

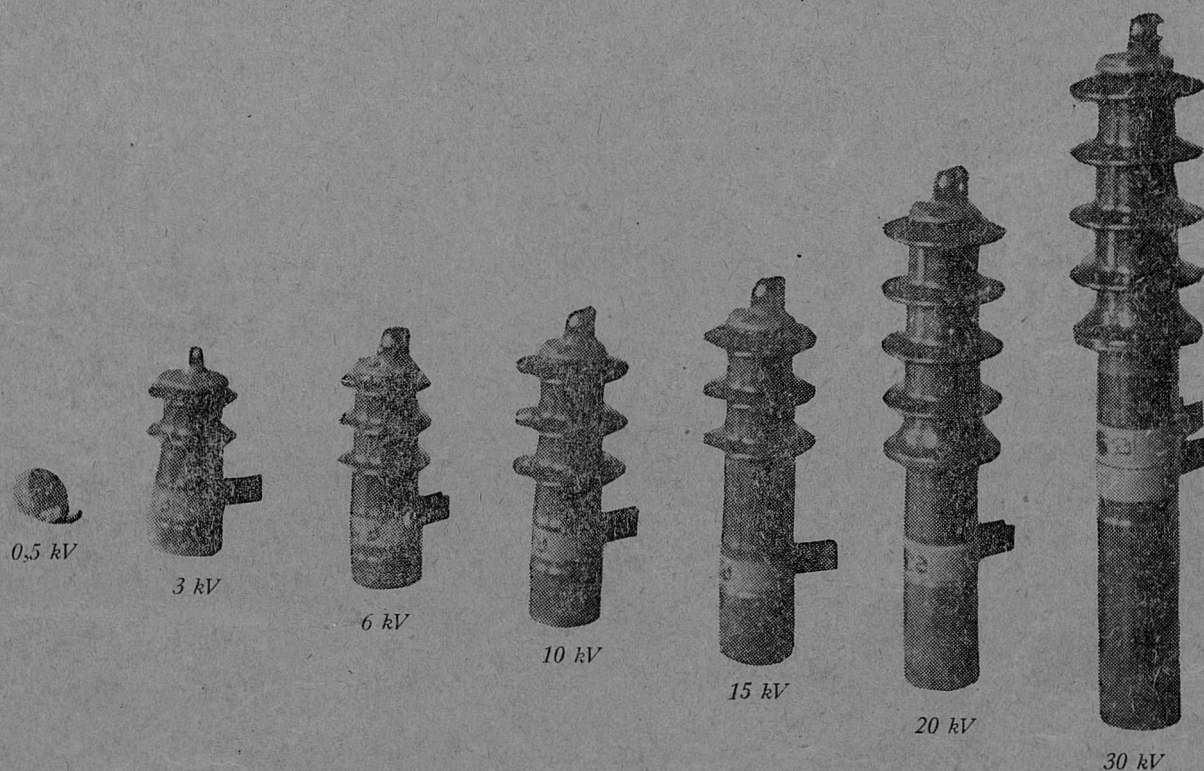
PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN
MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

ROK XXVIII

ZESZYT 12

21.XII.1952



KRAJOWE ODGROMNIKI ZAWOROWE



WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

SPIS RZECZY

- Bader J. Krajowe typy odgromników zaworowych (zokarowych).
Szklański L. Zastosowanie wzmacniaczy maszynowych do sterowania maszyn wyciągowych o napędzie Leonarda.
Schmidt J. Analizyczna teoria silnika indukcyjnego i jej zastosowania.
Hasterman Z. Transformatory.
Hołownia O. Oszczędzanie energii elektrycznej w zakładach wytwórczych radzieckich.
Przegląd czasopism:
Maszyny elektryczne o dużej mocy na jednostkę ciężaru.
Wyniki eksploatacyjne elektrowni w Monceau.
Wydawnictwa nadesłane.
Biuletyn Instytutu Elektrotechniki:
Zwalczanie prądów błędnych.
Samochody akumulatorowe.
Rentgenowski kołpak diagnostyczny.
Dane statystyczne oddziałów SEP z 1951/52 r.
Nowy statut Naczelnej Organizacji Technicznej.
Przegląd Bibliograficzny Elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

- Бадер Е. вентильные разрядники отечественного производства.
Шклярский Л. Применение электромашиных усилителей для управления подъемными машинами сист. Леонарда.
Шмидт Е. Аналитическая теория индукционного двигателя и ее применение.
Хастерман З. Трансформаторы.
Холовня О. Экономия электрической энергии на советских заводах.
Обзор журналов:
Электрические машины большой мощности на единицу веса.
Эксплуатационные данные электрической станции в Монсо.
Поступившие публикации.
Бюллетень Электротехнического Института:
Борьба с блуждающими токами.
Аккумуляторные автомобили.
Рентгеновский диагностический защитный кожух.
Статистические данные отделений Общества Польских Электриков (1951/52).
Новый статут Главной Технической Организации.
Библиографический Обзор Электротехники.

CONTENTS

- Bader J. Polish-made („zokar“) valve arresters.
Szklański L. Adoption of rotary regulators for Ward-Leonard mine hoist control.
Schmidt J. Analytical theory of induction motors and its application.
Hasterman Z. Transformers.
Hołownia O. Saving electrical energy in Soviet industrial enterprises.
Review of periodicals:
Electric machines of high capacity per weight unit.
Operating results of the Monceau power plant.
Publications received.
Bulletin of the Electrotechnical Institute:
Cobating stray currents.
Accumulator cars.
X-ray diagnostic tube casing.
Statistical data of the Association of Polish Electrical Engineers (1951/52).
New statute of the Central Engineering Organisation.
Electrotechnical Bibliography Review.

Nakładem Polskiej Izby Handlu Zagranicznego ukazał się

KATALOG APARATURY NAUKOWEJ I POMIAROWEJ

importowanej z ZSRR i Krajów Demokracji Ludowej

Rozprowadzaniem Katalogu zajmuje się CENTRALA TECHNICZNA —
BIURO SPRZEDAŻY APARATURY w Poznaniu, ul. Armii Czerwonej 76.

Cena Katalogu łącznie z przesyłką wynosi za 2 tomy zł 110. Tom drugi
będzie przesłany odbiorcom po ukazaniu się z druku.

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN

MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

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

Rok XXVIII

Warszawa, 21 grudnia 1952 r

Zeszyt 12

MGR INŻ. BADER JERZY
Zakład Wysok. Napięć Inst. Elektr.

Krajowe typy odgromników zaworowych (zokarowych)*)

621.316.933.002.612

T r e ś ć. Opisano fragmenty z pracy badawczej nad odgromnikami zaworowymi typu GZ. Omówiono zagadnienie karborundu odgromnikowego, płytek zmienno-oporowych, iskierników oraz konstrukcji całych odgromników.

Вентильный разрядник отечественного производства. Приводятся отрывочные результаты исследований в связи с конструкцией вентильных разрядников типа GZ. Затронуты вопросы, касающиеся карборунда для разрядников, пластинок переменного сопротивления, искровых промежутков, а также конструкции разрядника в целом.

Polish-made („zokar“) valve arrester. The article contains excerpts from research work over GZ type valve arresters. It deals with the problem of arrester carborundum, variable resistance plates, spark gaps and complete arrester constructions.

1. Wstęp.

Niedostateczna jakość odgromników typu 686 (3) oraz zwiększające się zapotrzebowanie odgromników w wyniku wielkiej rozbudowy sieci krajowych skłoniły Instytut Elektrotechniki do podjęcia prac, mających na celu opracowanie nowej konstrukcji odgromników, które odpowiadałyby wymaganiom energetyki. Na skutek przejścia przez energetykę państwową głównej roli w dostawie energii dla całego przemysłu zagadnienie ciągłości ruchu sieci elektrycznych stało się jednym z kluczowych. Rozwiązanie tego zagadnienia wymaga urządzeń elektrycznych o dużej pewności działania, dokładnie dopasowanych do warunków pracy. Odgromniki powinny mieć dużą obciążalność udarową, niski poziom ochrony oraz wysokie napięcie gasze-

Prace nad stworzeniem nowej konstrukcji odgromników krajowych rozpoczęto w 1949 r. w Instytucie Elektrotechniki przy współudziale inżynierów z Zakładu A1. Podstawą wyjściową do tych prac badawczych były odgromniki typu 686, przy czym karborund do nich był sprowadzany z zagranicy. Całość prac badawczych podzielono na 4 części: 1) opracowanie technologii i sposobu badania karborundu odgromnikowego, 2) opracowanie technologii płytek zmienno-oporowych, 3) opracowanie konstrukcji iskierników oraz 4) opracowanie konstrukcji całych odgromników.

Jednocześnie XVII Komisja PKN pod przewodnictwem profesora St. Szpora rozpoczęła prace nad nowelizacją przepisów „Odgromniki“ PNE 68 — 1938, mającą na celu dopasowanie ich do nowoczesnych wymagań stawianych przez energetykę.

2. Karborund odgromnikowy.

Własności elektryczne karborundu zależą głównie od obcych cząsteczek znajdujących się w siatce krystalicznej. Karborund produkowany do tarcz szlifierskich lub do materiałów ognioodpornych nie nadaje się do odgromników. Prace badawcze w dziedzinie karborundu polegały na opracowaniu takiego składu surowców i takiej technologii, które zapewniłyby mu mały współczynnik zaworowości (α^2) oraz dużą obciążalność udarową. Zasadniczym zagadnieniem było przy tym opracowanie sposobów badania i kryteriów kwalifikacji karborundu odgromnikowego.

Ostateczne próby kwalifikacyjne wykonywano analogicznie do prób płytek zmienno-oporowych. W tym celu sproszkowany karborund ścisano w małej prasie uwidocznionej na rys. 1. Kulisty kształt elektrod prasy ma za zadanie uniemożliwienie występowania przeskoków wzdłuż wewnętrznej powierzchni wałka porcelanowego. Zamiast elektrod kształtu półkulistego można stosować elektrody płaskie; w tym przypadku wałek porcelanowy musi mieć wewnętrzną powierzchnię karbowaną (rys. 2).

Ściśnięte w prasie kuliste karborundu poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

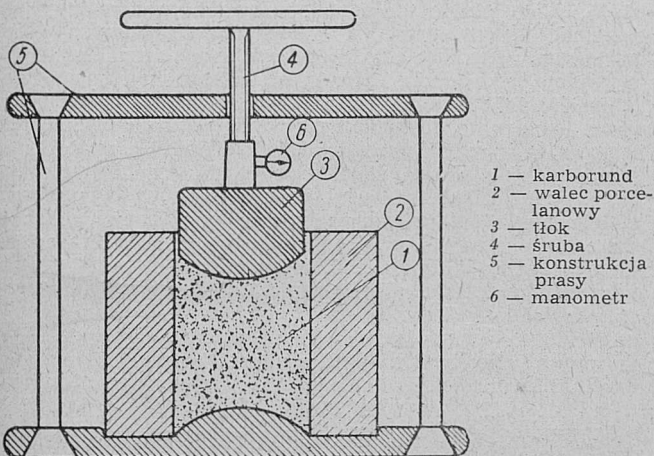
stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

stocie f . W tym celu karborund poddawano działaniu udarów prądowych lub prądu o czę-

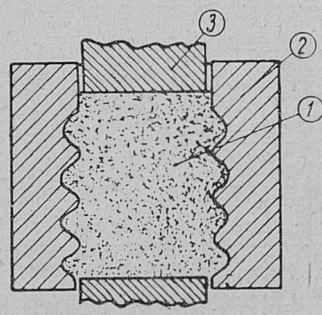


Rys. 1. Prasa do badania karborundu odgromnikowego

nia. Np. przed drugą wojną światową obciążalność udarową odgromników 1,5 kA praktycznie przyjmowano za górną granicę osiągalną (dla średnich napięć stosowano często 0,75 kA); obecnie obciążalność udarowa odgromników zaworowych dochodzi do 5 kA, a nawet do 10 kA przy udarze prądowym ok. 10/30 μs). Odgromniki o obciążalnościach udarowych 5 — 10 kA stosuje się zwykle do ochrony stacji wyższych napięć; do ochrony stacji średnich napięć często stosuje się typ lekki odgromników o obciążalności 1,5 — 2,5 kA.

* Artykuł niniejszy uzupełnia pracę inż. H. Łukomskiego zamieszczoną w zeszytach październikowym (PE, 1952, z. 11, str. 385). Obaj autorzy należą do zespołu, który za prace nad uruchomieniem produkcji krajowej opisanego typu odgromników otrzymał w roku bieżącym nagrodę państwową (PE, 1952, z. 9, str. 337). — Przyp. red.

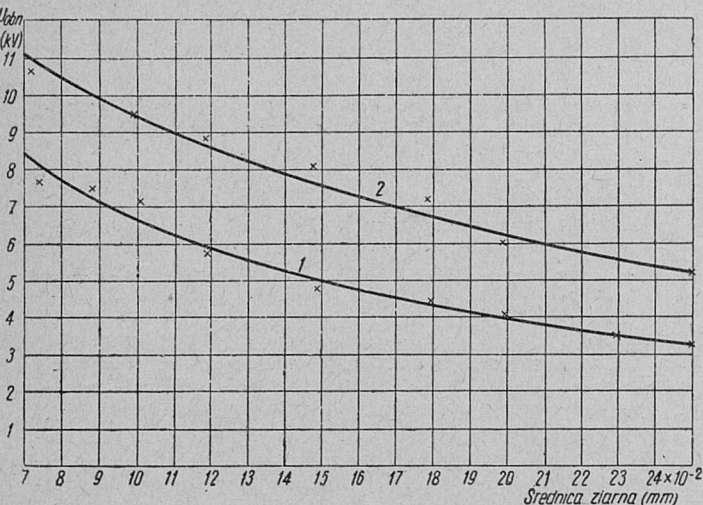
1) Obciążalność udarowa jest związana także z liczbą doprowadzonych udarów. Wg PNE 06101 znamionową obciążalność udarową określa się przy 50 udarach.



Rys. 2. Wałek karbowany prasy do badania karborundu odgromnikowego

2) $u = c i^2$, gdzie u — napięcie obniżone na próbce, c — stała, zależna od wymiarów próbki, i — prąd wyładowczy.

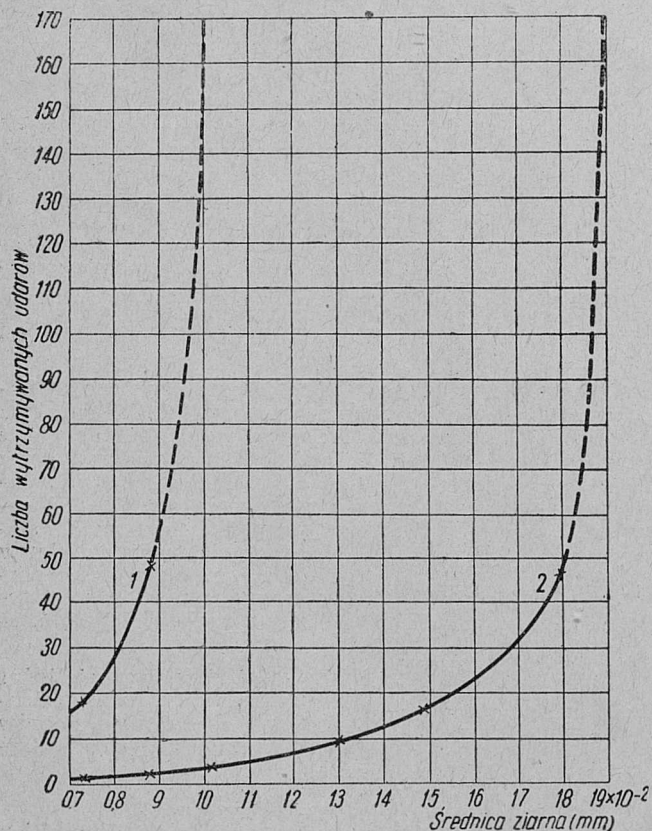
stotliwości 50 Hz. Przy tym zdejmowano pętlice napięciowo-prądowe i określano liczbę wytrzymywanych uderów oraz liczbę wytrzymywanych półokresów. Okazało się, że dla danej próbki karborundu wielkości te bardzo zależą od naprężenia ściskającego karborund. Im naprężenie ściskające jest większe, tym karborund posiada większą obciążalność udarową (większa jest wartość szczytowa wytrzymywanych uderów lub większa liczba wytrzymywanych uderów) oraz mniejszy współczynnik zaworowości. Szczególnie duża jest ta zależność przy małych naprężeniach



Rys. 3. Zależność napięcia obniżonego od średnicy ziarna dla jednej partii karborundu odgromnikowego

1 — przy udarze 1,5 kA, ok. 10/30 μ s
2 — przy udarze 6 kA, ok. 10/30 μ s

ściskających. Nawet karborund nadający się do odgromników, ale słabo ściśnięty w prasie wytrzymuje zaledwie parę uderów. Z tych powodów badania karborundu należy



Rys. 4. Zależność liczby wytrzymywanych uderów od średnicy ziarna karborundu

1 — przy udarze 1,5 kA, ok. 10/30 μ s
2 — przy udarze 6 kA, ok. 10/30 μ s

Linia przerywana oznaczona są te części krzywych, w których nie doprowadzono do przebiccia próbek.

wykonywać przy określonym docisku, przy czym naprężenie ściskające nie może być mniejsze od ≈ 10 kg/cm². Na podstawie tych badań określono warunki dla lepszej do płytek zmienno-oporowych: powinno ono zapewniać dostatecznie duże ściśnięcie ziaren oraz musi być dielektrykiem, aby przy małych prądach płytka miała duży opór (duże napięcie gaszenia).

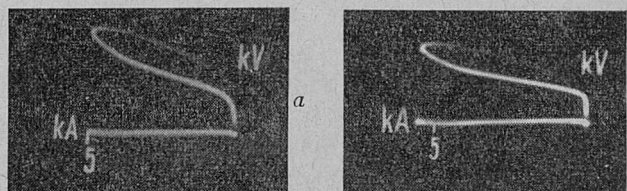
Zasadniczy wpływ na własności elektryczne karborundu mają domieszki tlenku glinu (Al_2O_3) oraz tlenku żelaza (Fe_2O_3). Regulując zawartość tych tlenków w karborundzie można zmieniać jego charakterystykę napięciowo-prądową oraz obciążalność udarową.

Przez powiększenie obciążalności udarowej zmniejsza się opór karborundu, a zatem i napięcie na nim, jednocześnie wzrasta współczynnik zaworowości α . Stąd karborund odgromnikowy powinien zawierać pewną najkorzystniejszą ilość tlenków glinu i żelaza.

Poza tym własności elektryczne karborundu bardzo zależą od wielkości poszczególnych ziarn. Na rys. 3 podana jest zależność napięcia obniżonego od średnicy ziarna dla jednej partii karborundu odgromnikowego. Im średnica ziarn karborundu odgromnikowego jest mniejsza, tym większe jest napięcie na badanej próbce. Na rys. 4 podana jest zależność liczby wytrzymywanych uderów od średnicy ziarna dla tej samej partii karborundu odgromnikowego. Liczba wytrzymywanych uderów wzrasta ze średnicą ziarn badanej próbki.

Z krzywych na rys. 3 i 4 wynika, że im większe jest napięcie na próbce karborundu, tym mniejszą liczbę uderów wytrzymuje próbka. Stąd na płytce zmienno-oporowej należy stosować ziarna o pewnej najkorzystniejszej średnicy. Jednak rozwiązanie takie byłoby zbyt kosztowne, gdyż przy miazdzeniu klinkieru karborundowego otrzymuje się szerokie pasmo ziarnistości. Z ziarn o średnicy od 0,07 do 0,2 mm, zawartych w tym paśmie, tworzy się mieszankę, o określonym udziale procentowym poszczególnych ziarn, zapewniającą najlepsze własności odgromników. Ziarna o średnicy mniejszej od 0,07 mm oraz te, które nie weszły do mieszanki, zużywa się do wyrobu materiałów ogniotrwałych, ziarna o średnicy większej od 0,2 mm poddaje się ponownemu miazdzeniu.

Ponieważ karborund odgromnikowy posiada własności zbliżone do płytek zmienno-oporowych, nasuwałoby się zagadnienie stosowania w odgromnikach luźnych ziarn karborundu zamiast uformowanych płytek zmienno-oporowych. Tego rodzaju rozwiązanie obniża koszty produkcyjne. Dotychczas takie odgromniki są produkowane tylko przez jedną wytwórnię na świecie. W naszych warunkach tego rodzaju rozwiązanie wydaje się sprawą przedwczesną. Ściśnięcie luźnych ziarn karborundu w cylindrze o dużej wysokości (kilkadziesiąt centymetrów) nie zapewnia stałego naprężenia ściskającego między ziarnami, a zwłaszcza ziarnami znajdującymi się w pobliżu środka cylindra; powoduje to zmienność charakterystyki napięciowo-prądowej podczas doprowadzania uderów i może prowadzić do większych napięć obniżonych w porównaniu z odgromnikami posiadającymi płytki zmienno-oporowe. Słup złożony z luźnych ziarn karborundu ma przy małych prądach (kilku miliamperów) znacznie większy opór i mniej-



Rys. 5. Pętlice napięciowo-prądowe

(a) — karborund
(b) — płytka zokarowa wykonana z tego karborundu

szą pojemność niż płytki zmienno-oporowe, co w wyniku prowadzi do większych udarowych napięć zapłonu. Poza tym zastosowanie luźnych ziarn karborundu utrudnia wykonanie w odgromniku urządzenia zabezpieczającego od eksplozji. Na rys. 5 podane są oscylogramy pętlic napięciowo-prądowej karborundu i płytki wykonanej z tego eksplozji. Na rys. 5 podane są oscylogramy pętlic napięciowo-prądowej luźnego karborundu ma gorszą charakterystykę niż pętlica płytki.

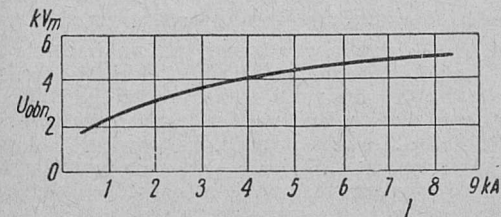
Wskutek znacznie niższych kosztów produkcyjnych odgromników z luźnymi ziarnami karborundu problem stosowania luźnych ziarn w odgromniku jest bardzo kuszący dla konstruktorów. Jednak dla zrealizowania go należałoby jeszcze wykonać poważne prace badawcze. Ponieważ koszt obiektów chronionych przez odgromniki jest przezważnie niewspółmiernie wysoki w stosunku do kosztu odgromników, wydaje się obecnie rzeczą niecelową zaoszczędzanie stosunkowo niewielkich sum na odgromnikach (przez zastosowanie luźnych ziarn karborundu) kosztem zmniejszenia pewności ochrony.

3. Płytki zmienno-oporowe.

Przyjęty w wyniku prac materiał zmienno-oporowy składa się z ziarn karborundu związanych lepiszczem, którego główną podstawą jest szkło wodne i kreda. Materiał ten nazwany zokarem (zmienno opornik karborundowy) posiada mały współczynnik zaworowości oraz dużą obciążalność udarową.

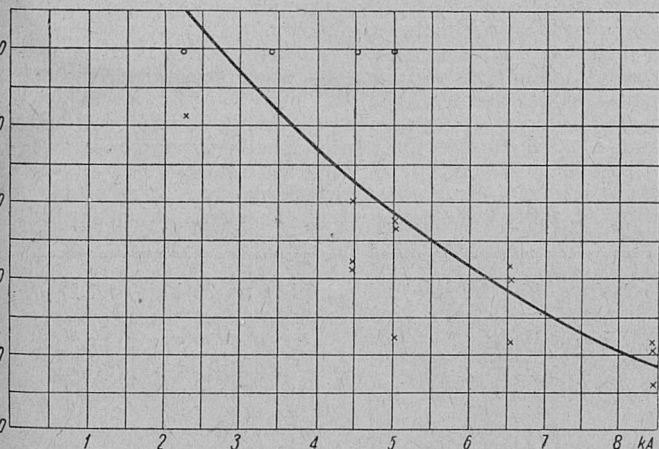
Z zokaru są wykonywane płytki (rys. 6) o średnicy 66 mm i o wysokości od 10 do 20 mm. Powierzchnie czynne płytek są metalizowane miedzią w celu równomiernego rozprzysygu prądu w płytce, powierzchnie boczne są lakierowane w celu usunięcia możliwych przeskoków powierzchniowych.

Na rys. 7 podana jest charakterystyka ochronna napięciowo-prądowa płytek zokarowych z jednego cyklu produkcyjnego. Współczynnik zaworowości α wynosi średnio



Rys. 7. Charakterystyka ochronna płytek zokarowych o wysokości 1 cm

0,19. Jak wynika z oscylogramów na rys. 5 współczynnik ochrony (stosunek napięcia obniżonego do wartości szczytowej napięcia gaszenia przy prądzie około 40 A) wynosi

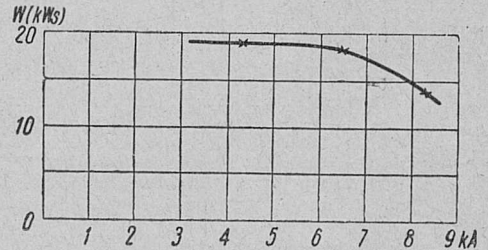


Rys. 8. Zależność liczby wytrzymywanych ударов przez płytki zokarowe od wartości szczytowej udaru o kształcie ok. 10/30 μ s.

Krzyżykami oznaczono punkty przebiecia płytek, kółkami punkty, w których płytka nie przebieła.

około 2. Na rys. 8 przedstawiono zależność liczby wytrzymywanych ударов od wartości szczytowej udaru dla ударов prądowych 10/30 μ s. Obciążalność udarową znamionową tych płytek określono na 1,5 kA. Praktycznie według McEachrona i McMorrisa w ok. 60% przypadków prąd

w odgromnikach nie przekracza 1,5 kA. Jak wynika z rys. 8, znamionowa obciążalność udarowa płytek zokarowych jest większa od 1,5 kA i wynosi przeciętnie ponad 2,5 kA



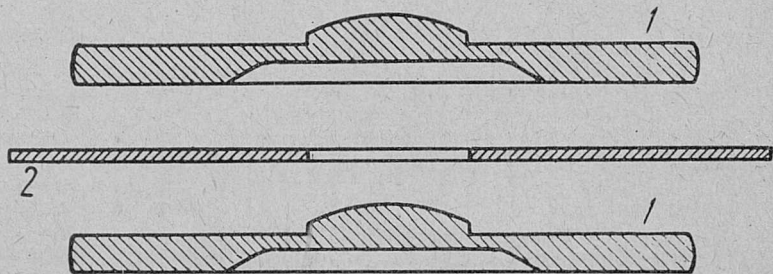
Rys. 9. Zależność średniej energii, którą wytrzymuje płytka zokarowa, od wartości szczytowej udaru prądowego 10/30 μ s

Poza tym płytki zokarowe są odporne na większe prądy, np. wytrzymują 25 ударов o wartości szczytowej 5 kA. Na rys. 9 podano zależność sumarycznej energii ударов wytrzymywanych przez płytki w funkcji wartości szczytowej udaru.

4. Iskierniki odgromników.

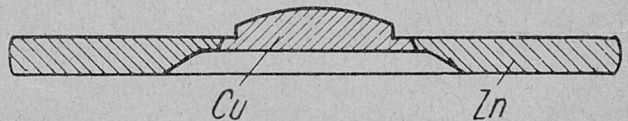
Odgromniki na napięcia 3 do 15 kV mają jedynie iskierniki gaszące, które jednocześnie spełniają rolę iskiernika odcinającego. W odgromnikach na 20 i 30 kV oprócz iskierników gaszących zastosowano iskiernik odcinający.

Zaletami przyjętej konstrukcji iskiernika gaszącego (rys. 10) są małe wymiary przy stosunkowo dużym napięciu gaszenia. Współczynnik udaru przy czasie do przesko-



Rys. 10. Iskiernik gaszący
1 — elektrody 2 — przekładka

ku ok. 1 μ s jest równy praktycznie 1. Początkowo elektrody wykonywano z miedzi. Następnie w wyniku udoskonaleń, wprowadzonych przez inż. M. Kwala, iskierniki są wykonywane z cynku z wstawką miedzianą (rys. 11). Zaoszczędzono w ten sposób wiele ton miedzi. Zachowanie wstawki miedzianej zapewnia iskiernikowi płaską chara-



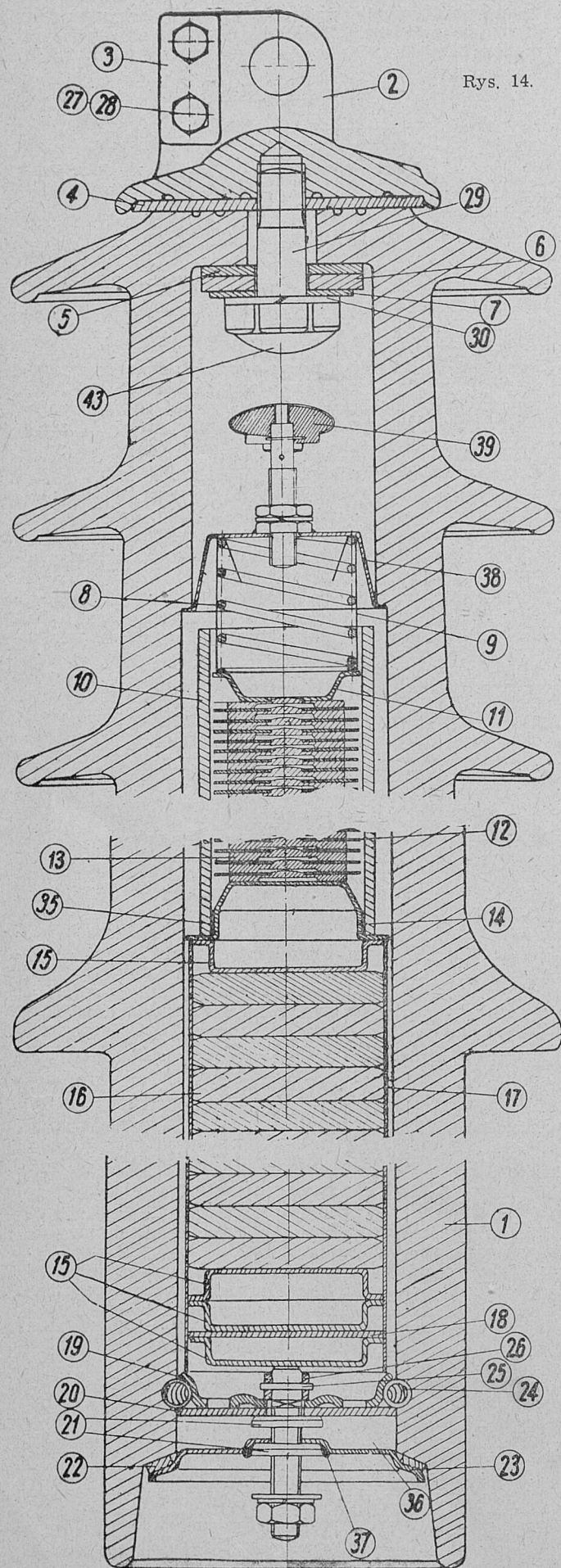
Rys. 11. Iskiernik gaszący z wstawką miedzianą

akterystykę udarową oraz bardzo małe naperlanie przy dużych prądach wyładowczych.

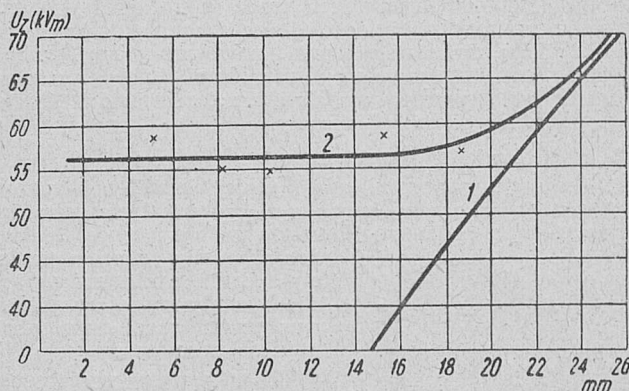
Jako materiał na przekładki przewidziano mikę lub mikanit. W okresie przejściowym zastosowano w produkcji bakielit ze względu na łatwość otrzymania odpowiednich wymiarów, w szczególności grubości. Głównie ze względu na przekładki bakielitowe w odgromnikach na napięcia 20 i 30 kV zastosowano iskiernik odcinający z podświetleniem (rys. 12), zapewniający płaską charakterystykę udarową odgromnika. Odstęp iskiernika odcinającego dobrano możliwie największy, jednak tak, aby praktycznie napięcie zapłonu iskiernika wielokrotnego z iskiernikiem odcinającym nie było większe od napięcia zapłonu samego iskiernika wielokrotnego.

Rys. 12. Schemat iskiernika odcinającego

Rys. 14.



Na dwu wykresach rys. 13 przedstawiona jest zależność statycznego napięcia zapłonu iskiernika wielokrotnego złożonego z 37 przerw, połączonego szeregowo z iskiernikiem odcinającym, w funkcji odstepu iskiernika odcinającego. Do pewnego odstepu iskiernika odcinającego



Rys. 13. Zależność statycznego napięcia zapłonu od odstepu iskiernika odcinającego

- 1 — sam iskiernik odcinający
2 — iskiernik odcinający połączony z 37 przerwami iskiernika gaszącego

(około 20 mm) statyczne napięcie zapłonu całego zespołu jest w przybliżeniu równe statycznemu napięciu zapłonu iskiernika wielokrotnego; po przekroczeniu tego odstepu statyczne napięcie zapłonu zaczyna wzrastać i w przybliżeniu jest równe napięciu zapłonu samego iskiernika odcinającego.

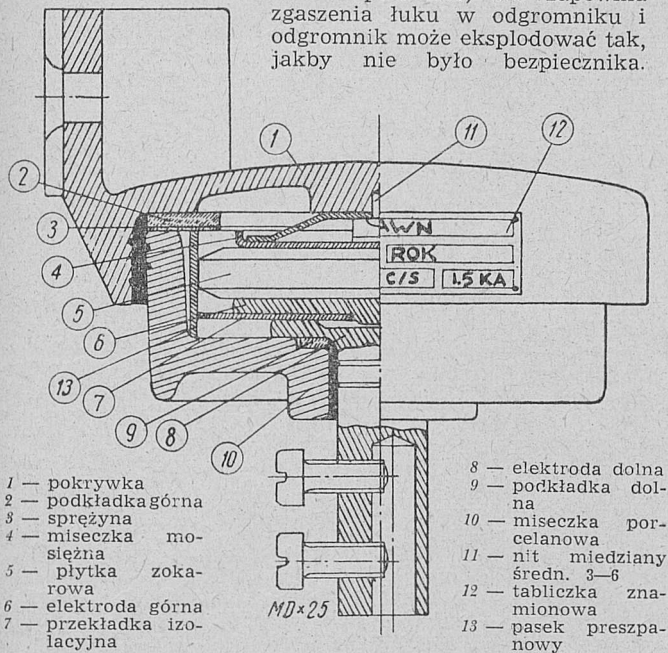
5. Konstrukcja odgromników zokarowych typu GZ.

Konstrukcję odgromników zokarowych na napięcia 3, 6, 10, 15, 20 i 30 kV opracowano jako typ lekki. Na rys. 14 pokazany jest przekrój odgromnika na 30 kV. Górne okucie zaopatrzone jest w zacisk, umożliwiając przyłączenie odgromnika do sieci, oraz w otwór, za pomocą którego można odgromnik zawiesić. W dolnej połowie odgromnika na porcelanie zamocowana jest obejma, na której odgromnik można zamocować (w przypadku zawieszania odgromnika obejmę można zdjąć). Dolna część odgromnika jest zaopatrzona w dwa dno. Jedno dno, umieszczone wyżej, ma otwory i stanowi zamocowanie mechaniczne części, znajdujących się wewnątrz obudowy porcelanowej; drugie dno ma za zadanie uszczelnienie odgromnika, jednocześnie jest ono zaopatrzone w zacisk, służący do połączenia odgromnika z ziemią. Drugie dno jest przymocowane do pierwszego przy pomocy stosunkowo cienkiego nitu. W przypadku uszkodzenia odgromnika i powstania wewnątrz dużego ciśnienia nit — pod wpływem siły działającej na dolne dno (uszczelniające) — ulega ścięciu; tym samym wypada z odgromnika dolne dno łącznie z zaciskiem uziemiającym. W ten sposób odgromnik zabezpieczony jest przed eksplozją. Jednocześnie odpada zagadnienie stosowania przy odgromnikach bezpieczników, które w wielu przypadkach były źródłem zakłóceń pracy. Zastosowanie bezpiecznika odgromnikowego o stosunkowo krótkiej

Rys. 14. Przekrój odgromnika na 30 kV (≈ 1:2)
OZNACZENIA

- | | |
|------------------------|--|
| 1 — izolator | 20 — podkładka |
| 2 — pokrywa | 21 — nakrętka |
| 3 — nakładka | 22 — uszczelka |
| 4 — uszczelka | 23 — pokrywa |
| 5 — podkładka | 24 — sprężyna |
| 6 — podkładka | 25 — kołek |
| 7 — podkładka | 26 — tulejka |
| 8 — sprężyna | 27 — podkładka spręż. |
| 9 — pasek | 28 — śruba |
| 10 — tulejka | 29 — śruba |
| 11 — miseczka | 30 — podkładka spręż. |
| 12 — krążek dystansowy | 35 — gips |
| 13 — płytka iskiernika | 36 — masa kablowa |
| 14 — miseczka stożkowa | 37 — cyna |
| 15 — miseczka | 38 — miseczka |
| 16 — płytka zokarowa | 39 — dolna elektroda iskiernika odcinającego |
| 17 — osłona (prespan) | 43 — górna elektroda iskiernika odcinającego |
| 18 — krążek | |
| 19 — dno | |
- Wysokość słupa płytek iskiernika ok. 16 cm
Wysokość słupa płytek zokarowych ok. 48 cm
Wysokość całego odgromnika ok. 100 cm

przerwie (z małym rozciąganiem przewodów po przepaleniu bezpiecznika) nie zapewnia zgaszenia łuku w odgromniku i odgromnik może eksplodować tak, jakby nie było bezpiecznika.



Rys. 15. Przekrój odgromnika na 500 V

Zastosowanie bezpieczników odgromnikowych o dużej przerwie (z dużym rozciąganiem przewodów po przepaleniu) prowadzi często do przerzutów łuku na inne urządzenia stacji, co może być przyczyną ich zniszczenia.

Tablica I. Dane techniczne odgromników zokarowych typu GZ

Napięcie znamionowe	kV	0,5	3	6	10	15	20	30
Najwyższe napięcie pracy	kV	0,58	3,5	6,9	11,5	17,3	23,0	34,5
Znamionowa obciążalność udarowa	kA	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Statyczne napięcie zapłonu	kV	1,2—1,9	9—13	14—20	22—30	33—45	44—60	66—88
Udarowe napięcie zapłonu przy czasie do zapłonu 2—4 μs	kV _m	1,7—3	13—22	20—33	31—50	47—70	65—94	100—136
Napięcie obniżone przy prądzie wyładowczym 1,5 kA	kV _m	2,5—3	15—23	27—35	40—52	55—73	73—94	105—136
Napięcie gaszenia przy próbie	kV	0,65	3,9	7,8	13,0	19,5	26	39

czenia. Zacisk uziemiający odgromnika nie jest połączony z uchwytem, służącym do zamocowania odgromnika; pozwala to na zastosowanie rejestratora zadziałań bez konieczności umieszczania odgromnika na izolowanej podstawie.

Poza opisaną serią opracowano odgromnik na 500 V. Przekrój takiego odgromnika jest podany na rys. 15.

Tablica I zawiera dane techniczne odgromników zokarowych. Rys. 16 podaje ich widok zewnętrzny.

6. Zakończenie.

Poza szczegółowymi próbami w laboratorium odgromniki zaworowe zokarowe przeszły próby w napowietrznym polu probierczym, gdzie stały przez okres 3 miesięcy pod napięciem; co pewien czas doprowadzano do nich udary prądowe. Wyniki prób były dodatnie; odgromniki te odpowiadają wymaganiom stawianym przez



Rys. 16. Widok odgromników typu GZ na napięcia: 0,5, 3, 6, 10, 15, 20 i 30 kV

normę PN/E-06101 „Orgromniki zaworowe prądu zmiennego — 1951 r”. Od początku sezonu burzowego 1951 r. odgromniki weszły do eksploatacji, gdzie dotychczasowe wyniki są również dodatnie.

Obecnie w Instytucie Elektrotechniki są opracowywane typy ciężkie odgromników zaworowych na napięcia do 110 kV o dużej obciążalności udarowej³⁾.

LITERATURA

PN E 06101. Odgromniki zaworowe prądu zmiennego (1951)
B a d e r J. Płytki zmienne-oporowe odgromników (PE, 1951, z. 1/2/3, str. 52—60)
J. B. Odgromniki zaworowe (PE, 1950, z. 9/10/11, str. 535—536)

PROF. DR INŻ. LUDGER SZKLARSKI

Zastosowanie wzmacniaczy maszynowych do sterowania maszyn wyciągowych o napędzie Leonarda

621.34:622.66—83:621.316.728.002.52

T r e ś ć. Wady maszyn wyciągowych o napędzie Leonarda bez wzmacniaczy maszynowych. Zasada działania wzmacniaczy maszynowych — amplitdyn oraz rototroli. Krótkie opisy najczęściej stosowanych układów maszyn wyciągowych o napędzie Leonarda ze sterowaniem za pomocą wzmacniaczy maszynowych oraz zalety tych układów.

Применение электромашинных усилителей для управления под'ёмными машинами сист. Леонарда. Недостатки под'ёмных машин сист. Леонарда без машинных усилителей. Принципы действия машинных усилителей — амплитдина и рототроля. Краткое описание чаще всего применяемых схем под'ёмных машин сист. Леонарда, управляемых электромашинными усилителями, и достоинства различных систем.

Adoption of rotary regulators for Ward-Leonard mine hoist control. Brief description of faults in Ward-Leonard mine hoists with rotary regulators. Principles of amplitdyne and rototrol control as well as of the advantages offered by these systems.

1. Wstęp.

Maszyny wyciągowe z napędem Leonarda w postaci klasycznej mają wiele wad. Są to wady następujące:

1) charakterystyki silnika wydobywczego nie są dość sztywne, co powoduje niedokładności przy stosowanych

ogólnie metodach sterowania półautomatycznego (za pomocą krzywek sterowniczych i dźwigni ręcznej); niedostateczna sztywność charakterystyk powoduje również

³⁾ Dalsze szczegóły prac badawczych nad ogromnikami będą ogłoszone w „Pracach Instytutu Elektrotechniki”.

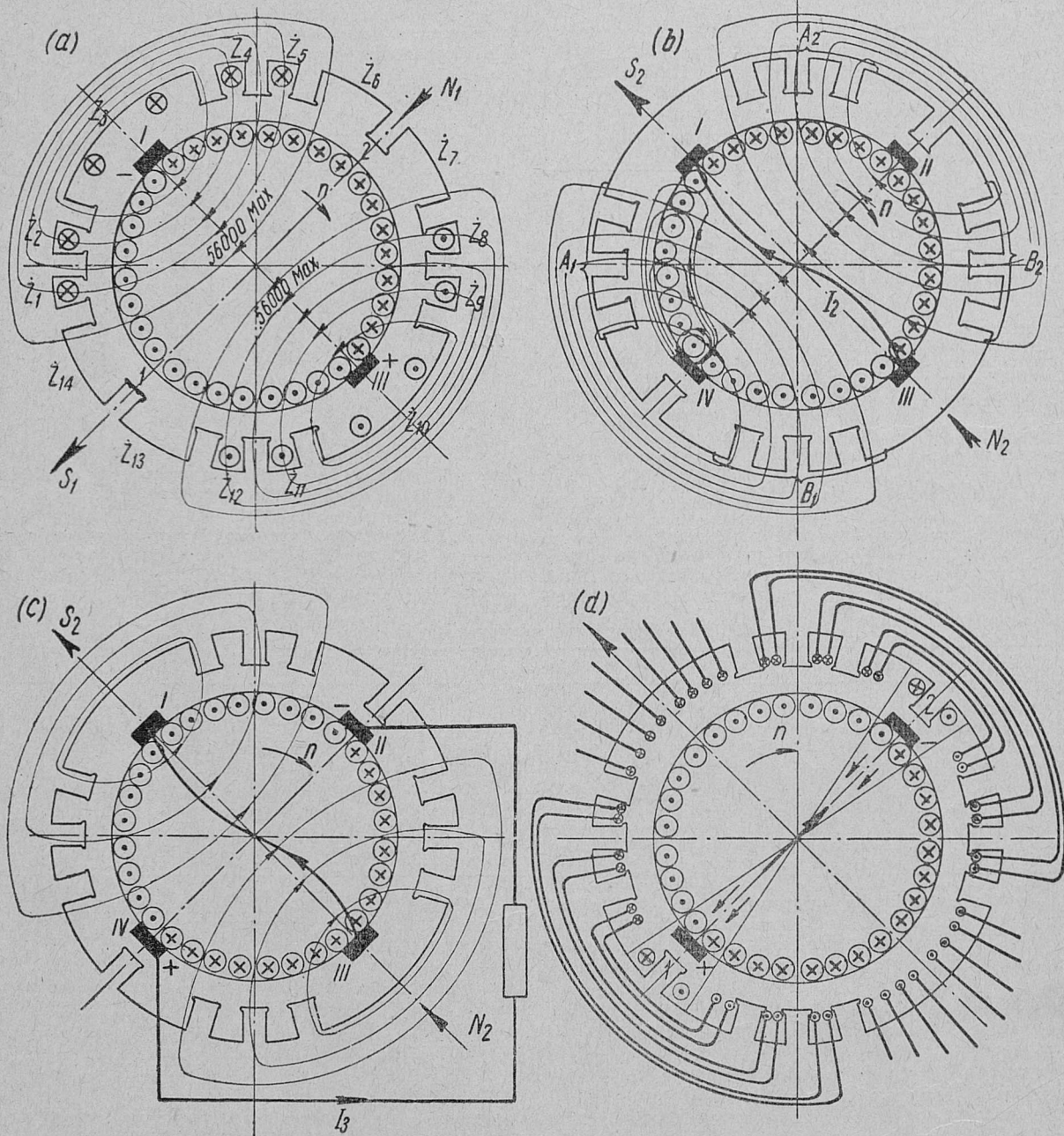
ograniczenie zakresu regulacji obrotów systemu Leonarda (zakres regulacji nie przekracza 1:20);

2) obecność magnetyzmu szczątkowego powoduje niedokładności sterowania przy zatrzymywaniu maszyny;

3) przy znacznych mocach instalacji aparat sterujący musi być wykonywany również na znaczną moc (rzędu kil-

od razu przez zastosowanie tylko jednego zespołu pomocniczego. Przy tym dzięki usztywnieniu charakterystyk napędu zakres regulacji silnika wydobywczego może być poszerzony do 1:50 i nawet więcej.

Wzmacniacze maszynowe są stosowane w układach podobnych do systemu Leonarda drugiego stopnia.



Rys. 1. Przebiegi pól magnetycznych amplidyny

(a) Przebieg strumienia sterującego

(b) Prąd szczotek zwartych i strumień poprzeczny

(c) Sem. wyjściowa, prąd wyjściowy, strumień wirnika wytwa-

rzany przez prąd wyjściowy

(d) Uzwojenie kompensacyjne i strumień kompensacyjny

kudziesięciu kilowatów), co powoduje wielkie trudności techniczne w wykonaniu; często wypada stosować serwowmotory do sterowania aparatu sterującego; aparatura sterująca przy tym zajmuje wiele miejsca.

Celem usunięcia wymienionych wad stosuje się różne urządzenia pomocnicze: do poprawienia charakterystyk stosowane są pomocnicze maszynowe zespoły kompensacyjne; magnetyzm szczątkowy jest częściowo znoszony za pomocą tzw. połączenia samobójczego lub pewnych zmian w konstrukcji prądnic sterujących; wreszcie przy znacznych mocach celem uproszczenia aparatury sterującej stosuje się łącznie Leonarda drugiego stopnia (np. w maszynach Brown Boveri). Wszystkie te środki powodują jednak dodatkowe komplikacje i mają swoje wady.

Natomiast przez zastosowanie wzmacniaczy maszynowych wszystkie powyższe problemy mogą być rozwiązane.

Należy zaznaczyć, że moc wzmacniacza maszynowego jest bardzo mała, zależy ona od mocy pobieranej przez obwód wzbudzenia prądnicy sterującej lub przez obwód wzbudzenia wzbudnicy, jeżeli wzmacniacz jest zastosowany do układu Leonarda drugiego stopnia.

2. Krótki opis wzmacniaczy maszynowych.

Zasada działania wzmacniaczy maszynowych polega na ogół na pracy normalnej prądnicy prądu stałego z obcym wzbudzeniem. Każda prądnica napędzana za pomocą jakiegoś silnika jest właściwie wzmacniaczem, gdyż przez doprowadzenie nieznacznej mocy sterującej do obwodu wzbudzenia uzyskamy znaczną moc wyjściową na szczotkach prądnicy. Jeżeli będziemy przy tym pracowali na prostoliniowej części charakterystyki magnesowania oraz

kompensacyjne, możemy uzyskać liniową zależność pomiędzy przyrostem mocy wyjściowej a przyrostem mocy wejściowej (sterującej). Stosunek przyrostu mocy wyjściowej do przyrostu mocy wejściowej po ustaleniu się przebiegów nazywa się statycznym współczynnikiem wzmocnienia mocy. Stosunek przyrostu mocy wyjściowej do przyrostu mocy wejściowej prądnic prądu stałego waha się w granicach od 25 do 200, zależnie od mocy oraz od wykonania prądnicy.

Stosowanie prądnic jako wzmacniaczy jest znane już od kilkudziesięciu lat np. w tzw. układach Leonarda drugiego stopnia, w układach kompensacyjnych służących do poprawiania charakterystyk napędu Leonarda itp.

Zwykle prądnice obcowzbudne stosowane w roli wzmacniaczy mają jednak szereg wad, jak np. znaczne stałe czasowe i mały współczynnik wzmocnienia; w związku z tym moce sterujące wypadają stosunkowo znaczne.

Obecnie zamiast prądnic w podobnych układach stosuje się specjalne maszyny, nazywane wzmacniaczami maszynowymi. Do sterowania napędów systemu Leonarda stosuje się dwa typy wzmacniaczy, mianowicie: 1) amplityny i 2) rototrole¹⁾. Statyczne współczynniki wzmocnienia mocy tych wzmacniaczy maszynowych dochodzą do 25 000 i więcej.

