik małosilnikowy o mocy wyłączalnej 500 MVA przy 30 kV, z napędem silnikowym, nowej konstrukcji
Tuż za wyłącznikiem widoczne są przekładniki prądowe na 30 kV, 600/5/5A, w wykonaniu poziomym

zewnętrznych wysokiego napięcia, budowanych w Polsce przed kilku laty. Stwierdzono na przykład, że ustawienie odgromników (zawierają iskiernik) w zbyt bliskiej odległości od transformatora (około 20 cm) daje oscylacje, które powodują dwukrotne przebiegi niebezpieczne dla samego transformatora, a zależne od pojemności uzwojeń wejściowych.

Z powyższych względów na stacji wzorowej w Poznaniu odgromniki przeciwprzebiegowe ustawiono w uzasadnionej odległości od transformatora (por. rys. 3), przy czym zarówno transformator, jak i wszystkie aparaty stacji, objęte były zasięgiem działania odgromników. Zasięg działania ustawionych odgromników typu GZ 110—80%/10, wynoszący 93 m, wszędzie przekraczał odległości rzeczywiste od odgromników do najbardziej odległych chronionych urządzeń stacji. Udarowe napięcie zapłonu 405 kV max. dla wspomnianych odgromników gwarantowało pełną ochronę od przepięć atmosferycznych zastosowanej aparatury 110-kilowoltowej, dla której probiercze napięcie udarowe wynosi 516 kV_{max}.

Zasięg działania ustawionych po stronie 30 kV odgromników przeciwprzebiegowych typu GZ 30/10, wynoszący 68 m, nie był również nigdzie przekroczony, a udarowe napięcie zapłonu tych odgromników 118 kV_{max} zapewniało pełną ochronę od przepięć atmosferycznych zastosowanej w stacji aparaturze 30-kilowoltowej.

Ochrona stacji przed bezpośrednim uderzeniem pioruna również została zaprojektowana w sposób nowoczesny. Projektanci Krakowskiego Biura Projektów Sieci Elektrycznych uzyskali — przez skasowanie linii odgromowych, wymagających wyższych kratowych konstrukcji stacyjnych — znaczne oszczędności i dali pewniejsze w działaniu zabezpieczenie odgromowe. Ustawienie zwodów prętowych i iglic odgromowych na stacji w Poznaniu wzbudziło wielkie zainteresowanie i uznanie wielu fachowców, a wśród nich i gości zagranicznych. Każdy z umieszczonych na bramce liniowej 110-kilowoltowej dwóch zwodów prętowych (wysokość od ziemi 18,3 m) miał opór udarowy 10 omów. Zwody te stanowiły pełną ochronę przeciw uderzeniu pioruna nie tylko dla całej aparatury



Rys. 13. Przyłączenie wyłącznika małoolejowego typu WMtNS 30/6/5 na napięcie znamionowe 30 kV
Zwracają uwagę zaciski odgąłężne napowietrzne zbyt dużych wymiarów

110-kilowoltowej, lecz także dla budynku nastawni. Dla ochrony odgromowej rozdzielni 30-kilowoltowej i transformatora ustawiono 4 oddzielne wolnostojące iglice stalowe o wysokości 15 m i umieszczono je w odległości 5 m od stacyjnych konstrukcji stalowych i przewodów rozdzielni 30-kilowoltowej. Opór udarowy uziemienia każdej z iglic odgromowych był mniejszy od 25 omów, co odpowiada wytrzymałości piorunowej ochrony 100 kA ($100 \text{ kA} \times 25 \Omega = 2500 \text{ kV}$ i jest wartością mniejszą od wytrzymałości 5 m powietrza). Zgodnie z wymaganiami nowoczesnej techniki odgromowej zwody wolnostojące miały odrębne uziemienia, nie połączone z uziemieniem ogólnym stacji.

Tablica sterowniczo-pomiarowa siedmiopolowa. Umieszczono ją w głównym pomieszczeniu budynku nastawni (rys. 16). Tablica umożliwiała pełne sterowanie stacją zarówno po stronie 110 kV, jak i rozdzielnią 30-kilowoltową; w czasie trwania targów tablica była w ciągłym ruchu.

Poszczególne pola konstrukcji stalowej tablicy były wykonane ze skręcanych znormalizowanych elementów, wykonanych bardzo starannie. Szczególną uwagę zwracało zastosowanie w budowie tablicy przewodów w barwnej masie plastycznej (odpornej na działanie prądu stałego i prądu zmiennego), estetycznie i starannie ułożonych. Znaczną przejrzystość połączeń układu elektrycznego tablicy osiągnięto dzięki poprowadzeniu przewodów zasilających—wspólnych dla wszystkich pól—na miniaturowych porcelanowych izolatorach wsporczych, ustawionych u góry na ściankach działowych poszczególnych pól tablicy. Drobny ten szczegół konstrukcyjny godny jest dalszego naśladowstwa (rys. 17).

Jakość montażu, wykonania i wykończenia tablicy przewyższała znacznie wszystkie wyprodukowane po wojnie w kraju podobne tablice sterowniczo-pomiarowe i dorównywała poziomowi europejskiemu. Przedsiębiorstwo Produkcji Pomocniczej Energetyki w Krakowie, wystawiając tę tablicę, wyprzedziło konstrukcją i jakością swej pracy inne zakłady prze-

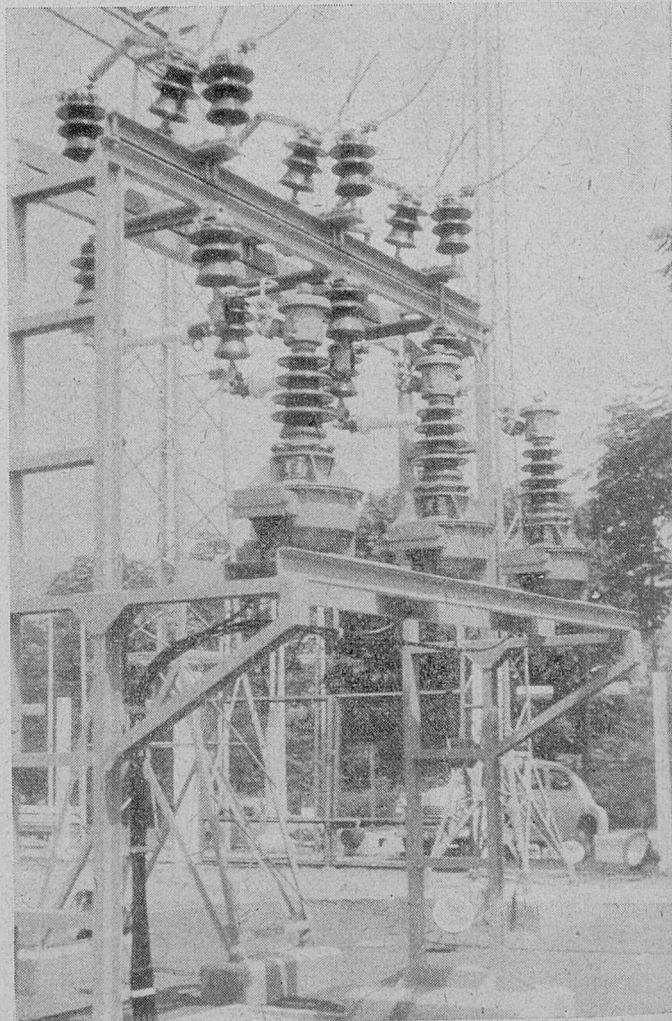
mysłu kluczowego, które również dostarczają tablice nastawcze. W okresie wzmożonych wysiłków zmierzających do dalszego podniesienia jakości produkcji elektrotechnicznej w Polsce należy tu podkreślić dokładną pracę, zapał i zrozumienie zadań eksportu w zespole monterów i lakierników pod kierownictwem inż. Klimeckiego, którzy wykonali ten piękny eksponat.

Zabezpieczenia. Stacja była zabezpieczona głównie przełącznikami krajowej produkcji do niedawna jeszcze nie produkowanymi w Polsce z wyjątkiem jednak ochrony odległościowej stopniowo wyłączającej zwarcia na linii 110 kV oraz ochrony różnicowej transformatora. Zastosowane typy polskich przełączników łącznie z dopiero co wymienionymi zagranicznymi spełniały całkowicie żądania ochrony tego rodzaju dużych stacji pod względem wybiórczości, czułości i pewności działania.

Transformator o mocy 31,5 MVA był chroniony za pomocą polskich przełączników gazowo-podmuchowych (od zwarć wewnętrznych) oraz zagranicznych przełączników różnicowych (RQS2 + RQS3), znieczulonych na krótkie udary prądu magnetycznego za pomocą elektromagnetycznego przełącznika zwłocznego typu RT produkcji polskiej. Układ ochrony różnicowej wyłączał bezzwłocznie zwarcia. Przy gwałtownym wydzielaniu się gazów w transformatorze ochronę przejmował polski przełącznik gazowo-podmuchowy, który wyłączał transformator obustronnie spod napięcia. W razie powolnego zbierania się gazów, co bywa przy mniejszych uszkodzeniach w transformatorze, nastawiana była alarmowana jedynie dzwonkiem. Stan przeciążenia transformatora i nienormalny poziom oleju również były sygnalizowane dzwonkiem.

Jako rezerwę przewidziano dla zabezpieczenia różnicowego trzykildowy przełącznik nadprądowo-czasowy, zwłoczny, o charakterystyce niezależnej od obciążenia typu RYT3 krajowej produkcji.

Rozdzielnia 30-kilowoltowa była całkowicie zabezpieczona przełącznikami naszej produkcji.



Rys. 14. Przekładniki małoolejowe napięciowe na 30 kV

Linie jednostronnie zasilane chroniono dwustopniowymi przekaźnikami prądowymi, nastawionymi na prąd zwarcia, oraz przekaźnikami nadprądowo-czasowymi niezależnymi typu RJT2, nastawionymi na wielokrotność prądu znamionowego.

