

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN
MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

ROK XXX

ZESZYT 5

21.V.1954

Szybki rozwój gospodarki i kultury narodowej postawił poważne i pilne zadania przed nauką polską, która musiała też wyrównać olbrzymie straty spowodowane przez wojnę. Wzrosła wielokrotnie sieć placówek naukowych. Mimo to rozwój nauki nie nadąża jeszcze za wzrostem potrzeb. Metody badań naukowych, ich poziom, planowanie prac naukowych są jeszcze na wielu odcinkach niedostateczne. Trzeba je doskonalić, aby lepiej służyły narodowi. Chodzi o to, aby w oparciu o piękne, postępowe tradycje nauki polskiej pchnąć ją na drogę pełnego rozwoju poprzez bliższą więź z praktyką i z metodą materializmu dialektycznego.

B. BIERUT



WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

SPIS RZECZY

- 1 maja — święto pracy.
Mroczkowski Z., Frank T. Kompozycja głównego budynku elektrowni z turbozespołami po 50 MW.
Niewiadomski C. Spajanie na zimno w elektrotechnice.
Siciński Z. Zastosowanie pomiaru stratności dielektrycznej w praktyce produkcyjno - eksploatacyjnej mineralnych olejów transformatorowych.
Dziatlik H. Podstawowe jednostki i wzorce elektromagnetyczne.
Bładowski S. Zerowanie w urządzeniach elektrycznych.
Schwartz T. Nowe zastosowanie grzejnictwa pojemnościowego (przeróbka tytoniu).
Zacharzewski B. Spiekane materiały złożone na styki elektryczne.
Biuletyn Instytutu Elektrotechniki:
Badanie współczynnika szczytu krzywej prądu świetłówki w zależności od własności dławika.
Przegląd dokumentacyjny elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

- 1 мая — праздник трудящихся.
Мрочковский З., Франк Т. Компонировка главного здания электростанции для турбогенераторов мощностью 50 мвт.
Невядомский Ц. Холодная сварка в электротехнике.
Сичинский З. Применение измерения диэлектрических потерь в производственно-эксплуатационной практике трансформаторных минеральных масел.
Дзятлик Х. Электромагнитные единицы и эталоны.
Блядовский С. Зануление в электрических устройствах.
Шварц Т. Новое применение емкостного нагрева (табачное производство).
Захажевский Б. Агломераты для изготовления электрических контактов.
Бюллетень Электротехнического Института:
Исследование коэффициента амплитуды кривой тока в люминесцентной лампе в зависимости от свойств дроссельной катушки.
Поступившие публикации.
Библиографический обзор электротехники.

CONTENTS

- May Day — The Workers' Holiday.
Mroczkowski Z., Frank T. Lay-out of a main power plant building with 50-MW turbo-generator units.
Niewiadomski C. Cold-welding in electric engineering practice.
Siciński Z. Dielectric loss factor measurement as applied to mineral transformer oil production and exploitation.
Dziatlik H. Fundamental electromagnetic units and standards.
Bladowski S. Neutralising in electrical equipment.
Schwartz T. New use for dielectric heating system (tobacco processing).
Zacharzewski B. Composite sintered materials for electric contacts.
Bulletin of the Electrotechnical Institute:
Determination of the current peak factor in fluorescent lighting tubes as a function of the properties of the choking coil.
Electrical Bibliographic Review.

Techniczne przedsiębiorstwa wydawnicze

Z dniem 1 kwietnia 1954 r. utworzono cztery samodzielne przedsiębiorstwa wydawnicze, które przejęły działalność wydawniczą prowadzoną w poprzednich latach przez Państwowe Wydawnictwa Techniczne, a mianowicie:

Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze (Stalinogród, ul. Stawowa 19, tel. 324-44, 324-45) w zakresie górnictwa i hutnictwa oraz czasopism;

Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego (Warszawa, ul. Mazo-

wiecka 4, tel. 672-71) w zakresie przemysłu lekkiego i przemysłu spożywczego;

Wydawnictwo „Budownictwo i Architektura” (Warszawa, ul. Mazowiecka 4, tel. 672-71) w zakresie budownictwa, techniki sanitarnej, materiałów budowlanych i architektury;

Państwowe Wydawnictwa Techniczne (Warszawa, ul. Mazowiecka 4, tel. 672-71) w zakresie budowy maszyn, elektrotechniki, chemii, zagadnień ogólnotechnicznych oraz słownictwa technicznego.

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN

MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

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

Rok XXX

Warszawa, 21 maja 1954 r.

Zeszyt 5



1 maja — święto pracy

Proletariat międzynarodowy, a wraz z nim polskie masy pracujące, obchodzą w roku bieżącym dzień 1 maja po raz 65. Od daty pierwszego obchodu zaszły zmiany ogromne: już trzecia część pracującej ludzkości obchodzi dzień 1 maja jako święto swego wielkiego zwycięstwa; pozostałe dwie trzecie, choć pozostają jeszcze pod władzą kapitału, świadome są swych celów i czynią w dniu 1 maja przegląd swych sił w walce o zrzućnię jarzma kapitalistycznego i ucisku kolonialnego. Dzień 1 maja jest dniem międzynarodowej solidarności walczącej klasy robotniczej.

Wielka i niezwykła jest idea, która w ciągu 65 lat porwała olbrzymie masy ludzkie do walki, do zniweczenia wiekowej przemocy wyzyskiwaczy, zbudowania i obrony ustroju sprawiedliwości społecznej.

Minęły czasy, kiedy przed człowiekiem pracy w Polsce stało widmo bezrobocia, a ojczyzna była igraszką w ręku potęg imperialistycznych. Dziś naród nasz, naprawdę wolny i naprawdę zjednoczony, odczuwa radość widząc, że kto pracuje, ten jest współgospodarzem kraju, że rośnie w siły Polska Rzeczpospolita Ludowa.

W dniu 1 maja popieramy gorąco razem z obrońcami pokoju całego świata politykę Związku Radzieckiego, wskazującą drogę odprężenia międzynarodowego i pokojowego rozwiązania spraw spornych między państwami.

W dniu 1 maja wyrażamy gotowość dalszej walki o umocnienie ustroju socjalistycznego w naszym kraju, o spotęgowanie sił naszej ojczyzny.

Tegoroczny dzień 1 maja przypada w kilka tygodni po zakończeniu II Zjazdu PZPR, który ocenił dorobek 4 lat realizacji Planu 6-letniego, ustalił nowe rozstawienie sił i środków, wytknął drogi, które prowadzą do szybkiego podniesienia poziomu materialnego i kulturalnego narodu polskiego.

Tezy IX Plenum KC omawiano na zjeździe Partii po niemal półrocznej dyskusji nad ich realizacją, obrady zjazdowe były więc odbiciem doświadczenia mas, a uchwały zjazdu odzwierciedlają program działania przyjęty przez cały naród.

Rozwój naszego przemysłu elektrotechnicznego, stanowiącego jedną z podstaw elektryfikacji kraju, znacznie przewyższa przeciętny wzrost produkcji przemysłowej w ogóle: gdy dla okresu 1949—1953 wskaźnik wzrostu całkowitej produkcji przemysłowej wyniósł 215, a produkcji przemysłu ciężkiego 235, to przemysł elektrotechniczny osiągnął następujące wskaźniki: dla elektrycznych maszyn wirujących 243, dla transformatorów 280, dla aparatury rozdzielczej wysokiego napięcia 410, dla aparatury niskiego napięcia 618.

W myśl wskazań II Zjazdu PZPR przemysł elektrotechniczny stawia się na pełne pokrycie potrzeb elektryfikacji rolnictwa, na zapewnienie dostawy części zamiennych do produkowanych przez siebie wyrobów i na podniesienie jakości tych wyrobów. Drogą analizy swojej zdolności produkcyjnej przemysł dąży do zwiększania swej produkcji przy ograniczaniu inwestycji do niezbędnego minimum.

Pracownicy energetyki witali II Zjazd Partii poważnymi osiągnięciami: remonty szybkościowe znacznie złagodziły w okresie zimowym 1953/1954 roku deficyt mocy rozporządzalnej; wprowadzenie do ruchu szeregu nowych elektrowni przyczyniło się do dalszej poprawy sytuacji; zakłady zbytu energii potrafiły przy bardzo małych ograniczeniach dla produkcji zmniejszyć udział przemysłu w szczycie obciążenia; wspólny wysiłek energetyków eksploatacji i inwestycji stworzył możliwości znacznego złagodzenia norm zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym; zwiększeniu zużycia energii na cele konsumpcji towarzyszyła znaczna poprawa w ciągłości zaopatrzenia ludności i zakładów przemysłowych w energię elektryczną.

Wysiłki naszych energetyków, które uwolniły drobnych odbiorców energii od plagi wylążeń, muszą być utrwalone; osłabienie wysiłków nawet na krótki okres czasu grozi ciężkimi konsekwencjami, gdyż zapotrzebowanie energii elektrycznej w latach 1954 i 1955 wzrasta szczególnie szybko: gdy ogólny wzrost produkcji przemysłowej w ciągu tych dwu lat wyniesie 21—22%, to zapotrzebowanie energii przez przemysł wzrośnie w tym samym okresie o 31—32%. Większa chłonność przemysłu pochodzi stąd, że w ostatnich dwu latach planu 6-letniego wchodzi do ruchu olbrzymie zakłady przemysłów chemicznego, hutniczego i innych o produkcji ciągłej i dużym zapotrzebowaniu energii. Praca tych zakładów ma wyjątkowe znaczenie dla okazania pomocy produkcyjnej rolnictwu, a więc i dla podniesienia poziomu materialnego ludności miast i wsi. Energetycy zabezpieczając terminowość i ciągłość dostawy energii biorą udział w udziale niu pracującemu chłopstwu pomocy produkcyjnej.

Przyrost zużycia energii w ciągu dwu lat równa się niemal całorocznej produkcji przedwojennej. Ta skala zapotrzebowania energii kategorycznie narzuca konieczność uruchamiania nowo-budowanych elektrowni w terminach planowanych. Staranne i terminowe wykończenie wszystkich prac przez załogi przedsiębiorstw inwestycyjnych jest warunkiem koniecznym, ale bynajmniej nie wystarczającym do wypełnienia zadań nałożonych na energetykę.

Przed pracownikami eksploatacji stoi ważne zadanie szybkiego opanowania nowej technologii pracy, poznania właściwości nowoczesnych urządzeń, przezwyciężenia początkowych trudności w ich pracy oraz troskliwa i uważna obsługa urządzeń.

Wprowadzaną do ruchu nową moc liczymy już na setki megawatów, toteż szybkie jej opanowanie wymaga przedstawienia się załóg na nowe metody pracy dyktowane przez nową technikę i nową sytuację w układach energetycznych.

Terminowe wprowadzenie do ruchu i opanowanie nowych mocy przez załogi inwestycyjne i eksploatacyjne decyduje o wykonaniu przez energetykę jej zadań w ostatnich dwu latach planu 6-letniego; nieodzowne jest dalsze polepszenie poziomu eksploatacji zakładów, dalsze skrócenie czasu trwania remontów i podwyższenie ich jakości.

Bardzo ważne znaczenie dla zapewnienia pełnego pokrycia przez energetykę zapotrzebowania na energię ma sprawa normowania zużycia energii elektrycznej. Kontrolowanie norm zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji jest ważnym czynnikiem, zmuszającym przemysł nie tylko do oszczędnego zużywania energii elektrycznej, ale również do stosowania postępu technicznego, do doskonalenia metod technologicznych w przemyśle.

Stworzenie dostatecznych rezerw mocy w elektrowni i dostateczna zdolność przesyłowa sieci same przez się jeszcze nie zapewnią należytego zaspokojenia potrzeb odbiorców energii. Bardzo ważna dla odbiorcy energii jest techniczna obsługa jego urządzeń.

Przyspieszenie prac nad elektryfikacją rolnictwa stawia zagadnienie pomocy produkcyjnej dla spółdzielni produkcyjnych, PGR i indywidualnych gospodarstw w formie rozpowszechnienia umiejętności obsługi urządzeń elektrycznych.

W tegorocznym święcie 1-majowym koncentrujemy swoją uwagę na problemach wysuniętych przez II Zjazd PZPR — okazanie pomocy produkcyjnej rolnictwu, rozszerzenie produkcji towarów powszechnego użytku i podniesienie w ten sposób poziomu życiowego narodu. Energetyka i przemysł elektrotechniczny, jako dostawcy energii i sprzętu elektrotechnicznego, mogą wywrzeć decydujący wpływ na realizację uchwał II Zjazdu Partii.

MGR INŻ. ZDZISŁAW MROCZKOWSKI
MGR INŻ. TADEUSZ FRANK

Kompozycja głównego budynku elektrowni z turbozespołami po 50 MW

621.311.17:621.313.322-81:621.3.026.44

Treść. Kompozycja głównego budynku elektrowni. Układ cieplny i charakterystyka podstawowych jednostek. Układ elektryczny. Rozmieszczenie urządzeń w budynku głównym. Charakterystyka konstrukcji budowlanych. Obliczenie i omówienie podstawowych wskaźników technicznych.

Компоновка главного здания электростанции для турбогенераторов мощностью 50 мвт. Компоновка главного здания электрической станции. Тепловая схема и характеристика основных агрегатов. Электрическая схема. Размещение оборудования в главном здании. Характеристика строительных конструкций. Расчеты и обсуждение основных технических показателей.

Lay-out of a main power plant building with 50-MW turbo-generator. Lay-out of main electric power plant building. Thermal system, and characteristics of the basic units. Electrical system. Arrangement of equipment in the main building. Characteristics of building constructions. Computation and review of the fundamental technical indices.

1. Zakres tematu.

Wielkie znaczenie, które dla eksploatacji elektrowni ma należała kompozycja budynku głównego, oraz duży udział kosztu robót budowlanych w całkowitych kosztach inwestycyjnych spr-

Elektrownia jako całość musi być wyposażona w pewne wspólne elementy, jak na przykład: powierzchnię montażową, przenośniki węglowe, urządzenia odpowiadające. Bez względu na liczbę bloków elementy te występują tylko raz i tu nie będą bliżej omawiane, gdyż nie mają zasadniczego wpływu na kompozycję budynku głównego elektrowni.

2. Układ cieplny i jednostki podstawowe.

Przewidziano kotły typu PK-10 o wydajności po 230 t/h na ciśnienie koncesyjne 110 atn i temperaturę pary 510°C oraz turbozespoły kondensacyjne typu WK-50 o mocy po 50 MW.

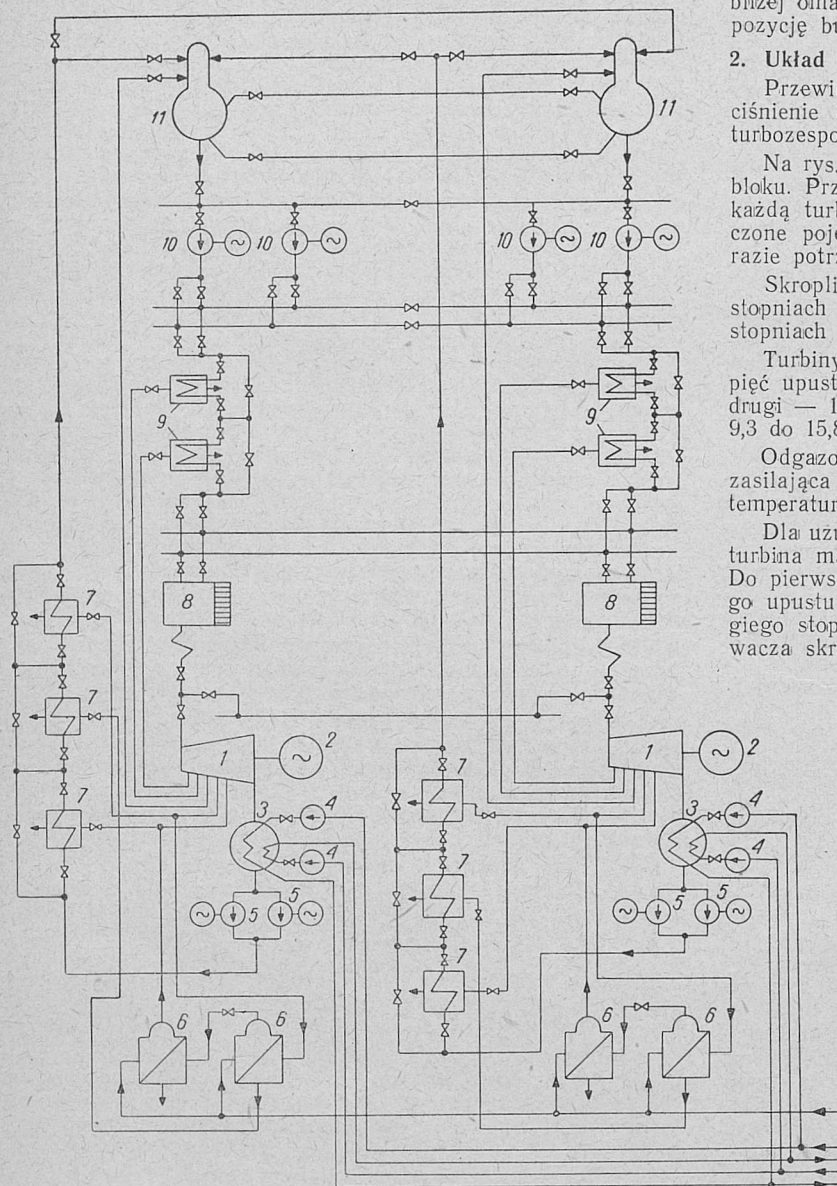
Na rys. 1 jest podany uproszczony układ cieplny podwójnego bloku. Przewiduje on w zasadzie pracę blokami, to znaczy na każdą turbinę pracuje jeden kocioł. Rurociągi parowe są połączone pojedynczym kolektorem wyrównawczym, do którego w razie potrzeby może być przyłączony kocioł rezerwowy.

Skořliny z turbiny są podgrzewane parą upustową w trzech stopniach niskoprężnych, a woda zasilająca kocioł w dwóch stopniach wysokoprężnych.

Turbiny zasilane parą o parametrach 90 atn i 480°C mają pięć upustów regeneracyjnych: pierwszy — 0,319 do 0,515 atn, drugi — 1,81 do 3,02 atn, trzeci — 4,66 do 7,9 atn, czwarty — 9,3 do 15,8 atn i piąty — 16,7 do 28,1 atn.

Odgazowywacze pracują przy temperaturze 140°C, a woda zasilająca kotły — po podgrzaniu w podgrzewaczach — ma temperaturę 215°C.

Dla uzupełnienia strat w obiegu kotłowym każdy blok kocioł-turbina ma jedną wyparkę dwustopniową o wydajności 12 t/h. Do pierwszego stopnia wyparki doprowadza się parę z drugiego upustu turbiny o ciśnieniu 1,81 do 3,02 atn. Opary z drugiego stopnia wyparki odprowadza się do pierwszego podgrzewacza skořplin o ciśnieniu 0,319 do 0,515 atn.



Rys. 1. Układ cieplny podwójnego bloku

- 1 — turbina na 50 MW
- 2 — generator na 60 MVA
- 3 — skraplacz
- 4 — pompa wody chłodzącej
- 5 — pompa skroplinowa
- 6 — wyparka
- 7 — podgrzewacz skořplin
- 8 — kocioł na 230 t/h
- 9 — podgrzewacz wody zasilającej
- 10 — pompa wody zasilającej
- 11 — zbiornik wody zasilającej

wiają, że przy projektowaniu elektrowni wkłada się bardzo du-
żo pracy w celowe i ekonomiczne rozwiązanie zagadnienia.

Niżej będzie omówione opracowanie głównego budynku elektrowni, wyposażonej w urządzenia krajowe wykonane na podstawie licencji radzieckiej, przy czym będzie rozpatrzona kompozycja budynku i rozmieszczenie podstawowych urządzeń tylko dla podwójnego bloku, złożonego z dwóch kotłów i dwóch turbozespołów. Element ten powtarza się w większych elektrowniach, a więc na przykład dla uzyskania mocy 300 MW należałoby zainstalować trzy podwójne bloki po dwa turbozespoły o mocy po 50 MW.

Do zasilania kotłów podwójnego bloku przewidziano cztery pompy zasilające z napędem elektrycznym o wydajności po 270 m³/h (250 t/h) i wysokości podnoszenia około 1500 m słupa wody. Po stronie tłoczącej pomp zasilających zastosowano podwójny kolektor.

Kompozycję budynku opracowano w założeniu chłodzenia skraplaczy w obiegu zamkniętym, przy czym na rysunkach pokazano pompy obiegowe i tylko te części rurociągów wodnych, które mieszczą się wewnątrz głównego budynku elektrowni. Gdyby przewidywano chłodzenie skraplaczy w obiegu otwartym i pompy wody chłodzącej były ustawione w centralnej pom-

powini nad brzegiem rzeki lub zbiornika wody, wtedy nie zaszyby zasadnicze zmiany w kompozycji budynku, odpadłaby tylko przybudówka przewidziana dla pomieszczenia pomp obiegowych.

Dla każdej turbiny przewidziano dwie pompy wody chłodzącej (z napędem elektrycznym) o wydajności po 8000 m³/h i wysokości podnoszenia 19 m słupa wody. Każda z nich wystarcza do pokrycia 60% zapotrzebowania turbiny.

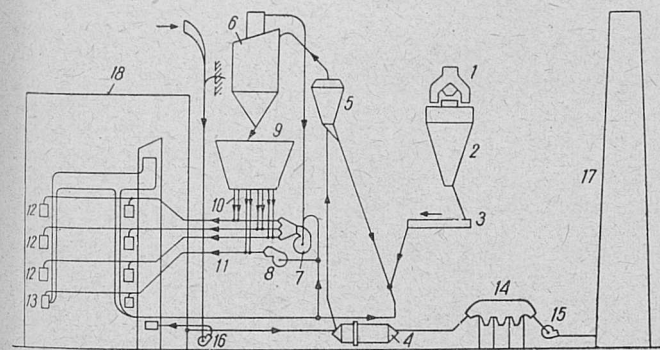
Kotły mają po dwa wentylatory powietrza wtórnego o wydajności po 120 000 m³/h przy sprężu 450 mm słupa wody i przy temperaturze 30°C oraz po dwa wentylatory ssące o wydajności po 262 000 m³/h przy sprężu 290 mm słupa wody dla temperatury spalin 2000°C.

Do odpylania spalin przewidziano filtry elektrostatyczne typu KLE 12/IV o sprawności około 95%.

Dla każdego kotła zastosowano dwa młyny bębnowe (kulowe) o wydajności po 21,5 t pyłu na godzinę. Zużycie węgla na kocioł wynosi około 40 t/h przy stosowaniu węgla o wartości opałowej 5400 kcal/kg, zawartości popiołu 18% i całkowitej wilgotności 12%.

Na rys. 2 przedstawiono układ przemiału węgla. Młyny służą do suszenia i przemiału. Każdy młyn ma oddzielną dmuchawę i odsiewacz. Do magazynowania pyłu przewidziano przy każdym kotle zasobnik o pojemności 430 t. Zasobniki pyłu podzielono na dwie części. W pierwszej — o pojemności 110 t — będzie magazynowany pył do rozpalania kotłów, a w drugiej — o pojemności 320 t — pył do pracy kotła. Nad tym zasobnikiem będzie ustawiony cyklon oddzielający pył od powietrza nośnego. Zasobnik pyłu wystarcza na osiem godzin pracy kotła przy pełnym obciążeniu.

Pod zasobnikami pyłu umieszczono podajniki, z których sześć doprowadza do palników głównych mieszankę pyłu z powietrzem pierwotnym, a dwa mają podawać pył do palników rozpalających. Do doprowadzania węgla do zasobników przykotłowych przewidziano przenośniki taśmowe z wózkami zrzutnymi. Przenośniki mogą być wykonane w układzie pojedyn-



Rys. 2. Układ przemiału węgla

- | | |
|--|---|
| 1 — przenośnik taśmowy | 11 — podajniki pyłu do palników głównych |
| 2 — zasobnik węgla surowego | 12 — podajniki pyłu do palników rozpalających |
| 3 — podajnik węgla | 13 — palniki główne |
| 4 — młyn kulowy | 14 — palniki rozpalające |
| 5 — oddzielacz pyłu | 15 — elektrofiltr |
| 6 — cyklon | 16 — wentylator ciągu |
| 7 — wentylator młynowy | 17 — wentylator podmuchu |
| 8 — wentylator powietrza do rozpalania | 18 — komin |
| 9 — zasobnik pyłu | 19 — kocioł |

czym, a jako alternatywa w układzie podwójnym. Na przenośniki poziome, umieszczone nad zasobnikami, węgiel będzie dostarczać ukośnymi przenośnikami taśmowymi. Zasobniki przykotłowe po 2 na kocioł o pojemności 320 t każdy wystarczą na 16 godzin ruchu kotła przy największym obciążeniu.

W elektrowni o mocy instalowanej 300 MW, a więc mającej sześć kotłów, konieczne będą przenośniki taśmowe o szerokości 1200 mm, które przy prędkości 1,8 m/s mają wydajność 720 t/h. Przy takiej wydajności jeden przenośnik pokrywa w ciągu 8 godzin maksymalne 24-godzinne zapotrzebowanie kotłowni. Przy mniejszej mocy elektrowni przenośniki mogą być, oczywiście, odpowiednio mniejsze, co jednak nie wpływa na kompozycję budynku.

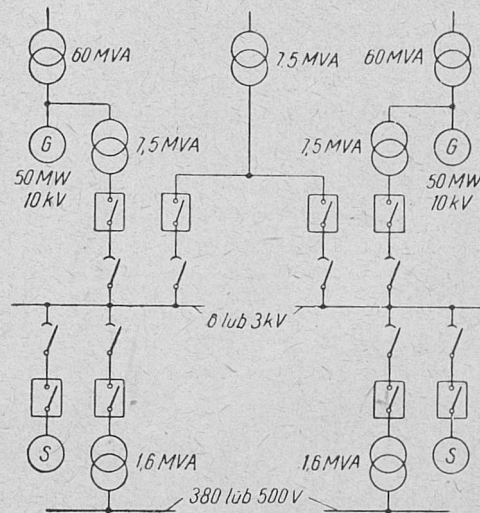
W proponowanej kompozycji głównego budynku elektrowni można zastosować odpowiadanie i odzyskanie dowolnego typu.

3. Układ elektryczny.

Na rys. 3 pokazany jest uproszczony układ elektryczny bloku podwójnego. Prądnice o mocy 60 MVA i napięciu 10 kV do-

starczają energii do stacji napowietrznej wysokiego napięcia (60, 110 lub 220 kV) przez dwuuzwojeniowe transformatory blokowe. Przyjęto, że potrzeby własne będą zasilane z odgałęzień między prądnicami a transformatorami blokowymi przez transformatory obniżające napięcie na 6 lub 3 kV. Wybór napięcia zasilania potrzeb własnych nie ma wpływu na kompozycję budowlaną. W rozdzielniach potrzeb własnych przewiduje się zastosowanie wyłączników ekspansyjnych wewnętrznych rzędu 10, a dla rozdzielni niskiego napięcia wyłączników suchych rzędu 1.

Transformatory potrzeb własnych o mocy 7,5 MVA są ustawione w komorach przy zewnętrznej ścianie maszynowni. Dla jednego bloku potrzeba sześć celek rozdzielni potrzeb własnych wysokiego napięcia i dziesięć celek rozdzielni potrzeb własnych niskiego napięcia. Do zasilania rozdzielni potrzeb własnych niskiego napięcia przewidziano transformatory o mocy po 1,6 MVA, ustawione na poziomie 0,0 w pomieszczeniu odgazowywaczy. Pożądane byłyby transformatory w wykonaniu suchym ze względu na umieszczenie wewnątrz budynku, co podyktowane jest usytuowaniem ich w środku ciężkości obciążenia. Jeżeli byłyby zastosowane transformatory olejowe, to pod każdym na-



Rys. 3. Układ elektryczny bloku podwójnego

leży przewidzieć dół olejowy na pełną objętość oleju w transformatorze, przykryty siem z warstwą żwiru.

Prąd z generatorów płynie do transformatorów blokowych, ustawionych w rozdzielni napowietrznej, przewodami szynowymi, biegnącymi na zewnątrz budynku na słupach (bez korytarza ochronnego).

Transformatory zaczepowe, zasilające układ potrzeb własnych, ustawione są w miejscach, w których szyny, łączące generatory z transformatorami blokowymi, wychodzą na zewnątrz budynku maszynowni.

4. Kompozycja budynku i rozmieszczenie urządzeń.

Kompozycję budynku wraz z rozmieszczeniem głównych urządzeń pokazano na rys. 4 i 5.

Kotłownia składa się z trzech zasadniczych części: z kotłowni właściwej, z galerii zasobników węgla oraz z galerii odgazowywaczy.

Wariant ten wybrano jako jedyny możliwy do zrealizowania w konstrukcji żelazobetonowej. Kompozycja polega na budowie dwóch ciężkich i wysokich budynków, które stanowią ograniczenie właściwej kotłowni. Masywna konstrukcja galerii dźwigających ciężkie elementy, jakimi są zasobniki węgla oraz zbiorniki wody zasilającej, przejmuje parcie wiatru i obciążenia od suwnicy kotłownianej.

Właściwa kotłownia zajmuje przestrzeń między tymi galeriami i pokryta jest lekkim dachem na stalowej konstrukcji kratowej. W ten sposób unika się zamknięcia kotłowni wysoką ścianą wolnostojącą, która byłaby potrzebna przy umieszczeniu obu galerii między kotłownią i maszynownią. Ściana ta musiałaby stanowić jedną całość z żelazobetonową konstrukcją dachu i byłaby trudna do wykonania oraz kosztowna ze względu na konieczność betonowania, szalowania i stemplowania na dużej wysokości. Suwnica, umieszczona nad kotłami, służąca do blokowego montażu kotłów, zwiększa jeszcze te trudności.

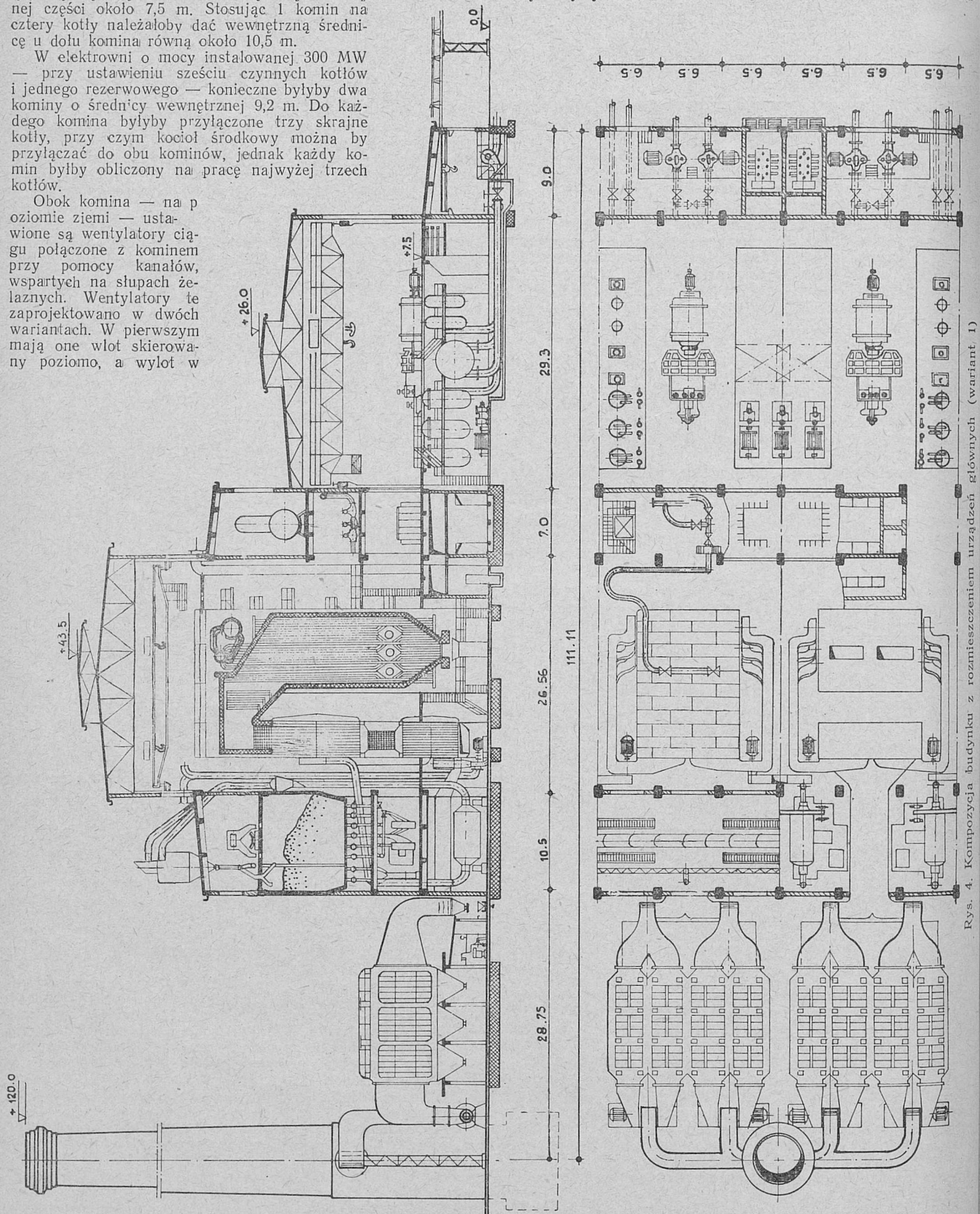
W zaprojektowanej kompozycji głównego budynku elektrowni odpylacze spalin, wentylatory ciągu i komin są umieszczone na zewnątrz budynku kotłowni.

Wysokość komina założono 120 m, a prędkość spalin w jego dolnej części około 4 m/s. Przy jednym kominie na dwa kotły otrzymuje się wówczas wewnętrzną średnicę komina w dolnej części około 7,5 m. Stosując 1 komin na cztery kotły należałoby dać wewnętrzną średnicę u dołu komina równą około 10,5 m.

W elektrowni o mocy instalowanej 300 MW — przy ustawieniu sześciu czynnych kotłów i jednego rezerwowego — konieczne byłyby dwa kminy o średnicy wewnętrznej 9,2 m. Do każdego komina byłyby przyłączone trzy skrajne kotły, przy czym kocioł środkowy można by przyłączać do obu kominów, jednak każdy komin byłby obliczony na pracę najwyższej trzech kotłów.

Obok komina — na poziomie ziemi — ustawione są wentylatory ciągu połączone z kominem przy pomocy kanałów, wspartych na słupach żelaznych. Wentylatory te zaprojektowano w dwóch wariantach. W pierwszym mają one wlot skierowany poziomo, a wylot w

wariacie wentylatory ciągu są ustawione z wlotami i wylotami spalin skierowanymi pionowo do góry. Ze względu na korzystniejszy kształt kanałów spalinowych komin można usta-



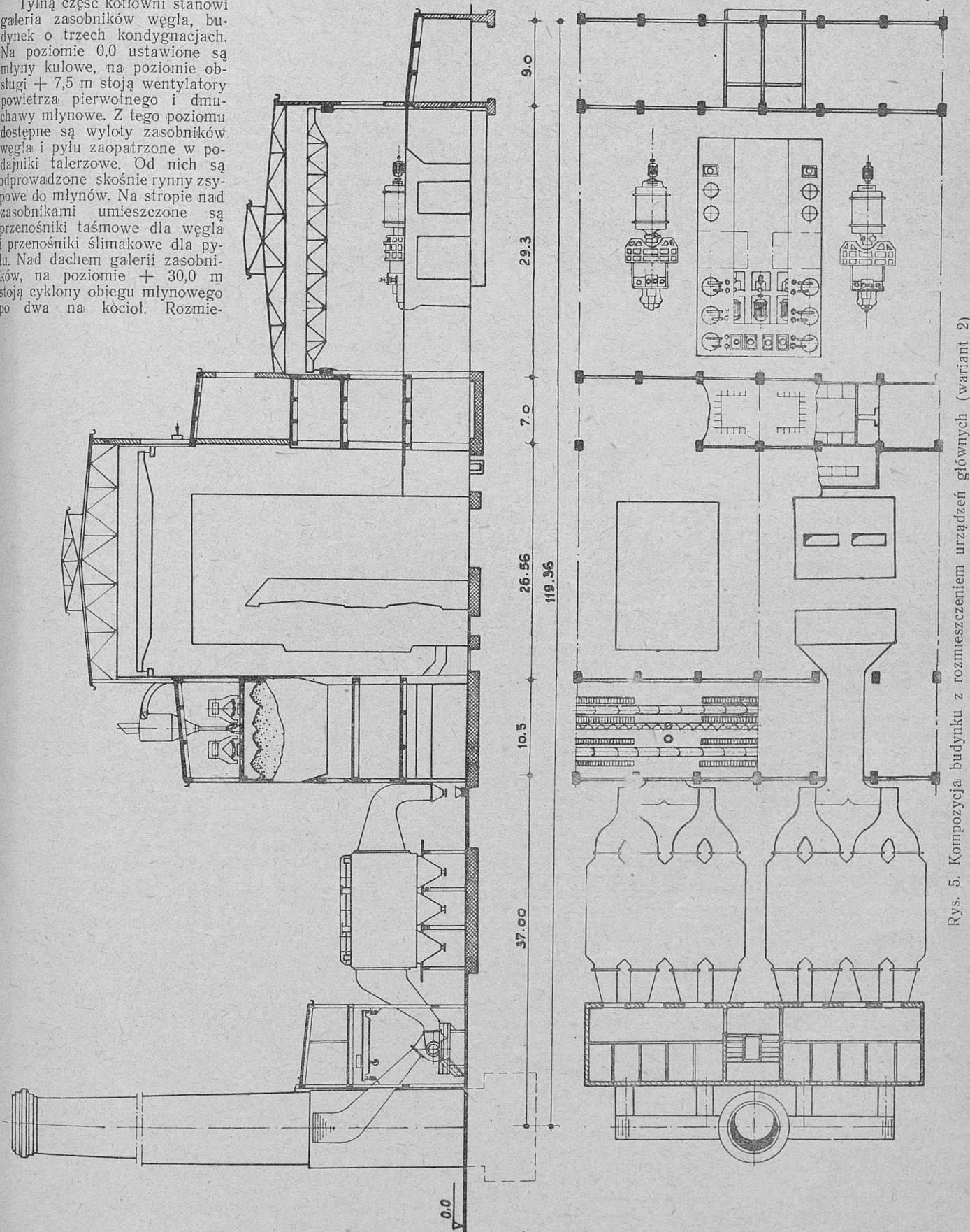
górę pod kątem 45° i są ustawione w oddzielnym budynku konstrukcji żelbetowej, zaopatrzone w suwnicę o udźwigu 10 t. W budynku tym znajdują się również pomieszczenia dla elektrycznego wyposażenia odpylaczy spalin. W drugim

wień w odległości ~ 29 m od kotłowni czyli o 8 m bliżej niż w pierwszym wariantcie. W drugim wariantcie nie przewiduje się stałej suwnicy montażowej i trzeba byłoby korzystać z przenośnych urządzeń dźwigowych. Wyposażenie elektryczne od-

pylaczy należałoby w tym wypadku umieścić między odpylaczami a ścianą kotłowni. Względę oszczędnościowe przemawiają za drugim wariantem.

Tylną część kotłowni stanowi galeria zasobników węgla, budynek o trzech kondygnacjach. Na poziomie 0,0 ustawione są młyny kulowe, na poziomie obsługi + 7,5 m stoją wentylatory powietrza pierwotnego i dmuchawy młynowe. Z tego poziomu dostępne są wyloty zasobników węgla i pyłu zaopatrzone w podajniki talerzowe. Od nich są odprowadzone skośnie rynny zsympowe do młynów. Na stropie nad zasobnikami umieszczone są przenośniki taśmowe dla węgla i przenośniki ślimakowe dla pyłu. Nad dachem galerii zasobników, na poziomie + 30,0 m stoją cyklony obiegu młynowego po dwa na kocioł. Rozmie-

Kotłownia właściwa zajmuje przestrzeń między galerią zasobników węgla a galerią odgazowywaczy i jest pokryta lekkim dachem na konstrukcji kratowej. Wysokość kotłów wynosi:



Rys. 5. Kompozycja budynku z rozmieszczeniem urządzeń głównych (wariant 2)

szczenie przenośników i cyklonów przedstawiono w dwóch wariantach w zależności od zastosowania pojedynczych lub podwójnych przenośników węgla.

około 30 m: nad nimi przewidziano suwnicę o udźwigu 30 t. Odstęp między osiami kotłów wynosi 19,5 m, a szerokość kotłowni w świetle 26 m. Kotły ustawione są komorą paleniskową

w stronę sal maszyn, a więc drugi ciąg kotłów zwrócony jest w stronę zasobników. Na poziomie 0,0 ustawiono wentylatory powietrza wtórnego, które zasysają powietrze — przy pomocy czepni blaszanych — z górnej partii kotłowni lub z zewnątrz, przv czym istnieje możliwość mieszania powietrza zaczerpniętego z zewnątrz i z wewnątrz kotłowni.

Budynek galerii odgazowywaczy o 4 kondygnacjach znajduje się między kotłownią i salą maszyn. Ma on szerokość 7 m, a średnią wysokość 29 m. Na poziomie 0,0 umieszczona jest rozdzielnia potrzeb własnych, na poziomie + 7,5 m, a więc na poziomie obsługi w środkowej części galerii, znajduje się nastawna ciepła i elektryczna.

W nastawni znajdują się przyrządy pomiarowe i urządzenia do zdalnego sterowania pracą 2 bloków, a więc 2 kotłów, 2 turbin i ich potrzeb własnych. Dzięki środkowemu umieszczeniu nastawni przewody i kable sterownicze i pomiarowe są krótkie, a zatem i koszty są niewielkie tym bardziej, że nie wymaga ona wielu dodatkowych przyrządów. Ponieważ kierowanie ruchem kotłów i turbin będzie się odbywało z nastawni, przy kotłach i turbinach pozostaną tylko najniezbędniejsze przyrządy pomiarowe, a właściwe tablice kotłowe i turbinowe są przeniesione do nastawni. Oznacza to zatem, że przy kotłach i turbinach umieszcza się kilka dodatkowych przyrządów, a stosowane dotychczas tablice przesuwa się o kilka metrów do oddzielnego dzwiczoszczelnego i klimatyzowanego pomieszczenia. Poprawi to znacznie warunki pracy, a zatem usprawni obsługę i przyczyni się do szybszego usuwania zaburzeń. Jak wspomniano, nastawnia taka będzie obsługiwać 2 bloki po 50 MW tj. 100 MW. W większych elektrowniach będzie zatem takich rozdzielni dwie, a nawet w 300-megawatowej elektrowni trzy.

Urządzenia rozdzielni głównej będą sterowane z jednej głównej nastawni elektrycznej umieszczanej zazwyczaj w pobliżu rozdzielni.

Nastawnia zajmuje przestrzeń 7 m × 13 m. Pozostałą przestrzeń poziomu + 7,5 m zajmuje z jednej strony otwór montażowy i klatka schodowa, z drugiej strony — warsztaty naprawcze.

Na stropie na poziomie + 13,5 m usytuowane są kolektory parowe i wodne oraz główne zasuwy parowe i wodne. Na poziomie + 19,1 m znajdują się dwa zbiorniki wody zasilającej z odgazowywaczami. Pojemność zbiornika wynosząca 70 m³ zapewnia rezerwę wody na 25 minut.

Suwnica nad kotłami ma dwa wózki jezdne o nośności 15 t każdy. Ponadto przewidziano nad odgazowywaczami umieszczenie jednoszynowego wciągnika elektrycznego.

Maszynownia o szerokości 29,3 m jest pokryta dachem na kratowej konstrukcji stalowej. Dach jest ocieplony i zaopatrzony w świetliki. W turbinowni ustawione są dwa turbozespoły, po pięć podgrzewaczy regeneracyjnych na każdy zespół, cztery pompy zasilające, cztery pompy skroplinowe oraz dwie wyparki dwustopniowe. Usytuowanie tych urządzeń zaprojektowano w dwóch wariantach. W wariantie I (rys. 4) turbozespół stoi symetrycznie w przeznaczonych dla niego części maszynowni, a podgrzewacze i wyparki są ustawione w jednym szeregu na granicy pomieszczenia. Po przeciwnej stronie turbozespołu stoja pompy zasilające. W wariantie II (rys. 5) turbozespoły każdej pary bloków są rozsuniete na zewnątrz, a w dużej uzyskanej w ten sposób między nimi przestrzeni są umieszczone podgrzewacze regeneracyjne, wyparki i pompy. Ze względu na niejednolite wyzyskanie miejsca naokoło turbozespołu słuszniejsze wydaje się rozmieszczenie urządzeń według wariantu I.

Turbinownia wyposażona jest w suwnice o jednym wózku jezdnym i dwóch hakach o nośności 10 t i 50 t. Rozpiętość suwnicy 28,5 m, poziom szyn jezdnych 16,5 m, a najwyższe położenie haków 4,5 m nad poziomem obsługi.

W pompowni wody chłodzącej przewidziano jednobelkową suwnicę o nośności 5 t z napedem ręcznym. Suwnica ta ma obsługiwać cztery pompy, a więc w elektrowni o mocy instalowanej większej od 100 MW należałoby zainstalować w pompowni kilka takich suwnic.

5. Konstrukcja budynku głównego.

Kotłownia znajduje się między dwoma jednoprzęsłowymi budynkami ramowymi konstrukcji żelbetowej, to jest między galerią odgazowywaczy i galerią zasobników węglowych. Tor podsuwnicowy w kotłowni wsparty jest przez słupy podsuwnicowe na słupach żelbetowych obu ram. Kotłownia pokryta jest lekkim dachem spoczywającym na wiązarach stalowych.

Turbinownia jest budynkiem halowym konstrukcji żelbetowej; również ma lekki dach wsparty na wiązarach stalowych. Tor podsuwnicowy ustawiony jest tylko z jednej strony na słupach ściany zewnętrznej, a z drugiej na skrajnych słupach

żelbetowej ramy budynku odgazowywaczy. Wolno stojąca ściana zewnętrzna turbinowni jest związana stropem na poziomie + 7,5 m.

Pompownia jest lekkim budynkiem konstrukcji żelbetowej, a suwnica w niej wsparta jest na słupach.

We wszystkich budynkach ściany wypełnione są cegłą.

6. Wskaźniki techniczne.

Dla oceny ekonomicznej celowości proponowanej kompozycji głównego budynku obliczono poniżej dwa zasadnicze wskaźniki, mianowicie jednostkową kubaturę w metrach sześciennych na 1 kW zainstalowany oraz powierzchnię terenu zajęta przez budynek główny w metrach kwadratowych na 1 kW.

Kubaturę poszczególnych pomieszczeń, zajętych przez urządzenia jednego bloku, podaje następujące zestawienie:

pompownia	9	×	7	×	19,5	=	1 230 m ³
turbinownia	29,3	×	23	×	19,5	=	13 120 "
kotłownia	26,56	×	39	×	19,5	=	19 400 "
galeria odgazowywaczy	7	×	29	×	19,5	=	3 960 "
galeria zasobnikowa	10,5	×	30	×	19,5	=	6 430 "
elektrofiltry (wariant I)	5,5	×	4	×	15	=	330 "
elektrofiltry (wariant II)	8	×	16	×	18	=	2 300 "
razem (wariant I)							44 470 m ³
razem (wariant II)							46 440 m ³

Z zestawienia tego wynikają wskaźniki kubatury:

$$a) \text{ dla wariantu I — } K_k = \frac{44\,470}{50\,000} = 0,048 \text{ m}^3/\text{kW},$$

$$b) \text{ dla wariantu II — } K_k = \frac{46\,440}{50\,000} = 0,044 \text{ m}^3/\text{kW},$$

Powierzchnia poszczególnych pomieszczeń, zajętych przez urządzenia jednego bloku:

pompownia	9	×	19,5	=	176 m ²
turbinownia	29,3	×	19,5	=	570 "
kotłownia	26,56	×	19,5	=	517 "
galeria odgazowywaczy	7	×	19,5	=	136 "
galeria zasobnikowa	10,5	×	19,5	=	205 "
elektrofiltry (wariant I)	53	×	19,5	=	643 "
elektrofiltry (wariant II)	41	×	19,5	=	800 "
razem (wariant I)					2 237 m ²
razem (wariant II)					2 394 m ²

Stąd wskaźnik powierzchniowy:

$$a) \text{ dla wariantu I } K_p = \frac{2237}{50\,000} = 0,044 \text{ m}^2/\text{kW},$$

$$b) \text{ dla wariantu II } K_p = \frac{2394}{50\,000} = 0,048 \text{ m}^2/\text{kW}.$$

Jak widać z powyższych wskaźników, przy celowym — pod względem ruchowym — rozwiązaniu kompozycji można uzyskać również bardzo korzystne wskaźniki techniczno-ekonomiczne, które wynikają z zastosowania oszczędnościowych wskazań przy projektowaniu.

Należy podkreślić, że zmniejszenie jednostkowej kubatury i powierzchni głównego budynku elektrowni nie tylko zmniejsza koszty budynkowe, ale pozwala również na poważne oszczędności w wyposażeniu elektrowni, np. w cennych materiałach używanych na rurociągi wysokopięśne, na szyny aluminiowe lub miedziane, na kable itp.

Przez staranne projektowanie głównego budynku elektrowni osiąga się nie tylko oszczędność w kosztach budowy, ale także zwiększoną pewność ruchu, gdyż zwłaszcza w czasie likwidowania zaburzeń w ruchu przejrzystość układu przy niedużych odległościach między poszczególnymi urządzeniami oraz scentralizowanie sterowania w nastawni ciepłej ma bardzo ważne znaczenie.

Dla uniknięcia nieporozumień należy wyraźnie podkreślić, że wskaźniki powyższe dotyczą tylko głównego budynku elektrowni. W literaturze spotyka się często wskaźniki dla wszystkich budynków produkcyjnych elektrowni, które, oczywiście, muszą być wyższe.

LITERATURA

- Kercelli i Ryżkin. Tieplowije elektriceskije stancii. Maszynostrojenje, tom. XII.
 Andrzejewski S. Kompozycja budynku głównego elektrowni (Przegl. Elektr., 1952, str. 45).
 S. A. Typowe projekty elektrowni w ZSRR (Energetyka, 1952, str. 20).
 Ney W. Kompozycja głównego budynku a proces technologiczny siłowni cieplnej (Energetyka, 1950, str. 171).

MGR INŻ. CYRYL NIEWIADOMSKI
INŻ. M. OLSZEWSKI

Spajanie na zimno w elektrotechnice

621.315.628/.c84:621.3

Treść. Zasady teoretyczne spajania na zimno: wpływ poszczególnych czynników na ten proces, a mianowicie czystości łączonych powierzchni, wielkości i sposobu odkształcania plastycznego, tarcia, dyfuzji i odkształcalności odwracalnej. Własności spoin, poszczególne rodzaje spajania na zimno metali nieżelaznych i konstrukcja narzędzi do tego rodzaju łączenia. Przykłady zastosowania spajania na zimno w przemyśle elektrotechnicznym: łączenie szyn rozdzielczych, drutów i linek, zastąpienie spawania acetylenowego w maszynach elektrycznych, produkcja kabli w płaszczu aluminiowym oraz osadzanie styków w aparatach elektrycznych.