Maszyny używane jako wzmacniacze posiadają zwykle mniejsze szczeliny; ponadto we wzmacniaczach maszynowych stosuje się bardzo małe nasycenia obwodu magnetycznego celem uzyskania prostoliniowych charakterystyk oraz zredukowania do minimum szcążkowej indukcji magnetycznej.

Wzmacniacze maszynowe mogą być włączane bądź do zasilania uzwojenia wzbudzenia prądnicy sterującej, bądź do zasilania uzwojenia wzbudnicy w układach Leonarda drugiego stopnia.

Amplidyna

Amplidyna jest wykonana jak zwykła prądnica prądu stałego; może mieć bieguny wystające lub stojan żłobkowy (z biegunami utajonymi) na wzór stojana silników indukcyjnych (rys. 1). Wirnik amplidyny niczym nie różni się od wirnika maszyny prądu stałego i ma komutator zwykłego typu. Dwubiegunowa amplidyna ma dwie pary szczotek, przesunięte o 90° względem siebie; jedna z nich jest zwarta. Stojan amplidyny ma kilka uzwojeń, w tym uzwojenie sterujące, kompensacyjne oraz pomocnicze.

Wirnik amplidyny jest napędzany ze stałą prędkością za pomocą odrębnego silnika lub też jest sprzężony z wałem silnika napędzającego prądnice sterującą.

Pierwsze uzwojenie stojana, czyli tzw. uzwojenie sterujące, jest nawinięte w ten sposób, że wytwarza strumień magnetyczny Φ_1 skierowany jak wskazuje strzałka N_1S_1 . Uzwojenie to znajduje się w żłobkach z_1-z_{12} , z_2-z_{11} , z_3-z_{10} , z_4-z_9 , z_5-z_8 .

Żłobki z_3 , z_6 , z_7 , z_{10} , z_{13} i z_{14} są znacznie szersze niż pozostałe. Przez poszerzenie żłobków uzyskuje się redukcję indukcji magnetycznej nad tymi żłobkami (por. rys. 2) w celu osiągnięcia niezbędnych warunków komutacji dla szczotek zwartych oraz głównych (por. rys. 1a, b, c, d).

I i 2 na rys. 1a oraz 2 na rys. 2 oznaczają bieguny pomocnicze, o których będzie mowa niżej.

Kierunki sił elektromotorycznych wznicianych w uzwojeniach wirnika przez pole sterujące są widoczne na rys. 1a.

Szczotki I i III znajdują się w strefie obojętnej strumienia magnetycznego uzwojenia sterującego. Szczotki te są zwarte krótkim przewodem, dzięki czemu opory obwodu szczotek zwartych są bardzo małe, a zatem w obwodzie tym przepływa prąd I_2 o dość znacznym natężeniu przy małych wartościach sem. wznicianych w uzwojeniu wirnika zwartego szczotkami I i III. Ponieważ siły elektromotoryczne wzniciane w uzwojeniu wirnika przez strumień sterujący są bardzo małe, więc indukcja magnetyczna pola sterującego również jest nieznaczna. Pozwala to na pracę na części prostoliniowej charakterystyki magnesowania, ponadto moc sterująca jest bardzo mała, od ułamków wata do kilku watów.

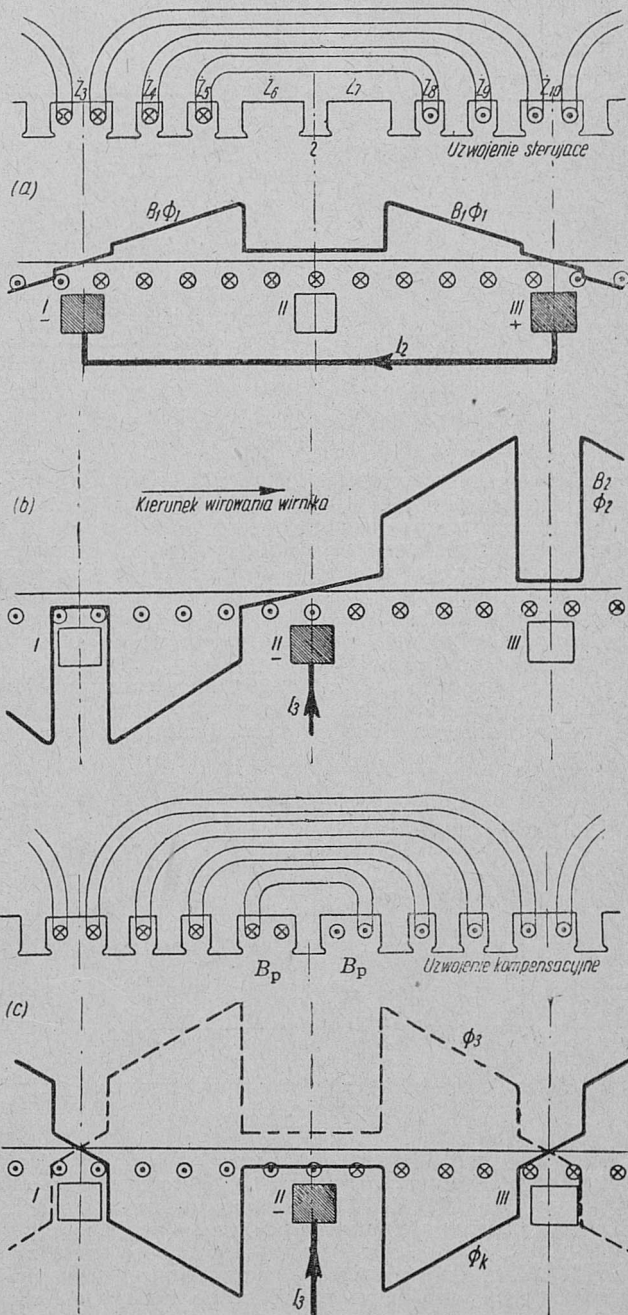
Prąd I_2 obwodu szczotek zwartych (I i III) powoduje powstanie strumienia Φ_2 reakcji wirnika (rys. 1b), kierunek tego pola oznacza strzałka N_2S_2 . Jest to tzw. strumień poprzeczny. Dzięki obecności żelaza stojana z poszerzonymi żłobkami z_3 i z_{10} strumień ten ma przebieg przedstawiony na rys. 2b.

¹⁾ W literaturze radzieckiej amplidyny nazywa się wzmacniaczami maszynowymi z polem poprzecznym, rototrole — wzmacniaczami maszynowymi z samowzbudzeniem.

Siły elektromotoryczne indukowane w uzwojeniu wirnika przez strumień poprzeczny są uwidocznione na rys. 1c oraz 2b.

Obwód sterujący wraz z obwodem szczotek zwartych tworzy pierwszy stopień wzmocnienia.

Spółczynnik wzmocnienia stopnia pierwszego może być nieco podwyższony przez wykonanie dodatkowego uzwo-



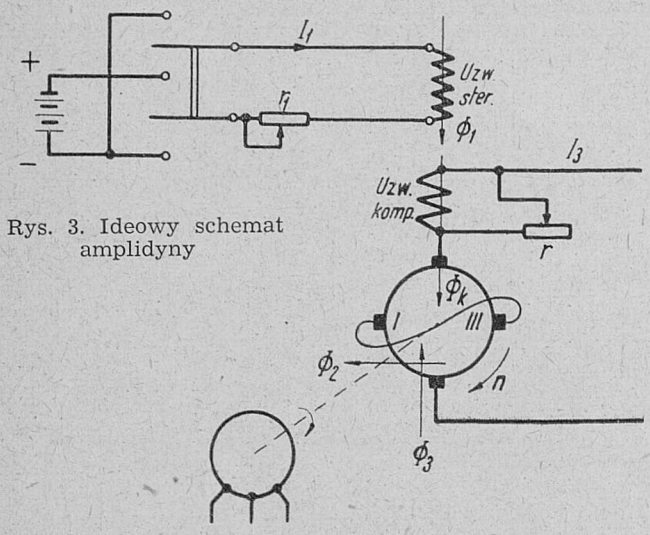
Rys. 2. Wykresy strumieni magnetycznych do rys. 1

- (a) Strumień sterujący Φ_1
- (b) Strumień poprzeczny Φ_2 (strumień reakcji wirnika od prądu I_2 szczotek zwartych)
- (c) Strumień reakcji wirnika Φ_3 od prądu obciążeniowego I , oraz strumień uzwojenia kompensacyjnego Φ_k

jenia, wytwarzającego strumień zgodny ze strumieniem poprzecznym. Przy tym prąd I_2 obwodu szczotek zwartych może być zredukowany, co pozwala na zwiększenie obciążenia amplidyny. Uzwojenie to należy włączyć w obwód szczotek zwartych.

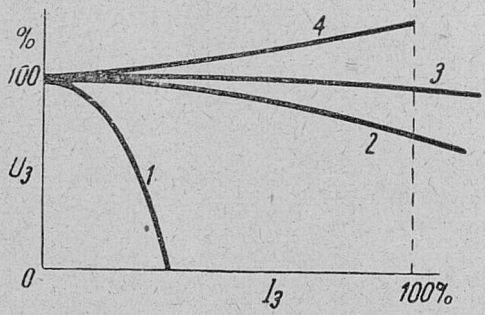
Szczotki II i IV są włączone do obwodu zewnętrznego (rys. 1c), a więc są to szczotki robocze. Gdybyśmy obecnie włączyli jakieś obciążenie między te szczotki, to prąd obciążeniowy I_3 , przepływając przez uzwojenia wirnika, spowodowałby powstanie strumienia reakcji wirnika. Ten strumień od razu zniszczyłby słabe pole sterujące i w wyniku napięcie pomiędzy szczotkami II i IV spadłoby do

zera. Dla uniknięcia tego zjawiska należy wykonać jeszcze uzwojenie kompensacyjne. Uzwojenie kompensacyjne winno być, o ile możliwości, tak wykonane, aby strumień magnetyczny wznieczany przez nie był jak najbar-



Rys. 3. Ideowy schemat amplidyny

kiej zbliżony co do kształtu i wielkości do przebiegu strumienia reakcji wirnika powstałego od prądu obciążenia I_3 . W tym celu uzwojenie kompensacyjne jest umieszczone w żłobkach stojana, jak pokazuje rys. 2c. Amperozwoje kompensacyjne wznieczają strumień Φ_k o przebiegu przedstawionym na rys. 2c. Strumień Φ_k i strumień reakcji Φ_3 mają kierunki przeciwnie, a więc znoszą się. Uzwojenie kompensacyjne jest włączone w szereg do obwodu szczotek roboczych II i IV. Jak widzimy z rys. 2, uzwojenie kompensacyjne jest nawinięte współosiowo z uzwojeniem sterującym i oba leżą w tych samych żłobkach. Uzwojenia te różnią się



Rys. 4. Charakterystyki amplidyny przy różnych stopniach kompensacji

tylko przekrojem drutu nawojowego. Przekrój uzwojenia kompensacyjnego jest obliczony na całkowity prąd obciążeniowy I_3 . Dla dokładnego skompensowania reakcji wirnika amperozwoje kompensacyjne są zwykle regulowane — przy dostrajaniu układu — za pomocą opornicy r (rys. 3). Przez dobór opornicy, bocznikującej uzwojenie kompensacyjne, można otrzymać różne nachylenia charakterystyk amplidyny. Rys. 4 podaje wykresy napięcia wyjściowego amplidyny U_3 w funkcji prądu obciążeniowego I_3 (czyli tzw. charakterystyki amplidyny) przy różnym stopniu kompensacji; krzywa 1 podaje pracę bez uzwojenia kompensacyjnego, krzywa 2 odpowiada kompensacji niedostatecznej, krzywa 3 — kompensacji idealnej, przy której utrzymuje się stałe napięcie przy wszystkich obciążeniach, wreszcie krzywa 4 odpowiada pracy przy układzie przekompensowanym. Wypadek ostatni nie znajduje zastosowania praktycznego, gdyż przy przekompensowaniu łatwo następuje samowzbudzenie wzmacniacza maszynowego, który wskutek tego zaczyna pracować jak samowzbudna prądnicą szeregową.

Najczęściej wykonuje się tylko jedną parę biegunów pomocniczych do poprawienia warunków komutacji szczotek głównych, spotyka się jednak też wykonania z dwiema parami biegunów pomocniczych zgodnie z liczbą par szczotek.

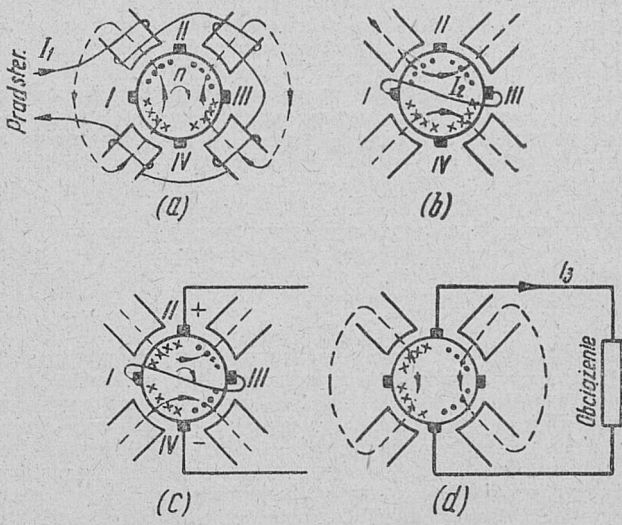
Uzwojenia biegunów pomocniczych (zęby 1 i 2 na rys. 1 i 2) są włączone również w szereg do obwodu szczotek głównych (II i IV). Na rys. 2c pokazano uzwojenia biegunów pomocniczych; oznaczono je literami B_p . Niekiedy można obejść się bez biegunów pomocniczych zwłaszcza dlatego, że szczotki stosowane do amplidyn są wąskie, szerokość ich zwykle odpowiada szerokości jednej działki komutatora. Obwód szczotek zwartych wraz z obwodem szczotek głównych tworzy drugi stopień wzmacnienia.

Dla lepszego zrozumienia działania amplidyny można posługiwać się uproszczonym schematem wzmacniacza z rys. 3, gdzie podane są tylko podstawowe uzwojenia amplidyny.

Należy zaznaczyć, że prąd zastępczy w uzwojeniu wirnika I_{wir} oblicza się według wzoru:

$$I_{wir} = \sqrt{I_2^2 + I_3^2}$$

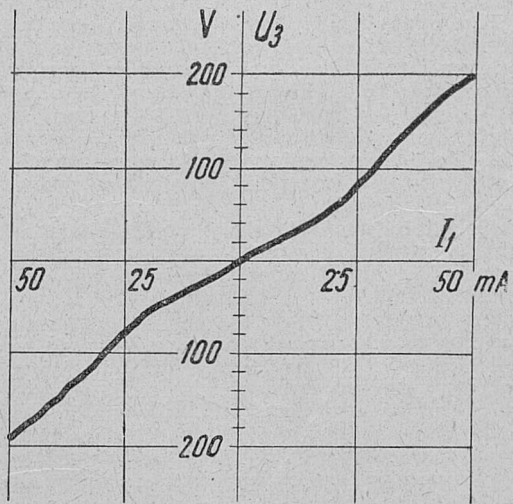
Jak zaznaczono wyżej, stojan amplidyny może być wykonany również z biegunami wystającymi. W tym przy-



Rys. 5. Schemat amplidyny o biegunach jawnych

padku niezbędny rozkład strumieni magnetycznych osiąga się przez zastosowanie czterech biegunów łączonych jak na rys. 5. Przez takie połączenie maszyna staje się amplidyną dwubiegunową.

Przerwy między sąsiednimi nabiegownikami są wykorzystane do redukcji indukcji magnetycznej, podobnie jak na rys. 1 i 2. Rys. 5a przedstawia sposób łączenia



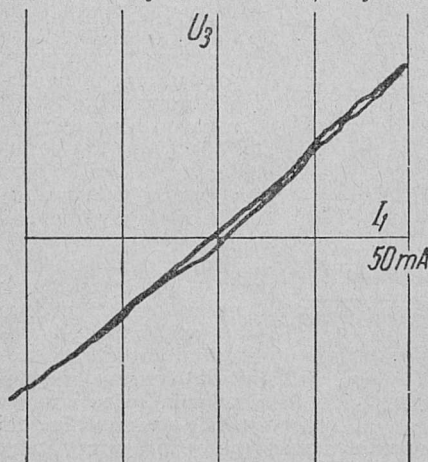
Rys. 6. Przebieg napięcia wyjściowego jako funkcja prądu sterującego amplidyny

uzwojeń sterujących. Powstający przy takim łączeniu strumień magnetyczny jest pokazany liniami kreskowanymi. Rys. 5b objaśnia powstawanie strumienia poprzecznego wskutek przepływu prądu przez obwód szczotek zwartych, a rys. 5c pokazuje siły elektromotoryczne wznieczane przez ten strumień. Te siły elektromotoryczne

są zbierane przez szczotki główne II i IV. Na rys. 5d brak uzwojeń kompensacyjnych.

Przy budowie wzmacniaczy maszynowych ważnym zagadnieniem jest sprawa magnetyzmu szczątkowego ich obwodów magnetycznych. Wartości indukcji szczątkowej oraz siły koercji winny być możliwie jak najmniejsze. Obecność magnetyzmu szczątkowego uniemożliwia dokładne sterowanie. Powyższe wymagania mogą być spełnione przez zastosowanie specjalnej blachy do wykonania stojana. W pewnych wypadkach stosuje się specjalne uzwojenie prądu zmiennego, które wytwarza nieznaczny strumień zmienny, służący do ostatecznego znoszenia magnetyzmu szczątkowego.

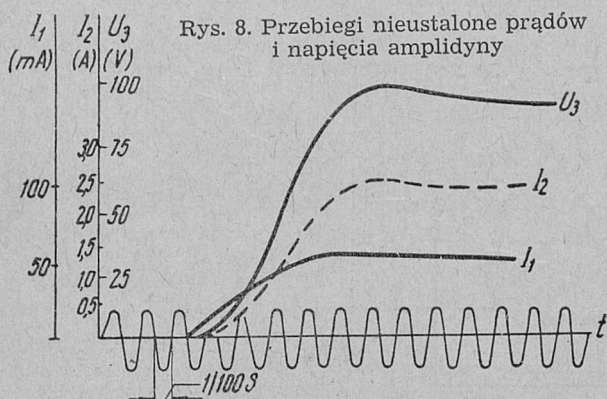
Rys. 6. podaje wykres napięcia wyjściowego U_3 w funkcji prądu wzbudzenia I_1 jednej z amplidyn, wykonanych przez Zakład Elektryfikacji Urzędów Górniczych wspólnie z Zakładem Maszyn Elektrycznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie²⁾. Wykres ten odpowiada cał-



Rys. 7. Przebieg napięcia wyjściowego jako funkcja prądu sterującego amplidyny przy wyłączonym obwodzie prądu zmiennego

kowitemu cyklowi magnesowania maszyny. Jak widać z wykresu, magnetyzm szczątkowy praktycznie został zniesiony. Osiągnięto to przez zastosowanie pomocniczego uzwojenia prądu zmiennego. Rys. 7 podaje tę samą charakterystykę, lecz przy wyłączonym uzwojeniu prądu zmiennego.

Wypadkowy współczynnik wzmocnienia mocy amplidyny k_p równa się iloczynowi współczynników wzmocnienia mo-



Rys. 8. Przebiegi nieustalone prądów i napięcia amplidyny

cy dla poszczególnych stopni, czyli

$$k_p = k_{p1} \cdot k_{p2},$$

gdzie k_{p1} i k_{p2} — współczynniki wzmocnienia pierwszego i drugiego stopnia, o których była mowa wyżej. Ponieważ moc sterująca nie zależy od obciążenia obwodu wyjściowego amplidyny, więc współczynnik wzmocnienia mocy osiąga wartość znamionową przy określonym obciążeniu wzmacniacza. Teoretycznie największą wartość współczynnika wzmocnienia mocy osiąga się, gdy opór obciążenia równa się oporowi wirnika wzmacniacza.

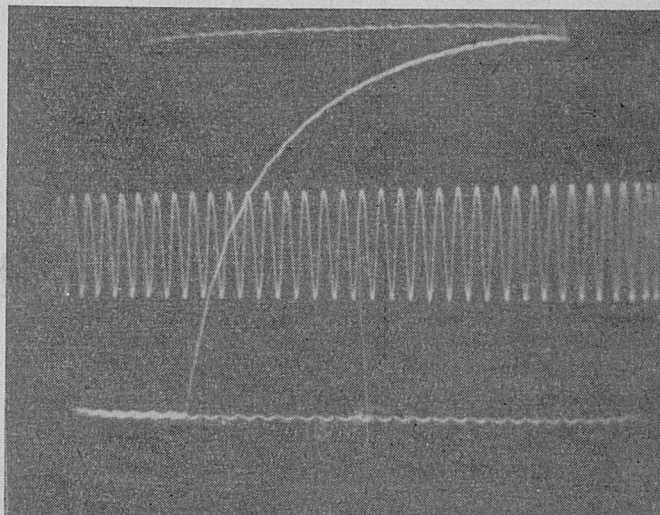
Dla amplidyny, której charakterystyka jest podana na rys. 6, otrzymano następujące wartości (przy wypadko-

²⁾ Dane amplidyny: wykonanie z biegunami utajonymi, znamionowa moc wyjściowa 1200 W, największe napięcie wyjściowe 210 V, liczba obrotów na minutę 3000, współczynnik wzmocnienia mocy 6000; moc sterująca 0,2 W (odpowiada mocy wyjściowej 1200 W); prąd sterujący 50 mA (przy mocy sterującej = 0,2 W).

wym współczynnika wzmocnienia $k_p = 6000$): $k_{p1} = 600$, $k_{p2} = 10$.

Dla innej amplidyny, wykonanej przez wspomniane Zakłady A. G. H., przy mocy znamionowej 600 W i wypadkowym współczynnikiem wzmocnienia $k_p = 1000$ otrzymano następujące współczynniki wzmocnienia: $k_{p1} = 67$, $k_{p2} = 15$.

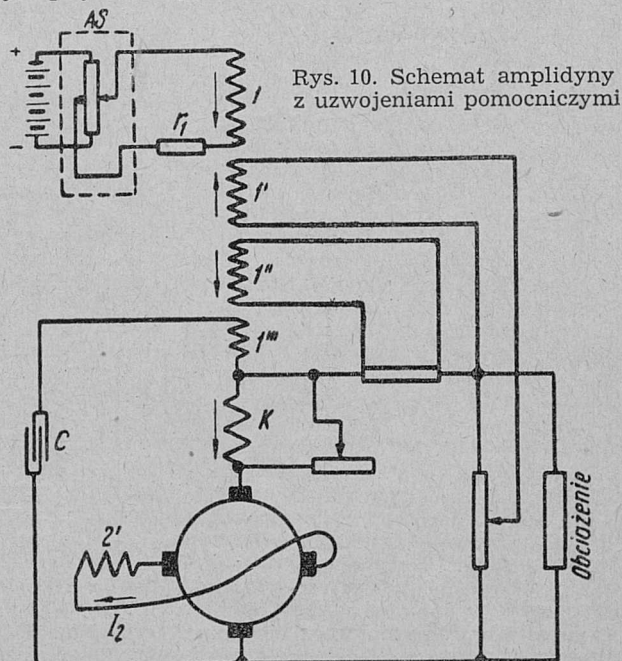
Stałe czasowe amplidyny są bardzo małe, wahają się w granicach 0,03—0,1 sek. Pochodzi to stąd, że indukcyjności poszczególnych obwodów amplidyny są małe. Naj-



Rys. 9. Przebieg prądu sterującego amplidyny

większą indukcyjność ma obwód sterujący, ponieważ jednak obwód ten pobiera znikomą moc, więc stała czasowa może być obniżona przez włączenie znacznego oporu w szereg z tym uzwojeniem.

Na rys. 8 podane są oscylogramy przebiegów nieustalonych prądu sterującego I_1 , prądu obwodu szczotek zwar-



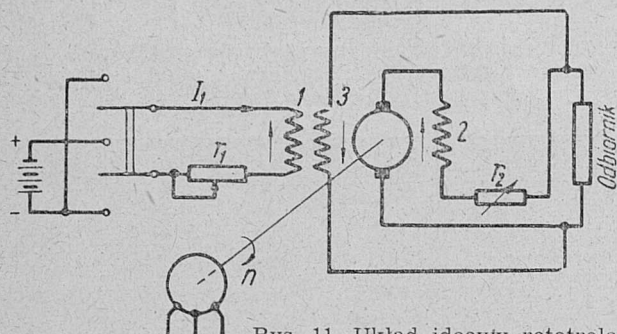
Rys. 10. Schemat amplidyny z uzwojeniami pomocniczymi

tych I_2 oraz napięcia wyjściowego U_3 amplidyny. Pewien spadek wartości I_2 i U_3 przed ustaleniem się przebiegów jest spowodowany napięciowym przeciwspężeniem zwrotnym (ob. niżej). Rys. 9 podaje oscylogram przebiegu nieustalonego prądu sterującego innej amplidyny.

Wzmacniacze maszynowe zwykle są wykonywane z kilkoma uzwojeniami sterującymi, z których jedno jest właściwym uzwojeniem sterującym, pozostałe zaś służą do różnych funkcji pomocniczych.

Przy sterowaniu układów ze wzmacniaczami maszynowymi często wypada stosować kondensatory lub transformatory do stabilizacji wzmacniacza przy stanach nie-

ustalonych. Rys. 10 przedstawia schematycznie amplitdynę z uzwojeniem sterującym 1, uzwojeniami pomocniczymi 1' i 1'', uzwojeniem stabilizującym 1''' z włączonym w szereg kondensatorem C, uzwojeniem kompensacyjnym K oraz uzwojeniem 2' włączonym do obwodu szczotek zwar-



Rys. 11. Układ ideowy rototrola

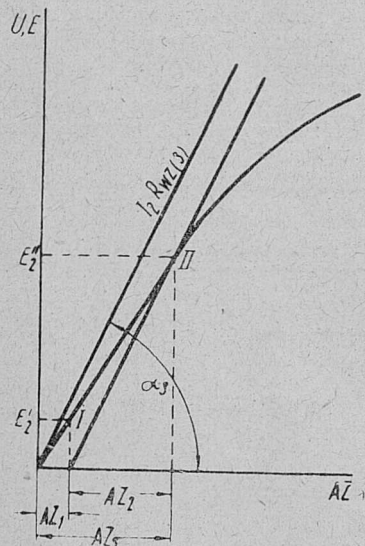
- 1 — uzwojenie sterujące
- 2 — uzwojenie szeregowe samowzbudzenia
- 3 — uzwojenie napięciowe (sprzężenia zwrotnego)

tych. Uzwojenia pomocnicze bardzo często są wykorzystywane do stworzenia tzw. sprzężeń zwrotnych napięciowych oraz prądowych. Sprzężenia zwrotne służą do samokontroli układów regulujących. Jedno z możliwych wykonania tych sprzężeń jest pokazane na rys. 10. Podany tu aparat sterujący AS ma inne wykonanie niż na poprzednich rysunkach amplitdyn.

Ze względu na znikomą moc pobieraną przez obwód sterujący korzystne jest wykonanie zwykłego dzielnika napięcia zamiast opornicy regulowanej r_1 na rys. 4. W podanym tu układzie odpada również konieczność stosowania przełącznika.

Rototrol

Wzmacniacze tego typu są pod względem konstrukcyjnym podobne do amplitdyn, dlatego też można ograniczyć się tu do opisu samej zasady działania. Rototrole są



Rys. 13. Charakterystyki rototrola
Amperozwoje: AZ_1 — prądu sterującego, AZ_2 — samowzbudzenia, AZ_3 — wypadkowe

to maszyny prądu stałego z biegunami wystającymi. Najczęściej otrzymuje się je przez przewinięcie wzbudzenia zwykłych maszyn prądu stałego. Zwykle wybiera się maszynę o małym magnetyzmie szczątkowym.

Rototrol pracuje jako prądnica samowzbudna, a układ zawiera ponadto uzwojenie sterujące oraz pomocnicze. Układ ideowy wzmacniacza jest podany na rys. 11.

Do wyjaśnienia zasady działania maszyny służy charakterystyka biegu jałowego rototrola, czyli krzywa magnesowania maszyny (rys. 12). Przypuśćmy, że uzwojenia 1 i 3 (rys. 11) są odłączone. Zakładamy, że magnetyzm szczątkowy jest znikomy. Prądnica samowzbudna wzbudza się, gdy opór obwodu wzbudzenia jest mniejszy od oporu krytycznego. Spadki napięcia w obwodzie wzbudze-

nia, jako funkcja prądu wzbudzenia I_2 przy stałym oporze obwodu wzbudzenia, otrzymuje się z prostej $U_{wz} = I_2 R_{wz} (1)$ o kącie nachylenia α_1 (rys. 12), gdzie $R_{wz} (1)$ oznacza wartość całkowitego oporu obwodu wzbudzenia. Kąt nachylenia:

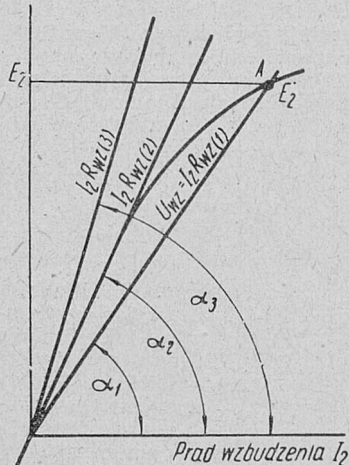
$$\alpha_1 = \arctg R_{wz} (1).$$

Przy istnieniu warunków przedstawionych na rys. 12 sem. E_2 wirnika ustali się w punkcie A, który odpowiada przecięciu się prostej $I_2 R_{wz} (1)$ z charakterystyką biegu jałowego E_2 .

Przy powiększeniu oporu obwodu wirnika (przez włączenie opornicy r_2) otrzymamy nową prostą $I_2 R_{wz} (2)$ o kącie nachylenia $\alpha_2 > \alpha_1$. Niech kąt α_2 równa się kątowi nachylenia części prostoliniowej charakterystyki biegu jałowego rototrola. Opór obwodu wzbudzenia, który odpowiada kątowi α_2 jest oporem krytycznym. Przy dalszym powiększeniu oporu obwodu wirnika otrzymamy prostą $I_2 R_{wz} (3)$ o kącie nachylenia $\alpha_3 > \alpha_2$. Przy tym oporze samowzbudzenie maszyny nie nastąpi.

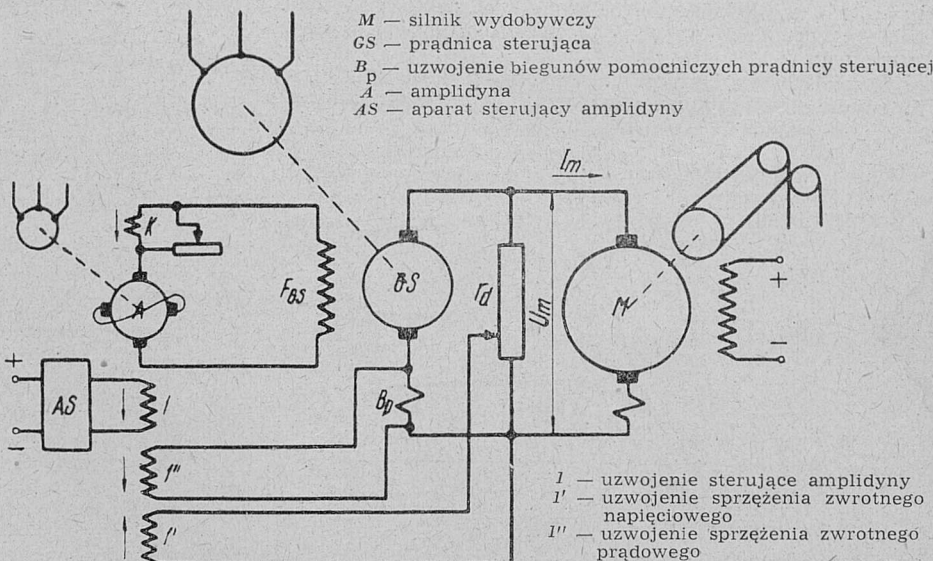
Wzmacniacz maszynowy, pracujący przy kącie nachylenia prostej $I_2 R_{wz}$ większym od nachylenia części prostoliniowej krzywej magnesowania ($\alpha > \alpha_2$) nazywa się wzmacniaczem

niedostrojonym. Wzmacniacz maszynowy pracujący przy kącie nachylenia prostej $I_2 R_{wz}$ równym kątowi nachylenia części prostoliniowej krzywej magnesowania ($\alpha = \alpha_2$) nazywa się wzmacniaczem dostrojonym. W ostatnim przy-



Rys. 12. Charakterystyki rototrola

$$R_{wz} (1) < R_{wz} (2) < R_{wz} (3)$$



Rys. 14. Układ Leonarda sterowany za pomocą amplitdyny

padku praca wzmacniacza jest mniej stateczna, gdyż nieznaczne zmiany oporu obwodu wirnika rotorola (np. wskutek wzrostu temperatury) mogą uniemożliwić samowzbudzenie wzmacniacza.

Należy zaznaczyć ponadto, że wzmacniacze z szeregowym uzwojeniem samowzbudzenia są stateczniejsze w pracy niż wzmacniacze z uzwojeniem bocznikowym. W instalacjach wyciągowych używane są prawie wyłącznie rototrole o uzwojeniu szeregowym. Dlatego też dalej omawiane będą wzmacniacze tylko tego typu.

Przy pracy z oporem obwodu wzbudzenia $R_{wz} (1)$ mniejszym od oporu krytycznego $R_{wz} (2)$ nie będziemy mieli zależności liniowej pomiędzy prądem wzbudzenia I_2

a sem. wirnika E_2 ; zależność liniowa wystąpi przy pracy z oporem krytycznym lub nieco większym.

Niech opór obwodu wzbudzenia będzie nieco większy od oporu krytycznego (rys. 13). Jeżeli teraz przez uzwojenie sterujące popłynie prąd wytwarzający amperozwoje AZ_1 , to w wirniku rototrola wznieci się pewna siła elektromotoryczna E'_2 . Jeżeli uzwojenie samowzbudzenia 2 (rys. 11) jest włączone zgodnie z uzwojeniem sterującym 1, to liczba amperozwojów wypadkowych powiększy się i będzie równa AZ_2 . Przy włączeniu uzwojenia samowzbudzenia 2 prosta $I_2 R_{wz}$ (3) przesunie się równolegle w prawo o wartość AZ_1 . Dzięki temu otrzymamy nowy punkt pracy II maszyny, któremu odpowiada znacznie wyższa wartość siły elektromotorycznej E'_2 . Przy tym przez uzwojenie samowzbudzenia będzie płynął prąd odpowiadający liczbie amperozwojów AZ_2 .

Przez zmniejszenie oporu r_2 można wybrać taki kąt nachylenia charakterystyki $I_2 R_{wz}$ (większy wszelako od krytycznego), żeby liczba amperozwojów sterujących, wymaganych do otrzymania niezbędnej sem. wirnika, była najmniejsza. Przy nieznacznej zmianie amperozwojów sterujących AZ_1 nastąpi znaczna zmiana amperozwojów samowzbudzenia AZ_2 . Jak widzimy, rototrol jest wzmacniaczem o dużym współczynniku wzmocnienia.

Z powyższych rozważań widać, że uzwojenie samowzbudzenia pozwala na osiągnięcie znacznej szybkości sterowania rototrola.

3. Układ Leonarda ze wzmacniaczem maszynowym.

Najprostszy układ tego typu z zastosowaniem amplitudyny jest przedstawiony na rys. 14. Tu AS oznacza aparat sterujący amplitudyną, składający się z opornicy regulacyjnej i przełącznika. Amplitudyna A ma uzwojenie sterujące 1 oraz dwa uzwojenia sprzężenia zwrotnego — amperozwojowego 1' i prądowego 1''. Amperozwoje uzwojenia 1' mają kierunek przeciwny do amperozwojów uzwojenia sterującego 1, a więc w danym wypadku mamy tzw. napięciowe przeciw sprzężenie zwrotne. Amperozwoje uzwojenia prądowego sprzężenia zwrotnego 1'' są zgodne z amperozwojami sterującymi. Uzwojenie prądowego sprzężenia zwrotnego winno być włączone do upustu w głównym obwodzie Leonarda. Zamiast upustu najczęściej wykorzystuje się opór uzwojenia biegunów pomocniczych B_p prądnicy sterującej GS.

Sprzężenie zwrotne prądowe usztywnia charakterystyki układu Leonarda kompensując spadki obrotów silnika wydobywczego M, występujące przy wzroście obciążenia głównie wskutek obecności oporów obwodu głównego. Przy wzroście obciążenia silnika M prąd płynący przez obwód główny wzrasta. Powoduje to wzrost amperozwojów uzwojenia 1'', co z kolei wywołuje wzrost wypadkowych amperozwojów sterujących amplitudyny, a więc i wzrost prądu w obwodzie wzbudzenia prądnicy sterującej.

Sem. e_{k1} , wzniecana w uzwojeniu wirnika prądnicy sterującej, a pochodząca od prądowego sprzężenia zwrotnego, będzie więc proporcjonalna do spadku napięcia w obwodzie głównym³⁾, a więc

$$(1) \quad e_{k1} = k_1 I_m R_m,$$

gdzie

- k_1 — współczynnik proporcjonalności,
- I_m — prąd głównego obwodu Leonarda,
- R_m — oporność całkowita obwodu głównego (włączając w to opory wirników prądnicy sterującej GS, silnika M oraz przewodów łączących).

W układzie przedstawionym na rys. 14 napięciowe przeciw sprzężenie zwrotne działa w ten sposób, że stale pomniejsza amperozwoje sterujące uzwojenia 1 w tym samym stosunku, zwykle bardzo nieznacznie (o kilka procentów). Działanie tego przeciw sprzężenia powinno być tak obliczone, aby zniósł magnetyzm szczytkowy przy zatrzymaniu maszyny wyciągowej, to znaczy, gdy prąd w obwodzie wzbudzenia prądnicy sterującej będzie równy zeru. Wtedy prąd sterujący uzwojenia 1 będzie równy zeru. Na szczotkach zaś prądnicy sterującej będzie panowało wskutek obecności magnetyzmu szczytkowego pewne napięcie, dzięki któremu silnik wydobywczy będzie się obracał z małą prędkością.

Przez uzwojenie amplitudyny 1' włączone na część napięcia istniejącego na szczotkach prądnicy sterującej, będzie przepływał prąd, a więc uzwojenie to wytworzy strumień magnetyczny, skierowany przeciw poprzednio istniejącemu strumieniowi sterującemu. Strumień ten wznieci siłę elektromotoryczną w wirniku amplitudyny o kierunku przeciwnym do sem. podczas normalnej pracy; spowoduje to zniesienie szczytkowej indukcji magnetycznej. Dokładność zniesienia indukcji szczytkowej może być regulowana za pomocą suwaka dzielnika napięć r_d .

Siła elektromotoryczna e_{k2} , wzniecana w uzwojeniu wirnika prądnicy sterującej, a pochodząca od napięciowego przeciw sprzężenia zwrotnego, będzie proporcjonalna do napięcia U_m panującego na zaciskach silnika wydobywczego⁴⁾:

$$(2) \quad -e_{k2} = k_2 U_m.$$

Siła elektromotoryczna wypadkowa, indukowana w uzwojeniach wirnika prądnicy sterującej, a pochodząca od obydwóch sprzężeń, wyniesie na podstawie (1) i (2)

$$(3) \quad e_{gs} = e_{k1} - e_{k2} = k_1 I_m R - k_2 U_m.$$

Obroty silnika z obcym wzbudzeniem przy stałym strumieniu wzbudzenia (co jest słuszne dla silników z uzwojeniem kompensacyjnym) wyrażą się wzorem

$$(4) \quad n = k' (U_m - I_m R),$$

przy czym $k' = \frac{1}{c \Phi_m}$, gdzie c — stała silnika, Φ_m — strumień wzbudzenia silnika.

Jeżeli oberzemy wartości k_1 i k_2 tak, aby $k_1 = k_2 = k$, to

$$(5) \quad -e_{gs} = k (U_m - I_m R).$$

Z równań (4) i (5) wynika, że przebieg ($-e_{gs}$) dokładnie odwzajemnia przebieg prędkości silnika n . Zjawisko to wykorzystujemy do kompensacji spadków prędkości, przy czym kompensacja ta odbywa się głównie dzięki obecności sprzężenia zwrotnego prądowego ($k I_m R$), wartość bowiem napięcia U_m waha się nieznacznie.

Z równania (5) widzimy, że przy niższych obrotach silnika wyciągowego, czyli przy mniejszych wartościach U_m , spadek obrotów $\Delta n = k' I_m R$ będzie powodował większy błąd w sterowaniu niż przy wyższych obrotach. Znaczy to, że gdy kompensacja spadku obrotów będzie tak wyregulowana, aby charakterystyka silnika wyciągowego była idealnie sztywna (pozioma) przy niskich obrotach (np. przy 10% prędkości największej), to przy wyższych obrotach układ będzie przekompensowany, a więc napęd będzie miał charakterystykę wznoszącą się. Charakterystyka wznosząca się jest niekorzystna, gdyż powoduje niestateczną pracę napędu z kołysaniami.

Zastosowanie sprzężeń zwrotnych pozwala na przyspieszenie przebiegów nieustalonych napędu Leonarda. Pochodzi to stąd, że przy zastosowaniu sprzężenia zwrotnego 1', po ustaleniu się przebiegów, liczba amperozwojów sterujących uzwojenia 1 powinna być większa niż przy odłączonym uzwojeniu 1'' dla otrzymania tego samego prądu wzbudzenia prądnicy sterującej i tej samej prędkości maszyny wyciągowej, znaczy to, że po odłączeniu uzwojenia 1'' prąd wzbudzenia prądnicy sterującej wzrośnie.

Przy ustawieniu dźwigni sterowniczej aparatu sterującego w pewnej określonej pozycji, gdy silnik jest jeszcze w stanie spoczynku, nie ma osłabiającego działania przeciw sprzężenia zwrotnego (uzwojenia 1'), wskutek czego prąd wzbudzenia prądnicy sterującej jest większy, niż winien być dla danego ustawienia dźwigni sterowniczej. W miarę wzrostu napięcia na zaciskach prądnicy sterującej działanie odmagnezowujące uzwojenia 1' będzie rosło. Spowoduje to stopniową redukcję prądu wzbudzenia prądnicy sterującej. Po ustaleniu się przebiegu prądu wzbudzenia nastąpi ustalenie się napięcia U_m na szczotkach prądnicy sterującej i wtedy działanie odmagnezowujące przeciw sprzężenia zwrotnego osiągnie wartość największą. Przy tej wartości wypadkowe amperozwoje sterujące amplitudyny będą miały wartość, odpowiadającą danemu ustawieniu dźwigni sterowniczej.

Obecność uzwojenia prądowego sprzężenia zwrotnego jeszcze bardziej przyspiesza opisane przebiegi, gdyż ampe-

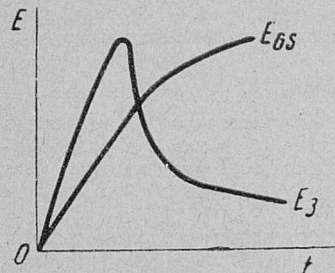
³⁾ Rozpatrujemy tu tylko przebiegi ustalone.

⁴⁾ Pomijamy spadki napięcia w przewodach łączących prądnice sterującą z silnikiem.

rozwoje tego sprzężenia są zgodne z amperozwojami sterującymi amplitudą. Prąd w obwodzie głównym Leonarda, a więc i w uzwojeniu $1''$ ma większe natężenie w czasie trwania przebiegów niustalonych przy rozruchu silnika.

Również przy hamowaniu prądnicowym silnika wyciągowego występuje przyspieszenie przebiegów niustalonych, przy czym zjawiska są odwrócone.

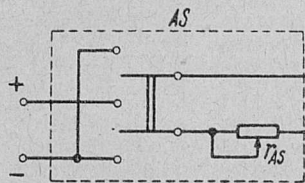
Rys. 15 przedstawia omówione wyżej przebiegi sił elektromotorycznych amplitudy (E_s) oraz prądnicy sterującej (E_{gs}) przy wzbudzeniu pospiesznym dla układu Leonarda (z przeciwsprężeniem zwrotnym wykonanym według rys. 14).



Rys. 15. Przebieg sił elektromotorycznych amplitudy (E_s) oraz prądnicy sterującej (E_{gs}) przy wzbudzeniu pospiesznym

Układy Leonarda ze wzmacniaczami maszynowymi często są wykonywane z jednym sprzężeniem zwrotnym — prądowym albo napiściowym.

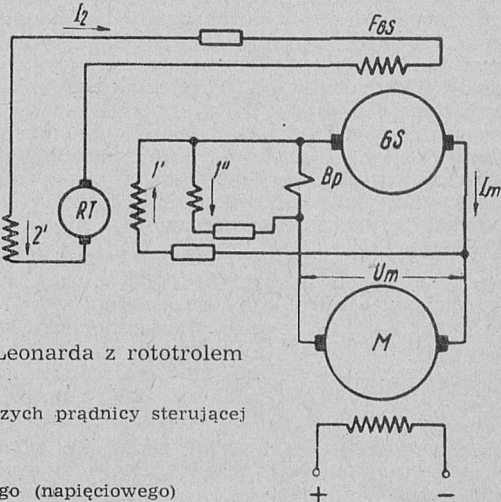
Rys. 16 przedstawia układ ideowy napędu Leonarda ze wzmacniaczem typu rototrola. Tu 1 oznacza uzwojenie sterujące, $2'$ — uzwojenie samowzbudzenia szeregowego, $1'$ — uzwojenie napiściowego przeciwsprężenia zwrotnego, $1''$ — uzwojenie prądowego sprzężenia zwrotnego, włączonego do uzwojenia biegunów pomocniczych B_p prądnicy sterującej GS , podobnie jak na rys. 14. Uzwojenia obydwóch sprzężeń zwrotnych wytwarzają wypad-



Rys. 16. Układ ideowy napędu Leonarda z rototrolem

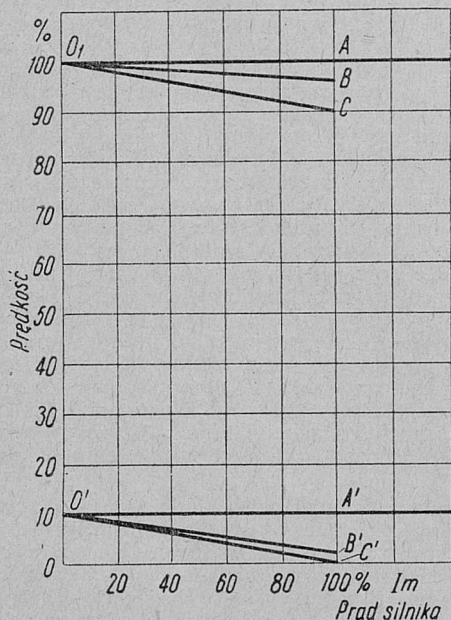
- M — silnik wydobywczy
- GS — prądnica sterująca
- B_p — uzwojenie biegunów pomocniczych prądnicy sterującej
- RT — wirnik rototrola
- AS — aparat sterujący rototrola
- 1 — uzwojenie sterujące rototrola
- $1'$ — uzwojenie sprzężenia zwrotnego (napiściowego)
- $1''$ — uzwojenie sprzężenia zwrotnego (prądowego)
- $2'$ — uzwojenie samowzbudzenia (szeregowego)

silnika M niezależnie od jego obciążenia. Stosunki wzajemne amperozwojów uzwojenia 1 oraz uzwojeń $1'$ i $1''$ są tak dobrane, że gdy przy danym ustawieniu dźwigni sterowniczej obroty silnika osiągną wartość przepisową, amperozwoje trzech wyżej wspomnianych uzwojeń dokładnie się znoszą. W tym przypadku prąd obwodu wir-



nika rototrola utrzymuje się tylko na skutek działania uzwojenia samowzbudzenia. Przy tym przez uzwojenie wzbudzenia F_{gs} przepływa prąd o stałym natężeniu.

Gdy prędkość silnika będzie się różniła od prędkości żądanej (zadanej przez aparat sterujący), równowaga pomiędzy amperozwojami uzwojeń $1'$, $1''$ oraz 1 zostanie zakłócona, wskutek czego powstaną dodatkowe amperozwoje, które spowodują zmianę siły elektromotorycznej wzniesanej w wirniku rototrola i zmianę prądu wzbudzenia prądnicy sterującej; wtedy obroty silnika M zaczną się zmieniać, aż osiągną żądaną wartość.



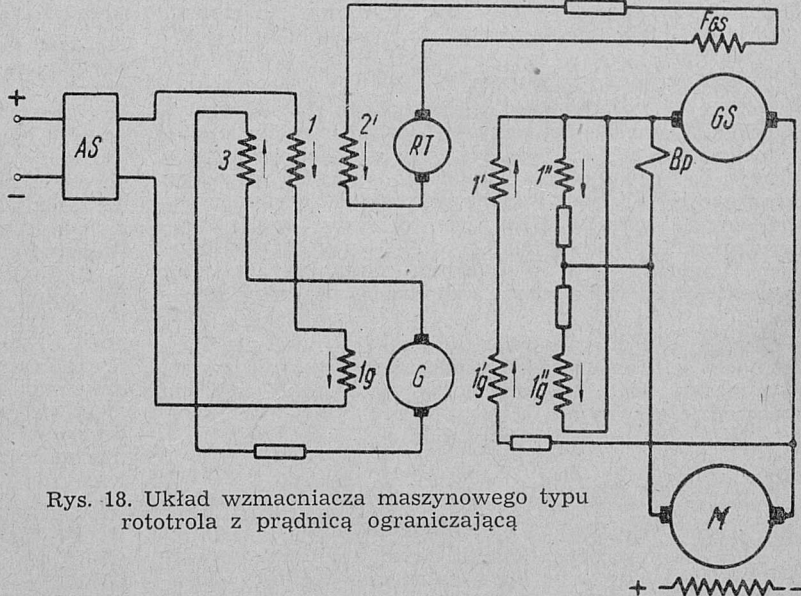
Rys. 17. Charakterystyki maszyny wyciągowej sterowanej rototrolem

$AC = 10\%$	$AB = 3\%$	$BC = 7\%$
$A'C' = 10\%$	$A'B' = 9,3\%$	$B'C' = 0,7\%$

$AC, A'C'$ — spadki obrotów spowodowane spadkami napięcia $I_m R$
 $BC, B'C'$ — kompensacja spadków obrotów za pomocą rototrola

kowe amperozwoje proporcjonalne do wartości ($U_m - I_m R$). Amperozwoje te będą proporcjonalne do rzeczywistej prędkości silnika wydobywczego M .