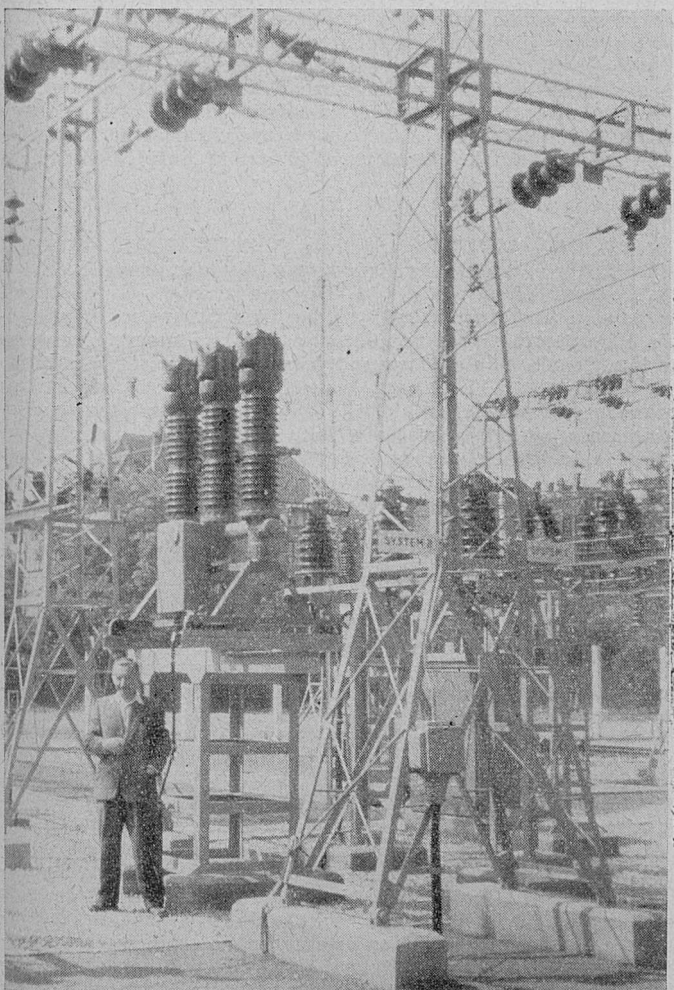
Linie dwustronnie zasilane rozdzielni 30-kilowoltowej zabezpieczono kompletną ochroną nadprądowo-kierunkową typu RJTP zwłoczną, z blokadą kierunkową, oryginalnej konstrukcji i produkcji Świebodzičkih Zakładów Wytwórczych Aparatury Precyzyjnej.

Odejsia liniowe 30-kilowoltowe wyposażono w zespół przekaźników typu RAZ do samoczynnego powtórnego załączania wyłączników małoolejowych obsługujących linie.

Elektrycy polscy z dumą i radością oglądali tablice zabezpieczeniowe nastawni, na których widniały dobrze wykonane, wysokiej jakości pod względem działania, przekaźniki świebodzickie przed pięciu laty jeszcze nie produkowane w Polsce.

3. Montaż stacji.

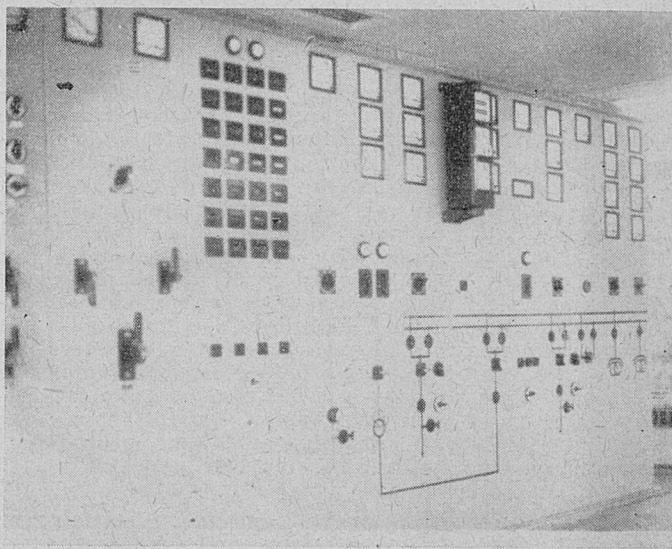
Po raz pierwszy w historii M. T. P. ekspozycją naszym były także pełne usługi montażowe. Przedsiębiorstwo Budowy Sieci Elektrycznych z Gdańska zademonstrowało budowę i kompletny montaż opisanej wyżej w krótkim zarysie stacji. Przedsiębiorstwo to udowodniło zwiedzającym nie tylko wysoką jakość robót montażowych, ale także dużą sprawność organizacyjną, umożliwiającą przeprowadzanie tak poważnych robót montażowo-budowlanych w ciągu krótkiego czasu.



Rys. 15. Fragment stacyjnej rozdzielni 30-kilowoltowej stacji: wyłącznik małoolejowy 30-kilowoltowy z napędem silnikowym, nieco w głębi nowoczesne przekładniki prądowe 30-kilowoltowe

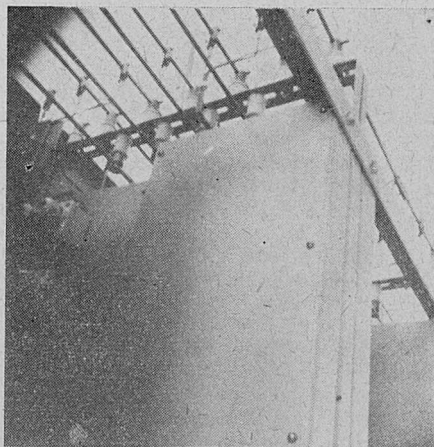
Widoczne jest przegubowe ustawienie konstrukcji oraz staranne wykończenie fundamentów

Należy tu szczególnie podkreślić, że stację transformatorowo-rozdzielczą 110/30 kV o mocy 31,5 MVA wybudowano, zmontowano, sprawdzono i oddano do ruchu w ciągu dwóch



Rys. 16. Tablica sterowniczo-pomiarowa w budynku nastawni

miesiący od daty otrzymania dokumentacji technicznej. Możliwe to było, oczywiście, dzięki dobrze zrozumianej koordynacji wykonania poszczególnych aparatów, synchronizacji wszystkich rodzajów prac montażowych, oraz współpracy licznych zainteresowanych wystawców. Dowodzi to, że polskie biura projektowe, przemysł elektrotechniczny oraz nasze doświadczone przedsiębiorstwa budowlano-montażowe nie tylko dojrzały do zespołowej, skoordynowanej współpracy, ale także przygotowały się do zadań naszego eksportu elektrotechnicznego. Świadczą o tym liczne wypowiedzi i opinie polskich



Rys. 17. Wspólne dla wszystkich pól przewody zasilające na miniaturowych izolatorach wsporczych

Fragment tablicy sterowniczo-pomiarowej stacji 110/30 kV (widok z tyłu)

oraz zagranicznych fachowców i znawców zagadnień gospodarczych, upamiętnione w księdze uwag zwiedzających ekspozycję targową.

Stację zwiedziło wielu kupców i przedstawicieli zagranicznych, którzy szczegółowo zapoznawali się z działaniem i jakością naszych urządzeń elektroenergetycznych oraz interesowali się możliwościami ich dostawy za granicę.

W czasie trwania XXIV MTP stacja była terenem wielu konferencji ijazdów technicznych. Wystarczy tu wspomnieć o wspólnej naradzie jakościowej przedstawicieli energetyki i przemysłu elektrotechnicznego, o zjeździe racjonalizatorów aparatury przemysłu elektrotechnicznego lub zorganizowanej wspólnej wycieczce wszystkich ekspozytur zjednoczenia „Elektroprojekt”.

Wydawnictwa nadesłane

UZIEMIENIA I ZEROWANIE WEDŁUG PRZEPISÓW BUDOWY I EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH. Biblioteka Ochrony Pracy. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 67, rys. 39, cena zł 3,40. — Informacje wydawcy: W książce podano zbiór przepisów dotyczących budowy urządzeń uziemiających i zerujących w elektrowniach i sieciach elektrycznych. Przepisy te zostały zatwierdzone przez Ministra Energetyki w dn. 10.III.1955 r. jako obowiązujące w zakładach podległych Ministerstwu. Część dotycząca „Tymczasowych przepisów eksploatacji elektrowni i sieci” zaopatrzone w komentarz wskazujący związek między przepisami eksploatacyjnymi i budowy oraz wyjaśniający celowość żądań zawartych w tych przepisach. W załącznikach omówiono zastosowanie wyłączników ochronnych, podano orientacyjne wskazania dotyczące obliczania uziomów oraz zwrócono uwagę na uszkodzenia mogące powstać w sieciach, w których jest stosowane zerowanie ochronne. Książka przeznaczona jest dla personelu inżynierjno-technicznego oraz pracowników inspekcji pracy we wszystkich zakładach, w których zainstalowane są urządzenia elektroenergetyczne, jak również dla biur projektowych.

KRUKOWSKI WŁODZIMIERZ. LICZNIKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ. 1955, Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Format B5, str. 451, rys. 306, cena zł 36,20. — Spis rzeczy: Podstawowe wiadomości z elektrotechniki. Ogólne podstawy. Prąd stały. Prąd zmienny. Transformator. — Zasady działania i konstrukcje liczników energii elektrycznej. Wiadomości ogólne o licznikach. Liczniki elektrodynamiczne. Liczniki magnetoelektryczne. Liczniki indukcyjne energii prądu zmiennego jednofazowego. Liczniki indukcyjne energii prądu trójfazowego. Liczniki wahadłowe. Liczniki elektrolityczne. Szczegóły konstrukcyjne liczników. — Taryfy i przyrządy taryfowe. Zasady sprzedaży energii elektrycznej. Urządzenia taryfowe. Zegary i mechanizmy zegarowe. — Taryfy i liczniki uwzględniające składową bierną prądu. Taryfy uwzględniające bierną prądu. Liczniki uwzględniające prąd bierny. — Przekładniki (transformatory miernikowe). Przekładniki napięciowe. Przekładniki prądowe. Współpraca przekładników prądowych i napięciowych z przyrządami pomiarowymi. Badanie przekładników. — Wzorcowanie liczników. Przyrządy pomiarowe i metody pomiarowe. Przepisy prawne dotyczące liczników energii elektrycznej. Układy połączeń liczników w instalacji. Urządzenia do sprawdzania liczników. Metody sprawdzania liczników. Wzorcowanie różnych typów liczników. — Uwagi ogólne. Konserwacja liczników. Wybór liczników. Instalowanie liczników. Błędne układy połączeń liczników. — Dodatek. — Streszczenie przepisów dotyczących liczników energii elektrycznej. — Wyznaczanie uchybów liczników przekładnikowych. — Współczynniki korektacji błędnych połączeń układów liczników trójfazowych według H. Nützelbergera. — Skorowidz. — Informacje Komisji PAN do opracowania monografii prac W. Krukowskiego: Książka pt. „Liczniki energii elektrycznej”, wydana w r. 1930 w języku niemieckim poza granicami kraju, jest jedną z licznych prac pozostałych w spuściznie po wybitnym uczonym polskim, Włodzimierzu Krukowskim, noszącą cechy, które kwalifikują ją do udostępnienia szerszemu ogółowi elektryków. W książce tej autor podał wyniki swych badań naukowych w zakresie techniki pomiarów energii elektrycznej wraz z bogatym dorobkiem konstruktorskim, w ujęciu przystępnym zarówno dla inżynierów jak i dla techników. Komisja powołana przez Polską Akademię Nauk do opracowania monografii prac W. Krukowskiego uznała za celowe wydzielenie książki o licznikach energii elektrycznej z ogólnego zbioru i wydanie jej jako oddzielnego, łatwiej dostępnego podręcznika, mimo że praca ta należy do całokształtu twórczości W. Krukowskiego. Wydanie przez Państwowe Wydawnictwo Naukowe książki W. Krukowskiego o licznikach energii elektrycznej, zapewniające jak najszerzy zasięg tego podręcznika, jest równocześnie dopełnieniem akcji Polskiej Akademii Nauk w zakresie wydawnictw monograficznych uczonych polskich. — Informacje wydawcy: Książka została napisana zasadniczo dla inżynierów i techników licznikowców oraz dla

studentów wyższych szkół technicznych; dzięki rozdziałom wprowadzającym i szczególnej jasności wykładu, książka może być użytkowana przez czytelników mniej przygotowanych w dziedzinie techniki licznikowej. W celu przystosowania książki do potrzeb czytelnika polskiego poczyniono w stosunku do treści oryginału pewne zmiany i uaktualnienia.