Холодная сварка в электротехнике. Теоретические основы холодной сварки. Влияние на этот процесс отдельных факторов, а именно: чистоты соприкасающихся поверхностей, величины и способа пластической деформации, трения, диффузии и обратимой деформации. Свойства спая, разновидности холодной сварки нежелезных металлов и конструкция инструмента для соединения этого рода. Примеры применения холодной сварки в электротехнической промышленности: соединение распределительных шин, проволок и тросов, замена ацетиленовой сварки в электрических машинах, производство кабелей в алюминиевой оболочке, укрепление контактов в электрических аппаратах.

Cold-welding in electric engineering practice. Principles of cold-welding. Influence on this process of individual factors — cleanness of welded surfaces, extent and method of plastic deformation, friction, diffusion and elastic recovery. Properties of welds, individual methods of cold-welding non-ferrous metals, and design of tools for this particular welding method. Instances of use of cold welds in electrical engineering practice: joining of bus bars, conductors and stranded conductors; substitution of cild welding for acetylene welding in electric machines; manufacture of aluminium-sheath cables; securing of contacts in electrical apparatus.

1. Istota spajania na zimno.

Spajanie na zimno (swarka pod ciśnieniem, cold pressure welding, Kalt-Pressschweissung) jest to nowoczesny sposób łączenia metali pod ciśnieniem przy temperaturze pokojowej (poniżej temperatury początku rekrytalizacji). Łączenie metali drogą spajania na zimno nie wymaga, w przeciwieństwie do innych sposobów łączenia, ani doprowadzania ciepła lub prądu elektrycznego, ani stosowania topników, gazów albo innych środków chemicznych. Łączenie tą metodą wymaga natomiast specjalnie zbudowanych narzędzi, zapewniających właściwy sposób odkształcania się łączonych części pod działaniem odpowiedniego nacisku jednostkowego, większego niż granica plastyczności łączonych materiałów.

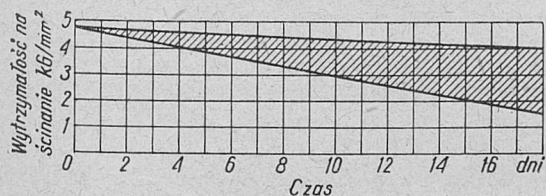
2. Zasady teoretyczne spajania na zimno.

Uwagi wstępne. Zasadę łączenia drogą spajania na zimno można łatwo wyjaśnić na przykładzie zgniatania dwóch grudek kitu lub plasteliny albo — jeszcze lepiej — na przykładzie izolowania przewodów drogą nakładania, które jest w ścisłym tego słowa znaczeniu spajaniem na zimno dwóch taśm gumy kalandrowanej.

Trudniej jest natomiast wytłumaczyć zasady łączenia drogą spajania na zimno metali, które mają strukturę krystaliczną i w których każde ziarno jest odrębnym indywiduum, oddzielnym od innych substancją międzykrystaliczną. Dlatego też spajanie na zimno metali jest możliwe tylko pod warunkiem przestrzegania ściśle określonych, niżej omówionych warunków.

Wpływ czystości łączonych powierzchni. Pierwszym, podstawowym warunkiem uzyskania jednolitej spoiny metalicznej drogą spajania na zimno jest idealna czystość powierzchni łączonych materiałów, gdyż wszelkie ślady tlenków, wilgoci, smaru lub innych substancji niemetalicznych uniemożliwiają otrzymanie spoiny.

Najlepsze oczyszczenie powierzchni uzyskuje się za pomocą szcetki stalowej, obracającej się z szybkością obrotową ok. 15



Rys. 1. Wpływ (krzywe rozsiewu) czasu pomiędzy oczyszczeniem a spajaniem na zimno na wytrzymałość na ścinanie złącza; materiał — aluminium w stanie wyżarzonym, współczynnik zmniejszenia grubości — 60% (wg Hofmanna i Ruge)

m/min., wykonanej z drucików o średnicy i twardości dobranej do twardości łączonych materiałów, druciki bowiem nie powinny w czasie czyszczenia łamać się, ani pozostawać w oczyszczanym materiale, ani go nadmiernie rysować.

Gorsze wyniki daje wytrawianie łączonych powierzchni wobec trudności całkowitego usunięcia pozostałości roztworu trawienia i produktów trawienia, jak również szlifowanie, polerowanie, piaskowanie itp., w których wyniku pozostają cząsteczki obcych substancji w oczyszczonej powierzchni.

Spajanie na zimno nie musi być wykonywane natychmiast po oczyszczeniu powierzchni. Jak bowiem stwierdzono w przypadku aluminium, spoiny o odpowiedniej wytrzymałości otrzymuje się po kilkunastu godzinach, a nawet po kilku dniach od momentu oczyszczenia, jeżeli oczyszczone powierzchnie zabezpieczono przed zanieczyszczeniem, wilgocią, działaniem agresywnych gazów itp. (rys. 1). Taką właściwość oczyszczonych mate-

riałów można wytłumaczyć stosunkowo powolnym narastaniem na ich powierzchni warstwy tlenków, która tworzy się wprawdzie natychmiast po oczyszczeniu, lecz osiąga pierwotną grubość i wytrzymałość dopiero po kilku miesiącach.

Wpływ wielkości i sposobu odkształcania plastycznego. Najgładsze powierzchnie materiałów metalicznych, możliwe do uzyskania w praktyce, są niewystarczające pod względem stopnia ich gładkości do otrzymania spoiny drogą spajania na zimno bez zastosowania znacznego nacisku. Takie powierzchnie mają bowiem za mało punktów styku, których liczbę i powierzchnię trzeba znacznie zwiększyć, aby uzyskać spoinę o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej.

Zwiększenie powierzchni styku osiąga się przez docisk łączonych materiałów, powodujący odkształcenie plastyczne ich warstw powierzchniowych, tzn. przez docisk o wielkości większej niż granica plastyczności łączonych materiałów. Im większy będzie docisk, tym większa będzie powierzchnia styku, a tym samym wytrzymałość spoiny.

Jakkolwiek zwiększenie powierzchni styku łączonych powierzchni można uważać za czynnik rozstrzygający o jakości spoiny, odpowiedniej jej wytrzymałości nie można uzyskać bez jednoczesnego odkształcenia materiału, którego wielkość cechuje tzw. współczynnik zmniejszenia grubości (Prägetiefe, figure of merit) łączonych materiałów. W przypadku spajania blach lub taśm jednakowej grubości współczynnik ten wyraża się wzorem:

$$\alpha = \frac{g}{2g_t} \cdot 100\%,$$

gdzie g — łączna grubość blach lub taśm po spojeniu,
 g_t — grubość blachy lub taśmy przed spajaniem.

Wytrzymałość spoiny otrzymanej drogą spajania na zimno określa się ilorazem siły powodującej zniszczenie spoiny przez pozorną powierzchnię styku (powierzchnię roboczą tłoczniaka) łączonych powierzchni. W taki sposób określona wytrzymałość spoiny jest mniejsza niż wytrzymałość rzeczywista w miejscach styku, odpowiadająca w przybliżeniu wytrzymałości łączonego materiału, jeżeli nie będziemy uwzględniać dodatkowego utwardzenia, którego wielkość cechuje wspomniany współczynnik zmniejszenia grubości. Jakkolwiek przy tym wytrzymałość spoiny jest przeważnie tylko nieznacznie mniejsza od wytrzymałości rzeczywistej w miejscach styku, podwyższenie wytrzymałości spoiny do wielkości teoretycznie możliwej nie jest osiągalne wobec nieprawdopodobieństwa uzyskania idealnego styku powierzchni łączonych materiałów.

Wielkość zmniejszenia grubości jest wielkością ograniczoną. Przy zbyt dużym zmniejszeniu grubości następuje bowiem obniżenie wytrzymałości spoiny, co nie oznacza jednakże, iż wytrzymałość w miejscach styku maleje. Spadek wytrzymałości spoiny jest mianowicie spowodowany jedynie nadmiernym zmniejszeniem przekroju czynnego w miejscu spoiny, wskutek czego w czasie prób rozciągania następuje zerwanie obok spoiny, a nie w spoinie.

Szybkość nacisku przy łączeniu drogą spajania na zimno nie wpływa na wytrzymałość spoiny. Duży natomiast wpływ na sposób odkształcania materiału w czasie spajania, który powinien mieć możliwość swobodnego płynięcia w miejscu odkształcania, co jest uzależnione od odpowiedniego kształtu spoiny i narzędzi zapewniającego jednokierunkowe, a nie promieniowe płynięcie materiału.

Wpływ tarcia. Płynięciu materiału w czasie spajania na zimno towarzyszy tarcie łączonych powierzchni, w którego wyniku wytwarza się na nich warstewka materiału o szczególnych własnościach, podobnie jak w wyniku tzw. zatarcia (na przykład tłoka w gładzi cylindra) lub w wyniku spiekania prosz-

ków (wprawdzie przy znacznie wyższych temperaturach). W warstwie tej atomy metali są położone tak blisko, że podlegają sile przyciągania międzyatomowego.

Te właśnie zjawiska zachodzące na granicy styku łączonych materiałów, w ich warstwach powierzchniowych, należy uważać za rozstrzygające o możliwości połączenia materiałów metalicznych drogą spajania na zimno z otrzymaniem jednorodnej spoiny.

Tablica I. Wielkość współczynnika zmniejszenia grubości przy spajaniu na zimno (wg Sowtera)

Materiał spajany na zimno	Współczynnik zmniejszenia grubości (%)
Aluminium rafinowane 99,99%	40
Aluminium hutnicze 99,5%	30
Stop typu Al—Mg—Si o zawartości ok. 1% Mg, 1% Si, 1% Mn	29
Stop typu Al—Mn o zawartości ok. 1,25% Mn	20
Duralumin	20
Kadm	16
Ołów	16
Miedź	14
Nikiel	11
Cynk	8
Srebro	6

Wpływ dyfuzji. Istnieją przypuszczenia, iż dodatkowym czynnikiem, umożliwiającym łączenie drogą spajania na zimno, jest dyfuzja atomów przebiegająca po uzyskaniu styku pomiędzy łączonymi powierzchniami. Możliwość przebiegu dyfuzji w takich warunkach przy temperaturze pokojowej ustalono bowiem na przykładzie styku radioaktywnego izotopu miedzi ze stałą.

W żadnym przypadku nie należy jednakże uważać dyfuzji za czynnik rozstrzygający o możliwości połączenia materiałów metalicznych drogą spajania na zimno; ponieważ, jak stwierdzono, metodą tą można łączyć m. inn. aluminium i cynę, a więc metale nie wykazujące wzajemnej rozpuszczalności w stanie stałym. Dyfuzja atomów nie jest resztą w wielu przypadkach czynnikiem rozstrzygającym, nawet przy zwykłym spajaniu, o czym

Tablica II. Optymalne współczynniki zmniejszenia grubości w zależności od rodzaju materiałów spajanych na zimno (wg Niewiadomskiego i Olszewskiego)

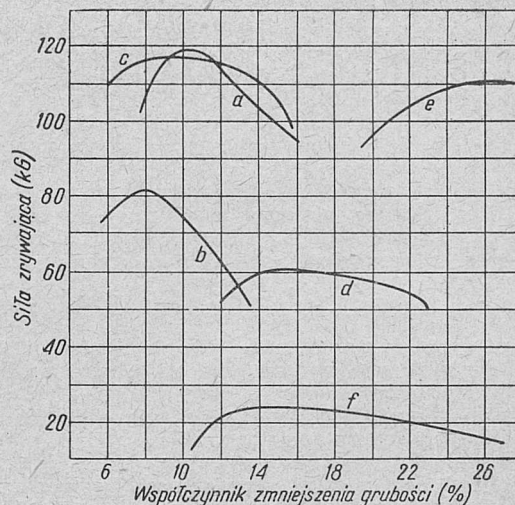
Rodzaj materiałów spajanych na zimno	Oznaczenie materiału wg norm PN	Optymalny współczynnik zmniejszenia grubości (%)
Alupolon + alupolon	AlCu3Mg1 PN/H-88026	25 — 35
Miedź + miedź	Cu 1 PN/H-82120	14 — 18
Ołów + ołów	Pb III PN/H-82201	15
Stop ZNAL + stop ZNAL	ZnAl4Mg1 —	10
Mosiądz + mosiądz	CuZn37 PN/H-87025	8 — 10
Cynk + cynk	Zn98Raf PN/H-82200	8
Alupolon + stop ZNAL	Jak wyżej	23
Miedź + alupolon		14
Miedź + stop ZNAL		15
Cynk + alupolon		12
Miedź + cynk		10

świadczy możliwość spajania stali srebrem, cynku spoiwem ołowio-cynowym itp.

Przeciw wydatnemu przebiegowi dyfuzji atomów w czasie spajania na zimno świadczy poza tym możliwość spajania przy niskich temperaturach (nawet przy -150°C), jak również brak zależności pomiędzy szybkością działania nacisku w czasie spajania na zimno a wytrzymałością spoiny. Gdyby bowiem w czasie spajania zachodziła wydatna dyfuzja atomów, spoina otrzymana przy powolnym działaniu nacisku musiałaby mieć większą wytrzymałość. Dlatego też, nie zaprzeczając możliwości przebiegu nieznacznej dyfuzji atomów w miejscu spoiny (spowodowanej, na przykład, wydzielaniem się ciepła w płaszczyznach

poślizgu wskutek odkształcenia plastycznego), należy stwierdzić, iż uzyskanie drogą spajania na zimno spoiny o odpowiedniej wytrzymałości jest możliwe przede wszystkim dzięki zjawiskom zachodzącym na powierzchni łączonych materiałów. Zjawiska te przebiegające w przestrzeni dwuwymiarowej różnią się od zjawisk przebiegających w przestrzeni trójwymiarowej powstawaniem trwałych skupień atomów (pseudostopów) takich metali, które nie tworzą roztworów stałych lub związków międzymetalicznych w przestrzeni trójwymiarowej.

Wpływ odkształcalności odwracalnej. Po zaznajomieniu się z powyższymi rozważaniami nasuwa się logiczne pytanie, czy wszystkie materiały metaliczne mogą być spajane na zimno? Na pytanie to należy odpowiedzieć przecząco, gdyż poza wyżej wspomnianymi czynnikami na możliwość spojenia na zimno ma zasadniczy wpływ również zjawisko odkształcalności odwracalnej (uprugoje posłedstwie, elastische Nachwirkung, elastic recovery) powodującej zniszczenie spoiny.



Rys. 2. Zależność pomiędzy współczynnikiem zmniejszenia grubości i siłą zrywającą złącze otrzymane przez spajanie płaskie na zimno

- a — blachy ze stopu typu ZNAL o grubości 2 mm
b — blachy z cynku o grubości 2 mm
c — blachy z mosiądzu CuZn37 o grubości 2 mm
d — blachy z miedzi o grubości 0,65 mm
e — blachy z alupolonu o grubości 1,5 mm
f — blachy z ołowiu o grubości 2 mm

Znaczenie tego czynnika można łatwo przedstawić na przykładzie samorzutnego zmniejszania się odcisku kulki po wykończeniu pomiaru twardości metodą Brinella. Takie samo zjawisko zachodzi także przy spajaniu na zimno materiałów twardych, na przykład stali, szkła itp., wobec czego materiały te nie nadają się do spajania na zimno w przeciwieństwie do materiałów o dużej plastyczności i małej odkształcalności odwracalnej.

Zjawisko odkształcalności odwracalnej jest więc również czynnikiem rozstrzygającym o możliwości spojenia na zimno, czyli adhezji łączonych materiałów.

3. Materiały spajane na zimno i własności spoin.

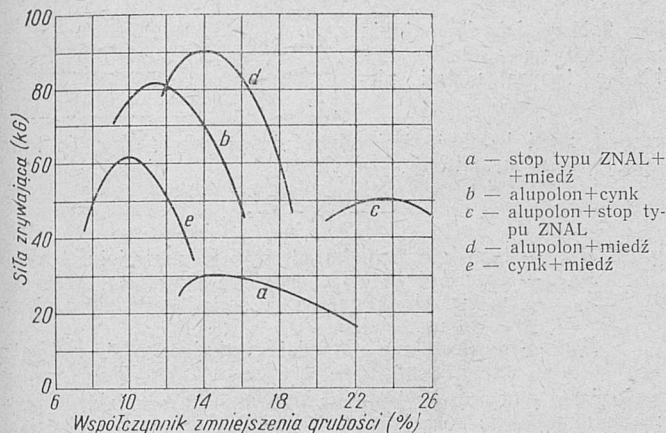
Na podstawie powyższych rozważań i dotychczasowego doświadczenia można stwierdzić, iż najlepiej nadają się do spajania na zimno metale nieelastyczne i ich stopy o strukturze roztworu stałego. Ta własność w przypadku złota jest od dawna znana i wykorzystywana w technice dentystycznej, a w przypadku aluminium w produkcji folii (łączenie arkuszy folii przez walcowanie pod dużym naciskiem), jakkolwiek na możliwość szerokiego zastosowania spajania na zimno zwrócono uwagę dopiero w ostatnich latach.

Wielkość współczynnika zmniejszenia grubości, niezbędną do uzyskania spoiny o odpowiedniej wytrzymałości, przedstawia tabl. I wg Sowtera i tabl. II oparta na wynikach badań autorów. Nacisk jednostkowy przy spajaniu na zimno powinien natomiast wynosić wg Hofmanna i Ruge w przypadku aluminium rafinowanego w stanie wyżarzonym 16 kg/mm^2 , aluminium rafinowanego w stanie twardym 20 kg/mm^2 , stopu typu Al-Mg-Si (1,5% Mg, 0,8% Si, 1% Mn) 32 kg/mm^2 , miedzi elektrolitycznej 48 kg/mm^2 , a cyny 9 kg/mm^2 . Jak widać z powyższych danych, do spajania na zimno najlepiej nadają się aluminium, jego stopy i miedź, wymagające najmniejszego współczynnika zmniejszenia grubości, które można poza tym spajać z innymi metalami i stopami, otrzymując złącza bimetaliczne. Pozostałe materiały można

również spajać na zimno, jeżeli od spoiny nie wymaga się dużej wytrzymałości mechanicznej.

Ostatnio stwierdzono także możliwość spajania na zimno żelaza armco i stali chromowo-niklowej o zawartości 18% Cr i 8% Ni. Materiały te wymagają jednak dużego współczynnika zmniejszenia grubości, wynoszącego ok. 15%, oraz dużych nacisków jednostkowych, nacisk bowiem jednostkowy w przypadku żelaza armco wynosi 75 kG/mm², a w przypadku stali chromowo-niklowej 200–250 kG/mm².

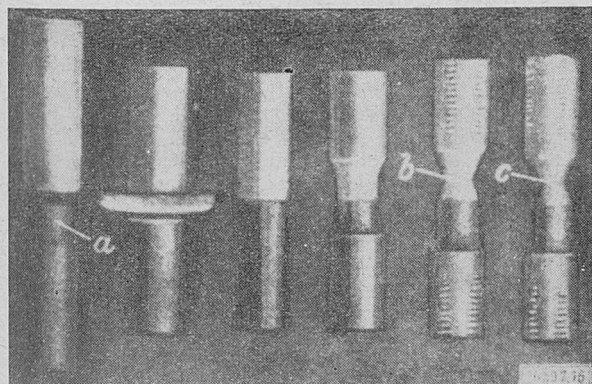
Wytrzymałość mechaniczna spoiny zależy od współczynnika zmniejszenia grubości, czyli od wielkości odkształcenia plastycznego, co widać z rys. 2 i rys. 3, przedstawiających wpływ współczynnika zmniejszenia grubości na siłę zrywającą złącza roz-



Rys. 3. Zależność pomiędzy współczynnikiem zmniejszenia grubości i siłą zrywającą złącze bimetaliczne otrzymane przez spajanie płaskie na zimno (grubość blach, jak dla rys. 3).

małych materiałów. Z rysunków tych wynika mianowicie, iż maksymalną wytrzymałość spoiny otrzymuje się przy ściśle określonej wartości współczynnika zmniejszenia grubości; przekroczenie jej powoduje obniżenie wytrzymałości spoiny z powodu nadmiernego zmniejszenia przekroju czynnego materiału.

Przy odpowiednim współczynniku zmniejszenia grubości wytrzymałość spoiny, dzięki utwardzeniu materiału w miejscu spoiny, może być nawet większa niż wytrzymałość materiału spa-



Rys. 4. Zachowanie się spoiny otrzymanej drogą spajania przez spęczanie na zimno aluminium z miedzią w czasie próby rozciągania (wg Hofmanna i Ruge)

janego, wobec czego materiał ten zrywa się przy próbie rozciągania poza spoiną (rys. 4). O dużej wytrzymałości spoiny świadczy jeszcze to, że po usunięciu kołnierza spoiny otrzymanej przez spajanie drogą spęczania i po obtoczeniu spojonego materiału można go przeciągnąć na drut lub przekuć, albo zgąć o 180° w miejscu spoiny. Spęcone na zimno pręty (po usunięciu kołnierza) można również rozwinąć do grubości ścianki 1 mm, uzyskując w taki sposób bimetaliczne połączenie rurowe, którego nie można otrzymać żadnym innym sposobem.

Spoiny otrzymane przez spajanie na zimno odznaczają się nie tylko dobrą wytrzymałością, lecz również wodo- i gazoszczelnością, odpornością na korozję, a w szczególności małą opornością elektryczną w miejscu spoiny. Ta ostatnia cecha jest szczególnie cenna w przypadku złączy przewodzących prąd.

Pod względem metalograficznym spoina otrzymana przez spajanie na zimno stanowi materiał jednorodny, w którym przy

prawidłowym wykonaniu spoiny nie można nawet stwierdzić, gdzie nastąpiła adhezja łączonych materiałów, co widać z mikrofotografii zglądów na rys. 5 i 6. Należy przy tym zaznaczyć,



Rys. 5. Mikrostruktura spoiny otrzymanej przez spajanie na zimno (powiększ. ∞ 100-krotnie)

iz pozorne zmniejszenie nieciągłości spoiny, widoczne na rys. 6, jest wynikiem przeszlifowania przed elektrolitycznym polerowaniem wyżarzzonej próbki.

4. Rodzaje spajania na zimno.

W zależności od sposobu wykonywania spoiny odróżnia się następujące rodzaje spajania na zimno: płaskie, walcowe, pierścieniowe i spajanie przez spęczanie (spajanie czołowe).

Spajanie płaskie wykonuje się na zakładkę lub z nakładką; spajanie to może być punktowe, gdy spoinę ogranicza się do jednego lub kilku punktów, albo — ciągłe. Spajanie płaskie stosuje się przede wszystkim do łączenia blach, taśm i płaskowników (szyn), jak również przy produkcji wszelkiego rodzaju zbiorników, elementów konstrukcyjnych z półwyrobów profilowych itp.

Spajanie walcowe polega na przepuszczaniu łączonych materiałów (blach, taśm, płyt, folii itp.) pomiędzy dwoma wałkami lub dwiema rolkami wywierającymi niezbędny nacisk. Ten sposób spajania znajduje zastosowanie przede wszystkim przy produkcji rur zwijanych z taśm, a następnie spajanych na zimno za pomocą specjalnych rolek wykonujących jednocześnie dwie operacje — spajanie odpowiednio wywiniętych brzegów taśm oraz usuwanie nadmiaru materiału.

Spajanie pierścieniowe stosuje się do spajania obwodowego wszelkiego rodzaju krążków, kwadratów, wieloboków itp. Poza tym spajanie tym sposobem nadaje się doskonale do hermetycznego zamykania puszek, opakowań, zbiorników itp.

Szczególnym sposobem spajania na zimno jest spajanie przez spęczanie nadające się zwłaszcza do łączenia prętów i drutów, umożliwiające otrzymywanie spoin bez zmiany przekroju czynnego materiału. Druty można poza tym spajać na zakładkę, przy czym obydwa te sposoby spajania znajdują szerokie zastosowanie do celów elektrotechnicznych, mianowicie do łączenia drutów, linek itp.

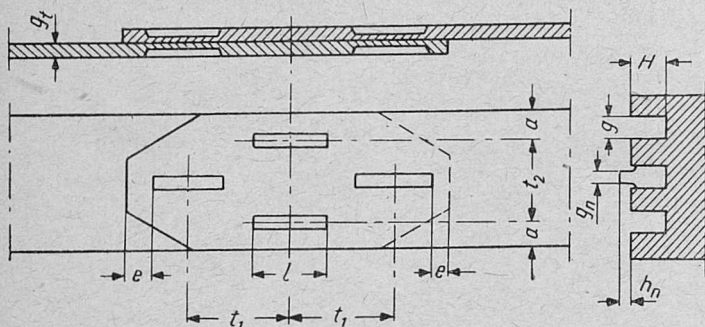
5. Narzędzia do spajania na zimno.

U w a g i o g ó ł n e. Kształt narzędzi do spajania na zimno zależy od bardzo wielu czynników, m. in. od rodzaju ma-



Rys. 6. Mikrostruktura tego samego miejsca spoiny po wyżarzeniu przy temperaturze 420°C przez 1 godz. (powiększ. ∞ 100-krotnie)

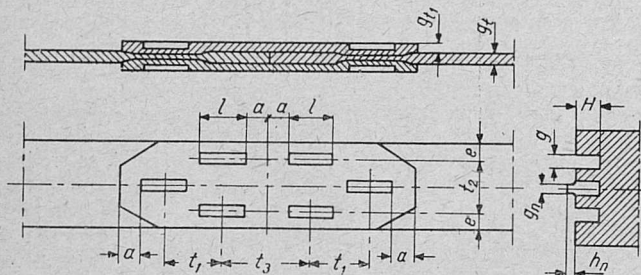
teriału spawanego, pożądanego wyglądu złącza, wymaganej wytrzymałości spoiny, oporności elektrycznej styku, pierwotnego kształtu łączonych elementów, rodzaju spawania oraz od dysponowanych urządzeń do spawania. Ustalenie odpowiedniego kształtu narzędzia, odmiennego dla każdego zastosowania spawania



Rys. 7. Narzędzie do spawania płaskiego na zimno aluminium z zakładką

na zimno, jest właśnie największą umiejętnością przy tego rodzaju łączeniu metali.

Narzędzia do spawania na zimno wykonuje się ze zwykłej stali węglowej lub ze stali stopowej bez jej utwardzania powierzchniowego; niektóre stale, na przykład stale z dodatkiem



Rys. 8. Narzędzie do spawania płaskiego na zimno aluminium z dwustronną nakładką

molibdenu lub wolframu, są jednakże w przypadku spawania aluminium niepożądane. Zużycie narzędzi, które przy spawaniu na zimno jest bardzo nieznaczne, można zmniejszyć do minimum przez ich regenerację.

Narzędzia do spawania płaskiego. Szczegółowe badania w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu wykazały, że optymalne własności wytrzymałościowe spoiny aluminiowej otrzymuje się przy narzędziach kształtu, jak na rys. 7 i 8, o następujących parametrach wymiarowych:

szerokość narzędzia (g_n)	g_t (min. 1,5 mm),
długość narzędzia (l)	4 do 5 g_n ,
wysokość narzędzia do spawania na zakładkę (h)	$\frac{g_t (100 - \alpha)}{100}$,
wysokość narzędzia do spawania z nakładką (h)	$\frac{(g_{t1} + 0,5 g_t) (100 - \alpha)}{100}$,
szerokość wrębu (g)	1,1 do 1,3 g_n (min. 2 mm),
głębokość wrębu (H)	1,8 do 2 g (min. 3 mm),
podziałka wzdłużna (t_1)	$l + e$,
podziałka wzdłużna (t_3)	$l + 2a$,
podziałka poprzeczna (t_2)	1,0 do 1,2 l ,
odległość od krawędzi (e)	0,3 do 0,5 l ,
odległość od krawędzi (a)	0,2 do 0,4 l ,
grubość nakładki (g_{t1})	0,7 do 1,0 g_t .

Liczbę występow w tych narzędziach zmienia się w zależności od ich powierzchni roboczej, liczbę zaś podziałek w zależności od stosunku grubości taśmy do jej szerokości.

Badania wykazały poza tym, iż przy współczynniku zmniejszenia grubości 25–35% optymalną wytrzymałość na rozciąganie spoiny otrzymuje się przy stosunku powierzchni roboczej narzędzia do przekroju taśmy, odpowiadającym 1,9, oraz że współczynnik jakości spoiny z zakładką wynosi:

$$K = \frac{R_{rs}}{R_r} = \max. 0,9,$$

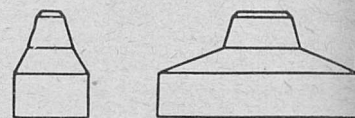
gdzie R_r — wytrzymałość na rozciąganie materiału przed spawaniem,

R_{rs} — wytrzymałość na rozciąganie spoiny.

Natomiast wytrzymałość na rozciąganie spoin z nakładką przy takich samych parametrach wymiarowych narzędzia jest ok. 20% większa niż spoin z zakładką, co można wytłumaczyć znacznie mniejszym osłabieniem taśmy przy spawaniu z nakładką korzystniejszym rozkładem sił przy rozciąganiu złącza (działa wówczas para sił) oraz równomierniejszym rozkładem naprężeń.

Podobne wyniki otrzymano przy spawaniu na zimno z zakładką innych metali nieżelaznych, wyszczególnionych w tabl. II, stosując narzędzia wg rys. 9. W przypadku spawania różnych materiałów powierzchnia roboczych dolnej i górnej części na-

Rys. 9. Narzędzia do spawania płaskiego na zimno z zakładką innych metali nieżelaznych



rzędzia musi jednakże być odwrotnie proporcjonalna do twardości spawanych materiałów, czyli

$$\frac{H_{B1}}{H_{B2}} = \frac{F_{n2}}{F_{n1}},$$

gdzie H_{B1} — twardość Brinella pierwszego materiału,

H_{B2} — twardość Brinella drugiego materiału,

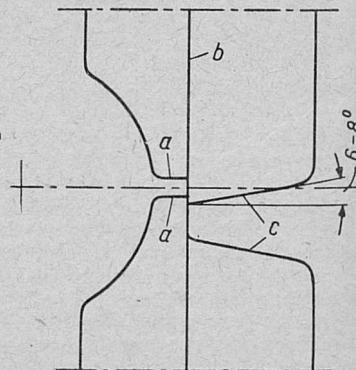
F_{n1} — powierzchnia narzędzia stykającego się z pierwszym materiałem,

F_{n2} — powierzchnia narzędzia stykającego się z drugim materiałem.

Badania powyższe wykonywano za pomocą specjalnego przyrządu umieszczonego w prasie hydraulicznej oraz narzędzi ze stali węglowej o zawartości 0,35–0,45% węgla (w przypadku spawania aluminium) nie ulepszonej cieplnie lub ze stali stopowej NC 10 (w przypadku innych metali i stopów) ulepszonej do twardości HRC — 60. Materiały przed spawaniem na zimno oczyszczano szczotką stalową o średnicy 150 mm, obracającą się z prędkością obwodową 20 m/s.

Narzędzia do spawania walcowego. Do spawania na zimno rurek ukształtowanych z taśm służą rolki (rys. 10), za pomocą których uzyskuje się wymagany stopień zgniotu oraz obcięcie nadmiaru materiału z kołnierza rurki. Jedną z tych rolek jest napędzana, druga zaś obraca się swobodnie.

Szerokość pracujących powierzchni (a) rolek powinna równać się grubości spawanej taśmy, a zaokrąglenie powierzchni 1/4 do 1/6 tej grubości, natomiast szczelina pomiędzy powierzchniami a zależy od grubości spawanej taśmy i rodzaju spawanego materiału. W przeciwnieństwie do równoległych powierzchni a , pracujące powierzchnie c są pochylone względem osi pod kątem 6–8°, przy czym odległość pomiędzy nimi powinna być taka, aby spawany materiał był poddany zgniotowi wielkości 15–20%, dzięki bowiem temu zgniotowi materiał jest lepiej wciągany, a rolki mogą mieć mniejszą średnicę, zapewniającą jednakże chwyt i wciąganie materiału mimo stosunkowo dużej jego przeróbki plastycznej w miejscu kształtowania się spoiny. Poza tym celem pochylecia powierzchni c rolek jest ułatwienie wypychania



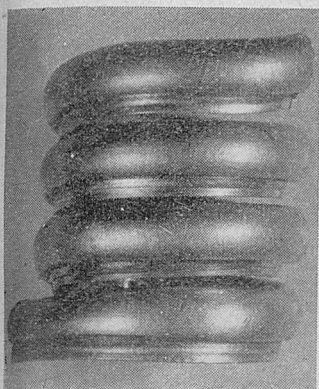
Rys. 10. Schemat rolek do spawania na zimno rurek

a — powierzchnie spawające
 b — powierzchnie tnące
 c — powierzchnie prowadzące i ciągnące

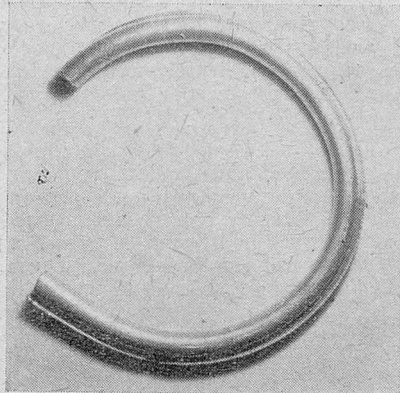
nadmiaru materiału odcinanego w czasie spawania, jak również wytworzenie sił przyciągających materiał do rolek, równoważących siły działające w kierunku przeciwnym w czasie kształtowania się spoiny, powodujące wysuwanie się materiału z rolek w kierunku poprzecznym do kierunku odkształcania.

Badania rurek aluminiowych o średnicach 10/1 mm spojonych na zimno za pomocą takich rolek wykazały, co następuje (nawijanie, wyginanie i skręcanie rurek wykonywano po napełnieniu ich piaskiem):

- a) nawinięcie czterech zwojów rurki na trzpieniu o średnicy 30 mm w taki sposób, aby spoina znajdowała się w osi obojętnej, nie powoduje pęknięcia lub rozdwojenia spoiny (rys. 11);
 b) pęknięcie lub rozdwanie spoiny nie występuje również, mimo znacznego wydłużenia (11%) spoiny, przy nawijaniu na



Rys. 11. Rurka aluminiowa spojona na zimno po nawinięciu na trzpień o średnicy 30 mm (spoina w osi obojętnej)



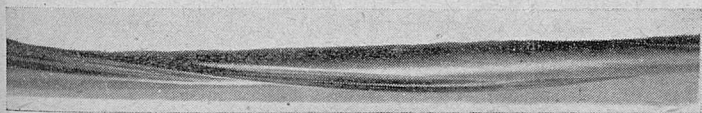
Rys. 12. Rurka aluminiowa spojona na zimno po nawinięciu na trzpień o średnicy 100 mm (spoina w płaszczyźnie gięcia)

trzpień o średnicy 100 mm, gdy spoina znajduje się po zewnętrznej stronie łuku (rys. 12); pęknięcia poprzeczne w spoinie (bez jej rozdwojenia) występują natomiast w takich warunkach przy nawijaniu na trzpień o średnicy 60 i 30 mm;

c) pęknięcie przy nawijaniu na trzpień można uniknąć przez wyżarzenie spojonej rurki przy temperaturze 420°C przez 1 godzinę;

d) skrócenie o kąt 420° rurki o długości 350 mm nie powoduje uszkodzenia spoiny (rys. 13);

e) spłaszczenie rurki o długości 100 mm w taki sposób, aby



Rys. 13. Rurka aluminiowa spojona na zimno i skrócona o 420° spoina znajdowała się w płaszczyźnie spłaszczonej rurki, również nie powoduje uszkodzenia spoiny;

f) przeginięcie spojonej rurki powoduje jej złamanie bez rozdawania się spoiny;

g) rozdawania się spoiny nie powoduje również roztłoczenie rurki za pomocą stożkowego trzpienia do jej pęknięcia.

Poza tym ustalono, iż rurki o średnicach 8/1 mm wytrzymują ciśnienie 125 at, a po wyżarzeniu 80 at, z czego wynika, że wytrzymałość na rozciąganie rurki otrzymanej przez spajanie walcowe na zimno równa się mniej więcej połowie wytrzymałości rurki bez szwu.

Narzędzia do spajania pierścieniowego. Narzędzie do spajania pierścieniowego przedstawia rys. 14. Zasady obliczania tego narzędzia są takie same, jak narzędzi do spajania płaskiego na zimno.

Narzędzia do spajania drutów. Jak wspomniano, druty (lub wąskie taśmy) można spajać na zimno na zakładkę lub przez spęczenie.

Narzędzie do spajania na zakładkę przedstawia schematycznie rys. 15, a jego parametry wymiarowe są następujące:

$D = 6$ do $8d$; $b = 1,8$ do $2d$; $g_s = 0,15$ do $0,2d$, przy czym zakładka musi wynosić ok. $4d$, gdzie d — średnica drutu.

Narzędzie do spajania czołowego na zimno przedstawione jest schematycznie na rys. 16. W narzędziu tym drut zostaje spęczony, przy czym warunkiem koniecznym do uzyskania spoiny jest odpowiedni przyrost powierzchni w spoinie, wyrażający się wzorem:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{D_0^2 - d^2}{d^2} 100\%,$$

gdzie D_0 — średnica w miejscu spęczenia, d — średnica drutu. Przyrost ten powinien wynosić, jak wynika z rys. 17, 200–240%.

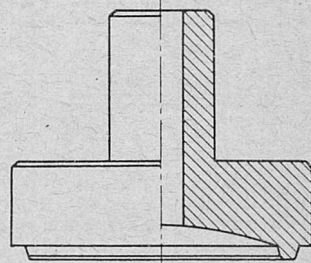
Spajać czołowo na zimno można również różne metale, na przykład miedź z aluminium. W takim przypadku drut o więk-

szej twardości musi mieć jednakże odpowiednio mniejszą średnicę, co wytłumaczono przy omawianiu otrzymywania spoin bimetalicznych drogą spajania na zimno na zakładkę.

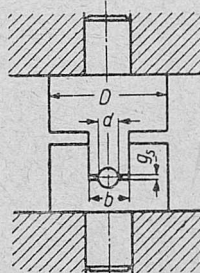
6. Zastosowanie spajania na zimno w elektrotechnice.

Łączenie szyn rozdzielczych. Jednym z najbardziej interesujących zastosowań spajania na zimno w elektrotechnice jest łączenie szyn rozdzielczych, opracowane w ZSRR i będące od 1950 r. również przedmiotem prac Instytutu Obróbki Plastycznej, który w 1953 r. opracował i przekazał zainteresowanym rysunki urządzeń i przyrządów.

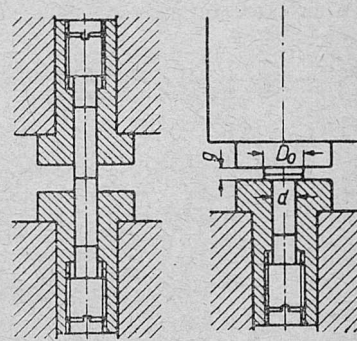
Według Adrianowa i Orłowskiego, którzy opracowali zagadnienie łączenia szyn aluminiowych drogą spajania na zimno, powierzchnię szyn w miejscu spajania oczyszcza się najpierw starannie szczotką stalową napędzaną silnikiem elektrycznym, a następnie jedna szynę kładzie się na drugą i umocowuje tak złożone szyny w dwudzielnym płaskim narzędziu. W obydwu połówkach tego narzędzia znajdują się otwory do tłoczników



Rys. 14. Narzędzie do spajania pierścieniowego na zimno



Rys. 15. Narzędzie do spajania na zimno drutu z zakładką



Rys. 16. Narzędzie do spajania na zimno drutu przez spęczenie

i wycięcia umożliwiające swobodne płynięcie materiału w miejscu spajania podczas nacisku; otwory te muszą dokładnie nakładać się, liczba zaś ich musi być odpowiednia do przekroju łączonych szyn. Po założeniu na szyny narzędzia do otworów jego wkłada się tłoczniiki, po czym tak zmontowaną całość umieszcza się w prasie, za pomocą której tłoczniiki wtłacza się ku sobie do szyn na określoną głębokość. Zamiast prasy można używać również

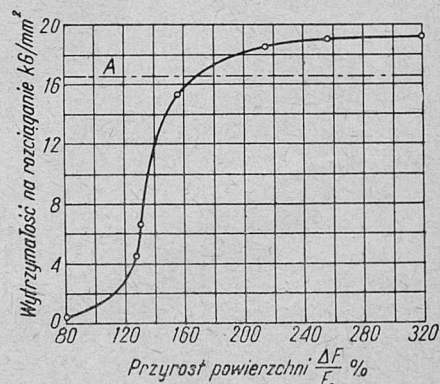
specjalnych kleszczy, wytwarzających nacisk do 5 t, nadających się do spajania na zimno szyn o małym przekroju.

Badania szyn spojonych na zimno wykazały, co następuje:

a) dla każdej grubości szyn i każdej średnicy tłoczniika istnieje optymalna głębokość jego wtłaczania, zapewniająca maksymalną wytrzymałość mechaniczną spoiny;

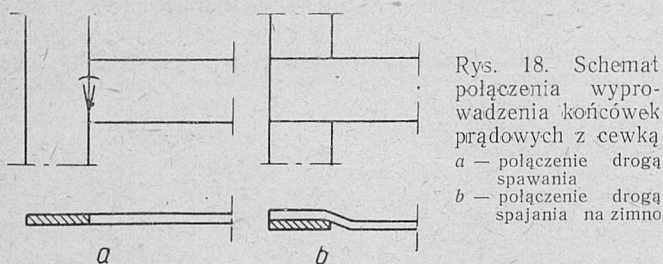
b) im mniejsza jest średnica tłoczniika, tym więcej musi być tłoczniików, np. w przypadku szyn o przekroju 40 mm × 4 mm trzeba mieć trzy tłoczniiki o średnicy 8 mm lub cztery tłoczniiki o średnicy 6 mm;

c) wytrzymałość na rozciąganie spojonych na zimno szyn równa się ok. 90% wytrzymałości szyn nie łączonych;



Rys. 17. Wpływ przyrostu powierzchni w spoinie przy spajaniu przez spęczenie na wytrzymałość spoiny na rozciąganie

d) przy odpowiedniej liczbie spoin oporność styku spojonej szyny jest mniejsza niż oporność szyny nie łączonej; oporność styku nie zmienia się przy tym z czasem, nawet w niekorzystnych warunkach atmosferycznych;



Rys. 18. Schemat połączenia wyprowadzenia końcówek prądowych z cewką
a — połączenie droga spawania
b — połączenie droga spajania na zimno

e) szyny spojne na zimno wykazują odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i cieplną na prądy zwarcia.

Wyniki tych badań wykazują więc, iż spajanie na zimno szyn aluminiowych jest niewątpliwie technologią przodującą, racjonalizującą roboty montażowe i dającą znaczne oszczędności śrub, podkładek i nakrętek, powinna też być jak najprędzej i najszerzej wprowadzana w praktyce.

Łączenie drutów i linek. Spajanie na zimno nadaje się także bardzo dobrze do łączenia drutów miedzianych i aluminiowych, jak również linek z tych drutów. Otrzymane spoiny odznaczają się mianowicie dużą wytrzymałością, mniejszą opornością elektryczną niż materiały nie łączone (dzięki większe-

a przede wszystkim do łączenia żył kabli i przewodów. Na przykład przewody instalacyjne z żyłami aluminiowymi (lub nawet z żyłami ze stopu Zn—Fe) można byłoby stosować bez obaw przy zwykłym osprzęcie instalacyjnym, do którego wprowadzano by kawałek drutu miedzianego spojenego na zimno z żyłą przewodu, unikając tym samym pełzania przewodu w zacisku.

Spajanie na zimno można poza tym stosować do łączenia przewodów z wszelkiego rodzaju końcówkami oraz do łączenia uzwojeń maszyn elektrycznych, dzięki czemu uzyskuje się znaczne uproszczenie techniki łączenia.

Spajanie na zimno w przemyśle maszyn elektrycznych. Jednym z przykładów zastosowania spajania na zimno w przemyśle maszyn elektrycznych jest połączenie wyprowadzenia prądowego końcówek z cewką zwinąć z taśmy aluminiowej, będące połączeniem dwu taśm aluminiowych pod kątem 90° (rys. 18). Połączenie to wykonywano dotąd drogą spawania acetylenem, które trwało co najmniej 3 min., jeżeli obsługa była wykwalifikowana.

Zgodnie z podstawową zasadą spajania na zimno powierzchnie łączonych taśm oczyszczano również w tym przypadku najpierw za pomocą wirującej części szczotki krążkowej, wykonanej z drucików stalowych o średnicy 0,3—0,8 mm. Średnica szczotki wynosiła 140 mm, liczba obrotów 2800 na minutę, a prędkość obwodowa 20,6 m/s. Gdy powierzchnie łączone były zatłuszczone, przed oczyszczaniem szczotką wytrawiano je dodatkowo w roztworze ługu sodowego, a następnie oczyszczano szczotką, uważając, żeby nacisk jej nie był za duży.

Oczyszczone w taki sposób końce taśm łączono za pomocą przyrządu przedstawionego na rys. 19. Przyrząd ten składa się z podstawy 1, przykręcaną do stołu roboczego i zawierającej oprawę dolnej części narzędzia 2 z wkładką wymienną 3, oraz z takiej samej oprawy górnej części narzędzia 4 z wkładką wymienną 5, umocowanej w uchwycie suwaka roboczego 6 prasy mimośrodowej. Wkładka górna pasuje (z pewnym bardzo małym luzem potrzebnym do wyjęcia) do wkładki dolnej, oprawy zaś są wykonane w taki sposób, aby łączone elementy znajdowały się w płaszczyźnie prostopadłej do działającej siły, dzięki czemu elementy te nie odkształcają się w czasie spajania, a wyjmowanie taśm po spojeniu nie jest uciążliwe.

Do prób nad spajaniem na zimno końcówek wyprowadzeń prądowych z cewką zastosowano narzędzia przedstawione na rys. 20, z których dwa ostatnie (rys. 20 b, c) różnią się od pierwszego narzędzia (rys. 20 a) możliwością wymiany płytek spajających, co ułatwia wykonanie narzędzia, zwiększa zakres stosowności tych samych wkładek wymiennych do spajania taśm różnej grubości oraz umożliwia dowolną zmianę liczby płytek spajających. Pierwsze i drugie narzędzie mają płytki spajające rozmieszczone pierścieniowo, a ostatnie w kształcie trójkąta. Pierwsze dwa narzędzia są łatwiejsze do wykonania, natomiast zalegą trzeciego narzędzia jest mniejsza skłonność do poszerzania się łączonych elementów.

Parametry wymiarowe pierwszego narzędzia przy szerokości taśmy większej niż pięciokrotna jej grubość są następujące:

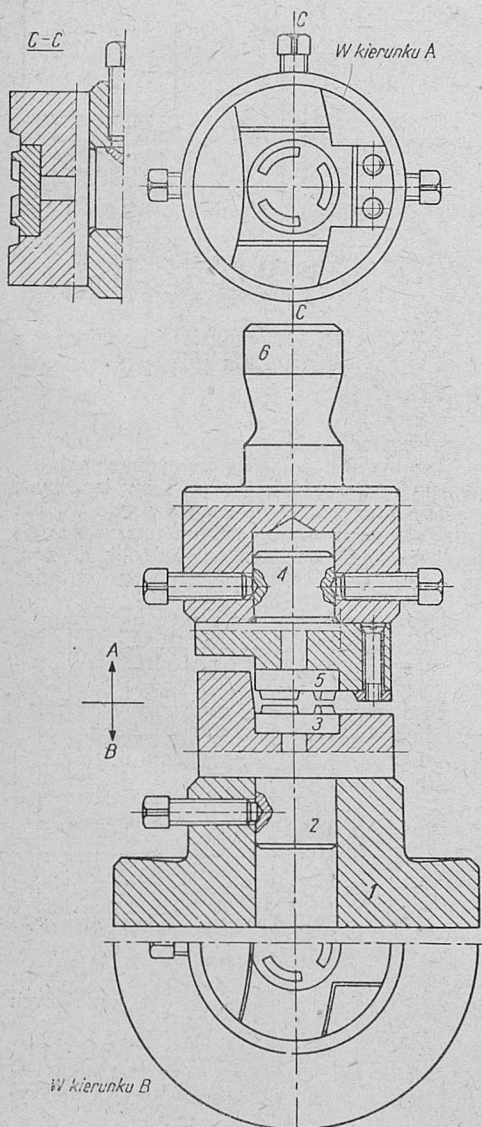
$$\begin{aligned} \text{powierzchnia robocza narzędzia (F_n)} &= kF_t, \\ \text{szerokość narzędzia (g_n)} &= g_t, \\ \text{wysokość narzędzia (h_n)} &= g_t - \frac{\alpha g_t}{100}, \\ \text{średnica zewnętrzna narzędzia (D_z)} &= b - (2 \text{ do } 3) \text{ mm}, \\ \text{średnica wewnętrzna narzędzia (D_w)} &= D_z - 2g_t, \\ \text{średnica podziałowa narzędzia (D_s)} &= \frac{D_z + D_w}{2}, \\ \text{kąt narzędzia (\beta)} &= \frac{k \cdot b \cdot g_t \cdot 360^\circ}{\pi \cdot D_s \cdot g_n \cdot i}, \end{aligned}$$

gdzie F_t — przekrój spajanej taśmy,
 k — współczynnik równy 1,5—1,8,
 g_t — grubość spajanej taśmy,
 b — szerokość spajanej taśmy,
 i — liczba płytek spajających,
 α — współczynnik zmniejszenia grubości taśmy, równy ok. 30%.

Parametry wymiarowe drugiego i trzeciego narzędzia były natomiast następujące:

$$\begin{aligned} \text{wysokość płytki spajającej (h_p)} &= h_n + 1,2 g_n, \\ \text{głębokość wpustu płytki spajającej (t)} &= 1,2 g_n, \\ \text{długość narzędzia w kształcie trójkąta (l)} &= \frac{F_n}{g_n \cdot i}, \\ \text{średnica wewnętrzna narzędzia w kształcie trójkąta (D_w)} &= 0,5 b, \\ \text{średnica otworu do wybijania płytek (d)} &= \leq g_n, \end{aligned}$$

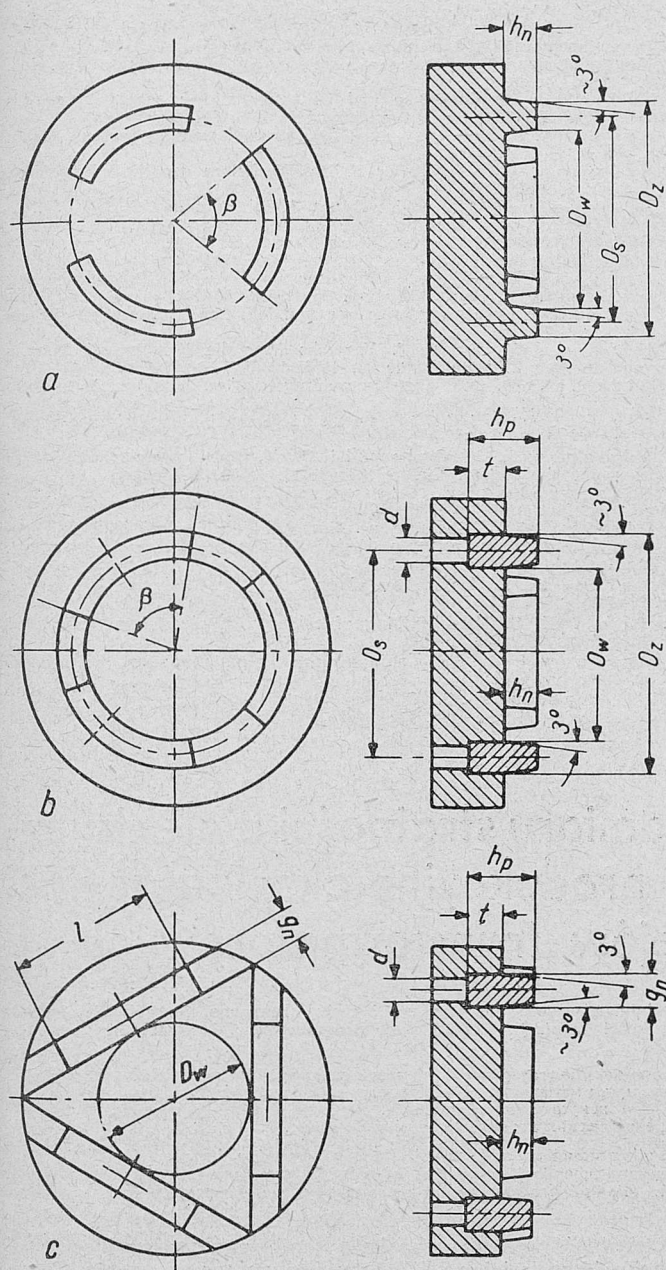
a pozostałe parametry, jak w przypadku pierwszego narzędzia



Rys. 19. Przyrząd do spajania na zimno wyprowadzenia końcówek z cewką
1 — podstawa przykręcana do stołu roboczego
2, 4 — dolne i górne części narzędzia
3, 5 — wkładki wymienne
6 — uchwyt suwaka roboczego prasy mimośrodowej

mu przekrojowi spoiny) oraz doskonałą odpornością na korozję w przypadku złącz bimetalicznych wobec idealnej jednolitości spoiny.