Amperozwoje sterujące uzwojenia 1 mają kierunek przeciwny do wypadkowych amperozwojów uzwojeń $1'$ i $2''$. W stanie ustalonym pewnemu ustawieniu dźwigni sterowniczej sprzężonej z opornicą r_{AS} aparatu sterującego powinna odpowiadać określona wartość prędkości



Rys. 18. Układ wzmacniacza maszynowego typu rototrola z prądnicą ograniczającą

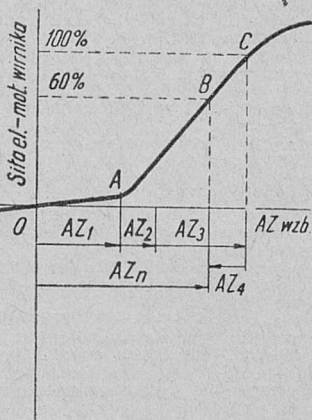
Jak już nadmieniono, przy zastosowaniu sprzężeń zwrotnych nie da się osiągnąć idealnej kompensacji dla całego zakresu prędkości.

Celem ograniczenia kompensacji przy wyższych obrotach w układach z rototrolem stosuje się dodatkową regulację oporu w obwodzie prądowego sprzężenia zwrotnego $1''$. Odbyna się to przez włączanie dodatkowych sekcji tego oporu przy przesuwaniu dźwigni aparatu sterującego w kierunku wyższych obrotów silnika wydobywczego.

Rys. 17 podaje charakterystyki układu Leonarda pewnej maszyny wyciągowej o napędzie za pomocą dwóch silników o mocy 1290 kW każdy, sterowanej za pomocą rototrola [11]. Wartości prądów obciążenia i obrotów są podane w procentach wartości znamionowych. Proste $O'C'$ i O_1C' są to charakterystyki silnika wydobywczego

bez kompensacji (przy odłączonym rototrolu) proste zaś $O'B'$ oraz O_1B oznaczają charakterystyki napędu z kompensacją. Charakterystyki dolne ($O'B'$ i $O'C'$) odpowiadają prędkości biegu jałowego równej 10% prędkości naj-

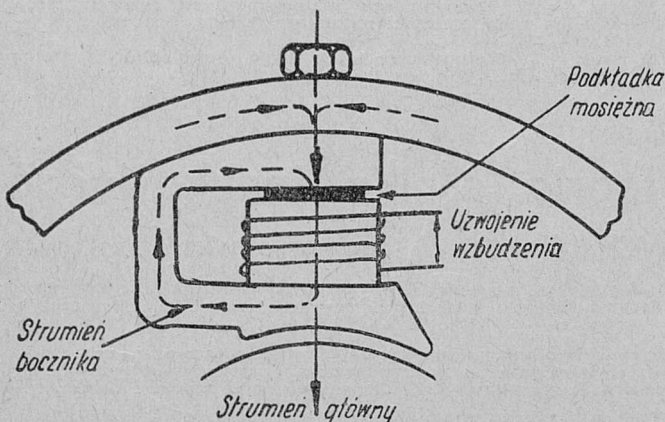
Rys. 19. Charakterystyki magnesowania prądnicy ograniczającej



większej, charakterystyki zaś górne (O_1B i O_1C) odpowiadają prędkości największej.

Układy z rototrolem, podobnie jak układy z amplidy-ną, są często wykonywane z jednym sprzężeniem zwrotnym.

Układy Leonarda z rototrolem często wykonywa się z dodatkową prądnicą, ograniczającą moment silnika wydobywczego. Prądnica ograniczająca jest stosowana wów-



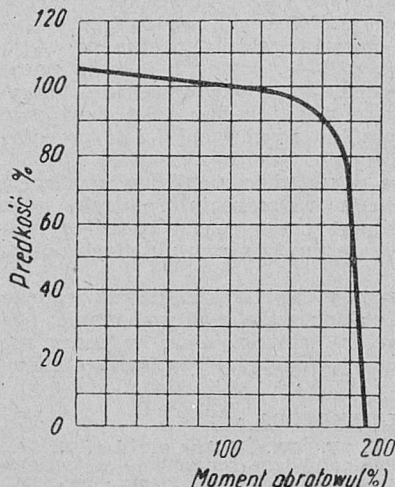
Rys. 20. Konstrukcja bieguna prądnicy ograniczającej

czas, kiedy przy sterowaniu maszyny wyciągowej zależy nam na ograniczeniu momentu i prądu silnika wydobywczego. Konstrukcja prądnicy jest podobna do konstrukcji rototrola. Prądnica ograniczająca jest sprzężona z wałem rototrola i obraca się ze stałą prędkością. Układ połączeń rototrola (RT) z prądnicą ograniczającą (G) jest podany na rys. 18. W tym przypadku rototrol powinien mieć jeszcze uzwojenie dodatkowe (3), a zatem ogółem pięć uzwojeń. Prądnica ograniczająca G ma trzy uzwojenia 1_g , $1'_g$, $1''_g$. Uzwojenia te są włączone w szereg z uzwojeniami wzmacniacza 1, 1' i 1''. Prądnica ograniczająca nie ma uzwojenia samowzbudzenia.

Wielkość oraz kierunki amperozwojów uzwojeń prądnicy ograniczającej są tak dobrane, że mogą wznęcać w wirniku tej prądnicy siłę elektromotoryczną, znoszącą całkowicie działanie amperozwojów wzbudzenia rototrola. Jednak działanie znoszące prądnicy ograniczającej powinno następować tylko wtedy, kiedy obciążenie silnika wydobywczego przekroczy dopuszczalne. Prądnica ograniczająca jest zwykle tak wyregulowana, aby moment silnika mógł osiągnąć wartość momentu rozruchowego. Osiąga się to przez nadanie specjalnego kształtu charakterystyk prądnicy ograniczającej. W tym celu charakterystyki magnesowania tej prądnicy są przesunięte względem początku układu współrzędnych (rys. 19) przez zastosowanie bocznika magnetycznego (rys. 20). Dopóki liczba amperozwojów obwodu wzbudzenia prądnicy ograniczającej (wytworzonych przez prądowe sprzężenie zwrotne) nie przekroczy wartości oznaczonej AZ_1 (punkt A), strumień magnetyczny zwraca się przez boc-

niki magnetyczne, omijając bieguny główne oddzielone od jarzma za pomocą podkładki mosiężnej, dzięki czemu w wirniku prądnicy nie wznęca się siła elektromotoryczna. Po przekroczeniu liczby amperozwojów, odpowiadającej punktowi A, bocznik magnetyczny szybko się nasyca i strumień przepływa przez bieguny główne, dzięki czemu w wirniku prądnicy powstaje siła elektromotoryczna.

Działanie ograniczające prądnicy odbywa się w sposób następujący: napięcie na szczotkach prądnicy G (rys. 18) ma taką wartość, że amperozwoje uzwojenia ograniczającego 3 rototrola znoszą wypadkowe amperozwoje uzwo-

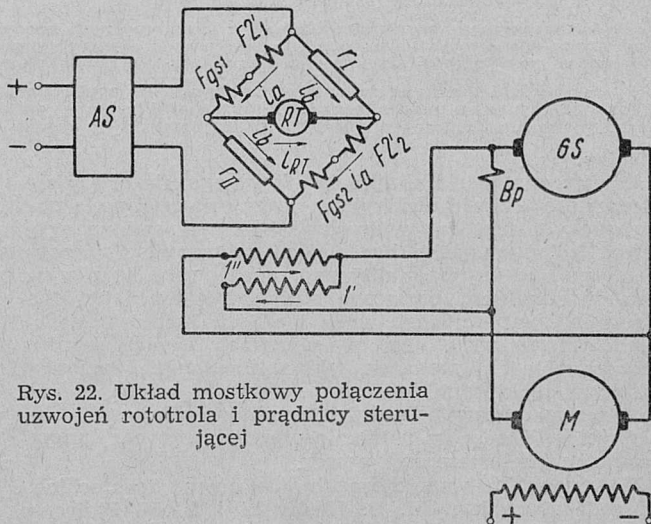


Rys. 21. Charakterystyki napędu z rototrolem i prądnicą ograniczającą

jenia sterującego oraz uzwojeń obydwu sprzężeń zwrotnych, zapobiegając dalszemu wzrostowi prądu I_m silnika.

Przy normalnej pracy bocznik magnetyczny nie jest nasycony, gdyż, jak powiedziano wyżej, wypadkowe amperozwoje uzwojeń 1_g , $1'_g$ oraz $1''_g$ znoszą się. Zadanie tych uzwojeń w prądnicę ograniczającą polega na utrzymaniu stałej wartości prądu rozruchowego silnika, gdy następują zmiany prędkości i dzięki temu zmiany liczby amperozwojów.

Nawet w wypadku, gdy maszynista nagle przesunie dźwignię aparatu sterującego z położenia zerowego



Rys. 22. Układ mostkowy połączenia uzwojeń rototrola i prądnicy sterującej

w skrajną pozycję, odpowiadającą prędkości największej, przy nieruchomym silniku, prądnica ograniczająca utrzyma siłę elektromotoryczną wirnika rototrola na takiej wartości, aby przy ruszeniu silnika prąd I_m nie przekraczał założonej z góry wartości dopuszczalnej.

Rys. 21 podaje jedną z charakterystyk pewnej maszyny wyciągowej o napędzie Leonarda z zastosowaniem rototrola i prądnicy ograniczającej [10]. Zastosowanie prądnicy ograniczającej prowadzi do znacznej redukcji naprężeń dynamicznych w linach tak, że nawet przy gwałtownym przestawieniu dźwigni sterowniczej o pełny kąt wychylenia (tj. z pozycji zerowej do pozycji odpowiadającej prędkości największej) naprężenia w linach nie

przekraczają wartości występujących przy normalnym sterowaniu bez wzmacniacza [11].

Prócz opisanych wyżej układów stosuje się układy z rototrolem przy łączeniu uzwojeń wzmacniacza i prądnicy sterującej w układ mostkowy. W układzie tego rodzaju, podanym na rys. 22, uzwojenia wzbudzenia prądnicy sterującej oraz uzwojenie samowzbudzenia rototrola są podzielone na dwie sekcje (oznaczone F_{gs1} i F_{gs2} oraz $F_{2'}$ i $F_{2''}$).

Jedna sekcja uzwojenia wzbudzenia prądnicy sterującej łączy się w szereg z sekcją uzwojenia sterującego rototrola, tworząc jedną gałąź mostka, druga sekcja uzwojenia wzbudzenia prądnicy sterującej, połączona w szereg z drugą sekcją uzwojenia sterującego, tworzy trzecią gałąź mostka. Druga i czwarta gałęzie mostka powstają przez włączenie oporów r_1 i r_{II} , równych oporom pozostałych gałęzi. W danym układzie uzwojenie samowzbudzenia jest wykorzystane równocześnie jako uzwojenie sterujące. Uzwojenia sprzężeń zwrotnych I' i I'' pozostają niezmienione.

Należy zaznaczyć, że w układzie mostkowym odbywa się równoczesna regulacja wzbudzenia rototrola oraz prądnicy sterującej, wskutek czego aparat sterujący musi być obliczony na większe prądy niż w układach opisanych poprzednio.

Zaletą układu mostkowego jest zaoszczędzenie jednego uzwojenia w rototrolu, co upraszcza jego wykonanie; ponadto układy mostkowe są stateczniejsze w pracy niż opisane poprzednio i nie wymagają obwodów stabilizujących [3]*).

LITERATURA

Alexanderson E. F. W., Edwards M. A., Bowman K.K. The amplidyne generator — a dynamo-electric amplifier for power control (Gen. Electr., Rev., 1940, 43, str. 104) [1]
Broughton H. H. Electric Winders, Sec. ed., (E. & F. N. Spon, London, 1948) [2]

B y c z k o w W. P. Elektropriwod postojannowo toka s szirokim diapazonom riegulirowanja skorosti wraszczienja elektrowigatiela (Izd. Ak. Nauk SSSR, Otd. tiechn. nauk, nr 2, 1950, 167—175) [3]
B y c z k o w W. P. Kwadraticznaja sistiema s primienieniem elektromaszinnowo usilitiela (Elektricz. 1952, 4, 32—38) [4]
B y c z k o w W. P. Tiejorja mietod raszczota i sistiemy gienierator-dwigateli s elektromaszinnym riegulatorom (Elektriczestwo, 1950, 2, 33—34) [5]
G i e r m a n A. P., S z k l a r s k i F. N. Rudnicznije podjomnyje ustanowki (Ugletiechizdat, Moskwa, 1947) [6]
G o r i a i n o w F. A. Statieczskije rieziemy elektromaszinnowo riegulatora s prodolnym polem (Izd. Ak. Nauk SSSR, Otd. Tiechn. Nauk, nr 2 1950, 176—186) [7]
Industrielle Anwendung des Verstärker-Generator (Amplidyne), (ETZ, 1941, 38/39, str. 796) [8]
I v y I. G. Rototrol control of mine hoist drives (Westingh. Eng., 1944, 4, str. 124) [9]
L u t z H. Über die Steuerung elektrischer Gleichstrom-Fördermaschinen in Leonard Schaltung (Glückauf, 1951, 41/42, str. 953) [10]
M u i r h e a d T. M. An electric winder installation with the rototrol system of control (Min. Electr. and Mech. Eng., 1951, nr 373, str. 111) [11]
N i t u s o w E. W. Elektromaszinnije riegulatory s kritičeskim samowozbuzdženjem (Izd. Akad. Nauk SSSR, Otd. Tiechn. Nauk SSSR, nr 2, 1950, str. 161—166) [12]
P e t c h T. H. Transients in electric mine-winders and their effects on rope stresses (Proceed. I. E. E., 1951, vol. 98, II, 65, str. 573) [13]
P e t c h T. H. Ward-Leonard mine winder with closed-loop amplidyne control (BTH — Art. 1951, 22, str. 106) [14]
P o p o w W. K. Osnowy elektropriwoda (Goseniergoizdat, Moskwa, 1951, II izd.) [15]
S t a l e y W. W. Mine plant design (1949, N. Y.) [16]
S h o u t s D. R., E d w a r d s M. A., C r e v e r F. E. Industrial application of amplidyne generators (Trans. A. I. E. E., 1940, 59, str. 944) [17]
S z k l a r s k i L. Zasady napędu elektrycznego, cz. I (Wyd. P. Z. W. .S., Kraków, 1951, skrypt) [18]
V a l e n t i n A. Les dynamos amplificatrices. L'amplidyne (Bull. Soc. Franç. Electr., 1948, 82, str. 304) [19]
H r u s a J. Kompoundace stejno-smernych težnych stroju a jejich řízení točivými regulatory (Elektr. Obz., 1951, nr 20—24, str. 383) [20]
H r u s a J. Stejnosemne težne stroje se samocinným řízením (Elektr. Obz., 1951, nr 11—14, str. 243) [21]

MGR INŻ. JERZY SCHMIDT

Analityczna teoria silnika indukcyjnego i jej zastosowania

621.3.011:621.313.333.004(47)

Treść. Na podstawie założeń teorii analitycznej silnika indukcyjnego, wysuniętej w literaturze radzieckiej, autor wyprowadza proste wzory, które pozwalają poddać dyskusji wyniki badania silnika z dokładnością nie mniejszą od tej, którą otrzymuje się przy pomocy wykresu kołowego.

Аналитическая теория индукционного двигателя и ее применение. На основании положений, на которых базируется аналитическая теория индукционного двигателя, предложенная в советской литературе, автор выводит простые формулы, позволяющие подвергнуть обсуждению результаты исследования двигателя, при чем получается точность не уступающая той, которую дает метод круговой диаграммы.

Analytical theory of induction motors and its application. The author has, on the basis of hypotheses of the analytical theory of induction motors advanced in Soviet literature, evolved simple formulae enabling motor test results to be considered within an accuracy not less than that obtained by means of a circle diagram.

1. Wstęp.

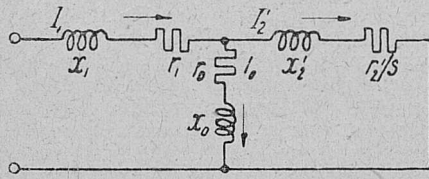
Analityczna teoria silnika indukcyjnego nie cieszy się popularnością wśród elektryków, którzy na ogół wolą posługiwać się metodą wykreślną, a raczej samym wykresem kołowym, jako bardziej pogładowym. Tłumaczy się to tym, że teoria analityczna, opracowana w pierwszym ćwierćwieczu bieżącego stulecia, a przedstawiona w formie kompletnej np. w IV tomie R. Richtera „Elektrische Maschinen“, jest w wynikach swoich bardzo nieprzejrzysta i wskutek skomplikowanych wzorów ostatecznych, których poszczególne wyniki zależą od całego szeregu ogniów pośrednich, trudno poddaje się dyskusji mającej na celu ustalenie wpływu tego czy innego parametru na ostateczny wynik.

W pracach współczesnych autorów radzieckich, a przede wszystkim M. P. Kostienki i L. M. Piotrowskiego spotykamy się z odmiennym ujęciem teorii analitycznej, odznaczającym się zarówno znaczną prostotą wyprowadzenia, jak i przejrzystością wyników. Punktem wyjścia teorii jest obwód zastępczy, a wynikiem — wykres kołowy nieco zmodyfikowany w stosunku do wykresu Osannego. I. A. Syromiatnikow w książce swej pokazał, że można przedyskutować warunki pracy silnika indukcyjnego nie posilując się wykresem kołowym, jednak wzory, z których korzysta w dyskusji, są tak dalece uproszczone, że przy obliczeniach doprowadzałyby do zbyt dużych błędów.

Zadaniem niniejszej pracy jest wyprowadzenie na podstawie tych samych założeń, na których oparta jest radziecka teoria silnika indukcyjnego, wzorów prostych, pozwalających zarówno na przeprowadzenie łatwej dyskusji, jak i na opracowanie wyników badania silnika w probierni. Dokładność wyników powinna być przy tym nie mniejsza, niż ta, którą osiąga się za pomocą wykresu kołowego.

2. Teoria analityczna.

Punktem wyjścia teorii jest obwód zastępczy w formie nieco odmienniejszej od przyjętego u Richtera, a mianowicie w części dotyczącej obwodu prądu jałowego I_0 ,



Rys. 1

gdzie przyjmujemy, że opory x_0 i r_0 są połączone szeregowo, gdy Richter przyjmuje równoległe połączenie oporu czynnego, odpowiadającego stratom w żelazie, i biernego, odpowiadającego indukcyjności strumienia głównego. Oba sposoby ujęcia trzeba uznać za równoważne wobec tego, że jeden daje się zastąpić przez

*) W polskim górnictwie zainstalowano już kilka maszyn wyciągowych produkcji radzieckiej ze sterowaniem za pomocą wzmacniaczy radzinyowych.

drugi drogą matematycznego przekształcenia równoległego układu oporów na układ szeregowy.

Na rys. 1 x_1 i r_1 oznaczają opór bierny i opór czynny uzwojenia stojana, odpowiednio x'_2 i r'_2 opory — bierny i czynny — uzwojenia wirnika, sprowadzone do obwodu stojana, wreszcie x_0 i r_0 oznaczają te same stałe obwodu prądu jałowego; s oznacza poślizg silnika.

Wprowadzamy oznaczenia:

$$(1), (2), (3) \quad r_1 + jx_1 = z_1; \quad \frac{r'_2}{s} + jx'_2 = z'_2; \quad r_0 + jx_0 = z_0.$$

Na podstawie prawa Kirchhoffa dla prądu zmiennego

$$(4) \quad \hat{I}_1 = \hat{I}_0 + \hat{I}'_2.$$

Oznaczamy przez E siłę elektromotoryczną silnika, równą jego napięciu na zaciskach, zmniejszonemu o spadek napięcia w uzwojeniu pierwotnym:

$$(5) \quad \hat{E} = \hat{U} - I_1 \cdot z_1.$$

Wtedy możemy napisać $\hat{I}'_0 = \frac{\hat{E}}{z_0}$ oraz $\hat{I}'_2 = \frac{\hat{E}}{z'_2}$. Pod-

stawiając te wartości do równania (4), otrzymamy

$$\hat{I}_1 = \hat{E} \left(\frac{1}{z_0} + \frac{1}{z'_2} \right),$$

ale z równania (5)

$$\hat{U} = \hat{E} + \hat{I}_1 z_1 = \hat{E} + \hat{E} z_1 \left(\frac{1}{z_0} + \frac{1}{z'_2} \right) = \hat{E} \left(1 + \frac{z_1}{z_0} + \frac{z_1}{z'_2} \right),$$

a stąd

$$(6) \quad \hat{E} = \frac{\hat{U}}{1 + \frac{z_1}{z_0} + \frac{z_1}{z'_2}}.$$

Obliczamy teraz wartość prądu wtórnego I_2 :

$$\hat{I}'_2 = \frac{\hat{E}}{z'_2} = \frac{\hat{U}}{z'_2 \left(1 + \frac{z_1}{z_0} + \frac{z_1}{z'_2} \right)}.$$

Wprowadzamy oznaczenie

$$(7) \quad 1 + \frac{z_1}{z_0} = c;$$

stąd

$$(8) \quad \hat{I}'_2 = \frac{\hat{U}}{z'_2 + c z'_2}.$$

Przedstawiając iloraz z_1/z_0 w postaci

$$\frac{z_1}{z_0} = \frac{r_1 + jx_1}{r_0 + jx_0} = \frac{r_1 r_0 + x_1 x_0}{r_0^2 + x_0^2} + j \frac{r_0 x_1 - r_1 x_0}{r_0^2 + x_0^2},$$

znajdujemy wartość liczby zespolonej c :

$$c = 1 + \frac{z_1}{z_0} = 1 + \frac{r_1 r_0 + x_1 x_0}{r_0^2 + x_0^2} + j \frac{r_0 x_1 - r_1 x_0}{r_0^2 + x_0^2}.$$

Jak łatwo przekonać się na dowolnym przykładzie, wartość bezwzględna części urojonej wyrażenia dla c nie przekracza kilku procentów części rzeczywistej, a ponieważ dodają się one do siebie geometrycznie pod kątem prostym, przeto możemy bez żadnego praktycznie wpływu na wynik obliczenia pominąć zupełnie część urojoną wyrażenia na c i napisać

$$c = 1 + \frac{z_1}{z_0} \approx 1 + \frac{r_1 r_0 + x_1 x_0}{r_0^2 + x_0^2}.$$

Ponieważ poza tym r_1 jest małe wobec x_1 , r_0 zaś jest małe wobec x_0 , przeto można pominąć pierwsze wyrazy w liczniku i mianowniku i napisać ostatecznie

$$(9) \quad c = 1 + \frac{z_1}{z_0} \approx 1 + \frac{x_1}{x_0};$$

c można więc uważać za liczbę rzeczywistą i operować nią jak zwykłym współczynnikiem liczbowym, co znakomicie upraszcza dalsze obliczenia.

Obliczamy z kolei wartość prądu wirnika z równania (8):

$$I'_2 = \frac{\hat{U}}{z_1 + c z'_2} = \frac{\hat{U}}{r_1 + jx_1 + c \frac{r'_2}{s} + jcx'_2} = \frac{\hat{U}}{r_1 + c \frac{r'_2}{s} + j(x_1 + cx'_2)},$$

albo przechodząc do wartości liczbowych:

$$(10) \quad I_2'^2 = \frac{U^2}{\left(r_1 + c \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + cx'_2)^2}.$$

Aby powiązać teraz wielkość prądu wirnika z jego mocą znamionową względnie obciążeniem, obliczmy moc przeniesioną na wirnik, jako moc zużyta w oporze $\frac{r'_2}{s}$:

$$P_2 = m_1 I_2'^2 \frac{r'_2}{s} = \frac{m_1 U^2 \frac{r'_2}{s}}{\left(r_1 + c \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + cx'_2)^2},$$

gdzie m_1 — liczba faz uzwojenia stojana.

Ponieważ z drugiej strony

$$P_2 = M \omega_s,$$

gdzie M — moment na wale, a ω_s prędkość kątowna pola wirującego stojana, czyli prędkość synchroniczna, przeto

$$(11) \quad M = \frac{m_1 U^2 \frac{r'_2}{s}}{\omega_s} \cdot \frac{1}{s \left[\left(r_1 + c \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + cx'_2)^2 \right]}.$$

Aby znaleźć największą wartość momentu $M_{\max}$ różniczkujemy równanie (11) względem s i przyrównujemy wynik do zera; stąd obliczymy wartość poślizgu krytycznego s_k , odpowiadającego momentowi największemu $M_{\max}$:

$$(12) \quad s_k = \frac{cr'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx'_2)^2}}.$$

Podstawienie tej wartości do równania momentu (11) daje

$$(13) \quad M_{\max} = \frac{m_1 U^2}{2c \omega_s} \cdot \frac{1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx'_2)^2}}.$$

Znając wartość momentu największego, obliczamy stosunek

$$(14) \quad \frac{M}{M_{\max}} = \frac{m_1 U^2 \frac{r'_2}{s}}{s \omega_s} \cdot \frac{1}{\left(r_1 + c \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + cx'_2)^2}.$$

$$= \frac{2c \omega_s}{m_1 U^2} \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx'_2)^2} \right] = \frac{2cr'_2}{s} \cdot \frac{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx'_2)^2}}{\left(r_1 + c \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + cx'_2)^2}.$$

Podstawiając z równania (12)

$$\sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx'_2)^2} = \frac{cr'_2}{s_k},$$

otrzymamy po przeróbkach algebraicznych równanie momentów

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2 + 2 \frac{r_1}{cr'_2} \cdot s_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{h} + 2 \frac{r_1}{cr'_2} \cdot s_k}.$$

Wprowadzając oznaczenie

(15)

$$\varepsilon = 2 \frac{r_1}{cr_2} \cdot s_k,$$

otrzymujemy ostateczne równanie momentów

(16)

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2 + \varepsilon}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + \varepsilon}.$$

Jeżeli obliczymy przez μ przeciążalność silnika

$$\mu = \frac{M_{\max}}{M_n},$$

gdzie M_n — moment przy obciążeniu znamionowym, to równanie momentów przybiera postać

(17)

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{(2 + \varepsilon) \mu}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + \varepsilon}.$$

Równanie (17) pozwala obliczyć poślizg znamionowy s_n ; jeżeli założymy $\frac{M}{M_n} = 1$, otrzymamy równanie kwadratowe

$$s_n^2 - s_n \cdot s_k (2\mu + \varepsilon\mu - \varepsilon) + s_k^2 = 0.$$

Wprowadzamy oznaczenia pomocnicze

(18)

$$A = 2\mu + \varepsilon\mu - \varepsilon$$

i rozwiązujemy równanie

(19)

$$s_n = s_k \frac{A \pm \sqrt{A^2 - 4}}{2}.$$

Wartość poślizgu przy obciążeniu znamionowym jest punktem wyjścia do obliczenia prądu stojana i wirnika, współczynnika mocy i sprawności.

Prąd wirnika można obliczyć z równania (10), lecz dogodniej wyjść z równania dla mocy przeniesionej na wirnik przy obciążeniu znamionowym, która jest równa mocy znamionowej P_n zwiększonej o straty mechaniczne (p_m) i straty prądowe w obwodzie wirnika

$$P_n + p_m + m_1 I_2'^2 r_2' = m_1 I_2'^2 \frac{r_2'}{s_n},$$

a stąd

(20)

$$I_2' = \sqrt{\frac{(P_n + p_m) s_n}{m_1 r_2' (1 - s_n)}}.$$

Kąt fazowy ψ obwodu wirnika określamy z równania (10) jako

(21)

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{x_1 + cx_2'}{r_1 + c \frac{r_2'}{s_n}}.$$

Prąd pierwotny I_1 można obliczyć z równania (4)

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2' + \hat{I}_0 \quad \text{albo} \quad \hat{I}_1 = \hat{I}_2' + \frac{\hat{U} - \hat{I}_1 z_1}{z_0}.$$

Po przekształceniu i wprowadzeniu oznaczenia $1 + \frac{z_1}{z_0} = c$

(22)

$$\hat{I}_1 = \frac{1}{c} \left(\frac{\hat{U}}{z_0} + \hat{I}_2' \right).$$

Oznaczamy teraz przez I_{n1} prąd jałowy, który popłynąłby w obwodzie, gdyby $E = U$:

(23)

$$\hat{I}_{01} = \frac{\hat{U}}{z_0};$$

wtedy możemy napisać na podstawie równania (22):

(24)

$$I_1 = \frac{1}{c} \sqrt{(I_{01} \cos \varphi_0 + I_2' \cos \psi)^2 + (I_{01} \sin \varphi_0 + I_2' \sin \psi)^2}.$$

Jeżeli natomiast przyjmiemy podobnie jak u Liwshitzza

(25)

$$\hat{I}_{02} = \frac{\hat{U}}{z_1 + z_0} = \frac{\hat{U}}{z_0 \left(1 + \frac{z_1}{z_0} \right)} = \frac{\hat{U}}{cz_0},$$

wtedy równanie (21) przybierze postać

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{U}}{cz_0} + \frac{1}{c} I_2'$$

albo

(26)

$$I_1 = \sqrt{\left(I_{02} \cos \varphi_{02} + \frac{I_2'}{c} \cos \psi \right)^2 + \left(I_{02} \sin \varphi_{02} + \frac{I_2'}{c} \sin \psi \right)^2}.$$

Zespół równań (9), (12), (13), (15), (16), względnie (17), (18), (19), (21), (23), (24), względnie (25) i (26), stanowi rozwiązanie całości zagadnienia, ponieważ pozwala na podstawie znajomości stałych parametrów silnika obliczyć prąd, poślizg, sprawność i współczynnik mocy przy dowolnym obciążeniu, jak również przeciążalność i charakterystykę mechaniczną momentu na wale w zależności od obrotów: $M = f(n)$. Bieg obliczenia podamy na przykładzie.

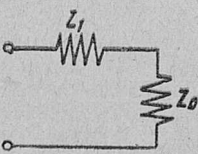
3. Dokładność metody.

Podana wyżej analityczna teoria silnika indukcyjnego obarczona jest błędem wspólnym dla wszystkich teorii, których założeniem jest niezmiennosc oporów czynnych i biernych silnika, jednak w zakresie obciążeń nie przekraczających znaczenia znamionowego błąd stąd wynikający jest, jak wiadomo, niewielki. Poza tym teoria ta może być stosowana w przytoczonej postaci tylko do silników pierścieniowych oraz klatkowych ze żłobkami wirnika okrągłymi lub zbliżonymi do okrągłych. Natomiast dla silników dwuklatkowych i głębokożłobkowych teoria ta musi ulec pewnym modyfikacjom. Również przy obliczaniu momentu rozruchowego napotykamy z reguły trudności, wynikające z nieuwzględnienia faktu zmienności oporów biernych silnika przy prądzie stojana, zbliżonym do prądu zwarcia przy znamionowym obciążeniu; można tu sobie pomóc przez wprowadzenie współczynników doświadczalnych.

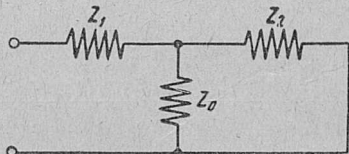
Ponieważ wszystkie omawiane zastrzeżenia dotyczą w tej samej mierze i teorii wykresowej, przeto dokładność wyników obliczenia analitycznego nie jest niższa od dokładności, którą osiągamy przy pomocy wykresu kołowego.

4. Zastosowanie teorii do pomiarów silnika trójfazowego.

Rozważania ograniczymy z wymienionych wyżej względów do silników asynchronicznych pierścieniowych oraz zwartych bez wypierania prądu, tj. z prętem wirnika



Rys. 2



Rys. 3

zbliżonym do przekroju okrągłego. Punktem wyjścia przy badaniu takich silników są pomiary biegu jałowego i zwarcia przy częstotliwości znamionowej.

P o m i a r b i e g u j a ł o w e g o. Obwód zastępczy dla $s = 0$ jak na rys. 2. Prąd jałowy

$$\hat{I}_0 = \frac{\hat{U}}{z_1 + z_0} = \frac{\hat{U}}{cz_0};$$

straty

$$p_0 = 3 I_0^2 r_1 + p_z + p_m,$$

gdzie p_z — straty w żelazie, p_m — straty mechaniczne;

$$\cos \varphi_0 = \frac{p_0}{\sqrt{3} U I_0}.$$

P o m i a r z w a r c i a. Obwód zastępczy jak na rys. 3. Pomiary robimy zwykle dla $I_z \approx I_n$; wtedy napięcie zwarcia jest rzędu $0,25 U_n$, a ponieważ prąd jałowy spada bardzo szybko z napięciem, więc może być pominię-

ty i można przyjąć obwód zastępczy uproszczony według rys. 4. Stąd prąd zwarcia

$$\hat{I}_z = \frac{\hat{U}_z}{z_z},$$

gdzie

$$z_z = r_1 + jx_1 + r_2' + jx_2'$$

albo

$$z_z = \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}.$$

Możemy więc napisać:

$$I_z = \frac{U_z}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

albo

$$\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} = \frac{U_z}{I_z}.$$

Moc będzie

$$p_z = 3I_z^2(r_1 + r_2'), \quad \text{skąd} \quad r_1 + r_2' = \frac{p_z}{3I_z^2},$$

a więc

$$x_1 + x_2' = \sqrt{\left(\frac{U_z}{I_z}\right)^2 - \frac{p_z}{3I_z^2}}.$$

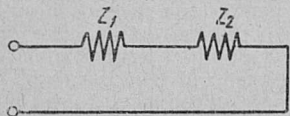
Wartość r_1 można określić za pomocą pomiaru prądem stałym; wtedy

$$r_2' = \frac{p_z}{3I_z^2} - r_1.$$

Określony z tego wzoru opór r_2' jest większy od rzeczywistego, ponieważ pomiar robimy przy częstotliwości sieci f , a prawdziwa wartość r_2' odpowiada częstotliwości $s \cdot f$.

W silnikach pierścieniowych eliminujemy ten błąd, mierząc opór wirnika r_2 prądem stałym i napięcie na pierścieniach U_2 w stanie nieruchomym wirnika przy zasilaniu stojana napięciem U_1 . Stąd $r_2' = r_2 \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$.

Dla silnika klatkowego pomijamy wpływ strat dodatkowych i przyjmujemy wartość r' według wzoru. Wynikający stąd błąd jest tym większy, im silniej występuje w wirniku zjawisko wypierania prądu; popełniamy go jednak również, sporządzając wykres kołowy.



Rys. 4

Analogicznie — wobec niemożności rozdzielania eksperymentalnego indukcyjności stojana i wirnika — przyjmujemy $x_2' = x_1 = \frac{U_z}{2I_z}$.

5. Przykłady zastosowania wyprowadzonych wzorów.

Obliczanie silnika asynchronicznego. Dla silnika czterobiegunowego o mocy 38 kW przy 380 V obliczono na podstawie danych konstrukcyjnych następujące wartości: prąd jałowy $I_0 = 14,1$ A, składowa magnesująca $I_m = 14$ A, składowa czynna $I_w = 1,62$ A, straty mechaniczne $p_m = 1\%$; $r_1 = 0,155 \Omega$; $x_1 = 0,435 \Omega$; $r_2' = 0,098 \Omega$; $x_2 = 0,51 \Omega$.

Na tej podstawie obliczamy kolejno:

$$x_m = \frac{U}{I_m} = \frac{220}{14} = 15,7 \Omega;$$

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} = 1 + \frac{0,435}{15,7} = 1,028;$$

$$z' = \sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx_2')^2} = \sqrt{0,155^2 + (0,435 + 1,028 \cdot 0,51)^2} = 0,972 \Omega.$$

Poślizg krytyczny:

$$s_k = \frac{cr_2'}{z'} = \frac{1,028 \cdot 0,0988}{0,972} = 0,1035.$$

Przeciążalność:

$$\mu = \frac{3U^2 \cdot 10^{-3} (1-s) (1-p_m)}{2c P_2 (r_1 + z')} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,975 \cdot 0,99}{2 \cdot 1,028 \cdot 28 \cdot (0,155 + 0,972)} = 2,16,$$

$$\varepsilon = \frac{2r_1}{c r_2'} s_k = \frac{2 \cdot 0,155 \cdot 0,1035}{1,028 \cdot 0,098} = 0,319,$$

$$A = 2\mu + \varepsilon\mu - \varepsilon = 2 \cdot 2,16 + 0,319 \cdot 2,16 - 0,319 = 4,68.$$

Poślizg znamionowy

$$s_n = \frac{s_k}{2} \left[A - \sqrt{A^2 - 4} \right] = \frac{0,1035}{2} \left[4,68 - \sqrt{4,68^2 - 4} \right] = 0,0233.$$

Prąd wirnika (sprowadzony):

$$I_2' = \sqrt{\frac{P_2(1+p_m)s_n \cdot 1000}{m_1 r_2' (1-s_n)}} = \sqrt{\frac{1,01 \cdot 28 \cdot 0,0233 \cdot 1000}{3 \cdot 0,098 \cdot 0,9746}} = 48 \text{ A};$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{x_1 + cx_2'}{r_1 + c \frac{r_2'}{s}} = \frac{0,435 + 1,028 \cdot 0,51}{0,155 + 1,028 \frac{0,098}{0,0233}} = 0,214;$$

$$\psi = 13^\circ 7'; \quad \sin \psi = 0,21; \quad \cos \psi = 0,98.$$

Prąd stojana przy obciążeniu:

$$I_1 = \frac{1}{c} \sqrt{(I_w + I_2' \cos \psi)^2 + (I_m + I_2' \sin \psi)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(1,62 + 48 \cdot 0,98)^2 + (14 + 48 \cdot 0,21)^2} = 52,9 \text{ A};$$

$$\cos \varphi = \frac{I_w + I_2' \cos \psi}{I_1} = \frac{1,62 + 48 \cdot 0,98}{52,9} = 0,895;$$

suma strat i sprawność:

$$\Sigma p = m_1 I_1^2 r_1 + m_1 I_2'^2 r_2' c + p_z + p_m + 0,005 P_2 = 3 \cdot 52,9^2 \cdot 0,155 + 3 \cdot 48^2 \cdot 1,028 \cdot 0,098 + 785 + 280 + 140 = 3210 \text{ W};$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma p}{P_2 + \Sigma p} = 1 - \frac{3,21}{28 + 3,21} = 89,7 \%.$$

Sprawdzenie:

$$3 U_1 I_1 \eta \cos \varphi_1 = 3,220 \cdot 52,9 \cdot 0,895 \cdot 0,897 = 28 \text{ kW}$$

$$s_n = \frac{m_1 I_2'^2 cr_2'}{P_2 + m_1 I_2'^2 cr_2'} + \frac{3 \cdot 48^2 \cdot 1,028 \cdot 0,098}{28000 + 3,48^2 \cdot 4,023 \cdot 0,098} = 2,42 \%.$$

Dokładność wyników jest wystarczająca.

Badanie silnika asynchronicznego w probierni. Dla silnika ośmiobiegunowego o mocy 280 kW przy 6 kV znaleziono następujące wartości:

stan jałowy: $I_0 = 11,52$ A; $p_0 = 9,4$ kW; przekładnia 6000/679 V,

„ zwarcia: $U_z = 1357$; $p_z = 11,9$ kW przy $I_z = 33,6$ A i $t_z = 190^\circ\text{C}$.

Opory przeliczone na 75°C :

$$r_1 = 1,19 \frac{235 + 75}{235 + 15} = 1,46 \Omega, \quad r_2 = 0,0175 \frac{310}{254} = 0,0214 \Omega,$$

$$r_2' = 0,0214 \cdot \left(\frac{6000}{679}\right)^2 = 1,57 \Omega,$$

$$x_0 \cong z_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} I_0} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 11,52} = 301 \Omega,$$

$$x_1 + x_2' = \sqrt{\left(\frac{U_z}{\sqrt{3} I_z}\right)^2 - \left(\frac{p_z}{3 I_z^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1357}{\sqrt{3} \cdot 33,6}\right)^2 - \left(\frac{11340}{3 \cdot 33,6^2}\right)^2} = 23 \Omega,$$

$$x_1 \cong x_2' = \frac{23}{2} = 11,5,$$

$$c = 1 + \frac{x_1}{x_0} = 1 + \frac{11,5}{301} = 1,038,$$

$$x_1 + cx_2 = 11,5 (1 + 1,038) = 23,4 \Omega,$$

$$z' = \sqrt{r_1^2 + (x_1 + cx_2)^2} = \sqrt{1,46^2 + 23,4^2} = 23,4,$$

$$s_k = \frac{cr_2'}{z'} = \frac{1,038 \cdot 1,57}{23,4} = 0,0697,$$

$$\mu = \frac{3 U^2 (1 - s) (1 - p_m)}{2 c P_2 (r_1 + z')} = \frac{6000^2 \cdot 0,98 \cdot 0,98}{2 \cdot 1,038 \cdot 28000 \cdot 24,9} = 2,39,$$

$$\varepsilon = \frac{2 r_1 s_k}{cr_2'} = \frac{2 \cdot 1,46 \cdot 0,0697}{1,038 \cdot 1,57} = 0,125,$$

$$A = 2\mu + \varepsilon\mu - \varepsilon = 2 \cdot 2,39 + 0,125 \cdot 2,39 - 0,125 = 4,95,$$

$$s_n = \frac{s_k}{2} (A - \sqrt{A^2 - 4}) = \frac{0,0697}{2} (4,95 - \sqrt{4,95^2 - 4}) = 1,47 \%,$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2 (1 + p_m) s_n}{3c r_2' (1 - s_n)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{280000 \cdot 1,02 \cdot 0,0147}{3 \cdot 1,038 \cdot 1,57 \cdot 0,988}} = 29,5 \text{ A},$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{x_1 + cx_2}{r_1 + c \frac{r_2'}{s_n}} = \frac{23,4}{1,46 + 1,038 \frac{1,57}{0,0147}} = 0,208,$$

$$\cos \psi = 0,979; \quad \sin \psi = 0,203.$$

Składowa czynna i bierna prądu stojana:

$$I_{1c} = I_0 \cos \varphi_0 + I_2' \cos \psi = 11,52 + 0,0786 + 29,5 \cdot 0,979 = 29,7 \text{ A},$$

$$I_{1b} = I_0 \sin \varphi_0 + I_2' \sin \psi = 11,52 + 29,5 \cdot 0,203 = 17,5,$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1c}^2 + I_{1b}^2} = \sqrt{29,7^2 + 17,5^2} = 34,5,$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{1c}}{I_1} = \frac{29,7}{34,5} = 0,861,$$

$$\Sigma p = 3 \cdot 34,5^2 \cdot 1,46 + 3 \cdot 29,5^2 \cdot 1,038 \cdot 1,57 + 9,4 + 1,4 = 20,24 \text{ kW},$$

$$\eta = 1 - \frac{20,24}{280 + 20,24} = 93,25 \, \%.$$

Sprawdzenie:

$$P_2 = \sqrt{3 \cdot 6000 \cdot 34,5 \cdot 0,861 \cdot 0,9325} = 288 \text{ kW},$$

$$s_n = \frac{3 \cdot 29,5^2 \cdot 1,038 \cdot 1,57}{280000 + 3 \cdot 29,5^2 \cdot 1,038 \cdot 1,57} = 1,49 \, \%.$$

Zgodność wyników i w tym wypadku jest wystarczająca.

LITERATURA

- Piotrowski L. M. Elektrieskije masziny, Leningrad, 1949
 Kostienko M. P. Elektrieskije masziny, Moskwa, 1949
 Syromiatnikow I. A. Rieżimy raboty asinchronnych dwigatielej, Moskwa, 1950

Transformatory (MKWSE, 1950)

Opracował mgr inż. Z. HASTERMAN

I. Wstęp

W zagadnieniach transformatorowych na pierwszy plan wysuwa się sprawa udarowej wytrzymałości izolacji. W szczególnie ciekawych materiałach, pochodzących od konstruktorów, znajdujemy opisy nowych rozwiązań konstrukcyjnych: uzwojenia krzyżowane, stosowanie krążków z materiałów zmiennooporowych do sterowania udarowego rozkładu napięcia, zastosowanie kondensatorów bocznikujących część uzwojenia; ponadto poddano analizie konstrukcje stosowane już od dawna: uzwojenia z ekranami pojemnościowymi, transformatory płaszczo-we i transformatory ze wzmocnionymi cewkami wejściowymi; opracowano wreszcie zagadnienia udarowe w przełącznikach zaczepów.

Następna seria zagadnień obejmuje udoskonalenie techniki prób izolacji, w szczególności prób udarowych. Szczególnie ciekawe jest zagadnienie wyładowań niezupełnych („jonizacji”), występujących w uzwojeniach podczas prób napięciowych; współczesne normy na próby napięciowe poddawane są ostrej krytyce. Wiele uwagi przywiązuje się do zagadnienia „detekcji”, tj. stwierdzanie i wykrywanie uszkodzeń izolacji powstałych podczas prób udarowych. Przeważa opinia, iż współczesna technika detekcji osiągnęła w zastosowaniu do próby udarem pełnym*) tak duży stopień rozwoju, że możliwe już jest wprowadzenie tej próby do programu fabrycznych prób wyrobu. Próba udarem pełnym nie może być jednakże uważana za wystarczającą sprawdzenie wytrzymałości transformatora na przepięcia atmosferyczne; w eksploatacji zdarzają się bowiem bardzo często udary ucięte, przy których naprężenia izolacji są znacznie większe niż przy udarach pełnych. W Związku Radzieckim udar ucięty stosuje się przy pró-

bach typu; próba udarowa nie wchodzi natomiast do programu prób wyrobu transformatorów. Praktyka amerykańska wypowiedziała się również za wprowadzeniem udaru uciętego do programu prób izolacji transformatorów, nawet prób wyrobu. Wśród praktyków zachodnio-europejskich zdania są podzielone: przeważa opinia, iż przy obecnym stanie techniki detekcji nie ma jeszcze możliwości nieomylnego stwierdzenia, czy próba udarem uciętym wypadła dodatnio lub ujemnie. Trudności te wynikają z nieczytelności oscylogramów prądu i napięcia, rejestrowanych podczas próby udarem uciętym, gdyż wytworzenie kilku udarów uciętych o jednakowym kształcie jest znacznie trudniejsze niż wytworzenie kilku jednakowych udarów pełnych*). Zagadnienie udarów bardzo stromych i udarów uciętych wysuwa się w chwili obecnej na jedno z pierwszych miejsc w dziedzinie prac badawczych [11, 12].

Trzecia grupa zagadnień dotyczy przeciążalności transformatorów i spraw pokrewnych: starzenia się oleju i zabezpieczeń termicznych. Opublikowano już dalsze udoskonalenia „modelu termicznego” transformatora i dalsze wyniki doświadczeń eksploatacyjnych [4, 13]. Na uwagę zasługuje prosty pomysł zastosowania poduszki azotowej do transformatorów normalnej europejskiej konstrukcji tj. zaopatrzonych w konserwator [14].

Zagadnienia prób i pomiarów o charakterze profilaktycznym są tematami ubocznymi [7, 13]. Ciekawe jest syntetyczne ujęcie ważniejszych zagadnień konstrukcyjnych, występujących przy projektowaniu wielkich transformatorów [15].

II. Zagadnienia konstrukcyjne

A. T. CHADWICK, J. M. FERGUSON, D. H. RYDER i G. F. STEARN. Nowy rodzaj uzwojeń transformatorowych, polepszający udarowy rozkład napięcia [1]

Jak wiadomo, drgania w uzwojeniu transformatora, rozwijające się po doprowadzeniu udaru prostokątnego do

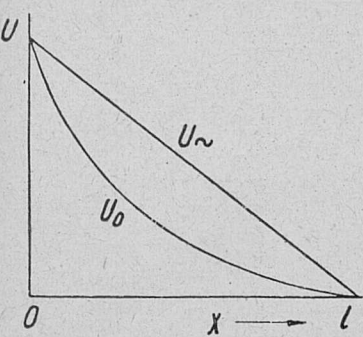
jego zacisków, są tym intensywniejsze, im większa jest różnica pomiędzy początkowym („pojemnościowym”) rozkładem napięcia U_0 a końcowym („indukcyjnym”) $U \sim$ (rys. 1). Rozkład końcowy w transformatorach z uziemionym punktem zerowym jest linią prostą pochyłą, roz-

*) Udar doprowadzony do obiektu nazywamy „pełnym”, jeżeli podczas trwania udaru nie nastąpi przeskok na przyłączonym równolegle do obiektu iskierniku, i „uciętym”, jeżeli przeskok nastąpi.

*) Współczesne metody detekcji polegają na rejestrowaniu przy pomocy oscylografu prądów i napięć w uzwojeniu podczas próby udarowej i porównywaniu otrzymanych oscylogramów z oscylogramami uzyskanymi przy obniżonym napięciu (Przegl. Elektr., 1951, z. 11/12, str. 486).

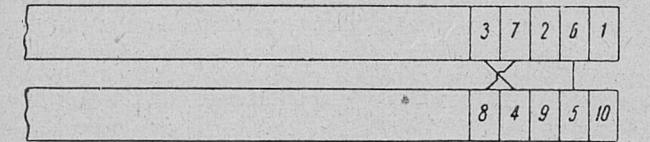
kład zaś początkowy — sinusoida hiperboliczną o równaniu: $U_{x0} = \sinh \sqrt{\frac{c}{h}} x / \sinh \sqrt{\frac{c}{h}} l$, gdzie c oznacza pojemność uzwojenia względem ziemi, k — pojemność „skrośną” tj. pojemność między zaciskami początkowym i końcowym uzwojenia, obliczoną w założeniu, że galwaniczne połączenia między poszczególnymi zwojami transformatora są przerwane, inaczej mówiąc, że spiralne uzwojenie zastąpione zostało przez zespół izolowanych od siebie pierścieni.

Dla $\frac{c}{h} \rightarrow 0$ $U_{x0} \rightarrow \frac{x}{l} = U_{x\infty}$, drgania więc ustają. Zwiększenie k jest więc bardzo skutecznym sposobem zwalczania drgań.



Rys. 1. „Początkowy” i „końcowy” rozkład napięcia w transformatorze

cewki nawija się podwójnym przewodem (jak cewki o 2 drutach równoległych), np. według schematu na rys. 2 zwoje 1, 2, 3 są nawinięte z jednego odcinka drutu, zwoje zaś 6 i 7 z drugiego; podobnie zwoje 8,



Rys. 2. Schemat połączeń grupy dwu cewek uzwojenia krzyżowanego

9 i 10 oraz 4 i 5 w dolnej cewce. W każdej grupie dwu cewek otrzymuje się w ten sposób osiem końców; końce 1 i 10 wyprowadza się na zewnątrz, pozostałe łączy się między sobą w sposób pokazany szkicowo na rys. 2. Skrzyżowanie połączeń 3—4 i 8—7 widoczne jest doskonale na rys. 3. Dzięki tego rodzaju połączeniom skrośna pojemność cewki (między końcami 1 i 10) ulega znacznemu zwiększeniu, co widać z porównania schematów a i b na rys. 4, które podają bardzo uproszczony układ pojemności międzyzwojowych dla dwóch cewek: a — uzwojenia zwykłego, b — uzwojenia krzyżowanego. Zwarcie niektórych pojemności zmniejsza wypadkową pojemność skrośną omawianego zespołu dwóch cewek i nie wpływa prawie na pojemność względem ziemi. Stosunek c/k będzie więc znacznie mniejszy niż dla normalnego uzwojenia. Wynikiem tego sposobu nawijania jest znaczne zmniejszenie napięć udarowych, występujących między początkiem a końcem poszczególnych cewek, zwłaszcza zaś pierwszych, najbardziej zagrożonych. Zmniejszenie jest kilkakrotnie w stosunku do uzwojenia zwykłego.

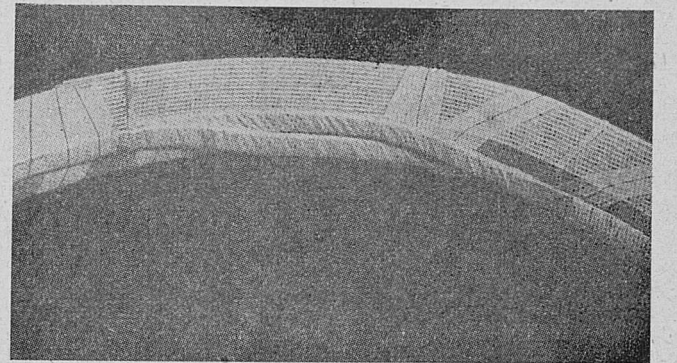
Jeżeli natomiast zwrócimy uwagę na wielkość napięć udarowych międzyzwojowych, to krzyżowanie zwojów jest zabiegiem obosiecznym, wewnątrz bowiem cewki rozkład napięcia jest bardzo niekorzystny: izolacja międzyzwojowa naprężana jest napięciem, które może osiągnąć do 50% napięcia całej cewki. Według autorów to pogorszenie rozkładu napięcia wewnątrz cewki jest jednak w tym stopniu kompensowane zmniejszeniem się napięcia na całej cewce, że udarowe napięcia międzyzwojowe wypadają nie większe, a raczej mniejsze niż w normalnych uzwojeniach.

Rozważania powyższe dotyczą, oczywiście, tylko przepięć udarowych; przy przepięciach wolnozmiennych napięcia międzyzwojowe będą w uzwojeniu autorów kilkakrotnie większe niż w zwykłych transformatorach; auto-

rzy nie przywiązują do tego wagi, gdyż naprężenia izolacji międzyzwojowej przy przepięciach wolnozmiennych są w ogóle nieznaczne w porównaniu z przypadkiem przepięć udarowych i nawet w uzwojeniu ze skrzyżowanymi zwojami nie są miarodajne dla określenia grubości izolacji.

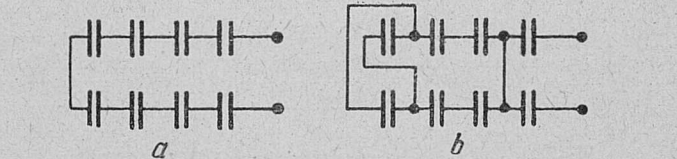
J. R. MEADOR. Transformatory do przesyłu energii na wysokim napięciu [2]

Pierwszy „niedrgający” transformator zbudowano w 1926 r.; od tego czasu koncepcja uległa znacznym udoskonaleniom.



Rys. 3. Skrzyżowanie

Ekran kaskadowy (rys. 5) odznaczają się znaczną skutecznością: obniżają napięcia międzycewkowe o ~ 40% przy stosunkowo małym koszcie (1,5% kosztu transformatora). Można je stosować do transformatorów z punktem gwiazdowym uziemionym lub izolowanym,



Rys. 4. Uproszczony schemat pojemnościowy grupy dwu cewek uzwojenia krzyżowanego

a także w przypadku uzwojeń połączonych w trójkąt. Stosowane są z powodzeniem od 1937 r.

Na rys. 5 ekran cewek od drugiej do piątej (licząc od góry) jest przyłączony do zacisku wejściowego, ekran cewek szóstej i siódmej — do połączenia między cewkami czwartą i piątą itd. Cewki druga, trzecia, czwarta i piąta ekranowane są podwójnie: zewnętrzną warstwą ekranów stanowi pojemność,

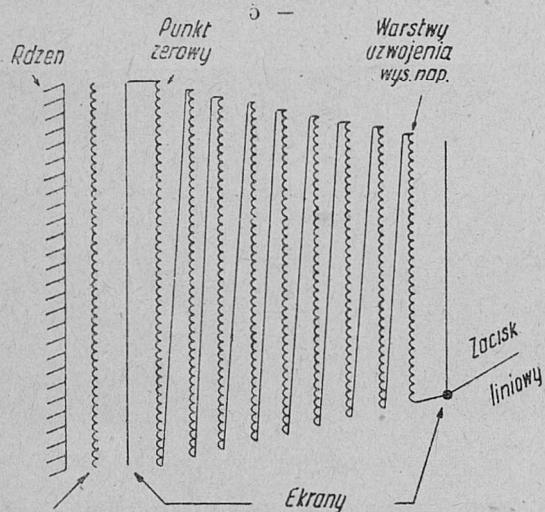


Rys. 5. Ekran kaskadowy

W uzwojenie wielowarstwowe z ekranami osiągnięto dopiero w 1940 r. zadowalającą dojrzałość techniczną i od tego czasu bardzo rozpowszechniło się. Uzwojenie wielowarstwowe jest, jak wiadomo, z natury rzeczy mało skłonne do

*) Początkowy rozkład napięcia przy ataku fali prostokątnej jest jak wiadomo pojemnościowy. Przyłączenie do jakiegokolwiek grupy cewek równoległej do niej pojemności zmniejsza więc napięcie na tych cewkach, zwiększając je na pozostałych [3].

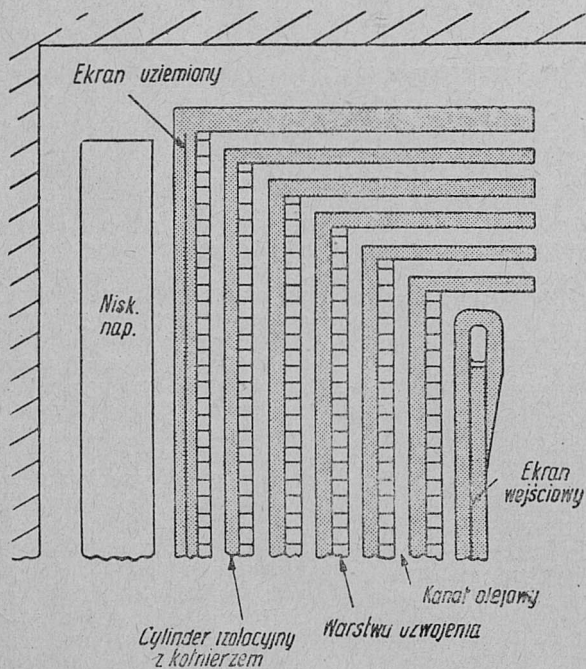
drgań; wystarczy spojrzeć na rys. 6 i 7, żeby stwierdzić, iż pole elektrostatyczne między ekranem wejściowym, przyłączonym do zacisku, i ekranem uziemionym jest polem o prawie jednostajnym natężeniu. Napięcia między poszczególnymi warstwami są więc prawie sobie równe. Rozkład napięcia „pojemnościowy” (tj. taki, który występuje w uzwojeniu natychmiast po doprowadzeniu udaru prostokątnego) jest prawie prostoliniowy i niewiele się różni od rozkładu „indukcyjnego” (tj.



Rys. 6. Schemat uzwojenia wielowarstwowego z ekranami

takiego, który ustala się w uzwojeniu po zaniku wywołanych drgań).

Uzwojenie wielowarstwowe jest dość trudne do wykonania pod względem technologicznym; najtrudniejszą częścią są połączenia międzywarstwowe. Wyprowadzanie



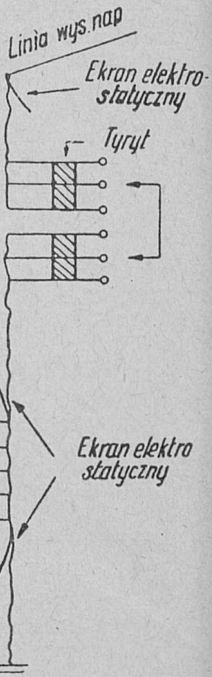
Rys. 7. Przekrój uzwojenia wielowarstwowego

tych połączeń na zewnątrz uzwojenia jest kosztowne, gdyż wymaga bardzo starannej izolacji, a ponadto pogarsza udarowy rozkład napięcia (przez zwiększenie pojemności doziemnych uzwojenia o pojemność tych połączeń), niweczy więc częściowo zalety uzwojenia wielowarstwowego; toteż lepsze jest stosowanie połączeń wewnętrznych, umieszczonych w kanale olejowym między warstwami.

Szczytowym osiągnięciem w dziedzinie uzwojeń wielowarstwowych jest w chwili obecnej transformator na 360 kV, który wytrzymuje próbę udarem pełnym na

1550 kV i uciętym na 1785 kV. Autor twierdzi, że „praktycznie biorąc nie ma granic” dla budowy uzwojeń tego typu na dowolnie wysokie napięcia znamionowe.

Trzecim, najbardziej oryginalnym pomysłem w dziedzinie transformatorów niedrgających jest zastosowanie stosów zmiennooporowych do poprawy rozkładu napięcia w uzwojeniach transformatora. Stosy te składają się, jak wiadomo, z płytek ceramicznych (np. z karborundu sprasowanego wraz z niewielką ilością materiałów przewodzących i materiałów wiążących). Pod różnymi nazwami (tyryt, wilit, zokar itd.) stosowane są one powszechnie do wyrobu odgromników zaworowych. Według autora tyryt może być stosowany także w gorą-



Rys. 8. Schemat ochrony autotransformatora za pomocą słupów zmiennooporowych

cym oleju, nadaje się więc do bezpośredniej ochrony uzwojeń.

Stosy tyrytowe znajdują przede wszystkim następujące zastosowania:

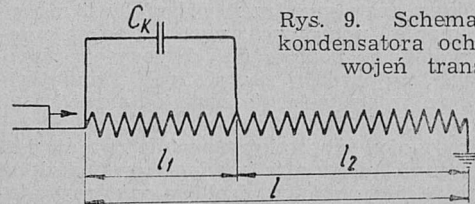
a) jako boczniki — dla pierwszych kilku cewek; dzięki korzystnej charakterystyce prądowo-napięciowej tyrytu wpływ prądu w tych bocznikach jest do pominięcia podczas normalnej pracy, a stanowi prawie zwarcie przy przepięciach udarowych (pomysł ten jest od dawna znany i stosowany do przekładników prądowych);

b) jako bezindukcyjny dzielnik napięcia, którego odcepy przyłączone w wielu miejscach do uzwojenia zapewniają przy udarach równomierny rozkład napięcia na poszczególnych cewkach;

c) do zbocznikowania uzwojeń „ślepych” tj. uzwojeń, których jeden koniec trwale lub przejściowo nie ma galvanicznego połączenia ani z innymi uzwojeniami, ani z siecią. Uzwojenia takie spotyka się z reguły w transformatorach z regulacją pod obciążeniem; są one bardzo niekorzystnym elementem z punktu widzenia przepięć udarowych (por. [6]). Rys. 8 podaje schemat zabezpieczenia transformatora regulacyjnego na $132 \pm 10\%/62.7$ kV przez krążki tyrytowe.

B. HELLER, J. HLAVKA, A. VEVERKA. Zjawiska udarowe w transformatorach (uzwojenie niedrgające) [3]

Analiza układu zastępczego dla transformatora z ekranami elektrostatycznymi doprowadza do wniosku, iż zadawalające stłumienie drgań można osiągnąć po prostu

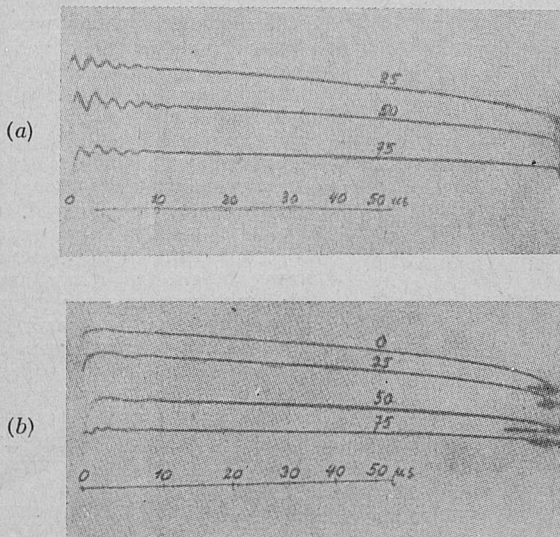


Rys. 9. Schemat przyłączenia kondensatora ochronnego do uzwojeń transformatora

przez zbocznikowanie części uzwojenia kondensatorem (rys. 9).

Z rozważań teoretycznych (z analizy wzoru na amplitudę głównej harmonicznej przestrzennej transformatora ekranowanego) można wyprowadzić warunek unicestwienia tej harmonicznej przez odpowiedni dobór wartości $\frac{l_1}{l_2}$ i $\frac{C_k}{C_t}$, gdzie C_k jest pojemnością kondensatora, C_t — pojemnością uzwojenia transformatora względem ziemi. Oka-

zuje się, iż najkorzystniejszy stosunek $\frac{l_1}{l}$ zawiera się w granicach 0,3—0,5 i że pojemność C_k powinna być zbliżona pod względem wartości do C_t lecz nawet znacznie mniejsze pojemności działają dość skutecznie. Oscylogram na rys. 10a podaje drgania potencjału na $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ i $\frac{3}{4}$ długości uzwojenia zwykłej konstrukcji, którego pojemność doziemna wynosi 440 pF; oscylogram na rys. 10b podaje drgania w tym samym uzwojeniu po przyłączeniu między



Rys. 10a i 10b. Oscylogramy drgań w uzwojeniu transformatora niezabezpieczonego (a) i zabezpieczonego przez kondensator na 290 pF (b)

Liczby przy krzywych oznaczają odległość punktu pomiaru od zacisku liniowego (w % długości uzwojenia); rzędne podają napięcie względem ziemi, odciecie — czas w mikrosekundach.

jego środkiem i zaciskiem wejściowym pojemności 290 pF; jak widać, drgania są prawie zupełnie stłumione.

Analogiczny zabieg można stosować do zwalczania drgań potencjału punktu gwiazdowego (w przypadku, oczywiście, gdy nie jest on uziemiony): wtedy nie wystarczy jednakże jedna pojemność i zaleca się przyłączenie — równoległe do uzwojenia — dzielnika pojemnościowego, złożonego co najmniej z 4 elementów. Pojemność każdego z tych elementów winna być co najmniej 10-krotnie większa niż pojemność doziemna uzwojenia.

Ch. DEGOUMOIS, W. ZOLLER. Napięcia w skutek fal udarowych w nowoczesnych transformatorach [4]

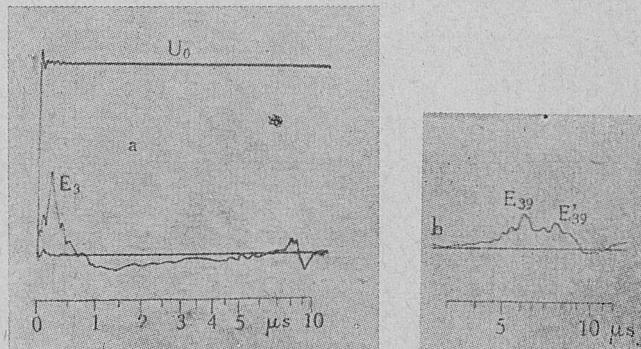
Tendencją artykułu jest wykazanie, że także w transformatorze normalnej budowy, tj. ze zwykłym uzwojeniem cewkowym, można bez stosowania sztucznych środków, a tylko przez odpowiedni dobór izolacji uzyskać transformatory dostatecznie odporne na przepięcia atmosferyczne (aczkolwiek bynajmniej nie „niedrgające“). Opinię taką reprezentuje wytwórnia Brown Boveri, przynajmniej w zakresie napięć do 110 kV.

Po raz pierwszy, zdaje się, w literaturze technicznej zakwestionowano zasadę wyznaczania wymiarów izolacji międzycewkowej transformatora wyłącznie na podstawie szczytnych wartości napiężeń, występujących na tej izolacji, tj. z pominięciem drugiego ważnego parametru — czasu trwania napięcia.

Pomiary oscylograficzne napięć występujących na poszczególnych cewkach normalnego uzwojenia transformatorowego wykazały, iż przebiegi te mają na wykresie zawsze pewien charakterystyczny kształt (rys. 11a): rozpoczynają się równoramiennym trójkątem o znacznej wysokości, następnie zmieniają znak i przez

dłuższy czas utrzymują się na niewielkiej wysokości, po czym występuje ponowny wzrost, lecz o amplitudzie znacznie mniejszej od wartości szczytowej pierwszego trójkąta. Przebieg ten bardzo dobrze tłumaczy się uproszczoną teorią falową: trójkąt odpowiada przejściu czoła fali „podkrytycznej“ przez daną cewkę, ponowny wzrost napięcia — nadejściu do cewki fali odbitej od końca uzwojenia*).

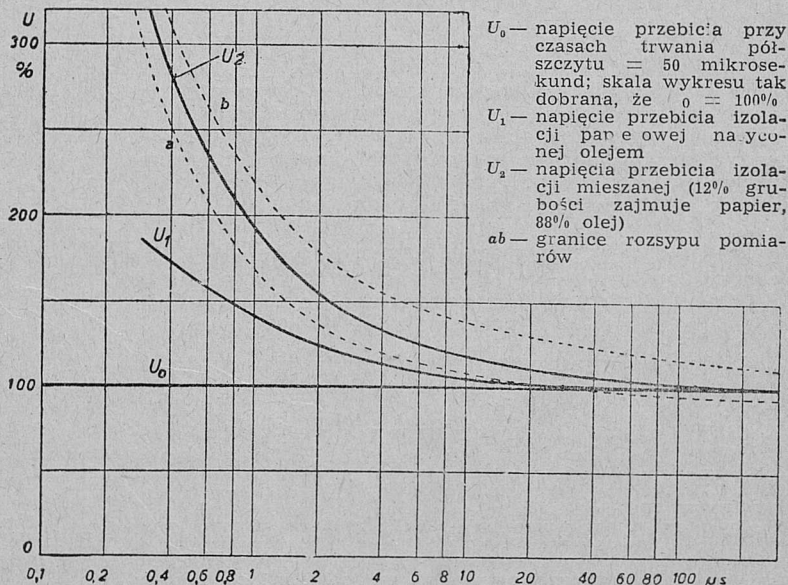
Dla pierwszych cewek wspomniany trójkąt jest wysoki, lecz ma wąską podstawę. Dla cewek środkowych wysokość maleje, podstawa rośnie. Dla cewek końcowych



Rys. 11. Oscylogram napięcia występującego między początkiem i końcem trzeciej (a) i trzydziestej (b) cewki przy udarze 0,03/500 μs

Transformator nr 3 MVA, 15 kV: kolumna składa się z 44 cewek.

wysokość trójkąta wprowadzicie nadal się obniża, występuje jednak nakładanie się fali bieżącej z falą odbitą; dzięki temu trójkąt zniekształca się, a zarówno jego wysokość jak i podstawa są większe niż dla cewek środkowych (rys. 11b). Różnice czasu trwania półszczytu napiężeń cewkowych są znaczne: dla pierwszych cewek czas ten jest rzędu 0,5—1 μs, dla środkowych — rzędu kilku mikrosekund, dla końcowych — półtora-krotnie większy niż dla środkowych. Okoliczność ta jest pomyślna dla konstruktora, wzmacnianie bowiem izolacji pierwszych cewek w porównaniu z cewkami środkowymi według stosunku amplitud ich napięć międzycewkowych okazuje się szkodliwą przesadą. Należałoby wzmacniać izolację według stosunku „napięć równoważnych“, uwzględniających wpływ czasu trwania półszczytu.



Rys. 12. Zależność wartości szczytowej U napięcia przebiecia typowej izolacji transformatora od czasu trwania półszczytu T

W celu ustalenia wytycznych dla tego rodzaju przeliczeń autorzy określili doświadczalnie zależność amplitu-

* Jak wiadomo, istnieją dwa zasadnicze kierunki we współczesnej teorii transformatorów: teoria fal stojących i teoria fal wędrownych. Pierwsza (Rogowski, Wagner) rozpatruje napięcia

dy, wywołującej przebicie izolacji, od czasu trwania półszczytu. Pomiary wykonano dla najważniejszych elementów izolacji transformatora: papieru nasyconego olejem i przegród papierowych w oleju (rys. 12). Krzywe otrzymano przy pomocy specjalnego generatora, wytwarzają-

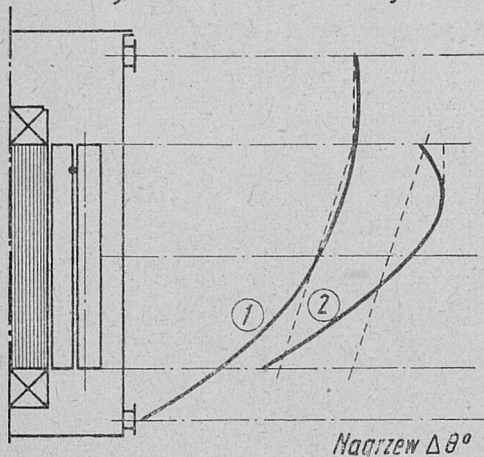
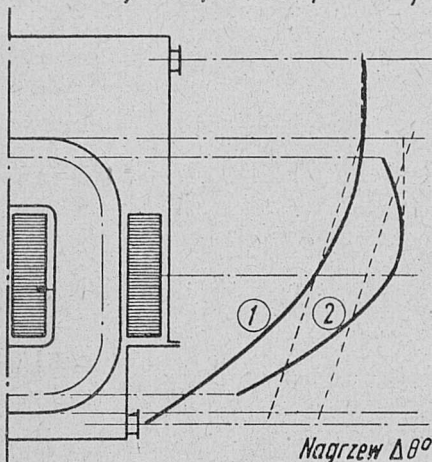
zastosowaniu blach specjalnych można znacznie podwyższyć indukcję w rdzeniu, lecz pod warunkiem, że kierunek linii indukcji nie różni się od kierunku walcowania blach i że konstrukcja transformatora wyklucza tworzenie się lokalnych zagęszczeń strumienia magnetycznego.

Konstrukcja płaszczo-
w, której można składać blachy płaszcza nie wycinając w nich żadnych otworów na śruby ściągające, odpowiada znacznie lepiej tym wymaganiom niż konstrukcja rdzeniowa.

2) Korzystne własności termiczne. Pionowo ustawione szerokie i płaskie cewki chłodzone są intensywnie przez naturalny przepływ nagrzewanego oleju ku górze. Na rys. 13 widać wyraźnie, o ile korzystniejszy jest rozkład temperatur w transformatorze płaszczo-
wym (b) niż w rdzeniowym (a). Przez zastosowanie sztucznego obiegu oleju można doprowadzić w transformatorze płaszczo-
wym różnicę między średnią temperaturą uzwojeń a jej najgorętszym punktem do 2—3°, co nie jest możliwe w transformatorach rdzeniowych.

3) Korzystne własności dielektryczne. Istnieje opinia, że waga i koszt materiałów izolacyjnych niezbędnych do budowy transformatora płaszczo-
wego są znacznie większe niż w przypadku transformatora rdzeniowego. Opinia ta była słuszną w stosunku do transformatorów starego typu, w których umieszczano obok siebie na przemian cewki górnego i dolnego napięcia. W transformatorach współczesnych cewki uzwojeń górnego względnie dolnego napięcia grupuje się po kilka lub nawet kilkanaście obok siebie; liczba przestrzeni izolacyjnych między uzwojeniami górnego i dolnego napięcia

a) Transformator rdzeniowy

b) Transformator płaszczo-
wy

Rys. 13. Rozkład temperatur uzwojenia (2) i oleju (1) w płaszczyźnie pionowej:
a) transformatora rdzeniowego, b) transformatora płaszczo-
wego

tego udary o kształcie trójkąta równobocznego. Wartości liczbowe określano w procentach w stosunku do wartości dopuszczalnej przy udarze o kształcie normalnym 1/50. Jak widać, przy czasie trwania półszczytu 0,5 μ s izolacja papierowo-olejowa ma wytrzymałość dwa razy większą niż przy 4 μ s. Izolując cewki wejściowe według wartości szczytowej obliczonych lub zmierzonych przepięć i przyjmując dopuszczalną wartość naprężeń taką samą, jak dla cewek środkowych, przeholowaliby dwukrotnie.

W dalszej części referatu omawiano zagadnienie udarów uciętych i udarów o stromości większej od normalnego udaru 1/50 oraz wpływ uzwojeń niskiego napięcia na naprężenia w uzwojeniach wysokiego napięcia. Wnioski te w połączeniu z poprzednimi prowadzą do wniosków następujących:

a) wystarczy obliczanie transformatora na udar prostokątny; naprężenia przy udarach uciętych nie będą większe;

b) wpływ połączeń po stronie niskiego napięcia może być pominięty;

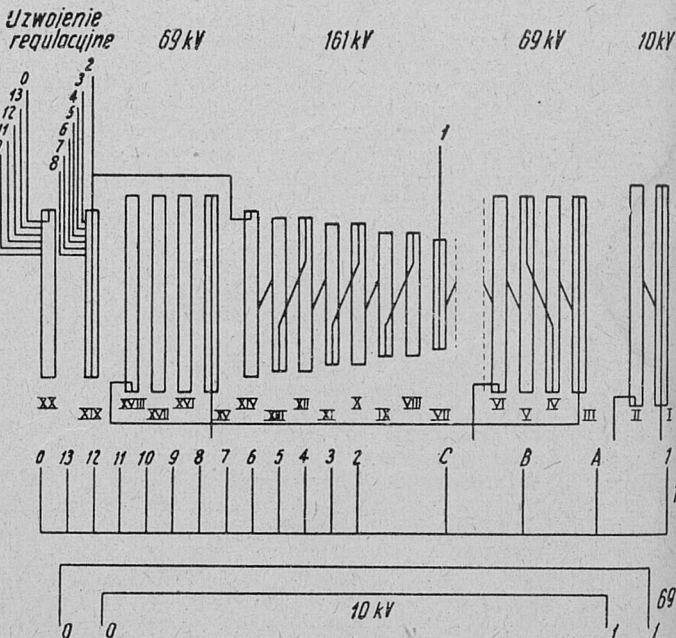
c) w wielu przypadkach wzmacnianie cewek wejściowych jest zbędne; jeżeli okaże się konieczne, należy uwzględnić nieznaczny czas trwania półszczytu przepięć w tych cewkach przez podwyższenie dopuszczalnych naprężeń w stosunku do cewek środkowych. Wzmacnianie cewek końcowych jest na ogół zbędne.

H. CHEVALIER i H. DEMOULIN. Zachowanie się transformatorów wielkiej mocy z punktu widzenia naprężeń termicznych i dielektrycznych [5]

Treścią pracy jest wykazanie następujących zalet transformatorów płaszczo-
wych mało rozpowszechnionych w Europie.

1) Większy niż w normalnych (rdzeniowych) konstrukcjach efekt stosowania blach o małej stratności. Jak wiadomo, przy

w dowolnym punkcie uzwojenia jako sumę harmonicznym przestrzennych fal stojących, z których każda drga z właściwą jej częstotliwością i amplitudą (częstotliwość pierwszej, inaczej „główniej”, harmonicznym nazywa się częstotliwością drgań własnych transformatora). Według drugiej teorii (Rüdenberg) falę prostokątną można rozłożyć na 2 części: „nadkrytyczną” i „podkrytyczną”. Część nadkrytyczna w ogóle nie wchodzi do uzwojenia jako fala, lecz odbija się od jego zacisków; dla tej części fali transformator stanowi układ czysto pojemnościowy, rozkład napięć wywołanych przez tę część fali na zaciskach transformatora ma więc wewnątrz uzwojenia w każdej chwili kształt sinusa. Druga natomiast część fali — podkrytyczna — wchodzi do uzwojenia, poruszając się w nim w sposób podobny do fal wędrownych w liniach długich; dla tej części fali mają więc sens pojęcia: oporności falowej uzwojenia, prędkości ruchu fali, odbicie itd.



Rys. 14. Schemat połączeń typowego trójuzwojowego transformatora płaszczo-
wego na 15/15/5 MVA i 161/69/10 kV z regulacją pod obciążeniem

redukuje się w ten sposób do dwóch, a co najwyżej do czterech (rys. 14). Okazało się przy tym zupełnie możliwe utrzymanie napięcia zwarcia w znośnych granicach (przez zmniejszenie liczby zwojów i zwiększenie szerokości cewek kosztem ich grubości).

Układ uzwojeń, właściwy transformatorowi płaszczo-
wemu, posiada natomiast wielkie zalety z punktu widze-

nia wytrzymałości udarowej. Ze względu na to, iż cewki uzwojenia górnego napięcia przylegają do siebie (przez kanały chłodzące) na bardzo dużej powierzchni, pojemność uzwojenia skrośna (k) w porównaniu z pojemnością doziemną (c) jest znacznie większa niż w transformatorach rdzeniowych. Charakterystyczny iloraz c/k , który jest, jak wiadomo, miarą odkształcenia początkowego rozkładu napięcia od linii prostej, osiąga dla transformatorów płaszczyznowych wartości rzędu 1—2, gdy dla transformatorów rdzeniowych 5—30. Transformator płaszczyznowy jest więc — bez żadnych sztucznych środków — transformatorem prawie niedrgającym. Korzystne własności posiada nie tylko uzwojenie główne, lecz i regulacyjne.

Jeżeli punkt gwiazdowy uzwojeń górnego napięcia jest nieuziemiały, bardzo niebezpieczne naprężenia powstają przy udarze trójbiegunowym (tj. przy jednoczesnym nadejściu trzech fal wędrownych do trzech zacisków liniowych transformatora) oraz przy przeskoku z izolatora punktu gwiazdowego do ziemi.

W pierwszym przypadku jednoczesne „odbicie się” fal od punktu gwiazdowego spowoduje spiętrzenie się napięcia punktu gwiazdowego względem ziemi do wartości dwukrotnej amplitudy napięcia na zaciskach liniowych; w drugim przypadku ucięcie udaru w pobliżu punktu gwiazdowego równoznaczne jest z wejściem do uzwojenia udaru o bardzo stromym czole. Zagrożona jest w tym drugim przypadku izolacja międzyzwojowa cewek końcowych, a przede wszystkim izolacja przełącznika zaczepów.

Autor nie tylko przestrzega usilnie przed stosowaniem iskierników ochronnych w punkcie gwiazdowym (co jest dziś zresztą ogólnie już znaną zasadą), lecz nawet zaleca znaczną ostrożność w stosowaniu tam odgromników zaworowych, co jest nowością. Strome ucięcie udaru w pobliżu izolowanego punktu gwiazdowego transformatora z przełącznikiem zaczepów, umieszczonym w punkcie gwiazdowym, autor uważa za jeden z najgroźniejszych przypadków w eksploatacji urządzeń transformatorowych.

Reasumując swe wywody autor wypowiada się zdecydowanie za uziemianiem punktu zerowego w sieciach najwyższych napięć i za stosowaniem transformatorów o konstrukcji płaszczyznowej.

Cl. ROSSIER. Naprężenia dielektryczne w regulatorach napięcia transformatorów [6]

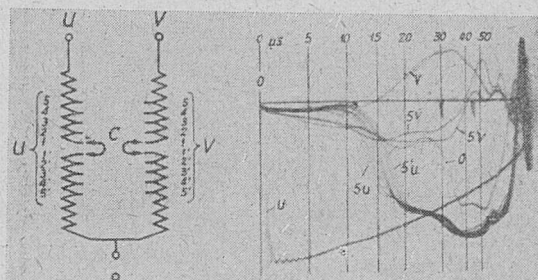
Z wyjątkiem transformatorów „blokowych”, sprzężonych bezpośrednio z prądnicami, wszystkie prawie wielkie transformatory budowane są obecnie z regulacją pod obciążeniem; stosowane dawniej przy wyższych napięciach osobne transformatory regulacyjne ustępują miejsca przełącznikom wmontowanym do transformatora.

We wszystkich współczesnych konstrukcjach przełączników rozróżnić można trzy elementy zasadnicze: napęd, nastawnik i łącznik. W dwóch ostatnich elementach występują w eksploatacji znaczne naprężenia dielektryczne. Nastawnik, w którym przełączenia nie odbywają się pod prądem, umieszcza się z reguły we wspólnej kadzi z transformatorem, łącznik — w osobnej. Przy rozważaniu zagadnień dielektrycznych dotyczących łącznika należy

uwzględnić, że olej w kadzi łącznika jest silnie zanieczyszczony produktami spalania w łuku elektrycznym (współczesne przełączniki wykonują 80 000—100 000 przełączeń bez zmiany styków).

Problemy izolacyjne związane z przepięciami wolnozmennymi są stosunkowo proste i opanowanie ich nie nastęrcza trudności. Wytrzymałość udarowa przełącznika jest natomiast zagadnieniem zawiłym.

Pomiary dokonane na transformatorze jednofazowym 66-kilowoltowym z przełącznikiem zaczepów, umieszczonym w środku kolumny i posiadającym 2×4 sekcje regulacyjne (rys. 15), wykazały, iż przy próbie udarowej



Rys. 15. Schemat i oscylogramy napięć względem ziemi, występujących w przełączniku zaczepów na poszczególnych stykach

występują między stykami przełącznika, przyłączonego do odczepów 5 i 5', przepięcia osiągające 45%, na izolacji zaś względem ziemi — przepięcia osiągające 86% amplitudy udaru doprowadzonego. Przepięcia te są często niedoceniane przez konstruktorów.

Przy próbie udarowej całego transformatora wraz z przełącznikiem nie ma na ogół pewności, że przełącznik znajduje się podczas próby w położeniu najniekorzystniejszym, próba może być więc dla niego nie wystarczająca. Najniekorzystniejsze położenie przełącznika można wyznaczyć, praktycznie rzecz biorąc, tylko w drodze pomiarów. Należy więc przed próbą typu szczegółowo zbadać przepięcia w przełączniku we wszystkich położeniach (posługując się np. oscylografem z wielokrotnym zapisem). Pomiary te wykonywa się przy udarach o małej amplitudzie, nieszkodliwych dla transformatora. Na podstawie tych pomiarów wyznacza się wartość probierczego napięcia udarowego zarówno dla izolacji doziemnej, jak i międzystykowej nastawnika i łącznika. Wytrzymałość przełącznika należy sprawdzić przed wmontowaniem go do transformatora, przy czym warunki próby powinny być (zwłaszcza dla łącznika) wystarczająco ostre, powinny bowiem uwzględnić obniżanie się wytrzymałości udarowej w eksploatacji, wywołane produktami spalania się oleju.

Dla rozpatrywanego przykładu ustalono następujące wartości napięć probierczych: 150 kV dla izolacji międzystykowej, 300 kV dla izolacji doziemnej.

III. Technika i teoria prób izolacji, w szczególności prób udarowych

LANGLOIS-BERTHELOT, NEUVE-ÉGLISE, KOHN, RENAUDIN. Przyczynki doświadczenia do studiów nad izolacją transformatorów [7]

1. Zachowanie się izolacji przy naprężeniach wolnozmennych.

Rejestracja oscylograficzna prądu, przepływającego przez izolację podczas próby napięciowej, może być źródłem cennych wskazówek co do zachowania się izolacji pod działaniem napięcia probierczego. Krzywa prądu, przepływającego przez izolację przy niewielkich naprężeniach dielektrycznych, jest prawie idealną sinusoidą. Natomiast wszelkie wyładowania niezupełne objawiają się w zniekształceniu krzywej prądu; w pobliżu szczytowej wartości prądu zjawiają się „zabki” — oscylacje szybkozmienne lub udary*). Amplituda zniekształceń jest jednakże mała w porównaniu z amplitudą prądu pojemnościowego, przepływającego przez izolację, dla osiągnięcia

*) W celu obserwacji tych zniekształceń należy każdą transformatora, poddawany próbie napięciowej, ustawić na izolatorach i uziemić przez bocznik oporowo-pojemnościowy; zaciski bocznika należy doprowadzić do płyt oscyloskopu.

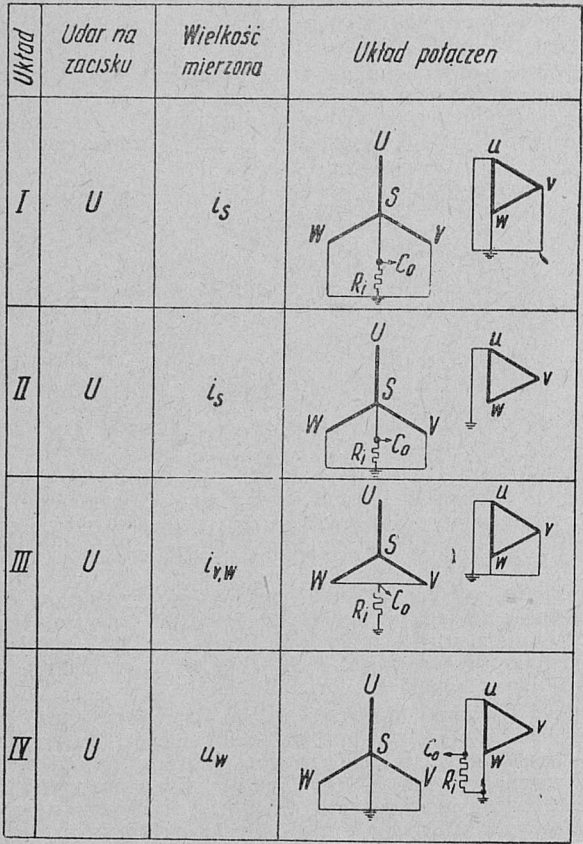
więc wystarczającej czułości należy: a) skompensować spadek napięcia na boczniku, wywołany przez (czysto sinusoidalny) prąd pojemnościowy, dodatkowym — równym mu, lecz odwrotnie skierowanym napięciem sinusoidalnym; b) zastosować filtry eliminujące częstotliwość sieciową z obwodu oscylografu.

Stosowany przez autorów układ pomiarowy**) okazał się tak czułym, że pozwolił na stwierdzenie obniżenia się napięcia jonizacji w transformatorze wyjętym z kadzi i postawionym na 2 godziny w atmosferze przeciętnie suchej. W kilka godzin po ponownym wstawieniu transformatora do kadzi napięcie jonizacji wróciło do normalnej wartości, co również stwierdzono pomiarami.

Zarówno rozważania nad mechanizmem jonizacji izolacji papierowej zanurzonej w oleju, jak i wnioski dotyczące znaczenia zjawiska jonizacji, są bardzo oryginalne. Stwierdzono daleko idącą analogię między wyładowaniami niezupełnymi w powietrzu i oleju. Rozróżnia się dwa stadia ulotu: ulot lokalny („igielki”, zjawiające się w niewielu punktach powierzchni elektrod) i ulot powierzchniowy

**) Schemat tego układu ob. w Energetyce, 1952, nr 6,

niowy. W stadium ulotu lokalnego następuje w pewnej chwili w jakimś punkcie elektrod przekroczenie krytycznego natężenia pola; ładunek znajdujący się na elektrodach w najbliższym otoczeniu tego punktu spływa prądami w głąb dielektryku, tworząc ładunek przestrzenny.



Rys. 16. Zestawienie schematów stosowanych przy próbie udarowej

Wytworzenie się ładunku przestrzennego następuje w czasie ok. 10^{-8} sek.; w tak krótkim czasie zdąży spłynąć tylko ładunek z najbliższego otoczenia. Ładunek przestrzenny z kolei osłabia pole, któremu zawdzięcza swe istnienie, wobec czego jonizacja ustaje i rozpoczyna się po pewnym czasie ponownie w tym samym lub innym miejscu. Opisanemu przebiegowi zjawiska towarzyszy udar prądowy o długości czoła rzędu 10^{-8} sek., długości grzbietu rzędu 10^{-6} sek. Wykrycie tych udarów jest zadaniem układu pomiarowego, przeznaczonego do określenia napięcia „jonizacji lokalnej”.

Wartość napięcia jonizacji lokalnej jest według autorów znakomitym wskaźnikiem stanu izolacji, zwłaszcza jej zawilgocenia. W transformatorach nowych napięcie to niewiele przekracza napięcie znamionowe, w starych jest znacznie niższe od znamionowego. Przy próbie napięciowej, dokonywanej — jak tego żądają przepisy większości państw — przy napięciu dwukrotnie wyższym od znamionowego, jonizacja jest tak silna, iż można ją wykryć nawet bardzo prymitywnym układem pomiarowym.

Autorzy bardzo zalecają włączenia obserwacji oscyloskopowej prądu i pomiaru napięcia jonizacji do programu prób izolacji transformatorów i wypowiadają pogląd, że klasyczna próba napięciowa jednominutowa, przy której nic się właściwie nie mierzy, nic nie rejestruje, nic nie widzi, jest próbą przestarzałą i szkodliwą dla izolacji.

2. Zachowanie się izolacji przy naprężeniach udarowych.

Wykaz współczesnych zagadnień udarowych jest dość długi: metoda wykrywania uszkodzeń, technika pomiaru napięć i prądów udarowych w transformatorze, technika posługiwania się oscylografem z wielokrotnym zapisem, sposób interpretowania wyników pomiarów uzyskanych na transformatorze wyciągniętym z kadzi, układy połączeń przy próbie udarowej, wpływ długości czoła udaru i długości grzbietu oraz wpływ ucięcia udaru na wielkość naprężeń udarowych, przenoszenie się przepięć na uzwoje-

nia nie poddawane próbie, wreszcie uwagi ogólne dotyczące koncepcji prób udarowych. Z rozważania tych zagadnień, opartego na bogatym materiale doświadczalnym, zasługują na szczególną uwagę następujące najbardziej istotne i oryginalne stwierdzenia.

Jak przy przepięciach wolnozmiennych, tak i przy przepięciach udarowych występuje z reguły „jonizacja”; w tym drugim przypadku jest ona nieszkodliwa, jeżeli nie przerodzi się w iskrę lub łuk.

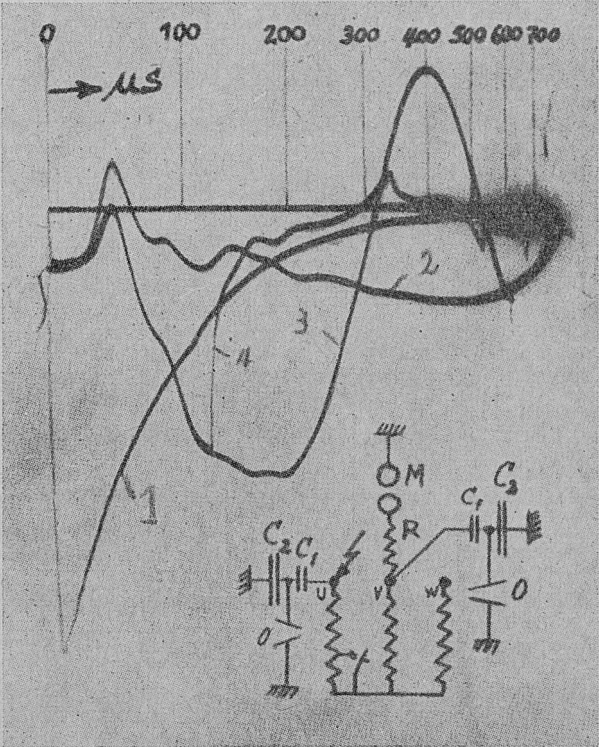
Iskra powstała pod wpływem przepięć udarowych tylko nieznacznie obniża wytrzymałość udarową przebitego miejsca, co wynika z następującego doświadczenia: transformator wytrzymał próbę udarową przy napięciu 100 kV, lecz uległ przebiciu przy 110 kV; przy powtórzeniu próby napięciem 100 kV transformator nie wykazał żadnej anomalii; po ponownym podniesieniu napięcia do 110 kV nastąpiło ponowne przebicie.

Wpływ układu połączeń uzwojenia wtórnego na ostrość próby uzwojenia pierwotnego jest bardzo różnorodny i trudny do sformułowania w sposób ogólny. Tak np. stwierdzono, że w transformatorze — Y/Y, 60/20 kV — wartość szczytowa napięcia uzwojenia pierwotnego względem ziemi okazała się w przypadku dokonywania próby ze zwartym uzwojeniem wtórnym o 40% mniejsza, niż przy próbie z uzwojeniem wtórnym nie zwartym.

Dość rozpowszechniony pogląd, że uzwojenia wtórne połączone w trójkąt są mniej niż uzwojenia gwiazdowe narażone podczas próby udarowej, wykonywanej na uzwojeniu pierwotnym, należy uważać za pozbawiony wszelkich podstaw i niezgodny z doświadczeniem. Zjawiska „interferencji” [12] przy stosowaniu udarów uciętych przy pomocy iskiernika sztabowego nie należy się obawiać; przytoczony na poparcie tego śmiałego twierdzenia materiał doświadczalny jest jednak bardzo szczupły.

M. WELLAUER. Wykrywanie uszkodzeń w transformatorach podczas próby udarowej [8]

Znane metody wykrywania uszkodzeń przy pomocy oscylografu różnią się: a) wyborem wielkości elektrycznej, służącej za wskaźnik uszkodzenia, b) wyborem przed-



Rys. 17. Schemat i oscylogramy próby udarowej

- 1 — napięcie doprowadzone do fazy U
- 2 — drgania fazy V nieuszkodzonego uzwojenia
- 3, 4 — drgania fazy V po zwarciu jednej cewki fazy U (w pobliżu punktu gwiazdowego); przy zdejmowaniu oscylogramu 4 zadziałał iskiernik M
- C_1 — dzielnik napięcia
- R — opornik ochronny
- O — oscylografy

kości zapisu oscylograficznego, c) wyborem schematu połączeń zacisków uzwojeń nie biorących bezpośredniego udziału w próbie (nie przyłączonych do generatora udarowego).

Zagadnienie „detekcji oscylograficznej“ można uważać za całkowicie rozwiązane w zakresie prób udarem pełnym: dalsze prace w tej dziedzinie mogą tylko przynieść dalsze zwiększenie czułości, wystarczającej już dziś do celów praktycznych. Nie jest rozwiązany problem detekcji przy uderzeniach uciętych oraz problem lokalizacji uszkodzeń; zwłaszcza w przypadku, gdy izolację międzycewkową stanowi w znacznej części odstęp w oleju, odszukanie stwierdzonego oscylograficznie uszkodzenia jest trudne nawet po rozebraniu i rozwinięciu uzwojenia.

Wszyscy współcześni specjaliści podkreślają wielkie znaczenie pomiarów wstępnych, dokonywanych przed próbą udarową przy napięciu znacznie niższym od probierczego. Pomiary te można wykonywać na transformatorze wyciągniętym z oleju, wytwarzając w uzwojeniu fikcyjne uszkodzenia (np. przez zwieranie jednej z cewek, jednego lub kilku zwojów, albo też przez uziemianie różnych punktów uzwojenia). Otrzymane oscylogramy stanowią „metrykę“ uszkodzeń badanego transformatora; porównanie ich z oscylogramem, otrzymanym podczas rzeczywistej próby, pozwala na ogół na przybliżone stwierdzenie miejsca uszkodzenia.

Drugim — ogólnie już uznawanym — poglądem specjalistów współczesnych jest nieufność do prób izolacji, wykonywanych na modelach uzwojeń (prób do niedawna bardzo rozpowszechnionych). Transformator powinien być brany do próby udarowej po zmontowaniu go w sposób ostateczny, z wszystkimi częściami dodatkowymi, jak przełącznik zaczepów i inne.

Wreszcie trzecie ważne uogólnienie: przebicia izolacji międzyzwojowej współczesnych transformatorów o mocy ponad 500 kVA są zdarzeniem zupełnie wyjątkowym; najczęściej zdarzają się natomiast uszkodzenia izolacji międzycewkowej.

Dla określenia najkorzystniejszych — z punktu widzenia czułości wykrywania — warunków próby udarowej wykonano szereg pomiarów na transformatorze rdzeniowym na Y 45/Δ 10 kV, 5 MVA według czterech różnych schematów (rys. 16) oraz przy szybkościach zapisu (czas przebiegu promienia przez ekran) 3, 10, 30 i 100 mikrosekund. Pomiary wykonywano przy uderzeniach o wartości szczytowej 15 kV i o kształcie 1/50, zwierając kolejno po jednej z 34 cewek kolumny uzwojenia poddawanej próbie i porównując oscylogram tak „uszkodzonego“ transformatora z oscylogramami otrzymanymi bez tych fikcyjnych uszkodzeń. Pomiary pozwoliły na wysunięcie dwu wniosków.

1) Rejestracja przy dużej szybkości zapisu (czas przebiegu promienia 3–10 mikrosekund) nie daje pewnych wskazań. Pojemność uzwojeń tworzy bowiem z pojemnością dodatkową generatora udarowego (tzw. pojemnością obciążającą, używaną do regulacji czoła udaru) oraz indukcyjnością połączeń dodatkowy obwód drgający o wielkiej częstotliwości własnej; drgania tego owodu występują w sposób nieodtwarzalny i zniekształcają początek oscylogramu. Dalsze części oscylogramów są natomiast odtwarzalne, nadając się więc do porównania i wyzyskania przy „detekcji“. Najlepszą czułość osiąga się przy szybkości, odpowiadającej przebiegowi promienia przez ekran w ciągu ok. 100 mikrosekund.

2) Najlepszą czytelność oscylogramów zapewnia układ II (rys. 16). Układ III w ogóle nie nadaje się do detekcji.

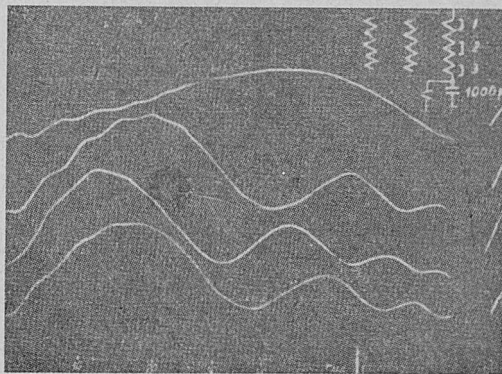
Wydaje się jednak, że wniosków tych nie można uogólniać; należałoby przedtem wykonać pomiary także dla transformatorów o konstrukcji odmiennej od rozpatrywanej przez autora.