SOCHOR BRONISŁAW, prof. Politechniki Łódzkiej. ELEKTRYCZNE PIECE OPOROWE. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 223, rys. 170, cena zł 21,60. — Informacje wydawcy: Książka omawia zagadnienia budowy i eksploatacji przemysłowych pieców elektrycznych oporowych. Po omówieniu rodzajów pieców podano wytyczne obliczania pieców, doboru materiałów konstrukcyjnych, montażu i eksploatacji pieców oraz zasadnicze schematy połączeń elektrycznych. Książka jest przeznaczona dla inżynierów i techników zatrudnionych przy projektowaniu, budowie i eksploatacji elektrycznych pieców oporowych.

ANDRZEJEWSKI STANISŁAW, mgr inż., MROCZKOWSKI ZDZISŁAW, mgr inż. UKŁADY I URZĄDZENIA POTRZEB WŁASNYCH ELEKTROWNI. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 188, cena zł 17,20. — W książce są omówione najnowsze poglądy w zakresie projektowania układów potrzeb własnych elektrowni ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na ogólne wyniki pracy elektrowni. Książka zawiera: omówienie głównych charakterystyk podstawowych urządzeń potrzeb własnych oraz właściwy dobór silników napędowych, sposoby regulacji wydajności urządzeń potrzeb własnych, zasilanie robocze i rezerwowe, samoczynne załączanie rezerwy, blokadę i zabezpieczenia silników, pomocnicze obwody prądu stałego, typowe rozwiązania budowy rozdzielni. Książka jest przeznaczona dla inżynierów i techników projektujących elektrownie, a także dla kierowniczego personelu eksploatacji elektrowni.

MYŚLICKI ANDRZEJ, dr inż. BEZPIECZNIKI WIELKIEJ MOCY. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 115, rys. 98, cena zł 6,00. — Informacje wydawcy: Tematem książki są bezpieczniki wysokonapięciowe i bezpieczniki niskonapięciowe wielkiej mocy, stosowane w urządzeniach elektroenergetycznych. Na wstępie podano zasadę działania i analizę warunków pracy bezpieczników oraz rozpatrzono charakterystyczne stany bezpiecznika: nagrzewanie wkładki, gaszenie łuku oraz stan izolacyjny po zadziałaniu. Następnie omówiono typowe rozwiązania konstrukcyjne bezpieczników wysokonapięciowych i bezpieczników niskonapięciowych wielkiej mocy. Poruszono również zagadnienia związane ze stosowaniem bezpieczników, jak zagadnienia koordynacji charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników i urządzeń wyzwających łączników, oraz zagadnienia wybiórczości działania przy zwarcia. Podano wreszcie wytyczne stosowania bezpieczników oraz omówiono zasady ich eksploatacji. Książka przeznaczona jest dla elektryków zajmujących się projektowaniem i eksploatacją elektroenergetycznych urządzeń przesyłowych i rozdzielczych.

MORSZTYN KAROL, prof. IZOLACJA I TECHNOLOGIA UZWOJEŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 233, rys. 204, cena zł 22,00. — Spis rzeczy: Materiały izolacyjne i druty nawojowe, stosowane w maszynach elektrycznych. Zasady doboru i konstrukcji izolacji uzwojeń w maszynach elektrycznych. Technologia wykonania uzwojeń w maszynach elektrycznych. Technologia impregnowania izolacji uzwojeń w maszynach elektrycznych. Próby wytrzymałości dielektrycznej izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych. — Informacje wydawcy: Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników pracujących w dziedzinie konstrukcji, produkcji, remontu i eksploatacji maszyn elektrycznych. Może być również wykorzystana przez studentów wyższych uczelni i szkół technicznych pragnących uzupełnić i pogłębić swoje wiadomości z dziedziny izolacji i technologii wykonania uzwojeń maszyn elektrycznych.

PRZEGLĄD DOKUMENTACYJNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI

Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 7

Warszawa, grudzień 1955 r.

Nr 12

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

Wiadomości ogólne

566* 536.53 IEL
Bönnhoff H.: O wyborze układów rejestrujących temperaturę. „Zur Auswahl von Temperatur-Registriergeräten“. Elektrowärme Techn., Mindelheim, mies., Nr 5, maj 54, s. 97; A4, 3 str., 7 fot. — Opisana zasada działania kilku typów rejestratorów temperatury i wynikające z niej wady pomiarów. Porównanie tych przyrządów i ich dokładności.

567* 536.53(083.74) IEL
Lotz H.: Nowe normy w dziedzinie elektrycznych przyrządów do pomiaru temperatury. „Neue Normen auf dem Gebiet elektrischer Temperaturmessgeräte“. Elektrowärme-Technik, Mindelheim, mies., Nr 5, maj 54, s. 100; A4, 3 str. — Omówiono najnowsze normy DIN w dziedzinie przyrządów elektrycznych do pomiaru temperatury. Normami objęto termoelementy, termometry oporowe. Ponadto podano normy dotyczące czujników bimetalowych płynowych i piro-metrów.

568* 537.523.4 IEL
Jirku J.: Badanie własności iskry długiej. „Výzkum vlastností dlouhé iskry“. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 3, marz. 54, s. 159; A4, 1,5 str., 6 rys. — Wyniki radzieckich badań nad fizyką wyładowania w długiej powietrznej przerwie iskrowej (2 m). Układ badawczy, pomiar przy pomocy oscylografu. Czas rozwoju wyładowania, szybkość lidera. Badania przy dużej gęstości prądu, odwzorowanie warunków przy przebiegach atmosferycznych.

569* 537.567 IEL
Boullond A.: Jonizacja przerwy iskrowej z powietrzem sprężonym poddanej zmiennemu polu elektrycznemu i zawartej między płatkami pokrytymi dielektrykiem. „Ionisation d'une lame d'air comprimé soumise à un champ électrique alternatif entre plateaux recouverts d'isolant“. Rev. gen. Electr., Paris, mies., Nr 4, kw. 54, s. 222; A4, 3 str., 3 rys., 6 poz. bibl. — Metoda pomiaru jonizacji w powietrzu sprężonym przy pomocy mostka Scheringa. Wyniki badań w zakresie 1–15 atmosfer. Porównanie wyników nateżenia jonizacji dla odstepu elektrod 0,2 mm z prawem Paschena. Próba wyznaczania prądu jonizacji.

570* 538.552:621.3.064 IEL
Samodielkin W. B.: Tłumienie drgań napięcia powrotnego w układzie trójfazowym. „Diempfirowanie kolebanij wosstanawliwajuszczewosia napriazhenia w triochfaznoj mostowej schiemie“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 48; A4, 5 str., 9 rys., 2 poz. bibl. — Metoda obliczania zdolności tłumiących układu. Wyznaczanie tłumienia przy pomocy oscylogramów napięcia powrotnego. Opracowanie analityczne i graficzne. Przypadki układu z punktem zerowym uziemionym i izolowanym.

571* 621.3.017.71 IEL
Wasiljew J. K.: O nieliniowości równania nagrzewania konstrukcji elektrycznych. „O nieliniowości urawnienija nagriewanija elektrotechničeskich konstrukcij“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 59; A4, 2,5 str., 1 rys., 11 poz. bibl. — Wpływ ochładzania i wartości współczynnika przewodzenia ciepła na przebieg nagrzewania urządzenia elektrycznego. Rozpatrzenie przypadków dobrej wentylacji, przewagi wpływu konwencji na odprowadzanie ciepła. Wpływ przewodności cieplnej przewodów (np. miedź a konstantan). Nieliniowość równania przewodnictwa z powodu niemożności traktowania współczynników jako stałe.

572* 621.3.084.1 IEL
Kozyriew N. A.: Długotrwała wytrzymałość elektryczna izolacji głównej maszyn elektrycznych. „Dłitielnaja električeskaja procznost' gławnoj izolacii električeskich maszin“. Elektr. Stancii., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 24; A4, 2 str., 3 rys., 1 poz. bibl. — Wpływ wartości i długotrwałości przyłożonego napięcia na starzenie izolacji uwożeń. Porównanie dla napięcia stałego i zmiennego. Krzywe życia izolacji. Wnioski o celowości badań profilaktycznych izolacji napięciem podwyższonym, zakres badań.

573* 621.3.05.001 IEL
Berger K.: Krótka teoria przesyłu energii i równowagi układu. „Kurze Theorie der Energieübertragung und ihrer Stabilität“. Bull. SEV, Zürich, dwutyg. Nr 10, maj 54, s. 343; A4, 12,5 str., 23 rys. — Przegląd podstawowych zagadnień teoretycznych dotyczących przesyłu energii. Zależności napięć i prądów w sieci biernej jednostronnie zasilanej. Zależności przy współpracy elektrowni. Rozkład prądów i napięć wzdłuż linii długiej. Moc naturalna linii krótkiej i linii długiej. Przesył mocy czynnej i mocy biernej. Zasady równowagi statycznej układu. Równowaga dynamiczna, wzory zasadnicze. Rozpatrywanie równowagi od strony zjawisk w maszynie synchronicznej. Obciążenie dopuszczalne (krytyczne). Przedstawienie zagadnień równowagi na modelu elektrycznym i mechanicznym. Kompensacja mocy biernej (poprzeczna i podłużna). Zagadnienia ulotu i zakłóceń radiofonicznych.

574* 621.3.051.001 IEL
Wienikow W. A., Zukow L. A.: Uproszczona metoda oceny równowagi stanu ustalonego w układach przesyłowych. „Uproszčen-naja metodika ocenki dinamičeskoj ustojčiwosti električeskich pieriedacz“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 3; A4, 4,5 str., 7 rys., 4 poz. bibl. — Składowa zgodna napięcia na szynach elektrowni, jako kryterium stateczności. Wyznaczenie wartości charakterystycznych tego napięcia. Wykresy do obliczania napięcia krytycznego. Wyznaczanie czasu wyłączenia zwarcia. Metoda uproszczona do zastosowań praktycznych.

