

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

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

ROK XXVIII

ZESZYT 9

21.IX.1952

II KONGRES INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW POLSKICH

Warszawa, 28 – 29 września 1952 r.

Elektrycy polscy łącznie z całym światem technicznym, zrzeszonym w Naczelnej Organizacji Technicznej, stają w szeregach Frontu Narodowego, skupiającego wszystkie odłamy naszego społeczeństwa – robotników, chłopów pracujących i inteligencję pracującą, partyjnych i bezpartyjnych, związki zawodowe i organizacje spółdzielcze, organizacje społeczne i kulturalne – ogólne, kobiece i młodzieżowe.

Inżynierowie i technicy polscy będą na swym – w Polsce Ludowej już drugim – Kongresie obradować nad wspólnym dla całego Frontu Narodowego programem budowy lepszej przyszłości Narodu, będą obradować pod hasłem walki o Pokój i o pełne wykonanie Planu 6-letniego, bo tylko wytrwała i planowa praca w warunkach życia pokojowego nieugięcie zmierzającego do szybkiego uprzemysłowienia Polski pozwoli nam rozwinąć i zrealizować wielki program budownictwa socjalistycznego, spotęgować siły gospodarcze kraju i podnieść poważnie materialny i kulturalny poziom ludu pracującego w Polsce.



WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

SPIS RZECZY

Nagrody Państwowe za osiągnięcia w dziedzinie elektryki i zagadnień przyległych (rok 1952).

Siciński Z. Papier kondensatorowy.

Kozłowski H. S. Równanie najekonomiczniejszej wewnętrznej średnicy maszyny asynchronicznej.

Wiśniewski J. Uwagi o oszczędnym projektowaniu sieci zasilającej zakładu przemysłowego (w szczególności z celem zaoszczędzenia metali nieżelaznych).

Żmijewski M. Zasilanie odgórne hal fabrycznych liniami szynowymi jako środek oszczędzania metali nieżelaznych.

Wołczek O. Stosy atomowe i możliwości zastosowania ich do wytwarzania energii elektrycznej.

Szumilin W. Urządzenia przesyłowe na napięciu trójfazowym 380 kV i przesył prądem stałym wysokiego napięcia.

Przegląd czasopism:

Elektrownia atomowa.

Kopalniane lokomotywy kondensatorowe prądu zmiennego.

Elektronowy regulator temperatury krajowej produkcji.

Wydawnictwa nadesłane.

Biuletyn Instytutu Elektrotechniki:

Krajowe rozwiązanie napędu wirówki cukrowniczej przy 20 cyklach roboczych na godzinę.

Przegląd Bibliograficzny Elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

Государственные премии в области электротехники и смежных проблем (1952 г.).

Сицинский З. Конденсаторная бумага

Козловский Х. С. Уравнение для экономически наиболее выгодного внутреннего диаметра асинхронной машины.

Висневский Я. Замечания по вопросу экономного проектирования питательных сетей в заводских установках (в особенности с целью сбережения нежелезных металлов).

Жмиевский М. Верхнее питание заводских помещений при помощи шинной проводки, как средство сбережения нежелезных металлов.

Волчек О. Атомные котлы и возможности применения их для производства электрической энергии.

Шумилин В. Устройства линий электропередачи трехфазного тока 380 кВ и передача постоянным током высокого напряжения.

Обзор журналов:

Атомная электростанция.

Рудничные конденсаторные электроустановки переменного тока.

Электронный регулятор температуры отечественного производства.

Поступившие публикации.

Бюллетень Электротехнического Института:

Привод сахарной центрифуги при 20 рабочих циклах в час (разрешение вопроса в Польше).

Библиографический Обзор Электротехники.

CONTENTS

State awards for achievements in electrical engineering and allied problems (1952)

Siciński Z. Condenser paper.

Kozłowski H. S. Equation for the most economic inside diameter of asynchronous machines.

Wiśniewski J. Notes on the economic designing of supply systems for industrial enterprises (particularly with a view to economising non-ferrous metals).

Żmijewski M. Overhead current supply in production shops by means of conductor rails as a means of economising non-ferrous metals.

Wołczek O. Nuclear reactors and opportunities for employing them for the generation of electrical energy.

Szumilin W. Three-phase 380 kV transmission equipment and direct high tension current transmission.

Review of periodicals:

Atomic electric power plant.

A. C. condenser type mine locomotives.

Electronic temperature controller of Polish manufacture.

Publications received.

Bulletin of the Electrotechnical Institute:

Polish conception of driving sugar centrifugals at 20 working cycles per hour.

Electrotechnical Bibliography Review.

Kandydatury na członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich

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

ODDZIAŁ KIELECKI

Krasowski Tadeusz, Kielce, Marszałkowska 41 m. 16
Morawski Henryk, Kielce, Wiśniowa 57 m. 25
Musiał Stanisław, Kielce, Pomorska 46

ODDZIAŁ KRAKOWSKI

Antczak Stefan, Tarnów, Szpitalna blok II m. 16
Chrostek Jerzy, Kraków, Lenartowicza 14/81
Dudek Władysław, Kraków, Wąsowicza 4 m. 4
Folga Józef, Jaworzno, Grunwaldzka 39
Gaj Jan, Kraków, Skaleczna 15 m. 5
Halibożek Franciszek, Kraków, Bohaterów Stalingradu 37
Kibiński Michał, Kraków, Dietla 99 m. 6
Krawczyk Bronisław, Jaworzno, Fabryczna 57
Kular Tadeusz, Kraków, Mickiewicza 33
Mileczyn Mieczysław, Kraków, Komorowskiego 8 m. 7
Oleksiak Andrzej, Kraków, Sebastiana 20 m. 19
Pachoński Janusz, Kraków, Straszewskiego 8 m. 5
Remiszewski Czesław, Kraków, Czarnowiejska 32 m. 7
Szpakowski Bronisław, Kraków, Mickiewicza 33
Wąsowicz Zbigniew, Kraków, Michałowskiego 15/8
Władyka Józef, Kraków, Krasieńskiego 10 m. 4
Wnętrzak Antoni, Sosnowiec, Gen. Świerczewskiego 30
Zabłocki Józef, Tarnów, Daszyńskiego 3 m. 3
Zak Zenon, Tarnów, Szpitalna 2 m. 16

ODDZIAŁ LUBELSKI

Dudzik Stefan, Świdnik, p-ta Adamów, Zor, blok 2/7
Fedorchuk Feliks, Lublin, Hanki Sawickiej 20
Gaworski Beniamin, Lublin, Hanki Sawickiej 20
Janek Marian, Lublin, Prózna 4 m. 2

Jednas Eugeniusz, Lublin, plac Bychawski 12 m. 1
Nowaczewski Władysław, Lublin, Hanki Sawickiej 20
Pacek Jerzy, Lublin, Nowy Świat 20
Pawlak Wiesław, Lublin, Hanki Sawickiej 20
Socha Jan, Wolica, gm. Kaczmirska
Wapniarski Władysław, Zamość, 22 lipca 5a
Ziemiński Tadeusz, Zamość, Szczepkowska 43

ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Hanis Jerzy, Łódź, Południowa 15 m. 10
Mądry Marian, Żduńska Wola, Kościelna 37

ODDZIAŁ MAZOWIECKI

Pudło Tadeusz, Płock, Dworcowa 13
Romanowski Jerzy, Podolszyce k/Płocka nr 67
Szymborski Benon, Płock, Wieczorka 38

ODDZIAŁ MAZURSKI

Budziński Wacław, Olsztyn, Lipowa 51 m. 1
Gołębiowski Zbigniew, Olsztyn, Kościuszki 71 m. 5
Łuksza Zenon, Olsztyn, Kościuszki 73 m. 13
Mikulski Jan, Olsztyn, Warszawska 25 m. 6
Nowikowski Zbigniew, Olsztyn, Kościuszki 71 m. 3
Nowosz Witold, Olsztyn, Kasprowska 24 m. 3
Ostaniewicz Napoleon, gm. Gietrzwałd, Dajtki 85, pow. Olsztyn
Sereda Jerzy, Olsztyn, Orkana 19 m. 6
Subotkowski Wacław, Olsztyn, Mickiewicza 17 m. 4
Szczepakowski Stefan, Olsztyn, Kościuszki 83

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

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

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

Rok XXVIII

Warszawa, 21 września 1952 r.

Zeszyt 9

Nagrody Państwowe za osiągnięcia w dziedzinie elektryki i zagadnień przyległych (1952 r.)

Uchwała Prezydium Rządu z dn. 17 lipca 1952 r.

Dział nauki

Prof. dr inż. Ignacy Malecki — za prace doświadczalne z dziedziny akustyki pomieszczeń (nagr. III stopnia).

Dział postępu technicznego

Zespół Zakładu Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej w składzie: prof. dr inż. Jan Kozuchowski; mgr inż. Antoni Kopaczek; mgr inż. Kazimierz Terlecki; Andrzej Kułagowski, teletechnik; Stanisław Konat, teletechnik; Karol Przybysz, teletechnik; Zdzisław Kacprzak, graver maszynowy; Julian Rypiński, ślusarz modelowy; Jerzy Slezicki, ślusarz; zespół Instytutu Elektrotechniki w Warszawie w składzie: mgr inż. Zygmunt Skoczyński; dr inż. Andrzej Myślicki; mgr inż. Stefan Bernas; mgr inż. Andrzej Podgórski; mgr inż. Andrzej Przyłuski — za opracowanie analizatorów dla potrzeb energetyki (nagr. zespołowa II stopnia).

Inż. Jan Kędziera; Karol Szczepański, technik-mechanik; inż. Edward Machura; Paweł Chwistek, technik-mechanik; Franciszek Witanowski, formierz; Paweł Harok, mistrz tokarski; Jan Śliwka, ślusarz; Karol Żwak, mistrz elektrotechniczny — za opracowanie i adaptację konstrukcji i uruchomienie produkcji ognioszczelnych silników elektrycznych oraz aparatów przeciwwybuchowych typu górniczego (nagr. zespołowa II stopnia).

Mgr inż. Władysław Kurcin; inż. Janusz Dobrowolski; mgr inż. Franciszek Ciborowski; mgr inż. Zbigniew Zbyszynski; Stanisław Drynkowski, frezer — za opracowanie i zastosowanie w przemyśle metody elektroiskrowego utwardzania narzędzi oraz anodowo-mechanicznego cięcia metali (nagr. zespołowa II stopnia).

Mgr inż. Wiesław Barwicz; mgr inż. Henryk Poniewierski — za opracowanie konstrukcyjne i technologiczne oraz uruchomienie produkcji lamp elektronowych, a także za prace w kierunku wprowadzenia podstawowych ma-

teriałów krajowych do tej produkcji (nagr. zespołowa III stopnia).

Mgr inż. Hieronim Łukomski; mgr inż. Kazimierz Auleytner; mgr inż. Jerzy Bader; Marian Biernacik, monter elektryk; Zenon Rokos, elektromonter; Andrzej Balcerzak, asystent Inst. Elektrotechniki; mgr inż. Zygmunt Hasterman — za opracowanie pełnej dokumentacji technologii oraz uruchomienie seryjnej produkcji odgromników zaworowych dla napięć od 0,5 do 30 kV (nagr. zespołowa III stopnia).

Mgr inż. Wincenty Pajewski; Antoni Żyńca, technik; Zdzisław Turley, technik — za badania nad materiałami i elementami piezoelektrycznymi oraz uruchomienie produkcji oscylatorów kwarcowych i kryształów syntetycznych (nagr. zespołowa III stopnia).

Bernard Elkowicz, technik; mgr inż. Zygmunt Szymankiewicz — za opracowanie konstrukcji wyłączników do samoczynnego ponownego włączania (nagr. zespołowa III stopnia).

Inż. Julian Pilch; inż. Józef Pilarczyk; prof. inż. Fryderyk Staub — za opracowanie technologii i uruchomienie produkcji nowych gatunków elektrod otulonych do łukowego spawania (nagr. zespołowa III stopnia).

Mgr inż. Józef Wójcikiewicz; mgr inż. Zenon Szpigler; Bolesław Kolesiński, technik — za opracowanie, wykonanie i zastosowanie w teletransmisji kabla dalekosieżnego o rozszerzonym pasmie częstotliwości (nagr. zespołowa III stopnia).

Mgr inż. Antoni Czechowski — za uruchomienie produkcji urządzeń nadawczych (nagr. III stopnia).

Stefan Rurawski, ślusarz, wielokrotny racjonalizator, obecnie główny inżynier — za wybitne osiągnięcia racjonalizatorskie w dziedzinie konstrukcji, technologii i produkcji żarówek (nagr. III stopnia).

MGR INŻ. ZBIGNIEW SICIŃSKI

Zakład Materiałoznawstwa Elektr. Inst. Elektr.

Papier kondensatorowy

621.315.614.61/.64:621.319.45

Treść. Korzyści zastosowania papieru w postaci bibułki w budowie kondensatorów. Właściwości bibułki. Zależność właściwości bibułki od technologii produkcji i warunków pracy kondensatorów. Próby produkcji krajowej. Bibułka kondensatorowa metalizowana. Korzyści zastosowania bibułki metalizowanej w budowie kondensatorów.

Конденсаторная бумага. Выгодность применения очень тонкой бумаги в конструкции конденсаторов. Свойства такой бумаги. Зависимость этих свойств от технологии производства бумаги и условий работы конденсаторов. Опыт отечественного производства тонкой конденсаторной бумаги. Металлизированная конденсаторная бумага и целесообразность ее применения.

Condenser paper. Advantages of using tissue paper in the design and production of paper condensers. Properties of tissue paper. Influence of the technological processes and of working conditions on the properties of tissue paper. Experimental tissue paper production in Poland. Metallized condenser tissue paper. Advantages of using metallized tissue paper in the production of paper condensers.

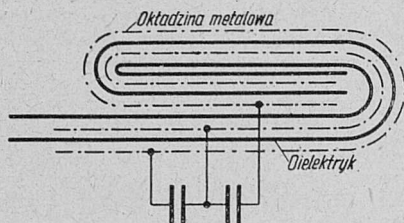
1. Wstęp.

Kondensator papierowy składa się zazwyczaj z dwu okładzin, przeważnie z folii aluminiowej, przedzielonych kilkoma warstwami nasyczonego papieru kondensatorowego w postaci bibułki. Całość jest zamknięta w obudowie odpowiednio uszczelnionej.

Cechą istotną kondensatorów papierowych jest stosunkowo duża pojemność ($C = \epsilon S/4\pi d$) na jednostkę zajmowanej przestrzeni ($\mu F/cm^3$). Mówimy „stosunkowo duża” dlatego, że np. pojemność jednostkowa kondensatorów elektrolitycznych bywa znacznie większa.

Dużą pojemność kondensatora można osiągnąć trzema drogami: przez dobranie dielektryku o dużej prze-

nikalności dielektrycznej (ϵ), przez zastosowanie dużej powierzchni okładek (S), wreszcie przez obniżenie grubości dielektryku (d) do wielkości określonej jego wytrzymałością dielektryczną. Wszystkie trzy drogi pozwalają osiągnąć dużą pojemność kondensatora papierowego. Sam papier nie ma zbyt dużej przenikalności dielektrycznej

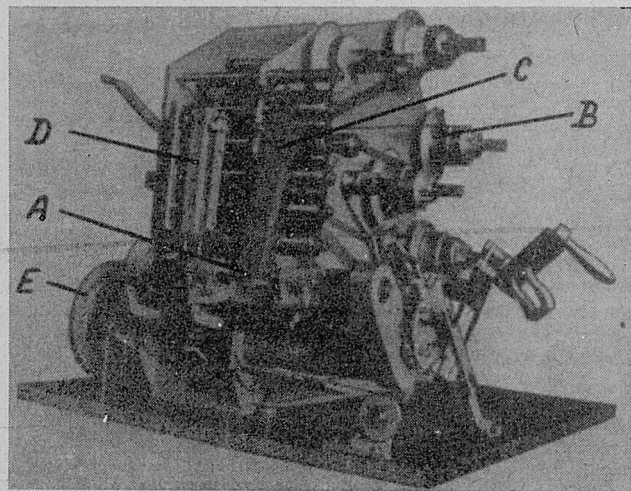


Rys. 1. Schematyczny obraz zwijki kondensatora papierowego

($\epsilon_p = \text{ok. } 2$), ale jej główny składnik — celuloza — ma przenikalność dielektryczną ok. 5–6. Dobierając zatem odpowiednio syciwo i wykonując starannie suszenie i nasykanie, tzn. dobrze wypełniając syciwem przestrzenie bibułek zajmowane poprzednio przez powietrze i wodę, uzyskujemy materiał, którego przenikalność dielektryczna wynosi przeciętnie przy użyciu syciw mineralnych około 4, a przy syciwach syntetycznych około 5,8. Graniczna wartość przenikalności dielektrycznej bibułki nasyconej nie przekracza $\epsilon \approx 11$ [1].

Zastosowanie dużej powierzchni okładek kondensatora jest możliwe przez wykonanie ich z cienkiej folii metalowej w formie taśm, które można zwinąć po odizolowaniu ich od siebie dielektrykiem. Ta konstrukcja narzuciła formę użytkową bibułki kondensatorowej, która produkowana jest w szerokich zwojach, a następnie cięta na taśmy pożądanej szerokości.

Ostatnią cechą kondensatorów papierowych — bardzo mała grubość dielektryku — wymaga małej grubości papieru. Bibułki kondensatorowe są produkowane w grubościach od 6μ (0,006 mm) do 24μ , przy czym stosowane są do kondensatorów prawie zawsze w formie uwarstwionej. Jedynym wyjątkiem są kondensatory z bibułki metalizowanej, w których czasami stosuje się pojedynczą warstwę papieru, wzmocnioną jednak cieniutką błoną lakieru [2].



Rys. 2. Zwijarka Krückeberga do zwijek spłaszczających
A — wałek nawojowy C — bibułka kondensatorowa
B — folia aluminiowa D — samoczynny licznik zwojów
E — hamulec

Dalsze dodatkowe zwiększenie pojemności na jednostkę objętości ($\mu\text{F}/\text{cm}^3$) uzyskuje się dzięki budowie zwijki kondensatorowej, która jak widać z rys. 1 tworzy dwa równoległe kondensatory przy zastosowaniu jedynie dwu okładek i dwu warstw dielektryku.

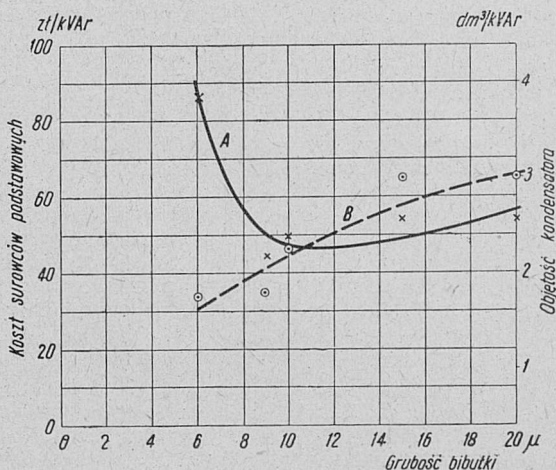
Rys. 2 daje wyobrażenie o sposobie wykonania zwijek według rys. 1. Zwijki te są sporządzone w formie

plaskiej na specjalnych maszynach o zmiennej prędkości lub — znacznie częściej — w kształcie okrągłym, przy czym po zdjęciu z wałka zwijaki są spłaszczane i w tej formie suszone i nasywane.

2. Właściwości bibułki kondensatorowej.

Gramatura. Cechą użytkową, według której przemysł papierniczy klasyfikuje papiery, jest poza gątkiem tzw. „gramatura” czyli ciężar 1 m^2 papieru. Zakres tej wielkości w grupie papierów elektroizolacyjnych jest dość szeroki, bo sięga od $7\text{ G}/\text{m}^2$ dla najcieńszych bibulek kondensatorowych, przez $30\text{ G}/\text{m}^2$ dla najgrubszych wysokosatynowanych bibulek kondensatorowych, aż do $170\text{ G}/\text{m}^2$ dla papierów o grubości $0,2\text{ mm}$ do kabli elektroenergetycznych. Najczęściej spotykane gatunki bibułki kondensatorowej posiadają gramaturę rzędu $12\text{ G}/\text{m}^2$.

Grubość. Wytwarzanie bibułki kondensatorowej o grubości 6 do 24μ wymaga stosowania specjalnych maszyn i urządzeń produkcyjnych tym bardziej, że w kondensatorach papierowych nie tylko grubość, ale i odchyłki grubości rzeczywistej od wartości znamionowej odgrywają poważną rolę. Przeciętna tolerancja dla gru-



Rys. 3. Wpływ grubości bibułki kondensatorowej na koszt surowców podstawowych dla kondensatorów do poprawy współczynnika mocy (krzywa A) i zależność objętości kondensatora od grubości bibułki (krzywa B), według Zakł. Materiałozn. Elektr. IELu, Wrocław

bości bibułki kondensatorowej wynosi $\pm 5\%$, dla bibulek najcieńszych $\pm 10\%$. Stosowanie bibułki najcieńszej jest przeważnie niewłaściwe ze względu na jej znacznie wyższą cenę związaną ze zwiększonymi trudnościami produkcyjnymi. Oto przykład: koszt podstawowych surowców — bibułka kondensatorowa, folia aluminiowa i syciwo typu mineralnego dla kondensatorów niskonapięciowych do poprawy współczynnika mocy — waha się w granicach od 103 do 53 zł/kVAr mocy kondensatora, osiągając minimum przy grubości 9μ (rys. 3).

Ciężar objętościowy. W odróżnieniu od materiałów jednorodnych bibułka kondensatorowa, zawierająca objętościowo przeciętnie 35% powietrza, jest charakteryzowana nie przez ciężar właściwy, lecz przez ciężar objętościowy. Ciężar właściwy celulozy wynosi około $1,55\text{ G}/\text{cm}^3$, ciężar objętościowy bibułki kondensatorowej waha się od $0,70$ do $1,30\text{ G}/\text{cm}^3$ zależnie od metody produkcji oraz stopnia satynowania (gładzenie przy równoczesnym sprasowywaniu). Ciężar objętościowy ma bardzo istotny wpływ zarówno na wytrzymałość na rozciąganie, jak i na wytrzymałość dielektryczną bibułki.

Przepuszczalność powietrza. Bibułka kondensatorowa, jak każdy papier, złożona jest z szeregu spłśnionych ze sobą włókien. Między poszczególnymi włóknami znajdują się przestrzenie puste, które — zależnie od sposobu produkcji, stopnia przemiatu celulozy, wreszcie stopnia satynowania — posiadają większe lub mniejsze rozmiary. Jeśli założymy różnicę ciśnienia powietrza, znajdującego się po obu stronach papieru, powietrze to będzie przez papier przepływać w stronę ciśnienia niższego. Ilość powietrza, przepływającego przez ściśle

określoną powierzchnię papieru w jednostce czasu przy danej różnicy ciśnień, przyjęto uważać za jednoznaczną cechę papieru i nazwano przepuszczalnością powietrza. Zazwyczaj różnica ciśnień wynosi 100 mm słupa wody, powierzchnia zaś przepływu 10 cm². Przeciętnie bibułki kondensatorowe wykazują przepuszczalność rzędu 5 — 7 ml/min. Czynnikiem, mającym również poważny wpływ na przepuszczalność papieru, są dziurki skośne w papierze, które podwyższają przepuszczalność powietrza oraz powodują konieczność stosowania przynajmniej dwu warstw bibułki, a w przypadkach zwiększonego bezpieczeństwa nawet trzech warstw. Istnieje wówczas bardzo małe prawdopodobieństwo nakrycia się dwu wzgl. trzech dziurek skośnych, a zatem niebezpieczeństwo przebicia jest wyraźnie obniżone.

Wytrzymałość na zerwanie (obciążenie zrywające). Bibułka kondensatorowa jest podczas zwijania naciągana dość dużą siłą — około 50 G na 1 mm szerokości bibułki. Toteż na obciążenie zrywające bibułki kondensatorowej zwraca się dużą uwagę i wartość jej kontroluje się, a nawet normalizuje.

W literaturze technicznej, a nawet w normach spotyka się dwa sposoby podawania wytrzymałości na zerwanie: obciążenie zrywające oraz samozerwalność, względnie długość samozerwania. Obciążenie zrywające jest to siła potrzebna do rozerwania paska bibułki o szerokości 15 mm. Długość zaś samozerwania jest to długość paska papieru o szerokości 15 mm, który zerwie się w miejscu umocowania pod wpływem własnego ciężaru. Obie te wielkości są ściśle ze sobą związane wzorem:

$$(1) \quad L = \frac{l \cdot Q}{q} = \frac{Q \cdot 10^6}{b \cdot A} \quad [\text{m}],$$

gdzie L — długość samozerwania (m),

l — wolna długość próbki między uchwytami (mm),

q — średni ciężar próbki odciętej między uchwytami (G),

Q — obciążenie zrywające (kG),

b — szerokość próbki (mm),

A — gramatura badanej bibułki (G/m²).

Wytrzymałość na zerwanie bibułki w dużym stopniu zależy od wilgotności bibułki, toteż próbki przed badaniem muszą być poddane określonej klimatyzacji, zwykle przez przechowywanie w ciągu kilku godzin w atmosferze o temperaturze około 20°C i wilgotności względnej 65%. Wpływ wilgotności powietrza, a tym samym wpływ wilgotności próbek na wytrzymałość na zerwanie podaje tabl. I. Przez podany tam mnożnik ten należy pomnożyć wynik otrzymany z pomiaru w warunkach nieznormalizowanych.

T a b l i c a I. Zależność obciążenia zrywającego od wilgotności względnej otaczającego powietrza (wg ICP w Łodzi)

Wilgotność względna otaczającego powietrza (%)	Mnożnik
80	0,80
75	0,87
70	0,93
65	1,00
60	1,08
55	1,16
50	1,25
45	1,36
40	1,47

N a s i ą k l i w o ś ć. Bibułka kondensatora jest, jak każdy materiał włóknisty, silnie higroskopijna, wymaga zatem dla zabezpieczenia swoich cech elektrycznych nasycenia materiałem, chroniącym ją od wpływu wilgotności.

Zdolność wchłaniania syciwa określa się przez kontrolę tzw. wysokości ssania znormalizowanego oleju transformatorowego, którą podaje się w mm po dwugodzin-

nym zanurzeniu końców wysuszonych pasków próbnych w gorącym również wysuszonym oleju transformatorowym. Dla bibulek kondensatorowych wartość tę określają jedynie normy angielskie.

Z a n i e c z y s z c z e n i a. Zanieczyszczenia w bibulce kondensatorowej można podzielić na trzy zasadnicze grupy: zanieczyszczenia chemiczne, zanieczyszczenia przewodzące i półprzewodzące, zanieczyszczenia różne.

Najgroźniejszą i najtrudniejszą do zwalczania, bo związaną z największymi kosztami, jest grupa pierwsza zanieczyszczeń chemicznych. Z tych na pierwsze miejsce wybija się k w a s o w o ś ć w z g l ę d n i e z a s a d o w o ś ć, charakteryzowana liczbą kwasową w mg KOH/g papieru. Spotykane w literaturze technicznej

T a b l i c a II. Zależność temperaturowego współczynnika zmiany pojemności od ciężaru objętościowego bibułki kondensatorowej (wg W. T. Renne)

Syciwo	Ciężar objętościowy bibułki kondensatorowej	
	0,95 do 1,05 G/cm ³	1,20 do 1,30 G/cm ³
Parafina	— (0,10 do 0,20)	+ (0,10 do 0,15)
Chlorowany nadtalen „halowax“	— (0,01 do 0,03)	+ (0,04 do 0,06)

określanie kwasowości przez wartość pH nie daje pełnej charakterystyki badanej bibułki, gdyż podając jedynie ilość wolnych jonów wodorowych nie uwzględnia stopnia rozpadu kwasów przeważnie wysokocząsteczkowych (najniebezpieczniejsze są kwasy niskocząsteczkowe), które powstają już nawet przy małych nagrzaniach papieru do temperatury rzędu 50—60°C i znacznie pogarszają cechy elektryczne bibułki, a zatem i kondensatora papierowego. Natomiast przy oznaczaniu liczby kwasowej odmiareczkowuje się jony wodorowe aż do całkowitego zobojętnienia badanego wyciągu wodnego, uwzględniając zatem nie tylko stan obecny, ale i stan przyszły, gdy pod wpływem warunków pracy pewna część jonów wodorowych oddzieli się.

Pozostałe zanieczyszczenia chemiczne — to zawartość chlorków, siarczanów, żelaza i popiołu.

Zanieczyszczenia przewodzące i półprzewodzące są dwójakiego pochodzenia: cząstką przewodzącą metaliczną, dostającą się do masy przeważnie jako bardzo drobne opilki z przemiału celulozy stalowym nożowiskiem, oraz cząstką półprzewodzącą — sadzą dostającą się do masy z wody lub wprost z powietrza.

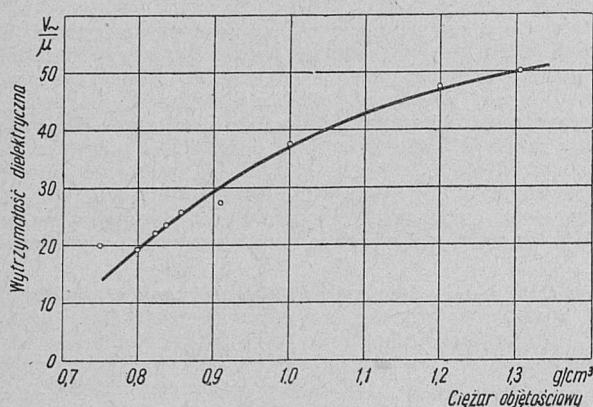
Cząstki metaliczne są wyjątkowo niebezpieczne, gdyż przy bardzo małej grubości bibułki dają przewodzenie skośne, po drugie zaś ze względu na swój kształt i ostre krawędzie ułatwiają przebicie elektryczne. Ilość cząstek przewodzących podawana jest na m², przy czym ilość ta jest różna dla różnych grubości bibułki. Metody kontroli ilości cząstek przewodzących są dwie: chemiczna przy pomocy żelazocyjanku potasu oraz elektryczna słuchowa lub z licznikiem. Ani jedna, ani druga nie dają całkowicie pewnych wyników.

Sadza w bibulce jest podwójnie niebezpieczna: 1) stwarza miejsca silniej przewodzące, a więc może doprowadzić do przebiegów cieplnych, 2) wykrusza się z masy i wypadając pozostawia dziurki ułatwiające przebicie elektryczne. Niebezpieczeństwo spowodowane obecnością sadzy w bibulce jest tym groźniejsze, że nie ma dotychczas praktycznego sposobu na usuwanie jej poza zniszczeniem samego źródła sadzy (elektrofiltry, odpowiednie magazynowanie celulozy itp.).

W ł a ś c i w o ś c i e l e k t r y c z n e. Z czterech zasadniczych właściwości elektrycznych bibułki kondensatorowej — wytrzymałość dielektryczna, stratność dielektryczna, przenikalność dielektryczna i oporność właściwa — każda jest uzależniona od wyżej wymienionych właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych.

W y t r z y m a ł o ś ć d i e l e k t r y c z n a b i b u ł k i kondensatorowej jest cechą o zupełnie zasadniczym znaczeniu, gdyż określa możliwości pracy kon-

densatorów papierowych. Przy bardzo dużej czystości bibułki, bardzo dużym ciężarze objętościowym, małej przepuszczalności dla powietrza, dużej równomierności



Rys. 4. Zależność wytrzymałości dielektrycznej bibułki kondensatorowej od ciężaru objętościowego (wg. W. T. Renne)

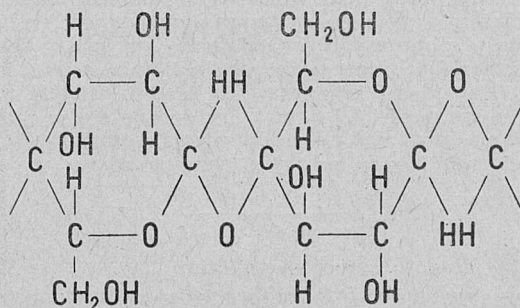
przezroczna i bardzo małych grubościach wytrzymałość dielektryczna bibułki dochodzi nawet do 40 kV/mm względnie 40 V/ μ . W porównaniu z innymi papierami izolacyjnymi bibułka ma wytrzymałość b. dużą, gdyż np. dla papierów kablowych — nawet wysokonapięciowych — wytrzymałość dielektryczna osiąga jedynie wartości około 9 V/ μ . Zależność wytrzymałości dielektrycznej bibułki kondensatorowej od jednego z najistotniejszych parametrów ciężaru objętościowego w granicach $\gamma = 0,7 - 1,3 \text{ g/cm}^3$ sięga teoretycznie od 70 do 100%, a praktycznie nawet przekracza tę granicę. Rys. 4 podaje krzywą doświadczalną według prac W. T. Renne [3].

Przenikalność dielektryczna samej bibułki kondensatorowej wynosi 2 — 2,2 i jest cechą stosunkowo mało ważną ze względu na to, że bibułka nie pracuje nigdy w stanie nienasyconym. Przenikalność zaś dielektryczna bibułki nasyconej jest zbliżona bardziej do przenikalności dielektrycznej syciwa. Ważniejsza natomiast jest zmiana przenikalności dielektrycznej z temperaturą, przy czym i tu również należy rozpa-

rowców, jak i w odpowiednim gotowaniu celulozy, a nawet najważniejszym dobraniu jej przemiału.

Stratność dielektryczna bibułki kondensatorowej zmienia się zależnie od ciężaru objętościowego 0,7 — 1,3 G/cm^3 w granicach 26 — 100% wartości przeciętnej dla 1,3 G/cm^3 . Występuje tu więc zależność jeszcze wyraźniejsza niż przy wytrzymałości dielektrycznej. Stratność dielektryczna jest również silnie zależna od czystości chemicznej i zanieczyszczeń mechanicznych, powstające przy tym wahania wartości tg δ sięgają kilkakrotnej wartości najkorzystniejszej. Doświadczenia zagraniczne [4] doprowadziły drogą obniżenia zawartości popiołu i częściowego usunięcia hemicelulozy do obniżenia tg δ bibułki kondensatorowej celulozowej do wartości około 9.10⁻⁴.

Pomiary stratności dielektrycznej wykonane w Instytucie Elektrotechniki na dwu próbkach bibułki kondensatorowej różnych gatunków — „1” materiał zagraniczny wysokiej klasy o dużej czystości, „2” próbny materiał krajowy o tym samym ciężarze objętościowym, lecz różniący się zawartością chlorków 0,016% w stosunku do 0,002% dla bibułki „1” — dały wyniki różniące się o 210%.



Rys. 6. Molekuła celulozy ($C_6H_{10}O_5$)_n

Rys. 5 przedstawia krzywą dla papierów innego gatunku — kablowych, silnoprądowych; jest to zależność stratności dielektrycznej od zawartości popiołu. Znow charakter bardzo wyraźny — stały przyrost wartości tg δ , który powyżej zawartości popiołu 0,7% przekracza prawie 100%.

Oporność właściwa. Duża oporność izolacji bibułki kondensatorowej związana jest, podobnie jak stratność dielektryczna, z czystością chemiczną bibułki. Wysunięto przypuszczenie [5], że czynnikiem, mającym najistotniejszy wpływ na dużą oporność izolacji bibułki kondensatorowej, jest całkowite zastąpienie wodoru w grupie karboksylowej (rys. 6) przez dwuwartościowy metaloid, np. wapń.

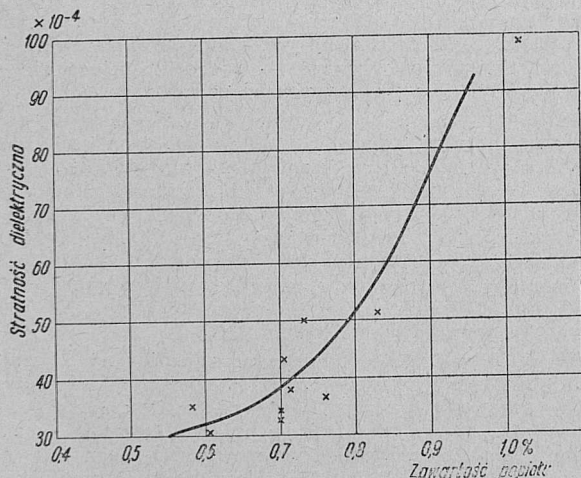
Silny wzrost oporności bibułki kondensatorowej ze spadkiem ciężaru objętościowego czyli ze wzrostem porowatości pozwala przypuszczać, że z dwu składowych — oporność skrośna i oporność powierzchniowa — ta pierwsza ma silniejszy wpływ na oporność bibułki. Orientacyjne pomiary dały wartości rzędu 10¹² $\Omega \cdot cm$ dla oporności skrośnej i 10⁹ $\Omega \cdot cm$ dla oporności powierzchniowej.

Tablica porównawcza. W tabl. III zestawione są wymagania według norm radzieckich, angielskich i francuskich oraz warunki techniczne firm niemieckiej i amerykańskiej. Dane te aczkolwiek niekompletne dają jednak pewien materiał orientacyjny. W tablicy zanieczyszczenia chemiczne podane są procentowo w stosunku do ciężaru bibułki bezwzględnie suchej (b. s.) i powietrznie suchej (p. s.).

Podane w tablicy warunki kontroli wymagają kilku wyjaśnień:

Poz. 1. Bibułka klimatyzowana przy temperaturze 20°C i wilgotności względnej powietrza 65%; pomiar grubości wykonuje się na 10 warstwach bibułki.

Poz. 4. Obciążenie zrywające oznacza się na próbkach bibułki klimatyzowanej jak przy pomiarze grubości (poz. 1).



Rys. 5. Zależność tg δ od zawartości popiołu dla papieru (wg Zakł. Mater. Elektr. IEŁu, Wrocław)

trywać nie suchą bibułkę, lecz nasyconą. Liczby podane w tabl. II wskazują stopień zależności tych dwu wielkości.

Stratność dielektryczna bibułki kondensatorowej rzędu 20.10⁻⁴ — 40.10⁻⁴, zależna głównie od czystości chemicznej bibułki, nie jest wielkością znormalizowaną, lecz jest jedną z ważniejszych cech bibułki, która musi być brana pod uwagę w całym procesie produkcyjnym — zarówno w starannym doborze su-

Poz. 6. Odporność na podwójne zginanie jest badaniem na zmęczenie materiału; oznacza się ją również na próbkach bibułki klimatyzowanej. Bibułka, która jest powodującą przepływ powietrza; warunki te podają również powierzchnię 10 cm² próbki, przez którą przepływa powietrze.

T a b l i c a III. Wymagania znormalizowane i warunki firmowe dla odbioru technicznego bibułki kondensatorowej

Oznaczenie	Jednostka	Warunki kontroli	Normy			Warunki techniczne	
			radzieckie GOST 1908/42	francuskie Q 13 — 003	angielskie BS 698 : 1936	niemieckie	amery- kańskie
Grubość	μ	{ 20°C, 65% 10 warstw	7 do 24	7 do 25	7 do 22	9	7,5 do 25
Dopuszczalne odchył- ki grubości	%	to samo	± 10 do ± 6	± 5	± 5	± 6	± 10
Ciężar objętościowy	G/cm ³	20°C, 65%	≥ 0,97	1,15 do 1,30 (0,7)	—	—	0,9 do 1,1
Obciążenie zrywające	kG/15 mm	20°C, 65%	1,0 do 1,5	0,96	0,95 do 1,4	0,9	—
Opór przedarcia (Marx Elmendorf)	G	to samo	—	—	4 do 10	—	—
Odporność na pod- wójne zginanie	zgięcie	{ to samo naciąg 500 G	—	—	—	300	—
Wytrzymałość na przepuklenie wzgl. jej spadek po sztucz- nym starzeniu	%	{ 48 godz. 150 ± 3°C	—	—	10	—	—
Przepuszczalność po- wietrza	ml/min.	{ 100 mm H ₂ O 10 cm ²	7 do 5	—	6	—	—
Nasiąkliwość olejem transform.	mm	2 godz., 95 ± 5°C	—	—	12 do 25	—	—
Wilgotność	%	20°C, 65%	7	7	—	—	—
pH		b. s.	—	7 do 8	6,5 do 8,5	6,5 do 7,7	—
Kwasowość	%	b. s.	niedopuszcz.	—	—	0,01	—
Zasadowość	%	b. s.	0,02	—	—	0,01	—
Popiół	%	b. s.	0,5	—	0,5	0,25 do 0,65	0,5
Żelazo metaliczne i sole żelaza	%	b. s.	0,015	—	—	—	—
Chlorki	%	p. s.	0,004	—	—	—	niedopuszcz.
Siarczany	%	p. s.	0,002	—	—	—	to samo
Ilość cząstek prze- wodzących	1/m ²	elektr. met.	40 do 10	250 do 15	110 dla 10μ	—	110
Wytrzymałość dielek- tryczna	V~μ	50 c/s, 90°C	39 do 19	34	24	40	—
Stratność dielektrycz- na	× 10 ⁻⁴	20°C, 1 kc/s	—	—	—	—	20

wielokrotnie zginana — aż do pęknięcia — znajduje się przez czas badania pod naciągiem 500 G.

Poz. 7. Wytrzymałość na przepuklenie bibułki klimatyzowanej oznacza się jak przy pomiarze grubości; następnie bibułkę suszy się przez 48 godzin w termostacie

3. Wpływ warunków pracy.

W s t ę p. Przy rozpatrywaniu wpływów warunków pracy na własności bibułki kondensatorowej trzeba, oczywiście, brać pod uwagę bibułkę nasyconą względnie kondensator, w którym taka bibułka pełni funkcję dielek-

T a b l i c a IV. Warunki pracy i wymagania dla kondensatorów telekomunikacyjnych

	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Jednostki
W a r u n k i p r a c y				
Dopuszczalny zakres temperatur	-60 do +70	-20 do +70	0 do +60	°C
Dopuszczalna średnia wilgotność wzglę- dna powietrza	100	75	60	%
Nadaje się do użycia w pomieszczeniach	mokrych	narażonych na wilgoć	suchych	—
W y m a g a n i a				
Dopuszczalna zmiana pojemności w czasie	± 2	± 5	± 2	%
Dopuszczalna najwyższa stratność die- lektryczna tg δ	100	100	150	× 10 ⁻⁴
Najmniejsza oporność izolacji	1000	1000	200	MΩ · μ F (sec.)
Wamagania specjalne	odporność na próż- nię 145 mm Hg	odporność na wstrząsy	—	—

o temperaturze 150 ± 3°C, poddaje się bibułkę ponownie klimatyzacji, oznacza powtórnie wytrzymałość na przepuklenie oraz oblicza spadek wytrzymałości w procentach w stosunku do wartości uzyskanej przed starzeniem.

Poz. 8. Warunki kontroli określają różnicę ciśnień, 100 mm słupa wody, po obu stronach badanej próbki, tryku. Trzeba również wspomnieć krótko o surowcach, z których bibułka kondensatorowa jest wykonana.

Bibułka kondensatorowa pracuje tylko w stanie nasyconym, wskutek czego częściowo jest chroniona od wpływów wilgotności otoczenia, a więc należy również za-trzymać się na stosowanych do kondensatorów papierowych syciwach.

Zastosowanie kondensatorów papierowych w chwili obecnej jest wszechstronne, poczynając od małych kondensatorów rurkowych dla telekomunikacji, kończąc na dużych jednostkach względnie nawet całych bateriach kondensatorów do poprawy współczynnika mocy, należy więc zwrócić uwagę również na natężenia pola elektrycznego, w którym dielektryk papierowy pracuje.

Warunki pracy kondensatorów. Produkcja roczna kondensatorów papierowych w krajach uprzemysłowionych wynosi setki milionów sztuk kondensatorów do celów radioodbiornych i dziesiątki milionów kVAr mocy w kondensatorach do poprawy $\cos \varphi$. Zatrzymamy się tu na grupie kondensatorów dla telekomunikacji.

Kondensatory telekomunikacyjne zostały podzielone według norm niemieckich DINE 41140/VI.42 na trzy klasy (tabl. IV):

klasa 1 obejmuje kondensatory hermetycznie szczelne z przeznaczeniem dla najcięższych warunków pracy;

klasa 2 obejmuje kondensatory szczelne na wilgoć z przepustami bakielitowymi stosowane przeważnie w urządzeniach przewodnych;

klasa 3 zawiera kondensatory uszczelnione przeważnie masą bitumiczną, znajdujące zastosowanie w pomieszczeniach zamkniętych.

Surowce do produkcji bibułki kondensatorowej. Z trzech głównych surowców wyjściowych do produkcji papieru — celuloza siarczynowa, szmaty i celuloza siarczanowa — do wyrobu bibułki kondensatorowej stosowany jest prawie wyłącznie ten ostatni.

Celuloza siarczynowa, powstająca przez gotowanie drewna jodłowego w roztworze H_2SO_3 z dodatkiem $Ca(HSO_3)_2$, nie znajduje obecnie zastosowania w przemyśle elektroizolacyjnym, nawet przy wymaganiach mniej surowych od tych, które stawiane są bibułce kondensatorowej. Powodem tego jest bardzo mała, a jednak wyraźna kwasowość tych papierów i związane z tym znacznie szybsze starzenie się izolacji.

Szmaty lniane były przez długi czas — ze względu na małą stratność dielektryczną — surowcem wyjściowym dla produkcji bibułki kondensatorowej. Wysoka cena oraz trudności zdobycia dużych ilości tego surowca, połączone z szybszym niż przy celulozie siarcza-

nie na rozkład celulozy. Te wady przekreśliły jedyną zaletę bibułki szmacianej — niską stratność dielektryczną w temperaturze otoczenia.

Celuloza siarczanowa, uzyskiwana przez gotowanie drzewa świerkowego w wodnym roztworze NaOH z dodatkiem Na_2S , jest najkorzystniejszym i najbardziej rozpowszechnionym surowcem do produkcji nie tylko bibulek kondensatorowych, ale również innych papierów elektroizolacyjnych. Włókno świerku jest długie, daje więc papier mocny, a staranne gotowanie usuwa szkodliwe składniki jak żywice, ligninę, powodującą kruchość papieru pod działaniem światła i inne. Słabo zasadowy charakter papierów produkowanych z tej celulozy jest również korzystny ponieważ powoduje częściowe zubożenie powstających przy pracy kondensatora produktów kwaśnych, sprzyjających rozkładowi celulozy.

Proces starzenia się bibułki kondensatorowej jest, oczywiście, ściśle związany z syciwem. Wykazano, że proces ten następuje tym szybciej, im więcej powstaje kwasów tłuszczowych niskocząsteczkowych (poniżej 6 związanych atomów węgla), które są absorbowane przez papier z oleju [6].

Rys. 7 przedstawia charakterystyczny wykres (według prac Kohmana), na którym dla porównania zestawiono wpływ na $\tan \delta$ oleju dodatku kwasów organicznych o różnej liczbie związanych atomów węgla.

Wpływ syciwa na właściwości papieru w czasie pracy. Coraz bardziej rozpowszechniające się syciwa syntetyczne — głównie typu chlorowych węglowodorów — spowodowały również konieczność zajęcia się ich wpływem na papier w warunkach pracy kondensatora. Wpływ ten okazał się odmienny niż przy zastosowaniu olejów mineralnych. Przy tych ostatnich zachodził proces chemiczny, który można

Tabela V. Robocze natężenie pola elektrycznego dla nasyconej bibułki kondensatorowej w zależności od charakteru pracy kondensatora papierowego

Charakter pracy kondensatora	Robocze natężenie pola elektrycznego (V/ μ)
Prąd stały	25 do 35
Generatory udarowe	35 do 45, a nawet do 60
Prąd zmienny na 50 Hz (praca ciągła)	12 do 15
Jak wyżej, z nałożoną składową o większej częstotliwości do 300 kHz	7,5 do 9
Urządzenia dużej częstotliwości — zależnie od konstrukcji	4 do 9

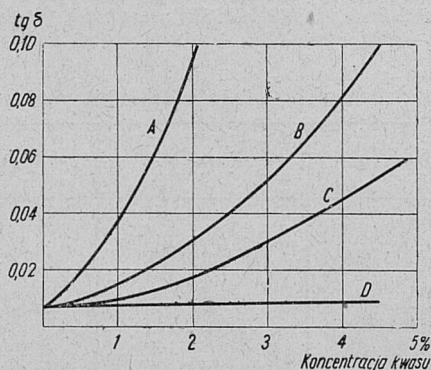
U w a g a. Liczby mniejsze dotyczą bibulek o mniejszym cięż. objętościowym.

opóźnić dodaniem przeciwutleniaczy. Przy syciwach syntetycznych natomiast na prądzie zmiennym co prawda również nie ma specjalnych kłopotów, raczej nawet sprawa przedstawia się nieco lepiej, bo trwałość kondensatora (tzn. stan nienaruszonej bibułki kondensatorowej) jest zachowana dłużej ze względu na większą stateczność chemiczną syciw syntetycznych.