Dr AESCHLIMANN. Wykrywanie zwarć częściowych w uzwojeniach transformatorów poddawanych próbie udarowej [9]*.

Najlepszym wskaźnikiem uszkodzenia transformatora podczas próby udarowej jest zmiana częstotliwości drgań własnych uzwojenia, jeżeli częstotliwość ta nie przekracza 100 kHz (tylko uzwojenia dolnego napięcia transformatorów rozdzielczych mogą posiadać jeszcze większą częstotliwość drgań własnych). W tym celu należy przyłączyć oscylograf przy pomocy dzielnika pojemnościowego do zacisków jednego z uzwojeń nie poddawanych bezpośredniej próbie, lecz sprężonych z uzwojeniem próbo-

wanym. Tak np. uder doprowadzono do fazy U (rys. 17); jeden z oscylografów rejestruje kształt udaru (krzywa 1), drugi — przyłączony do zacisku V — częstotliwość drgań własnych transformatora.

Na oscylogramie krzywa 1 przedstawia uder, doprowadzony do fazy U, krzywa 2 — napięcie fazy V przy nieuszkodzonym uzwojeniu, krzywa 3 — po uszkodzeniu (zwarcu) ostatniej cewki fazy U. Wzrost częstotliwości wywołany uszkodzeniem jest oczywisty. Ponadto możemy łatwo stwierdzić znaczne powiększenie się amplitudy na-



Rys. 18. Zmiany oscylogramu napięcia punktu zerowego transformatora przy zwarcu międzyzwojowym w zależności od położenia zwoju zwanego

pięcia na fazie V przy uszkodzeniu fazy U: wzrost ten jest kilkakrotnie. Powyższe spostrzeżenie nasunęło myśl zastąpienia oscylografu przez iskiernik kulowy M, przyłączony przez opór ochronny R (rys. 17). Przy odpowiednim nastawieniu tego iskiernika każdy przeskok na nim będzie świadczyć o negatywnym wyniku próby udarowej. W rozpatrywanym przypadku iskiernik nastawiony został na ok. 50% wartości szczytowej udaru doprowadzonego do fazy U; jak widać z oscylogramu 4, działał on przy zwarcu ostatniej cewki w fazie U.

Pomysł rzucony w powyższym opisie może mieć duże znaczenie dla uproszczenia aparatury stosowanej przy próbach udarowych; zastąpienie uciążliwego odczytywania oscylogramów przez obserwację przeskoku na iskierniku utorowałoby niewątpliwie próbie udarowej drogę do małych nawet wytwórni transformatorów.

B. HELLER, J. HLAVKA, A. VEVERKA. Ujawnianie zwarć zwojów wytworzonych w transformatorach przez udary o stromym czołe [10]

Teoria, na której należy oprzeć metody wykonywania uszkodzeń, jest w zarysie następująca.

Zwarcie choćby jednego tylko zwoju pociąga za sobą całkowity prawie zanik strumienia magnetycznego, skójarzonowy z tym zwojem. Ze względu na znaczne sprzężenie magnetyczne zwojów jednej kolumny można przyjąć, iż amperozwoje zwartego zwoju prawie zrównoważą amperozwoje pozostałej części uzwojenia. Opierając się na tym twierdzeniu i na klasycznej teorii drgań w transformatorze, można — wychodząc z geometrycznych wymiarów transformatora — obliczyć częstotliwość drgań własnych transformatora uszkodzonego f' i nie uszkodzonego f . Stosunek f'/f wynosi zwykle ok. 3,5 i nie przekracza 5. Stosunek ten jest (ze względu na rozproszenie) mniejszy, jeśli uszkodzone są cewki końcowe lub początkowe, większy — dla cewek środkowych. Oscylogram 1 (rys. 18) potwierdza te wywody: górna krzywa przedstawia drgania napięcia punktu zerowego względem ziemi nieuszkodzonego transformatora, druga — po zwarcu jednego zwoju na początku, trzecia — w środku, czwarta — na końcu uzwojenia. Jak widać, częstotliwość trzeciej krzywej jest największa. Obserwacja drgań własnych transformatora może więc pozwolić na przybliżone stwierdzenie miejsca uszkodzenia.

Drugim ważnym problemem jest regeneracja (zabliźnianie się) uszkodzeń powstałych podczas próby udarowej. Zjawisko zabliźniania się uszkodzeń przez wypełnienie olejem kanału przebicia, jak wiadomo, niezmiennie komplikuje próbę udarową*). Autorzy wykonali serię pomiarów dla wyjaśnienia, czy regeneracja kanału przebi-

*) Por. Przegl. Elektr., 1948, z. 4/5/6, str. 120.

*) Por. Przegl. Elektr., 1951, z. 11/12, str. 486.

cia może wpływać na kształt oscylogramów, uzyskiwanych podczas próby udarowej. W tym celu porównymano oscylogramy, otrzymane przy metalicznym zwarcu cewki, z oscylogramami przy zwarcu za pomocą iskiernika ostrzowego w oleju: oscylogramy nie wykazały istotnych różnic. Wynik ten (zgodny z doświadczeniami Aeschlimanna) świadczy, iż przy starannej obserwacji oscylogramów można ujawnić wszelkie przebiegi, nawet te, które się natychmiast regenerują.

A. HOCHRAINER. Rozkład napięcia udarowego w uzwojeniach transformatorów dla ciągu nakładających się na siebie uderów o dowolnym kształcie, w szczególności dla przypadku uderów o stromości skończonej [11]

Nawiązując do klasycznych prac Wagnera, który już w 1909 r. wyprowadził wzór na rozkład napięcia cewki jednowarstwowej, zaatakowanej uderem prostokątnym, autor rozszerzył wzór ten na uder o czole wzrastającym według funkcji wykładniczej, a więc o równaniu

$$U = \bar{U} (1 - e^{-\delta t}).$$

Przy zastosowaniu nowoczesnego aparatu matematycznego (rachunek operatorowy) sposób wyprowadzania wzoru staje się łatwy i przejrzysty, mimo dość zawiłego wyniku:

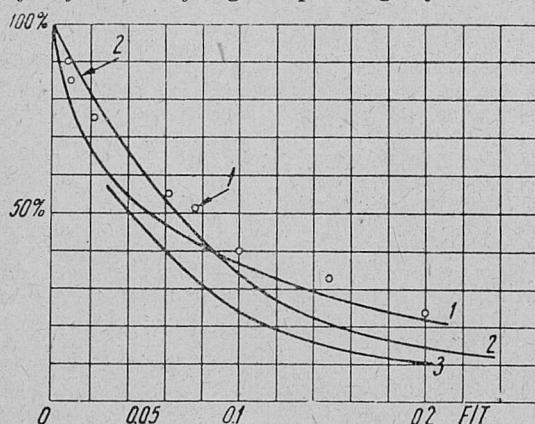
$$u = \bar{U} \frac{x}{l} - 2 \bar{U} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \varphi_n \sin n\pi \frac{l-x}{l} \cos (\nu_n t - \varphi_n) - \bar{U} \frac{\text{sh } \beta x}{\text{sh } \beta l} e^{-\delta t}.$$

Dla $\delta \rightarrow \infty$ otrzymujemy wzór Wagnera:

$$u = \bar{U} \frac{x}{l} - 2 \bar{U} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n\pi \frac{l-x}{l} \cos \nu_n t.$$

Według klasycznej teorii Wagnera napięcie w dowolnym punkcie odległym o x od końca cewki, której długość wynosi l , można przedstawić jako sumę harmonicznych fal stojących w przestrzeni, z których każda posiada właściwą swemu rzędowi n amplitudę A_n i drga z właściwą jej częstotliwością ν_n dokoła prostej $u = \bar{U} \frac{x}{l}$, stanowiącej oś drgań. A_n i ν_n można obliczyć z wymiarów cewki.

W przypadku uderu o czole wzrastającym według funkcji wykładniczej drgania poszczególnych harmonicznych



Rys. 19. Zależność naprężeń izolacji w cewkach wejściowych od „względnej stromości czoła uderu” F/T

F — długość czoła uderu doprowadzonego
 T — okres drgań własnych transformatora

Rzędne podają stosunek naprężeń przy uderze o względnej stromości F/T do naprężeń przy uderze prostokątnym.

nych opóźniają się o kąt φ_n (różny dla każdej harmonicznej), a ich amplitudy są obniżone w stosunku $\cos \varphi_n$; ponadto zjawia się ujemny człon aperiodyczny, przedstawiający rozkład przestrzenny napięcia według funkcji $\sinh$. Człon ten zanika według tej samej funkcji wykładniczej $e^{-\delta t}$, która występuje w równaniu czoła uderu. Wielkość kąta φ_n można obliczyć, znając δ i wymiary cewki.

Wydaje się, iż ten sposób interpretacji niezmiernie zawiłego zjawiska fizycznego odznacza się szczególną jasnością ujęcia i posiada znaczną wartość dydaktyczną.

Obliczenia proponowane przez autora są jednakże niezmiernie żmudne; zaletą ich jest jednak brak upraszczających założeń. Wzór może mieć zastosowanie przy badaniu wpływu stromości uderu na wielkości naprężeń izolacji transformatora oraz przy badaniu zjawiska interferencji naprężeń po ucięciu uderu.

Wykonane przez autora obliczenia wykazały, iż naprężenia izolacji skrośnej transformatora (międzyzwojowej, międzycewkowej), których miarą jest gradient napięcia w rozpatrywanym punkcie względem ziemi, zależą nie od bezwzględnej stromości czoła uderu, charakteryzowanej jego stałą czasu $\frac{1}{\delta}$, lecz od stosunku $\frac{\nu_1}{\delta}$ (ν_1 jest częstotliwością drgań własnych transformatora).

Stosunek $\frac{\nu_1}{\delta}$ można by więc nazwać „względną stromością uderu”.

Z obliczeń wynika, iż przy zastosowaniu uderu normalnego — o długości czoła l_{us} — i uwzględnieniu najczęściej spotykanych częstotliwości drgań własnych transformatorów naprężenia w pierwszych cewkach wypadają o 20 — 40% mniejsze niż przy zastosowaniu uderu prostokątnego. Natomiast w dalszych cewkach naprężenia prawie nie różnią się od naprężeń przy uderze prostokątnym.

F. DESCANS i G. DUFOUR. Wpływ stromości czoła uderu oraz ucięcia uderu na naprężenia udarowe transformatorów [12]

1. Stromość czoła.

W odróżnieniu od poprzedniego referatu wprowadżono tu upraszczające założenia i zredukowano do minimum analizę matematyczną zjawiska.

Wychodząc ze znanego schematu Wagnera, przedstawiającego transformator jako układ pojemności doziemnych, pojemności skrośnych i indukcyjności, udowodniono, że przy obliczaniu największego gradientu dla pierwszych dwu cewek można pominąć indukcyjności dalszych cewek rozpatrując całą dalszą część transformatora jako skupioną pojemność.

Z otrzymanego w ten sposób prostego schematu można obliczyć stosunek $\frac{u'}{u}$ tj. gradientu u' w pierwszych

cewkach przy zaatakowaniu transformatora uderem o długości czoła F do gradientu u , występującego przy zaatakowaniu transformatora uderem prostokątnym.

Oto wzór: $\frac{u'}{u} =$

$$= \frac{1}{1 + 0,76 a^2 \left(\frac{F}{T}\right)^2} \left[\cos \frac{2\alpha}{T} t_0 + 0,37 \frac{F}{T} \sin \frac{2\alpha}{T} t_0 e^{-2,3 \frac{t_0}{F}} \right]$$

We wzorze tym a^2 oznacza znany stosunek $\frac{C}{K}$ (pojemności doziemnej do pojemności skrośnej transformatora), T — okres drgań własnych transformatora; a , T i t_0 można obliczyć z wymiarów transformatora.

Jak w pracy poprzedniej, stosunek $\frac{u'}{u}$ jest więc

funkcją względnej stromości uderu $\frac{T}{F}$ oraz charakterystycznego dla transformatora stosunku $\frac{C}{K}$.

Na rys. 19 krzywa 1 podaje wyniki obliczeń w postaci zależności

$\frac{u'}{u} = f\left(\frac{F}{T}\right)$ dla stałej wartości $\frac{C}{K}$. Dla porównania przedstawiono także wyniki analogicznych obliczeń Jalla (krzywa 2) i Wellauera (krzywa 3) oraz wyniki pomiarów w postaci punktów.

Z wykresu wynikają następujące wnioski: częstotliwości drgań własnych wielkich transformatorów jest rzędu 15 kH, a długość okresu drgań jest rzędu $\frac{10^6}{15000}$

= 67 μ s. Przy próbie udarem normalnym stosunek F/T jest więc rzędu $1/67 = 0,015$, co odpowiada według krzywej 1 z rysunku stosunkowi $\frac{u'}{u} = 0,66$. Naprężenia przy próbie udarowej są więc dla wielkich transformatorów o blisko 35% mniejsze niż naprężenia obliczone dla udaru prostokątnego.

2. Udary ucięte.

Ucięcie udaru można uważać za zjawisko równoznaczne z doprowadzeniem dodatkowego udaru prostokątnego o znaku odwrotnym. Rzeczywiste naprężenia izolacji można w tym przypadku rozpatrywać jako sumę naprężeń, występujących przy udarze pełnym, oraz naprężeń, wywołanych owym fikcyjnym udarem prostokątnym.

Jak wiadomo [4], naprężenia w cewkach pochodzące od udaru pełnego mają pewien typowy przebieg: najpierw ostre, krótkie przepięcie o kształcie trójkąta równobocznego, następnie w ciągu kilku mikrosekund naprężenia są bardzo nieznaczne, po czym następują oscylacje o amplitudzie osiągającej $1/3 - 1/2$ amplitudy wymienionego trójkąta (rys. 11).

Podobny kształt mają przepięcia pochodzące od fikcyjnego udaru prostokątnego z tą różnicą, że są one opóźnione o czas do ucięcia udaru τ i że mają znak odwrotny.

Jeżeli opóźnienie τ jest tak duże, że trójkąt równoboczny wywołany przez fikcyjny udar prostokątny

zbiegnie się w czasie z oscylacjami pochodzącymi od udaru pełnego, może nastąpić interferencja, czyli sumowanie się jednokierunkowych naprężeń, pochodzących od obu tych udarów. W tym przypadku izolacja transformatora jest szczególnie zagrożona, znacznie więcej niż przy udarze pełnym o dowolnej stromości czoła.

To mało zbadane jeszcze, a bardzo ważne dla transformatorów zagadnienie interferencji jest dopiero naszkicowane, niemniej jednak wnioski są daleko idące i ciekawe. Czas „przerwy” między przepięciem o charakterze trójkąta równobocznego a późniejszymi oscylacjami jest tym większy, im mniejsza jest częstotliwość drgań własnych transformatora. Będzie on więc znacznie dłuższy dla transformatorów płaszczykowych, oznaczających się małą częstotliwością drgań własnych, niż dla transformatorów rdzeniowych; będzie on mianowicie dla płaszczykowych transformatorów rzędu kilkunastu mikrosekund, a więc napewno znacznie większy niż 3 μ s przyjęte w wielu normach jako czas do ucięcia udaru przy próbach izolacji. Stąd wniosek, że transformatory płaszczykowe są o wiele mniej zagrożone ze strony udarów uciętych niż transformatory rdzeniowe.

Natomiast udar ucięty po czasie rzędu 10 μ s może być groźny nawet dla transformatorów płaszczykowych; jest on napewno groźny dla transformatorów rdzeniowych. Tak długie czasy do ucięcia udaru zdarzają się wyjątkowo, lecz stanowią one najgroźniejszy ze wszystkich możliwych przypadków zaatakowania izolacji transformatora.

V. Przeciężalność transformatorów, starzenie się oleju, zabezpieczenia termiczne i inne zagadnienia

E. T. NORRIS. Eksploatacja transformatorów [13]

Do zagadnień eksploatacyjnych należą przeciężalność, gospodarka olejowa, zabezpieczenia i zabiegi o charakterze profilaktycznym.

Przeciężalność transformatorów jest już w większości krajów ujęta normą; nie należy jednak przy posługiwaniu się normami przeciężalności zapominać o upraszczających hipotezach, z których normy te się wywodzą. Ponadto praktyka wykazała, iż posługiwanie się tablicami zawartymi w normach jest dla personelu eksploatacyjnego zbyt uciążliwe; główną trudność stanowi zaplanowanie z góry warunków, w których transformator ma ulec przeciężeniu: przy zakłóceniach w przetwornicach jest to prawie niewykonalne. Praktyka wypowiada się zdecydowanie za automatyzacją kontroli przeciężenia transformatora za pomocą modelu termicznego. Jest to modyfikacja termometru odległościowego, stosowanego od dawna do mierzenia temperatury górnych warstw oleju. Termoelement nadajnika tego przyrządu podgrzewany jest prądem proporcjonalnym do obciążenia transformatora, uzyskanym z przekładnika prądowego. Podgrzewanie to imituje różnicę temperatur oleju i najgorętszego punktu uzwojenia. Przy należytnym doborze skali i stałej czasu przyrządu na odbiorniku odczytuje się bezpośrednio temperaturę najgorętszego punktu uzwojenia; przyrząd można, oczywiście, wykorzystać do uruchomienia sygnału lub wyzwolenia wyłącznika. Tego rodzaju model termiczny znany jest już od kilku lat. W r. 1950 ogłoszono ulepszenie, polegające na wyskalowaniu przyrządu w procentach mocy dopuszczalnej trwale ze względu na temperaturę najgorętszego punktu; w ten sposób można w każdej chwili odczytać rezerwy mocy, tkwiącej w transformatorze i należyście zaplanować przeciężenie.

W sprawie gospodarki olejowej osiągnięcia teoretyków są oceniane sceptycznie. „Istnieje prawie tyle teorii ilu jest specjalistów”. Spostrzeżenia na ten temat są bardzo ciekawe, stanowiąc wynik długoletnich obserwacji sieci.

1) Nie stwierdzono żadnego związku między liczbą kwasową oleju, a jego agresywnością (korozje) oraz skłonnością do wydzielania osadów. W wielu przypadkach występowały znaczne korozje przy małej liczbie kwasowej; natomiast niekiedy przy bardzo znacznej liczbie kwasowej ani korozji, ani osadów nie stwierdzono. Co więcej, stwierdzono wielokrotnie, że z dwóch transformatorów dostarczonych jednocześnie z tej samej wytwórni, jednocześnie zainstalowanych i stale pracujących równolegle, jeden wykazywał znaczne ko-

rozje lub zaszlamowanie, drugi — zupełny ich brak. Nie dziwnego, że służba ruchu uważa próbę na liczbę kwasową za zabieg raczej dezorientujący.

W świetle tych doświadczeń wysunięto przypuszczenie, iż różnica w zachowaniu się różnych gatunków oleju w różnych warunkach eksploatacji jest sama przez się nieistotna, lecz że o korozjach i zaszlamowaniu decyduje istnienie lub brak w materiałach izolacyjnych transformatora syciw niedostatecznie spolimeryzowanych. Zagrożenie transformatora przez korozję i zaszlamowanie może ujawnić tylko rewizja wewnętrzna.

2) Próba oleju „na wytrzymałość elektryczną” jest próbą słuszną i potrzebną, lecz nie wystarczającą. Próba ta wykazuje zabrudzenie lub zawilgocenie oleju; dla oleju zupełnie czystego jest zbyt mało czuła. Znałe są przypadki, że transformator włączony pod napięcie przebił natychmiast, choć olej wykazywał aż 45 kV/3 mm zamiast wymaganych 30 kV/3 mm. Ten sam olej zagrzany w próbówce okazał się wyraźnie zawilgocony, gdyż słychać było w nim charakterystyczne trzaski. Pomiar wytrzymałości winien być więc bezwarunkowo uzupełniony próbą zagotowania w próbówce; sam przez się jest zwodniczy.

3) Przegląd metod profilaktycznych badania izolacji uzwojeń doprowadził do zwięzłego komentarza: „metody te są interesujące i winny być wypróbowane w różnych warunkach ruchu”. Do metod tych zaliczono: a) ocenę na podstawie wartości tg δ przy 20°C: do 3,5% — izolacja dobra; 3,5 — 5% wątpliwa; 5% — zła (dla 40°C wartości te podwajają się); b) ocenę na podstawie wzrostu pojemności uzwojeń przy podgrzewaniu (sam wzrost tg δ bez wzrostu pojemności świadczy o złym gatunku oleju); c) ocenę na podstawie zjawiska adsorpcji (wzrost wskazań miernika oporności izolacji między 30-tą a 60-tą sekundą pomiaru); za wartość krytyczną dla oceny zawilgocenia uzwojeń uznano 200 M Ω przy 40°C oraz 80 M Ω przy 20°C.

W dziedzinie zabezpieczeń zwrócono uwagę na rolę przekąznika gazowego. Nie należy przeceniać roli tego pożytecznego zresztą przekąznika. „Zmniejszenie kosztów naprawy” uzyskane przez wczesne wykrycie uszkodzenia przez przekąznik jest przeważnie fikcją. Koszt wysyłki transformatora do fabryki i wszelkie pośrednie koszty uszkodzenia są tak duże, że w ogólnym obrachunku ewentualność zmniejszenia zakresu naprawy nie ma zasadniczego znaczenia; wprost przeciwnie, nadmierna czułość przekąznika gazowego bywa szkodliwa, gdyż utrudnia wykrycie miejsca uszkodzenia i wprowadza zamęt. Zalecone jest uzupełnienie przekąznika przyrządem, który służy do wykrywania palności gazów

zebranych w przekątniku przez wykorzystanie zmiany oporności wystawionego na działanie tych gazów rozżarzonego drucika platynowego. Sygnał przekątnika gazowego winien być — nawet po stwierdzeniu palności gazów — tylko wezwaniem do pilnej obserwacji transformatora.

H. JOSSE. Nowe urządzenie do wypełniania transformatorów azotem przy pomocy zbiornika elastycznego [14].

Poduszka azotowa stanowi najskuteczniejszą ochronę oleju przed wpływem atmosfery i zabezpiecza go od starzenia. Jako element konstrukcyjny transformatora jest stosowana szeroko w Ameryce, w Europie natomiast jako ochrona od wpływów atmosferycznych stosowany jest powszechnie konserwator, niekiedy ponadto odwilżacz chemiczny.

Zaproponowano urządzenie, składające się z butli ze sprężonym azotem, kilku poduszek gumowych i rurociągu zbiorczego przyłączonego do konserwatora. Elastyczność poduszek jest wystarczająca, by wyrównać wahania poziomu oleju w konserwatorze. Ubytek azotu jest nieznaczny, uzupełnia się go z butli 2 razy do roku. Pomysł zrealizowano w wielu elektrowniach; urządzenie nadaje się do każdego transformatora, lecz opłaca się dopiero dla jednostek rzędu 5 MVA*).

M. PICHON. Czynniki wpływające na koszt wielkich transformatorów najwyższych napięć [15].

Konstruktor wielkich transformatorów ma do czynienia z wielką liczbą parametrów, których wzajemne powiązanie jest zawile, a nawet niekiedy wieloznaczne; a jednak ustalenie szeregu praw konstrukcyjnych, mniej lub więcej empirycznych, okazuje się możliwe.

Najbardziej znane jest tzw. „prawo wzrostu“ transformatorów. Jak wiadomo, zależność kosztu transformatora K od jego mocy P wyraża się — dla serii transformatorów geometrycznie podobnych — wzorem teore-

tycznym $K = \sqrt[4]{P^3}$; wzór ten daje zadowalające wyniki także w zastosowaniu do rzeczywistych serii transformatorów, lecz tylko dla zakresu mocy, przy którym nie ujawniają się jeszcze trudności gabarytowe. Dla wielkich transformatorów słuszną jest raczej empirycz-

nie stwierdzona zależność: $K = \sqrt[3]{P^2}$.

Zasadniczym punktem założeń konstrukcyjnych transformatora są napięcia znamionowe. W zakresie bardzo wysokich napięć wpływ wyboru górnego napięcia znamionowego jest ogromny: powyżej 150 kV można wręcz przyjąć, iż koszt transformatorów tej samej mocy jest wprost proporcjonalny do górnego napięcia znamionowego; dla niższych napięć znamionowych wpływ jest mniejszy i mniej uchwytny.

Znaczny wpływ na koszt transformatora mają wymagania stawiane jego izolacji; wpływ ten występuje szczególnie wyraźnie w zakresie najwyższych napięć znamionowych. Tak więc np. dla transformatora wielkiej mocy o górnym napięciu znamionowym $U_n = 220$ kV obniżenie napięcia probierczego do wartości $1,6 U_n$ (zamiast stosowanej w wielu krajach wartości $2 U_n$) pozwala na zmniejszenie kosztu transformatora o 20%. Obniżenie napięcia probierczego kosztem pewności ruchu transformatora jest, oczywiście, niedopuszczalne, można je więc zastosować tylko przy jednoczesnym obniżeniu w tym samym stosunku poziomu ochrony odgromników. Zastosowanie odgromników, zapewniających poziom ochrony o 20%, a nawet 25% niższy od poziomu stosowanego dla transformatorów, wytrzymujących napięcie probiercze $2 U_n$ możliwe jest tylko w sieciach ze skutecznie uziemionym punktem zerowym i to tylko w takich, w których nie występują znaczne przepięcia wewnętrzne o częstotliwości sieciowej. Obniżenie kosztu izolacji transformatora wiąże się więc ściśle z analizą przepięć i koordynacją izolacji sieci, w której ma być on zastosowany.

Skuteczne uziemienie punktu zerowego pozwala na dalsze obniżenie kosztu transformatora przez zastosowa-

nie stopniowania izolacji od zacisku wejściowego aż do punktu zerowego. Korzyści gospodarcze stopniowania izolacji zależą od wyboru konstrukcji uzwojeń; dla uzwojeń zwykłych, cewkowych, są one nikłe — najwyższej 4%; dla uzwojeń „niedrgających“ (tj. zaopatrzonych w ekrany lub inne środki wyrównujące początkowy udarowy rozkład napięcia) są one znacznie większe: stopniowanie izolacji głównej pozwala tam na znaczne zmniejszenie średniego odstępu między uzwojeniami, co z kolei — przy narzuconym z góry napięciu zwarcia — pozwala na podwyższenie liczby zwojów i zmniejszenie wymiarów głównych transformatora (ob. niżej). Największe oszczędności można uzyskać przez zastosowanie uzwojenia wielowarstwowego, albowiem pierwsza warstwa uzwojenia górnego napięcia może być bardzo słabo izolowana od dolnego napięcia, zmniejszenie więc średniego odstępu między uzwojeniami jest znaczne. Transformator na 50 MVA o przekładni 15/220 kV w wykonaniu wielowarstwowym kosztuje o 15% mniej niż transformator przeznaczony do sieci z nieuziemionym punktem zerowym.

Dalszym ważnym parametrem jest napięcie zwarcia. Indukcyjność zwarcia transformatora normalnej budowy określa się, jak wiadomo, wzorem

$$L = \text{const} \frac{D}{H} \left(d + \frac{g_1 + g_2}{3} \right) N^2,$$

gdzie D i H oznaczają średnią średnicę i wysokość uzwojenia, g_1 i g_2 — grubość zwojów, d — ich wzajemny odstęp, N — liczbę zwojów. W wielkich transformatorach wymiar H ograniczony jest gabarytem, wielkość d (częściowo też g_1 i g_2) — względami izolacyjnymi. Jedyną drogą do zmniejszenia L jest więc obniżenie wartości N , co pociąga za sobą zwiększenie średnicy rdzenia i z reguły prowadzi do cięższych i droższych transformatorów. Zmniejszanie prądu zwarcia sieci przez podwyższanie znamionowego napięcia zwarcia transformatorów jest więc zabiegiem kosztownym; w każdym razie nie należy przekraczać wartości 13%.

Zakres regulacji napięcia wywiera znaczny wpływ na cenę, wagę, a nawet na wybór konstrukcji transformatora. W transformatorach blokowych zakres regulacji prądnic $\pm a$ % zwiększa koszt transformatora mniej więcej o $2a$ % (w stosunku do transformatora nie przystosowanego do regulacji napięcia). W transformatorach sieciowych, regulowanych przy pomocy zwykłego przełącznika zaczepów w zakresie $\pm a$ %, koszt transformatora jest o $2a$ % większy od kosztu transformatora nieregulowanego, jeżeli regulacja odbywa się po stronie napięcia wyrównanego; jeżeli natomiast regulacja odbywa się po stronie napięcia niewyrównanego, zwiększenie kosztu wynosi tylko a %. Regulacja pod obciążeniem w przypadku wielkich transformatorów na bardzo wysokie napięcia jest niezmiernie kosztowna, często wręcz niewykonalna w zwykły sposób, tj. przy pomocy odczepów i przełącznika; w wielu przypadkach korzystniejszym, względnie jedynie możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie transformatorów dodatkowych, przetwarzających regulowany zakres napięć na zakres bardziej odpowiedni dla przełączników pod obciążeniem.

Stosowanie transformatorów trójuzwojowych daje znaczne korzyści gospodarcze: koszt transformatora trójuzwojowego odpowiada mniej więcej kosztowi transformatora dwuuzwojowego o mocy równej połowie sumy mocy wszystkich trzech uzwojeń i jednakowym górnym napięciu (stosując więc empiryczne prawo wzrostu, znajdziemy, iż zastąpienie dwu transformatorów równej mocy przez transformator trójuzwojowy daje oszczędność ok. 20%).

Uzwojenie kompensacyjne z niewyprowadzonymi końcami (niezbędne przy zastosowaniu kompensacji prądu pojemnościowego sieci) podnosi koszt transformatora o ok. 6%. Regulacja pod obciążeniem jest w transformatorach trójuzwojowych zagadnieniem bardzo trudnym; gdy w transformatorach dwuuzwojowych umieszczenie regulacji po stronie napięcia wyrównanego powoduje tylko zwiększenie kosztów, poza tym jednakże nie budzi zastrzeżeń (ob. wyżej), to w transformatorach trójuzwojowych jest ono w ogóle niedopuszczalne; zmiany przekładni przenoszą się bowiem w tym przypadku na trzecie uzwojenie, którego

*) Szkic tego urządzenia ob. w „Energetyce“, 1951, nr 6.

nie powinny dotyczyć. Regulacja musi się więc odbywać po stronie napięcia niewyrównanego, a zatem zazwyczaj w uzwojeniu pierwotnym. Ze względu na konieczność utrzymania napięcia zwarcia w dopuszczalnych granicach uzwojenie pierwotne musi być umieszczone pomiędzy uzwojeniem wtórnym i trójnym — wyprzewodzenie odczepów z tego uzwojenia jest więc bardzo niewygodne i zwiększa niepomiernie koszt transformatora.

Jeżeli zakres regulacji jest duży lub jeśli regulowane mają być dwa uzwojenia, należy się poważnie zastanowić, czy nie zastąpić transformatora trójuzwojeniowego przez dwa dwuuzwojeniowe.

Wybór systemu chłodzenia nie może być oparty wyłącznie na przesłankach gospodarczych. Najtańsze i bardzo skuteczne chłodzenie wodne bezpośrednio — przy pomocy węzowni umieszczonych wewnątrz kadzi — wyszło zupełnie z użycia, gdyż obniżało pewność ruchu transformatora. Chłodzenie podmuchowe daje oszczędność ok. 9% w porównaniu z naturalnym. Dla wielkich transformatorów stosuje się zazwyczaj sztuczny obieg oleju, przy czym chłodnice chłodzone są wodą; mimo niewątpliwiej wyższości technicznej chłodnic chłodzonych powietrzem są one jak dotychczas mało rozpowszechnione; koszt instalacji transformatora ze sztucznym obiegiem oleju z chłodnicami chłodzonymi powietrzem dorównuje bowiem kosztowi transformatora z chłodzeniem naturalnym; natomiast przy wodnym chłodzeniu chłodnic uzyskuje się oszczędność rzędu 17%. Istnieje sposób uzyskania dalszych, bardzo poważnych oszczędności: zastosowanie sztucznego obiegu oleju wewnątrz kadzi; sposób ten jest przedmiotem intensywnych studiów, nie znalazł jednak jak dotąd szerszego zastosowania.

Wybór kształtu obwodu magnetycznego nie nastrocza większych trudności: konstrukcja rdzeniowa jest prawie zawsze tańsza i lżejsza od płaszczyznowej, głównie ze względu na znacznie mniejszą wagę żelaza czynnego (różnice wagi między obu konstrukcjami dochodzą do 26%); ponadto izolacja transformatorów płaszczyznowych jest droższa i na ogół mniej pewna niż rdzeniowych. Natomiast konstrukcje płaszczyznowe odznaczają się mniejszą nieco wagą miedzi (gęstość prądu może być o 15% większa wobec lepszego chłodzenia) oraz większą wytrzymałością mechaniczną przy zwiarcach. Ogólnie biorąc, konstrukcję rdzeniową można uważać za normalną, płaszczyznową — za wyjątkową.

Wybór materiałów czynnych ogranicza się na ogół do wyboru izolacji. Przejście z blachy 1,3 W/kg na blachę o stratności 0,6 W/kg obniża wagę transformatora o 8—10%, straty w żelazie o 40%, w miedzi o 4%, lecz przy obecnej cenie blach „0,6” w Europie jeszcze się nie kalkuluje. Zastosowanie izolacji „miękkiej”, złożonej wyłącznie z papieru, prowadzi (dzięki zmniejszeniu odstępów między uzwojeniami) do konstrukcji o 10% lżejszych niż przy zastosowaniu przegród w oleju wykonanych z izolacji twardej, np. papieru bakielizowanego. Dokładne zbadanie rozkładu napięć udarowych w transformatorze oraz doskonałe opanowanie procesów technologicznych, zwłaszcza suszenia i nasykania, pozwala na wydatne zmniejszenie wymiarów izolacji i oszczędne rozłożenie jej; korzyści pośrednie osiągnięte przez zmniejszenie odstępów przewyższają przy tym zazwyczaj bezpośrednią oszczędność na materiale izolacyjnym. Dla przykładu: przez zmodernizowanie układu izolacyjnego transformatora na 40 MVA, 15/220 kV uzyskano 20% obniżki kosztów własnych bez zmiany danych znamionowych i gwarancji.

Do zagadnień materiałowych należy też zagadnienie zastąpienia miedzi przez aluminium. Rzecz ciekawa, iż właśnie w dziedzinie transformatorów najwyższych napięć (np. 220 kV) aluminium i miedź okazują się materiałami prawie równorzędnymi: wypełnienie okna jest bowiem tak małe, iż zwiększenie przekroju przewodów nieznacznie tylko wpływa na wymiary transformatora. Dla napięcia 110 kV transformator z uzwojeniem aluminium jest cięższy o 5% i posiada 10—15% większe straty niż transformator z uzwojeniem miedzianym.

Zagadnienie transportu wyciska swe piętno na wymiarach transformatorów wielkiej mocy. Nie tylko ograniczenie wymiaru pionowego (we Francji — do 4,1 m, przy wysokości ładowania 0,2 m nad główką szy-

ny), lecz i ograniczenie szerokości (2,6 m) dają się dotkliwie we znaki. Ograniczenie szerokości transformatora jest szczególnie niekorzystne ze względu na regulator napięcia: nie można go umieścić z boku, wzdłuż transformatora, lecz tylko z przodu lub z tyłu, co komplikuje połączenia.

Spośród trzech znanych dziś sposobów pokonywania trudności gabarytowych żaden nie jest bez wad.

a) Rozłożenie zespołu trójfazowego na 3 jednostki jednofazowe jest sposobem najprostszym i najczęściej stosowanym, lecz kosztownym. Przy jednakowym przekroju i wysokości kolumny moc transformatora jednofazowego wynosi $\frac{2}{3}$ mocy transformatora trójfazowego, zespół 3 transformatorów posiada więc moc dwukrotnie większą niż transformator trójfazowy.

b) Zastosowanie 5-słupowego obwodu magnetycznego pozwala na obniżenie jarzm; zysk na wysokości rdzenia wynosi ok. 0,4 m, lecz koszt transformatora zwiększa się o 3—4% w stosunku do transformatora 3-słupowego.

c) Zastosowanie uzwojeń „podwójnie koncentrycznych” (tj. rozdzielenie uzwojenia dolnego napięcia na 2 części, z których jedna mieści się wewnątrz, druga zzewnątrz uzwojenia górnego napięcia) pozwala na 2—3-krotne zmniejszenie napięcia zwarcia przy tej samej liczbie zwojów, a więc przy zadanym napięciu zwarcia pozwala na znaczne zmniejszenie wymiarów; waga transformatora zmniejsza się o ok. 10%, cena jednakże pozostaje bez zmiany (wskutek wzrostu kosztu izolacji). Uzwojenie podwójnie koncentryczne posiada bardzo niekorzystny początkowy udarowy rozkład napięcia, bardzo więc trudno uodpornić je na przepięcia atmosferyczne.

We Francji dąży się raczej do rozwiązań prostych; niezbyt chętnie stosuje się „giganty” trójfazowe, wielkie transformatory z dużym zakresem regulacji pod obciążeniem itd. Jako przykład służyć może rozwiązanie przyjęte dla transformatorów sprzęgających sieci państwowe na 220 kV i 150 kV. Moc zespołu wynosi 100 MVA, zakres regulacji pod obciążeniem $\pm 15\%$. Zastosowano zespół składający się z 6 jednostek: z 3 jednofazowych transformatorów dwuuzwojeniowych po 33 MVA każdy oraz z 3 transformatorów regulacyjnych po stronie 150 kV.

SPIS REFERATÓW

- [1] A. T. Chadwick, J. M. Ferguson, D. H. Ryder, G. F. Stearn. Nouveau type d'enroulement pour transformateurs, améliorant la répartition des tensions de choc (ref. 107).
- [2] J. R. Meador. Transformateurs pour transport d'énergie à haute tension (ref. 134).
- [3] B. Heller, J. Hlavka, A. Veverka. Les phénomènes de choc dans les transformateurs — enroulements non oscillants pour transformateurs (ref. 143).
- [4] H. Chevalier, H. Demoulin. Comportement des transformateurs de grande puissance vis-à-vis des sollicitations thermiques et diélectriques (ref. 118).
- [5] C. H. Degoumois, W. Zoller. Les contraintes dues aux ondes de choc dans les transformateurs modernes (ref. 124).
- [6] C. L. Rossier. Sollicitations diélectriques de l'appareillage des transformateurs à gradins (ref. 115).
- [7] L. Anglois-Berthelot, Neuve-Église, Kohn, Renaudin. Contribution expérimentale à l'étude de l'isolation des transformateurs (ref. 144).
- [8] M. Wellauer. Détection des défauts dans les transformateurs au cours des essais de choc (ref. 114).
- [9] A. Eschlimann. Décèlement des courts-circuits partiels dans les enroulements de transformateurs, soumis à des essais de choc (ref. 112).
- [10] B. Heller, J. Hlavka, A. Veverka. Détermination des courts-circuits entre spires provoqués dans les transformateurs par le choc d'une onde à front raide (ref. 142).
- [11] August Hochrainer. Répartition de la tension de choc dans les enroulements des transformateurs pour une forme quelconque des trains d'ondes qui s'y accumulent, en particulier dans le cas d'une pente initiale de valeur finie (ref. 137).
- [12] F. Descans, G. Dufour. Influence de la raideur du front de l'onde et de la coupure de l'onde sur la sollicitation des transformateurs aux ondes de choc (ref. 120).
- [13] E. T. Norris. Le fonctionnement des transformateurs de puissance (ref. 101).
- [14] H. Josse. Un nouveau dispositif de mise sous azote des transformateurs par réservoir déformable (ref. 141).
- [15] M. Pichon. Paramètres influençant les prix des grands transformateurs à haute tension (ref. 126).

MGR INŻ. O. HOŁOWNIA

Oszczędzanie energii elektrycznej w zakładach wytwórczych radzieckich

621.311.16.003:338,4(47)

Treść. Drogi postępowania dla osiągnięcia oszczędności w zużyciu energii elektrycznej w zakładach wytwórczych. Sposoby oszczędzania energii przyjęte w przemyśle radzieckim. Przykłady osiągnięć na tym polu w dwu wielkich zakładach radzieckich — w fabryce łożysk kulkowych i w fabryce samochodów. Schemat postępowania dla uzyskania największej oszczędności energii elektrycznej.

Экономия электрической энергии на советских заводах. Пути, которыми можно сберечь электрическую энергию в производственных процессах. Способы экономии электрической энергии, принятые в советской промышленности. Примеры достижений в этой области на подшипниковом и на автомобильном заводе. Схема организации для получения наилучших результатов.

Saving electrical energy in Soviet industrial enterprises. The means of effecting savings in electrical energy industrial enterprises. Methods adopted in Soviet industries. Instances of achievements in this direction at two large Soviet industrial enterprises — a ball bearings factory and automobile factory. Outline of procedure for effecting maximum savings in electrical energy.

1. Wstęp.

W gospodarce socjalistycznej obowiązkiem każdego pracownika, jako współgospodarza swojego zakładu pracy, jest dbanie o prawidłową eksploatację środków produkcji, wśród których jednym z najważniejszych jest energia elektryczna.

Szybki rozwój przemysłu w Polsce Ludowej pociąga za sobą olbrzymi wzrost zapotrzebowania energii elektrycznej. Dla pokrycia go konieczna jest budowa nowych elektrowni wielkiej mocy. Uruchamianie takich elektrowni jest w toku. W Planie 6-letnim przewidziano również podjęcie w Polsce produkcji turbin i prądnic wielkich mocy.

W chwili obecnej produkcja energii elektrycznej jednak z trudem nadąża za potrzebami przemysłu. To jest pierwszy powód, dla którego każdy zakład przemysłowy w Polsce powinien postawić sobie za zadanie jak najdalej idące zmniejszenie zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji.

Koszt energii elektrycznej, używanej w zakładach przemysłowych do napędu obrabiarek i urządzeń, przetwarzanej na energię cieplną w komorach suszarnianych i piecach do obróbki cieplnej i nagrzewu, używanej w galwanizerniach, laboratoriach itd., stanowi poważny procent ogólnego kosztu produkcji. Przeto od ilości energii elektrycznej, używanej na jednostkę produkcji, w dużym stopniu zależy koszt produkcji. I to jest drugi powód, dla którego zmniejszenie zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji powinno stanowić specjalną troskę działu głównego energetyka każdego zakładu wytwórczego w Polsce.

W artykule niniejszym zebrano z pism radzieckich szereg danych, wskazujących sposoby stosowane w przodującym przemyśle radzieckim dla uzyskania oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, jak również podano kilka wskazówek teoretycznych, dotyczących oszczędnego gospodarowania energią elektryczną w zakładach przemysłowych.

Artykuł nie wyczerpuje całości zagadnienia. Jego intencją jest zwrócenie uwagi na konieczność i możliwości oszczędzania energii elektrycznej w zakładach przemysłowych, podanie metod postępowania przy rozwiązywaniu zagadnienia, pobudzenie energetyków, pracujących w przemyśle, do jak najbardziej wyteźonej pracy nad tym zagadnieniem.

cej, pochłaniającej duże ilości energii elektrycznej; stosowanie we wszystkich możliwych przypadkach próżni przy nagrzewie elektrycznym, co pozwala na całkowite uniknięcie strat cieplnych wskutek unoszenia i poważne zmniejszenie strat przez promieniowanie; właściwe wyzyskanie obrabiarek i narzędzi; odpowiedni dobór narzędzi i materiałów itp.

Podane poniżej przykłady prac, wykonanych przez Pierwszą Państwową Wytwórnię Łożysk im. L. Kaganowicza i Fabrykę Samochodów ZIS, oraz wyniki badań, wykonanych w zakładach przemysłowych radzieckich przez „Energolegprom”, jak i przedstawiony wpływ zmiany parametrów obróbki wiórowej na zużycie energii elektrycznej, mogą służyć jako wzory przy podejmowaniu akcji oszczędzania energii elektrycznej, a wyniki podanych prac i badań stać się powinny bodźcem do rozpoczęcia takiej akcji na wielką skalę w przemyśle po- skim.

2. Ważniejsze prace wykonane w Pierwszej Państwowej Wytwórni Łożysk im. L. Kaganowicza dla oszczędnego zużywania energii elektrycznej.

W zakładzie tym drogą usprawnień technologicznych i organizacyjnych oraz zmian w procesie produkcyjnym zmniejszono zużycie energii elektrycznej w 1951 roku o 7 838 000 kWh. Osiągnięcie takiego wyniku jest zasługą grupy fabrycznych energetyków, technologów, metalurgów i mechaników.

Opracowanie zagadnienia rozpoczęto od sporządzenia szczegółowego bilansu energetycznego zakładu i na podstawie tego bilansu ustalono, że główną część energii elektrycznej pochłaniają następujące czynności:

- obróbka pierścieni łożyskowych na tokarkach,
- obróbka cieplna pierścieni (hartowanie i odpuszczanie),
- prace szlifierskie,
- produkcja sprężonego powietrza.

Badaniom nad możliwością zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na wymienione czynności poświęcono główną uwagę i w wyniku wprowadzono następujące zmiany w technologii produkcji.

1) Zastosowano rozwałcowywanie pierścieni łożyskowych na gorąco na walcarkach. Pierścienie po odciekaniu wstępnym poddawane są obecnie walcowaniu, dzięki czemu otrzymuje się mniejsze naddatki do obróbki wiórowej, obniża się o ok. 33% pracę na obróbkę kuzienną, a o 50% na obróbkę wiórową przy obniżeniu naddatków

Tablica I. Parametry obróbki

Obrabiarki	Param. poprzednio stosowane			Param. szybkościowe — wprowadzone		
	szybkość skrawania (m/min.)	posuw (mm/obr.)	grubość wióra (mm)	szybkość skrawania (m/min.)	posuw (mm/obr.)	grubość wióra (mm)
Półautomaty jednowrzecionowe	38	0,17	2,0	85	0,26	2,0
Tokarki rewolwerowe	70	0,22	2,2	112	0,39	2,2
Półautomaty wielowrzecionowe	26	0,17	1,8	31	0,19	1,8
Automaty jednowrzecionowe	20	0,003	—	60	0,006	—
Karuzelówki	25	0,20	4,0	45	0,80	4,0

Do zamierzonego celu można i należy iść jednocześnie wieloma drogami.

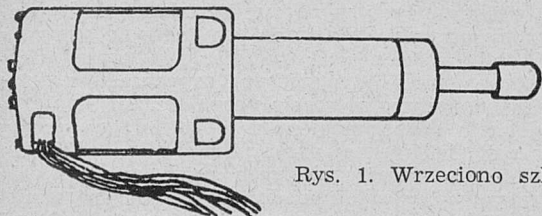
Najważniejsze z nich są: usprawnienia organizacyjne; ulepszenie procesów produkcyjnych; stosowanie obróbki szybkościowej i innych nowych metod obróbki; wykonywanie odpowiedniej obróbki wstępnej, która umożliwia zmniejszenie do minimum obróbki wykańczają-

materiałowych o 20%. Szczególnie skuteczne okazało się zastosowanie rozwałcowywania pierścieni łożyskowych o dużych wymiarach, poddawanych uprzednio zwykłemu kuciu.

Walcowanie profilowe stożkowych pierścieni zewnętrznych obniża średnio naddatki materiałowe dla obróbki wiórowej o 30%.

Zastosowanie zwykłego walcowania pierścieni dało zakładowi oszczędność w zużyciu energii elektrycznej równą 947 000 kWh rocznie, a zastosowanie walcowania profilowego zaoszczędziło 251 000 kWh/rok.

2) Następnie zastosowano szybkościową obróbkę wiórową części łożyskowych. Tabl. I wskazuje wprowadzone zmiany parametrów obróbki. Jak wynika z tablicy,

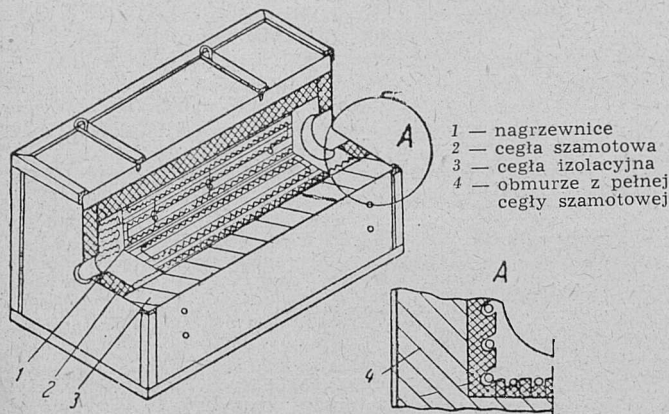


Rys. 1. Wrzeciono szlifierskie

szybkość skrawania podwyższono o 74 — 124% przy jednoczesnym zwiększeniu posuwów o 53 — 77%. Zastosowanie obróbki szybkościowej zwiększyło wydajność tokarek jak następuje: półautomatów jednowrzecionowych o 35%, rewolwerów o 50%, półautomatów wielowrzecionowych o 30%, tokarek jednowrzecionowych o 40%.

Zwiększenie wydajności obrabiarek obniżyło zużycie energii elektrycznej. Obliczenia wykazały, że przy zwiększeniu wydajności obrabiarek o 35% zużycie energii elektrycznej spada o 10%.

3) Zastosowano wrzeciona szlifierskie z wmontowanymi w nie silnikami elektrycznymi (rys. 1) zamiast dotychczas używanych szlifierek do szlifowania otworów z pasowym napędem tarczy. Używane obecnie wrzeciona szlifierskie mają trójfazowe silniki asynchroniczne na prąd podwyższonej częstotliwości (300 okr./sek.) o napięciu 220 V, o mocy 2,2 kW i $n = 18\,000$ obr./min. Na wale tego silnika osadzona jest tarcza szlifierska. Do zasilania tych silników prądem o wyższej częstotliwości za-



Rys. 2. Elektryczny piec muflowy do hartowania kulek i rolek

Nagrzewnica dwustrefowa: moc ogólna $P = 46$ kW; napięcie $U = 220$ V. Moc pierwszej strefy — 30 kW, moc drugiej strefy — 16 kW. Nagrzewnice w obu strefach połączone w gwiazdę

stosowano prądnice, z których każda obsługuje 7 do 8 szlifierek. Dzięki zmianie typu szlifierek zwiększono średnią szybkość szlifowania z 40 m/s do 50 m/s, uzyskano zwiększenie wydajności oddziały o 15 do 20% i obniżono zużycie energii elektrycznej na szlifowanie wewnętrznych pierścieni łożyskowych o 8%, a jednocześnie poprawiono jakość powierzchni szlifowanych dzięki usunięciu drgań wrzeciona szlifierki, co daje zmniejszenie braków z 5 — 6% do 1 — 2% i zapewnienie dłuższej pracy szlifierek, jako też zmniejszenie kosztów eksploatacyjne dzięki usunięciu przekładni pasowych.

4) Zmodernizowano piece muflowe (rys. 2) przez wprowadzenie następujących zmian w ich budowie:

a) ułożono zewnętrzną cegły izolacyjne w szachownicę, tworząc w ten sposób między nimi powietrzne warstwy izolacyjne (rys. 3); dało to zmniejszenie strat ciepła przez promieniowanie o 20 do 25%;

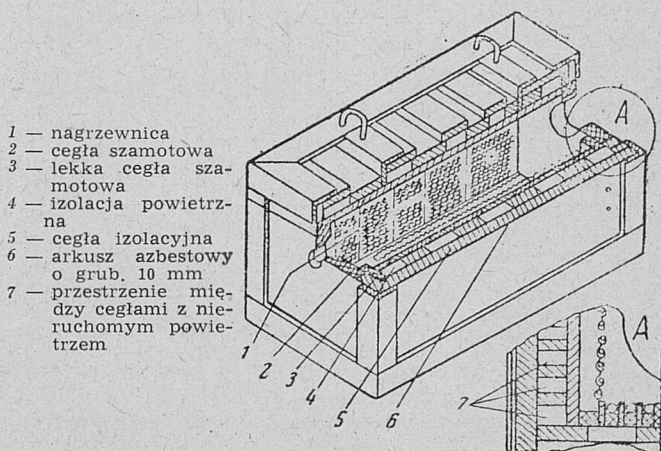
b) spiralne nagrzewnice oporowe, umieszczane dotychczas w szczelinach między cegłami o specjalnym kształcie, nawinięto na rurki szamotowe przymocowane do cegieł, jak wskazuje rys. 3.

W ten sposób znaczną część ciepła, która nagrzewała bezużytecznie cegły obmurza, wyzyskano do ogrzania

wnętrza pieca. Dzięki temu zmniejszono jednocześnie szybkość zużycia nagrzewnic, które — znajdując się w szczelinach między cegłami — ulegały przegrzaniu.

Wydajność nagrzewnic zwiększono o 60 do 65%. Sumarycznym wynikiem wprowadzonych zmian konstrukcyjnych w piecach elektrycznych było zmniejszenie zużycia w nich energii elektrycznej o 36,6%.

5) Wprowadzono odbiór sprężonego powietrza o wysokim ciśnieniu przy wysokiej temperaturze. Rezygnując z chłodzenia sprężonego powietrza, wymontowano z przewodów chłodnicę, co samo już dało oszczędność w zużyciu energii elektrycznej, gdyż chłodnica w formie węzownicy stawiała opory przepływowi, które pochłaniały 1% mocy potrzebnej do napędu sprężarki. Przy pracy sprężarki w ciągu 600 godzin miesięcz-



Rys. 3. Elektryczny piec muflowy do hartowania kulek i rolek konstrukcji I. P. W. Łożysk

Nagrzewnica dwustrefowa. Ogólna moc 60 kW napięcie — 380 V, moc pierwszej strefy — 42 kW, moc drugiej strefy — 18 kW. Połączenie nagrzewnic w gwiazdę

nie uzyskano w zakładzie oszczędność, wynoszącą $600 \cdot 0,01 \cdot 1800 = 10\,800$ kWh na miesiąc. Odrzucenie chłodnicę podwyższyło średnią temperaturę sprężonego powietrza na odbiorze w kuźni do 70°C, tj. o 35°C, a więc zużycie powietrza zmniejszyło się według wzoru: $\Delta Q = Q \cdot \Delta t \cdot 1/273$, tj. o $\Delta Q = 10\,000 \cdot 35 \cdot 1/273 \sim 1280$ m³/h (tu 10 000 oznacza rozchód sprężonego powietrza w kuźni w m³/h).

Ogólne zmniejszenie zużycia sprężonego powietrza w zakładzie wyniosło 922 000 m³ miesięcznie i dało obniżenie zużycia energii elektrycznej o 107 000 kWh na miesiąc. Do tych zysków dodać należy zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o 84 000 kWh na miesiąc dzięki usunięciu pompy, która dostarczała wodę chłodzącą powietrze.

Nie poprzestając na tych osiągnięciach energetycy Pierwszej Państwowej Wytwórni Łożysk w celu dalszego zmniejszenia zużycia energii elektrycznej wprowadzili system odłączania niedociążonych transformatorów.

Obciążenie niedociążonych transformatorów przerzuca się po stronie niskiego napięcia na inne transformatory. Nie zawsze jednak daje to pożądany skutek. Bywają wypadki, kiedy straty w przewodach dostarczających energię są po odłączeniu niedociążonych transformatorów tak duże, że w rezultacie podwyższa się ogólne zużycie energii. Szczegółowe badania dokonane w zakładzie wykazały, że wyłączanie transformatorów obciążonych powyżej 26% mocy znamionowej jest nieekonomiczne. W rezultacie przeprowadzonej analizy tego zagadnienia ustalono podany niżej wzór, na którego podstawie można szybko i bezbłędnie ocenić opłacalność odłączenia transformatorów w określonym układzie obciążenia:

$$S_{ek} = S_j \frac{I_{wył}^2 \cdot K^2 \cdot R}{P} - 2I_1 \cdot I_{wył} \cdot \frac{S_m}{I_{zn}^2} \text{ [kW]},$$

gdzie oznaczają:

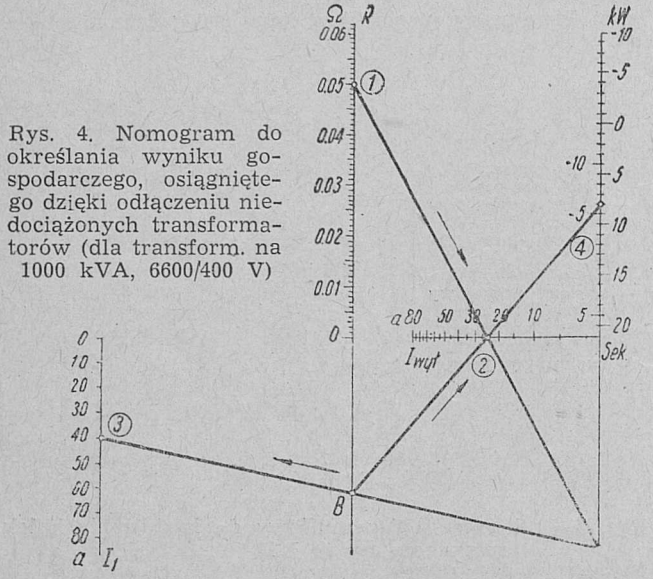
S_{ek} — zmniejszenie (lub zwiększenie) strat dzięki wyłączeniu transformatora określonej mocy (kW),

S_j — straty energii przy biegu jałowym transformatora odłączonego (kW),

$I_{wył}$ — obciążenie odłączonego transformatora (A),

- K — przekładnia odłączonego transformatora,
- R — opór przewodów wszystkich 3 faz, przesyłających obciążenie od odłączenia transformatora (Ω),
- P — moc transformatora (kVA),
- I_1 — łączne obciążenie transformatorów pozostających w pracy (A),
- S — straty w miedzi odłączonego transformatora (kW),
- I_{zn} — znamionowe obciążenie odłączonego transformatora (A).

Na podstawie tego wzoru ułożono nomogramy, które w prosty sposób wykazują celowość wyłączenia transformatora. Nomogram, przedstawiony na rys. 4, sporządzony został dla transformatora o mocy 1000 kVA i przekładni



6600/400 V. Można według tego wzoru sporządzić nomogramy, dostosowane do charakterystyk za instalowanych transformatorów i istniejącego układu obciążeń w każdym zakładzie. Na linii pionowej z lewej strony nomogramu odłożony jest odpowiedniej skali sumaryczny prąd pozostawionych transformatorów I_1 , na środkowej — opór przewodów R, na prawej — zmniejszenie lub zwiększenie strat mocy (w kW). Na linii poziomej odłożony jest prąd transformatora wyłączanego I_{wt} (w A). Przykład korzystania z nomogramu: należy przekonać się, czy celowe jest odłączanie transformatora na 1000 kVA, 6600/400 V, pracującego pod obciążeniem, które powoduje przepływ prądu 25 A. Obciążenie jego ma przejąć transformator pracujący pod obciążeniem, powodującym przepływ prądu 40 A. Opór przewodów $R = 0,05 \Omega$. Z punktu, odpowiadającego oporowi 0,05 Ω na środkowej linii pionowej, przeprowadzamy prostą przez punkt 25 A na linii poziomej (I_{wt}) aż do przecięcia z pionową S_k . Z tego punktu przecięcia prowadzimy prostą do punktu 40 A na pionowej I_1 . Z punktu przecięcia B tej ostatniej linii ze środkową pionową R prowadzimy prostą przez punkt 25 A na linii poziomej. Przecięcie tej prostej z pionową S_k w punkcie 6—8 wskazuje zysk mocy czynnej dzięki zmniejszeniu strat mocy pozornej o 8 kVA i zmniejszenie strat mocy czynnej o 6 kW.

Dla ustalenia celowości odłączania niedociążonych transformatorów można również posługiwać się wykresami podanymi w rozdz. V Instrukcji o eksploatacji transformatorów energetycznych, M.E.S., 1946 r. („Instrukcja po eksploatacji transformatorów”).

3. Ważniejsze prace wykonane w Fabryce Samochodów im. Stalina „ZIS” w Moskwie dla zaoszczędzenia energii elektrycznej.

Dla zmniejszenia zużycia energii elektrycznej wykonano, jako pracę wstępną, analizę zapotrzebowania energii przez poszczególne wydziały i zestawiono bilans energetyczny. Następnie zbadano możliwości zaoszczędzenia energii elektrycznej zużywanej przez wydziały lub urządzenia, stanowiące najważniejsze pozycje w bilansie energetycznym, a więc mające zasadniczy wpływ na ogólne zużycie energii elektrycznej przez zakład. Po ustaleniu przez kierownictwo zakładu metod postępowania, mających na celu zaoszczędzenie energii elektrycznej, wpro-

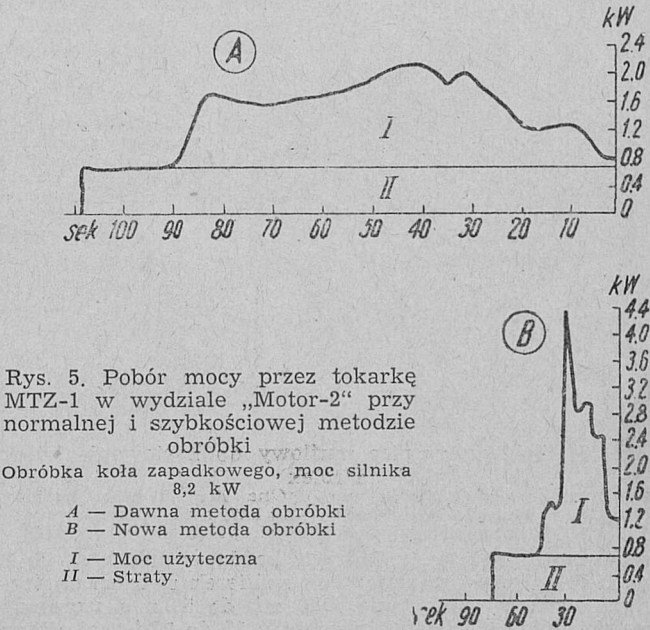
wadzenie ich w życie i dopilnowanie stosowania ich w codziennej pracy zakładu polecono działowi głównego energetyka.

Dla określenia rzeczywistych wyników ekonomicznych w gospodarce energetycznej zakładu prowadzono badania i pomiary laboratoryjne przed wprowadzeniem i po wprowadzeniu w pracy zakładu zmian, mających spowodować uzyskanie tych wyników. W toku badań ustalono, że pierwszorzędne znaczenie ma kontrola stosowania zaleceń, wydanych w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej, przez odpowiednich pracowników działu głównego energetyka w czasie nocnej zmiany.

Na podstawie badań ustalono i wprowadzono normy zużycia energii elektrycznej przez poszczególne odbiorniki w zakładzie. Zastosowanie tych norm zmusiło cały personel kierowniczy zakładu do zajęcia się zagadnieniem oszczędnego zużycia energii elektrycznej. Odąd do kosztów produkcji wlicza się zużycie energii elektrycznej według ustalonych norm. Przekroczenie tych norm podwyższa koszt produkcji, a więc obniża wskaźnik gospodarczo-ekonomiczny wydziału produkcyjnego. Specjalne znaczenie ma to dla wydziałów pobierających duże ilości energii elektrycznej. Np. w wydziale odlewniczym nr 2 fabryki ZIS zużycie energii elektrycznej stanowi 25% ogólnego kosztu produkcji. Dlatego też utrzymanie się w granicach preliminowanych kosztów własnych produkcji zależy tam w dużym stopniu od oszczędnej gospodarki energetycznej.

W związku z tym wprowadzono w zakładzie system premiowania — w zależności od ilości zużywanej energii elektrycznej — pracowników działu głównego energetyka i pracowników obsługujących urządzenia, które pobierają duże ilości prądu, jak piece elektryczne do topienia, piece hartownicze, suszarnie itp.

Premia zależy od rzeczywistych wskaźników każdej zmiany. Stała kontrola zużycia prądu i opisany system



premiowania stanowią poważne czynniki w walce o oszczędną gospodarkę energetyczną zakładu. Wielkie znaczenie ma również codzienna analiza zużycia energii elektrycznej, która, dając określenie przyczyn podwyższenia zużycia, pozwala natychmiast podjąć środki do ich usunięcia, a więc utrzymywać osiągnięte obniżenie zużycia prądu na stałym poziomie.

W fabryce ZIS szeroko rozpowszechniono metodę wielostronnego oszczędzania według Lidii Korabielnikowej. Wprowadzono w życie jej hasło: „pracować, zużywając możliwie najmniejsze ilości metalu, energii elektrycznej i paliwa”. Uzyskano dzięki temu poważne wyniki. Np. wydział produkcji tylnych mostów zaoszczędził w ciągu 1 miesiąca blisko 17%, a wydział podwozi ponad 3% preliminowanej ilości energii elektrycznej.

Sporządzenie i analiza bilansu energetycznego, wprowadzenie norm i stała kontrola zużycia energii elektrycznej, nowe metody pracy i nowy system premiowania za wykonaną pracę dały pożądany dla zakładu rezultat w

postaci wielkich oszczędności w zużyciu energii elektrycznej dzięki jednoczesnemu wprowadzeniu obróbki szybkościowej, daleko idących zmian w procesach technologicznych i szeregu doniosłych usprawnień technicznych w pracy zakładu.

Wprowadzenie na szeroką skalę obróbki szybkościowej dało dużą oszczędność w zużyciu energii elektrycznej przez zakład. Rys. 5 podaje rezultaty wprowadzenia szybkościowych metod obróbki w wydziale „Motor-2” fabryki ZIS przy produkcji kół zamachowych. Tabl. II

Tablica II. Oszczędności przy obróbce kół zamachowych

Wielkości charakterystyczne	Dotychczasowa metoda obróbki	Obróbka szybkościowa	Zysk na obróbce (operacja nr 2) 1 sztuki
Szybkość obróbki (m/min.)	19	63	—
Obroty wrzeciona (obr./min.)	100	33	—
Czas trwania obróbki (sek.)	110	75	35
Średnia potrzebna moc (kW)	1,4	1,6	—
Zużycie energii elektrycznej:			
energia użyteczna (kWs)	66	64	2
straty energii (kWs)	88	56	32
Razem (kWs)	154	120	34

zawiera dane wskazujące, że na wykonanie operacji nr 2 przy obróbce jednego koła zamachowego zastosowanie metody szybkościowej daje oszczędność w zużyciu energii elektrycznej równą 34 kWs na sztukę.

W wydziale produkcji skrzynek przekładniowych fabryki ZIS poprzednio obróbka kół zębatych sprężarki (operacja 4) wykonywana była na 2 obrabiarkach ZRS-116 i składała się z 2 zabiegów — skrawania zgrubnego i skrawania wykończającego (rys. 6a i 6b). Po wprowadzeniu obróbki szybkościowej obie operacje wykonywane są na jednej obrabiarce (rys. 6c). Tabl. III wskazuje, że

Tablica III. Oszczędności przy obróbce kół zębatych

Wielkości charakterystyczne	Poprzednia metoda obróbki			Obróbka szybkościowa	Zysk na obróbce 1 sztuki
	obróbka zgrubna	obróbka wykończ.	razem		
Szybkość skrawania (m/min.)	28	28	—	52	—
Obroty wrzeciona (obr./min.)	50	52	—	95	—
Czas obróbki (s)	165	192	357	114	243
Średnia potrzebna moc (kW)	2,4	1,3	—	3,8	—
Zużycie energii elektrycznej:					
energia użyteczna (kWs)	132	135	267	286	—19
straty energii (kWs)	264	115	379	131	248
Ogólne zużycie energii (kWs)	396	250	646	417	229

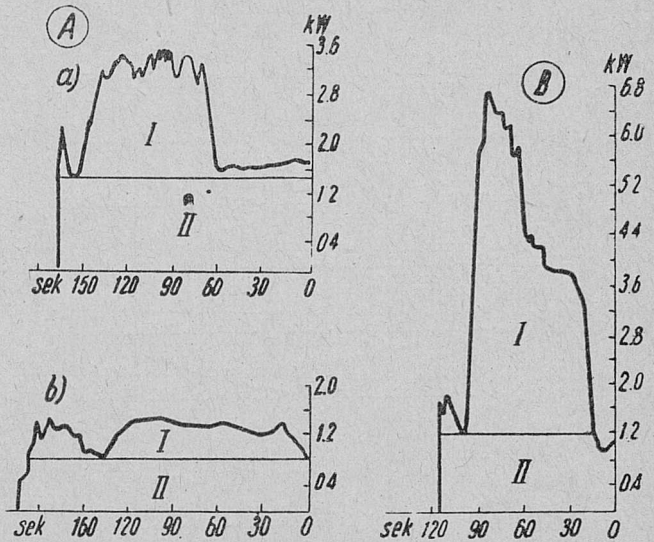
obróbka szybkościowa i zmiana sposobu obróbki (oba zabiegi na jednej obrabiarce) dały oszczędność w zużyciu energii elektrycznej równą 229 kWs na sztukę. Badania laboratoryjne wykazały duże obniżki w zużyciu energii elektrycznej na wszystkich wydziałach zakładu dzięki wprowadzeniu szybkościowych metod obróbki.

Doniosłe wyniki oszczędnościowe osiągnięto w gospodarce energetycznej również dzięki zmianom, wprowadzonym w technologii produkcji na podstawie uprzednio dokonanych badań. Oto przykłady.

1) W wytapialni wydziału odlewniczego nr 3 fabryki ZIS utworzono próbne stanowisko wzorowego zużycia energii elektrycznej przez piec DP-1,5. Podstawowymi czynnościami na stanowisku badawczym były: normowanie pracy pieca, rejestrowanie zużycia energii elektrycznej i studiowanie zmiany współczynników, sprzyjającej obniżeniu zużycia energii elektrycznej na 1 tonę wylotu. W wyniku wykonanych prób — po usprawnieniu organizacji pracy i ustaleniu najkorzystniejszego prze-

biegu wytopu — uzyskano zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o ok. 25%.

2) W odlewni nr 3 fabryki ZIS wytop metalu do produkcji pierścieni tłokowych prowadzony był w 2 piecach: wysokiej częstotliwości i łukowym. Obliczenia wykonane przez pracowników działu głównego energetyka



Rys. 6. Pobór mocy przy obróbce koła zębatego sprężarki

a — Obróbka zgrubna na tokarce z silnikiem o mocy 10,5 kW
b — Obróbka wykończająca na tokarce z silnikiem o mocy 3,7 kW
A — Dawna metoda obróbki I — Moc użyteczna
B — Nowa metoda obróbki II — Straty

wykazały, że przez zastosowanie niewielkich zmian w procesie technologicznym i skrócenie czasu topienia wylotu metalu, potrzebny do wykonania programu produkcyjnego, może być uzyskany przy użyciu jednego pieca zamiast dwóch. W krótkim czasie praktyka potwierdziła obliczenia i odtąd wylot metalu dla pełnej produkcji pierścieni tłokowych prowadzony jest w jednym piecu

łukowym. W wyniku uzyskano oszczędność w zużyciu energii elektrycznej wynoszącą miesięcznie 38 000 do 40 000 kWh.

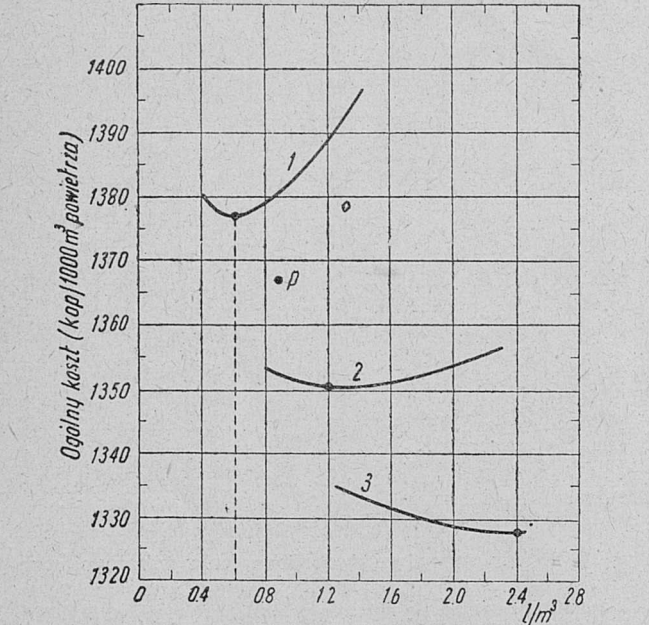
3) W oddziale wyżarzania żeliwa ciągłego fabryki ZIS pracują piece elektryczne typu elewatorowego. Na podstawie obliczeń ustalono, że po usprawnieniu pracy załogi i zastosowaniu metody jednoczesnego ładowania części dużych z małymi, co daje większe wyzyskanie przestrzeni użytkowej pieca, można znacznie skrócić postoje pieców, zwiększyć dzięki temu ich wydajność i wykonać program produkcyjny przy zmniejszeniu ich liczby o 25%. Ten przewidziany wynik uzyskano w wyznaczonym przez kierownictwo fabryki terminie.

4) Zespoły wysokiej częstotliwości do hartowania zużywają duże ilości energii elektrycznej. Poprzednio do każdego zespołu ładowano każdorazowo tylko jedną część. Ustalono taką kolejność hartowania, aby można było, łącząc części o odpowiednich wymiarach, hartować jednocześnie 2 sztuki. Dzięki temu jałową pracę pieców

skrótcono dwukrotnie. Jałowa praca zespołów podczas zmiany hartowanych części trwa 15 sek., a moc każdego zespołu wynosi 30 kW, skrócenie więc czasu pracy jałowej dało znaczne oszczędności w zużyciu energii elektrycznej.

5) Odłączanie niedociążonych transformatorów według zasad stosowanych przez Pierwszą Państwową Wyt-

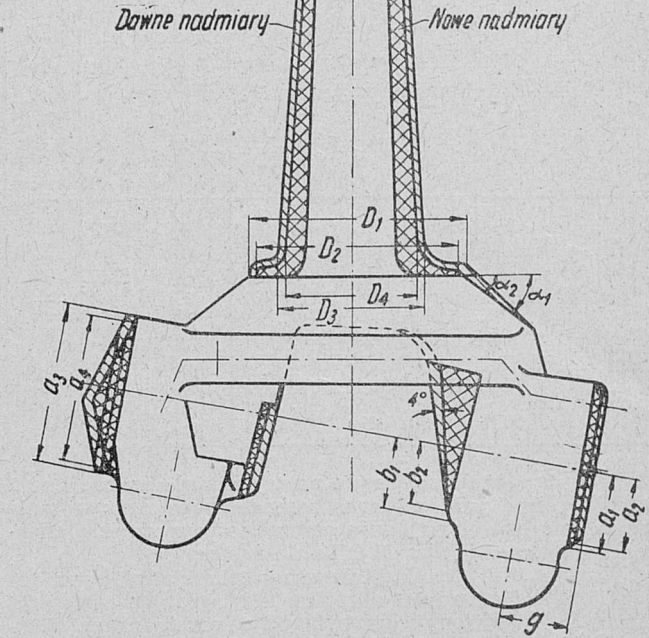
gii elektrycznej do napędu sprężarek i kosztów wody chłodzącej od zużycia wody na 1 m³ powietrza i od jej poboru. Z wykresów wynika, że przy poborze wody z sieci miejskiej i oddawaniu jej do kanalizacji najkorzystniejsze zużycie wody wynosi 0,6 l/m³, przy poborze wody przemysłowej — 1,2 l/m³, a przy poborze z sieci miejskiej i następnym wyzyskaniu jej ciepła w nagrzewnicach (bojle-



Rys. 7. Łączny koszt energii elektrycznej i wody chłodzącej przy wytwarzaniu sprężonego powietrza
1 — woda z sieci miejskiej (cena 50 kop./m³)
2 — woda przemysłowa (cena 17 kop./m³)
3 — woda z sieci miejskiej przy wtórnym jej wyzyskaniu do celów grzewczych
P — punkty najkorzystniejszego zużycia wody
Koszt energii 14 kop./kWh

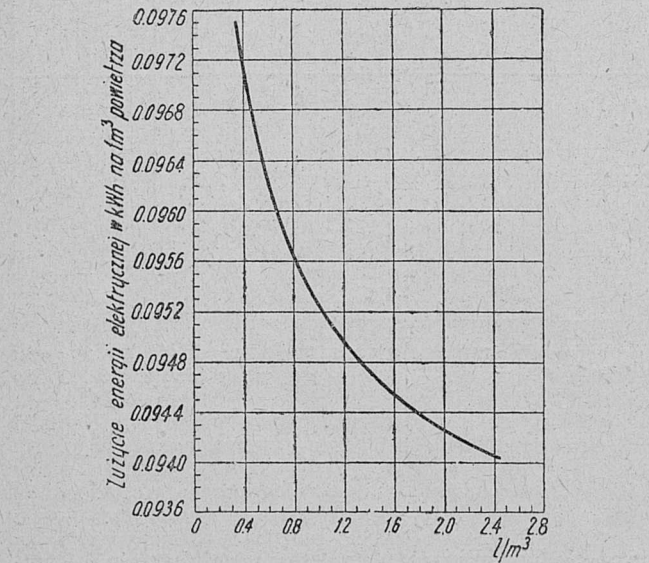
wornię Łożysk dało fabryce ZIS roczną oszczędność równą 200 000 kWh przy jednoczesnym poprawieniu cos φ.

6) Odpowiednie wyzyskanie sprężarek do produkcji sprężonego powietrza może stać się źródłem znacznych oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, a mianowicie przez ustalenie najkorzystniejszej temperatury, chł-



Rys. 9. Zmniejszenie nadmiarów na obróbkę wiórową
Dawne wymiary: a₁ = 43, D₁ = 102, a₁ = 45°, b₁ = 35, g = 32, a₃ = 70, D₃ = 71.
Nowe wymiary: a₂ = 38, D₂ = 95, a₂ = 38°, b₂ = 33, g = 31,5, a₄ = 62, D₄ = 67.

rach) — 2,4 l/m³ powietrza. Na rys. 8 przedstawiono zużycie energii elektrycznej w zależności od rozchodu wody chłodzącej na 1 m³ powietrza. Odczytujemy z niego, że



Rys. 8. Zużycie energii elektrycznej na wytwarzanie sprężonego powietrza w zależności od zużycia wody na chłodzenie

dzenie powietrza zależne od ilości wody chłodzącej doprowadzanej na 1 m³ powietrza i utrzymywanie ciśnienia powietrza na możliwie najniższym poziomie. W fabryce ZIS poświęcono temu zagadnieniu wiele uwagi. Krzywe na rys. 7 podają zależność sumy kosztów ener-

Tablica IV. Zmiana metody obróbki

Nazwa części	Czas wykonania (s)		Zużycie energii elektrycznej (kWs)	
	obrabiarki skrawające	kuźniarki	obrabiarki skrawające	kuźniarki
Śruby	117,5	2,7	249	19,2
Śruby szpilkowe do kół	40,0	1,5	213,6	19,5
Popychacze	42,0	3,5	197	23,8

dla trzech podanych najkorzystniejszych rozchodów wody zużycie energii elektrycznej wyniesie:

dla 0,6 l/m³ — 0,0962 kWh/m³,
„ 1,2 „ — 0,09495 „ „
„ 2,4 „ — 0,0941 „ „

W fabryce ZIS zastosowano zasadę utrzymywania ciśnienia powietrza na najniższym poziomie, zmniejszając je w czasie przerw w ruchu odlewni z 6 at do 4,5 at, tj. do wysokości potrzebnej dla wszystkich wydziałów poza odlewnią. Wprowadzenie najkorzystniejszego zużycia wody chłodzącej i obniżanie ciśnienia powietrza podczas przerw w ruchu odlewni dały fabryce ZIS duże oszczędności w zużyciu energii elektrycznej.

7) Zautomatyzowanie w fabryce ZIS pracy komór lakierniczych i transportu materiałów formierskich w odlewni dało roczną oszczędność energii elektrycznej wynoszącą ok. 1 000 000 kWh.

Następnym ważnym środkiem oszczędzania energii elektrycznej w fabryce ZIS są usprawnienia techniczne. W 1951 r. wprowadzono w zakładzie 870 usprawnień, które zmniejszyły zużycie energii elektrycznej w ciągu roku o 6 000 000 kWh. Oto najważniejsze z nich.

a) W wydziałach obróbki mechanicznej — niezależnie od zastosowania na szeroką skalę obróbki wielonóżowej, łączenia operacji obróbkowych itp. — wprowadzono usprawnienia techniczne, które skróciły czas pracy urządzeń o 30%. Np. przy obróbce zwrotnicy samochodowej stwierdzono możliwość wykonania odkuwki zwrotnicy z mniejszymi nadmiarami na obróbkę. Rys. 9 wskazuje różnicę między poprzednim wykonaniem zwrotnicy i wykonaniem zmienionym, z mniejszymi nadmiarami na obróbkę. Waga odkuwki zmalała z 18,34 kg do 17,00 kg. Zmniejszenie nadmiarów pozwoliło na jednoczesną obróbkę 2 zwrotnic, co o tyle zwiększyło wydajność obrabiarki, że można było przejść z pracy trzymianowej na dwuzmianową. Zużycie energii elektrycznej zmniejszyło się dzięki temu o 200 000 kWh/rok.

Jednym z najbardziej zasadniczych usprawnień wprowadzonych w wydziałach obróbki mechanicznej jest przejście z obróbki wiórowej na automatach na obróbkę plastyczną przy produkcji śrub, nitów, nakrętek itp. Tabl. IV wskazuje korzyści, które płyną z tej zmiany. Zużycie energii elektrycznej na produkcję części łączących zmniejszyło się w fabryce ZIS 10 — 15-krotnie.

b) W wydziałach kuziennych zastąpiono piece mazutowe, w których znaczne ilości energii elektrycznej zużywają dmuchawy powietrzne, przez piece gazowe, w których gaz doprowadzany jest do dysz pod ciśnieniem 600 do 1000 mm słupa wody, dzięki czemu powietrze potrzebne do spalania gó zasysane jest automatycznie i stosowanie dmuchaw jest zbędne. Zamiana pieców dała dużą oszczędność w zużyciu energii elektrycznej.

c) W wydziałach łoczenia na zimno zastosowano jednoczesne łoczenie niektórych części i jednoczesne wykonanie niektórych operacji.

d) W wydziałach odlewniczych zastosowano usprawnienia, dające zmniejszenie strat ciepłych. Zużycie energii elektrycznej w piecach do topienia metalu w fabryce ZIS stanowi 20% ogólnego jej zużycia do celów przemysłowych w zakładzie. Podjęto więc starania zmierzające do zmniejszenia strat ciepłych w piecach, aby w ten sposób obniżyć zużycie energii elektrycznej. Bilans cieplny pieca łukowego wykazał, że największy procent strat ciepłych stanowią straty przez sklepienie. Wykonano specjalne sklepienia z zastosowaniem odpowiednio grubej warstwy izolacyjnej i uzyskane dzięki temu zmniejszenie strat ciepłych dało oszczędność w zużyciu energii elektrycznej wynoszącą 100 000 kWh rocznie na jeden piec. Poza tym zmniejszono znacznie straty ciepłe przez przewodniki elektrod, stosując uszczelnienia labiryntowe. Wpłynęło to poważnie na zaoszczędzenie energii elektrycznej. Zastosowano cienkościennie tygły do pieców wysokiej częstotliwości, co zwiększyło ich wydajność i zmniejszyło zużycie energii elektrycznej o 8 do 10%. Wreszcie zastosowano prowadzenie szybkościowych wytopów dużej wagi (w piecu elektrycznym DST-3). Waga jednego wytopu wynosi średnio 6 do 7 t, a dochodzi do 8 — 9 t. Powiększenie wagi wytopu zmniejszyło zużycie energii elektrycznej o 12,5%.

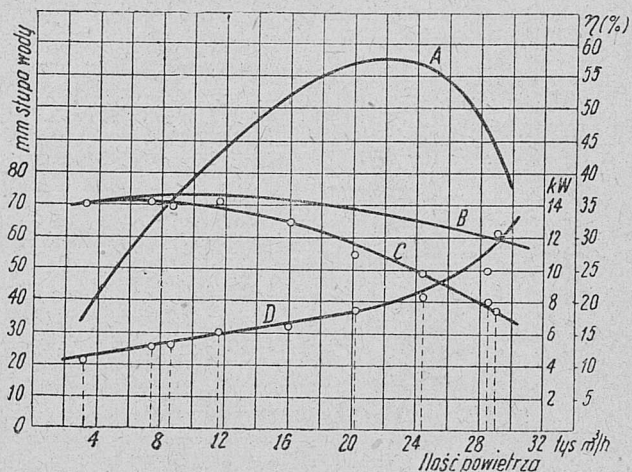
e) W wydziałach obróbki cieplnej największe rezultaty w zaoszczędzeniu zużycia energii elektrycznej w piecach do obróbki cieplnej dało zwiększenie jednorazowego ładunku, uzyskane dzięki odpowiedniemu doborowi jednocześnie poddawanych obróbce cieplnej części i ciasnemu ich ułożeniu. Specjalnie duże korzyści uzyskano w ten sposób na żarzakach dużej mocy, gdzie średni ciężar wsadu przewyższył o 10 — 15% wartość przewidzianą w charakterystyce fabrycznej tych pieców.

Dalszym usprawnieniem, wprowadzonym dla oszczędzania energii elektrycznej w wydziałach obróbki cieplnej, jest skrócenie czasów rozgrzewania pieców, pracujących okresowo, przez zwiększenie mocy dostarczanej elementom grzejnym. Podwyższenie mocy uzyskuje się dzięki wyprowadzeniu z transformatora, zasilającego piece, dodatkowych przewodów doprowadzających do pieców — w okresie rozgrzewania ich — prąd o wyższym o 15 do 20% napięciu. Kiedy temperatura pieca osiągnie 60 — 70% wartości znamionowej, przełącza się jego elementy grzejne na normalne robocze napięcie. W ten

sposób skraca się czas nagrzewania pieców o dużych mocach o 5 do 6 godzin, co pozwala zaoszczędzić duże ilości energii elektrycznej (np. przy jednorazowym rozgrzewaniu pieca 375-kilowatowego zaoszczędza się ok. 1500 kWh).

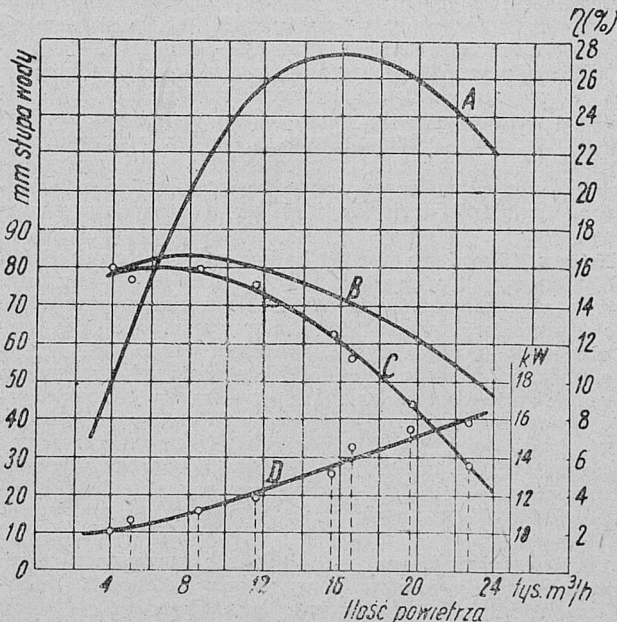
Takie były najważniejsze usprawnienia dokonane w fabryce ZIS.

Obecnie energetycy fabryki prowadzą dalsze prace nad zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej. Najważ-



Rys. 10. Charakterystyka pracy wentylatora nr 8
A — sprawność
B — ciśnienie dynamiczne powietrza
C — ciśnienie statyczne powietrza
D — pobór mocy

niejsze z nich to badania nad możliwością zastosowania wibracyjnej metody ubijania ziemi formierskiej w skrzynkach, co pozwoli na wyeliminowanie formierek z napędem pneumatycznym, oraz badania nad zastąpieniem młotków pneumatycznych młotkami, pracującymi pod działaniem impulsów elektrycznych; wreszcie prace



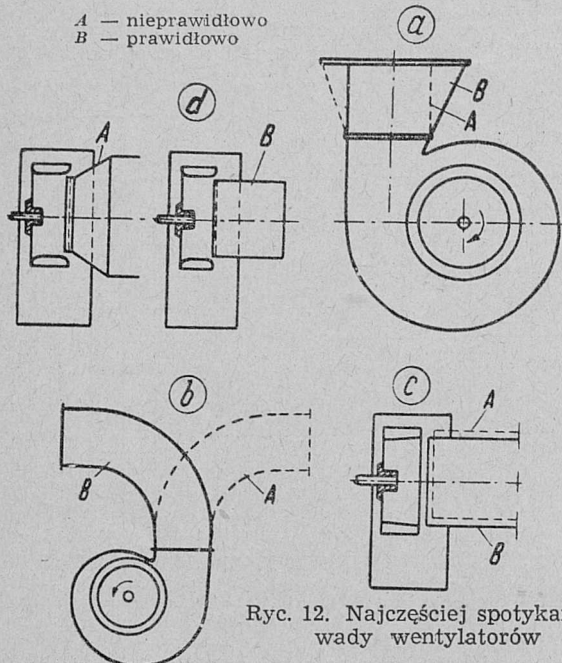
Rys. 11. Charakterystyka pracy wentylatora nr 9 1/2
A — sprawność
B — ciśnienie dynamiczne powietrza
C — ciśnienie statyczne powietrza
D — pobór mocy

zmierzające do jak najpełniejszego zużytkowania wytworzonej w zakładzie energii cieplnej przez wyzyskanie do celów grzejnych ciepła gazów odlotowych, powrotnej wody chłodzącej itd.

Warto zauważyć, że dla zmniejszenia zużycia energii elektrycznej na nagrzew elektryczny celowe jest stosowanie we wszystkich możliwych wypadkach próżni. Pozwala to na całkowite uniknięcie strat ciepłych wskutek unoszenia i na poważne zmniejszenie strat na promieniowanie.

4. Zużycie energii elektrycznej na wentylację.

Prawidłowe działanie instalacji wentylacyjnych ma duży wpływ na wydajność pracy i jakość produkcji. Napęd wentylatorów pochłania jednak stosunkowo duże ilości energii elektrycznej. Zużycie energii elektrycznej



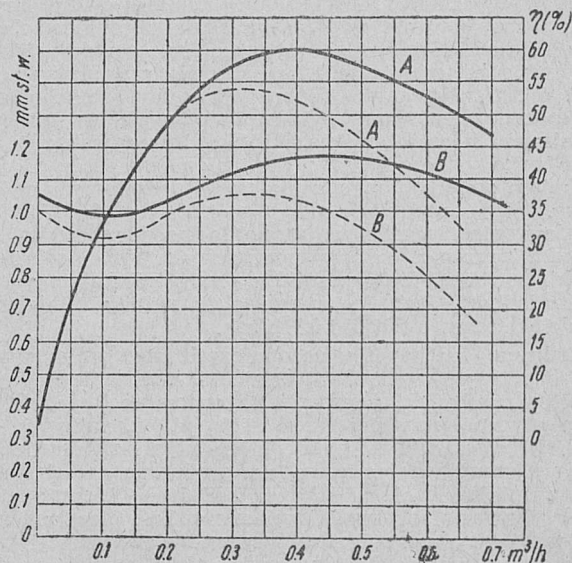
Ryc. 12. Najczęściej spotykane wady wentylatorów

na wentylację można zmniejszać, podwyższając sprawność wentylatorów. Leningradzki oddział „Energolegpromu” zbadał w szeregu zakładów 20 wentylatorów odśrodkowych pod kątem widzenia możliwości zwiększenia wydajności i gospodarności instalacji wentylacyjnych. Siedemnaście wentylatorów spośród 20 badanych miało sprawność, wynoszącą w warunkach ich praktycznego obciążenia poniżej 45%, w tym 6 — poniżej 25%. Nominalnie sprawność wentylatorów powinna przekraczać 55%, a w wentylatorach nowych konstrukcji dochodzi do 70%. Badania „Energolegpromu” wykazały, że niskie sprawności badanych wentylatorów spowodowane były nieprawidłowym ich doborem (warunki pracy nie odpowiadają charakterystyce wentylatorów) oraz defektami w instalacji wentylacyjnej lub w samych wentylatorach.

Na rys. 10 podano wyniki badań wentylatora średniego ciśnienia nr 8 przy stałej liczbie obrotów 600 obr./min. i temperaturze powietrza 20°C. Największa sprawność tego wentylatora wynosi 57,5%, a w warunkach jego pracy stwierdzono tylko 43,5%, skutkiem czego, jak wykazały obliczenia, zużycie energii elektrycznej przekracza znamionowe o 24,4%. Rys. 11 przedstawia charakterystykę pracy wentylatora średniego ciśnienia nr 9 1/2 przy stałej liczbie obrotów 470 obr./min. i temperaturze powietrza 27°C. Sprawności największa i robocza wynoszą odpowiednio 27 i 23,5%, według zaś charakterystyki fabrycznej największa sprawność tego wentylatora wynosi 57%.

Jak już powiedziano, na obniżenie sprawności wentylatorów w dużym stopniu wpływają defekty w budowie wentylatorów. Najczęściej spotykanymi brakami są: nieprawidłowe wykonanie otworu na ssaniu, zbyt wielka odległość między wirnikiem a otworem ssawnym w obudowie, dochodząca do 8,5% średnicy wirnika wobec normalnej, wynoszącej 0,6 — 1% średnicy wirnika, ekscentryczność osi otworu ssawnego w stosunku do osi wirnika, nieprawidłowe wykonanie dyfuzora (rys. 12a), nieprawidłowe wykonanie kolan rurociągów tłocznych (rys. 12b), powodujące uderzanie strumienia powietrza o ścianki, a — co za tym idzie — wzrost szybkości i spadek ciśnienia powietrza; dalek ekscentryczne położenie rury ssawnej w stosunku do wejściowego otworu wirnika (rys. 12c), nieszczelności w przewodach powietrznych, zmniejszające wydajność instalacji, a podwyższające zużycie energii elektrycznej, wreszcie wykonanie rury ssawnej zbyt krótkiej i kształtu stożkowego (rys. 12d).

Wykres na rys. 13 wskazuje wzrost wydajności wentylatora przy zastosowaniu odpowiedniego kształtu i długości rury ssawnej przy tym samym zużyciu energii elektrycznej. Linie przerywane na wykresie podają przebieg zmian sprawności wentylatora i ciśnienia powietrza

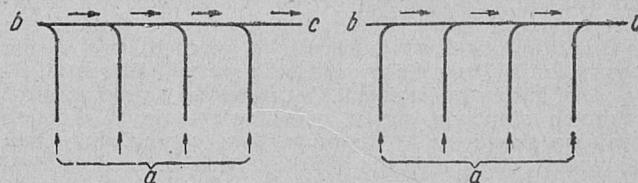


Rys. 13. Wpływ kształtu otworu ssawnego na pracę wentylatora (wg C.A.G. I.)

A — sprawność B — ciśnienie dynamiczne powietrza

przy zastosowaniu rury ssawnej kształtu stożkowego na 5 — 6 mm i o średnicy równej 0,8 średnicy wirnika, linie zaś ciągłe wyrażają te same wielkości przy zastosowaniu rury cylindrycznej o długości równej 0,4 średnicy wirnika i średnicy równej 0,8 średnicy wirnika.

Dalszym czynnikiem wpływającym na wielkość zużycia energii elektrycznej w instalacjach wentylacyjnych



Rys. 14. Schematy przyłączania przewodów powietrznych ssących do przewodu zbiorczego

a — przewody ssące b — przewód zbiorczy c — do wentylatora

są opory w sieci wentylacyjnej. Zmniejszenie ich dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu przewodów może dać poważny wzrost wydajności instalacji, a więc zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Rys. 14 podaje najprostsze przykłady dobrego i złego prowadzenia przewodów wentylacyjnych. Dokonane badania wentylatorów odśrodkowych wykazały, że w zakładach istnieją duże możliwości zmniejszenia zużycia energii elektrycznej przez podwyższenie sprawności wentylatorów i obniżenie oporów w przewodach powietrznych. Niezbędnym warunkiem podwyższenia sprawności wentylatorów jest sporządzenie ich charakterystyk i dostosowanie do warunków panujących w obsługiwanej przez nie sieci, aby pracowały przy parametrach odpowiadających najkorzystniejszemu punktom charakterystyk (z największą sprawnością).

Uzyskanie możliwie największej wydajności instalacji wentylacyjnej z jednostki zużywanej energii elektrycznej uwarunkowane jest więc odpowiednim przystosowaniem wentylatorów, usunięciem wszelkich defektów w wentylatorach i przewodach i stosowaniem wentylatorów o dużej sprawności.

LITERATURA

- B o d r o w M. A. Opyt ekonomii elektroenergii na I Gosudarstwiennom podszpnikowom zawodie im. L. M. Kaganowicza (Promyszl. Energetika, 1952, 3, str. 4)
- B o j k o A. T. Opyt raboty po ekonomii elektroenergii na awtozawodie im. J. W. Stalina (Promyszl. Energetika, 1952, 4, str. 4)
- E s t i e r k i n R. J. Odn iz riezierwow ekonomii elektroenergii (Legkaja Promyszl., 1952, 3, str. 12)

PRZEGLĄD CZASOPISM

MASZyny ELEKTRYCZNE O DUŻEJ
MOCY NA JEDNOSTKĘ CIĘŻARU

Henry Lanoy. Les machines électriques à grande puissance massive
(Revue de l'Aluminium, Mars, 1950, No 164)

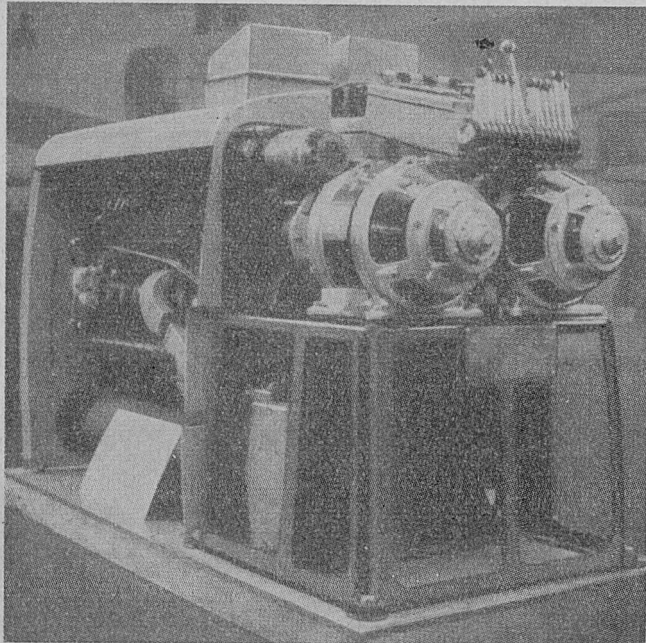
Ostatnio osiągnięto znaczne zwiększenie mocy maszyn elektrycznych na jednostkę ich ciężaru, szczególnie w maszynach samolotowych (tabl. I), gdzie model C jest naj-

- 1) Stosowanie kadłubów, tarcz, przykrywek, trzymadeł szczotkowych itd. z metali lekkich, stopów aluminium i b. lekkich stopów magnezowych, które nie tylko są lekkie, ale i lepiej odprowadzają ciepło.
- 2) Stosowanie uzwojeń aluminiowych w wirnikach celem zmniejszenia naprężeń, powstających od sił odśrodkowych. Przy stosowanych wielkich liczbach obrotów (10 000 obr./min. i więcej) siły te są znaczne, np. w prąd-

T a b l i c a I. Charakterystyki maszyn stosowanych na samolotach (A, B, C — prądnice prądu zmiennego, D — prądnica prądu stałego)

Ozna- cze- nie	Moc (kVA)	Napięcie (V)	Częstotli- wość (okr./sek.)	Cos φ	Prędkości (obr./min.)	Zwiększona prędkość (obr./min.)	Cięż- zar (kg)	Moc na jednostkę ciężaru (W/kg) przy obciążeniu		
								1000%	1500% w cią- gu 5 min.	2000% w cią- gu 5 sek.
A	35	120/208	400	0,7	6000	9000	45	545	820	1090
B	30	120/208	400	0,7	12000	18000	30	700	1050	1400
C	40	120/208	400	0,75	6000	9000	32,5	922	1383	1844
D	10 kW	28,5	—	—	4500 do 10000	11000	22,5	445	670	—

piej wyzyskany. Przeciążalność przekracza tu już 1 kW/kg. Produkuje się już silnik elektryczny, przeznaczony do pracy na pokładzie samolotu, o mocy 1000 k. m. i 15 000 obr./min., którego ciężar wynosi 159 kg, co daje około 6 k. m./kg (4,5 kW/kg).