Elektrownie

575* 621.165:621.313.322—81 IEL
Słownie ciepłe i prądnicze. „Wärmekraftanlagen und Generatoren“. Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 41, Nr 1/2, stycz. — luty 54, s. 4; A4, 18,5 str., 21 fot., 3 wykr., 7 poz. bibl. — Przegląd ważniejszych osiągnięć firmy Brown Boveri w roku 1953 w dziedzinie słowni ciepłych i prądnic. Turbiny gazowe w energetyce, na podstawie doświadczeń elektrowni Beznau. Ciekawskie konstrukcje turbin parowych. Zastosowanie kotłów Velox. Sprężarki do ładowania silników Diesla. Osiągnięcia firmy Brown Boveri w dziedzinie konstrukcji prądnic turbinowych dla elektrowni parowych i wodnych.

Przemysł elektryczny

576* 621.312.061.4 IEL
Elektrotechnika na 38 Targach Szwajcarskich w Bazylei. „Die Elektrizität an der 38. Schweizer Mustermesse Basel“. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 9, maj 54, s. 266; A4, 48 str., 126 rys. — Wzmianki o szeregu eksponatach z dziedziny elektrotechniki wystawionych na Targach. Zespoły napędowe. Pojazdy elektryczne. Aparatura rozdzielcza wysokiego napięcia. Odgromniki (m. in. wydmuchowe niskonapięciowe). Transformatory wielkiej mocy. Aparatura spawalnicza i grzejna. Nowoczesne wyposażenie elektryczne gospodarstwa domowego. Przyrządy elektronowe. Aparatura przemysłowa o sterowaniu elektronowym. Wyposażenie teletechniczne. Kondensatory elektrolityczne. Izolatory ceramiczne. Bezpieczniki. Wykonanie przewodów izolowanych o różnych przeznaczeniach. Przybory instalacyjne. Wyposażenie elektrowni ciepłych. Akumulatory. Nowe lampy jarzeniowe. Przegląd produkcji firm szwajcarskich.

Maszyny elektryczne

577* 621.313—181.2:621.317.333 IEL
Zwiedzkin B. H., Izrajeljt G. B.: Przyczynek do badań izolacji dużych maszyn elektrycznych. „K woprosu ob ispytanij izolacii krupnych električeskich maszin“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 64; A4, 4 str., 2 rys., 3 tabl., 1 poz. bibl. — Na podstawie danych uzyskanych z praktyki eksploatacyjnej autorzy wysnuwają wnioski, że zdarzające się przypadki uszkodzenia izolacji maszyn spowodowane są głównie wskutek rozwijających się miejscowych uszkodzeń, sama zaś izolacja posiada wysoki zapas wytrzymałości. Wychodząc z tego założenia, autorzy polecają w celu podwyższenia pewności pracy maszyn podwyższyć zmienne napięcie pobiercze do 1,7 U₀ oraz uważają, że zmontowane generatory można włączać bez uprzedniego suszenia izolacji.

578* 621.313.04 IEL
Berger L.: Obniżenie ciężaru maszyn i podniesienie jakości trójfazowych silników zamkniętych przez zastosowanie lekkiego sposobu budowy. „Senkung des Maschinengewichtes und Steigerung der Qualität bei geschlossenen Drehstrom-Motoren durch Anwendung der Leichtbauweise“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 3, marz. 54, s. 92; A4, 2,5 str., 4 rys., 3 wykr. — Rozpatrywana jest ewentualność uzyskania lżejszego typu maszyn zamkniętych przez zastosowanie specjalnego rodzaju konstrukcji spawanej. Rozważane jest zagadnienie odprowadzenia ciepła i strat występujących w poszczególnych częściach maszyny i w związku z tym problem zwiększenia powierzchni chłodzącej bez znacznego powiększania ciężaru całej maszyny.

579* 621.313.2:621.317.61 IEL
Bięrgier A. Ja.: O trójkacie oporności maszyn prądu stałego i jego wykorzystaniu dla wykreślenia charakterystyk. „O rieaktiwnom triegolnikie maszin postojannowo toka i jowo ispolzowanije dla postrojenia charakteristik“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 19; A4, 2 str., 2 wykr., 11 poz. bibl. — Pokazano, że dla wykreślenia charakterystyki regulacyjnej i zewnętrznej bardziej celowe jest określić trójkąt oporności nie z prób biegu jałowego i zwarcia, lecz według charakterystyki obciążenia przy prądzie znamionowym i znamionowym napięciu, i uważać, że boki tego trójkąta są w przybliżeniu proporcjonalne do prądu.

580* 621.313.236.3 IEL
Lur'e B. B., Koczenienko M. D.: Schemat pracy równoległej wzmacniaczy elektromaszynowych z poprzecznym polem. „Schemat parallelnoj raboty elektromaszynnych usilitielej s popierecznym polem“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 17; A4, 2 str., 2 rys., 1 wykr. — Autor podaje schemat równoległej pracy wzmacniaczy elektromaszynowych z poprzecznym polem, zapewniający

praktycznie równomierne rozdzielanie obciążenia między nimi. Rozpatrywana jest zasada działania przedstawionego schematu i podane wyniki eksploatacyjnych badań.

581* 621.313.32:621.3.012.4 IEL
Martynow A. N.: Udoskonalenie metody obliczania charakterystyk biegu jałowego maszyn synchronicznych z biegunami wydawnymi. „Jawopolusnyh sinchronnyh maszin”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 54, s. 34; A4, 7 str., 9 wykr., 1 tabl., 6 poz. bibl. — Podane są zasady stosowanych metod obliczenia charakterystyk biegu jałowego. Rozpatrywana jest metodyka określenia podstawowej i trzeciej harmonicznej indukcji oraz pełnego strumienia biegu. „Utocznienie metody rasczota charakteristik chołostowo choda gunów z uwzględnieniem nasycenia stali statora. Wykreślono krzywe dla określenia amplitud podstawowej i trzeciej harmonicznej pola i pełnego strumienia magnetycznego w zależności od nasycenia, przy pomocy których można dokładnie określić charakterystyki biegu jałowego wyżej wymienionych maszyn.

582* 621.313.323.004 IEL
Frankfurt Ja. L., Rajewska E. G.: Granice zdolności kompensacyjnej silnika synchronicznego napędzającego mechanizm z pulsującym obciążeniem. „Priediely kompensacjonnoj sposobnosti sinchronnowo dwigatiela pri priwodie im mechanizma s pulsirujuščej nagruzkoi”. Energet. Biull., Moskwa, mies., Nr 12, grud. 53, s. 18; B5, 4 str., 4 wykr., 4 poz. bibl. — Kontynuacja rozważań zapoczątkowanych w Nr 3—1953 r. Przy pomocy wykresu wektorowego rozpatrywana jest zależność między prądem wzbudzenia, a statecznością pracy silnika i pulsacją prądu w zasilającej go linii.

583* 621.313.333.01 IEL
Barskij G. E.: Wybrane zagadnienia teorii synchronizowanego silnika asynchronicznego. „Niekotoryje woprosy teorii sinchronizirowannowo asinchronnowo dwigatiela”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 11, list. 53, s. 45; A4, 7,5 str., 7 wykr. — Podano podstawowe elementy teorii silnika asynchronicznego synchronizowanego. Wyprobowano wzory dla prądów, SEM i mocy w różnych reżimach wzbudzenia i obciążenia oraz odpowiadające im wykresy wektorowe. Wybrano najbardziej racjonalny schemat wzbudzenia wirnika ze względu na nagrzewanie. Obliczenia prądów i mocy silnika warunkujących najkorzystniejsze wyzyskanie materiałów czynnych.

584* 621.313.333.004 IEL
Litwak L. W.: Sprawdzenie obciążenia i zamiana niedociążonych silników asynchronicznych. „Prowierka zagruzki i zamiana niezagrużennych asinchronnyh dwigatieliej”. Energetik, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 8; A4, 5 str., 8 wykr. — Sklasyfikowano różne rodzaje obciążenia silników asynchronicznych i dla każdego określonego rodzaju podano konkretny przykład obciążenia współczynnika obciążenia silnika. Następnie rozważono zagadnienie rentowności zamiany niedociążonych silników asynchronicznych silnikami mniejszej mocy.

Transformatory

585* 621.314.21.045:621.317.326 IEL
Loffi A.: Uwagi o bledach pomiaru rozkładu napięcia udarowego wzdłuż uzwojenia transformatora. „Note sugli errori di misura nei rilievi di distribuzione di tensione ad impulso su avvolgimenti di trasformatori”. Elettrotecnica, Milano, mies., Nr 3-bis, kw. 54, s. 164; A4, 3 str., 2 rys., 1 poz. bibl. — Model zastępczy uzwojenia transformatora. Zależności między prądem a napięciem w różnych punktach uzwojenia, operowanie równaniami linii łańcuchowej. Błąd określania pojemności prowadzi do wyznaczania napięć cewkowych z uchybem rzędu 30%.

586* 621.314.222.6.001 IEL
Witting R.: Podskoki napięcia w transformatorach wysokonapięciowych obciążonych pojemnościowo. „Spannungsüberhöhungen bei kapazitiv belasteten Hochspannungstransformatoren”. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, Nr 4, kw. 54, s. 129; A4, 4 str., 3 rys., 1 tabl. — Schemat zastępczy transformatora. Wpływ rodzaju obciążenia na przekładnię transformatora. Traktowanie obwodu transformatorowej pojemności obciążenia jako obwodu drgający. Współczynnik rozproszenia i częstotliwość drgań własnych obwodu jako parametry przy obliczaniu napięcia po stronie wtórnej. Praktyczne znaczenie opracowania.

587* 621.314.222.6.001.24:621.3.048.1:621.3.017.7 IEL
Kopecek J.: Niektóre zagadnienia projektowania wielkich transformatorów najwyższych napięć. „Některé problémy návrhu velkých transformátorů vvn”. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 178; A4, 16,5 str., 23 rys., 3 tabl., 31 poz. bibl. — Zasadnicze związki między wymiarami rdzenia i uzwojenia transformatora a jego wielkościami znamionowymi (stratami stanu zwarcia i jałowego, napięciem zwarcia, mocą itp.). Dyskusja rozkładu pola w różnych typach układów izolacyjnych transformatora. Napięcia przy napięciu o częstotliwości sieciowej. Rozkład naprężeń przy napięciu udarowym, próby udarowe. Zagadnienia konstrukcyjne związane z wytrzymałością udarową (izolacja cewek wstępnych i uzwojeń regulacyjnych). Bilans cieplny transformatora, rozwiązanie chłodzenia naturalnego i sztucznego. Wytrzymałość dynamiczna transformatora.

Linie napowietrzne

588* 621.315.1.027.3:621.3.051.2 IEL
Cahen F.: Zagadnienia przesyłu energii przy napięciach wyższych od 225 kV. „Probleme der Energieübertragung mit Spannungen von mehr als 225 kV”. Energietechnik, Berlin, mies., Nr 4, kw. 54, s. 180; A4, 7 str., 15 rys., 2 tabl. — Naprężenia dielektryczne na powierzchni

przewodów linii najwyższych napięć. Porównanie naprężeń przewodów pojedynczych i wiązkowych. Straty ulotu, wpływ przekroju i odstępów przewodów oraz napięcia roboczego. Porównanie typowych rozwiązań zagranicznych. Wyniki pomiarów strat ulotu i zakłóceń radiofonicznych. Zagadnienia mechaniczne w liniach o dużej długości przeseł z przewodami wiązkowymi.