Spajanie na zimno może być dzięki temu zastosowane do łączenia przewodów energetycznych napowietrznych bez złączek,



Rys. 20. Narzędzia do spajania na zimno wyprowadzenia końcówek prądowych z cewką

a — narzędzie stałe z płytkami spajającymi ułożonymi pierścieniowo
b — narzędzie z płytkami spajającymi wymiennymi
c — narzędzie z płytkami spajającymi wymiennymi, ułożonymi w kształcie trójkąta

Nacisk potrzebny do uzyskania złącza drogą spajania na zimno uzyskiwano za pomocą prasy mimośrodowej, w której umieszczano przyrząd do spajania wraz z narzędziami. Nacisk ten powinien w przypadku aluminium równać się

$$Q \geq F_n \cdot K_c,$$

gdzie $K_c = 20$ do 30 kg/mm^2 , a F_n — powierzchnia robocza narzędzia (w mm^2). Tak duży nacisk wynika z konieczności prostowania, a nawet nieznacznego spłaszczenia złącza, wynoszącego ok. $0,05 \text{ g}_t$.

Skok suwaka prasy regulowano w taki sposób, aby w dolnym martwym punkcie jego posuwu pomiędzy wkładkami wymiennymi pozostawała szczelina o wielkości $0,02 \text{ g}_t$. Odległość tę ustalano drogą pomiaru grubości łączonych taśm w miejscu spoiny oraz przez podnoszenie albo opuszczanie stołu prasy lub stąporu.

Otrzymane złącza poddano badaniom własności mechanicznych, których wyniki przedstawia tabl. III. Z danych tych wynika, iż własności mechaniczne złącz spajanych na zimno nie tylko nie ustępują własnościom złącz spawanych, lecz nawet je przewyższają, jeżeli położenie wkładki wymiennej jest właściwe. Własności mechaniczne złącza są bowiem znacznie lepsze, gdy

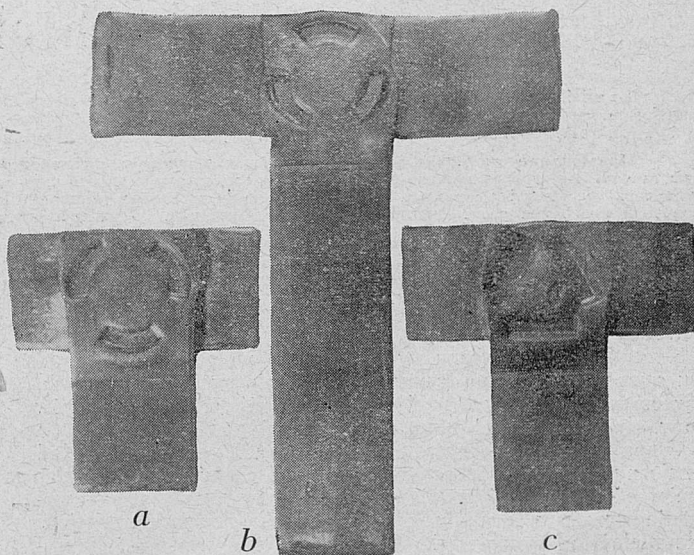
Tablica III. Własności mechaniczne połączeń wyprowadzenia końcówki prądowej z cewką

Rodzaj połączenia	Szkic połączenia	Sila zrywająca złącze (kg)	Liczba przecięć powtarzalnych
Spawane acetylenem		470	5 5
Spajane na zimno		320	6 4 6
Spajane na zimno		475	6 7 6

wkładka jest równoległa do osi taśmy po stronie czołowej końcówki (rys. 21 b), niż gdy wkładka jest równoległa do osi taśmy po stronie wyjścia końcówki (rys. 21 a).

Złącza poddano poza tym pomiarom oporności elektrycznej, które wykazały, iż oporność elektryczna spoiny jest taka sama, jak taśm przed spajaniem, co potwierdza właściwą jakość spoiny zarówno pod względem własności mechanicznych, jak elektrycznych.

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że spoiny otrzymane przez spajanie na zimno nie ustępują jakościowo spoinom otrzymanym przez spawanie acetylenem, spajanie zaś na zimno jest natomiast znacznie ekonomiczniejsze, gdyż



Rys. 21. Połączenie drogą spajania na zimno wyprowadzenia końcówek prądowych z cewką

czas spajania na zimno łącznie z czyszczeniem wynosi w omawianym przypadku zaledwie 15 sek., podczas gdy czas spawania 3 min. Spajanie na zimno nie wymaga poza tym wykwalifikowanej obsługi, a kontrola jakości spoiny jest bardzo prosta, ponieważ w przypadku nieprzestrzegania ustalonej technologii spoina w ogóle nie osiągnie się.

Kable w płaszczu aluminiowym. Kable w płaszczu aluminiowym produkuje się obecnie drogą prasowania na gorąco na prasach o dużym nacisku lub metodą firmy Johnson i Phillips, polegającą na wciąganiu izolowanego ośrodka kabla do aluminiowej rury bez szwu i przeciąganiu przez matrycę w celu uzyskania odpowiedniego przylegania płaszcza do ośrodka. Pierwsza metoda wymaga pras o dużym nacisku, zawodnych w działaniu wobec wysokiej temperatury prasowania aluminium, druga zaś — skomplikowanych urządzeń i hal o długości fabrykacyjnej kabla.

Aby uniknąć tych trudności, firma Pirelli-General Cable Works opracowała w 1950 r. metodę produkcji kabli w płaszczu aluminiowym drogą spajania na zimno taśm aluminiowych. Proces produkcji tą metodą polega na ukształtowaniu poziomych kołnierzy na taśmach, oczyszczeniu mechanicznym kołnierzy, wprowadzeniu kabla do korytka z taśmą, ukształtowaniu korytka w rurę i spoinieniu na zimno kołnierzy oraz usunięciu nadmiaru materiału z kołnierza. Produkcja tą metodą jest ciągła, gdyż poszczególne kręgi taśm można łączyć drogą spawania.

Metoda ta nie znalazła jednak rozpowszechnienia i wymienia firma stosuje ją jedynie do kabli w izolacji gumowej o małej średnicy, wprowadzając obecnie zamiast metody spajania na zimno metodę spawania taśm prądem dużej częstotliwości w atmosferze argonu. Przyczyny zarzucenia metody spajania na zimno, szeroko reklamowanej uprzednio przez tę firmę, są nieznane.

Inne zastosowania. Podane wyżej przykłady nie wyczerpują, oczywiście, zagadnienia stosowności spajania na zimno w przemyśle elektrotechnicznym. Na przykład, spajanie na zimno może znaleźć szerokie zastosowanie do osadzania styków w aparatach elektrycznych, jako gwarantujące bardzo małą oporność elektryczną w miejscu osadzenia styku.

Rozwój zastosowania spajania na zimno w naszym przemyśle elektrotechnicznym zależy jedynie od zainteresowania się tego przemysłu zagadnieniem, które obecnie jest znikome pomimo daleko posuniętych prac nad tym zagadnieniem w kraju.

LITERATURA

1. Developments in cold welding. Engineer 185, 1948, 432/3.
2. Cold welding. Metal Industry 72, 1948, 417/8.
3. Developments in cold welding. Pract. Eng. 18, 1948, 162/3.
4. Developments in cold welding. Machinery 72, 1948, 648/50.
5. Developments in cold welding. Mech. World 123, 1948, 559/61.

6. The cold welding of metals. Engineer 185, 1948, 541/2.
7. Further informations of cold welding. Mech. World 123, 1948, 741/5.
8. Developments in cold welding. Imperial Rev. 15, 1948, (10), 54.
9. New products and process: cold welding of metals. Times Rev. Ind. 2, 1948, (17), 26.
10. Cold welding of aluminium and its softer alloys: successful process evolved by GEC. Aircraft Production 10, 1948, 211/2.
11. Sowter A. B. Materials joined by new cold welding process. Mater. a. Meth. 11, 1948, 60/3.
12. Erdmann — Jesnitzer F. Das Verfahren der Kaltschweißung. Technik 3, 1948, 365.
13. Adhesion of metals by cold welding. Metal Industry 77, 1950, 241.
14. Gen. Electr. Comp. Cold pressure welding, 1950, 15 str.
15. GEC cold pressure welding. Electr. Manufact. 6, 1950, 45.
16. Cold welding technique. Alum. News, 1950, (2).
17. Hofmann W., Ruge J. Versuche über die Kalt-Pressschweißung von Metallen. Z. Feinwerktechnik 55, 1951, 307/8.
18. Ruge J. Die Kalt-Pressschweißung von Metallen. Dissertation, Braunschweig, 1952.
19. Hofmann W., Ruge J. Versuche über die Kalt-Pressschweißung von Metallen. Z. Metallkunde 43, 1952, 133/7.
20. Sickels E. D. Cold pressure welding of wire. Wire and Wire Prod. 27, 1952, 1298/9.
21. Niewiadomski C., Olszewski M. Spajanie na zimno. Przegl. Techn. 73, 1952, 387/91.
22. Adrianow L. I., Orłowski G. M. Sojedinienie aluminijewych szyn pod dawleniem. Elektr. Stancji 23, 1953, (2), 26/9.
23. Niewiadomski C., Olszewski M. Spajanie na zimno. Prace Inst. Mechaniki 1953, (8), 6/10.
24. Olszewski M. Spajanie na zimno drutów i wąskich taśm. Biuletyn Informacyjny Instytutu Obróbki Plastycznej (Dodatek do Przegl. Mechan.) 1, 1953, lipiec, nr 3.
25. Barnes W. A. Application of cold welding. Wire and Wire Prod. 28, 1953, 671/4, 719/22.
26. Wyatt K. C. The sheathing of cables with aluminium. Wire and Wire Prod. 28, 1953, 1062/8.
27. Baranow I. B. Chłodnaja swarka aluminja. Wiestn. Maszynostr. 33, 1953, (9), 86/9.
28. Niewiadomski C., Olszewski M. Spajanie na zimno metali nieżelaznych. Prace Inst. Mechaniki (w druku).

MGR INŻ. ZBIGNIEW SICIŃSKI
INŻ. RYSZARD BILL

Instytut Elektrotechniki
Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego

Zastosowanie pomiaru stratności dielektrycznej w praktyce produkcyjno-eksploatacyjnej mineralnych olejów transformatorowych

[621.3.017.143:621.315.615.2]

Treść. Zależność stratności dielektrycznej od budowy i stanu materiału. Stratność dielektryczna i cechy chemiczne mineralnych olejów transformatorowych w stanie dostawy i po sztucznym starzeniu. Wpływ głębokości rafinacji. Orientacyjny program prac Instytutu Elektrotechniki w zakresie pomiarów stratności dielektrycznej olejów izolacyjnych.

Применение измерения диэлектрических потерь в производственно-эксплуатационной практике трансформаторных минеральных масел. Зависимость коэффициента диэлектрических потерь от строения и состояния материала. Коэффициент диэлектрических потерь и химические свойства трансформаторных минеральных масел в свежем состоянии и после искусственного старения. Влияние степени рафинации. Ориентировочная программа работ Электротехнического Института по измерениям диэлектрических потерь изоляционных масел.

Dielectric loss factor measurement as applied to mineral transformer oil production and exploitation. Correlation between the dielectric loss factor and the structure and condition of the oil. Dielectric loss factor and chemical properties of mineral transformer oils at the time of supply and after artificial ageing. Influence of the degree of refinement. Rough programme of research by the Electrotechnical Institute over dielectric loss factor measurement of insulating oils.

1. Wstęp.

Stratność dielektryczna $\tan \delta$ każdego materiału zależy od dwu zasadniczych grup czynników: chemicznych i fizycznych, przy czym wartość $\tan \delta$ uzależniona jest również od czynników grupy okolicznościowej ujmującej warunki pomiaru.

Grupa pierwsza — czynników chemicznych — obejmuje skład chemiczny, strukturę cząsteczkową oraz chemiczny charakter domieszek. W drugiej grupie — parametrów fizycznych — występują przede wszystkim struktura makroskopowa materiału oraz rozłożenie w materiale domieszek. Takie własności fizyczne, jak lepkość, charakterystyczne temperatury — topliwości, krzepnięcia i zapłonu, ciężar właściwy lub objętościowy w przypadku materiału o niejednorodnej budowie, wilgotność względnie higroskopijność i inne, wynikają logicznie z cech grupy chemicznej oraz z dwu pierwszych własności fizycznych, bądź też są uwarunkowane lub nawet wymuszone przez trzecią grupę czynników okolicznościowych.

Wpływ czynników grupy chemicznej na wartości $\tan \delta$ wynika jednoznacznie z zależności, które wiążą masę z ładunkiem elektrycznym oraz energią na tle budowy atomu względnie cząsteczek. Wpływ ten jest niewątpliwie i dla danego materiału stały.

Zależność wartości $\tan \delta$ od czynników fizycznych makrostruktury i rozłożenia w przestrzeni materiału domieszek jest również dla danego odrębnego materiału zależnością stałą.

Trzecia grupa czynników okolicznościowych — aczkolwiek pozornie nie związana z materiałem, ponieważ jest ustalana przez warunki zewnętrzne poza materiałem — ma ścisły związek z grupą pierwszą i drugą i nieraz pośrednio z nich wynika. Do grupy tej należą: temperatura i wilgotność oraz częstotliwość i napięcie pomiarowe.

Stratność dielektryczna $\tan \delta$ może zatem charakteryzować odrębność materiałową [7] przy ścisłym sprecyzowaniu warunków pomiaru.

Dwa z nich natury elektrycznej powinny zasadniczo wynikać z przeznaczenia materiału i są w pewnym na ogół wąskim zakresie ustalone z chwilą wybrania odpowiedniej metody i aparatury pomiarowej; taka przynajmniej jest pierwsza sugestia natury praktycznej, np. oleje transformatorowe powinny być badane przy 50 Hz, a więc będą badane np. na mostku Scheringa dla 50 Hz, natomiast oleje do kondensatorów dla pieców indukcyjnych powinny być kontrolowane przy częstotliwościach setki razy większych, wreszcie oleje do kabli wysokich napięć powinny być badane przy 50 Hz i wysokich napięciach dielektrycznych, a więc na mostku Scheringa wysokonapięciowym dla częstotliwości 50 Hz. Jednak sugestie takie nie zawsze są słuszne.

Niżej w rozdz. 4 widać wyraźne i celowe odstępstwo od tej zasady: oleje transformatorowe przeznaczone do pracy przy częstotliwości 50 Hz były badane przy 400 Hz, gdyż uzyskano w ten sposób możliwość znacznie głębszej analizy zmian jakości oleju.

Dwa pozostałe czynniki okolicznościowe — temperatura i wilgotność — wymagają odpowiedniego przygotowania próbki przed pomiarem oraz utrzymania ich stałości w czasie pomiaru. Temperatura pomiaru może w pewnych warunkach wprowadzić zamęt i spowodować nieprzewidziane błędy. Typowym przykładem może być wpływ temperatury pomiaru na wartość $\tan \delta$ olejów izolacyjnych mineralnych, w których jako w materiałach „żywych” — powoli, ale stale przeobrażających się — zachodzą już w czasie podgrzewania do temperatury pomiaru

zmiany chemiczne. Wykonanie więc pomiaru $\operatorname{tg} \delta$ tych samych olejów w analogicznych warunkach pomiarowych, ale na próbkach o wyraźnie różnych objętościach, wynikających z konstrukcji i wymiarów kondensatora pomiarowego, wymagających więc silnie zróżnicowanych czasów podgrzewania, może dać w wyniku wartości $\operatorname{tg} \delta$ zupełnie różne.

$\operatorname{tg} \delta_1$	$\operatorname{tg} \delta_2$
c % składnika C	e % składnika U
b % składnika B	
a % składnika A	d % składnika A

Rys. 1. Otrzymywanie równych wartości $\operatorname{tg} \delta$ przez sumowanie różnych zawartości rozmaitych czynników

Nasuwa się jeszcze jedno zasadnicze zastrzeżenie: czy $\operatorname{tg} \delta$ może charakteryzować odrębność materiałową, jeśli tę samą wartość $\operatorname{tg} \delta$ można osiągnąć różnymi drogami (rys. 1). Zastrzeżenie to odpada jednak, jeśli do identyfikacji tej odrębności stosuje się nie punktowe wartości $\operatorname{tg} \delta$, lecz zależności $\operatorname{tg} \delta = f(t)$ lub $\operatorname{tg} \delta = f(f)$, gdzie t oznacza temperaturę badanej próbki, f — częstotliwość pomiarową.

Z powyższego omówienia wynika możliwość wyzyskania wartości $\operatorname{tg} \delta$ względnie zależności $\operatorname{tg} \delta = f(t, f)$ do określenia odrębności materiałowej i jej oceny jakościowej dla potrzeb zarówno odbioru technicznego, jak i kontroli produkcji oraz eksploatacji [3,20].

Prace na tym odcinku podjął Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu. Prace te — już wyraźnie i świadomie zorganizowane — poprzedziły fragmenty prac tematowo różnych, wykorzystujące omówione zalety pomiarów $\operatorname{tg} \delta$ [22]. Pomiary $\operatorname{tg} \delta$ w IELu od paru lat podstawą poważnych nieraz ekspertyz i orzeczeń, w pewnych zaś dziedzinach np. kondensatorów papierowo-olejowych czy kabli wysokiego napięcia, są one zasadniczymi punktami technicznego odbioru, określając bądź dopuszczalne przyrosty temperatury kondensatorów, bądź ograniczając wartości napięcia roboczego kabli wysokonapięciowych przez określenie progu jonizacji wtrącin powietrza dopuszczalnym przyrostem $\operatorname{tg} \delta$ [25].

Tematem zasadniczej pracy IELu w dziedzinie $\operatorname{tg} \delta$ syciw woskowo-olejowych jest zastąpienie w praktyce elektrotechnicznej mało czułych, niedokładnych, żmudnych i o wynikach silnie zależnych od wyszkolenia i sumienności pracownika laboratoryjnego oznaczeń chemicznych — głównie pH, liczby kwasowej i liczby smolowej oraz zesmalania — bardzo czułymi i dokładniejszymi, a równocześnie względnie szybkimi i mniej zależnymi od wykonawcy pomiarami $\operatorname{tg} \delta$.

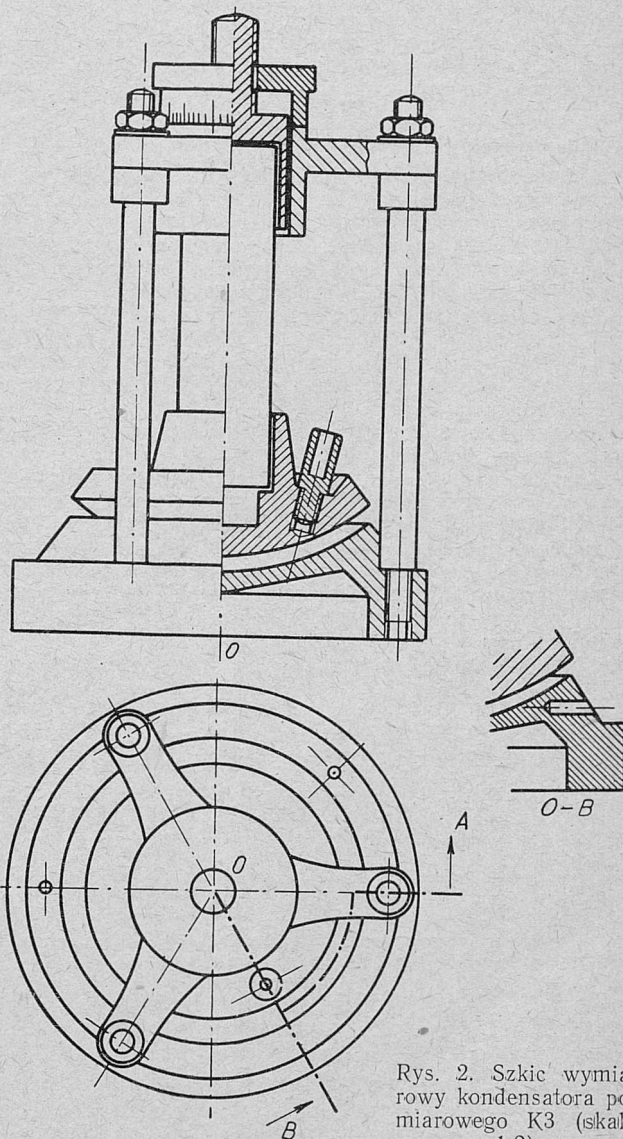
Pełny zakres tej pracy obejmuje stwierdzenie, przez metodyczne zbadanie wielu świadomie zorganizowanych przypadków, zakresu powtarzalności zauważonych zjawisk, a tym samym ustalenie obszaru, w którym dadzą się one stosować jako ścisła metoda pomiarowa [4,13].

2. Cel pracy.

Cel bezpośredni pracy objętej niniejszym sprawozdaniem wynikał jednoznacznie z postawionego przez zleceniodawcę zadania: ustalić wpływ głębokości rafinacji (kwasem siarkowym) oleju transformatorowego na wartość $\operatorname{tg} \delta$. Fragmentarycznie miano przy tym stwierdzić wpływ sposobu suszenia oleju po

przemycaniu oraz wpływ sposobu wykończenia próbek na wartość współczynnika stratności dielektrycznej.

Z rozwiązaniem postawionego zadania wiąże się oczywiście, ściśle ustalenie celowości prowadzenia w przemyśle naftowym



Rys. 2. Szkic wymiarowy kondensatora pomiarowego K3 (skala 1:2)

głębokiej rafinacji, która niewątpliwie podwyższa cenę i utrudnia produkcję oleju transformatorowego.

Celem pośrednim było porównanie przydatności pomiarów $\operatorname{tg} \delta$ ze stosowanymi dotychczas oznaczeniami chemicznymi do określania jakości oleju izolacyjnego [14, 15, 16, 17, 18] względnie zmian eksploatacyjnych tej jakości [1, 2, 5, 8, 12, 19].

Tablica I. Wartości cech oleju wg oznaczeń wykonanych w laboratorium rafinerii (z wyjątkiem pH)

Cecha	Olej transformatorowy rafinowany w ruchu wykończony w laboratorium					Olej transformatorowy rafinowany 15% H_2SO_4 , wykończony w ruchu
	~ 3,5% H_2SO_4	~ 7% H_2SO_4	~ 7% H_2SO_4 (suszony bez użycia powietrza)	~ 10,5% H_2SO_4	~ 15% H_2SO_4	
Ciepota właściwa przy 15°C (g/cm ³)	0,901	0,897	0,897	0,896	0,894	0,897
Temperatura zapłonu (°C)	151°C	151°C	151°C	151°C	151°C	152°C
Temperatura krzepnięcia (°C)	-51°C	-51°C	-51°C	-51°C	-50°C	-50°C
Lepkość przy 20°C (°E)	4,12	4,05	4,04	4,06	4,04	4,30
Liczba kwasowa (mgKOH/g)	0,025	0,023	0,02	0,02	0,02	0,02
Liczba zmydlenia (mgKOH/g)	0,075	0,069	0,063	0,06	0,06	0,06
Liczba smolowa (%)	0,0825	0,0432	0,048	0,0335	0,021	0,027
Liczba zesmalania (%)	0,175	0,0995	0,112	0,088	0,052	0,063
Zawartość popiołu (%)	ślady	ślady	ślady	ślady	ślady	ślady
Odczyn wyciągu wodnego	obojętny	obojętny	obojętny	obojętny	obojętny	obojętny
pH wyciągu wodnego	6,8	6,6	6,8	7,0	6,4	6,9

3. Próbkki.

Dostarczone przez przemysł naftowy próbki mineralnych olejów transformatorowych pochodzenia krajowego różniły się między sobą zasadniczo głębokością rafinacji: 3,5–7,5–10,5–15% H_2SO_4 . Próbkki były na ogół wykończone laboratoryjnie, jedna tylko próbka o głębokości rafinacji 15% H_2SO_4 była wykończona w ruchu. Próbkki były suszone z dostępem powietrza, jedna natomiast próbka była odwodniona solą bez dostępu powietrza. Niżej zastosowano oznaczenia: 3,5–7,5–7,5 b.d.p. – 10,5–15–15 w r.

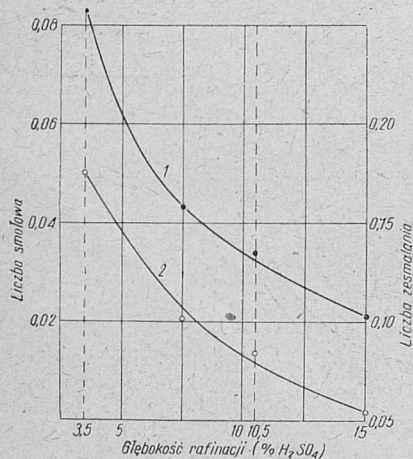
4. Badanie olejów nowych.

Badanie to było oparte na wykorzystaniu próbek w stanie dostawy bez wstępnej obróbki, przy czym obejmowało ono oznaczenia chemiczne: pH wyciągu wodnego, liczbę kwasową, liczbę smołową i liczbę zesmalania jako zasadnicze własności oraz ciężar właściwy, temperaturę krzepnięcia, temperaturę zapłonu i zawartość popiołu jako własności uzupełniające.

Poza oznaczeniami chemicznymi wykonano pomiary stratności dielektrycznej $tg \delta$ przy 50 Hz w formie zależności $tg \delta = f(t)$. Pomiar ten wykonano w układzie transformatora różnicowego przy użyciu kondensatora pomiarowego wg własnego opracowania (rys. 2) [6, 9, 11, 13, 21].

Wykonano również pomiary kontrolne $tg \delta$ przy częstotliwości akustycznej 400 Hz i temperaturach 30 i 70°C.

Oznaczenia chemiczne. Oznaczenia chemicznych cech nowych olejów nie dały dostatecznych danych do oceny głębokości rafinacji badanych olejów transformatorowych. Wartości podane w tabl. I różnią się między sobą dla różnych głębokości rafinacji nieznacznie, względnie są tak małe, że stwierdzone różnice ich wartości przekraczają znacznie uchyby pomiaru, a więc również nie mogą być wskaźnikami wpływu głębokości rafinacji na jakość oleju izolacyjnego.



Rys. 3. Zależność liczby smołowej oraz liczby zesmalania nowego oleju transformatorowego od głębokości rafinacji

1 — liczba smołowa
2 — liczba zesmalania

Jedynym wyjątkiem jest liczba smołowa, której wartości są wyraźnie zależne od głębokości rafinacji. Zależność liczby smołowej od ilości kwasu siarkowego użytego do rafinacji przedstawia rys. 3. Dla charakterystyki oleju zależność ta jest szczególnie ważna, ponieważ zgodnie z ustalonymi poglądami [1, 4, 10, 16, 18, 19] wartość liczby zesmalania, tzn. liczby smołowej oleju sztucznie utlenionego, pozwala na wnioskowanie o odporności oleju na starzenie pod kątem widzenia zdolności wydzielania się szlamu, a więc pogarszającego się chłodzenia transformatora.

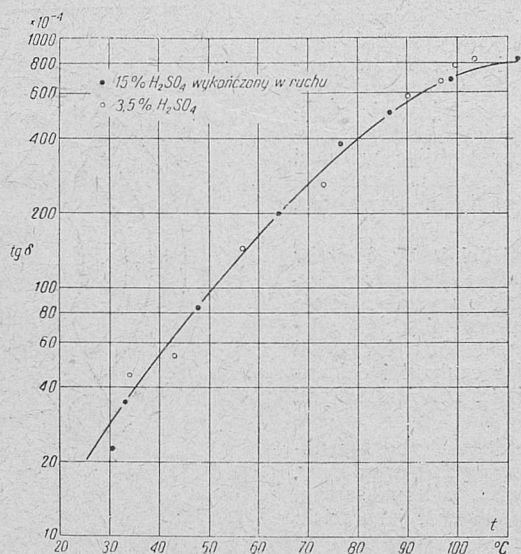
Z wykresu 1 na rys. 3 wniosek jest jasny: głębsza rafinacja daje lepszy produkt wyjściowy, jakim jest nowy olej transformatorowy. Wykres 2 podaje zależność liczby zesmalania [5] od głębokości rafinacji. Wg tego wykresu olej rafinowany na 3,5% H_2SO_4 nie odpowiada wymaganiom normy na oleje [14]; olej na 7,5% H_2SO_4 oraz olej na 7,5% H_2SO_4 suszony bez dostępu powietrza znajduje się na granicy wymagań powyższej normy, jedynie oleje o rafinacji głębszej niż 7,5% normie odpowiadają.

Wnioski powyższe dotyczą olejów nowych: wpływ głębokości rafinacji na szybkość starzenia się oleju musi być zbadany i rozpatrzony oddzielnie.

Pomiary stratności dielektrycznej. Oleje transformatorowe pracują przy częstotliwości 50 Hz, przy tej zatem częstotliwości zdecydowano się wykonać wstępne pomiary $tg \delta$. Dla dobrego scharakteryzowania olejów zmierzono nie wartości punktowe $tg \delta$, lecz zdjęto charakterystyki $tg \delta = f(t)$. Pomiary objęły dwa skrajne przypadki olejów o bardzo różnej głębokości rafinacji: 3,5% H_2SO_4 i 15% H_2SO_4 wykończony w ruchu. Znaną zależność $tg \delta = f(t)$ podaje wykres na rys. 4 z którego widoczna jest bezcelowość w danym przypadku pomiarów $tg \delta$ przy 50 Hz: charakterystyki obu olejów zły się w jedną krzywą.

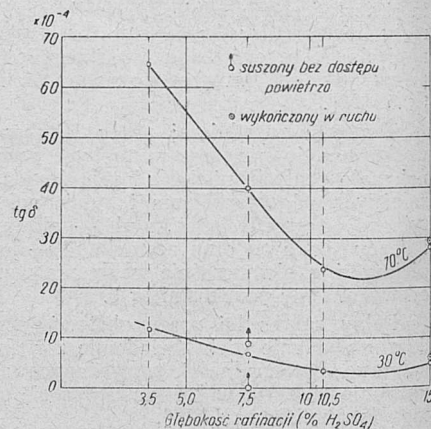
W związku z tym oraz na podstawie posiadanego już doświadczenia [23] wykonano serię pomiarów, w których zdjęto analogiczne zależności $tg \delta = f(t)$ dla częstotliwości 100, 400 i 1000 Hz. Z krzywych tych sporządzono następnie wykres zależności wtórnej $tg \delta$ od głębokości rafinacji, tj. od procentowej ilości H_2SO_4 (rys. 5). Wykres ten wykonano dla częstotliwości 400 Hz i temperatur 30 i 70°C. Wybór częstotliwości 400 Hz, a nie najczęściej przy określaniu $tg \delta$ podawanych w literaturze częstotliwości 800 lub 1000 Hz tłumaczy się większymi wartościami $tg \delta$ przy 400 Hz, a więc na ogół większą dokładnością pomiaru gwarantowaną zazwyczaj przez podanie uchybu względnego w procentach wartości mierzonej $tg \delta_x$ z zastrzeżeniem jednak nie mniej niż jakieś $\pm tg \delta_1$. Przykład: mostek firmy Tesla, którym wykonywano pomiary, ma zagwarantowaną przez firmę dokładność $\pm 5\%$ $tg \delta_x$, jednak nie mniej niż $\pm 5 \cdot 10^{-4}$.

Dla oleju o głębokości rafinacji 15% H_2SO_4 otrzymano dla temperatury 70°C wartości:



Rys. 4. Zależność $tg \delta = f(t)$ dla nowych olejów transformatorowych o różnej głębokości rafinacji: 3,5 i 15% H_2SO_4

Pomiar przy częstotliwości 50 Hz



Rys. 5. Zależność $tg \delta$ nowych olejów transformatorowych od głębokości rafinacji (% H_2SO_4); pomiar przy częstotliwości 400 Hz i temperaturach 30 i 70°C

przy 1000 Hz $tg \delta_x = 13,4 \cdot 10^{-4}$ przy 400 Hz $tg \delta_x = 27,7 \cdot 10^{-4}$, a więc uchyby $\pm 5\%$ $tg \delta_x$ wynoszą:

dla 1000 Hz $\pm 0,7 \cdot 10^{-4}$, dla 400 Hz $\pm 1,4 \cdot 10^{-4}$.

W obu przypadkach są one niższe od uchybu $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ gwarantowanego przez firmę, skąd właściwe uchyby znamionowe:

$$\text{dla } 1000 \text{ Hz } \frac{\pm 5}{13,4} \cdot 100 = \pm 37\%, \text{ dla } 400 \text{ Hz } \frac{\pm 5}{27,7} \cdot 100 = \pm 18\%.$$

Uzyskana dokładność pomiaru jest przy częstotliwości 400 Hz dwukrotnie większa. Analogicznie powodem wybrania jako temperatury pomiaru temperatury 70°C była również chęć uzyskania wyższych wartości $tg \delta$, przy czym temperatura ta jest równocześnie bliska temperatury roboczej oleju transformatorowego, a równocześnie jest jeszcze na tyle niska, że nie powoduje istotnych zmian chemicznych oleju w czasie jego podgrzewania.

Wnioski z tego wykresu [5, 8] pokrywają się całkowicie z analizą wartości liczby zesmalania według rys. 3: optimum głębokości rafinacji dostarczonych próbek mineralnego oleju transformatorowego leży powyżej wartości 7,5% H_2SO_4 .

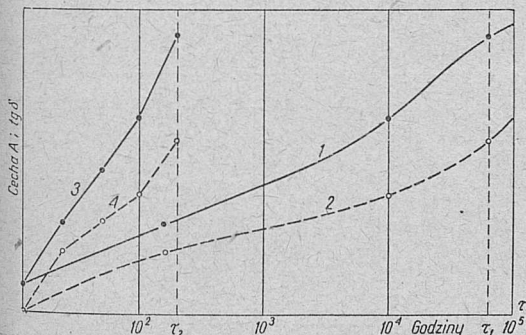
Najniższe wartości $\text{tg } \delta$ olejów nowych otrzymano przy badaniu próbki „7,5% H_2SO_4 , suszony bez dostępu powietrza”. Przy 70 i 300°C dla wszystkich trzech częstotliwości otrzymano wartości $0,1 \cdot 10^{-4} \pm 5 \cdot 10^{-4}$ dla 400 Hz i 300°C do $38 \cdot 10^{-4}$ dla 100 Hz i 700°C przeciętnie 5-krotnie niższe od wartości uzyskanej dla oleju „7,5% H_2SO_4 ” suszonego normalnie, tzn. przy użyciu powietrza.

Podsumowanie wniosków. Wnioski można wyprowadzić na razie tylko w stosunku do olejów nowych.

Wniosek pierwszy potwierdza ogólnie znaną zasadę, że oleje transformatorowe powinny być głęboko rafinowane [8, 14]. Ogranicza on głębokość rafinacji od dołu: „nie mniej niż 10% H_2SO_4 ”. Ograniczenie odgórne głębokości rafinacji wymaga dodatkowych badań, które będą przez IEL wykonane po dostarczeniu przez przemysł naftowy odpowiednich próbek.

Wniosek drugi dotyczy określania głębokości rafinacji olejów transformatorowych parametrami, mającymi bezpośrednie znaczenie dla użytkownika, którym jest producent transformatorów olejowych lub energetyk — producent energii elektrycznej, lub wreszcie użytkownik tej energii. Dwie wielkości okazały się przy tym najskuteczniejszymi wskaźnikami: 1) chemiczna — liczba smołowa lub raczej liczba zesmalania i 2) elektryczna — stratność dielektryczna $\text{tg } \delta$. Na korzyść pierwszej z nich — liczby zesmalania — przemawia urobiona zarówno u techników naftarzy, jak i elektryków opinia o jej znaczeniu. Wadą jej natomiast jest długi czas przygotowania i pomiaru oraz silna zależność wyniku od umiejętności i sumienności wykonawcy. Zaletami natomiast $\text{tg } \delta$, jako wskaźnika głębokości rafinacji oleju transformatorowego, są: całkowita zgodność z charakterystyką, którą podają liczby zesmalania mające dużą tradycję [16], krótszy czas pomiaru, większa czułość oraz łatwość pomiaru i mniejsza zależność wyników od wykonawcy pomiaru. Można więc zalecić stosowanie do oceny głębokości rafinacji mineralnych olejów transformatorowych pomiary $\text{tg } \delta$ zamiast dotychczas stosowanych oznaczeń liczby zesmalania.

Wniosek trzeci ujmuje warunki pomiaru $\text{tg } \delta$: wskazuje na celowość wykonywania go przy częstotliwości akustycznej 400 Hz i temperaturze 70°C.



Rys. 6. Zależność własności oleju od czasu starzenia naturalnego i sztucznego

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 — $\text{tg } \delta = f(\tau)$ | } starzenie naturalne |
| 2 — $A = f(\tau)$ | |
| 3 — $\text{tg } \delta = f(\tau)$ | } starzenie sztuczne |
| 4 — $A = f(\tau)$ | |

5. Badanie olejów sztucznie zestarzonych.

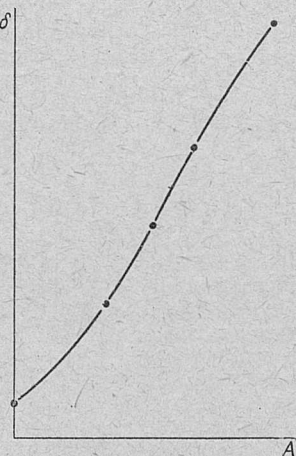
Ocena jakości olejów transformatorowych o różnych głębokościach rafinacji tylko na podstawie zbadania olejów nowych — w stanie dostawy — byłaby oceną zbyt płytką, jako opierającą się jedynie na warunkach technicznego odbioru. Dla eksploatacji oleju najważniejsze są zmiany, które zachodzą w nim w czasie naturalnego starzenia się. Czynniki, od których zależy nasilenie zmian własności starzejącego się oleju, są następujące: tlen, temperatura, pole elektryczne, katalizatory jak żelazo i miedź, obecność naturalnych lub sztucznych inhibitorów, wreszcie długość czasu pracy [8, 16, 19].

W procesie starzenia naturalnego zmiany zachodzą wolno, dla oceny więc wpływu głębokości rafinacji oleju na szybkość starzenia względnie na cechy olejów mniej lub silniej zestarzonych trzeba było uciec się do starzenia sztucznego, przyspieszonego. Ten sposób daje duże zmiany własności oleju, już w stosunkowo krótkich okresach czasu. Niestety, nie odtwarza on procesu starzenia naturalnego, dając jedynie wartości względne dla celów porównawczych. Pewne usługi porównawcze w kie-

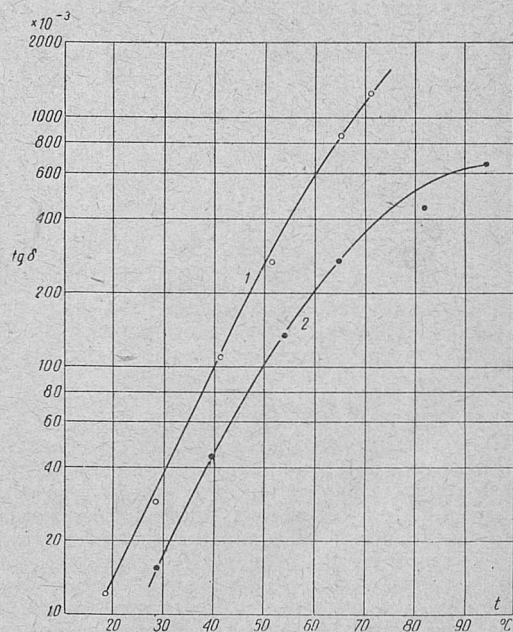
runku starzenia naturalnego na podstawie starzenia sztucznego mogą natomiast dać wykresy wtórne zależności własności dielektrycznych od cech chemicznych.

Możliwości tych porównań są przedstawione na rys. 6 i 7. Pierwszy z nich podaje (krzywe 1 i 2) zmiany wartości $\text{tg } \delta$ oraz dowolnej wielkości chemicznej A , mogącej charakteryzować proces starzenia, w funkcji czasu naturalnego starzenia oleju (od 0 do τ_1). Krzywe 3 i 4 na tymże rysunku podają zmiany tych samych wielkości w wielokrotnie krótszym czasie τ_2 , tzn. przy przyspieszonym sztucznie procesie starzenia. Krzywa na rys. 7 jest przeróbką wykresów z rys. 6 na formę $\text{tg } \delta = f(A)$ całkowicie niezależną od skali czasu. Należy przypuszczać, że jeżeli $\text{tg } \delta_1 = \text{tg } \delta_2$ oraz $A_1 = A_2$ i jeżeli krzywa $\text{tg } \delta = f(A)$ będzie jednakowa dla obu zakresów $0 \dots \tau_1$ i $0 \dots \tau_2$, to znając chociażby po jednym punkcie z krzywych 1 i 2 oraz krzywe 3 i 4 z rys. 6 i krzywą z rys. 7 można będzie czysto rachunkowo wyznaczyć pełne krzywe 1 i 2, a tym samym określić trwałość czasową τ_1 przy normalnej eksploatacji transformatora, ograniczonej dopuszczalnymi wartościami $\text{tg } \delta_1$ i A_1 . Słuszność tego przypuszczenia wymaga jednak kilkuletniej obserwacji starzenia naturalnego paru typowych przypadków użytkowania oleju transformatorowego i porównania tych procesów z odpowiednio dobranymi procesami starzenia sztucznego. Prace tego rodzaju zostały zapoczątkowane przez IEL we Wrocławiu.

Warunki sztucznego starzenia. Warunki sztucznego starzenia obrano z jednej strony tak, żeby uzyskać do-



Rys. 7. Zmiany własności chemicznej i $\text{tg } \delta$ oleju w czasie starzenia (wykres odrzucający zależność czasową)



Rys. 8. Zależność $\text{tg } \delta = f(t)$ dla sztucznie olejów transformatorowych o różnej głębokości rafinacji.

Pomiar przy częstotliwości 50 Hz, po 211 godzinach starzenia dyfuzyjnego przy 120°C w obecności katalizatorów Fe i Cu.

- 1 — 3,5% H_2SO_4
2 — 15% H_2SO_4

statecznie duże zmiany własności oleju w stosunkowo krótkim czasie, z drugiej zaś tak, żeby one nie utrudniały zbytnio wykonania postawionego IElowi zadania. Warunki starzenia były następujące: temperatura 120°C, starzenie dyfuzyjne przy powierzchni zetknięcia się oleju z powietrzem ok. 30 cm^2 i objętości próbki ok. 100 ml. Jako katalizatory zastosowano miedź w formie drutu o powierzchni 30 cm^2 i blachę transformatorową o tej samej powierzchni. Czas starzenia ok. 200 godzin. W termostacie poddano równocześnie starzeniu taką ilość próbek, by możliwe było pobieranie ich bezzwrotnie. Próbkę były pobierane do badania po 68, 116 i 211 godzinach starzenia.

Jako wskaźniki skutków starzenia przyjęto z cech chemicznych pH wyciągu wodnego, liczbę kwasową i liczbę smołową, z cech dielektrycznych wartości $\text{tg } \delta$. Pomiary $\text{tg } \delta$ wykonywano przy częstotliwościach 100, 400 i 1000 Hz oraz temperaturze 70°C. Wykresy $\text{tg } \delta$ sporządzono dla częstotliwości 400 Hz i tej samej temperatury 70°C.

Badania dielektryczne. Pomiary $\text{tg } \delta$ przy 50 Hz ujęte zostały na rys. 8. W przeciwieństwie do rys. 4, sporządo-

nego dla olejów nowych, na rys. 8 dla olejów sztucznie zestarzonych zaznaczyła się wyraźna różnica wartości $\text{tg } \delta$ w zależności od głębokości rafinacji oleju. Olej słabo rafinowany 3,5% H_2SO_4 zestarzył się znacznie silniej, osiągając dla 70°C war-

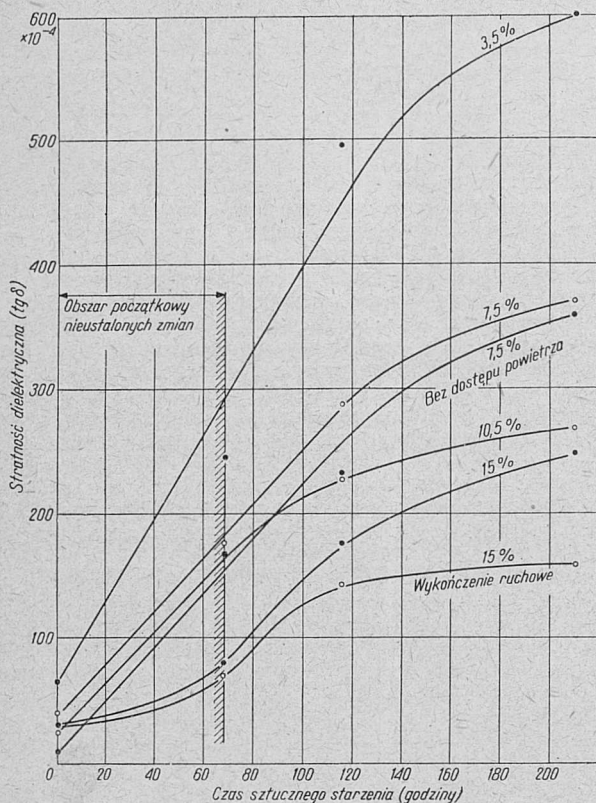
przy olejach zestarzonych nieistotny. Różnice wartości $\text{tg } \delta$ dla olejów „7,5% H_2SO_4 ” i „7,5% H_2SO_4 suszonego bez dostępu powietrza” po 200 godzinach starzenia nie przekraczają 5%.

Natomiast wyraźne różnice wystąpiły przy porównywaniu olejów „15% H_2SO_4 ” wykonanych laboratoryjnie i w ruchu. Ten ostatni okazał się znacznie lepszy: $\text{tg } \delta$ oleju wykonanego w ruchu po 200 godzinach starzenia wzrósł tylko do wartości $160 \cdot 10^{-4}$, gdy wykonany laboratoryjnie osiągnął w tym samym czasie i w tych samych warunkach wartość $250 \cdot 10^{-4}$. Tłumaczy się to prawdopodobnie silną wrażliwością wskaźnika jakości oleju, którym jest $\text{tg } \delta$, na zanieczyszczenia przypadkowe i procentowo znacznie mniejszy ich wpływ przy bardzo dużej masie wykonanego w ruchu oleju. Opinia przedstawicieli producenta o wyższości próbek wykonanych w urządzeniach szklanych laboratoryjnych może wydawać się słuszną jedynie na podstawie tak mało czułych wskaźników, jak omawiane już chemiczne własności olejów.

Tablica II podaje zestawienie porównawcze początkowych i końcowych wartości $\text{tg } \delta$ badanych próbek oleju o różnych głębokościach rafinacji.

Badania chemiczne. Z wartości pH kontrolowanych dla starzonych próbek olejów o różnych głębokościach rafinacji trudno jest wyciągnąć rzeczowe wnioski. Wartości te mają charakter raczej wartości przypadkowych i jedynie pH olejów po najdłuższym (211 godzin) czasie starzenia wykazuje zróżnicowanie na względnie nisko rafinowane oleje o $\text{pH} = 6,3$ i $6,6$ oraz wysoko rafinowane oleje (10,5 i 15% H_2SO_4) o $\text{pH} = 5,3$ i $5,4$.

Liczba kwasowa charakteryzuje nieco lepiej wpływ głębokości rafinacji i czasu starzenia na jakość oleju. Dla niższych stopni zestarzenia oleju (w niniejszym badaniu próbki po 68 i 116 godzinach) liczba kwasowa maleje ze wzrostem głębokości rafinacji (rys. 10 i 11). Natomiast dla bardzo silnego zestarzenia się oleju (211 godzin) wpływ głębokości rafinacji jest odwrotny: im głębiej olej jest rafinowany, tym silniej wzrasta liczba kwasowa; wydaje się to być oznaką zbyt daleko posuniętego starzenia, co zresztą potwierdzają nadmiernie duże wartości $\text{tg } \delta$ zmierzone przy częstotliwości 50 Hz. Od nakreślonego schematu odbiegają wartości liczby kwasowej dla próbki 15% H_2SO_4 wykonanej w ruchu. Liczba kwasowa tej próbki oleju na wartość najniższą (por. rys. 10), analogicznie zresztą i wartość $\text{pH} = 6,9$ tej próbki jest również wśród głęboko ra-



Rys. 9. Zależność $\text{tg } \delta$ od czasu sztucznego starzenia olejów o różnej głębokości rafinacji w granicach 3,5...15% H_2SO_4 . Pomiar przy 400 Hz i 70°C

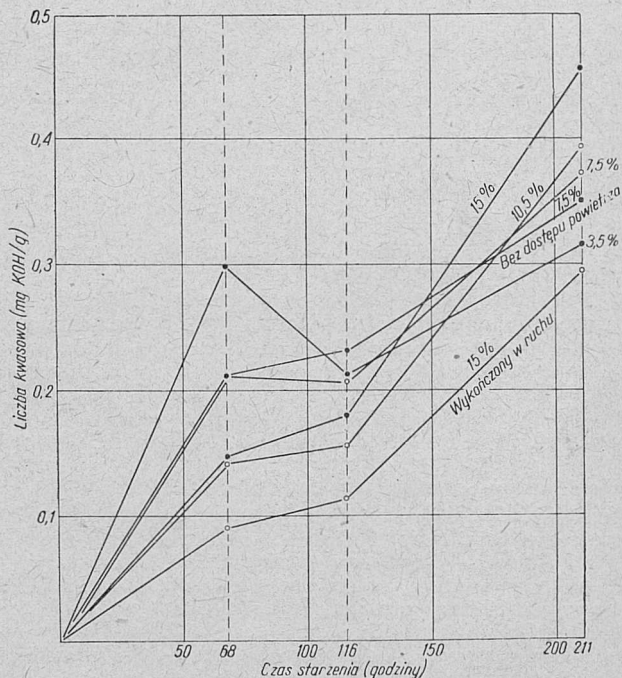
tość bardzo dużą w normalnej praktyce nie spotykana $\text{tg } \delta = 1,12$ (50 Hz). Olej głęboko rafinowany 15% H_2SO_4 zestarzył się znacznie słabiej, do wartości $\text{tg } \delta$ rzędu 0,33 przy 70°C. Wartości przed starzeniem były w przybliżeniu równe i nie przekraczały $\text{tg } \delta = 0,026$. Silny wzrost wartości $\text{tg } \delta$ świadczy o bardzo daleko posuniętym starzeniu. Nadmiernie wysokie jednak wartości $\text{tg } \delta$ zmieniają już charakter zjawiska stratności dielektrycznej na charakter raczej upływności. Z tego też powodu, jak również dla ułatwienia porównania wyników badania olejów nowych i starzonych, wykonano również serię pomiarów $\text{tg } \delta$ przy częstotliwościach akustycznych, przy czym zestawiono z uzyskanych wartości wykres wtórny $\text{tg } \delta = f(\tau)$, gdzie τ oznacza czas starzenia przy zmiennej skokami głębokości rafinacji w granicach 3,5...15% H_2SO_4 . Zależności te podaje rys. 9.