Rys. 1. Elektrownia pokładowa składająca się z dwóch 6-biegunowych prądnic po 45 kVA (115/200 V, 250 okr./sek., 5000 obr./min., ciężar 135 kg, średnica zewnętrzna 375 mm)

Zmniejszenie ciężaru maszyn elektrycznych okazało się możliwe dzięki wprowadzeniu następujących ulepszeń:

- nicy B (30 kVA, 12 000 obr./min.), w której prędkość obwodowa osiąga wartość 88 m/s, ciężar uzwojenia wirnika z aluminium wynosi 1050 g.
- 3) Stosowanie coraz większej liczby obrotów, możliwe dzięki ulepszonym łożyskom kulkowym i wahlwym, łożyskom szczelnym wentylowanym przy pomocy specjalnych urządzeń, obiegowi oleju pod ciśnieniem itp. Stosowanie dużej liczby obrotów umożliwiające jest również dzięki udoskonalonym metodom wyważania wirników, np. przez stosowanie wyważarek elektronowych. Tu należy wspomnieć również o nowych smarach typu sylikonowego, stosowanych do łożysk bez niebezpieczeństwa zacierania się w temperaturach, zawartych w granicach -50° do +350°C.
- 4) Stosowanie temperatur, sięgających 150° i 200°C zamiast, jak dotychczas, 90° i 100°C. Jest to możliwe dzięki nowym materiałom izolacyjnym nieorganicznym (sylikony), którymi nasycony jest oprzęd z włókna szklanego. Druty nawojowe aluminiowe, pokryte warstwą tlenku (eloksowane), spełniają taką samą rolę, gdyż warstwa izolacyjna posiada b. wysoki punkt topliwości. Ponadto stosuje się wentylację o dużej wydajności (6 — 7 m³/min. powietrza chłodzącego, ciśnienie dynamiczne rzędu 150—200 mm słupa wody).
- 5) Stosowanie blach magnetycznych, których straty są mniejsze niż 1 W/kg i które posiadają dużą przenikalność magnetyczną; dzięki temu można stosować np. w zębach indukcję, sięgającą 25 000 Gs.
- 6) Stosowanie wytłaczania blach bez najmniejszych zadziórów i skaz. Dzięki stosowaniu blach odpowiedniego gatunku i odpowiedniej ich obróbce uzyskuje się duży współczynnik zapełnienia pakietu blach.

Środki powyższe dały znaczne obniżenie ciężaru maszyn elektrycznych, np. silnik prądu stałego na 24—27 V, 400 W, 7500 obr./min., typu lotniczego waży poniżej 4 kg. Silnik asynchroniczny tej samej mocy przemysłowy, lecz na 1400 obr./min., waży przy zastosowaniu metali lekkich 9 kg; w tym na części z metalu lekkiego przypada 4,3 kg (kadłub 3,2 kg, łożysko 0,46 kg, wentylator 0,125 kg, łąpy 0,245 kg, skrzynka zaciskowa 0,075 kg).

T a b l i c a II. Charakterystyki porównawcze mechaniczne i elektryczne prądnic podanych w tablicy I

Oznaczenie	Liczba obrotów na minutę	Prędkość obwodowa (m/s)	Indukcja magnetyczna (Gs)	Przepływ na jednostkę gru- bości szczeliny powietrznej (Az/cm)	Moc osiągnana na jednostkę po- wierzchni szcze- liny powietrznej (kW/m²)
A	6000	53	7000	200	530
B	12000	88	4000	250	450
D	od 4500 do 10000	55 (średnio) do 60,5	10500	300	1410

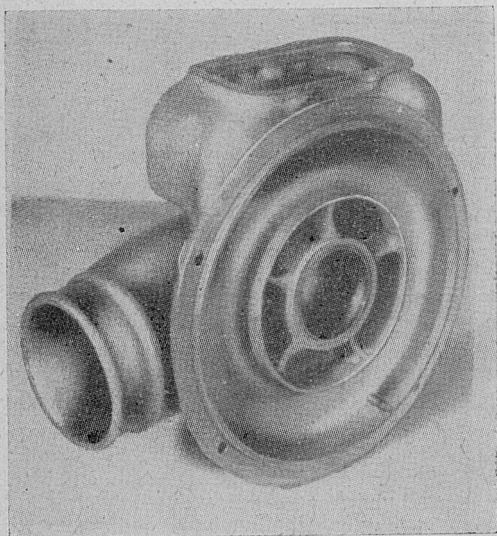
Waga takiegoż silnika, lecz o kadłubie i innych częściach konstrukcyjnych z żeliwa, wynosi 12 kg.

Silnik indukcyjny trójfazowy typu lotniczego na 7 k. m., 200 V, 400 okr./sek., 7400 obr./min. zajmuje przestrzeń 980 cm³ (rys. 1, 2 i 3).

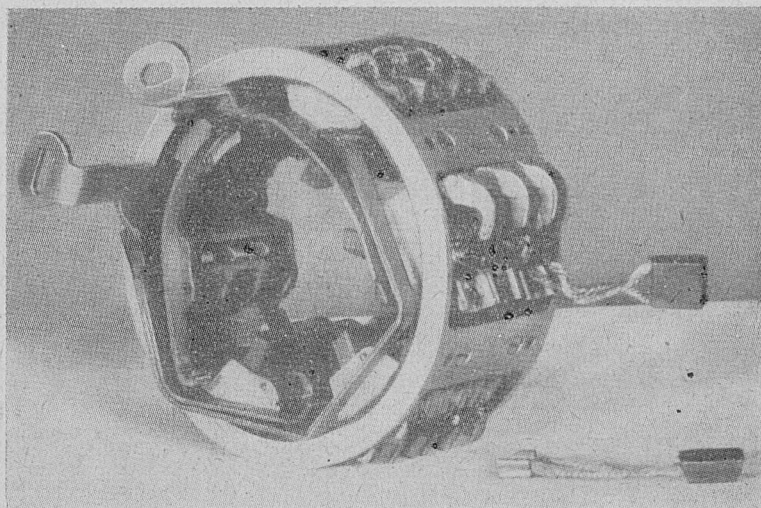
Rozważania techniczne i widoki na przyszłość. Z tabl. II widzimy, że prądnica lotnicza typu B osiąga prędkość obwodową 88 m/s. Nie jest to osiągnięcie niezwykle, gdyż prędkości obwodowe osiągane w turbogeneratorach wynoszą 140 — 150 m/s. Dziś już można dla prądnicy lotniczej na 30 kVA, posia-

Można zwiększyć chłodzenie przez stosowanie równoległych obwodów chłodzących oraz przyspieszenie obiegu środka chłodzącego. Próbowano chłodzenia silnika indukcyjnego trójfazowego o mocy 1000 k. m. na 2400 obr./min. (średnica 700 mm, długość 990 mm) przy pomocy obiegu wody.

Inne próby wykonywano z silnikiem chłodzonym przy pomocy gazu freonu, który jest doprowadzany otworem wywierconym wzdłuż wału, opływa i chłodzi wirnik i stojan, chłodzi łożyska i uchodzi drugim końcem wału. Dopływ środka chłodzącego jest regulowany w celu utrzymania stałej temperatury wirnika i kontroli po-



Rys. 2. Tarcza łożyskowa od strony kolektora wraz ze skrzynką zaciskową i wlotem wentylacyjnym (prądnica samolotowa na 10 kW, 10 000 obr./min.)



Rys. 3. Pierścień odejmowany z osadzonymi na nim trzymadłami szczotkowymi stanowiący część prądnicy lotniczej na 10 kW, 10 000 obr./min.

dającej wirnik o średnicy 20 do 25 cm, dopuścić prędkość obwodową 200 m/s; odpowiada to 20 000 obr./min.

Jako największą moc prądnicy na jednostkę powierzchni szczeliny powietrznej wymieniono w tabl. II 1410 kW/m². Darrieus sądzi, że wartość 10 000 kW/m² jest osiągalna w przyszłości dla turbogeneratorów wielkich mocy. Oto dla przykładu dane dla jednej z maszyn:

prędkość obwodowa	141 m/s,
przepływ w wartości skutecznej na jednostkę grubości szczeliny powietrznej	1250 Az/cm,
indukcja magnetyczna w szczelinie	8000 Gs,
moc na jednostkę powierzchni szczeliny powietrznej	10 000 kW/m ² ,
(turbogeneratory wielkich mocy osiąga ją obecnie	6000—8000 kW/m ²).

Przyjmując prędkość obwodową 200 m/s jako możliwą oraz opierając się na materiałach konstrukcyjnych i magnetycznych dziś dostępnych, można w zasadzie osiągnąć moc około 56 000 kW/m² tj. prawie sześciokrotnie więcej niż dotychczas. Wartość ta wskazuje, że prądnice dużych mocy oraz prądnice lotnicze mogą być ulepszone w dalszym ciągu pod względem mocy osiąganej na jednostkę ciężaru.

Obwód magnetyczny maszyn pozostaje, niestety, bez zmian ze względu na właściwości magnetyczne blach. Osiąga się co prawda indukcje w zębach, sięgające 24 000 gausów, lecz ograniczeni jesteśmy nasyceniami.

Prowadzone są obecnie próby w skali laboratoryjnej wytwarzania silnego pola magnetycznego bez żelaza. Niestety, gęstość prądu dochodząca do 500 A/mm² wymaga chłodzenia o wydajności nieosiągalnej jeszcze w praktyce.

Chłodzenie (wentylacja) maszyn sprowadza się do obiegu środka chłodzącego (powietrza, wody, oleju itp.) pomiędzy częściami pakietu blach oraz uzwojenia. W tym celu przewidziane są specjalne kanały wentylacyjne.

ślizgu. Silnik taki o mocy 3 k. m. na 18 000 obr./min. waży 1,8 kg i ma średnicę 50 mm, a całkowitą długość 170 mm.

E. Har.

WYNIKI EKSPLOATACYJNE ELEKTROWNI W MONCEAU*)

F. Flatt. Dampfturbinen grosser Leistung. R. Hohl. Offizielle Abnahmeversuche an einer 50 000 kW-Hochdruck-Dampfturbine des Kraftwerkes Monceau (Escher Wyss Mitteilungen, 23/24, rok 1950/51, str. 3—22)

Wybudowana w ostatnich dwóch latach w Monceau elektrownia zasługuje na uwagę ze względu na doskonałe wyniki eksploatacyjne.

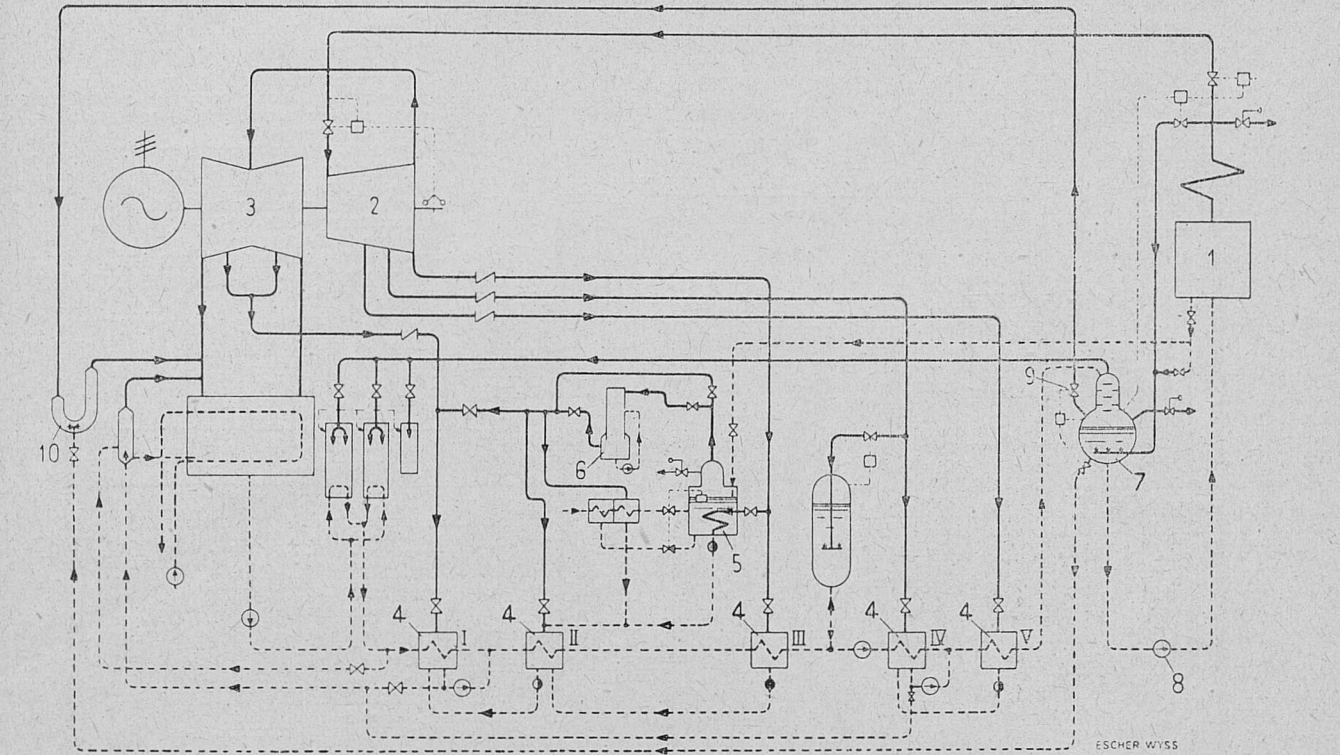
Elektrownia, przeznaczona do spalania odpadów kopalnianych o zawartości balastu do 50%, składa się z dwu niezależnych od siebie bloków kocioł-turbina o mocy 50 MW każdy. W skład bloku wchodzi kocioł „jednorurowy“ Sulzera na 210 t/h, zasilający bezpośrednio — bez żadnych połączeń z drugim blokiem — turbinę na 50 MW i 3000 obr./min. firmy Escher Wyss, napędzającą prądnicę firmy ACEC na 62,5 MVA. Parametry dolotowe znamionowe 81 ata i 510°C mogą zmieniać się w granicach 81—86 ata i 510—520°C. Najwyższe podgrzanie wody zasilającej w pięciu stopniach wynosi 219°C, temperatura wody chłodzącej 12°C.

Ze względu na kotły przepływowe woda jest bardzo starannie przygotowana. Wodę dodatkową stanowią skropliny wyparek, które dzięki specjalnym płuczkom pary dają destylat o zawartości soli 0,5 do 0,7 mg/l, co pozwala utrzymać czystość wody w obiegu kotła na poziomie poniżej 1 mg/l.

Równie starannie jest woda odgazowywana, przy czym podstawowym odgazowywaczem jest kondensator, a drugim stopniem jest odgazowanie w zbiorniku rozruch-

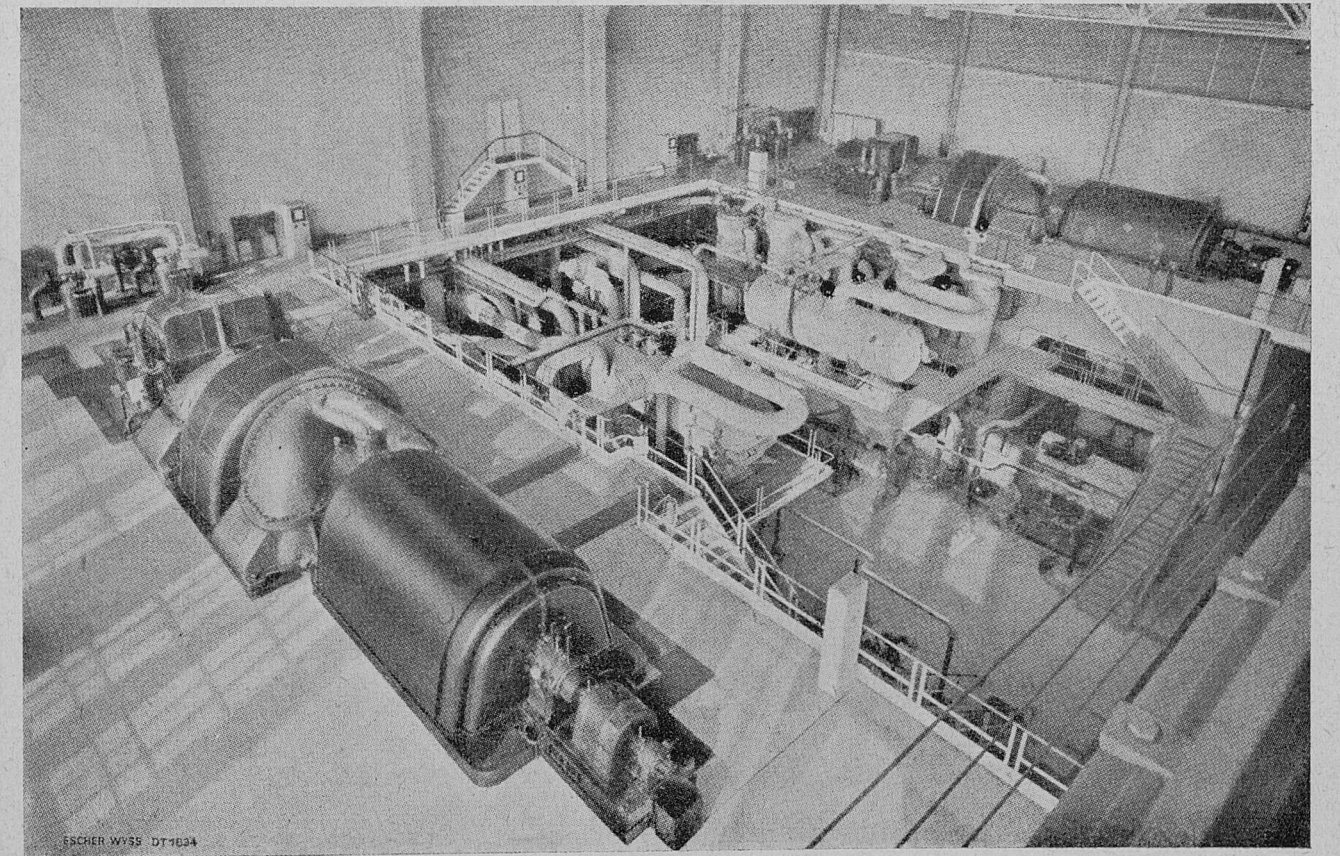
*) Por. Stalowa konstrukcja budynku nowej elektrowni w Monceau (PE, 1952, z. 2, str. 53).

wym umieszczonym za ostatnim stopniem podgrzania (rys. 1). W dłuższym ruchu osiągnięto odgazowanie poniżej 0,01 mg/l O₂. Kotły przy spalaniu chudego węgla mogą obniżyć obciążenie najdalej do 30% najwyższego. Temperatura przegrzania jest utrzymywana z dokładnością ± 2°C. Sprawność kotła wynosi 90%.



Rys. 1. Schemat bloku „kocioł-turbozespół” o mocy 50 MW

- | | | | |
|---------------------------|------------------------|---|----------------------------|
| — przewody parowe | ⚡ zawór bezpieczeństwa | 1 — kocioł | 6 — płóczka pary |
| - - - przewody wodne | ⌞ zawór zwrotny | 2 — kadłub wysokopięny | 7 — zbiornik rozruchowy |
| - · - przewody powietrzne | ⊕ garnek kondensacyjny | 3 — dwuwylotowy kadłub niskopięny | 8 — pompa wody zasilającej |
| ⊗ zasuwa odcinająca | ⊞ regulator | 4 — podgrzewacze regeneracyjne (I do V) | 9 — zawór wydmuchowy |
| | | 5 — wyparka | 10 — rozprężacz |



Rys. 2. Maszynownia z dwoma zespołami po 50 MW (przed maszyną w głębi widać 5 pionowych podgrzewaczy wody oraz leżącą wyparkę)

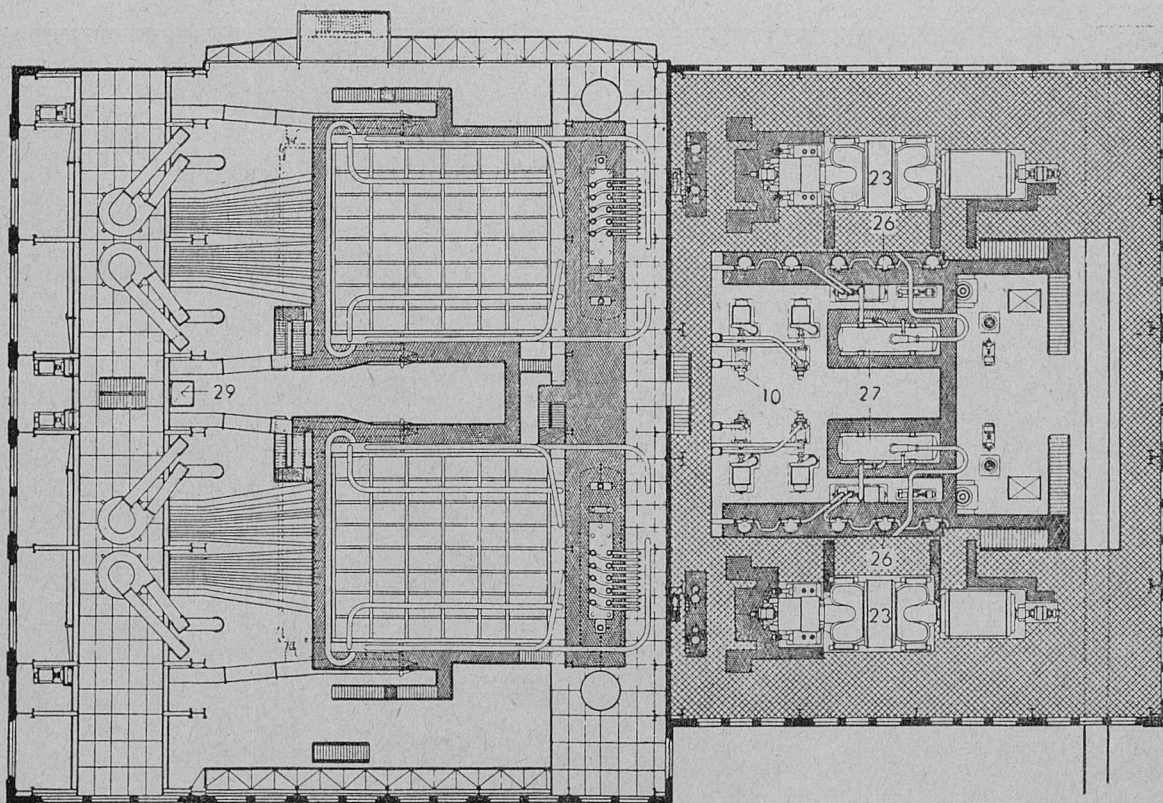
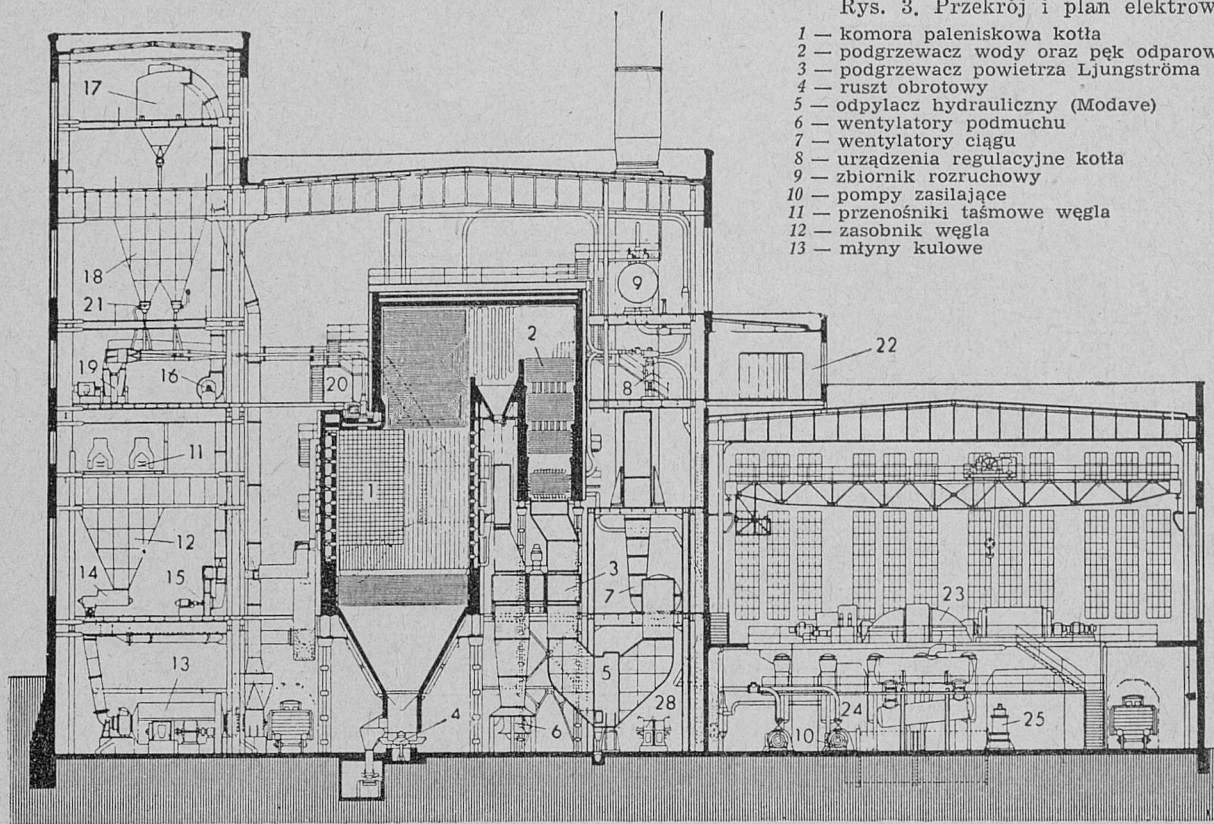
Na rys. 2 podany jest widok zespołów turbinowo-prądnicowych, na rys. 3 — widok całej elektrowni w przekroju i w planie.

Po przepracowaniu przez turbozespół 12 000 h dokonano prób odbiorczych, które wykazały gwarantowaną spraw-

ność bez potrzeby uciekania się do umownych tolerancji, a mianowicie tolerancji pomiarowej 1% oraz tolerancji ze względu na starzenie się maszyny, wynoszącej 0,1% na 1000 h ruchu.

Rys. 3. Przekrój i plan elektrowni

- 1 — komora paleniskowa kotła
- 2 — podgrzewacz wody oraz pęk odparowujący
- 3 — podgrzewacz powietrza Ljungströma
- 4 — ruszt obrotowy
- 5 — odpylacz hydrauliczny (Modave)
- 6 — wentylatory podmuchu
- 7 — wentylatory ciągu
- 8 — urządzenia regulacyjne kotła
- 9 — zbiornik rozruchowy
- 10 — pompy zasilające
- 11 — przenośniki taśmowe węgla
- 12 — zasobnik węgla
- 13 — młyny kulowe



- 14 — ślimakowe przydzielacze węgla
- 15 — wentylator powietrza obiegowego
- 16 — wentylator młyna
- 17 — cyklon
- 18 — zasobniki pyłu

- 19 — wentylator powietrza pierwotnego
- 20 — palniki pyłowe
- 21 — przydzielacze pyłu
- 22 — nastawnia ciepła
- 23 — turbozespoły po 50 MW
- 24 — skraplacze

- 25 — pompy wody chłodzącej
- 26 — podgrzewacze wody
- 27 — wyparki
- 28 — rozdzielnia potrzeb własnych
- 29 — wyciąg

Tablica I. Wyniki pomiarów odbiorczych

Obciążenie zespołu	(kW)	50 000	40 000	30 000
Ciśnienie pary dolotowej	(ata)	81,3	81,2	81,3
Temperatura pary dolotowej	(°C)	506,2	508,8	510,0
„ wody zasilającej	„	217,1	217,1	205,0
„ „ chłodzącej	„	19,0	19,85	20,3
Ciepłota pary	(kcal/kg)	815,0	816,5	817,2
Ciepłota wody zasilającej	„	222,1	222,1	208,9
Ciepłota uzyskana w kotle Δt	„	592,9	594,4	608,3
Ilość pary świeżej G	(kg/h)	194 435	156 140	118 115
Moc na zaciskach	(kW)	49 910	40 630	30 938
$\cos \varphi$		0,857	0,881	0,773
Moc na zaciskach przeliczona $\cos \varphi = 0,8$	(kW)	49 846	40 563	30,957
Sprawność prądnicy według prób na stoisku próbnym	(%)	98,15	98,07	97,82
przy $\cos \varphi = 0,8$				
Moc na sprzęgle P	(kW)	50 786	41 361	31 647
Jednostkowe zużycie ciepła w odniesieniu do mocy na sprzęgle $\frac{G \cdot \Delta t}{P}$	(kcal/kWh)	2270	2244	2270
Umowne poprawki: na ciśnienie dolotowe	(%)	+ 0,07	0	0
na temperaturę dolotową	(%)	- 0,21	- 0,08	0
na temperaturę wody chłodzącej	(%)	- 1,62	- 2,14	- 2,56
na zmianę zaczepów IV i V	(%)	+ 0,03	- 0,03	+ 0,01
Jednostkowe zużycie ciepła w odniesieniu do mocy na sprzęgle po uwzględnieniu poprawek	(kcal/kWh)	2231	2193,5	2212
Odpowiednia sprawność cieplna	(%)	38,55	39,21	38,88
Pobór mocy przez napędy pomocnicze	(kW)	385	378	375
Jednostkowe zużycie ciepła smoczków	(kcal/kWh)	4,5	5,7	7,5
Jednostkowe zużycie ciepła w odniesieniu do mocy na zaciskach przy $\cos \varphi = 0,8$, po uwzględnieniu poprawek oraz poboru mocy przez napędy pomocnicze	(kcal/kWh)	2295,4	2264,4	2296,8
Odpowiednie gwarantowane zużycie interpolowane stosownie do mocy zmierzonych na zaciskach	(kcal/kWh)	2310,6	2277,0	2335,8
Osiągnięto wyniki lepsze niż gwarancja	(%)	0,66	0,55	1,67

Wyniki pomiarów podaje tabl. I. Przy mocy ekonomicznej 40 MW zużycie ciepła przez turbozespół w przeliczeniu na warunki znamionowe wynosiło zatem 2194 kcal/kg, moc pobierana przez napędy pomocnicze bloku kocioł-turbina wynosiła 2750 kW (6,9%), co przy sprawności kotła 90% i założeniu, że straty w rurociągach w przybliżeniu kompensują się podgrzaniem wody przez pompę zasilającą, daje zużycie ciepła netto dla całej elektrowni 2670 kcal/kWh, a więc odpowiada sprawności 32,2%.

Te liczby dowodzą, że elektrownia w Monceau posiada najwyższą sprawność ze wszystkich zachodnio-europejskich elektrowni ciepłych.

W zimie 1949/50 r. średnie zużycie ciepła w ciągu całego miesiąca — przy zmianie obciążenia od 28 do 52 MW — wynosiło netto 2770 kcal/kg, co daje średnią sprawność 31%. Wynik ten należy uznać za doskonały, jeżeli uwzględnić, że paliwo stanowił węgiel odpadkowy o zawartości balastu przekraczającej nawet 50%.

S. A.

Wydawnictwa nadesłane

WOYNAROWSKI ZB., mgr inż. i ŻMIGRODZKI W., mgr inż. NISKONAPIĘCIOWE WYŁĄCZNIKI PRZEMYSŁOWE. 1952, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 255, rys. 206, tabl. 25, cena 45 zł. — Spis rzeczy: Budowa wyłączników przemysłowych. Określenia i podział łączników. Praca wyłącznika i jego części składowe. Podstawy. Mechanizmy włączania i wyłączania. Części przewodzące — zaciski, szyny i przejścia. Części łączące — styki. Ustroje gaszenia łuku. Urządzenia do samoczynnego działania wyłączników. Osłony. Urządzenia pomocnicze. Zasilanie obwodów sterowniczych. — Warunki pracy wyłączników. Rodzaj prądu i wysokość napięcia. Prądy zwarciove. Prąd znamionowy. Okres użytkowy i częstota łączy. Dobór wyzwalaczy i przekładników. Dobór wyłącznika. — Zastosowanie wyłączników w sterowanych. Układy sterowane i sposoby ich przedstawiania. Sterowanie zdalne wyłączników zapadkowych. Sterowanie styczników elektromagnetycznych. Sterowanie rozruszników samoczynnych. Układy zmiany kierunku wirowania silnika. Układy zmiany prędkości obrotowej. Zespoły aparatów sterowanych elektrycznie. Przełączniki na dwie sieci. — Przykłady współ-

czesnych rozwiązań konstrukcyjnych. Wyłączniki zapadkowe. Styczniki suche. Styczniki olejowe. Zespoły aparatuowe. — Zasady instalacji i montażu. Organizacja obsługi i konserwacji wyłączników niskonapięciowych. — Kierunek rozwoju wyłączników przemysłowych i związanych z nimi urządzeń pomocniczych. — Wykaz piśmiennictwa. Terminologia w językach obcych. — Przedmowa wydawcy: Książka omawia budowę wyłączników przemysłowych na napięcia do 1000 V, podaje zasady doboru wyłączników i ich wyposażenia do warunków pracy oraz zapozna je z tworzeniem układów połączeń ze szczególnym uwzględnieniem zespołów sterowanych. Książka jest przeznaczona dla inżynierów i techników zatrudnionych w biurach projektowych i w ruchu przemysłowym przy projektowaniu i eksploatacji urządzeń elektrycznych.

SOCHOR BRONISŁAW, mgr inż. TERMOMETRY ELEKTRYCZNE. 1952, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 176, cena 21 zł. — Spis rzeczy: Zasady termometrii. Międzynarodowa skala tem-

peratur. Wskaźniki temperatur. Pomiar temperatur. Termometry oporowe. Termometry elektryczne. Pirometry optyczne. Termometry pisać. — Przedmowa wydawcy: Książka zawiera przegląd elektrycznych metod pomiarowych temperatury oraz opis budowy i działania przyrządów służących do tego celu. Książka jest przeznaczona dla techników i inżynierów ruchowców, ale mogą z niej korzystać również mistrzowie i monterzy obsługujący i montujący urządzenia, w których występuje pomiar temperatury.

Ogniwa i baterie galwaniczne suche. Ognia galwaniczne mokre. Latarki elektryczne. Katalog 0—1. 1951. Centrala Handlowa Przemysłu Elektrotechnicznego, Przedsiębiorstwo Państwowe Wyodrębnione. Format A4, str. 20. — Spis rzeczy: Ognia i baterie galwaniczne suche. Budowa ognia. Własności elektryczne ognia. Budowa baterii. Zastosowanie ogniw i baterii suchych. Ognio okrągłe, Bateria okrągła. Bateria płaska. Baterie pudełkowe. Baterie anodowe. Ognia teletechniczne. Sprawdzanie ogniw i baterii suchych. Próbnik ogniw. Przechowywanie ogniw i baterii suchych. — Ognia mokre. Budowa ognia. Uruchomienie ognia. Własności elektryczne. Budowa baterii. Napięcie i pojemność ognia. Zastosowanie ogniw i baterii mokrych. Ognio mokre. Części ognia mokrego. Przechowywanie ogniw mokrych. — Latarki oświetleniowe. Latarkę do baterii płaskich. Latarki do ogniw i baterii okrągłych. Tablica doboru właściwych ogniw, baterii i żarówek do latarek.

CENTRALA HANDLOWA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO. TELETECHNICZNY SPRZĘT STACYJNY. Katalog T—7. Luty 1952. Format A5, str. 36. — Spis rzeczy: Uwagi ogólne. Wózek badaniowy. Aparat badaniowy z tarczami numerowymi. Skrzynka oporowa. Szafka badaniowa. Statywy badaniowe. Mikrotelefon probierczy. Słuchawka probiercza. Skrzynki narzędziowe. Kolby lutownicze (elektryczne). Lampka probiercza. Sznur buczka. Sznur sygnału niedostępności. Sznury połączeniowe dwuwtyczkowe. Sznury połączeniowe jednowtyczkowe. Sznur badaniowy do ochronników krosowych. Kołek przełącznicowy. Kołek uziemiaczy. Skobelek. Skrzynki gnieźdnikowe. Głowice kablowe.

OŚWIETLANIE WNETRZ ŚWIATŁEM DZIENNYM. Polski Komitet Oświetleniowy. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. 1952, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 126, rys. 90, cena 22 zł. — Spis rzeczy: Promieniowanie słoneczne. Wiadomości z kosmografii. Wyznaczanie kierunku i długości cienia. — Przenikanie światła do wnętrza i jego rozkład przestrzenny. Terminologia i jednostki świetlne. Właściwości świetlne materiałów. Warunki widzenia. Określenie natężenia oświetlenia wnętrza. Normy współczynnika oświetlenia dziennego. Otwory świetlne. Otwory boczne. Oświetlenie górne. Oświetlenie mieszane (górno-boczne). Oświetlenie zewnętrzne pośrednie. Konstrukcja otworów świetlnych. Oszklenie otworów świetlnych. Urządzenia specjalne. — Przedmowa wydawcy: Praca omawia dwa zagadnienia. Zagadnienie pierwsze obejmuje zmienność periodyczną światła dziennego i jego penetrację przez otwory świetlne do wnętrza. Drugie zagadnienie, ujmując sposoby przenikania światła dziennego do wnętrza i jego w nich rozkładu, daje architektom projektantom, dla których niniejsza książka jest przeznaczona, praktyczne wskazówki prawidłowego rozwiązania problemu oświetlenia.

JELŁONEK A., prof. dr. inż., KURYŁOWICZ J., mgr. inż., ŁAPIŃSKI M., mgr. inż., SICIŃSKI Z., mgr. inż. MIERNICTWO ELEKTRYCZNE OGÓLNE DLA POTRZEB TELEKOMUNIKACJI. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 463, cena 60 zł. — Spis rzeczy: Wiadomości ogólne o pomiarach. — Zasada działania i budowy elektrycznych przyrządów pomiarowych. Wiadomości ogólne. Przyrządy magnetoelektryczne. Przyrządy magnetoelektryczne o prostowniku. Woltomierze lampowe. Przyrządy elektromagnetyczne. Przyrządy elektrodynamiczne. Przyrządy indukcyjne. Przyrządy cieplne. Przyrządy elektrostatyczne.

Inne przyrządy pomiarowe. — Zespoły pomiarowe. Elementy zespołów pomiarowych. Dodatkowy sprzęt pomocniczy. Mostki pomiarowe. Kompensatory prądu stałego. — Sprzęt pomocniczy. Sprzęt regulacyjny. Sprzęt pomocniczy stosowany w miernictwie telekomunikacyjnym. Urządzenia laboratoryjne. — Pomiar elektryczny. Pomiar podstawowych wielkości elektrycznych. Pomiar własności elementów obwodów elektrycznych. Badanie własności materiałów oporowych. Badanie własności materiałów izolacyjnych. Badanie własności materiałów magnetycznych. — Utrzymanie przyrządów pomiarowych. Uzupełnianie inwentarza laboratoryjnego. Konserwacja i potrzebne materiały. Sprawdzanie przyrządów. Naprawa przyrządów uszkodzonych. — Z przedmowy wydawcy: Książka jest wykładem miernictwa elektrycznego ogólnego w zakresie niezbędnym w praktyce telekomunikacyjnej i stanowi wstęp do działów specjalnych: miernictwa teletransmisyjnego, radiotechnicznego, elektroakustycznego i fal bardzo krótkich. Książka jest przeznaczona dla inżynierów i techników wszystkich działów telekomunikacji oraz dla słuchaczy szkół inżynierskich i politechnik.

WAŚOWSKI J. dr. NOWY SPOSÓB ROZWIĄZYWANIA STANÓW NIEUSTALONYCH. Część I: Układy elektryczne o stałych skupionych, nie zawierające energii przed poddaniem działaniu napięcia. Katedra wydzielona elektrotechniki ogólnej wydziału mechanicznego Politechniki Śląskiej. 1951, Gliwice, Akademicka Spółdzielnia Wydawnicza. Format A5, str. 78.

MOŁOCZEK W. inż. REMONT TURBIN PAROWYCH. Wyd. II. Tłum. mgr. inż. Kons. anty Smolaga. 1952, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B5, str. 392, rys. 195, cena 54 zł. — Spis rzeczy: Dział ogólny. Ogólne wskazówki dotyczące robót remontowych. Lutowanie, spawanie i metalizacja. Podnoszenie maszyn. Kapitałny remont turbozespołu. Remont poszczególnych części głównej turbiny. Remont urządzenia kondensacyjnego. Remont urządzeń regeneracyjnych. Remont rurociągów. — Z przedmowy wydawcy: Książka jest przeznaczona dla ruchowców: inżynierów i techników specjalistów, może być również z pożytkiem czytana przez brygadzystów i pracowników wykwalifikowanych.

SPRZĘT OCHRONNY PRZY URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH. Instrukcja tymczasowa dotycząca wymagań technicznych, badania, przechowywania i posługiwania się sprzętem ochronnym. Seria ochrony pracy nr 50. 1951, Warszawa, Zakład wydawniczy Ministerstwa Pracy i Opieki Społecznej. Format A5, str. 65, cena zł 4,80. — Spis rzeczy: Przeznaczenie i zakres stosowania niniejszej instrukcji. Określenia i postanowienia ogólne. Izolujący sprzęt ochronny. Przenośne wskaźniki napięcia i prądu. Przenośne uziemienia, ogrodzenia i tablice ostrzegawcze. Sprzęt ochronny, zabezpieczający przed działaniem łuku elektrycznego, produktów spalania oraz uszkodzeń mechanicznych. Załączniki. — Z przedmowy wydawcy: Broszura niniejsza stanowi jako „instrukcja tymczasowa” jedną z form przejściowych obowiązujących przepisów państwowych. Instrukcja ta zatwierdzona przez Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego obowiązuje na tej podstawie zakłady podległe Centralnemu Zarządowi Energetyki, a może obowiązywać w całości lub częściowo inne centralne zarządy.

PILARCZYK JÓZEF, mgr. inż., KURS SPAWANIA ELEKTRYCZNEGO W PYTANIACH I ODPOWIEDZIACH. 1951, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format B6, str. 123, rys. 62, cena 7 zł. — Spis rzeczy: Sposoby łączenia metali za pomocą ciepła. Zasadnicze pojęcia z elektrotechniki. Łuk elektryczny. Urządzenia i materiały do spawania łukowego. Proces spawania. Zasadnicze pojęcia o cieple. Własności metali. Technika spawania łukowego. Błędy spawania. Badanie i kontrola połączeń spawanych. Spawanie stali. Spawanie żeliwa. Spawanie miedzi, aluminium i ich stopów. Naprężenia skurczowe i odfalcaenia przedmiotów spawanych. Higiena i bezpieczeństwo spawacza. — Przedmowa wydawcy: Praca ta zawiera zbiór pytań i odpowiedzi z zakresu podstawowych wiadomości wymaganych przy spawaniu elektrycznym. Jest ona przeznaczona dla uczestników kursów spawania elektrycznego, uczniów szkół technicznych, techników i spawaczy.

BIULETYN INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok VI — nr 39

Warszawa, Piękna 68

Grudzień 1952 r.

Zakład Trakcji Elektrycznej

ZWALCZANIE PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

Prądami błędzającymi nazywamy prądy, odgałęziające się z szyn trakcji elektrycznej (tramwaje, koleje) prądu stałego do ziemi. Źródłem prądów błędzających może być również kablowa sieć energetyczna prądu stałego przy wadliwej izolacji kabli od ziemi. Prądy te, płynąc w ziemi, mogą się przedostawać do metalowych urządzeń, jak np. kable, rurociągi itp., mających mniejszą oporność niż grunt. Na pewnej przestrzeni prądy błędzące płyną w tych urządzeniach, a następnie wypływają z nich i wracają do źródła.

Wypływanie prądów błędzających z podziemnych urządzeń metalowych jest połączone z procesem elektrolizy, w której wyniku wprowadzane są cząstki metalu z danego urządzenia. Teoretycznie 1 A w ciągu roku niszczy 9144 G żelaza lub 33 840 G ołowiu; w praktyce wartości te są nieco mniejsze, gdyż na elektrolizę nie jest zużywana całkowita energia prądu. Tak więc korozja elektrolityczna osłabia dane urządzenie podziemne i z biegiem czasu może spowodować poważne uszkodzenia, jak przebicie kabli, pękanie rur itp. Czas pracy kabli w warunkach normalnych jest długi, rzędu 25–40 lat, a metalowych rur nawet dłuższy. Przy korozji prądami błędzającymi czas pracy zmniejsza się do kilku lat, a nawet miesięcy. Koszty uszkodzeń, koszty przerw w ruchu oraz koszty naprawy sięgają w niektórych przypadkach dziesiątków tysięcy złotych i więcej.

Zazwyczaj upływa kilka lat, zanim wystąpi zwiększona liczba uszkodzeń elektrolitycznych ważniejszych urządzeń. Właśnie daje się to zauważyć w ostatnich czasach. Sprawa wywołuje coraz większe zaniepokojenie wśród przedsiębiorstw, eksploatujących podziemne urządzenia metalowe, i zainteresowanie zagadnieniem prądów błędzających wzrasta. Niewątpliwie w dalszym ciągu będziemy ponosić konsekwencje niedopatrzeń lat poprzednich i liczba uszkodzeń korozyjnych będzie coraz więcej wzrastała, jeżeli nie przedsięwziemy się odpowiednio energicznej walki z prądami błędzającymi.

W pierwszych latach po wojnie można było pomijać zagadnienie prądów błędzających wobec pilności odbudowy, natomiast teraz, w dobie uregulowania technicznych problemów transportu miejskiego i ustabilizowania warunków pracy poszczególnych przedsiębiorstw, brak zainteresowania się sprawą walki z prądami błędzającymi jest szczególnie szkodliwy, gdyż powoduje poważne straty dla gospodarki narodowej. Należy zaznaczyć, że w ZSRR zagadnienie od dawna jest traktowane jako sprawa wielkiej wagi. Świadczą o tym wyraźnie szczegółowe przepisy i instrukcje ochrony urządzeń podziemnych, stałe komisje do walki z korozją elektrolityczną przy radach miejskich oraz duża sieć placówek badawczych i instytutów naukowych, zajmujących się prądami błędzającymi.

Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki jest jedną w tej chwili placówką badawczą w Polsce, zajmującą się tak ważnym dla gospodarki narodowej zagadnieniem prądów błędzających. Prace te są prowadzone w kilku kierunkach, jak opracowanie przepisów ochrony urządzeń podziemnych przed korozją elektrolityczną, studia nad metodami specjalnej ochrony elektrycznej urządzeń, opracowanie najważniejszych metod pomiarowych, dobór odpowiednich przyrządów oraz badania w poszczególnych większych miastach polskich, zmierzające do ustalenia źródeł i przyczyn powstawania prądów błędzających, a także stopnia zagrożenia poszczególnych ważniejszych urządzeń, i do wskazania środków zaradczych.

Należy zaznaczyć, że Zakład Trakcji nie zajmuje się projektowaniem ochrony przeciwkorozyjnej w poszczególnych przypadkach. Również Zakład Trakcji Elektrycznej nie jest w stanie, głównie ze względu na brak dostatecznie licznej personelu technicznego, objąć swymi pomiarami całej sieci urządzeń podziemnych danego miasta i wyznaczyć, z możliwą do uzyskania dokładnością, układ

niebezpiecznych stref anodowych, w których prądy błędzące wypływają z urządzeń podziemnych. Dlatego też rola Zakładu polega na wskazaniu przyczyny powstawania częstych uszkodzeń w danym rejonie oraz podaniu środków, mających na celu zmniejszenie natężenia prądów błędzających w ziemi; jest to najbardziej skuteczny środek ochrony urządzeń podziemnych pod warunkiem pełnego wykonania zaleceń, co częstokroć jednak okazuje się wręcz niemożliwe. Ta niemożność zastosowania odpowiednich wskazań nie wpływa z ich nierealności, ale z istniejącego w szeregu miast polskich bardzo złego stanu technicznego tramwajowej sieci powrotnej oraz kablowej sieci energetycznej prądu stałego (kable straciły już w licznych przypadkach izolację względem ziemi).

O rozmiarze zagrożenia urządzeń podziemnych mogą świadczyć dokonane przez Zakład Trakcji badania np. w Warszawie, gdzie stwierdzono bardzo poważną sytuację. Bezpośrednią przyczyną podjęcia badań prądów błędzających w Warszawie były trudności przy uruchomieniu gazociągu na jednym z mostów, gdzie stwierdzono przepływ prądu trakcyjnego o wartości dochodzącej do 120 A (średnio 50 A). Zakład Trakcji po dokonaniu odpowiednich pomiarów zalecił założenie w danej rurze łącz izolujących, co pozwoliło na uruchomienie gazociągu w planowanym terminie. Dalsze jednak informacje o zwiększonej liczbie uszkodzeń elektrolitycznych różnego rodzaju rurociągów i kabli spowodowały rozpoczęcie badań, mających na celu ustalenie przyczyn i źródeł powstawania oraz sposobu ograniczenia prądów błędzających na terenie Warszawy. Wobec planowanego stałego zwiększania natężenia ruchu tramwajowego, co może zmienić szczegółowe warunki układu prądów błędzających, uznano za nieuzasadnione wykonywanie zbyt wyczerpujących badań i pomiarów i porzeczano na najbardziej istotnych.

1) Obliczenia teoretyczne rozpiętych prądów w sieci szynowej, spadków napięć i potencjałów punktów powrotnych, zgodnie z PN/E—27. Obliczenia wykonano dzieląc całą sieć na 4 okręgi zasilania z poszczególnych podstacji: „Wola”, „Praga”, „Wierzbno” i „Żoliborz”. Przyjmując jako zero potencjał punktu przyłączenia przewodów powrotnych do szyn zbiorczych podstacji trakcyjnej, otrzymano wartości potencjałów punktów powrotnych podane w tabl. I. Zmieniające

Tablica I

Okręg zasilania	Teoretyczne potencjały punktów powrotnych (V)	Największy teoretyczny spadek napięcia w szynach (V)	Największy teoretyczny spadek napięcia w szynach w założeniu równych potencjałów punktów powrotnych (V)
Wola	0,07 ... 12,60	10,74	2,38
Praga	33,3 ... 41,2	10,96	5,46
Wierzbno	2,04 ... 12,82	9,80	3,91
Żoliborz	1,90 ... 6,66	4,17	3,43

się w tak szerokich granicach wartości potencjałów punktów powrotnych pozwalają stwierdzić, że obecny stan sieci szynowej jest całkowicie sprzeczny z wymaganiami PN/E—27. Potwierdzają to również największe spadki napięć w szynach (tabl. I), przewyższające znacznie dozwoloną wartość 2,5 V. Wyrównanie potencjałów punktów powrotnych polepsza sytuację pod względem spadku napięcia (tabl. I).