589* 621.315.175 IEL
Jakusza G. B.: Topienie gołoledzi na liniach elektroenergetycznych 3–10 kV przy zastosowaniu dławika. „Pławka gołoleza na liniach elektropriedacz 3–10 kV s pomoszczju reaktora”. Elektr. Stancij., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 31; A4, 3,5 str. 4 rys. 1, poz. bibl. — Zastosowanie metod usuwania gołolezi na liniach najwyższych napięć do linii średnich napięć. Nagrzewanie przewodów prądem zwarcia przy napięciu niższym od znamionowego. Wytwarzanie sztucznego zwarcia urzecz włączanie reaktancji faza-ziemia lub faza-faza. Parametry reaktorów i transformatorów w zależności od napięcia linii, rodzaju i przekroju przewodów.

Kable

590* 621.315.2:621.3.015.51 IEL
Dzuwarly Cz. M., Wiczchajzer G. W.: Przecięcia przy zasklepiających się przebiegach kabli. „Pierienapriajenija pri zapiwajuszczich probojach kabelej”. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 58; A4, 3,5 str., 2 rys., 4 poz. bibl. — Przecięcia ziemnozwarciowe w liniach kablowych. Tłumienie drgań rezonansowych przy zwarciu przerywanym. Ocena przebiegów na podstawie wyników badań profilaktycznych napięciem stałym. Obliczenia oporności tłumiącej.

591* 621.315.2:621.317.333.4 IEL
Bayer V.: Lokalizacja uszkodzeń kabli elektroenergetycznych przy pomocy wielkiej częstotliwości. „Lokalisace vad v silnoproudnych kabelech vysokym kmitočtem”. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 215; A4, 2 str., 9 rys. — Zasada wykrywania zwarcia i przerw w kablach trójfazowych. Tworzenie się fali stojącej przy badaniu kabla napięciem o częstotliwości dobranej do odległości punktu nieciągłości (zwarcia, przerwy). Dokładność określania miejsca uszkodzenia.

592* 621.315.2:621.317.333.6 IEL
Aleksiejew S. W.: Zwalczenie przebiegów elektrycznych w liniach kablowych sieci miejskich. Bor'ba s elektriczeskimi probojami kabełnych linij w gorodskich sietiach”. Elektr. Stancij., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 42; A4, 2 str., 5 tabl. — Statystyka podatności zakłóceń kabli w jednej z sieci miejskich 6–10 kV. Dane z 4 lat, zakłócenia, wyniki badań profilaktycznych, liczba przebiegów podczas prób. Wnioski o przyczynach niezadowolających wyników próby napięciem podwyższonym. Znaczący wpływ braków produkcji kabli.

Materiały izolacyjne

593* 621.315.612.6:537.226.31 IEL
Ioffe W. A.: Straty dielektryczne w szkłe krzemionkowym. „Dielektriczeskije potieri w silikatnyh stieklach”. Z. techn. Fiz., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 611; B5, 11 str., 9 rys., 1 tabl., 29 poz. bibl. — Zależność stratności od temperatury i częstotliwości oraz od domieszek chemicznych szkła. Wyniki pomiarów szkła o różnych składach chemicznych (szkła sodowe, potasowe, ołowiane, magnezowe, tytanowe itp.) przy częstotliwości 1–1000 Mc/s, zakres temperatury 100–400° K. Wnioski na temat zjawisk w bardzo niskich temperaturach.

594* 621.315.615.2:621.3.3.048 IEL
Gładkich M. A.: Wpływ stratności dielektrycznej oleju na charakterystyki izolacji transformatorów. „Wlijanje dielektriczeskich potier masła na charakteristiki izolacji transformatorow”. Elektr. Stancij., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 26; A4, 2 str., 2 tabl. — Kwalifikowanie wyników badań profilaktycznych transformatorów. Znaczenie zmian stratności dielektrycznej oleju pod wpływem temperatury. Porównanie wyników pomiaru stratności stałej relaksacji, zawilgocenia izolacji uzwojeń i innych wskaźników dla różnych typów transformatorów. Próby wyciągnięcia wniosków o współzależności tych wskaźników.

595* 621.315.615.2.004.87 IEL
Kulpina J. P., Pietrow Ju. W.: Regeneracja oleju o dużej stratności dielektrycznej. „Regienieracija masła s bolszymi dielektriczeskimi potierami”. Elektr. Stancij., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 28; A4, 1,5 str., 1 tabl. — Przykład regenerowania oleju w starym transformatorze 110 kV produkcji francuskiej. Badanie stratności i liczby kwasowej w różnych temperaturach przy zastosowaniu różnych metod regeneracji oleju. Wyniki kilku miesięcy eksploatacji transformatora po regeneracji oleju.

596* 621.315.616.97 IEL
Génin G.: Syliony i ich zastosowanie w przemyśle elektrotechnicznym. „Les silicones et leurs applications dans l'industrie électrique”. Electricité, Paris, mies., Nr 204, kw. 54, s. 87; A4, 3,5 str. — Historia zastosowania sylikonów i materiałów izolacyjnych, opartych na podłożu krzemionki. Fabryczne typy związków sylikonowych, skład chemiczny. Technologia chemiczna sylikonów. Cechy chemiczno-fizyczne sylikonów. Zastosowanie w elektrotechnice.

Izolatory

597* 621.315.62 IEL
Schnepp P., Gion L.: Wewnętrzne naprężenia mechaniczne z przyczyn termicznych w izolatorach porcelanowych wywołane waha-

niami temperatury. „Les contraintes mécaniques internes d'origine thermiques dans les isolateurs en porcelaine soumis à des variations de température“. Rev. gen. Electr., Paris, mies., Nr 4, kw. 54, s. 172; A4, 17,5 str., 43 rys., 8 tabl., 3 poz. bibl. — Typy skoków temperatury: naturalne i połączone z wpływem ośrodka zimnej wody. Zarys metod badań, układy urządzeń probierczych, typy izolatorów liniowych i aparatowych poddanych próbom. Pomiaru przy pomocy termopary rozkładu temperatur w różnych punktach izolatora, zmiany temperatury przy ogrzewaniu i oziębianiu. Rozkład temperatur wewnątrz porcelany. Przypadki pęknięć porcelany. Wyznaczanie rozkładu naprężeń wewnątrz porcelany. Dyskusja nad wynikami i własnościami mechanicznymi izolatorów.

598* 621.315.62:621.315.592 IEL
Lewszunow R. T.: **Badania izolatorów pokrytych polewą półprzewodzącą**. „Issledowanija izolatorow pokrytych poluprowodiaszcziej glazurju“. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 36; A4, 5 str., 8 rys., 4 tabl., 2 poz. bibl. — Obniżanie wytrzymałości izolatorów i zwiększanie liczby zakłóceń na skutek zabrudzeń izolatorów. Walka z wpływem zabrudzeń przez stosowanie polewy półprzewodzącej. Rozkład napięcia wzdłuż łańcucha poprawiony przez polewę półprzewodzącą (zmniejszenie napięć na ogniwie). Nagrzewanie się izolatorów przez straty energii w polewie. Porównanie wyników pomiaru wytrzymałości izolatorów normalnych i z polewą półprzewodzącą. Wnioski z eksploatacją izolatorów nowego typu.

599* 621.315.62.004.6:621.317.333 IEL
Barta J.: **Sprawdzanie uszkodzonych izolatorów przy pomocy defektoskopu**. „Zjistování porušených izolátorů defektoskopy“. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 3, marz. 54, s. 163; A4, 1,5 str., 5 rys., 1 tabl. — Wyniki badań szeregu izolatorów 22 kV. Rodzaje uszkodzeń izolacji ceramicznej. Opis radzieckiego układu probierczego. Wpływ ulotu na wskazania defektoskopu opartego na zasadzie pomiaru prądu skośnego.

600* 621.315.624:621.317.2 IEL
Schmidt O. H.: **Pomiary napięcia przeskoku łańcuchów izolatorów na liniach napowietrznych o napięciu znamionowym do 380 kV**. „Überschlagmessungen an Isolatorenkettten für Freileitungen bis 380 kV Betriebsspannung“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 4, kw. 54, s. 122; A4, 7 str., 13 rys., 2 tabl., 11 poz. bibl. — Wymagania wytrzymałościowe izolacji 380 kV sieci ze skutecznie uzmiennionym punktem zerowym. Układ do badań łańcuchów 380 kV w warunkach eksploatacyjnych. Urządzenie do sztucznego deszczu. Kabina mgłowa. Badanie zabrudzeń. Wpływ zmian temperatury. Wyniki prób statycznych i udarowych na sucho i na mokro dla łańcuchów o różnych ilościach ogniw typu K, VK i NK oraz L i NL. Analiza własności różnych typów łańcuchów do zastosowania na sieci 380 kV.

601* 621.315.663:621.3.056.1.001.24 IEL
Klimowski A. L.: **Szablony do rozmieszczania słupów liniowych pieriadaci po profilu**. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, pieriadaci po profilu. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 45; A4, 2,5 str., 4 rys., 2 tabl., 1 poz. bibl. — Wykresy do wyznaczania rozpiętości przesł i rozmieszczenia słupów w zależności od napięcia w przewodach. Obliczanie zwińs i naprężeń, jako podstawa do ustawiania słupów. Prosta metoda wykreślna do zastosowania praktycznego przy projektowaniu linii.

602* 621.315.668.1:620.197.7 IEL
Richter K.: **Konserwacja drewnianych słupów liniowych**. „Pflege der hölzernen Leitungsmaste“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 5, maj 54, dodatek s. 37; A4, 1,5 str., 1 rys. — Metody ochrony drewna stykającego się z glebą przed gniciem. Stosowanie bandaży nasyconych pastą ochronną. Impregnacja całości słupa przy pomocy karbolineum (ochrona przed wilgocią w powietrzu). Oddalanie kabli prowadzonych na słupie od szkodliwego wpływu pasty ochronnej. Praktyczne wykonywanie impregnacji, doświadczenia eksploatacyjne.

Podstacje

603* 621.316.26.001.24 IEL
Burginow J. A.: **Ogólne zagadnienia projektowania podstacji okręgowych z trzema napięciami**. „Osnownyje woprosy projektirowanija rajonnych podstancij s triemja napriazhenijami“. Električestwo, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 30; A4, 3,5 str., 8 rys., 1 tabl. — Zasadnicze schematy podstacji 110/35/10(6) kV. Układy szyn górnego i dolnego napięcia. Prawidłowe rozplanowanie podstacji napowietrzno-wnętrzych. Gabaryty typowych podstacji.