Na wykresie zaznaczyła się wyraźnie wyższość głębszych rafinatów [8]. Świadczy o tym zarówno prędkość starzenia — widoczna ze stromości wznoszenia się krzywych $\text{tg } \delta = f(\tau)$ — najniższa dla oleju o 15% H_2SO_4 jak i wartości $\text{tg } \delta$ po zakończonym starzeniu — najniższe również dla rafinatu 15% H_2SO_4 .

Wpływ suszenia oleju bez dostępu powietrza okazał się — w przeciwieństwie do wyników uzyskanych dla olejów nowych —

Tablica II

Głębokość rafinacji (% H_2SO_4)	Jakość oleju	$\text{tg } \delta_x \cdot 10^{-4}$	
		przed starzeniem	po starzeniu
3,5	Wykończony laboratoryjnie	65	600
7,5		40	370
10,5		24	270
15		28	250
7,5	Suszony bez dostępu powietrza	8,5	360
15	Wykończony w ruchu	28	160



Rys. 10. Zmiany liczby kwasowej w toku starzenia w zależności od głębokości rafinacji oleju

finowanych próbek najbliższa wartości neutralnej $\text{pH} = 6,8$. Fakt ten potwierdza jeszcze raz słusność wniosku wyprowadzonego z pomiarów $\text{tg } \delta$ o najlepszej jakości próbki oleju rafinowanego 15% H_2SO_4 i wykonanego w ruchu.

Przy badaniu próbek olejów zarówno nowych, jak i sztucznie zestarzonych, istnieje całkowita zgodność wpływu głębokości rafinacji na wartość liczby smolowej i wartość stratności

- [18] Wojsław G. Obsługa olejowa transformatorów i wyłączników olejowych, 1951.
- [19] Burjanow B. P. Eksploatacja mineralnowo masła, 1951.
- [20] Siciński Z. Stratność dielektryczna tg δ jako kryterium oceny jakościowej olejów i wosków wypiera niektóre oznaczenia chemiczne (refer. na Sesję Naukową Politechn. Wrocł. 1952).
- [21] Stark. Influence of test cell construction and cleaning on measurements of dielectric constant and loss angle of insulating oils. ERA Reports, E/T. 60, V. 1952.
- [22] Siciński Z. Chlorowany naftalen jako syciwo kondensatorowe przy prądzie stałym (Prace IEL, z. 4, 1952).
- [23] Siciński Z. Wpływ siarki na izolację celulozowo-olejową transformatorów (Prace IEL, w druku, 1953).
- [24] Projekt normy zdawczo-odbiorczej na kondensatory do poprawy współczynnika mocy dla częstotliwości do 25 kHz i na kondensatory sprzężeniowe dużej częstotliwości, 1951.
- [25] PNE-6. Elektroenergetyczne kable obołowione miedziane i aluminiowe, 1948.

INŻ. HENRYK DZIATLIK

Podstawowe jednostki i wzorce elektromagnetyczne

621.3.081:621.3.011.3

Treść. Artykuł zawiera nowe propozycje definicji jednostek elektromagnetycznych, oparte na takich konfiguracjach geometrycznych ustrojów elektrycznych, które w sposób naturalny wynikają z teorii stacjonarnych pól elektrycznych i magnetycznych i dają możliwość praktycznego wykonania próżniowych wzorców elektryczności i magnetyzmu.

Электромагнитные единицы и эталоны. В статье предлагаются новые определения электрических единиц на основании таких геометрических конфигураций электрических систем, которые вытекают естественным образом из теории стационарных электрических и магнитных полей и дают возможность практического изготовления вакуумных эталонов электричества и магнетизма.

Fundamental electromagnetic units and standards. The article contains new suggestions for basing the definitions of electrical units on such geometrical configurations of electrical systems as follow naturally from the theory of stationary electric and magnetic fields and provide opportunities for practical construction of vacuum standards for electricity and magnetism.

1. Aktualność zagadnienia.

Wobec zbliżającego się terminu międzynarodowej konferencji (1954 r.) w sprawie ustalenia podstawowych jednostek MKS i wyboru czwartej jednostki elektrycznej sprawa decyzji wyboru tej jednostki jest bardzo aktualna. Wyczerpujące naświetlenie obecnej sytuacji i ciekawe propozycje nowego podejścia do tego zagadnienia zawiera ogłoszona w Przeglądzie Elektrotechnicznym praca prof. B. Konorskiego*), nad którą jednak nie wywijała się dotąd dyskusja, choć należyte uporządkowanie zawilej sprawy jednostek elektrycznych jest tak upragnione przez wszystkich elektryków.

2. Wady projektów dotychczasowych.

Podjęta przez CEI inicjatywa zastąpienia dotychczasowej definicji 1 ampera międzynarodowego, opartej na chemicznym równoważniku prądu elektrycznego, definicją jednej z siedmiu jednostek elektrycznych (1 kulomb, 1 weber, 1 amper, 1 volt, 1 farad, 1 henr, 1 om), opartą na teorii elektryczności, wynika z niezaspokojenia potrzeb nie tylko praktycznych, lecz i estetycznych. Istotnie, oprócz podkreślonych w artykule prof. B. Konorskiego wad definicji, wynikających z nie dającego się ustalić stopnia dokładności pomiarów, wydaje się rzeczą nienaturalną, że podstawowa jednostka elektryczna jest oparta na ubocznym zjawisku, jakim jest chemiczne działanie prądu, z pominięciem pola elektromagnetycznego będącego istotą elektryczności. Z tego względu wszystkie ogłoszone dotychczas propozycje nowego zdefiniowania jednostki elektrycznej opierają się na zjawiskach elektromagnetycznych, zachodzących w ustrojach elektrycznych w próżni jako powszechnym i niezmiennym ośrodku. Trudność sprawia tylko wybór takiego ustroju, który by prostą drogą prowadził do definicji jednostki elektrycznej. Propozycja radziecka omija te trudności w sposób zasadniczy, gdyż nie wiąże definicji z żadnym ustrojem elektrycznym, lecz definiuje poprostu jednostkę umownej przenikalności magnetycznej 1 magn jako przenikalność $107/4\pi$ -krotnie większą od przenikalności magnetycznej próżni.

Według propozycji francuskiej 1 amper jest zdefiniowany za pomocą równania wyrażającego przyciąganie się dwóch nieskończenie długich przewodów, w których płyną prądy o tym samym natężeniu. Równanie to jednak nie wiąże bezpośrednio jednostki podstawowej MKS z jednostką elektryczną, lecz wiąże pochodną jednostkę układu MKS, a mianowicie jednostkę siły — 1 niuton — z kwadratem natężenia prądu przez współczynnik proporcjonalności, w którego skład wchodzi przenikalność magnetyczna ośrodka. Jednostka długości 1 m, wymieniona w określeniu siły działającej na 1 m długości nieskończenie długiego przewodu wskutek obecności drugiego takiego samego przewodu w odległości 1 m, daje tylko pozornie powiązanie podstawowej jednostki 1 m z podstawową jednostką 1 A, w rzeczywistości bowiem wymiary długości znajdują się w mianowniku z obu stron równania

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi a}$$

znoszą się i w definicji uczestniczyć nie powinny. Prawidłowa definicja powinna być raczej brzmieć jak następuje:

*) Konorski B. Wybór czwartej jednostki podstawowej. (Przegl. Elektr., 1950, z. 1/2/3, str. 5—9).

„1 amper jest natężeniem prądu stałego, który przepływając przez dwa równoległe, prostoliniowe, nieskończenie długie i nieskończenie cienkie przewody sprawia, że siła powstająca pomiędzy tymi przewodami wynosi $2 \cdot 10^{-7}$ N na długości równej ich wzajemnej odległości”.

Byłaby to konsekwentnie zdefiniowana jednostka natężenia prądu według propozycji francuskiej. Należy podkreślić, że oprócz pominięcia w tej definicji jednostki 1 m użyto wyrażenia „przewód nieskończenie cienki” zamiast określania kształtu i wymiarów przekroju w inny sposób pozornie ściślejszy, w rzeczywistości bowiem przytoczony wzór otrzymano w założeniu, że długość przewodu jest bardzo wielka w porównaniu z odległością między przewodami, a największy wymiar przekroju jest bardzo mały w porównaniu z tą samą odległością. Kształt przekroju (kołowy czy prostokątny) jest w tym przypadku zupełnie obojętny.

W projekcie prof. B. Konorskiego nie ma trudności z „nieskończonością” przewodów, chociaż pozostaje „nieskończoność” małych wymiarów przekroju. Jako ustrój podstawowy definicji jednego ampera projekt przewiduje dwa nieskończenie cienkie przewody mające kształt okręgów kołowych o średnicy 1 m i położone symetrycznie (na wprost siebie) w próżni w dwóch równoległych płaszczyznach odległych od siebie o 1 m. Siła przyciągania wzajemnego tych dwóch obwodów, jeżeli w każdym z nich płynie prąd o natężeniu 1 ampera, miałaby wynosić $2\pi \cdot 10^{-7}$ N. W rzeczywistości jednak przy podanych założeniach siła ta będzie inna. Ścisły wzór na oddziaływanie wzajemne dwóch cienkich obwodów kołowych można otrzymać bezpośrednio z prawa Biot-Savarta lub prościej za pośrednictwem wzoru ogólnego

$$F = I^2 \frac{\partial M}{\partial x},$$

gdzie F oznacza siłę, I — natężenie prądu, x — odległość między obwodami, M zaś oznacza indukcyjność wzajemną, której znana jest ścisła postać matematyczna dla dwóch obwodów kołowych, podana przez Maxwella dla przypadku, kiedy przekrój jest bardzo mały w porównaniu z promieniami i wzajemną odległością kół:

$$M = \mu_0 \cdot R \left(\frac{2 - k^2}{k} K(k) - \frac{2}{k} E(k) \right),$$

gdzie K i E oznaczają pełne całki eliptyczne pierwszego i drugiego rodzaju o module k związanym zależnością:

$$k^2 = \frac{4R^2}{x^2 + 4R^2}.$$

Po wykonaniu różniczkowania otrzymujemy wzór:

$$F = \mu_0 \cdot I^2 \frac{k}{2} \left(\frac{2R}{x} E - \frac{x}{R} (K - E) \right),$$

wyrażający dość skomplikowaną zależność pomiędzy siłą F wzajemnego oddziaływania dwóch obwodów kołowych o promieniu R i odległością x między nimi.

Jeżeli $x = 2R$, to $k = \frac{1}{2} \sqrt{2}$ i wzór ten przybiera postać:

$$F = \mu_0 I^2 \frac{\sqrt{2}}{4} \left(3E \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) - 2K \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right).$$

Z tablic pełnych całek eliptycznych znajdujemy dla modułu

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

$$E \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 1,3506 \quad \text{i} \quad K \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 1,8541,$$

skąd ostatecznie

$$F = \mu_0 I^2 \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot 0,3436.$$

Przyjmując wartość przenikalności próżni w układzie MKS

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{\Omega s}{m} \right),$$

znajdujemy liczbową wartość siły w niutonach, odpowiadającą natężeniu 1 A:

$$F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot 0,3436 \approx 1,527 \cdot 10^{-7}.$$

Jak widzimy, również i w tym przypadku wielkość średnicy koła nie odgrywa żadnej roli. Dwa jednakowe obwody kołowe dowolnej wielkości będą się przyciągały lub odpychały zawsze z siłą $1,527 \cdot 10^{-7}$ niutonów, jeżeli są oddalone od siebie na odległość równą ich średnicy, a każdy obwód przewodzi prąd o natężeniu 1 ampera. Jeżeli więc oprzeć się na ustroju elektrycznym złożonym z dwóch obwodów kołowych, umieszczonych na wprost siebie w odległości równej ich średnicy, to poprawna definicja 1 ampera miałaby brzmienie następujące:

„1 amper jest to natężenie prądu elektrycznego, który przepływa przez dwa nieskończenie cienkie przewody mające kształt okręgów kołowych, położonych symetrycznie w próżni w dwóch równoległych płaszczyznach oddalonych od siebie na odległość równą średnicy koła, jeżeli siła działająca na każdy z tych okręgów wynosi

$$\pi \sqrt{2} \left(3E \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) - 2K \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right) \cdot 10^{-7} \text{ niutonów}$$

(w przybliżeniu $1,527 \cdot 10^{-7}$ niutonów)“.

Widzimy, że poprawna definicja oparta na wzajemnym oddziaływaniu elektrodynamicznym dwóch obwodów kołowych nie spełnia głównych wymagań, jakie powinny być stawiane dobrej definicji: wymagania ścisłości (obwody nieskończenie cienkie) i prostoty (skomplikowana zależność matematyczna). Wynikający stąd brak zadowolenia estetycznego skłania do poszukiwania innych zależności ujętych w proste wzory teorii elektryczności.

3. Równanie nadające się do zdefiniowania jednostek elektrycznych.

Do zdefiniowania jednostki elektrycznej potrzebne są równania, które wiązałyby wielkość elektryczną jednego tylko rodzaju ze zdefiniowaną już wielkością mechaniczną. W dotychczasowych propozycjach wykorzystywano do definicji jednostek następujące równania, wiążące wielkości elektryczne z siłą:

a) prawo Coulomba w elektrostatyce

$$F = \frac{q \cdot q}{4\pi \epsilon_0 r^2},$$

b) prawo Coulomba w magneto-statyce

$$F = \frac{m \cdot m}{4\pi \mu_0 r^2},$$

c) wyrażenie ciśnienia elektrostatycznego w nieskończonym kondensatorze płaskim

$$\frac{F}{S} = \frac{\epsilon_0 U^2}{2l^2},$$

d) wyrażenie jednostkowej siły przyciągania (na jednostkę długości) dwóch nieskończenie długich przewodów

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi a}.$$

Wzory te są podane w postaci zrationalizowanej, przy czym znaczenie użytych symboli jest powszechnie znane.

Powyższe wzory nie wyczerpują wszystkich możliwych zależności, jak dowodzi tego chociażby odmienny od nich rozpatrzonej wyżej wzór na przyciąganie się dwóch obwodów kołowych położonych na wprost siebie. Teoretycznie liczba takich równań jest nieograniczona, jednak nie są one niezależne od siebie. Oto kilka przykładów prostych konfiguracji.

Można np. zamiast obwodów kołowych przyjąć do definicji 1 ampera prąd płynący w dwóch kwadratach położonych na wprost siebie w dwóch płaszczyznach równoległych i oddalonych od siebie na odległość równą bokowi kwadratu, gdyż możemy w tym przypadku ściśle obliczyć siłę wzajemnego przyciągania się*).

$$F = \mu_0 I^2 \frac{2}{\pi} \left(\frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{\sqrt{3}}{2} - 1 \right),$$

skąd przy podobnych założeniach, jak dla rozpatrzonych już obwodów kołowych, możemy powiedzieć, że 1 amper odpowiadałby takiemu natężeniu prądu w obwodach kwadratowych, które wywoływałyby siłę przyciągania równą (w niutonach):

$$F = 8 \left(\frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{\sqrt{3}}{2} - 1 \right) \cdot 10^{-7},$$

czyli w przybliżeniu $F = 2,0424 \cdot 10^{-7}$ niutonów. Zwraca tu uwagę elementarna postać matematyczna wzoru.

Jako inny przykład można przytoczyć wzór na siłę rozciągania obwodu kołowego przez drugi obwód kołowy, położony w tej samej płaszczyźnie, lecz dwa razy większy, jeżeli obydwa obwody przewożą prądy stałe o tym samym natężeniu I . Siła rozciągania wyniesie

$$F = \mu_0 I^2 \frac{E(k)}{1 - k^2},$$

gdzie występuje pełna całka eliptyczna $E(k)$, której moduł k jest równy stosunkowi promieni obu kół. Dla $k = \frac{1}{2}$ otrzymamy

$$F = \mu_0 I^2 \frac{4}{3} E \left(\frac{1}{2} \right)$$

i możemy określić 1 amper jako natężenie prądu, wywołujące w jednym z tych obwodów siłę rozciągania

$$F = \frac{16\pi}{3} E \left(\frac{1}{2} \right) \cdot 10^{-7} \text{ niutonów}$$

czyli w przybliżeniu $F = 2,4588 \cdot 10^{-7}$ niutonów. Układ ten miałby tę zaletę, że siłę rozciągania można łatwiej mierzyć (przy pomocy dynamometru) niż siły prostopadłe do płaszczyzn obwodów cienkich, a więc wiotkich.

Ciekawą, bo najprostszą postać matematyczną ma wzór na oddziaływanie elektrodynamiczne pomiędzy obwodem kołowym i obwodem prostoliniowym nieograniczonym, przechodzącym przez środek obwodu kołowego w tej samej, co i on, płaszczyźnie. Jeżeli w obwodzie kołowym i obwodzie prostoliniowym płyną prądy o tym samym natężeniu, to siła działająca na obwody i leżąca w ich płaszczyźnie wyniesie (w układzie zrationalizowanym)

$$F = \mu_0 I^2.$$

4. Kryteria przydatności równań.

Z przeglądu równań, które mogłyby być przyjęte do definicji jednostki elektrycznej, jasno wynika, że równania oparte na prawie Biot-Savarta w zakresie stosowności tego prawa, tj. w przypadku zamkniętych obwodów liniowych, nie dają dogodnej podstawy wyjściowej do zdefiniowania jednostki prądu elektrycznego, gdyż postać ich jest na ogół skomplikowana. Tymczasem od równania podstawowego wymaga się właśnie prostoty, zrozumiałej dla każdego na wszystkich szczeblach pracy zawodowej i nauczania. Tylko tym dążeniem do prostoty można wytłumaczyć fakt, że np. propozycja francuska opiera się na układzie nieskończenie długich i nieskończenie cienkich przewodów, w których przepływa prąd stały, w tym bowiem przypadku postać matematyczna równania jest bardzo prosta. Ustrój taki jednak jest nierealny i nierealny, ponieważ przeczy samej istocie pojęcia stałego prądu elektrycznego jako zjawiska zachodzącego tylko w obwodach zamkniętych; nierealny, ponieważ w samym założeniu tkwi niemożliwość realizacji.

Konfiguracja obwodów zamkniętych jest pojęciowo łatwiejsza do przyjęcia, pociąga za sobą jednak zawiłą postać mate-

*) Por. T a m m, Osnovy teorii elektricestwa, 1949.

matyczną, mało przejrzystą i stosowaną w praktyce tylko w pracach specjalnych, znajdujących się poza kręgiem zainteresowania szerszego ogółu elektryków. Poza tym i konfiguracja zamkniętych obwodów liniowych jest właściwie również fikcją matematyczną, stanowiącą tylko przybliżone rozwiązanie podstawowych równań Maxwella dla prądu stałego:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} D &= \rho, & \operatorname{rot} H &= j, & D &= \epsilon_0 E, \\ \operatorname{rot} E &= 0, & \operatorname{div} B &= 0, & B &= \mu_0 H. \end{aligned}$$

Rozwiązanie tych równań w założeniu nieskończenie cienkich przewodów, a więc i nieskończonej gęstości prądu prowadzi do sprzeczności, gdyż nie może być mowy o przepływie takiego prądu przez przewód materialny. Można by uniknąć wnikania się w sprzecznościach wynikających z użycia słowa „nieskończoność” podając jakieś ściśle granice stosowalności wzorów, rodzaje popełnianych błędów, stopień przybliżenia do rzeczywisto-

ści itd., ale to znowuż niweczy prostotę wzorów opartych na pojęciach nieskończoności, czyli zamierzony cel — prostota — nie został osiągnięty, lecz zagubiony w przypisach, wyjaśnieniach i omówieniach. Szukając zaś rozwiązania podstawowych równań Maxwella z uwzględnieniem skończonego przekroju przewodów i skończonej gęstości prądu otrzymuje się wzory bardzo skomplikowane.

Trudność wyboru czwartej jednostki elektromagnetycznej jest nieodłącznie związana ze skomplikowaną postacią pól magnetycznych i topologicznymi właściwościami tych pól. W przyrodzie nie ma pól jednorodnych, naturalne są zatem tylko pola niejednorodne. Najprostszym naturalnym polem elektrostatycznym jest pole o symetrii kulistej, najprostszym naturalnym polem magnetostatycznym jest pole o symetrii pierścieniowej. Konstrukcje, które spełniają takie warunki symetrii, są predestynowane na naturalne wzorce elektromagnetyczne.

Tablica I. Definicje i wzorce jednostek elektromagnetycznych

Ustrój podstawowy i wzorzec

elektryczny:	magnetyczny:
próżniowy kondensator kulisty o promieniu kuli zewnętrznej $K = 1$ m i wewnętrznej $k = 0,9$ m (skrót: kondensator kulisty metryczny)	próżniowa cewka toroidalna jednowojowa o promieniu średnim pierścienia $P = 1$ m i promieniu przekroju kołowego $p = 0,1$ m (skrót: cewka toroidalna metryczna)
Definicje jednostek elektromagnetycznych	
Q — ładunek elektryczny 1 C, jednostka 1 kulomb wzór podstawowy: $Q^2 = \frac{E}{1} = \frac{E}{\frac{K-k}{8\pi\epsilon_0 Kk}};$ liczbowa wartość mianownika: $\frac{1-0,9}{8\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9} \approx 5 \cdot 10^8;$ definicja: 1 kulomb jest to ładunek elektryczny, który w kondensatorze kulistym metrycznym wiąże energię wynoszącą $\frac{1-0,9}{8\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9} \approx 5 \cdot 10^8 \text{ dżulów.}$	Φ — strumień magnetyczny 1 Wb, jednostka 1 weber wzór podstawowy: $\Phi^2 = \frac{E}{1} = \frac{E}{\frac{1}{2\mu_0(P-\sqrt{P^2-p^2})}};$ liczbowa wartość mianownika: $\frac{1}{2\mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2})} \approx 7,96 \cdot 10^7;$ definicja: 1 weber jest to strumień magnetyczny, który w cewce toroidalnej metrycznej wiąże energię wynoszącą $\frac{1}{2\mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2})} \approx 7,96 \cdot 10^7 \text{ dżulów.}$
U — napięcie 1 V, jednostka 1 wolt wzór podstawowy $U^2 = \frac{E}{C/2} = \frac{E}{\frac{2\pi\epsilon_0 Kk}{K-k}};$ liczbowa wartość mianownika: $\frac{2\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9}{1-0,9} \approx 5 \cdot 10^{-10};$ definicja: 1 wolt jest to napięcie na kondensatorze kulistym metrycznym, w którym nagromadzona energia elektryczna wynosi $\frac{2\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9}{1-0,9} \approx 5 \cdot 10^{-10} \text{ dżulów.}$	I — natężenie prądu 1 A, jednostka 1 amper wzór podstawowy $I^2 = \frac{E}{L/2} = \frac{E}{\frac{1}{2} \cdot \mu_0(P-\sqrt{P^2-p^2})};$ liczbowa wartość mianownika: $\frac{1}{2} \mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2}) \approx 3,14 \cdot 10^{-9};$ definicja: 1 amper jest to natężenie prądu w metrycznej cewce toroidalnej, w której nagromadzona energia magnetyczna wynosi $\frac{1}{2} \mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2}) \approx 3,14 \cdot 10^{-9} \text{ dżulów.}$
C — pojemność 1 F, jednostka 1 farad wzór podstawowy $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{Kk}{K-k};$ wartość liczbowa pojemności: $4\pi\epsilon_0 \frac{1 \cdot 0,9}{1-0,9} \approx 10^{-9};$ definicja: 1 farad jest to pojemność $\frac{1-0,9}{4\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9} \approx 10^9$ razy większa niż pojemność kondensatora kulistego metrycznego.	L — indukcyjność 1 H, jednostka 1 henr wzór podstawowy: $L = \mu_0(P-\sqrt{P^2-p^2});$ wartość liczbowa indukcyjności: $\mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2}) \approx 6,28 \cdot 10^{-9};$ definicja: 1 henr jest to indukcyjność $\frac{1}{\mu_0(1-\sqrt{1^2-0,1^2})} \approx 1,59 \cdot 10^8$ razy większa niż indukcyjność toroidalnej cewki metrycznej

R — oporność1 Ω , jednostka 1 om

wzór podstawowy:

$$\frac{Q}{Q_0} = e^{-\frac{1}{RC}t} = e^{-\frac{K-k}{R \cdot 4\pi\epsilon_0 Kk}t};$$

wartość liczbową oporności dla $\frac{Q}{Q_0} = e^{-1} \approx 0,36788$ oraz $t = 1$ sek.:

$$\frac{1 - 0,9}{4\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9} \approx 10^9;$$

definicja: 1 om jest to oporność, która — będąc włączona w zewnętrzny obwód rozładowania metrycznego kondensatora kulistego — wywołuje w ciągu

 $\frac{4\pi\epsilon_0 1 \cdot 0,9}{1 - 0,9} \approx 10^{-9}$ sek. $e^{-1} \approx 0,368$ -krotne zmniejszenie ładunku.

wzór podstawowy:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-\frac{R}{L}t} = e^{-\frac{R}{\mu_0(P - \sqrt{P^2 - p^2})}t};$$

wartość liczbową oporności dla $\frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-1} \approx 0,36788$ oraz $t = 1$ sek.:

$$\mu_0 (1 - \sqrt{1^2 - 0,1^2}) \approx 6,28 \cdot 10^{-9};$$

definicja: 1 om jest to oporność, która — będąc włączona w zewnętrzny obwód rozładowania metrycznej cewki toroidalnej — wywołuje w ciągu

 $\mu_0 (1 - \sqrt{1^2 - 0,1^2}) \approx 6,28 \cdot 10^{-9}$ sek. $e^{-1} \approx 0,368$ -krotne zmniejszenie strumienia. f — częstotliwość

1 Hz, jednostka 1 herc

wzór podstawowy:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4\pi\epsilon_0 \frac{Kk}{K-k} \cdot \mu_0 (P - \sqrt{P^2 - p^2})}} = \frac{c}{4\pi^{3/2} \sqrt{\frac{Kk(P - \sqrt{P^2 - p^2})}{K-k}}};$$

wartość liczbową częstotliwości (dla $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s): $\approx 77 \cdot 10^8$;

$$4\pi^{3/2} \sqrt{\frac{1 \cdot 0,9 (1 - \sqrt{1^2 - 0,1^2})}{1 - 0,9}}$$

definicja: 1 herc jest to częstotliwość $\frac{c}{4\pi^{3/2} \sqrt{\frac{1 \cdot 0,9 (1 - \sqrt{1^2 - 0,1^2})}{1 - 0,9}}} \approx 77 \cdot 10^8$ razy mniejsza niż częstotliwość własna drgań

elektrycznych w obwodzie złożonym z metrycznego kondensatora kulistego i metrycznej cewki toroidalnej.

5. Naturalne definicje i wzorce jednostek elektromagnetycznych.

Wysuwany tu projekt jest opracowany na następujących założeniach podstawowych:

a) przenikalność elektryczna i magnetyczna próżni (ϵ_0 i μ_0) mają równorzędne znaczenie teoretyczne i praktyczne, co powinno być uwzględnione i uwydatnione w definicjach jednostek elektromagnetycznych;

b) definicja powinna być oparta na urządzeniach elektrycznych realizujących naturalną budowę geometryczną pola elektrycznego i magnetycznego;

c) podstawowe urządzenie elektryczne powinny być wykonalne praktycznie jako dwa wzorce pierwotne — elektryczny i magnetyczny, których stopień dokładności powinien być znany i zależny tylko od dokładności wykonania;

d) pola elektryczne i magnetyczne w urządzeniach podstawowych powinny całkowicie rozciągać się w próżni;

e) obydwa wzorce podstawowe powinny w zespoleniu tworzyć jeden wzorec elektromagnetyczny;

f) wszystkie związki magnetyczne wyrażające definicje jednostek oraz ich współzależność powinny być jak najprostsze.

Wszystkie te postulaty spełniają dwa „naturalne” urządzenie elektryczne: kondensator kulisty i jednozwojowa cewka toroidalna. Są to urządzenia „naturalne” dlatego, że dają najbardziej charakterystyczną budowę pól. Pole elektryczne ma, jako pole źródłowe, budowę promienistą i taką budowę ma pole elektryczne w kondensatorze kulistym. Pole zaś magnetyczne, jako pole wirów, bezźródłowe, ma budowę kołową i taką budowę ma pole magnetyczne cewki toroidalnej. „Naturalność” tych konstrukcji podnosi jeszcze to, że zarówno wewnątrz kondensatora kulistego, jak i wewnątrz cewki toroidalnej można wytworzyć jak najdalej posuniętą próżnię, w której będą mieścić się całkowicie pole elektryczne i pole magnetyczne.

Dzięki tej naturalności najważniejsze właściwości elektryczne tych urządzeń można wyrazić przy pomocy prostych, ale ścisłych wzorów matematycznych. Dla kondensatora kulistego o zewnętrznym promieniu K i wewnętrznym k wzory te są następujące:

a) pojemność

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{Kk}{K-k},$$

b) energia ładunku Q na kondensatorze:

$$E = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2(K-k)}{8\pi\epsilon_0 Kk},$$

c) energia kondensatora naładowanego do napięcia U :

$$E = \frac{CU^2}{2} = 2\pi\epsilon_0 \frac{Kk}{K-k} U^2.$$

Zależności matematyczne w cewce toroidalnej o średnim promieniu P (promień średni — odległość środka przekroju kołowego od osi symetrii kołowej torusa) i promieniu przekroju p są następujące:

α) indukcyjność

$$L = \mu_0 (P - \sqrt{P^2 - p^2})^*)$$

β) energia strumienia wytworzonego w cewce

$$E = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 (P - \sqrt{P^2 - p^2})},$$

γ) energia cewki przewodzącej prąd I

$$E = \frac{LI^2}{2} = \frac{\mu_0}{2} (P - \sqrt{P^2 - p^2}) I^2.$$

Jak widzimy, urządzenie elektryczne pozwala zdefiniować niezależnie od siebie trzy jednostki elektryczne: 1 kulomb, 1 wolt, 1 farad, urządzenie zaś magnetyczne trzy jednostki elektryczne: 1 weber, 1 amper, 1 henr, również niezależnie od siebie.

Jednostkę oporności 1 om pozwala zdefiniować zarówno jeden urządzenie, jak i drugi, na podstawie znanego prawa zanikania ładunku elektrycznego względnie strumienia magnetycznego przy rozładowaniu przez obwód zawierający oporność R

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \text{ i } \Phi = \Phi_0 e^{-\frac{t}{L}t}.$$

*) Gdy pierścień jest pełny, czyli $P = p$, to wzór na indukcyjność przybiera bardzo prostą postać $L = \mu_0 P$, analogiczną do nie racjonalizowanej postaci wzoru na pojemność kuli zawieszanej samotnie w próżni $C = 4\pi\epsilon_0 K$.

Obydwa zaś ustroje razem pozwalają zdefiniować jednostkę częstotliwości 1 herc przez zastosowanie znanego wzoru

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Dla zdefiniowania jednostek należy ustalić dwa główne wymiary geometryczne kondensatora kulistego, np. promień kuli zewnętrznej $K = 1$ m i promień kuli wewnętrznej $k = 0,9$ m, oraz dwa główne wymiary pierścienia toroidalnego, np. promień średni torusa $P = 1$ m i promień koła przekroju $p = 0,1$ m.

W praktycznym wykonaniu wzorców jednostek można ustalić mniejsze wymiary modeli pomiarowych, dogodne dla praktyki laboratoryjnej. Chociaż projekt niniejszy nie obejmuje samej konstrukcji, można jednak podać następujące uwagi ogólne.

Kondensator kulisty można wykonać stosunkowo łatwo z bardzo wysokim stopniem dokładności, który poddaje się drobiazowej analizie, i można w nim wytworzyć próżnię tak wysoką, na jaką pozwala dzisiejsza technika. Ścianki kul mogą być tak grube, jak tego wymagają względy mechaniczne, gdyż grubość ścianek nie wpływa na własności elektryczne kondensatora kulistego.

Cewka toroidalna powinna być wykonana z materiału izolacyjnego (np. ze szkła), a warstwę przewodzącą może stanowić metalizacja powierzchni zewnętrznej. Cewka byłaby złożona z dwóch połówek torusa przeciętego wzdłuż płaszczyzny symetrii prostopadłej do osi. Cała powłoka metalowa stanowiłaby jeden zwój, którego początek i koniec znajdowałyby się na przecięciu i przedzielonym izolacją obwodzie wewnętrznym pierścienia (powłoka metalowa przypominałaby swym kształtem opone samochodową). Wewnątrz pierścienia powinna być wytworzona wysoka próżnia. Powłoka przewodząca powinna być jak najcieńsza, aby tzw. samoindukcja „wewnętrzna” była znikomo mała.

We wzorach wiążących wielkości elektryczne z mechanicznymi występuje nie siła, jak w innych propozycjach, lecz energia. Wydaje się to bardziej racjonalne, gdyż rozpatrywane wielkości elektryczne są skalarami podobnie jak energia. Przyjmując do definicji siłę należałoby dla ścisłości podawać wzory podstawowe w postaci wektorowej.

Tabl. I zawiera zestawienie definicji wszystkich siedmiu jednostek praktycznych (1 C, 1 Wb, 1 V, 1 A, 1 F, 1 H, 1 Ω). Każda z tych definicji może być przyjęta jako definicja wyjściowa, a wówczas pozostałe jednostki mogą być określone już nie przez definicje zamieszczone w tablicy, lecz przez znane związki między wielkościami elektrycznymi. Tablica jednak zawiera wszystkie możliwe definicje dla uwydatnienia teoretycznej równorzędności i pełnej symetrii wielkości elektrycznych i magnetycznych. Wydaje się jednak, że praktyczne znaczenie może mieć tylko definicja 1 kulomba, gdyż ładunek elektryczny narzuca się jako podstawowa wielkość elektryczna będąca po prostu wielokrotnością jednej z ważniejszych stałych przyrody — ładunku

elektronu. Daje to jednostce ładunku mocne oparcie, gdyż podobnie jak jednostkę długości — 1 metr — można określić wielokrotnością długości fali światła monochromatycznego i zapewnić w ten sposób odtwarzalność wzorca pierwotnego, tak samo jednostkę elektryczności — 1 kulomb — można określić wielokrotnością ładunku elektronu. (Idea wielokrotności ładunku elementarnego leży zresztą u podstawy definicji ampera międzynarodowego, obowiązującej obecnie). Jeżeli w przyszłości rozwój techniki pomiarowej pozwoli na liczenie wielkich zbiorów elektronów tak, jak dzisiaj jest możliwe liczenie pojedynczych elektronów, to odtwarzalność wzorca elektryczności będzie zapewniona w sposób tak samo niezawodny, jak dla wzorca długości.

Ponadto tablica zawiera definicję kontrolną jednostki częstotliwości — 1 herc. Ponieważ we wzorze definicyjnym nie występuje ani przenikalność elektryczna, ani przenikalność elektryczna próżni, lecz tylko jedna stała przyrody — prędkość światła w próżni, przeto definicja ta może prowadzić do wygodnego sprawdzenia dokładności wykonania wzorców.

6. Wnioski.

Propozycja przyjęcia próżniowego kondensatora kulistego i próżniowej cewki toroidalnej jako podstawy do zdefiniowania każdej z siedmiu jednostek podstawowych 1 C, 1 Wb, 1 V, 1 A, 1 F, 1 H, 1 Ω, niezależnie jedna od drugiej, jest wysunięta w przeświadczeniu, że dobra definicja nie tylko powinna być ścisła pod względem teoretycznym, ale i nie powinna zagradzać drogi do praktycznej realizacji wzorca, który mógłby być oparty na łatwo uchwytnej stałej przyrody i byłby w każdej chwili odtwarzalny z całą wymaganą dokładnością. Te dwa ustroje narzucają się same przez się, gdyż tylko w nich pola elektryczne i magnetyczne przebiegają w całości w przestrzeni ograniczonej, i to w takiej, w której łatwo można wytworzyć próżnię. W ten sposób pola są odgródzone od wszelkich wpływów świata zewnętrznego, a przy tym mogą być obliczone z całą ścisłością przy użyciu stosunkowo prostych środków matematycznych. Konstrukcje wzorców są proste i mogą być, zdaniem autora, zrealizowane stosunkowo łatwo z bardzo wielkim stopniem dokładności. Opisane ustroje i oparte na nich definicje uwydatniają symetrię zjawisk elektrycznych i magnetycznych, co ma znaczenie dydaktyczne. Zasluguje również na podkreślenie możliwości kontroli precyzji wykonania wzorców przez połączenie ich w jeden obwód drgający i pomiar częstotliwości.

LITERATURA

- T a m m I. E. Osnovy teorii elektrichestwa, 1949.
K a l a n t a r o w P. L. i N e j m a n L. R. Teoreticzeskije osnovy elektrotehniki, 1951.
S i e n a L. A. Jedinicy izmierenia fiziczeskich wieliczy, 1951.
D w i g h t G. B. Electrical Coils and Conductors, 1945.
W a r r e n A. G. Mathematics Applied to Electrical Engineering, 1944.
L ö b l F. Memorandum über elektrische und magnetische Einheiten, ETZ, 1951.
M i e G. Elektrodynamik, 1932.
J a h n k e - E m d e. Funktionentafeln.

DR STANISŁAW BLADOWSKI

Zerowanie w urządzeniach elektrycznych

621.316.99:621.3(081.1)PN/E-08003

Treść. Podano zasady działania ochrony przez zerowanie oraz przypadki, w których ta ochrona nie działa. Zwrócono uwagę na prawidłowe wykonanie ochrony przez zerowanie przy czym w przypadku niedziałania lub nieprawidłowego wykonania ochrony przez zerowanie może powstać nawet w dalekiej odległości przyczyna porażenia elektrycznego. Zerowanie wykonane według projektu przepisów PN/E-08003 daje duży stopień bezpieczeństwa.

з a н у л е н и е в э л е к т р и ч е с к и х у с т р о й с т в а х . П р и н ц и п ы д е й с т в и я з а щ и т ы п р и п о м о щ и з а н у л е н и я и с л у ч а и , в к о т о р ы х э т а з а щ и т а н е д е й с т в у е т . О б р а щ е н о в н и м а н и ю н а в а ж н о с т ь п р а в и л ь н о г о у с т р о й с т в а з а щ и т ы п у т е м з а н у л е н и я и у к а з а н о , ч т о в с л у ч ае о т к а з а д е й с т в и я л и б о н е п р а в и л ь н о г о и с п о л н е н и я э т о г о у с т р о й с т в а м о ж е т д а ж е н а б о л ь ш о м р а с т о я н и и в о з н и к н у т ь п р и ч и н а э л е к т р и ч е с к о г о у д а р а . З а н у л е н и е , и с п o л н е н н о е с o g л а с н o п р o e к т у п o л ь с к o g o с т а н д а р т а П N / E - 0 8 0 0 3 , п р е д о с т а в л я е т з н а ч и т е л ь н у ю с т е п е н ь б е з o п а с н o с т и .

Neutralising in electrical equipment. Principles of operation of protection systems based on neutralising, and instances in which this method of protection fails to operate. Attention is drawn to the necessity for the correct execution of such protection, and to the danger of electric shock, which may occur, even at a considerable distance, should the protection fail to operate, or in the event of its not having been carried out in the correct manner. Neutralising carried out in accordance with the Polish Standard Specification PN/E-08003 ensure a high margin of safety.

1. Wstęp.

„Przepisy budowy i ruchu urządzeń elektrycznych prądu silnego” PN/E-10 konsekwentnie we wszystkich wydaniach zakazywały stosowania zerowania (§ 2.6). Powstaje pytanie, jakie były motywy tego zakazu i czy zerowanie, które ma być obecnie dopuszczone, wpłynie i w jakim stopniu na stan bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych. Sprawa ta wiąże się ściśle również z innymi przepisami, jak np. z projektem przepisów pod tyt. „Zabezpieczenia przed porażeniami w urządzeniach elektrycznych” PN/E-08005. Analiza skuteczności zerowania jako ochrony przed porażeniem elektrycznym jest więc na czasie.

2. Działanie ochrony przez zerowanie.

Zerowanie jest to połączenie części metalowych nie należących do obwodu elektroenergetycznego, jak np. osłon me-

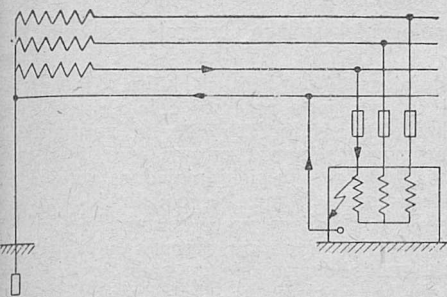
talowych, kadłubów, konstrukcji stalowych itp., z przewodem zerowym — przy pomocy przewodów zerujących — celem ochrony przed porażeniem elektrycznym.

Przewód zerowy jest to przewód wyprowadzony z punktu zerowego układu elektroenergetycznego, przy czym punktem zerowym mogą być np. punkty gwiazdowe uzwojeń generatorów i transformatorów trójfazowych, punkty środkowe uzwojeń transformatorów jednofazowych i generatorów prądu stałego, połączone bezpośrednio z uziomem.

Przewód zerujący jest to przewód, który łączy część zerowaną z przewodem zerowym.

Oczywista jest rzecz, że w przypadku uszkodzenia izolacji i zwarcia wskutek tego dowolnej fazy z przewodem zerowym lub zerowaną częścią odbiornika powinien przepłynąć prąd zwarciaowy dostatecznie duży, aby nastąpiło natychmiastowe działanie

ochrony zwarciowej uszkodzonego odbiornika i odłączenie go od sieci (rys. 1). Dopóki to nie nastąpi, części chronione znajdują



Rys. 1. Zasada działania zerowania

się pod napięciem, tzw. „napięciem uszkodzenia“, i mogą stanowić niebezpieczeństwo porażenia przy dotknięciu.

Warunkiem działania ochrony przez zerowanie jest: a) przepływ dostatecznie dużego prądu zwarciowego, który powodowałby działanie ochrony zwarciowej odbiornika, w którym nastąpiło zwarcie; 2) samowylączenie przez szybkie działanie ochrony zwarciowej.

Tablica I. Przepalanie się wkładki topikowej bezpieczników (PN/E-40.1)

Znamionowe natężenie prądu bezpiecznika (I_n)	Czas przepalania się przy $2,75 \cdot I_n$
do 25 A	do 10 s
35 ÷ 60 A	do 20 s
80 ÷ 100 A	do 40 s

Zabezpieczenia zwarciowe, bezpieczniki, wyłączniki instalacyjne i inne wyłączniki nadprądowe stanowią przeto nierozłączną część układu ochrony przez zerowanie i od ich charakterystyki oraz zachowania się przy zwarcu w dużym stopniu zależy skuteczność ochrony przez zerowanie.

Powstaje pytanie, w jak krótkim czasie powinno nastąpić samowylączenie, aby zerowanie spełniło swoje zadanie jako ochrona przed porażeniami.

Badania nad działaniem prądu zmiennego na czynności serca wykazały, że powstawanie tzw. „drgań komór sercowych“, które z reguły kończy się śmiercią porażonego, zależy od stanu, w jakim serce znajdowało się w pierwszym momencie przepływu prądu elektrycznego i występuje, gdy serce znajduje się w pewnej specjalnie czulej fazie swego okresu działania, trwającej około 0,1 sekundy. Prąd elektryczny przepływający w innych okresach działania serca na ogół nie będzie wywoływał drgań komór sercowych, a nawet w przypadku, gdy spowoduje zatrzymanie działania mięśnia sercowego, szybka akcja ratownicza może przywrócić porażonego do przytomności. Wynika stąd wniosek, że gdy części chronione przez zerowanie będą znajdować się pod napięciem przez czas krótszy od 0,1 s, wówczas prawdopodobieństwo porażenia śmiertelnego jest stosunkowo bardzo małe. Uwzględniając jeszcze prawdopodobieństwo równoczesności wypadku uszkodzenia izolacji zerowanego odbiornika i dotknięcia części zerowanej, która w tym czasie aż do chwili wyłączenia znajdzie się pod napięciem, można uważać czas 0,2 s jako czas dostatecznie krótki, w którym powinno nastąpić natychmiastowe wylączenie ochrony zwarciowej. W żadnym jednak przypadku samowylączenie części zerowanych spod napięcia nie powinno następować po czasie dłuższym niż 1 s.

3. Charakterystyki zabezpieczeń zwarciowych i warunki samowylączenia.

Natężenie prądu zwarciowego I_z , który przepłynie przy zwarcu przewodu fazowego z zerowym kadłubem lub osłoną, musi być większe od natężenia prądu I_w , powodującego przepalenie się bezpieczników lub zadziałanie wyłączników samoczynnych w czasie 0,2 do 1 s ($I_w < I_z$). Niestety, charakterystyki działania normalnych bezpieczników topikowych $I_w = f(t)$, które by odpowiadały normom na bezpieczniki PN/E-40.1, w zakresie krótkich czasów wylączenia (poniżej 1 s), nie zostały dotychczas

opracowane. Niemniej jednak można na podstawie wymagań przepisów PN/E-40.1 wyprowadzić pewne wnioski co do wielkości czasów i prądów wylączenia.

Według 3.10.3 wymienionych przepisów przepalenie się wkładki topikowej przy 2,75-krotnym prądzie znamionowym bezpieczników I_n ma nastąpić w czasie podanym w tabl. I. Czas przepalania się bezpieczników zwłocznych bywa jeszcze dłuższy i dochodzi do kilkunastu minut. Z danych tych wynika, że spotykany w niektórych przepisach zagranicznych warunek, aby prąd zwarcia fazy z zerowym kadłubem odbiornika wynosił $I_z \geq 2,5 I_n$, jest całkowicie niewystarczający ze względu na ochronę przed porażeniem szczególnie przy zastosowaniu bezpieczników, wykonanych wg normy PN/E-40.1.

W projekcie przepisów PN/E-08005 określono pewne minimalne wartości prądu zwarciowego, przy których zachowaniu można uważać, że warunek natychmiastowego wylączenia zwarcia będzie zachowany. Wartości te — w zależności od rodzaju stosowanej ochrony — są podane w tabl. II. Na ogół bez trudności będzie można je uzyskać w urządzeniach wnętrzowych niskiego napięcia, przyłączonych do większych sieci miejskich lub przemysłowych pod warunkiem zachowania normalnych spadków napięć określonych w „Przepisach technicznych na przyłączenia“. Pewne trudności w uzyskaniu dużych prądów zwarciowych dla natychmiastowego samowylączenia mogą wystąpić w urządzeniach przyłączonych do sieci napowietrznych oraz w dużych odbiornikach zasilanych przewodami szynowymi ze względu na ich oporności bierne, które mogą ograniczyć znaczne prądy zwarciowe.

W urządzeniach, gdzie ma być stosowane zerowanie jako ochrona przed porażeniem, przekroje przewodów fazowych, zerowego i zerujących oraz zabezpieczenia odbiorników zerowanych powinny być tak dobrane, aby mogły być spełnione warunki samowylączenia w przypadkach zwarcia fazy z zerową częścią lub z przewodem zerowym. Podstawowym warunkiem uzyskania samowylączenia w krótkim czasie jest stosowanie dostatecznie dużego przekroju przewodu zerowego i prawidłowy sposób jego prowadzenia. Jeżeli przewód zerowy przebiega rozmaicie — jako powłoka i pancerz kabla, dalej znów jako linka uziemiająca lub przygodnie znajdująca się w danym miejscu konstrukcja stalowa budynku itp. — ochrona przez zerowanie rzadko kiedy potrafi spełnić swe zadanie. Oporności obwodu zerowego będą z reguły tak znaczne, że w przypadku

Tablica II. Wartości najmniejszych dopuszczalnych prądów zwarciowych w urządzeniach zerowanych

Rodzaj zabezpieczenia zwarciowego	Prąd znamionowy I_n (amp.)	Prąd zwarciowy przy natychmiastowym wylączeniu I_z (amp.)
Bezpieczniki topikowe normalne wg PN/E-40.1 J. w., lecz z opóźnionym działaniem	do 60	$5 \cdot I_n$
Bezpieczniki dużej mocy wylączalnej o działaniu zwłocznym	60	$10 \cdot I_n$
Wyłączniki samoczynne instalacyjne z wyzwaczem elektromagnetycznym wg PN/E-93002	100 ÷ 260 ÷ 600	$10 \cdot I_n \div 15 \cdot I_n \div 20 \cdot I_n$
	10 ÷ 25	$5 \cdot I_n$

zwarcia nie nastąpi oczekiwane działanie ochrony zwarciowej lub nastąpi może dopiero po dość znacznym upływie czasu.

Wylączenie zerowego odbiornika spod napięcia w przypadku zwarcia z zerowaną częścią może również nie nastąpić w następujących okolicznościach: a) skutkiem niedziałania ochrony zwarciowej odbiornika, np. wskutek drutowania wkładek topikowych, zablokowania samoczynnego wyłącznika nadmiernego lub unieruchomienia zabezpieczeń w inny sposób; b) gdy nastąpi przerwa w przewodzie zerującym. Przypadki te należy omówić szczegółowo, gdyż stanowią one jedno z najpoważniejszych zastrzeżeń co do wprowadzenia ochrony przez zerowanie.

Tablica III. Napięcie uszkodzenia (w voltach) na częściach zerowanych przy niewylączeniu prądu zwarciowego dla różnych napięć sieci

Napięcie sieci U/U_f	Przekroje przewodów zerowych		
	$s_0 = s_f$	$s_0 = \frac{1}{2} s_f$	$s_0 = \frac{1}{3} s_f$
125/72	36	48	54
220/127	64	85	96
380/220	110	146	165

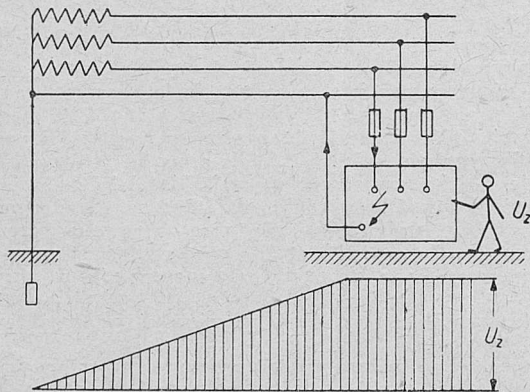
4. Niedziałanie ochrony zwarciorowej.