Tabela VI. Zależność roboczego natężenia pola elektrycznego od temperatury dla bibułki kondensatorowej nasyconej waseliną mineralną przy pracy kondensatora papierowego na prądzie zmiennym (wg BIOS Final Report Nr 893)

Temperatura miejsca pracy ($^{\circ}C$)	50	60	70	100
Robocze natężenie pola elektrycznego (%)	100	91	73	62

Gorzej natomiast przedstawia się sprawa pracy bibulki kondensatorowej nasyconej chlorowanymi węglowodorami przy zastosowaniu kondensatorów do prądu stałego i w podwyższonej temperaturze. Zachodzą wówczas



Rys. 7. Wpływ kwasów organicznych na $\tan \delta$ bibułki kondensatorowej nasyconej olejem mineralnym; pomiar $\tan \delta$ przy $80^{\circ}C$, 2 V/ μ , 60 Hz

A — kwas mrówkowy $HCOOH$
B — kwas octowy CH_3COOH
C — kwas propionowy C_2H_5COOH
D — kwas stearynowy $C_{17}H_{35}COOH$

nowej starzeniem się, spowodowały odsunięcie również i tego surowca. Szybsze starzenie się jest związane, jak przy celulozie siarczynowej, z kwaśnym charakterem masy. Pod działaniem podwyższonej temperatury i pola elektrycznego, przy współdziałaniu syciwa oraz śladów chloru, pozostałego z bielenia szmat, powstają łatwo rozpuszczalne w oleju kwasy, z których najniebezpieczniejsze są kwasy niskocząsteczkowe, działające katalitycz-

zjawiska chemiczne i elektrochemiczne, które znacznie szybciej niż przy syciwach mineralnych doprowadzają celulozę do rozkładu, a kondensator do zniszczenia [9], [10]. Proces rozkładowy składa się z paru etapów: odszczepianie się cząstek HCl od syciwa, dysocjacja HCl na kationy Cl i aniony H₂ pod wpływem prawie nieuniknionych śladów wilgoci, ruch kationów Cl do dodatniej okładziny kondensatora, powstawanie AlCl₃, który jeszcze silniej niż sama folia aluminiowa przyspiesza rozkład syciwa, atakowanie celulozy przez HCl i AlCl₃, zniszczenie papieru i przebiecie poprzedzone stałym wzrastaniem upływu w kondensatorze. Na szczęście proces ten można bardzo silnie osłabiać przy pomocy dodatku np. antrachinonu lub chemicznie czystej siarki [11].

Wyjaśniono więc, że bibułka kondensatorowa jest atakowana przez powstające w czasie pracy kondensatora kwasy tłuszczowe (przy syciwach mineralnych) lub nieorganiczne (przy syciwach syntetycznych). Obecność folii działa również przyspieszająco na rozkład celulozy. Obecność folii cynowej przyspiesza proces rozkładowy znacznie silniej niż obecność folii aluminiowej. To samo dotyczy bibułki szmacianej, która również przyspiesza proces w stosunku do bibułki celulozowo-siarczanowej. Proces rozkładu bibułki objawia się przede wszystkim we wzroście upływu przy syciwach syntetycznych, względnie wzroście stratności dielektrycznej przy syciwach mineralnych. Podwyższona temperatura oraz pole elektryczne prądu stałego działają również niekorzystnie przyspieszając starzenie.

Warunki pracy a wytrzymałość dielektryczna. Wobec różnorodności zastosowania kondensatorów papierowych ich wytrzymałość dielektryczna względnie robocze natężenie pola elektrycznego bywają różne i zależne od przeznaczenia konden-

w próżni, aczkolwiek zalecone przez większość fabryk kondensatorowych, nie jest technicznie uzasadnione. Zarówno bowiem do odprowadzenia z papieru resztek wilgoci, jak i do uzyskania odpowiedniej lepkości syciwa, zbliżonej do lepkości wody, wystarcza temperatura rzędu 120°C. Dalsze podwyższanie temperatury ponad 135°C jest niedopuszczalne nawet przy dużej próżni ze względu na pyrolizę celulozy, która odbywa się bez dopływu powietrza. Następuje wówczas silne wydzielanie gazów z równoczesnym tworzeniem się produktów ciekłych i stałych.

Nadmierne przegrzanie bibułki przy suszeniu powoduje w następstwie stałą obniżkę oporności izolacji oraz wzrost stratności dielektrycznej.

4. Próby z krajowym materiałem zastępczym.

Wybór materiału. W r. 1948 jedna z prywatnych fabryk elektrotechnicznych rozpoczęła próby wybrania spośród produkowanych w kraju papierów takiego gatunku, który by przy stosunkowo niedużym wkładzie pracy, a przede wszystkim bez dodatkowych inwestycji mógł zastąpić importowaną bibulkę kondensatorową.

Zgodnie z uwagami, podanymi w poprzednich rozdziałach, trzeba było wybrać bibulkę o możliwie największej czystości, o dużej wytrzymałości na zerwanie oraz możliwie najcieńszą. Z dwu będących do dyspozycji bibulek krajowych — papierosowej oraz karbonowej do wyrobu kalki maszynowej — wybrano tę drugą ze względu na mniejszą gramaturę i brak obciążenia. Bibułka papierosowa jest obciążona składnikami, ułatwiającymi równomierne spalanie się. Bibułka karbonowa, wyrabiana z celulozy siarczanowej, była korzystniejsza od papierosowej

T a b l i c a VII. Wyniki badania próbnej partii zastępczej krajowej bibułki kondensatorowej (wg FAPO, Bielsko)

Wielkość	Wartość			Nierównomierność (odchyłki w %)	GOST 1908/42	Zgodność z GOST
	najmniejsza	największa	średnia			
Gramatura (G/m ²)	13,3	16,2	15,1	— 12 do + 22	—	—
Grubość (μ)	19,1	22,4	20,7	— 8 do + 8	± 7	—
Ciężar objętościowy (G/cm ³)	0,67	0,76	0,73	— 8 do + 4	0,97	nie
Kwasowość (‰)	nie ma	nie ma	—	—	0,00	tak
Alkaliczność (‰)	0,001	0,006	0,0036	—	0,02	tak
Popiół (‰)	0,21	0,48	0,36	—	0,5	tak
Żelazo (‰)	0,007	0,009	0,0078	—	0,015	tak
Chlorki (‰)	—	—	bardzo małe ślady	—	0,04	tak
Siarczany (‰)	—	—		—	0,02	tak
Wytrzymałość dielektryczna (V/μ)	15,5	18,9	17,5	— 11 do + 8	19,3	nie

satora. Dane wzięte z literatury technicznej [5 i 7] i zawarte w tabl. V i VI orientują o stosowanych wielkościach.

Warunki suszenia bibułki kondensatorowej. Podstawowym składnikiem bibułki kondensatorowej jest celuloza w ilości około 78% w wypadku surowca celulozowego, około 95% w wypadku surowca szmacianego.

Celuloza jest ciałem krystalicznym, które traci chemicznie związaną wodę w temperaturze 105°C, przy czym pogarszają się zarówno mechaniczne, jak i elektryczne cechy papieru. W związku z tym konieczne jest podanie krótkiej charakterystyki procesu poprzedzającego nasycanie, tzn. procesu suszenia bibułki. Zmiany chemiczne celulozy występują przy względnie niskich temperaturach, tak np. działanie temperatury 60 do 70°C przez okres kilkudziesięciu godzin wywiera już widoczny wpływ na właściwości bibułki, obniżając jej wytrzymałość. Procesowi temu sprzyja, oczywiście, obecność tlenu zawartego w powietrzu. Toteż z reguły proces suszenia zwiziek kondensatorowych złożony jest z krótkiego przesuszenia przy ciśnieniu atmosferycznym i podwyższonej temperaturze rzędu 115 do 125°C oraz długiego suszenia w próżni w temperaturze nie przekraczającej 135°C. Stosowanie tak wysokich temperatur przy suszeniu

również i z tego powodu, że fabryka produkująca ją miała najczystsza wodę. Gramatura tej bibułki wahała się w granicach 14 do 15 oraz 17 do 18 G/m².

Próby. Po wybraniu materiału zastępczego należało wykonać próby ulepszenia produkcji. Zdecydowano się na zamówienie dwu partii po 5 ton z sortowanych szmat lnianych.

Obie partie były produkowane z bardzo dużą starannością pod względem równomierności rozkładu masy na maszynie papierniczej, równomierności biegu tej maszyny oraz czystości surowców podstawowych i pomocniczych. Obie partie były następnie kontrolowane przez dwa niezależne od siebie laboratoria chemiczne. Cechy elektryczne bibułki kontrolowane były w laboratorium fabrycznym jednej z fabryk teletechnicznych. Pobrana i zbadana liczba próbek była bardzo duża — około 80 próbek, po 2 z jednego zwoju.

Pierwsze najważniejsze próby miały stwierdzić:

a) jaka jest dolna granica gramatury i grubości przy wykorzystaniu istniejącego wyposażenia maszynowego;

b) jaka jest — liczbowo — osiągalna obecnie równomierność grubości i gramatury;

c) jakie są zanieczyszczenia chemiczne (jakościowo i ilościowo);

d) jakie są (orientacyjnie) pozostałe wielkości fizyczne, wytrzymałościowe i elektryczne.

Jako skalę odniesienia przyjęto dane liczbowe z normy radzieckiej „GOST 1908/42 — Bumaga kondensatornaja“.

W y n i k i p r ó b. Wyniki prób, zestawione w tabl. VII, nasuwają następujące uwagi:

1) dla kondensatorów papierowych, w których pojemność zależy od grubości dielektryku, wynik podany w rubryce „grubość“ jest zły. Przy uwzględnieniu jednak, że badana bibułka miała być zastosowana do kondensatorów do poprawy $\cos \varphi$, których pojemność ze względów konstrukcyjno-eksploatacyjnych dobiera się z reguły z dużym zapasem, wynik można uznać za dostateczny. Badana bibułka była maszynowo-gładka; po próbnym kalandrowaniu uzyskano obniżenie grubości do 16 μ , a nawet do 14 μ (kalandrowanie w fabryce II).

2) Ciężar objętościowy w porównaniu do wartości podanych w normie radzieckiej jest zbyt mały. Normy francuskie dopuszczają jednak ciężar objętościowy nawet 0,7 G/cm³, zaliczając, oczywiście, taki papier do

przepisanej normami. Wady papieru z próbnej produkcji polegały głównie na zbyt wielkiej grubości oraz zbyt małym ciężarze objętościowym. Obie te wady są w istocie zupełnie zasadnicze, gdyż wiążą się ze znacznym podwyższeniem objętości i ciężaru kondensatorów, które miały być produkowane z badanego surowca. Orientacyjnie wykonanie z badanej bibułki krajowej kondensatora do poprawy $\cos \varphi$ o mocy 25 kVA, na napięciu 3×500 V w porównaniu z wykonaniem jednej z firm niemieckich (dane katalogowe z r. 1937) dałoby zwiększenie ciężaru o 50% oraz zwiększenie objętości jednostkowej (dm³/kVA) o 116%.

Obie wady bibułki krajowej są tym bardziej przykre, że usunięcie ich wiąże się z dużymi inwestycjami w przemysł papierniczym. Zbyt duża grubość można obniżyć przede wszystkim przez zastosowanie specjalnej (dla niskich gramatur) maszyny papierniczej, co znów powoduje dalsze inwestycje, jak napęd o bardzo dużej równomierności biegu, urządzenia do tzw. przemiatu tłustego (kalandry z nożowiskiem bazaltowym), specjalne wirówki do oczyszczania masy itp. Podwyższenie gramatury

T a b l i c a VIII. Zestawienie porównawcze właściwości bibułki kondensatorowej — krajowej zastępczej oraz importowanej (IEL, Wrocław)

Właściwości bibułki		Warunki pomiaru	Oznaczenie próbki					
			A	B	C	D	E	F
Gramatura	(G/m ²)	klimatyzacja	16,2	16,3	15,5	14,9	10,4	19,2
Grubość	(μ)	klimatyzacja 5 warstw; 1 at	19,5	20,8	16,0	13,9	9,0	17,9
Ciężar objętościowy	(G/cm ³)	obliczony z gramatury i grubości	0,84	0,79	0,97	1,07	1,16	1,07
Wytrzymałość na zerwanie	(kg/mm ²)	wzdłużne, 100 mm	1,90	1,60	2,00	1,79	1,22	2,30
Wydłużenie przy zrywaniu	(%)	wzdłużne, 100 mm	2,9	2,2	2,6	2,3	1,5	2,6
Przepuszczalność powietrza	(cm ³ /min.)	10 cm ² , 100 mm H ₂ O	0,9	6,2	3,4	2,1	0,21	0,59
Nasiąkliwość olejem transformatorowym	(mm/godz.)	105°C	32	28	27	26	23	27
Wilgotność	(%)	20°C, 65%	5,0	6,4	5,9	6,1	7,3	6,9
Kwasowość	(%)	w odniesieniu do bibułki bezzwzględnie suchej	0,006	0,000	0,005	0,000	0,018	0,008
Żelazo	(%)		0,023	0,019	0,010	0,010	0,015	0,016
Chlorki	(%)		0,018	0,011	0,018	0,016	0,002	0,002
Siarczany	(%)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Papiół	(%)		0,39	0,40	0,49	0,43	0,50	0,45
Liczba cząstek przewodzących	(na 1 m ²)	metoda elektr. na słuch 100 V	36	16	40	44	—	24
Wytrzymałość dielektryczna	(V/ μ)	3 warstwy, 1 at; 105°C	18,9	10,8	18,5	20,7	33,4	25,2
Stratność dielektryczna	($\times 10^{-4}$)	3 warstwy, 1 at; 105°C; 1 kHz	61	24	131	150	71	78

OZNACZENIA

A — bibułka karbonowa z celulozy siarczanowej niesatynowana
B — bibułka karbonowa lniana niesatynowana
C — bibułka karbonowa lniana satynowana w fabryce I

E — bibułka karbonowa lniana satynowana w fabryce II
D — bibułka kondensatorowa z „kraft-celulozy“ — fińska (Tervakoski)
F — bibułka kondensatorowa z „kraft-celulozy“ — amerykańska (Smith)

gatunkowo gorszych. Próbnym kalandrowaniem podwyższono ciężar objętościowy do 0,97 G/cm³, a nawet 1,07 G/cm³ (kalandrowanie w fabryce II).

3) Oznaczanie wytrzymałości dielektrycznej przeprowadzono prądem zmiennym o częstotliwości 50 Hz dla 3 warstw bibułki nieklimatyzowanej. Badanie wykonano w warunkach otoczenia: temperatura 19°C, wilgotność względna 60%. Elektrody płaskie cylindryczne o średnicy 25 mm i zaokrąglonych brzegach. Napięcie przebiecia mierzone w wartościach skutecznych. Po próbnym kalandrowaniu otrzymano wzrost wytrzymałości dielektrycznej bibułki o blisko 20%.

Inne właściwości bibułki, badane okazjonalnie, jedynie dla celów orientacyjnych, na znacznie mniejszej liczbie próbek, były następujące: wilgotność 5,1%; obciążenie zrywające wzdłużne 1,3 — 1,8 kG; obciążenie zrywające poprzeczne 0,7 kG; wytrzymałość na podwójne zginanie: wzdłużna 200 zgieć, poprzeczna 13 zgieć; przepuszczalność powietrza 1,7 cm³/min.; liczba dziurek 15 na m². Są to wartości na ogół zgodne z normami radzieckimi.

W n i o s k i z p i e r w s z e j s e r i i p r ó b. Jak widać z zestawionych liczb, wynik próby można było uznać za zadowalający. Otrzymano papier chemicznie odpowiednio czysty, mechanicznie odpowiednio wytrzymały, o wytrzymałości elektrycznej nie wiele gorszej od

bibułki można uzyskać przez satynowanie jej, a więc również zainwestowanie odpowiednich dla tej grubości kalandrów.

Przemysł papierniczy zabiega o wykonanie tych inwestycji w odpowiednim czasie.

B a d a n i a u z u p e ł n i a j ą c e. Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IELu przeprowadził na pozostałych z wymienionych wyżej próbkach badania uzupełniające. Ich wyniki są zebrane w tabl. VIII. Dla porównania wyników podano również cyfry otrzymane dla importowanych bibulek kondensatorowych — fińskiej i amerykańskiej. Jak widać z tablicy, właściwości chemiczne i mechaniczne bibulek krajowych i importowanych są bardzo zbliżone. Porównanie wyników pomiaru stratności dielektrycznej przy obserwacji zanieczyszczeń chemicznych potwierdza wniosek jednoznaczności czystości chemicznej próbek krajowych i zagranicznych. Jedynie zawartość chlorków jest wyraźnie gorsza w bibulkach krajowych. Istota różnicy polega na większym ciężarze objętościowym bibulek zagranicznych, co w efekcie daje większą wytrzymałość dielektryczną. Porównanie próbek C i D z próbką B wskazuje na oczywiście korzyści satynowania: wzrost ciężaru objętościowego, zmniejszenie grubości i spadek przepuszczalności powietrza. Prymitywna metoda satynowania spowodowała jednak wyraźne pogorszenie liczby cząstek przewodzących oraz stratności dielektrycznej.

W początkach 1952 r. postanowiono ponownie uruchomić próbną produkcję bibułki, tym razem wyraźnie kondensatorowej, a nie jak przedtem karbonowej. Z powodu niemożności szybkiego uzyskania odpowiednio czystej celulozy znów zdecydowano się na surowiec zasadniczo wykluczony przez elektryków — przesortowane szmaty lniane. Z punktu widzenia chemicznego wynik był gorszy niż przy próbie poprzedniej: przekroczone dopuszczalne granice zawartości żelaza i siarczanów. Ciężar objętościowy $0,91 \text{ g/cm}^3$ — po satynowaniu — był zbyt mały. Wytrzymałość dielektryczna przy grubości $14,5 \mu$: średnia wartość zgodna z normą $25,6 \text{ V}/\mu$, natomiast wartość najmniejsza $16,9 \text{ V}/\mu$ poniżej dopuszczalnych $23,3 \text{ V}/\mu$. Największą wadą drugiej próby była nadmierna liczba cząstek przewodzących 200 na 1 m^2 wobec dopuszczalnych 10 na 1 m^2 . Mimo tych wad zdecydowano się — tytułem próby — zastosować tę bibulkę do próbnej produkcji kondensatorów. Skrócone badanie porównawcze wykonane na jednostkach opartych na bibulce krajowej i importowanej, przy identycznych warunkach produkcji i badania obu typów kondensatorów, dały wyniki zgodne. Prób eksploatacyjnych jeszcze nie zrobiono. Obserwacja ich pracy — w warunkach pracy raczej ciężkich — będzie zorganizowana.

W n i o s k i. Produkcja grubszej bibułki kondensatorowej lnianej (ok. 15μ) na posiadanych w kraju urządzeniach jest możliwa. Ażeby jednak otrzymać dobre wyniki, należy zachować jak największą czystość surowców i produkcji, zastosować elektromagnetyczne wylawiacze cząstek przewodzących, wykluczając przy tym holendry o nożowiskach brązowych, ulepszyć i staranniej przeprowadzić satynowanie, wprowadzić stalowe tulejki do szpul zamiast papierowych i zasadniczo polepszyć cięcie oraz przewijanie bibułki.

Równolegle z tą próbną produkcją użytkową powinny pójść próby badawcze oparte na celulozie siarczanowej wysortowanej — krajowej oraz specjalnej importowanej.

Należyte wyposażenie maszynowe jest inwestycją, która powinna być przyspieszona. Sprawa dobrej wody również wymaga inwestycji lub wyboru fabryki do produkowania bibułki.

5. Metalizowana bibulka kondensatorowa.

Jedną z poważnych zdobyczy okresu drugiej wojny światowej w dziedzinie kondensatorów papierowych było opracowanie w skali przemysłowej produkcji kondensatorów z bibułki metalizowanej. Pomysł ten próbowano realizować już w r. 1900, jednak wyniki pierwszych prac metalizowania papieru proszkiem cynowym, łączonym przy pomocy kleju i następnie kalandrowanym, nie dały właściwego rozwiązania.

Dopiero zrealizowanie metalizowania bibułki kondensatorowej przez naparowanie metalu w próżni dało realne, powtarzalne i ekonomicznie opłacalne wyniki.

Najczęściej stosuje się do metalizacji bibułki kondensatorowej cynk, rzadziej aluminium. Temperatury, przy których odbywa się metalizacja bibułki kondensatorowej, są rzędu 500 do 700°C dla cynku oraz około 1400°C dla aluminium. Parowanie odbywa się w wysokiej próżni rzędu kilku mikronów słupa rtęci. Szybkość metalizacji równoznaczna z szybkością posuwu przewijanej bibułki kondensatorowej wynosi 1 do 2 m/s.

K o r z y ś c i s t o s o w a n i a p a p i e r u m e t a l i z o w a n e g o. Potrzeba stosowania bibułki kondensatorowej metalizowanej powstała w teletechnice, gdzie zależało na całkowitej pewności ruchu, zagrożonej poważnie przez skutki przebicia dielektryku w kondensatorze papierowym — bardzo popularnym elemencie układów telekomunikacyjnych. Przebicie kondensatora papierowego z okładzinami z folii aluminiowej, dzięki stosunkowo dużym prądom zwarcia w miejscu przebicia, powodowało rozerwanie i zniszczenie dielektryku i tworzyło wraz z działaniem ciepłym stałe nieodwracalne zwarcie kondensatora.

Kondensator z papieru metalizowanego dzięki bardzo małej i odpowiednio dobranej grubości warstwy metalu w wypadku przebicia „uzdrowia się samoczynnie“, odprowadzając względnie wytapiając metal dookoła uszko-

dzzonego punktu i tym samym izolując przebite miejsce dielektryku.

Dzięki temu uzyskano: po pierwsze — dużą pewność ruchu, po drugie — możliwość stosowania jednej warstwy papieru (dotychczas było to niedopuszczalne ze względu na możliwość pokrycia się istniejących w papierze cząstek przewodzących i otworków), po trzecie — podwyższenie napięcia roboczego dielektryku, a więc lepszego wyzyskania go, po czwarte — obniżenie objętości kondensatorów papierowych. Ostatnie dwa punkty wymagają nieco szerszego omówienia.

W kondensatorach papierowych, w których okładziny sporządzone są z folii aluminiowej, dielektryk, którego przebiecie pociąga za sobą nieuchronne zniszczenie kondensatora, musi być obliczony z dużym zapasem. Zazwyczaj napięcie robocze tych kondensatorów dobiera się tak, by równało się około 16% napięcia przebijającego. Producent ma wówczas stosunkowo dużą gwarancję uniknięcia przebicia nawet mimo istniejących punktów słabych dielektryku (dziurki, cząstki przewodzące itp.).

Przy papierze metalizowanym występuje zjawisko „samouzdrawiania“ — samoczynnego odizolowywania miejsc przebitych. Zjawisko to jest wykorzystywane w toku produkcji do usuwania ze zwijki kondensatorowej punktów słabych. Wykonuje się to zawsze, jako jedną z czynności produkcyjnych, przewijając papier metalizowany między dwoma wałkami znajdującymi się pod napięciem. Dobierając wysokość napięcia i prędkość posuwu bibułki, można doprowadzić do całkowitego prawie usunięcia punktów słabych. Pozwala to na silne zmniejszenie tzw. współczynnika bezpieczeństwa, wyrażającego się stosunkiem napięcia przebijającego do napięcia roboczego, pozwala to zatem na lepsze wyzyskanie dielektryku, a więc m. inn. na obniżenie objętości kondensatora.

Drugim czynnikiem, mającym wpływ na obniżenie objętości, jest mniejsza grubość okładzin kondensatora: $0,1 \mu$ przy bibulce metalizowanej wobec 5 do 7μ przy folii aluminiowej.

Istnieje jednak również okoliczność działająca na niekorzyść obniżki objętości kondensatora z papieru metalizowanego. Jest nią wrażliwość warstwy nametalizowanej na działania korozyjne, które są znacznie silniejsze przy syciwach syntetycznych i uniemożliwiają ich stosowanie do tego typu kondensatorów. Stała zaś dielektryczna syciw mineralnych jest przeszło dwukrotnie niższa.

Podany niżej przykład ujmuje omówione warunki liczbowo, a więc najbardziej przekonująco.

O b j ę t o ś ć k o n d e n s a t o r a p a p i e r o w e g o. Kondensator papierowy składa się z czterech elementów: zwijki kondensatorowej, obudowy, wyprowadzeń oraz izolacji wewnętrznej. Z tych czterech najbardziej zasadniczym jest zwijka kondensatorowa, ona też — przynajmniej w kondensatorach niskonapięciowych, które znalazły najszersze zastosowanie w telekomunikacji — decyduje o objętości kondensatora.

Objętość zwijki można obliczyć z prostego wzoru:

$$(2) \quad V_z = V_p + V = 2 l_f (d_p \cdot b_p + d \cdot b) \cdot 10^{-6},$$

gdzie oznaczają:

V_p, V — objętości dielektryku i okładzin (cm^3),
 d_p, d — grubości „ „ „ (mm),
 b_p, b — szerokości „ „ „ (mm),
 l_f — czynną długość okładziny (folii) (mm).

Wprowadzamy na l_f wzór empiryczny

$$(3) \quad l_f = C \cdot d_p / a_k \cdot b,$$

gdzie C — pojemność zwijki kondensatorowej w pF,

a_k — współczynnik proporcjonalny do przenikalności dielektrycznej dielektryku złożonego, którym jest papier nasycony; dla syciwa typu chlorowanych naftalenów $a_k \approx 103$, dla parafiny $a_k \approx 87,5$.

Wprowadzamy dalej zależność:

$$(4) \quad d_p = U_r/E,$$

gdzie U_r — napięcie robocze kondensatora (V),

E — dopuszczalne robocze natężenie pola w dielektryku (V/ μ).

Otrzymujemy wtedy wzór końcowy:

$$(5) \quad V_z = n \left(\frac{m}{E^2} + \frac{d}{E} \right),$$

gdzie n i m oznaczają stałe:

$$(6) \text{ i } (7) \quad n = 2U_r/a_k \text{ i } m = U_r \cdot b_p/b.$$

Przykład liczbowy. Dwa kondensatory na napięcie robocze 100 V mają identyczną pojemność $C_1 = C_2 = C$.

Szerokość bibułki kondensatorowej jest 43 mm, szerokość okładziny 39 mm. Kondensator C_1 posiada okładziny z folii aluminiowej o grubości $d_1 = 7\mu$; bibułka nasyciona jest woskiem syntetycznym, dla którego $a_k = 103$. Kondensator C_2 zbudowany jest z bibułki metalizowanej o grubości warstwy metalu $d_2 = 0,1\mu$; bibułka nasyciona jest twardą parafiną, dla której $a_k = 87,5$.

Wstawiając wartości liczbowe, otrzymujemy:

$$m_1 = m_2 = m = 110; \quad n_1 = 1,94; \quad n_2 = 2,29.$$

Dopuszczalne robocze natężenie pola elektrycznego dla papieru nasyczonego można przyjąć $E = 14$ V/ μ . Przy napięciu roboczym 100 V otrzymuje się stąd grubość dielektryku $d_p = 7,1\mu$.

W przypadku okładek kondensatora z folii aluminiowej najniższa dopuszczalna ilość warstw papieru jest — ze względów bezpieczeństwa, jak już wspomniano, 2. Zatem

$$E_1 = 100/2,7,1 = 7 \text{ V}/\mu.$$

W kondensatorze z bibułką metalizowaną — dzięki zjawisku samoczynnego odizolowania miejsc przebitych —

Tabela IX. Zmniejszenie objętości kondensatora papierowego (z papieru metalizowanego) w zależności od napięcia roboczego (J. R. Weeks)

U_r (V)	k (%)
125	25
200	35
400	55
600	70

dopuszczalne jest stosowanie jednej warstwy papieru (lakierowanego — grubości warstwy lakieru około 0,7 μ).

Stąd

$$E_r = 100/(7,1 + 0,7) = 12,8 \text{ V}/\mu.$$

Wstawiając odpowiednie wartości do wzoru (5) otrzymujemy:

$$V_{z1} = 1,94 \left(\frac{110}{49} + \frac{7}{7} \right) C = 1,94 (2,25 + 1) C = 6,30 \cdot C,$$

$$V_{z2} = 2,29 \left(\frac{110}{12,8^2} + \frac{0,1}{12,8} \right) C = 2,29 (0,67 + 0,008) C = 1,55 \cdot C,$$

skąd $V_{z2} \cong 0,25 V_{z1}$, co znaczy, że objętość zwijki kondensatorowej z bibułką metalizowaną stanowi zaledwie 25% objętości zwijki z okładzinami z folii aluminiowej.

W gotowym kondensatorze, stanowiącym zespół złożony ze zwijki, obudowy, izolacji i przepustów, współczynnik ten jest nieco większy, przy czym różnica w obję-

tości kondensatorów obu typów jest tym mniejsza, im wyższe jest napięcie robocze kondensatora. Tabl. IX według J. R. Weeksa [8] podaje orientacyjne wskazania. W tablicy tej oznaczają:

U_r — napięcie robocze kondensatora jednakowe dla obu przypadków,

k — stosunek objętości kondensatora z papieru metalizowanego do objętości kondensatora z okładzinami z folii aluminiowej.

Wnioski. Metalizacja próżniowa bibułki kondensatorowej daje dla telekomunikacji niewątpliwie korzyści, zarówno przez redukcję importu zagranicznej folii aluminiowej, jak i przez oszczędność miejsca w sprzęcie telekomunikacyjnym, oraz — co jeszcze ważniejsze — przez podniesienie pewności ruchu urządzeń telekomunikacyjnych.

Badaniem porównawczym bibułki metalizowanej oraz wykonanych z niej kondensatorów może zająć się Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IELu, który musiałby również dobrać najodpowiedniejszy lakier, a wspólnie z GICHp również najodpowiedniejsze syciwo. Cenna byłaby współpraca Instytutu Fizyki Technicznej, posiadającego mikroskop elektronowy — bardzo skuteczne narzędzie pracy przy śledzeniu zmian strukturalnych tak cienkich warstw materiału, jakie występują przy metalizacji próżniowej.

6. Zakończenie.

Kwestia papieru względnie bibułki kondensatorowej jest dla naszej gospodarki państwowej bardzo ważna. Kwestię tę można rozwiązać w kraju, należy jedynie zrobić pewne przesunięcia w terminach inwestycyjnych przemysłu papierniczego.

Równoległe z kwestią produkcji krajowej bibułki kondensatorowej należy już teraz na bibulce importowanej przystąpić do rozwiązania — w skali laboratoryjnej i w skali przemysłowej — metalizacji próżniowej bibułki kondensatorowej.

Rozwiązanie tych dwu spraw nie da pełnego rezultatu. Wynik pełny może być osiągnięty dopiero wówczas, gdy będzie rozwiązana również w skali przemysłowej krajowa produkcja syciw syntetycznych. Wreszcie ostatnim punktem rozwiązania jest postawienie projektowania i produkcji kondensatorów papierowych na właściwym poziomie przez stworzenie nowych możliwości produkcyjnych kondensatorów papierowych wszelkich typów oraz wyszkolenie odpowiednich kadr i udostępnienie literatury technicznej z tego działu pracownikom młodym.

LITERATURA

- [1] Renne W. T. Obliczanie stałej dielektrycznej nasyczonego papieru kondensatorowego, Elektryczstwo, 1949, nr 1, str. 57
- [2] Brajnikoff B. J. Aluminium and magnesium in the electrical industries, Light Metals, III, 1946, str. 163
- [3] Renne W. T. Elektrieskije kondensatory, 1947
- [4] Miller H. F., Hopkins R. J. A new kraft capacitor paper. Gen. Electric Rev., 1947, XII
- [5] Impregnant used in german paper capacitors, B.I.O.S. Final Report Nr 893
- [6] Piper J. D., Kerstein N. A., Fleiger A.G. Oil-impregnated paper, sorption of organic acids and its relation to power factor, Industrial and Engineering Chemistry, IX, 1937, str. 1040
- [7] Morozow M. M. Sowietckoje kondensatorostrojenje, Elektryczstwo, 1949, nr 11, str. 10
- [8] Weeks J. R. Metallised paper capacitors, Proceed. of the I.R.E. IX, 1950, str. 1015
- [9] Mc. Lean D. A., Egerton L., Kohman G. T. Brotherton M. Paper dielectrics containing chlorinated impregnants, Industrial and Engineering Chemistry, 1942, I, str. 101
- [10] Renne W. T. Sowietniennye bumażnyje kondensatory, 1948
- [11] Mc. Lean D. A., Egerton L., Houtz C. C. Paper capacitors containing chlorinated impregnants. Effect of sulfur, Ind. and Eng. Chemistry, 1946, XI str. 1110
- [12] Straimer. Der Kondensator in der Fernmeldetechnik
- [13] Brotherton M. Capacitors, their use in electronic circuits, 1946
- [14] GOST, 1908—42, Bumaga kondensatornaja
- [15] BS 698—1936, Paper (unvarnished) for electrical purposes, excluding asbestos papers and those used in the manufacture of cables
- [16] Q 13—003, Papier. Caractéristiques des catégories de papiers pour condensateurs statiques
- [17] DIN E 41140—1942, Papierkondensator für Fernmeldetechnik

DR INŻ. H. S. KOZŁOWSKI

Równanie najekonomiczniejszej wewnętrznej średnicy maszyny asynchronicznej

531.717.12:621.313.33.003:669.3+669.1

Т р е с ć. Wyprowadzono równanie najekonomiczniejszej — ze względu na zużycie miedzi i żelaza — wewnętrznej średnicy maszyny asynchronicznej. Zewnętrzne wymiary są przedtem ustalone. Podane są przykłady obliczenia przy dwóch długościach maszyny i przy dwóch różnych stosunkach cen miedzi i żelaza.

Уравнение для экономически наиболее выгодного внутреннего диаметра асинхронной машины. Выведено уравнение для наиболее выгодного — с точки зрения расхода меди и железа — внутреннего диаметра асинхронной машины. Наружные размеры установлены заранее. Даны примеры расчета для двух длин машины и для двух различных отношений цены меди к цене железа.

Equations for the most economic inside diameter of asynchronous machines. Equations for the inside diameter from the point of copper and iron req. i.e. Outside dimensions were predetermined. The article contains formulae for computations in the case of two different machine lengths and two different proportions of copper and iron price.

1. Wstęp.

Potrzeba ekonomicznego obliczania silników asynchronicznych wywołana jest ich szerokim zastosowaniem. Oszczędność cennych surowców, a przede wszystkim miedzi, uzyskana w jednym silniku mnoży się przez setki tysięcy, a w krajach wysoce uprzemysłowionych nawet przez miliony sztuk rocznie.

Nie ma ścisłej metody, która w rezultacie obliczeń dawałaby gospodarczo najlepszy kształt maszyny, odpowiadający największemu stosunkowi mocy do kosztu materiałów, użytych na jej wyprodukowanie.

Najważniejsze stosunki wymiarów maszyny są: 1) stosunek długości pakietu żelaza do średnicy, podawany zwykle pod postacią l_i/τ , tj. stosunku długości idealnej do podziałki biegunowej; 2) stosunek średnicy wewnętrznej do średnicy zewnętrznej stojana, podawany zwykle pod postacią H_s/τ , tj. stosunku wysokości segmentu (zab i jarzmo) do podziałki biegunowej.

W dawnych metodach obliczeń stosunek średnic nie występuje wyraźnie. Przeważnie średnica wewnętrzna wynika z jakiegoś praktycznego wskazania (np. Liwshitz, t. III, str. 204 — pod postacią $\tau = f(P)$), a średnica zewnętrzna z wewnętrznej i dalszych obliczeń: głębokości żłobków i wysokości jarzma stojana. Zagadnienie ekonomicznie racjonalnego doboru stosunku średnic występuje wyraźnie przy projektowaniu serii. Wtedy konieczne jest brać za punkt wyjścia średnicę zewnętrzną, wynikającą z rozkroju bez reszty arkusza blachy. Bezpośrednio po tym występuje zagadnienie wyboru najlepszego stosunku średnic — wewnętrznej do zewnętrznej. Moc maszyny nie jest z góry narzucona dla danej średnicy.

Trapiętnikow w książce „Osnowy projektowania serii asynchronicznych dwigatielej” (str. 103) podaje ekonomiczne granice stosunku średnic pod postacią: $H_s/\tau = 0,4$ do $0,5$. Szerokie granice wartości tego stosunku wypływają z jego zależności od szeregu czynników, m. inn. od kształtu wnętrznego maszyny i od stosunku cen miedzi i żelaza. Oba te czynniki zmieniają się z czasem. W zagranicznych seriach maszyn małej mocy (do 100 kW budowy niezamkniętej) żelazo jest coraz krótsze w stosunku do średnicy. Stosunek ceny miedzi do ceny żelaza wzrósł znacznie w ostatnich czasach. W związku z tym ekonomiczne granice stosunku średnic uległy przesunięciu, a w wielu nowych maszynach nie mieści się on we wspomnianych granicach gospodarności.

2. Wyprowadzenie równania.

Przedstawimy metodę obliczania gospodarczo najkorzystniejszej średnicy wewnętrznej maszyny, której zewnętrzne wymiary (średnica i długość) zostały przedtem ustalone.

Jak przy wszelkich teoretycznych rozważaniach, dotyczących układów tak skomplikowanych, jak maszyna elektryczna wirująca, musimy poczynić założenia upraszczające.

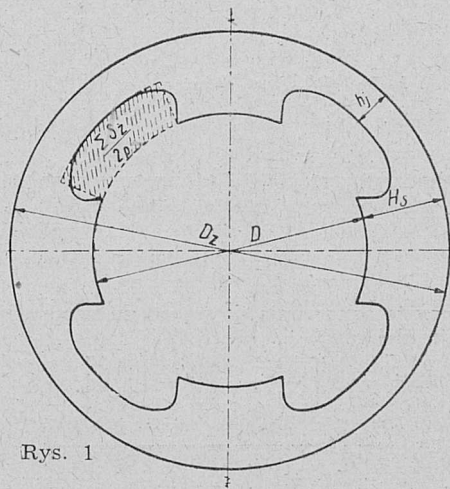
A) Indukcja w powietrzu maszyny o ustalonych wymiarach zewnętrznych nie zmienia się przy zmianie średnicy wewnętrznej. — W rzeczywistości, gdy przy zmianie średnicy wewnętrznej zmienia się prąd biegu jałowego i straty, może być korzystna zmiana indukcji w powietrzu tak, aby charakterystyczne współczynniki maszyny powróciły do pierwotnych swych wartości. Musielibyśmy wtedy do rachunku wprowadzić indukcję jako funkcję średnicy wewnętrznej. Zmuszeni jesteśmy z tego zrezy-

gnować. Niedokładność, wynikająca z tego powodu wówczas, gdy rozpatrujemy silnik o określonych wymiarach zewnętrznych, nie odbiera wartości wynikom rachunku. Inaczej byłoby, gdyby wymiary zewnętrzne ulegały zmianie.

B) Gęstość prądu w uzwojeniach przyjmujemy jako niezależną od średnicy wewnętrznej. — W rzeczywistości przy zmianie średnicy wewnętrznej można byłoby zmienić gęstość prądu tak, aby straty i nagrzewanie pozostały takie, jak przed zmianą. Nie wprowadzamy tego do rachunku z tych samych powodów co w p. A.

C) Operujemy wewnętrzną mocą pozorną maszyny zamiast mocy na wale. Jest to równoznaczne z założeniem, że straty i współczynnik mocy są niezależne od średnicy wewnętrznej. Chodzi tu o zależność w strefie bliskiej maksimum stosunku mocy do kosztów.

Nie będziemy określali liczb żłobków. Chcemy tę sprawę uważać za osobną, łącznie ze sprawą przeciążalności. Na rys. 1 widać łączne powierzchnie zębów i żłobków całej podziałki biegunowej.



Rys. 1

Wychodzimy z pozornej wewnętrznej mocy maszyny, którą oznaczать będziemy przez P :

$$P = \text{const} \cdot EI = \text{const} \cdot z \cdot \Phi \cdot s,$$

gdzie z oznacza liczbę zwojów stojana, Φ — strumień maszyny, s — przekrój przewodu lub sumy przewodów równoległych.

Podstawmy

$$z = \text{const} \cdot \frac{\Sigma S_{cu}}{s},$$

gdzie ΣS_{cu} jest to łączny przekrój miedzi stojana. Wtedy

$$P = \text{const} \cdot \Sigma S_{cu} \cdot \Phi.$$

Wobec stałości indukcji i długości pakietu blach

$$\Phi = \text{const} \cdot D,$$

gdzie D oznacza średnicę wewnętrzną stojana. Stąd

$$P = \text{const} \cdot D \Sigma S_{cu}.$$

Zamiast ΣS_{cu} wprowadzamy sumę powierzchni żłobków stojana ΣS_z , mnożoną przez k_{zu} — współczynnik za-

pełnienia nieizolowanego żłobka nieizolowaną miedzią, przy czym liczymy powierzchnię żłobków tak, jak gdyby zęby miały jednakową szerokość aż do szczeliny. Spółczynnik ten jest prawie stały dla rozmaitych maszyn skutkiem tego, że jeśli żłobek jest szeroki a niski, to dużo miejsca traci się na klin, jeśli zaś wąski a wysoki, to złe rozłożenie przewodów ma podobny stosunek.

Dla maszyn nawijanych przewodem o przekroju okrągłym $k_{zn} = 0,27$ do $0,3$.

Ten współczynnik możemy również uważać za stały przy zmianie D . Wobec tego:

$$P = \text{const} \cdot D \cdot \Sigma S_z$$

Dla maszyn, których zęby stojana mają na całej swej długości jednakową szerokość, można określić ΣS_z jako powierzchnię pierścienia o szerokości (promieniowej) równej głębokości żłobków mniej łączną powierzchnię zębów. Ta ostatnia jest równa powierzchni wspomnianego pierścienia, pomnożonej przez $B'_p/k_{Fe} B_{z1}$. Tutaj B'_p oznacza indukcję w powietrzu, B_{z1} — indukcję w zębie stojana, k_{Fe} — współczynnik wypełnienia pakietu żelazem.

W naszym rachunku zmienną niezależną będzie D , a więc w funkcji tej wielkości przedstawimy powierzchnię żłobków:

$$\Sigma S_z = \pi \left[\left(\frac{D_z}{2} - h_j \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{B_p}{k_{Fe} \cdot B_{z1}} \right),$$

gdzie D_z oznacza zewnętrzną średnicę blach stojana.

Właściwie wzór ten jest ważny dla maszyn z zębami rozszerzającymi się począwszy od szczeliny tak, jak gdyby były ograniczone płaszczyznami promieniowymi, przechodzącymi przez oś maszyny. Ta niewielka różnica upraszcza powyższy wzór i jednocześnie kompensuje rozszerzanie się zębów u podstawy, powstałe wskutek zaokrąglenia. Jest to widoczne na rys. 1.

Jako funkcję D przedstawimy również wysokość jarmy:

$$h_j = \frac{\pi \alpha_i B'_p}{4 p k_{Fe} B_{j1}} D,$$

ponieważ

$$2 h_j k_{Fe} B_{j1} L = \Phi = \frac{\pi D}{2p} \alpha_i B'_p L.$$

Oznaczmy:

$$\pi \left(1 - \frac{B'_p}{k_{Fe} B_{z1}} \right) = a \quad \text{i} \quad \frac{\pi \alpha_i B'_p}{2p k_{Fe} B_{j1}} = b;$$

wtedy

$$h_j = \frac{b}{2} D.$$

Podstawmy te oznaczenia do wzoru na sumę powierzchni przekroju żłobków:

$$\Sigma S_z = a \left[\left(\frac{D_z}{2} - \frac{bD}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] = \frac{a D_z^2}{4} \left[1 - \frac{2bD}{D_z} - \frac{(1 - b^2) D^2}{D_z^2} \right]$$

Oznaczmy:

$$\frac{2b}{D_z} = a_1 \quad \text{i} \quad \frac{1 - b^2}{D_z^2} = a_2.$$

Otrzymamy wtedy:

$$\Sigma S_z = \frac{a D_z^2}{4} (1 - a_1 D - a_2 D^2).$$

Ponieważ $D_z = \text{const.}$ i $B'_p/B_{z1} = \text{const.}$, a więc $a = \text{const.}$, możemy napisać:

$$P = \text{const.} D \cdot \Sigma S_z = \text{const.} D(1 - a_1 D - a_2 D^2).$$

Określmy teraz koszt materiałów K_{Cu} — miedzi i K_{Fe} — żelaza w funkcji D . Koszt miedzi uzwojenia stojana:

$$K_{Cu1} = \Sigma S_{Cu} (L + L_{cz}) \gamma_{Cu} C_{Cu}.$$

We wzorze tym L oznacza długość pakietu, L_{cz} — długość czoła uzwojenia stojana, γ_{Cu} — ciężar właściwy miedzi, C_{Cu} — cenę jednostkową miedzi.

Aby otrzymać całkowity koszt miedzi, należy dodać jeszcze koszt miedzi wirnika. Ponieważ ilość miedzi wirnika zmienia się ze zmianą wymiarów maszyny, podobnie jak ilość miedzi stojana, pomnożymy K_{Cu1} przez współczynnik $k_w = \frac{\text{koszt miedzi stojana i wirnika}}{\text{koszt miedzi stojana}}$ Spółczyn-

nik ten szacujemy na podstawie obliczeń podobnych maszyn. Otrzymamy:

$$K_{Cu} = k_w K_{Cu1} = k_w \Sigma S_{Cu} (L + L_{cz}) \gamma_{Cu} C_{Cu} = a_3 (1 - a_1 D - a_2 D^2),$$

$$\text{gdzie } a_3 = k_w k_{zn} \frac{a D_z^2}{4} (L + L_{cz}) \gamma_{Cu} C_{Cu}.$$

Ogólny koszt żelaza:

$$K_{Fe} = k_d k_{Fe} D_z^2 L \gamma_{Fe} C_{Fe},$$

gdzie $k_d = 1,02$ do $1,1$ jest to współczynnik uwzględniający dodatek materiału, który wynika ze względów technologicznych, ponieważ krążków blachy nie można wycinać stycznie do brzegów prostokąta, lecz z odstępem kilkometrowym. γ_{Fe} i C_{Fe} oznaczają ciężar właściwy i cenę jednostkową blachy magnetycznej. Oznaczywszy

$$k_d k_{Fe} D_z^2 L \gamma_{Fe} C_{Fe} = a_4,$$

otrzymamy: $K_{Fe} = a_4$.

Za najkorzystniejszą uważamy taką średnicę wewnętrzną, przy której na wyprodukowanie maszyny o określonej mocy zużywa się najmniej materiałów. Maszyna przez nas rozpatrywana ma ustalone wymiary zewnętrzne, nie podlega więc prawom wzrastania [1, § 32]. Przy proporcjonalnej zmianie wszystkich wymiarów zmienia się moc maszyny, kształt zaś pozostaje stały. Wtedy stosunek mocy

do kosztu materiałów $\frac{P}{K_{Cu} + K_{Fe}}$ zmienia się proporcjonalnie do $P^{1/4}$, to znaczy, że stosunek $\frac{P^{1/4}}{K_{Cu} + K_{Fe}}$ pozostaje

stały. Przy zmianie samej tylko średnicy wewnętrznej zmienia się i moc maszyny i jej kształt. Oba te czynniki są powodem zmiany stosunku $\frac{P}{K_{Cu} + K_{Fe}}$. Zmianę tę można rozbić na dwie składowe: związaną ze zmianą mocy i dodatkową, wynikającą ze zmiany kształtu maszyny. Ta ostatnia występuje wtedy, gdy funkcja $F = \frac{P^{1/4}}{K_{Cu} + K_{Fe}}$ prze-

staje być stałą. Maksimum funkcji F wyznacza najlepszy kształt wewnętrzny maszyny.