604* 621.316.268.3:621.316.99:614.825 IEL
Tłaska J.: **Ochrona przed niebezpieczeństwem dotyku we wnętrzych stacjach transformatorowych i w elektrowniach**. „Ochraňa proti nebezpečnému dotyku ve vnitrnich transformovných a elektrárnách“. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 101; A4, 11,5 str., 6 rys., 9 tabl., 4 poz. bibl. — Przygotowanie personelu do pracy w urządzeniach wysokiego napięcia. Metody ochrony życia obsługi (izolowanie, zerowanie, uzziemienie). Zastosowanie metod w zależności od napięcia znamionowego. Oporność uzziemienia ochronnego wynikająca z dopuszczalnego napięcia dotyku i prądu zwarcia z ziemią. Znaczenie szybkiego działania ochrony (wyłącznik, bezpiecznik). Typowe układy uzziemień ochronnych roboczych i odgromowych w rozdzielni.

Łączniki

605* 621.316.542.12 IEL
Styczniki na dużą częstość włączeń. „Schütze für grosse Schalthäufigkeit“. Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 41, Nr 5, maj 54,

s. 177; A4, 2 str., 2 fot. — Krótki opis konstrukcji styczników na dużą częstość włączeń, produkowanych przez f-mę Brown Boveri, w wykonaniu na prąd stały i na prąd zmienny od 40 do 400 A. Zalety opisanych styczników.

606* 621.316.26:621.316.545 IEL
Jewsięjew W. I.: **O operacjach odłącznikami**. „Ob opieraczach raz-jediničielami“. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 26; A4, 2 str., 2 rys. — Zagadnienie odłączania prądów wyrównawczych w układach wielotorowych przy pomocy odłączników. Wartość dopuszczalnego prądu odłączalnego, porównanie z wymaganiami przepisów eksploatacji stacji i sieci elektrycznej. Konieczność obliczania wartości różnicy napięć na odłączniku oraz prądu wyrównawczego. Celowość dostosowania odłączników do odłączania prądów wyrównawczych, biegu jałowego itp.

607* 621.316.57.027.8 IEL
Zajic V.: **Typy wyłączników wysokich i najwyższych napięć**. „Druhý výkonových vypínaců vn a vvn“. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 204; A4, 6,5 str. — Artykuł na podstawie referatu autora w ministerstwie przemysłu maszynowego w r. 1952. Historia rozwoju konstrukcji wyłączników wysokonapięciowych. Wyłączniki olejowe, zastosowanie, zakres mocy i napięć, gospodarka olejowa. Wyłączniki małosilowe, typy konstrukcji. Wyłączniki powietrzne, zalety, konstrukcje czeskie i zagraniczne. Wyłączniki ekspansyjne, eksploatacja, zastosowanie dla średnich napięć i mocy. Własności wyłączników magnetycznych. Porównanie zastosowań wyłączników, charakterystyka typowych sieci wysokich i najwyższych napięć. Badania wyłączników.

Regulacja

608* 621.316.71:621.9 IEL
Schenkel A.: **Sterowanie programowe obrabiarek**. „Elektrische Programmsteuerungen für Werkzeugmaschinen“. Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 41, Nr 5, maj 54, s. 159; A4, 3,5 str., 4 fot., 1 rys. — Uwagi o racjonalizacji napędów obrabiarek przewidzianej przez firmę Brown Boveri. Pobieżny opis wyposażenia do sterowania programowego frezarki podłużnej i prasy hydraulicznej o założonym cyklu pracy.

609* 621.316.726:621.3.014.33 IEL
Wabiel W. D., Rojstaczer K. J.: **Zapobieganie działaniu ACzR (samoczynnego odciażania częstotliwościowego) w wyniku udaru mocy przy zwareciach**. „Priedotwraszczenie dejstwja ACzR w riezułtatie nabrosa moszcznosti pri korotkich zamykanjach“. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 52; A4, 1 str., 1 tabl. — Zasada działania regulatora częstotliwości. Badania zmian częstotliwości przy zwarcia, czas zmiany częstotliwości. Konieczność ustawiania urządzenia odciażającego na czas większy od 2 sek. i częstotliwość mniejszą od 47 Hz.

Urządzenia zabezpieczające i ochronne

610* 621.316.925:621.3.014.7:621.3.052.332 IEL
Collet A.: **Zabezpieczenia czułe na prąd pojemnościowy zwarcia doziemnego w sieciach z punktem zerowym izolowanym**. „Protection sélective par courants de capacité lors d'un défaut à la terre sur un réseau à point neutre isolé“. Rev. gen. Electr., Paris, mies., Nr 3, marz. 54, s. 143; A4, 12,5 str., 23 rys., 10 tabl. — Rozpiływ prądów zwarcia w nieskompensowanej sieci z punktem zerowym izolowanym. Sposób połączenia przekładników prądowych do pomiaru pojemnościowego prądu zwarcia i do zainstalowania przekładnika. Zależność prądu od miejsca zwarcia z ziemią, założenia wyborczych przekładników. Przykłady obliczenia przekładników impendancyjnych dla sieci 30 kV, wykresy i nomogramy do obliczeń. Schematy ochrony.

611* 621.316.1:621.316.925.4 IEL
Bierżezowski F.: **Schemat dwukrotnego SPZ**. „Schiema dwukratnowo APW“. Elektr. Stancji., Moskwa, mies., nr 3, marz. 54, s. 56; A4, 1 str., 1 rys., 1 poz. bibl. — Przykład zastosowania dwukrotnego SPZ na wszystkich liniach przyłączonych do pewnej rozdzielni 110/35 kV. Schemat urządzenia samoczynnego ponownego włączenia. Objaśnienie działania poszczególnych przekładników. Przystosowanie do jedno- i dwukrotnego działania.

612* 621.316.93 IEL
Meyer G.: **Wymagania stawiane ochronie przepięciowej i doświadczenia z eksploatacji odgromników w sieciach niskiego napięcia**. „Anforderungen an den Überspannungsschutz und Erfahrungen mit Ableitern in Niederspannungsanlagen“. Energietechnik, Berlin, mies., Nr 4, kw. 54, s. 170; A4, 6,5 str., 10 rys., 2 tabl., 25 poz. bibl. — Zagrożenie burzowe sieci na podstawie statystyk. Zagadnienie przenoszenia się przepięć udarowych przez transformator na stronę niskiego napięcia. Wymagania dotyczące obciążalności prądowej i napięcia obniżonego odgromników. Zależności funkcjonalne charakterystyki napięciowo-prądowej słupa zmienno-oporowego. Stromość fal udarowych i strefa ochronna odgromników. Typowe sposoby zainstalowania odgromników niskonapięciowych. Badania eksploatacyjne odgromników. Widoki rozwojowe budowy odgromników.

613* 621.316.93 IEL
Schulze H.: **Ochrona przepięciowa przy pomocy kabla lub kondensatora**. „Überspannungsschutz durch Kondensatoren und Kabel“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 5, maj 54, s. 174; A4, 8 str., 18 rys., 2 tabl., 46 poz. bibl. — Własności odgromników spełniających zadania ochrony przepięciowej (dotyczy odgromników

zaworowych i wydmuchowych). Zmiana stromości i amplitudy fali wędrowną przez pojemność włączoną równolegle. Wpływ kształtu i długości fali pierwotnej. Wyprowadzenie analitycznych zależności. Wyniki badań na modelach i w stacji rzeczywistej. Stosowanie kondensatorów na wejściu do stacji. Znaczenie podejścia kablowego (pojemność rozłożona). Przebiegi falowe, wpływ długości podejścia. Lokalizacja odgromników przy podejściu kablowym.

614* 621.316.93:621.3.064:621.315.616 IEL
Langlois-Berthelot R.: Aktualne zagadnienia izolacji urządzeń elektroenergetycznych. „Les problèmes actuels de l'isolation du gros matériel électrique”. Bull. AIM, Liège, mies., Nr 3, marz. 54, s. 147; B5, 52 str., 9 fot., 6 rys. 6 tabl. — Artykuł omawia całość aktualnych zagadnień techniki wysokich napięć w formie dyskusji autora z wybitnymi specjalistami. Najważniejsze zagadnienia. Odporność odgromników zaworowych na przepięcia łączeniowe, obniżanie przepięć łączeniowych przez odgromniki. Licznik przepięć w sieci. Zakres prób udarowych odgromników. Klasyfikacja syntetycznych materiałów izolacyjnych. Wpływ temperatury i starzenia na wytrzymałość izolacji. Porównanie wytrzymałości przy udarach, przepięciach łączeniowych i wolnozmiennej. Badania przebiegu jonizacji w izolacji stałej i ciekłej. Badania udarowe uzwojeń, wykrywanie uszkodzeń izolacji. Badania profilaktyczne izolacji. Zagadnienie obniżania poziomów izolacji.

615* 621.316.93:621.316.1.027.3 IEL
Lesný V.: Ochrana przepięciowa sieci rozdzielczych średnich napięć. Kombinacja odgromnika wydmuchowego z iskiernikiem wydmuchującym łuk. „Ochrana distribučných sítí středního napětí proti přepětí. Kombinace ventilovébleskojiský s jiskřičem přemístěním oblouku”. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 212; A4, 2,5 str., 7 rys., 2 poz. bibl. — Projekt iskiernika ochronnego. Własności dejonizacji i wydmuchu łuku. Charakterystyki ochronnika, niewielki zabieg zapłonowy, napięcie obniżone zależne nieliniowo od prądu. Praca ochronnika w sieciach o różnych sposobach połączenia punktu zerowego. Uwagi o możliwości zastosowania francuskiego projektu w czeskich sieciach 22 kV.

616* 621.316.933.027.3 IEL
Chára V.: Belgijskie odgromniki wysokonapięciowe i ich badanie. „Belgickébleskojiský na vysoké napětí a jejich zkoušení”. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 4, kw. 54, s. 218; A4, 1,5 str., 3 rys. — Konstrukcja odgromników zaworowych firmy ACEC. Człony średnionapięciowe 3 — 37 kV. Odgromniki wieloczołowe do 315 kV. Zwiększanie obciążalności przez człony równoległe, sterowanie pojemnościowe. Badania typowe odgromników (udarowe i statyczne).

617* 621.316.933.6 IEL
Iwanow Ł. I. Gaszenie łuku prądu następczego przy pomocy odgromników zaworowych. „Gaszenie dugi soprowozdajuszczewo toka wientilnymi razriadnikami”. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 17; A4, 6,5 str., 8 rys., 2 tabl., 5 poz. bibl. — Artykuł dyskusyjny o bogatym podłożu teoretycznym i doświadczalnym. Zagadnienie zwarcia przez zmienną oporność odgromnika. Wpływ charakterystyki napięciowo-prądowej odgromnika na odkształcenie prądu zwarcia i przedłużenie przerwy bezprądowej. Zdolności gaszące odgromnika i możliwość powtórnych zapłonów. Wyniki badań w laboratorium i w terenie.