Drutowanie bezpieczników jest u nas, niestety, tak często spotykanym nawykiem, że niejednokrotnie przy kontroli instalacji elektrycznej trudno znaleźć bezpieczniki, które nie byłyby podrutowane. W tych warunkach, oczywiście, nie można spodziewać się samowylłączenia układu zerowanego ani w czasie dostatecznie krótkim, ani przy natężeniu prądu wyłączającego I_w , który według założeń ma powodować działanie ochrony zwarciorowej. W tych przypadkach odbiornik zerowany znajdzie się względem ziemi pod „napięciem uszkodzenia” U_z , które wyniesie w przybliżeniu:

$$U_z = \frac{U_f}{(1 + z_f/z_0)},$$

gdzie U_f — napięcie fazowe sieci, z_f — oporność pozorna przewodu fazowego o przekroju s_f (w mm²), z_0 — oporność pozorna przewodu zerowego o przekroju s_0 (w mm²). Gdy przewód zerowy i przewód fazowy mają jednakowy przekrój ($s_0 = s_f$), to można przyjąć, że $z_0 \approx z_f$, a wówczas: $U_z \approx 1/2 U_f$, tzn. napięcie uszkodzenia zerowanej części względem ziemi wyniesie połowę napięcia fazowego sieci. Gdy przekrój przewodu zerowego jest równy połowie przekroju fazowego ($s_0 = 1/2 s_f$), wówczas $z_0 \approx 2 z_f$, a $U_z = 2/3 U_f$. Ogólnie można określić: $U_z = k \cdot U_f$, gdzie $k \approx \frac{s_f}{s_0 + s_f}$.

Tabl. III podaje wielkości napięcia uszkodzenia na częściach zerowanych w przypadku nie działania ochrony zwarciorowej i przy założeniu, że przewód zerowy jest uziemiony tylko w punkcie zerowym układu (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład napięć uszkodzenia względem ziemi na przewodzie zerowym przy nie działaniu ochrony zwarciorowej

Z powyższego wynikają następujące wnioski:

1) Zerowanie w sieciach trójfazowych pracujących na napięciu 125/72 V daje praktycznie pełne zabezpieczenie przed porażeniami nawet w przypadku nie działania ochrony zwarciorowej. Napięcie uszkodzenia, pod którym mogą znaleźć się części zerowane, nie jest niebezpieczne ze względu na porażenie.

2) W sieciach trójfazowych na napięcia 220 i 380 V — w przypadku nie działania ochrony zwarciorowej przy przepływie prądu zwarcia między przewodem fazowym a zerowaną częścią urządzenia — napięcie uszkodzenia, które może pojawić się na częściach zerowanych osiąga wartości niebezpieczne ze względu na porażenie. Napięcie to jest tym większe, im wyższe jest napięcie sieci oraz im mniejszy jest przekrój przewodu zerowego w stosunku do przekroju przewodu fazowego. Charakterystyczne jest, że pod napięciem uszkodzenia znajduje się wówczas nie tylko sam kadłub zerowanego odbiornika, w którym nastąpiło zwarcie, ale i wszystkie inne zerowane odbiorniki przyłączone do tego samego przewodu zerowego za uszkodzonym odbiornikiem (rys. 2). Wypadki porażenia elektrycznego mogą wówczas zachodzić również w instalacjach u innych odbiorców przy dotykaniu zerowanych części metalowych, choć znajdujące się tam urządzenia elektryczne będą w prawidłowym stanie, a tylko dlatego, że w innej instalacji — nieraz u innego odbiorcy — skutkiem uszkodzenia izolacji w odbiorniku zerowanym nastąpiło zwarcie, przy czym drutowane bezpieczniki nie zadziałały.

Uświadczenie sobie takich możliwości ma duże znaczenie w orzeczeniach sądowych przy ustalaniu odpowiedzialności karnej i cywilnej za wypadki porażenia elektrycznego, która ciąży na właścicielu lub użytkującym urządzenie elektryczne na napięciu 380 i 220 voltów, gdzie stosowane jest zerowanie.

Napięcia uszkodzenia, które pojawiają się w opisanych przypadkach na częściach zerowanych można obniżyć: a) przez sto-

sowanie przewodu zerowego o zwiększonym przekroju, b) przez stosowanie dwóch uziemień przewodu zerowego; jednego na początku, drugiego na końcu linii.

5. Skuteczność stosowania zwiększonego przekroju przewodu zerowego.

Ze względu na wartości prądów roboczych, które mogą przepływać przez przewód zerowy, jego przekrój bierze się równy $1/2$, a nawet $1/3$ przekroju przewodu fazowego, w normalnych bowiem warunkach pracy przez przewód zerowy przepływa tylko różnica geometryczna prądów skutkiem niejednostajnie rozłożonego obciążenia poszczególnych faz. Na podstawie analizy warunków ochrony przed porażeniem przez zerowanie dochodzimy jednak do wniosku, że przewody zerowe o znacznie zmniejszonym przekroju mogą okazać się w niektórych przypadkach niewystarczające ze względu na zbyt duże oporności obwodu, a zbyt małe prądy zwarciorowe. W najnowszych przepisach niemieckich VDE 0100 z 1953 r. spotykamy już wymagania, aby przekrój przewodu zerowego był równy co najmniej przekrojowi przewodów fazowych. Jedynie w kablach wielożyłowych o przekrojach ponad 16 mm² przepisy zezwalają, żeby przekrój żyły zerowej był nieco mniejszy.

Uważamy, że skuteczną ochronę przed porażeniami w urządzeniach zerowanych — nawet w przypadku nie działania zabezpieczeń zwarciorowych — można uzyskać przez zwiększenie przekroju przewodu zerowego i przewodów zerujących w stosunku do przekroju przewodu fazowego. Zakładając, że największe napięcie uszkodzenia, które może się pojawić na częściach zerowanych, nie powinno przekraczać wartości U_z otrzymujemy:

$$\frac{s_0}{s_f} = \frac{U_f - U_z}{U_z},$$

stąd otrzymuje się stosunki przekrojów podane w tabl. IV.

Tablica IV

Napięcie sieci	$U_d = 65 \text{ V}$	$U_d = 42 \text{ V}$
380/220 V	$s_0 = 2,4 s_f$	$s_0 = 4,25 s_f$
220/127 V	$s_0 = s_f$	$s_0 = 1,97 s_f$

Powiększenie przekroju przewodu zerowego można uzyskać:

a) w sposób bezpośredni przez zwiększenie rzeczywistego przekroju żyły zerowej lub zerującej w przewodach i kablach, co jest na ogół dość kosztowne i nieraz trudne do wykonania w istniejącej już instalacji elektrycznej;

b) w sposób pośredni przez połączenie równoległe do żyły zerowej uziemionych mas metalowych, jak np. powłok ołowianych kabli, rurociągów, konstrukcji stalowych itp. o dużym przekroju i dużej przewodności elektrycznej. Ważne jest jednak, aby takie masy metalowe wykazywały na całej swej długości dostateczną ciągłość metaliczną i były połączone równoległe do przewodu zerowego. Przez wielokrotne przyłączenie przewodu zerowego i zerowanych części do tej samej sieci wodociągowej, przez umiejętne wyzyskanie dużych mas metalowych, np. konstrukcji stalowych w zakładach przemysłowych, i przez połączenie ich równoległe do przewodu zerowego, można w ten sposób obniżyć napięcie na przewodzie zerowym, że nawet w przypadku nie działania ochrony zwarciorowej zerowane części nie będą stanowić żadnego niebezpieczeństwa porażenia.

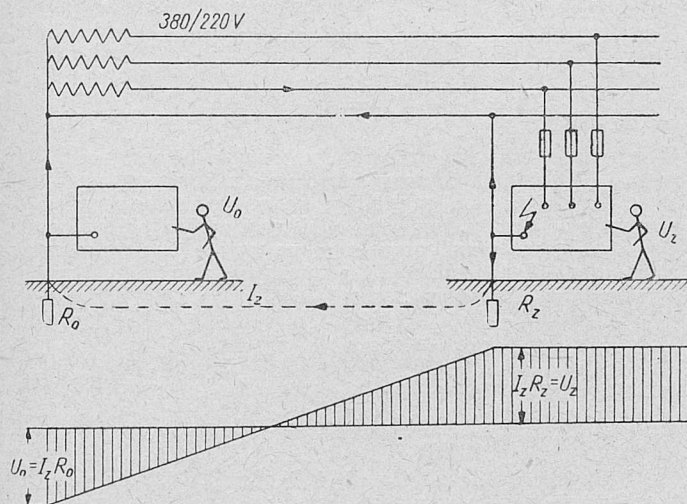
Ograniczenie wielkości napięcia uszkodzenia na częściach zerowanych przez zwiększenie przekroju przewodu zerowego okazuje się jednak środkiem mało skutecznym w przypadku linii napowietrznych. Oporności indukcyjne przewodów napowietrznych mają duży wpływ na wartość prądów zwarciorowych i spadki napięć i stosunkowo mało zmieniają się ze zwiększeniem przekroju przewodów.

6. Skuteczność uziemienia przewodu zerowego na obu końcach linii.

W takim układzie przewód zerowy jest uziemiony raz na początku przez połączenie go z uziemionym punktem zerowym transformatora, drugi raz na końcu, przy ostatnim odgałęzieniu przewodu zerowego. W przypadku niewylączenia prądu zwarciorowego napięcie względem ziemi części zerowanej wyniesie wówczas:

$$U_z = k \cdot \frac{U_f}{\left(1 + \frac{R_0}{R_z}\right)},$$

gdzie R_0 jest opornością uziemienia punktu zerowego transformatora, R_z jest opornością uziemienia na końcu przewodu zerowego. Charakterystyczne jest to, że wartość napięcia uszkodzenia części zerowanych U_z zależy nie od bezwzględnych war-

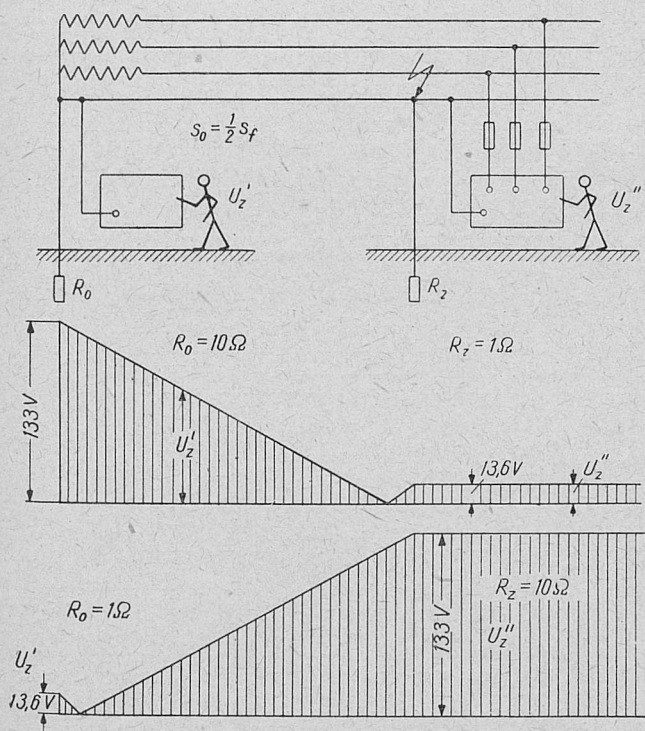


Rys. 3. Rozkład napięć uszkodzenia względem ziemi na przewodzie zerowym przy niedziałaniu ochrony zwarciowej i dodatkowym uziemieniu przewodu zerowego na końcu

tości oporności uziemień R_0 i R_z , ale od stosunku tych oporności $R_0:R_z$.

Rozkład napięć uszkodzenia względem ziemi na przewodzie zerowym w przypadku gdy $R_0 = R_z$ przedstawia rys. 3.

W przypadku, gdy $R_0 \neq R_z$, rozkład napięć na przewodzie zerowym przedstawia się w sposób następujący: a) przy $R_0 > R_z$ — napięcie części zerowanej, w której nastąpiło zwarcie,



Rys. 4. Rozkład napięć uszkodzenia na przewodzie zerowym przy różnych opornościach uziemień przewodu zerowego i punktu zerowego

będzie niższe niż napięcie punktu zerowego; b) przy $R_0 < R_z$ rzecz się ma odwrotnie. Rys. 4 podaje rozkład napięć uszkodzenia względem ziemi na przewodzie zerowym dla przypadków:

$$R_z > R_0, \quad (R_z = 10 R_0), \\ R_0 > R_z, \quad (R_0 = 10 R_z),$$

przy czym dla uproszczenia przyjęto, że oporności uzwojeń transformatora zasilającego daną linię są bardzo małe w stosunku do oporności przewodów fazowych i przewodu zerowego, te ostatnie zaś są znów bardzo małe w porównaniu z opornością-

mi uziemień przewodu i punktu zerowego tak, że można je pominąć. Uproszczenia te przyjęto dla wyraźniejszego przedstawienia zależności i wielkości napięć, które mogą wystąpić na zerowanych częściach metalowych. W praktyce jednak należy przy obliczaniu prądów zwarciowych, kontroli warunków samowylączenia i wielkości napięć na częściach zerowanych zawsze uwzględniać wszystkie oporności czynne i bierne obwodu, w przeciwnym bowiem razie otrzymane wyniki obliczeń mogą łatwo doprowadzić do fałszywych wniosków.

Na podstawie podanych przykładów można stwierdzić:

1) zastosowanie dodatkowego uziemienia na końcu przewodu zerowego jest celowe, gdyż w przypadku zwarcia fazy z zerowaną częścią urządzenia i niedziałania ochrony zwarciowej, obniża się napięcie uszkodzenia, które wystąpi na częściach zerowanych;

2) wielkości napięć uszkodzenia, które wystąpią wówczas na przewodzie zerowym i przyłączonych do niego częściach zerowanych, zależą od odległości od punktu zerowego transformatora, przy czym najwyższa wartości napięcia uszkodzenia na przewodzie zerowym zależna jest od stosunku $R_0:R_z$;

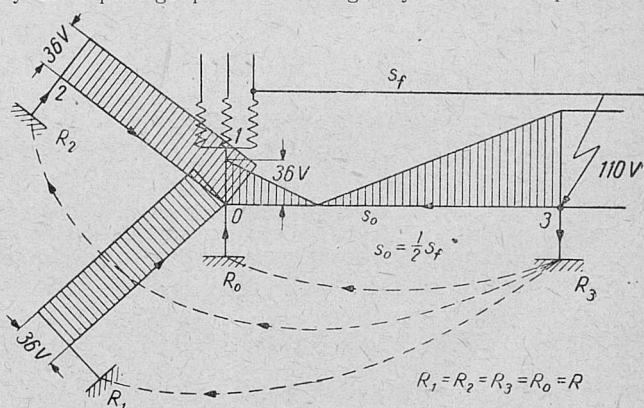
3) uziemiony punkt zerowy transformatora znajdzie się wówczas pod napięciem względem ziemi U_0 , które wyniesi:

$$U_0 = k \frac{U_f}{\left(1 + \frac{R_z}{R_0}\right)},$$

jest ono również zależne od stosunku oporności uziemień, lecz stosunku odwrotnego. Wszystkie przewody zerowe wychodzące z punktu zerowego transformatora będą się wówczas znajdować pod napięciem U_0 względem ziemi.

6. Wpływ uziemień innych przewodów zerowych.

Rys. 5 przedstawia rozkład napięć uszkodzenia w przypadku, gdy ze wspólnego punktu zerowego wychodzi kilka przewodów



Rys. 5. Wpływ uziemień przewodów zerowych wychodzących z jednego punktu zerowego transformatora na rozkład napięć uszkodzenia na przewodach zerowych przy niedziałaniu ochrony zwarciowej

zerowych, mających na swych końcach również uziemienia. W ogólnym przypadku — przy liczbie n przewodów zerowych z uziemieniami o opornościach odpowiednio: $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ — wypadkową oporność punktu zerowego R_0' otrzyma się z równania:

$$\frac{1}{R_0'} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n};$$

np. w przypadku trzech przewodów zerowych, wychodzących z punktu zerowego gdy $R_1 = R_2 = R_3 = R_0 = R$, wypadkową oporności uziemień punktu zerowego transformatora w stosunku do oporności uziemienia przewodu zerowego R_3 wyniesie $R_0' = 1/3 R$.

W przypadku zwarcia na końcu przewodu zerowego w miejscu 3 i niedziałania ochrony zwarciowej napięcie uszkodzenia, które pojawi się tam na zerowanych odbiornikach, wyniesie przy napięciu fazowym U_f

$$U_z = k \frac{U_f}{\left(1 + \frac{R_0'}{R_z}\right)} = k \frac{3U_f}{4}.$$

Równocześnie napięcie względem ziemi punktu zerowego transformatora i wychodzących z niego przewodów wyniesie

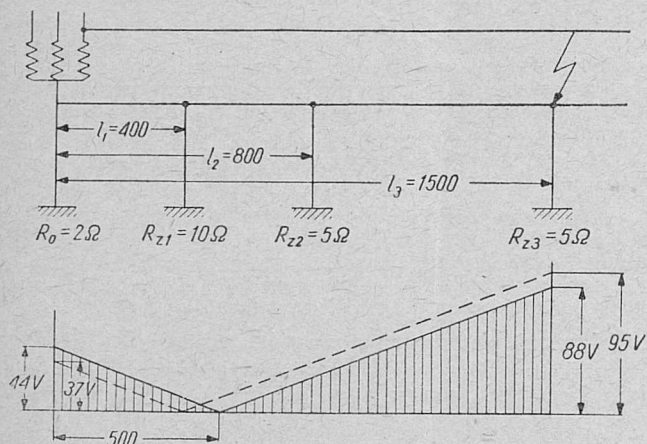
$$U_0 = k \cdot \frac{U_f}{4}.$$

Pod napięciem U_0 względem ziemi będą znajdować się przewody zerowe, wychodzące z punktu zerowego transformatora, choć punkt ten jest uziemiony i uziemione są przewody zerowe na początku i na końcu linii. Dotknięcie przedmiotów zerowanych może powodować w pewnych warunkach rażenie elektryczne, przy czym obszar zagrożenia tym niebezpieczeństwem może być bardzo duży.

Przy tych samych wartościach oporności uziemień punktu zerowego R_0 i oporności uziemienia przewodu zerowego R_3 — przy jednym tylko przewodzie zerowym wychodzącym z transformatora — napięcia względem ziemi wynosiły:

$$U_z = U_0 = k \frac{U_f}{2}.$$

Z powyższego wynika, że uziemione przewody zerowe wychodzące z tego samego punktu zerowego transformatora pod-



Rys. 6. Wpływ wielokrotnych uziemień przewodu zerowego na rozkład napięć uszkodzenia

Rozkład napięć uszkodzenia na przewodzie zerowym:
linia ciągła przy uziemieniach $R_0, R_{21}, R_{22}, R_{23}$,
linia przerywana przy uziemieniach R_0, R_{23} .

wyższą napięcie uszkodzenia U_z zerowanego odbiornika, w którym nastąpiło zwarcie fazy z ziemią, natomiast obniżają napięcie U_0 względem ziemi punktu zerowego i wszystkich części zerowanych, przyłączonych do innych przewodów zerowych tego samego transformatora.

7. Wpływ wielokrotnych uziemień przewodu zerowego i przewodów zerujących.

Jeżeli długość przewodów zerujących, to jest przewodów łączących części zerowane z przewodem zerowym, przekracza 100 m, wówczas są one zazwyczaj dodatkowo uziemiane na końcach zwłaszcza wtedy, kiedy są przewodami napowietrznymi. Uziemienie dodatkowe nie jest na ogół konieczne, gdy przewody zerujące stanowią czwartą żyłę w kablu lub gdy w urządzeniu elektrycznym chronionym przez zerowanie stosowana jest samoczynna kontrola ciągłości przewodu zerującego i zerowego (np. w przewodach oponowych do wiertarek górniczych itp.). Niekiedy również sam przewód zerowy jest wielokrotnie uziemiany np. w rozdzielniach i miejscach rozgałęzienia. Uziemienia te obniżają wypadkową oporność uziemienia przewodu zerowego.

Dla przedstawienia wpływu dodatkowych uziomów na długości przewodu zerowego niech posłuży przykład liczbowy według rys. 6, gdzie podano zarówno odległości, jak i oporności uziemień. Współczynnik

$$k = \frac{s_f}{s_0 + s_f} = \frac{6}{4 + 6} = 0,6.$$

Spadek napięcia na przewodzie zerowym, pomijając przepływ prądu do ziemi, wynosi

$$U_z = k \cdot U_f = 0,6 \cdot 220 = 132 \text{ (wolt)}.$$

Odległość l_0 od transformatora, w której przewód zerowy wykazuje napięcie względem ziemi równe zero, można obliczyć ze wzoru:

$$l_0 = \frac{\frac{l_1}{R_1} + \frac{l_2}{R_2} + \frac{l_3}{R_3}}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{400}{10} + \frac{800}{5} + \frac{1500}{5}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}} = 500 \text{ m}.$$

Napięcie względem ziemi na końcu przewodu zerowego U_z'' wyniesie

$$U_z = \frac{L - l_0}{L} \cdot U_z = \frac{1500 - 500}{1500} \cdot 132 = 88 \text{ V}.$$

Napięcie punktu zerowego transformatora względem ziemi będzie

$$U_0 = \frac{l_0}{L} \cdot U_z = \frac{500}{1500} \cdot 132 = 44 \text{ V}.$$

W przypadku zwarcia na ostatnim uziemieniu przewodu zerowego i niedziałania ochrony zwarciowej uszkodzonego odbiornika poszczególne — odgaleziające się od przewodu zerowego — przewody zerujące i zerowane odbiorniki znajdują się pod napięciem względem ziemi, przy czym najwyższe dopuszczalne napięcie względem ziemi części zerowanych równe 65 V wystąpi w odległości od transformatora

$$l_{65} = \frac{65}{U_z} \cdot (L - l_0);$$

w omawianym przykładzie

$$l_{65} = \frac{65}{132} \cdot (1500 - 500) = 484 \text{ m}.$$

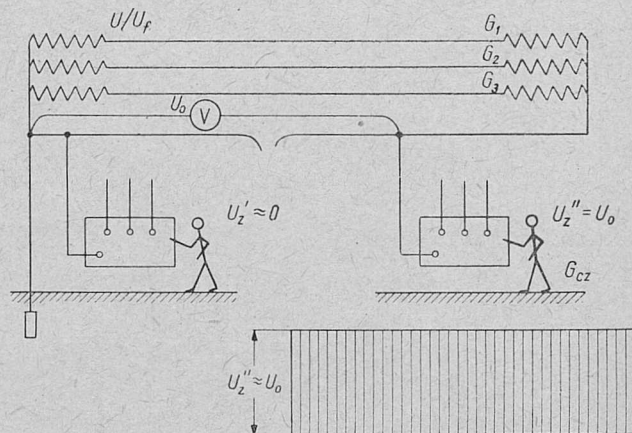
Gdyby nie było uziomów R_1 i R_7 , lecz tylko sam uziom R_3 i uziemienie punktu zerowego transformatora R_0 , wówczas najwyższe napięcie uszkodzenia przy zwarcie w punkcie 3 wynosiłoby:

$$U'_z = k \frac{U_f}{\left(1 + \frac{R_0}{R_3}\right)} = 0,6 \frac{220}{\left(1 + \frac{2}{5}\right)} \approx 95 \text{ V},$$

napięcie zaś punktu zerowego

$$U'_0 = 0,6 \frac{220}{\left(1 + \frac{5}{2}\right)} \approx 37 \text{ V}.$$

Stosowanie wielokrotnych uziemień przewodu zerowego niewiele zmieniło najwyższe napięcia, które wystąpią na częściach zerowanych. Oczywiście, nie można stąd wyprowadzać wniosków, że wielokrotne uziemienie przewodu zerowego bezpośrednio lub za pośrednictwem przewodów zerujących jest niecelowe. Jeżeli nawet wielokrotne uziemianie przewodu zerowego i przewodów zerujących nie jest w stanie wydatnie obniżyć napięcia uszkodzenia na częściach zerowanych, gdy zawiódą zabezpieczenia zwarciowe, to jednak sposób taki okazuje się bardzo skuteczny w przypadku np. przzerwania przewodu zerowego.



Rys. 7. Rozkład napięć uszkodzenia na częściach zerowanych przy przerwie przewodu zerowego i nierównomiernym obciążeniu faz

8. Przerwa w przewodzie zerowym.

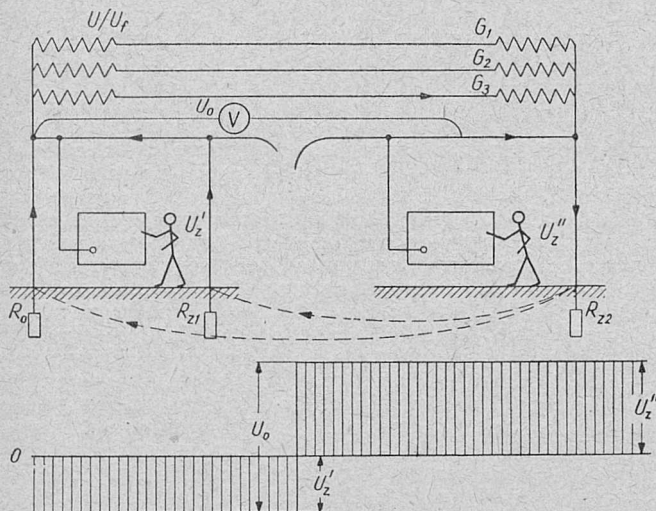
Przerwanie ciągłości przewodu zerowego stanowi może najbardziej niebezpieczny wypadek w układzie zerowań. Wówczas bowiem nie tylko ochrona przez zerowanie całkowicie zawodzi, ale jeszcze wszystkie zerowane części odbiorników mogą się znaleźć pod napięciem niebezpiecznym ze względu na porażenie. Mówiąc o przerwie w przewodzie zerowym mamy na myśli przypadkowe przzerwianie się przewodu skutkiem uszkodzenia. Wszystkie inne przerwy ciągłości przewodu zerowego w prawidłowo wykonanym urządzeniu elektrycznym muszą być wykluczone. W przewodach zerowych i zerujących nie wolno, jak wia-

domo, umieszczać bezpieczników ani wyłączników jednobiegowych, przewód zerowy musi wykazywać nieprzerwaną ciągłość od punktu zerowego transformatora aż do końca, tj. od miejsc, w których następuje przyłączenie przewodu zerującego do zerowanej osłony lub kadłuba.

Jeżeli jednak wskutek uszkodzenia nastąpi przerwa w przewodzie zerowym, wówczas można rozróżnić trzy przypadki:

- 1) przerwanie przewodu zerowego między dwoma uziemieniami roboczymi przewodu zerowego,
- 2) przerwanie przewodu zerowego za ostatnim uziemieniem,
- 3) przerwanie przewodu zerowego i opadnięcie zerowanej części tak, że nastąpiło jej zetknięcie z przewodem fazowym.

W tych wszystkich przypadkach ochrona przez zerowanie przestaje działać, a ponadto części zerowane mogą się znaleźć pod napięciem uszkodzenia niebezpiecznym pod względem porażenia. Z wyjątkiem trzeciego przypadku wartości napięć na częściach zerowanych zależą od rozkładu obciążeń między trzy fazy prądu trójfazowego. Ponieważ rozkład obciążeń w sieci trójfazowej rzadko kiedy bywa symetryczny, przeto z reguły należy liczyć się z pojawieniem się napięć na częściach zerowanych.



Rys. 8. Rozkład napięć uszkodzenia na częściach zerowanych przy przerwie przewodu zerowego między dwoma uziemieniami i nierównomiernym obciążeniu faz

Gdy sieć trójfazowa ma uziemienie tylko w punkcie zerowym transformatora, przy czym poszczególne fazy są obciążone niejednakowo, i gdy przewód zerowy ulegnie zerwaniu, wówczas (rys. 7) zerowane części odbiorników znajdujących się za przerwą znajdują się pod napięciem uszkodzenia:

$$U''_z = \frac{U_f(G_1 + a^2G_2 + aG_3)}{G_1 + G_2 + G_3 + G_c},$$

gdzie G_1, G_2, G_3 — wartości zespolone przewodności odbiorników w poszczególnych fazach,

G_c — przewodność ciała dotykającego (człowieka lub zwierzęcia),

U_f — napięcie fazowe,

$$a = e^{+j\frac{2\pi}{3}}.$$

Napięcie przewodu zerowego względem ziemi — na rysunku na lewo od przerwy — będzie praktycznie równe zeru ($U'_z \approx 0$). W przypadku, gdy $G_3 = 0$, a $G_2 = G_1$ — pomijając stosunkowo nieznaczną przewodność ciała ludzkiego G_c otrzymuje się dla napięcia na prawo od przerwy wartość:

$$U''_z = \frac{U_f(1 + a^2)}{2} = \frac{U_f}{2},$$

natomiast w przypadku obciążenia jednofazowego w fazie oznaczonej G_1 , gdy $G_2 = G_3 = 0$, otrzymuje się napięcie części zerowanych względem ziemi

$$U''_z = U_f,$$

tj. równe pełnemu napięciu fazowemu.

Jeżeli układ zerowany ma kilka uziemień przewodu zerowego i przerwa przewodu zerowego nastąpi za ostatnim uziemieniem, to wypadek taki można sprowadzić do opisanego wyżej. Napięcia uszkodzenia na częściach zerowanych, znajdujących się za przerwą i za ostatnim uziemieniem, mogą dojść do pełnego napięcia fazowego. Wypadek taki będzie mniej groźny,

gdy przerwa nastąpi w samym przewodzie zerującym, wówczas bowiem tylko odbiornik, do którego był doprowadzony dany przewód zerujący, traci ochronę przez zerowanie i jego kadłub może znaleźć się pod niebezpiecznym napięciem.

Gdy przerwa przewodu zerowego nastąpi między dwoma uziemieniami przewodu zerowego (rys. 8), wówczas odbiorniki zerowane znajdujące się zarówno po lewej, jak i po prawej stronie przerwy, znajdują się pod napięciem względem ziemi U'_z wzgl. U''_z . Napięcie przewodu zerowego względem punktu zerowego układu wyniesie wówczas:

$$U_o = \frac{U_f(G_1 + a^2G_2 + aG_3)}{G_1 + G_2 + G_3 + \frac{G_{z2} \cdot G_{ow}}{G_{z2} + G_{ow}}},$$

gdzie G_1, G_2, G_3 — zespolone przewodności odbiorników w poszczególnych fazach,

$G_{z2} = \frac{1}{R_{z2}}$ — przewodność uziemienia przewodu zerowego znajdującego się za miejscem przerwy,

$G_{ow} = \frac{1}{R_{ow}}$ — wypadkowa przewodność uziemień punktu zerowego i uziemień przewodu zerowego znajdujących się przed miejscem przerwy.

Napięcie przewodu zerowego względem punktu zerowego U_o rozłoży się na dwa różne napięcia względem ziemi, po obu stronach miejsca przerwy, tj.:

$$U_o = U'_z + U''_z,$$

przy czym

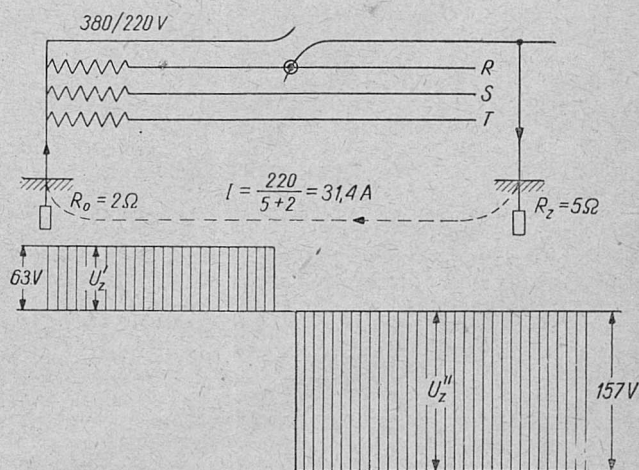
$$\frac{U''_z}{U'_z} = \frac{R_{z2}}{R_{ow}}.$$

W przypadku skrajnej niesymetrii obciążeń, tj. przy obciążeniu jednofazowym np. o oporności czynnej r , gdy oporności uziemień przewodu zerowego wynoszą R_{z1}, R_{z2} , oporność zaś uziemienia punktu zerowego R_o , i jeżeli przerwa w przewodzie zerowym nastąpi między uziemieniami R_{z1} i R_{z2} — napięcie przewodu zerowego względem ziemi po prawej stronie miejsca przerwy wyniesie:

$$U''_z = U_f \frac{R_{z2}}{r + R_{z2} + R_{ow}},$$

gdzie R_{ow} jest opornością wypadkową uziemień lewej części przewodu zerowego, napięcie zaś po lewej stronie od miejsca przerwy będzie

$$U'_z = U_f \frac{R_{ow}}{r + R_{z2} + R_{ow}}.$$



Rys. 9. Rozkład napięć uszkodzenia na częściach zerowanych przy przerwie i opadnięciu przewodu zerowego na przewód fazowy

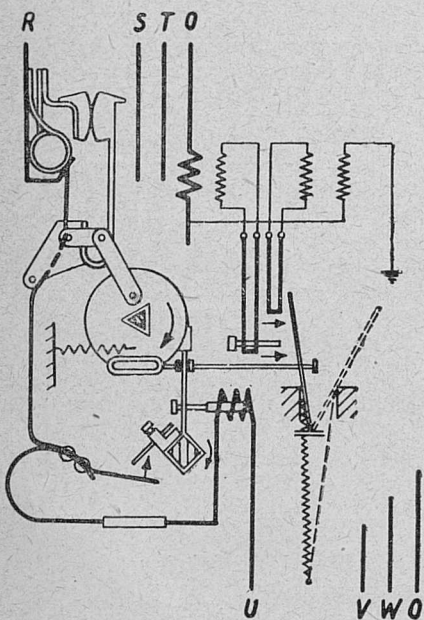
Jeżeli np. $r = 15$ omów, $R_o = 10$ omów, $R_{z1} = R_{z2} = 10$ omów, to oporność wypadkowa uziemień $R_{ow} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5$ omów; otrzymuje się wówczas następujące napięcia uszkodzenia na przewodzie zerowym względem ziemi:

$$\text{na prawo } U''_z = 220 \cdot \frac{10}{5 + 10 + 5} = 110 \text{ V},$$

$$\text{na lewo } U'_z = 220 \cdot \frac{5}{5 + 10 + 5} = 55 \text{ V.}$$

Wielokrotne uziemienie przewodu zerowego obniża więc w znacznym stopniu niebezpieczne napięcia uszkodzenia w przypadku przerwy w przewodzie zerowym.

Przerwanie przewodu zerowego i zawiśnięcie przerwanej części na gołym przewodzie fazowym zdarzyć się może właściwie tylko w liniach napowietrznych. Wypadek taki jest możliwy zwłaszcza wówczas, gdy przewód zerowy ma przekrój mniejszy niż przekrój przewodów fazowych, znaczne zaś naprężenia mechaniczne skutkiem zwiększonego obciążenia np. sadyż, parciem wiatru oraz drganiami, mogą spowodować przede wszystkim zerwanie przewodu zerowego. Przewód zerowy opadając na przewód fazowy powoduje pojawienie się niebezpiecznych napięć względem ziemi na częściach zerowanych, przy czym wielkości napięć na przewodzie zerowym zależą od stosunku oporności uziemień przewodu zerowego i punktu zerowego transformatora. Rozkład napięć na przewodzie zerowym dla tego przypadku podaje rys. 9.



Rys. 10. Schemat działania wyłącznika z przekątnikiem nadmiarowym w przewodzie zerowym

Opisane wyżej wypadki przerwy w przewodzie zerowym mogą wystąpić przede wszystkim w liniach napowietrznych.

W przewodach ruchomych narażonych często na uszkodzenia podczas pracy, np. w przewodach oponowych, stosuje się niekiedy specjalne układy, dające samoczynną kontrolę ciągłości żyły zerowej dla zapewnienia stałej ochrony przez zerowanie. W przypadku przerwania żyły zerowej następuje wówczas samoczynne odłączenie zerowanego odbiornika spod napięcia. Urządzenia takie stosowane są np. dla wiertarek górniczych ręcznych w kopalniach węgla na napięcie 125/72 V, które są zerowane.

9. Ocena ochrony przez zerowanie.

Opisane możliwości pojawiania się niebezpiecznych napięć względem ziemi na częściach zerowanych nawiązują istotnie poważne zastrzeżenia co do stosowania zerowania i były głównym powodem zakazu zerowania w przepisach PN/E-10.

Trzeba jednak przyznać, że zerowanie, jeżeli tylko jest wykonane prawidłowo, wyróżnia się szeregiem korzyści i zalet, jakich nie znajdujemy w innych rodzajach dodatkowych ochron przed porażeniem, jak np. w uziemieniach ochronnych.

Należy stwierdzić, że — w przypadku uszkodzenia izolacji i zwarcia fazy z zerowanym kadłubem lub osłoną — prawidłowo wykonane zerowanie wykazuje następujące cechy:

a) powoduje natychmiastowe odłączenie uszkodzonego odbiornika spod napięcia, a tym samym nie dopuszcza do pojawienia i utrzymywania się niebezpiecznych napięć na częściach metalowych, osłonach, kadłubach itp.;

b) działa niezależnie od wielkości chronionego odbiornika; c) nie podlega wpływom zewnętrznym, jak pory roku, temperatura i wilgotność gruntu, które to czynniki — jak wiadomo — w dużym stopniu wpływają na skuteczność uziemień ochronnych;

d) nie zmienia skuteczności ochrony przy wielokrotnym działaniu oraz umożliwia sprawdzenie działania ochrony w sposób stosunkowo prosty;

e) daje się wykonać w sposób łatwy i pewny i stanowi część urządzenia elektroenergetycznego;

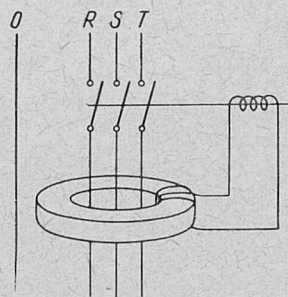
1) stanowi najtańsze i najekonomiczniejsze w ruchu rozwiązanie dodatkowej ochrony przed porażeniem w urządzeniach elektrycznych.

Tych kilka zalet było powodem, że w Polsce zagadnienie dopuszczenia zerowania w urządzeniach elektrycznych stało się w ostatnich latach ponownie przedmiotem rozważań, prac Komisji PKN i artykułów na łamach krajowej prasy fachowej. Obecnie przeważa na ogół opinia za dopuszczeniem zerowania, jako dodatkowej ochrony przed porażeniem elektrycznym, kładzie się jednak duży nacisk na prawidłowe wykonanie zerowania, a szczególnie zabezpieczeń zwarciovych. Nieprawidłowo wykonane lub znajdujące się w nieodpowiednim stanie urządzenia zerowane nie tylko nie zmniejsza, ale — przeciwnie — zwiększa jeszcze niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego.

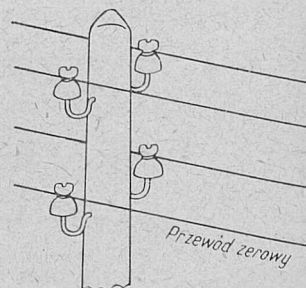
Należy zwrócić szczególną uwagę na znaczenie prawidłowego zabezpieczenia zwarciovego w urządzeniach zerowanych. Stosowanie, na przykład, bezpieczników „drutowanych” lub blokowanie wyłączników nadprądowych w urządzeniach zerowanych należy uważać za narażanie życia ludzkiego na niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego. Sytuacja ta powinna być znana jak najszerszemu ogółowi elektryków.

10. Zasady wykonania zerowania według projektu PN/E-8005.

W projekcie przepisów na zabezpieczenia przed porażeniami elektrycznymi PN/E-8005 przy stosowaniu zerowania wymaga się przede wszystkim zapewnienia przepływu dostatecznie dużych prądów zwarciovych dla należytego działania ochrony zwarciovowej. Wartości te podane są w tabl. II. Są one uwarunkowane charakterystyką działania normalnych bezpieczników topikowych wykonanych według PN/E-40.1. Dla zadziałania zabezpieczeń zwłoczących zwłaszcza dużej mocy odłączalnej, natężenia prądów zwarciovych muszą być znacznie większe. Mniejsze wartości prądów zwarciovych, niż podane w tabl. II, są dopuszczalne, jeżeli tylko można udowodnić, że stosowane zabezpieczenia zwarciovowe są w stanie wyłączyć zwarcie w czasie do 1 sekundy. W niektórych przypadkach, gdyby uzyskanie dużych prądów zwarciovych było trudne lub zmuszało do zwiększenia przekroju przewodów, można stosować przekątnik nadprądowy, którego cewka jest włączona w obwód przewodu zerowego i który powoduje wyłączenie chronionego odbiornika trójfazowego spod napięcia, skoro prąd płynący przez przewód zerowy przekroczy pewną wartość, na którą przekątnik jest nastawiony (rys. 10). Ponieważ przez przewód zerowy przepływa przy obciążeniu trójfazowym stosunkowo nieznaczny prąd wyrównawczy, przekątnik w przewodzie zerowym może dać czułą ochronę i szybkie wyłączenie w przypadku zwarcia z zerowaną częścią odbiornika nawet wtedy, kiedy zabezpieczenia zwarciovowe topikowe jeszcze nie działają. W podobny sposób oddziaływa przekątnik różnicowy na składową zerową prądu, przepły-



Rys. 11. Zasada działania ochrony różnicowej



Rys. 12. Rozmieszczenie przewodów fazowych i przewodu zerowego w liniach napowietrznych

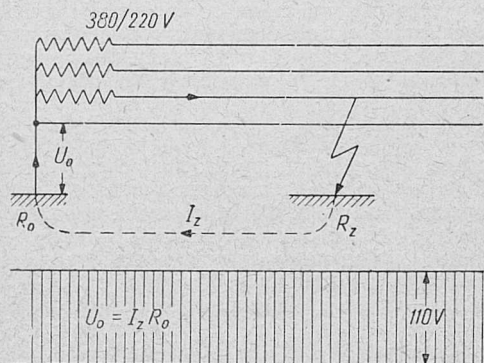
wającego przez przewód zerowy, bądź też przez ziemię przy bezpośrednim zwarciu dowolnej fazy z ziemią (rys. 11).

Staranne ułożenie przewodu zerowego w dużym stopniu zmniejsza niebezpieczeństwo jego uszkodzenia, a tym samym zwiększa pewność działania zerowania. W instalacjach elektrycznych wewnętrznych przewód zerowy powinien być układany tak samo, jak inne przewody fazowe, tj. w rurkach izolacyjnych lub stalowo-pancernych, albo też jako żyła izolowana wewnątrz przewodów kablekowych i piaszczowych.

Ponieważ przewód zerowy może znaleźć się pod pełnym napięciem fazowym względem ziemi, musi przeto posiadać normalną izolację i być wykonany w ten sposób, jak przewody fazowe. Dla uniknięcia pomyłek przy montażu instalacji dużą

wagę przywiązuje się do wyraźnego odróżniania żyły zerowej od innych żył fazowych.

W sieciach kablowych układanie przewodu zerowego osobno byłoby niewłaściwe, gdyż wtedy łatwo może powstać uszkodzenie. Przewód zerowy powinien być tu wykonany jako izolowana czwarta żyła kabla, skręcona wraz z innymi żyłami w rdzeń pod wspólną powłoką ołowianą i pancerzem kabla. Wyjątkowo

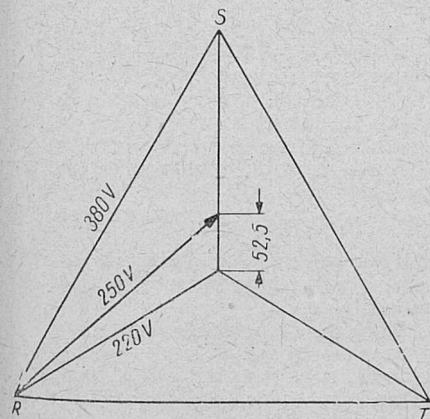


Rys. 13. Rozkład napięć uszkodzenia na przewodzie zerowym przy zwarciu przewodu fazowego z ziemią

$$I_z = \frac{U_f}{R_0 + R_z}; \quad U_0 = U_f \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_z}; \quad U_0 = \frac{U_f}{2} \text{ dla } R_0 = R_z$$

przy przeróbkach sieci kablowej z trójprzewodowej na czteroprzewodową, prądu trójfazowego (np. przy zmianie napięcia z 220 na 380 V) dopuszcza się w kablach już ułożonych w ziemi stosowanie powłoki ołowianej jako żyły zerowej pod warunkiem, że przekrój powłoki ołowianej jest wystarczająco duży, poszczególne zaś odcinki kabli mają powłoki ołowiane należycie połączone ze sobą w mufach przelotowych, co należy sprawdzić drogą pomiarów. Niezależnie od powyższego zaleca się łączenie powłoki ołowianej równolegle z żyłą zerową znajdującą się wewnątrz kabla, gdyż w ten sposób uzyskuje się zwiększenie przekroju przewodu zerowego.

Szczególnie ważne jest należyte wykonanie przewodu zerowego w sieciach napowietrznych. Przekrój przewodów zerowych w liniach napowietrznych o przekroju przewodów fazowych do 50 mm² powinien być ze względów mechanicznych taki sam, jak przewodów fazowych; powyżej przekroju 50 mm² — może być o połowę niższy, lecz nie mniejszy niż 50 mm². Jednak i w tych warunkach nie można wykluczyć ryzyka zerwania przewodu zerowego. Zalecane niekiedy umieszczanie przewodu zerowego na najniższym poziomie linii napowietrznej (rys. 12), aby zerwany przewód zerowy nie zawisł na przewodach fazowych i nie znalazł się pod napięciem, jest słuszne i celowe. W praktyce jednak trzeba było nieraz przewód zerowy umieszczać wręcz odwrotnie, tj. na najwyższym poziomie linii, aby uchronić go przed kradzieżą, której ofiarą padały przede wszystkim przewody zerowe, ponieważ „były bez napięcia”. Częste uziemianie przewodu zerowego i przewodów zerujących w dużym stopniu zmniejsza niebezpieczeństwo, wynikające przy przerwie przewodu zerowego. Przewód zerowy w liniach napo-



Rys. 14. Określenie dopuszczalnego wzrostu napięcia punktu zerowego w sieciach 380/220 V

wietrznych powinien być uziemiany na wszystkich swych rozgałęzieniach, na końcu linii oraz co 500 m na torach nie mających rozgałęzień; ponadto należy wykonać dodatkowe uziemienie przewodu zerowego w przyłączach domowych, jeżeli w danym urządzeniu stosowana jest ochrona przez zerowanie.

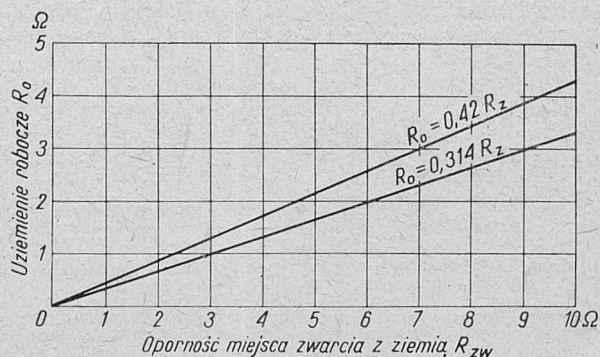
Uziemienia punktu zerowego transformatora oraz przewodu zerowego i przewodów zerujących, a także wszelkie uziemienia zerowanych części metalowych, są w tym układzie uziemieniami roboczymi. Niestety, trzeba przyznać, że w instalacjach stosujących zerowanie zbyt mało uwagi poświęca się należytemu wykonaniu uziemień roboczych.

Wypadkowa wartość oporności uziemienia punktu zerowego transformatora musi być dostatecznie niska z dwóch powodów: 1) na wypadek przerzutu wysokiego napięcia na stronę niskiego napięcia, 2) w przypadku bezpośredniego zwarcia dowolnej fazy z ziemią. W obu tych przypadkach dostatecznie niskie wartości oporności uziemienia punktu zerowego chronią przed nadmiernym podskokiem napięcia punktu zerowego względem ziemi.

W przypadku pierwszym, tj. przy przebiciu izolacji uzwojeń wysokiego napięcia transformatora i przerzucie wysokiego napięcia na stronę napięcia niskiego, oporność uziemienia punktu zerowego R_0 musi być tak dobrana, aby przepływający do ziemi prąd doziemienia sieci wysokiego napięcia I_c , wzgl. prąd powodujący wyłączenie transformatora po stronie wysokiego napięcia I_w , nie powodowały nadmiernego wzrostu napięcia względem ziemi punktu zerowego. Na ogół wystarcza oporność uziomu punktu zerowego transformatora, odpowiadająca warunkowi:

$$R_0 \leq \frac{125}{I} \leq 4 \Omega,$$

gdzie $I = I_c$ — prąd doziemienia sieci wysokiego napięcia, przepływający przy doziemieniu jednej fazy, albo $I = I_w$ — prąd powodujący wyłączenie transformatora po stronie wys. nap.



Rys. 15. Zależność oporności uziemienia punktu zerowego od oporności miejsca zwarcia fazy z ziemią

Jeżeli z punktu zerowego wyprowadzony jest tylko jeden przewód zerowy uziemiony dodatkowo na drugim swym końcu, a oporność tego uziemienia wynosi R_z , wówczas napięcie, które pojawi się na przewodzie zerowym i zerowanych częściach metalowych wskutek przerzutu wysokiego napięcia, wyniesie

$$U_0 = I_c \cdot \frac{R_0 \cdot R_z}{R_0 + R_z} \text{ woltów.}$$

Ponieważ oporność uziemienia przewodu zerowego $R_z < 10$ omów, prądy zaś doziemienia I_c po stronie wysokiego napięcia transformatora w sieciach z izolowanym punktem gwiazdowym rzadko kiedy przekraczają 20 A, można oczekiwać, że napięcia, które wystąpią na częściach zerowanych skutkiem przerzutu wysokiego napięcia, nie będą niebezpieczne z punktu widzenia porażenia.

Wielkość oporności uziomu punktu zerowego transformatora wpływa również na podwyższenie się napięcia względem ziemi punktu zerowego i zerowanych części w przypadku zwarcia z ziemią dowolnej fazy sieci niskiego napięcia (rys. 13). Chcąc, aby i w tych przypadkach napięcie względem ziemi przewodów fazowych w sieciach na 380/220 V nie przekroczyło wielkości 250 V, napięcie punktu zerowego względem ziemi nie może przekroczyć 52,5 V, jak to wynika z zależności geometrycznych (rys. 14). Stąd można obliczyć graniczną wielkość oporności punktu zerowego, w zależności od oporności uziemienia miejsca zwarcia fazy z ziemią — R_{zw} .

$$R_0 \leq \frac{52,5}{220 - 52,5} \cdot R_{zw} \leq 0,314 R_{zw}.$$

Rys. 15 podaje wielkości wymaganych oporności uziemienia punktu zerowego w zależności od oporności miejsca doziemienia fazy. Oporność uziemienia punktu zerowego powinna równocześnie tak być dobrana, aby w przypadku zwarcia fazy z ziemią

napięcie punktu zerowego i zerowanych części względem ziemi nie przekroczyło 65 V. Stąd wynika zależność

$$R_0 \leq \frac{65}{220 - 65} \cdot R_{zw} \leq 0,42 R_{zw}.$$

Podane wyżej wzory nie pozwalają jednak na obliczenie oporności uziemień punktu zerowego transformatora R_0 , gdyż nieznana jest wielkość R_{zw} przygodnego uziemienia w miejscu zwarcia fazy z ziemią. Na ogół należy się spodziewać, że oporności miejsca zwarcia fazy z ziemią będą dość znaczne i rzadko kiedy będą mniejsze od 10 Ω . Przyjmując wartość $R_{zw} \geq 10$ omów można uważać, że uziemienie punktu zerowego transformatora o oporności $\leq 4 \Omega$ całkowicie spełni wymagane wyżej warunki zwalczając, że inne uziemienia przewodów zerowych przyczynią się w dużym stopniu do dalszego zmniejszenia wypadkowego oporności uziemienia układu zerowego.