Po podstawieniu wyrażen na P , K_{Cu} , K_{Fe} otrzymamy:

$$F = \frac{\text{const} [D(1 - a_1 D - a_2 D^2)]^{1/4}}{a_3 (1 - a_1 D - a_2 D^2) + a_4}.$$

Przyjmijmy D_z za jednostkę długości, którą mierzymy wszystkie wymiary; wtedy wobec $D_z = D_z^2 = 1$ współczynniki przybiorą postać następującą:

$$a_1 = 2b; \quad a_2 = 1 - b^2; \quad a_3 = k_w k_{zn} \frac{a}{4} (L + L_{cz}) \gamma_{Cu} C_{Cu};$$

$$a_4 = k_d k_{Fe} L \gamma_{Fe} C_{Fe}.$$

L_{cz} , jako stosunek długości czoła do średnicy zewnętrznej, będzie współczynnikiem prawie stałym dla danego rodzaju uzwojenia, D zaś będzie oznaczało stosunek średnicy wewnętrznej do średnicy zewnętrznej stojana maszyny.

Znajdujemy najkorzystniejszą wartość D , odpowiadającą $F = \text{max.}$ Z równania $dF/dD = 0$ otrzymujemy równanie najekonomiczniejszej średnicy wewnętrznej:

$$A_0 + A_1 D + A_2 D^2 + A_3 D^3 + A_4 D^4 = 0,$$

przy czym

$$A_0 = 3(a_3 + a_4); \quad A_1 = -5a_1 a_3 - 6a_1 a_4;$$

$$A_2 = 2a_1^2 a_3 - 4a_2 a_3 - 9a_2 a_4; \quad A_3 = 3a_1 a_2 a_3; \quad A_4 = a_2^2 a_3.$$

3. Przykład liczbowy.

Weźmy silnik indukcyjny, czterobiegunowy, niskiego napięcia, z dwuwarstwowym uzwojeniem stojana, wykonany przewodem o przekroju okrągłym, z wirnikiem, którego klatka odlana jest z aluminium. Zęby stojana tego silnika mają ścianki równoległe. Spółczynnik wypełnienia żelazem $k_{Fe} = 0,95$. Stosunek długości pakietu żelaza do średnicy zewnętrznej blach $L/D_z = 0,85$. Stosunek długości czoła uzwojenia stojana do średnicy zewnętrznej $L_{cz}/D_z = 1,63$. Stosunki indukcji w powietrzu do indukcji w zębach i w jarmie stojana są:

$$B'_p/B_{z1} = 0,49 \quad \text{i} \quad B'_p/B_{j1} = 0,56.$$

Spółczynnik wypełnienia gołego żłobka miedzią netto $k_{zn} = 0,297$. Spółczynnik k_w bierzemy z kalkulacji podobnych silników. Przypuszczamy, że koszt aluminium wynosi $1/4$ kosztu miedzi stojana, czyli $k_w = 1,25$. Spółczynnik kształtu pola $a_1 = 0,68$.

Rachunek przeprowadzimy dla dawnego stosunku ceny miedzi do ceny żelaza, równego np. 4, i dla powiększonego, równego np. 10. Przy tym drugim stosunku cen obliczymy poza tym najkorzystniejszą średnicę silnika,

różniącego się od poprzedniego jedynie długością pakietu blach, którego $L/D_z = 0,615$. W ten sposób przekonamy się, jak wpływają na ekonomiczny kształt wewnętrzny zmiana długości silnika i zmiana cen materiałów.

a) Dłuższy silnik, tańsza miedź (w stosunku do żelaza):

$$a = \pi \left(1 - \frac{B'_p}{k_{Fe} B_{zi}} \right) = \pi \left(1 - \frac{0,49}{0,95} \right) = 1,53;$$

$$b = \frac{\pi \alpha_i B'_p}{2p k_{Fe} B_{ji}} = \frac{\pi \cdot 0,68 \cdot 0,56}{4 \cdot 0,95} = 0,314;$$

$$a_1 = 2b = 2 \cdot 0,314 = 0,628;$$

$$a_2 = 1 - b^2 = 1 - 0,1 = 0,9;$$

$$a_3 = k_w k_{zn} \frac{a}{4} \gamma_{Cu} C_{Cu} (L + L_{cz}) =$$

$$= 1,25 \cdot 0,297 \frac{1,53}{4} 8,9 \cdot 4 (0,85 + 1,63) = 12,5;$$

$$a_4 = k_{Fe} k_d \gamma_{Fe} C_{Fe} L = 0,95 \cdot 1,08 \cdot 7,8 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 6,8;$$

$$A_0 = 3(a_3 + a_4) = 3(12,5 + 6,8) = 57,9;$$

$$A_1 = -5a_1 a_3 - 6a_1 a_4 = -5 \cdot 0,628 \cdot 12,5 - 6 \cdot 0,628 \cdot 6,8 = -64,8;$$

$$A_2 = 2a_1^2 a_3 - 4a_1 a_3 - 9a_1 a_4 =$$

$$= 2 \cdot 0,395 \cdot 12,5 - 4 \cdot 0,9 \cdot 12,5 - 9 \cdot 0,9 \cdot 6,8 = -91;$$

$$A_3 = 3a_1 a_2 a_3 = 3 \cdot 0,628 \cdot 0,9 \cdot 12,5 = 21,2;$$

$$A_4 = a_2^2 a_3 = 0,81 \cdot 12,5 = 10,1.$$

Równanie $\sum_{n=0}^{n=4} (A_n D^n) = 0$ jest spełnione jeśli $D = 0,545$.

b) Dłuższy silnik, droższa miedź. Postępujemy jak w punkcie a) z tą różnicą, że do wzoru na a_3 wstawiamy $C_{Cu} = 10$ zamiast 4.

Wypiszemy współczynniki, które ulegną zmianie:

$$a_3 = 31,3; A_0 = 114,1; A_1 = -124; A_2 = -143; A_3 = 54,2;$$

$$A_4 = 25,2.$$

Przy tych współczynnikach $\sum_{n=0}^{n=4} A_n D^n = 0$, jeżeli $D = 0,615$.

c) Krótszy silnik, droższa miedź. Wypiszemy te współczynniki, które zmieniły się przy zmianie L : $a_3 = 28,2$; $a_4 = 4,9$; $A_0 = 99,5$; $A_1 = -107,2$; $A_2 = -119$; $A_3 = 48$; $A_4 = 22,9$. Przy tych współczynnikach przez rozwiązanie równania

$$\sum_{n=0}^{n=4} A_n D^n = 0$$

znajdujemy $D = 0,63$.

4. Wnioski.

Przedstawione wyżej rozważania mogą dać pewne wskazówki, przydatne do zorientowania się w zasadach wyboru kształtu maszyn serii przy projektowaniu.

1) Najkorzystniejszy stosunek średnic jest zależny od stosunku cen miedzi i żelaza, a więc ten ostatni powinien być uprzednio ustalony według najnowszych danych.

2) Najkorzystniejszy stosunek średnic jest zależny od stosunku długości do średnicy maszyny. Nie znaczy to, aby w produkcji silniki tej samej średnicy zewnętrznej, a różnych długości miały różne wykroje, ale znaczy, że obliczenia, a nawet próby prototypów tej samej średnicy zewnętrznej a różnych długości powinny być wykonywane z niejednakowymi średnicami wewnętrznymi, lecz z najkorzystniejszymi dla każdej długości, w przeciwnym bowiem razie porównanie silników byłoby obarczone tym błędem, że jeden z nich ma stosunek średnic bliższy, a drugi dalszy od najkorzystniejszego.

3) W równaniu na D nie występuje gęstość prądu, co oznacza, że najkorzystniejszy stosunek średnic jest ten sam dla innego obranego obciążenia, jeżeli grzanie i współczynniki pozwolą na to. To samo dotyczy indukcji w powietrzu, zębach i jarzmie, jeżeli tylko ich stosunki pozostają stałe.

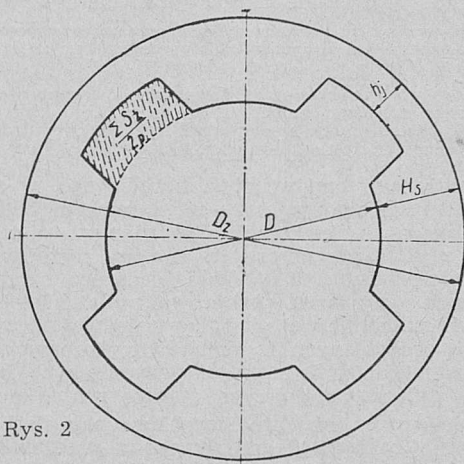
4) Przy zmianie wymiarów bez zmiany kształtu, tj. gdy $L/D_z = \text{const.}$, najkorzystniejszy stosunek średnic $D/D_z = \text{const.}$

Najkorzystniejszy stosunek D/D_z (duży H_s/τ), otrzymany przy obliczaniu po przedwojennych cenach materiałów, wyjaśnia rozbieżność pomiędzy granicami ekonomicznymi tego stosunku według Trapeznikowa z r. 1937 a obecnie stosowanymi jego wartościami w najnowszych seriach.

Po obliczeniu średnicy wewnętrznej maszyny można obliczyć odpowiedni wymiar jarzma stojana $h_{j1} = bD/2$.

5. Równanie dla maszyn z prostokątnymi żłobkami.

Większe maszyny, których stojany są nawijane przewodem o przekroju prostokątnym, mają żłobki prostokątne, a zęby zweżające się w stronę szczeliny. Dla tych maszyn wyrażenie na sumę powierzchni wykrojów zębów jest prostsze. Prostsza jest również funkcja F i równanie na najkorzystniejszą średnicę wewnętrzną jest nie czwartego, lecz trzeciego stopnia.



Rys. 2

Wyprowadzimy równanie posługując się rys. 2 i oznaczeniami użytymi wyżej. Tylko zamiast B_{zi} wprowadzamy indukcję idealną B_{zi} w najwyższym miejscu zęba:

$$\Sigma S_z = \Sigma b_z h_z = \pi D \left(1 - \frac{B'_p}{k_{Fe} B_{zi}} \right) \left(\frac{D_z}{2} - \frac{D}{2} - h_j \right) =$$

$$= aD [D_z - (1 + b) D],$$

gdzie

$$a = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{B'_p}{k_{Fe} B_{zi}} \right) \quad \text{i} \quad b = \frac{\pi \alpha_i B'_p}{2p k_{Fe} B_{ji}}.$$

Jeśli założymy, jak poprzednio, $D_z = 1$ i oznaczymy $1 + b = a_1$, to

$$\Sigma S_z = aD(1 - a_1 D),$$

a suma wszystkich przekrojów miedzi będzie

$$\Sigma S_{Cu} = k_{zn} aD(1 - a_1 D).$$

Tutaj k_{zn} będzie miał inne wartości, niż przy uzwojeniu z okrągłego przewodu. Należy go określić z innych maszyn podobnych.

Moc maszyny wewnętrzna pozorna:

$$P = \text{const} \cdot D^2(1 - a_1 D).$$

Funkcja zależna tylko od kształtu maszyny:

$$F = \frac{\text{const} \cdot [D^2(1 - a_1 D)]^{3/4}}{a_3 D(1 - a_1 D) + a_4},$$

gdzie

$$a_3 = k_w k_{zn} a (L + L_{cz}) \gamma_{Cu} C_{Cu}; \quad a_4 = k_d k_{Fe} L \gamma_{Fe} C_{Fe}.$$

Równanie $dF/dD = 0$ sprowadza się do równania:

$$A_0 + A_1 D + A_2 D^2 + A_3 D^3 = 0,$$

gdzie

$$A_0 = 6a_4; A_1 = 2a_3 - 9a_1 a_4; A_2 = -3a_1 a_3; A_3 = a_1^2 a_3.$$

Dla maszyn z kwadratowymi blachami stojana bieg obliczenia będzie taki sam. Zamiast średnicy zewnętrznej wstawimy „bok kwadratu“, a we wzorze na b zamiast B_j będzie indukcja fikcyjna $B_{j\text{fike}}$, wprowadzona przez autora w metodzie obliczania obwodów magnetycznych maszyn trójfazowych z kwadratowymi blachami stojana*). Współczynnik naddatku blachy przy wycinaniu krążków k_d będzie wtedy równy jednoci.

LITERATURA

- [1] Vidmar M. Der wirtschaftliche Aufbau der elektrischen Maschine, 1918
- [2] Vidmar M. Der kupferarme Transformator, 1935
- [3] Trapeznikow W. A. Oboszczennyye uslowia sorazmernosti transformatorow i elektricheskikh maszin (Elektrichestvo, 1946, 2)

*) Por. Kozłowski H. S. Metoda obliczania obwodów magnetycznych maszyn trójfazowych z kwadratowymi blachami stojana (Przegl. Elektr., 1951, z. 9, str. 342).

INŻ. J. WIŚNIEWSKI

Uwagi o oszczędnym projektowaniu sieci zasilającej zakładu przemysłowego (w szczególności z celem zaoszczędzenia metali nieżelaznych)

621.316.31.003.621.312

Treść. Wybór koncepcji zasilania zakładu przemysłowego wpływa decydująco na zużycie materiałów przewodowych. Podane jest porównanie układu promieniowego sieci zasilającej z układem szeregowym.

Замечания по вопросу экономного проектирования питающих сетей в заводских установках (в особенности с целью сбережения нежелезных металлов). Выбор схемы питания завода электрической энергией имеет решающее значение в отношении потребления проводниковых материалов. Дается сравнение радиальной схемы питающих сетей с последовательной.

Notes on the economic designing of supply systems for industrial enterprises (particularly with a view to economising non-ferrous metals). Selection of conceptions for supply systems for industrial enterprises is of conclusive importance in so far as the quantity of conductor material required is concerned. The author provides a comparison between radial and series feeder distribution systems.

Szybki rozwój budownictwa narodowego, w szczególności przemysłowego, stwarza coraz większą potrzebę ustalenia pewnych elementów składowych wyposażenia układów elektroenergetycznych. Szereg zarządzeń władz zwierzchnich z roku ubiegłego i bieżącego narzuca projektującemu obowiązek przeprowadzania ścisłej analizy techniczno-ekonomicznej nie tylko w toku opracowywania projektów technicznych i rysunków wykonawczych, lecz przede wszystkim w fazie projektów wstępnych, która jest punktem wyjścia do dalszych etapów projektowania.

Przyjęcie przez projektującego koncepcji sieci elektroenergetycznej zakładu przemysłowego na podstawie wskazywanych czysto technicznych — bez uwzględnienia strony ekonomicznej — stworzy wprawdzie właściwe warunki pracy układu, lecz może doprowadzić do niepotrzebnie drogich inwestycji. Błędne byłoby podejmowanie decyzji co do wyboru koncepcji układów elektroenergetycznych jedynie na podstawie wyników analizy, dokonanej przez bezpośredniego autora projektu. Przedstawienie kolegium zatwierdzającemu — w szczególności przy dużych inwestycjach i poważnych zakładach przemysłowych — tylko wyników analizy projektów może spowodować bądź błędną ocenę koncepcji przyjętej przez autora projektu, bądź zatwierdzenie koncepcji dobrej pod względem technicznym, lecz niedostatecznie uzasadnionej pod względem gospodarczym. Nieodzownym elementem składowym projektu powinna być część ekonomiczno-techniczna, zawierająca analizę kilku wariantów układów sieci i urządzeń rozdzielczych projektowanego zakładu.

Wybór układu najlepszego pod względem zarówno techniczno-eksploatacyjnym, jak i gospodarczym, powinien być dokonywany już w trakcie projektowania wstępnego, przy czym należy:

- a) poddawać rewizji poglądy co do konieczności rezerw dla poszczególnych elementów urządzeń energetycznych i rezerwowych połączeń kablowych,
- b) przechodzić do stosowania racjonalnych układów połączeń,
- c) właściwie interpretować obowiązujące przepisy i normy budowy i eksploatacji układu energetycznego,
- d) analizować możliwość powstawania przeszkód w pracy zakładu, spowodowanych zakłóceniem pracy układu elektroenergetycznego,
- e) stosować ostatnie zdobycze postępu technicznego,
- f) uniezależniać projekt ostateczny od chwilowych potrzeb zakładu.

Jeśli przeanalizujemy tok pracy poszczególnych komórek zatwierdzających dokumentację techniczną, począwszy od komisji weryfikacyjnych, a skończywszy na komisjach oceny projektów inwestycyjnych, to zauważymy, że sprawa gospodarczego uzasadnienia przyjętej koncepcji nie jest jeszcze ostatecznie rozwiązana.

Sprawy oszczędności metali nieżelaznych są niedoocniane, a niejednokrotnie spychane na plan drugi. Każdy z projektujących stara się stworzyć z obiektu przezeń projektowanego (sieć elektroenergetyczna) układ najprostszy w obsłudze, najbardziej pewny w ruchu, lecz nie zawsze zwraca dostateczną uwagę na wybór rozwiązania najtańszego i najoszczędniejszego pod względem zużycia metali nieżelaznych.

Projektujący powinien pamiętać, że jest przede wszystkim technikiem, ale działalność jego nie ogranicza się tylko do technicznej strony zagadnienia. Udoskonalając metody pracy i unowocześniając podstawy projektowania, należy poddawać rewizji bardzo konserwatywne niekiedy

poglądy — nie zawsze oparte na doświadczeniu, a przeważnie na przyzwyczajeniu — w których wyniku przewiduje się zbyt duże rezerwy kablowe dla zapewnienia ciągłości ruchu. Do zagadnienia tego należy podchodzić ze zrozumieniem udziału projektodawcy w zaoszczędzeniu dla gospodarki narodowej bardzo cennych metali nieżelaznych — miedzi, aluminium i ołowiu.

Wybór systemu rozsyłu energii elektrycznej tak na wysokim, jak i na niskim napięciu, winien następować po rozpatrzeniu co najmniej dwu, a dla dużych zakładów i większej liczby rozwiązań alternatywnych.

Opieranie się na jednej „bezbłędnie” opracowanej alternatywie doprowadzić może do zbyt kosztownych, a niejednokrotnie zbędnych wydatków, jak również do nadmiernego zużycia cennych i jednocześnie deficytowych metali nieżelaznych.

Rozpatrując poszczególne projekty, zauważymy często niewłaściwie interpretowany podział odbiorników na grupy pod względem ważności w zasilaniu, co specjalnie jaszkrawo występuje w przemyśle metalowym i elektrotechnicznym, gdzie w większości przypadków suma mocy odbiorników I kategorii nie przekracza 10% mocy zainstalowanej.

Ta mała procentowo moc odbiorników I kategorii, spotykana w zakładach przemysłu metalowego, niejednokrotnie decyduje o systemie i wielkości rezerw na niskim napięciu, pociągając za sobą 50-procentową, a nawet i większą rezerwę w przekrojach kablowych niskiego napięcia.

Analizując zakłócenia w ruchu zakładu, powstające wskutek uszkodzeń sieci elektroenergetycznych, musimy przede wszystkim rozpatrzyć zjawisko wtórne, tj. straty w produkcji lub w materiałach czy też urządzeniach. Wielkość możliwych strat decyduje o wielkości potrzebnych rezerw. W przemyśle metalowym i elektrotechnicznym, gdzie wskutek przerwania procesu technologicznego powstaje zniszczenie surowca lub półproduktu ze względu na niepowtarzalność obróbki, decydujące znaczenie mają na ogół straty materiałowe.

W przemyśle maszynowym na ogół nie występują uszkodzenia aparatury lub niebezpieczeństwo życia załogi zakładu (częściej występujące np. w przemysłach chemicznym, hutniczym i inn.), tu przeto można znacznie zmniejszyć rezerwy, a więc zmniejszyć zapotrzebowanie metali nieżelaznych.

Zmniejszenie rezerw w zasilaniu odbija się w pewnym stopniu na przejrzystości i regularności układów elektroenergetycznej sieci zakładowej, co, oczywiście, stawia przed załogą działów energetycznych konieczność usprawnienia pracy brygad naprawczych, pozostawiającej w jednym zakładzie wiele do życzenia.

W dyskusjach, prowadzonych w komisjach technicznych i weryfikacyjnych, w radach technicznych i komisjach oceny projektów inwestycyjnych, niejednokrotnie — jako uzasadnienie układu, zaprojektowanego bogato tak pod względem wyposażenia aparaturowego, jak i rezerw kablowych — podawano fakt częstych uszkodzeń w liniach kablowych, punktach rozdzielczych itp.

Sprawa ta nie jest jednak, jak się zdaje, do głębi zbadać; w większości wypadków opierano się jedynie na doświadczeniu projektujących, a nie na analizie danych statystycznych, których brak odczuwa się.

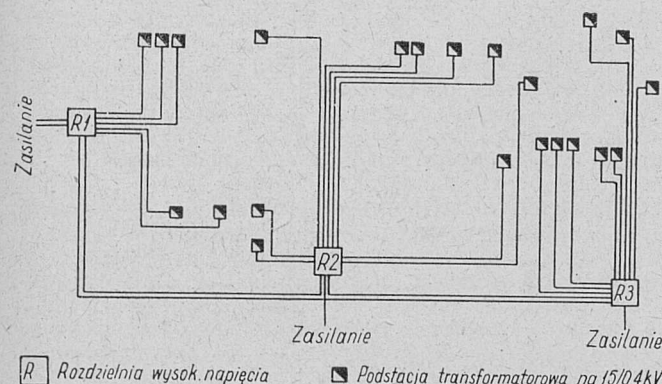
Wiadomo, że są instytucje, zajmujące się gromadzeniem materiałów i danych statystycznych o zakłóceniach w pracy przemysłowych urządzeń elektroenergetycznych. Opracowanie i udostępnienie zainteresowanym biurom projektowym tych danych pomoże projektującym i nie-

jednokrotnie przekona ich o słuszności odstąpienia od układów powszechnie dotychczas stosowanych (sieć promieniowa wysokiego napięcia wraz z rezerwami na niskim napięciu) — bardzo pewnych w dostawie energii, lecz kosztownych i rozrzutnych pod względem zużycia metali nieżelaznych.

Oparcie się na analizie statystyki wypadków zakłócenia ruchu umożliwi przejście do układów bardziej ekonomicznie uzasadnionych.

Zasada oszczędnego projektowania winna wejść w życie codzienne biur projektowych i nie może być ogólnie przyjętą sztywną formułą, powtarzającą się w każdym projekcie.

Oszczędności realne można osiągnąć tylko na podstawie analizy techniczno-ekonomicznej. Na poparcie tego



Rys. 1. Układ promieniowy

W obu przypadkach zastosowano następujące przekroje: a) Zasilanie kablami $3 \times 120 \text{ mm}^2$. b) Sieć kablowa wewnętrzna $3 \times 70 \text{ mm}^2$.

Alternatywa pierwsza. W projekcie przyjęto układ sieci elektroenergetycznej wysokiego napięcia promieniowy z rezerwą w kablach niskiego napięcia (rys. 1). Przekrój kabli w. n. wyznaczony przez wielkość prądów zwarciovych.

Srednia gęstość prądu w kablach w. n. $0,28 \text{ A/mm}^2$.

Długość linii kablowych w. n. $12\,700 \text{ m}$.

Zużycie ołowiu $38\,000 \text{ kg}$.

Zużycie aluminium $9\,000 \text{ kg}$.

Alternatywa druga. Układ sieci elektroenergetycznej szeregowy (rys. 2). Przekrój kabli w. n. wyznaczony przez wielkość prądów zwarciovych.

Srednia gęstość prądu w kablach w. n. $1,2 \text{ A/mm}^2$.

Srednia gęstość prądu w kablach w. n. w wypadku zakłócenia pracy $1,7 \text{ A/mm}^2$.

Długość linii kablowych w. n. $5\,340 \text{ m}$.

Zużycie ołowiu $14\,600 \text{ kg}$.

Zużycie aluminium $3\,000 \text{ kg}$.

Warunki techniczne dla obu alternatyw były te same. Warunki eksploatacyjne są w alternatywie I lepsze, w alternatywie II osiągnięto większą pewność ruchu w razie uszkodzeń.

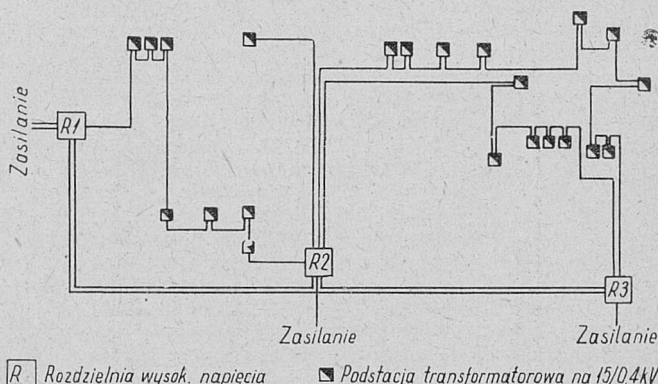
Z porównania wynika, że w alternatywie II osiąga się w porównaniu z alternatywą I następujące oszczędności, które mówią same za siebie:

kabla $7\,360 \text{ m}$,

ołowiu $23\,400 \text{ kg}$,

aluminium $6\,000 \text{ kg}$.

Wynik ten uzyskano przy szczególnej konfiguracji sieci elektroenergetycznej zakładu, niemniej jednak jest to



Rys. 2. Układ szeregowy

Wnioski

przykład typowy dla dużych nowobudujących się obecnie zakładów przemysłowych.

Wnioski

a) Projekty wstępne elektroenergetyki zakładów przemysłowych należy opracowywać co najmniej w dwóch wariantach.

b) Analiza techniczno-gospodarcza powinna być nieodłączną częścią projektu.

c) Projektujący winien zwracać baczną uwagę na oszczędną gospodarkę metalami nieżelaznymi, przede wszystkim miedzią, aluminium i ołowiem.

d) Konieczne jest opracowanie przez komórki kompetentne wytycznych do projektowania sieci elektroenergetycznych zakładów przemysłowych z punktu widzenia właściwej gospodarki materiałami deficytowymi.

e) Konieczne jest opracowanie i rozpowszechnienie danych statystycznych o zakłóceniach w ruchu sieci elektroenergetycznych zakładów przemysłowych (z rozbiorem na poszczególne elementy sieci rozdzielczych).

INŻ. M. ŻMIJEWSKI

Zasilanie odgórne hal fabrycznych liniami szynowymi jako środek oszczędzania metali nieżelaznych

725.4:621.316.351:669.011.9.003

Treść. Korzystne strony instalacji odgórnej szynowej, polegające na zmniejszeniu zużycia metali nieżelaznych i na łatwości dostosowania sieci do zmiennego procesu technologicznego.

Верхнее питание заводских помещений при помощи шинной проводки, как средство сбережения нежелезных металлов. Выгодные стороны установки с верхней шиной, заключающиеся в уменьшении расхода нежелезных металлов и легкости приспособления питательной проводки к меняющемуся технологическому процессу.

Overhead current supply in production shops by means of conductor rails, as a means of economising non-ferrous metals. Advantageous features of overhead conductor rails — reduced quantity of non-ferrous metals required and ready adaptability of supply systems to a variable technological process.

System odgórniego zasilania liniami szynowymi został zastosowany w ostatnich czasach z wielkim powodzeniem w ZSRR. Okazał się on szczególnie korzystny przy zasilaniu energią elektryczną hal fabrycznych przemysłu metalowego, gdzie wskutek wprowadzanych przegrupowań i ulepszeń produkcji występują zmiany w rozmieszczeniu poszczególnych odbiorów.

Przy stosowaniu odgórniego zasilania otrzymujemy duże oszczędności w zużyciu metali kolorowych: miedzi, aluminium i ołowiu. Oszczędność miedzi i aluminium stała się możliwa dzięki zastosowaniu w liniach szynowych stali

jako materiału przewodzącego, a ponadto przy zastosowaniu linii szynowych nie zużywa się wcale ołowiu, który jest używany do budowy kabli.

Stosowane powszechnie systemy zasilania — tzw. promieniowy i szeregowo-promieniowy — okazały się przy występujących w niektórych przemysłach co pewien czas zmianach asortymentu produkcji bardzo niekorzystne. Systemy te polegały na zasilaniu odbiorów kablami ułożonymi w kanałach. Kable łączyły promienisto główną tablicę rozdzielczą z tablicami obwodowymi, do których były przyłączone obwody poszczególnych odbiorników. Obwody

wyniku zmian technologii. Linie szynowe systemu elastycznego obliczone są na prądy, wynikające z największego obciążenia, obliczonego przy pomocy wskaźników na podstawie wielkości powierzchni zasilanego obiektu. W praktyce linie szynowe będą przeważnie niedociążone. W systemie elastycznym tylko linia szynowa główna jest zmontowana na stałe, inne — przyłączone do niej — nie mają stałych tras, a możliwość łatwego ich przewieszania przy przestawianiu odbiorników na inne miejsce zabezpiecza od dłuższych przerw w produkcji.

System uniwersalny polega na stosowaniu połączonych elementów szynowych, przymocowanych na stałe do konstrukcji nośnej hali produkcyjnej. W systemie tym występują zwykle dwa rodzaje linii szynowych: linie szynowe główne — zasilające i linie szynowe rozdzielcze.

Linie szynowe główne stosuje się w częściach hali o większych skupiskach odbiorów. Linie te mogą być zasilane z jednej lub kilku podstacji, znajdujących się na trasie ich przebiegu. Przy dwóch lub więcej podstacjach szyny dzieli się na sekcje, których liczba jest równa liczbie podstacji. Poszczególne sekcje łączy się ze sobą odłącznikami, umożliwiającymi zasilanie całego układu szyn z mniejszej liczby podstacji w wypadku uszkodzenia jednej z podstacji lub zmniejszenia zapotrzebowania energii.

Linie rozdzielcze typu uniwersalnego przymocowane są, jak wspomniano, na stałe do konstrukcji hali w przeciwnieństwie do linii elastycznych. W obudowie tych szyn z dwóch stron znajdują się otwory, umożliwiające przyłączanie poszczególnych obwodów. Przyłączanie odbywa się za pomocą skrzynek, w których oprócz uchwyty przyłączowych znajdują się bezpieczniki, chroniące te obwody. Zwykle wykorzystana jest tylko część otworów przyłączowych. Liczba ich jest przewidziana dla największego zagrożenia odbiorów w hali produkcyjnej.

Linie szynowe rozdzielcze przyłączane są do linii głównej giętkimi przewodami przez skrzynki bezpiecznikowe, zawieszane przeważnie na konstrukcji hali.

Na rys. 1 i 2 zestawione są porównawczo różne sposoby rozprowadzania energii elektrycznej w tej samej hali fabrycznej o trzech podstacjach zasilających. Rys. 1 przedstawia zasilanie siecią kablową systemu promieniowo-szeregowego, rys. 2 — zasilanie przy pomocy górnej sieci szynowej systemu uniwersalnego. Zestawienie obu systemów zasilania zostało dokonane dla wykazania oszczędności metali kolorowych, w naszym przypadku aluminium i ołowiu, przy zasilaniu odgórnym liniami szynowymi.

Sieć zasilająca systemu promieniowo-szeregowego wykonana jest kablami aluminium w kanałach. Rozdział energii odbywa się na tablicach systemu okapturzonego, do których przyłączone są poszczególne obwody odbiorcze nie pokazane na rysunku. Sieć zasilana jest napięciem 380/220 V z trzech podstacji, zawierających transformatory i rozdzielnie główne niskiego napięcia.

Wszystkie trzy rozdzielnie główne niskiego napięcia połączone są kablami rezerwowymi.

Na rys. 2 widzimy zasilanie liniami szynowymi. Linia szynowa główna, której trasa ma kształt litery U, jest wykonana z szyn aluminium. Pozostałe linie szynowe rozdzielcze typu uniwersalnego, zasilane z linii szynowej głównej, wykonane są ze stali. Obwody odbiorników przyłączone do linii szynowych rozdzielczych nie są pokazane na rysunku. Linie szynowe główne i rozdzielcze przymocowane są za pomocą uchwyty do konstrukcji hali szwedzkiej na wysokości 4 m.

Moc zainstalowanych odbiorników silnikowych w całej hali wynosi około 4000 kW. Moc czynna — po uwzględnieniu współczynników zapotrzebowania poszczególnych grup odbiorów — wynosi dla całej hali około 1700 kW.

Zestawienie materiałowe wykazało, że przy zasilaniu siecią kablową w układzie promieniowo-szeregowym zużyto 1566 kg aluminium i 3340 kg ołowiu, przy wykonaniu sieci liniami szynowymi zużyto 967 kg aluminium, a więc w tym drugim rozwiązaniu zaoszczędzono około 600 kg aluminium i 3340 kg ołowiu. W systemie szynowym zużycie stali wzrosło.

Podsumujmy główne zalety i wady zasilania odgórnego.

Zalety. 1. Istnieje możliwość zasilania odbiorników przy dowolnym ich ustawieniu bez konieczności wymiany sieci zasilającej, a zatem bez strat materiałowych.

2. Instalacja szynowa jest tańsza od instalacji kablowej z tablicami rozdzielczymi.

3. Przy instalacji szynowej dzięki wprowadzeniu szyn stalowych otrzymujemy w porównaniu z instalacją kablową mniejsze zużycie miedzi i aluminium oraz całkowitą eliminację ołowiu.

4. Unika się budowy kanałów kablowych.

Wady. 1. Powstanie mało estetycznej sieci szynowej na wysokości około 4 m nad posadzką.

2. Większe zużycie stali niż w przypadku linii kablowych.

3. Trudności założenia linii w wysokich halach.

4. Trudność jednoczesnej pracy linii szynowych i suwnic.

5. Możliwość uszkodzenia linii.

Linii szynowych nie opłaca się stosować przy rzadko rozstawionych odbiornikach małej mocy. Zasilanie odgórne liniami szynowymi jest u nas w kraju dopiero wprowadzane. Pierwsze linie szynowe zastosowano w kilku większych zakładach przemysłowych. Użyte tam szyny zostały wykonane systemem warsztatowym. W niedalekiej przyszłości, po wybraniu najbardziej dogodnego typu szyn, będą one produkowane przez państwowy przemysł elektrotechniczny jako elementy typowe.

LITERATURA

Podręcznik Inżyniera-Elektryka. Kobosko E. Instalacje elektryczne. Woronow i Łowcki. Projektowanie siłowego elektroobudowania promysłennych przedpiatij. M u k o s i e j e w. Woprosy elektrosnabżenja promysłennych przedpiatij.

OLGIERD WOŁCZEK

Stosy atomowe i możliwości zastosowania ich do wytwarzania energii elektrycznej

621.384:621.4:621.165

Treść. Stosy (reaktory) atomowe są na razie jedynymi urządzeniami umożliwiającymi praktyczne wyzyskanie energii atomowej, otrzymywanej w tzw. łańcuchowej reakcji rozszczepienia jąder uranu. Znaczna ilość energii atomowej przekształca się w reaktorach w ciepło, które można wyzyskać do napędu turbin.

Атомные котлы и возможности применения их для производства электрической энергии. Атомные котлы являются покамест единственными устройствами, дающими практическую возможность использования атомной энергии, получаемой в так называемой цепной реакции распада ядер урана. Значительная часть атомной энергии превращается в тепло, которое может быть использовано в паровых турбинах.

Nuclear reactors and opportunities for employing them for the generation of electrical energy. Nuclear reactors (atomic piles) are, for the time being, the sole means of making practical use of atomic energy obtained from so-called chain reaction of nuclear fission of uranium. These reactors transform considerable quantities of atomic energy into heat which can be made use of for driving turbines.

Reakcja rozszczepienia. Stosy atomowe, zwane inaczej reaktorami atomowymi, stanowią, jak dotąd, jedyne urządzenie umożliwiające wyzyskanie energii jądrowej (zwanej powszechnie „energją atomową”). Ograniczając tutaj rozważania teoretyczne do niezbędnego minimum, zwrócimy uwagę głównie na stronę praktyczną zagadnienia¹⁾.

Jądra atomowe pod wpływem bombardowania przez różne cząstki, jak neutrony, protony, heliony, mogą ulec rozszczepieniu. Jądro trafione pociskiem zostaje pobudzone tak silnie, że zaczyna drgać i rozrywa się, pękając na dwie części, posiadające na ogół masy tego samego rzędu wielkości.

Rozszczepieniu najłatwiej ulegają jądra ciężkie, jak uran, pluton i inne. Pociskiem najbardziej odpowiednim do wywołania pęknięcia jest neutron, który wobec braku ładunku elektrycznego bez przeszkód wnika do wnętrza

¹⁾ Podstawowe wiadomości o energii jądra i o samych stosach czytelniczy znajdują w artykule prof. Szcz. Szczeniowskiego pod tyt. Energia atomowa (Przegl. Elektr., 1947, z. 5/6, str. 131 oraz zesz. 7/8, str. 210).

dotąd naładowanych jąder. Reakcji rozszczepienia może towarzyszyć pochłanianie lub wydzielanie energii. Oczywiście, nas tu interesuje jedynie proces drugiego typu.

Jedynym egzoenergetycznie rozszczepialnym pierwiastkiem w przyrodzie jest uran, występujący w postaci trzech izotopów, różniących się masami: $^{238}_{92}\text{U}$ (99,3%), $^{235}_{92}\text{U}$ (0,7%), $^{234}_{92}\text{U}$ (0,005%). Jako materiał rozszczepialny wchodzi w grę jedynie $^{235}_{92}\text{U}$ i $^{238}_{92}\text{U}$. Oba te izotopy zachowują się różnie wobec neutronów o rozmaitych prędkościach (rys. 1). Izotop $^{238}_{92}\text{U}$ pęka jedynie pod wpływem neutronów szybkich. Natomiast $^{235}_{92}\text{U}$ ulega rozszczepieniu przy zderzeniu z wszelkimi neutronami, lecz prawdopodobieństwo występowania tej reakcji wzrasta, gdy prędkość neutronów maleje.

Przy rozszczepieniu uranu wyzwala się ogromna energia. Pękanie wszystkich jąder zawartych w 1 kg tego pierwiastka spowodowałoby wyzwolenie $1,7 \cdot 10^{10}$ kcal, co jest równoważne $20 \cdot 10^6$ kWh. Znaczy to, że 1 kg uranu może dostarczyć tyleż ciepła, co 2430 ton węgla umownego o wartości opałowej 7000 kcal/kg.

Fakt ten ma doniosłe znaczenie ekonomiczne. Wobec zawartości tak wielkiej energii w znikomej stosunkowo

Neutrony	$^{238}_{92}\text{U}$			$^{235}_{92}\text{U}$	
Szybkie					
0 prędkościach średnich					
Powolne					

Rys. 1. Zachowanie się $^{238}_{92}\text{U}$ i $^{235}_{92}\text{U}$ przy bombardowaniu neutronami

1 — zderzenia sprężyste 3 — pochłonięcie neutronu
2 — zderzenia niesprężyste 4 — rozszczepienie

masie „paliwo” uranowe — przy braku barier taryfowych i sztucznej kontroli cen — powinno mieć jednakową cenę we wszystkich miejscach na kuli ziemskiej.

Reakcja łańcuchowa. Przy każdym rozszczepieniu jąder, a zwłaszcza jąder uranu, wyzwala się neutrony i np. reakcji pękania jednego jądra $^{235}_{92}\text{U}$ towarzyszy wysłanie średnio 2,5 neutronów. Te neutrony — trafiając w inne jądra — mogą spowodować ich rozszczepienie, wyzwolone zaś przy tym neutrony mogą wywołać rozszczepienie dalszych jąder itd. Taki przebieg reakcji pękania jąder nazywa się reakcją łańcuchową. Mogłoby się wydawać, że do jej spowodowania wystarcza jedynie uran i źródło neutronów do zapoczątkowania procesu. Tak jednak nie jest, gdyż tylko część neutronów spowoduje rozszczepienie jąder, reszta zostanie pochłonięta przez izotop $^{238}_{92}\text{U}$ lub ujdzie na zewnątrz bryły uranu nie wywoławszy pęknięcia żadnego jądra (rys. 1).

Wprawdzie przez odpowiednie zwiększenie bryły uranu można stworzyć warunki, w których będzie bardzo małe prawdopodobieństwo, że neutron ujdzie na zewnątrz bryły nie zderzając się z jądrem. Jednakże i wtedy nie będzie warunków do powstania reakcji łańcuchowej nawet przy dowolnie wielkiej bryle uranu. Wyzwolone bowiem przy pękaniu jąder uranu neutrony mają zbyt małe prędkości, aby mogły wywołać rozszczepienie jądra $^{238}_{92}\text{U}$. Mogą one wprawdzie wywołać pękanie jąder izotopu $^{235}_{92}\text{U}$, które tym łatwiej pękają, im wolniejsze są zderzające z nimi neutrony, ale tego izotopu jest w bryle tylko 0,7%. Natomiast jądra $^{238}_{92}\text{U}$ wychwytyują szczególnie łatwo neutrony o średnich prędkościach. Mimo zatem zmniejszenia

ucieczki na zewnątrz reakcja zamiera wskutek strat wyłapywanych przez $^{238}_{92}\text{U}$ neutronów.

Zaradzić temu można dwiema drogami: a) przez takie wzbogacenie uranu w jego izotop $^{235}_{92}\text{U}$, że pochłanianie neutronów przez $^{238}_{92}\text{U}$ nie będzie odgrywało poważniejszej roli, b) przez zwolnienie biegu neutronów tak, że osiągną one małe prędkości, nim zostaną wychwycone przez jądra $^{238}_{92}\text{U}$.

Pierwsza droga jest bardzo trudna do realizacji, ponieważ rozdzielanie izotopów uranu stanowi niesłychanie skomplikowany problem techniczny, rozwiązany nakładem ogromnych kosztów zaledwie przed kilku laty. Znacznie prostsze i ekonomiczniejsze jest natomiast drugie wyjście.

Teoria i doświadczenie wykazują, że zwolnienia neutronów dokonać można przez zderzenia z jądrami atomowymi. Hamowanie neutronów jest najskuteczniejsze przy ich dyfuzji przez materiał złożony z jąder o porównywalnej masie. Najlepszym zatem moderatorem jest wodór. Do niezłych moderatorów należy również beryl, a zwłaszcza tani i łatwo dostępny grafit.

Realizacja reakcji łańcuchowej wymaga zatem skonstruowania bryły moderatora, w której rozmieści się kawałki uranu w postaci odpowiedniej siatki. W układzie tym neutrony wyzwolone przy rozszczepieniu jąder uranu wnikały do moderatora i wychodzą z niego z tak małymi prędkościami, że wywołać mogą jedynie pękanie nowych jąder $^{235}_{92}\text{U}$.

Ze względu na koszty trzeba rozmiary opisanej konstrukcji zmniejszyć do minimum. Należy jednak pamiętać o ucieczce neutronów, która szybko wzrasta, gdy wielkość konstrukcji maleje. Aby tej ucieczce zapobiec, otacza się układ warstwą moderatora, który działa wtedy jako zwierciadło, odbijając dużą ilość neutronów z powrotem ku wnętrzu urządzenia.

Opisaną konstrukcję zrealizowano w praktyce i przewidywania teoretyczne potwierdziły się w pełni. Układ ten nazwano właśnie reaktorem albo stosem atomowym.

Do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej nie jest potrzebne żadne zewnętrzne źródło neutronów. Dwaj uczeni radzieccy — Florow i Pietrzak — wykazali, że jądra uranu ulegają czasami samorzutnemu rozszczepieniu wskutek dość silnego działania odpychającego sił kulombowskich (występujących między protonami w jądrze). Prócz tego niektóre jądra uranu pękają pod wpływem zderzeń z neutronami, towarzyszącymi promieniowaniu kosmicznemu. Dlatego w dostatecznie dużej masie uranu, poprowadzonej i otoczonej przez moderator, reakcja łańcuchowa zapoczątkowuje się sama. Gdyby jednak pozwolić na swobodny rozwój reakcji, przebieg jej stałby się lawinowy, a wyzwolona przy tym energia spowodowałaby tak znaczne podwyższenie temperatury stosu, że mogłoby to wywołać jego zniszczenie. Konieczne jest zatem zastosowanie regulacji przebiegu reakcji łańcuchowej w stosie.

Najprostsze rozwiązanie stanowi umieszczenie w reaktorze tzw. sztab kontrolnych. Są to sztaby wykonane z silnie pochłaniającego neutrony materiału, jak np. kadm lub bor. Gdy znajdują się one wewnątrz stosu, to pochłaniają neutrony tak energicznie, że reakcja łańcuchowa nie może powstać. Dopiero częściowe wysunięcie sztab nazewnątrz reaktora powoduje samorzutne jej zapoczątkowanie.

Sztaby kontrolne muszą być utrzymywane w takim położeniu, aby reakcja łańcuchowa przebiegała w sposób jednostajny. Znaczy to, że liczba jąder rozszczepianych w jednostce czasu, a zatem i liczba wyzwolanych wówczas neutronów musi być wielkością stałą. Ponieważ jednak w praktyce reakcja łańcuchowa nie może przebiegać ściśle równomiernie, konieczne jest ciągłe regulowanie głębokości zanurzenia sztab kontrolnych w reaktorze w zależności od przebiegu reakcji. Jasne jest, że regulacja musi być samoczynna w zależności od wskazań odpowiedniego przyrządu, rejestrującego natężenie strumienia neutronów w reaktorze²⁾.

²⁾ Natężenie to jest proporcjonalne do liczby jąder uranu rozszczepianych w jednostce czasu, a więc stanowi wskaźnik przebiegu reakcji łańcuchowej. Przyrządem kontrolnym jest tu komora jonizacyjna na neutrony.

Niezależnie od sztab kontrolnych nad każdym reaktorem należy umieścić sztaby bezpieczeństwa również wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony. Wpadają one samoczynnie do wnętrza stosu atomowego, gdy z jakichkolwiek powodów, pomimo obecności sztab kontrolnych, reakcja łańcuchowa przebiegać zaczyna lawinowo.

Konstrukcja reaktorów atomowych. Omawiając reakcję łańcuchową przedstawiono wyżej w ogólnych zarysach zasadę działania reaktorów i ich istotne części składowe. Jednak realizacja prostego w zasadzie urządzenia napotyka tu rozmaite trudności natury praktycznej. W konstrukcji stosów wyłaniają się wyjątkowo poważne trudności w związku z osobliwymi warunkami, które towarzyszą reakcji łańcuchowej.

Przed wszystkim w reaktorach wydzielają się ogromne ilości ciepła. Nawet intensywne chłodzenie, nie zawsze z różnych względów pożądane, nie obniża temperatury do takiego poziomu, jaki wytrzyma większość dostępnych materiałów konstrukcyjnych. W nowoczesnych wielkich reaktorach panuje temperatura rzędu setek stopni.

Z drugiej strony intensywne i ustawiczne działanie promieniotwórcze we wnętrzu stosów spowoduje szkody dwójakiego rodzaju. Bombardując konstrukcję cząstki uszkadzają ją mechanicznie w bardzo szybkim tempie. Poza tym w silnym polu promieniotwórczym powstają liczne reakcje chemiczne: metale utleniają się przy dostępie powietrza, woda rozkłada się na wybuchowy gaz piorunujący, inne ciecze ulegają rozpadowi, grafit spala się na dwutlenek węgla itd. Reakcje te w podwyższonej temperaturze przebiegają ze zwiększoną prędkością.

Materiały konstrukcyjne reaktorów atomowych muszą zatem spełniać różnorakie wymagania: odznaczać się odpornością na korozję termiczną, chemiczną i promieniotwórczą, a oprócz tego posiadać, oczywiście, bardzo mały współczynnik absorpcji neutronów, zbyt silne bowiem pochłanianie neutronów przez substancje znajdujące się wewnątrz stosu uniemożliwia w ogóle jego działanie. Z tych powodów żelazo, stal, miedź, nikiel, chrom itd. raczej nie nadają się na materiały konstrukcyjne. Większe widoki przydatności mają pod tym względem krzem i magnez.

Zasadnicze elementy składowe samego reaktora można podzielić na kilka grup:

- 1) główne części stosu: a) materiał rozszczepialny (uran), b) moderator, c) zwierciadło;
- 2) układ kontrolny stosu: a) wykrywacze (mierniki reakcji łańcuchowej), b) sztaby kontrolne z samoczynnym sterowaniem, c) sztaby bezpieczeństwa z samoczynnym sterowaniem, d) termometry;
- 3) układ chłodzący: a) kanały chłodzące, b) substancja chłodząca, c) mierniki przepływu, temperatury, ciśnienia, promieniotwórczości itp. substancji chłodzącej, d) pompa obiegowa, e) urządzenia pomocnicze (usuwające zanieczyszczenia itd.);
- 4) osłony (bloki betonowe, woda itp.);
- 5) wykrywacze promieniotwórczości (monitory);
- 6) inne urządzenia (kanały do naświetlania próbek itd.).