618* 621.315.1.051.2:316.98 IEL
Musatow T. P.: O przewodzie odgromnikowym na dwutorowej linii przesyłowej 110 kV. „O zaszciznom trošie na dwuchtepnoj linii elektropriedaczii”. Elektr. Stancii, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 54, s. 41; A4, 1,5 str., 1 rys., 1 tabl. — Wyniki eksploatacji 2 linii równoległych 110 kV na słupach stalowych, z których tylko jedna była chroniona przewodem odgromnikowym na całej długości. Porównanie podatności zakłóceń linii, wnioski z zadowalającego działania SPZ. Uwagi o celowości odstępstwa od przepisów eksploatacji sieci. Optymistyczne wnioski oparte głównie o znaczenie SPZ, a nie przewodu odgromnikowego.

619* 621.316.98.001:551.594.221:621.315.1.027.3 IEL
Drechsler E.: Badania modelowe nad niebezpieczeństwem uderzenia pioruna w linie napowietrzne. „Die Blitzeinschlaggefährdung von Freileitungen im Modellversuch”. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 5, maj 54, s. 182; A4, 6 str., 18 rys., 2 tabl., 8 poz. bibl. — Strefa chroniona przez przewody odgromnikowe w liniach wysokich napięć na podstawie wyników badań niemieckich (Schwaiger, Schwenkhausen, Matthias, Burkhardt-mayer i in.). Zagadnienie ochrony odgromowej budowli niemetalowych. Dyskusja nad przebiegiem wylądowania w linię. Porównanie wyników badań własnych nad wybiornością pioruna z obliczeniami i innymi wy-

nikami. Metoda rejestracji rozrzutu uderzeń pioruna. Przyjęcie kąta ochrony 30°. Wpływ oporności uziemienia na przebieg wylądowania. Uderzenie pioruna w środek przęsła.

620* 621.316.99 IEL
Lombardo G.: Kryteria konstrukcyjne uziemień odgromowych i nowoczesnej ochrony odgromowej zakładów przemysłowych, podstacji transformatorowych i radiostacji położonych w okolicy wysokogórskiej. „Criteri costruttivi delle prese di terra per parafulmini e moderne protezioni aeree antifulmine per stabilimenti industriali, sottostazioni di trasformazione elettrica e ponti radiotelefonici situati in zone di alta montagna”. Elettrotecnica, Milano, mies., Nr 3-bis, kw. 54, s. 150; A4, 14 str., 22 rys., 5 poz. bibl. — Porównanie własności charakterystycznych uziemień odgromowych i ochronnych. Indukcyjność, pojemność, oporność zespolona uziumu. Konstrukcja typowych uziołów pionowych (rurowych) i poziomych (taśmowych). Wyniki pomiarów oporności uziołów pojedynczych i złożonych. Poziome układanie rur. Zagadnienie strefy chronionej przez zwody piorunochronne. Konstrukcja instalacji piorunochronowych. Układ o kilku uziołach, oporność zastępcza.

Miernictwo elektryczne

621* 621.3.014.33:621.317.31:621.319.53 IEL
Durnford J., Reynolds P.: Oscylacyjne udary prądowe do 470 kA, wytwarzanie i pomiar. „Generation and measurement of oscillatory current impulses up to 470 kA”. Proc. Inst. El. Engrs, London, dwumies., t. 101, cz. 2, Nr 79, lut 54, s. 66; A4, 2 str., 3 rys., 1 tabl., 18 poz. bibl. — Porównanie największych na świecie generatorów udarowych prądowych. Dane układu zbudowanego przez autorów. Metoda pomiaru wielkich prądów przy pomocy bocznika koncentrycznego. Wyniki pomiarów, dokładność.

622* 621.317.329 IEL
Jegorow P. M.: Badanie doświadczalne pól potencjalnych przy pomocy modeli odwzorowanych. „Eksperimentálne issledowanie potencjalnych polej posredstwom konformno priobrazowannykh modeliej”. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 6; A4, 7,5 str., 12 rys., 3 poz. bibl. — Przyczynek do metody badania pola w wannie elektrolitycznej. Przyczyny błędów metody. Celowość odwzorowania modelu w kształcie dającym najmniejsze uchyby rozkładu pola. Możliwość podziału pola na sektory. Przykłady odwzorowań pól elektrycznych i magnetycznych dla praktycznych kształtów nabiegunków, przewodników itp. Obliczanie odwzorowanych modeli. Uwagi o przeprowadzeniu pomiarów.

623* 621.317.333.82:537.528 IEL
Balygin I. J.: Właściwości przebiecia elektrycznego cieczy silnie spolarzowanych. „Osobiennosti elektriceskowo probija silno polarnych zidkostiej”. Dokl. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, 3 razy w mies., t. 95, Nr 4, kw. 54, s. 745; B5, 3 str., 3 rys., 1 poz. bibl. — Układ do badań wytrzymałości udarowej cieczy. Wyniki badań przerw iskrowych rzędu 1 mm. Procesy jonizacyjne i dejonizacyjne w cieczy, odwzorowanie ich na charakterystyce prądowo-czasowej. Przykłady dla wody destylowanej, acetonu, spirytusu etylowego. Wpływ oporności ograniczającej obwodu.

624* 621.317.7:621.314.6 IEL
Gruyter E. de: Układy prostownikowe do celów pomiarowych. „Messgleichrichterschaltungen”. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 6, kw. 54, s. 243; A4, 4,5 str., 13 rys., 3 poz. bibl. — Przegląd typowych układów połączeń prostowników. Symetryczne i asymetryczne układy prostowania dwupołowego. Odnosi się przede wszystkim do prostowników lampowych próżniowych. Pomiar średnicy i szczytowej wartości napięcia w układach prostownikowych. Układy z prostownikiem równoległym. Znaczenie kondensatorów blokowych i wygładzających. Przykłady wykonania przyrządów z prostownikami.

Zastosowanie elektryczności w przemyśle

625* 621.34:622.271 IEL
Schulte H.: Elektrotechnika sprzętu maszynowego w odkrywkowym górnictwie węgla brunatnego. „Elektrotechnik der Tagebaugeräte im Braunkohlenbergbau”. Siemens Z., Erlangen, 8 razy w ciągu roku, Nr 1, stycz. 54, s. 6; A4, 8 str., 9 fot., 5 rys. — Historia rozwoju urządzeń transportowych kopalni i ich wyposażenia elektrycznego. Zagadnienie najodpowiedniejszego zasilania energią elektryczną tych urządzeń. Określenie typów i rodzajów budowy maszyn elektrycznych stosowanych w napędach górniczych. Zastosowanie silników bocznikowych prądu stałego, sterowanych w układzie Leonarda. Sterowanie zdalne pracą rozpatrywanych maszyn i napędów górniczych.

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). CINDT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne.

CINDT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych Przeglądem Dokumentacyjnym jak i kartami dokumentacyjnymi.



Wydawnictwa nadesłane

GRABOWSKI ZBIGNIEW, mgr inż. **NAPOWIETRZNE LINIE ELEKTROENERGETYCZNE. Budowa i eksploatacja.** Wyd. III, całkowicie przerobione i uzupełnione. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 256, rys. 290, cena 20 zł. — Informacje wydawcy: Tematem książki jest budowa i eksploatacja napowietrznych linii elektroenergetycznych. W części pierwszej omówiono właściwości i wymagania stawiane przewodom, izolatorom, słupom drewnianym i stalowym oraz podano wskazówki wykonywania fundamentów betonowych, montażu słupów i przewodów, a także uruchamiania linii napowietrznych. W części drugiej omówiono organizację eksploatacji, typowe uszkodzenia, badania i konserwację linii. Część trzecią poświęcono bezpieczeństwu pracy przy budowie i eksploatacji linii. Książka jest przeznaczona dla monterów, brygadzystów i kierowców robót.

WARGALLA MIECZYSLAW. BEZPIECZEŃSTWO I HIGIENA PRACY W PRAKTYCE RADIOAMATORSKIEJ. 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 64, rys. 31, cena zł 2,80. — Informacje wydawcy: W książce omówione są zagadnienia BHP w zakresie prac radioamatorskich wykonywanych w warunkach warsztatowych, takie jak: ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym przy naprawach odbiorników i ładowaniu akumulatorów oraz przy pracy na wysokich obiektach, ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych, przed pożarami itp. Książka przeznaczona jest dla radiomechaników, radioamatorów oraz osób nie mających kwalifikacji zawodowych, które mają do czynienia z urządzeniami radiotechnicznymi.

URBANOWICZ HELIODOR, mgr inż. **POSŁUGIWANIE SIĘ SCHEMATAMI W ENERGOELEKTRYCE.** 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 94, rys. 55, cena zł 4,10. — Spis rzeczy: Wiadomości ogólne o schematach elektrycznych. Przykłady sporządzania i odczytywania planów i schematów. — Informacje wydawcy: W książce podano ogólne zasady wykonywania i odczytywania różnych rodzajów schematów elektrycznych używanych w energoelektryce. Książka jest przeznaczona dla monterów początkujących i wykwalifikowanych; może być także pomocna dla techników.

ŁAJNER W. I., KUDRIAWCEW N. T. PODSTAWY GALWANOSTEGII. Tom I. Tłum. mgr inż. **Natalia Majchert-Planeta.** 1955, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 463, rys. 213, cena zł 48,50. — Spis rzeczy: Krótka charakterystyka powłok metalowych. Jakość powłok elektrolitycznych w zależności od stanu powierzchni i materiału pokrywanych przedmiotów. Przygotowanie powierzchni przedmiotów metalowych przed pokrywaniem. Elektrolityczne polerowanie metali. Struktura metali osadzonych elektrolitycznie. Rozdział metalu na powierzchnię katodową. Cynkowanie. Kadmowanie. Charakterystyka porównawcza ochronnych własności powłok cynkowych i kadmowych. Miedziowanie. Niklowanie. Chromowanie. Cynowanie. Ołowiowanie. — Informacja wydawcy: Książka przeznaczona jest dla magistrów i inżynierów zatrudnionych w instytucjach naukowo-badawczych oraz w zakładach przemysłu metalowego i maszynowego.

PRZEGLĄD TECHNICZNY, organ główny NOT, nr 11/55, zawiera następujące artykuły: Inżynierowie i technicy w walce o postęp techniczny. — **Goetel W.** Osiągnięcia geologii polskiej w okresie dziesięciolecia Polski Ludowej. — **Scharf W.** Izotopy promieniotwórcze w technice. — **Wierusz-Kowalski J.** Cyrkon i jego zastosowanie. — **Krzepkowski M.** Woda surowiec nr 1. — **W. L. Przemysł okrętowy** przechodzi na całkowicie spawane konstrukcje statków. — **Polek Z.** Wytyczne postępu technicznego w walcownictwie. — **Klarnert T.** Doniosła uchwała w sprawie oszczędzania energii elektrycznej. — **Janikowski P.** Rola i zadania wojewódzkich i zakładowych komisji oszczędności paliw i energii elektrycznej. — **Wojciechowski F.** Jeszcze o wtórnych surowcach przemysłowych. — **Gierdziejewski K.** Piśmiennictwo odlewnicze w okresie ostatnich 75 lat i udział Przeglądu Technicznego w jego krzewieniu. — Nowiny techniczne z prasy zagranicznej. — Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Krytyka i bibliografia. — Kronika. — Biuletyn CIDNT. — Przegląd dokumentacyjny CIDNT. — Przegląd dokumentacyjny GUM.

PRZEGLĄD TECHNICZNY, organ główny NOT, nr 12/55, zawiera następujące artykuły: **Gajewski D.** W dziesięciolecie NOT. — **Biernawski W.** Bilans i perspektywę walki o postęp techniczny w przemyśle kluczowym województwa krakowskiego. — **Zahnb.** Główne kierunki nowelizacji przepisów w zakresie wynalazczości pracownicz. — **A. M.** Program walki o postęp techniczny w Czechosłowacji. — **Lutosławski J.** Analiza procesów technologicznych w zakładach przemysłowych i jej rola w działalności koła zakładowego. — **Kowalski J.** Kopiowanie elektronowe w obróbce metali skrawaniem. — **Switkowski J.** Międzynarodowa konferencja ISO w sprawie słownictwa technicznego. — **Skwarczyński T.** Jeszcze o sprawach chłodnictwa. — **Piaskowski J.** Georgius Agricola i jego znaczenie dla rozwoju techniki. — **Suchorzewski W.** Pierwszy most warszawski. — Nowiny techniczne z prasy zagranicznej. — Wolna Trybuna. — Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Krytyka i bibliografia. — Roczny spis rzeczy. — Biuletyn CIDNT. — Biuletyn GUM.

INŻYNIEROWIE, TECHNICY, ZAOPATRZENIOWCY

realizujecie zdobycze postępu technicznego

Storujcie

„DENSO”

niezawodne w użyciu taśmy plastyczne wodo i gazoszczelne, jako zabezpieczające przed korozją.

„DENSO”

Produkcja: Warszawskie Zakłady Przemysłu Chemicznego
PRZEDSIĘBIORSTWO PAŃSTWOWE

WARSZAWA, UL. GRODZIŃSKA 21-29 tel. 502-51,52

Dystrybutor: Ministerstwo Przemysłu Materiałów Budowlanych
BIURO SUROWCÓW MINERALNYCH

WARSZAWA, AL. NIEPODLEGŁOŚCI 188-b dokąd należy wysłać zamówienia

Na żądanie wysyłamy pełną dokumentację techniczną.

Książki techniczne dla robotników

Spis ten obejmuje zarówno książki znajdujące się w obrocie księgarskim, jak wyczerpane. Te ostatnie znaleźć można i korzystać z nich w bibliotekach.

Mechanika — wybór

- BIELECKI S.: Przyrządy do pomiaru ciśnienia i temperatury. 1955, s. 80, zł 3.—
 BŁESZYŃSKI T.: Spawanie szyn termitem. 1953, s. 44, zł 3.—
 BORKOWSKI W.: Praca na automatach tokarskich. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 68, zł 2.50
 BOSSE E.: Wykonywanie łoczników. Tłum. z niem. K. Szopski. 1952, s. 78, zł 5.60
 CHRZANOWSKI M.: Geometria dla robotników. 1954, s. 90, zł 3.50
 GERST W., POPOW W.: Szybkościowa obróbka metali w zakładach budowy maszyn. Tłum. z ros. K. Ukielski. 1950, s. 94, zł 5.40
 HENNEL S., ROZPĘDEK S.: Wysokowydajne toczenie nożem Kolesowa. 1953, s. 56, zł 4.50
 KAMIŃSKI Z.: Wiercenie. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 40, zł 1.50
 KAWECKI J.: Blacharstwo. 1952, s. 238, zł 13.80
 KAWĘCKI W.: Frezowanie. Najprostsze roboty. 1955, s. 90, zł 3.50
 LISIAK K.: Gwintowanie ręczne. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 44, zł 2.—
 ŁUKASZEK J.: Poradnik tokarza-metalowca. 1953, s. 316, zł 25.20
 MAJEWSKI D.: Arytmetyka dla robotników. 1954, s. 172, zł 6.—
 MARDYKIN P. M.: Produkcyjne metody skrobania. Tłum. z ros. Z. Kościółek. 1952, s. 39, zł 1.—
 MERMON W.: Jak obchodzić się z obrabiarką. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 48, zł 2.—
 NIEŻEWIENKO G. S.: Moje doświadczenia przy szybkościowej obróbce metali. Tłum. z ros. Z. Żurkowski. 1954, s. 65, zł 3.—
 NOISZEWSKI L.: Pomocnik formierza. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 70, zł 2.—
 ORDOWSKI S.: Jak posługiwać się najprostszymi warsztatowymi narzędziami mierniczymi. Seria „Będę Fachowcem”. 1955, s. 32, zł 1.70
 PAWLIKOWSKI J.: Struganie. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 42, zł 2.40
 PAWLIKOWSKI J.: Struganie i strugarki. 1950, s. 100, zł 4.70
 PILARCZYK J.: Kurs spawania elektrycznego w pyraniach i odpowiedziach. Wyd. 4. 1954, s. 91, zł 2.50
 PIOTROWSKI J.: Najprostsze roboty tokarskie w kłach. 1954, s. 88, zł 4.—
 PIOTROWSKI P.: Obróbka metali pilnikiem. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 87, zł 4.90
 PIOTROWSKI P.: Ślusarstwo. Wyd. 2. 1954, s. 156, zł 9.—
 PIWOŃSKI T.: Formowanie za pomocą modeli uproszczonych. 1955, s. 155, zł 5.—
 PIWOŃSKI T.: O czym powinien wiedzieć rdzeniarz. 1953, s. 84, zł 5.—
 STAUB F.: Zastosowanie mikroskopu do badania stali i żeliwa. Wyd. 2. 1954, s. 63, zł 3.—
 STAUB F.: Zastosowanie mikroskopu do badań stopów metali nieżelaznych. 1955, s. 112, zł 14.—
 ŚWIĄTEK J.: Pomoc przy obsłudze żeliwiaka. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 47, zł 2.—
 SZUPP B.: Kurs spawania acetylenowego w pyraniach i odpowiedziach. Wyd. 5 niezmiennione. 1953, s. 108, zł 4.—
 THERMAN E., TURIN M.: Szybkościowe metody pracy tokarza H. S. Bortkiewicza. Tłum. z ros. S. Grzymałowski. 1950, s. 60, zł 3.—
 VOELLNAGEL A.: O warsztatowych narzędziach mierniczych. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 56, zł 2.—
 WINOGRAĐOW L.: Podstawowe wiadomości dla ustawiaczy łoczników. Tłum. z ros. R. Baranowicz. 1951, s. 60, zł 3.—
 WITKOWSKI J.: Szkicowanie techniczne. 1953, s. 67, zł 3.50

ZIELIŃSKI P.: Ładowacz żeliwiaka. 1955, s. 59, zł 2.20
 Energoelektryka i przemysł elektrotechniczny — wybór

- DOBROWOLSKI T.: Światłówka i jej zastosowanie. 1955, s. 71, zł 3.20
 ELBAUM J., REICHER J.: Elektryczne aparaty rozruchowe i regulacyjne. Montaż—obsługa—naprawa. 1954, s. 215, zł 12.—
 GODLEWSKI G.: Stacje transformatorowo-rozdziałcze napowietrzne. Budowa i montaż. 1955, s. 256, zł 20.—
 GRABOWSKI Z.: Napowietrzne linie elektromagnetyczne. Budowa i eksploatacja. 1955, s. 256, zł 20.—
 LIS B.: Liczniki energii elektrycznej. Działanie — użytkowanie — instalowanie. 1953, s. 140, zł 7.50
 NAZAREWSKI J.: Racjonalizatorstwo w Zakładach Wytwórczych Aparatów Wysokiego Napięcia im. J. Dymitrowa. 1955, s. 112, zł 5.50
 PYSZKOWSKI L.: Instalacje elektryczne przewodem kabelkowym. 1954, s. 43, zł 3.—
 SKONIECZNY M.: Elektryczne przyrządy pomiarowe. 1953, s. 100, zł 5.50
 SZALEK R.: Światłówki. Działanie—montaż—eksploatacja. 1954, s. 59, zł 3.50
 URBANOWICZ H.: Posługiwanie się schematami w energoelektryce. 1955, s. 92, zł 4.10
 ŻOŁĘDZIOWSKI S.: Próby stanu izolacji kabli elektroenergetycznych. 1954, s. 44, zł 3.—
 ŻYCKI Z.: Obsługa silnika synchronicznego. 1954, s. 61, zł 3.50

Teleelektryka — wybór

- BARANOWSKI J.: Bezpieczna obsługa radiowęzła. Bibl. Radiomechanika. 1955, s. 79, zł 3.—
 BATRAKOW A. W., KŁOPOW A. J.: Poznaj odbiornik telewizyjny. Tłum. z ros. W. Rabęcki. 1955, s. 59, zł 2.50
 BODAK S. I.: Wskazówki do montażu aparatury radiowej. 1955, s. 170, zł 8.—
 KŁOPOW A. J.: Telewizja. Tłum. z ros. W. Rabęcki. 1955, s. 89, zł 4.20
 SZCZUREK M.: Poradnik radioamatora. 1954, s. 463, zł 28.—

Chemia — wybór

- ALEKSANDROWICZ A.: Wskazówki dla początkującego laboranta. Bibl. Laboranta. 1954, s. 40, zł 1.50
 BIELECKI S.: Przyrządy do pomiaru ciśnienia i temperatury. 1955, s. 80, zł 4.—
 BUCZYŁO E.: Co powinien wiedzieć pracownik obsługujący nitrator. 1954, s. 44, zł 2.—
 BUCZYŁO E.: Suszenie w przemyśle chemicznym. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 44, zł 2.—
 CHMIELECKI A.: Wulkanizacja opon i dętek. 1955, s. 72, zł 3.—
 GDYNIA J., KACUGA Z., PAŁYS K.: Surowce do produkcji kwasu siarkowego. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 50, zł 2.50
 KOZULIN N.: Wskazówki dla gotowacza lakierów. Tłum. z ros. E. Zawada. 1951, s. 60, zł 2.70
 KOZULIN N.: Wskazówki dla przecieracza farb. Tłum. z ros. E. Zawada. 1951, s. 56, zł 1.80
 LESZCZYŃSKI S.: Obsługa pieców wapiennych i lasowników wapna. Seria „Będę Fachowcem”. 1955, s. 59, zł 2.50
 NAJBERG M.: Obsługa akumulatorów ołowianych. Seria „Będę Fachowcem”. 1954, s. 59, zł 3.20
 RACZKOWA E. W.: Naprawa opon samochodowych. Tłum. z ros. R. Bojarzyński. 1955, s. 93, zł 4.50
 RIEDL W.: Jak mierzymy ciśnienia i temperatury w przemyśle. 1954, s. 50, zł 3.—
 WEAVER E. C., FOSTER L. S.: Chemia otaczającego nas świata. Tłum. z ang. H. Zamoyska i T. Zamoyski. 1950, s. 158, zł 7.70