2) Pomiary w terenie.

a) Pomiar średniego prądu dobowego w kablach powrotnych i obliczone stąd potencjały punktów powrotnych potwierdzają wynik obliczeń teoretycznych i wskazują na istniejące duże różnice wartości potencjałów np. dla „Zo-

liborza“ od 1,58 do 4,82 V, a dla „Wierzbna“ od 2,80 do 16,45 V.

b) Pomiar rozprywu prądów w szynach przy sztucznym obciążeniu, zrealizowanym przez zwarcie sieci jezdnej z szynami za pomocą specjalnie dobranego układu oporników. Obrany punkt zwarcia „pl. 3 Krzyży“ zasilany był z podstacji „Praga“ prądem 113 A. Dokładność pomiaru rozprywu prądów można ocenić na ok. 20%, co dla nakreślenia charakteru zjawiska i stwierdzenia istnienia prądów odgałęzianych z szyn zupełnie wystarcza. Chociaż wyniki pomiarów zostały nieco zniekształcone wskutek niezupełnego wstrzymania ruchu tramwajowego (zaobserwowano w niektórych miejscach nakładanie się prądów z czynnej podstacji „Wola“ na prąd zwarcia), stwierdzono, pomimo panującej długotrwałej suszy, odgałęzianie się prądów błądzących o dużym natężeniu — rzędu 50% prądu zwarcia.

Zjawisko upływu prądów z szyn występuje szczególnie wyraźnie na mostach, gdzie wartość prądu w szynach na środku mostu spada prawie do zera. Jest to zrozumiałe wobec metalicznego połączenia konstrukcji mostu z szynami. Również znaczna część prądu odgałęzia się w pobliżu punktu zwarcia i przez metalowe urządzenia w ziemi (kable energetyczne i teletechniczne, rurociągi) oraz torę P.K.P. przedostaje się na Pragę, gdzie zaobserwowano stały wzrost prądu powracającego do szyn.

Kontrolny pomiar prądu w szynach na jednym z mostów, wykonany w dzień przy normalnym ruchu tramwajowym, wykazał przed mostem średnio ok. 200 A, natomiast na środku mostu prąd spadał niemal do zera.

Następny pomiar nocny przy sztucznym obciążeniu (miejsce zwarcia w ul. 3 Maja), przeprowadzony dla skorygowania poprzednio otrzymanych wyników, wykazał nadszycanie duże wartości prądu w okręgu Pragi (łącznie ok. 160 A), większe od prądu zwarcia (119 A). Wobec wyłączenia wszystkich podstacji tramwajowych, z wyjątkiem kabla zasilającego miejsce zwarcia, należy przyjąć, że prądy te pochodziły z innych źródeł, prawdopodobnie z sieci kolejowej.

Podobnie jak i podczas poprzedniego pomiaru stwierdzono istnienie dużych prądów błądzących, np. na niewielkiej stosunkowo odległości od miejsca zwarcia (ok. 200 m) odgałęzia się od szyn ok. 50% prądu zwarcia. Tak duży upływ prądów, podobnie jak poprzednio, jest spowodowany przede wszystkim złym stanem złącz szynowych.

c) Wyniki pomiarów oporności złącz szynowych niespawanych w różnych punktach na terenie całej sieci powrotnej w Warszawie podaje tabl. II. Wyniki te wskazują

Tablica II

Oporność złącz w m. b. szyny	Liczba mierzonych złącz	Procent ogólnej liczby mierzonych złącz
poniżej 3	107	39,9%
3 . . . 10	50	18,7%
10 . . . 50	74	27,6%
powyżej 50	37	13,8%
Razem	268	100,0%

na bardzo zły stan sieci szynowych. Złącza o nadmiernej oporności wykryto głównie na rozjazdach (gdzie często brak jest łączników obejściowych) oraz na terenie Pragi i Mokotowa. Zauważono także pęknięcia niektórych złącz spawanych.

d) Pomiary kontrolne na wspomnianej wyżej rurze gazociągowej na jednym z mostów, gdzie wykryto poprzednio prądy o natężeniu do 120 A, wykazały, że po założeniu zalecanych złączy izolujących prądy płynące w rurze są rzędu 4 ... 8 A, a więc obecnie nie ma obawy zniszczenia rur.

Wykonane obliczenia i badania, chociaż nie kompletne, pozwoliły na sformułowanie ogólnych wniosków.

1) tramwajowa sieć powrotna w Warszawie stanowi źródło prądów błądzących o dużym natężeniu;

2) część prądów błądzących pochodzi również od sieci kolejowej (Węzła Warszawskiego i dawnych E.K.D.);

3) wszystkie metalowe urządzenia podziemne w centrum Warszawy, położone w pobliżu torów, a nawet stosunkowo znacznie od nich oddalone, należy uznać za poważnie zagrożone przez korozję elektrolityczną;

4) wobec stwierdzenia wybitnie niezgodnego z przepisami stanu tramwajowej sieci powrotnej niecelowe jest opracowanie sposobów ochrony indywidualnie dla poszczególnych urządzeń podziemnych, należy natomiast zastosować przede wszystkim środki, ograniczające wielkość odgałęzianych z szyn prądów błądzących.

Na podstawie szczegółowej analizy wyników pomiarów i badań podano dla MPK szereg środków zaradczych, zmierzających do zmniejszenia natężenia prądów błądzących w ziemi, oraz zalecono całkowite przeprojektowanie sieci w celu dostosowania jej do wymagań PN/E—27. Uznano również, że konieczne jest prowadzenie dalszych badań w Warszawie zarówno dla określenia wpływu prądów kolejowych, jak i dla wykrycia strat, w których obecne urządzenia podziemne specjalnie narażone są na korozję elektrolityczną. Przytoczone wyżej wyniki wyraźnie stwierdzają poważne zagrożenie urządzeń podziemnych przez korozję elektrolityczną. Podobna sytuacja istnieje, jak stwierdzono, w innych miastach polskich, np. w Poznaniu, Bydgoszczy i Elblągu.

Wobec ważności zagadnienia pożądane jest wydanie oficjalnej instrukcji w sprawie walki z prądami błądzącymi; instrukcja powinna wskazywać środki zmierzające do zmniejszenia uszkodzeń w urządzeniach podziemnych.

W roku bieżącym przy Instytucie Elektrotechniki powstała specjalna Komisja Prądów Błądzących, której zadaniem będzie nowelizacja PN/E—27—1932. Dostosowanie dawnych „Wskazówek“ do obecnych warunków i uwzględnienie najnowszych zdobyczy wiedzy pozwolą — po zatwierdzeniu opracowanych przez Komisję przepisów jako normy państwowej albo międzyresortowej — rozpocząć w dużej skali zwalczanie prądów błądzących.

Prace prowadzone w dalszym ciągu przez Zakład Trakcji powinny — przy właściwym ich poparciu przez przedsiębiorstwa trakcyjne i przez przedsiębiorstwa eksploatające podziemne urządzenia metalowe — doprowadzić do spełnienia głównych zadań walki z prądami błądzącymi, a mianowicie: 1) przedłużenia czasu pracy urządzeń podziemnych, 2) zmniejszenia lub usunięcia uszkodzeń, 3) zmniejszenia lub usunięcia bezpowrotnej straty metalu.

J. O.

Zakład Trakcji Elektrycznej

SAMOCCHODY AKUMULATOROWE

Samochody o napędzie elektrycznym akumulatorowym zaczęto stosować o szereg lat wcześniej niż samochody spalinowe. Jednak szybki rozwój konstrukcji silnika spalinowego oraz duża podaż i wynikająca stąd niska cena paliwa płynnego spowodowały, że w pierwszej ćwierci bieżącego stulecia samochody akumulatorowe zostały wyparte przez samochody spalinowe. W miarę jednak wzrostu ilościowego samochodów spalinowych powstało zagrożenie braku paliwa; w krajach, nie posiadających złóż naftowych, nabierało ono poważnego znaczenia i spowodowało powrót do samochodów elektrycznych.

Samochody elektryczne, budowane przy wyszyskaniu osiągnięć w budowie samochodów spalinowych, wykazały szereg zalet, o których istnieniu zapomniano lub które nabrały znaczenia dopiero z rozwojem motoryzacji i techniki w ogóle. Spowodowało to powrót do samochodów akumulatorowych, których liczba w drugim ćwierćwieczu bieżącego stulecia zaczęła wzrastać.

Pod względem tego wzrostu przodowały kraje uprzemysłowione, a pozbawione własnych źródeł naftowych, jak Niemcy, Francja i W. Brytania. W krajach posiadających własne źródła ropy naftowej, jak np. ZSRR, zagrożenie to nie osiągnęło jeszcze dużego stopnia pilności, natomiast w Polsce — wobec dużego rozwoju motoryzacji i braku dostatecznej ilości źródeł naftowych — zdaje się wkraczać w zakres zagadnień ważnych. Zmniejszenie w skali ogólnokrajowej zużycia paliw płynnych nie wyzerpuje korzyści, związanych ze stosowaniem samochodów akumulatorowych. Dalszym wynikiem stosowania tych samochodów są korzyści ruchowe i ekonomiczne, a ponadto ważnymi cechami są cichość biegu oraz brak spalin zatrujących powietrze; są one szczególnie cenne w ruchu miejskim tj. właśnie tam, gdzie — jak się przekonamy — inne zalety samochodów akumulatorowych mają decydujące znaczenie.

Pod względem ruchowym samochody akumulatorowe górują nad spalinowymi dzięki większemu przyśpieszeniu rozruchu, co szczególnie wyraźne korzyści daje przy jeździe z częstym zatrzymywaniem, a więc w typowych warunkach drobnego ruchu towarowego w mieście. W takich przypadkach samochód akumulatorowy prędzej wykona pewną pracę niż odpowiedni samochód spalinowy, a zatem jako jednostka transportowa będzie mógł być lepiej wykorzystany.

W zakresie zalet ekonomicznych należy wymienić oprócz wyeliminowania zużycia paliwa płynnego, o czym już była mowa wyżej, większą ekonomiczność pracy wskutek tego, że silnik samochodu elektrycznego zużywa energię tylko podczas jazdy, a dalej większą sprawność urządzenia przetwarzającego energię, niższy koszt energii, niższe koszty utrzymania ze względu na prostotę urządzeń, dłuższą służbę wozu ze względu na brak drgań charakterystycznych dla silników spalinowych itp. Ważną zaletą jest ponadto fakt, że baterie wozu mogą i powinny być ładowane w godzinach nocnych tj. w okresie zmniejszonego obciążenia elektrowni. Powoduje to wyrównanie obciążenia elektrowni przy większej liczbie pojazdów, a w każdym razie prowadzi do zużywania energii elektrycznej sprzedawanej zazwyczaj po niższych cenach w okresie, kiedy zapotrzebowanie jej nie jest duże.

Z powyższego pobieżnego przeglądu widzimy, że samochody akumulatorowe mają szereg zalet, stanowiących o dużej ich wartości jako środka przewozowego. Nie są one jednak rozwiązaniem idealnym i posiadają również wady, powodujące pewne ograniczenie w ich stosowaniu. Jedną z nich jest ograniczenie zasięgu i szybkości. Ze względu na konieczność wozienia ze sobą ciężkich baterii akumulatorów zasięg samochodów akumulatorowych nie może być bardzo duży. We współczesnych rozwiązaniach zasięg tych samochodów doprowadzono do ~ 80 km na dobę, co w zupełności wystarcza na potrzeby ruchu miejskiego. Również i ograniczenie szybkości nie stanowi przeszkody w ruchu miejskim, gdzie i tak istnieją przepisy porządkowe nakazujące rozwijania szybkości ponad 40 km/h. Widzimy stąd, że omówione wady samochodów akumulatorowych powodują pewne zwężenie zakresu korzystnego ich stosowania ograniczając go do ruchu miejskiego. Tu jednak samochody akumulatorowe dzięki swym zaletom znacznie górują nad samochodami spalinowymi.

W Polsce zagadnienie transportu miejskiego nigdy nie było postawione na odpowiednim poziomie. W wyniku dużych zniszczeń wojennych oraz wobec znacznego rozwoju gospodarczego, mimo olbrzymich wysiłków w kierunku mechanizacji transportu, jeszcze nie ze wszystkich dziedzin transportu miejskiego koń jako siła pociągowa został całkowicie wyparty. Rozwijająca się motoryzacja wymaga rozważenia możliwości stosowania zamiast benzyny krajowych materiałów pędnych wszędzie, gdzie to jest możliwe, dla oszczędzania dewiz oraz ujawnienia ukrytych rezerw surowcowych.

Z powyższych względów Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki podjął się opracowania zagadnienia rentowności samochodów akumulatorowych w warunkach polskich oraz określenia typów, które nadają się do potrzeb naszego transportu miejskiego. Wyniki tych prac będą ogłoszone po ich ostatecznym zakończeniu.

J. C.

Zakład Radiologii

RENTGENOWSKI KOŁPAK
DIAGNOSTYCZNY
NA 100 kV_{max}

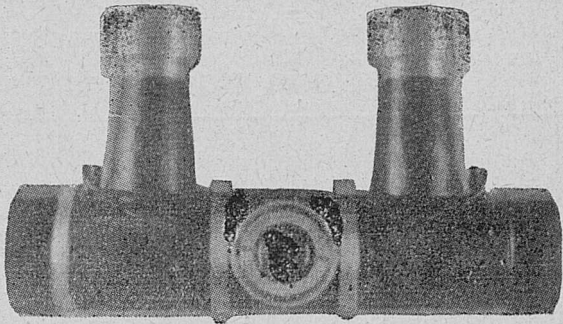
Zakład Radiologii Przemysłowej Inst. Elektr. współpracuje z przemysłem rentgenowskim w dziedzinie opracowywania nowych rozwiązań konstrukcyjnych aparatów rentgenowskich. W związku z tym wykonano model i do-

kumentację techniczną pełnoochronnego kołpaka rentgenowskiego na 100 kV_{max}. Kołpakiem nazywamy tę część aparatu, w której zamocowana jest lampa rentgenowska. Spełnia on następujące funkcje:

- 1) chroni lampę rentgenowską przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- 2) zabezpiecza otoczenie przed niebezpieczeństwem wysokiego napięcia oraz przed działaniem promieni X,
- 3) umożliwia wzmożone chłodzenie lampy rentgenowskiej.

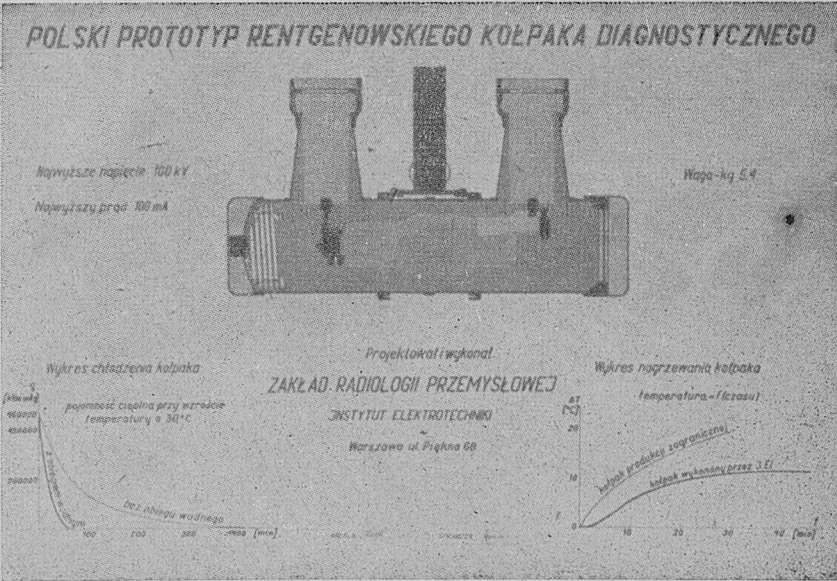
W celu spełnienia wszystkich tych funkcji kołpak musi mieć odpowiedni kształt i wymiary dopasowane do wielkości lampy.

Zasadniczą część kołpaka (rys. 1) wykonano z rury żelaznej, do której prostopadle przymocowano dwie na-



Rys. 1

sadki w kształcie stożków, stanowiące umocowanie dla tzw. gniazd kablowych. Gniazda te wykonane są z materiału izolacyjnego. Umożliwiają one bezpieczne doprowadzenie przez tzw. wtyczki kablowe (stanowiące zakończenie kabla rentgenowskiego) wysokiego napięcia do lampy rentgenowskiej, znajdującej się wewnątrz kołpaka. Po środku rury kołpaka, naprzeciw ogniska lampy, znajduje się otwór, w którym osadzone jest okienko wykonane zwykle z przezroczystej masy plastycznej. Umożliwia ono swobodne wyjście wiązki użytecznej promieni X. Ochronę przed szkodliwym promieniowaniem rentgenowskim, które wydostaje się z lampy na wszystkie strony, uzyskano przez wyłożenie wnętrza blachą ołowianą o grubości 1 mm.



Rys. 2

Wnętrze kołpaka, który stanowi naczynie zamknięte o pojemności około 2 litów, wypełnione jest olejem transformatorowym. Olej ten spełnia dwie funkcje 1) izoluje elektrody lampy rentgenowskiej, 2) odprowadza ciepło wy-

tworzone w anodzie lampy wskutek bombardowania elektronami wysyłanymi przez katodę. Ponieważ wytrzymałość elektryczna oleju jest większą niż powietrza, zmniejszone są wymiary lampy oraz samego kołpaka.

Chłodzenie lampy olejem — lepsze niż powietrzem — umożliwia większe jej obciążenie. Celem zwiększenia chłodzenia zastosowano zwojnicę metalową, umieszczoną wewnątrz kołpaka, przez którą przepływa woda. Przepływ wody 0,5 l/min. Dla wyrównania zmian objętości oleju, powstających na skutek zmian temperatury oraz powodowanych tym zmian ciśnienia, zastosowano tzw. przepone z igielitu o powierzchni 43 cm². Podczas pracy zmienia ona swoje położenie, dzięki czemu pojemność kołpaka ulega zmianie, kompensując zmiany ciśnienia.

Należy zaznaczyć, że przyrost temperatury kołpaka zależy od jego pojemności cieplnej. Dla wykonanego kołpaka

pojemność cieplna wynosi 459 000 kV_{max} · mA.sek. Przyjęto pojemność tę oznaczać w jednostkach kV_{max} · mA.sek., ponieważ w ten sposób można określić bezpośrednio — zakładając dopuszczalny przyrost temperatury — maksymalną ekspozycję, którą można obciążyć kołpak, w założeniu, że w tym czasie nie oddaje on ciepła na zewnątrz. Dla określenia warunków chłodzenia kołpaka wykonano krzywą chłodzenia (rys. 2), która określa, jakie należy zachować przerwy pomiędzy ekspozycjami.

Prócz prób cieplnych dokonywano na modelu próby na wytrzymałość elektryczną oraz na promieniowanie szkodliwe. Wszystkie te próby wykazały, że spełnione są wymagania przewidziane normami. Dzięki temu kołpak ten może zastąpić kołpaki sprowadzane dotychczas z zagranicy.

T. R.

Dane statystyczne oddziałów SEP z 1951/52

Lp.	O d d z i a ł	Okres kadencji	Liczba członków		Liczba zebrzań zarządu	Liczba odczytów		Wpływy ze składek w 1951 r. zł	Wydatki admin. oddz. w 1951 r. zł
			na pocz. kadencji	na końcu kadencji		w oddziałach	w m-cu PPR		
1	Białostocki	10.2.51 — 6.4.52	77	84	11	23	6	2364	538
2	Bydgoski	9.2.51 — 31.3.52	285	393	10	13	17	3820	2200
3	Częstochowski	23.11.51 — 30.4.52	—	45	5	—	5	—	—
4	Dzierżoniowski	1.1.51 — 31.12.51	46	44	10	8	2	1197	158
5	Gdański	11.2.51 — 1.5.52	803	482	15	8	20	14419	9059
6	Jeleniogórski*)	—	261	57	—	—	—	2658	878
7	Kielecki	1.1.51 — 20.4.52	39	70	15 + 5 pr.	11	7	1752	244
8	Krakowski	22.2.51 — 20.4.52	445	669	12	51 + 3 nar.	12	13452	6086
9	Lubelski	21.1.51 — 19.4.52	222	251	11 + 7 pr.	14	18	8148	3988
10	Łódzki	26.4.51 — 31.6.52	422	453	37	21	40	10290	4606
11	Mazowiecki	4.2.51 — 9.4.52	73	73	10 + 8 pr.	6	3	1881	354
12	Mazurski	18.1.51 — 3.4.52	78	139	8 + 4 pr.	5	28	2403	1227
13	Opolski	26.2.51 — 19.4.52	139	98	16	11	3	2147	244
14	Poznański	19.1.51 — 4.4.52	391	452	18	21	19	8849	4724
15	Radomski	17.2.51 — 5.4.52	57	62	3 + 5 pr.	11	7	2787**)	1573
16	Szczeciński	7.3.51 — 10.4.52	113	211	?	5	3	5344**)	424
17	Wałbrzyski	6.2.51 — 7.4.52	125	135	8	3	4	258	114
18	Warszawski (w tym Sekcja Telek.)	22.2.51 — 10.4.52	986	1149	8 + 6 pr.	18	5	27438	24366
19	Wrocławski	13.2.51 — 19.5.52	270	460	?	11	5	11494	14903
20	Zagłębia Węglowego	9.2.51 — 4.4.52	443	731	12 + 14 pr.	19	22	7130	5452
								25304**)	10513

*) Brak danych o zebraniach i odczytach.

**) Wpływ z tytułu zaległych składek.

Nowy statut Naczelnej Organizacji Technicznej i stowarzyszeń technicznych

W dniu 30.IX.52 III Walny Zjazd Delegatów NOT uchwalił nowe statuty NOT i stowarzyszeń.

Paragraf 4 statutu NOT głosi: „Celem NOT jest podnoszenie poziomu zawodowego kadr technicznych i organizowanie walki inżynierów i techników o postęp techniczny w służbie budownictwa Polski Socjalistycznej“.

Podniesienie w nowym statucie „walki o postęp techniczny“ do rangi najważniejszych celów NOT powoduje, że właściwym kryterium dla oceny działalności NOT i Stowarzyszeń są realne wyniki uzyskane przez społeczne organizacje techniczne w dziedzinie postępu technicznego, tego niezbędnego elementu realizacji Planu Sześcioletniego budowy podstaw socjalizmu w Polsce.

Nowe statuty NOT i stowarzyszeń przenoszą podstawowe organizacje stowarzyszeń (koła stowarzyszeniowe) do zakładów pracy oraz przewidują na większych zakładach, zwłaszcza wielobranżowych, rozwój zakładowych oddziałów NOT. Jest to słuszne rozwiązanie, gdyż walczyć o postęp techniczny można i należy przede wszystkim na placu budowy, w zakładzie pracy, w bezpośrednim zetknięciu z produkcją.

To przeniesienie podstawowych ogniw organizacyjnych do zakładów pracy oznacza jednocześnie jeszcze mocniejsze powiązanie stowarzyszeń technicznych z zakładami pracy.

Przepisy statutowe odsyłają sprawę tymczasowego określenia form organizacyjnych kół zakładowych do regulaminów, wychodząc ze słusznego założenia, że dopiero w wyniku potwierdzenia ich przydatności przez praktykę, można będzie je wprowadzić do statutu w formie postanowień o ustroju i trybie działania kół zakładowych.

Nowy statut NOT, jako jeden z celów Naczelnej Organizacji Technicznej określa „kształtowanie światopoglądu socjalistycznego inteligencji technicznej w oparciu o naukę marksizmu-leninizmu“. Bez przyswojenia tego światopoglądu najlepsza nawet wiedza techniczna nie może dać właściwych rezultatów, gdyż traci perspektywę gubiąc się w wąskim praktycyzmie i nieświadomości celów społecznych, którym ma służyć. Nieodzownym warunkiem realizacji Planu Sześcioletniego jest pełna świadomość społeczna i polityczna kadr technicznych oparta na podstawowych zasadach marksizmu-leninizmu.

PRZEGŁĄD BIBLIOGRAFICZNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI
Dodatek do miesięcznika PRZEGŁĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 5

Warszawa, grudzień 1952 r.

Nr 12

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

Wiadomości ogólne

435* 621.3.042:621.318.3 D1—12.52
Sacharow P. W., Piekier I. I.: **Uproszczony sposób obliczania obwodów magnetycznych prądu zmiennego**. „Uproszczonyj metod rasczota elektromagnitnych priamochnodowych sistiem pieriemennowo toka”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 12, grud. 49, s. 10; A4, 8 str., 6 rys., 2 wykr., 7 tabl., 3 poz. bibl. — Wyprowadzenie zasadniczych równań dla obliczenia elektromagnetycznego układów trójrdzeniowych. Przykład liczbowy i sprawdzenie doświadczalne obliczeń. Wpływ nieliniowości charakterystyki stali na dokładność obliczeń. Analiza wpływu poszczególnych parametrów konstrukcyjnych na charakterystyki układu elektromagnetycznego. Wpływ zwoju zwartego oraz strat w żelazie i miedzi na dokładność obliczeń. Schematy zastępcze układu. Analiza siły przyciągającej elektromagnesu.

Elektrownie

436* 621.311.18 D1—12.52
Rozensztejn Ł. Ja.: **Układ potrzeb własnych elektrowni przemysłowych**. „O schiemie sobstwiennych nužd promyslennykh elektrostancij”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 2, luty 52, s. 36; A4, 3 str., 2 rys., 2 tabl. — Wykorzystanie transformatorów potrzeb własnych w elektrowniach przemysłowych. Schematy układów potrzeb własnych: z transformatorem rezerwowym i bez transformatora. Porównanie obydwu układów pod względem technicznym i ekonomicznym. Zalety, zakres stosowania i pewność pracy oszczędnościowego układu potrzeb własnych bez transformatora rezerwowego.

Elektryfikacja rolnictwa

437* 621.3:631(47) D1—12.52
Josifjan A. G.: **Typy urządzeń elektrycznych dla rozwoju elektryfikacji rolnictwa**. „O tipach elektrooborudowanija dla razwitija elektrifikacii sielskowo choziajstwa”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 1, stycz. 49, s. 1; A4, 2 str. — Charakterystyka odbiorów wiejskich w ZSRR. Wytczne wyposażenia kołchozów radzieckich w aparaturę elektryczną. Wzrost mocy elektrowni i podstacji wiejskich. Nowe typy prądnic i turbin wodnych. Przemysł elektrotechniczny ZSRR a elektryfikacja wsi.

Maszyny elektryczne

438* 621.313.322.1:621.3.012.1 D1—12.52
Mieriejnes A. A.: **Uniwersalny wykres do obliczania elektrycznych warunków pracy prądnic turbinowych**. „Uniwersalnaja diagramma dla rasczota elektriceskowo riezi-ma raboty turbogienieratora”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 9, wrzes. 51, s. 32; A4, 4 str., 3 wykr. — Wykres wektorowy prądnic turbinowej. Zasady budowy uniwersalnego wykresu do określenia warunków prac/prądnic turbinowych i sposób posługiwania się nim. Rodzina krzywych dla prądnic różnych typów. Dokładność wykresu.

439* 621 313.322.1:621.3.012 D1—12.52
Jeńko W. W.: **Określenie warunków pracy prądnic turbinowej**. „Opriedielenie riezi-ma turbogienieratora”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 2, luty 52, s. 30; A4, 2,5 str., 3 wykr. — Charakterystyka uogólnionego wykresu wektorowego prądnic turbinowej. Graficzny sposób określenia warunków pracy prądnic przy zastosowaniu uogólnionego wykresu. Przykład liczbowy.

440* 621.313.226 D1—12.52
Kübler E.: **Maszyny stałoprądowe regulacyjne i wzmacniacze dla prądu stałego (metadyna, amplidyna, rototrol)**. „Konstantstrom, Verstärker und Regelmaschine für Gleichstrom (Metadyne, Amplidyne, Rototrol)”. ETZ, Wuppertal, dwutyg., r. 72, nr 21, list. 51, s. 623; A4, 5,5 str., 12 rys., 6 poz. bibl. — Jednotwornikowa przetwornica — metadyna — cechy charakterystyczne (napięcia, prądy, strumienie przy biegu luzem i przy pełnym obciążeniu). Metadyna — generator. Amplidyna — maszynowy wzmac-

niacz prądu stałego (stopień wzmocnienia). Rototrol (uzwojenia dodatkowe, działanie jako wzmacniacz, jako maszyna regulacyjna). Cechy charakterystyczne wymienionych maszyn.

441* 621.313.29 D1—12.52
Tschappu F.: **Rototrol. Nowy rodzaj elektrycznej maszyny prądu stałego**. „Der Rototrol. Eine neue elektrische Gleichstrommaschine”. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., nr 20, paźdż. 51, s. 796; A4, 9,5 str., 12 rys., 2 wykr., 9 poz. bibl. — Układ zastępczy rototrola i jego sposobów pracy. Napiecie indukowane w maszynie, warunki komutacji i bezwładność magnetyczna. Przykłady zastosowań praktycznych rototrola.

Prostowniki

442* 621.314.6 D1—12.52
Güntherschulze A.: **Prostownik próżniowy i gazowy**. „Vakuum — und Gasgleichrichter”. ETZ, Wuppertal, dwutyg., r. 72, nr 19, paźdż. 51, s. 573; A4, 3 str., 1 fot., 1 rys. 1 poz. bibl. — Wysokopróżniowy prostownik z żarzoną katodą (zakresy, materiały). Wentyle z wyładowaniem w gazie (ogólny rozwój, niektóre dane techniczne, rodzaje gazów, różne rodzaje np. fanotrony, tyratrony, prostowniki rtęciowe, łukowe, ignitrony itp.).

443* 621.314.632:621.315:612 D1—12.52
Gaertner P. C.: **Zastosowanie półprzewodzącej emalii porcelanowej do produkcji prostowników Cu—Cu₂O**. „The use of a semiconducting porcelain enamel as a means of producing copper-copper oxide rectifiers”. Amer. Ceram. Soc. Bull., Easton, mies., t. 30, nr 8, sierp. 51, s. 265; A4, 2 str., 2 rys., 4 poz. bibl. — Zachowanie się półprzewodników Cu—Cu₂O pod działaniem prądu elektrycznego. Zarys obecnie stosowanej produkcji i jej wady. Badania z emalią zawierającą 20—80% Cu₂O. Wyniki badań robieżne.

444* 621.314.653 D1—12.52
Siegel R.: **Prostownik bezpompowy**. „The pumpless rectifier”. Gen. Electr. Rev., Schenectady, mies., t. 54, nr 7, lip. 51, s. 45; A4, 5,5 str., 8 fot., 6 rys., 1 wykr. — Opis bezpompowych ignitronów z punktu widzenia ich zalet w eksploatacji. Porównanie z prostownikami pompowymi pod względem elektrycznym i mechanicznym.

Kable

445* 621.315.2:621.312(47) D1—12.52
Kliwanow E. F., Bieforussow N. I.: **Osiągnięcia i zadania przemysłu kablowego**. „Dostizienja i zadaczii kablinoj promyslennosti”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 11, list. 49, s. 4; A4, 5 str., 2 rys., 2 wykr. — Zarys rozwoju przemysłu kablowego w ZSRR. Nowe osiągnięcia w dziedzinie produkcji kabli siłowych w izolacji papierowej. Charakterystyka aldreju produkowanego w ZSRR. Przegląd przewodów i kabli w izolacji gumowej. Postęp w dziedzinie produkcji drutów nowojowych. Wprowadzanie najnowszych wyników badań naukowych w przemysle kablowym ZSRR.

Materiały izolacyjne

446* 548.3:666.3/7:621.315.612 D1—12.52
Hauth W. E.: **Zastosowanie chemii kryształów w ceramice**. „Crystal chemistry in ceramics”. Amer. Ceram. Soc. Bull., Easton, mies., t. 30, nr 3, marz. 51, s. 76; A4, 2 str., 1 rys., 1 tabl. — Struktury krzemianów orto, pyro i meta oraz amfibole. Substytucje. Zmiany komórki wywołane elektroneutralnością. Siły wiązań krystalicznych.

447* 621.315.612:621.317.39:621.3.082.4 D1—12.52
Decker A. R.: **Oznaczanie modułu elastyczności materiałów ceramicznych metodą dźwiękową**. „Note regarding the sonic determination of modulus of elasticity using round section bars”. J. Amer. Ceram. Soc., Easton, mies., t. 33, nr 6, czerw. 50, s. 192; A4, 1 str. — Podstawy teoretyczne pomiaru (równanie Masona, adaptacja Powersa). Próbkki walcowate. Dobre wyniki dla materiałów ceramicznych. Metoda dokładna i łatwa.

448* 621.315.614.6:620.172 D1—12.52
Wojciechowski R. W.: **O rozciągliwości papieru**. „O razności bumażni”. Bumażn. Promyszl., Moskwa, dwumies., nr 2, marz. — kw. 50, s. 27; A4, 3 str., 2 rys., 2 tabl. — Autor na podstawie rozważań teoretycznych dochodzi do równań, z których wyciąga wnioski, określające wpływ ułożenia włókien, długości włókna i struktury papieru na rozciągliwość. Zależność pomiędzy rozciągliwością a wytrzymałością na rozrywanie i ilością podwójnych zgięć.

449* 621.315.614.6:621—791.2:531.717.1 D1—12.52
Szuchier E. K.: **Przyrząd do określania grubości cienkich papierów**. „Pribor dla opriedielenia tołszczyzny tonkich bumazh”. Bumażn. Promyszl., Moskwa, dwumies., nr 4, lip.-sierp. 51, s. 23; A4, 1 str., 2 rys., 1 tabl. — Pomiar grubości cienkich papierów przy pomocy optimetru. Opis przyrządu i sposoby pomiaru.

Stupy

450* 621.315.663:624.15+693.55 D1—12.52
Tawchelidze N. N.: **Zestawowy, żelbetowy fundament słupa elektrycznej linii przesyłowej**. „Sbornyj żeliezobetonnyj fundament dla linij elektropieriedaczij”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 1, stycz. 52, s. 24; A4, 2 str., 1 fot., 1 rys., 1 tabl. — Nowa konstrukcja trójdzielnego, zestawowego fundamentu żelbetowego słupów przelotowych. Wyniki badań fundamentu. Zalety fundamentów nowej konstrukcji.

Wyłączniki

451* 621.316.5.027.3(47) D1—12.52
Grejnier Ł. R.: **Charakterystyki techniczne i drogi rozwoju aparatury elektrycznej wysokiego napięcia firmy „Elektroapparat”**. „Tiechniczieskie charakteristiki i puti razwitiya elektriczieskoj aparatury wysokowo napriazienija zawoda „Elektroapparat”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 1, stycz. 49, s. 15; A4, 8 str., 11 fot., 1 rys., 1 wykr., 2 tabl. — Powojenne osiągnięcia firmy „Elektroapparat” w dziedzinie wprowadzenia produkcji nowych typów aparatury elektrycznej. Charakterystyka nowoczesnej aparatury rozdzielczej. Dane techniczne wyłączników powietrznych i małoolejowych „Elektroapparat”. Rozwój konstrukcji odłączników w ZSRR. Charakterystyka przekładników prądowych produkowanych w firmie „Elektroapparat”.

452* 621.316.57:621.3.064 D1—12.52
Gurinowicz M. M.: **Schemat samoczynnego włączania rezerwy przy wykorzystaniu pomocniczego, ślizgowego styku wyłącznika**. „Schiema awtomatyczieskowo wwoda riezierwa s ispolzowanijem proskalazywajuszczewo blok-kontakta wykluaczatiela”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 22, nr 9, wrzes. 51, s. 57; A4, 1 str., 1 rys. — Schemat i działanie układu samoczynnego włączania rezerwy przy wykorzystaniu styków pomocniczych wyłącznika. Elementy składowe układu. Praca układu w warunkach eksploatacyjnych.

453* 621.316.57:621.316.35 D1—12.52
Pruzanski A. M.: **Układ samoczynnego włączania zasilania rezerwowego o małej ilości przełączników**. „Małorielejnaja schiema awtomatyczieskowo wkluczenija riezierznowo pitanja”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 1, stycz. 52, s. 57; A4, 1 str., 1 rys. — Schemat dwuprzekaźnikowego układu samoczynnego włączania wyłącznika sprzęgłowego szyn zbiorczych. Charakterystyka działania układu. Czas przerwy w zasilaniu potrzeb własnych przy wyłączeniu jednego z transformatorów.

454* 621.316.57.064.25(47) D1—12.52
Czeczujew G. A.: **Szybki wyłącznik podstawiczny typu MKP-35**. „Bystrodejstwujuszczij podstancjonnyj wykluaczatel tipa MKP-35”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., nr 6, czerk. 49, s. 1; A4, 5,5 str., 6 rys., 5 tabl., 1 wykr. — Porównanie wyłączników podstawicznych 35 kV produkowanych w ZSRR. Konstrukcja wyłącznika typu MKP-35. Charakterystyka poszczególnych części wyłącznika: komory gaszeniowej, styków, napędu, zbiornika oleju, przepustów i przekładników prądowych wbudowanych w wyłącznik. Podstawowe charakterystyki mechaniczne wyłącznika MKP-35. Zależność czasu łukowego od wyłączonego prądu.

455* 621.316.57.064.25.004.6 D1—12.52
Jegorow A. W.: **Szybkościowy remont wyłączników 110 kV**. „Skorostnyj remont wykluaczatieliej 110 kV”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 2, luty 52, s. 55; A4, 1 str., 1 tabl., 4 poz. bibl. — Warunki wstępne wykonywania szybkościowych remontów wyłączników pełnoolejowych 110 kV. Harmonogram szybkościowego remontu kapitalnego wyłączników typu MKP-153 i MKP-160. Charakterystyka prac remontowych.

Regulacja

456* 621.316.718:621.313.13 D1—12.52
Sterowanie silników. „Motors controls”. Westinghouse Engr., Pittsburgh, dwumies., nr 1, stycz. 52, s. 18; A4, 3,5 str., 5 fot. — Udoskonalone zasady sterowania. Badania silników bez ich wykonywania. Rozwój silników i obwodów sterujących. Techniczne układy napędowe składające się z kilku silników zasilanych z jednej prądnicy ze wspólnym sterowaniem elektronowym. Napędy dźwigów.

457* 621.316.718:621.313.2—9:621.385.38 D1—12.52
Sterowanie i regulacja silników prądu stałego przy pomocy tyratronów. „Steuern und Regeln von Gleichstrommotoren mit Thyratrons”. ETZ, Wuppertal, dwutyg., nr 2, stycz. 51, s. 35; A4, 3,5 str., 1 fot., 4 rys., 6 wykr. — Najważniejsze i podstawowe problemy sterowania elektronowego silników prądu stałego. Układy do regulacji i kompensacji obrotów. Zagadnienie stabilizacji i komutacji.

Zabezpieczenia

458* 621.316.925 D1—12.52
Mikucki G. W.: **Włączenie zabezpieczenia porównawczo-fazowego wielkiej częstotliwości z urządzeniami nadawczo-odbiorczymi typu PWZ**. „Wkluczenije diffierencjalnoj faznoj wysokoczastotnoj zaszczyty s prijomo-pieriedaczikami tipa PWZ”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 1, stycz. 52, s. 26; A4, 3,5 str., 2 rys., 4 wykr. — Charakterystyka pracy radzieckiego urządzenia nadawczo-odbiorczego wielkiej częstotliwości do zabezpieczenia porównawczo-fazowego linii wysokiego napięcia. Schemat odbiornika wielkiej częstotliwości typu PWZ. Przystawka manipulacyjna urządzenia nadawczo-odbiorczego.

459* 621.316.925:621.313.12:621.3.014.3:621.316.99 D1—12.52
Kowalenko F. N., Dubowicki A. K., Priessman S. M., Aleksiejew A. A., Pietuchow F. F., Podkowryw G. W., Rudzinski D. D., Kornijenko E. F., Niebrat Ł. E., Ostropolski M. P.: **Eksploatacja ziemnozwarciowych zabezpieczeń prądnic**. „Ob eksploatacji zaszczyty gienieratorow ot zamykanja na ziemi”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., nr 1, stycz. 52, s. 45; A4, 7 str., 1 tabl. — Charakterystyka przypadków zwarć doziemnych w prądnicach zainstalowanych w elektrowniach ZSRR. Charakter i ilość uszkodzeń prądnic powstałych przy zwarciach doziemnych w latach 1945—1950. Zarządzenie o stosowaniu ziemnozwarciowych zabezpieczeń prądnic, działających na sygnał w praktyce eksploatacyjnej elektrowni radzieckich.

460* 621.316.925:621.313.12+621.314:621.3.014.3 D1—12.52
Gatajewicz A. D.: **Sygnalizacja zwarć doziemnych w bloku prądnic-transformator**. „Signalizacija zamykanij na ziemi blokow gienierator-transformator”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., r. 23, nr 1, stycz. 52, s. 57; A4, 0,5 str., 1 rys. — Charakterystyka wykonania, działania na sygnał zabezpieczenia ziemnozwarciowego bloku prądnic-transformator. Schemat ideowy sygnalizacji zwarć doziemnych z przerobionym przełącznikiem typu EN-524.

461* 621.316.925:621.313.322.2 D1—12.52
Kuzirnyj A. A., Podkowryw G. W., Fajnsztejn E. G.: **Zabezpieczenie nadnapięciowe prądnic o napędzie wodnym**. „Zaszczyta gidrigienieratora ot powyszenija napriazienja”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., nr 2, luty 52, s. 32; A4, 3,5 str., 4 wykr., 1 tabl. — Wytyczne stosowania zabezpieczeń nadmiarowo-napięciowych prądnic o napędzie wodnym, a praktyka ich eksploatacji w ZSRR. Statystyka wyłączów prądnic spowodowanych zadziałaniem zabezpieczeń nadnapięciowych. Obliczenie napięcia na zaciskach prądnicy przy zwiększonych obrotach zespołu po wyłączeniu zwarcia. Forsowanie wzbudzenia prądnicy po wyłączeniu zwarcia.

STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH

SKŁAD ZARZĄDÓW ODDZIAŁÓW W KADENCJI 1952/53

Lp.	Oddział	Prezes	Wiceprezes	Sekretarz	Skarbnik	Ref. odczyt.	Inne funkcje
1	Białostocki	Wołasewicz L.	—	Narkiewicz A.	Piotrowski Edw.	Jurgielewicz A.	Ref. szk. Niebrzydowski J.
2	Bydgoski	Sobołyński Cz.	Paschke Ł. Donimirski I.	Sibilla M.	Cwik Hieronim	Kozłowski J.	
3	Częstochowski	Dyderski Fr.	Fidyk St.	Podwysocki J. Zast. Kuźnik W.	Znamierowski A. Zast. Dobrucki J.		Czł. Soluch Zdz.
4	Dzierżoniowski	Nieplowicz St.	Haupt K.	Krakowiak J.	Perliński St.	Goldman A.	
5	Gdański	Całka R.	Hykiel Wł. Hadrian H.	Konecki Zb. Zast. Szulc Z.	Wenta Brunon Zast. Jaroszewski Wł.	Kołodziejczyk Edm.	
6	Jeleniogórski*)	—	—	—	—	—	—
7	Kielecki	Jakóbkiewicz Cz.	Giel Edw.	Szota P. Zast. Skiba E.	Wojtecki H.	Guzik M.	Czł. Woś Henryk „ Ząbek Julian
8	Krakowski	Asler R.	Chwała K.	Guzdek L.	Skrbeński K. Zast. Mędygrał A.	Schmidt J.	Ref. szk. Sieniawski „ post. techn. Blasewatos Jan „ organizac. Worotnicki J.
9	Lubelski	Wojnicz W.	Szałański Z.	Rogowski J. Zast. Drzymulski K.	Pielak H.	Kawiak K.	Ref. szk. Marcelewicz A. „ post. techn. Suprynowicz T. „ TOP Podkowa B.
10	Łódzki	Nowakowski S.	Samoggy S.	Winnicki A.	Grodzki T.	Malecki J.	Ref. szk. Kędziorowski H. „ post. techn. Dąbrowski T. „ kół zakł. Pasik R.
11	Mazowiecki	Dzierżęcki T.	Fabirkiewicz M.	Przedpełski W.	Borkowski K.	Fabirkiewicz M.	Czł. Chmielecki W. „ Wysokiński Zdz.
12	Mazurski	Trzeciak E.	Chlebowski T.	Szczepkowski St.	Białoszewski J.	Galiński Zb.	Czł. Jabłoński Wł.
13	Opolski	Szczot Z.	Szymański Wł.	Bielak H.	Skoczek Zb.	Dobrowolski St.	Ref. szkol. Strach Stefan
14	Poznański	Antowski T.	Mularczyk E.	Linke K. Zast. Zakrzewski G.	Baczyński O.	Jaworska I.	Ref. szkol. Skrukwa J. Czł. Kołowrotkiewicz
15	Radomski	Kwiatkowski R.	Trybulski J.	Jarosławski J.	Jakubiak J.		Czł. Stępień Jan „ Figura Stan.
16	Szczeciński	Włodarski J.	Fabierkiewicz Z. Nowicki J.	Grygas D.	Karwowski A.	Rubiński K.	Ref. post. techn. Juner M.
17	Wałbrzyski	Żepielski K.	Tyndziuk St.	Dołkowski W.	Borowicz T.	Senator J.	Ref. szkol. Dudek Wiktor
18	Warszawski	Wiśniewski R.	Luberadzka T. Turowski M.	Ławnik S.	Stępień K.		Czł. Paszkiewicz St. „ Jończyk R. „ Gałka Jan
19	Wrocławski	Prószyński J.	Gogolewski W. Kluk J.	Koukal R.	Krupowicz W.	Nowicki K.	Ref. szkol. Wirkutowicz R. „ racjon. Kuropis M.
20	Zagi. Węglowego	Siwiński J.	Bohosiewicz Wł.	Bień Z.	Gliksman B.	Guziorski J.	Ref. szkol. Paweł St. „ post. techn. Ciołek A. „ wycieczkowy Zborowski H.
21	Zielonogórski	Patalas J.	Dux M. Katerlak S.	Strzeszyński M.	Heńczek P.	Merecki M.	

*) Brak danych.

PRACE CENTRALNEGO INSTYTUTU OCHRONY PRACY

(Państwowe Wydawnictwa Techniczne)

Ukazują się 4 razy w roku i zawierają wyniki prac naukowo-badawczych, dotyczących zapobiegania i wyeliminowania urazów mechanicznych, chorób zawodowych, zbędnego i nadmiernego wysiłku przy pracy

WYCIĄGI ZE SPISU RZECZY ZESZYTÓW, KTÓRE UKAZAŁY SIĘ DOTYCHCZAS

Zeszyt 1/1951

RUCHOME APARATY DO NADMUCHÓW POWIETRZNYCH, mgr inż. W. Twardowski i mgr inż.

A. Skłodowski

Aparaty stosuje się przy stanowiskach pracy, przy których występują szkodliwe warunki, jak zapylenie, wysoka temperatura i promieniowanie oraz niedostateczne nawilżanie powietrza, w celu zapewnienia lepszych warunków klimatyzacji.

PRZYZYCINEK DO PRAC NAD ODZIEŻĄ DLA SPAWACZY, M. Zięborakowa

Praca podaje wyniki badań zmierzające do stwierdzenia, jakiego rodzaju surowców należy używać do wytwarzania odzieży ochronnej dla spawaczy zamiast skóry, oraz sprawdzenia, czy niepalne technicznie tkaniny ubraniowe mogą znaleźć zastosowanie z punktu widzenia ochrony pracy (ochrona przed promieniowaniem nadfioletowym, widzialnym i podczerwonym).

Zeszyt 2/1951

BADANIA DIELEKTRYCZNEGO SPRZĘTU OCHRONNEGO, inż. E. Moszyński

Praca dotyczy sposobów przechowywania, konserwacji oraz oznaczania sprzętu ochronnego i metod badania wytrzymałości dielektrycznej sprzętu przy pomocy wysokiego napięcia.

OCHRONNIKI AKUSTYCZNE, M. Zięborakowa i mgr inż. R. Wyrzykowski

Praca dotyczy znanych modeli ochronników akustycznych, jak i ostatnich modeli opracowanych przez CIOP, oraz wyników badania tłumienia hałasu przy ich pomocy.

Zeszyt 3/1951

WSTĘPNE BADANIA UNIWERSALNEGO APARATU OCHRONNEGO DO FREZAREK DOLNOWNRZĘCIONOWYCH DO DREWNA, mgr inż. Cz. Grzebalski

Badania dotyczą wykonanego w CIOP prototypu aparatu i wyników jego badań w Zakładzie Urządzeń Mechanicznych CIOP.

SIEĆ TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO, inż. J. Gadomski i mgr inż. J. Zajączkowski

Praca dotyczy zasadniczych praw, rządzących przepływem cieczy, które stanowią podstawę do zrozumienia teorii transportu pneumatycznego oraz wytyczne dotyczące obliczeń.

Zeszyt 4/1951

NAWIEWNE PRZEWODY WENTYLACYJNE ZE SZCZELINĄ, dr inż. T. Wolff

Praca dotyczy metody obliczania przewodów, mających za zadanie równomierne rozpróśczenie powietrza.

ROZWAŻANIA TEORETYCZNE I ZASTOSOWANIA PRZEMYSŁOWE GENERATORÓW DŹWIĘKOWYCH DUŻEJ MOCY — SYREN, mgr inż. R. Wyrzykowski

Praca dotyczy najważniejszych zagadnień związanych z budową tego typu generatorów.

Zeszyt 1/1952

PYLICE NARZĄDU WZROKU, dr med. J. Biernacka-Biesiekińska

PYLICE GÓRNYCH DRÓG ODDECHOWYCH, dr med. I. Cichocka-Szumilin

Zeszyt 2/1952

ANALIZA SIŁ STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH DZIAŁAJĄCYCH W MOMENCIE WYPRÓŻNIANIA WYWROTKI KOLEJOWEJ, mgr inż. A. Jowasiński i mgr inż. M. Łosiński

EŻEKTORY DO CEŁÓW WENTYLACYJNYCH, inż. A. Kasprzycz

Zeszyt 3/1952

POCHŁANIACZE PRZESTRZENNE — TEORIA ICH DZIAŁANIA I WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH, dr inż. I. Malecki i mgr inż. L. Filipczyński

WENTYLATORY — TEORIA, CHARAKTERYSTYKA, PRAWA PODOBIENSTWA, SYSTEMATYKA, dr inż. T. Wolff

PROSTE METODY OBLICZANIA WYMIENNIKÓW CIEPŁA, inż. Zb. Garbarczyk

Prace CIOP można nabywać systemem abonamentowym przez Księgarnię Techniczną „Domu Książki”, Warszawa, ul. Bracka 20, lub też nabywać poszczególne zeszyty w wolnej sprzedaży w następujących księgarniach „Domu Książki”:

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