Pierwsze dwie grupy elementów składowych reaktora już omówiono wyżej. Układ chłodzący stanowi osobny problem, ze względu bowiem na ogromne ilości ciepła, wydzielające się w stosie prawie zawsze, trzeba je z zasady odbierać, choć nie zawsze potrafimy ciepło to praktycznie wyzyskać. Substancja chłodząca musi odnaczać się tymi wszystkimi cechami, co i materiały konstrukcyjne reaktora, a oprócz tego być dobrym przenośnikiem ciepła. Dotychczas często stosowano tu powietrze lub wodę, chociaż mają one wiele wad. Jednakże są one bardzo tanie, znane są doskonale ich własności i łatwo można je rozcieńczyć po napromienieniu w stosie (atmosfera, rzeki). Obecnie do chłodzenia coraz częściej stosuje się metale ciekłe (rtęć, być może bizmut i sód), ponieważ ich własności najbardziej zbliżone są do ideału. Z drugiej strony zastosowanie ich umożliwia pracę reaktorów nawet w temperaturach rzędu setek stopni, co przy praktycznym wyzyskaniu energii jądrowej ma duże znaczenie.

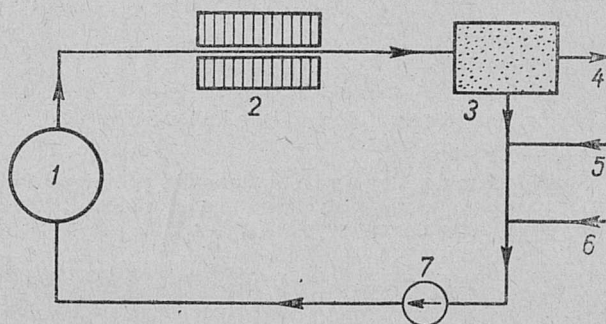
Intensywne promieniowanie stosów zmusiło konstruktorów do ogrodzenia ich specjalnymi osłonami. Zasadniczo są to 10-centymetrowe ściany ołowiane otoczone wielkimi blokami betonowymi o grubości rzędu dwu i więcej metrów. Tak grube warstwy materiału izolującego umożliwiają bezpieczne poruszanie się ludzi wokół reaktorów.

Nad bezpieczeństwem i zdrowiem obsługi czuwają specjalne wykrywacze (monitory) promieniowania, rozmieszczone zarówno we wnętrzu, jak i na zewnątrz stosów. Sygnalizują one od razu (dźwiękiem i światłem) stan krytyczny (w przypadku zakłócenia ruchu), umożliwiając natychmiastowe przedsięwzięcie odpowiednich środków zaradczych.

Typy reaktorów

Reaktory możemy podzielić na rozmaite typy w zależności od tego, z jakiego punktu widzenia rozpatruje się je. Istnieją więc np. stosy niejednorodne i jednorodne. Pierwszy typ reaktorów posłużył za przykład przy omawianiu reakcji łańcuchowej, był tam bowiem przedstawiony układ zbudowany z siatki: „moderator — materiał rozszczepialny” a więc układ niejednorodny. Tego rodzaju konstrukcja ma jednak liczne wady, wymaga bowiem wytworzenia dużej liczby oddzielnych elementów, wymaga kosztownych procesów metalurgicznych, pracy ręcznej itd.

Znacznie prostszym układem jest natomiast stos jednorodny, w którym materiał rozszczepialny wymieszany jest z moderatorem (w odpowiednim stosunku wagowym). W szczególności mowa tu może być o roztworach np. związków uranu w ciężkiej wodzie D_2O . Reaktor tego typu, zawierający główny element składowy, może nie posiadać oddzielnego układu chłodzącego, „paliwo” jądrowe bowiem



Rys. 2. Schemat reaktora jednorodnego wraz z urządzeniami pomocniczymi

- 1 — reaktor
- 2 — wymienniki ciepła
- 3 — fabryka chemiczna
- 4 — oddzielanie prod. rozszczepienia
- 5 — dopływ świeżej cieczy
- 6 — dopływ świeżego materiału rozszczepialnego
- 7 — pompa obiegowa

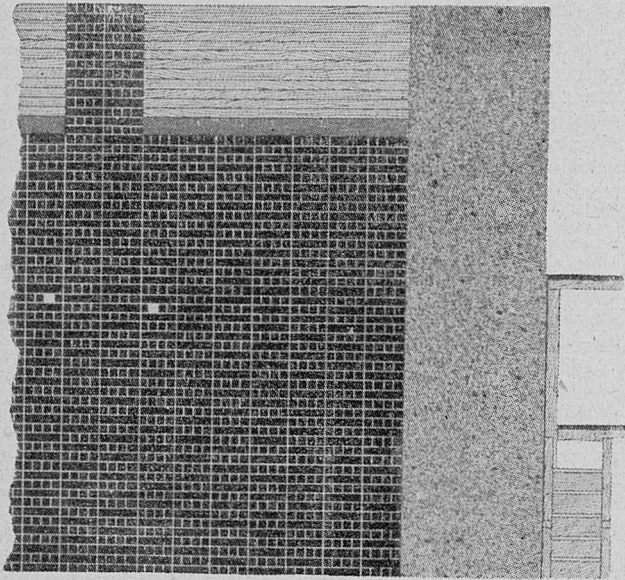
będzie przez niego nieustannie przepływać oddając energię w sąsiednich wymiennikach ciepła (rys. 2). Stos jednorodny ma przed sobą dużą przyszłość. Z uwagi na liczne jego zalety wydaje się, że typ ten stosowany będzie jako jednostka wytwarzająca w energetyce.

Inny podział reaktorów uwzględnia szybkość neutronów, wywołujących reakcję łańcuchową. Stosy uranowe wyzyskują zasadniczo neutrony powolne. Obecnie buduje się jednak również reaktory na szybkie neutrony: materiałem rozszczepialnym jest w nich jednak nie uran, lecz pluton — pierwiastek sztucznie produkowany z uranu.

Klasyfikacja reaktorów w zależności od zastosowań ma duże znaczenie praktyczne. Pierwszym typem, który należy tu wymienić, są stosy badawcze i naukowe. Buduje się je w celu stwierdzenia, czy układy tego rodzaju mogą działać, zdejmując się ich charakterystyki; reaktorów takich używa się także jako najintensywniejszego źródła neutronów (10^8 — 10^{13} neutronów/cm²·sek) oraz wytwarzania się w nich nowe substancje promieniotwórcze itp.

Specjalne stosy służą do badania materiałów do konstrukcji nowych jednostek (kontrola korozji promieniotwórczej w połączeniu z chemiczną i termiczną).

Inne typy reaktorów, największe z dotychczas budowanych, o mocach rzędu tysięcy megawatów, używane są do produkcji nowego pierwiastka — plutonu A

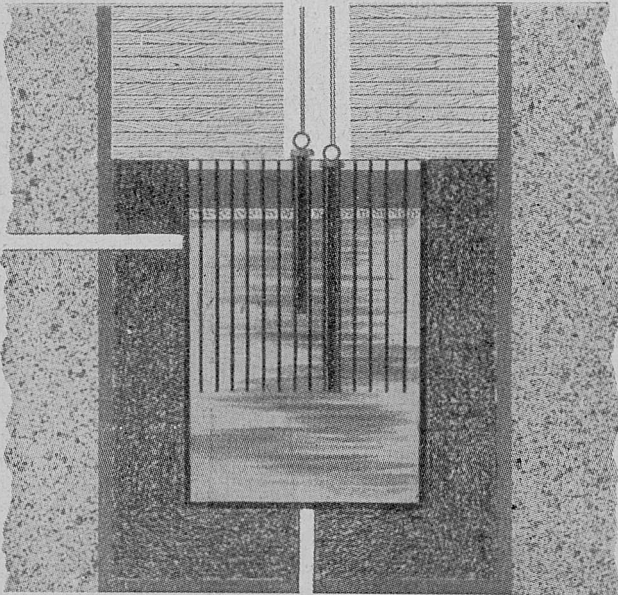


B
Rys. 3. Schemat stosu grafitowego
AB — oś symetrii

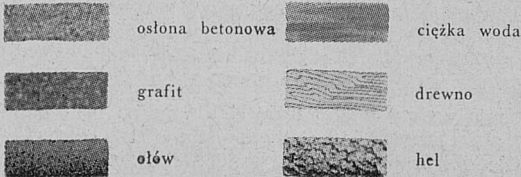


tonu $^{239}_{94}\text{Pu}$ oraz promieniotwórczego wodoru — trytu ^3_1T .

Stosy komunikacyjne stanowią prototypy lądowe jednostek energetycznych do napędu łodzi podwodnych, samolotów odrzutowych i rakiet.

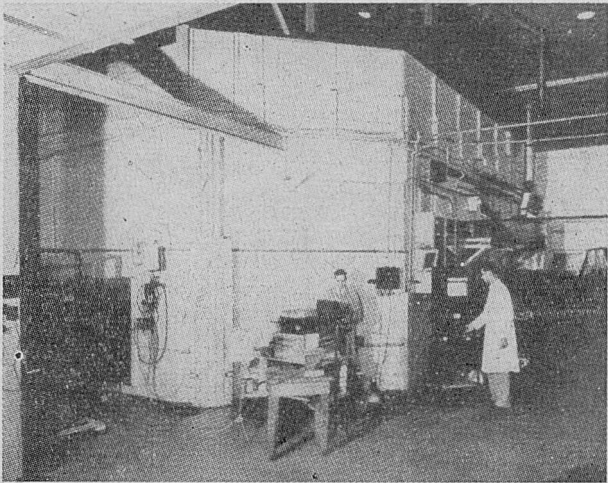


Rys. 4. Reaktor z ciężką wodą (schematycznie)



Reaktory energetyczne wreszcie — najbardziej nas tu interesujące — mają za zadanie dostarczanie ciepła w celu przekształcenia go w energię elektryczną. Przyjrzyjmy się kilku konkretnym typowym konstrukcjom stosów.

Stos grafitowy (rys. 3). Podany tu reaktor to pierwszy stos świata, uruchomiony 2 grudnia 1942 r. Ma on

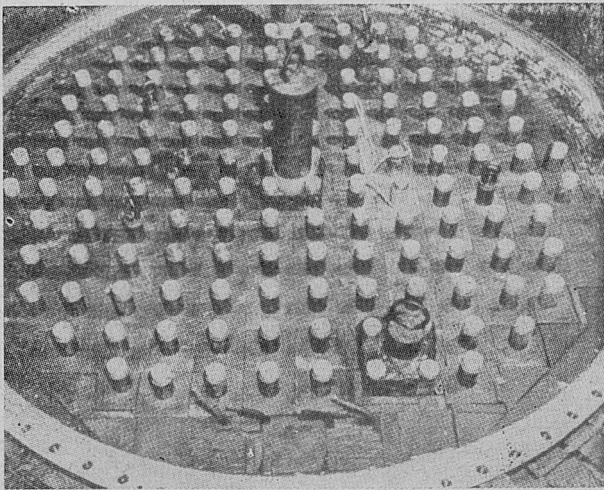


Rys. 5. Widok zewnętrzny reaktora z ciężką wodą

kształt prostopadłościanu o wymiarach $9,3\text{m} \times 10,0\text{m} \times 6,5\text{m}$. Zbudowany jest z bloków grafitowych ($10,5\text{ cm} \times 10,5\text{ cm} \times 42\text{ cm}$). Co drugi blok posiada po dwa walcowate wydrążenia, w których umieszczone są bryłki uranu, względnie dwutlenku uranu o masie około 2,5 kg. Całość otoczona jest zwierciadłem z grafitu. Jako osłony służą: 1,5-metrowa ściana betonowa, względnie 15-centymetrowa pokrywa ołowiana, na której spoczywa warstwa drewna o grubości 1,20 m. Sztaby kontrolne i bezpieczeństwa wykonane są z brązu pokrytego kadmem.

Całkowita masa uranu wraz z dwutlenkiem uranu wynosi 50 t, grafitu — około 472 t. Sam stos wraz ze wszystkimi urządzeniami waży 1 400 t.

Charakterystyczny jest brak urządzeń chłodzących ze względu na bardzo małą moc stosu (200 W).



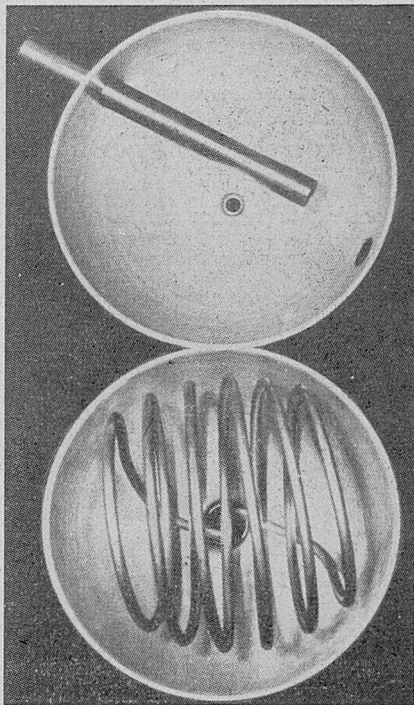
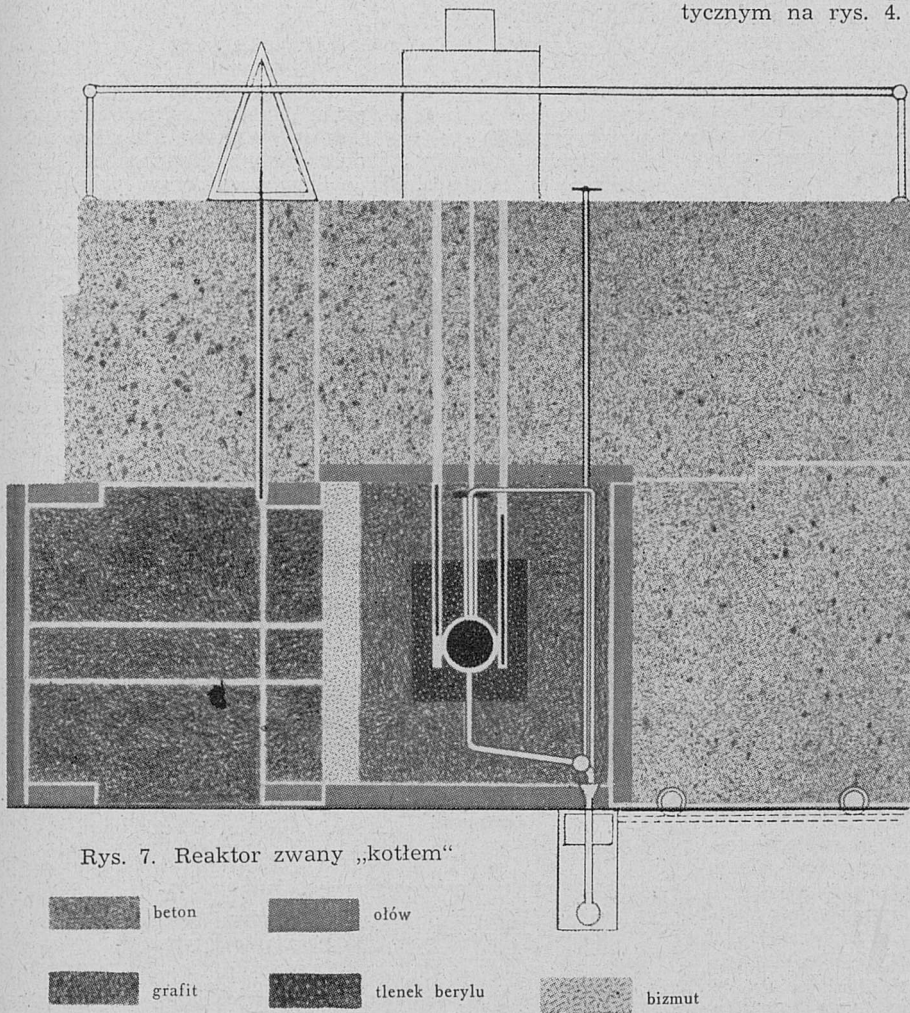
Rys. 6. Wnętrze reaktora z ciężką wodą widziane z góry

Reaktor z ciężką wodą. Jest to bardzo pospolity typ stosu. Jego konstrukcja (rys. 4) jest stosunkowo łatwa i tania (koszt rzędu kilkunastu — kilkudziesięciu milionów złotych); urządzenia tego właśnie rodzaju uruchomiono w rozmaitych krajach, m. in. pod kierownictwem Fryderyka Joliot-Curie we Francji.

Przedstawiony na rysunku reaktor posiada moc rzędu 300 kW. Jego zasadniczym elementem składowym jest zbiornik aluminiowy o średnicy około 1,8 m i wysokości 2,75 m. Zawiera on 6,5 t ciężkiej wody D₂O (moderator),

pionowo wgląd zbiornika glinowego, wykonane są z rur glinowych, pokrytych kadmem.

Na rys. 5 podano widok zewnętrzny, a na rys. 6 widok wnętrza reaktora przedstawionego w przekroju schematycznym na rys. 4. Widać pokrywę zbiornika z ciężką

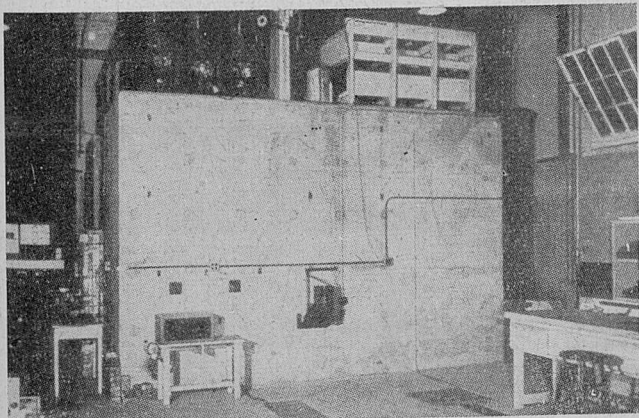


Rys. 9. Wnętrze kuli stalowej „kotła”
U góry rura do wprowadzania materiałów doświadczalnych
U dołu węzownia chłodząca

w której jest zanurzonych 120 sztab uranowych ($d=2,5$ cm, $l=185$ cm), o łącznej masie 3 t. Ciężka woda stanowi jednocześnie substancję chłodzącą, jest ona bowiem stale przepompowywana przez sąsiedni wymiennik ciepła, skąd po ochłodzeniu powraca znów do wnętrza reaktora. Zbior-

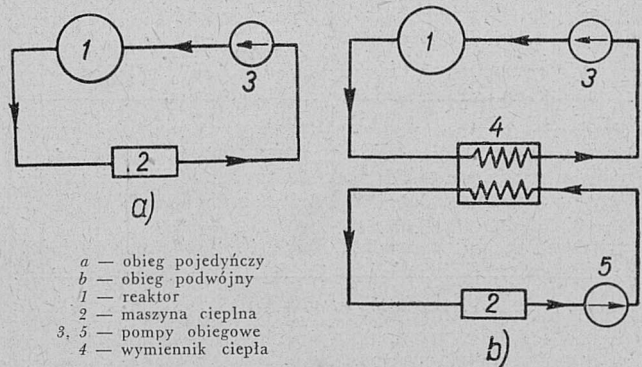
wodą, wystające przez osłonę ołowianą sztaby uranu oraz sztaby kontrolne i bezpieczeństwa.

Kocioł³⁾. Na rys. 7 pokazany jest najmniejszy i naj-
ekonomiczniejszy ze wszystkich reaktorów w przekroju
schematycznym. Rys. 8 podaje jego wygląd zewnętrzny
w osłonie betonowej. Zasadniczą część „kotła” stanowi
kulisty zbiornik stalowy, przez który przechodzi węzow-



Rys. 8. Wygląd zewnętrzny reaktora — „kotła”

nik glinowy jest otoczony zwierciadłem grafitowym o gru-
bości około 60 cm, 10-centymetrową ścianką wykonaną
ze stopu ołowiu z kadmem (silnie pochłaniającym neutro-
ny) oraz, jak zwykle, 2,5-metrową osłoną betonową. Dwie
sztaby kontrolne i dwie sztaby bezpieczeństwa, usuwane



Rys. 10. Wyzyskanie energii cieplnej reaktora w obiegach zamkniętych

nica z wodą chłodzącą (rys. 9 u dołu). W zbiorniku znaj-
duje się wodny roztwór azotanu uranylu $UO_2(NO_3)_2$, wzbo-

³⁾ Nazwa ta, nadana przez konstruktorów, utarła się jako termin nau-
kowy.

gaconego przeszło dwudziestokrotnie w izotop uranu $^{235}_{92}\text{U}$. Dlatego rozmiary krytyczne tego reaktora, przy których już następuje samorzutne zapoczątkowanie reakcji łańcuchowej, są niewielkie: sam zbiornik ma średnicę 31 cm. Z uwagi na zawartość wzbogaconego materiału nie jest potrzebny specjalny moderator, a raczej rolę jego do pewnego stopnia spełnia woda zawarta w roztworze materiału rozszczepialnego. Natomiast zwierciadło składa się z dwu warstw: pierwszą z nich stanowi bardzo skuteczny tlenek berylu BeO , drugą — grafit. Grube osłony ołowiane, bizmutowe i cementowe chronią personel przed szkodliwymi skutkami promieniowania. Całkowita szerokość reaktora wynosi 5 m, jego wysokość — około 3,25 m. W górnej części rys. 8 pokazano rurę do wprowadzania materiałów doświadczalnych.

Tablica I

Palenisko kotłowe	Reaktor
Spalanie paliwa	„Spalanie“ materiału rozszczepialnego (uranu)
Spalanie zależy od temperatury, konieczne jest przekroczenie temperatury zapłonu	Działanie reaktora zależy w pewnym stopniu od temperatury, jednakże reaktor może działać nawet w temperaturze ciekłego wodoru (około -250°C). Zapłon jest niepotrzebny, następuje samorzutne zapoczątkowanie reakcji łańcuchowej
Wydajność zależy od czystości materiałów	
Wydajność zależy od wymiarów paleniska (pojemności komory paleniskowej, powierzchni rusztów)	W układach niejednorodnych wydajność zależy od układu przestrzennego (siatki), materiału rozszczepialnego (uranu) i moderatora. W układach jednorodnych — od stężenia materiału rozszczepialnego
Wydziela produkty spalania — popiół i gazy spalinowe	Daje promieniotwórcze produkty rozszczepienia w różnych stanach skupienia oraz gazy rozkładowe
Musi być chłodzone (ekrany); urządzenie chłodzące stanowi składową część kotła	Na ogół trzeba intensywnie chłodzić
Spalanie można przerwać od razu przez przerwanie dopływu paliwa (przy palnikowych), przez wygarnięcie ognia (przy rusztowych paleniskach)	Można wygasić od razu przy pomocy sztab kontrolnych lub bezpieczeństwa
Wydajność można regulować dostosowując do potrzeb dopływ paliwa i powietrza	Moc raz zbudowanego reaktora jest stała

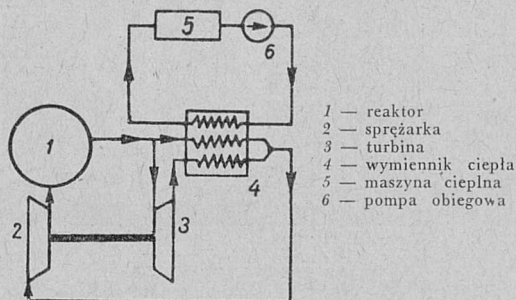
Moc kotła jest rzędu 6 kW. Jego charakterystyczną cechą jest samoczynna regulacja. Gdy bowiem reakcja łańcuchowa zaczyna przebiegać lawinowo, ciecz z materiałem rozszczepialnym pod wpływem wydzielonej energii rozgrzewa się i rozszerza. Jej aktywność właściwa (na

jednostkę objętości) zmniejsza się wtedy i reakcja łańcuchowa ulega zahamowaniu. Niezależnie od tej samoczynnej regulacji istnieje jeszcze dodatkowe zabezpieczenie: 2 sztaby kadmowe kontrolne i 1 sztaba kadmowa bezpieczeństwa.

Wyzyskanie energii cieplnej reaktorów. W tablicy I podane jest porównanie paleniska kotłowego z reaktorem. Jak widać obok pewnych różnic istnieje wiele cech wspólnych. Należy jednak pamiętać, że w przypadku „paliwa“ jądrowego można otrzymać przy stosunkowo niewielkiej konstrukcji znaczne moce. Wytworzone w stosie ciepło należy przetworzyć w energię mechaniczną, a następnie elektryczną.

Dla osiągnięcia możliwie dużych sprawności należy zapewnić temperaturę pary zasilającej turbiny parowe około 550°C , a gazów przed turbiną gazową $650-850^{\circ}\text{C}$. Zadanie to jest dość trudne, ale możliwe do pokonania, czego dowodzi uruchomienie w roku ubiegłym pierwszej elektrowni atomowej, przy czym jako czynnik chłodzący stos zastosowano ciekły metal.

Najprostszym rozwiązaniem jest użycie czynnika chłodzącego reaktor jako czynnik roboczy turbiny (rys. 10a). Wadą takiego układu jest to, że czynnik, chłodzący stos, po napromienieniu w stosie pozostaje radioaktywny, a więc dogodniejszy i bezpieczniejszy dla obsługi jest podwójny obieg zamknięty (rys. 10b). Tutaj czynnik, chłodzący stos, oddaje ciepło w wymienniku czynnikowi robocznemu tur-



Rys. 11. Wyzyskanie energii cieplnej reaktora w podwójnym obiegu zamkniętym

biny. Jedno z wielu rozwiązań pośrednich jest przedstawione na rys. 11, gdzie część czynnika chłodzącego przed wymiennikiem przechodzi przez turbinę napędzającą pompę obiegową, co nieco poprawia sprawność układu.

Wnioski końcowe. Dotychczasowe doświadczenie upoważnia do wniosku, iż otrzymywanie energii elektrycznej z jądrowej jest praktycznie możliwe. Jednocześnie rozważania ekonomiczne wykazują, że nie wykluczone jest osiągnięcie — przy jednostkach o mocy 400 MW i więcej — kosztów budowy tego samego rzędu dla elektrowni węglowych i jądrowych. W przypadku jednak dużych kosztów zwykłego paliwa i dalekiego dowozu szala przechylać się będzie na korzyść energii jądrowej. Dlatego właśnie w tym ostatnim przypadku i dla bardzo wielkich mocy należy oczekiwać budowy pierwszych siłowni jądrowych.

LITERATURA

- Goodman C. Naucznyje i techniczskie osnovy jadriornoj eniergietyki, t. I i II, Moskwa, 1948
- Fermi E. Elementarna teoria reaktorów z cennymi jadriernymi reakcjami, Usp. Fiz. Nauk, 32 [1947] 57
- Szpolski E. W. Atomnaja fizika, t. II, str. 571. Gostechizdat, Moskwa-Leningrad, 1950, II wyd.
- Ohlinger L. A. Engineering aspects of nuclear reactors. Nucleonics, 5 [1949] nr 6; 6 [1950] nr 1, 2, 3
- Joliot-Curie F. i współpracownicy, Zoë, Atomes, 4 [1949] nr 2
- Hafstad L. R. Nuclear reactors, Sci. Am., 184 [1951] nr 4, 43-50
- Szczeniowski Szcz. Energia atomowa, Przegl. Elektr., 23 [1947] 131-145, 210-220
- Szczeniowski Szcz. Zastosowania energii atomowej, PZWS, Warszawa, 1948
- Smyth H. D. Atomic energy, Princeton Un. Press. Princeton, 1945
- Blaton J. Energia jądra atomu i jej wyzyskanie, PZWS, Warszawa, 1948
- Ten years of atomic energy, Nucleonics, 8 [1951] nr 2, 3
- Vigneron L., Chastel R. L'énergie atomique, France Documentation, Paris, 1949

Urządzenia przesyłowe na napięciu trójfazowym 380 kV i przesył prądem stałym wysokiego napięcia (MKWSE, 1950 R.)

Opracował prof. WŁODZIMIERZ SZUMILIN

Wstęp

W ostatnich latach prace przy budowie urządzeń przesyłowych na 380 kV znacznie posunęły się naprzód i w roku bieżącym można oczekiwać uruchomienia pierwszych linii o tym napięciu¹⁾.

Dla czytelnika polskiego ciekawe będzie zapoznanie się nie tylko z technicznym opisem urządzeń, lecz również z kalkulacjami gospodarczymi, uzasadniającymi wybór napięcia przesyłowego 380 kV przy porównaniu kosztów przesyłu na napięciach 380 i 220 kV. W kalkulacjach tych ciekawa jest dla nas nie tyle wysokość kosztów przesyłu na tych napięciach, gdyż są to liczby zmienne i zależne od warunków rynku lokalnego, ile sama metoda kalkulacji, zastosowana przy projektowaniu budowy i eksploatacji urządzeń tego rzędu.

W Polsce mamy pierwsze urządzenia przesyłowe na 220 kV (linia Śląsk—Łódź—Warszawa). Nasuwać się może pytanie, czy dalecy jesteśmy od zastosowania w naszym kraju urządzeń przesyłowych na 380 kV. Bez kalkulacji technicznych i gospodarczych możemy powiedzieć, że na użytek wewnętrzno-krajowy napięcie 380 kV przez długie

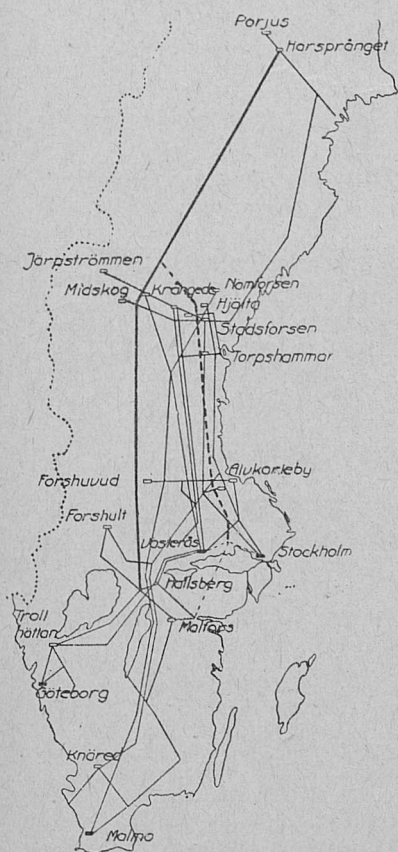
jeszcze lata byłoby za wysokie i że napięcie 220 kV w zupełności zaspokoi nasze potrzeby. Jeśli jednak zważyć, że kraj nasz posiada bogate węglowe zasoby energetyczne, które w planowej gospodarce socjalistycznej mogą być wyzyskane nie tylko w drodze racjonalnego zużytkowania ich w postaci energii elektrycznej w kraju, lecz mogą posłużyć również w tejże postaci do dalekosiężnego przesyłu eksportowego w ramach współpracy z układami energetycznymi sąsiednich zaprzyjaźnionych krajów, to może w nie tak dalekiej przyszłości okazać się, że technik i naukowiec polski będą mieli do czynienia z napięciem 380 kV²⁾.

Pomimo znacznych postępów w realizacji urządzeń przesyłowych na najwyższym napięciu prądu 3-fazowego nie jest dotychczas poniekąd sprawą przesyłu energii prądem stałym bardzo wysokiego napięcia, w szczególności w Szwecji. Zagadnienie to wciąż jeszcze nastroża liczne trudności i postępy na tym polu nie są tak imponujące, jak przy przesyłach prądem zmiennym, jednakże ostatnie słowo nie zostało tu jeszcze powiedziane.

Sieci przesyłowe o napięciu znamionowym 380 kV (1)

1. Linia przesyłowa na 380 kV.

Linia przesyłowa o napięciu znamionowym 380 kV posiada ogólną długość 954 km i jest podzielona na 2 prawie równe odcinki: Harspranget—Midskog 476 km i Midskog—Hallsberg 478 km (rys. 1).

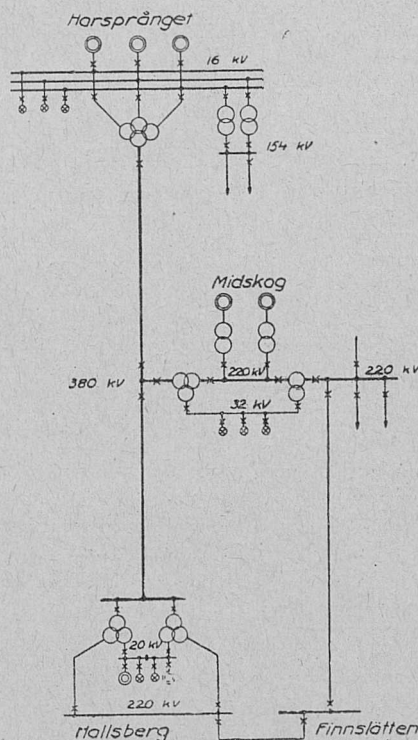


Rys. 1. Szwedzka sieć najwyższego napięcia

Linie grube — 380 kV
Linie cienkie — 220 i 132 kV (dawne)

Praca linii jest obliczona na napięcie 400 kV. Punkt zerowy układu będzie bezpośrednio uziemiony. Poziom

¹⁾ Por. W. Szumilin. Przesyłanie energii na napięciach wyższych od dotychczas stosowanych (Przegl. Elektr., 1950, z. 4/5/6, str. 141).



Rys. 2. Schemat pierwszego etapu rozbudowy sieci na 380 kV

izolacji będzie stosunkowo wysoki z uwagi na znaczne przepięcia o częstotliwości 50 Hz, które mogą powstać przy wyłączeniu jednego z krańców linii o długości rzędu 500 km. Izolacja transformatorów oraz innych elementów elektrownianych wymaga poziomu odpowiadającego klasie 1775 kV przy pełnej fali udarowej 1/50 μs; napięcie przesoku przy częstotliwości przemysłowej: na sucho 976 kV, na mokro 781 kV. Transformatory będą posiadały stopniowaną izolację. Izolacja linii będzie wytrzymywać napięcia udarowe od 1560 do 1620 kV fali dodatniej 1/50 μs, na mokro.

Zasadniczy układ przesyłowy w pierwszym etapie rozbudowy podaje rys. 2.

Łączna moc prądnic w Harspranget wynosi 290 MW. W Midskog, jako środkowym punkcie linii, nastąpi transformacja z 380 na 220 kV dla połączenia z istniejącą siecią 220-kilowoltową, przy czym przewidziana jest równoległa praca tej sieci z odcinkiem linii na 380 kV Midskog—Hallsberg.

Przewody robocze na linii będą bliźniacze: 2×31,7 mm o przekroju 2×592 mm², stalowo-aluminiowe, o rozstawie 45 cm. Słupy typu portalowego pokazane są na rys. 3.

Izolacja linii wykonana jest z zastosowaniem izolatorów trzech rodzajów, których charakterystyki podane są w tabl. I.

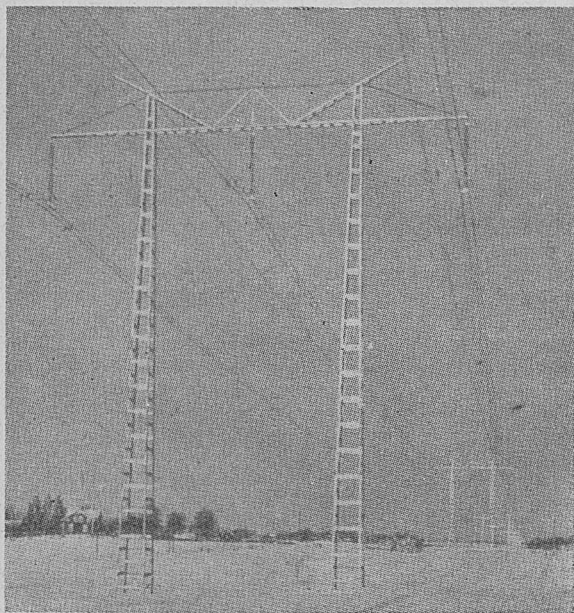
Większość słupów przelotowych jest zaopatrzona w pojedyncze łańcuchy izolatorów porcelanowych (rys. 4). Tam, gdzie występują większe obciążenia pionowe i gdzie należałoby dać podwójne łańcuchy izolatorów porcelanowych, zastosowano zamiast tego pojedyncze łańcuchy izolatorów szklanych. Słupy odporowe posiadają potrójne łańcuchy izolatorów szklanych (rys. 5). Orczyki tych łań-

cuchów wykonane ze stali spawanej, posiadają wytrzymałość mechaniczną przekraczającą 40 000 kg.

Kołpaki i trzonki izolatorów wykonane są ze stali kutej, hartowanej i odpuszczanej, a nie jak zwykle z kujej leizny.

²⁾ Pierwsze wiadomości o najświeższych projektach radzieckich przesyłania mocy rzędu 1–1,2 mln. kW liniami o długości 900–1000 km i o napięciu 400–420 kV z Kujbyszewa i Stalingradu do okręgu moskiewskiego będą podane w najbliższych zeszytach Przeglądu. — Przyp. red.

Wiszące izolatory szklane znajdują po raz pierwszy zastosowanie w Szwecji (ze względów oszczędnościowych). Poddano je bardzo ostrym próbom i nic nie wskazuje na



Rys. 3. Widok linii 380-kilowoltowej

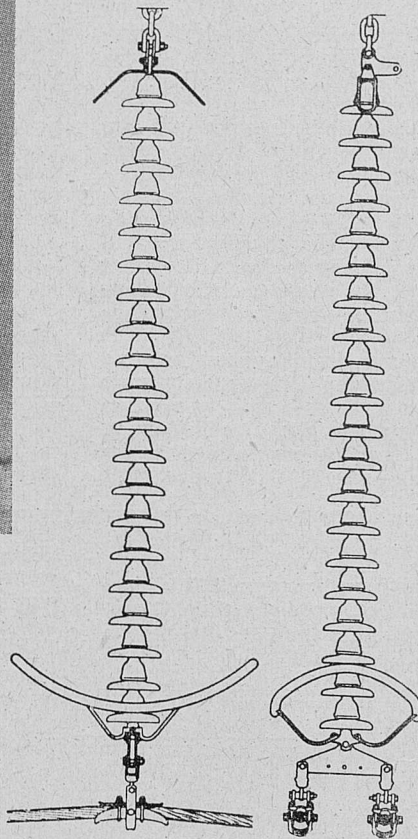
to, aby ustępowały one w jakości dobrym izolatorom porcelanowym. Jedną z charakterystycznych cech izolatora ze szkła hartowanego jest to, że pęka on całkowicie, gdy talerz izolatora ulega uszkodzeniu. Część szklana, znajdująca się wewnątrz kołpaka, również ulega pęknięciu, jednakże próby na rozciąganie z równoczesną wibracją izolatora wykazały, że fakt ten nie zmniejsza zbytnio właściwej wytrzymałości izolatora.

Dla równomierniejszego rozdziału napięcia na łańcuchu izolatorów oraz dla uniknięcia na łańcuchach przeskoków kaskadowych zastosowano części ochronne w postaci pierścieni na dole łańcucha oraz rożków u góry, co zmniejsza odległość przeskoku o 15%. Długość linii upływu każdego izolatora jest nie mniej niż 2,2 razy większa od jego wysokości. Pierścienie ochronne wykonano z rur stalowych o średnicy zewnętrznej 50 mm i grubości ścianek 1,6 mm. Rożki górne wykonano z rur stalowych o średnicy 10 mm.

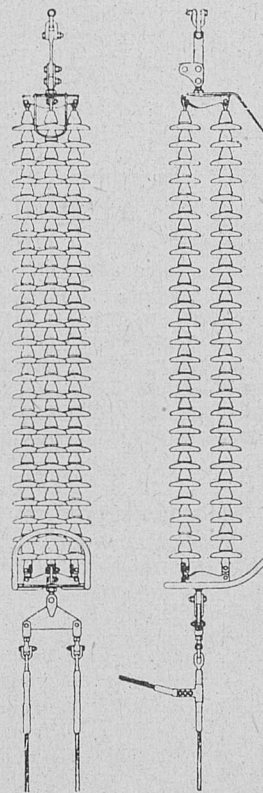
Zaciski przelotowe, z uwagi na drgania przewodów, powinny być możliwie długie i posiadać duży promień krzywizny (1 m). Powinny one mieć swobodę drgania w taki sposób, ażeby środek drgań znajdował się w środku przewodu. Rys. 6 przedstawia taki zacisk. Jest on wykonany w kształcie litery U i może w pewnych granicach podążać za

posażona w tego rodzaju zaciski przelotowe wraz z wkładkami zabezpieczającymi, nie może ulec żadnym zerwaniom, jeżeli największe napężenie przewodu stalowo-aluminiowego wynosi 6 kg/mm² przy 0°C.

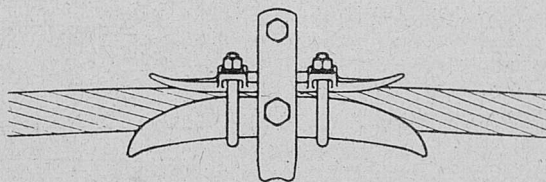
Zacisk odciągowy pokazany jest na rys. 7. Część obejmująca przewód jest wykonana z profilu aluminiowego



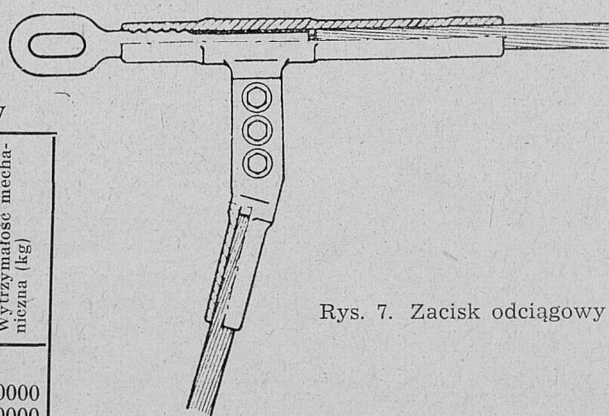
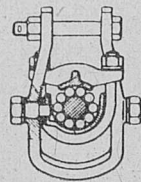
Rys. 4. Przelotowy łańcuch izolatorów



Rys. 5. Odciągowy łańcuch izolatorów



Rys. 6. Zacisk przelotowy



Rys. 7. Zacisk odciągowy

Tablica I. Typy izolatorów linii na 380 kV

Materiał	Wysokość izolatora (mm)	Średnica		Liczba izolatorów w łańcuchu	Długość przeskoku (mm)	Wytrzymałość elektryczna, fala uder. dodat. 1/50 μs na mokro (kV)	Największe obciążenie (kg)	Wytrzymałość mechaniczna (kg)
		talercza (mm)	trzonka (mm)					
Porcelana (szwedzka)	170	280	16	20	2920	1580	4000	10000
Szkło (ang.)	158	280	19	22	3010	1620	4000	10000
Porcelana (amer.)	146	254	16	23	2880	1560	5500	12000

podłużnym ruchem przewodu, co powoduje tłumienie drgania przewodów i zmniejsza napężenia w łańcuchu izolatorów. Według wykonanych doświadczeń linia, wy-

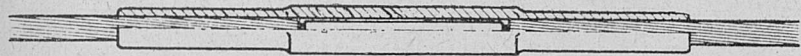
(przez przeciąganie) z przyspawaną częścią prostokątną do przyłączenia mostka na śruby.

Aluminiem użyte do wyrobu złącz jest tego samego sortymentu co do przewodów, lecz jest wyżarzane, przez co twardość jego jest o połowę mniejsza. Przy zaciskaniu złącza nie powstają przeto pęknięcia, gdyż materiał jest

plastyczny. Zaciskania tych złącz dokonuje się w kierunku od przewodu do złącza dla uniknięcia wybrzuszeń opłotu aluminiowego i osiągnięcia równomiernego rozdziału naprężeń pomiędzy stalowe i aluminiowe żyły przewodu.

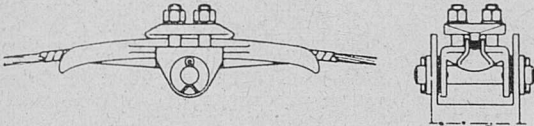
Złącze przelotowe pokazane jest na rys. 8. Zaciski dla stalowej linki odgromowej o przekroju 70 mm² pokazane są dla słupów przelotowych na rys. 9, dla słupów narożnych na rys. 10. Przewód w zaciskach jest owinięty taśmą cynkową o grubości 1 mm dla zabezpieczenia od korozji. Zaciski są wahlwe i pewne w działaniu przy naprężeniach linki nie przekraczających 15 kg/mm² przy 0°C.

Tłumiki do łagodzenia drgań przewodów (rys. 11) działają na zasadzie przemiany energii drgań przewodu na straty wskutek histerezy w kauczuku będącym pod zmien-



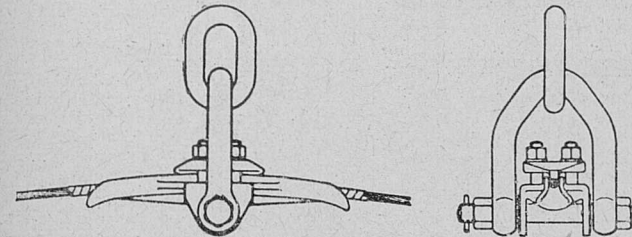
Rys. 8. Złącze przelotowe

nym ciśnieniem. Ciśnienie wytwarzają trzy ciężarki, umocowane na pionowym przecie, które drgają niesynchronicznie z przewodem. Wkładki kauczukowe wykonane są tak, że są przewodnikiem elektrycznym, a to dla uniknięcia wyładowań, które mogłyby zmniejszyć ich trwałość.



Rys. 9. Zacisk linki odgromowej na słupie przelotowym

Stwierdzono, że dla skutecznego działania tłumienia należy nadać tym trzem ciężarkom wagę 3 metrów przewodu. W czasie prób laboratoryjnych osiągnięto tłumienie od 70 do 90%, zależnie od częstotliwości drgań. Zaobser-



Rys. 10. Zacisk linki odgromowej na słupie narożnym

wowano, że w linii tłumienie jest jeszcze skuteczniejsze. Tłumiki są zawieszane na każdym przewodzie z obydwu stron zacisku przelotowego, tzn. w liczbie 12 na każdy słup przelotowy. Na linkach odgromowych tłumików nie zastosowano.

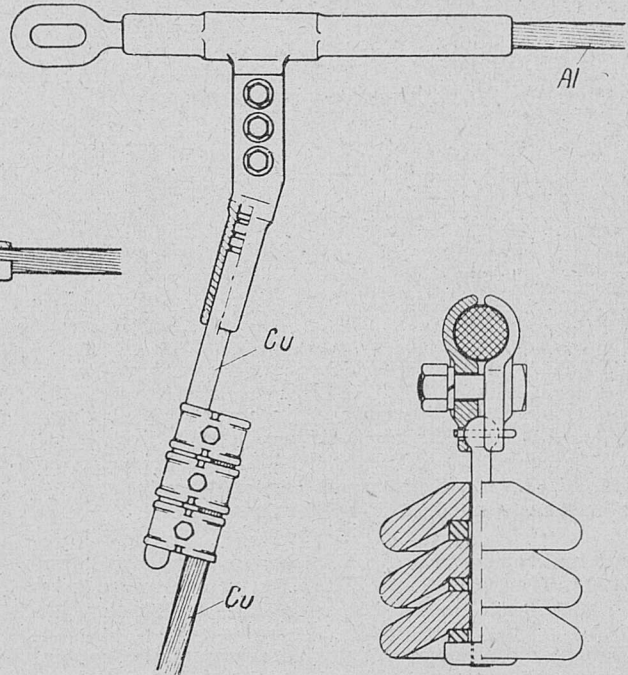
Zaciski do połączenia stalowo-aluminiowych przewodów linii z miedzianymi przewodami podstacji przedstawione są na rys. 12.

Na podstacjach zastosowano przewody nie stalowo-aluminiowe, lecz miedziane, gdyż te drugie dają większą łatwość i pewność licznych łączeń na podstacjach. Łączenie dwóch wspomnianych rodzajów przewodów następuje na końcach linii za pomocą zacisków krańcowych. W odgałęziającym ramieniu mostka zacisku zamocowany jest trzonek miedziany, rowkowany w części górnej i pomalowany (dla uniknięcia korozji) w dolnej części ramienia. Po zamocowaniu całość, tzn. trzonek i ramię, jest jeszcze raz malowana.