Według projektu przepisów PN/E-8005 oporność uziemienia punktu zerowego prądnic i transformatorów R_0 przy napięciu 1000 V nie powinna przekraczać 4 Ω . Wyjątkowo dla transformatorów małej mocy do 100 kVA, stosowanych często jako transformatory przenośne, dopuszcza się oporność uziemienia 10 Ω , licząc się zarówno z niewielkimi prądami zwarcia z ziemią, jak i z trudnościami praktycznymi wykonania uziomów o dostatecznie małej oporności w urządzeniach tymczasowych i w niewielkich sieciach np. wiejskich.

Oporności uziemień dodatkowych przewodu zerowego R_z nie powinny przekraczać 10 Ω , lecz i tutaj dopuszcza się wyjątek, a mianowicie w liniach napowietrznych sieci wiejskich dopuszcza się oporność poszczególnego uziomu do 30 Ω , licząc się z praktycznymi możliwościami, z zastrzeżeniem jednak, że liczba tych uziomów nie może być mniejsza od 3. W napowietrz-

nych sieciach wiejskich z wielu względów bardziej celowe jest położenie większego nacisku na zwiększenie liczby uziomów przewodu zerowego niż na zmniejszenie oporności każdego z nich. Należy jednak przyznać, że w napowietrznych sieciach wiejskich ochrona przez zerowania rzadko będzie mogła zapewnić całkowite bezpieczeństwo przed porażeniem. W wielu przypadkach w gospodarstwach rolnych, prowadzących ponadto gospodarkę hodowlaną, celowe będzie zastosowanie dodatkowej ochrony przekąźnikowej celem zabezpieczenia ludzi i zwierząt domowych przed porażeniem elektrycznym wskutek pojawienia się napięć na częściach metalowych. Napięcia 24 V są tu już niebezpieczne i mogą powodować rażenia zwierząt domowych.

11. Wnioski.

1) Zerowanie, jako dodatkowy środek ochrony przed porażeniem, wykonano zgodnie z obecnymi poglądami zawartymi w projekcie przepisów PN/E-8005 i utrzymane w należyтым stanie, daje prosty i pewnie działający sposób ochrony.

2) Zerowanie, wykonane w sposób sprzeczny z podanymi zasadami, nie stanowi ochrony przed porażeniem, a — przeciwnie — zwiększa znacznie niebezpieczeństwo porażenia, które wówczas staje się nawet większe, niż przy braku wszelkiej dodatkowej ochrony.

3) Należy podkreślić znaczenie prawidłowego doboru i działania zabezpieczeń zwarciovych, jako decydujących o skuteczności ochrony przez zerowanie.

4) Sztuczne lub naturalne zwiększenie przekroju przewodu zerowego, dodatkowe uziemianie przewodu zerowego i przewodów zerujących, jako też ochrona przekąźnikowa, stosowane w urządzeniach zerowanych, umożliwiają osiągnięcie zupełnego bezpieczeństwa przed porażeniem nawet w najtrudniejszych warunkach.

TADEUSZ SCHWARTZ
Instytut Elektrotechniki

Nowe zastosowanie grzejnictwa pojemnościowego (przeróbka tytoniu)

621.365.55

Treść. Zasada stosowania ciepła, wytwarzanego elektrotermiczną metodą pojemnościową, w procesach przeróbki liści tytoniu przy produkcji wyrobów tytoniowych.

Новое применение емкостного нагрева (табачное производство). Основы применения тепла, производимого емкостным электротермическим методом, в процессе переработки табачных листьев при производстве табачных изделий.

New use for dielectric heating system (tobacco processing). Principle of application, in the processing of tobacco leaves and in tobacco production, of heat generated by electrothermal dielectric method.

Większość procesów przetwórczych, którym są poddawane liście tytoniu w celu ich przemiany w wyroby tytoniowe, wymaga zużycia ciepła głównie w dwu procesach przeróbki tytoniu — suszenia liści i fermentacji.

Przemiany zachodzące w trakcie suszenia polegają nie tylko na usuwaniu wilgoci, obejmują bowiem przebiegi biologiczno-chemiczne, nazywane ogólnie wstępną fermentacją.

Suszenie liści odbywa się w suszarniach dwójakiego rodzaju — pojedynczych lub zbiorowych. Te ostatnie są ze względu na swą wielkość bardziej ekonomiczne i zastępują stopniowo małe prymitywne suszarnie pojedyncze.

W zależności do rodzaju i wielkości suszarni proces suszenia liści tytoniowych może wymagać zużycia 2 ÷ 4 kG węgla na 1 kG wysuszonego surowca. W trakcie procesu suszenia liście tytoniu zyskują nowe własności i jednocześnie tracą większą część wody, której zawartość spada z 80 ÷ 90% co najmniej do 18%.

W procesie fermentacji można wyodrębnić trzy etapy. Pierwszy polega na ogrzaniu surowca do temperatury wynoszącej ok. 50 ÷ 60°C, a więc jest przemianą pochłaniającą ciepło. Właściwa fermentacja („fermentacja burzliwa”), odbywająca się w drugim etapie, nie wymaga zużycia ciepła ze względu na jej egzotermiczny charakter. Etap końcowy ma na celu wysuszenie surowca do wilgotności 15 ÷ 18% i ostudzenie go.

Komory fermentacyjne o pojemności dochodzącej do 600 m³ mieszczą przeciętnie 40 t materiału i są ogrzewane przedmuchiwaniem powietrzem, otrzymującym ciepło z nagrzewnic parowych. Proces fermentacji wymaga zużycia ok. 200 kG węgla na 1 t przerabianego wsadu.

Poza dwiema wymienionymi fazami przetwórczymi ciepło jest używane także w końcowych procesach przeróbki, obejmujących między innymi kranienie liści i ewentualnie wyrób papierosów. Ciepło jest przy tym niezbędne przede wszystkim do procesów klimatyzacyjnych i do nawilgocenia tytoniu, które ma

na celu uzyskanie odpowiedniej elastyczności materiału, zapobiegającej zarówno kruszeniu się, jak i zlepianiu się kranianki. Z tych względów dąży się do utrzymania wilgotności tytoniu wynoszącej ok. 19%. Jeżeli celem wyrobu są papierosy, to podaje się je jeszcze końcowemu suszeniu do wilgotności ok. 12%, co zabezpiecza je od pleśnienia.

Powyższy przegląd procesów przeróbki tytoniu wskazuje, że dla elektrotermika procesy cieplne wchodzące w zakres produkcji wyrobów tytoniowych są z wielu względów godne zainteresowania.

Przed wszystkim należy zwrócić uwagę na skalę produkcji wyrobów tytoniowych (u nas ok. 40 000 t rocznie), gdyż stąd wynikają sumaryczne ilości rocznie zużywanego ciepła.

Procesy termiczne towarzyszące masowej produkcji są zawsze interesujące szczególnie z energetycznego punktu widzenia, gdyż każde usprawnienie daje w tych przypadkach proporcjonalnie do wielkości produkcji duże oszczędności. Obróbka cieplna tytoniu — jak ogólnie nazywamy różnorakie procesy jego przeróbki, zużywające ciepło — jest interesująca jednak nie tylko ze względu na masowy charakter produkcji tej używki, lecz także z tego względu, że ta obróbka dotychczas odbywa się zwykle dość prymitywnymi sposobami przy małym wyzyskaniu paliwa. Poza tym dotychczasowe sposoby obróbki cieplnej tytoniu nie dają na ogół prawidłowych rezultatów w ich głównych przejawach, do których należy przede wszystkim wysuszenie. Na przykład, w procesie nazwanym suszeniem liści nie uzyskuje się jednorodnego odwilgocenia, gdyż przy pomocy dotychczasowych metod suszenia nie jednakowo łatwo daje się usunąć wodę ze wszystkich części liścia. Tak samo nierównomierne wysuszenie uzyskuje się przy końcowej obróbce cieplnej papierosów. Przy dotychczasowych sposobach doprowadzania ciepła przez przewodzenie, promieniowanie lub konwekcję ośrodek, z którego wypływa ciepło, ma zawsze wyższą temperaturę od tej, która jest niezbędna i wystarczająca do suszenia

w materiale wysuszonym. Spadek temperatury od źródła ciepła w głąb do materiału musi być tym większy, im szybciej ma odbywać się proces nagrzewania i im gorzej materiał wysuszany przewodzi ciepło. Tytoń jest złym przewodnikiem ciepła; ponadto ścianki naczyń włoskowatych tkanki listnej działają izolująco, chroniąc zawartą w nich wodę od ciepła doprowadzanego z zewnątrz. We włóknach roślin to ochronne działanie jest silniejsze niż w pozostałych częściach tkanki listnej, co stanowi przyczynę nierównomierności wysuszania metodami pośrednimi.

Modyfikacja metod grzejnych w celu uzyskania większej prawidłowości suszenia szła w różnych kierunkach. W zakresie metod elektrotermicznych były notowane np. próby suszenia liści tytoniu przy pomocy nagrzewania metodą promiennikową; jednak nagrzewanie przy pomocy promieni podczerwonych nie dało dotychczas efektywnych korzyści. Elektryczne nagrzewanie oporowe jest stosowane w niektórych wytwórniach w końcowych procesach produkcji wyrobów tytoniowych, ponieważ jednak jest to nagrzewanie pośrednie, wobec tego nie daje ono lepszych wyników suszenia od wyników uzyskiwanych metodami płomiennymi. Przemysł tytoniowy jest wobec tego w dalszym ciągu bardzo zainteresowany możliwością przejścia na inne metody obróbki cieplnej tytoniu w celu poprawy sprawności energetycznej procesu, a głównie w celu skrócenia czasu obróbki i polepszenia jakości wyników suszenia. Z tych względów zasługują na uwagę ostatnie wyniki badań nad zastosowaniem do przeróbki tytoniu metody pojemnościowej¹⁾.

W dielektryku, umieszczonym między okładzinami kondensatora i poddanym działaniu zmiennego pola elektrycznego, wydzielą się moc cieplna w ilości wynoszącej²⁾:

$$(1) \quad P = 0,0885 \cdot 10^{-12} \cdot E^2 \cdot \omega \cdot \epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (\text{W/cm}^3),$$

gdzie E — natężenie pola między okładzinami kondensatora (V/cm),

ω — pulsacja ($\omega = 2\pi f$),

f — częstotliwość (Hz),

ϵ — przenikalność dielektryczna,

δ — kąt strat dielektryku.

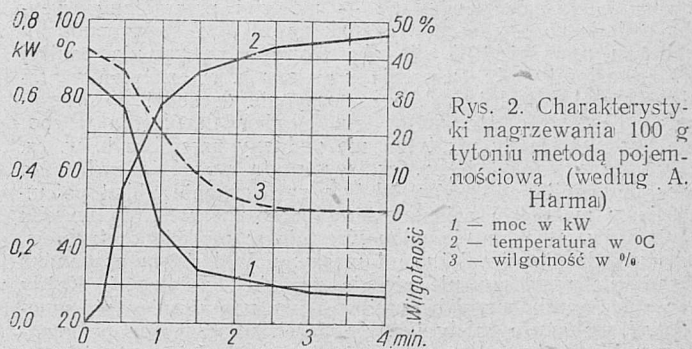
Przy pojemnościowym ogrzewaniu dielektryków odpada trudność przeprowadzania ciepła z zewnątrz w głąb ogrzewanego materiału, gdyż przy zastosowaniu tej metody ciepło wytwarza się wprost w materiale nagrzewanym na skutek tarcia międzycząsteczkowego. Poza tym zgodnie z wyrażeniem (1) materiał niejednorodny, to znaczy wykazujący w różnych miejscach różne własności elektryczne (różne ϵ i δ), nagrzewa się niejednakowo. Silniej nagrzewają się te części, które wykazują większą stratność dielektryczną ($\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$). Ponieważ woda zawarta w liściach tytoniu ma znacznie większą przenikalność dielektryczną (ϵ) niż stałe części organiczne, przy zastosowaniu metody pojemnościowej przede wszystkim woda ulega nagrzaniu, co sprzyja szybkiemu jej odparowaniu i prędkiemu wysuszeniu tytoniu. Dzięki tym własnościom metody pojemnościowej można przy sprzyjających warunkach doprowadzić wodę zawartą w tytoniu do intensywnego parowania bez zbytniego nagrzania otaczającej ją tkanki listnej. Tego rodzaju ogrzewanie od wewnątrz jest możliwe tylko przy zastosowaniu metody pojemnościowej.

Ponieważ górna, teoretyczna, granica wartości E w wyrażeniu (1) jest 100 V/mm, a w praktyce w celu uniknięcia wylądowań iskrowych, prowadzących do zniszczenia ogrzewanego dielektryku, trzeba utrzymywać natężenie pola na znacznie niższym poziomie, przeto uzyskanie dużej prędkości nagrzewania dielektryku, czyli uzyskanie dużej wartości P , wymaga za-

silania kondensatora wielką częstotliwością, np. $f = 40$ MHz i więcej.

Jeżeli przez zastosowanie odpowiedniej częstotliwości ilość ciepła wydzielającego się w dielektryku w ciągu jednostki czasu zwiększy się tak dalece, że woda w kapilarach i innych obszarach tkanki listnej odparuje w sposób szybki, ciśnieniem swym rozszerzając obejmując ją naczynia, ale nie rozrywając ich jeszcze, wtedy ścianki naczyń przepuszczają parę, która po wypchnięciu jej na zewnątrz rozpyla się i tworzy obłok mgły. Przy pomocy strumienia nagrzanego powietrza można łatwo wydmuchać tę mgłę ze wsadu („filowanie“ kondensatora, rys. 1).

Na rys. 2 są podane wyniki prób suszenia tytoniu pojemnościową metodą wielkiej częstotliwości. Z wykresów wynika, że



Rys. 2. Charakterystyki nagrzewania 100 g tytoniu metodą pojemnościową (według A. Harma)

1 — moc w kW
2 — temperatura w °C
3 — wilgotność w %

tytoń o początkowej wilgotności 45% został w ciągu dwu minut wysuszony do zawartości 5% H_2O ; po upływie 3,5 minut zawartość wody w tytoniu została obniżona do 2%. Przy grzaniu tą metodą zużyto 52 Wh na 100 g wsadu.

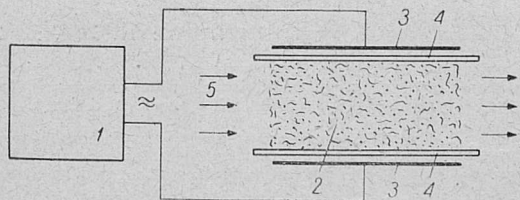
Wynik suszenia jest tym ciekawy, że w porównaniu z suszeniem przy pomocy ogrzanego powietrza odznacza się krótkotrwałością i małym zużyciem energii. Wysuszenie tytoniu ogrzanym powietrzem — przy temperaturze pracy 130°C — trwa ok. 30 minut i wymaga zużycia 250 Wh na 100 g tytoniu, przy czym końcowa wilgotność tytoniu wynosi w tym przypadku jeszcze 4 ÷ 5%. Suszenie metodą pojemnościową daje, jak z tego wynika, trzy korzyści: znaczne skrócenie czasu, oszczędność energii i obniżenie maksymalnej temperatury we wsadzie.

Ciekawe wyniki pojemnościowej obróbki tytoniu, podobnie zresztą jak i innych materiałów roślinnych, osiąga się przez zastosowanie bardzo wielkich częstotliwości (b. w. cz.).

Preparowanie tytoniu metodą pojemnościową przy zastosowaniu b. w. cz. jest procesem skomplikowanym, powodującym głównie rozluźnienie struktury tkanki listnej, i daje w efekcie dodatkowo polepszenie jakości wyrobów tytoniowych. Dokonywanie tego rodzaju zmiany struktury materiału pod wpływem ciepła było próbowane dawniej przy pomocy pary wodnej, jednak bez dobrych rezultatów. Przejście ok. r. 1940 na metodę pojemnościową w. cz. pozwoliło poprawić rezultaty prób, ale dopiero zastosowanie b. w. cz., a więc przeróbka przy pomocy częstotliwości odpowiadających falam decymetrowej długości, opanowana technicznie dopiero w ostatnich latach, mogła dać zupełnie poprawne wyniki pod każdym względem. Ze względu na dielektryczne własności wody będzie można stosować w tym zakresie prawdopodobnie częstotliwości aż do 1 GHz, gdyż przenikalność dielektryczna wody spada dopiero przy $f = 3,3$ GHz do wartości 75, a jeszcze przy częstotliwości 500 MHz wynosi 80.

Wydzielanie się ciepła wskutek krótkotrwałych dawek energii zastosowanych przy przeróbce pojemnościowej — przy dostatecznym zwiększeniu mocy i zwłaszcza częstotliwości — powoduje wystąpienie w tytoniu kilku kolejnych przemian, z których końcówce zachodzą już po wyłączeniu napięcia roboczego z okładzin kondensatora. Przez zwiększenie częstotliwości aż do zakresu b. w. cz. okresy czasowe tych przemian dają się skrócić do ułamków sekundy. Polepszają się przy tym wyniki obróbki bez potrzeby osiągania przez tytoń szkodliwie wysokich temperatur. Przez udarowe ogrzewanie w bardzo krótkim czasie następuje trwałe spękanie komórek kapilarnych i podobne, choć nie tak skuteczne, powiększenie się komór wodnych w tkance listnej.

W korzystnych warunkach cieplnej obróbki pojemnościowej można osiągnąć 30-procentowe rozcięcie kapilar, jednak zbytnie ich powiększenie nie jest korzystne i, jak wskazują badania, w praktyce jest zadowalające rozcięcie o przeciętnej wartości wynoszącej 5 ÷ 10%. Temperatura tytoniu w trakcie obróbki może być zachowana na poziomie nie przekraczającym 30 ÷ 50°C, a następne obniżenie jej w przeciągu bardzo krótkiego



Rys. 1. Ideowy schemat przewietrzania tytoniu nagrzewanego metodą pojemnościową

1 — generator w. cz.

2 — suszony tytoń

3 — metalowe okładziny kondensatora

4 — płytki izolacyjne ochraniające okładziny kondensatora od zraszania

5 — kierunek przedmuchu powietrza

¹⁾ Harm A. Dielektrische Heizung in der Tabak- und Zigarettenindustrie (E-W-Technik, 1953, 1, 11).

²⁾ Por. Schwartz T. Wielkie częstotliwości w zastosowaniu do elektrotermicznej obróbki dielektryków (PE, 1948, 12, 411).

czasu może być dokonane przy pomocy strumienia chłodzącego powietrza.

W przeciwieństwie do wyników metod pośredniego ogrzewania naskórek liścia po przeróbce b. w. cz. nie wykazuje uszkodzeń, wobec czego tytoń przerobiony metodą b. w. cz. mniej się kruszy i lepiej zachowuje swą końcową wilgotność.

Spęcznie tytoniu występujące wskutek przeróbki b. w. cz. może być większe lub mniejsze w zależności między innymi od stopnia jego ubicia, toteż papierosy nabite w sposób niedostateczny stają się po przeróbce b. w. cz. zupełnie zadowolająco nabite.

W trakcie przeróbki b. w. cz. następuje nieznaczne wysuszenie tytoniu, dochodzące do 0,8%, jeżeli nie stosuje się chłodzenia powietrznego. W praktyce — ze względu na najczęściej stosowane chłodzenie powietrzne — materiał przerabiany wysycha dodatkowo o 0,5 ÷ 2%. Jednak nawet przy spęczeniu posuniętym powyżej 10% nie obserwowano wysuszenia poniżej 9% zawartości wody. Przerobiony metodą b. w. cz. tytoń wchłania zresztą wilgoć i szybko samoczynnie dochodzi do wilgotności 10 ÷ 12%, utrzymując ten stopień nawilżenia w sposób bardziej trwały niż tytoń nie poddany przeróbce b. w. cz.

Zalety przeróbki b. w. cz. występują wyraźnie zwłaszcza przy produkcji papierosów. W tym zastosowaniu układ pojemnościowy może być zainstalowany przed maszyną do wyrobu papierosów, albo za nią, albo wreszcie w punkcie centralnym, jako urządzenie niezależne od maszyny. W każdym przypadku urządzenie przystosowuje się do produkcji potokowej. Każdy z wymienionych sposobów umieszczenia nagrzewnicy pojemnościowej ma swoje zalety i wady. Jeżeli nagrzewnica pojemnościowa jest umieszczona centralnie, to przechodzi przez nią cała produkcja wytwórni. Wypełnione papierosami kasety (klatki) przepuszczają się przy pomocy urządzenia transportowego z jednostajną prędkością posuwu między okładzinami kondensatora roboczego. W celu zapobieżenia deformacji papierosów pod wpływem ciepła gromadzącego się przy okładzinach kondensatora, powstające tam ciepło usuwa się szybko strumieniem powietrza (rys. 3).

Zużycie energii wielkiej częstotliwości wynosi według dotychczasowych badań 4 ÷ 10 kWh na milion papierosów — zależnie od rodzaju i stopnia przeróbki pojemnościowej.

Do obróbki cieplnej tytoniu metodą pojemnościową, jak do innych nowych metod, należy ustosunkować się bez uprzedzeń, zachowując jednak ostrożność. Energia wielkiej częstotliwości jest dość kosztowną postacią energii. Wiadomo jednak, że dzięki szczególnym zaletom w niektórych przypadkach uznano w pełni korzyści stosowania jej w przemyśle. W każdym jednak przypadku nowego zastosowania metody pojemnościowej przed wydaniem ostatecznej oceny o celowości jej zastosowania jest konieczna dokładna analiza gospodarności w warunkach lokalnych.

Energię w. cz. uzyskuje się, jak wiadomo, drogą transformacji prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz przy pomocy lamp elektronowych, a sprawność takiej transformacji, nawet przy dużych mocach urządzeń, wynosi zawsze poniżej 50%.

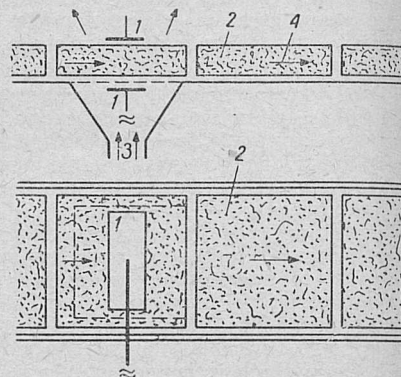
Koszty inwestycyjne urządzenia w. cz. są dość duże. Generatory lampowe mają ograniczoną trwałość, wyrażającą się — w zależności od mocy — tysiącem do pięciu tysięcy godzin pra-

cy. Przy obecnych cenach tych generatorów w przybliżeniu można liczyć, że 1 kWh energii w. cz. kosztuje 5 ÷ 10 razy drożej niż 1 kWh energii przy częstotliwości 50 Hz.

W sprawie usuwania wody z nagrzewanego materiału przy zastosowaniu metody pojemnościowej można jako regułę mne-

Rys. 3. Schemat centralnego urządzenia do pojemnościowej obróbki tytoniu

1 — okładziny kondensatora
2 — kasety z suszonym wsadem
3 — kierunek przedmuchu
4 — kierunek posuwu kaset



motechniczną stosować zależność: odparowanie 1 kG wody wymaga zużycia 1 kWh energii w. cz.³⁾

Biorąc pod uwagę wyżej podane względy nie trzeba jednak zapominać, że urządzenia stare o pośrednim działaniu grzejmym nie dają takich dobrych rezultatów, jakie są możliwe do uzyskania przy zastosowaniu elektrotermicznej metody pojemnościowej, i że pracują często z bardzo małą sprawnością i z małą wydajnością. Na przykład sprawność zbiorowych suszarni, będących dotychczas w użyciu do suszenia liści tytoniu, można oceniać zaledwie na dwadzieścia parę procentów. W odniesieniu do przeróbki tytoniu ważnym czynnikiem, którego nie można pomijać przy ocenie efektywności inwestycji nowych urządzeń pojemnościowych, jest również skrócony czas procesu i bardziej korzystne warunki temperaturowe procesu suszenia.

Na podstawie dotychczasowych danych wyrażane są przez fachowców poglądy, że gospodarność suszenia tytoniu metodą pojemnościową w. cz. daje się udowodnić. O gospodarności przeróbki tytoniu metodą b. w. cz. i o pewnego rodzaju luksusowym charakterze tej przeróbki zdania mogą być podzielone; publikacje naukowe na ten temat świadczą jedynie o podniesieniu dobroci i jednorodności tytoniu, jak również o zwiększeniu równomierności naprężenia i wilgotności papierosów przetwarzanych tą metodą w takim stopniu, w jakim jest to dotychczas nieosiągalne przy pomocy innych metod i urządzeń.

Nie przesądzając zakresu, w którym metoda pojemnościowa może być przyjęta przez nasz przemysł tytoniowy, należy zauważyć, że wprowadzenie jej na ten teren w żadnym przypadku nie powinno nastąpić bez udziału pracowni naukowo-badawczych, którym zbadanie możliwości stosowania tej metody w naszych wytwórniach tytoniowych wydaje się rzeczą godną polecenia.

³⁾ v. Hauteville T. Einige Anwendungsbeispiele der dielektrischen Erwärmung (E-W-Technik, 1953, 2/3, 55).

MGR INŻ. ZACHARZEWSKI BOLESŁAW

Spiekane materiały złożone na styki elektryczne

621.336.2:621.3.066.6:621.315.55

Treść. Zjawiska występujące podczas pracy styków elektrycznych. Przyczyny zużywania się styków oraz nowoczesne materiały stykowe, tzw. „materiały złożone”. Metoda produkcji, własności, praktyczne korzyści i zastosowanie kilku najważniejszych rodzajów materiałów ze szczególnym uwzględnieniem spieku wolfram-miedź. Krótkie uwagi na temat konstrukcji styków. Obecne produkcyjne możliwości krajowe.

Аггломераты для изготовления электрических контактов. Явления, наблюдаемые во время действия электрических контактов. Причины изнашивания контактов и современные материалы для их изготовления („аггломераты”). Метод производства, свойства, выгоды и область применения нескольких важнейших аггломератов, в особенности аггломерата вольфрам-медь. Краткие замечания по вопросам конструкции контактов. Нынешние производственные возможности в Польше.

Composite sintered materials for electric contacts. The paper describes the phenomena which occur during the work of electric contacts and the causes of wear, together with modern contact materials — so-called „composite materials”. Production methods, properties, practical advantages and application of certain of the more important materials, with particular reference to tungsten-copper. Brief notes on the construction of contacts, and prospects of manufacturing contacts in Poland.

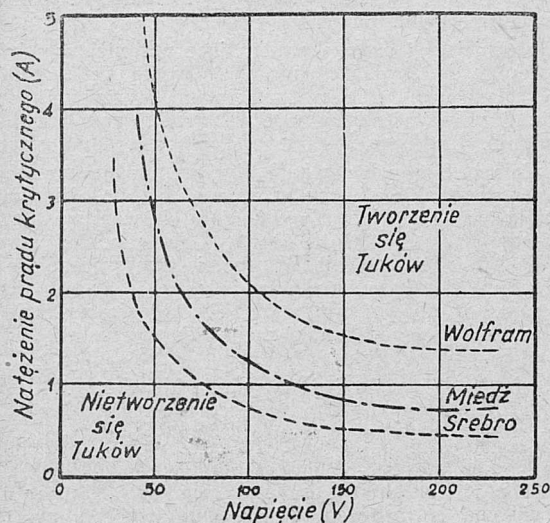
1. Wstęp.

Celem niniejszego artykułu jest naświetlenie możliwości oszczędzania metali nieżelaznych w dziedzinie styków elektrycznych, mających za zadanie zamykanie obwodu elektrycznego, umożliwienie przepływu prądu przez wymagany okres czasu i przerywanie prądu we właściwej chwili przy jak najmniejszym zużyciu materiału styków. Zatrzymamy się tu na spieka-

nych materiałach złożonych, otrzymywanych metodami metalurgii proszków, które pozwalają na znaczne oszczędności metali nieżelaznych (szczególnie miedzi i srebra) oraz na skrócenie czasu postoju urządzeń z powodu konieczności częstego oczyszczania lub wymiany zużywających się szybko styków. Produkcja styków ze spiekanych materiałów złożonych została już w kraju rozpoczęta.

2. Zjawiska występujące podczas pracy styków (zjawiska pierwotne).

Wytwarzanie się łuków. Łuki powstają tylko w pewnych ściśle określonych warunkach. Jak stwierdził Burszyn, istnieje dla każdego napięcia określony prąd tzw. krytyczny, poniżej którego przerywanie go nie powoduje powstawania łuków. Prąd krytyczny zależy przede wszystkim od rodzaju materiału stykowego, a następnie od wilgotności atmo-



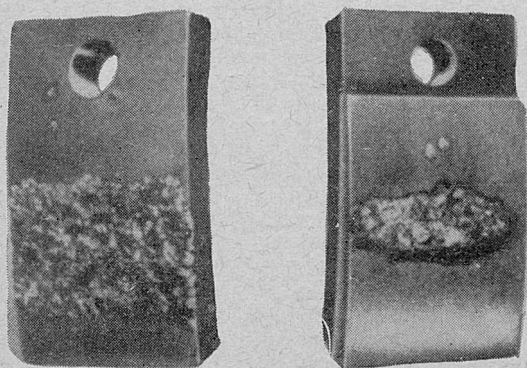
Rys. 1. Krytyczne natężenie i napięcie łuku dla wolframu, miedzi i srebra

sfer, temperatury styków, stanu ich powierzchni i szybkości przerywania prądu.

Rys. 1 przedstawia za pomocą krzywych zależność prądu krytycznego od napięcia dla kilku najważniejszych metali stykowych. Krzywe zdążają w kierunku małych napięć i prądów. Teoretycznie dowolnie wielki prąd może być przerywany bez wytworzenia się łuku poniżej pewnego napięcia charakterystycznego dla danego materiału stykowego (ogólnie 10 do 20 V) i, odwrotnie, żadne napięcie nie spowoduje powstania łuku poniżej określonego natężenia; ten krytyczny prąd wynosi dla srebra 0,45 A, miedzi 0,8 A, platyny 0,9 A, wolframu 1,4 A.

Powstawanie ciepła. Ciepło powstaje z kilku powodów i praktycznie jest prawie nie do uniknięcia. Wytwarza się ono wskutek powstania łuku lub wyładowań elektrycznych innego rodzaju, wskutek oporu materiału stykowego (ciepło Joule'a) i tarcia styków, a potęguje się przez dodatkowy opór, który stwarzają błonki nałotowe (tzw. opór stykowy) i ewentualne złe przewodnictwo cieplne materiału. Przez zapobieżenie powstawaniu ciepła można wybitnie zmniejszyć zużycie styków.

Zwieranie styków. Zwieranie styków — mechaniczna czynność przy zamknięciu obwodu prądu — odbywa się przy pomocy różnego rodzaju sprężyn, dociskających do siebie powierzchnie stykowe z mniejszą lub większą siłą, lub mechanizmów nasuwających powierzchnie stykowe na siebie. Od sposobu zwierania styków zależy w dużym stopniu rodzaj zjawisk wtórnych i ich nasilenie.



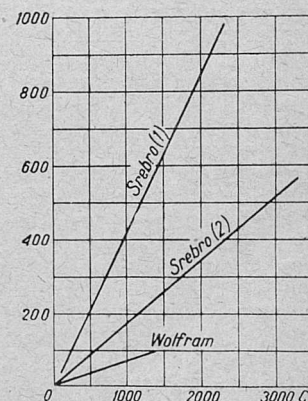
Rys. 2. Erozja spowodowana przenoszeniem łukowym dla styku miedzianego (z lewej) i styku wolfram-miedź (z prawej) po tej samej liczbie łączeń

3. Przyczyny zużywania się styków (zjawiska wtórne).

Elektroerozja. Elektroerozja polega na utracie materiału z elektrod stykowych pod wpływem wyładowań elektrycznych powstających między nimi i powodujących przenoszenie się materiału stykowego z jednej elektrody na drugą, w wyniku czego na powierzchniach stykowych tworzą się wgłębienia, krater lub narosty, przy czym znaczna część materiału stykowego ulega rozpyleniu. Stopniowe zużywanie się styków doprowadza do ich całkowitego zniszczenia. Szczególnie duże zużycie powoduje łuk elektryczny, powstający przy zamykaniu i otwieraniu obwodu. Uniknięcie łuków znacznie przedłuża czas służby styków. Prócz łukowego przenoszenia materiału spotyka się jeszcze tzw. mostkowe przenoszenie.

a) Przenoszenie łukowe. Na skutek ciepła wytworzonego przez łuk i bombardowania katody jonami dodatnimi parują lub uwalniają się z elektrod, a szczególnie z katody, cząsteczki metali. Przenoszą się one z jednej elektrody na drugą i tam osiadają. Znaczna jednak część przeniesionego materiału rozprasza się i jest stracona bezpowrotnie. Tę stratę nazywamy zgarą lub upałem. Dla oceny jakości materiału stykowego strata ta jest najważniejsza. Określa się ją przy badaniu zużywalności styków dla obu elektrod łącznie lub dla każdej z osobna przez ważenie.

W przypadku stosowania prądu zmiennego przenoszenie materiału wyrównuje się i praktycznie występuje tylko zgar. Przy prądzie stałym oprócz zgaru występuje jednokierunkowe przenoszenie materiału z katody na anodę, anoda jednak również ulega erozji, lecz erozja obu elektrod jest różna. Przy załączaniu (krótki łuk) następuje większa erozja anody, przy rozłączaniu tworzący się na skutek jonizacji dielektryku długi łuk powoduje większą erozję katody. Ponieważ erozyjne działanie łuku w drugim przypadku jest silniejsze, przeto zużywanie się katody bywa większe.



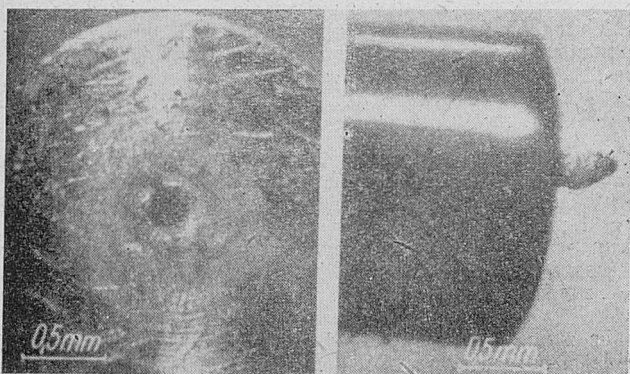
Rys. 3. Ilość (w mg) wyparowanego srebra (1), zgaru srebra (2) i zgaru wolframu (3), z ich anod w zależności od ładunku przeniesionego w łuku po 10^5 łączeniach (w kulombach)

Erozję styków, spowodowaną przenoszeniem łukowym, przedstawia rys. 2. Ilość przeniesionego materiału zależy od energii łuku i od materiału stykowego, przy czym (a) ilość ta wzrasta proporcjonalnie do ilości elektryczności przeniesionej przez łuk, (b) krótszy czas trwania łuku powoduje mniejsze zużycie styków, (c) strata materiału na jednostkę elektryczności zależy od własności fizycznych materiału stykowego, w szczególności przenoszenie materiału maleje ze wzrostem jego twardości. Przy konstrukcji styków należy przeto zwracać szczególną uwagę na zmniejszenie czasu trwania łuku, możliwie niskie jego natężenie i dobór odpowiedniego materiału. Na rys. 3 zaznacza się wyraźnie wpływ materiału i energii przeniesionej w łuku na zużywanie się styków.

b) Przenoszenie mostkowe materiału wytwarza bardzo małe wgłębienia na anodzie i przeciwległe narosty na katodzie. Nie jest ono specjalnie szkodliwe póki nie wytworzą się duży krater i wielka narośl, jak to pokazują np. rys. 4. Powodem takiego przenoszenia materiału z anody na katodę jest ciepło powstałe podczas pracy styków — podczas wytwarzania się łuków, jak i bez ich udziału. Żeby specjalnie zbadać przenoszenie mostkowe, należy zabezpieczyć się przed tworzeniem się łuków, gdyż przenoszenia łukowe i mostkowe mogą się nawzajem uzupełniać (wzmocniać lub osłabiać), np. przy długim łuku przenoszenie materiału z katody na anodę może zniwieczić przenoszenie mostkowe z anody na katodę.

Warunkiem mostkowego przenoszenia się materiału jest istnienie minimalnego napięcia, które pozwala na miejscowe osiągnięcie punktu topliwości materiału stykowego; wynosi ono około 0,6 do 1 V zależnie od materiału. Teoria zjawiska jest na-

stępująca: przy rozłączaniu styków z powodu zmniejszania ciśnienia zmniejsza się w pierwszej chwili powierzchnia stykowa, w wyniku czego zwiększa się opór, napięcie, gęstość prądu i temperatura styków. W pewnym momencie temperatura przekroczy punkt topnienia materiału w punktach styku i powstałe płynne kulki metalu ulegają rozciąganiu przy rozłączaniu się styków, tworząc między elektrodami „mostki”. Przez pewien

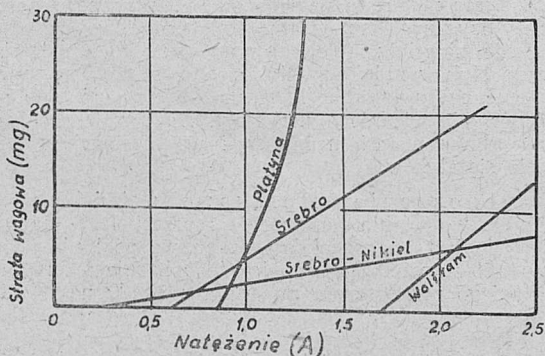


Rys. 4. Erozja styku platyna-iryd spowodowana przeniesieniem mostkowym materiału (z lewej anoda, z prawej katoda)

czas trzymają się one dzięki napięciu powierzchniowemu, po czym rozdzielają się w najbardziej gorącym miejscu. Mostek przerywa się nie w środku, gdyż wtedy nie byłoby przeniesienia, lecz zawsze bliżej anody i dlatego materiał przenosi się zwykle z anody na katodę. Nie wytłumaczono dotychczas, czym jest spowodowane to przesunięcie.

Przy załączaniu styków następuje również przeniesienie, sprzeczne pozornie z opisaną wyżej teorią. Spowodowane jest ono wibracjami styków przy załączaniu. Na skutek wibracji powstają dodatkowe załączenia i wyłączenia, stwarzające warunki do mostkowego przeniesienia się materiału. Ilość materiału przenieszonego podczas jednej operacji jest bardzo niewielka, określił ją Holm przy pomocy wzorów empirycznych. Skłonność różnych materiałów do mostkowego przeniesienia przedstawia rys. 5. Tworzeniu się dużej narośli i krateru można przeszkodzić przez skręcanie wzgłędnie przesuwanie płaszczyzn stykowych względem siebie dla zmiany punktów styku, przez pokrycie się powierzchni stykowych podczas pracy delikatnymi błonkami tlenkowymi (bimetaliczne styki np. srebro-nikiel, gdzie nikiel jest anodą) i przez stosowanie niemetalicznych materiałów stykowych o wysokim punkcie topliwości i dużym cieple parowania (np. spiekane węgliki wolframu).

Pokrywanie się powierzchni stykowych błonkami nalołowymi. Na powierzchniach stykowych wytwarzają się błonki różnego rodzaju i pochodzenia. W większości przypadków są one szkodliwe, gdyż stwarzają dodatkowy i to dość znaczny opór elektryczny, co prowadzi do wytwarzania się ciepła tak szkodliwego dla materiałów stykowych. Błonki można podzielić na 3 rodzaje: a) adsorpcyjne, b) chemiczne, c) zanieczyszczeniowe.



Rys. 5. Skłonność różnych materiałów do przenoszenia mostkowego

Warunki: 400 000 łączeń, 110 V, prąd stały

Błonki pierwszego rodzaju powstają na skutek adsorpcji gazów przez czyste powierzchnie metaliczne. Tworzą je jednorodne warstwy gazowe związane z powierzchniami metalicznymi styków przy pomocy sił van der Waalsa. Można je usunąć tylko

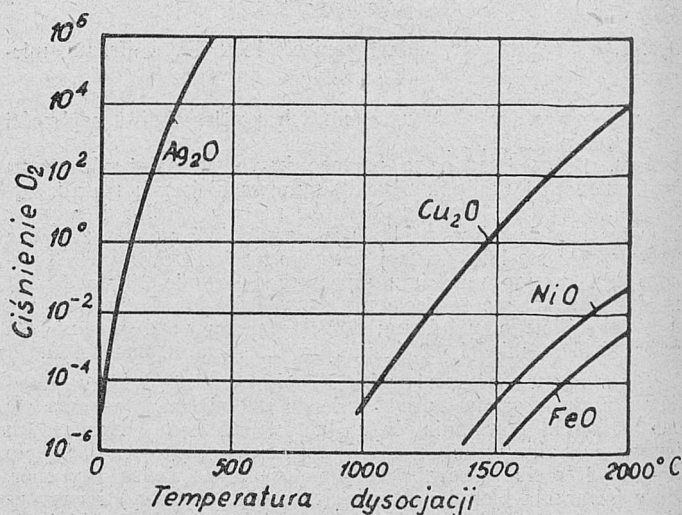
przez odparowanie w próżni. Szczególnie łatwo powstają adsorpcyjne błonki tlenu.

Błonki zanieczyszczeniowe powstają na skutek nieczystości ośrodka, w którym styki pracują. Na powierzchniach stykowych osadzają się smary, tłuszcze, wilgoć, pył, kurz itp. Błonki takie usuwa się przez rozpuszczanie w acetonie, benzynie, czterochlorku węgla, przez mycie wodą z mydłem. Dobrym warsztatowym środkiem otrzymywania czystej powierzchni jest również skrobienie nożem, drapanie szczotką metalową i polerowanie papierami ściernymi.

Najgroźniejsze i zawsze występujące w mniejszym lub większym stopniu są błonki „chemiczne”. Tworzą się one na skutek reakcji chemicznych między materiałami stykowymi a gazami zawartymi w powietrzu, przede wszystkim zaś dzięki korozji i utlenianiu. Ciepło w obu przypadkach gra dominującą rolę.

Idealnie czyste powierzchnie stykowe można uzyskać jedynie przez trzymanie styków w próżni. Już po kilku minutach trzymania ich na powietrzu wytwarzają się warstwy tlenków na skutek korozji o grubości 10–30 Å. Dalszy postęp korozji odbywa się już jednak powoli. W procesie tym szczególnie aktywny jest tlen. Powstałe błonki są zespołem tlenków, siarczków, siarczanów, chlorków i węglanów. Na korozję wybitnie nieodporna jest miedź, a doskonale zachowują się metale szlachetne, jak platyna, pallad, złoto.

Utlenianie się styków i powstawanie błonek czystotlenkowych jest zależne od temperatury miejsc stykowych. Wysoka temperatura sprzyja na ogół wybitnie utlenianiu. Dlatego styki pracujące w łuku muszą być wytwarzane z materiałów odpornych na utlenianie lub chronione od dostępu powietrza. Platyna i zło-



Rys. 6. Zależność temperatury dysocjacji tlenków metali stykowych od ciśnienia tlenu

to są całkowicie odporne na utlenianie, srebro zaś zachowuje się doskonale w wysokich temperaturach, gdyż tlenek srebra w tych warunkach ulega dysocjacji, dzięki czemu mimo wysokich temperatur srebro zachowuje metaliczną powierzchnię. Odporność srebra na utlenianie w porównaniu z innymi materiałami przedstawia rys. 6, podający zależność temperatury dysocjacji tlenków od ciśnienia tlenu. Po lewej stronie każdej krzywej jest pole tlenków po prawej — pole czystego metalu. Z rysunku widać, że utleniane srebro dysocjuje przy normalnym ciśnieniu tlenu w powietrzu (150 mm słupa rtęci) już w temperaturze 180°C. Temperatury dysocjacji tlenków miedzi i niklu są o wiele wyższe i przeważnie praktycznie będzie się miało do czynienia z ich tlenkami. Wolfram w łuku utlenia się łatwo na tlenek wolframu (koloru żółtego), który sublimuje przy około 1400°C, pozostawiając okrągłe plamki. Są to cienkie porowate warstwy tlenków powstałe w miejscach najgorętszych. Do ich przebicia potrzebne jest napięcie powyżej 100 V.

Według Evansa i Wunderlicha utlenianie jest ułatwione przez tarcie styków (utlenianie tarciowe). Przy załączaniu względnie wyłączaniu prądu lub przy stykach ślizgowych następuje na powierzchni, a nawet w głębszych warstwach styków rozluźnienie atomów z więzów siatki przestrzennej, przez co uzyskuje się wolne wartościowości do reakcji z tlenem *).

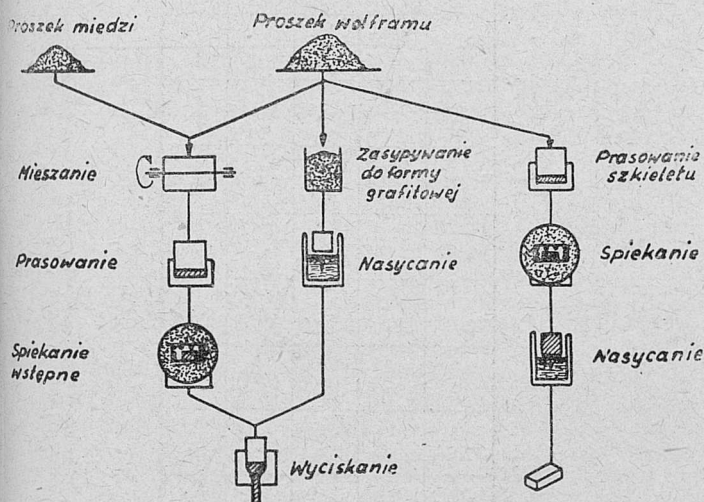
* Kessel wykazał, że atomy stają się podatniejsze do reakcji chemicznych, kiedy ich więzy w siatce przestrzennej są osłabione.

Sklejanie się styków spowodowane jest silnym ich przegrzaniem. Występuje ono wyraźnie jedynie przy dużych dociskach, gdyż wówczas rzeczywiste powierzchnie styku są duże. Jest to zjawisko dość niebezpieczne, gdyż może spowodować niemożność rozłączenia styków i idące za tym poważne skutki.

Zjawisko to bardzo niszczy styki. Po każdym rozerwaniu powstają nowe powierzchnie stykowe na skutek przenoszenia się materiału z jednej elektrody na drugą. Przenoszenie to spowodowane jest tym, że styki rozdzielają się zawsze w tych miejscach, gdzie ich struktura wewnętrzna jest najsłabsza, a nie wzdłuż powierzchni sklejania. Na powierzchniach stykowych tworzą się nierówności (wgłębienia i narośle) jako ślady wyrwanego materiału. W porównaniu z naroślami przenoszenia mostkowego są one znacznie większe, mogą powstać bardzo szybko (nawet już po kilku wyłączeniach) i na obu powierzchniach.

Zapobiec sklejaniu można przez stosowanie materiałów łatwo utleniających się (najchętniej, bowiem sklejają się materiały o czystych powierzchniach metalicznych), materiałów niemetalicznych oraz przez smarowanie powierzchni stykowych. Normalnie im większą tendencję wykazują materiały do utleniania, tym są bardziej odporne na sklejanie się. Specjalnie dodatnio wyróżnia się wolfram.

Mechaniczne zużywanie się styków. Podczas zwierania styków ich powierzchnie pracujące uderzają i trą nawzajem o siebie oraz ulegają wstrząsom i wibracjom. Zjawiska te powodują mechaniczne zużywanie się styków, które wzrasta wraz z siłą docisku i temperaturą. Tarcie odgrywa dominującą rolę, jednak uderzenia względnie wstrząsy powodują czasami pęknięcia, wykruszenia, a nawet złamanie styków.



Rys. 7. Schemat metod produkcyjnych materiałów złożonych

Mechanicznemu zużyciu zapobiega się częściowo przez stosowanie twardych odpornych na ścieranie i nie mięknących łatwo materiałów. Z ważniejszych materiałów stykowych pod tym względem wyróżniają się dodatnio wolfram, a ujemnie platyna i srebro.

4. Możliwości zmniejszenia zużycia się styków przez dobór odpowiednich materiałów.

Zużycie styków można zmniejszyć przez dobór odpowiednich warunków elektrycznych i mechanicznych oraz przez dobór materiałów o odpowiednich właściwościach. Czynniki te muszą zapobiegać tworzeniu się łuków i ciepła — głównych wrogów styków.

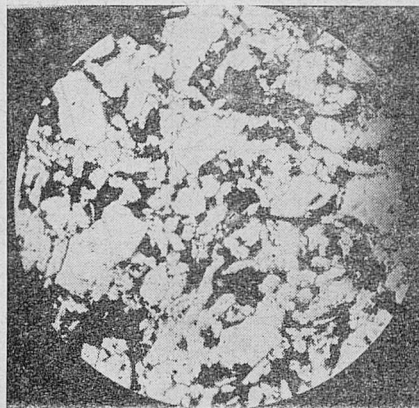
Warunki elektryczne i mechaniczne pracy styków są bardzo często z góry narzucone i możliwość zmiany ich jest niewielka. Dlatego bardzo ważnym problemem jest dobranie na styki materiałów o następujących właściwościach.

a) Możliwie duża przewodność cieplna i elektryczna dla wydzielania się ciepła i szybszego odprowadzania go. Unika się w ten sposób wytwarzania się błonek oraz elektroerozji i sklejania się. Do najlepszych metali pod tym względem należą srebro i miedź. Stopy ich mają właściwości znacznie gorsze.

b) Wysoki punkt topliwości ze względu na wysokie temperatury w łuku. Osiąga się w ten sposób mniejszy zgar, mniejsze przenoszenie materiału oraz niesklejanie się. Najlepszy jest wolfram, którego punkt topliwości wynosi 3400°C.

c) Duża twardość dla mniejszego mechanicznego zużycia oraz mniejszego łukowego przenoszenia; przoduje pod tym względem wolfram, choć niektóre stopy (np. iryd-osm-platyna) są lepsze.

d) Duża gęstość, dająca te same korzyści co twardość.



Rvs. 8. Struktura spieku wolfram-miedź, otrzymanego metodą wyciskania

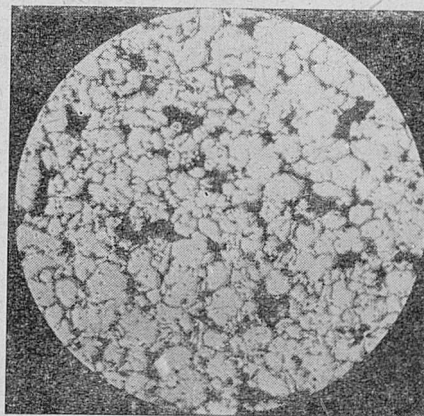
× 90, trawienie kwasem azotowym

e) Odporność chemiczna. Nietworzenie w ogóle lub trudne tworzenie błonek chemicznych na powierzchniach stykowych jest wybitnie dodatnią własnością. Zachowanie powierzchni metalicznych nie powoduje zwiększenia oporu stykowego i wszelkich skutków związanych z tym zjawiskiem. Warunek ten spełniają metale szlachetne, które jednak stosuje się tylko na styki niskoprądowe ze względu na ich wysoką cenę.

Materiały stykowe o odpowiednich właściwościach fizycznych i chemicznych wyróżniają się dobrymi właściwościami praktycznymi, jak mały zgar, niewielkie przenoszenie się, niesklejanie się, odporność na ścieranie i zachowywanie powierzchni metalicznych.

5. Ogólne wiadomości o spiekanych materiałach złożonych.

Metale stykowe lub ich stopy nie zawsze odpowiadają stawanym warunkom. W praktyce wymagane są często różnorodne właściwości i często metale o jednej bardzo korzystnej właściwości nie mogą być stosowane, gdyż inne ich właściwości są niezadowalające. Próbowano przez stopienie metali o krańcowych właściwościach otrzymać materiały o właściwościach pośrednich, ale metoda ta nie dała zadowalających wyników z różnych powodów: a) stopy wykazywały częstokroć właściwości gorsze od metali składowych; b) najważniejsze metale stykowe nie wy-



Rvs. 9. Struktura spieku wolfram-miedź, otrzymanego metodą nasiąkania

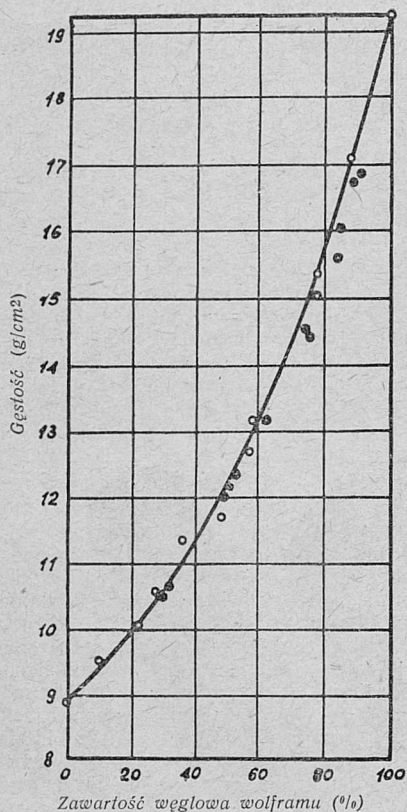
× 90, trawienie kwasem azotowym

kazują żadnej wzajemnej rozpuszczalności w stanie ani stałym, ani płynnym; c) napotkano trudności z powodu wysokich temperatur topliwości platyny, molibdenu, wolframu.

Trudności pokonano przez zastosowanie metody metalurgii proszków, umożliwiającej wytwarzanie „stykowych materiałów złożonych” (pseudostopów). Są nimi materiały, otrzymane

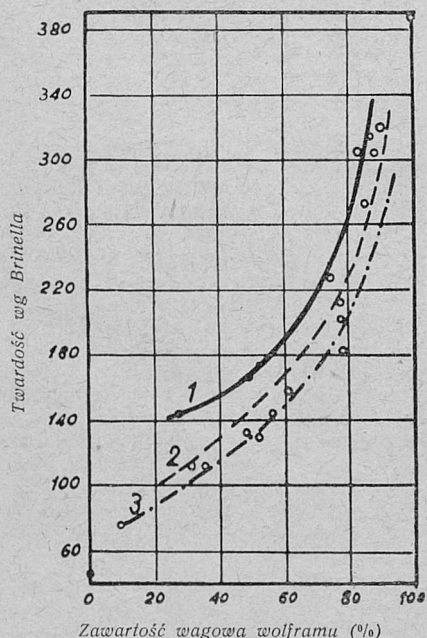
przez prasowanie i spiekanie proszków metali nie tworzących ze sobą stopów ani w stanie stałym, ani w stanie płynnym.

W elektrotechnice stosuje się dwa rodzaje materiałów złożonych: metalowo-grafitowe (na szczotki, przeważnie miedź-grafit) oraz zawierające metale wysokotopliwe (na styki). Dalej omówimy tylko ten drugi rodzaj materiałów.



Rys. 10. Gęstość spieków wolfram-miedź

Jako najważniejsze ze spiekanych materiałów złożonych na styki należy wymienić: a) wolfram — miedź, b) wolfram — srebro, c) molibden — srebro, d) wolfram — miedź — nikiel, e) srebro — nikiel, f) inne. W skład materiałów stykowych



Rys. 11. Twardość spieków wolfram-miedź

- 1 — 1 do 20 μ
2 — 50 do 100 μ
3 — 100 do 400 μ

wchodzą więc z jednej strony metale wysokotopliwe, jak wolfram i molibden, o niewielkim zgarze i dużej twardości, a z drugiej strony metale niskotopliwe — miedź i srebro — o dob-

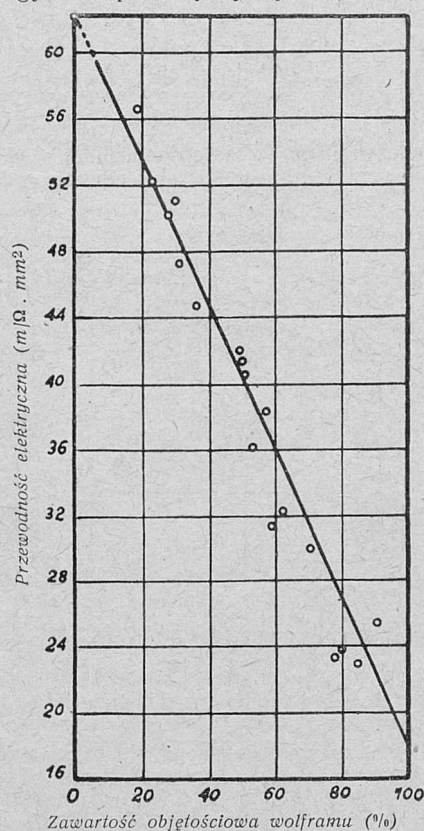
rym przewodnictwie cieplnym i elektrycznym oraz dużej odporności na utlenianie.

6. Metody produkcji.

Do produkcji stosuje się metale wysokotopliwe, tj. wolfram i molibden, w postaci proszków (drobnoziarniste od 1 do 50 μ, pochodzące z redukcji tlenków, oraz gruboziarniste 100—400 μ, otrzymane przez mechaniczne rozdrobnienie spiekanych prętów), metale zaś niskotopliwe, tj. miedź i srebro, zależnie od metody produkcyjnej w postaci proszku lub litej (wióry, pręty, blachy).

W praktyce stosuje się trzy metody przedstawione schematycznie na rys. 7.

Metoda prasowania i spiekania mieszanek proszków jest typową, klasyczną metodą metalurgii proszków. Proszki odważa się w odpowiedniej proporcji (np. 80% Cu i 20% Ag), miesza je w młynie kulowym, prasuje w stalowych matrycach na odpowiednie kształty — najczęściej graniastosłupy i spieka w temperaturach na ogół nieco poniżej punktu topliwości metalu niskotopliwego. Ponieważ spiek wykazuje niezadowalającą gęstość, poddaje się go przeróbce plastycznej, to jest wyciskaniu, kuciu względnie walcowaniu. Zwiększenie gęstości powoduje polepszenie wszystkich włas-



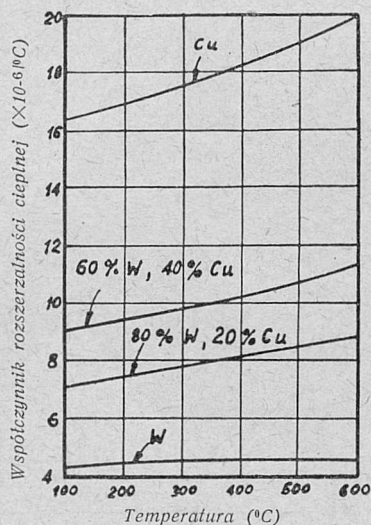
Rys. 12. Przewodność elektryczna spieków wolfram-miedź

ności materiału. Przeróbka plastyczna jest możliwa przy minimum 20% metali niskotopliwych.

Metoda zalewania luźno usypanego proszku. Do tygla grafitowego wsypuje się luźno proszek wolframu czy molibdenu i zalewa się go roztopioną miedzią lub srebrzem. Metaliczna ciecz dostaje się między puste przestrzenie ziarn proszku i tam zastyga. Po wyjęciu z tygla przerabia się produkt plastycznie jak w prasowaniu i spiekaniu. Metodą tą uzyskuje się materiały o zawartości 35—60% składnika niskotopliwego.

Metoda nasiąkania szkieletu z metalu wysokotopliwego. Proszki wolframu lub molibdenu prasuje się, a prasówki spieka w temperaturze powyżej 1000°C. Powstałe porowate szkielety nasycą się płynną miedzią lub srebrzem przez zanurzenie w roztopionym metalu lub przez przepuszczanie szkieletów z nałożonymi nań blaszkami metali niskotopliwych przez piec w temperaturach powyżej punktu topnienia miedzi względnie srebra w atmosferze wodoru. Zawartość metali niskotopliwych można regulować wielkością ziarn wolframu i molibdenu, ciśnieniem prasowania oraz temperaturą i czasem spiekania. Na ogół nie można uzyskać tą metodą zawar-

tości metali niskotopliwych powyżej 25%, wskutek czego nie dają się one przerabiać plastycznie. Przeróbka ta nie jest zresztą konieczna, gdyż materiały nasiąkane mają bardzo wysoką gęstość. Ostateczny kształt należy nadać wyrobom przez obróbkę skrawaniem.



Rys. 13. Współczynnik rozszerzalności cieplnej spieków wolfram-miedź i miedzi w zależności od temperatury i składu

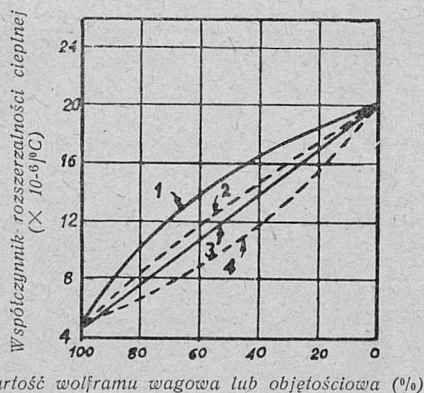
Wszystkie metody prowadzą do uzyskania podobnych własności fizycznych. Występujące jednak różnice strukturalne wywierają na nie pewien wpływ. Tak np. materiały otrzymane przez nasiąkanie szkieletów utrzymują swój kształt nawet w znacznie wyższych temperaturach niż punkt topności niższej topliwego składnika dzięki wytrzymałości szkieletu, natomiast materiały otrzymane przez prasowanie proszków własności tej nie wykazują. Uzyskane tą metodą wyroby dzięki otoczeniu każdego ziarna wolframu miedzią mają nieco większą przewodność elektryczną.

Rys. 8 przedstawia strukturę spieku wolfram-miedź prasowanego i wyciskanego, a rys. 9 — nasiąkanego.

7. Własności metali złożonych i ich zastosowanie.

Wolfram — miedź. Główne własności fizyczne spieków wolfram-miedź, tych najważniejszych materiałów stykowych złożonych, a więc gęstość, twardość i przewodność elektryczna, są przedstawione na rys. 10, 11 i 12. Jak widać, ze wzrostem procentowego udziału wolframu wzrasta gęstość i twardość, maleje przewodność.

Gęstość wzrasta, oczywiście, ze wzrostem zawartości wolframu wzgl. molibdenu, ponieważ ich ciężary właściwe w po-



Rys. 14. Współczynnik rozszerzalności cieplnej spieków wolfram-miedź i miedzi w zależności od składu chemicznego

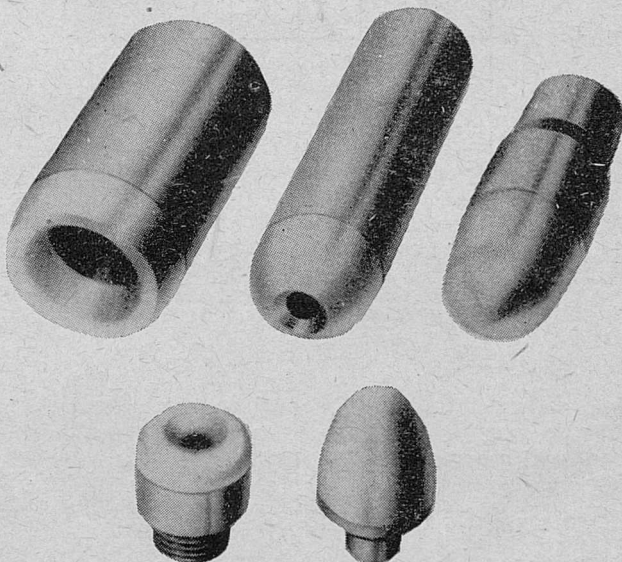
Krzywe ciągłe — zależności teoretyczne
Krzywe przerywane — zależności rzeczywiste
1, 2 — zależności wagowe
3, 4 — zależności objętościowe

równaniu z miedzią lub srebrem są duże. Gęstość, choć w praktyce nie odgrywa zasadniczo większej roli, jest badana przy kontroli produkcji, gdyż jej wartość dla danego składu chemicz-

nego decyduje o innych własnościach, a przede wszystkim o twardości i przewodności. Twardość metali złożonych zależy od ziarnistości proszku metalu wysokotopliwego. Na rys. 11 przedstawiono twardość spieku wolfram-miedź przy zastosowaniu 3-ich ziarnistości proszków. Jak widać, twardość maleje wraz ze wzrostem ziarnistości. Spieki drobnoziarniste wykazują poza tym większą odporność na mechaniczne zużycie i równomierniejszy opór styku, styki zaś wykonane z proszków gruboziarnistych wykazują większą odporność na działanie łuków.

Przewodność elektryczna wzrasta proporcjonalnie do zawartości miedzi. Przez dobór składu chemicznego można więc w szerokich granicach regulować tę własność — teoretycznie od przewodności czystego wolframu do przewodności czystej miedzi. W praktyce produkuje się styki o zawartości miedzi od 10 do 50%, a zatem przewodność ich jest zawarta w granicach od 22 do 40 m/Ω·mm².

Interesujące wartości wykazuje współczynnik rozszerzalności cieplnej dla spieków wolfram-miedź. Współczynnik rozszerzalności wolframu nie zmienia się w zakresie od 0° do 600°, przy czym jego wartość wynosi około $4,6 \cdot 10^{-6}$ na 1°C. Dla czystej miedzi, przeciwnie, wartość współczynnika wzrasta od $16,4 \cdot 10^{-6}$ w temperaturach pokojowych do $\sim 20 \cdot 10^{-6}$ przy 600°C. Ponieważ te metale nie tworzą stopów należałoby się spodziewać, że współczynnik rozszerzalności spieku wolfram-miedź będzie



Rys. 15. Styki opalinowe z wkładką wolfram-miedź

średnią między jego wartościami dla wolframu i miedzi w danych temperaturach. Rys. 13 wykazuje, że tak jednak nie jest (krzywe wskazują tu średnie współczynniki rozszerzalności między 0° a temperaturą odczytaną na osi odciętych). Zmiana współczynnika rozszerzalności cieplnej w zależności od składu chemicznego spieku wolfram-miedź jest liniową funkcją objętościowego udziału obu składników w spieku, przeto teoretyczna krzywa zależności wymienionego współczynnika od składu objętościowego jest linią prostą, a zależności od składu wagowego — krzywą lekko wklęsłą. Na rys. 14 są podane rzeczywiste wartości wsp. rozsz. cieplnej dla spieku wolfram-miedź w porównaniu z krzywą teoretyczną dla zawartości od 0 do 100% pod względem wagowym, jak i objętościowym. Widać, że wartości rzeczywiste są mniejsze od teoretycznych. Ten stosunkowo mały współczynnik jest nawet korzystny, ponieważ nie powoduje większych naprężeń w złączu i pozwala na wykonanie podkładek z materiału mającego mniejszą rozszerzalność cieplną niż miedź, np. ze stali.

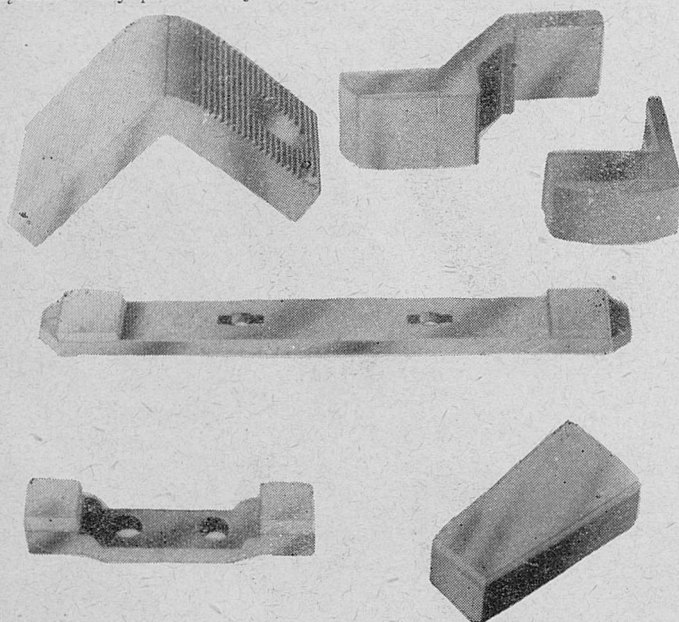
Inne własności charakterystyczne dla materiałów stykowych trudno jest określić liczbowo, gdyż zależą one od warunków pracy styku, lecz można je omówić porównawczo.

Ponieważ zawartość wolframu jest znacznie większa niż miedzi, spieki odznaczają się przeciętną przewodnością, dużą twardością, odpornością na działanie łuku i łatwą utleniałością. Dlatego stosuje się je na styki, które narażone są na silne mechaniczne zużycie i na duży zgar, a więc pracujące pod wysokim napięciem. W przypadku jednak pracy na powietrzu utleniają się, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu oporu sty-

kowego. W rezultacie przy prądach silnych i długotrwałych może nastąpić przegrzanie styków. Dlatego do pracy w powietrzu stosuje się styki wolframowo-miedziowe tylko wtedy, kiedy w ciężkich warunkach mechanicznych występują jedynie słabe łuki lub kiedy w wypadkach tworzenia się silnych łuków styki przenoszą duże, ale krótkotrwałe prądy.

Jako styki pracujące w powietrzu wykonywa się chętnie z materiału wolfram-miedź styki opalinowe do wysokonapięciowych wyłączników mocy (rys. 15). Pracują one doskonale, gdy przejmują tylko prądy w momencie załączania i wyłączania, natomiast prądy długotrwałe przenoszą inne styki o mniejszym oporze stykowym. W powietrzu pracują też dobrze styki do zgrzewarek punktowych.

Spieki wolfram-miedź chronione przed utlenianiem przez zanurzenie ich w oleju pracują bardzo dobrze. Dlatego stosuje się je powszechnie do wyłączników olejowych. W tych warunkach wykazują one 4 — 8-krotnie mniejszy zgar niż miedź. Najpospolitsze są tu styki stosowane w górniczych maszynach wyciągowych, pracujących przy napięciu 6000 V i natężeniu 75 A. Styki o grubości 4 mm wytrzymują 80 — 150 000 łążeń. W innych zastosowaniach przenoszą one prądy do 10 kA, a nawet szczytowe do 40 kA. Różnego rodzaju styki z nakładką wolfram-miedź przedstawia rys. 16. Na rys. 17 pokazano olejowy wyłącznik mocy po 4000 łążeń.



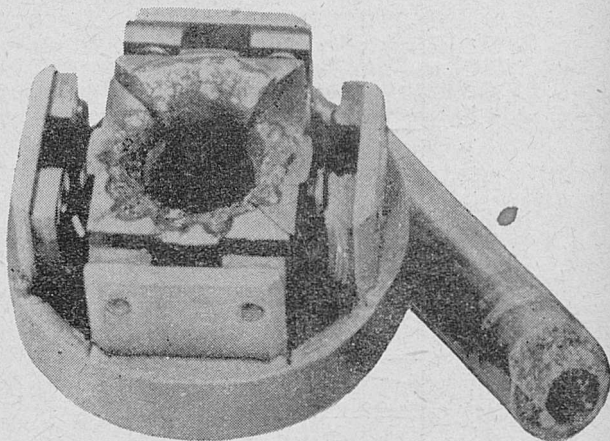
Rys. 16. Różnego rodzaju styki z nakładką wolfram-miedź

Wolfram-srebro. Własności fizyczne metali złożonych wolfram-srebro są zestawione w tabl. I. Są one prawie identyczne z własnościami spieków wolfram-miedź. W praktyce jednak spieki wolfram-srebro wykazują większą odporność na utlenianie i mniejszy opór stykowy. Styki wolfram-srebro stosuje się na ogół do prądów średnich przy niskich, średnich, a nawet wysokich napięciach.

Materiały o zawartości srebra do 20% mają te same możliwości stosowania co materiały wolfram-miedź. Poza tym znalazły one powszechne zastosowanie do zbrojenia styków w rozrusznikach

kach wózków elektrycznych i tramwajów. Przy napięciu 24 V znoszą one uderzenia dużych prądów bez sklejanego się.

Materiały o wyższej zawartości srebra (o $\sim 40\%$) z powodu małego oporu stykowego i dużej odporności na ścieranie stosuje się na takie styki, jak np. niskonapięciowe regulatory



Rys. 17. Wyłącznik olejowy z wkładką wolfram-miedź po 4000 łążeń

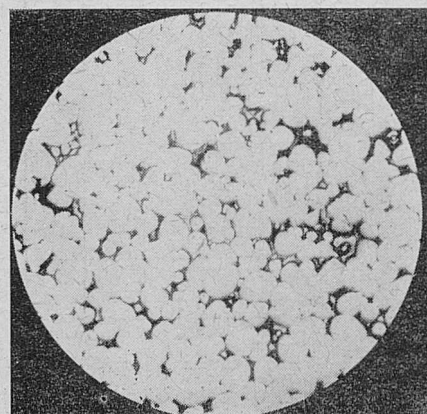
napięcia do lamp samochodowych, przekaźniki itp. Różnego rodzaju styki wolfram-srebro przedstawia rys. 18.

Molibden-srebro. Własności spieków tego typu zawarte są w tabl. II. Mają one mniejszą twardość niż odpowiednie spieki wolframowe i nieco większą przewodność elektryczną. Praktyczne ich znaczenie jest mniejsze niż styków wolfram-miedź i wolfram-srebro, ponieważ odznaczają się większym zgar. Są najbardziej odpowiednie dla niskich i średnich napięć oraz dużych prądów. Styki molibden-srebro należy stosować wówczas, kiedy przy małej i średniej częstotliwości wyłączeń wymagany jest silny docisk. Znalazły one zastosowanie przy przekaźnikach i wyłącznikach, przenoszących silne prądy i nie dopuszczających możliwości sklejenia się powierzchni stykowych. Spieki molibden-srebro są mniej odporne na korozję atmosferyczną niż spieki wyżej omówione.

Srebro-nikiel. W materiałach tego typu zawartość niklu waha się od 5 do 50%. Własności ich zebrane są w tabl. III.

Materiały nikiel-srebro odznaczają się przy małych zawartościach niklu bardzo dobrą przewodnością elektryczną i cieplną, zbliżoną do przewodności czystego srebra. Są one twardsze od srebra, wykazują niewielką skłonność do sklejanego się oraz niewielki i stały opór elektryczny; łatwo jest nadawać im kształty i obrabiać je.

Materiały srebro-nikiel wykazują jednak znacznie mniejszą odporność na mechaniczne zużycie i działanie łuku elektrycznego niż materiały zawierające wolfram lub molibden.



Rys. 18. Struktura spieku ciężkiego
× 90, trawiony kwasem azotowym

Tablica I. Własności materiałów złożonych wolfram-srebro

Skład (%)		Gęstość elektryczna (g/cm ³)	Twardość Brinella	Przewodność elektryczna (m/Ω mm ²)	Opór stykowy (%) (Ag—100%)
W	Ag				
90	10	17,5	230 — 250	20 — 23	1000
85	15	17,0	210 — 230	24 — 25	700
80	20	16,3	200 — 220	26 — 28	500
75	25	15,8	160 — 180	28 — 30	350
70	30	15,2	140 — 160	30 — 33	250
65	35	14,7	120 — 140	33 — 35	200
60	40	14,4	110 — 120	35 — 37	180
50	50	13,5	90 — 100	39 — 41	150
30	70	12,0	50 — 60	47 — 51	120

Ogólnie materiały tego typu znajdują zastosowanie tam, gdzie czyste srebro z powodu swej miękkości, skłonności do sklejanego się i dużego zgaru jest nieodpowiednie, a gdzie materiałów zawierających wolfram lub molibden nie można stosować

Tablica II. Własności materiałów złożonych molibden-srebro

Skład (%)		Gęstość (g/cm³)	Twardość Brinella	Przewodność elektryczna (m/Ω mm²)	Opór stykowy (%) (Ag—100%)
Mo	Ag				
80	20	10,25	190 — 210	28 — 30	500
75	25	10,27	180 — 190	30 — 32	400
70	30	10,28	160 — 170	32 — 34	325
65	35	10,29	140 — 150	34 — 36	275
60	40	10,30	120 — 130	36 — 38	250
50	50	10,32	90 — 100	40 — 42	225
30	70	10,33	50 — 60	48 — 50	175

z powodu zbyt dużego oporu stykowego. Przykładem są tu różnego rodzaju wyłączniki powietrzne, regulatory napięcia, przełączniki itp. Wyłączniki mocy przy zastosowaniu tego materiału mogą przenosić prądy aż do 10 000 A.

Tablica III. Własności materiałów złożonych srebro-nikiel

Skład (%)		Gęstość (g/cm³)	Przewodność elektryczna (%) (Ag = 100 %)	Opór stykowy (%) (Ag — 100%)
Ag	Ni			
85	15	9,4	78	130
80	20	9,2	70	140
70	30	8,8	65	165
60	40	8,2	50	—
40	60	8,0	40	—

Spieki ciężkie. Są to materiały zawierające 85 — 95% W, 3 — 10% Ni i 2 — 5% Cu. Uzyskuje się je przez nasycenie szkieletu wolframowego stopem miedź-nikiel lub przez prasowanie i spiekanie proszków o odpowiednim składzie chemicznym. Tą ostatnią metodą otrzymuje się specjalnie ciężkie wyroby (do 17,6 g/cm³). Spieki te kurczą się podczas spiekania o ~ 20% w przeciwieństwie do innych materiałów złożonych, w których występują tylko niewielkie zmiany wymiarowe. Podczas spiekania w temperaturze od 1400 do 1500° powstaje faza ciekła (stop Ni-Cu), rozpuszczająca w sobie częściowo ziarna wolframu, które jednak przy oziębianiu zostają wydzielone całkowicie z roztworu. Strukturę spieku ciężkiego przedstawia rys. 19.

Spieki ciężkie nadają się do obróbki mechanicznej. Można nadawać im kształty po spiekaniu zarówno wstępnym, jak i końcowym. Odznaczają się bardzo wielką odpornością na działanie łuku i dużą twardością. Ich przewodność elektryczna, choć mniejsza niż spieków wolfram-miedź, jest dość dobra.

Materiały tego rodzaju znalazły zastosowanie dla bardzo dużych prądów. Typowym zastosowaniem są styki opalnikowe w olejowych wyłącznikach mocy, pracujących na prąd zmienny. Własności spieków ciężkich podaje tabl. IV.

Inne materiały. Poza wymienionymi wyżej głównymi materiałami złożonymi pewne zastosowanie znalazły inne, jak np. srebro-grafit, srebro-nikiel-wolfram, srebro-nikiel-molibden, srebro-nikiel-kadm, srebro-kadm, srebro-żelazo, srebro-tlenek żelaza, srebro-olów, srebro-tlenek kadmu. Na wyróżnienie z nich

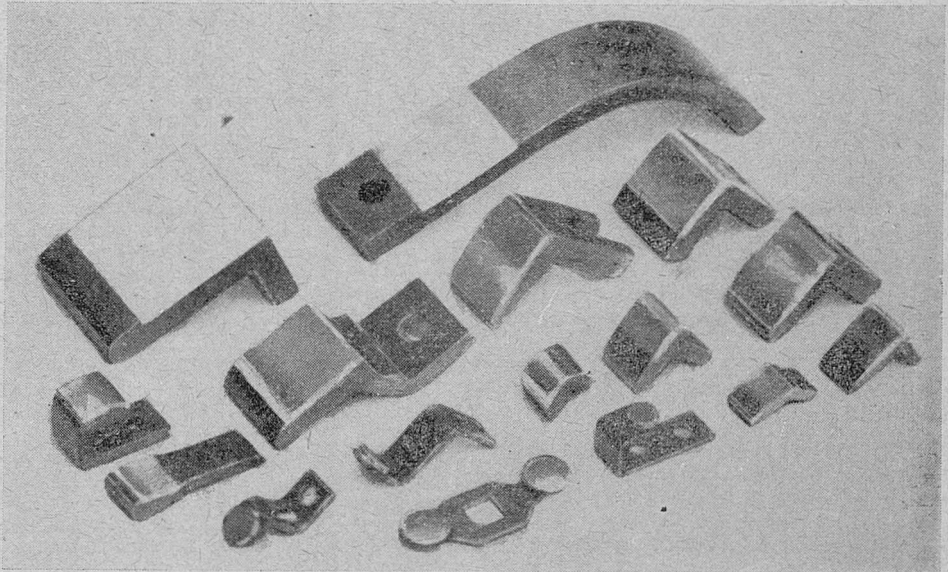
zasługuje ten ostatni materiał. Tlenek kadmu wykazuje skłonność do gaszenia łuku na skutek wydzielających się w wielkiej ilości gazów podczas jego dysocjacji, następującej już w temperaturze około 1000°C; poza tym odznacza się — w porównaniu z innymi tlenkami — dużą przewodnością elektryczną oraz zdolnością niesklejania się. Styki srebro-tlenek kadmu stosuje się przeważnie w przełącznikach wieloprądowych, w których srebro wykazywałoby za duże zużycie, a gdzie trudno jest stosować normalne metody gaszenia łuków. Docisk powinien być raczej nieduży.

8. Uwagi o konstrukcji styków z materiałów złożonych.

Złożone materiały stykowe są wytworem dość drogim, a technologia ich produkcji nie zezwala na wytwarzanie zbyt wielkich i skomplikowanych części. Z tych powodów wytwarza się z nich jedynie nakładki o różnych kształtach, które przymocowuje się do pokładek miedzianych w miejscach najbardziej narażonych na zużycie, a więc na powierzchniach stykowych.

Nakładki wykonuje się od razu o żądanych kształtach przez prasowanie proszków w odpowiednich matrycach stalowych, przez poddawanie materiału spiekane go wstępnie lub ostatecznie obróbce wiórowej lub przez przecinanie tarczą tnącą profilowych prętów otrzymanych przy pomocy wyciskania. Ze względów technologicznych nie produkuje się kształtek cieńszych niż 1,5 mm. Wielkość największa produkowanych kształtek zależy od posiadanych urządzeń, na ogół jednak nie przekracza się poza następujące wymiary: długość 150 mm, szerokość 70 mm, grubość 35 mm; dla kształtów cylindrycznych największe wymiary średnicy i wysokości wynoszą 100 mm.

W pewnych przypadkach dla uniknięcia nieprawidłowego przebiegu łuku, powstałego na skutek przepływu prądu między materiałami o różnej przewodności elektrycznej (np. nakładki ze spieku i podkładki z miedzi), stosuje się tzw. styki wielowarstwowe, które nie zniekształcają łuku i nie powodują powstawania iskier między powierzchniami stykowymi. Styki wielowarstwowe składają się z kilku warstw materiału o zmiennym składzie, jak przedstawia np. rys. 20. Górną warstwę cechuje największa twardość i gęstość oraz najmniejsza przewodność.



Rys. 19. Różnego rodzaju styki z materiału srebro-nikiel

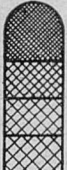
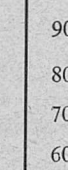
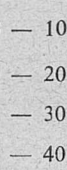
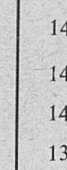
Rys. 21 przedstawia zmodyfikowany styk wielowarstwowy, mający większą przewodność niż styk z rys. 20, wskutek czego nagrzewa się mniej podczas pracy.

Kształt podkładek zależy od konstrukcji styków. Wielkość ich musi być tak zaprojektowana, aby mogły pracować bez nad-

Tablica IV. Skład i własności spieków ciężkich

Skład (%)	{ W Ni Cu	90	90	90	90	84	84	84	84	76	76	76	76
		7	5	3	1	11	8	5	2	16	12	8	4
Temperatura spiekania		3	5	7	9	5	8	11	14	8	12	16	20
Temperatura spiekania	(°C)	1375	1330	1300	1240	1375	1330	1300	1240	1375	1330	1300	1240
Gęstość teoretyczna		17,6	17,6	17,6	17,6	16,9	16,9	16,9	16,9	16,2	16,2	16,2	16,2
„ po spiekaniu		13,6	13,3	14,3	13,6	13,1	12,8	14,2	13,2	12,4	11,8	13,9	13,2
„ po przeróbce plastycznej i wyżarzeniu		16,6	16,5	16,7	16,6	15,5	15,4	15,6	15,6	15,0	14,4	14,6	14,5
Przewodność elektryczna	(m/Ω mm²)	9,4	9,7	10	10,9	7,4	8,1	8,8	9,7	5,6	6,6	7,6	8,8
Twardość Brinella		213	218	238	248	208	214	214	208	170	220	185	176

miernego nagrzania i odkształcenia na skutek docisków i uderzeń. Często ogrzewanie podczas lutowania osłabia podkładkę z miedzi, co powoduje jej pęknięcie w czasie pracy. Należy wówczas stosować podkładki ze stopów miedzi odpornych na działanie ciepła i o dużej przewodności.

	Skład chem. W—Ag (%)	Gęstość (g/cm ³)	Przew. elektr. (m/Ω·mm ²)	Twardość Brinella
	90 — 10	14,8	14	230
	80 — 20	14,7	22	185
	70 — 30	14,2	27	130
	60 — 40	13,7	34	100

Rys. 20. Konstrukcja, skład i własności styku wielowarstwowego

Nakładki o wypukłych powierzchniach stykowych wykonuje się płaskie na powierzchniach mocujących. Mocowanie nakładek na podkładki odbywa się przy pomocy lutowania twardego, nadlewania, nitowania, wzgl. połączenia śrubowego. Nakładki przeważnie mocuje się na powierzchni podkładek. Jeżeli jednak podkładki są dostatecznie grube, to dobrze jest wpuszczać w nie nakładki na całą ich grubość.



W — Ag (%)

90 — 10

80 — 20

70 — 30

60 — 40

Rys. 21. Zmodyfikowany styk wielowarstwowy

Najważniejszą metodą łączenia jest lutowanie. Stosuje się lut srebrny (normalnie spotykane w handlu gatunki). Dla małych powierzchni lutowanych wystarcza blacha o grubości 0,05 mm, dla większych powierzchni stosuje się blachy od 0,10 do 0,15 mm.

Najłatwiej wykonuje się lutowanie przyrządem elektrycznym oporowym, ale można je również wykonywać przy pomocy palnika acetylenowego oraz w piecach ciągłych.

9. Możliwości krajowe.

Przed wojną, a szczególnie w czasie drugiej wojny światowej, stosowano już w ograniczonej zresztą ilości w kraju styki

z materiałów złożonych importowanych („Elmet“ z Austrii, „Elkonite“ ze Szwecji).

Po wojnie zaczęto w licznych urządzeniach znowu stosować miedź, co spowodowało znaczne trudności ruchowe, wobec czego w 1949 r. Instytut Metalurgii podjął badania nad spiekami wolfram-miedź i wolfram-srebro, a w roku 1951 hutnictwo podjęło próbną produkcję styków elektrycznych z nakładkami ze spieków wolfram-miedź. Obecnie są już odpowiednie urządzenia i wytwarza się styki na skalę półtechniczną. Hutnictwo wykonuje przeważnie nakładki o kształtach według wskazań klienta, gdyż wyroby nie są jeszcze znormalizowane. Dostarczone nakładki klienci łączą z podkładkami miedzianymi zazwyczaj sami. Wytwarzane są obecnie materiały wolfram-miedź, wolfram-srebro i srebro-tlenek kadmu.

Hutnictwo podjęło również w roku 1952 próbną produkcję prętów wolframowych. Stosuje się je głównie jako elektrody do spawania metodą „arcatom“, jako elektrody do pisaków elektrycznych, styki itp. Produkuje się również na małą skalę „płatynek“ do iskrowników silników spalinowych i innych urządzeń oraz pręty i taśmy molibdenowe. W przygotowaniu jest produkcja blach wolframowych i kompletnych styków do przerywaczy i skrawników.

Konstruktorzy styków, racjonalizatorzy i dozór urządzeń elektrycznych mogą więc korzystać z produkowanych w kraju materiałów stykowych, skracając w ten sposób czas postoju urządzeń, zwiększając bezpieczeństwo i pewność ruchu oraz zmniejszając zużycie miedzi.

Do czasu ustabilizowania produkcji konieczna jest ciągła współpraca i wymiana spostrzeżeń oraz wyników pracy styków między wytwórcą a klientem. Dlatego wszyscy użytkownicy we własnym i ogólnym interesie powinni notować liczbę łączów oraz czas pracy styków i dane te łącznie z warunkami elektrycznymi pracy przysyłać do wytwórcy. Współpraca taka pozwoli osiągnąć w najkrótszym czasie wysoki poziom produkcji krajowej.

LITERATURA

- [1] Holm R. Electric Contacts, Uppsala, 1946.
- [2] Hunt L. B. Electrical Contacts, Londyn, 1946.
- [3] Wanke K. Einführung in die Pulvermetallurgie, Graz.
- [4] Wulff J. Powder Metallurgy, Cleveland, 1942.
- [5] Goetz C. G. Treatise on Powder Metallurgy, New York, 1950.
- [6] Kieffer R. i Hotop W. Metalurgia proszków i materiały spiekane, Warszawa, 1951.
- [7] Balszin. Poroszkowa Metalurgia, Moskwa, 1948.
- [8] Windred. Electrical Contacts, Macmillan, 1940.
- [9] Bursztyn. Elektrische Kontakte, Berlin, 1937.
- [10] Krupkowski, Rutkowski i Stolarz. Spiekane styki elektryczne, cz. I, Prace GiMet., 3, 1951.
- [11] Rutkowski, Stolarz. Spiekane styki elektryczne, cz. II i III, Prace iMet., 3, 1951 i 4/1952.
- [12] Bryjak i Zacharzewski. Metalurgia proszków w Planie 6-letnim, Warszawa, 1951.

Wydawnictwa nadesłane

BADER JERZY, mgr inż. **ODGROMNIKI ZAWOROWE**. Konstrukcja. Eksploatacja. Próby. 1954, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 88, rys. 57, cena zł. 6,20. — Spis rzeczy: Budowa i własności odgromników. Wstęp. Przepięcia i ich obniżanie przez odgromnik. Stup zmiennoporowy odgromnika. Iskierniki odgromników. Wymagania stawiane odgromnikom. Konstrukcje odgromników zaworowych. — Stosowanie i badanie odgromników. Rola odgromnika w sieci i jego umieszczenie. Eksploatacja odgromników zaworowych. Badania odgromników. — Informacje wydawcy: Odgromniki zaworowe na napięcie zmienne, stosowane do ochrony stacji transformatorowo-rozdzielczych. Zasada działania odgromników oraz ich elementy, tj. iskierniki i słupy zmiennoporowe. Wymagania stawiane odgromnikom i konstrukcje odgromników pracujących w sieciach krajowych ze szczególnym uwzględnieniem konstrukcji wykonanych w kraju. Zagadnienia dotyczące eksploatacji odgromników oraz próby odbiorcze i profilaktyczne. Książka przeznaczona jest dla elektryków zajmujących się eksploatacją i próbami odgromników.

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ. Nr 1. Elektryka I. Redaktor Zeszytów Naukowych Politechn. Wrocławskiej J. Skowroński, redaktor zeszytu M. Miłkowska. 1954, Wrocław, Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Str. 98, cena zł 9,10. — Spis rzeczy: Przedmowa Rektora Politechniki Wrocławskiej. —

A. Jellonek, Z. Karkowski. Przyrządy pomiarowe bez błędów subiektywnych. — J. Skowroński. O zagadnieniu celowego kształtu i wielkości izolatora teletechnicznego. — K. Fulińska, Z. Godziński, S. Dembiecka-Jellonkova, J. Kossendziak, C. Wesołowska. Warstwy cienkie metali na szkle. — J. Mysielski. Teoria działania molwakometru Gaedego w zakresie wysokiej próżni. — J. Rychlik. Zniekształcenia przy oscyloskopowym badaniu krzywej rezonansu. — Z przedmowy Rektora Politechniki Wrocławskiej: Stale rozwijająca się praca naukowa katedr Politechniki Wrocławskiej wymaga publikowania jej wyników w celu stworzenia możliwości szerokiej oceny pracy naukowej uczelni przez wszystkich polskich pracowników naukowych oraz spożytkowania jej w innych pracach naukowych lub w zastosowaniu technicznym. Istniejące czasopisma naukowe i fachowe niejednokrotnie nie są w stanie podjąć nadysłanemu materiałowi, co powoduje opóźnienie publikacji, a przez to pod znakiem zapytania stawia priorytet osiągnięcia naukowego. Wreszcie potrzebne jest wydawnictwo, które by przedstawiało dorobek uczelni i jej wkład do postępu nauki i wiedzy technicznej. Publikowane w Zeszytach prace naukowe powinny być przede wszystkim dorobkiem pomocniczych pracowników naukowych, aspirantów, magistrantów. Umożliwienie publikacji młodym pracownikom naukowym będzie dla nich bodźcem do zintensyfikowania ich działalności naukowo-badawczej, a jednocześnie pozwoli ocenić początkujące siły naukowe.

BIULETYN INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok VIII — nr 2

Warszawa, Piętna 68

Maj 1954 r.

Zakład Techniki Świetlnej
Instytutu Elektrotechniki

BADANIE WSPÓŁCZYNNIKA SZCZYTU KRZYWEJ PRĄDU ŚWIETŁÓWKI W ZALEŻNOŚCI OD WŁASNOŚCI DŁAWIKA

1. Współczynnik szczytu krzywej prądu.

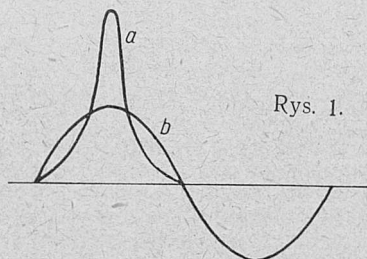
Stosunek amplitudy ($i_{\max}$) krzywej natężenia prądu do jego skutecznej wartości nazywamy współczynnikiem szczytu krzywej natężenia prądu:

$$c_k = \frac{i_{\max}}{(T^{-1} \cdot \int_0^T i^2 dt)^{1/2}};$$

dla kształtu sinusoidalnego jest więc $c_k = \frac{\sqrt{2} \cdot i_{\max}}{i_{\max}} = 1,41$,
dla kształtu prostokątnego $c_k = 1$.

2. Cel badania.

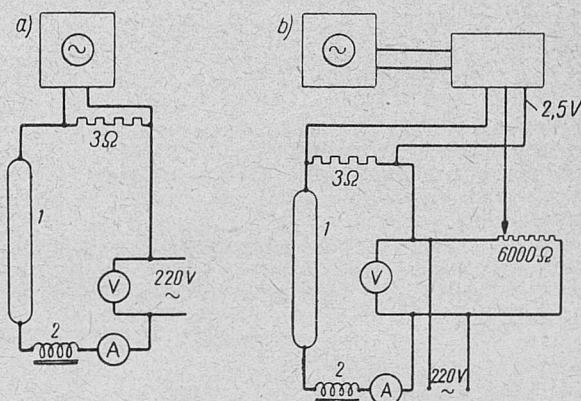
Z obcych badań wiadomo, że współczynnik szczytu krzywej natężenia prądu, który jest przy danej świetlówce za-



Rys. 1.

leżny od własności dławika, ma wielki wpływ na zachowanie się świetlówki — na moc lampy, strumień świetlny, wydajność

Dla danej świetlówki można założoną moc uzyskać przy wysokim współczynniku szczytu („chudej” krzywej natężenia prądu) tylko przez wysoką amplitudę (maksymalną wartość) natężenia prądu. Katody świetlówki muszą więc w chwili prze-



Rys. 2. Układy pomiarowe

a — układ do zdjęcia krzywej prądu
b — układ do zdjęcia krzywej prądu i napięcia
1 — świetlówka na 40 W
2 — dławik

chodzenia natężenia prądu przez szczyt wysyłać znacznie większą ilość elektronów, co przy tworzącej się przed katodą chmurze elektronów, odpychającej elektrony emitowane z powrotem do katody, jest możliwe tylko przez znaczne zwiększenie katodowego spadku napięcia. Wynikiem tego jest znacznie zwiększone przyspieszenie, a więc i zwiększona prędkość jonów bombardujących katodę oraz znacznie zwiększone zużycie warstwy emisyjnej na katodzie. Ponieważ świetlówki kończą swój żywot prawie zawsze wskutek zużycia się warstwy emisyjnej jednej z katod, wpływ kształtu krzywej natężenia prądu na trwałość

Tablica I. Wyniki pomiarów współczynnika szczytu krzywej prądu dławików wyrobu krajowego

Nr zdjęcia oscylograficznego	Rodzaj dławika	Oznaczenie	Napięcie sieci (V)	Współczynnik szczytu krzywej prądu	
1	Dławiki jednouzwojeniowe masowej produkcji	Nr 20	220	1,56	
2		„ 26	220	1,60	
3	Modele dławików jednouzwojeniowych o zmienionej konstrukcji	„ 2	220	1,60	
4		„ 4	220	1,62	
5	Dławiki dwuuzwojeniowe (w układzie pojemnościowym) masowej produkcji	„ 21	220	1,75	
6		„ 23	220	1,68	
7	Modele dławików do krótkich świetlówek (500 mm), typ zatwierdzony	„ K2	122	1,55	
8		„ K4	122	1,53	
9	Model dławika trójfazowego (projekt racjonalizatorski)	Model 2	3 × 380	Słup 1	1,47
10				Słup 2 (środkowy)	1,41
11				Słup 3	1,42

świetlną, efekt stroboskopowy, a przede wszystkim na trwałość świetlówki. Przy zwiększonym współczynniku szczytu wydajność jest nieco mniejsza, efekt zaś stroboskopowy znacznie zwiększony, gdyż strumień świetlny zmienia się w pierwszym przybliżeniu proporcjonalnie do natężenia prądu, a więc przy krzywej *a* (rys. 1), mającej duży współczynnik szczytu, znacznie silniej niż przy krzywej *b* (sinusoidzie).

jest w świetle powyższych rozważań zrozumiałą. Przy zwiększeniu współczynnika szczytu do $k_c = 2,0$ szczytowe natężenie prądu wzrasta o ~ 40%, a trwałość spada do ~ 55% trwałości osiągananej przy dobrym dławiku ($c_k = 1,50$ *).

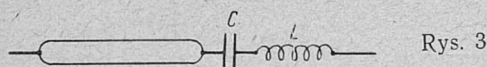
*) Lowry E. Thermionic Cathodes for Fluorescent Lamps and their Behaviour (Illum. Engng., 1951, VI, str. 291).

3. Pomiar.

Rys. 2 podaje układy do zdjęcia samej krzywej prądu i równoczesnego zdjęcia krzywych prądu i napięcia. Zdjęcia fotograficzne krzywych oscylograficznych powiększono i z odbitek

$$\text{obliczono wartości } \sum_0^{2\pi} i^2 \cdot \Delta t \approx \int_0^{2\pi} i^2 \cdot dt.$$

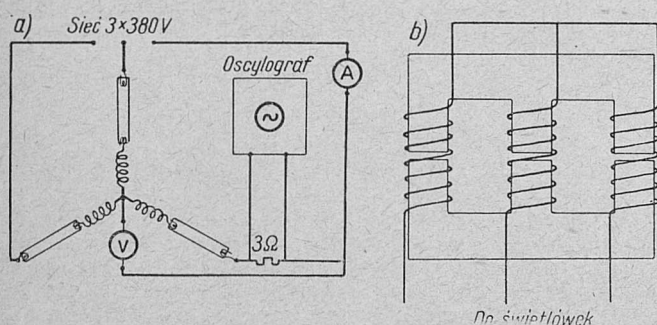
Poddano również analogicznemu badaniu obwody świetlówek w układzie pojemnościowym, to jest dławik w szeregu z kondensatorem i świetlówką (rys. 3), przy czym $\frac{1}{\omega C} > \omega L$. (Schematy układów pomiarowych z rys. 2 zmieniają się tu tylko



w tym, że zamiast dławika występuje kondensator w szeregu z dławikiem). Obwody te są, jak wiadomo, bardzo często stosowane w tzw. układzie sprzężonym dwu świetlówek.

Tabl. I przedstawia wyniki pomiarów. Badaniu poddano obwody z następującymi dławikami:

- 2 dławiki krajowe jednoczojennowe (dla indukcyjnych obwodów), masowej produkcji,
- 2 modele dławików jednoczojennowych (badanie innych

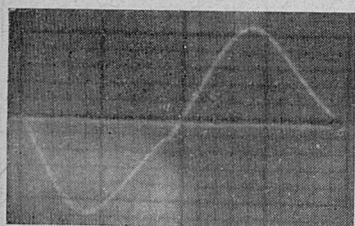


Rys. 4. Pomiar dławika trójfazowego

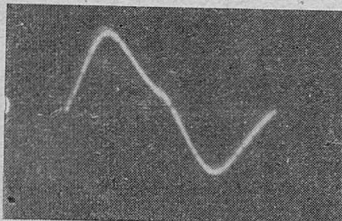
a — układ pomiarowy b — schemat mechaniczny dławika

własności tych modeli jest w toku, nie są one jeszcze zatwierdzone do produkcji masowej);

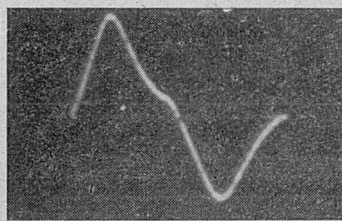
- 2 dławiki dwuczojennowe (dla obwodów pojemnościowych, w szeregu z kondensatorem) masowej produkcji;
- 2 modele dławików do krótkich świetlówek (500 mm), typ zatwierdzony;
- e) model 3-fazowego dławika (projekt racjonalizatorski) w układzie podanym na rys. 4.



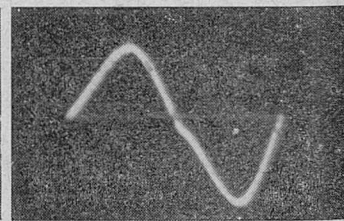
Rys. 2



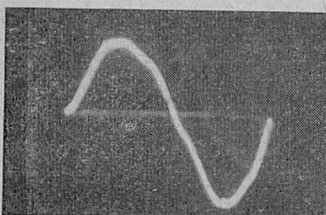
Rys. 4



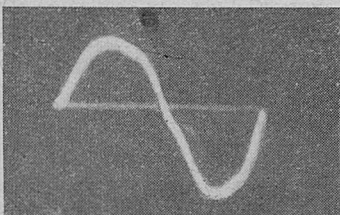
Rys. 6



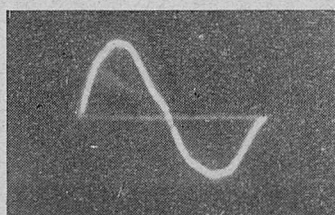
Rys. 8



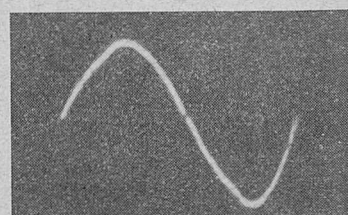
Rys. 9.



Rys. 10.



Rys. 11



Rys. 12.

Rys. 5. Oscylogramy obwodów świetlówek (por. tabl. I)

Rys. 5 podaje zdjęcia fotograficzne oscylogramów nr 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12; numeracja ta odpowiada numeracji tabl. I. Jako krańcowości widać odkształcenie i stromość krzywych dławików dwuczojennowych oraz zbliżony do sinusoidy kształt krzywych dławika trójfazowego. Zdjęcie nr 12 przedstawia krzywą napięcia sieci.

Tablica II. Względne trwałości świetlówek w zależności od wartości współczynnika szczytu krzywej prądu obwodu świetlówki (trwałość dla $k_c = 1,45$ przyjęto na 100%, wartości zaokrąglono do 0,5%)

k_c	T %	k_c	T %	k_c	T %	k_c	T %
1,45	100	1,60	87	1,75	74	1,90	61
1,50	96	1,65	82,5	1,80	70	1,95	57
1,55	91,5	1,70	78,5	1,85	65,5	2,00	52,5

4. Wnioski.

Z wyjątkiem dławika trójfazowego wszystkie dławiki badane wykazują współczynnik szczytu krzywej prądu większy niż 1,50. Jednak gdy przy stabilizacji za pomocą obecnie produkowanych dławików jednoczojennowych (używanych w obwodach indukcyjnych) pomiary wykazały średni współczynnik szczytu krzywej prądu $k_c = 1,58$, to przy obwodach pojemnościowych z dławikami dwuczojennowymi, pracującymi w szeregu z kondensatorem na 3,7 μF , wyniósł on średnio aż 1,715.

Nie znamy dokładnego kształtu krzywej trwałości świetlówek w funkcji współczynnika szczytu krzywej prądu. Jeżeli przyjmujemy, że jest to funkcja liniowa i oprzemy się na pomiarach zagranicznych, według których przy $k_c = 2,0$ trwałość spada do $T_2 = 0,55 T_{1,50}$, to w stosunku do doskonałych dławików wykazujących $k_c = 1,45$ względna trwałość będzie wynosić

$$(2) \quad \frac{T}{T_{1,45}} = 0,525 + (2 - k_{cT}) 0,865,$$

gdzie $T_{1,45}$ oznacza trwałość świetlówki przy dławiku dającym współczynnik szczytu $k_c = 1,45$, T oznacza trwałość przy dławiku dającym współczynnik szczytu krzywej prądu k_{cT} .

Tabl. II podaje względne wartości trwałości obliczone według wzoru (2). Jak widać, trwałość świetlówek w obwodach indukcyjnych wynosi przy użyciu obecnie wyrabianych dławików około 89 do 90% trwałości, którą świetlówki osiągnęłyby przy zastosowaniu doskonałych dławików o $k_c = 1,45$. Przy modelach dławików do krótkich świetlówek wynosi ta względna trwałość ok. 92 do 93%. Natomiast w obwodach pojemnościowych trwałość świetlówek wynosi wskutek zbyt wysokiego współczynnika szczytu krzywej prądu tylko ok. 77% wartości, którą osiągnięto by przy użyciu dławików o właściwym współczynniku k_c . Jakkolwiek więc wszystkie typy dławików badanych, z wyjątkiem dławika trójfazowego, wymagają przekonstruowania, to przy dławikach jednoczojennowych sprawa ta nie jest nagląca. Natomiast dławiki dwuczojennowe powinny ulec jak najszybszemu

przekonstruowaniu celem obniżenia współczynnika szczytu krzywej prądu. Jak zaznaczono na wstępie, idzie tu nie tylko o trwałość, ale o prawie wszystkie własności oświetlenia fluorescencyjnego, jak pulsowanie strumienia świetlnego, wydajność świetlna, kolor, a także orzydźwięk (brzęczenie) dławików

L. B.

PRZEGŁĄD DOKUMENTACYJNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI

Dodatek do miesięcznika PRZEGŁĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 6

Warszawa, maj 1954 r.

Nr 5

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

Układy elektroenergetyczne.

- 215* 621.311.153 D1
Weingärtner W.: Dalsze badania współczynnika wykorzystania szczytu, czasu wykorzystania szczytu. „Weitere Untersuchung des Ausnutzungsfaktors der Betriebszeit, der Betriebszeitnutzung“. Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/M, dwutyg., Nr 6, marz. 53, s. 140; A4, 3,5 str., 7 rys., 4 tabl. — Obliczanie zużycia energii. Wykres schodkowy. Definicja i sposób wyznaczania współczynnika wykorzystania szczytu. Obliczenia i wykresy. Przypadek teoretyczny dla czasu pracy równego czasowi, w którym silniki są w ruchu. Zmniejszenie współczynnika wykorzystania na skutek konieczności „gorącej rezerwy” — pewnej ilości silników w ruchu na biegu jałowym.

Elektrownie.

- 216* 621.356:621.311.2 D1
Prużanski A. M.: Baterie akumulatorów w elektrowniach małej i średniej mocy. „O akkumulatorkowych bateriejach na elektrostancjach maloj i sriedniej moszcznosti“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 53, s. 44; A4, 2,5 str., 2 rys., 2 poz. bibl. — Baterie akumulatorów jako niezależne źródło prądu dla zasilania obwodów sterowania, zabezpieczeń, sygnalizacji i rezerwowego oświetlenia. Układy połączeń dla urządzeń 24 V. Zastąpienie, ze względów ekonomicznych, baterii akumulatorów 220 V przez baterię 24 V w elektrowniach o mocy do 6 tys. kW.

Maszyny elektryczne.

- 217* 621.313:621.822.2 D1
Niejman Z. B.: Łożyska oporowe pionowych maszyn elektrycznych. „Podpiatniki wiertikalnych elektriczeskich maszyn“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 53, s. 52; A4, 6,5 str., 9 rys., 6 tabl., 1 poz. bibl. — Konstrukcje łożysk oporowych ślizgowych dla średnich i dużych maszyn elektrycznych, generatorów napędzanych przez turbiny wodne i silników dla napędu pomp. Łożyska segmentowe. Dane techniczne smarów, dopuszczalne obciążenia łożysk, straty, wymiary.

- 218* 621.313.2:621.3.013.4 D1
Gonczarow I. S.: Obliczenie podłużnej siły magnetomotorycznej poprzecznego oddziaływania twornika w nieskompensowanych maszynach prądu stałego. „Rasczot prodolnoj namagniczewajuszczej siły popieriecznoj rieakcji jakoria niekompensirowannyh maszin postojannowo toka“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 53, s. 41; A4, 5 str., 8 rys., 2 poz. bibl. — Przybliżone metody obliczania wpływu poprzecznego oddziaływania twornika na strumień główny jako funkcji prądu twornika i indukcji. Krzywe dla przybliżonego określenia tych wielkości bez stosowania sposobów rachunkowych.

- 219* 621.313.32:044.53:621.3.013.5 D1
Woldek A. I.: Rozproszenie różnicowe uzwojenia stojana maszyny synchronicznej z wydatnymi biegunami. „Diffierencjalnoje rassiejanie obmotki statora jawnopolusnoj synchronnoj masziny“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 53, s. 46; A4, 5,5 str., 4 rys., 3 poz. bibl. — Wzory dla obliczenia oporności rozproszenia związanej ze strumieniami wyższych harmonicznych pola stojana. Oporność różnicowego rozproszenia w osi podłużnej i poprzecznej. Wpływ uzębienia stojana. Przykład obliczeniowy.

- 220* 621.313.322:621.3.013.62 D1
Kantor R. M.: O procesach przejściowych przy asynchronicznym samowzbudzeniu synchronicznych generatorów. „O processach ustanowlenja pri assinchronnom samowzbudzeniji synchronnych genieratorow“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 53, s. 17; A4, 6 str., 7 rys., 6 poz. bibl. — Przypadek zasilania linii wysokiego napięcia, nieobciążonej, o dużej pojemności. Proces ustalania się przebiegów przy samowzbudzaniu się maszyny synchronicznej, dający pole wirujące asynchronicznie z magnesnicą. Stan ustalony dla maszyny z wystającymi biegunami.

- 221* 621.313.33:621.3.013.5 D1
Woldek A. I.: Wpływ nierównomierności szczeliny powietrznej na rozproszenie różnicowe maszyny asynchronicznej. „Wlijanie nierownomiernosti wozdusznowo zazora na difierencjalnoje ras-

siejanie asinchronnoj masziny“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 8, sierp. 53, s. 32; A4, 7 str., 6 rys., 8 poz. bibl. — Analiza rozproszenia stanowiącego różnicę rozproszenia całkowitego i rozproszenia podstawowej harmonicznej pola stojana przy użebionym stojanie i wirniku. Poprawka uwzględniająca nierównomierność szczeliny. Wzór i krzywe dla określenia poprawki.

Sieci i podstacje.

- 222* 621.316.11:027.2 D1
Archipow N. K.: Obliczanie sieci niskonapięciowych według wskazań napięcia. „Rasczot niskowoltnych siećej po odklaniennjam napriazennja“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 17; A4, 5,5 str., 7 wyk., 1 tabl., 6 poz. bibl. — Konieczność uwzględnienia wahań napięcia zasilającego przy obliczaniu sieci niskonapięciowych. Sposób obliczania sieci niskonapięciowych według dopuszczalnych wahań napięcia. Obliczanie dwupromieniowej miejskiej sieci. Stosowanie dodatkowych transformatorów.

Wylączniki.

- 223* 621.316.57:621.311.2 D1
Langrehr H.: Najlepsze wykorzystanie wyłączników w elektrowniach i sieciach wysokich napięć. „Optimale Ausnutzung von Schaltern in Kraftwerken und Hochspannungsnetzen“. Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt a/M, dwutyg., Nr 7, kw. 53, s. 157; A4, 6,5 str., 8 rys., 2 tabl. — Wyjściowe wartości charakterystyczne, na podstawie których dobiera się wyłączniki. Typowe układy sieci do obliczenia prądów zwarcia i mocy zwarcia. Przebieg obliczeń dla przypadku zwarć w linii i na szynach. Porównanie metody obliczeniowej i wykresowej. Objaśnienie sposobu posługiwania się wykresami dla doboru wyłączników.

- 224* 621.316.57:064.24 D1
Guriewicz W. I.: Poprawianie działania wyłączników powietrznych. „Naladka raboty wozduszných wyluczatieliej“. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 12, grud. 52, s. 27; A4, 4,5 str. — Opis budowy trzech typów wyłączników: 110 kV firmy BBC, 110 kV wytwórni Słowiańskiej i 220 kV firmy AEG. Wady działania tych wyłączników i różne sposoby ich usuwania dla zwiększenia pewności pracy.

Regulacja.

- 225* 621.316.72:621.078.3 D1
Kacnielson O. G., Edelsztejn A. S.: Precyzyjny stabilizator prądu elektrycznego z zastosowaniem solenoidu. „Prieczionnyj solenoidnyj stabilizator elektriczeskowo toka“. Elektrizestwo, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 53, s. 48; A4, 2 str., 1 rys., 3 wyk. — Stabilizator prądu zmiennego składający się z solenoidu z ruchomym stalowym rdzeniem i z obwodu rezonansowego z cewką indukcyjną. Zasada działania i charakterystyki pracy stabilizatora z solenoidem. Dokładność stabilizacji i szybkość reakcji.

- 226* 621.316.722:621.316.727 D1
Jean-Richard Ch.: Poprawa współczynnika mocy w sieciach elektrycznych niskich i wysokich napięć. „Verbesserung des Leistungsfaktors in elektrischen Hoch- und Niederspannungsnetzen“. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 1, stycz. 53, s. 20; A4, 2 str. — Niepożądany wpływ prądu biernego na wartość strat czynnych. Wzrostki zmniejszenia do minimum prądu biernego ograniczonego stratami jałowymi transformatorów. Silniki indukcyjne słabo obciążone jako odbiorniki prądu biernego. Instalowanie pojemności skupionej w sieciach nie rozwiązuje zagadnienia. Stosowanie przewzbudzonych generatorów synchronicznych. Konieczność regulacji samoczynnej napięcia i przesyłu mocy biernej w powyższych układach. Zakres i zasady regulacji.

Urządzenia zabezpieczające i ochronne.

- 227* 621.316.9:621.316.17 D1
Schneider K.: Zagadnienia z zakresu środków ochrony, w szczególności zerowania. „Probleme im Bereich der Schutzmassnahmen, insbesondere die Nullung“. Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt a/M, dwutyg., Nr 13, lip. 53, s. 329; A4, 5,5 str., 11 rys. — Komentarz do wymagań nowego projektu przepisów VDE 0100 i 0140. Dyskusja nad różnymi sposobami ochrony. Porównanie

z dawnymi przepisami. Zerowanie sieci niskiego napięcia. Zastosowanie i sposób wykonania zerowania w sieci zasilającej, instalacji domowej i instalacji odbiorcy przemysłowego. Stosowanie uzimienia, połączeń ochronnych i napięć bezpiecznych. Dobór bezpieczników topikowych w układzie zabezpieczającym od powstania napięć niebezpiecznych dla życia.

228* 621.316.925.4:621.318.5:621.318.4 D1
Edgley R., Hamilton F. L.: Zastosowanie transduktorów jako przekaźników w urządzeniach zabezpieczających. „The application of transducers as relays to protective gear”. Proc. Inst. El. Engrs, London, dwumies., t. 99, cz. 2, Nr 70, sierp. 52, s. 297; A4, 17 str., 11 rys., 3 wyk., 14 poz. bibl. — Znaczenie urządzeń zabezpieczających w sieciach elektrycznych. Działanie i budowa transduktorów. Układy i połączenia transduktorów. Charakterystyki robocze. Zastosowanie transduktorów do urządzeń zabezpieczających (czułe przekaźniki, przekaźniki czasowe). Inne zastosowania transduktorów jako przekaźników (układy połączeń i charakterystyki). Dyskusja na temat działania transduktorów zbocznikowanych, charakterystyk praktycznych i teoretycznych transduktorów.

229* 621.316.92 D1
Barzam A. B.: Urządzenie do ochrony przed nieprawidłowym działaniem zabezpieczeń spowodowanym przez prądy obciążenia. „Ustrojstwo dla priedotwraszczenia nieprawidłowo dziejstwia zaszczyt ot tokow nagruzki”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 2, luty 53, s. 35; A4, 3 str., 1 rys., 3 wyk. — Schemat i zasada działania urządzenia ochraniającego. Działanie urządzenia przy zwarcia, przeciążeniach i w normalnych warunkach pracy. Analiza działania urządzenia przy przeciążeniach i zwarcia oraz wykres wektorowy we współrzędnych R/X.

230* 621.316.93 D1
Jurikow P. A.: Zewnętrzne przerwy iskrowe odgromników wydmuchowych. „O wniesznich iskrowych promieżutkach trubecznych razriadnikow”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 2, luty 53, s. 38; A4, 2 str., 2 wyk., 3 poz. bibl. — Niewłaściwe działanie odgromników wydmuchowych przyczyną uszkodzeń transformatorów. Opis i analiza czterech przypadków uszkodzenia uzwojeń transformatorów 35 kV. Zalecone wielkości zewnętrznych przerw iskrowych dla odgromników wydmuchowych 35 kV i 110 kV.

231* 621.316.93 D1
Lichaczew F. A.: Wybór wielkości zewnętrznych przerw iskrowych odgromników wibrowo-bakelitowych w sieciach 35 kV i 110 kV. „O wyborne wniesznich iskrowych promieżutkow wibrobakelitowych razriadnikow w sietiach 35 i 110 kW”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 53, s. 30; A4, 4 str., 2 rys., 2 wyk., 2 tabl. — Przyczyny zakłóceń i wady działania zabezpieczeń odgromowych. Analiza dwóch przypadków odłączenia transformatorów na skutek zakłóceń burzowych. Schemat rozmieszczenia zabezpieczeń odgromowych na doprowadzeniach do transformatora 20 000 kVA, 110/35/6 kV. Zalecane wielkości zewnętrznych przerw iskrowych odgromników wydmuchowych.

232* 621.316.933:621.316.13.027.2 D1
Nowy odgromnik dla sieci prądu zmiennego niskiego napięcia. „Neue Überspannungsableiter für Wechselstrom Niederspannungsnetze”. Elektrizitätswirtsch., Frankfurt a/M, dwutyg., Nr 13, lip. 53, s. 355; A4, 1 str., 3 rys., 1 tabl. — Dane znamionowe i charakterystyki odgromników na napięcie 250 i 500 V. Oscylogram obniżenia fali udarowej. Duży postęp w porównaniu z dawnymi odgromnikami, szczególnie w zakresie dużych stromości fali udarowej. Zastosowanie odgromników w świetle przepisów VDE 0145.

233* 621.316.26.027.6:621.316.933 D1
Jirku J.: Ochrona odgromowa stacji 22 kV. „Ochrana stanic 22 kV proti atmosferickým poruchám”. Energetika, Praha, mies., Nr 6, czerw. 53, s. 197; A4, 6 str., 9 rys., 10 poz. bibl. — Ochrona od bezpośredniego uderzenia pioruna. Obliczenie prawdopodobnej liczby uderzeń w stację. Określenie dopuszczalnej odległości zwojów od urządzeń rozdzielni. Ochrona od fal wędrownych. Szacowanie piorunowego poziomu izolacji linii. Wpływ ułotu udarowego. Współczynniki odbicia fali w stacji w zależności od kształtu fali i pojemności wejściowej stacji. Określenie minimalnej odległości uderzenia pioruna w linię, przy której ochrona zlikwiduje przepięcie (długość podejścia). Wyznaczenie dopuszczalnej odległości odgromników od transformatora.

234* 621.316.98/99 D1
Lehman G.: Ochrona przed burzą sieci napowietrznej, czyli nowoczesna ochrona odgromowa. „Gewittersichere Freileitungsgestaltung oder moderner Überspannungsschutz”. Energietechn., Berlin, mies., Nr 5, maj 53, s. 212; A4, 9 str., 10 rys., 18 poz. bibl. — Wyniki doświadczeń eksploatacyjnych dotyczących wybiórczości pioruna oraz wartości przepięć indukowanych. Cel i sposoby po-

prawiania ochrony odgromowej linii napowietrznych. Zmniejszanie oporności uzimienia słupów za pomocą uzimów rurowych oraz taśmowych, przeciwwagi. Wyniki eksploatacji linii z poprawionymi uzimieniami. Zwiększenie oporności burzowej na skutek zawieszenia przewodów odgromowych. Zastosowanie odgromników zaworowych do ochrony stacji. Doświadczenia eksploatacji odgromników.

235* 621.316.99.017.71 D1
Zapletal M.: Obciążenie prądowe uzimów z punktu widzenia nagrzewania gleby. „Proudove zatizeni zemnich elektrod s hlediska zahřivani půdy”. Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 8, sierp. 52, s. 356; A4, 5 str., 6 rys., 1 tabl., 11 poz. bibl. — Obciążenie prądu przepływającego przez uzim oraz obciążenia powierzchniowego elektrody uzimającej. Wartości współczynników przewodzenia cieplnego oraz ciepła właściwego różnych rodzajów gleby. Zależność własności cieplnych i elektrycznych od wilgotności gleby. Obliczenie przebiegu nagrzewania gleby. Wykres dopuszczalnego obciążenia w zależności od czasu nagrzewania gleby. Zmiany oporności pod wpływem nagrzewania i odparowania wody. Dobór wymiarów uzimów w ramach dopuszczalnej obciążalności.

Miernictwo elektryczne.

236* 621.317.081:621.317.089.6 D1
Hartshorn L.: Jednostki i wzorce w miernictwie elektrycznym. „Units and standards of electrical measurement”. Proc. Inst. El. Engrs, London, dwumies., t. 99, cz. 1, Nr 120, list. 52, s. 271; A4, 9 str., 1 rys., 46 poz. bibl. — Prace międzynarodowych organizacji fizyków i elektryków nad ustaleniem jednostek i wzorców elektrycznych. Przyjęcie jednostek absolutnych jako podstawy miernictwa. Zatwierdzenie przez IEC w r. 1950 zracjonalizowanego układu MKS. Podstawowe i pochodne jednostki elektryczne wg systemu Giorgi. Zalety układu MKS. Wzorce (stałość w czasie, określanie wzorca oporu metodą Weinera, wzorce częstotliwości). Przyszłe możliwości ustalenia wzorców atomowych. Literatura dotycząca prac międzynarodowych komisji i Komitetu Miar i Wag.

237* 621.317.083.7 D1
Malow W. S.: Zagadnienie rozwoju zdalnej telemetrii. „Woprosy razwija tieleizmieritielnyh sistiem dalniewo dziejstwia”. Elektricitestwo, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 53, s. 7; A4, 4 str., 2 rys. — Podział systemów telemetrycznych w zależności od charakterystyki odbieranych impulsów. Podstawowe cechy wymagane od zdalnej telemetrii: dokładność i pewność działania. Struktura urządzeń telemetrycznych. Budowa układów pomiarowych i typowych bloków.

238* 621.317.326.088.2:621.316.722.4 D1
Howard P. R.: Błędy przy zapisywaniu przepięć. „Errors in recording surge voltages”. Proc. Inst. El. Engrs, London, dwumies., t. 99, cz. 2, Nr 70, sierp. 52, s. 371; A4, 13 str., 2 fot., 5 rys., 7 wyk., 5 tabl., 9 poz. bibl. — Metody badania fal udarowych przy pomocy oscylografów. Uchyby dzielnika napięć. Oporowy dzielnik napięć. Uchyby spowodowane pojemnością względem ziemi. Pojemnościowy dzielnik napięcia. Dzielniki napięć mieszane pojemnościowo-oporowe w układzie równoległym i szeregowym. Ekranowanie dzielnika oporowego. Porównanie różnych dzielników napięć. Opóźnienie wywołane przez kable. Analiza innych uchybów. Niektóre szczególne konstrukcyjne dzielniki napięć. Matematyczna analiza uchybów.

239* 621.317.35:536.531 D1
Clark E.: Przyrząd ilorazowy o wysokiej czułości dla przemysłowych termometrów oporowych. „A high-sensitivity ratio instrument for industrial resistance thermometers”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 57; A4, 4 str., 1 fot., 5 rys., 4 wyk., 4 tabl., 7 poz. bibl. — Przemysłowe pomiary temperatury przy pomocy termometrów oporowych (zakresy, wartości oporów nadajników termometrycznych). Teoria przyrządów ilorazowych magnetoelektrycznych. Różne układy ruchome (cewki skrzyżowane lub w formie T) oraz kształty obwodów magnetycznych przyrządów. Zastosowanie przyrządów ilorazowych do pomiarów temperatury. Charakterystyki uchybów przy różnych nadajnikach i miernikach ilorazowych, zastosowanych do pomiaru temperatury.

240* 621.317.7.085.31:621.316.92 D1
Pritchett W., Trau E.: Zabezpieczenie przyrządów prądu zmiennego przed przeciążeniem. „Overload protection of A-C instruments”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 13; A4, 4,5 str., 2 fot., 2 rys., 3 wyk., 8 poz. bibl. — Mechaniczny wpływ przeciążenia na zachowanie się przyrządów prądu zmiennego (elektrodynamicznych i elektromagnetycznych przyrządach wskazówkowych). Zależność współczynnika przecią-

żenia od czasu trwania przeciążenia. Termiczny wpływ przeciążenia na przyrządy wskazówkowe. Układy specjalne dla zabezpieczenia przyrządów (np. watomierza, woltomierza). Ogólne wytyczne konstrukcji zabezpieczającej. Określenie teoretyczne dopuszczalnego współczynnika przeciążenia przyrządu.

- 241* 621.317.753.087 D1
Blumenthal J., Eckels A.: **Oscylograf bezpośrednio zapisujący z dużą szybkością**. „A high-speed direct writing oscillograph”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 50; A4, 6,5 str., 1 fot., 7 rys., 3 wykr., 7 poz. bibl. — Ogólna charakterystyka oscylografu rejestrującego, zbudowanego na zasadzie galwanometru magnetoelktrycznego (ciągły zapis napięcia, czułość napięciowa 1 mV/mm, pełne odchylenie $\pm 2,5$ cm, oporność wejściowa 1 M Ω itp.). Piórko i napęd piórka. Blokowy schemat oscylografu rejestrującego. Wzmacniacz. Układy detektora i wzmacniacza. Wzmacniacz mocy. Charakterystyka zniekształcenia częstotliwości. Zapisy oscylografu przy różnych częstotliwościach napięcia rejestrowanego przy szybkości papieru 200 mm/sek. Oscylograf w wykonaniu Laboratorium Serwomechanizmów Dep. Energii Elektr. Teoretyczna analiza pracy systemu ruchomego.

Materiały magnetyczne.

- 242* 621.3.042.2:621.318.322 D1
Littmann M. F.: **Bardzo cienkie taśmy ze stopów magnetycznych z prostokątną pętlą histerezy**. „Ultrathin tapes of magnetic alloys with rectangular hysteresis loops.” Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 220; A4, 3 str., 1 fot., 6 wykr., 1 tabl., 2 poz. bibl. — Zastosowanie specjalnie cienkich taśm na rdzenie toroidalne obwodów magnetycznych dla zmniejszenia wpływu prądów wirowych. Stopy o bardzo wysokiej przenikalności magnetycznej (permalloy, orthonik i inne). Podstawowe właściwości magnetyczne stopów i ich pętle histerezy (wąskie, prostokątne). Porównanie pętli histerezy różnych materiałów magnetycznych. Zalety nowych materiałów magnetycznych.

- 243* 621.318.322:621.317.4 D1
Weksler G. S.: **Metoda oscylograficzna pomiaru właściwości magnetycznych materiałów ferromagnetycznych**. „K oscylograficeskomu metodu izmierenia magnitnyh svojstv ferromagnitika”. Elektrichestwo, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 71; A4, 4 str., 1 rys., 5 wykr., 6 poz. bibl. — Schemat układu pomiarowego. Wpływ prądów wirowych na kształt histerezy. Kształt prądu magnesującego. Podział strat na histerezę i na prądy wirowe. Przykład wyników pomiarów.

- 244* 621.318.322:621.317.431 D1
Lord H. W.: **Urządzenie do pomiaru dynamicznych pętli histerezy**. „Dynamic hysteresis loop measuring equipment”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 269; A4, 3 str., 1 rys., 7 wykr. — Znaczenie znajomości pętli histerezy materiałów, stosowanych na rdzenie we wzmacniaczach magnetycznych. Układ pomiarowy, złożony z próbki badanej, wzmacniacza, integratora i oscylografu katodowego. Źródła błędów i ich wpływ na odkształcenie pętli histerezy. Oscylogramy, wykazujące zniekształcenie pętli, spowodowane omówionymi wpływami. Określenie dopuszczalnych uchybów w odtworzeniu pętli histerezy.

- 245* 621.318.322:621.318.4 D1
Johnson L.: **Wpływ materiałów rdzeni na obwody wzmacniacza magnetycznego**. „The effect of core materials on magnetic amplifier circuits”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 1, 1952, s. 26; A4, 5,5 str., 2 rys., 11 wykr., 1 tabl., 3 poz. bibl. — Ogólny wpływ właściwości materiału magnetycznego rdzeni na charakterystykę wzmacniacza. Wybór obwodu doświadczelnego (prosty wzmacniacz magnetyczny). Układ do badania pętli histerezy materiałów próbnych. Pętle histerezy dla czterech badanych materiałów. Zestawienie parametrów obwodu doświadczelnego przy różnych materiałach rdzenia. Porównanie charakterystyk badanych materiałów. Kilka wypowiedzi dyskusyjnych na temat wyników badań.

Oświetlenie elektryczne.

- 246* 621.327.43 D1
Olenik H., Altenburg K.: **O „falowaniu” lamp fluoryzujących**. „Zur Lichtwelligkeit von Leuchtstofflampen”. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 2; A4, 3 str., 4 rys., 1 wykr., 2 tabl., 8 poz. bibl. — Przedstawienie szeregu definicji pojęcia „falowania” promienia świetlnego m. in. jako stosunku amplitud odpowiednich harmonicznych fali świetlnej. Wskazanie sposobów pomiarów wyżej wymienionych wielkości. Omówienie wpływu na wielkość „falowania” szeregu czynników, a mianowicie

urządzeń zapłonowych, elektrycznej sieci zasilającej (w przypadku odkształcenia fali napięcia od zasadniczego przebiegu sinusoidalnego). Zestawienie wartości liniowych — wielkości „falowania” w tablicach dla różnych definicji w zależności od wymienionych powyżej czynników.

- 247* 621.327.43.004.2:621.318.42 D1
Heidensohn O.: **Aktualne zagadnienia eksploatacyjne lamp fluoryzujących niskonapięciowych**. „Aktuelle Fragen zum Betrieb von Niederspannungs-Leuchtstofflampen in Wechselstromnetzen”. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 9; A4, 1,5 str., 1 poz. bibl. — Omówienie przyczyn powstawania szumów w dławikach używanych w instalacjach lamp fluoryzujących (nieściśle przyleganie blach rdzenia, magnetostrykcja, okresowa zmienność strumienia magnetycznego) oraz sposobów ich zwalczania (odpowiednie docięnięcie blach, izolacja blach itp.). Opis metod rozróżniania dźwięków. Wskazania sposobu kompensacji sieci oświetleniowych, którego konieczność wynika z rozpowszechnionego używania dławików (element wprowadzający obciążenie indukcyjne sieci).

Trakcja elektryczna

- 248* 621.335.42:621.337.5 D1
Kübler E.: **Praca układów hamowania elektrycznego w tramwajach przy poślizgu jednej osi**. „Verhalten der Strassenbahn-Bremschaltungen bei Schlupfeintritt einer Achse.” ETZ-A, Wuppertal, dwutyg., t. 74, Nr 7, kw. 53, s. 201; A4, 4,5 str., 9 wykr. — Warunki wystąpienia poślizgu jednej osi w różnych układach: bez sprzężenia elektrycznego silników obu osi, w układzie równoległym, układzie krzyżowym bez oporu wyrównawczego i z oporem wyrównawczym. Praca układów przy poślizgu obu osi. Doświadczalne sprawdzenie wyników otrzymanych na drodze teoretycznej.

Napęd elektryczny

- 249* 621.34:621.6:669.013.5 D1
Mojsiejewicz S. I.: **Zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne elektrycznej stacji dmuchaw zakładu metalurgicznego**. „Raschod elektroenergii na sobstwiennyye nuždy elektrozduchodnoj stancii metalurgiceskowo zawoda.” Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 12, grud. 52, s. 4; A4, 4,5 str., 4 rys., 9 tabl. — Zużycie przez dmuchawy, jako procent ogólnego zużycia energii elektrycznej, w zakładzie oraz konieczność jego obniżenia. Omówienie poszczególnych strat energii potrzeb własnych. Zależność strat od obciążenia. Zmniejszenie zużycia energii przy zastosowaniu paliwa mieszanego pyłowo-gazowego.

- 250* 621.34:621.876:621.313.2 D1
Gejler L. B.: **Wyposażenie elektryczne dźwigów szybkobieżnych prądu stałego**. „Woprosy elektrooborudowanija bystrochodnyh liftof postojannowo toka.” Elektrichestwo, Moskwa, mies., Nr 9, wrzes. 52, s. 45; A4, 8,5 str., 1 rys., 6 wykr., 2 tabl., 4 poz. bibl. — Rys historyczny. Rodzaje dźwigów pionowych, ich konstrukcja mechaniczna i dane charakterystyczne. Krzywe prędkości w funkcji czasu. Wyznaczenie najkorzystniejszego przebiegu prędkości. Wyposażenie elektryczne różnych rodzajów dźwigów. Zastosowanie układu Leonarda i amplidyny w napędach o regulowanej prędkości. Zasadnicze rodzaje układów sterowania i sygnalizacji w dźwigach pionowych. Zużycie energii.

- 251* 621.34.629.12 D1
Meister R.: **Elektrotechnika w budownictwie okrętów**. „Elektrotechnik im Schiffbau.” Elektrotechnik, (Berlin), Leipzig, mies., t. 6, Nr 7, lip. 52, s. 306; A4, 5,5 str., 6 fot., 4 rys., 2 tabl. — Prądnice i silniki pokładowe (wybór rodzaju i mocy, izolacja i budowa, wymagania specjalne). Zestawienie porównawcze wyposażenia szeregu statków. Aparatura sterująca i regulacyjna. Pomocnicze napędy pokładowe. Zagadnienie jedno- i dwubiegowości instalacji. Napęd śruby okrętowej w układach prądu zmiennego i stałego.

Elektrotermia.

- 252* 621.36:536.33.035.63 D1
Kolbe E.: **Wpływ długości fali na suszenie promieniami podczerwonymi**. „Der Einfluss der Wellenlänge bei der Infrarot-Trocknung.” Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 11; A4, 6,5 str., 19 wykr., 3 tabl., 6 poz. bibl. — Ogólne wprowadzenie w zagadnienie suszenia promieniami podczerwonymi. Opis zasady działania i budowy opraw promienników podczerwonych. Uwagi na temat zachowania się materiału suszonego tego rodzaju promieniami. Omówienie zagadnienia samego procesu suszenia z punktu widzenia zjawiska pochłaniania, odbijania i przepuszczania promieni podczerwonych.

- 253* 621.36.536.33.035.63 D1
Inbitz W.: **Postęp w technice suszenia promieniami podczerwonymi w kraju i za granicą.** „Über die Fortschritte der Trocknung durch Infrarotstrahlung in In- und Ausland“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 17; A4, 6 str., 4 fot., 4 rys., 5 wyk. 3 poz., bibl. — Ogólny przegląd promienników o emisji świetlnej widocznej i niewidocznej. Szczegółowa dyskusja na temat zalet i wad poszczególnych typów promienników. Omówienie zagadnienia strat ciepłych w omawianych promiennikach. Wzmianka o niebezpieczeństwie pożaru i ewentualnego wybuchu. Dyskusja na temat konstrukcji promiennika o tzw. budowie wewnętrznej i zewnętrznej. Wzmianka o rozkładzie temperatury w promienniku o emisji niewidocznej.
- 254* 621.365.63 D1
Kind W.: **Elektrotermia a gospodarka rolna.** „Elektrowärme und Landwirtschaft“. Elektrowärme-Techn., Hannover, dwumies., Nr 2/3, 1953, s. 67; Nr 4, 1953, s. 91; A4, 4,5 str., 2 fot., 2 tabl., 10 poz. bibl. — Korzyści gospodarcze z zastosowania grzejnictwa elektrycznego w gospodarstwie rolnym, celowość stosowania grzejnictwa elektrycznego. Zastosowania w mleczarniach, zabudowaniach gospodarczych, w ogrodnictwie, hodowli zwierząt, do suszenia jarzyn, owoców, siana, ziarna itp. Wskaźniki.
- 255* 621.365.4 D1
Barth F.: **Oporowe piece elektryczne o wysokiej temperaturze.** „Hochtemperaturöfen mit elektrischer Widerstandsheizung“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 24; A4, 4,5 str., 2 fot., 4 rys., 6 wyk. — Ogólne omówienie konstrukcji tego rodzaju pieców, w których temperatura sięga 3000°C. Zagadnienie bilansu ciepłego pieca. Analityczne rozważania na temat rozkładu temperatury we wsadzie. Doświadczalne wyznaczenie rozkładu ciepła w piecach oporowych. Wzmianka o automatycznej regulacji temperatury tego rodzaju pieców.
- 256* 621.365.419:636.082.474.1 D1
Reid, Coffey: **Inkubator promiennikowy.** „A radiant heat-type incubator“. Rev. scien. Instrum., Lancaster, mies., Nr 4, kw. 53, s. 327; A4, 1 str., 1 fot. — Opis inkubatora zbudowanego do celów doświadczalnych. Ogizewanie promiennikami oporowymi. Budowa inkubatora, rozmieszczenie elementów grzejnych. Opis elementów grzejnych. Stateczność temperatury w granicach $\pm 0,10^\circ\text{C}$. Największa różnica temperatur wewnątrz inkubatora $0,5^\circ\text{C}$. Temperatura pracy $37,5^\circ\text{C}$.
- 257* 621.365.5:669.187.2:621.396.615.16 D1
Wajnberg G. S.: **Zagadnienie doboru generatorów zwiększonej częstotliwości do indukcyjnych pieców elektrycznych.** „K woprosu o wyborie gienieratorow powyszennoj czastoty dla indukcyjnych plawilnych elektropieczek“. Promysl Energ., Moskwa, mies., Nr 11, list. 52, s. 23; A4, 1,5 str., 2 poz. bibl. — Dobór częstotliwości roboczej pieca elektrycznego w zależności od mocy i pojemności pieca. Wyznaczenie optymalnej częstotliwości pieca indukcyjnego z uwagi na jego sprawność (zależność od wymiarów i własności elektrycznych i magnetycznych). Przykłady dla stali i sprawności pieca rzędu 0,85. Izolacja uzwojenia pieca. Dobór odpowiednich kondensatorów. Porównanie sprawności urządzenia zaopatrzonego w przetwornicę dwutwornikową i w zespół prostowników rēciowych.
- 258* 621.365.92 D1
Müller H.: **W sprawie nagrzewania materiałów w polu kondensatora o wielkiej częstotliwości.** „Zur Erwärmung von Werkstoffen im hochfrequenten Kondensatorfeld.“ ETZ, Wuppertal, dwutyg., Nr 3, luty 52, s. 72; A4, 1,5 str., 2 rys., 5 poz. bibl. — Trudności praktyczne przy nagrzewaniu materiałów w polu kondensatora. Sposób usunięcia trudności: zastosowanie warstw pośredniczących. Materiały stosowane na warstwy pośredniczące i ich wpływ na pracę układu. Schematy zastępcze i wykresy wektorowe. Możliwości nowej metody nagrzewania pojemnościowego.
- 259* 621.365.92.001.(091) D1
Goldstein A.: **Grzejnictwo elektryczne wielkiej częstotliwości.** „Dielektrische Hochfrequenz-Erwärmung“. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 25, 13 grud. 52, s. 1005; A4, 10 str., 10 fot., 14 rys., 5 poz. bibl. — Artykuł monograficzny z podkładem teoretycznym. Rozwój historyczny teorii grzania pojemnościowego. Obliczenie zależności prądu i mocy od częstotliwości i własności materiału. Zmiany stałej dielektrycznej i kąta stratności w zależności od
- częstotliwości i temperatury. Krzywe grzania dla różnych materiałów. Przykłady generatorów wielkiej częstotliwości (rzędu 107 Hz) — fotografie i schematy. Wpływ grzania dielektrycznego na przebieg technologii bakielitu oraz sklepanych elementów drewnianych. Suszenie metodą dielektryczną (np. drzewa). Zależność czasu grzania od naprężeń w dielektryku. Urządzenia piekarnicze. Oszczędność i poprawa stanu produktów przy pieczeniu metodą dielektryczną.
- 260* 621.365.92.003 D1
Jabbusch G.: **Ekonomia obróbki cieplnej prądami wielkiej częstotliwości.** „Wirtschaftlichkeit der Hochfrequenz-Wärmebehandlung“. Elektrowärme Techn., Mindelheim, dwumies., Nr 1, kw. 53, s. 2; A4, 5,5 str., 4 fot., 5 rys., 6 tabl. — Wzory wyrażające wskaźniki techniczno-ekonomiczne dla różnych typów obróbki cieplnej prądami wielkiej częstotliwości, przy nagrzewaniu ciągłym i przerywanym, przy pełnym i niepełnym obciążeniu generatora, dla różnych typów generatorów. Zestawienia wskaźników, krzywe zależności kosztów zużycia energii elektrycznej i zużycia lamp w zależności od mocy wyjściowej generatora.
- 261* 621.369.2:535.61-15 D1
Promieniowanie podczerwone. „Infra-red radiation“. Electr. Rev., London, tyg., Nr 11, marz. 53, s. 595; A5, 4,5 str., 6 fot. — Suszenie podczerwinią. Zastosowania przemysłowe metody do suszenia lakierów celulozowych. Zalety metody. Opis kilku urządzeń do suszenia powłok lakierowych metodą promiennikową.
- 262* 621.369.2:633 D1
Brown C. A. Cameron, Finn-Keley P. C.: **Elektryczność w zastosowaniu do suszenia płodów rolnych.** „Electricity in Farm Crop-Drying“. Proc. Inst. El. Engrs, London, dwumies., t. 100, cz. 2, Nr 74, kw. 53, s. 115; A4, 10 str., 4 rys., 1 tabl., 25 poz. bibl. — Znaczenie mechanizacji i elektryfikacji rolnictwa. Zastosowanie energii elektrycznej do suszenia ziarna, siana, chmielu itp. Różne typy urządzeń suszarniczych, zasada działania tych urządzeń. Wskaźniki dotyczące urządzeń. Wnioski.
- 263* 621.369.9:666.15 D1
Powłoki przewodzące dla szkła. „Conducting films on glass“. Electr. Rev., London, tyg., t. 153, Nr 19, maj 53, s. 1069; A5, 3 str. — Ochrona szyb samolotów przed obrażaniem przez zastosowanie przezroczystych powłok elektrycznie przewodzących. Badania laboratoriów amerykańskich i angielskich nad własnościami tlenków różnych metali — przezroczystości i oporności elektrycznej. Opis metody tworzenia powłoki na szkło. Nagrzewanie, zmiany własności powłok pod wpływem nagrzewania. Porównanie własności różnych powłok. Wymienione inne możliwe zastosowanie powłok elektrycznie przewodzących.

Radiologia

- 264* Leblanc M.: **Zastosowanie przemysłowe promieni X.** „Applications industrielles des rayons X“. Electricité, Paris, mies., r. 36, Nr 185, lip.-sierp. 52, s. 141, Nr 186, wrzes. 52, s. 186; A4, 9 str., 4 fot., 3 rys., 3 wyk., 3 radiogr., 4 tabl., 3 poz. bibl. — Zasady wytwarzania promieni X. Pochłanianie i rozpraszanie. Zasady wykonywania prześwietleń i zdjęć. Wybór napięcia. Badania strukturalne. Bezpieczeństwo pracy.

Rozrząd zdalny

- 265* 621.398:621.311.1(436) D1
Swoboda G.: **Stan techniki działania na odległość w Austrii.** „Stand der Fernwirktechnik in Österreich“. Bulletin SEV, Zürich, dwutyg., Nr 22, 1 list. 52, s. 904; A4, 6,5 str., 7 fot. — Technika działania na odległość jako najnowocześniejszy sposób kierowania urządzeniami elektrycznymi. Zagadnienie pomiarów zdalnych (telemetria) drogą impulsów. Sterowanie zdalne urządzeń rozdzielczych. Zdalne kierowanie i obsługiwane elektrowni. Przykłady urządzeń sterowniczych.
- 266* 621.183:621.398.2 D1
Tibaux G.: **Sterowania zdalne i ich zastosowania w kotłowniach.** „Les télécommandes et leurs applications dans la chaufferie“. Bull. A.I.M., Liège, mies., r. 64, Nr 5 maj, s. 267; B5, 15,5 str., 3 fot., 1 wyk. — Omówienie sposobów sterowania zdalnego ruchem kotłowni przy pomocy urządzeń elektrycznych. Opis i dane techniczne podstawowych urządzeń jak regulatory zaworów pary i powietrza, regulatory poziomu wody itp., oraz wskazanie zalet i wad tych urządzeń z punktu widzenia pewności ruchu kotłowni. Krótka analiza korzyści gospodarczych.

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

CIDNT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmowe publikacji objętych Przeglądem Dokumentacyjnym jak i kartami dokumentacyjnymi.

Warunki prenumeraty PRZEGLĄDU ELEKTROTECHNICZNEGO na 1954 r.

I. Prenumerata normalna

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

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

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

II. Prenumerata ulgowa

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

Z prenumeraty ulgowej mogą korzystać w 1954 r. jedynie członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w NOT oraz członkowie klubów techniki i racjonalizacji przy zamawianiu zbiorowym przez koła zakładowe.

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

Prenumeratę można zgłaszać na okres kwartalny, półroczny i roczny.

Koła zakładowe i oddziały stowarzyszeń przekazują zamówienia zbiorowe w podanych niżej terminach do PPK „Ruch”, Warszawa, Centralna Ekspedycja, ul. Srebrna 12, wpłacając jednocześnie należność do PKO na konto nr I-14000/110.

Terminy zgłaszania prenumeraty ulgowej w kołach zakładowych i oddziałach Stowarzyszeń:

na I kwartał 1954 r.	— do 30 listopada 1953 r.
„ II „ „	— do 28 lutego 1954 r.
„ III „ „	— do 31 maja 1954 r.
„ IV „ „	— do 31 sierpnia 1954 r.

Terminy powyższe powinny być ściśle przestrzegane.

Wydawnictwa nadesłane

Ministerstwo Przemysłu Maszynowego. Centralny Zarząd Zbytu. MIERNIKI ELEKTRYCZNE. Katalog A—14. Październik 1953. Format A5, str. 82. — Spis rzeczy: Uwagi ogólne. Mierniki tablicowe. Mierniki przenośne. Mierniki laboratoryjne. Mierniki i regulatory temperatury. Boczniki. Mierniki dla pojazdów.

Ministerstwo Przemysłu Maszynowego. Centralny Zarząd Zbytu. ŁĄCZNICE AUTOMATYCZNE MIEJSKIE. Katalog T—5. Wrzesień 1953. Format A5, str. 107. — Spis rzeczy: Uwagi ogólne. Ogólna charakterystyka centrali automatycznej miejskiej systemu Strowgera 32 A—A. Wymienne zespoły wybierakowe. Wymienne zespoły przekaźnikowe. Zespoły translacji. Zespoły przystawek. Stojaki. Przelącznice. Łącznice probiercze. Stojaki urządzeń różnych I (SUR I). Stojaki urządzeń różnych II (SUR II). Stojaki translacji. Stojaki przystawek. Stojakowe przełącznice specjalne. Stojakowe przełącznice gniazdkowe. Stojak pomiarowy. Stojak statystyki.

Ministerstwo Przemysłu Maszynowego. Centralny Zarząd Zbytu. SZAFY PRZYLĄCZOWE WYSOKIEGO NAPIĘCIA. Katalog A—7. Listopad 1953. Format A5, str. 50. — Spis rzeczy: Wstęp. Określenie i ogólna charakterystyka szaf przyłączowych. Ogólne uwagi o wyposażeniu i pracy szaf przyłączowych. Napięcia i prądy znamionowe. Warunki zwarciove. — Porównanie i charakterystyka wyposażenia szaf przyłączowych. Ideowe układy połączeń. Zestawienie zasadniczego wyposażenia, wymiarów i ciężarów. Charakterystyka aparatury. Aparatura podstawowa. Aparatura pomiarowa. Aparatura zabezpieczająca i sygnalizacyjna. — Szafy przyłączowe RSO6. Budowa. Uwagi dla zamawiającego. Szafa RSO6—1. Szafa RSO6—3. Szafa RSO6—5. — Szafy przyłączowe SOOP6. — Szafy rozgałęźne SOOT6. — Szafy przyłączowe OK6.

Ministerstwo Przemysłu Maszynowego. Centralny Zarząd Zbytu. SPRZĘT TELETRANSMISYJNY. Katalog T—10. Sierpień 1953. Format A5, str. 82. — Spis rzeczy: Część ogólna. Transformator liniowy Ta.TrL—49—5. Wzmacniak telefoniczny uniwersalny Ta.WU—49—1. Stojak wzmacniaków telefonicznych uniwersalnych Ta.St—51—1. Translacja tonowa uniwersalna TSU 500—51—1. Stojak translacji tonowych uniwersalnych Ta.St—51—2. Translacja 25 c/s TSg 25—2. Translacja 25 c/s TSg 25—3.

ROŻYCKI MICHAŁ, inż. FOTOKOMÓRKI. Biblioteka Racjonalizatora. 1954, Warszawa. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B6, str. 96, rys. 72, cena zł 4,20. — Spis rzeczy: Elektron. Światło. Przyrządy fotoelektryczne. Urządzenia z fotokomórkami. Zakończenie. — Informacje wydawcy: Książka obejmuje podstawowe wiadomości o budowie fotokomórek i ich zastosowaniu w różnych układach przekaźnikowych. Praca zawiera liczne przykłady wykorzystania fotokomórek w wielu dziedzinach techniki. Książka jest przeznaczona dla racjonalizatorów posiadających podstawowe wiadomości z fizyki.

PRZEPISY BEZPIECZEŃSTWA PRACY W EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH ELEKTROWNI I STACJI. Wyd. II. Biblioteka Ochrony Pracy. 1954, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 96, rys. 27, cena zł 6,80. — Spis rzeczy: Przepisy ogólne. Przepisy bezpieczeństwa pracy w eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych elektrowni i stacji. Przepisy bezpieczeństwa pracy w eksploatacji linii napowietrznych i kablowych w elektrowniach i stacjach. Przepisy bezpieczeństwa podczas innych robót. — Informacje wydawcy: Przepisy niniejsze są drugim wydaniem poprawionym i uzupełnionym przez Ministerstwo Energetyki w porozumieniu z Zarządem Głównym Związku Zawodowego Pracowników Energetyki i przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

PRZEGLĄD TECHNICZNY, organ główny NOT nr 4/54, zawiera następujące artykuły: II Zjazd PZPR. — Główne zadania gospodarstwa na lata 1954—1955. — Tymowski J. ZM „Ursus” dają przykład. — Kontkiewicz R. Pierwsza polska zgrzewarka punkтова do zbrojeń — dziełem brygady racjonalizatorskiej. — Borman H. O rozwoju produkcji i stosowaniu przyrządów pomiarowo-kontrolnych. — Modrzejewski B. Drogi do automatyzacji kontroli i regulacji w przemyśle. —

Felsz J. Czy przemysłowe przyrządy pomiarowe powinny posiadać rejestrację tarczową czy taśmową — Niesmiejano A. — 20-lecie odkrycia sztucznej promieniotwórczości. — Majewski Z. Propaganda czytelnictwa technicznego realnym polem pracy kół zakładowych. — Kostecki J. Chrońmy cenny zabytek technicznej kultury. — Nowiny techniczne z prasy zagranicznej. — Wolna trybuna. — Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Krytyka i bibliografia.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Nowości wydawnicze

- DRECKI A.: **Żelbetowe słupy oświetleniowe. Typy i wykonanie.** S. 108, zł 9.10
- GIERDZIEJEWSKI K.: **Zarys dziejów odlewnictwa polskiego.** S. 276, zł 25.50 (w oprawie)
- JAKUBOWSKI T.: **Analiza wymiarowa zmienności części.** S. 251, zł 21.— (w oprawie)
- KACEJKO L.: **Sieci elektryczne wysokiego napięcia.** Wyd. 2. S. 472, zł 17.50. Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ
- KLIMECKI W.: **Spektralna analiza przemysłowa.** S. 149, zł 12.80
- Mechanik. Poradnik techniczny.** Dzieło zbiorowe pod red. A. Troskołuńskiego. Tom IV. Część 1. — **Silniki.** Wyd. 3 całkowicie przerobione. S. 1062, zł 81.50 (w oprawie)
- MOROZ P.: **Przemysł obrabiarkowy w Polsce Ludowej.** S. 63, zł 5.50
- PIOTROWSKI P.: **Obróbka metali pilnikiem. Seria „Będę fachowcem”.** S. 87, zł 4.90
- Przepisy bezpieczeństwa pracy w eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych elektrowni i stacji.** Wyd. 2. S. 95, zł 6.80
- PRZYŁĘCKI H.: **Badanie wody, ścieków, osadów i gazów w zakresie techniki sanitarnej.** Tom I. — **Badania fizyczne i chemiczne.** S. 288, zł 30.50
- RIEDL K.: **Jak mierzymy ciśnienie i temperaturę w przemyśle.** S. 50 zł 3.—
- RÓŻYCKI M.: **Fotokomórki.** S. 96, zł 4.20
- Wykłady o mechanizacji robót górniczych.** Zeszyt 5. PERETIATKOWICZ A.: **Zdalne sterowanie maszynami górniczymi.** Instytut Mechanizacji Górnictwa. S. 134, zł 13.—
- ŻOŁĘDZIOWSKI S.: **Próby stanu izolacji kabli elektroenergetycznych.** S. 44, zł 3.—

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki i u kolporterów zakładowych