Miedziane przewody napowietrzne na podstacjach 380-kilowoltowych są typu rurowego (rys. 13). Średnica zewnętrzna 31 mm, przekrój 400 mm². Przy prądzie 870 A przewód grzeje się do 30°C (ponad temperaturę otoczenia), co jest uważane jako dopuszczalne maksimum dla tego rodzaju przewodów z uwagi na ich „starzenie się” oraz nagrzewanie się złącz i zacisków. Przewód ten

wykazuje małe straty na ulot i nie jest kosztowny w wykonaniu.

Rys. 14 podaje zacisk odciągowy do tego przewodu. Silna sprężyna, którą stożek dociska do przewodu, zapewnia dobry styk. Część nakręcana jest wykonana z miedzi, część ciągnąca ze stopu aluminium-miedź. Trzonek odgałęźny — miedziany.

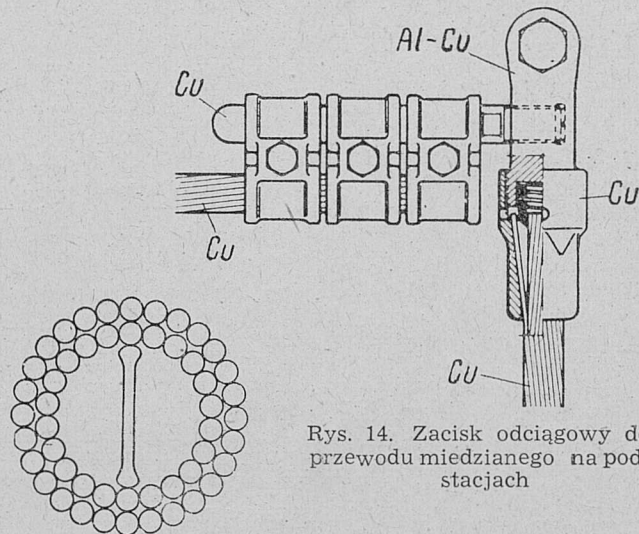


Rys. 12. Zacisk stacyjny do łączenia przewodów stalowo-aluminiowych z miedzianymi

Rys. 11. Tłumik drgań przewodów

Złącze przewodu stacyjnego pokazuje rys. 15. Zacisk odgałęźny typu T do tegoż przewodu pokazuje rys. 16.

Na podstacjach 380-kilowoltowych do połączenia przewodów napowietrznych z aparaturą przewidziane są łączenia, pokazane na rys. 17. Okrągły pręt miedziany w kształ-



Rys. 13. Przewód miedziany na podstacjach 380-kilowoltowych (1 : 1)

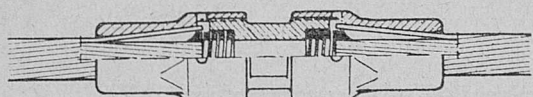
Rys. 14. Zacisk odciągowy do przewodu miedzianego na podstacjach

cie litery U, o tej samej średnicy co miedziany przewód rurowy, jest przymocowany do zacisków celem łączenia poziomego lub pionowego. Element stykowy pomiędzy tym prętem U a zaciskiem jest wykonany z miedzi. Przy takim układzie trzonek aparatu nie podlega skręcaniu.

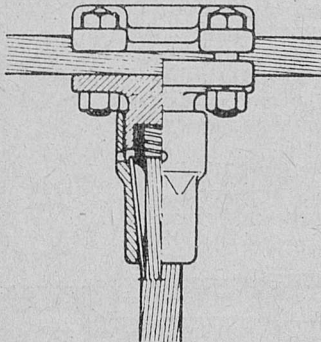
Wsporniki do izolatorów i aparatury na podstacjach napowietrznych 380-kilowoltowych spoczywają na fundamentach betonowych i są znormalizowane według jednego wzoru dla ułatwienia ewentualnych zmian w ustawieniu. Ten sam wspornik może służyć do różnych aparatów dzie-

stały obniżone do 15—20 omów. Uziemienia wykonano za pomocą taśm żelaznych ułożonych promienisto dokoła słupów.

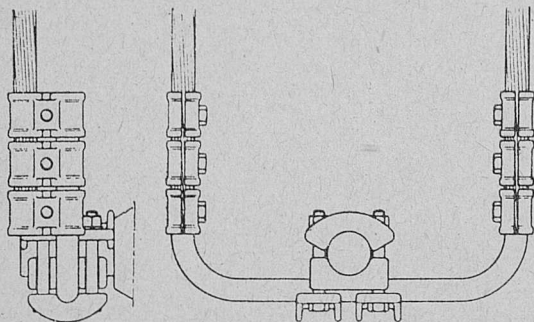
Praktyka szwedzkich linii przesyłowych o niesymetrycznym układzie przewodów na słupie przewidywała



Rys. 15. Złącze przewodu stacyjnego



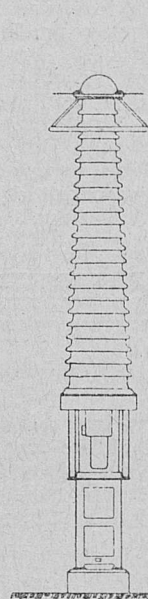
Rys. 16. Zacisk odgałęźny do przewodu stacyjnego



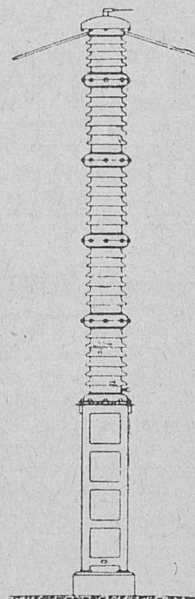
Rys. 17. Łączenie przewodu napowietrznego z aparaturą na podstacji 380-kilowoltowej

ki znormalizowanemu również położeniu otworów do umocowania. Rys. 18 i 19 przedstawiają transformator prądowy i odgromnik na 380 kV, ustawione na takich wspornikach.

Uziemienie słupów linii nastęczało poważne trudności i koszty, gdyż grunt wzdłuż trasy jest skalisty, a zatem

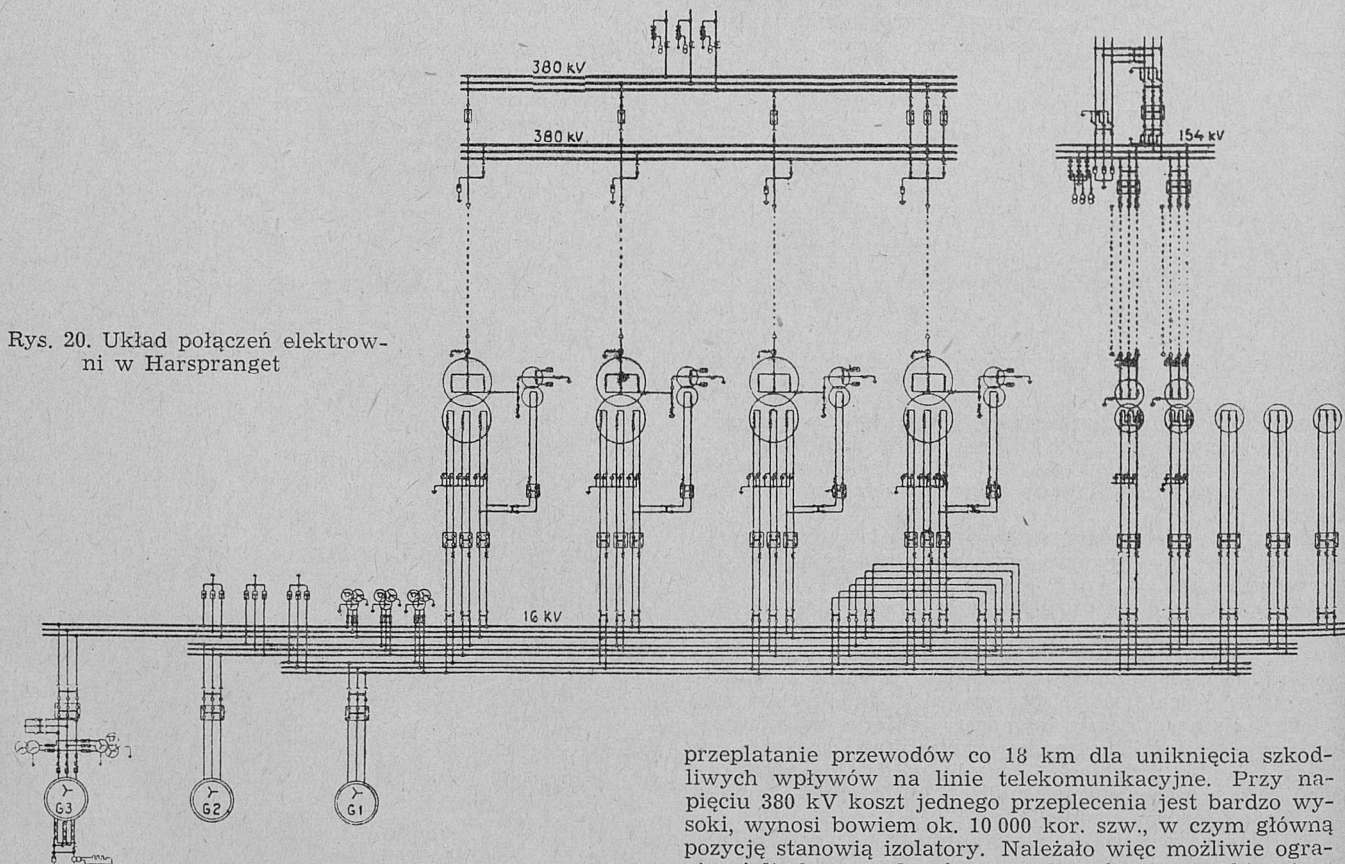


Rys. 18. Transformator prądowy na 380 kV



Rys. 19. Odgromnik na 380 kV

Do Midskog



Rys. 20. Układ połączeń elektrowni w Harspranget

że przewodzący. Ustalono, że na północnym odcinku linii oporność uziemienia poszczególnych słupów nie powinna przekraczać 30 omów, na południowym — 25 omów. Na odcinkach trasy szczególnie narażonych na burze oraz w pobliżu elektrowni i podstacji omawiane oporności zo-

przeplatane przewodów co 18 km dla uniknięcia szkodliwych wpływów na linie telekomunikacyjne. Przy napięciu 380 kV koszt jednego przeplecenia jest bardzo wysoki, wynosi bowiem ok. 10 000 kor. szw., w czym główną pozycję stanowią izolatory. Należało więc możliwie ograniczyć liczbę przepleceń, a wszelkie środki zapobiegające szkodliwym wpływom przerzucić na same linie telekomunikacyjne. Władze telekomunikacyjne zgodziły się, że przeplecenia linii 380-kilowoltowych będą wykonane wyłącznie pod kątem widzenia potrzeb przesyłu energii. Najdłuższe cykle przepleceniowe wypadły zatem rzędu 240 km.

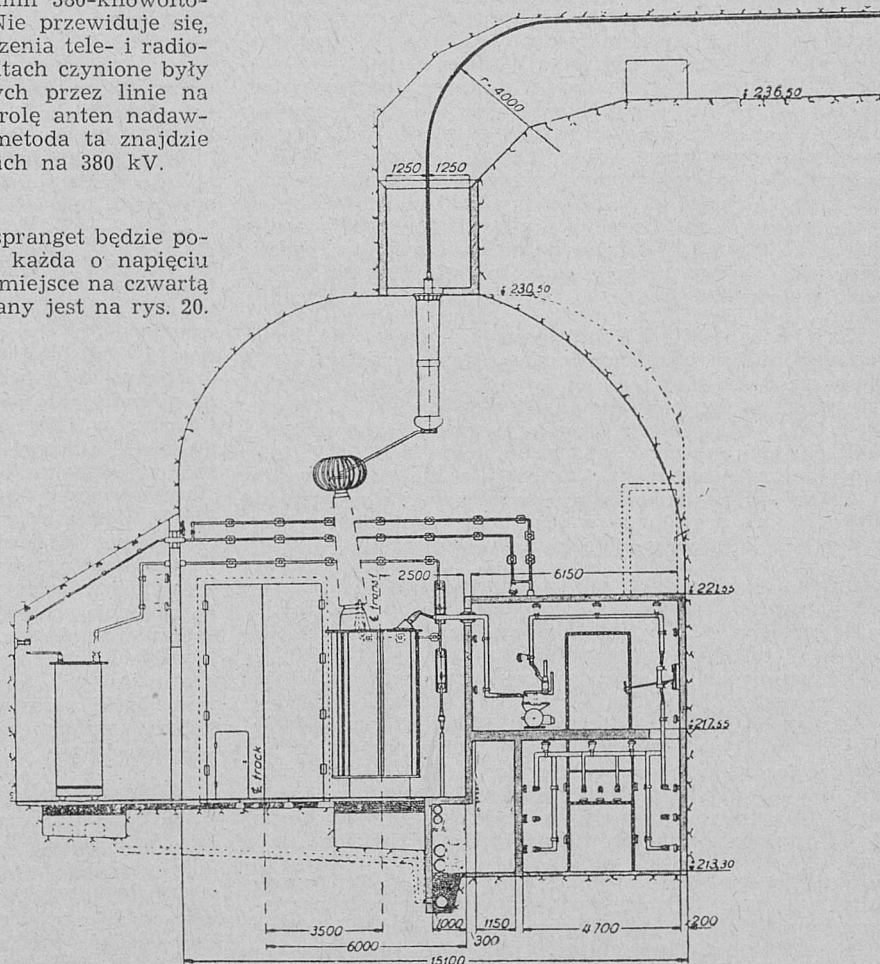
Ponieważ sieć na 380 kV będzie bezpośrednio uziemiona przez każdy punkt zerowy transformatorów, przeto w przypadku zwarcia z ziemią jednej z faz mogą w równoległych liniach telekomunikacyjnych powstać przez indukcję znaczne napięcia. Obliczono, że przy istniejącym mało przewodzącym gruncie mogą one dochodzić do 14 kV. Przepisy C.C.I.F.³⁾ dopuszczają napięcia indukowane 430 V w telekomunikacyjnych liniach napowietrznych oraz 1200 V w liniach kablowych (przy napięciu probierczym 2000 V), które są zabezpieczone odpowiednimi odgromnikami. W szeregu przypadków wypadło zatem bądź odsunąć napowietrzne linie telekomunikacyjne od linii 380-kilowoltowych, bądź też zastąpić je kablem. Nie przewiduje się, aby linia na 380 kV wywoływała zaburzenia tele- i radiofoniczne wskutek ulotu. W ostatnich latach czynione były próby nadawania programów radiowych przez linie na 220 kV, których przewody odgrywały rolę anten nadawczych. Wobec pomyślnych wyników metoda ta znajdzie zapewne zastosowanie również w liniach na 380 kV.

2. Elektrownie i podstacje.

Harspranget. Centrala w Harspranget będzie posiadała 3 trzeczprądnic. Zespół ten składa się z 3 transformatorów jednofazowych roboczych oraz czwartego rezerwowego. Jednofazowe transformatory regulacyjne przyłączone są do punktów zerowych transformatorów głównych.

Rys. 21. Transformatornia na 16/380 kV

Poziomy podane są w metrach, inne wymiary w milimetrach



Z punktu widzenia gospodarczego najkorzystniej było przewidzieć jeden wspólny zespół transformacyjny dla wszystkich trzech prądnic. Zespół ten składa się z 3 transformatorów jednofazowych roboczych oraz czwartego rezerwowego. Jednofazowe transformatory regulacyjne przyłączone są do punktów zerowych transformatorów głównych.

Nie mogło być mowy o "wspólnych szynach zbiorczych dla prądnic. Rozwiązanie takie prowadziłoby do nadmiernej prądów obciążeniowych i zwarciovych. Każdy transformator jednofazowy posiada 5 rdzeni, z których 3 środkowe posiadają uzwojenia. Każda prądnicza jest przyłączona do uzwojenia odpowiedniego rdzenia środkowego. Moce zwarcia na szynach zbiorczych 16-kilowoltowych są w ten sposób ograniczone do 1500 MVA, a więc mogą im sprostać normalne szyny zbiorcze oraz wyłączniki powietrzne. Do każdego układu prądnicowych szyn zbiorczych przyłączona jest cewka indukcyjna o mocy 40 MVAR. Poza tym dwie z prądnic zasilają transformatory o mocy 60 MVA, podwyższające napięcie i służące do zasilania miejscowej sieci na 154 kV.

Transformatory zainstalowane są we wnękach wykutych w skale w poziomie maszynowni i są połączone kablami z odpowiednią aparaturą na 380 i 154 kV, ustawioną na powierzchni ziemi. Dzięki temu uniknięto oporu biernego, który by dawały długie szyny na 16 kV. Jednocześnie elektrownia jest dobrze chroniona przed atakami

lotniczymi. Nastawia jest tuż obok maszynowni. Transformatornia pokazana jest w przekroju na rys. 21.

Wyposażenie rezerwowe przewidziano bogate. Zainstalowano czwarty transformator główny z własnym transformatorem regulacyjnym, połączenia na 380 kV oraz wyłączniki. Po stronie 380 kV przewidziano dwa zespoły wyłączników trójbiegunowych. Jeden z tych zespołów jest przeznaczony bądź dla transformatora rezerwowego, bądź tytułem rezerwy dla wyłączników pracy normalnej.

Aparatura rozdzielcza i wyposażenie kontrolne pozwalają na wymianę transformatorów podczas ruchu. Poza

normalną tablicą rozdzielczą i pulpitem w układzie 3-fazowym istnieje dodatkowa tablica w układzie jednofazowym, używana wyłącznicie do kontroli podczas dokonywania wymiennych przełączeń.

M i d s k o g. Elektrownia w Midskog jest położona w połowie długości linii 380-kilowoltowej i jest wyposażona w grupę transformatorów na 380/220 kV. Ponieważ południowy odcinek linii 380-kilowoltowej ma pracować równolegle z istniejącymi liniami na 220 kV, obciążenie w znacznej mierze rozłoży się samorzutnie w stosunku odwrotnym do oporów biernych linii, jeżeli nie będą zastosowane specjalne środki zapobiegawcze i regulacyjne. Stosunek $R:X$ wynosi dla linii 380-kilowoltowej zaledwie 0,08, natomiast dla linii 220-kilowoltowej 0,18. Dla zmniejszenia strat należy więc dążyć do zwiększenia obciążenia po stronie 380 kV. Jest w tym celu zainstalowany po stronie 220 kV transformator przesuwający napięcie o 90° i podnoszący je o ok. 25%. Transformator ten składa się z trzech jednostek jednofazowych, posiadających uzwojenie szeregowo po stronie 220 kV i uzwojenie wzbudzące na 33 kV, które jest przyłączone do trzeciego uzwojenia zespołu transformatorów na 380/220 kV. Zespół transformatorów głównych składa się z trzech transformatorów jednofazowych i czwartego rezerwowego. Jednofazowe transformatory regulacyjne przyłączone są do punktu zerowego powyższych transformatorów po stronie 380 kV. Trzecie uzwojenie na 33 kV, połączone w trójkąt, zasilają trzy cewki indukcyjne na 60 MVAR oraz transformatory

³⁾ Comité Consultatif International Téléphonique.

regulacyjne i przesuwające fazę. Tutaj również przełączania transformatorów mogą być dokonywane bez przerywania ruchu.

Stacja napowietrzna na 380 kV posiada trzy wyłączniki trójfazowe. Jeden z tych wyłączników jest wyłącznikiem synowym, może być jednak użyty na jednej z linii, której własny wyłącznik wypadłby z ruchu. Omawiany wyłącznik może być użyty dla transformatora rezerwowego albo do zastąpienia innych wyłączników.

Hallsberg. Na podstacji w Hallsberg obniżenie napięcia do 220 kV odbywa się przez dwa zespoły transformatorów, zawierające po trzy transformatory jednofazowe każdy. Transformatorów rezerwowych nie zainstalowano. Do punktu zerowego każdego zespołu po stronie 380 kV jest przyłączony trójfazowy transformator regulacyjny. Do trzeciego uzwojenia na 220 kV są przyłączone: kompensator synchroniczny o mocy 75 MVar o chłodzeniu wodorowym i dwie cewki o mocy 60 MVar. Wyposażenie kontrolne jest tu prostsze niż na dwóch opisanych stacjach, gdyż tylko w układzie trójfazowym. Każdy zespół transformatorów posiada wyłącznik trójfazowy na 380 kV. W razie potrzeby dokonania rewizji wyłącznika obydwa zespoły mogą być przyłączone do jednego wyłącznika.

Kable na 380 kV. Połączenie kablowe w Harspranget pomiędzy transformatorami a aparaturą na 380 kV, ustawioną o 80 m wyżej na powierzchni ziemi, zostało wykonane czterema kablami jednofazowymi, z których jeden daje połączenie z transformatorem rezerwowym. Kable są typu olejowego, pod ciśnieniem. Wskutek różnicy poziomów ciśnienie na krańcu doiny będzie wyższe o 8 kg/cm² od ciśnienia na krańcu górnym. Dolne odcinki kabli wchodzi prostopadle z góry przez sufit transformatorni. Galerię kablową chłodzi się powietrzem.

Transformatory. Dane charakterystyczne transformatorów na 380 kV oraz transformatorów regulacyjnych przyłączonych do punktu zerowego po stronie 380 kV podane są niżej w wyszczególnieniu. Jednostki jednofazowe transformatorów głównych w Harspranget posiadają pięć kolumn, w Midskog zaś i Hallsberg są wyposażone w rdzenie o dwóch kolumnach. Stopniowana izolacja uzwojeń na 380 kV jest wykonana w ten sposób, że na końcach faz izolacja odpowiada klasie 1775 kV, na końcach zaś od strony punktu zerowego odpowiada klasie 275 kV dla transformatorów w Harspranget oraz klasie 375 kV dla transformatorów w Midskog i Hallsberg.

Wyłączniki i zabezpieczenia przekątnikowe. Wyłączniki 380-kilowoltowe będą powietrzne na 1000 A, o mocy wyłączalnej 8000 MVA przy 350 kV. Będą one wyposażone w oporności nieliniowe celem ograniczenia przepięć łączeniowych. Całkowity czas wyłączenia jest rzędu 0,1 sek. Ciśnienie powietrza 15 atm. Konstrukcja wyłącznika pozwala na ponowne samoczynne włączenie jednej fazy lub trzech faz. Wyłączniki na 220 kV są podobnej konstrukcji, o mocy wyłączalnej 5000 MVA przy 200 kV. Wyłączniki powietrzne zastosowano również na niższych napięciach.

Zabezpieczenie przekątnikowe linii jest odległościowe z uzupełniającym zabezpieczeniem za pomocą prądu nośnego. W tych warunkach, w przypadku zwarcia na jednej fazie, możliwe jest dokonanie wyłączenia i bardzo szybkiego ponownego włączenia na jednej tylko w grę wchodzącej fazie. Sprawę komplikują dwie niekorzystnie składające się okoliczności: z jednej strony — wielka długość linii, powodująca bardzo słabe prądy zwarciove w przypadku uszkodzenia na krańcu linii, z drugiej strony — bardzo duży prąd roboczy. Stateczność pracy układu wymaga, szczególnie tutaj, szybkości i pewności działania przekątników i wyłączników. Badany jest obecnie nowy typ przekątnika odległościowego, który ma działać w czasie 0,02 sek.

Transformatory są wyposażone w przekątniki Buchholza, zabezpieczenie różnicowe, zabezpieczenie ziemnozwarciowe po stronie 380 i 220 kV oraz zabezpieczenie termiczne przeciwko przeciążeniu. W Harspranget i Midskog, gdzie są transformatory rezerwowe, przewidziane jest specjalne zabezpieczenie dla każdego zespołu transformatorów, zapewniające jednoczesne wyłączenie wszystkich faz.

Zabezpieczenia przepięciowe. Wszystkie trzy stacje napowietrzne na 380 kV są wyposażone w odgromniki. W Harspranget dla uniknięcia umieszczenia odgromników zbyt blisko transformatorów należało je ustawić wzdłuż końca kabla, na poziomie ziemi, w odległości ponad 100 m od transformatorów. Takie ustawienie zmniejsza skuteczność zabezpieczenia i dla skompensowania tego podwojono liczbę odgromników. Ponadto przewidziano niezależne zabezpieczenie pod postacią linki odgromowej, zawieszanej nad stacją napowietrzną; zabezpieczenie to rozciąga się na dwa przyległe przęsła linii 380-kilowoltowej. Takie rozwiązanie ma na celu uniknięcie uderzeń pioruna w bezpośrednim sąsiedztwie transformatorów. W Midskog i Hallsberg komplety odgromników są zainstalowane w pobliżu każdego zespołu transformatorów. Słupy konstrukcji napowietrznych posiadają piorunochrony i linki uziemiające według normalnej praktyki. Przyległe do każdej z podstacji 5-kilometrowe odcinki linii na 380 kV będą posiadały bardzo starannie wykonane uziemienia słupów celem osiągnięcia możliwie jak najmniejszej oporności uziemienia.

Wyposażenie uzupełniające. Sieć potrzeb własnych prądu zmiennego w Harspranget jest zasilana przez dwie prądnice o mocy 1200 kVA, osadzone na wałach prądnic głównych. Poza tym istnieje linia pomocnicza przychodząca z sąsiedniej elektrowni. W Midskog i Hallsberg prąd zmienny jest dostarczany przez miejscowe transformatory. Poza tym w Midskog jest do dyspozycji jako rezerwa miejscowa prądnica, napędzana turbiną, w Hallsberg zaś istnieje lokalna sieć na 44 kV, mogąca dostarczyć energii z innej elektrowni.

Prąd stały na podstacjach 380-kilowoltowych jest dostarczany przez dwie niezależne baterie akumulatorów na 220 V. Jedna z tych baterii zasilą maszyny pomocnicze, oświetlenie bezpieczeństwa, wzbudzenie itd.; druga zasilą zabezpieczenia przekątnikowe i wyposażenie kontrolne. Przewidziano poza tym trzecią baterię o niższym napięciu do zasilania obwodów sygnalizacyjnych. Taki rozdział znacznie zmniejsza ryzyko konieczności zadziałania wyłącznika lub odłącznika wskutek zwarcia z ziemią w sieci prądu stałego. Jako dodatkowe zabezpieczenie zastosowano styki zarówno na zaciskach „plus”, jak i na zaciskach „minus“ wszystkich aparatów kontrolnych i zabezpieczających.

3. Rozbudowa sieci 380-kilowoltowej.

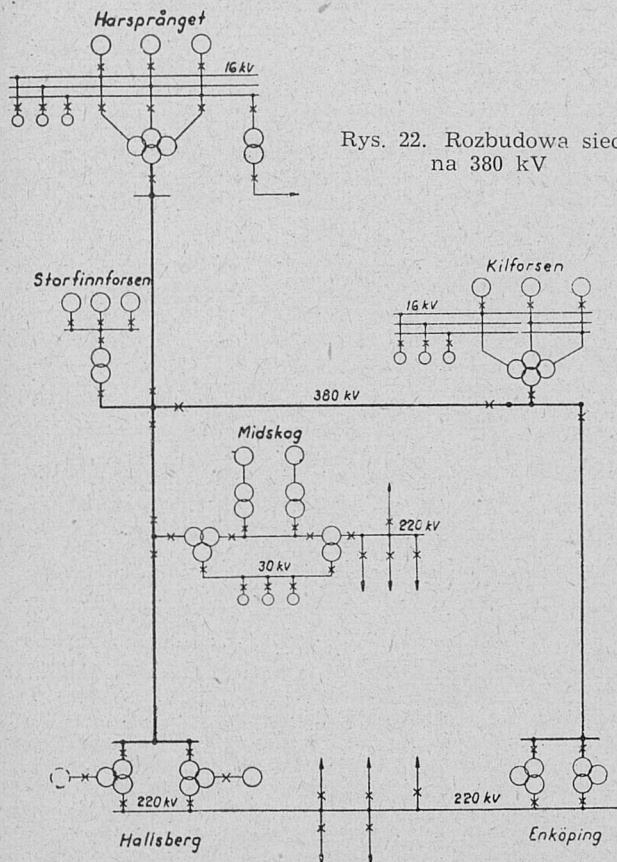
W czasie wykonywania projektu opisanych wyżej urządzeń na 380 kV podjęto budowę dwóch nowych elektrowni: Storfinnforsen o mocy 120 MW i Kilforsen o mocy 240 MW. Moc dostarczana przez te elektrownie, położone w rejonie Midskog, nie będzie mogła być przesłana bezpośrednio opisaną linią 380-kilowoltową ani przez sieć na 220 kV, zachodzi więc konieczność pobudowania nowej linii. Linia ta wychodząc ze Storfinnforsen i łącząc się z linią Harspranget—Midskog przejdzie przez Kilforsen i zakończy się w Enköping o 100 km na zachód od Sztokholmu. W tym punkcie energia przejdzie do istniejącej sieci 220-kilowoltowej. Ogólny schemat rozbudowanej sieci na 380 kV podaje rys. 22. Zatrzymamy się na jej głównych elementach.

Linia przesyłowa Storfinnforsen—Enköping. Długość 470 km. Konstrukcja linii podobna do opisanej wyżej, z pewną jednak zmianą w górnej części słupów (rys. 23). W pierwszej linii na 380 kV linki uziemiające umocowano na wysięgnikach ukośnych, natomiast w nowej linii są one zawieszone na wierzchołkach słupów. Ochrona od bezpośrednich uderzeń pioruna jest nieco słabsza, lecz osłabienie to jest skompensowane większą odległością pomiędzy przewodami roboczymi a linkami odgromowymi, co zmniejsza prawdopodobieństwo przeskoków. Nowy sposób zawieszenia linek odgromowych upraszcza fabrykację i montaż oraz zmniejsza wagę słupów.

Elektrownia w Storfinnforsen. Zawiera urządzenia rozdzielcze na 380 kV i trzy odejścia linii na 380 kV, jak również grupę transformatorów na 18/380 kV o mocy 130 MVA, przeznaczonych do transformowania energii wytwarzanej w elektrowni.

Elektrownia w Kilforsen. Będzie podobna do elektrowni w Harspranget, lecz o nieco mniejszej mocy, a mianowicie będą tam trzy zespoły o mocy 95 MVA każdy, na 16 kV, przy $\cos \varphi = 1,0$. Przy przetwarzaniu

16/380 kV nie będzie transformatorów regulacyjnych. Transformatory główne będą o przekładni 16/390 kV. Jeśli znajdzie potrzeba obniżenia napięcia roboczego, będzie to dokonane przez obniżenie napięcia prądnic. W centrali tej (w przeciwieństwie do Harspranget) nie będzie można transformatora rezerwowego włączyć do ruchu pod pełnym napięciem — uprości to instalację aparatury.



Rys. 22. Rozbudowa sieci na 380 kV

Podstacja odbiorcza w Enköping. Podstacja ta będzie podobna do podstacji w Hallsberg; będzie ona zawierała dwa zespoły transformatorów na 380/220 kV, o mocy ok. 600 MVA. Transformatory będą wykonane prawdopodobnie jako autotransformatory; będzie to możliwe, gdyż przewiduje się przejście w sieci 220-kilowoltowej na bezpośrednie uziemienie punktu zerowego. Przewiduje się użycie nowych typów wyłączników na 380 kV — powietrznych oraz o małej zawartości oleju.

4. Warunki pracy. Program budowy.

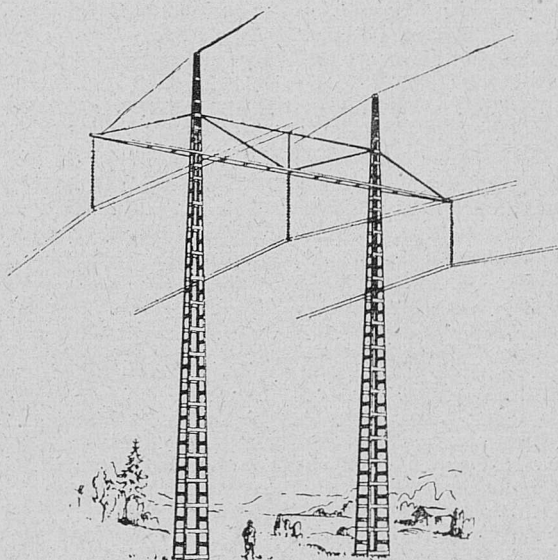
Początkowo północny odcinek linii będzie służył jedynie do przesyłania energii pochodzącej z Harspranget, tj. około 300 MW. Dla tej mocy stateczność pracy będzie zapewniona w szerokim zakresie. W kilka lat później dodatkowa moc będzie wytwarzana na tym daleko na północ wysuniętym obszarze. Południowy odcinek linii otrzyma pokąźną moc, przychodzącą z sieci 220-kilowoltowej, ponad tę moc, która przyjdzie z północy. Według obliczeń dokonanych za pomocą analizatora sieciowego moc, którą będzie musiał przesłać południowy odcinek, wyniesie bez uszczerbku dla stateczności układu ok. 450 MW. Pod tym obciążeniem sieć powinna zachować stateczność pracy przy większości zakłóceń, z wyjątkiem jednak najcięższych.

Zdolność przesyłowa będzie mogła być w przyszłości powiększona przez szeregowe wtrącenie do linii pojemności. Według przeprowadzonych studiów wydaje się, że będzie można tą linią przesłać ponad 600 MW.

Straty w miedzi na północnym odcinku linii — przy 380 kV i przy dopływie z Harspranget 300 MW — będą rzędu 7,6 MW. Odpowiednie straty na południowym odcinku wyniosą ok. 13,6 MW przy przesyśle 400 MW. Do tych strat należy dodać straty na ulot, które są obliczane średnio rocznie na 1 MW dla każdego odcinka linii. Straty

całkowite w linii będą zatem rzędu 23 MW. Rys. 24 przedstawia zmienność strat w zależności od napięcia roboczego dla przesyłu 300 i 400 MW.

Z porównania kosztów przesyłania energii w omawianych warunkach na napięciach 220 i 380 kV wynika, że zastosowanie tego drugiego napięcia przyniesie oszczędność od 25 do 40%.

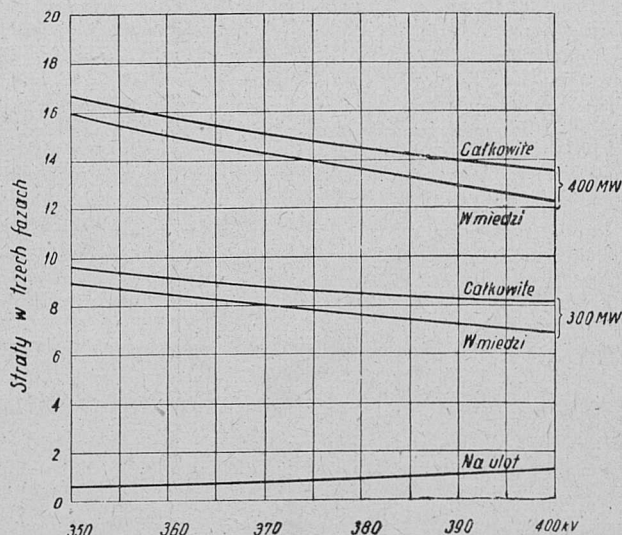


Rys. 23. Słupy nowej linii na 380 kV

Pierwszy zespół w Harspranget uruchomiono w 1951 r. Również w tym czasie zakończono budowę północnego odcinka linii. Wskutek późniejszych terminów dostawy transformatorów i innego wyposażenia linia będzie pracowała początkowo na napięciu 220 kV w bezpośrednim połączeniu z istniejącą siecią 220-kilowoltową. W połowie 1952 r. miał być gotów do ruchu drugi zespół w Harspranget i w tymże czasie przewidziane było przejście linii na 380 kV. Wspomniana wyżej rozbudowa sieci na 380 kV przewidywana jest w 1953 r.

5. Charakterystyczne dane techniczne.

a) Linia na 380 kV. Długość 476 + 478 = 954 km. Rozpiętość średnia 330 m, największa 555 m, najmniejsza 145 m. Zwis przy + 50°C (dla rozpiętości średniej) 10,2 m.



Rys. 24. Straty w linii 380-kilowoltowej długości 475 km przy obciążeniach 300 i 400 MW

Napężenie przewodów przy 0°C 6 kg/mm². Wysokość poprzeczki nad ziemią 23 m. Liczba przewodów bliźniaczych na fazę 2. Rozstawienie przewodów bliźniaczych 45 cm. Odległość między rozpórkami 130 m. Odległość

między przewodami 12 m. Przewód stalowo-aluminiowy: średnica $2 \times 31,7$ mm, przekrój 2×592 mm², równoważny przekrój Cu 2×329 mm², ciężar 1,975 kg/m.b. Linka odgromowa stalowa: liczba linek 2, przekrój linki 70 mm². Łańcuchy izolatorów: liczba izolatorów 20–23 szt., wysokość izolatorów (skok) 146–170 mm, przybliżona długość łańcucha 3400 mm. Przeplatanie linii: liczba cykli na północnym odcinku 6, na południowym odcinku 2. Oporność czynna (15°C, prąd zmienny) 0,0275 Ω/km. Oporność bierna 0,333 Ω/km. Pojemność 0,011 μF/km. Oporność czynna składowej zerowej 0,42 Ω/km. Oporność bierna składowej zerowej 1,29 Ω/km. Straty w miedzi: północny odcinek przy 300 MW — 7,6 MW, południowy odcinek przy 400 MW — 13,6 MW. Straty na ulot przy 380 kV: średnio dla całej linii 2,0 MW, maksimum dla całej linii 5,0 MW.

b) Elektrownia w Harspranget. Moc całkowita 290 MW. Liczba prądnic 3. Prądnice główne. Moc znamionowa 105 MVA. Napięcie znamionowe 16 kV, $\cos \varphi$ 0,9. Liczba biegunów 36. Normalna liczba obrotów 167 obr./min. Największa liczba obrotów 315 obr./min. Oporność bierna: synchroniczna podłużna 65%, podprzejściowa podłużna 15%, przejściowa podłużna 22%. Moment bezwładności ($GD^2/4$) 5340 tm². Wzbudzenie przy 105 MVA, 16 kV, $\cos \varphi = 0,85$; prąd 1200 A, napięcie 325 V. Średnica wirnika 8339 mm. Średnica stojana 10 400 mm. Ciężar (bez wzbudnicy) 778 t. Ciężar wzbudnicy 18,5 t. Chłodzenie w obiegu zamkniętym z cyrkulacją wodną. Prądnice potrzeb własnych (zmontowane bezpośrednio na wałach prądnic głównych). Liczba 3. Moc znamionowa 1200 kVA. Transformatory główne. Liczba 3 + 1 rezerwowy. Typ: jednofazowe z obiegowym chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa 3×115 MVA. Napięcie znamionowe $16 \frac{370}{\sqrt{3}}$ kV.

Układ połączenia faz D/YO. Napięcie zwarcia 10,2%. Waga bez oleju 151 t. Waga oleju 40 t. Wymiary: długość 9300 mm, szer. 3370 mm, wysok. 9630 mm. Klasa izolacji 125/1775 — 275 kV. Transformatory regulacyjne. Liczba 3 + 1 rezerwowy. Typ: jednofazowe z obiegowym chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa $3 \times 9,3$ MVA. Napięcie znamionowe $16 \frac{30}{\sqrt{3}}$ kV.

Układ połączenia faz D/YO. Napięcie zwarcia 7,7%. Waga bez oleju 19,3 t. Waga oleju 7,9 t. Wymiary: długość 4070 mm, szer. 2290 mm, wysok. 5225 mm. Klasa izolacji 125/275 kV. Transformatory na 16/150 kV. Liczba 2. Typ: trójfazowe z obiegowym chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa 60 MVA. Napięcie znamionowe $16/150 \pm 6 \times 2,5\%$ kV. Układ uzwojeń D/YO. Waga bez oleju 83 t. Waga oleju 23 t. Dławiki. Liczba 3. Typ: trójfazowe z obiegowym chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa 40 MVA. Napięcie znamionowe 16 kV. Waga bez oleju 27 t. Waga oleju 4,1 t. Układ uzwojeń Y. Kable na 380 kV⁴. Liczba 2 || 2. Rodzaj: jednożyłowe, olejowe pod ciśnieniem. Długość średnia 110 || 110 m. Przekrój 500 || 600 mm². Największe ciśnienie oleju 12 || 23 kg/cm². Najmniejsze ciśnienie oleju 5 || 14 kg/cm². Grubość izolacji 27 || 25 mm. Średnica kanału olejowego w środku kabla 15 || 9 mm.

c) Podstacja w Midskog. — Transformatory główne. Liczba 3 + 1 rezerw. Typ: jednofazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa $3 \times 110/110/75$ MVA. Napięcie znamionowe $\frac{408}{\sqrt{3}} \left| \frac{258}{\sqrt{3}} \right|$ 36,5 kV. Układ połączenia faz YO/YO/D.

Napięcie zwarcia $\frac{408}{\sqrt{3}} \left| \frac{258}{\sqrt{3}} \right|$ kV; 3×110 MVA; 13,6%. Napięcie zwarcia $\frac{408}{\sqrt{3}} \left| \frac{258}{\sqrt{3}} \right|$ kV; 3×75 MVA; 15%. Napięcie zwarcia $\frac{258}{\sqrt{3}} \left| \frac{258}{\sqrt{3}} \right|$ 36,5 kV; 3×75 MVA; 5,8%. Waga bez oleju 180 t. Waga oleju 50 t. Wymiary: długość 9275 mm, szer. 4350 mm, wysok. 9700 mm. Klasa izolacji 1775 — 375/1025/175 kV. Transformatory regulacyjne. Liczba 3 + 1 rezerw. Typ: jednofazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa

3×15 MVA. Napięcie znamionowe $32 \frac{55}{\sqrt{3}}$ kV. Układ połączenia faz D/YO. Napięcie zwarcia 9%. Waga bez oleju 29 t. Waga oleju 14,4 t. Wymiary: długość 4835 mm, szer. 3025 mm, wysok. 6360 mm. Klasa izolacji 175/375 kV. Transformatory przesuwnikowe. Liczba 3. Typ: jednofazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa $3 \times 16,7$ —8,35 MVA. Napięcie znamionowe $\frac{32}{\sqrt{3}} \left| \frac{58}{\sqrt{3}} - \frac{29}{\sqrt{3}} \right|$ kV. Układ połączenia faz YO/szeregowe. Waga bez oleju 38 t. Waga oleju 16,5 t. Wymiary: długość 4000 mm, szer. 2820 mm, wysok. 7345 mm. Klasa izolacji 175/1025 kV. Dławiki. Liczba 3. Typ: trójfazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa 60 MVA. Napięcie znamionowe 32 kV. Układ uzwojeń Y. Waga bez oleju 36 t. Waga oleju 6 t.

d) Podstacja w Hallsberg. — Transformatory główne. Liczba 6. Typ: jednofazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa na grupę $3 \times 100 \times 100 \times 67$ MVA. Napięcie znamionowe $\frac{385}{\sqrt{3}} \left| \frac{226}{\sqrt{3}} \right|$ 21,5 kV. Układ połączenia faz YO/

/YO/D. Napięcie zwarcia $\frac{385}{\sqrt{3}} \left| \frac{226}{\sqrt{3}} \right|$ kV; 3×100 MVA; 12%. Napięcie zwarcia $\frac{385}{\sqrt{3}}$ 21,5 kV; 3×67 MVA; 13,5%. Napięcie zwarcia $\frac{226}{\sqrt{3}} \left| \frac{226}{\sqrt{3}} \right|$ 21,5 kV; 3×67 MVA; 5%. Waga bez

oleju 186 t. Waga oleju 52 t. Wymiary: długość 10 000 mm, szer. 5540 mm, wysok. 9880 mm. Klasa izolacji 1775 — 375/1025/125 kV. Transformatory regulacyjne. Liczba 2. Typ: trójfazowe z chłodzeniem olejowym pod ciśnieniem. Moc znamionowa 39 MVA. Napięcie znamionowe 20/50 kV. Układ uzwojeń D/YO. Napięcie zwarcia 8%. Waga bez oleju 67 t. Waga oleju 27 t. Wymiary: długość 7275 mm, szer. 4700 mm, wysok. 6770 mm. Klasa izolacji 125/375 kV. Kompensator synchroniczny. Liczba 1. Moc znamionowa przy przewzbudzeniu, $\cos \varphi = 0,75$ MVA. Napięcie znamionowe 19–21 kV. Liczba biegunów 8. Liczba obrotów 750 obr./min. Oporność bierna synchroniczna 130%. Stosunek zwarcia przy 21 kV 80%. Oporność bierna podprzejściowa przy 21 kV 22%. Prąd wzbudzenia: przy 19 kV 850 A, przy 21 kV 900 A. Chłodzenie wodorowe. Dławiki. Liczba 2. Typ: trójfazowe. Moc znamionowa 60 MVA. Napięcie znamionowe 20 kV. Waga bez oleju 35 t. Waga oleju 5,7 t. Wyłączniki na 380 kV. Liczba ogólna 7. Typ: powietrzne. Napięcie znamionowe 380 kV. Prąd znamionowy 1000 A. Moc wyłączalna przy 350 kV 8000 MVA. Liczba przerw szeregowych przy wyłączeniu 8. Czas wyłączenia 0,10 s. Czas włączenia 0,48 s. Ciężar 35 t. Ciśnienie znamionowe powietrza 15 kg/cm². Wyłącznik jest zaopatrzony w szeregowo połączony z nim odłącznik oraz w nieliniowe oporności tłumiące. Odgromniki. Napięcie gaszenia 400 kV skut. Napięcie zapłonu przy częstotl. znamionowej 800 kV skut. Napięcie zapłonu przy fali udarowej o czole 1000 kV/μs — 1200 kVmax. Napięcie wyładowania⁵: przy 8 kA, 6 kA/μs — 1430 kVmax || 1620 kVmax; przy 8 kA, 3 kA/μs — 1340 kVmax || 1480 kVmax; przy 8 kA, 1 kA/μs — 1220 kVmax || 1330 kVmax; przy 8 kA, 1 kA/μs — 1160 kVmax || 1260 kVmax. Transformatory prądowe (zmontowane osobno dla każdej linii). Liczba rdzeni 3. Napięcie znamionowe 380 kV. Przekładnia 800—400—200/2/2 A. Obciążenie znamionowe: rdzeń pomiarowy, klasa kWh, 30 VA; rdzeń pomiarowy, klasa W, 60 VA; rdzeń przekątnikowy, klasa W, 60 VA; rdzeń uzziemienia, opór pozorny w stanie jałowym min. 100 Ω. Prąd dopuszczalny w ciągu 1 s: przekładnia 800/2 A — 50 kA; przekładnia 400/2 A — 30 kA; przekładnia 200/2 A — 20 kA. Dopuszczalny impuls prądu: 2,5-krotny prąd dopuszczalny w ciągu 1 s. Klasa izolacji 1775 kV. Waga bez oleju 3700 kg. Waga oleju 375 kg. Transformatory prądowe (zmontowane w przepustach transformatorów głównych). Liczba rdzeni 3. Przekładnia 800/2/2 A. Rdzeń I dla zabezpieczeń przekątnikowych zwar-

⁴) Przed znakiem || podano typ I, za tym znakiem podano typ II.

⁵) Przed znakiem || podano typ podwójny, za tym znakiem typ pojedynczy.

ciowych: uchyb przekładni przy 40 VA, $\cos \varphi = 0,5$ i (1—12) $I_{\text{nom}} \pm 3\%$. Rdzeń II dla zabezpieczeń przekątnikowych ziemnozwarciowych, do mierników i liczników: obciążenie znamionowe, klasa W—20 VA. Transformatory napięciowe. Typ: pojemnościowe dzielniki napięcia i transformatory elektromagnetyczne na 20 kV. Napięcie znamionowe pierwotne $\frac{380}{\sqrt{3}}$ kV. Na-

pięcie znamionowe wtórne $\frac{110}{\sqrt{3}}$ kV. Pojemność 0,006 μF . Spadek napięcia przy 300 VA i $\cos \varphi = 1-3,5\%$. Uchyb przekładni w stanie jałowym przy napięciu $\frac{350}{\sqrt{3}} - 400$ kV — 0,5%.

Porównanie kosztów przesyłu energii na napięciach 220 i 380 kV (2)

1. Uwagi ogólne.

Szwedzka sieć 220-kilowoltowa posiada punkt zerowy uziemiony przez cewki Petersena. Napięcie wytrzymałości elektrycznej izolacji na wyładowania udarowe wynosi dla urządzeń napowietrznych podstacji 1025 kV. Punkt zerowy sieci 380-kilowoltowej będzie, przeciwnie, bezpośrednio uziemiony. Stosownie do powszechnej praktyki można wtedy zmniejszyć izolację układu w przybliżeniu o 20% w porównaniu z tą, która musi być zastosowana przy uziemieniu układu za pośrednictwem cewek Petersena. Jednakże dla pierwszego etapu budowy sieci 380-kilowoltowej obrano poziom wytrzymałości udarowej dla izolacji transformatorów, wyłączników i innej aparatury stacyjnej w wysokości 1775 kV, co odpowiada według przepi- sów szwedzkich sieciom stosującym cewki Petersena. Jest to uzasadnione wielkimi długościami linii, przy których powstają znaczne przebiegi przy częstotliwości przemysłowej, gdy linię wyłączy się na jednym krańcu. Po rozbudowie sieci 380-kilowoltowej napięcia będą mogły być utrzymane bardziej stałe, co pozwoli obniżyć poziom izolacji. A zatem w przyszłości koszt przesyłania na napięciu 380 kV obniży się w porównaniu z kosztem obliczonym dla obecnych warunków.

Podane niżej roczne koszty przesyłu obejmują linię wraz z transformatorami i aparaturą rozdzielczą, kompensację mocy biernej oraz koszty strat; oparte są na cenach z 1949 r., kiedy 1 dol. = 3,60 kor. szw. (obecnie, po dewaluacji 1 dol. = 5,18 kor. szw.).

2. Charakterystyka linii.

Porównanie kosztów linii przesyłowych zostało dokonane dla czterech rodzajów linii: dwóch o napięciu 220 kV i dwóch o napięciu 380 kV. Dla każdego napięcia rozważano linię z pojedynczym przewodem o dużej średnicy oraz linię o dwóch przewodach bliźniaczych na fazę. Dla napięcia 220 kV wzięto pod uwagę przewody o następujących przekrojach: 592 mm² (średn. 31,7 mm) oraz 2×328 mm²; dla napięcia 380 kV: 908 mm² i 2×592 mm² (2×średn. 31,7 mm). Rozstawienie w wiązce przewodów bliźniaczych wynosi 45 cm. Przewody są normalnymi liniami stalowo-aluminiowymi (z wyjątkiem przewodu 908 mm²).

Charakterystyczne dane techniczne linii zestawione są w tabl. II. Podane tam krytyczne napięcie ulotu obliczono z uwzględnieniem współczynnika powierzchni = 0,8, co odpowiada natężeniu pola 16,9 kV/cm na powierzchni przewodu. Przy tym napięciu straty na ulot poczynają wydatnie wzrastać przy dobrej pogodzie.

Tablica II. Dane techniczne linii na 220 i 380 kV

Napięcie	Przekrój przewodu	Równoważny przekrój międzyfazowy	Odległość między przewodami	Oporność czynna na fazę (R)	Oporność bierna na fazę (X)	Pojemność na fazę (C)	Krytyczne napięcie ulotu
kV	mm ²	mm ²	m	Ω/km	Ω/km	μF/km	kV
220	592	329	7	0,054	0,412	0,0089	287
	2×328	355	7,9	0,050	0,314	0,0115	311
380	908	507	12	0,035	0,431	0,0087	368
	2×592	658	12	0,027	0,333	0,0110	431

Spośród rozpatrywanych rodzajów linii jedynie linia na 380 kV o przewodach pojedynczych nastrocza poważniejsze kłopoty, jeśli chodzi o straty ulotowe. Mamy tutaj nie tylko pokażniejsze straty, których równowartość

zresztą możemy obliczyć, lecz także znaczne zakłócenia radiofoniczne, które trudno jest uwzględnić w kalkulacji kosztów, gdyż środki do ich wyeliminowania zależą od gęstości zaludnienia oraz natężenia pola radioelektrycznego w okolicach, przez które przebiega trasa linii.

W Szwecji trudności związane z zakłóceniami radiofonicznymi są stosunkowo duże, gdyż natężenie pola radioelektrycznego jest słabe w wielu okolicach, gdzie istnieją liczne linie wysokiego napięcia. Środki, zastosowane do polepszenia odbioru radiowego w pobliżu linii przesyłowych, są między innymi następujące: wymiana radioodbiorników złej jakości na lepsze, oddalenie anten od sąsiedztwa linii energetycznych, zastosowanie radiofonii przewodowej lub stacji przekątnikowych. Poza tym przystąpiono do prób nadawania programów radiowych za pośrednictwem samych linii przesyłowych jako anten.

Rozpatrywane linie na 220 i 380 kV posiadają słupy typu portalowego. Wprawdzie istnieją w Szwecji linie na 220 kV na słupach drewnianych, które są o 30% tańsze (co jednak w pewnej mierze jest kompensowane wyższymi kosztami eksploatacji), jednakże w omawianej porównawczej analizie kosztów wzięto pod uwagę dla linii 220-kilowoltowej słupy stalowe, pokazane na rys. 25. Na rysunku tym pokazane są również słupy dla 380 kV.

Ustoje słupów są wykonane z kształtowników stalowych ze stopami z drzewa nasycanego. Do konstrukcji słupów na 220 kV użyto stali St 44, do słupów zaś na 380 kV stali St 52. Obydwa typy linii posiadają po dwie stalowe linki odgromowe o przekroju 70 mm².

Przeciętna rozpiętość przęsła wynosi 275 m dla linii 220-kilowoltowej oraz 330 m dla linii 380-kilowoltowej. Wysokość słupów została obliczona na założeniu, że odległość od przewodów roboczych do ziemi nigdzie nie powinna być mniejsza niż 7,2 m przy 220 kV oraz 8,3 m przy 380 kV.

Linie zostały obliczone według przepisów SEN 12-1945. Porównawcze zestawienie kosztów linii podane jest w tabl. III. W kosztach fundamentów, słupów, przewodów i izolatorów zawarte są również koszty transportu i robocizny.

3. Transformatory.

Transformatory na 220 kV są wykonane według klasy izolacji 1025 kV bez stopniowania izolacji, natomiast transformatory na 380 kV są wykonane według klasy izolacji 1775 kV z izolacją stopniowaną, przy czym punkt zerowy jest izolowany według klasy 375 kV.

Transformatory na 220 kV są trójfazowe o mocach znamionowych dochodzących do 135 MVA. Transformatory na 380 kV są jednofazowe o mocach od 300 do 345 MVA (grupy trójfazowej).

W porównaniach kosztów przesyłania przyjęto, że na krańcu odsyłowym linii transformatory są dwuuzwojenio- we o przekładni 11 do 22 kV/380—220 kV. Na krańcu zaś odbiorczym — transformatory są trójuzwojenio- we o przekładniach 11 do 22 kV/77 do 132—220 kV względnie 22 do 33 kV/132 do 220—380 kV. Moc znamionowa trzeciego uzwojenia wynosi $\frac{2}{3}$ mocy innych uzwojeń.

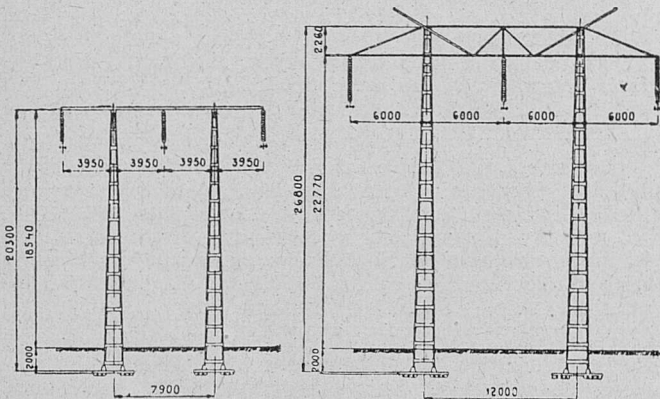
Z 380 kV energia niekiedy nie jest transformowana bezpośrednio na wtórne napięcie 132 lub 77 kV, lecz podlega podwójnej transformacji przez pośrednie napięcie 220 kV. W tych przypadkach przyjmuje się, że połowa mocy jest transformowana bezpośrednio, a druga połowa podlega podwójnej transformacji. Okoliczność ta wpływa na wielkość kosztów.

W tabl. IV podane są koszty jednostkowe (na 1 MVA) transformatorów, odpowiadające przy 220 kV transforma-

Tablica III. Porównawcze zestawienie kosztów linii na 220 i 380 kV (kor. szw./km)

Napięcie	220 kV				380 kV			
	Przekrój przewodu							
	592 mm ²		2 × 328 mm ²		908 mm ²		2 × 592 mm ²	
		0/0		0/0		0/0		0/0
Fundamenty	15 400	21,7	16 700	21,2	16 000	16,7	18 600	16,2
Słupy	19 700	27,7	22 300	28,2	22 700	23,6	28 300	24,6
Przewody	17 200	24,2	19 800	25,0	26 200	27,3	34 500	30,0
Izolatory	3 900	5,5	4 400	5,6	6 800	7,1	7 900	6,9
Różne	6 800	9,6	6 900	8,7	12 800	13,3	12 500	10,8
Administracja, koszty ogólne	8 000	11,3	8 900	11,3	11 500	12,0	13 200	11,5
Razem	71 000	100	79 000	100	96 000	100	115 000	100
Porównanie (0/0)		100		111		135		162

torom trójfazowym o mocy rzędu 100 MVA, a przy 380 kV — transformatorom jednofazowym o mocy grupy rzędu 3×100 MVA. Podane koszty obejmują również koszty instalacji, transformatorów regulacyjnych oraz normal-



Rys. 25. Słupy stalowe dla linii 220- i 380-kilowoltowych

nej rezerwy. Koszt transformatorów odpowiadający pewnej linii wynosi zatem:
przy 220 kV 9 500 S₁ + 12 500 S₂ kor. szw.,
przy 380 kV 10 000 S₁ + 13 500 S₂ kor. szw.,
gdzie S₁ jest mocą pozorną wchodzącą do linii (w MVA),
S₂ jest mocą pozorną wychodzącą z linii (w MVA).

4. Urządzenia rozdzielcze.

Zgodnie z praktyką miejscową przyjęto, że urządzenia rozdzielcze wysokiego napięcia obejmują szyny zbiorcze główne i pomocnicze wraz z wyłącznikiem szynowym, który służy jako rezerwa zarówno dla linii, jak i dla wyłączników transformatorowych.
Transformatory na 220 i 380 kV posiadają transformatory prądowe w przepustach.
Zasługuje na uwagę następujący podział kosztów (w kor. szw.) dla pola transformatorowego (rys. 26), liniowego (rys. 27) i sekcyjnego (rys. 28) oraz wspólne koszty dla 5-polowej podstacji napowietrznej.

Pole transformatorowe

	220 kV	380 kV
Wyłącznik (1 szt.)	192 000	443 000
Odłączniki (3 szt.)	48 000	145 000
Przekładniki prądowe w przepustach	8 000	15 000
Izolatory i przewody	15 000	74 000
Konstrukcje stalowe i fundamenty	20 000	85 000
Różne i nieprzewidziane	25 000	75 000
Razem	308 000	837 000

Pole liniowe

	220 kV	380 kV
Wyłącznik (1 szt.)	192 000	443 000
Odłączniki (3 szt.)	48 000	145 000
Przekładniki prądowe (3 szt.)	43 000	128 000
Przekładniki napięciowe (3 szt.)	25 000	48 000
Izolatory i przewody	15 000	74 000
Konstrukcje stalowe i fundamenty	20 000	85 000
Różne i nieprzewidziane	32 000	90 000
Razem	375 000	1013 000

Pole sekcyjne

	220 kV	380 kV
Wyłącznik (1 szt.)	192 000	443 000
Odłącznik (1 szt.)	16 000	48 000
Izolatory i przewody	20 000	85 000
Różne i nieprzewidziane	25 000	63 000
Razem	269 000	697 000

Koszty wspólne dla podstacji 5-polowej

	220 kV	380 kV
Zniwelowanie terenu	50 000	200 000
Odgromniki (6 szt.)	60 000	120 000
Izolatory i przewody	10 000	100 000
Konstrukcje stalowe i fundamenty	40 000	120 000
Urządzenia kontrolne	240 000	300 000
Urządzenia sprężonego powietrza	120 000	170 000
Różne i nieprzewidziane	50 000	100 000
Razem	570 000	1 110 000

Liczby powyższe zawierają całkowite koszty urządzenia, a więc łącznie z transportem, montażem i kosztami administracyjnymi. Wyłączniki są na sprężone powietrze: dla sieci 220-kilowoltowej o mocy wyłączalnej, wynoszącej 5 000 MVA przy 200 kV, dla sieci 380-kilowoltowej o mocy wyłączalnej wynoszącej 8 000 MVA przy 350 kV.
Ponieważ moc, która może być przesłana jedną linią, wymaga przeważnie więcej niż jednego transformatora, a zatem więcej niż jednego pola transformatorowego, uzna-

Tablica IV. Koszty transformatorów na 220 i 380 kV

Napięcie (kV)	Liczba uzwojeń	Koszt (kor. szw. (MVA))
220	2	9 500
220	3	12 500
380	2	10 000
380	3	13 500

no za właściwe podać odpowiednie koszty na 1 MVA. W tym przypadku uwzględniono te same co poprzednio przeciętne wielkości transformatorów, a mianowicie: 100 MVA przy 220 kV i 300 MVA przy 380 kV. W kosztach transformatorów zawarta jest pewna rezerwa, co podnosi koszt pół transformatorów. Wyraża się to zwykłą 30%. Co do podwójnej transformacji przyjęto, że w przypadku 380 kV koszt urządzeń rozdzielczych zawiera w pewnej mierze koszt pół transformatorów na 220 kV.
Poza kosztem pola transformatorowego linia przesyłowa pociąga również koszt pola liniowego oraz pewną część kosztów pola sekcyjnego i inne wydatki na wspólne urządzenia rozdzielcze. W takim przypadku koszt zawiera połowę tych wydatków. Koszt urządzeń rozdzielczych został obliczony jednak dla stacji transformatorowych zasilających, jak i odbiorczych.
Zatem całkowity koszt urządzeń rozdzielczych wynosi:
przy 220 kV —
$$\frac{308\,000 \cdot 1,3}{100} (S_1 + S_2) + 2 \cdot 375\,000 + 2 \cdot \frac{1}{2} (269\,000 + 570\,000) \cong 4000 (S_1 + S_2) + 1\,600\,000 \text{ kor. szw.}$$

6. Kompensacja mocy biernej.

Moce bierne na wejściu (zasilaniu) i na wyjściu (odbiorze) linii obliczono na podstawie następujących wzorów:

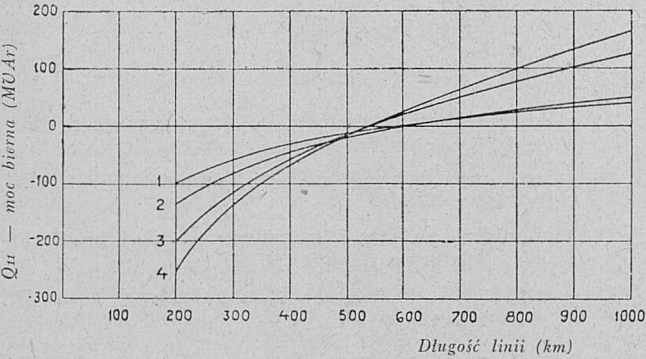
$$Q_1 = \frac{U_1^2}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \cos (\delta_{12} - \alpha_{12}),$$
$$Q_2 = \frac{U_2^2}{Z_{22}} \cos \alpha_{22} + \frac{U_1 U_2}{Z_{12}} \cos (\delta_{12} + \alpha_{12}).$$

Przyjęto, że moc Q_1 jest skierowana ku linii, a moc Q_2 od linii i że moce te są dodatnie, gdy napięcie wyprzedza prąd.

Podane wielkości są ważne dla krańców linii. Bardzo ważne jest jednak poznanie wielkości mocy biernej po stronie niższego napięcia transformatorów odbiorczych, jeśli ewentualnie ma nastąpić kompensacja, musimy przeto znać moc bierną spożywaną przez te transformatory. Na rys. 30 podane są krzywe mocy Q_{11} , która występuje po stronie dolnego napięcia transformatorów, gdy linie pracują pod obciążeniem dopuszczalnym ze względu na stateczność. Przyjęto, że moc bierna spożywana przez transformator wynosi 8% jego mocy znamionowej.

Co do mocy biernej na krańcu odsyłowym przyjęto, że może ona być zawsze uzupełniana przez prądnice, a przeto nie zachodzi potrzeba specjalnego urządzenia do kompensacji nawet przy pełnym obciążeniu.

Na krańcu odbiorczym przyjęto natomiast, że jeżeli zachodzi potrzeba dostarczenia tej mocy biernej do linii (Q_{11} ujemne), to musi nastąpić kompensacja. Przyjęto, że kompensacja jest dokonywana za pomocą kompensatorów synchronicznych. W przypadku odwrotnym, tj. kiedy linia daje nadwyżkę mocy biernej (Q_{11} dodatnie), co bywa w liniach bardzo długich, wartość mocy biernej, którą się dysponuje w układzie, winna być odjęta od kosztu przesyłu. Ocenia się wówczas moc bierną jako równą kosztom kondensatorów statycznych w boczniku.



Rys. 30. Moc bierna na krańcu odbiorczym w zależności od długości linii dla kąta fazowego 35° w linii 220-kilowoltowej oraz 33° w linii 380-kilowoltowej; napięcia na krańcu odsyłowym są odpowiednio 230 i 390 kV, na krańcu odbiorczym 205 i 350 kV

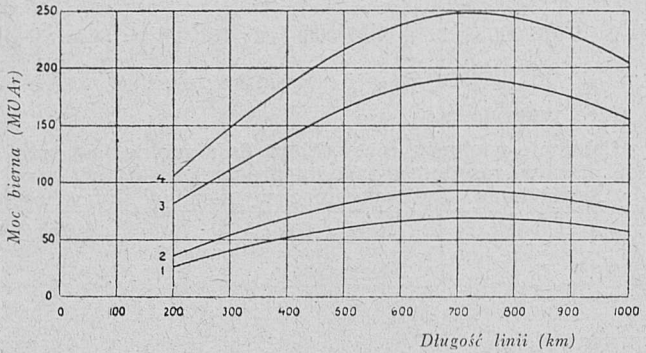
- 1 — linia na 220 kV, przewód pojedynczy, 592 mm²
- 2 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 328 mm²
- 3 — „ „ na 380 „ „ „ „ pojedynczy, 908 mm²
- 4 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 592 mm²

Konieczna jest stateczna praca linii w stanie jałowym przy pełnym napięciu na dowolnym krańcu. Moc bierna, którą linia wówczas wytwarza, powinna być skompensowana przez indukcyjność. Na rys. 31 podano krzywe mocy biernej, które otrzymano po stronie dolnego napięcia transformatora przyłączonej podstacji w przypadku, gdy na otwartym krańcu linii 380-kilowoltowej było napięcie 390 kV, a linii 220-kilowoltowej — 230 kV. Moc całkowita elementów indukcyjnych zainstalowanych na krańcach linii równa jest mocy wytwarzanej przez linie.

7. Straty.

Straty ciepłne w linii przy obciążeniu największym otrzymano jako różnicę mocy czynnych na początku i na końcu linii, tj. jako $P_1 - P_2$. Straty przez transformację przy obciążeniu największym przyjęto jako równe 0,75% mocy znamionowej transformatorów. Pomiaru strat na ulot wykonano na przewodach blizniaczych 2x592 mm².

W wyniku tych pomiarów, dokonanych w różnych warunkach atmosferycznych, ustalono pewne przybliżone wartości przeciętnych strat na ulot. Wziąwszy te wartości

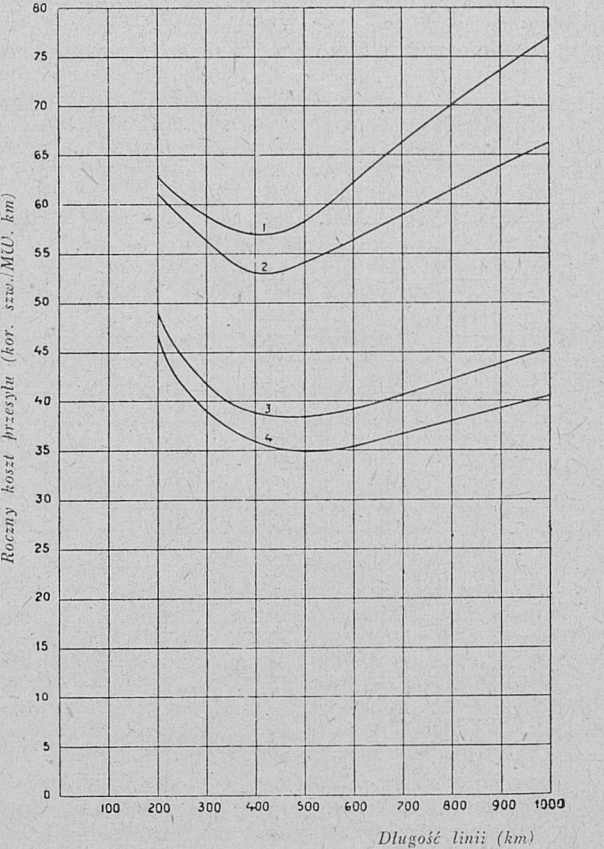


Rys. 31. Moc bierna dla linii w stanie jałowym w zależności od długości linii; napięcie na krańcu otwartym wynosi 230 kV dla krzywych 1 i 2 oraz 390 kV dla krzywych 3 i 4

- 1 — linia na 220 kV, przewód pojedynczy, 592 mm²
- 2 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 328 mm²
- 3 — „ „ na 380 „ „ „ „ pojedynczy, 908 mm²
- 4 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 592 mm²

jako punkt wyjścia, obliczono teoretycznie straty na ulot dla różnych rodzajów linii, a mianowicie:

220 kV	592 mm²	0,6 kW/km,
220 kV	2x328 mm²	0,2 kW/km,
380 kV	908 mm²	5,7 kW/km,
380 kV	2x592 mm²	1,8 kW/km.



Rys. 32. Roczne koszty przesyłu na jednostkę mocy przesyłanej i jednostkę odległości

- 1 — linia na 220 kV, przewód pojedynczy, 592 mm²
- 2 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 328 mm²
- 3 — „ „ na 380 „ „ „ „ pojedynczy, 908 mm²
- 4 — „ „ „ „ „ „ blizniaczy, 2 x 592 mm²

8. Koszty przesyłu energii.

Roczne koszty przesyłu obliczono na podstawie oprocentowania 7,5% dla linii oraz 9,5% dla transformatorów i urządzeń rozdzielczych. Do obliczenia kompensacji mocy

Dla zbadania tego wpływu obliczono koszty przesyłu dla różnych mocy przesyłanych liniami o długości 300 i 600 km. Przyjęto, że moc, którą linia zdolna jest przesłać, określona jest warunkami stateczności zgodnie z rys. 29. Gdy granica stateczności jest przekroczona, następuje włączenie dalszej linii. Wyniki tych obliczeń podane są na rys. 34 i 35. Dla 300 km koszt przesyłu przy 380 kV jest niższy niż przy 220 kV, jeżeli moc przesyłana przekracza 275 MW. Dla 600 km taka moc wynosi 150 MW.

Przy porównywaniu kosztów przesyłu przyjęto, że energię wytwarza się na jednym krańcu linii, a zużywa na drugim. Nie uwzględniono ani odgałęzień linii, ani linii rozdzielczych. W rzeczywistości najczęściej energia jest wytwarzana w kilku elektrowniach, niekiedy znacznie od siebie oddległych, i wtedy muszą być pobudowane linie zbiorcze dla głównej linii przesyłowej o wyższym napięciu. Okoliczności podobne występują również na krańcu odbiorczym, jeżeli energia jest rozdzielana między kilka podstacji odbiorczych na napięciu przesyłowym. Wynika stąd, że energia, którą zdolne są przesłać linie zbiorcze i rozdzielcze, nie może być w pełni zużytkowana. Okoliczności te przemawiają za niższym napięciem roboczym, jednakże nie wpływają na ogół na porównanie podanych wyżej wyników.

9. Wnioski:

Jak wynika z rys. 29, moc, którą można przesyłać linia o przewodach bliźniaczych rozstawionych o 45 cm, jest o 30% większa od mocy, którą można przesłać linia o przewodach pojedynczych. Z tabl. V widać, że linie o przewodach bliźniaczych dają mniejsze koszty przesyłu niż linie o przewodach pojedynczych. Zysk, który wzrasta wraz z długością linii, zawarty jest w granicach od 2 do 14% przy 220 kV i od 5 do 11% przy 380 kV.

Przesył energii prądem stałym wysokiego napięcia (3,4)

1. Próby doświadczalne.

W ciągu ostatnich lat kontynuowano w Szwecji prace teoretyczne i doświadczalne w zakresie przesyłu energii prądem stałym wysokiego napięcia. Stacja próbna w Trollhättan⁶⁾ była stale czynna przesyłając moc pomiędzy prostownikami i falownikami, które znajdują się na stacji. Głównym przedmiotem badań było wyjaśnienie zjawisk fizycznych, występujących w zaworach jonowych wysokiego napięcia, liczne modyfikacje i ulepszenia w układzie elektrod tych zaworów, ustalenie warunków pracy całej aparatury i jej poszczególnych części, a w szczególności sterowanie siatek, regulacja i zabezpieczenia. Badano między innymi prądy i napięcia w obwodach przekształtników oraz w sieci, zarówno w pracy normalnej, jak i przy zakłóceniach.

Napotkano trudności w wyświetleniu niektórych zjawisk (np. drgania w obwodzie prądu stałego wskutek czynności łączeniowych) na drodze czysto teoretycznej, zbudowano więc model linii napowietrznej o długości 1000 km, który zawiera 24 oczka, przewody dodatni i ujemny oraz ziemię. Oporność pozorna ziemi objawia się w sposób rozmaity zależnie od tego, jaki prąd płynie (ustalony, nieustalony, normalny, zwarcioowy itd.). Badania na modelu wykazały, że jeżeli pragniemy utrzymać linię całkowicie bez drgań, wymagane są znaczne środki tłumiące na stacjach krańcowych lub w punktach pośrednich. Straty natomiast nie wypadają w układzie nadmierne.

Po szczegółowym zanalizowaniu wyników badań, dokonanych na stacji doświadczalnej, w 1950 r. zdecydowano zrealizować pierwsze urządzenie w skali przemysłowej do przesyłu energii elektrycznej za pośrednictwem prądu stałego wysokiego napięcia i przy pomocy przekształtników rtęciowych.

2. Układ przesyłowy na 100 kV prądu stałego.

Tym pierwszym urządzeniem będzie układ przesyłowy na 100 kV prądu stałego do zasilania wyspy Gotland, położonej w odległości ok. 100 km od brzegów Szwecji (rys. 36). Zdecydowano się w tym przypadku na przesył

Poza tym przy przewodach bliźniaczych otrzymuje się wyższe krytyczne napięcie ulotu. W powyższych porównaniach uwzględniono ten fakt z punktu widzenia strat na ulot, lecz nie uwzględniono go z punktu widzenia zakłóceń radiofonicznych. Przewody pojedyncze o średnicy 31,7 mm przy 220 kV nie sprawiają zazwyczaj kłopotów z powodu zakłóceń radiofonicznych. Jak wspomniano wyżej, poważniejsze trudności tego rodzaju mogą wynikać przy linii 380-kilowoltowej o pojedynczych przewodach.

Porównanie kosztów przesyłu energii na napięciach 220 i 380 kV doprowadza do następujących wniosków:

a) Obciążenie, które powoduje najmniejsze koszty przesyłu na jednostkę mocy, może być osiągnięte — uwzględniając warunki stateczności — jedynie poniżej odległości przesyłu 250 km. Dla linii dłuższych moc możliwa do przesłania jest określona warunkami stateczności.

b) Jeżeli moc, która może być przesłana przez linię, jest w pełni wykorzystana, to koszty przesyłu przy 380 kV są od 25 do 40% mniejsze niż przy 220 kV.

c) Koszty przesyłu linia o przewodach bliźniaczych są od 2 do 14% mniejsze niż w przypadku przewodów pojedynczych. Moc, którą można przesłać linia o przewodach bliźniaczych rozstawionych o 45 cm, jest o ~ 30% większa niż w przypadku linii o przewodach pojedynczych.

d) Dla odległości przesyłu większych od 300 km koszty linii stanowią najpoważniejszą pozycję kosztów przesyłu. Za nimi idą wartości strat, koszty transformatorów i urządzeń rozdzielczych i wreszcie koszty kompensacji, które są stosunkowo nieznaczne.

e) Zbadanie wpływu zmian kosztów przesyłu w zależności od mocy przesyłanej wykazuje, że koszty te przy 380 kV są mniejsze, gdy moc przekracza 275 MW przy długości linii 300 km, lub też 150 MW przy długości linii 600 km.

energii prądem stałym głównie ze względów następujących:

a) przesył musi być dokonany kablem (podmorskim);

b) moc urządzeń przekształtnikowych na stacji doświadczalnej jest już miarodajna w stosunku do mocy, która ma być przesyłana na wyspę Gotland;

c) zamierzony przesył energii prądem stałym pozwoli w skali przemysłowej uzyskać dane praktyczne, które posłużą do dalszego opracowania zagadnienia;

d) osiągnięte obniżenie kosztów energii elektrycznej na wyspie Gotland.

Wyspę Gotland zamieszkuje ok. 60 000 mieszkańców; jedyne miasto Visby ma ich ok. 14 000. Przemysł stanowią cementownie oraz kopalnie wapieniaków i marmuru.

Wyspa nie posiada sił wodnych i jest zasilana z lokalnej elektrowni cieplnej za pośrednictwem sieci na 30, 10 i 6 kV. Zapotrzebowanie mocy wynosi obecnie ok. 11 000 kW; przewiduje się, że w 1960 r. będzie ono wynosiło ok. 18 000 kW.

Ze względu na znaczną odległość wyspy od kontynentu przesył prądem zmiennym 50-okresowym nie może być dokonany w sposób racjonalny. Nie było możliwe także użycie prądu zmiennego np. na 25 lub 16 $\frac{2}{3}$ okresów, otrzymanego z 50 okresów na kontynencie, a następnie powtórnie przetwarzanego na wyspie na 50 okresów.

Jeśli przetwarzanie miało być dokonywane za pomocą przetwornic wirujących, to straty i spadek napięcia przy przesyłaniu mocy 10 000 kW byłyby kilkakrotnie większe niż w przypadku przesyłania prądem stałym wysokiego napięcia. Wyniki obliczeń dla różnych alternatyw są zestawione w tabl. VI. Moc przesyłową przyjęto 10 000 kW. Dla różnych przypadków prądu zmiennego przyjęto przekrój kabla miedzianego 3×75 mm²; dla prądu zaś stałego przyjęto 1×75 mm² przy wyzyskaniu morza jako przewodu powrotnego.

Zasilanie prostowników rtęciowych na kontynencie będzie dokonywane z sieci prądu 3-fazowego na 130 kV. Dalej energia będzie przesyłana jednożyłowym kablem prądu stałego o napięciu 100 kV względem ziemi. Jako przewód powrotny służy morze.

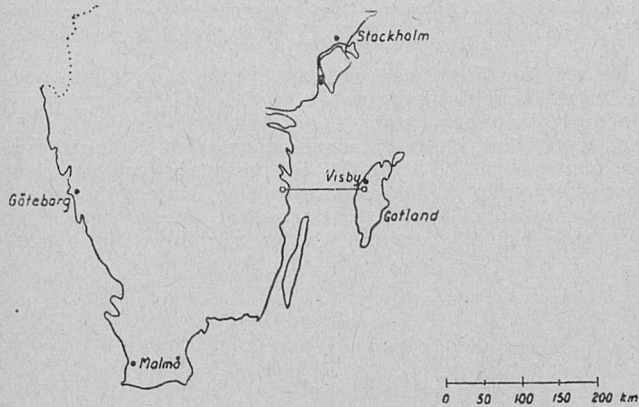
⁶⁾ Por. Przegl. Elektr., 1950, zesz. 4/5/6, str. 149.

Największe natężenie prądu w kablu 200 A, co odpowiada mocy przesyłanej 20 000 kW. Jeden biegun w stacji prostownikowej będzie uziemiony za pośrednictwem elektrody zanurzonej w morzu. Prąd z drugiego bieguna po-

Tablica VI. Różne sposoby przesyłu prądu przez morze

Rodzaj prądu	Napięcie znamionowe na odbiorze (kV)	Straty mocy w % mocy zasilającej		Spadek napięcia w kablu w % napięcia na zasilaniu
		w kablu	całkowite	
Zmienny na 25 okr./sek.	45	17	37	17
	70	10	20	7
	100	8	28	3
Zmienny na 16 ² / ₃ okr./sek.	45	17	37	17
	70	9	29	7
	100	7	27	2
Stały	100	2	10	2

plynie przez kabel do stacji falownikowej, znajdującej się na wyspie. Tutaj nastąpi przekształcenie prądu stałego na prąd 3-fazowy o napięciu 30 kV, służący do zasilania wyspy. Jeden biegun na stacji falownikowej jest również uziemiony za pomocą elektrody zanurzonej w morzu. Ogólny układ tych urządzeń pokazany jest na rys. 37.



Rys. 36. Trasa kabla podmorskiego prądu stałego na 100 kV

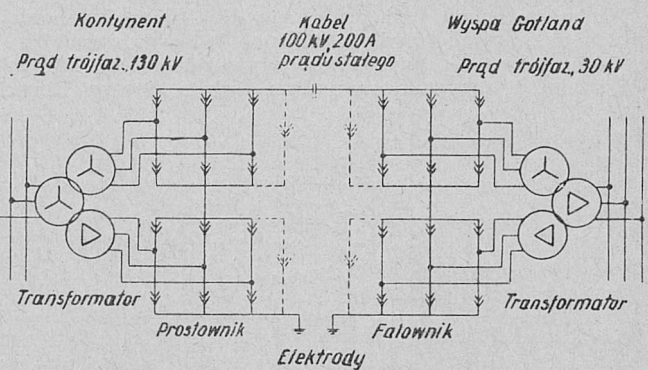
Jeśli obciążenie przekroczy przewidywane maksimum, kabel oraz urządzenia przekształtnikowe będą podwojone i wtedy moc przesyłowa może wzrosnąć do 40 000 kW. Wówczas jeden z kabli będzie przewodem dosyłowym, drugi zaś odsyłowym, a powrót prądu przez morze będzie skasowany.

Obydwie stacje przekształtnikowe posiadają niemal te same urządzenia z wyjątkiem różnych transformatorów oraz sposobów kontroli zaworów przekształtnikowych. Stacja na wyspie posiada poza tym kompensator synchroniczny.

Uzwojenia transformatorów od strony przekształtników będą przyłączone do zespołów 6 prostowników (względnie falowników) w dwugrupowym układzie 6-fazowym. Każda z grup daje 200 A przy 50 kV prądu stałego. Obydwie grupy są połączone szeregowo, co podnosi napięcie do 100 kV. Każda z grup posiada w boczniku siódmy, rezerwowy, przekształtnik, który samoczynnie uruchamia się w razie potrzeby zastąpienia któregośkolwiek z innych — chwilowo uszkodzonych lub nieczynnych.

W razie uszkodzenia jednej grupy możliwa jest praca przy połowie napięcia, tj. 50 kV; oczywiście, moc przesyłana spada wówczas do połowy.

Dla zmiany przekładni pomiędzy napięciem stałym i zmiennym transformatory posiadają zacze- py przełączalne pod obciążeniem; poza tym istnieje sterowanie siatek przekształtnikowych.



Rys. 37. Schemat zasadniczy przesyłu energii prądem stałym na 100 kV

Stacja na wyspie może dostarczać jedynie mocy czynnej; przeto niezbędną moc bierną będzie dostarczać kompensator synchroniczny na 25 MVA, który także uzupełni regulację napięcia na wyspie. Regulacja częstotliwości będzie dokonywana za pomocą odpowiednich urządzeń w obwodach sterowniczych siatek.

Istnieje możliwość użycia opisanych urządzeń do przesyłu energii w odwrotnym kierunku, tzn. z wyspy na ląd.

Kabel podmorski prądu stałego, o przekroju miedzi- anym 120 mm², będzie zapewne wypełniony masą nasyconą i będzie posiadał przekrój owalny, aby ciśnienie wody działające na powłokę ołowianą przenosiło się równomie- rnie na izolację. Rozważa się ewentualność użycia jako izolacji kabla polietylenowego i wyeliminowania w ten sposób powłoki ołowianej.

Zamknięcie obwodu przez morze, mające służyć jako przewód powrotny, nie wywołuje trudności. Dla uniknię- cia korozji samego kabla oraz istniejących już podmors- kich kabli telekomunikacyjnych elektrody będą zanu- rzzone w morzu w odległości od 7 do 10 km od kabli i będą połączone ze stacjami za pomocą osobnych kabli. Same elektrody będą wykonane z magnetytu, jako materiału w danych warunkach najtrwalszego.

Powstało pytanie, czy prąd płynący przez morze nie będzie szkodliwy dla ryb i innych organizmów żyjących w wodzie. Przeprowadzone badania wykazały, że niebez- pieczeństwo istnieje jedynie w bezpośredniej bliskości elektrod (w promieniu ok. 2 m), dla uniknięcia więc wszel- kiego ryzyka elektrody będą ogrodzone w promieniu 20 m.

Całkowity koszt opisanych urządzeń wyniesie około 9,5 mln. kor. szw., z czego na koszt kabla przypada około 3,5 mln. kor. szw. (ceny z jesieni 1949 r.).

Przewiduje się uruchomienie urządzeń w 1954 lub 1955 r. Wobec zastosowania po raz pierwszy w praktyce tej nowej techniki przesyłu energii elektrycznej należy liczyć się z dość długim okresem (rok lub dłużej) pracy próbnej, po której dopiero nastąpi regularna eksploatacja opisanych urządzeń.

SPIS REFERATÓW

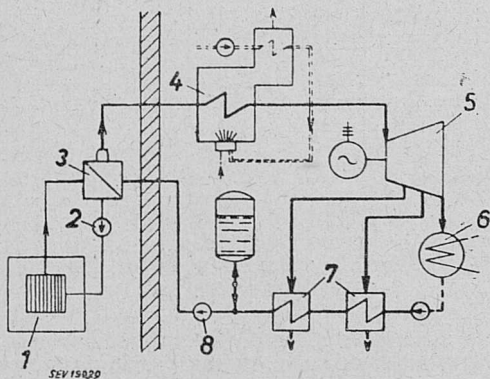
[1] Rusek A., Rathsmann B. G., Granborg C. Le réseau suédois à 380 kV (ref. 410 i zał. A.)
[2] Nilsson G., Sandström U. Comparaison du coût de transmission d'énergie sous 220 et 380 kV (ref. 405).
[3] Rusek A., Rathsmann B. G., Glimstedt U. Transport d'énergie à haute tension en courant continu du continent suédois jusqu'à l'île de Gotland (ref. 406).
[4] Lamm A. U. Progrès réalisés en Suède dans le transport de l'énergie en courant continu à haute tension (ref. 408).

PRZEGLĄD CZASOPISM

ELEKTROWNIE ATOMOWE

Lalive d'Epinay J. Über die Ausnützung der Energie des Atomkerns. (Bulletin des Schweiz. Elektr. Vereins, 1952, nr 3, str. 78—80)

Ponieważ studia nad projektem elektrowni atomowej muszą obejmować również sam stos (reaktor), zorganizowano współpracę grupy fizyków wyższych uczelni Bazylei i Zürichu z konstruktorami firm Sulzer, Brown Boveri



Rys. 1. Schemat elektrowni parowej ze stosem, pracującym na uranie i ciężkiej wodzie

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1 — stos atomowy | 5 — turbina |
| 2 — pompa obiegowa | 6 — skraplacz |
| 3 — wymiennik ciepła | 7 — podgrzewacz wody zasilającej |
| 4 — przegrzewacz pary | 8 — pompa zasilająca |

Koszt takiej elektrowni o mocy 2,5 MW oszacowano w następujący sposób:

stos: uran	800 000 fr. szw.	
ciężka woda	7 500 000	
grafit	700 000	
inne materiały	500 000	9 500 000 fr. szw.
wymiennik ciepła	500 000	
regulacja i przyrządy	500 000	
elektrownia	1 000 000	
budynki	500 000	
montaż, nieprzewidz.	1 000 000	3 500 000 fr. szw.
		13 000 000 fr. szw.

Gdyby ciężką wodę zastąpić tańszym grafitem, koszty niewiele zmieniłyby się, ponieważ potrzebna byłaby wielokrotnie większa ilość uranu.

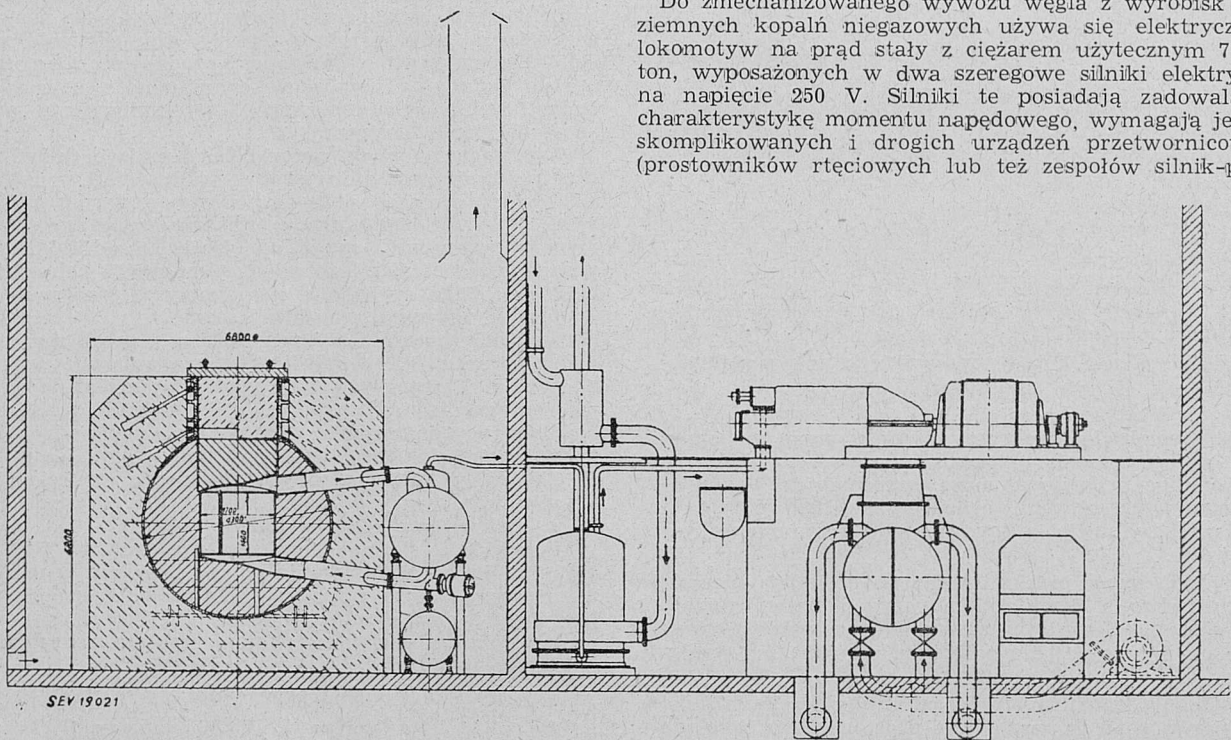
Koszt elektrowni atomowej, wynoszący według powyższego kosztorysu 5 200 fr. szw./kW, jest wielokrotnie wyższy od kosztu elektrowni cieplnej, lecz w eksploatacji elektrowni odpadają koszty paliwa (poza paliwem potrzebnym dla przegrzewacza).

S. A.

KOPALNIANE LOKOMOTYWY KONDENSATOROWE PRĄDU ZMIENNEGO

Bieriezin W. M. Rudniczne kondensatorowe elektrowozy piermiennowo toka na szachtach Podmoskownowo basiejna (Miechaniz. Trudojomk. i Tiazoł. Rabot, 1950, 4, str. 9—12)

Do zmechanizowanego wywozu węgla z wyrobisk podziemnych kopalń niegazowych używa się elektrycznych lokomotyw na prąd stały z ciężarem użytecznym 7 i 10 ton, wyposażonych w dwa szeregowo silniki elektryczne na napięcie 250 V. Silniki te posiadają zadowalającą charakterystykę momentu napędowego, wymagają jednak skomplikowanych i drogich urządzeń przetwornicowych (prostowników rtęciowych lub też zespołów silnik-prąd-



Rys. 2. Przekrój stosu i elektrowni parowej (szkic projektowy)

i Escher Wyss. Za najwłaściwszy uznano stos, w którym rolę zarówno moderatora, jak i przenośnika energii, spełnia ciężka woda. Rys. 1 i 2 przedstawiają schemat i przekrój takiej elektrowni, zaprojektowanej w r. 1950 przez Brown Boveri. Ciężka woda oddaje wydzielane w stosie ciepło wodzie obiegu cieplnego elektrowni w wymienniku 3. Wytwarzaną tam parę przegrzewa się następnie w przegrzewaczu 4, opalanym zwykłym paliwem. Temperaturę stosu przyjęto na 250°C. Wytwarzające się w nim ciśnienie przejmuje kulista osłona stalowa, obejmująca zarówno zbiornik z ciężką wodą, jak i zwierciadło grafitowe.

nicą, wykwalifikowanej obsługi i starannej konserwacji. Duża liczba włączeń przy charakterystycznych właściwościach łuku prądu stałego powoduje szybkie zużywanie się nastawników. Charakterystyka szeregowo silnika przy obniżeniu współczynnika przyczepności (jak to bywa w warunkach podziemnych) prowadzi do częstego i długotrwałego buksowania. W rezultacie maleje siła pociągowa i szybkość ruchu, bandaże kół i szyny zużywają się w krótkim czasie.

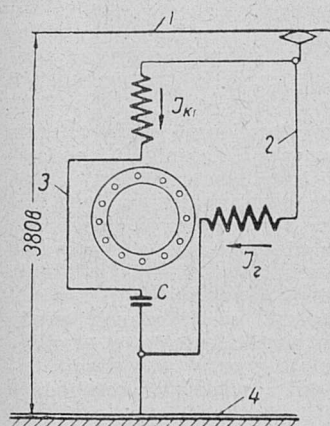
Żadnej z wymienionych wad nie posiada kopalniana lokomotywa elektryczna na prąd zmienny, zaprojektowana i wprowadzona do produkcji przez grupę współpra-

cowników prof. W. E. Rozenfelda, którzy za prace nad tą lokomotywą otrzymali nagrodę Stalinowską.

W lokomotywach elektrycznych prądu zmiennego zastosowano zwarte dwufazowe silniki kondensatorowe o dwóch prędkościach. Jak widać z układu połączeń (rys. 1), jedno z uzwojeń silnika jest włączone bezpośrednio między przewód jezdny a szyny, drugie — szeregowo z baterią kondensatorów. Silnik ma dwie prędkości, zmieniane przez przełączanie biegunów z 12 na 6.

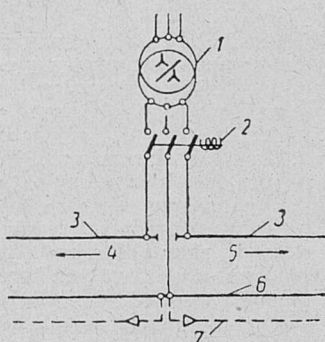
Do zasilania sieci jezdnej używa się transformatora trójfazowego o napięciu wtórnym międzyprzewodowym 380 V. Jedna z jego faz jest przyłączona do sieci jezdnej jednego skrzydła kopalni, druga — do szyn, trzecia — do sieci jezdnej drugiego skrzydła kopalni (rys. 2).

Prąd w obwodzie fazy głównej silnika opóźnia się względem napięcia. Pojemność w obwodzie fazy „kon-



Rys. 1. Schemat włączenia silnika kondensatorowego

- 1 — przewód jezdny
- 2 — obwód główny
- 3 — obwód kondensatorowy
- 4 — szyny



Rys. 2. Schemat zasilania elektrycznego

- 1 — transformator na 6000/380 V
- 2 — wyłącznik nadmiarowy
- 3 — przewód jezdny
- 4 — kierunek północny
- 5 — kierunek południowy
- 6 — szyny
- 7 — kable ssące

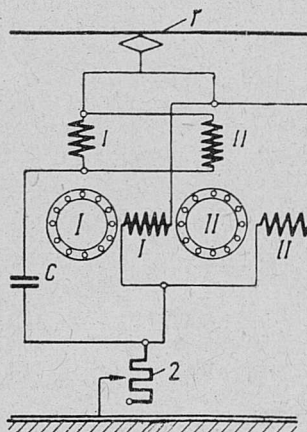
jest stopniowo coraz bardziej zakłócana, maleje bowiem prąd obwodu głównego, a prąd kondensatorowy rośnie i przy poślizgu 2—4% przekracza 1,5-krotnie prąd rozruchowy silnika.

W ten sposób przy ruchu ze stosunkowo małymi obciążeniami, przy włączonej pojemności rozruchowej, może dojść do przegrzania silnika. Dla uniknięcia tego po zakończeniu rozruchu silnika zmniejsza się pojemność z rozruchowej na roboczą.

Całkowita pojemność na lokomotywie elektrycznej wynosi 750 μ F, robocza zaś — 210 μ F.

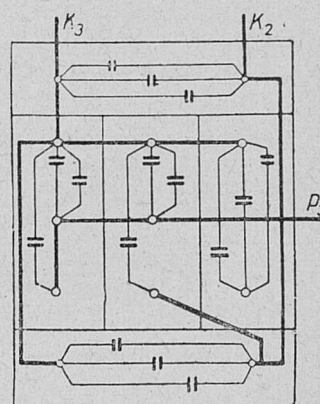
Schemat połączenia silnika i pojemności podano na rys. 3.

Kondensatory stosuje się papierowo-olejowe na napięcie robocze 380 V (5 jednostek po 150 μ F każda). Schemat połączenia ich w baterię podany jest na rys. 4. Wiel-



Rys. 3. Schemat włączenia silników, kondensatorów i oporów rozruchowych

- 1 — przewód jezdny
- 2 — rozrusznik



Rys. 4. Schemat włączenia kondensatorów

„dobra” jest tak, aby działaniem pojemnościowe kondensatorów przeważało nad działaniem indukcyjnym, wskutek czego prąd w obwodzie kondensatorowym silnika wypredza napięcie sieci. Pojemność można tak dobrać, żeby prądy w obwodzie głównym i kondensatorowym silnika były równe co do wielkości i przesunięte względem siebie o 90°, w ten sposób silnik będzie zasilany symetrycznym dwufazowym układem prądów.

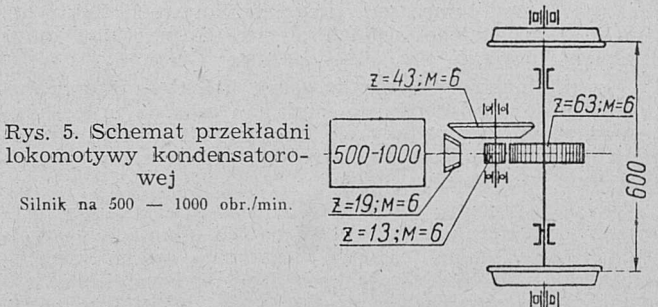
Przy zmianach obciążenia silnika i wzroście poślizgu prądy w obwodach głównym i kondensatorowym przestają być równe i kąt między nimi nie będzie już wynosić 90°. Symetria jest tym bardziej naruszona, im większe są obciążenia i poślizg. Poślizg zmienia się od 100% przy ruszaniu z miejsca lokomotywy do 2—4% przy jeździe. W związku z tym pojemność baterii kondensatorów winna być różna, zależnie od obciążenia silnika. Wychodząc z wartości średnich obciążeń lokomotywy dobrano dwie pojemności: rozruchową i roboczą czyli ruchową. Ta ostatnia jest wybrana dla warunków możliwie największej symetrii prądów w obwodach głównym i kondensatorowym przy średnim momencie obrotowym na wale silnika; daje to najmniejszą asymetrię prądów w czasie nieuniknionych wahań obciążenia na zmiennym profilu drogi.

Jeśli lokomotywa elektryczna rusza przy włączonej pojemności roboczej, prąd obwodu głównego przekraczałby kilkakrotnie prąd obwodu kondensatorowego i naruszona byłaby poważnie symetria prądów, a kąt między nimi różniłby się znacznie od 90°, wskutek czego moment rozruchowy okazałby się zbyt mały. Dla zwiększenia momentu rozruchowego należy zwiększyć prąd w obwodzie kondensatorowym aż do przywrócenia symetrii prądów; pojemność rozruchowa musi być 3—4 razy większa od pojemności roboczej. Przy takiej pojemności będzie zachowana symetria prądów przy rozruchu i zapewniony duży moment rozruchowy silnika. W miarę rozbiegu lokomotywy symetria układu prądów silnika

kość pojemności, a zatem i prądu pojemnościowego regulowana jest przez zmianę połączeń. Rozładowanie baterii kondensatorów następuje samoczynnie przy ustawieniu nastawnika w położenie zerowe, bateria rozładowuje się wówczas przez opór rozruchowy.

W celu zwiększenia siły pociągowej lokomotywy elektrycznej przy jeździe, np. przy obniżeniu się napięcia w sieci, stosuje się krótkotrwałe przejście na pojemność rozruchową, a po pokonaniu trudnego odcinka drogi wraca się znowu do pojemności roboczej.

W odróżnieniu od silników szeregowych prądu stałego silniki kondensatorowe pozwalają na hamowanie i zatrzymywanie lokomotywy metodą przeciwpędu.



Rys. 5. Schemat przekładni lokomotywy kondensatorowej

Silnik na 500 — 1000 obr./min.

Lokomotywa elektryczna jest wyposażona w dwa silniki elektryczne typu MAK-51-6/12 w wykonaniu zamkniętym z wentylacją. Nastawnik normalny typu KMR-5b (stosowanego w lokomotywach elektrycznych prądu stałego) ze zmienionym profilem wału kulakowego. Oświetlenie o napięciu 12 V — od specjalnego transformatora 380/12 V.

Elektryczna lokomotywa kondensatorowa, wykonana na podstawie konstrukcji lokomotywy elektrycznej prądu stałego typu II-TR-Z o ciężarze użytecznym 6,5 t, posia-

da dwustopniową przekładnię redukującą (max. 11) w oleju, w zamkniętej skrzynce dwudzielnej (rys. 5). Silniki są zmontowane poziomo, a osie ich skierowane są zgodnie z osią podłużną lokomotywy elektrycznej. Z jednej strony każdy silnik jest umocowany na ramie lokomotywy elektrycznej za pomocą zwykłego zawieszenia sprężynowego, z drugiej — przez przekładnię redukcyjną opiera się ślizgowymi łożyskami osiowymi na oś kół.

Torecka fabryka „Gławuglemaszu“ wspólnie z fabryką „Dynamo“ im. Kirowa wyprodukowały pierwszą partię kondensatorowych lokomotyw elektrycznych. 9 z nich pracuje od czerwca 1949 r. w kopalniach kombinatu „Moskwougol“ w normalnych warunkach eksploatacyjnych. Długość drogi wywozu wynosi 1100 m. W eksploatacji lokomotywy elektryczne przewiozły dziesiątki tysięcy ton węgla i wykazały następujące właściwości eksploatacyjne i ruchowe:

Czas rozbiegu pociągu (w sekundach)

	Pierwsza prędkość	Druga prędkość
Kierunek z pociągami załadowanym (24 wagoniki po 0,75 t)	20 *)	11
Kierunek z próżnym składem (24 wagoniki)	10	11

Rzeczywista prędkość ruchu (km/h)

Z ładunkiem	5,35	10,3
Próżno	5,35	10,6
Lokomotywa luzem	5,42	11,1

Wartości średnie **) prądów rozruchowych (A)

Kierunek z pociągami załadowanym (24 wagoniki)	117	191
Kierunek z próżnym składem	100	177
Lokomotywa luzem	82	159

Pomiary pobranej mocy i jej współczynnika wykazały, że przy ruchu z ładunkiem moc największa nie przekraczała 15 kW przy $\cos \varphi$ 0,95 — 0,98, a przy ruchu bez ładunku 8 — 9 kW przy $\cos \varphi$ 0,94 — 0,95.

Przy hamowaniu odzyskowym lokomotywa elektryczna oddaje do sieci prąd wyprzedzający napięcie.

W elektrycznej lokomotywie kondensatorowej możliwość buksowania jest znacznie mniejsza niż w lokomotywie prądu stałego; tłumaczy się to bocznikową charakterystyką silnika kondensatorowego, tj. stałością jego obrotów niezależnie od obciążenia. Ta właściwość kondensatorowej lokomotywy elektrycznej zwiększa wyzyskanie jej ciężaru użytecznego, zwiększa poza tym siłę pociągową i zmniejsza potrzebę stosowania piasku, wskutek czego wydatnie maleje zużywanie się bandaży. W ciągu pół roku eksploatacji starcie bandaży wynosiło nie więcej niż 3 mm, tymczasem przy lokomotywach elektrycznych prądu stałego w takim samym przeciągu czasu bandaże zużywają się o 8 — 10 mm.

Prosta konstrukcja silnika, brak kolektora i aparatury szczytkowej skróciły do minimum czas na prace konserwacyjne; sprowadziły się one do okresowego przedmuchiwania silników sprężonym powietrzem dla usunięcia pyłu węglowego.

W ciągu całego czasu eksploatacji zaszły cztery wypadki uszkodzenia silników. W dwóch silnikach nastąpiło przebiecie izolacji cewek uzwojenia w żłobkach — tłumaczyło się to niską jakością izolacji. Dwa silniki wypadły z ruchu wskutek zwęglenia się izolacji czołowych części uzwojenia, co było wynikiem szczególnych właściwości kopalni, w której pracowały te lokomotywy elektryczne. Droga wywozu, mianowicie, miała wzniesienie do 0,030 w kierunku ruchu z ładunkiem, przy czym rozpoczynało się ono od razu w punkcie ładowania; kopalnia dopiero rozpoczęła eksploatację i nie miała doświadczeń z maszynistów, wskutek czego przy pokonywaniu wzniesienia silniki pracowały od samego początku ruchu

dłuższy czas na pojemności rozruchowej, co powodowało zwiększenie prądu i w następstwie przegrzanie uzwojeń. Po złagodzeniu profilu trasy i nauczaniu maszynistów zasad racjonalnego prowadzenia lokomotyw elektrycznych temperatury silników nie przekraczały dopuszczalnych granic.

Praktyka eksploatacyjna wykazała, że przy manewrowaniu, czyli w warunkach częstego rozruchu, silniki są mocno obciążone. Przy trudnym profilu drogi, bez uprzedniego rozbiegu, w warunkach jak wyżej przeciążenie sięga niebezpiecznych dla silnika granic. W badaniach lokomotyw elektrycznych godzinna moc silnika wynosiła 19,5 kW. Pożądane jest zwiększenie jej o 25 — 30% czyli doprowadzenie do wielkości 25 kW.

Kondensatorowa lokomotywa elektryczna ma korzystne charakterystyki pociągowe: samoczynne nabieranie prędkości i płynne ruszanie z miejsca bez szarpnięć zapewniają dogodne warunki manewrowania. Siła pociągowa jest wystarczająca. Stała prędkość upraszcza prowadzenie lokomotywy i daje gwarancję bezpieczeństwa ruchu pociągów.

Sposób zasilania lokomotywy kondensatorowej energią elektryczną jest prosty i pewny w działaniu. W podstawce naziemnej ustawiony jest transformator na 130 kVA z wyłącznikiem olejowym. Po stronie niskiego napięcia umieszczony jest wyłącznik samoczynny do ochrony kabla i transformatora. Praca niezbędna do obsługi układu jest bardzo mała i wszelkie przerwy w zasilaniu są wyklucone.

Przy eksploatacji lokomotyw elektrycznych prądu stałego skomplikowane prostowniki rťciowe bywają źródłem długotrwałych przestojów przy wywożeniu ładunku z kopalni, nie mówiąc już o większych rozchodach eksploatacyjnych na obsługę i remont. Koszt podstawki bez urządzeń prostownikowych jest znacznie mniejszy, maleją również wydatki eksploatacyjne.

Doświadczenie eksploatacyjne wykazuje, że przy prądzie zmiennym styki nastawnika zużywają się nieznacznie.

Dotyczy to również zbieraczy prądu. Łuk, powstający przy odrywaniu odbieraka prądu od przewodu jezdnej, nie przekracza 2 — 3 mm i natychmiast gaśnie. Przy prądzie stałym w tych warunkach powstaje długotrwały łuk, powodujący szybkie zużywanie się styku zbieracza prądu i przewodu jezdnej. Stosowanie elektrycznej lokomotywy kondensatorowej polepsza więc warunki eksploatacji sieci jezdnej.

Praca przekładni zębatej jest całkowicie zadowolająca. Po półrocznej pracy koła zębate były w doskonałym stanie. Szum był nieznaczny. Oględziny wykazały, że przekładnia może być używana wielokrotnie dłużej niż w lokomotywach prądu stałego. Należy sądzić, że zastosowanie niepodzielnego koła zębatego, nasadzonego na wał zestawu kołowego, jest uzasadnione ze względu na powiększenie czasu jego pracy, który to czas nie będzie krótszy od czasu pracy zestawu kołowego.

Przy pracy lokomotyw elektrycznych prądu zmiennego powstają stosunkowo duże spadki napięcia w sieci jezdnej oraz w szynach. Przy prądzie zmiennym spadek napięcia będzie o około 50% większy niż przy prądzie stałym, aby więc zapewnić normalne warunki pracy lokomotywy należy zakładać kable ssące i specjalnie dbać o dobre łączniki szynowe.

Moment obrotowy silników elektrycznych jest proporcjonalny do kwadratu napięcia — należy więc zmniejszyć spadki napięcia dla zachowania obliczonej siły pociągowej lokomotywy. Wynikająca stąd konieczność utrzymywania sieci jezdnej w dobrym stanie nie dyskwalifikuje systemu mimo dodatkowego zużycia materiałów i siły roboczej: koszty te bowiem są w pełni okupione zmniejszeniem strat energii elektrycznej i zwiększeniem prędkości ruchu pociągów.

Elektryczne lokomotywy kondensatorowe pochodzące z pierwszej serii wykazały całkowicie zadowolające wyniki. Po wprowadzeniu niewielkich zmian konstrukcyjnych, wpływających z doświadczenia eksploatacyjnego, elektryczne lokomotywy kondensatorowe powinny znaleźć szerokie zastosowanie w przemyśle węglowym i zastąpić lokomotywy elektryczne prądu stałego.

T. L.

*) Licząc w tym czas na rozciąganie składu.

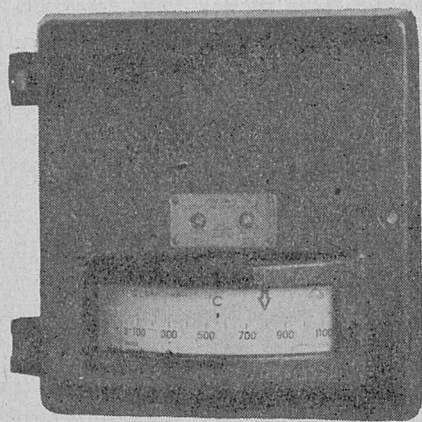
**) Czas trwania prądów rozruchowych leży w granicach 10—20 sek.

Elektronowy regulator temperatury krajowej produkcji

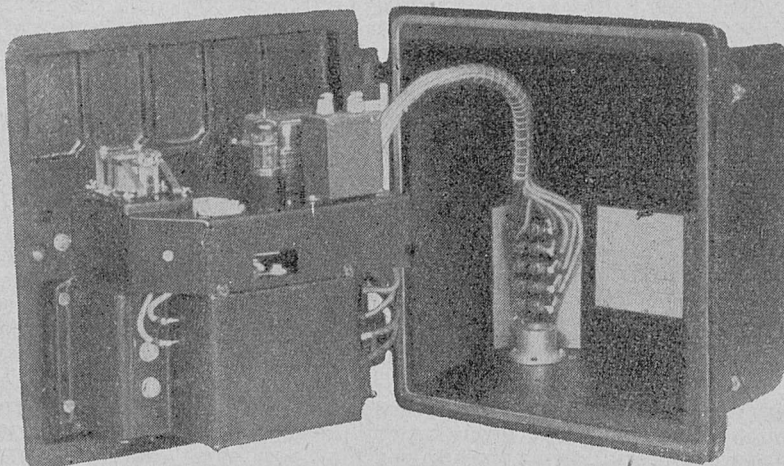
Przemysł polski uzyskał ostatnio nowy przyrząd pomiarowy o podstawowym znaczeniu praktycznym. Przyrządem tym jest elektronowy regulator temperatury typu „Reg-Pyro” opracowany i wyprodukowany przez jedną z wytwórni podległych Centralnemu Zarządowi Przemysłu Maszyn Elektrycznych. Wymieniony regulator jest przewidziany do regulacji okresowej. Oznacza

Miernik i układ elektronowy są umocowane na wewnętrznej stronie przykrywy obudowy. Przykrywę tę można otwierać, co umożliwia dostęp do układu elektronowego miernika oraz zacisków regulatora, które są umieszczone wewnątrz obudowy na ścianie tylnej.

Na zewnętrznej ścianie obudowy regulatora są umieszczone trzy pokręta, które można obracać przy pomocy



Widok zewnętrzny



Wnętrze regulatora

Rys. 1. Regulator temperatury „Reg-Pyro”

to, że włącza on do obwodu określoną moc, gdy temperatura regulowana jest poniżej temperatury ustawionej na regulatorze, i wyłącza z obwodu tę moc, gdy temperatura regulowana wzrośnie powyżej temperatury ustawionej na regulatorze.

Regulator może w zasadzie współpracować z dowolnym technicznym termoelementem. Osiąga się to przez zastosowanie odpowiedniego miliwoltomierza.

Przedstawiony na rys. 1 regulator jest przeznaczony do współpracy z termoelementem Ni — NiCr. Zakres jego wynosi 0°C — 1100°C. Oporność wewnętrzna miernika wynosi 417 Ω, dopuszczalna zaś oporność obwodu zewnętrznego, a więc termoelementu i przewodów kompensacyjnych, 3 Ω.

Regulator składa się w ogólności z dwóch zespołów — z miernika wskazówkowego oraz układu elektronowego. Oba te zespoły są umieszczone w obudowie metalowej, wykonanej w postaci skrzynki (o wymiarach ok. 300 mm × 280 mm i głębokości ok. 175 mm), przystosowanej do wpuszczania w tablicę rozdzielczą.

klucza sztorcowego. Jedno z nich służy do otwierania przykrywy, drugie do nastawiania temperatury, którą regulator ma utrzymać, a trzecie do nastawiania wskazówki miernika na temperaturę otoczenia, przed włączeniem regulatora do obwodu.

Jak widać z rysunku wybijającą się cechą regulatora jest duża zwartość konstrukcji i jednocześnie łatwy dostęp do jego poszczególnych elementów. Przyrząd ten powinien znaleźć szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, a w szczególności tam, gdzie procesy termiczne są automatyzowane i muszą być powtarzalne.

Biorąc pod uwagę, że wyprodukowany elektronowy regulator temperatury jest pierwszym tego rodzaju przyrządem, wytworzonym w skali przemysłowej w kraju, uważamy, że pomimo jego usterek (m. in. wadliwe umieszczenie zacisków) stanowi on duże osiągnięcie naszej wytwórni i że da początek szerokiemu rozwojowi produkcji tego typu przyrządów w Polsce.

F. S.

Wydawnictwa nadesłane

JAKUBOWSKI JANUSZ LECH, dr, prof. Politechniki Warszawskiej. TECHNIKA WYSOKICH NAPIĘĆ. 1951, Warszawa, Trzaska, Evert i Michalski, Biblioteka Techniczna, tom 14. Format A4, str. 471. — Spis rzeczy: Przedmowa. — Wytrzymałość dielektryczna. Pole elektrostatyczne. Pole elektryczne zmienne. Wytrzymałość powietrza. Materiały izolacyjne płynne. Materiały izolacyjne stałe. Piśmiennictwo do części pierwszej. — Przepięcia i ochrona przepięciowa. Wstęp. Podstawowe zjawiska elektromagnetyczne. Różne rodzaje przepięć. Ochronniki. Ochrona linii i stacji. Piśmiennictwo do części drugiej. — Miernictwo wysokonapięciowe (laboratoryjne). Wytwarzanie napięć probierczych. Wytwarzanie napięć wielkiej częstotliwości. Wytwarzanie napięć udarowych. Pomiar wysokiego napięcia. Pomiar prądu przy wysokim napięciu. Pomiar mocy. Piśmiennictwo do części trzeciej. — Z przedmowy autora: Technika wysokich napięć w węższym ujęciu obejmuje wytrzymałość dielektryczną, tzn. wytrzymałość izolacji, oraz przepięcia, tzn. wzrosty napięcia powodujące duże naprężenia izolacji. Zwyczajowo do techniki wysokich napięć zaliczana jest także ochrona przepięciowa i mier-

nictwo wysokonapięciowe. W szerszym ujęciu do omawianej dziedziny wchodzi także konstrukcja i technologia układów izolacyjnych. Niniejsza książka poświęcona jest technice wysokich napięć w węższym ujęciu. Będąc przedrukiem z „Podręcznika Inżyniera Elektryka” stanowi ona często ujęcie skrócone, konspektowe, zwłaszcza w dziedzinie wytrzymałości dielektrycznej. Mając na widoku niniejszą publikację autor ujął szerzej niż wynikało to z potrzeb „Podręcznika Inżyniera Elektryka”, tylko dział „Przepięć i ochrony przepięciowej”.

PRZESYŁ I ROZDZIAŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ. Praca zbiorowa: Electrical Transmission and Distribution Reference Book (Westinghouse). Tom I. WYŁADOWANIA PIORUNOWE I OCHRONA PRZEPIĘCIOWA. Przekład w opr. mgr inż. Z. Skoczyńskiego. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Główny Instytut Elektrotechniki, seria przykładów nr 5. Format A4, str. 158, cena 34 zł. — Spis rzeczy: Rozchodzenie się fal w liniach przesyłowych. Fale proste. Punkty nieciągłości. Wykresy przebiegów falowych. Układy sprzężone indukcyjne. Tłumienie i okształcanie fali. Piśmiennictwo. — Wyładowania piorunowe. Wstęp. Przyrządy do po-

miaru uderów pochodzenia atmosferycznego. Badania w terenie. Piśmiennictwo. — Projektowanie linii przesyłowych pod kątem widzenia ochrony przed bezpośrednimi uderzeniami pioruna. Projektowanie linii. Odpowiednia konstrukcja linii jako forma ochrony przepięciowej. Szczegółowe rozpatrzenie poszczególnych czynników wpływających na skuteczność ochrony linii. Ochrona za pomocą urządzeń pomocniczych. Piśmiennictwo. — Koordynacja izolacji. Rys historyczny. Podstawowe poziomy wytrzymałości udarowej izolacji. Próby udarowe. Własności urządzeń ochronnych. Stosowanie urządzeń ochronnych. Ochrona transformatorów rozdzielczych. Ochrona przepięciowa maszyn obrotowych. Zakończenie. Piśmiennictwo. — Z przedmowy wydawcy: Książka przeznaczona jest dla inżynierów i magistrów nauk technicznych oraz dla studiujących na kursie magisterskim politechnik. — Z przedmowy tłumacza: Poszczególne rozdziały książki nie są przeładowane teorią, ale i nie wysuwają na czoło zagadnień praktycznych — i to jest bezsporną jej zaletą. W książce istnieje harmonia między rozważaniami teoretycznymi a omawianiem wymagań praktyki. Charakterystyczną cechą książki jest sposób podania podstaw teoretycznych, które stanowią punkt wyjścia przy rozpatrywaniu poszczególnych zagadnień spotykanych w praktyce. Podstawy te mało były dotychczas znane i rozpowszechnione w naszej literaturze technicznej i w praktyce. Teoria składowych symetrycznych i szeroko stosowana teoria stanów nieustalonych wnoszą nowy zupełnie sposób ujęcia dobrze znanych zagadnień. Nie trudno będzie się przekonać, jak wielkie korzyści można uzyskać przez zastosowanie podanych metod analizy obwodów elektrycznych.

PRZESYŁ I ROZDZIAŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ. Praca zbiorowa: *Electrical Transmission and Distribution Reference Book* (Westinghouse). Tom II. **MASZYNY I URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE**. Przekład w opr. mgr inż. Z. Skoczyńskiego. 1951. Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Główny Instytut Elektrotechniki, seria przekładów nr 6. Format A4, str. 291. — Spis rzeczy: Charakterystyki maszyn elektrycznych. Charakterystyki maszyn synchronicznych w stanie ustalonym. Zwarcie trójfazowe. Układ w stanie niewyrównanym. Układ jednostkowy. Moc. Silniki indukcyjne. Wpływ zmiany wzbudzenia. Stałe niezbędne do obliczeń związanych z równowagą układu energetycznego. Zwarcia niesymetryczne w prądnicach bez uzwojeń tłumiących. Uzwojenia tłumiące. Zjawisko samowzbudzenia się maszyn synchronicznych. Wpływ nasycenia na niektóre stałe. Cena prądnic. Stromość napięcia układu wzbudzenia (forsowanie wzbudzenia). — Transformatory mocy i dla w. i. Podstawy teoretyczne. Konstrukcja i rodzaje transformatorów. Prąd wzbudzający transformatora. Prąd włączania transformatora. Trzecia harmoniczna prądu wzbudzającego. Sprawność transformatora. Oznaczenie biegunowości i zacisków transformatora. Praca równoległa transformatorów. Oporność transformatora dla składowej symetrycznej zerowej. Oporności transformatora trójfazowego dla składowych symetrycznych. Znormalizowane poziomy izolacji. Przepisy dotyczące nagrzewania transformatorów i prądów zwarciovych. Krzywe nagrzewania i chłodzenia transformatorów. Obciążalność transformatorów olejowych. Cena transformatora. Transformatory uziemiające. Autotransformatory. Prądy w trójsym uzwojeniu autotransformatora przy zakłóceniach. Obciążalność transformatora z uwagi na temperaturę uzwojeń. Zestaw transformatorowy z własną ochroną odgromową i zabezpieczeniami przekładnikowym (typ CSP. we wspólnej obudowie). Regulacja zaczepowa przy obciążeniu. Transformatory regulacyjne do regulacji modułu i fazy napięcia. Dławiki ograniczające prąd w obwodzie (zwarciovowe). Przykład transformatora trójuzwojeniowego. Schematy zastępcze dla transformatorów mocowych i regulacyjnych. — Wyłączniki i przekładniki. Zabezpieczenia przekładnikowe. Obwody sterownicze. Zastosowanie wyłączników. Obliczanie prądów zwarciovych. — Uziemienie punktu zerowego w układach elektro-energetycznych. Podstawowe zasady uziemienia punktu zerowego ukła-

dów elektroenergetycznych. Uziemienie punktu zerowego w praktyce. Zasady uziemiania punktu zerowego prądnic. Uziemienia zera prądnic z praktycznego punktu widzenia. — Przedmowa wydawcy: Książka jest tomem drugim pracy na temat zagadnień przesyłu i rozdziálu energii elektrycznej. Tom ten zawiera rozdziały poświęcone zagadnieniom związanym z warunkami pracy maszyn i urządzeń elektrycznych. Warunki te omówione są szczególnie z punktu widzenia stanów nieustalonych i obciążeń niesymetrycznych. Książka przeznaczona jest dla inżynierów i magistrów nauk technicznych oraz dla studiujących na kursie magisterskim politechnik.

JEZIERSKI EUGENIUSZ, prof. Politechniki Łódzkiej. **MASZYNY SYNCHRONICZNE**. 1951. Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 272, cena 50 zł. — Spis rzeczy: Obwód magnetyczny. Siła elektromotoryczna i współczynniki uzwojenia. Uzwojenia. Strumienie rozproszenia i opory indukcyjne uzwojenia twornika. Oddziaływanie twornika. Opór czynny uzwojenia twornika. Straty obciążeniowe. Maszyna synchroniczna z wirnikiem cylindrycznym. Maszyna z wystającymi biegunami. Praca równoległa. Silnik synchroniczny kompensator. Prądnicą jednofazową. Moment synchronizujący. Kołysania. Zwarcie udarowe. Opory zastępcze maszyny synchronicznej. Straty mocy i sprawność. Badanie maszyn synchronicznych.

PRIWIEZENCEW W. PRODUKCJA DRUTÓW EMALIOWANYCH. Tłumaczył z rosyjskiego Walewski Ludwik inż. 1950. Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 184, rys. 73, cena zł 35. — Spis rzeczy: Zasadnicze wiadomości o procesie tworzenia się błon olejnych. Surowce i półfabrykaty. Lakierowanie emaliowania. Urządzenia emalierni. Produkcja drutów emaliowanych. Charakterystyka jakości drutu emaliowanego. Druty emaliowane winifleksem. — Z przedmowy: Książka podaje opis surowców, używanych do emaliowania drutów, przede wszystkim lakierów olejnych naturalnych i syntetycznych. Następnie opisuje stosowane w produkcji drutów emaliowanych maszyny i urządzenia oraz omawia proces techniczny emaliowania, metody i normy badań. Książka przeznaczona jest dla techników i inżynierów-elektryków, zatrudnionych w produkcji drutów emaliowanych, dostarcza jednak także szeregu ważnych danych dla konstruktorów i ruchowców oraz dla chemików-lakierników.

INSTRUKCJA O STOSOWANIU ŁOŻYSKOWYCH STOPÓW CYNOWYCH O OSNOWIE CYNOWEJ I OŁOWIOWEJ ORAZ WYLEWANIU NIMI PANEWK ŁOŻYSKOWYCH. Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego. Instrukcję opracowała: Komisja Stopów Łożyskowych powołana przez Ministra Przemysłu Ciężkiego. Skład komisji: Prof. dr inż. Al. Krupkowski, inż. S. Balicki, inż. B. Dobrzyński, inż. F. Fijałkowski, dr E. Kamiński, inż. W. Krawczyk, inż. M. Schneider, inż. A. Stupnicki, inż. S. Wojciechowski. 1951. Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 59, rys. 19, tabl. 14, cena zł 4.50. — Spis rzeczy: Ogólne wiadomości o łożyskowych stopach cynowych i o osnowie cynowej i ołowiowej. Spis łożyskowych stopów cynowych zalecanych do użytku w przemyśle. Instrukcja co do zakresu stosowania łożyskowych stopów cynowych. Instrukcja wylewania panewek łożyskowych stopami cynowymi Ł 83, Ł 70, Ł 20, Ł 16, Ł 10 As, Ł 10, Ł 6 As, Ł 6. Badania nad stopami łożyskowymi, które przeprowadził Zakład metalurgii technicznych metali Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

ROSNER WITOLD, inż. Instytut Metalurgii w Gliwicach. **KONTROLA RUCHU URZĄDZEŃ DO ULEPSZANIA WODY**. 1950. Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 95, rys. 15, cena zł 10. — Wstęp. Organizacja obsługi i kontroli. Podstawowe pojęcia i jednostki. Całkowita analiza wody (uwagi ogólne). Dawkowanie odczynników. Zadania i zakres kontroli ruchu. Wykonywanie oznaczeń chemicznych. Przepisy dotyczące oznaczeń chemicznych. Gospodarcze znaczenie ulepszenia wody. Literatura. — Z przedmowy: Książka omawia zagadnienia analizy wody oraz organizacji obsługi i kontroli urządzeń do ulepszenia wody, służącej do zasilania kotłów parowych. Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników, pracujących w dziedzinie obsługi i kontroli kotłów parowych.

BIULETYN INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok VI — nr 36

Warszawa, Piękna 68

Wrzesień 1952 r.

Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych

KRAJOWE ROZWIĄZANIE NAPĘDU WIRÓWKI CUKROWNICZEJ PRZY 20 CYKLACH ROBOCZYCH NA GODZINĘ

Opracowanie krajowego rozwiązania napędu wirówki jest dla naszego przemysłu cukrowniczego sprawą niezmiernej wagi. W związku z tym od dłuższego czasu prowadzone są w Zakładzie Maszyn i Napędów Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki badania, mające na celu opracowanie najkorzystniejszego w naszych warunkach rozwiązania napędowego.

Zagadnienie to, napozór proste, wymaga wiele trudu, gdyż warunki pracy wirówki daleko odbiegają od pracy innych rodzajów napędu wielkich mas wirujących. Z tego powodu rozwiązanie możliwe bliskie doskonałości musi mieć szczególne cechy. Celem stwierdzenia wad i zalet różnych rozwiązań dokonano szeregu pomiarów w cukrowniach podczas kampanii w bardzo trudnych warunkach. Pomiary te, dotyczące w szczególności pracy silnika w systemie dwóch częstotliwości, dały wiele ciekawego materiału, na którego podstawie można dokładniej zanalizować różne rozwiązania i wybrać najkorzystniejsze.

W obecnej sytuacji naszego przemysłu praktyczne możliwości zastosowania mają tylko silniki indukcyjne. Inne rozwiązania, jak silniki komutatorowe prądu zmiennego, silniki prądu stałego z regulacją bocznikową lub w układzie Leonarda, w naszych warunkach w grę nie wchodzi z powodu zarówno trudności konstrukcji odpowiednich maszyn i aparatury, jak i nieracjonalności gospodarczej. Rozwiązania takie opłacają się dla wirówek szybkoobrotowych, o obrotach rzędu 1500—1800 na minutę. W naszym przemyśle cukrowniczym zasadniczy typ wirówki został już ustalony: jest to wirówka typu Westona o pojemności 500 kg, średnicy bębna 1250 mm, prędkości około 960 obr./min. i momencie zamachowym w stanie napelnionym ok. 1200 kgm². Ten typ wirówki nie powoduje tak wielkich obciążeń, aby zastosowanie silnika indukcyjnego można było z góry uznać za nieracjonalne. Liczba szarż (cykli roboczych) na godzinę, dla której należy opracować napęd, wynosi 20, a więc przeszło dwukrotnie więcej niż w dotychczasowych urządzeniach. Przy tak dużej liczbie szarż sprzęgło cierne, stosowane dotychczas powszechnie w urządzeniach o małej liczbie szarż (do 12), pracuje bardzo niepewnie i szybko się zużywa pod wpływem ogromnych ilości wydzielającego się w nim ciepła rozruchowego. Zmusiło to do zaniechania stosowania sprzęgieł ciernych, a wprowadzenia wzajemian sprzęgieł stałych, pracujących bez poślizgu. Rozwiązanie takie jednak powoduje znaczne zwiększenie obciążenia cieplnego silnika i zmusza do stosowania maszyn o znacznej wielkości, obliczonych na całe ciepło rozruchowe.

Istnieje kilka możliwości rozwiązania napędu:

- 1) zwykły silnik z wirnikiem zwartym,
- 2) silnik z oporem wirującym, wbudowanym w obwód wirnika,
- 3) silnik dwubiegowy,
- 4) zwykły silnik zwarty pracujący w systemie dwóch częstotliwości,
- 5) silnik pierścieniowy.

Omówimy tu wady i zalety wymienionych rozwiązań.

Zwykły silnik z wirnikiem zwartym jest najprostszym rozwiązaniem napędu. Silnik jest włączany bezpośrednio do sieci, co daje najdalej idące uproszczenie aparatury sterującej i obsługi. Wadą takiego rozwiązania jest duży prąd rozruchowy, równy 5—6-krotnemu prądowi znamionowemu.

Przy 20 szarżach moc silnika wymagana ze względów cieplnych wynosi ok. 80 kW, prąd zaś znamionowy przy napięciu 380 V około 140 A. Silnik tej mocy w normalnym

wykonaniu pobierałby przy włączeniu prąd rzędu 700 A, czas zaś rozruchu byłby ok. 30 sekund. Jest to rozruch zbyt szybki. Powodowałby on powstanie wielkich naprężeń mechanicznych i uniemożliwiał napelnienie wirówki, które trwa przeciętnie 15 sek i powinno odbywać się przy obrotach stosunkowo małych (rzędu 150—400). Aby zmniejszyć przyspieszenie w okresie napelniania, należałoby w tym czasie obniżyć moment obrotowy silnika. Można tego dokonać przez włączenie oporów w obwód stojana, albo lepiej — przez zastosowanie przełącznika gwiazda-trójkąt. W tym drugim wypadku uzyskuje się również znaczne zmniejszenie prądu rozruchowego. Rozwiązanie takie jest jednak skomplikowane w obsłudze i, znacznie droższe.

Moc silnika, potrzebna w omawianym przypadku, jest duża, stąd maszyną wypadłaby wielka, ciężka i kosztowna. Ze względu na duży pobór prądu przy rozruchu wydaje się wątpliwe, aby którakolwiek z naszych cukrowni mogła sobie pozwolić na zainstalowanie grupy takich silników bez obawy poważnych zaburzeń w pracy. Z tych powodów rozwiązanie takie należy uznać za niewłaściwe.

Przez zastosowanie silnika o specjalnej konstrukcji klatki prąd włączenia da się poważnie zmniejszyć. Towarzyszy temu wprowadzenie obniżenia średniego momentu rozruchowego, jednakże nie jest to groźne. Silnik, dobrany należycie pod względem cieplnym, zawsze będzie miał dostatecznie wielki moment rozruchowy. Czas rozruchu nie powinien bowiem być krótszy od 60 sek. Dzięki temu jest możliwe zastosowanie silników o wyjątkowo małej krotności prądu włączenia, rzędu 2,5—3. Uzyskuje się przez to znaczne zmniejszenie prądu zastępczego, co prowadzi do znacznego zmniejszenia potrzebnej mocy silnika.

Silnik z opornikiem wirującym, wzbudowanym w uzwojenie wirnika, stanowi drugą możliwość rozwiązania napędu. Dzięki opornikowi ciepło wydzielające się w wirniku, jak i pobór z sieci, są znacznie mniejsze, wskutek czego moc silnika przy 20 szarżach może być stosunkowo nieduża, mianowicie rzędu 50 kW. Obsługa silnika jest równie prosta, jak zwykłego silnika klatkowego.

Przeciwno takiemu rozwiązaniu można wysunąć szereg zastrzeżeń. Wskutek obecności opornika w wirniku obroty odwirowania są nieco niższe (rzędu 930—950) zależnie od wielkości oporu. Zmusza to do przedłużania czasu odwirowania, gdyż siła odśrodkowa zmniejsza się proporcjonalnie do kwadratu prędkości kątowej.

Konstrukcja silnika nastęrczałaby sporo trudności. Silnik jest bowiem całkowicie nietypowy i musiałby mieć zupełnie odmienną konstrukcję mechaniczną. Odnowylni dobór opornika wymagałby licznych prób, co opóźniłoby oddanie silnika do użytku. Z tych powodów wybór tego typu silnika nie wydaje się odpowiedni.

Silnik dwubiegowy. W porównaniu ze zwykłym silnikiem klatkowym to rozwiązanie ma następujące zalety: oszczędność energii dochodząca do 25%, a po wprowadzeniu hamowania generatorowego silnikiem nawet do 40% całkowitej energii zużywanej na rozruch. Zastępczy prąd rozruchu jest blisko o 20% mniejszy niż w zwykłym silniku (przy stosunku liczb biegów 2:1). Możliwe jest ponadto napelnianie wirówki przy stałych obrotach, co ma ważne znaczenie dla równomiernego napelnienia wirówki i wpływa korzystnie na jakość otrzymwanego cukru. Poza tym silnik dwubiegowy umożliwia pracę przy niższych obrotach, co znakomicie ułatwia czynności pomocnicze i zwiększa wygodę i bezpieczeństwo obsługi. Jego moc dla 20 szarż wynosi około 65 kW. Dzięki odpowiedniej konstrukcji klatki można uzyskać nieduży prąd rozruchowy, wymagany przez przemysł cukrowniczy (najwyższy dopuszczalny prąd rozruchowy wynosi 250 A). Takie rozwiązanie pozwoli jednocześnie zmniejszyć potrzebną moc silnika do 55 kW. Średni moment rozruchowy jest tego samego rzędu (55 kgm) — czyli wymagana krotność momentu będzie równa ok. 1,2. Prąd znamionowy silnika wynosi przy 380 V 95 amperów,

czyli krotność prądu włączenia jest równa 2,6. Przez zastosowanie izolacji szklanej wymiary silnika mogą być zmniejszone do wymiarów silnika z izolacją klasy A o mocy rzędu 40 kW.

Powyższe rozwiązanie ma następujące wady: silnik jest dość kosztowny, obsługa jest bardziej skomplikowana niż zwykłego silnika zwartego. Porównując jednak wady z zaletami można dojść do wniosku, że silnik dwubiegowy może lepiej niż jakikolwiek inny silnik klatkowy spełnić wymagania napędu. Nie należy również lekceważyć oszczędności energii: 10 silników tego typu, pracujących przy 20 szarżach na godzinę, zużywałoby w tym czasie około 90 kWh mniej energii niż analogiczne silniki klatkowe lub pierścieniowe w wykonaniu zwykłym. Znaczy to, że prądnica główna będzie obciążona mocą o 90 kW mniejszą, co może być niezmiernie korzystne przy rozbudowie mechanizacji cukrowni.

Silnik zwykły z wirnikiem z warty m, pracujący w systemie dwóch częstotliwości, ma podobne zalety. Wadą tego rozwiązania jest konieczność instalowania drugiej sieci o niższej częstotliwości łącznie z przetwornicą. Pod względem kosztów rozwiązanie to nie byłoby prawdopodobnie droższe, gdyż dzięki zastosowaniu tańszych silników zyskałoby się oszczędność równoważącą koszt przetwornicy. Dalszą ujemną stroną jest uzależnienie silników od dodatkowego źródła energii — prądnicy niższej częstotliwości, przez co zmniejsza się pewność ruchu. Nie jest to specjalnie groźne, gdyż prawdopodobieństwo uszkodzenia zespołu o zmniejszonej częstotliwości jest przy racjonalnej konserwacji niewielkie, a w dodatku silniki mogą jakiś czas pracować na jednej tylko sieci, co prawda przy mniejszej liczbie włączeń.

Poważniejszą wadą rozwiązania jest to, że wymaga ono doboru źródła zmniejszonej częstotliwości dla całej baterii wirówek, wypadki zaś instalowania nowej kompletnej wirownicy należą do wyjątków. Zwykle cukrownie otrzymują wirówki pojedynczo dla zastąpienia zużytych. Stąd więc i wyposażenie napędowe musi stanowić zupełnie autonomiczną jednostkę, niezależną od żadnego centralnego układu, jak sieć niższej częstotliwości lub instalacja przewietrzania silników.

Wprowadzenie systemu dwóch częstotliwości wydaje się więc racjonalne w urządzeniach istniejących dla lepszego wyzyskania silników i oszczędzania energii, dla nowodostarczanych zaś urządzeń korzystniejsze są silniki dwubiegowe.

Silniki pierścieniowe są właściwie jedynymi typami katalogowymi, które można zastosować do napędu wirówek niemal bez przeróbek. Pozwalają one osiągać znaczną liczbę szarż przy stosunkowo niewielkiej mocy silnika. Tak na przykład można silnikiem o mocy 37 kW osiągać do 30 szarż pod warunkiem zastosowania izolacji szklanej i odpowiedniej aparatury, przy czym prąd rozruchu może być utrzymany na bardzo niskim poziomie. Pod tym względem silniki pierścieniowe przewyższają wszystkie inne odmiany silników indukcyjnych, wymienione poprzednio. Mimo tak poważnych zalet silniki te są niezbyt rozpowszechnione, częściowo z powodu uprzedzenia, a częściowo z winy licznych wad, jak: znaczny koszt, skomplikowana aparatura, mniejsza pewność ruchu spowodowana obecnością szczotek i pierścieni, bardziej skomplikowana obsługa i trudniejsza konserwacja niż silników klatkowych. Dużo kłopotu w eksploatacji sprawiają oporniki rozruchowe, które przy pracy nagrzewają się nieraz do wysokiej temperatury. Wskutek wstrząsów, powodowanych przez bieżące maszyny następują w opornikach deformacje i zwarcia, bardzo trudne do usunięcia. Z tych powodów silniki pierścieniowe stosuje się tylko w wypadkach, gdy wprowadzenie silników zwartych jest niemożliwe lub nieopłacalne, a więc przy liczbie szarż powyżej 25, bądź też wówczas, kiedy wymagane jest hamowanie wirówki silnikiem.

Na podstawie przytoczonych wyżej rozważań — jako rozwiązanie napędu wirówki przy 20 szarżach — został wybrany silnik z wirnikiem klatkowym głębokożłobkowym (klatka wykonana z materiału o dużej pojemności cieplnej), dwubiegowy o stosunku obrotów 1 : 2, o prądzie rozruchowym nie przekraczającym 250 A, o mocy znamionowej około 55 kW, krotności prądu włączenia 2,6, izolacji uzwojeń stojana szklanej.

Blіszsze dane na temat projektowania napędu wirówek, a w szczególności wybranego silnika, będą ogłoszone w „Pracach Instytutu Elektrotechniki“.

A. G.

Wydawnictwa nadesłane

PRZEPISY TECHNICZNE NA PRZYŁĄCZANIE URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH DO SIECI ROZDZIELCZYCH PODLEGŁYCH CENTRALNEMU ZARZĄDOWI ENERGETYKI. Opracowała Komisja w składzie: inż. L. Górski, inż. J. Cedro, inż. T. Kłosowski, inż. B. Lis, inż. St. Mańko, inż. Morzycka, inż. J. Plewako, ob. K. Strus. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Centralny Zarząd Energetyki. Format A5, str. 51. — Spis rzeczy: Wstęp. Zakres stosowania. Określenia. Wykaz przepisów i norm związanych. — Złącza do domu w e. Postanowienia ogólne. Złącza do sieci napowietrznej. Złącza do sieci kablowej. — Wewnętrzne linie zasilające. Zasady ogólne. Miejsca prowadzenia i sposób wykonania w. l. z. i odgałęzień. Najmniejsze dozwolone przekroje przewodów i średnice rurek. Warunki techniczne wykonania w. l. z. Zabezpieczenia w. l. z. i odgałęzień od nich. — Liczniki. Umieszczanie liczników. Wielkość i rodzaj licznika. Zawieszanie licznika. Miejsce ustawienia transformatorów prądowych. — Instalacje wewnętrzne w budynkach mieszkalnych. Tablice rozdzielcze. Urządzenia odbiorcze. — Silniki. Wielkość silników. Budowa silników. Wykonanie instalacji siłowej. Zabezpieczenia i wyłączniki. — Ochrona przed porażeniem. Uziemianie. Wykonanie uziemień. — Obciążenia wewnętrznych linii zasilających. Pomieszczenia mieszkalne. Pomieszczenia niemieszkalne. — Współczynniki jednoczesności. Współczynniki jednoczesności dla obliczania w. l. z. w domach mieszkalnych.

Współczynniki jednoczesności dla obliczania przyłączy w domach mieszkalnych. Współczynniki jednoczesności dla obliczania w. l. z. w domach niemieszkalnych. — Dopuszczalne spadki napięcia. Przyłącza. Wewnętrzne linie zasilające. Urządzenia odbiorcze. — Zagadnienia do uzgodnienia z zakładem energetycznym.

RABKIN L. i SZOLC N., kandydaci nauk technicznych. MAGNETODIELEKTRYKI I CEWKI RDZENIOWE. Tłum. mgr inż. T. Scheidlinger. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 320. — Spis rzeczy: Magnetodielektryki. Materiały magnetyczne o stałej przenikalności. Fizyczne własności magnetodielektryków. Technologia magnetodielektryków. Techniczne magnetodielektryki. — Cewki rdzeniowe. Obliczanie cewki o rodzaju magnetodielektrycznym. Elektromagnetyczne pomiary magnetodielektryków. — Przedmowa wydawcy: Książka omawia własności materiałów, będących mieszaniną składników ferromagnetycznych i dielektrykami oraz ich zastosowanie przy konstruowaniu cewek z rdzeniami magnetycznymi. Zachowanie się magnetodielektryków i budowanych z nich elementów zostało zanalizowane w sposób teoretyczny oraz zobrazowane szeregiem danych doświadczalnych. Książka przeznaczona jest przede wszystkim dla inżynierów-praktyków, pracowników naukowych telekomunikacji i materiałoznawstwa elektrycznego; może służyć ponadto jako książka pomocnicza na wydziałach łączności politechnik i szkół inżynierskich.

PRZEGLĄD BIBLIOGRAFICZNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI
Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 4

Warszawa, wrzesień 1952 r.

Nr 9

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

Bezpieczeństwo pracy

304* 614.825 D1-9.52

Irresberger G.: **Analiza wypadków nieszczęśliwych w latach 1919—1939 wielkiego okręgu elektro-energetycznego.** „Die Analyse der Unfälle 1919 bis 1939 eines grossen Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmens“. Bull. SEV., Zürich, 2 tyg., t. 42, nr 12, 16 czerw. 51, s. 443; A4, 6,5 str., 1 rys., 8 wyk., 79 poz. bibl. — podział wypadków z punktu widzenia ich charakteru: 89% wypadków „nie elektrycznych“, 11% wypadków „elektrycznych“. Statystyka przyczyn wypadków: największy procent śmiertelnych i ciężkich wypadków „elektrycznych“. Podział wypadków z punktu widzenia charakteru pracy: największy procent wypadków przy budowie sieci elektrycznych, najmniejszy procent przy budowie kopalni węgla.

614.825:621.001.4:

621.3.028:685.312/553.6

D1-9.52

Villain M.: **Wyniki pomiarów oporności uziemienia stóp człowieka przebywającego na terenach fabrycznych.** „Résultats de mesure de résistances „pédiculaires“ dans les locaux industriels“. Électricité, Paris, mies., nr 170, marz. 51, s. 83; A4, 3 str., 2 rys., 1 wyk., 1 tabl. — Metoda pomiaru, określenie najmniejszej oporności niezagrożącej życiu przy zetknięciu z przewodem pod napięciem 127 + 530 V; wyniki 200 pomiarów obejmujących różne rodzaje podłogi.

614.825:821.316.262:

621.3.012.5:621.3.015.1

D1-9.52

Bodier M. G.: **Badania szczegółowe rozkładu napięć w ziemi w stacji i w jej sąsiedztwie.** „Prospection systématique des gradients de potentiel au voisinage et à l'intérieur d'un poste de transformation.“ Bull. Soc. franç. électr., Paris, mies., 7 seria, t. 1, nr 7, lip. 51, s. 403; A4, 14 str., 1 fot., 5 rys., 7 wyk., 1 tabl. — Pomiaru rozkładu napięć na powierzchni ziemi na terenie stacji na 15 ÷ 60 kV przy zwarciu z ziemią w stacji. Określenie stopnia zagrożenia człowieka przy napięciach krokowych. Możliwości zmniejszenia niebezpieczeństwa porażenia.

Wiadomości ogólne

307* 621.3(494) D1-9.52

Przegląd rozwoju konstrukcji Brown Boveri w roku 1950/51 — Przesył, rozdział i przetwarzanie energii elektrycznej. „Rückblick auf die Entwicklung der Brown Boveri Konstruktionen im Geschäftsjahr 1950/51. — Transport, Verteilung und Umformung elektrischer Energie.“ Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 38, nr 1/2/3, stycz.-luty-marz. 51, s. 35; A4, 15 str., 25 fot., 1 wyk., 2 tabl. — Charakterystyka i niektóre dane urządzeń produkowanych przez Brown Boveri transformatory, wyłączniki, cewki gasikowe, odgromniki, przekaźniki, prostowniki, mutatory.

308* 621.3.01 D1-9.52

Pincirolti A.: **Warunki określające stateczność układów ze szczególnym uwzględnieniem sieci elektrycznych.** „Condizioni di stabilità e di instabilità di sistemi attivi, con particolare riguardo alle reti elettriche“. Elettrotecnica, Milano, mies., nr 4, t. 38, 25 kw. 51, s. 193; A4, 2 str., 1 rys., 3 wyk., 2 poz. bibl. — Stateczność według kryterium Nyquista. Analiza nowego kryterium równoważnego kryterium Nyquista.

309* 620.193.7:621.3.014.6 D1-9.52

Durkin A. E. (General Electric Company, West Lynn): **Korozja metali wskutek elektrolizy.** „Electrolytic corrosion of metals“. Gen. electr. Rev., New-York, mies., t. 54, nr 2, luty 51, s. 45; A4, 3 str., 2 fot., 1 tabl., 10 poz. bibl. — Analiza zjawiska elektrolitycznej korozji metali. Uzależnienie stopnia występowania zjawiska zarówno od

rodzaju stykających się materiałów (położenia metali w szeregu elektrochemicznym), od rodzaju ich obróbki, jak i od wpływu czynników ubocznych. Środki zapobiegawcze.

621.3.08 + 621.3.014.6:

621.312(061)(47)

D1-9.52

Jerszow I. M.: **Przemysłowe wzorce aparatury, stosowanej przy ochronie urządzeń metalowych od korozji elektrolitycznej.** „Promyslennyje obrazcy apparatury primieniaemoj pri zaszcizitie mietalliczeskich sooruzenij ot elektrokorozi“. Trudy wsiesoj. naucz-issledow. inst. żeleznodor. transp., wyd. 42, (Issledow. rab. ustrojstw. elektr. tiagi), 1951, s. 111; A5, 20,3 str., 5 fot., 10 rys., 1 tabl., 1 poz. bibl. — Uniwersalny przyrząd do pomiaru prądów błędzących i schematy pomiarowe. Specjalna aparatura do ochrony urządzeń pomiarowych na zelektryfikowanych odcinkach kolejowych przed korozją elektrolityczną (iskierni jednorazowego działania, urządzenia do drenażu polaryzowanego i katodowego). Przyrządy te zostały opracowane przez Instytut (WN—IIŻT) i obecnie są produkowane przez przemysł ZSRR.

311* 621.3.014.31 D1-9.52

Dżuwarły Cz. M.: **Główne wyniki badania przepięć przy łuku ziemno-zwarciovym.** „Osnownyje riezultaty issledowanija pierienapriaženij ot zaziemlajuszczich dug“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 5, maj 51, s. 43; A4, 2,6 str., 2 rys., 2 tabl. — Wyniki doświadczalnych badań, mających na celu wyjaśnienie charakteru i wielkości przepięć, wywołanych łukiem ziemno-zwarciovym w sieciach z izolowanym punktem zerowym. Układ pomiarowy. Otrzymane wartości przepięć. Wnioski: w sieciach o dobrym stanie izolacji przepięcia ziemnozwarciowe nie są groźne.

658.54:621.3.015.027.3.001.4:

621.3.015.3.027.3:621.311(47)

D1-9.52

Serencis A. N.: **Zagadnienia normalizacji napięć probierczych i napięć przebiecia transformatorów, aparatów i izolatorów wysokiego napięcia.** „Woprosy normirowanija ispytatielnych i razriadnych napriaženij wysokowolnych transformatorow, apparatow i izolatorow“. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 6, czerw. 51, s. 70; A4, 4,5 str., 3 tabl., 5 poz. bibl. — Propozycja Wszechzwiązkowego Instytutu Elektrotechniki zmiany norm na napięcia probiercze dla urządzeń wysokonapięciowych. Omówienia propozycji pod kątem koordynacji izolacji. Krytyka przyjętych wartości. Napięcia probiercze stosowane w fabryce „Elektroaparat“.

313* 621.3.017.2 D1-9.52

Cyganow S. W.: **Analiza strat w układzie energetycznym i sposoby ich zmniejszenia.** „Analiz potier w eniergosistemie i puti ich sniženja“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 5, maj 51, s. 29; A4, 2,2 str., 1 rys., 2 tabl. — Straty energii handlowe i „techniczne“ w układzie elektroenergetycznym i sposoby ich wyznaczania. Straty energii w sieciach wysokiego napięcia i w miejskich sieciach rozdzielczych. Sposoby obniżania strat.

314* 621.3.017.2 D1-9.52

Szipow N. M.: **Straty energii elektrycznej w sprzęcie liniowym.** „Potieri elektroeniergii w liniejnoj armaturie“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 58; A4, 0,5 str., 1 rys., 2 tabl. — Laboratoryjne badania straty mocy w zaciskach liniowych typu R 140. Wyniki pomiarów: stosowany sprzęt żelazny może podwyższyć straty w linii o 0,4 kW/km.

315* 621.3.048:621.52 D1-9.52

Maleady N. R.: **Suszenie próżniowe izolacji w zakładzie.** „Vacuum-drying of electrical insulation in the service shop“. Gen. electr. Rev., (Schenectady), mies., t. 54, nr 8, sierp. 51, s. 52; A4, 3 str., 1 fot., 2 poz. bibl. — Przebieg

suszenia izolacji. Określenie momentu zakończenia procesu suszenia. Opis urządzenia do suszenia próżniowego izolacji maszyn elektrycznych.

- 316* 621.3.054.42:621.3.064 D1-9.52
Hopkins R. J., Schults N. R.: **Ręczne i samoczynne włączanie kondensatorów kompensacyjnych.** „Switching of distribution capacitors by manual and automatic devices”. Gen. electr. Rev., New-York, mies., t. 54, nr 4, kw. 51, s. 36; A4, 7 str., 7 fot., 1 rys., 1 wykr., 3 tabl., 4 poz. bibl. — Warunki pracy kompensacyjnej baterii kondensatorów w sieciach rozdzielczych. Zagadnienia techniczne związane z włączaniem i wyłączeniem kondensatorów. Dobór odpowiednich urządzeń o napędzie ręcznym i samoczynnym służących do włączania i wyłączania baterii kondensatorów. Uzależnienie działania urządzeń samoczynnych od zmian wielkości elektrycznych w układzie elektroenergetycznym

- 317* 621.3.081.5 D1-9.52
Franke O.: **Układy i jednostki pomiarowe elektrycznych i magnetycznych wielkości.** „Die Masssysteme und Massseinheiten der elektrischen und magnetischen Grössen”. E. und M., Wien, nr 11, czerw. 51, r. 68, s. 280; A4, 4 str. — Definicje i działanie na jednostkach i wielkościach. Równania wielkości. Podział wielkości na dwie grupy. Wymiarowanie w 3-ch różnych układach: 1-m-t, CGS i MKS. Konieczność określenia podstaw wymiarowania.

Układy elektroenergetyczne

- 318* 621.311(494) D1-9.52
Przegląd rozwoju konstrukcji Brown Boveri w roku 1950—51. — Wytwarzanie energii. „Rückblick auf die Entwicklung der Brown Boveri Konstruktionen im Geschäftsjahr 1950/51. Energieerzeugung”. Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 38, Nr 1/2/3, stycz.-luty-marz. 51, s. 3; A4, 31 str., 41 fot., 3 rys., 1 wykr., 4 tabl. — Charakterystyka i niektóre dane techniczne urządzeń produkowanych przez Brown Boveri: kotły Velox, elektrownie ciepłone, turbiny gazowe, turbiny parowe, turbogeneratory, generatory wolnoobrotowe, urządzenia rozdzielcze i nastawnie.

- 319* 621.311.004.5:621.312 D1-9.52
Gerlach M.: **Właściwa obsługa i konserwacja elektrycznych urządzeń w przemyśle.** „Richtige Bedienung und Instandhaltung von elektrischen Einrichtungen in der Industrie”. Elektrotechnik (Berlin), mies., t. 5, nr 8, sier. 51, s. 355; A4, 56 str., 5 fot., 5 rys., 1 poz. bibl. — Przyczyny uszkodzeń i sposoby zapobiegania im w urządzeniach wysokiego napięcia, przewodach, transformatorach i maszynach elektrycznych prądu zmiennego spotykanych w urządzeniach przemysłowych. Rola obsługi i dozoru. Znaczenie zagadnienia z punktu widzenia gospodarki narodowej.

- 320* 621.311.018.41 D1-9.52
Bauman H. A., Hahn G. R., Metcalf C. N.: **Wpływ obniżenia częstotliwości na moc elektrowni i pracę układu elektroenergetycznego.** „Effect of frequency reduction on plant capacity and on system operation”. Electr. Wld., New-York, mies., t. 135, nr 11, marz. 51, s. 100; A4, 3 str., 6 wykr. — Wyniki badań wpływu zmniejszenia częstotliwości w układzie elektroenergetycznym na pracę urządzeń potrzeb własnych w elektrowni i zachowanie się różnych urządzeń odbiorczych. Zmiana warunków pracy prądnic turbinowych. Charakterystyki pracy różnych urządzeń.

- 321* 621.311.1:621.310.11 D1-9.52
Kiriejew M. I.: **Zużycie energii elektrycznej w domach mieszkalnych i budynkach użyteczności publicznej.** „Elektriceskije nagruzki žylych i obščestwennykh zdaniy”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., nr 6, czerw. 51, s. 41; A4, 2 str., 2 tabl. — Charakterystyka pomiarów energii pobieranej przez domy mieszkalne, dokonanych w Świerdłowsku. Analiza wyników pomiarów. Względne zapotrzebowanie energii poszczególnych części miejskiej sieci niskiego napięcia. Pogląd autora na zagadnienie projektowania zapotrzebowania energii elektrycznej w pomieszczeniach mieszkalnych w końcu bieżącej pięcioletki. Wskazówki obliczania sieci oświetleniowych wg „Norm oświetlenia elektrycznego budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej”.

- 322* 621.311.1:621.316.13 D1-9.52
Tejchman L. F.: **Obciążenia elektryczne miejskich sieci niskiego napięcia.** „Elektriceskije nagruzki gorodskich sietiej niskowo napriazhenja”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., nr 6, czerw. 51, s. 38; A4, 1,5 str. — Zagadnienie określenia obciążeń sieci miejskich niskiego napięcia w literaturze radzieckiej. Względne zapotrzebowanie energii elektrycznej w lokalach mieszkalnych Moskwy i Leningradu. Wytyczne zapotrzebowania energii w latach 1954—55. Charakterystyka zapotrzebowania energii przez sklepy.

- 323* 621.311.1:621.316.15 D1-9.52
Pogosjan I. A., Sierbinowski G. W.: **Obciążenia elektryczne sieci niskiego napięcia Moskwy.** „Ob elektriceskich nagruzkach sietej niskowo napriazhenja Moskwy”. Elektr., Stancji, Moskwa, mies., nr 6, czerw. 51, s. 39; A4, 1,5 str., 2 tabl. — Charakterystyka zapotrzebowania energii przez poszczególne grupy odbiorców moskiewskiej sieci niskiego napięcia. Znaczenie zapotrzebowania energii przez pomieszczenia mieszkalne w ogólnym obciążeniu sieci niskiego napięcia. Przykład obliczenia energii zapotrzebowanej przez 3 domy mieszkalne. Charakterystyka zapotrzebowania energii elektrycznej w warsztatach i sklepach.

Maszyny elektryczne

- 324* 621.313.017.72 D1-9.52
Azbukin Ju. I.: **Wybór chłodnic typu spiralnego.** „Wybor wozduchoochładitielej spiralnowo tipa”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 5, maj 51, s. 24; A4, 5,3 str., 3 wykr., 1 tabl., 1 poz. bibl. — Dobór lepszego urządzenia chłodzącego powietrze w celu poprawy ciepłych warunków pracy prądnicy. Sprawdzanie już pracującego urządzenia chłodniczego drogą pomiarów i obliczeń. Bieg obliczeń, wzory i wykresy.

- 325* 621.313.1 D1-9.52
Andrianow D. M.: **Suszenie maszyn elektrycznych.** „Suszka elektriceskich maszin”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 55; A4, 0,5 str., 1 fot., 1 tabl., 1 poz. bibl. — Suszenie maszyn elektrycznych przez ich nagrzewanie metodą indukcyjną. Zakładanie uzwojenia na kadłubie maszyny. Dobór liczby zwojów oraz wartości prądu i napięcia.

- 326* 621.313.3 D1-9.52
Łukjanow Je. W.: **Urządzenie do wyjmowania wirników dużych maszyn elektrycznych.** „Prisposoblenje dla wyjemki rotorow krupnych elektriceskich maszin”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 55; A4, 1 str., 4 rys. — Opis przyrządu do wyjmowania wirników dużych maszyn elektrycznych. Części składowe przyrządu: rama z ceownikami i podnośniki stałe i przesuwne. Zestawieniowe rysunki części składowych przyrządu. Praca przyrządu.

- 327* 621.313.32:621.3.018.6 D1-9.52
Postnikow I. M., Ważnow A. I.: (Leningradskij politechničeskij institut im. Kalinina). **Momenty maszyny synchronicznej przy małych kołysaniach.** „Elektromagnitnyj moment sinchronnoj masziny pri małych kaczanjach”. Elektricesstwo, Moskwa, mies., nr 8, sier. 51, s. 47; A4, 6 str., 2 rys., 6 poz. bibl. — Współczynniki momentów synchronizującego i tłumiącego maszyny synchronicznej przy niewielkich kołysaniach wirnika w przypadku, gdy w kierunku podłużnej osi wirnika mamy dwa uzwojenia, tłumiące i uzwojenie wzbudzące, wzdłuż zaś osi poprzecznej tylko tłumiące. Wyrażenia określające współczynniki momentów, otrzymane na podstawie układów zastępczych pozwalają uprościć wyniki praktycznie nie obniżając dokładności wyznaczenia momentów maszyny synchronicznej przy kołysaniach.

- 328* 621.313.322 D1-9.52
Iljenko W. W.: **Sprzęgło elastyczne do wzbudnic prądnicowych.** „Gibkaja sojedinitel'naja mufta dla wozbuditel'nej gienieratorow”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 57; A4, 0,7 str., 2 fot., 1 rys., 1 poz. bibl. — Sprzęgło elastyczne, łączące wzbudnicę z prądnicą, wykonane prostymi środkami warsztatowymi i zastępujące uszkodzone sprzęgła. Zalety wykonawcze i eksploatacyjne sprzęgła.

- 329* 621.313.322 D1-9.52
Oganesjan A. A.: **Przełączenie prądnicy na 25000 kW, tracącej wzbudzenie, na wzbudzenie rezerwowe bez odłączania jej od sieci.** „Pierewod na riezierwnoje wozbuzhdenije gienieratora 25 tys. kwt, potieriawszewo wozbuzhdenije, biezh otkluczenia ot sieti“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 53; A4, 1 str., 1 fot., 3 wykr., 1 tabl. — Opis przypadku przełączenia magnetycznej prądnicy na zasilanie z zespołu rezerwowego bez odłączania prądnicy od sieci, z którą współpracowała; przypadek spowodowany uszkodzeniem wzbudnicy. Praca prądnicy w okresie zakłóceń. Zachowanie się napięcia na szynach zbiorczych stacji.
- 330* 621.313.322—81 D1-9.52
Huntley E. D., Taylor H. D.: **Postęp w rozwoju konstrukcji wielkich prądnic turbinowych.** „Progress in development of large turbine generators“. Gen. electr. Rev., New-York, mies., t. 54, nr 2, luty 51, s. 34; A4, 11 str., 8 fot., 1 wykr., 20 poz. bibl. — Przegląd dotychczasowych usprawnień technicznych w konstrukcji prądnic turbinowych. Chłodzenie wodorem. Przewietrzanie. Cechy konstrukcji mechanicznej nowoczesnych prądnic turbinowych. Stosowanie nowych materiałów izolacyjnych, przewodzących i magnetycznych. Prądnice o mocy do 147 MVA przy 13,8 kV i 3600 obr./min. Tendencje dalszego rozwoju.
- 331* 621.313.322.1:621.313.0046 D1-9.52
Małkow A. G.: **Praca prądnicy turbinowej z uzmienną jedną fazą uzwojenia stojana.** „Rabota turbogienieratora s zaziemleniem odnoj fazy obmotki statora“. Energiet. Biull., Moskwa, mies., nr 3, marz. 51, s. 12; B5, 2 str., 3 rys. — Praca prądnicy o mocy 10500 kV, która mimo zwarcia jednej fazy stojana ze szkieletem była włączona na krótki okres czasu. Opis powstałego uszkodzenia i jego naprawy. Możliwości pracy prądnicy w tych warunkach.
- 332* 621.313.323 D1-9.52
Kompensator synchroniczny chłodzony wodorem. „Compensatore sincrono in idrogeno“. Elettrotecnica, Milano, mies., nr 1, t. 38, 10—25 stycz. 51, s. 36; A4, 1,5 str., 2 fot. — Krótki opis kompensatora synchronicznego o mocy 28,5 MVA, chłodzonego wodorem, w wykonaniu zewnętrznym, na napięcie 6 kV.
- 333* 621.313.325 D1-9.52
Fehlmann H.: **Urządzenie do kompensacji mocy biernej w Unión Eléctrica Madrilena.** „Die Phasenkompensation-sanlage der Unión Eléctrica Madrilena“. Brown Boveri Mitt., Baden, mies., t. 37, nr 6, czerw. 50, s. 194; A4, 5 str., 3 fot., 3 rys. — Opis techniczny urządzenia do kompensacji mocy biernej o mocy 2×18 MVA. Schemat połączeń, zabezpieczenia.
- 334* 621.313.33:621.316.719:621.314.634 D1-9.52
Glover B. W.: **Hamowanie silnika indukcyjnego prądem stałym.** „Induction motor injection braking“. Electr. Rev., London, mies., t. 148, nr 3821, 16 luty 51, s. 337; A5, 3,5 str., 2 rys., 3 wykr., 2 tabl., 8 poz. bibl. — Metoda hamowania silników indukcyjnych drogą włączenia w obwód stojana prądu stałego, pochodzącego z prostowników selenowych. Sposoby włączenia. Przebiegi podczas hamowania. Układ sterujący.
- 335* 621.313.333:621.3.017.8:621.3.018.14 D1-9.52
Szturman L. I., Zolotariew O. I.: **Wyznaczanie sprawności i współczynnika mocy silników indukcyjnych przy stałym zmieniającym się obciążeniu.** „Opriedielenie k. p. d. i cos ϕ asinchronnych dwigatielej pri nieprierywno mieniaszuszczesja nagruzkie“. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 8, sierp. 51, s. 43; A4, 3,5 str., 3 wykr., 3 tabl., 5 poz. bibl. — Określenie sprawności i cos ϕ silnika indukcyjnego przy stałym zmieniającym się obciążeniu, na podstawie znanej sprawności i cos ϕ przy niezmiennym w czasie obciążeniu i współczynnika kształtu krzywej mocy, na wale silnika. Możliwość oceny silników pod względem ekonomicznym. Przykład liczbowy.
- Wzmacniacze
- 336* 621.314.12 D1-9.52
Feinberg R.: **Wzmacniacz magnetyczny.** „Der magnetische Verstärker“. Bull. S.E.V., nr 5, marz. 51, s. 148; A4, 4,5 str., 5 rys., 2 fot., 6 wykr., 8 poz. bibl. — Podstawowy układ i zasada działania wzmacniacza magnetycznych.
- Zastosowanie transduktorów. Praca transduktorów przy różnym wzbudzeniu. Układy wzmacniaczy i charakterystyki ich pracy.
- 337* 621.314.12:621.318.42.024 D1-9.52
Hochrainer H.: **Magnetyczny wzmacniacz pomiarowy prądu stałego.** „Magnetische Gleichstrommessverstärker“. E. und M., Wien, dwu-tyg., r. 68, nr 12, 15 czerw. 51, s. 293; A4, 12 str., 10 rys., 9 wykr., 11 poz. bibl. — Ogólne zagadnienie wzmacniania prądu stałego i zmiennego. Podział wzmacniaczy na statyczne i dynamiczne. Wzmacniacze statyczne. Przegląd najbardziej rozpowszechnionych wzmacniaczy magnetycznych, ich charakterystyki pracy, właściwości materiałów. Zasada nowego wzmacniacza prądu stałego. Elementy składowe i ich charakterystyka; obliczenia prądów i oporności wewnętrznych.
- 338* 621.314.12.621.3.012.7 D1-9.52
Borisow W. A. (Iwanowski eniergietyczeskij Institut im. Lenina): **Charakterystyki regulacyjne wzmacniacza maszynowego.** „Regulirowocznyje charakteristiki elektromaszynnowo usilitiela-dwigatiela“. Elektricestwo, Moskwa, mies., nr 8, sierp. 51, s. 58; A4, 6 str., 3 rys., 7 wykr., 6 poz. bibl. — Sposoby regulowania elektrycznego wzmacniacza maszynowego bez uzwojeń rozruchowych. Wpływ komutacyjnych i wirowych prądów na charakterystyki regulacyjne. Charakterystyki regulacyjne w przypadku równoległego uzwojenia rozruchowego. Regulacyjne charakterystyki wzmacniacza otrzymane doświadczalnie.
- Linie napowietrzne
- 339* 621.315.027.7 D1-9.52
Crory S. B.: **Postęp i tendencje dalszego rozwoju przesyłania energii przy wysokim napięciu.** „Progress and trends in high-voltage transmission“. Gen. electr. Rev., New-York, mies., t. 54, nr 5, maj 51, s. 22; A4, 4,5 str., 5 wykr., 3 tabl., 22 poz. bibl. — Przegląd dotychczasowych osiągnięć techniki przesyłu energii przy wysokim napięciu. Wysiłki zmierzające do dalszej poprawy sprawności i pewności ruchu układów przesyłowych przy zwiększeniu mocy przesyłanej. Konieczność stosowania bardziej doskonałych konstrukcji urządzeń elektrycznych. Tendencja obniżenia poziomu izolacji linii. Zagadnienie budowy układów przesyłowych o napięciu rzędu 400 kV.
- 340* 621.315.1.011.1 D1-9.52
Toye L. W.: **Wzory określające położenie przewodów na jednej czwartej rozpiętości przęsła.** „Formulas to determine conductor path at quarter span“. Electr. Wld., New-York, mies., t. 135, nr 5, stycz. 51, s. 160; A4, 1 str., 3 rys. — Zależności na wyznaczanie położenia tańczących przewodów na jednej czwartej długości przęsła.
- 341* 621.315.1.056.1 D1-9.52
Kohler K.: **Wielkość błędów przy obliczaniu zwisów przewodów napowietrznych.** „Fehlerbegrenzung der Durchhangsberechnung von Freileitungen“. Bull. S. E. V., Zürich, 2 tyg., r. 42, nr 9, 5 maj 51, s. 303; A4, 2,3 str., 1 wykr., 2 poz. bibl. — Analiza matematyczna błędów powstałych przy obliczaniu wielkości zwisów, gdy zastępuje się krzywą łańcuchową parabolą.
- 342* 621.315.17:614.825 D1-9.52
Dowden A. L.: (Liberty Mutual Insurance Co). **Analiza warunków bezpieczeństwa pracy przy zastosowaniu modeli wierchołków słupów.** „Use scale models to analyze poletop hazards“. Electr. Wld., New-York, mies., t. 135, nr 3, stycz. 51, s. 72; A4, 1 str., 2 fot. — Poglądowy sposób badania warunków bezpieczeństwa pracy na słupach linii elektrycznych.
- 343* 621.315.17.027.82 D1-9.52
Guldienbalk W. W., Kajetanowicz M. M.: **Wąskopodstawowe słupy na liniach przesyłowych 220 kV.** „Uzkobazyje opory na linjach elektropriedaczii 220 kV“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 21; A4, 3 str., 5 rys., 4 tabl. — Zagadnienia ekonomiczne związane ze zwiększeniem długości przęsła i wysokości słupów w liniach na 220 kV. Porównanie liczby typów słupów, ilości materiałów i robocizny przy zastosowaniu słupów w kształcie litery Y („riumka“) i portalowych.
- Materiały izolacyjne
- 344* 621.315.61:679.5 D1-9.52
Clark F. M.: **Elektrotechnika a chemia.** „Chemistry and the electrical engineer“. Gen. electr. Rev., New-York,

mies., t. 54, nr 2, luty 51, s. 11; A4, 12,5 str., 7 fot., 16 wyrk., 6 tabl., 30 poz. bibl. — Rosnące wymagania elektrotechniki w stosunku do chemii technicznej co do materiałów izolacyjnych. Przegląd stosowanych dotychczas materiałów izolacyjnych oraz ich własności elektrycznych. Specjalne wymagania dotyczące materiałów izolacyjnych stosowanych przy wielkich częstotliwościach. Najnowsze rodzaje materiałów izolacyjnych, ich skład chemiczny i właściwości z punktu widzenia elektrotechniki.

345* 600.15:621.315.61(072)(44) D1-9.52
Hérou R.: **Sekcja prób izolacji Głównego Laboratorium Przemysłu Elektrycznego.** „La section d'essais des Isolants du Laboratoire Central des Industries Électriques”. Électricité, Paris, mies., nr 171, kw. 51; s. 95; A4, 8 str., 9 fot., 1 rys., 1 wyrk., 3 tabl., 15 poz. bibl. — Badanie dielektryków stałych pod działaniem prądów powierzchniowych, łuku, cykliów termicznych, wilgotności i temperatury. Urządzenia badawcze. Metody do badania materiałów stałych. Obecne badania głównie dielektryków plastycznych. Stwierdzenie związku między starzeniem się izolacji i kątem stratności w funkcji natężenia pola.

346* 621.315.61.004.2.027.7 D1-9.52
Langlois-Berthelot M. R.: **Postawienie zagadnienia izolacji i koordynacji izolacji w urządzeniach przesyłowych wysokich i najwyższych napięć, aktualnego w skali krajowej, a w przyszłości w skali międzynarodowej.** „Exposé de la mise au point nationale actuelle et internationale prochaine des problèmes d'isolation et de coordination des isolements dans les réseaux à haute tension et très haute tension”. Bull. Soc. franç. Electr., Paris, mies., nr 8, 7 seria, t. 1, sierp. 51, s. 419; A4, 22 str., 5 fot., 2 rys. 3 tabl. — Ogólne dążenie do obniżenia wymagań dla izolacji urządzeń na tle lepszej znajomości napięć oraz własności układów izolacyjnych. Przykłady i zalecenia.

347* 621.315.61.027.3:621.317.333(47) D1-9.52
Sapożnikow A. I.: **Skuteczność profilaktyki izolacji wysokonapięciowej.** „Effektivnost' profilaktiki vysokowolt'noj izolacji”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 24; A4, 2,5 str., 1 tabl., 1 poz. bibl. — Analiza charakteru uszkodzeń izolacji części składowych wysokonapięciowych urządzeń elektrycznych. Dane statystyczne i analiza przyczyn uszkodzeń izolacji w ciągu ubiegłych sześciu lat pracy urządzeń w ZSRR.

348* 621.315.615.2 D1-9.52
Mokricki F. D., Tarasow M. S.: **O nieprzerwanej regeneracji oleju w transformatorach.** „O nieprerwanym riegienieracji masła w transformatorach”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 5, maj 51, s. 35; A4, 2 str., 2 fot., 1 rys., 1 wyrk., 1 tabl. — Opis urządzenia, zwanego wkładką pochłaniającą, które umieszczone na kadzi transformatora regeneruje olej transformatorowy w sposób ciągły w czasie pracy transformatora. Zależność szybkości regeneracji oleju od temperatury. Wymiana zużytego ciała absorbującego.

349* 621.315.615.2 D1-9.52
Komar W. P.: **Regeneracja zużytego oleju transformatorowego miejscową gliną „nalczikin”.** „Riegienieracja otabotawszewo transformatornowo masła miestnoj glinoj „nalczikin”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 5, maj 51, s. 54; A4, 0,6 str. — Regenerowanie zużytego oleju transformatorowego przez długotrwały kontakt z ziemią odbarwiającą. Postępowanie. Uwagi redakcji o tym sposobie regeneracji.

350* 621.317.2:621.315.615.2 D1-9.52
Horsch W. G.: (Socony-Vacuum Oil Co). **Przyspieszone próby określenia trwałości oleju uodpornionego na starzenie się.** „Life of inhibited oil revealed by accelerated tests”. Electr. Wld., New-York, mies., t. 135, nr 13, marz. 51, s. 116; A4, 2 str., 3 fot., 1 rys., 1 wyrk., 1 tabl. — Laboratoryjne odtwarzanie warunków pracy olejów izolacyjnych. Przyspieszona metoda wyznaczania trwałości olejów uodpornionych na starzenie się. Opis urządzeń i sposobu badania. Wyniki pomiarów szybkości tworzenia się osadów i zmian właściwości oleju po próbach.

Isolatory

621.315.62

D1-9.52

351* Kuźmin P. P.: **Doświadczenie z zastosowania „defektoskopu” do wykrywania uszkodzonych izolatorów w liniach elektrycznych.** „Opyt primienienia diefektoskopa dla otyskanja diefiektnych izolatorow na liniach”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 58; A4, 0,5 str., 1 tabl. — Porównanie skuteczności wykrywania uszkodzeń izolatorów liniowych za pomocą drążka i za pomocą „defektoskopu”. Wady „defektoskopu”. Wnioski co do sposobu badania izolatorów w liniach elektrycznych.

Stupy

621.315.6682/3:624.13:66

D1-9.52

352* Gershoy E. C., Mueller C. (Los Angeles Department of Water and Power). **Utwardzanie gruntu przyspiesza wykonanie wykopów pod fundamenty słupów.** „Soil stabilization speeds tower footing excavation”. Electr. Wld., New-York, mies., t. 135, nr 3, stycz. 51, s. 66; A4, 2 str., 2 fot., 1 rys. — Opis sposobu utwardzenia gruntu piaszczystego przy zastosowaniu mieszaniny roztworów krzemianu sodu i sodu. Wyposażenie urządzeń.

353* 621.315.668.2:666.97 D1-9.52

Abakumow H. J.: **Składane betonowe fundamenty słupów linii przesyłowej na 110 kV.** „Sbornyje blochnyje bie-tonnyje fundamenty pod opory linii elektropieriedacz 110 kV”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 4, kw. 51, s. 49; A4, 0,2 str. — Zastosowanie do słupów linii na 110 kV fundamentów złożonych z oddzielnych płyt betonowych, wytwarzanych fabrycznie; na trasie linii odbywa się tylko układanie płyt w fundamenty.

Kondensatory

621.319.49

D1-9.52

354* Geschka H., Lange F.: **Kondensatory styroflexowe, ich właściwości i możliwości zastosowania.** „Styroflexkondensatoren, ihre Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten”. Elektrotechnik, Berlin, mies., r. 5, nr 3, marz. 51, s. 133; A4, 4,5 str., 2 rys., 4 fot., 4 wyrk., 1 tabl. — Zestawienie właściwości miki i folii styroflexowej jako dielektryków. Materiał wyjściowy i produkcja styroflexu. Wykonanie kondensatorów styroflexowych, ich charakterystyka, klasy dokładności, zakresy. Zależność tg σ od częstotliwości w zestawieniu z kondensatorami ceramicznymi; wpływ temperatury i wilgotności na dokładność.

Generatory udarowe

624.01.001.6:621.319.5.027.3

D1-9.52

355* Edwards F. S. i inni: **Rozwój i konstrukcja generatorów udarowych wysokiego napięcia.** „The development and design of high-voltage impulse generators”. Proc. I. E. E., London, mies., t. 98, cz. I, nr 111, maj 51, s. 155; A4, 25 str., 7 fot., 21 rys. 11 wyrk., 3 tabl., 29 poz. bibl. — Wzrost znaczenia prób udarowych. Analiza teoretyczna obwodów generatora. Części konstrukcyjne. Możliwość stosowania oporników węglowych. Odształcenie udaru przy próbach obiektów o dużej pojemności.

Oświetlenie elektryczne

621.32:061.24(100)(485),1951“

D1-9.52

356* Cole G. F.: **Międzynarodowa komisja oświetleniowa.** „Commission Internationale de l'Éclairage”. Light a. Lighting, London, mies., t. 44, nr 9, wrzes. 51, s. 295; A5, 14 str., 20 fot. — Sprawozdanie z 12 sesji Międzynarodowej komisji Oświetleniowej (27. VI.—5. VII. 1951, Sztokholm). Praktyka oświetlenia. Oświetlenie dróg, muzeów, kopalni, kinematografów, studiów i odbiorników telewizyjnych, oświetlenie lotnicze. Źródła światła. Fotometria i kolumetria. Oświetlenie dzienne. Różne.

357* 621.32:327/3(42) D1-9.52

Kilka przykładów nowych urządzeń oświetlenia szkół. „Some examples of recent school lighting installations”. Light a. Lighting, London, mies., t. 44, nr 6, czerw. 51, s. 213; A4, 8 str., 14 fot., 1 rys. — Oświetlenie dzienne za pomocą płyt „Perspex” i przesłon nastawnych. Oświetlenie dzienne boczne. Inne przykłady oświetlenia górnego. Użycie bloków szklanych kierujących przy oświetleniu bocznym. Oświetlenie lampami fluoryzującymi. Przykłady racjonalnych opraw do żarówek i lamp fluoryzujących.

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 183). CIDNT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne. Cena karty dokumentacyjnej wynosi w prenumeracie 10 groszy.

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

NAGRODY PWT

W dniu 17 lipca r. b. odbyła się w „Domu Technika” uroczystość wręczenia nagród PWT za najlepsze dzieła wydane w 1951 roku.

Nagrody zostały przyznane przez Radę Programową PWT, składającą się z przedstawicieli NOT i ministerstw gospodarczych pod przewodnictwem przedstawiciela Dep. Techniki PKPG.

Przy kwalifikowaniu prac do nagród brano pod uwagę przede wszystkim następujące cechy książki i jej opracowania: a) poprawność opracowania tematu, tj. prawidłowość i celowość dyspozycji układu, jasność i precyzja ujęcia tematu, pełność wyczerpania danego tematu, uwzględnienie obowiązujących technicznych norm i przepisów, uwzględnienie ostatniego postępu techniki, równo-

mierność omówienia poszczególnych zagadnień; b) oryginalność ujęcia i opracowania tematu; c) trudność tematu; d) poprawność słownictwa technicznego, tj. właściwe i bezbłędne stosowanie obowiązującego słownictwa technicznego; e) poprawność językową; f) celowość, trafność i poprawność zilustrowania treści rysunkami, wykresami, fotografiami, tj. właściwą — zależnie od treści i przeznaczenia książki — ilość materiału ilustracyjnego, właściwą jego treść, budowę i układ; g) wkład pracy; h) jakość przygotowania maszynopisu i materiału ilustracyjnego, tj. kompletność, bezbłędność, niezmienność dostarczonego maszynopisu i ilustracji.

Dla tłumaczeń odpadały punkty b), f), g), natomiast dochodził punkt: dostosowanie do warunków polskich.

Nagrody za najlepsze dzieła oryginalne

Nagroda honorowa — H. Chmielewski, T. Dobrzański, J. Kunstetter, P. Kosieradzki, A. Legatowicz, J. Michałowski, K. Osiński, K. Ochęduszek, J. Obalski, Z. Rauszer, H. Szymański, A. Troskolewski za pracę „Mały poradnik mechanika”.

Nagroda II w wysokości 4000 zł — W. Moszyński za pracę „Wykład elementów maszyn”, cz. I, II, III, wyd. II.

Nagroda II w wysokości 4000 zł — W. Lesiecki za pracę „Górnictwo”, tom IX. Transport kopalniany, cz. I. Odstawa urobku.

Nagroda III w wysokości 2500 zł — E. Jezierski za pracę „Maszyny synchroniczne”.

Nagroda III w wysokości 2500 zł — E. Krzywicki za pracę „Skóry techniczne i galanteryjne”.

Dyplom uznania — W. Baliński, W. Chitruk, Z. Kossogowa, A. Łysakowski, S. Osmólska, Z. Majewski, T. Zamoyński, L. Zatorski, J. Zborsztyn za pracę „Wykłady z dokumentacji naukowo-technicznej”.

Dyplom uznania — W. Budryk za pracę „Górnictwo”, tom X. Wentylacja kopalń, cz. I. Przewietrzanie wyrobisk.

Dyplom uznania — J. Nechay za pracę „Wyprawy szlachetne a kamień sztuczny”.

Dyplom uznania — W. Nowakowski za pracę „Metody oczyszczania wody zasilającej kotły parowe”.

Dyplom uznania — M. Mazur za pracę „Suszenie podczerwienią w przemyśle chemicznym”.

Dyplom uznania — W. Poniż za pracę „Metoda kolejnych przybliżeń (H. Crossa)”.

Dyplom uznania — W. Rotkiewicz za pracę „Technika odbioru radiowego”, tom I.

Dyplom uznania — R. Schillak za pracę „Półprzewodniki owocowe utrwalone dwutlenkiem siarki”.

Dyplom uznania — E. Szmidtgall za pracę „Chemia tłuszczów”.

Dyplom uznania — Z. Tokarski za pracę „Podstawowe wiadomości z ceramiki”.

Nagrody za najlepsze tłumaczenia

Pierwsza nagroda w wysokości 2250 zł — J. Groszowski za tłumaczenie pracy W. Własowa „Lampy elektrowowe”.

Pierwsza nagroda w wysokości 2250 zł — Z. Skoczyński za tłumaczenie pracy „Przesył i rozdział energii elektrycznej”.

Dyplom uznania — Instytut Urbanistyki i Architektury za tłumaczenie pracy „Architektura radziecka 1946 — 1949”.

Dyplom uznania — Z. Toeplitzowa za udział w tłumaczeniu pracy „Architektura radziecka 1946 — 1949”.

Dyplom uznania — B. Beuth za tłumaczenie pracy W. Kokorina „Przędzarka obrączkowa”.

Dyplom uznania — W. Skoczek za tłumaczenie pracy „Kierunki i założenia współczesnego budownictwa mieszkaniowego w ZSRR”.

Dyplom uznania — K. Tarnowski za tłumaczenie pracy W. B. Hoare „Cynowanie na gorąco”.

Dyplom uznania — J. Wajntraub, S. Raczyński, S. Rozenal za tłumaczenie pracy N. Mokoszewa „Analiza braków w wykończalnictwie tkanin bawełnianych”.

Treść nr 7 Przeglądu Technicznego 1952 r.

22 lipca 1952 r. — J. W. C. Koła zakładowe stowarzyszenia branżowego. — M u s z y ń s k i Z. Opisy patentowe źródłem informacji technicznej. — M i c h e j d a J. Normy zużycia energii elektrycznej jako wskaźnik sprawności jej użytkowania. — C h o d o r o w s k i Z. i Hajduk H. Planowanie tygodniowo-dobowe a system dyspozytorski w budownictwie. — B i e l i c k i W. Oszczędzanie cementu przez badanie spulchnienia piasku. — P i e ś l a k W. Zastosowanie promieni gamma do ba-

dań w przemyśle. — P r z y b y s z T. Uniwersalny klej Polystal T/1100. — C e r n o h o r s k y J. Czechosłowacki Przemysł Maszyn Ciężkich i jego zadania.

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

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki. — Wydawca: Naczelna Organizacja Techniczna. — Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego 3/5, tel. 895-10 do 18.

Druk. im. Rewolucji Październikowej, Warszawa, ul. Mińska 65

Papier. ilustr. — 86 × 122 — V 70. Zam. 765/52. 3-B-25421. Nakład 5.300. Rękopis otrzym. 16.VII.52. Druk ukończono 19.IX.52 r.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

KSIĄŻKI Z DZIEDZINY ELEKTROENERGETYKI I PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

- BUJŁOW A.: Zasady budowy aparatów elektrycznych, tłum. z ros. J. Elbaum i E. Opęchowski, str. 402, zł 90.—
- FELHORSKI W.: Oświetlenie w przemyśle włókienniczym, str. 90, zł 13. 50
- GOGOLEWSKI Z.: Napęd elektryczny, str. 390, zł 72.—
- HOMOLA L.: Maszyny elektryczne prądu zmiennego, tłum. z czesk. W. Stanisławski, tom I — Maszyny synchroniczne, str. 194, zł 13.50; tom II — Maszyny asynchroniczne indukcyjne, str. 180, zł 13.50
- JEZIEFSKI E.: Maszyny synchroniczne, str. 269, zł 50.—
- Kalendarzyk elektrotechniczny 1952—1953, pod red. B. Konorskiego, str. 910, zł 95.—
- KONORSKI B.: Teoria dwójników i czwórników elektrycznych, str. 247, zł 80.—
- KOSTROW M., SOŁOWIEW I., FIEDOSIEJEW A.: Technika zabezpieczeń elektroenergetycznych, tłum. zbiorowe z ros., tom I, str. 432, zł 105.—; tom II, str. 776, zł 63.—
- ŁANIECKI W.: Półprzewodniki, część I, str. 128, zł 16.—
- MARX E.: Laboratorium wysokich napięć, tłum. zbiorowe z niem., str. 292, zł 52.—
- NOWACKI P. I., KORDECKI A., STANKIEWICZ L.: Atlas konstrukcji maszyn elektrycznych, tom II — Silniki asynchroniczne, str. 50, zł 40.—
- NOWAKOWSKI W.: Metody oczyszczania wody zasilającej kotły parowe, str. 203, zł 23.—
- PRZESYŁ I ROZDZIAŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ, praca zbiorowa, przekład w oprac. Z. Skoczyńskiego, tom I — Wyładowania piorunowe i ochrona przepięciowa, str. 158, zł 34.—, tom II — Maszyny i urządzenia elektryczne, str. 291, zł 68.—, tom III — Analiza i warunki pracy układów elektroenergetycznych, str. 326, zł 75.—, tom IV — Linie i sieci elektryczne, str. 212, zł 53.—
- RIABKOW A.: Obliczanie elektroenergetycznych układów przesyłowych, tłum. z ros. A. Myślicki, str. 282, zł 41.—
- TABLICE ZWISÓW I NAPRĘŻEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH LINII NAPOWIETRZNYCH, praca zbiorowa Komisji Linii Napowietrznych SEP, część II — Linki aluminiowe, str. 68, zł 17.—; część III — Linki stalo-aluminiowe, str. 76, zł 20.—
- TOŁŁOCZKO B.: Kotły parowe, tom I, zeszyt 1, str. 92, zł 8.—
- WOYNAROWSKI ZB., ŻMIGRODZKI W.: Niskonapięciowe wyłączniki przemysłowe, str. 255, zł 45.—
- WOYSŁAW G.: Obsługa olejowa transformatorów i wyłączników olejowych, str. 60, zł 6.—

INSTRUKCJE CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI

- INSTRUKCJA EKSPLOATACJI TURBIN WODNYCH, str. 66, zł 3.10
- PRZEPISY TECHNICZNE NA PRZYŁĄCZANIE URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH DO SIECI ROZDZIELCZYCH podległych Centralnemu Zarządowi Energetyki, str. 35, zł 1.—
- SŁUPY ELEKTROENERGETYCZNE DREWNIANE. Instrukcja wzmacniania i wymiary, str. 24, zł 3.—
- SŁUPY ELEKTROENERGETYCZNE DREWNIANE. Zasady i wytyczne gospodarki drewnem, str. 23, zł 3.—
- TYMCZASOWA INSTRUKCJA EKSPLOATACJI TURBIN PAROWYCH, str. 124, zł 8.40
- INSTRUKCJA EKSPLOATACJI CHŁODNI KOMINOWYCH, str. 27, zł 3.—
- TYMCZASOWE PRZEPISY TECHNICZNEJ EKSPLOATACJI ELEKTROWNI I SIECI, str. 270, zł 7.50

RÓŻNE

- BŁAŻEWSKI S.: Wytrzymałość materiałów, 1951, str. 331, zł 28.—
- CHMIELEWSKI H.: Logarytmiczny suwak rachunkowy, wyd. II, 1951, str. 46, zł 3.60
- DOMANUS J.: Budowa i wyposażenie ciemni rentgenowskiej, 1951, str. 168, zł 37.40
- DOBROWOLSKI Z.: Każdy może i powinien korzystać z dokumentacji naukowo-technicznej, 1951, str. 61, zł 3.—
- GOSZTOWTT L.: Uszczelnienia, 1951, str. 230, zł 22.—
- LISIECKI L.: Doraźna pomoc wypadkowa, 1951, str. 168, zł 8.—
- NIEBRÓJ S.: Rażenia elektryczne, 1951, str. 123, zł 16.50
- SPRZĘT OCHRONNY PRZY URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH (Instrukcja tymczasowa, dotycząca wymagań technicznych, badania, przechowywania i posługiwania się sprzętem ochronnym), 1952, str. 65, zł 4.80
- OSZCZĘDNA GOSPODARKA WĘGLEM, praca zbiorowa, 1951, str. 339, zł 38.—
- ŚLADEM INŻYNIERA KOWALOWA (sprawozdanie z narady techników i inżynierów w Katowicach), 1951, str. 68, zł 4.—
- SZARGUT J.: Racjonalne spalanie węgla, 1951, str. 28, zł 2.—
- SKIBICKI W.: Słownik techniczny rosyjsko-polski (zawiera około 27000 pojęć z najważniejszych dziedzin techniki), 1951, str. 450, zł 41.—
- WYKŁADY Z DOKUMENTACJI NAUKOWO-TECHNICZNEJ, praca zbiorowa pod red. T. Zamoy-skiego, 1951, str. 144, zł 11.—

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki