NAKŁAD 7500 EGZEMPLARZY CENA ZESZYTU ZŁ. 60.—

WIADOMOŚCI ELEKTROTECHNICZNE

CZASOPISMO DLA ELEKTRYKÓW—PRAKTYKÓW

Redaktor inż. el. Włodzimierz Kotelewski * Warszawa, Czackiego 3/5

ROK VIII GRUDZIEŃ 1949 ZESZYT 12

TREŚĆ ZESZYTU 12-go 1. PRZETWARZANIE PRĄDU ZMIENNEGO NA PRĄD STAŁY. 2 ROZDZIELNIE I PODSTACJE WYSOKIEGO NAPIĘCIA. 3. KILKA UWAG O ELEKTROWNIACH WODNYCH. 4. CHŁODZENIE OLEJU W TRANSFORMATORACH DUŻYCH MOCY. 5. GŁOSY CZYTELNIKÓW. 6. URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE. 7. PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI. 8. NOWINY ELEKTROTECHNICZNE. 9. SKRZYNKA TECHNICZNA.

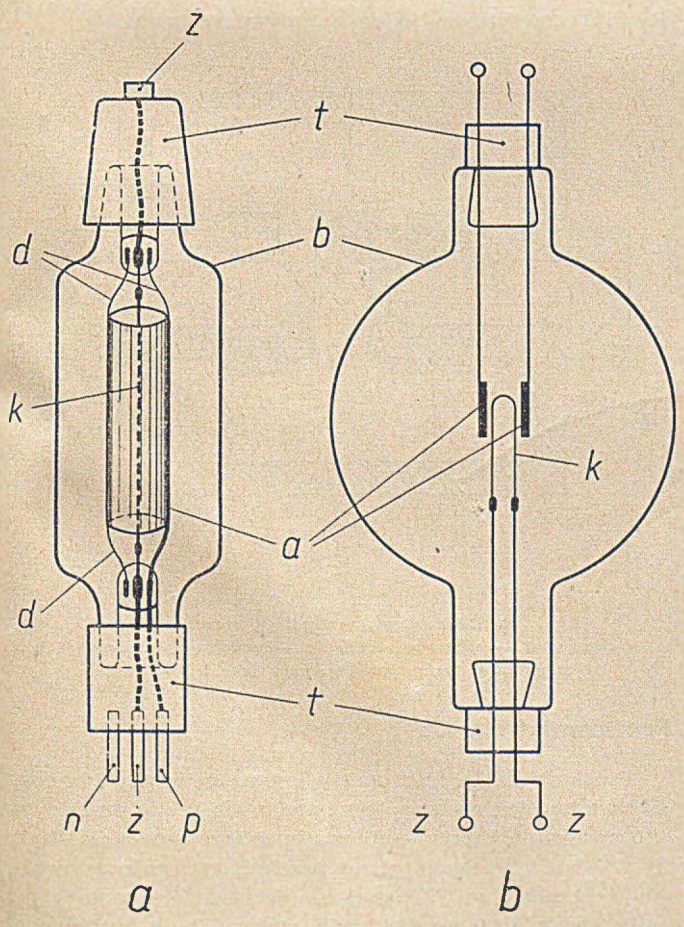
Przetwarzanie prądu zmiennego na prąd stały

(Dokończenie)

Inż. ALEKSANDER BIBIEŁO.

Lampy prostownicze próżniowe (kenotrony)

Lampa prostownicza próżniowa (k e n o t r o n) stanowi bańkę szklaną, w której umieszczone są dwie elektrody — żarzona katoda **k** (rys. 19 — a), wykonana w postaci włókna (drutu), oraz zimna anoda **a** otaczająca niejako katodę. Wewnątrz bańki panuje wysoka próżnia.



Rys. 19. Różne konstrukcje kenotronu.
b — bańka szklana; t — trzonki lampy; a — anoda; k — katoda; d — druty utrzymujące anodę; ż — ż — dopływ prądu żarzenia; p — dopływ prądu prostowanego.

Gdy katoda k jest żarzona wskutek przepływu prądu (przeważnie niskiego napięcia), doprowadzonego do zacisków **ż** — **ż**, jest ona w stanie wysyłać elektrony. Jeżeli przyłożymy źródło prądu zmiennego do zacisku **ż** włókna oraz do zacisku **p** anody, to prąd ten — ze względu na wspomniane wysyłanie (emisję) elektronów — będzie przewodzony tylko w j e d n y m kierunku. Omawiana lampa (kenotron) jest więc prostownikiem.

Chcąc uzyskać wyprostowanie obu połówek sinusoidy, stosujemy po obu stronach żarzonej katody (rys. 19—**b**) dwie osobne anody **a** — **a** oraz specjalny układ połączeń transformatora zasilającego.

Charakterystyczne cechy kenotronów są następujące: wysoka oporność — rzędu setek omów (od 100 do 1000 Ω i wyżej) — oraz opłacalność stosowania tylko na stosunkowo małą moc i znaczne napięcie.

Do z a l e t kenotronów należy brak jakichkolwiek części ruchomych; do w a d — konieczność żarzenia katody, niebezpieczeństwo jej przegrzania (utrata emisji), ograniczona trwałość oraz nieopłacalność stosowania lampy do prostowania prądu niskiego napięcia.

Lampy prostownicze gazowane (gazotrony)

Lampy prostownicze gazowane (g a z o t r o n y) tym się różnią od prostowniczych lamp próżniowych, że są wypełnione gazem szlachetnym (neonem lub argonem) o niskim ciśnieniu.

Do z a l e t gazowanych lamp prostowniczych należy brak ruchomych części; do w a d — konieczność żarzenia katody, niebezpieczeństwo jej przegrzania, ograniczona trwałość oraz stosunkowo mały współczynnik sprawności przy stosowaniu na niskie napięcia.

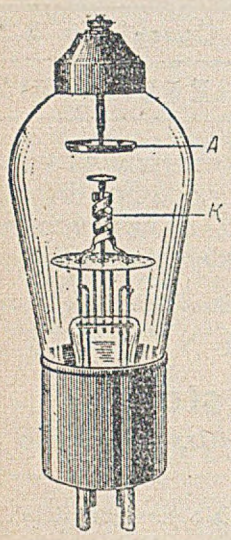
W porównaniu z kenotronami, gazotrony wykazują podczas prostowania prądu mniejszy spadek napięcia w kierunku przewodzenia.

Na rys. 20 pokazany jest jeden z typów gazotronów mianowicie gazotron wytwarzany w Związku Radzieckim przez Zakłady „Świetłana".

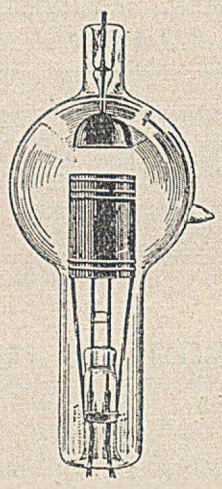
Lampy prostownicze z parą rtęci (fanotrony)

Lampy te są zbudowane podobnie jak gazotrony, lecz posiadają wewnątrz pewną ilość rtęci, która częściowo paruje i wypełnia wnętrze lampy parą (rtęci) o niskim ciśnieniu. Para rtęci zachowuje się, jak gaz szlachetny.

Lampy wypełnione parą rtęci mogą być budowane na stosunkowo niskie napięcia.



Rys. 20. Jeden z gazotronów wytwarzanych przez zakłady „Świetłana"
A — anoda; K — katoda wykonana w kształcie spirali zwiniętej z taśmy.



Rys. 21. Lampa z parą rtęci wykonana przez zakłady „Świetłana"; największy prąd wyprostowany — 40 A; napięcie zaporowe — 12000 V; napięcie żarzenia — 5 V.

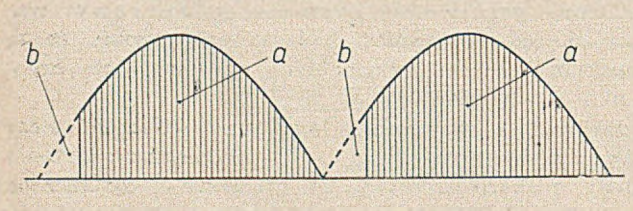
Spadek napięcia w kierunku prostowania w lampie rtęciowej jest niewielki i może wynosić 8 — 15 V.

Na rys. 21 pokazany jest jeden z typów lamp rtęciowych.

Lampy prostownicze z siatką sterowaną (tyratrony)

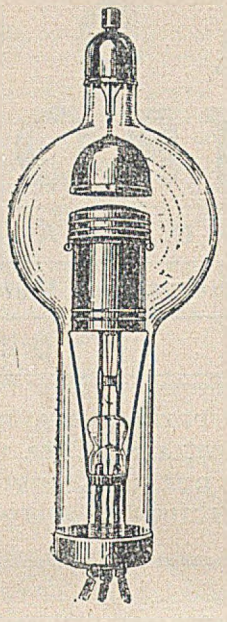
Rtęciowa lampa prostownicza zaopatrzona w dodatkową elektrodę — siatkę nosi nazwę t y r a t r o n u. Siatka ta steruje zjawiskami przepływu prądu w lampie podczas prostowania.

Różnica w działaniu między tyratronem a kenotronem wzgl. gazotronem polega na tym, że kenotron wzgl. gazotron przewodzą prąd tylko wówczas, gdy ich anoda ma potencjał dodatni. W tyratronie natomiast — o ile pracuje on jako prostownik — potencjał dodatni posiadać musi zarówno anoda, jak i siatka.



Rys. 22. Schemat działania siatki sterującej.
a — wyprostowana część sinusoidy; b — ścięta część sinusoidy.

Dając na s i a t k ę tyratronu impulsy napięcia, można przebieg prostowania prądu w pewnych granicach regulować. Opóźniając mianowicie (za pomocą urządzenia synchronicznego) impulsy potencjału dodatniego kierowane

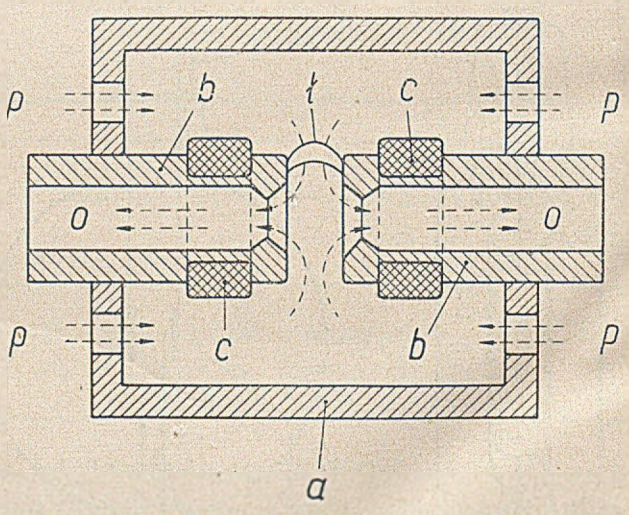


Rys. 23. Jeden z typów tyratronów produkowanych przez zakłady „Świetłana".

na siatkę względem napięcia prądu prostowanego, możemy powodować o p ó ź n i a n i e w wyprostowywaniu każdej połówki sinusoidy, jak to pokazano na rys. 22.

W praktyce prostowniki z siatką sterowaną (tyratrony) są stosowane do regulacji prostowanych prądu i napięcia, w radiotechnice i in. Poza tym siatka sterująca (przy uwzględnieniu specjalnego układu) służy, jako ochrona prostownika od przeciążenia.

Tyratrony zyskują coraz to większe rozpowszechnienie. Rys. 23 przedstawia jeden z typów tyratronu.



Rys. 24. Schematyczny przekrój prostownika Marxa.
a — komora; b — elektrody rurowe; c — uzwojenie wytwarzające pole magnetyczne, które powoduje ruch łuku ł; ł — łuk.

Prostowniki Marxa

Prostownik M a r x a oparty jest na pewnych własnościach łuku elektrycznego przejawianych przy normalnym lub zwiększonym ciśnieniu w atmosferze powietrza. Rys. 24 przedstawia schematycznie przekrój takiego prostownika. W komorze a wykonanej z materiału izolującego znajdują się miedziane elektrody rurowe **b—b**, ustawione w takiej odległości, że napięcie prądu zmiennego, który ma być prostowany, nie przebija przestrzeni powietrznej między elektrodami.

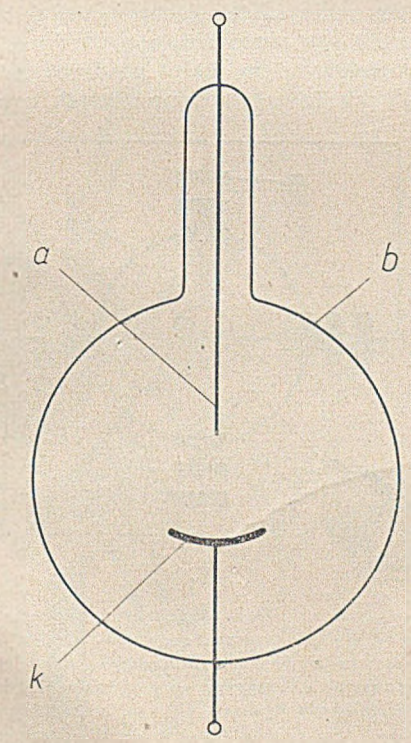
W chwili, gdy napięcie doprowadzonego do elektrod b—b prądu prostowanego przechodzi przez zero, elektrody otrzymują (od specjalnego dodatkowego urządzenia małej mocy) impuls prądu wysokiego napięcia o wielkiej częstotliwości wskutek czego przestrzeń powietrzna między elektrodami zostaje przebita i powstaje łuk ł. Aby łuk ten nie stapiał elektrod, zostaje on wprowadzony w ruch obrotowy przez pole magnetyczne wytwarzane przez cewki magnesujące c — c umieszczone wewnątrz elektrod i zasilane prądem zmiennym.

Przez komorę przetłaczane jest pod ciśnieniem powietrze, które gasi łuk w chwili, gdy napięcie przechodzi przez zero — po upływie półokresu. Aby uniemożliwić przepływ prądu w odwrotnym kierunku w drugim półokresie prądu zmiennego, pomocniczy impuls prądu wysokiego napięcia w drugim półokresie nie jest do elektrod doprowadzany, toteż łuk w drugim półokresie nie powstaje. W następnym okresie wszystko powtarza się od początku i w ten sposób prąd płynie przez łuk tylko w jednym kierunku.

Prostowniki Marxa budowane są na b. wysokie napięcia i duże natężenia prądów.

Prostowniki jarzeniowe

Prostownik jarzeniowy (rys. 25) składa się z bańki b wypełnionej gazem szlachetnym (np. helem), w której umieszczone są elektrody a i k. Anoda a wykonana jest w postaci ostrza ze stali, katoda zaś k o dużej powierzchni wykonana jest albo ze stali albo z niklu i bywa często powleczona warstewką cezu lub baru; niekiedy katoda wykonana jest ze stopu aluminium — magnez. Przez układ taki prąd płynie tylko w jednym kierunku.



Rys. 25. Schemat lampy prostowniczej jarzeniowej, a — anoda wykonana w postaci ostrza; b — bańka szklana; k — katoda.

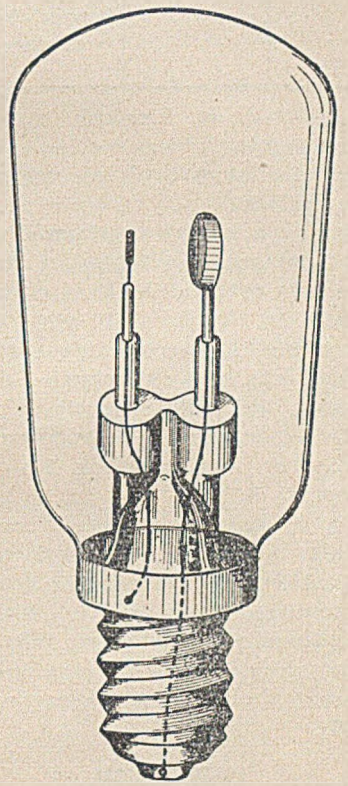
Zaletę prostownika jarzeniowego stanowi prostota budowy, brak części ruchomych oraz zbędność dodatkowego źródła prądu do żarzenia katody. Wady stanowią: małe natężenia prądu, jakie możemy tu uzyskać, oraz duży spadek napięcia w prostowniku (ponad 80 V).

W tablicy I podane są niektóre dane dotyczące lamp prostowniczych jarzeniowych.

TABLICA I.

Prąd wyprostowany	Napięcie
30 — 50 mA	220 V
100 mA	220 V

Inny typ prostownika jarzeniowego, pokazany jest na rys. 26. Katoda prostownicza jest tu aktywowana przy pomocy specjalnej masy. Przed uruchomieniem przepuszcza się (przez krótki czas) przez lampę prostowniczą prąd zapłonu o napięciu ok. 150 V, co wywołuje powstawanie wyładowań jarzących. Pod wpływem tych wyładowań aktywowana katoda nieco się rozgrzewa i po załączeniu na napięcie robocze zachowuje się podobnie, jak żarzona katoda kenotronu lub gazotronu.



Rys. 26. Inny typ prostownika jarzeniowego.

Prąd płynie przez prostownik jarzeniowy tylko w jednym kierunku. Wymiary lampy prostowniczej są zbliżone do wymiarów normalnej żarówki. Lampy prostownicze tego typu budowane są na napięcia od 2 V do 60 V i na prądy od 3 A do 6 A. Trwałość lampy — od 3 000 do 4 000 godzin pracy.

Prostowniki elektrolityczne.

W najprostszej swej postaci prostownik elektrolityczny składa się z dwu płytek różnorodnych metali zanurzonych w odpowiednim roztworze (elektrolicie).

Istnieje wiele odmian prostowników elektrolitycznych, z których najprostsze podajemy w tablicy II.

Im roztwór elektrolitu jest mniej stężony, tym wyższe napięcie wytrzymuje prostownik, natomiast natężenie prądu prostowanego jest tym mniejsze. Odwrotnie, zwiększając stężenie elektrolitu, możemy z prostownika otrzy-

mać większy prąd, musimy jednak przy tym zmniejszyć napięcie przypadające na jedno ogniwo prostownicze. Wartość tego napięcia przy małych stężeniach elektrolitu może dochodzić do 120 V na ogniwo.

TABLICA II

Materiał elektrod oraz rodzaje elektrolitu w prostownikach elektrolitycznych

Elektroda ujemna	Elektroda dodatnia	Elektrolit (roztwory wodne)
Żelazo	Aluminium	dwuwęglan sodu; dwuwęglan amoniaku: mieszanina kwasu bornego i boraksu; fosforan jednosodowy; amoniak; kwas mrówczany; kwas octowy oraz szereg innych.
Ołów	— „ —	
Węgiel	— „ —	

Należy zaznaczyć, że kierunek przepływu prądu w ogniwie prostowniczym biegnie od żelaza (wzgl. ołowiu lub węgla) do aluminium i właśnie dlatego aluminium stanowi biegun dodatni.

Ukazał się w swoim czasie prostownik, w którym jedna płytka była wykonana z tantalu, a druga z ołowiu; elektrolit stanowiła mieszanina kwasu siarkowego z siarczanem żelaza.

W Ameryce znalazł swego czasu rozpowszechnienie prostownik składający się z dwu płytek — ołowianej i stalowej przy czym elektrolit stanowił 50%-wy roztwór kwasu siarkowego. Prostowniki te budowano na napięcie do 60 V (na ogniwo) i na prądy ok. 2 A. Współczynnik sprawności wynosił ok. 25%.

Odrębny typ prostowników elektrolitycznych stanowią tzw. prostowniki koloidalne. Składają się one ze srebrnej płytki, ze srebra rozpylonego koloidalnie w mocnym roztworze kwasu siarkowego lub fosforowego oraz z płytki sporządzonej z innego metalu (np. z ołowiu). Zestawienie metali drugiej elektrody oraz wysokości napięcia, na jakie można stosować powyższe prostowniki, podaje tablica III.

TABLICA III

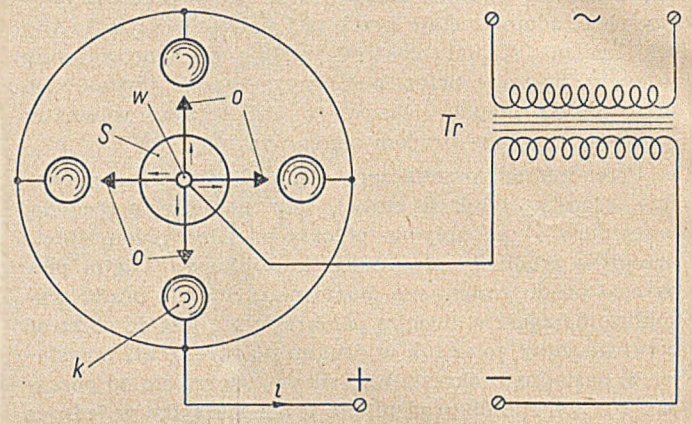
Materiał elektrod oraz wysokość napięcia prostowników koloidalnych

Materiał elektrod		Najwyższe napięcie V	Robocze napięcie V
Srebro	Ołów	60	12
— „ —	Nikiel	60	18
— „ —	Żelazo	40	25 ÷ 28
— „ —	Aluminium	70	20

Najkorzystniejsza dla pracy prostownika elektrolitycznego temperatura wynosi ok. 50° C.

Prostowniki ostrzowe i tarczowe

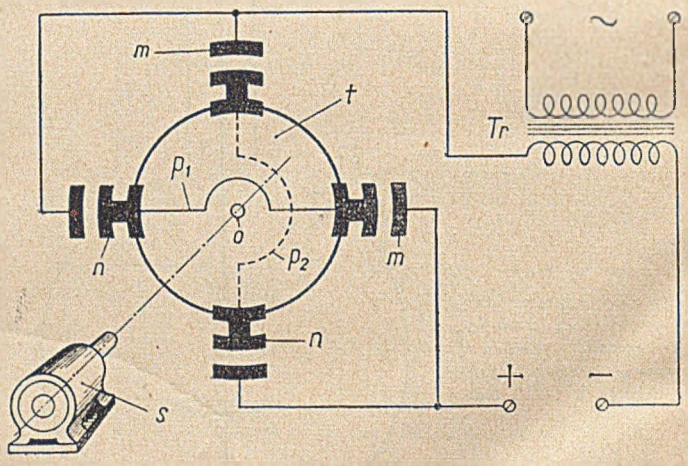
Konstrukcja prostownika ostrzowego, który stanowi mechaniczny prostownik małej mocy na bardzo wysokie napięcie, polega na tym, że na wale napędzanym za pomocą silnika synchronicznego umieszczone są ostrza, które wirują naprzeciwko nieruchomych kul połączonych z transformatorem wysokiego napięcia. Przy przechodzeniu ostrza w pobliżu kuli następuje wyładowanie. Układ kuli i ostrzy ma to do siebie, że otrzymujemy przepływ



Rys. 27. Schemat prostownika ostrzowego.
k — kule połączone ze sobą; S — silniczek synchroniczny; O — ostrza połączone za pomocą wspólnego wału z silniczkiem synchronicznym; W — wał obracany synchronicznie; Tr — transformator zasilający.

prądu tylko w jednym kierunku. Schemat takiego prostownika pokazany jest na rys. 27.

W prostownikach tarczowych, których zasadą działania jest ta sama, co i prostowników ostrzowych, tarcza (t — rys. 28) wykonana z materiału izolacyjnego, napędzana jest przez silnik synchroniczny s; tarcza t posiada części metalowe przewodzące prąd do odpowiednich zbieraczy metalowych m, które osadzone są na izolatorach. Rys. 29 przedstawia taki prostownik tarczowy w widoku.

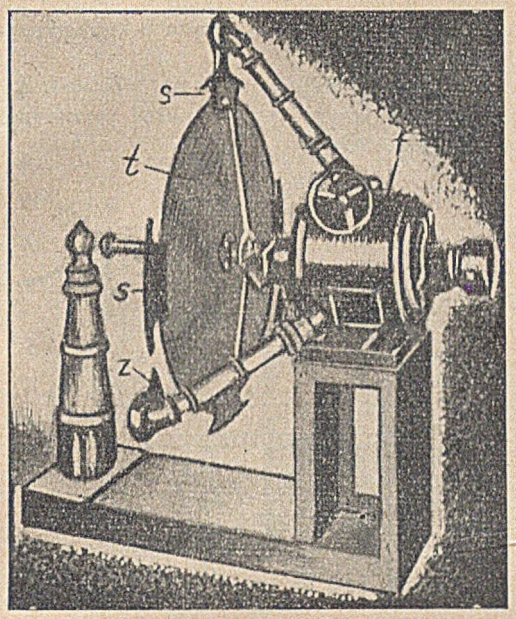


Rys. 28. Schemat prostownika tarczowego.
s — silniczek synchroniczny; o — wspólna oś obrotu; t — tarcza prostownika z materiału izolacyjnego; n — noże metalowe osadzone na tarczy; p_1 — połączenie noży wykonane z jednej strony tarczy; p_2 — połączenie noży wykonane z drugiej strony tarczy; m — nieruchome bieguny metalowe; Tr — transformator zasilający.

Rys. 30 przedstawia prostownik tarczowy w nieco innym wykonaniu. Prostowniki tarczowe budowane są na b. wysokie napięcia i znaczne moce. Służą one m. in. do zasilania urządzeń do odpylania gazów spalinowych sposobem elektrostatycznym.

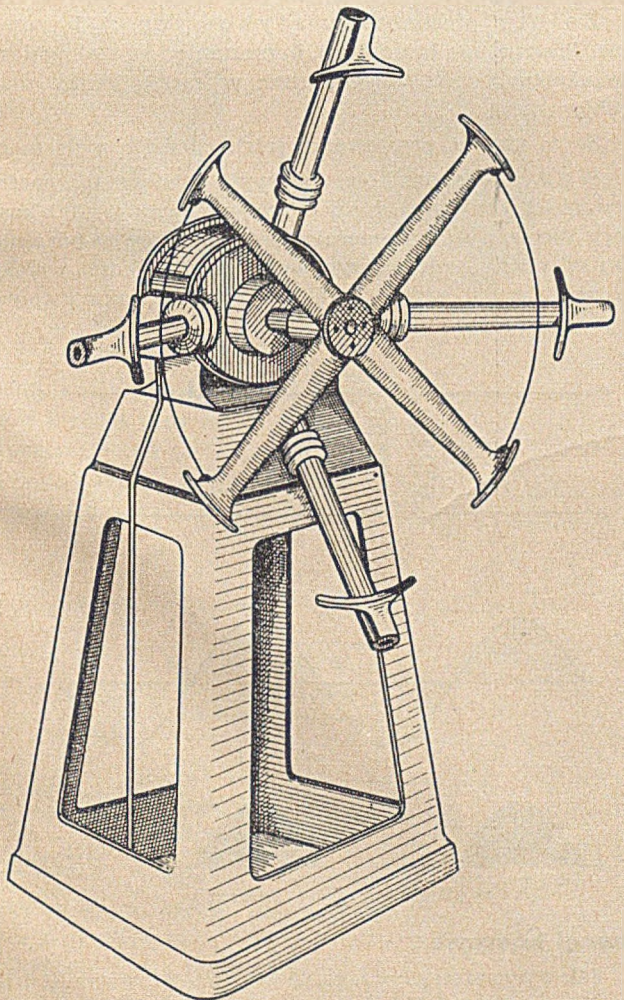
Prostowniki rtęciowo-strumieniowe

Zasada działania tego prostownika zbudowanego po raz pierwszy w r. 1907 przez J. Hartmanna polega na tym, że z otworu o średnicy ok. 4 mm wypływa silny



Rys. 29. Widok prostownika tarczowego.

strumień rtęci włączony w obwód prądu. Przechodząc między biegunami silnego elektromagnesu, strumień ten zostaje wprawiony w ruch wahadłowy — synchronicznie z okresowymi zmianami napięcia w sieci prądu zmiennego. Podczas swych wahań strumień rtęci dotyka odpowiednio rozmieszczonych elektrod i w ten sposób p r o s t u j e prąd zmienny, którym jest zasilany.



Rys. 30. Prostownik tarczowy w innym wykonaniu.

Prostowniki systemu Hartmanna nie są obecnie stosowane. Budowano je na moce do 100 kW.

Prostowniki z drgającym płomieniem

Dla prostowania prądu wysokiego napięcia ok. 6 000 V i o małym natężeniu (do 20 mA) były stosowane w swoim czasie prostowniki z drgającym płomieniem gazowym.

W rurce doprowadzającej gaz do palnika zmontowana jest komora z membraną zaopatrzoną w kotwiczkę, na którą oddziaływa elektromagnes zasilany przez prąd zmienny. W ten sposób uzyskuje się drgania płomienia synchronicznie ze zmianami napięcia w obwodzie prądu zmiennego. Długość płomienia gazowego waha się w granicach od ok. 1 do 10 cm, przy czym płomień, drgając synchronicznie ze zmianami napięcia, dotyka elektrod umieszczonych w górnej jego części, ułatwiając przepływ prądu między elektrodami w jednym kierunku.

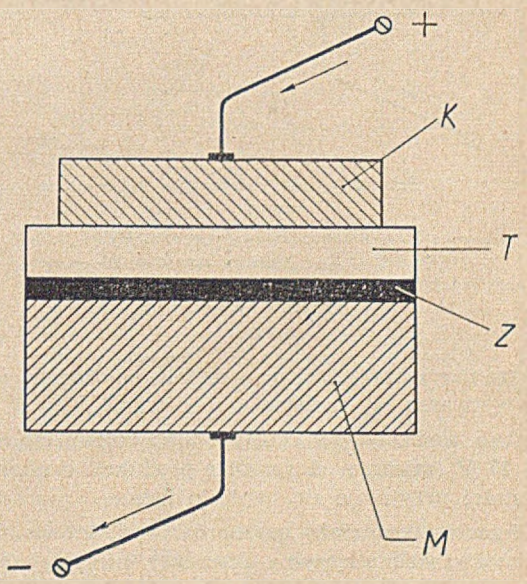
Prostowniki iskrowe

W r. 1917 W o l c o t t i E r i c s s o n zbudowali prostownik i s k r o w y na napięcie 25 000 V i prąd 100 mA. Zasada tego prostownika polega na tym, że iskra utrzymująca się między lekkim ostrzem a masywną płytką łatwiej przechodzi od ostrza do płytki, niż w kierunku przeciwnym. Aby po pewnym czasie iskra nie przekształciła się w łuk obukierunkowy, zastosowano przedmuchiwanie przestrzeni iskrowej.

Inny konstruktor — M. C o h e n — umieścił iskiernik w atmosferze amoniaku, znajdującego się pod ciśnieniem 7 atmosfer.

Prostowniki stykowe

Istnieje wiele przypadków, kiedy ścisłe zetknięcie półprzewodnika z przewodnikiem wytwarza układ łatwo przewodzący prąd w j e d n y m kierunku. W kierunku przeciwnym stawiany jest przepływowi prądu duży opór,



Rys. 31. Schemat ogniwa prostownika stykowego miedziawego (kuprytowego).

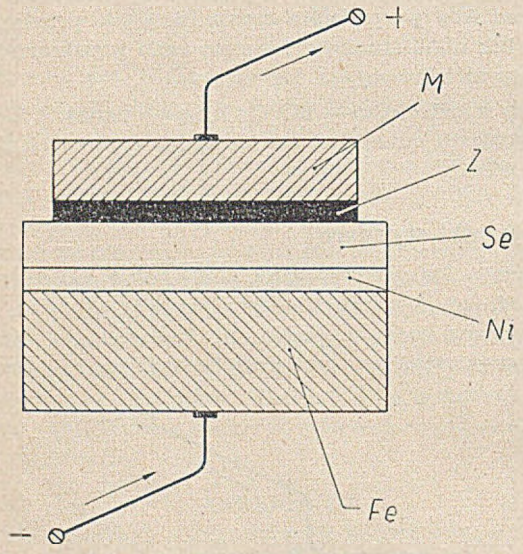
M — płytka miedziana; T — warstwa tlenku miedzi ubogiego w tlen (Cu_2O); Z — warstwa zaporowa; K — elektroda kontaktująca. Strzałki wskazują kierunek prądu.

niekiedy nawet prąd w tym kierunku prawie wcale nie jest przewodzony. Zespół taki — odpowiednio dobrany — stanowi ogniwo prostownika stykowego.

Dla celów technicznych używane są stykowe prostowniki **selenowe** i **kuprytowe.** Schematyczny układ ogniwa prostownika stykowego kuprytowego pokazany jest na rys. 31. Płytkę miedzianą **M** powleka się warstwą **T** tlenku miedzi ubogiego w tlen (tlenek miedziawy o składzie Cu_2O). Poddając warstwę tę obróbce termicznej, uzyskujemy wytworzenie się bardzo cienkiej warstwy zaporowej **Z** na granicy płytki miedzianej i tlenku miedziawego. Warstwa ta posiada własności prostujące, przewodząc dobrze prąd tylko w jednym kierunku (w drugim nie przewodzi ona prawie wcale prądu).

Do tlenku miedzi **T** dociśnięta jest miękka płytka kontaktowa **K** wykonywana zazwyczaj z ołowiu. Strzałka na rys. 32 wskazuje kierunek przepływu prądu wyprostowanego. Takie pojedyńcze ogniwo — zależnie od sposobu fabrykacji — prostuje prądy zmienne o napięciu do 8 woltów. Do pracy stałej przyjmuje się napięcie dopuszczalne nieco niższe niż tu podano.

Podobnie zbudowane jest ogniwo prostownika selenowego (rys. 32). Na poniklowanej płytce stalowej **S** zostaje specjalnym sposobem osadzona warstewka selenu **Se,** który zostaje następnie pokryty sposobem natryskowym cieniutką warstewką metalu łatwotopliwego (zazwyczaj stop ołowiu z bizmutem).



Rys. 32. Schemat ogniwa prostownika stykowego selenowego.

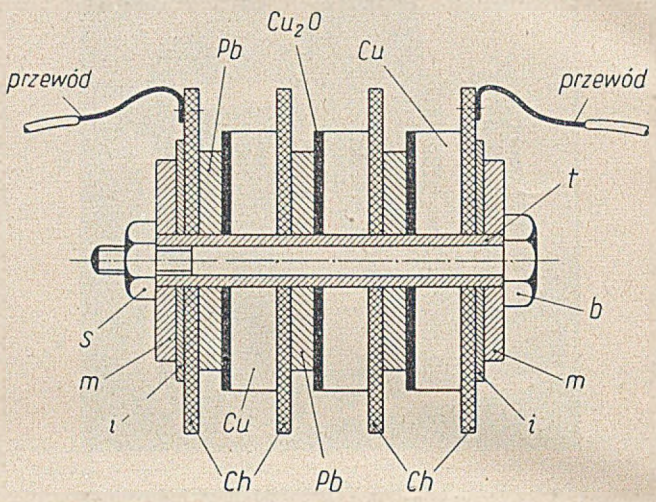
Fe — płytka stalowa; Ni — warstwa niklu; Se — warstewka selenu; Z — warstwa zaporowa; M — metal nałożony sposobem natryskowym. Strzałki wskazują kierunek prądu.

Na granicy warstw: selenu i metalu nałożonego natryskowo wytwarza się warstwa zaporowa **Z.**

Ogniwo selenowe prostuje prąd zmienny o napięciu do 15 V (zależnie od sposobu produkcji ogniwa). Do pracy stałej przyjmuje się napięcie niższe.

Jeśli zachodzi potrzeba uzyskania (wyprostowania) napięć wyższych, łączymy elementy prostujące (miedziawe lub selenowe) w szereg. Sposoby montażu ogniw prostujących łączonych w szereg są różne. Jeden z nich pokazany jest schematycznie na rys. 33. Łącząc ogniwo prostujące z transformatorem zasilającym, jak to pokazane jest na rys. 34, uzyskujemy najprostszy prostownik. Przepuszcza on prąd zmienny tylko w jednym kierunku, „obcinając" połówki sinusoidy prądu o kierunku przeciwnym do przepuszczanego.

Aby uzyskać wyprostowanie obu połówek sinusoidy, łączymy prostowniki stykowe w układ zwany mostkiem Graetza (rys. 35).



Rys. 33. Prostownik stykowy.

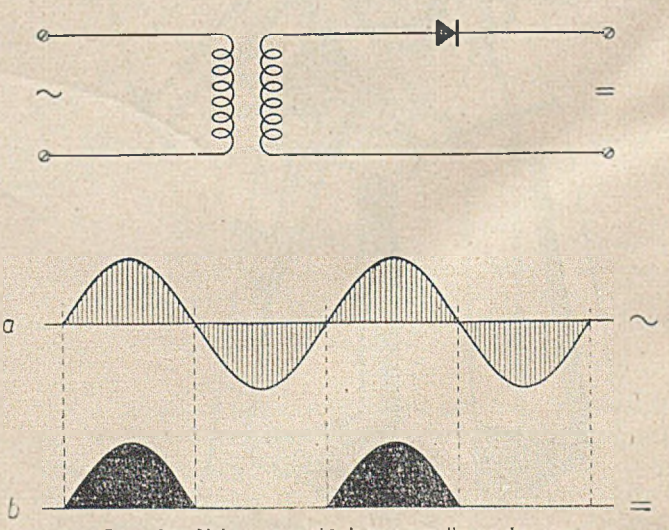
b — sworzeń; s — naktrętka ściągająca; t — tulejka izolacyjna; m — masywne nakładki mocujące; i — przekładki izolacyjne; Ch — przekładki chłodzące; Pb — płytka kontaktowa ołowiana; Cu — płytka miedziana powleczona tlenkiem miedziawym (Cu_2O) wytworzonym na niej.

Kompletny prostownik stykowy widzimy na rys. 36.

Zalety prostowników stykowych są b. poważne. Pracują one bez dozoru, bezszumnie i są stale gotowe do użytku; podczas biegu luzem wykazują bardzo mały pobór energii.

Są to idealne prostowniki, jeżeli chodzi o małe moce.

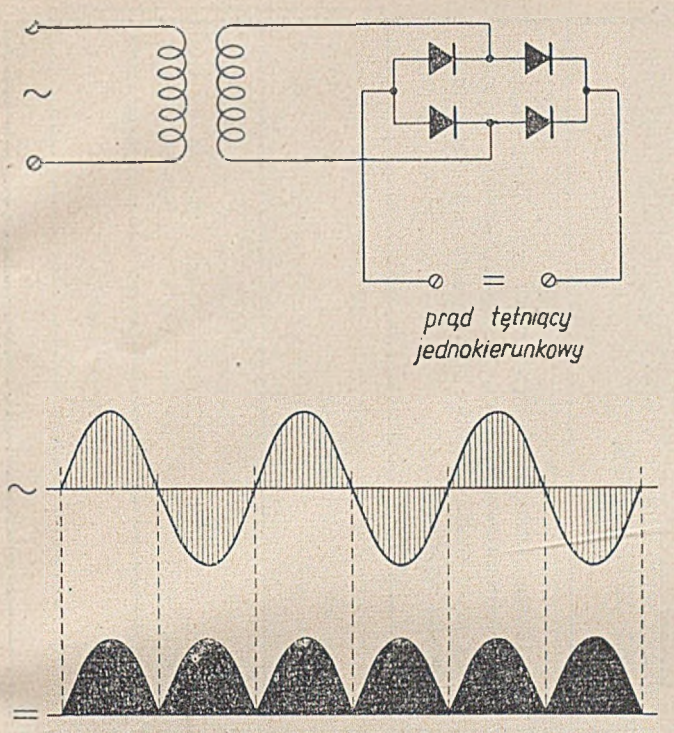
Wadę prostowników stykowych stanowi b. znaczny wzrost ich ceny przy dużej mocy prostownika, gdyż koszt jego rośnie wprost proporcjonalnie do mocy w odróżnieniu od przetwornic maszynowych, których koszt wzrasta w przybliżeniu proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z mocy.



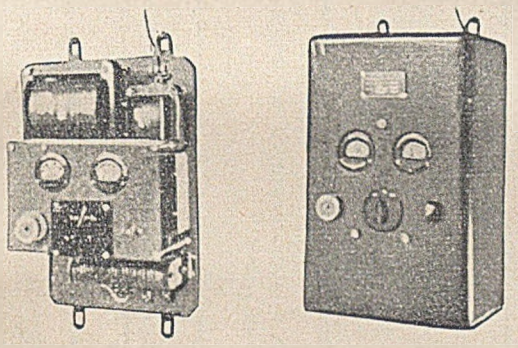
Rys. 34. Najprostszy układ prostownika stykowego.

Uwagi końcowe.

Jak z powyższego przeglądu widzimy, prostowniki dzielą się na dwie grupy: na prostowniki mechaniczne (tj. posiadające mechaniczne części ruchome) oraz na pro-



Rys. 35. Układ Graetza.



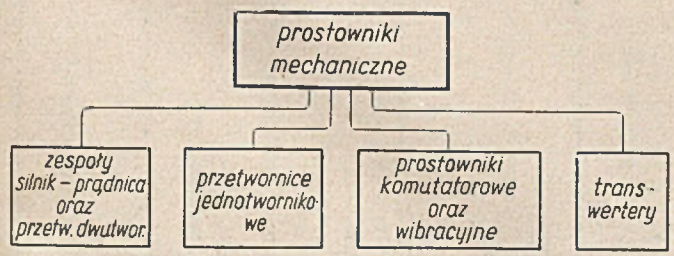
Rys. 36. Widok prostownika stykowego małej mocy.

stowniki elektryczne (nieposiadające części ruchomych). Dalszy podział prostowników na podgrupy jest pokazany schematycznie na tablicach **IV** i **V.**

Pomiędzy jedną a drugą grupą możnaby umieścić tzw. prostowniki p ó ł m e c h a n i c z n e: ostrzowe, tarczowe,

Tablica IV.

Podział prostowników mechanicznych na podgrupy.

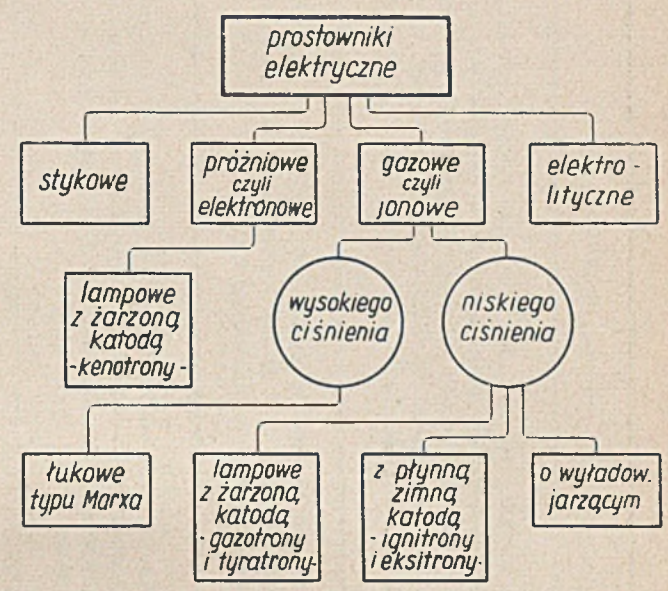


rtęciowo - strumieniowe oraz prostowniki z drgającym płomieniem. Wyzykano tu różne zjawiska fizykalne przy współudziale części ruchomych.

Po dokonaniu przeglądu podstaw fizykalnych, na jakich są oparte prostowniki różnego rodzaju, oraz po rozpatrzeniu głównych ich cech konstrukcyjnych, przejdziemy do krótkiego schematycznego z e s t a w i e n i a, obrazującego rolę, jaka przypada poszczególnym typom prostowników w eksploatacji. Przedstawia to tablica **VI.**

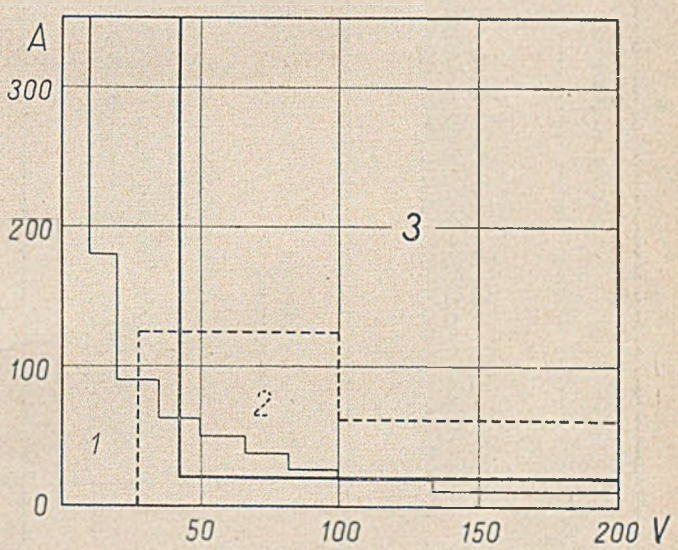
Tablica V.

Podział prostowników elektrycznych na podgrupy.



Jak widzimy z zestawień zgrupowanych w tablicy **VI**, najważniejszą rolę w praktyce odgrywają:

prostowniki **rtęciowe** (rtęciowe, ignitrony i eksitrony);
prostowniki **stykowe** (kuprytowe i selenowe) oraz
prostowniki **z żarzoną katodą** (lampowe).



Rys. 37. Zakresy celowego stosowania poszczególnych typów prostowników. 1 — zakres prostowników stykowych; 2 — zakres prostowników lampowych; 3 — zakres prostowników rtęciowych, ignitronów i eksitronów.

Zachodzi nieraz pytanie, jaki spośród omówionych typów prostowników należy zastosować w tym lub innym konkretnym przypadku.

Decydują przy obiorze typu prostownika: **wielkość napięcia** oraz **prądu pobieranego z prostownika.** Po przestudiowaniu kosztów instalacyjnych i kosztów eksploatacji został ułożony wykres 37. Na rysunku tym są podane zakresy, w jakich celowe i ekonomiczne jest stosowanie danego typu prostownika. Tam, gdzie zakresy zachodzą na siebie, jednakowo celowe wydaje się zastosowanie dowolnego z tych prostowników.

Tablica VI

	Typ prostownika	Zakres stosowania	Uwagi dodatkowe
mechaniczne	Przetwornice dwumaszynowe (dwutwornikowe)	Instalacje niskiego napięcia średniej i dużej mocy. Galwanotechnika i elektrochemia roztworów wodnych. Ładowanie dużych baterii akumulatorów.	Prostownik rtęciowy jest tu niekorzystny z uwagi na zbyt duży spadek napięcia wewnątrz prostownika. Przy dużych mocach prostowniki stykowe są niekorzystne ze względu na duże koszty instalacyjne w porównaniu z maszynami.
	Przetwornice jednotwornikowe	Wychodzą obecnie z użycia mimo wysokiego współczynnika sprawności.	Trudności w każdorazowym uruchomieniu. Konieczność stałego dozoru. Nie dający się dowolnie zmieniać stały stosunek napięć prądu stałego i zmiennego.
	Transwertery	Tylko do bardzo dużych mocy i wysokich napięć. Przesyłanie energii na dalekie odległości prądem stałym o bardzo wysokim napięciu.	Znajduje się wciąż jeszcze w okresie doświadczeń. Zostanie prawdopodobnie zarzucony, gdyż w międzyczasie pojawiły się ignitrony oraz zostały ulepszone prostowniki rtęciowe.
	Prostowniki z wirującym komutatorem	Wycofane z użycia.	Wady: wypadanie z synchronizmu i duże iskrzenie trudne do opanowania.
	Wibracyjne	Wycofane z użycia.	Prostowniki małej mocy. Kłopotliwe w obsłudze (wypadają z synchronizmu, iskrzą i brzęczą). Zostały wyparte przez prostowniki lampowe małej mocy oraz przez prostowniki stykowe.
półmechaniczne	Prostowniki ostrzowe i tarczowe	Do celów specjalnych i laboratoryjnych na wysokie napięcie i stosunkowo małą moc.	———
	Prostownik rtęciowo-strumieniowy	Nie wszedł w użycie, mimo iż był gruntownie zbadany w laboratoriach.	———
	Prostownik z drgającym płomieniem	Przyrząd laboratoryjny. Nie ma zastosowania w praktyce.	———

Tablica VI (ciąg dalszy)

Typ prostownika			Zakres stosowania	Uwagi dodatkowe
elektryczne	Prostowniki rtęciowe	Prostowniki rtęciowe	Prostowniki najbardziej rozpowszechnione dla instalacji średniej, dużej i bardzo dużej mocy do celów: elektrotrakcji (tramwaje i koleje elektryczne), elektrochemii ciał (soli) stopionych, w szeregu innych przypadków (znaczne moce i napięcia powyżej 40 V).	Prostowniki te dają się przeciążać, co jest szczególnie ważne w trakcji elektrycznej (częste lecz krótkotrwałe przeciążenia podczas ruszania tramwaju lub pociągu). Opłacalne są tylko przy napięciach powyżej 40 V (powyżej tego napięcia dobry współczynnik sprawności). Niskie koszty zainstalowania w porównaniu z maszynami wirującymi tejże mocy.
		Ignitrony	Coraz bardziej wchodzą w użycie. Zalety — podobne, jak prostowników rtęciowych. Znajdują ponadto zastosowanie jako kontaktory wyłączające dużej mocy w układach z przekaźnikami.	Zalety, jak przy prostownikach rtęciowych. Większe możliwości sterowania elektrycznego pracą ignitronu w porównaniu z prostownikiem rtęciowym.
		Eksitrony	Jak prostowniki rtęciowe.	Jak prostowniki rtęciowe.
	Prostowniki Marxa		Rokują duże nadzieje. Znajdują się wciąż jeszcze w okresie prób praktycznych.	———
	Prostowniki lampowe **a.** — próżniowe (kenotrony) **b.** — gazowane (gazotrony) **c.** — z parą rtęci (fanotrony) **d.** — z siatką sterującą (tyratrony)		Bardzo różne konstrukcje obliczone na małą a niekiedy i na średnią moc. Zastosowania: ładowanie akumulatorów niewielkiej mocy, do zasilania urządzeń łączności, urządzeń radiotechnicznych, rentgenowskich itp.	Szeroki zakres napięć i prądu wyprostowanego. Opłacalność przy małych mocach. Do wad należy konieczność stałego żarzenia katody podczas pracy. Gdy lampa jest nieobciążona lub mało obciążona, żarzenie katody powoduje obniżenie się współczynnika sprawności. Czas żarzenia katody stanowi ponadto o długości życia lampy (żarzenie lampy bez obciążenia skraca bezużytecznie czas życia lampy). Z tych to powodów prostowniki lampowe są stopniowo wypierane przez prostowniki stykowe. Ostatnio jednak zaznaczył się nawrót do prostowników lampowych; zaczęto budować na średnie moce prostowniki lampowe w obudowie stalowej.
	Prostowniki stykowe		Stosowane w bardzo szerokim zakresie.	Szeroki zakres napięć i prądów. Stała gotowość do pracy. Minimalne zużycie energii przy biegu jałowym. Praca bez dozoru. Dobry współczynnik sprawności. Do wad prostowników stykowych należy nieopłacalność przy dużej mocy, gdyż koszt ich wzrasta wprost prporcjonalnie do mocy (a nie w stosunku pierwiastka kwadratowego z mocy, jak np. u maszyn wirujących).
	Prostowniki elektrolityczne		Wycofane z użycia.	Kłopotliwa obsługa. Niepewne działanie.
	Prostowniki iskrowe Wolcotta i Ericssona		Nie weszły do użycia praktycznego.	———

Rozdzielnie i podstacje wysokiego napięcia

(Dokończenie)

Inż.-el. W. PAWŁOWSKI

III. Rozdzielnie i podstacje wnętrzowe

Rozdzielnie wnętrzowe budowane są w warunkach krajowych w następujących wykonaniach:

A. Celkowe dla napięć nieprzewyższających 30 kV; jest to wykonanie najczęściej u nas spotykane w elektrowniach i większych podstacjach;

B. Okapturzone (z celkami całkowicie zamkniętymi) dla napięć nieprzekraczających 15 kV, (rzadko dla 20 kV). Wykonanie tego rodzaju spotykane jest przede wszystkim w różnych zakładach przemysłowych, w samych zaś elektrowniach — w kotłowniach i w młynowniach (dla wytwarzania pyłu węglowego); ogólnie biorąc spotykamy je tam, gdzie zewnętrzne warunki pracy maszyn i urządzeń elektrycznych (kurz, wilgoć) zmuszają do stosowania budowy okapturzonej. Najczęściej wykonania okapturzone spotykane są przy napięciach znamionowych 5 ÷ 6 kV;

C. Halowe dla napięć od 45 kV wzwyż; są one stosowane tam, gdzie warunki ogólne nie pozwalają na budowę rozdzielni napowietrznych (duże miasta i okręgi przemysłowe).

1. Rozdzielnie celkowe.

Z uwagi na wielkie zalety różnych układów **urządzeń celkowych z celkami otwartymi** oraz na stosunkowo najszersze ich rozpowszechnienie poświęcimy im nieco więcej uwagi. Będziemy zajmować się jedynie rozdzielniami wyposażonymi w przyrządy mało — względnie bezolejowe, dzięki czemu odpadną tego rodzaju zagadnienia, jak niebezpieczeństwo wybuchu oleju i zadymienia rozdzielni, oraz odprowadzanie oleju wyciekającego ze zbiornika wyłącznika.

Zastosowanie w urządzeniach wnętrzowych nowoczesnych wyłączników mało- lub bezolejowych zamiast pełnoolejowych przyczyniło się w dużym stopniu do zaprowadzenia i rozpowszechnienia rozdzielni **jednopiętrowych** (daleko rzadziej — dwupiętrowych) zamiast dawnych rozwiązań wielopiętrowych (dwu-, trzy- a nawet czteropiętrowych). W dawnych rozwiązaniach tego rodzaju poszczególne elementy (względnie grupy przyrządów) przynależne do jednego pola, jak:

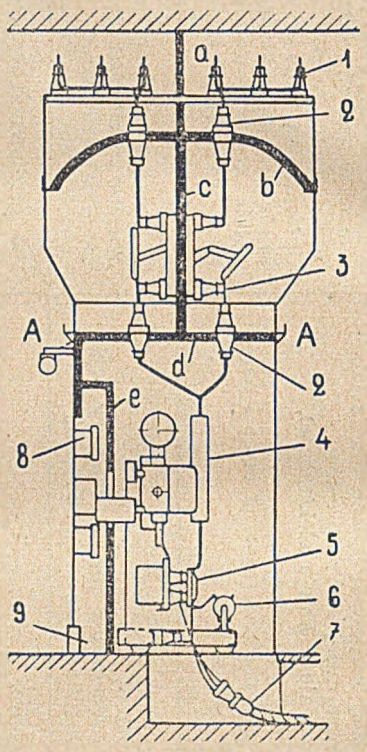
— szyny zbiorcze (niekiedy stosowane w układzie pionowym — jedna nad drugą) i odłączniki szynowe,
— wyłączniki pełnoolejowe i przekładniki (transformatory) miernicze (prądowe i napięciowe), a wreszcie
— odłączniki liniowe oraz końcowe mufy kablowe,

były montowane na oddzielnych piętrach, z których najwyższe niekiedy zawierało same tylko szyny zbiorcze. W tych warunkach rozdzielnie 3- i 4- piętrowe były zjawiskiem normalnym.

Rozwiązanie jednopiętrowe (rys. 62) polega na umieszczeniu szyn zbiorczych z odłącznikami szynowymi oraz wyłącznika z zespołem transformatorów mierniczych w **jednym pomieszczeniu**. W tymże samym pomieszczeniu mogą być również umieszczone mufy kablowe i odłączniki liniowe, jakkolwiek częściej umieszcza się je w pomieszczeniu pod rozdzielnią, przy czym ta ostatnia zachowuje w tym wypadku swój jednopiętrowy charakter.

Rozdzielnie jednopiętrowe są obecnie powszechnie stosowane dla napięć znamionowych do 30 kV włącznie przy wyposażeniu w wyłączniki o mocy wyłączalnej najczęściej do 200 MVA, a w wykonaniu niektórych firm zagranicznych nawet do 600 MVA (przy napięciu 30 kV).

Dla wyłączników o bardzo wielkich mocach wyłączalnych, rzędu od 400 do 1000 MVA przy 30 kV, polecane jest stosowanie układów 2-piętrowych, gdyż wysokość pomieszczenia dla układu 1-piętrowego wypada dla podanych warunków zbyt duża; rozwiązaniom 1-piętrowym daje się pierwszeństwo, o ile wysokość pomieszczenia rozdzielni nie przekracza 5 ÷ 6 m.



Rys. 62. Układ jednopiętrowy rozdzielni celkowej wyposażonej w wyłączniki powietrzne (z oddzielną sprężarką) na napięcie znamionowe izolacji 10 kV, z podwójnym systemem szyn zbiorczych.

1 — szyny zbiorcze na izolatorach wsporczych; 2 — izolatory przepustowe; 3 — odłączniki liniowe; 4 — wyłącznik powietrzny; 5 — przekładnik prądowy; 6 — przekładnik napięciowy; 7 mufa kablowa końcowa; 8 — część niskonapięciowa zawierająca przyrządy pomiarowe, zabezpieczające i sterujące napęd wyłącznika; 9 — miejsce przeprowadzenia (wzdłuż rozdzielni) dwóch przewodów powietrznych dla obsługi wyłączników.

Na rys. 62 pokazany jest w przekroju typowy układ nowoczesnej rozdzielni celkowej (czarnym kolorem zostały zaznaczone przekroje różnego rodzaju ścianek działowych, o których będzie mowa w dalszym ciągu artykułu).

Układ 2-piętrowy powstałby, gdyby np. rozdzielnia o układzie wg rys. 62 została podzielona stropem wzdłuż linii poziomej ścianki działowej A–A tak, że szyny zbiorcze i odłączniki szynowe pozostałyby w górnym pomieszczeniu.

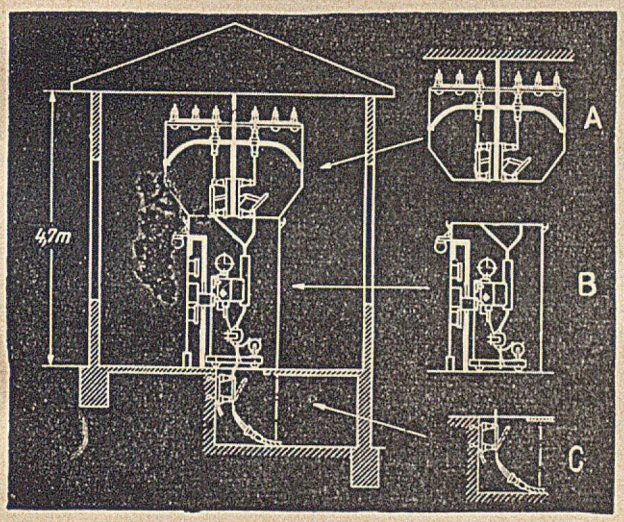
Zalety układów **1-piętrowych** są następujące:

— niskie koszty samego budynku na skutek zajęcia małej przestrzeni oraz braku stropów i schodów,
— zmniejszenie prawdopodobieństwa pomyłek łączeniowych dzięki prostocie i przejrzystości układu,

— zmniejszenie liczby zastosowanych izolatorów wsporczych i przepustowych mogących być źródłem zakłóceń w ruchu oraz
— zmniejszenie skutków szkodliwego oddziaływania par metalu (mogących powstać np. pod wpływem łuku na odłączniku) w przypadku stosunkowo wyższego pomieszczenia w układzie 1-piętrowym w stosunku do pomieszczeń w układzie 2-piętrowym.

Jeżeli chodzi o układ dwupiętrowy, to — ogólnie biorąc — nie posiada on żadnych poważniejszych zalet. Jego wadą jest m. in. możliwość łatwego popełnienia pomyłki przez obsługującego zmuszonego przechodzić z piętra na piętro w trakcie dokonywania czynności łączeniowych, o ile odłączniki nie są sterowane z odległości.

Rozwiązania stosowane przez niektóre wytwórnie, dostarczające kompletnych urządzeń rozdzielczych, zostały ujęte w pewne typy znormalizowane oparte na podziale urządzenia celki na 3 części — górną, środkową i dolną (rys. 63).



Rys. 63. Podział celki rozdzielni na trzy części.
A — część górna: szyny zbiorcze z odłącznikami szynowymi; B — część środkowa: wyłącznik powietrzny z zespołem transformatorów mierniczych; C — część dolna: mufa kablowa z odłącznikiem szynowym.

Możliwość wykonywania poszczególnych części celki co najmniej w kilku różnych układach (przyjętych jako normalne) — przy zachowaniu pewnych podstawowych wymiarów na przejściach ze strefy dolnej do środkowej oraz z środkowej do górnej, a także możność zupełnie dowolnego kojarzenia tych rozmaicie zaprojektowanych części, dają w wyniku dość dużą liczbę znormalizowanych układów wnętrzowych urządzeń celkowych. Pozwala to na zastosowanie układu najbardziej odpowiedniego dla istniejących warunków.

Kilka uwag należy jeszcze poświęcić różnym rodzajom ścianek działowych stosowanych w celkach w układzie 1-piętrowym. Są to następujące rodzaje ścianek działowych zaznaczone na rys. 62:

a — między systemami szyn zbiorczych (ścianki pionowe); **b** — między odłącznikami szynowymi i szynami zbiorczymi (ścianki wygięte łukowo); **c** — między odłącznikami szynowymi poszczególnych systemów szyn (ścianka pionowa); **d** — między wyłącznikiem a odłącznikami szynowymi (ścianka pozioma) oraz **e** — między częścią niskonapięciową (8) celki a jej częścią wysokonapięciową.

Ponadto zewnętrzny kontur celki zarysowuje kształt i wielkość ścianek działowych międzycelkowych.

Ścianki o kształcie wygiętym chronią szyny zbiorcze przed przerzuceniem się na szyny łuku mogącego powstać na odłączniku szynowym, a tym samym całą rozdzielnię przed wędrówką łuku wzdłuż szyn oraz przed przerzuceniem się jego do innych celek (łuk wędruje w kierunku źródła energii, a więc w danym wypadku w kierunku np. celek kabli zasilających). Kształt tych ścianek pozwala obsługującemu na łatwą obserwację szyn zbiorczych, z korytarza poza rozdzielnią.

Ścianka działowa wymieniona wyżej w punkcie **d** stosowana jest względnie rzadko. Przy zastosowaniu ścianki działowej między odłącznikami szynowymi a samymi szynami, łuk powstały na odłączniku ulec może odrzuceniu w dół, skąd może on się przedostać do przestrzeni zajętej przez odłącznik drugiego systemu szyn zbiorczych. O ile ten drugi system jest również pod napięciem i pracuje **asynchronicznie** w stosunku do pierwszego, to naskutek rozchodzenia się gorących par metali mogą nastąpić przeskoki na otwartym odłączniku danej celki, a w skomplikowanym wypadku może powstać zwarcie między dwoma sieciami pracującymi asynchronicznie (jeden z najbardziej niebezpiecznych wypadków zwarcia).

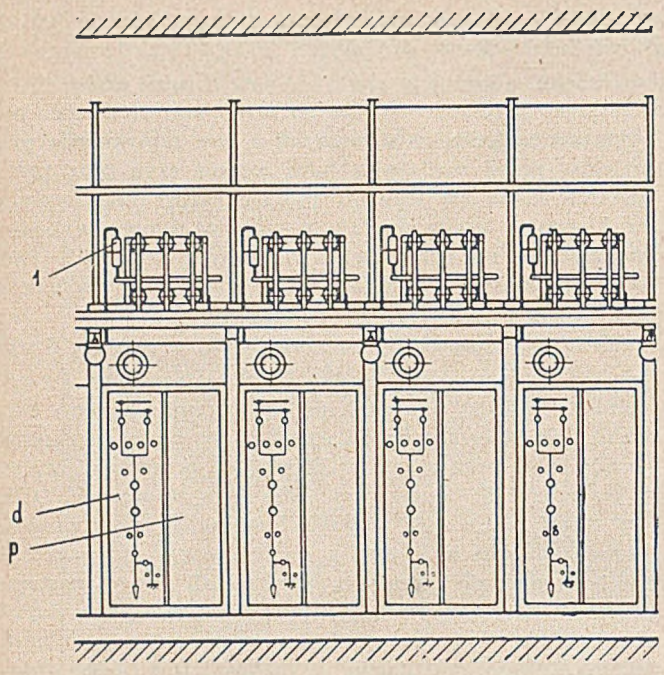
Z powyższych względów stosowanie poziomej ścianki działowej między wyłącznikiem a odłącznikami szynowymi polecane jest w tych rozdzielniach 1-piętrowych, w których przewiduje się **asynchroniczną pracę systemów szyn zbiorczych.**

Stosowanie ścianek działowych, jakkolwiek rozwiązuje w zasadzie zadawalniająco szereg zagadnień tego rodzaju, jak np. zabezpieczenie przed wędrówką łuku, zapewnienie bezpieczeństwa personelowi pracującemu wewnątrz celki, gdy sąsiednie celki są pod napięciem, niemniej posiada również pewne wady.

Przede wszystkim już samo ich rozmieszczenie nie zawsze jest łatwe. Nieodpowiednie np. umieszczenie ścianek między odłącznikami szynowymi a szynami zbiorczymi może — w wypadku powstania łuku — stworzyć warunki gorsze nawet, niż w urządzeniach całkowicie pozbawionych tych urządzeń ochronnych (tj. z celkami całkowicie otwartymi). Nie ulega ponadto wątpliwości, że przejrzystość rozdzielni wyposażonych w różne ścianki działowe jest znacznie zmniejszona, a objętość zajętej przez rozdzielnię przestrzeni większa i koszt ogólny podwyższony. Duża stosunkowo liczba izolatorów również jest wadą z uwagi na możliwość ich uszkodzeń.

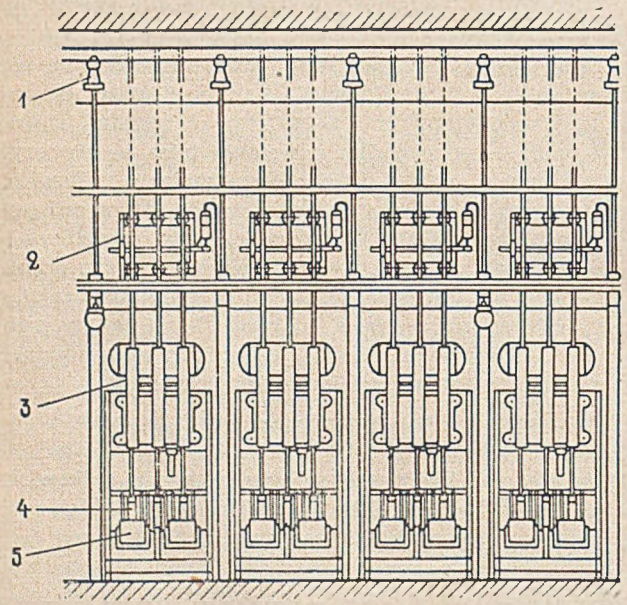
Z powyższych względów obecnie nawet b. ważne urządzenia rozdzielcze o dużych wartościach spodziewanych prądów zwarcia budowane są w wykonaniu **całkowicie bez ścianek działowych** (rys. 67). Odłączniki w takich rozdzielniach są **ryglowane** celem zabezpieczenia przed możliwością łączenia tymi przyrządami pod obciążeniem. Rozdzielnie w tym wykonaniu nie posiadają nawet ścianek międzycelkowych, a dla bezpieczeństwa personelu przy pracach naprawczych lub konserwacyjnych stosowane są **przenośne ścianki działowe.**

Na rys. 64 i 65 pokazane są widoki przedniej i tylnej strony rozdzielni o układzie przedstawionym przed tym na rys. 62. Przednia strona celki zawierająca część niskonapięciową (szafę) zamknięta jest na lewej połowie szerokości drzwiami (**d** — rys. 64) zaopatrzonymi w schemat listewkowy, na prawej zaś połowie — drzwiami (**p** — rys. 64) oszklonymi szkłem zbrojonym; nad drzwiami znajduje się miejsce na przyrządy pomiarowe wskazów-



Rys. 64. Widok przedniej strony rozdzielni w układzie podanym na rys 62. 1 — napęd pneumatyczny odłącznika szynowego; d — lewa połowa drzwi zaopatrzona w schemat listewkowy; p — oszklona prawa połowa drzwi;

kowe. W schemat listewkowy umieszczony na lewej połowie drzwi wmontowane są **wskaźniki położenia** wyłącznika i odłączników oraz przyciski sterujące napędy pneumatyczne tychże przyrządów. Same zawory rozrządcze dla napędów oraz wszelkie listwy zaciskowe są wmontowane wewnątrz szafy, gdzie również znajdują się za



Rys. 65. Widok tylnej strony rozdzielni w układzie podanym na rys. 62.

1 — izolatory wsporcze szyn zbiorczych; 2 — odłącznik szynowy z napędem pneumatycznym; 3 — wyłącznik powietrzny; 4 — przekładnik prądowy (trzy sztuki); 5 — przekładnik napięciowy (dwa przekładniki pracujące w układzie V).

oszklonymi drzwiami liczniki i przekaźniki. Przy tego rodzaju rozmieszczeniu przyrządów pomiarowych, liczników i przekaźników znajdują się one bezpośrednio w pobliżu transformatorów mierniczych, co b. znacznie skraca długość wszelkich przewodów pomiarowych. Urządzenia ryglujące odłączniki celem ochrony przed błędnymi łączeniami mogą być łatwo zastosowane w takim układzie dzięki skupieniu w obrębie szafy wszelkich przewodów sterujących i sygnalizacyjnych.

Tylna strona celki zamknięta jest drzwiami z siatki; tą stroną wyłącznik wytaczany jest z celki. W opisywanym przykładzie jest on zmontowany razem z transformatorami prądowymi i napięciowymi na wspólnym podwoziu do przetaczania i w takim zespole dostarczany jest na miejsce budowy.

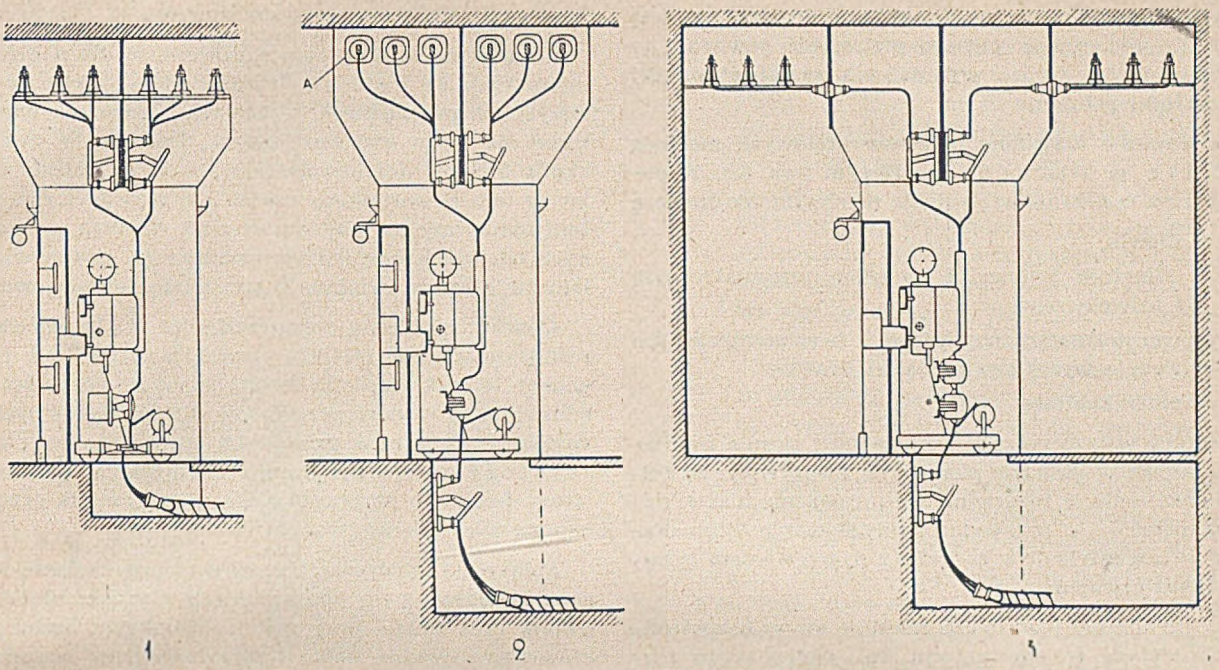
Górna część rozdzielni 1-piętrowej obejmująca dwa systemy szyn zbiorczych może być wykonana w różnych układach — zależnie zarówno od przestrzennego rozmieszczenia samych szyn, jak i od rodzaju zastosowanej ochrony przed działaniem łuku. Rys. 66 podaje 3 różne wykonania rozdzielni 1-piętrowej odmienne od podanego na rys. 62. Omówimy nieco bliżej te wykonania — 1, 2 i 3.

Układ w wykonaniu 1 nie posiada w ogóle żadnej ścianki działowej między odłącznikami szynowymi a szynami zbiorczymi. W takim układzie istnieje prawdopodobieństwo przerzucenia się mogącego powstać łuku na szyny, jego wędrówki wzdłuż szyn oraz przerzucenia się z kolei w dół — do jednej z dalszych celek, co może zagrozić bezpośrednio przyrządom rozdzielczym a nawet obsłudze. Jakkolwiek układ ten jest najtańszy, to jednak może on być polecany w pierwszym rzędzie dla urządzeń o stosunkowo nieznacznych prądach zwarcia.

Układ 2 polega na wprowadzeniu w szyny zbiorcze izolatorów przepustowych (na rys. 66—2 oznaczonych literą A). Izolatory te wmontowane są w ścianki działowe międzycelkowe, sięgające aż do stropu. Całkowita wysokość rozdzielni wypada w tym wykonaniu stosunkowo nieznaczna. Rozdzielnia zabezpieczona jest przed przerzuceniem się łuku po szynach na sąsiednie celki, niemniej w wypadku jego powstania liczyć się należy ze zniszczeniem przez łuk szyn zbiorczych w granicach celki dotkniętej awarią. Z tego względu układ ten może być polecany dla szyn zbiorczych na niewielkie prądy znamionowe (rzędu 400 — 600 A) przy zastosowaniu izolatorów przepustowych ze sworzniami przelotowymi, co w razie uszkodzenia pociąga za sobą konieczność wymiany tylko krótkich odcinków szyn odpowiadających szerokości jednej celki.

Układ 3 odznacza się dużą przejrzystością przy stosunkowo nieznacznej całkowitej wysokości rozdzielni. Przestrzeń przeznaczona na odłączniki szynowe musi być odpowiednio obszerna, gdyż przy zbyt małych jej wymiarach łuk może przedostać się na szyny mimo wbudowanych pionowych ścianek działowych (z izolatorami przepustowymi).

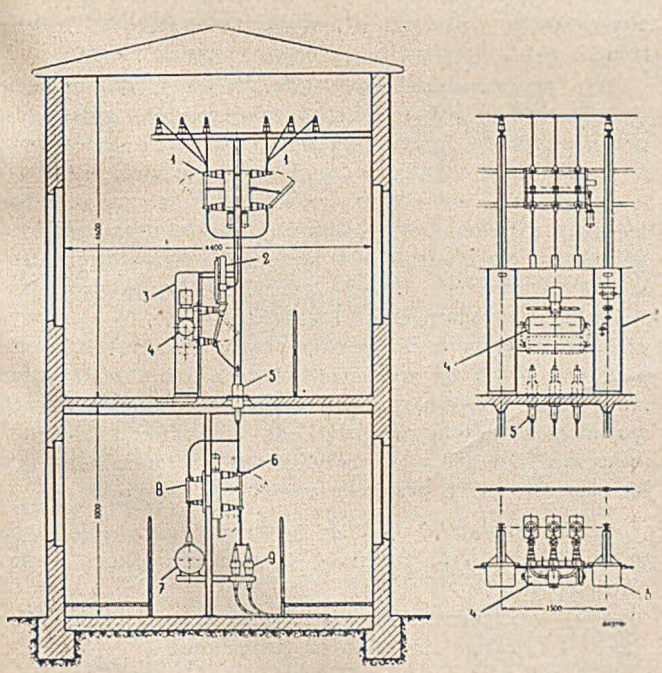
Rys. 67 przedstawia rozdzielnię wnętrzową o budowie 2-piętrowej na napięcie znamionowe izolacji 20 kV wyposażoną w podwójny system szyn zbiorczych. Układ ten nadaje się również dla napięcia 30 kV, a nawet 45 kV. Osobliwość jego stanowi to, że nie posiada on żadnych ścianek działowych poza przednią płytą, przed którą zmontowany jest zbiornik powietrzny wyłącznika (na rys. 67 oznaczony 4). W takim rozwiązaniu elektrozawory (włączający i wyłączający) wyłącznika mogą być łatwo kontrolowane bez wywoływania przerwy w jego pracy. Odłączniki szynowe 1 i odłącznik liniowy 6 są wyposażone w napędy pneumatyczne, ponadto ten ostatni — w uziemiacz. Wyłącznik powietrzny 2 posiada wbudowany odłącznik, co stwarza widoczną przerwę w stanie otwartym wyłącznika. Transformatory prądowe 5 speł-



Rys. 66. Różne układy szyn zbiorczych i różne rodzaje ochrony przed działaniem łuku.

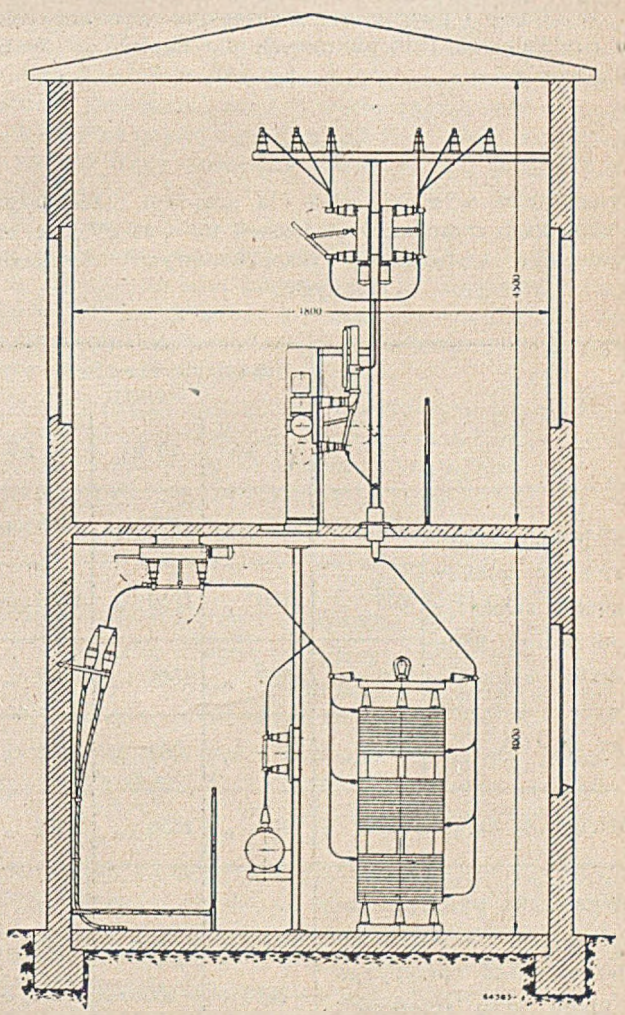
niają zarazem rolę izolatorów przepustowych. Transformatory napięciowe 7 są zabezpieczone po stronie wysokiego napięcia bezpiecznikami 8, czego nie było w wykonaniu pokazanym na rys. 62.

Wszelkie przyrządy pomiarowe, zabezpieczające, liczniki, zawory główne (na przewodach powietrznych) oraz zawory dla odłączników, bezpieczniki we wtórnych obwodach transformatorów napięciowych oraz listwy zaciskowe zmontowane są w szafce sterującej ustawionej na granicy dwóch pól rozdzielni.



Rys. 67. Rozdzielnia dwupiętrowa na napięcie 20 kV.
1 — odłącznik szynowy z napędem pneumatycznym; 2 — wyłącznik powietrzny z napędem pneumatycznym i z wbudowanym odłącznikiem; 3 — szafka sterująca; 4 — zbiornik powietrzny wyłącznika; 5 — przekładnik prądowy; 6 — odłącznik liniowy z napędem pneumatycznym i uziemiaczem; 7 — przekładnik napięciowy; 8 — bezpiecznik w obwodzie przekładnika napięciowego; 9 — mufa kablowa końcowa.

Szafka wyposażona jest w schemat listewkowy ze wskaźnikami położenia wyłącznika i odłączników oraz w przyciski sterujące dla wszystkich 4 napędów pneuma-



Rys. 68. Rozdzielnia dwupiętrowa na napięcie 20 kV, wyposażona w dławiki przeciwzwarciowe.

tycznych. Położenie noży odłącznika liniowego nie jest wprawdzie widoczne z górnego piętra, nie powoduje to jednak trudności wobec wyposażenia szafki sterującej we wskaźniki położenia.

Zastosowanie **dławików przeciwzwarciowych** możliwe jest tylko w układzie **dwupiętrowym** (rys. 68). W pokazanym na rys. 68 układzie dolne pomieszczenie zawiera

— dławik,
— odłącznik liniowy z napędem pneumatycznym i uziemiaczem,
— transformatory napięciowe z bezpiecznikami (po stronie wysokiego napięcia), oraz
— mufy kablowe.

Do pracy w tego rodzaju urządzeniach stosuje się dławiki 3-fazowe w układzie pionowym. Zważywszy, że dolne pomieszczenie w rozdzielni jest przeważnie niskie, należy pamiętać — w przypadku zainstalowania kilku dławików — o wentylacji w związku z nagrzewaniem (z powodu strat) uzwojeń.

Jeśli urządzenie rozdzielcze znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie transformatorni (np. nad nią), to rozmieszczenie celek rozdzielni uzależnione jest od rozmieszczenia komór poszczególnych transformatorów. Miarodajne jest w takim przypadku wykonanie połączeń między transformatorami a samą rozdzielnią. Odpowiednia kolejność celek daje możliwość nadania prostego kierunku większości przewodów połączeniowych.

W tablicy I podane są orientacyjne wymiary celek w rozdzielniach jednopiętrowych dla napięć do 30 kV włącznie.

Tablica 1

Orientacyjne wymiary celek dla urządzeń rozdzielczych o napięciach znamionowych izolacji 10 — 30 kV, przy zastosowaniu wyłączników rozprężeniowych (ekspansyjnych).

Wymiary		Napięcie znamionowe izolacji		
		10 kV	20 kV	30 kV
Najmniejsza szerokość celki (w mm) w zależności od mocy wyłączalnej zainstalowanego wyłącznika w MVA	100 MVA	1100 mm	1300 mm	1700 mm
	200 „	1100 „	1300 „	1700 mm
	400 „	1200 „	1500 „	1800 „
	600 „	1400 „	1500 „	1800 „
Głębokość celki w mm.		1350 „	1650 „	2200 „
Wymagana wysokość pomieszczenia (w mm) w zależności od przyjętego układu szyn zbiorczych (system podwójny)		3300—4800 mm	4000—5500 mm	1300—6000 mm

2. Rozdzielnie wnętrzowe halowe

Urządzenia tego rodzaju stosowane są dla napięć znamionowych 60 i 110 kV (rzadziej 30—45 kV) w tych wszystkich przypadkach, w których rozdzielnie napowietrzne nie mogą być zastosowane. Dotyczy to specjalnie okolic o dużej ilości zanieczyszczeń w powietrzu. Stosując w takich warunkach rozdzielnie napowietrzne, narażeni bylibyśmy na konieczność zbyt częstego, w regularnych odstępach czasu przeprowadzanego czyszczenia izolatorów oraz na związane z tym trudności ruchowe.

Charakterystyczną cechą rozdzielni halowych jest rozmieszczenie przyrządów rozdzielczych w hali pozbawionej ścianek działowych (chociażby z siatki żelaznej) oddzielającej zespoły przyrządów dla poszczególnych obwodów. Brak ścianek działowych stwarza dobrą przejrzystość całego urządzenia i zapewnia personelowi łatwy dostęp do przyrządów dla wykonywania czynności naprawczych i konserwacyjnych.

Połączenia między poszczególnymi przyrządami, wykonane zazwyczaj z rur (dla uniknięcia zjawiska ulotu), wypadają dość długie przy małej stosunkowo liczbie punktów zamocowania (mała liczba izolatorów wsporczych, zupełny brak przepustowych), mimo to przy właściwym wymiarowaniu odstępów międzyprzewodowych nie zachodzi obawa wzajemnego dynamicznego oddziaływania przewodów nawet przy najsilniejszych zwarciach. Same zresztą wartości prądów zwarcia w urządzeniach dla napięć 60—110 kV wypadają na ogół znacznie mniejsze, niż dla wysokich napięć niższego rzędu (np. 6—10 kV).

Ponieważ dla 60—110 kV wyłączniki pełnoolejowe nie są obecnie produkowane, w rozdzielniach halowych stosowane są wyłącznie przyrządy małoolejowe i powietrzne.

Rys. 69 przedstawia rozdzielnię halową na napięcie znamionowe 60 kV; przestrzeń zakreskowana zajęta jest przez przyrządy. Rozdzielnia wykonana jest z podwójnym systemem szyn zbiorczych, wyposażona w wyłączniki powietrzne (tzw. wyłączniki o swobodnym strumieniu powietrza), z dwoma korytarzami dla obsługi oraz z górnym przejściem dla kontroli szyn zbiorczych i czyszczenia izolatorów wsporczych. Jedynie transformatory prądowe (zastosowane w podanym tu przykładzie — rys. 69 — w wykonaniu olejowym), umieszczone są w specjalnych komorach otwartych na zewnątrz. W wykonaniu pokazanym na rys. 69 szyny zbiorcze są zmontowane na izolatorach wsporczych przymocowanych do konstrukcji żelaznej, mogą być one jednakże podwieszone na łańcuchach izolatorów wiszących przymocowanych do stropu.

Ścianka działowa między systemami szyn zbiorczych (jedyna w tym układzie) służy dwojakiemu celowi, a mianowicie:

— zabezpieczeniu przed przerzuceniem się łuku z jednego systemu na drugi, oraz
— zwiększeniu bezpieczeństwa personelu pracującego na jednym systemie przy pozostającym pod napięciem systemie drugim.

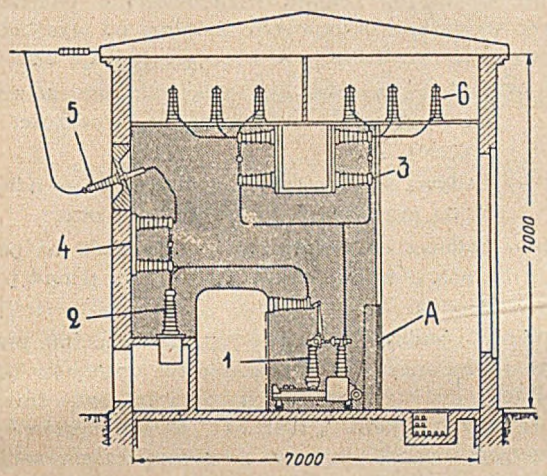
Izolatory przepustowe są użyte tylko w jednym wypadku, a mianowicie dla wyjścia poszczególnych linii na zewnątrz.

Wyłączniki stosowane są zwykle w wykonaniu z podwoziem do przetaczania i ustawiane w poziomie podłogi, co ułatwia ich wymienność.

Szafy z przyrządami pomiarowymi, sterującymi itp. umieszczone są bezpośrednio przed wyłącznikami odpo-

wiednich pól (na rys. 69 oznaczone literą **A**), względnie naprzeciw nich, po drugiej stronie korytarza dla obsługi.

Niektóre rozwiązania konstrukcyjne współczesnych przyrządów rozdzielczych przyczyniają się do dalszego uproszczenia ogólnego układu rozdzielni halowych a tym samym do obniżenia ich kosztu ogólnego. Mamy tu na myśli następujące wypadki:



Rys. 69. Rozdzielnia halowa na napięcie 60 kV.
1 — wyłącznik powietrzny; 2 — przekładnik prądowy; 3 — odłącznik szynowy; 4 — odłącznik liniowy; 5 — izolator przepustowy wyjściowy; 6 — izolator wsporczy; A — szafa z przyrządami niskonapięciowymi.

— ujęcie transformatorów prądowych i napięciowych w jedną całość pod względem konstrukcyjnym oraz

— wbudowanie transformatorów prądowych w bieguny wyłącznika małoolejowego.

Wykorzystanie tych możliwości przyczynić się może do dalszego zmniejszenia i tak już niewielkiej liczby stosowanych izolatorów wsporczych.

3. Komory transformatorów

Prawidłowe rozwiązanie komory transformatorowej winno spełniać cały szereg warunków.

Pamiętać musimy o tym, że jeśli nawet rozdzielnia jest wyposażona w przyrządy całkowicie bezolejowe i w mufy kablowe bezzalewowe, to niebezpieczeństwo pożarowe ze strony transformatora, jako zbiornika dużych ilości oleju izolacyjnego pozostaje nadal w całej rozciągłości.

Z powyższych względów **komory transformatorowe** powinny odpowiadać następującym podstawowym warunkom od strony budowlanej:

a. Dla każdego poszczególnego transformatora należy budować oddzielne komory. Jeśli większe transformatory pracują z regulacją napięcia pod obciążeniem i posiadają w tym celu oddzielne autotransformatory dodawcze, te ostatnie powinny być instalowane również w oddzielnych komorach.

b. Komory winny być całkowicie oddzielone od rozdzielni, aby wykluczone było nie tylko przedostawanie się płomieni, lecz także zadymienie. Sadza osadzająca się w tym ostatnim wypadku na izolatorach wsporczych i przepustowych oraz na izolatorach wszelkich przyrządów powoduje p r z e s k o k i do części uziemionych; samo oczyszczenie wszystkich izolatorów wymagałoby dłuższej, wielogodzinnej przerwy w ruchu całego urządzenia. O ile połączenia transformatorów z rozdzielnią wykonane są przy pomocy kabli, to kable te powinny być prowadzone w całkowicie oddzielnych kanałach niełączących się z głównymi kanałami kablowymi rozdzielni.

d. Bezpośrednio pod komorą transformatora (rys. 70) znajdować się winien ś c i e k mogący w razie potrzeby (np. pożaru, przeciekania zbiornika) odprowadzić ilość oleju odpowiadającą całkowitej jego zawartości w transformatorze. Olej płonący przy przejściu przez warstwę żwiru ulega ochłodzeniu i może być odprowadzony dalej rurą do studzienki (orientacyjna średnica rury w świetle rzędu 150 — 200 mm dla transformatorów średniej mocy, spadek niemniej jak 3%). Studzienka znajduje się pozą budynkiem samej podstacji; objętość jej winna być równa objętości oleju dla największego transformatora.

D r u g i m ważnym zagadnieniem przy budowie komór transformatorowych jest **łatwy transport** samego transformatora. Poziom podłogi w komorze powinien być taki, aby transformator mógł być łatwo przetoczony z wózka lub specjalnego podwozia, względnie — w przypadku dużych jednostek — z wagonu kolejowego.

Również sprawa **wentylacji komór** wymaga starannego rozwiązania. Musimy pamiętać, że straty w żelazie i miedzi transformatora ujawniają się nazewnątrz w postaci dość znacznych ilości ciepła, które częściowo tylko zostają wypromieniowane przez ściany budynku, a w znacznej większości muszą być odprowadzone przez zastosowanie **wentylacji naturalnej** lub **sztucznej** (przewietrzniki). Przykładowo podajemy, że np. w transformatorze o mocy 500 kVA przy napięciu górnym 15 kV wytwarza się w ciągu godziny (przy obciążeniu znamionowym) okrągło 5300 kalorii ciepła.

Wentylacja naturalna ma niewątpliwą przewagę nad wentylacją sztuczną, gdyż nie wymaga żadnego nadzoru i nie pociąga za sobą kosztów eksploatacyjnych. Intensywność jej jest jednakże mniejsza, niż sztucznej; zakres jej stosowalności ogranicza się zatem głównie do małych i średnich transformatorów.

Dla o b l i c z e n i a w e n t y l a c j i naturalnej komór transformatorowych zawierających jednostki małej i średniej mocy (50 — 1000 kVA) dość dobre wyniki daje następujący wzór uzyskany z praktyki:

$$q = 0{,}1 \cdot \frac{P}{\sqrt{H}}$$

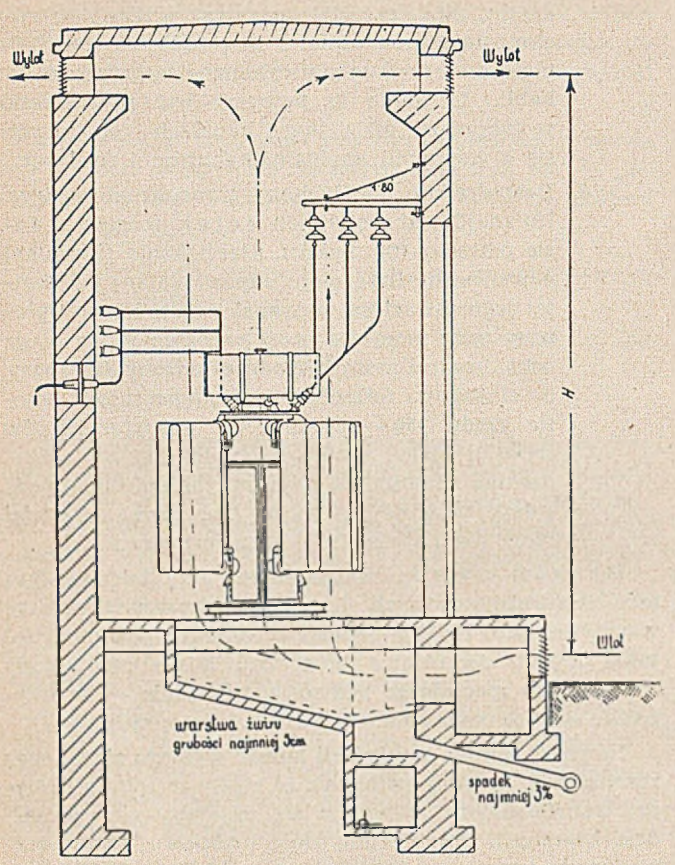
Oznaczenia w tym wzorze są następujące:

q — przekrój otworu wentylacyjnego w m²,

P — straty w transformatorze przy obciążeniu znamionowym (wyrażone w kW);

H — różnica poziomów kanału wlotowego (chłodne powietrze) i wylotowego (ogrzane powietrze) wyrażona w metrach (patrz oznaczenie H na rys. 70).

Współczynnik 0,1 dotyczy dobrze rozwiązanej wentylacji, w której strumień powietrza chłodnego opływa z czterech stron zbiornik transformatora (jak na rys. 70) i nie napotyka w swej wędrówce na żadne przeszkody (np. zakręty, przegrody itp.), któreby powodowały zaburzenia i zmniejszały intensywność jego przepływu. W wypadku, gdy warunki te nie są spełnione, należy zwiększyć obliczoną w podany sposób wielkość przekroju o 20 do 40%.



Rys. 70. Komora transformatora o mocy 5.000 kVA.

Tablica II.

Najmniejsze dopuszczalne przekroje q otworów wentylacyjnych w m², w zależności od różnicy poziomów tych otworów, przy prawidłowo wykonanej wentylacji naturalnej.

Moc znamionowa transformatora (kVA)	Różnica poziomów				
	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
50	0,10 m²	0,09 m²	0,08 m²	0,07 m²	—
75	0,13 „	0,11 „	0,10 „	0,09 „	—
100	0,17 „	0,15 „	0,13 „	0,12 „	—
125	0,21 „	0,18 „	0,16 „	0,15 „	0,14 m²
160	0,23 „	0,20 „	0,18 „	0,16 „	0,15 „
200	0,28 „	0,24 „	0,22 „	0,20 „	0,19 „
250	0,36 „	0,31 „	0,28 „	0,26 „	0,24 „
315	0,40 „	0,35 „	0,31 „	0,29 „	0,27 „
400	0,46 „	0,40 „	0,36 „	0,33 „	0,35 „
500	0,55 „	0,48 „	0,43 „	0,39 „	0,47 „
630	—	0,51 „	0,46 „	0,42 „	0,40 „
800	—	0,57 „	0,51 „	0,47 „	0,44 „
1000	—	0,70 „	0,63 „	0,58 „	0,53 „

Jak wynika z podanego wzoru, niemożliwe jest ustalenie ścisłej granicy, poniżej której można jeszcze zastosować wentylacją naturalną. Skuteczność jej zależy nie tylko od mocy transformatora, lecz także od właściwości pomieszczenia, w którym dany transformator jest ustawiony. W tablicy II podane są przekroje kanałów wentylacyjnych dla komoór transformatorowych różnej wielkości.

IV. Rozdzielnie napowietrzne [1])

O rodzaju budowy rozdzielni napowietrznej decyduje w dużym stopniu rozmieszczenie odłączników (przede wszystkim szynowych). Zależnie od wysokości ich umieszczenia rozróżniamy następujące rodzaje budowy:

a. — **budowa wysoka**, gdy odłączniki umieszczone są na konstrukcji wsporczej na wysokości 6 m i wyżej,

b. — **budowa średniowysoka** (półwysoka) — odłączniki na przeciętnej wysokości 2 m, oraz

c. — **budowa niska** (płaska) — odłączniki na podstawach o wysokości od 0,5 do 1 m ponad poziom gruntu.

Układy o budowie niskiej prawie zupełnie przestały być stosowane, gdyż ogradzanie (ze względów bezpieczeństwa) nisko ustawionych odłączników zmniejsza przejrzystość układu. Warunki atmosferyczne mogą w pewnych wypadkach łatwo powodować zamarzanie napędów odłączników od wody rozpryskowej. Układy te wymagają ponadto stosunkowo znacznego terenu pod budowę podstacji.

Przejście od budowy niskiej do budowy średniowysokiej zwiększa wprawdzie ogólny ciężar konstrukcyj wsporczych oraz ogólną liczbę izolatorów odciągowych, zmniejsza jednakże o 20 — 25% powierzchnię zajętego gruntu. Jakkolwiek bowiem szerokość pojedyńczego pola pozostaje dla danego napięcia znamionowego w obu przypadkach ta sama, to jednak przy budowie średniowysokiej pole wypada krótsze.

Budowa wysoka również mało jest obecnie stosowana, gdyż wymaga dużej liczby kosztownych konstrukcyj wsporczych.

Z powyższych względów we współczesnych rozdzielniach napowietrznych najczęściej stosowana jest budowa średniowysoka. Najstarszą i zarazem najbardziej rozpowszechnioną jej formą jest **układ z konstrukcją wsporczą umieszczoną po środku między obu systemami szyn zbiorczych** (rys. 71).

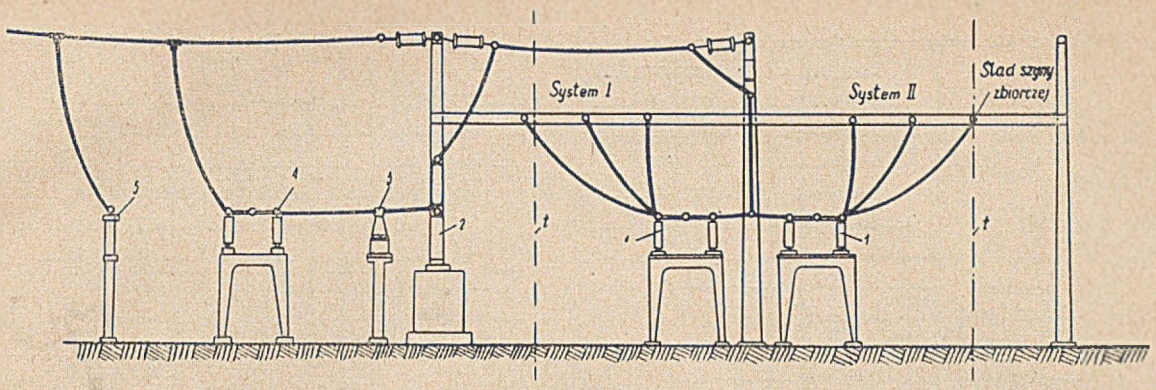
Poza samą konstrukcją środkową charakterystyczny dla danego układu jest **sposób przeprowadzenia połączeń** od szyn zbiorczych — poprzez odłączniki szynowe — do wyłączników, widoczny na rysunku (górne obejście ponad szynami zbiorczymi).

Ze względów bezpieczeństwa zaleca się górne połączenia przebiegające ponad szynami mocować na podwójnych łańcuchach izolatorów odciągowych.

Ustawienie odłączników (szynowych i liniowych) oraz innych przyrządów na konstrukcjach wysokości ok. 2 m umożliwia obsłudze względnie swobodne poruszanie się, gdyż wszelkie części będące pod napięciem znajdują się poza zasięgiem przypadkowego dotknięcia.

Podany wyżej układ pozwala na wyzyskanie danego pola — na wyprowadzenie linii odpływowej — w jednym tylko kierunku. Niemożliwe jest w tym układzie wyprowadzenie odpływów w obie strony z jednego pola. W ten sposób znaczna część gruntu zajętego przez podstację jest

[1]) Ogólne uwagi o stosowalności rozdzielni napowietrznych zostały podane w zeszycie 1/1949 r. „W. E.", str. 7 i następne.



Rys. 71. Układ rozdzielni napowietrznej na napięcie znamionowe 40 kV, o budowie średniowysokiej. Przekrój przez pole odpływu linią napowietrzną.

1 — odłącznik szynowy; 2 — wyłącznik małoolejowy; 3 — przekładnik prądowy; 4 — odłącznik liniowy; 5 — ochronnik prądowy; 4 — odłącznik liniowy; 5 — ochronnik przeciwprzepięciowy.

niedostatecznie wykorzystana, co widać na rys. 73, układ a. Słupy konstrukcji wsporczej (na rys. zaznaczone 1) muszą być ustawione na granicy sąsiednich pól, o ile odpływy z tychże pól dajemy w jedną stronę; szerokość pola wypada dość znaczna.

Lepsze na ogół wyniki daje **rozstawienie pól odpływów w szachownicę** (rys. 72), gdy na jednym polu wyprowadzamy odpływ w jedną, a na sąsiednim zaś w przeciwną stronę. Jednocześnie zamiast środkowej konstrukcji wsporczej dajemy na całej długości rozdzielni boczne konstrukcje wsporcze w rejonie wyłączników (rys. 73, układ b).

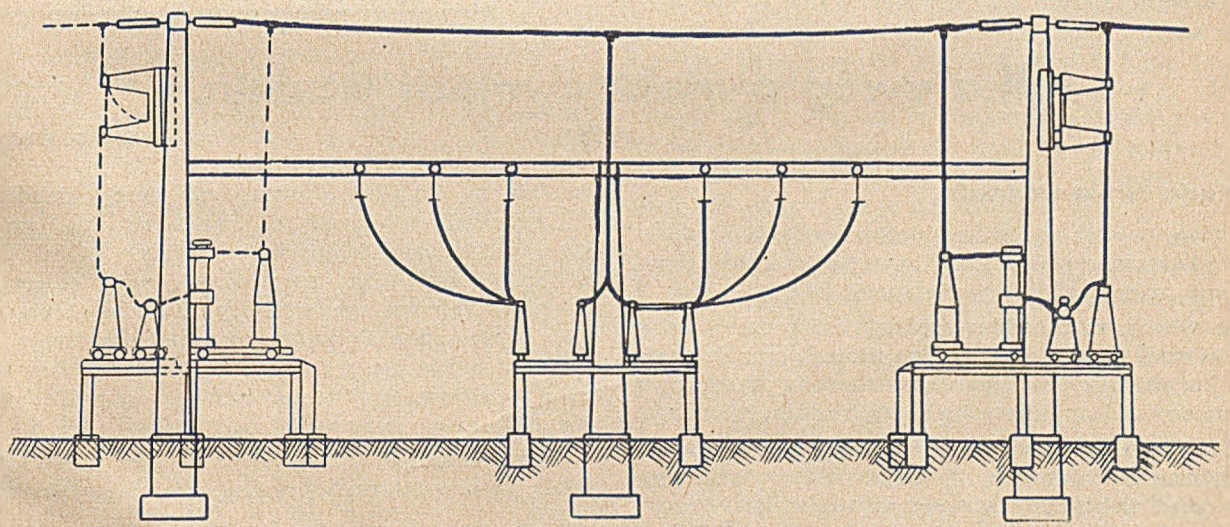
Zalety tego rozwiązania są następujące:

Układ rozdzielni pokazany na rys. 72 i 73-b odbiega nieco swym wyglądem od klasycznego układu ze środkową konstrukcją wsporczą, nie mniej pozostał w nim ten sam charakterystyczny sposób przeprowadzenia górnych połączeń od szyn zbiorczych do wyłączników.

Opisane układy wymagają dla transportu transformatorów specjalnego toru wybudowanego na zewnątrz samej rozdzielni, podczas gdy transport przyrządów rozdzielczych odbywać się może po drogach wewnętrznych, w rejonie szyn zbiorczych (rys. 71).

Jeśli miejsce pod stację jest wzdłuż (w kierunku szyn zbiorczych) dość szczupłe, natomiast nie jesteśmy krępowani wymiarami poprzecznymi, dobre rozwiązanie daje budowa, w której system **I** szyn zbiorczych obejmuje system **II**, tworząc, jak gdyby literę **U** (rys. 74); umożliwia to odprowadzenie odpływów z jednego pola w dwóch kierunkach. Układ ten nadaje się specjalnie dla rozdzielni o dużej liczbie pól (kilkanaście i więcej); w takich przypadkach ogólna oszczędność zajętego pod budowę gruntu dochodzić może do 30 %.

Wymienione układy nie posiadają tej cennej a jednocześnie rzadkiej zalety, jaką jest umieszczenie szyn zbiorczych ponad wszystkimi elementami rozdzielni (wyżej od szyn znajdują się w opisanych układach połączenia od odłączników szynowych do wyłączników). Umożli-

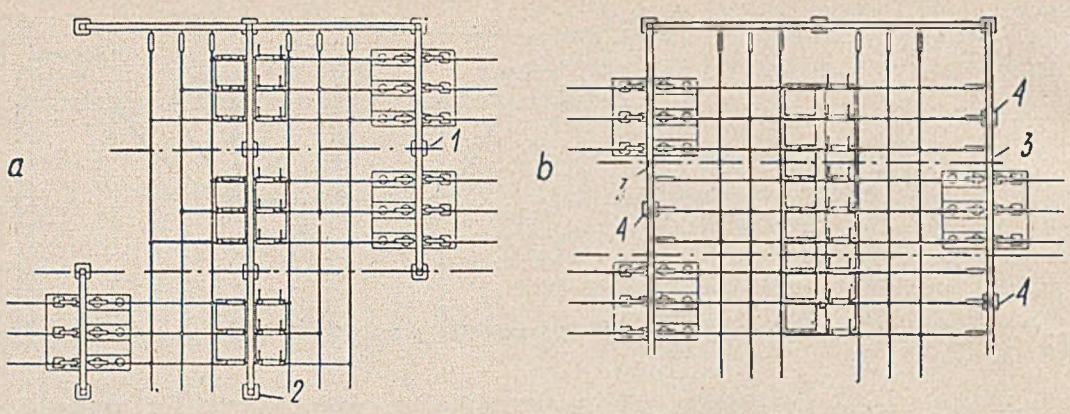


Rys. 72. Układ rozdzielni napowietrznej o budowie średniowysokiej, w szachownicę z bocznymi konstrukcjami wsporczymi (z lewej strony rysunku zaznaczono wykonanie odpływu w przeciwną stronę na sąsiednim polu).

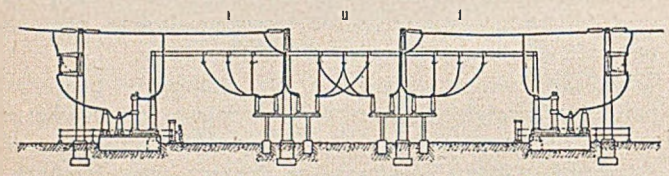
a. — mniejsza powierzchnia gruntu zajętego przez rozdzielnię. Słupy bocznych konstrukcji wsporczych (na rys. 73-b zaznaczone 4) nie są ustawione na granicy pól rozdzielni (jak na rys. 73-a, zaznaczone 1), lecz wewnątrz poszczególnych pól, przez co szerokość pojedyńczego pola wypada mniejsza. Na rys. 73 oba układy **a-b** obejmują tę samą liczbę pól (3) i zostały narysowane w tej samej skali. Mniejsza powierzchnia gruntu na korzyść układu **b** widoczna jest z rysunku.

b. — łatwiejszy dostęp do wyłączników;

c. — mniejsza ogólna liczba konstrukcji wsporczych oraz łańcuchów izolatorów odciągowych;



Rys. 73. Zarysy napowietrznych rozdzielni o budowie średniowysokiej (widok z góry).
a — ze środkową konstrukcją wsporczą (oznaczona liczbą 2) i z rozstawieniem odpływów w szachownicę; b — z bocznymi konstrukcjami wsporczymi (oznaczonymi liczbą 3) i z rozstawieniem odpływów w szachownicę (oba zarysy wykonane w tej samej skali).



Rys. 74. Rozdzielnia z podwójną środkową konstrukcją wsporczą, z układem szyn zbiorczych w kształcie litery U, z obustronnymi odpływami z jednego pola.

wiałoby to **zupełnie swobodną rozbudowę** całej rozdzielni, czy też pola rezerwowego, bez potrzeby przerywania normalnej pracy, gdyż wszelkie roboty wykonywane byłyby zdala od szyn pod napięciem. Niemniej opisane układy te są b. cenne, gdyż są w dużym stopniu **uniwersalne;** z równym powodzeniem mogą być stosowane dla wszelkich napięć w szerokim zakresie od 30 do 110 kV, a przy 30 kV zarówno dla wyłączników pełno — jak i dla małoolejowych. Dla rozdzielni 220 kV układy te raczej nie nadają się, albowiem wymiary konstrukcyj wsporczych wypadłyby w tym przypadku zbyt wielkie.

Kilka uwag o elektrowniach wodnych

(Dokończenie)

Inż. TADEUSZ WINIARSKI.

Regulacja turbin wodnych

Turbiny wodne w elektrowniach napędzają prądnice. Moc wytwarzana przez prądnicę musi być w każdej chwili równa mocy zapotrzebowanej przez sieć.

Jak wiemy, moc turbiny wodnej jest proporcjonalna do ilości wody Q przepływającej na sekundę oraz do spadku h. Zmiana mocy rozwijanej przez turbinę wymaga zatem zmiany co najmniej jednej z tych wielkości.

W większości wypadków w elektrowniach ustawione są prądnice synchroniczne. Prądnica synchroniczna wytwarza prąd elektryczny o stałej częstotliwości f równej 50 okresów na sekundę. Częstotliwość zaś w myśl wzoru:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

jest zależna od liczby par biegunów p prądnicy oraz od liczby obrotów wirnika n na minutę. Ponieważ liczba par biegunów prądnicy jest niezmienna, zatem warunkiem utrzymania stałej częstotliwości przez prądnicę jest jej niezmienna liczba obrotów. A zatem turbozespół musi w każdej chwili dostosować swą moc do mocy zapotrzebowanej przez sieć, a równocześnie utrzymać stałą liczbę obrotów.

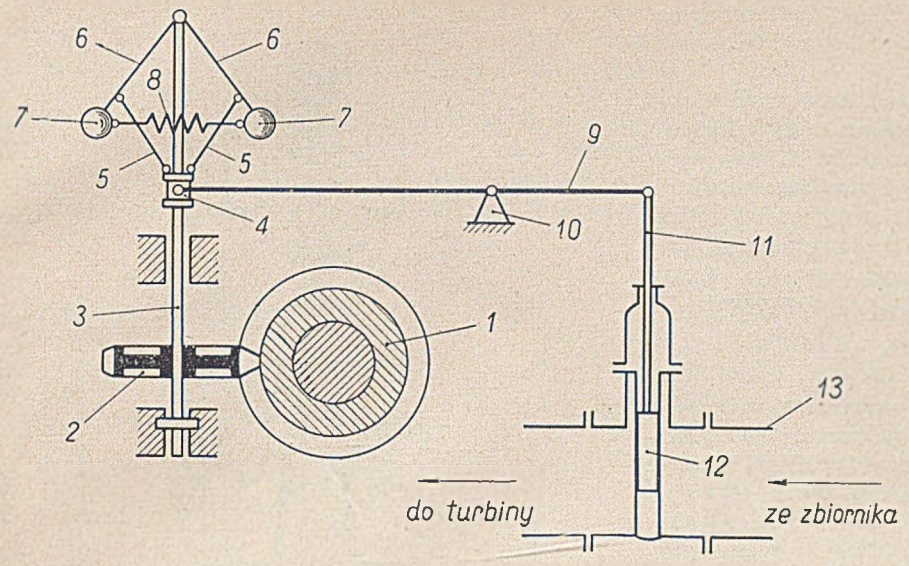
Sprawność turbiny wodnej pozostaje wówczas tylko najkorzystniejsza, gdy jej liczba obrotów zmienia się wraz z wielkością spadku, a zatem, chcąc jak najlepiej wykorzystać przepływającą wodę, musielibyśmy wraz ze zmianą spadku zmieniać liczbę obrotów turbiny, co ze względu na konieczność utrzymania stałej częstotliwości nie jest możliwe. W praktyce więc moc turbiny zmieniamy przez zmianę ilości doprowadzanej wody. Gdyby w każdej chwili ilość doprowadzanej wody odpowiadała dokładnie zapotrzebowanej mocy, to liczba obrotów turbiny byłaby stała. Potrzebne są zatem urządzenia, które zapewniają równocześnie ze zmianą obciążenia zmianę ilości przepływającej przez turbinę wody. Zadanie to spełniają r e g u l a t o r y.

Powszechnie są stosowane regulatory odśrodkowe; dzielą się one na regulatory bezpośrednie i pośrednie.

Regulator bezpośredni

Schemat wyjaśniający zasadę działania regulatora bezpośredniego jest pokazany na rys. 40. Wał turbiny **1** napędza poprzez koło zębate **2** wałek pionowy **3**, na który nasunięta jest mufa **4** regulatora: do mufy tej dołączone są za pomocą przegubów drążki **5**. Drążki **5** związane są przegubowo z drążkami **6**, te zaś z wałkiem **3**. Do końców drążków **6** przymocowane są ciężarki **7**. Ciężarki te związane są ze sobą za pomocą sprężyny **8**.

Podczas obrotu wałka **3** na ciężarki **7** działa siła odśrodkowa, która — wbrew sprężynie **8** — stara się odsunąć je na zewnątrz. Siła ta jest tym większa, im większa jest liczba obrotów ciężarków, a zatem i wału turbiny **1**. Ciężarki — w miarę wzrostu liczby obrotów — ciągną ku górze mufę **4**. Wraz z mufą unosi się ku górze lewy koniec dwuramiennej dźwigni **9** zamocowanej obro-



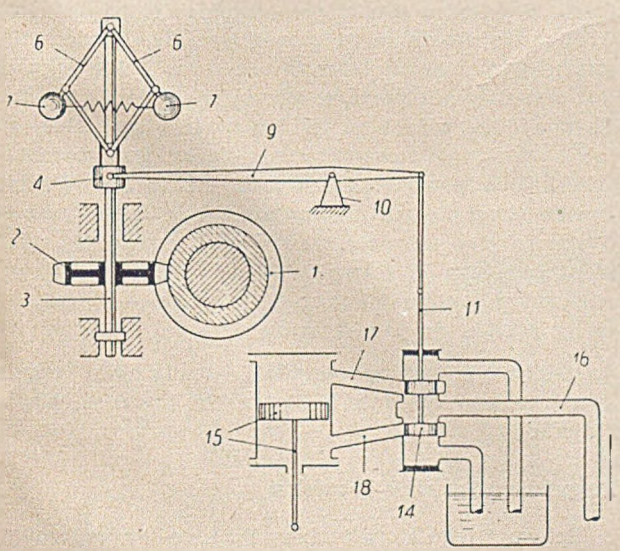
Rys. 40. Zasada działania regulatora bezpośredniego turbiny wodnej. 1 — wał turbiny; 2 — koło zębate; 3 — wałek pionowy; 4 — mufa regulatora; 5 i 6 — drążki; 7 — ciężarki; 8 — sprężyna; 9 — dwuramienna dźwignia; 12 — zasuwa; 13 — rurociąg dopływowy.

towo w punkcie **10**, prawy zaś koniec tej dźwigni opuszcza się wdół, przymykając zasuwę **12** za pośrednictwem cięgła **11**. Opuszczając się, zasuwa zmniejsza ilość wody przepływającej przez rurociąg **13** do turbiny.

Z chwilą, gdy nastąpi zmniejszenie poboru mocy z generatora (na skutek np. wyłączenia szeregu odbiorników elektrycznych), moc turbiny będzie już za duża wskutek czego wzrośnie jej liczba obrotów. Ze wzrostem liczby obrotów turbiny regulator zmniejszy dopływ wody do turbiny (w sposób opisany wyżej), przez co moc turbiny ulegnie zmniejszeniu.

W wypadku przeciwnym tj., gdy moc turbiny jest mniejsza od mocy zapotrzebowanej przez sieć, obroty turbiny maleją, wówczas opadają (rys. 40) ciężarki **7**, obsuwając wraz z mufą **4** lewy koniec dźwigni **8**, a podnosząc jej prawy koniec i zwiększając tym samym dopływ wody do turbiny, dzięki czemu moc turbiny rośnie.

Ponieważ do uruchomienia aparatu kierowniczego turbiny potrzebne są duże siły, regulator bezpośredni nie nadaje się do użytku w normalnych urządzeniach, wchodzi on natomiast w skład regulatora p o ś r e d n i e g o.



Rys. 41. Schematyczny układ wyjaśniający zasadę działania regulatora pośredniego turbiny wodnej (opis w tekście).

Regulator pośredni

W skład regulatora p o ś r e d n i e g o (rys. 41) wchodzą:
1) właściwy regulator odśrodkowy,
2) silnik pomocniczy (serwomotor) oraz
3) urządzenie do wytwarzania ciśnienia oleju.

Regulator odśrodkowy służy jedynie do uruchomienia silnika pomocniczego (serwomotoru), a mianowicie przestawia jego tłok rozdzielczy **14**, ten zaś z kolei wpuszcza olej pod ciśnieniem ok. 15 atm. na jedną lub na drugą stronę tłoka roboczego serwomotoru **15**.

Z chwilą, gdy wzrosną obroty turbiny, regulator odśrodkowy zepchnie w dół tłoczek **14**, olej z rurociągu **16** dostanie się — poprzez przewód **18** pod dolną powierzchnię tłoka **15** — a równocześnie olej z nad tłoka — poprzez przewód **17** — spłynie do zbiornika. Dzięki temu tłok **15** serwomotoru posunie się ku górze, przestawiając łopatki kierownicze turbiny w sensie zmniejszenia ilości wody przepływającej przez turbinę.

Odwrotnie, gdy obroty turbiny maleją, regulator podciągnie tłoczek rozdzielczy do góry, olej wpłynie nad górną powierzchnię tłoka **15**, a równocześnie olej z pod dolnej powierzchni tłoka spłynie do zbiornika. Tłok wskutek tego posunie się w dół, przestawiając łopatki kierownicze w sensie zwiększenia przepływu wody, wskutek czego zwiększa się moc i obroty turbiny.

Regulator pośredni ma tę wadę, że na skutek obniżenia się tłoczka rozdzielczego przy odciążeniu turbiny, tłok silnika pomocniczego posunie się zbyt daleko, liczba obrotów turbiny spadnie poniżej normalnej, regulator odśrodkowy skutkiem tego przesunie tłoczek rozdzielczy ku górze, obroty wzrosną ponad normalne itd. Turbina zmieniałaby nieustannie swe obroty, nie dochodząc do równowagi.

Unika się tego zjawiska przez tzw. d o r e g u l o w a n i e.

Czynność tę spełniają drążki **19** i **19-a** (rys. 42) połączone nakrętką **24**. Drążek **19** połączony jest z tłokiem silnika pomocniczego, drążek zaś **19-a** z dźwignią **9**. Gdy na skutek odciążenia turbiny wzrosną jej obroty, ciężarki podniosą mufę regulatora **4** (rys. 41) a ta — poprzez dźwignię **9** — zepchnie tłoczek rozdzielczy w dół. Olej przesunie następnie tłok silnika pomocniczego ku górze, a ten z kolei za pomocą drążka **19** podniesie punkt **21** dźwigni **9**.

Ponieważ mufa regulatora jest w danej chwili punktem stałym, dźwignia **9** przesunie tłoczek rozdzielczy

zasłoni przewody **17** i **18** skutkiem czego tłok **15** zatrzyma się; w ten sposób osiągnięty zostanie stan równowagi i obroty turbiny ustalą się.

Jak wiemy z poprzednich rozważań, każdej liczbie obrotów odpowada takie czy inne położenie mufy **4** regulatora. Mufa ta zgodnie z podwyższoną liczbą obrotów podsunęła się ku górze. Regulator jednak musi zapewnić turbozespołowi stałą liczbę obrotów. Potrzebne jest zatem urządzenie, które sprowadzi mufę do normalnego jej położenia, dzięki czemu turbina osiągnie normalne obroty. Urządzene to nosi nazwę „odwodzenia elastycznego".

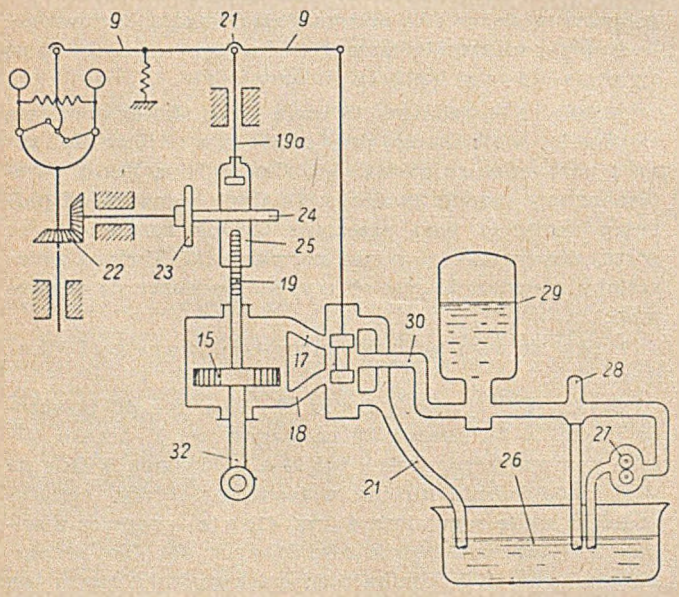
Odwodzenie elastyczne

Istnieje szereg rozwiązań tego urządzenia, najprostszym urządzeniem jest odwodzenie za pomocą kółek tarciowych. Jedno kółko **23** (rys. 42) napędzane jest z wału regulatora za pomocą przekładni **22**, drugie zaś — **24** osadzone jest na nakrętce drążków **19** i **19-a** i dotyka kółka **23**. Stan równowagi tego urządzenia istnieje wówczas, gdy kółko **24** dotyka środka kółka **23**.

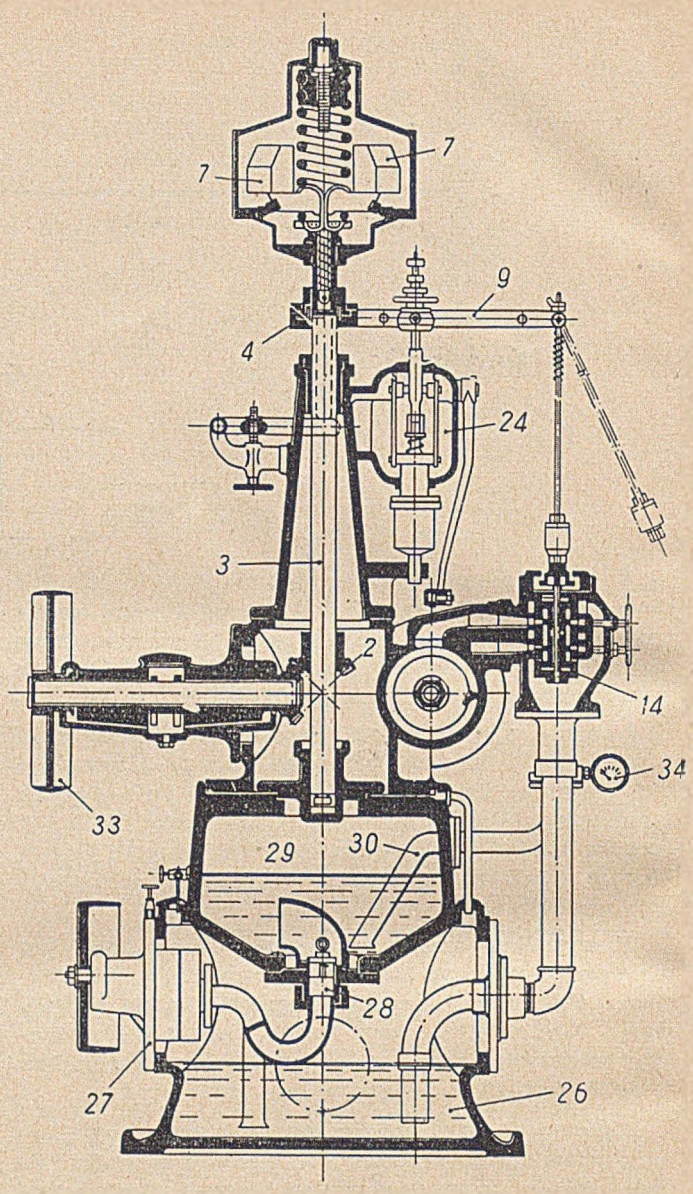
Z chwilą, gdy kółko **24** przesunie się w górę lub w dół, zostaje ono wprawione przez kółko **23** w ruch. Na skutek tego ruchu kółko **24** przesunie się z powrotem do środka kółka **23** i wówczas ruch kółka **24** ustanie.

W czasie zmiany obciążenia (np. — przy odciążeniu turbiny) mufa regulatora przesunie się ku górze — na skutek zwyżki obrotów. Turbozespół ma wtedy większą liczbę obrotów niż normalnie, ale w czasie działania regulatora tłok **15** przesunął się ku górze, przesuwając równocześnie kółko **24**. Skutkiem tego kółko to zaczęło się obracać, dążąc z powrotem w dół tj. ku środkowi kółka **23**. Kółko **24**, obracając się powoduje wkręcanie drążka **19** w nakrętkę, na której jest ono osadzone. Ponieważ tłok silnika jest nieruchomy zatem ściągnięty zostanie w dół p. **21** a zatem i mufa regulatora do normalnego położenia, dzięki czemu turbozespół uzyska normalne swe obroty.

Na rys. 42 pokazany jest poza tym zbiornik oleju **26** oraz pompka zębata **27**, która zasysa olej ze zbirnika **26** i wtłacza go pod ciśnieniem ok. 15 atn poprzez wentyl przelewowy **28** do powietrznika **29**. Z powietrznika olej przedostaje się do rurociągu **30** i komory tłoczka rozdziel-



Rys. 42. Schemat wyjaśniający zasadę tzw. doregulowywania.



Rys. 43. Przekrój regulatora turbiny frensisowskiej typu Voith.

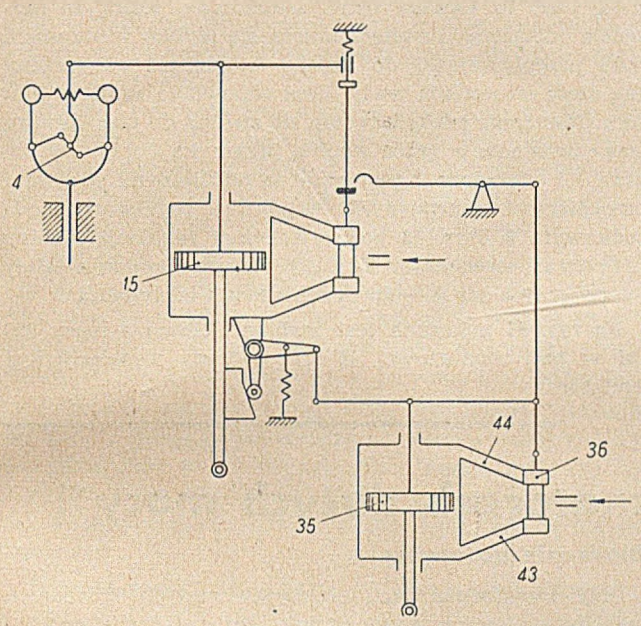
czego. Z cylindra silnika pomocniczego olej spływa z powrotem do zbiornika **26** rurociągiem **21**. Powietrznik **29** jest jakgdyby akumulatorem ciśnienia. Dolna jego część jest wypełniona olejem, w górnej znajduje się powietrze. To powietrze wtłaczane jest za pomocą specjalnej sprężarki lub zostaje zassane wraz z olejem przez pompkę **27**. Ciśnienie w powietrzniku wynosi ok. 15 atn. Wentyl **28** steruje obieg oleju a mianowicie, gdy ciśnienie w powietrzniku zbytno wzrośnie, wentyl przepuszcza olej z pompki z powrotem do zbiornika **26**, gdy zaś ciśnienie w powietrzniku spadnie poniżej normalnego, — przepuszcza olej z pompki do powietrznika.

Każdy typ turbiny posiada odmienny regulator a więc mamy regulatory dla turbin Francisa, Kaplana, Peltona.

Regulator turbiny Francisa

Schemat regulatora turbiny Francisa pokazany jest na rys. 42, przy czym drąg **32** służy do przestawiania łopatek kierowniczych turbiny. Na rys. 43 pokazany jest przekrój regulatora turbiny Francisa typu Voith.

Zbiornik oleju 26 znajduje się na dole. Z tego zbiornika olej przetłaczany jest przy pomocy pompki zębatej 27 do powietrznika 29. Wentyl przelewowy 28 znajduje się pomiędzy zbiornikiem a powietrznikiem. Olej z powietrznika wtłaczany jest rurociągiem 30 do komory tłoczka rozdzielczego 14, stąd zaś — do cylindra tłoka 15 silnika pomocniczego. Wałek 3 regulatora napędzany jest za pomocą koła pasowego 33 i kółka zębatego 2. Ciężarki 7 regulatora, podnosząc lub opuszczając mufę 4, sterują — poprzez dźwignie 9 — tłoczek rozdzielczy 14. Urządzenie do odwodzenia 24 przymocowane jest do osłony regulatora. Ciśnienie oleju w powietrzniku wskazuje manometr 34.



Rys. 44. Schemat samoczynnej regulacji turbiny Kaplana.

Regulator turbiny Kaplana

Jak wiemy, prof. Kaplan uzyskał dużą sprawność swej turbiny zarówno przy częściowym, jak i przy całkowitym jej obciążeniu dzięki równoczesnemu przestawianiu łopatek kierowniczych oraz łopatek wirnika. Przestawianie łopatek wirnika odbywa się samoczynnie i jest uzależnione od przestawiania łopatek kierowniczych za pośrednictwem krzywki i dźwigni.

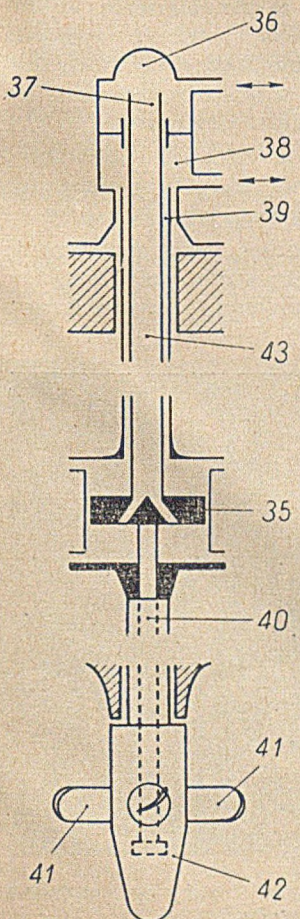
Każdy regulator turbiny Kaplana stanowią następujące elementy:

1) regulator odśrodkowy,
2) urządzenie do wytwarzania ciśnienia oleju,
3) silnik pomocniczy do przestawiania łopatek kierowniczych oraz
4) silnik pomocniczy do przestawiania łopatek wirnika.

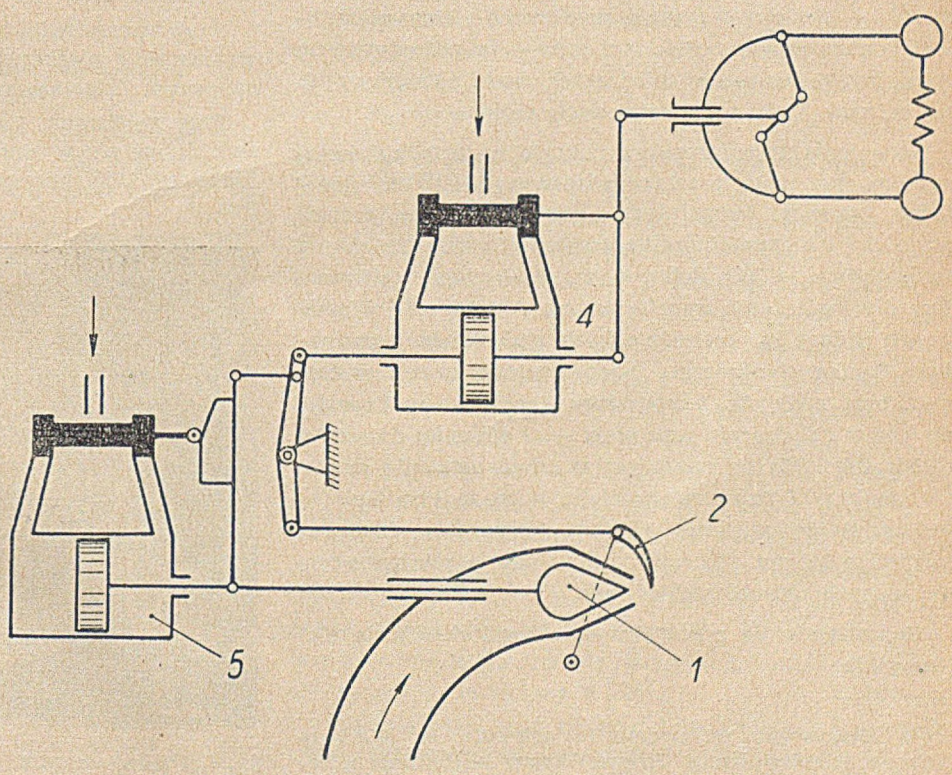
Schemat samoczynnej regulacji turbiny Kaplana pokazany jest na rys. 44. Na schemacie tym oznaczają: 4 — mufa regulatora; 15 — tłok silnika pomocniczego do przestawiania łopatek kierowniczych; 35 — tłok silnika pomocniczego do przestawiania łopatek wirnika.

Urządzenie do wytwarzania ciśnienia oleju wykonane jest tu podobnie jak w regulatorach turbiny syst. Francisa. Silnik pomocniczy do przestawiania łopatek kierowniczych, tłoczek rozdzielczy do silnika pomocniczego wirnika oraz urządzenie do wytwarzania ciśnienia oleju ustawione są w hali maszyn obok turbozespołu. Natomiast silnik pomocniczy wirnika jest umieszczony wewnątrz wydrążonego wału wirnika turbiny (rys. 45) i wiruje wraz z wałem.

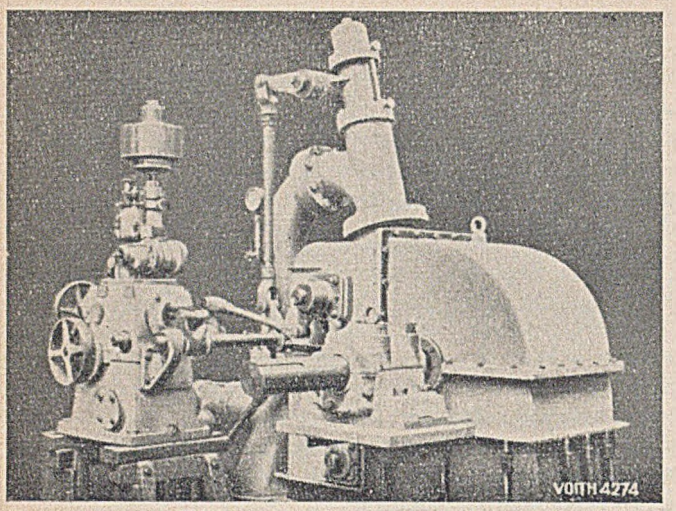
Olej z komory rozdzielczej tłoczka dostaje się rurociągiem 43 do komory rozdzielczej 36 oraz do rury 37 pod tłok silnika pomocniczego 35 rurociągiem zaś 39 nad górną



Rys. 45. Niektóre szczegóły układu regulacyjnego turbiny kaplanowskiej.



Rys. 46. Schemat regulacji obrotów turbiny peltonowskiej.



Rys. 47. Widok turbiny peltonowskiej o mocy 800 KM (z lewej strony regulator obrotów turbiny).

powierzchnię tłoka 35. Ruch tłoka 35 przenoszony jest drągiem 40 na łopatki 41 wirnika. Mechanizm łączący drąg 40 z łopatkami osłonięty jest głowicą 42.

Dopływ wody do turbiny Peltona reguluje jak wiemy, iglica.

Woda do turbiny doprowadzana jest długimi rurociągami. W przypadku nagłego zmniejszenia dopływu wody na skutek odciążenia turbiny może powstać niebezpieczna zwyżka ciśnienia w rurociągu. Ażeby temu zapobiec, a równocześnie szybko dostosować ilość wody do zapotrzebowanej mocy, obok iglicy umieszczony jest odchylacz. Jest to łopatka ostro zakończona, którą w momencie odciążenia turbiny zanurza się szybko w strumień wody przepływającej do turbiny i odchyla od turbiny taką część strumienia wody, jaka odpowiada zmniejszeniu mocy. Następnie odchylacz cofa się zwolna do pierwotnego swego położenia a iglica zwolna przymyka dopływ wody. Iglica 1 i odchylacz 2 poruszane są oddzielnymi silnikami pomocniczymi napędzanymi wspólnym regulatorem odśrodkowym 3. Rys. 46 podaje schemat regulacji turbiny Peltona; serwomotor 5 służy do uruchamiania iglicy 1, serwomotor zaś 4 — do uruchomienia odchylacza 2.

Na rys. 47 pokazana jest turbina Peltona o mocy 800 KM w hali montażowej. Z lewej strony widoczny jest regulator.

Chłodzenie oleju w transformatorach dużych mocy *)

Uwagi ogólne

Porównanie najważniejszych systemów chłodzenia transformatorów dużych mocy pod kątem widzenia kosztów energii zużytej w urządzeniach do chłodzenia prowadzi do stwierdzenia, że wszystkie systemy chłodzenia są właściwie gospodarczo jednakowo uzasadnione. Wybór systemu chłodzenia zależy głównie od właściwości **miejsca ustawienia** transformatora.

Całkowite ciepło strat, zarówno w rdzeniu jak i w uzwojeniach transformatora olejowego, zostaje przejęte przez olej, który następnie oddaje je powietrzu lub wodzie — częściowo poprzez powierzchnię skrzyni olejowej transformatora, częściowo zaś — za pośrednictwem specjalnych elementów chłodzących, bądź nabudowanych na skrzyni, bądź też ustawionych osobno.

Uzwojenia transformatora pokryte materiałami izolacyjnymi nie mogą przekroczyć pewnej ściśle określonej przez przepisy temperatury. Również i olej posiada określoną i nieprzekraczalną granicę tmperatury. Obie te temperatury są tak dobrane, że zapewniają wystarczającą długowieczność transformatora. A ponieważ w przepisach podane są przeważnie także maksymalne temperatury środka chłodzącego, więc konstruktorowi zostają narzucone nadwyżki temperatury: miedzi — w stosunku do środka chłodzącego oraz oleju — w stosunku do środka chłodzącego. Ma on natomiast możność ustalenia mniejszej nadwyżki temperatury oleju, a co za tym idzie — wykorzystanie większej różnicy temperatur pomiędzy miedzią a olejem. Może to odegrać pewną rolę przy ocenie różnych sposobów chłodzenia.

Zapoznajmy się z różnymi sposobami chłodzenia olejowego.

*) Opracowano na podstawie artykułu A. Meyerhansa w czasopiśmie „Brown Boveri Mitteilungen, zeszyt 10/11 — 1949 r.

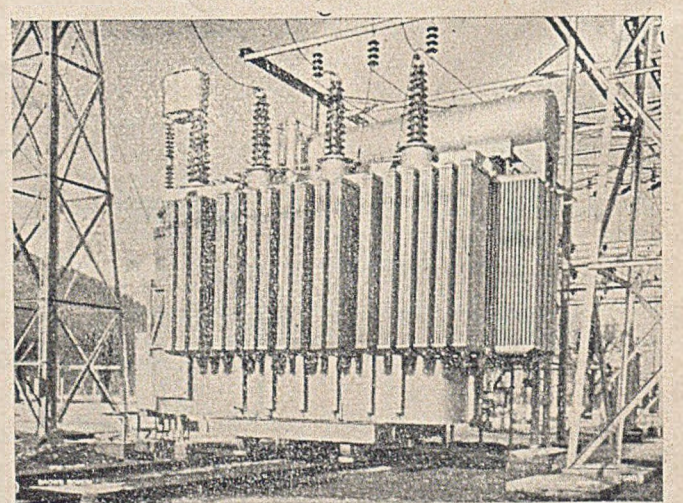
Chłodzenie naturalne

Przy transformatorach olejowych małych i średnich mocy powiększamy powierzchnię skrzyni transformatorowej — przez faliste ukształtowanie jej ścian lub przez nabudowanie rur — tak dalece, że naturalny ruch otaczającego powietrza i promieniowanie wystarczają do odprowadzenia całkowitego ciepła strat.

Należy jednak przypomnieć, że pomieszczenie, w którym ustawiony jest transfomator, powinno zapewniać dopływ ok. 5 m^3 powietrza chłodzącego na każdy kW strat mocy i dlatego należy umożliwić wytworzenie się nad transformatorem rodzaju ciągu kominowego.

Przy transformatorach ustawionych na zewnątrz liczyć się można z nieznaczną poprawą warunków chłodzenia na skutek działania słabego nawet wiatru.

Przy większych transformatorach sama powierzchnia skrzyni już nie wystarcza. Należy wtedy zastosować tzw. radiatory, które przyspawa się lub nabudowuje na skrzyni (rys. 1).



Rys. 1. Transformator 20.000 kVA, 120,6/16,5 kV o chłodzeniu naturalnym za pomocą radiatorów.

Począwszy jednakże od pewnej mocy (ok. 20 — 30 MVA), radiator wystawałby za daleko poza powierzchnię skrzyni, wydaje się więc celowe ustawianie osobnych urządzeń chłodzących połączonych ze skrzynią transformatora rurami o odpowiednio dużej średnicy.

Chłodzenie wymuszonym strumieniem powietrza

Celem zredukowania liczby radiatorów powiększa się przy dużych transformatorach skuteczność chłodzenia za pomocą sztucznego strumienia powietrza przy pomocy wentylatorów.

Początkowo używano do tego celu jednego lub dwu wentylatorów, których prąd powietrza był kierowany — poprzez odpowiednie dysze do poszczególnych elementów radiatorów, przy czym radiatory przy bardzo dużych jednostkach łączono w baterie ustawiane osobno.

Następnie zaczęto zaopatrywać poszczególne elementy radiatorów w **pojedyncze wentylatory.** Na pozór nieekonomiczne to rozbicie jednego większego wentylatora na szereg małych zostaje wyrównane przez skrócenie i wyprostowanie drogi dla strumienia powietrza chłodzącego.

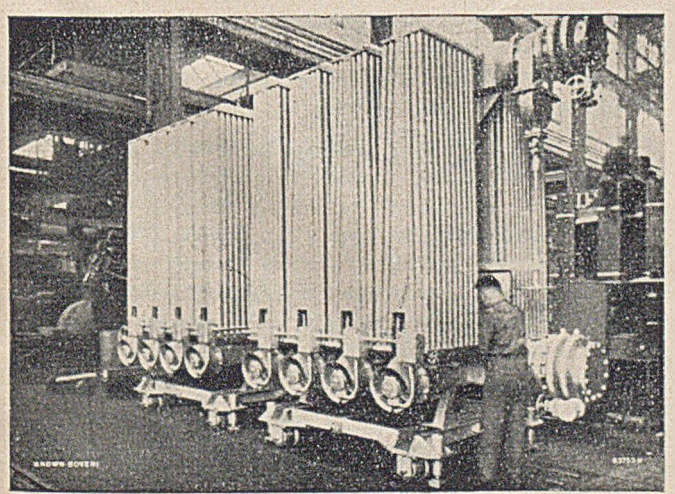
Całkowite zużycie energii może być nawet przy chłodzeniu za pomocą pojedyńczych wentylatorów znacznie obniżone. Przy wielu wentylatorach uszkodzenie któregoś z nich nie jest bynajmniej groźne i dlatego zabezpieczenie każdego małego silnika o mocy np. 200 W nie jest konieczne.

Zresztą powierzchnię urządzeń chłodzących przewiduje się tak dużą, aby nawet przy unieruchomieniu wszystkich wentylatorów transformator mógł pozostać w ruchu przy trwałym obciążeniu w granicach 60 — 70% jego mocy znamionowej. Chłodzenie wymuszonym strumieniem powietrza jest więc w tym przypadku względnie słabe (rys. 2).

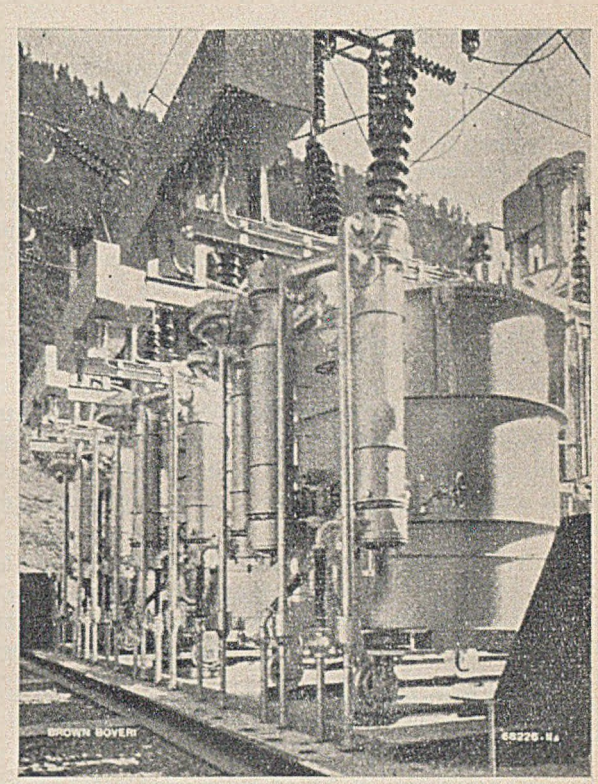
Ponieważ działanie chłodzące powierzchni transformatora rośnie ze wzrostem szybkości powietrza chłodzącego, zachodzi pytanie, czy nie należałoby zastosować silniejsze wentylatory, aby otrzymać najkorzystniejsze warunki chłodzenia.

Chłodzenie za pomocą sztucznego obiegu i wzmocnionego strumienia powietrza

Intensywniejsze wydzielanie ciepła przy wzmocnionym podmuchu powietrza chłodzącego wymaga wzmocnienia obiegu oleju. Naturalne krążenie oleju nie wystarcza już wtedy i należy zastosować **pompę olejową.** Zastosowanie właściwie dobranej pompy olejowej umożliwia znaczne zmniejszenie przekrojów rur olejowych. Urządzenie chłodzące otrzymują dzięki temu rury o małej średnicy albo o przekroju owalnym, posiadające po stronie zewnętrznej powierzchnię zwiększoną przez żeberka lub kłębki drutu.



Rys. 2. Dwie baterie radiatorów do chłodzenia oleju transformatora. Każda bateria składa się z ośmiu podwójnych radiatorów i ośmiu wentylatorów (widoczne na rysunku u dołu).



Rys. 3. Grupa składająca się z trzech transformatorów jednofazowych łącznej mocy 50.000 kVA. Każdy z transformatorów zaopatrzony jest w 3 nabudowane chłodnice oleju.

Zaletą tego rodzaju urządzeń chłodzących jest to, że wymagają one bardzo mało miejsca. Wadę stanowi konieczność odłączenia transformatora od sieci z chwilą przerwania pracy pompy olejowej lub wentylatorów, gdyż wtedy system chłodzenia nie jest nawet zdolny do odprowadzenia strat biegu jałowego.

Chłodzenie przy pomocy sztucznego obiegu oleju chłodzonego wodą

Chłodzenie oleju wodą stosuje się przede wszystkim tam, gdzie brak miejsca daje się we znaki, lub przy transformatorze ustawionym w pomieszczeniu zamkniętym, kiedy istnieją trudności z doprowadzeniem lub odprowadzeniem dużych ilości powietrza chłodzącego. Dostarczanie wody chłodzącej (ok. 1 litr na minutę na 1 kW odprowadzanych strat) nie powinno ani nastręczać trudności, ani pociągać za sobą większych kosztów.

Chłodzenie przez wprowadzenie wężownic wodnych do skrzyni transformatora zostało obecnie zaniechane. Stosowane są pojedyńcze chłodnice wodne, łatwo dające się czyścić, jako elementy samodzielne ustawione poza transformatorem (rys. 3). Ze względu na ograniczoną pojemność tych chłodnic konieczna jest pompa olejowa. Silnik napędzający pompę olejową pracuje całkowicie lub częściowo zanurzony w oleju.

Zalety i wady tego systemu chłodzenia są te same, co i przy chłodzeniu za pomocą sztucznego obiegu i wzmocnionego strumienia powietrza.

Porównanie kosztów różnych systemów chłodzenia

Wszędzie tam, gdzie wybór systemu chłodzenia nie został podyktowany brakiem miejsca lub istniejącymi warunkami budowlanymi, decydować powinna **strona gospodarcza** zagadnienia.

Należy więc liczyć się nie tylko z kosztami inwestycyjnymi chłodnic i przynależnej aparatury, lecz również z kosztami eksploatacyjnymi, jakie pociąga za sobą napędzanie pomp i wentylatorów. Tak np. dla orientacji można podać, że koszty eksploatacyjne wyrażą się sumą 800 franków szwajc. na kW odprowadzanych strat przy chłodzeniu za pomocą słabego strumienia powietrza (wentylatory czynne w ciągu 40% czasu rocznego) i sumą 2000 fr. szwajc. na kW przy chłodzeniu olejem w przeciwprądzie z wodą (pompy i wentylatory pracują bez przerwy).

Dla innych konstrukcji zestawione wyżej koszty mogą nieco się różnić. Należy również liczyć się z tym, że przy chłodzeniu za pomocą naturalnego i wymuszonego strumienia powietrza, chłodnice nie są ustawione bezpośrednio na skrzyni transformatorowej, lecz tworzy się z nich osobno ustawiane baterie, co znacznie podnosi koszt całego urządzenia.

Ogólnie można jednak powiedzieć, że chłodnice do forsownego chłodzenia nie są tak ekonomiczne, jakby się to pozornie wydawało. Tak więc koszty różnych systemów chłodzenia wyrównują się w zdumiewający sposób.

Czy można zmniejszyć transformator przez zastosowanie bardziej intensywnego chłodzenia

Jak już zaznaczyliśmy konstruktor może dobrać mniejszą nadwyżkę temperatury oleju przez zastosowanie bardziej intensywnego chłodzenia i w ten sposób uzyskać większą różnicę temperatur pomiędzy miedzią a olejem. Zachodzi pytanie, czy jest to droga prowadząca do uzyskania taniego transformatora.

Bliższa analiza zależności dla transformatora 50.000 kVA wykazuje, że minimum kosztów całkowitych (transformator wraz z urządzeniem chłodzącym) ma miejsce o ile różnica między temperaturą miedzi a temperaturą oleju wynosi ok. 27° C. Dalsze forsowanie chłodzenia nie daje już korzyści gospodarczych.

Przy chłodzeniu naturalnym lub też słabym chłodzeniu obcym różnicę temperatur miedzi i oleju ustala się w granicach od 20° do 25° C aby urządzenia chłodzące nie zajmowały zbyt dużo miejsca.

Wnioski końcowe

Wybór systemu chłodzenia transformatora — jak już zaznaczyliśmy — zależy w dużej mierze od właściwości miejsca, w którym transformator zainstalowano.

Jeżeli jest dość miejsca do dyspozycji (np. w urządzeniach napowietrznych), należy wybrać bądź chłodzenie naturalne, bądź też ze słabym wymuszonym strumieniem powietrza. To samo dotyczy transformatorów ustawionych w budynkach — o ile obok budynku jest miejsce na pomieszczenie dla baterii urządzeń chłodzących. Zaletą tego systemu chłodzenia jest mały hałas i bardzo duża pewność ruchu.

Jedynie przy braku miejsca zalecane jest stosowanie chłodzenia za pomocą wymuszonego strumienia powietrza — o ile brak jest dostatecznej ilości wody chłodzącej.— *J.*

Głosy czytelników

W sprawie artykułu pt. „Nowoczesna sieć instalacyjna w budynkach"

Bardzo ciekawy artykuł pod tym tytułem inż. A. Bibiłło (Wiadomości Elektrotechniczne zeszyt 7/8/9 1949 r.) podtrzymuje szeroko obecnie rozpowszechnione mniemanie o uniwersalności i zmienności instalacji elektrycznych w budynkach.

Czy rzeczywiście sieć ta jest i powinna być uniwersalna?

Każda maszyna czy instalacja uniwersalna jest z natury rzeczy droższa i mniej wydajna od maszyny czy instalacji specjalnie dostosowanej do funkcji, jakie ma spełniać. Twierdzenia tego dziś już chyba nie trzeba udowadniać. Zrozumieli to mechanicy, stosując i produkując coraz mniej zwykłych tokarek, a coraz więcej maszyn specjalnych jak rewolwerówki, automaty czy nawet jeszcze bardziej wyspecjalizowane obrabiarki.

Tendencje te przenikają również i do elektrotechniki. Nie do pomyślenia są dziś silniki uniwersalne, duże i ciężkie, dające się wielokrotnie przeciążać, jakie stosowano kilkanaście lat temu. Silnik dzisiejszy jest mały, lekki i całkowicie dostosowany do pracy, jaką ma spełniać. Przeciążalność jego waha się w rozsądnych granicach i jest przystosowana do potrzeb. Stosuje się coraz więcej silników w wykonaniu specjalnym, silników z uchwytami kołnierzowymi, do zawieszania itp. Dzięki przystosowaniu silników elektrycznych do zadań, jakie mają spełniać, osiąga się olbrzymie oszczędności tak w kapitale inwestycyjnym, jak i w kosztach eksploatacji.

Kapitały inwestowane w instalacjach elektrycznych w budynkach są wielokrotnie wyższe niż cała produkcja silników. Pomimo tych olbrzymich sum instalacje w budynkach są ciągle traktowane po macoszemu i nikt właściwie nie zajmuje się opracowaniem systemu instalacji dostosowanych do celu, jaki mają spełniać.

Fabryki produkują materiały instalacyjne począwszy od przewodów, a skończywszy na sprzęcie instalacyjnym, według dawnych nawyków i wzorów, nie troszcząc się wcale o celowość ich stosowania w nowoczesnym budownictwie.

W ciągu ostatnich lat kilkunastu sprzęt instalacyjny prawie nie uległ zmianie, pomimo olbrzymiego postępu techniki w innych dziedzinach. Nawet budownictwo — jeden z najstarszych, a dzięki temu najbardziej konserwatywnych przemysłów — przeżywa prawdziwą rewolucję, zmieniając materiały budowlane, sposób i tempo pracy, narzędzia, stosując prefabrykację.

W wyścigu tym brak jest elektrotechniki. Sprzęt produkowany jest według przedwojennych wzorów. Powstały one u nas w warunkach kapitalistycznego rozdrobnienia przemysłu, gdy jedna fabryka nie wiedziała nic o drugiej, nie dopasowując wzajemnie swych wyrobów. Decydującym momentem była wtedy walka konkurencyjna, bez uwzględnienia całości zagadnienia. Dlatego też sprzęt ten, spełniając swoje zadania techniczne, nie spełnia go w sposób ekonomiczny, gdyż dzięki swej uniwersalności jest zbyt kosztowny.

Przedsiębiorstwa instalacji elektrycznych nie zrozumiały jeszcze stojącego przed nimi ogromu zadań. Nie nawiązały łączności z przemysłem. Nie wysunęły pod adresem przemysłu żądań dopasowania sprzętu instalacyjnego. Mamy jedynie pewną sumę pojedyńczych ele-

mentów składowych instalacji elektrycznych, wytworzoną najzupełniej przypadkowo oraz dość przestarzałe metody instalowania. To jest wszystko czym rozporządzamy. Brak jest natomiast organizacji, która zajęłaby się przemyśleniem całości i skoordynowaniem działalności wszystkich zainteresowanych.

Zastanówmy się nad zmianami w instalacjach, o których pisze inż. Bibiłło. Czy rzeczywiście następują one tak często i czy powinny w ogóle następować? Z rozważań naszych wyłączamy instalacje przemysłowe, jako specjalne i dopasowane do programu fabrykacyjnego danego obiektu. Do pewnych części jednak tej instalacji, jak np. sieć oświetleniowa czy telefoniczna, da się zastosować wiele uwag poniższych.

Dalej wyłączyć musimy budynki wybitnie reprezentacyjne, częściowo szpitale oraz budynki użyteczności publicznej. Jasną jest rzeczą, że budynek wybitnie reprezentacyjny będzie musiał być modernizowany wraz z postępem techniki, gdyż inaczej przestanie być reprezentacyjnym.

Jasnym jest, że szpital musi być modernizowany, gdyż inaczej może przestać spełniać swe zadanie. Do budynków tego typu można zastosować wywody inż. Bibiłły.

Co prawda i tu nawet można mieć zastrzeżenia. Starzeją się nie tylko instalacje elektryczne. Coraz bardziej rozpowszechniająca się klimatyzacja powietrzna, nowoczesne sposoby ogrzewania, szersze stosowanie wind czy nawet schodów ruchomych, mogą również doprowadzić do przebudowy i modernizacji gmachu. Przy okazji można będzie przebudować i sieć elektryczną. Jeżeli nawet staniemy na stanowisku, że instalacje elektryczne w takich gmachach muszą być budowane tak elastycznie, aby dały się uzupełniać i zmieniać w ciągu kilkunastu czy kilkudziesięciu lat, to powstaje pytanie, czy budowle te stanowią znaczny odsetek budownictwa nieprzemysłowego. Nie popełnimy chyba wielkiego błędu, szacując ich liczbę najwyżej na 10—20% ogólnego budownictwa nieprzemysłowego.

Do pozostałych 90—80% budownictwa **nieprzemysłowego** odnoszą się niniejsze rozważania.

Zaległości budownictwa po zniszczeniach wojennych i po niedoborze budowlanym, jaki zostawił nam ustrój kapitalistyczny, są olbrzymie.

Ze stwierdzenia tego wynika fakt, że budować będziemy dużo i szybko.

Przy szybkim tempie budownictwa wątpliwe jest, aby był czas i materiał na modernizację i dostosowanie do nowych osiągnięć techniki jak np. lampy jarzeniowe w budynkach stosunkowo niedawno wzniesionych. Wątpliwe jest nawet, czy będzie czas i materiały na doinstalowanie ubożej wyposażonych budynków, wzniesionych lub odbudowanych tuż po wojnie.

Należy raczej liczyć się z tym, że nowowznoszone budynki będą coraz bogaciej instalowane, dając mieszkańcom coraz większy komfort.

Ogólnie rzecz biorąc, tempo budownictwa jest ograniczone ilością rozporządzalnych materiałów i siły roboczej. W miarę wzrostu tych czynników będzie raczej wzrastało tempo budownictwa, aniżeli polepszanie wyposażenia budynków niedawno wzniesionych.

Stan taki istnieć będzie conajmniej 20—30 lat, niewłaściwym więc byłoby przewidywanie już dziś możliwości ewentualnej rozbudowy czy przebudowy urządzeń. Rozważań tych nie podważa fakt, że od czasu do czasu jakiś lepiej sytuowany lokator będzie chciał indywidualnie ulepszyć swą instalację energetyczną przez dobudowanie gniazdka, czy zainstalowanie kuchni elektrycznej.

Częstsze i ogólniejsze zmiany mogą następować w instalacjach telekomunikacyjnych, w szczególności zaś telefonicznych. Wojenne zniszczenia w sieci telefonicznej są tak znaczne, że natychmiast po odbudowie względnie rozbudowie łącznic automatycznych, należy się liczyć ze znacznym wzrostem liczby abonentów. Z faktu tego wynika, że projektując nowe instalacje, trzeba przewidzieć możność zainstalowania telefonu w pewnym procencie mieszkań.

Wobec tego, że najprostsze jest zainstalowanie telefonu w przedpokoju, a więc w pobliżu klatki schodowej, gdzie przechodzą piony, przewidzieć z góry instalację telefoniczną nie będzie rzeczą kosztowną. Inne instalacje telekomunikacyjne będą doinstalowywane bez porównania rzadziej, — do tego stopnia rzadko, że trudno jest liczyć się z góry z tymi możliwościami

Po tych rozważaniach ogólnych należy pokrótce przejrzeć obecny system instalacji, wskazując na najbardziej rażące jego błędy.

Należy podkreślić, że mowa może być tylko o **kilku szczegółach,** gdyż przepracowanie całości instalacji elektrycznych może być dokonane tylko przez szeroką rzeszę racjonalizatorów — praktyków a dyskusja niniejsza ma na celu jedynie postawienie zagadnienia, budząc w ten sposób ich inwencję twórczą.

Dalszym celem tej dyskusji jest postawienie zagadnienia przed czynnikami nadrzędnymi, co spowoduje może powołanie komisji, składającej się z przedstawicieli zarówno Centralnego Zarządu Przemysłu Elektrotechnicznego, jak i Centralnego Zarządu Budownictwa, dla przepracowania całości zagadnienia. Rozpatrywać będziemy dla przykładu wypadek najprostszy, ale zato najczęstszy, jakim jest małe mieszkanie dwu- lub trzyizbowe.

Już wchodząc do takiego mieszkania, widzimy, że sposób umieszczenia licznika i gniazd bezpiecznikowych jest całkowicie nieprzemyślany. Zobaczymy tablice metalowe, tablice z materiałów izolacyjnych, najczęściej zaś ze zwykłego drzewa. Tablice z materiałów izolacyjnych są dziś jeszcze częściowo wykonywane z bakelitu — materiału zbyt kosztownego do tego celu. Tablice te robi się wg. przedwojennych wzorów, jako tablice uniwersalne, na których zawiesić można dowolny licznik. Jeżeli przypomnimy sobie olbrzymie wymiary liczników robionych po pierwszej wojnie światowej, to zorientujemy się, jak olbrzymie są te tablice uniwersalne. Jeżeli dodamy do tego drogi materiał, to trudno się dziwić, że przefabrykowane tablice są mało rozpowszechnione i nieraz na budowie trzeba wykonywać tabliczki drewniane.

Obecnie produkowany jest jeden tylko typ licznika. Tablica powinna być — o ile w ogóle jest ona potrzebna — dostosowana do tego typu, a więc odpowiednio mała. Nie ma się co obawiać wymiany licznika przez elektrownię — czy to na skutek popsucia, czy dla legalizacji. Stare liczniki dadzą się doskonale zużyć w instalacjach starych. Tablica musi być wreszcie wykonana z materiału taniego, w sposób możliwie masowy, by była elementem tanim i wówczas wyprze ona wszystkie inne sposoby instalacji z małych mieszkań.

Jeszcze gorzej przedstawia się sprawa, jeżeli chcemy zainstalować licznik w sposób kryty w ścianie. Potrzebnej do tego celu skrzyneczki ramowej nikt dziś nie produkuje w sposób masowy, robiąc je od wypadku do wypadku.

Instalacje mieszkaniowe zabezpieczone są przez gniazda bezpiecznikowe kilku typów na prąd 25 A. Po pierwsze powstaje pytanie, czy rzeczywiście potrzebnych jest aż 6 typów gniazd istniejących obecnie na rynku, po drugie, czy małe mieszkanie musi być rzeczywiście zabezpieczone na prąd 25 A. Przy kilkuset tysiącach produkowanych gniazd bezpiecznikowych potanienie jednej sztuki o 10 zł., przez jej zmniejszenie daje oszczędność kilku milionów złotych rocznie.

Gniazdo jest naturalnie uniwersalne, czyli, że za pomocą odpowiedniej wstawki bezpiecznikowej możemy je dostosować do zabezpieczenia na 2, 4, 6, 10, 20 i 25 A. Czy jest to naprawdę konieczne? Czy przez skonstruowanie gniazda nie uniwersalnego, dajmy na to na 6 A (dla większych mieszkań ewentualnie na 10 A) nie możnaby uzyskać dalszych oszczędności? Czy nie dałoby dalszych oszczędności dopasowanie patronu bezpiecznikowego do takiego gniazda mieszkaniowego?

Idźmy dalej w głąb mieszkania. Przekroczyłoby ramy niniejszej dyskusji rozpatrzenie sprawy, czy instalacja w rurach izolacyjnych z wciąganymi przewodami nie jest przestarzała i zbyt kosztowna zarówno w materiale, jak i w robociźnie?

Obejrzyjmy natomast pierwszą lepszą puszkę. Mamy trzy wymiary puszek okrągłych: 55, 70 i 78 mm. średnicy. Puszka dostosowana jest do możliwie największej liczby przewodów, jakie mogą być w niej połączone. W takiej samej puszce łączymy 8 przewodów przy świeczniku dwuobwodowym oraz przewody przy gniazdku wtyczkowym. Czy nie jest to marnotrawstwem?

A czy ktoś przekontrolował, czy tradycyjne wymiary puszek są w ogóle potrzebne? Zmniejszenie głębokości puszek tylko o 5 mm dałoby oszczędność ok. 40 ton blachy rocznie. Taśma stalowa miękka jest jeszcze materiałem deficytowym, byłaby więc to oszczędność podwójnie ważna.

W każdej puszce znajdujemy, a właściwie powinniśmy znaleźć pierścień rozgałęźny. Czy mamy na nim dwa, trzy czy nawet cztery zaciski — zawsze jest to pierścień. Jeślibyśmy zastosowali dla łącznika dwuzaciskowego listewkę, zaś dla trójzaciskowego trójkąt z otworem po środku — zaoszczędzilibyśmy ok. 50% porcelany, na którą importujemy kaolinę. Zastanowmy się nad ciężarem kilku milionów pierścieni odgałęźnych produkowanych rocznie i oszczędnościami, jakie dałoby się przy tym uzyskać.

A teraz obejrzyjmy pierwszy lepszy wyłącznik, a szczególniej gniazdko wtyczkowe, po upływie kilku lat pracy. Przeważnie wypada ono z puszki izolacyjnej, gdyż szpony rozpierające są elementem mocującym zbyt słabo. Możnaby zastosować nie droższe ale za to mocniejsze połączenie gniazdka z puszką, wymaga to jednak współpracy fabryki produkującej puszki z fabryką produkującą wyłączniki i gniazdka.

Wszystkie te zmiany spowodują niewątpliwie również pewne koszty, gdyż trzeba będzie przekonstruować narzędzia i przyrządy do produkcji różnych elementów instalacji. Ponieważ jednak wobec dużej produkcji narzędzia i tak ulegają naturalnemu zużyciu, można więc koszty te zmniejszyć tylko do kosztów przepracowania konstrukcji.

Już kilka tych przykładów wskazuje na to, że w instalacjach domowych, stanowiących lwią część instalacji oświetleniowych ogólnych, dałoby się uzyskać bardzo poważne o s z c z ę d n o ś c i. Nie ulega wątpliwości, że poza wymienionymi przykładami znajdzie się więcej źródeł oszczędności, czy to w materiale, czy w robociźnie instalowania.

Po przestudiowaniu instalacji mieszkaniowych należałoby zrewidować inne typy instalacji, gdyż na pewno i tam uda się uzyskać milionowe sumy.

Omawiając wymienione wyżej przykłady z fachowcami produkującymi sprzęt instalacyjny, można z reguły spotkać się ze zdaniem, że rzeczywiście zagadnienia te są bardzo ważne, ale na przepracowanie ich brak jest fachowców i czasu. Poza tym można się często spotkać z twierdzeniem, że są inne, ważniejsze w danej chwili sprawy.

Przyznać istotnie trzeba, że sił fachowych nie ma zbyt dużo, szczególniej, że przemysł materiałów instalacyjnych z trudnością nadąża za żywiołowym rozwojem budownictwa, wskutek czego wszystkie siły zatrudnionych w nim ludzi skierowane są na jak największe podniesienie produkcji i wydajności.

Również przyznać trzeba, że są ważniejsze sprawy z punktu widzenia technicznego, a może nie tylko ważniejsze, ale i efektowniejsze. Naturalnie opracowanie konstrukcji wielkiej maszyny wyciągowej, czy tym podobnych urządzeń jest efektowne; można dużo na ten temat mówić i pisać, oszczędza się dewizy itd. Skonstruowanie małego gniazda bezpiecznikowego czy patronu nie jest efektowne.

Rozpatrzmy natomiast te sprawy z punktu widzenia nie technicznego, lecz gospodarczego.

Ustalenie wartości materiałów inwestowanych w instalacje oświetleniowe mieszkaniowe oraz inne podobnie proste instalacje jest bardzo trudne. Wydaje się jednak, że oszacowanie ich wartości na 15 do 20 miliardów złotych obiegowych rocznie nie będzie bardzo odbiegało od rzeczywistości.

Na zasadzie pewnych przesłanek możnaby postawić twierdzenie, że po przepracowaniu zagadnień związanych z tymi instalacjami, dałoby się uzyskać oszczędność co najmniej 10%. Kwota 1,5 do 2 miliardów zł. oszczędności rocznej jest już sumą, nad którą warto się zastanowić. Jest to produkcja sporej fabryki lub koszt wybudowania około stu nowych bloków mieszkalnych.

A co jest potrzebne, by sumę tę uzyskać? Przede wszytkim nowe, prawdziwie socjalistyczne i nowatorskie podejście przez wszystkich zainteresowanych do tych zagadnień. Następnie wciągnięcie jak najszerszych mas pracowników-racjonalizatorów do pracy nad zracjonalizowaniem instalacji elektrycznych.

Należy podziękować Redakcji „Wiadomości Elektrotechnicznych", że przez umieszczenie artykułu inż. Bibiłły i umożliwienie dyskusji nad nim postawiła całe te zagadnienie przed wielotysięczną rzeszą swych czytelników.

Ale to jeszcze nie wystarcza. Problemem instalacji elektrycznych, jako całości, należałoby zainteresować **kluby racjonalizatorów** w fabrykach produkujących sprzęt instalacyjny oraz w przedsiębiorstwach montujących go.

Doceniając w pełni dorobek naszych racjonalizatorów oraz ich klubów, należy wysiłki ich, skierowane dotychczas na własne — że tak powiemy — podwórko, podnieść na wyższy poziom w s p ó ł p r a c y poszczególnych klubów ze sobą.

Należałoby wreszcie stworzyć niewielkie, najwyżej 5—7 osobowe k o m i s j e złożone z najlepszych fachowców tak z produkcji, jak i z instalatorów do przepracowania nasuwających się już zagadnień. Do komisji tych musieliby być wciągnięci przedstawiciele Głównego Instytutu Elektrotechniki oraz Głównego Instytutu

Budownictwa. Komisje te byłyby w kontakcie z zainteresowanymi przez ogłaszanie sprawozdań w „Wiadomościach Elektrotechnicznych" oraz przez współpracę z większymi klubami racjonalizatorów. Komisje te musiałyby mieć prawo stawiania pewnych wniosków, kóre w formie obowiązujących zarządzeń byłyby następnie wydawane przez Ministerstwa lub przez PKPG. Komisje te mogłyby pracować w ramach Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Najpilniejszą wydaje się w tej chwili Komisja Instalacji Oświetleniowych Mieszkaniowych. Możnaby jednakże powołać równocześnie Komisje Instalacji Teletechnicznych Domowych, Instalacji Oświetleniowych Ulicznych i inne. *Inż. T. Moskalewski.*

Popularna elektrotechnika.

Urządzenia elektryczne

Inż. el. Z. TARŁOWSKI

(Ciąg dalszy).

d) Druty stalowe ocynkowane (do linek stalo-aluminiowych)

Druty stalowe ocynkowane, stosowane jako rdzenie linek stalo-aluminiowych, muszą być wykonane ze stali o wytrzymałości doraźnej na rozciąganie równej co najmniej 120 kg/mm² oraz starannie ocynkowane na gorąco (PNE 103).

Stal stosowana do wyrobu drutów stalowych nie może zawierać:

krzemu więcej niż 0,30%
fosforu „ niż 0,04%
siarki „ niż 0,03%, przy czym ilość fosforu i siarki razem nie może być większa niż 0,06%.

Średnice znamionowe i tolerancje drutów stalowych ocynkowanych podano w tablicy 8, przy czym średnice znamionowe zawarte w tejże tablicy należy rozumieć łącznie z powłoką cynkową, a ciężary drutów w kg/km obliczono przy ciężarze właściwym stali 7,8 gr/cm³ i średnicach znamionowych.

Tablica 8.

Normalne druty stalowe ocynkowane.

Średnica znamionowa mm	Odchyłki dopuszczalne mm	Siła zrywająca kg	Ciężar drutu stalowego kg/km
1,45	± 0,06	198	12,9
1,65	± 0,08	257	16,7
1,80	± 0,08	305	19,9
1,95	± 0,08	359	23,3
2,15	± 0,10	436	28,3
2,25	± 0,10	477	31,0
2,40	± 0,10	543	35,3
2,55	± 0,10	613	39,8
2,7	± 0,10	688	44,7
3,0	± 0,10	848	55,1
3,2	± 0,10	965	62,7

Druty stalowe stosowane do budowy linek stalo-aluminiowych muszą posiadać następujące własności mechaniczne:

wytrzymałość doraźna na rozciąganie powinna wynosić, jak to już podano wyżej, 120 kg/mm².

Wydłużenie przy zerwaniu próbki o długości probierczej 200 mm nie powinno być mniejsze niż 6% długości początkowej.

Wytrzymałość na przeginanie podana została w tablicy 9, przy czym ostatnia kolumna podaje najmniejszą liczbę przegięć jaką winien wytrzymać drut stalowy, nie ulegając przy tym pęknięciu.

Tablica 9.

Przeginanie wielokrotne drutów stalowych ocynkowanych.

Promień zaokrąglenia szczęk	Srednica drutu stalowego	Najmniejsza liczba przegięć
mm	mm	—
4	1,45	10
5	1,65	8
5	1,80	7
5	1,95	6
5	2,15	5
5	2,25	5
7,5	2,40	6
7,5	2,55	6
7,5	2,70	6
7,5	3,00	7
7,5	3,20	7

Celem ochrony przed rdzewieniem druty stalowe powinny być o c y n k o w a n e na gorąco w cynku elektrolitycznym. Do kąpieli cynkowej należy używać cynku elektrolitycznego w blokach o zawartości 99,9% czystego cynku. Powłoka cynkowa powinna być gładka i szczelnie przylegać do powierzchni drutu stalowego.

e) Linki stalo-aluminiowe i stalo-aldreyowe

Jak już wspomniano wyżej, linka stalo-aluminiowa **AFL**, względnie stalo-aldreyowa, składa się z rdzenia wykonanego z jednego lub kilku skręconych drutów stalowych ocynkowanych, odgrywającego rolę organu nośnego, oraz z zewnętrznego płaszcza aluminiowego (wzgl. aldreyowego), jako organu przewodowego .

Dzięki takiej budowie linki tego rodzaju posiadają znaczną wytrzymałość na zerwanie oraz zupełnie dostateczną przewodność elektryczną.

Skok skrętu drutów linki ma być równy od 11 do 14-krotnej zewnętrznej średnicy odpowiedniej warstwy drutów. Kierunek skrętu drutów w sąsiednich warstwach ma być odwrotny, przy czym w warstwie zewnętrznej — lewoskrętny.

Budowa oraz charakterystyczne własności linek stalo-aluminiowych i stalo-aldreyowych, dla stosunku przekrojów stali do aluminium (wzgl. aldreyu) równym 1 : 6, podano w tablicach 10-a i 10-b.

Linki tego rodzaju najczęściej są stosowane. Wykonanie ich jest znormalizowane, a oznaczenia ściśle odpowiadają przekrojom znamionowym płaszcza aluminiowego lub aldreyowego.

W przypadkach specjalnych, o których będzie mowa później, stosowane bywają również linki stalo-aluminiowe nieznormalizowane (o innym stosunku przekrojów stali do aluminium).

Tablica 10-a.

Linki stalo-aluminiowe i stalo-aldreyowe. Budowa i wymiary.

Przekrój znamionowy	Rdzeń z drutów stalowych			Płaszcz z aluminium lub aldreyu		Linka całkowita		Stosunek przekrojów Al : Fe
	Drut	Linka		Liczba i średnica drutów	Całkowity przekrój	Średnica	Przekrój	
	Liczba i średnica	Średnica	Przekrój					
mm²	mm	mm	mm²	mm	mm²	mm	mm²	
16	1 × 1,8	1,8	2,55	6 × 1,8	15,3	5,4	17,8	6
25	1 × 2,25	2,25	4,0	6 × 2,25	23,8	6,8	27,8	6
35	1 × 2,7	2,7	5,7	6 × 2,7	34,3	8,1	40,0	6
50	1 × 3,2	3,2	8,0	6 × 3,2	48,3	9,6	56,3	6
70	7 × 1,45	4,35	11,6	26 × 1,8	66,2	11,6	77,8	5,72
95	7 × 1,65	4,95	15,0	26 × 2,1	90,0	13,4	105,0	6,02
120	7 × 1,95	5,85	20,9	26 × 2,45	122,6	15,7	143,5	5,86
150	7 × 2,15	6,45	25,4	26 × 2,7	148,9	17,3	174,3	5,86
185	7 × 2,4	7,2	31,7	26 × 3,0	183,8	19,2	215,5	5,80
210	7 × 2,55	7,65	35,8	26 × 3,2	209,1	20,5	244,9	5,85
240	7 × 2,7	8,1	40,1	26 × 3,4	236,0	21,7	276,1	5,89
300	7 × 3,0	9,0	49,5	26 × 3,8	294,9	24,2	344,4	5,96

Tablica 10-b.

Linki stalo-aluminiowe i stalo-aldreyowe. Własności charakterystyczne.

Przekrój znamionowy	Ciężar linki			Oporność przy 20°C	
	Rdzenia stalowego	Płaszcza z aluminium lub aldreyu	Razem	Stalo-aluminium	Stalo-aldrey
mm²	kg/km	kg km	kg/km	Ω/km	Ω km
16	19 — 22	39 — 47	58 — 69	1,878	2,180
25	30 — 34	61 — 71	91 — 105	1,207	1,400
35	43 — 48	89 — 101	132 — 149	0,837	0,958
50	60 — 68	125 — 142	185 — 210	0,594	0,690
70	84 — 96	174 — 201	258 — 297	0,434	0,504
95	111 — 130	232 — 270	343 — 400	0,319	0,370
120	154 — 176	322 — 368	476 — 544	0,234	0,372
150	187 — 214	391 — 446	578 — 660	0,193	0,224
185	233 — 264	487 — 550	720 — 814	0,156	0,181
210	264 — 301	549 — 628	813 — 929	0,137	0,160
240	296 — 337	616 — 704	912 — 1041	0,121	0,141
300	373 — 417	778 — 871	1151 — 1288	0,097	0,113

Podane niżej tablice 11-a i 11-b zawierają dane dotyczące budowy oraz charakterystyczne własności linek stalo-aluminiowych o stosunku przekrojów stali do aluminium 1 : 4.

Linki tego rodzaju oznaczane są przez producentów (fabryki niemieckie), wg. równoważnych im pod względem przewodności przekrojów znamionowych linek miedzianych.

Tablica 11-a.

Linki stalo-aluminiowe o stosunku Fe : Al = 1 : 4. Budowa i wymiary.

Nr linki	Rdzeń z drutów stalowych			Płaszcz z aluminium		Linka całkowita		Stosunek przekrojów Al do Fe
	Drut	Linka		Liczba i średnica drutów	Całkowity przekrój	Średnica	Przekrój	
	Liczba i średnica	Średnica	Przekrój					
—	mm	mm	mm²	mm	mm²	mm	mm²	
35	7 × 1,6	4,8	14,1	30 × 1,6	60,3	11,2	74,7	4,3
50	7 × 2,0	6,0	21,5	30 × 2,0	94,2	14,0	115,7	4,3
70	7 × 2,3	6,9	29,1	30 × 2,3	124,6	16,1	153,7	4,3
95	7 × 2,7	8,1	40,1	30 × 2,7	171,8	18,9	211,9	4,3
120	7 × 3,0	9,0	49,5	30 × 3,0	212,1	21,0	261,6	4,3
150	7 × 3,3	9,9	59,9	30 × 3,3	256,6	23,1	316,5	4,3
185	19 × 2,2	11,0	72,2	30 × 3,7	322,6	25,8	394,8	4,4
210	19 × 2,4	12,0	86,3	30 × 4,0	377,0	28,0	463,0	4,4
240	19 × 2,5	12,5	93,3	30 × 4,2	415,6	29,3	508,9	4,5

Tablica 11-b.

Linki stalo-aluminiowe o stosunku Fe : Al = 1 : 4. Własności charakterystyczne

Nr linki	Ciężar linki			Oporność średnia przy 20°C	Przekrój równoważny miedzi
	Rdzenia stalowego	Płaszcza aluminiowego	Razem		
mm²	kg/km	kg/km	kg/km	Ω / km	mm²
35	104 — 122	157 — 180	261 — 302	0,475	37,5
50	162 — 192	245 — 281	407 — 473	0,305	58,6
70	212 — 256	327 — 369	539 — 625	0,231	77,5
95	296 — 348	455 — 504	751 — 852	0,168	106,4
120	369 — 427	564 — 619	933 — 1146	0,136	132,0
150	443 — 519	676 — 755	1119 — 1374	0,111	159,7
185	576 — 639	854 — 945	1380 — 1684	0,089	200,5
210	631 — 755	1002 — 1102	1633 — 1857	0,076	234,6
240	6S5 — 817	1108 — 1212	1793 — 2029	0,069	258,8

Tablice 12-a i 12-b podają budowę oraz charakterystyczne własności linek stalo-aluminiowych, o stosunku przekrojów stali do aluminium 1 : 3. Linki tego rodzaju oznaczane są stosownie do znamionowego przekroju przewodzącego płaszcza aluminiowego.

Tablica 12-a.

Linki stalo-aluminiowe o stosunku Fe do Al = 1 : 3. Budowa i wymiary.

Przekrój znamionowy	Rdzeń z drutów stalowych			Płaszcz z aluminium		Linka całkowita		Stosunek przekrojów Al : Fe
	Drut	Linka		Liczba i średnica drutów	Całkowity przekrój	Średnica	Przekrój	
	Liczba i średnica	Średnica	Przekrój					
mm²	mm	mm	mm²	mm	mm²	mm	mm²	
185	12 × 2,56	10,6	61,8	36 × 2,56	185,4	20,9	247,2	3
210	12 × 2,72	11,3	69,7	36 × 2,72	209,2	22,2	278,9	3
240	12 × 2,9	12,1	79,2	36 × 2,9	237,6	23,7	316,8	3
300	19 × 2,92*) / 2,57	13,2	100	78 × 2,23	308	26,6	408	3,1
350	19 × 3,1 *) / 2,7	13,9	111	78 × 2,36	342	28,1	453	3,1

*) — średnica drutu stanowiącego rdzeń linki stalowej.

Tablica 12-b.

Linki stalo-aluminiowe o stosunku Fe : Al = 1 : 3. Własności charakterystyczne.

Przekrój znamionowy	Ciężar linki			Oporność średnia przy 20°C	Równoważny przekrój miedzi
	Rdzenia stalowego	Płaszcza aluminiowego	Razem		
mm²	kg/km	kg/km	kg/km	Ω/km	mm²
185	456 — 541	489 — 545	945 — 1086	0,155	115,2
210	517 — 608	554 — 613	1071 — 1221	0,137	130,0
240	591 — 688	632 — 695	1223 — 1383	0,121	147,7
300	740 — 862	799 — 901	1539 — 1763	0,094	190,0
350	820 — 952	898 — 1008	1718 — 1960	0,084	212,5

Budowę oraz charakterystyczne własności linek specjalnych, o zmniejszonej wrażliwości na drgania (wibracje) przewodów, występujące w pewnych okolicznościach w liniach napowietrznych a powodujące przedwczesne zniszczenie (pękanie) drutów w linkach, podają poniższe tablice 13-a i 13-b.

Linki tego rodzaju oznaczane są stosownie do przekroju znamionowego przewodzącego płaszcza aluminiowego.

Tablica 13-a.

Linki stalo-aluminiowe bezdrganiowe. Budowa i wymiary.

Przekrój znamionowy	Rdzeń z drutów stalowych			Płaszcz aluminiowy				Linka całkowita		Stosunek
	Drut	Linka		Liczba i średnica drutów warstwy wewnętrznej	Liczba i średnica drutów warstwy zewnętrznej	Średnica wewnętrzna	Przekrój	Średnica	Przekrój	Al : Fe
	Liczba i średnica	Średnica	Przekrój							
mm²	mm	mm	mm²	mm	mm	mm	mm²	mm	mm²	
70	7 × 1,45	4,4	11,6	12 × 1,85	22 × 1,45	5,9 — 5 65	68.6	12.4	80,2	5.9
95	7 × 1,65	5,0	15,0	12 × 2,1	22 × 1,65	6,6 — 6,35	88,6	14,0	103,6	5,9
120	7 × 1,95	5,9	20,9	12 × 2,4	21 × 2,0	7,55 — 7,3	120.1	16,25	141,0	5 8
150	7 × 2,15	6,5	25,4	12 × 2.65	21 × 2,2	8,3 — 8,05	145.8	17.9	171,2	5,8
165	7 × 2,25	6,8	27.8	12 × 2,8	20 × 2,4	8,65 — 8.35	164,2	19,05	192.0	5,9
185	7 × 2,4	7,2	31.7	12 × 2.95	20 × 2,55	9,1 — 8,8	184,1	20,05	215.8	5,9
210	7 × 2,55	7,7	35,8	13 × 2,85	19 × 2,85	,9,9 — 9,6	204,3	21,15	240,1	5,7
240	7 × 2,7	8,1	40,0	13 × 3,05	19 × 3,05	10,5 — 10,2	234.0	22.6	274,0	5,8
300	7 × 3,0	9,0	49,4	13 × 3,4	19 × 3,4	11,7 — 11,4	291,0	25,1	340,4	5,9

Tablica 13-b.

Linki stalo-aluminiowe bezdrganiowe. Własności charakterystyczne.

Przekrój znamionowy	Ciężar linki			Oporność średnia przy 20°C	Równoważny przekrój miedzi
	Rdzenia stalowego	Płaszcza aluminiowego	Razem		
mm²	kg/km	kg/km	kg/km	Ω/km	mm²
70	85 — 101	192 — 206	277 — 307	0,419	42,6
95	109 — 133	248 — 264	357 — 397	0,325	55,1
120	154 — 182	337 — 356	491 — 538	0,237	74,7
150	185 — 224	409 — 430	594 — 654	0,197	90.6
165	206 — 244	459 - 480	665 — 724	0,175	102,0
185	232 - 276	515 — 537	747 — 813	0,156	114,5
210	264 — 310	572 — 596	836 — 906	0,141	127,0
240	297 — 346	654 — 682	951 — 1028	0,122	145,5
300	369 — 425	814 — 844	1183 — 1269	0,099	184,0

Poniższy rys. 4-a, b, c, d, e podaje różne postacie wykonania linek aluminiowych i stalo-aluminiowych opisanych poprzednio.

Dane charakterystyczne drutów aluminiowych, aldreyowych i stalowych stosowanych do budowy linek stalo-aldreyowych wzgl. stalo-aluminiowych, zostały podane poprzednio.

Należy tu jednak zwrócić uwagę na to, że łączenie drutów stalowych w linkach powinno odbywać się bezwzględnie na drodze spawania i to koniecznie przed ocynkowaniem. Spawanie drutów stalowych stanowiących jednodrutowy rdzeń linki stalo-aluminiowej (rys. 4-b), jest niedopuszczalne.

Opisane poprzednio wymagania dotyczące łączenia drutów aluminiowych, względnie aldreyowych w lince, obowiązują również i w tym wypadku, przy czym odległość miejsc spawanych drutów aluminiowych leżących w jednej warstwie nie może być mniejsza niż 30 metrów, a odległość miejsc spawania drutów aluminiowych (wzgl. aldreyowych) leżących w sąsiednich warstwach, nie może być mniejsza niż 1 metr.

Wytrzymałość doraźna na rozciąganie gotowej linki stalo-aluminiowej nie powinna być mniejsza od 90% sumy wytrzymałości wszystkich drutów w lince.

Poszczególne warstwy drutów w lince, a przede wszystkim warstwy wewnętrzne, muszą być dokładnie powleczone tłuszczem ochronnym, nie zawierającym składników szkodliwych dla aluminium, aldreyu lub stali.

Linki stalo-aluminiowe i stalo-aldreyowe, podobnie jak i aluminiowe lub aldreyowe, dostarczane są zazwyczaj zarówno na skład, jak i na budowę, nawinięte na bębnach drewnianych, przy czym walce oraz wewnętrzne powierzchnie tarcz tych bębnów wyłożone są papierem.

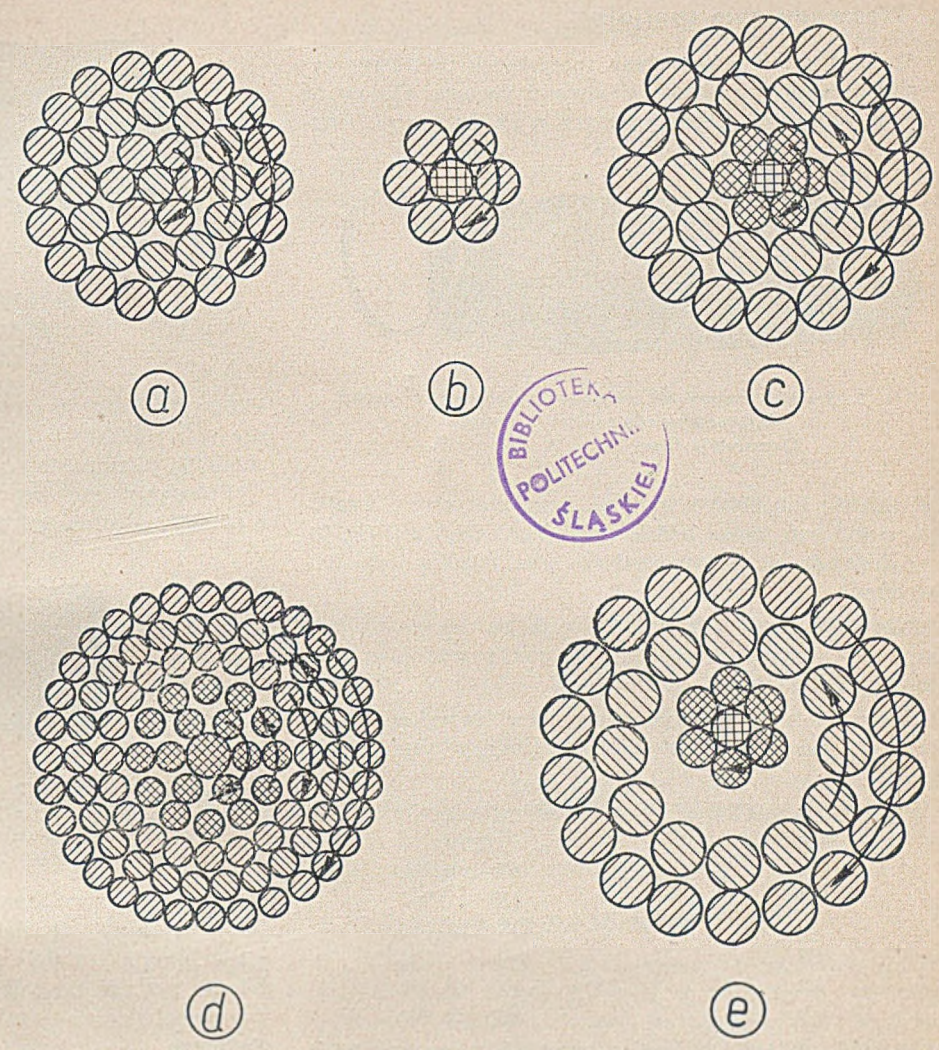
Linki muszą być nawinięte na walce bębnów ściśle zwój koło zwoju. Końce i początek linek muszą być umocowane na bębnach.

Tarcza i walec bębna nie powinny posiadać wystających gwoździ, a zewnętrzną warstwę linki na bębnie należy owinąć nasyconym papierem, zostawiając między zewnętrzną warstwą linki na bębnie a szalowaniem odstęp co najmniej 10 cm. Odstęp ten ma za zadanie nie dopuścić do uszkodzenia linki nawet w przypadku złamania którejkolwiek deski szalowania bębna.

Każdy bęben z linką zaopatrzony być musi w tabliczkę, na której powinny być podane następujące dane charakterystyczne: znak wytwórcy; numer bębna; materiał, przekrój, długość i ciężar linki oraz liczba miejsc spawanych.

Na zewnętrznej powierzchni obu tarcz bębna powinna być namalowana strzałka wskazująca kierunek toczenia bębna przy odwijaniu linki.

Stosowanie bębnów wskazane jest zawsze, a przy ilościach przekraczających 50 kg — bezwzględnie konieczne.



BIBLIOTEKA POLITECHN. ŚLĄSKIEJ

Rys. 4-a, b, c, d, e.
Przekroje linek aluminiowych i stalo-aluminiowych.

a — linka aluminiowa pełna, złożona z 37 drutów; (budowa: 1 + 6 + + 12 + 18 = 37 drutów);

b — linka stalo-aluminiowa 1 : 6, o mniejszym przekroju, złożona z 7 drutów; (budowa: 1 drut stalowy + + 6 drutów aluminiowych);

c — linka stalo-aluminiowa 1 : 6, złożona z 33 drutów; (budowa: 1 + + 6 = 7 drutów stalowych, 10 + + 16 = 26 drutów aluminiowych);

d — linka stalo-aluminiowa 1 : 3, z 3 warstwami drutów aluminiowych; (budowa: 1 + 6 + 12 = 19 drutów stalowych, 20 + 26 + 32 = 78 drutów aluminiowych);

e — linka stalo-aluminiowa bezdrganiowa; (budowa: 1 + 6 = 7 drutów stalowych, 12 + 18 = 30 drutów aluminiowych).

Dostawa linek aluminiowych i stalo-aluminiowych w postaci kręgów możliwa jest tylko przy bardzo niewielkich ilościach, tj. do ok. 50 kg, przy czym kręgi takie muszą być w wielu miejscach obwiązane drutem, (pod który należy uprzednio podłożyć papier dla ochrony linki przed skaleczeniem), a następnie szczelnie pokryte warstwą taśmy papierowej o wystarczającej grubości.

4. Przewody gołe stalowe

Jak już wspominaliśmy wyżej, od materiałów stosowanych do wyrobu przewodów elektrycznych gołych, a szczególnie napowietrznych, wymagana jest dobra przewodność elektryczna, znaczna wytrzymałość mechaniczna oraz odporność na wpływy atmosferyczne i chemiczne.

Dlatego też, a przede wszystkim z uwagi na stosunkowo małą wartość przewodności elektrycznej oraz na własności magnetyczne, powodujące szereg przykrych zjawisk, szczególnie przy prądzie zmiennym, (o czym mowa będzie dalej), stal, jako materiał przewodowy, ma zastosowanie tylko w wyjątkowych okolicznościach.

W normalnych warunkach stal używana jest do wyrobu przewodów ochronnych (odgromowych, uziemiających itp.) oraz jako rdzeń przewodów dwumetalowych (stalo - aluminiowych, stalo - aldreyowych), nadający im znaczną wytrzymałość mechaniczną.

Stal bowiem odznacza się wielką wytrzymałością mechaniczną, zależną zresztą od jej gatunku, natomiast jest stosunkowo mało odporna na wpływy atmosferyczne i chemiczne, a przy tym posiada niewielką przewodność elektryczną. Dla zorientowania się w rzędzie wielkości warto podać, że przewodność właściwa stali przy prądzie stałym i 20°C wynosi:

dla stali o wytrzymałości 70 kg/mm². . 5,7;
dla stali o wytrzymałości 120 kg/mm². . 4,9.

W celu ochrony przed korozją przewody stalowe pokrywa się bądź to powłoką cynkową (najczęściej!), bądź też np. miedzianą, nałożoną metodą hutniczą (na gorąco).

Wymiary i własności charakterystyczne drutów stalowych stosowanych do wyrobu linek podane zostały poprzednio przy omawianiu przewodów stalo-aluminiowych i stalo-aldreyowych (tablica 8).

Tablica 14 podaje przeciętne ciężary linek stalowych obliczone w założeniu, że ciężar właściwy stali wynosi 7,8 gr/cm³ oraz po podaniu ok. 3% uwzględniających różnicę między drutem a linką.

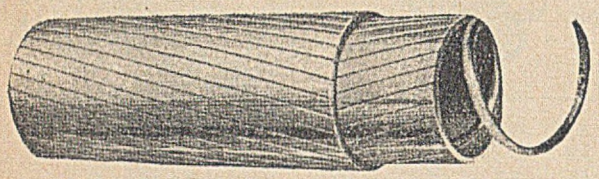
Tablica 14.

Ciężar linek stalowych ocynkowanych.

Przekrój znamionowy mm²	25	35	50	70	95	120	150
Przeciętny ciężar w kg/km	201	282	402	563	764	964	1200

5. Przewody gołe specjalne.

Spośród przewodów gołych specjalnych na uwagę zasługują przede wszystkim przewody rurowe, stosowane przy budowie linii napowietrznych najwyższych na-



Rys. 5. Przewód rurowy ze szkieletem wykonanym w postaci skręconego spiralnie drutu brązowego. (Konstrukcja firmy Felten & Guilleaume).

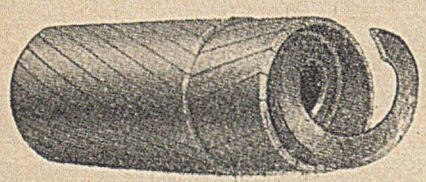
pięć (220000 lub 380000 woltów), przy których ze względów, o których mowa będzie niżej, konieczna jest możliwie duża średnica przewodów oraz gładka ich powierzchnia.

Przewody tego rodzaju oznaczane są zazwyczaj wg. wymiarów średnic zewnętrznych oraz przekrojów znamionowych.

Przewody rurowe wykonywane w fabrykach niemieckich, posiadały następujące wymiary znormalizowane:

Średnica zewnętrzna mm	Przekrój znamionowy mm²
25	185 lub 200
28	210 „ 240
32	260 „ 300
36	320 „ 380
42	400 „ 480
50	520 „ 600

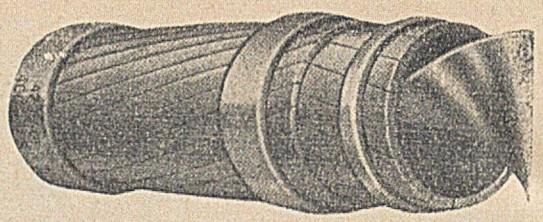
Spośród rozmaitych typów przewodów rurowych utrzymały się zasadniczo dwa rodzaje, a mianowicie: ze szkieletem, na którym wspierają się druty stanowiące istotną część przewodzącą, oraz bez szkieletu.



Rys. 6. Przewód rurowy ze szkieletem wykonanym w postaci taśmy miedzianej o przekroju teowym. (Konstrukcja firmy AEG)

Przewody rurowe ze szkieletem wspierającym, wykonane być mogą np. w postaci skręconego spiralnie drutu brązowego (konstrukcja firmy Felten & Guilleaume, rys. 5), lub taśmy miedzianej o przekroju teowym (konstrukcja firmy AEG, rys. 6), bądz też w postaci taśmy miedzianej o grubości 1 mm, skręconej śrubowo wzdłuż osi podłużnej (konstrukcja firmy S. S. W., rys. 7).

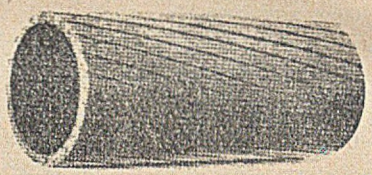
Na szkielecie przewodu rurowego, wykonanego wg. projektu wytwórni Siemens Schuckert Werke (SSW) nawinięte są w dwóch warstwach o przeciwnych kierunkach skrętu płaskie druty profilowe o takim kształcie przekroju, że tworzą one jakby sklepienie dokoła szkieletu i wzajemnie się wspierają. Przewód rurowy tego rodzaju w wykonaniu i o wymiarach: 42 mm średnicy oraz



Rys. 7. Przewód rurowy ze szkieletem wykonanym w postaci taśmy miedzianej o grubości 1 mm, skręconej śrubowo wzdłuż osi podłużnej. (Konstrukcja firmy SSW)

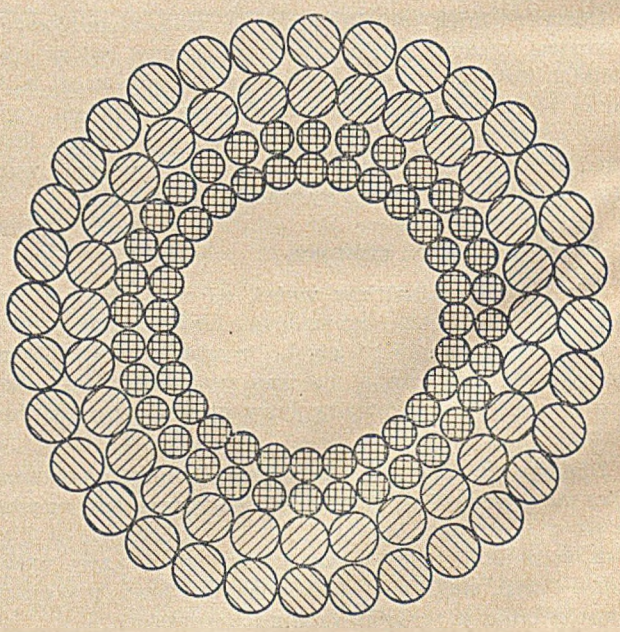
400 mm² przekroju zastosowano w Europie po raz pierwszy w r. 1926 przy budowie linii 220 000 woltów w Zachodnich Niemczech.

Przewody rurowe bezszkieletowe wykonywane są z płaskich drutów miedzianych ułożonych w jedną war-



Rys. 8. Przewód rurowy bezszkieletowy wykony z płaskich drutów miedzianych ułożonych w jedną warstwę.

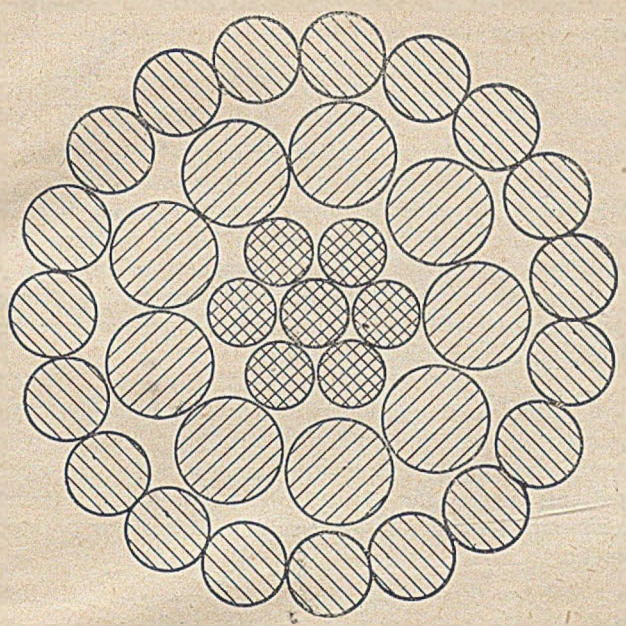
stwę (rys. 8). Powiązanie poszczególnych drutów między sobą uzyskuje się dzięki zastosowaniu profilu drutu o specjalnym kształcie przekroju, który w jednej bocznej ściance posiada na całej swej długości żłobek, w drugiej zaś przeciwległej — ząb, wchodzący w żłobek drutu sąsiedniego.



Rys. 9. Przewód rurowy wykonany w postaci linki stalo-aluminiowej.

Druty płaskie zapewniają przewodom tego rodzaju gładką powierzchnię zewnętrzną, co jest, jak wspomniano wyżej, bardzo korzystne na równi z dużą średnicą.

Wykonanie przewodów rurowych w postaci linek nie nastręcza trudności, a rys. 9 przedstawia przekrój tego rodzaju linki stalo-aluminiowej.



Rys. 10. Linka stalo-aluminiowa nie rozkręcająca się wykonana z drutów o rozmaitych średnicach i o różnych skokach skrętu w poszczególnych warstwach.

Jak wynika z doświadczenia, normalne przewody wielodrutowe (linki) przy znacznych siłach naciągu ulegają w pewnym stopniu rozkręcaniu, co staje się częstokroć powodem nierównomiernego obciążenia mechanicznego poszczególnych drutów.

Zjawiska tego rodzaju można uniknąć, stosując linki o specjalnej konstrukcji, nie rozkręcające się, wykonane z drutów o rozmaitych średnicach i o różnych skokach skrętu w poszczególnych warstwach (rys. 10).

W sposób pokazany na rys. 10 są wykonywane zarówno linki aluminiowe, jak i stalo-aluminiowe.

Jako przewody specjalne, należy również potraktować tzw. przewody bezdrganiowe, wykonywane z drutów aluminiowych okrągłych lub profilowych. Przewód taki zawieszony na stalowej lince nośnej znajdującej się wewnątrz przewodu pokazany jest na rys. 4-e. Jego budowę i własności charakterystyczne podano w tablicach 13-a i 13-b.

(Ciąg dalszy nastąpi).

Podstawy elektrotechniki

Inż.-el. T. KULISZEWSKI

(Ciąg dalszy)

10. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczy węzła obwodu rozgałęzionego względnie sieci. Możemy go sformułować w sposób następujący:

suma prądów dopływających do węzła jest równa sumie prądów odpływających od węzła.

Jeżeli umownie przyjmiemy kierunek prądów dopływających do węzła za dodatni, zaś kierunek prądów odpływających za ujemny, to pierwsze prawo Kirchhoffa możemy wyrazić w sposób następujący:

algebraiczna suma prądów w węźle obwodu rozgałęzionego równa się zeru.

Tę ostatnią definicję możemy przedstawić w postaci równania algebraicznego:

$$\Sigma I = 0 \qquad (54)$$

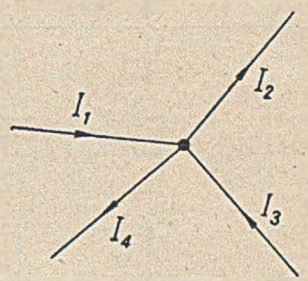
Dla przykładu konkretnego (rys. 27) możemy wobec tego napisać:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

czyli:

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$

Pierwsze prawo Kirchhoffa tłumaczy bardzo wyraźnie elektronowa teoria elektryczności. Ponieważ prąd



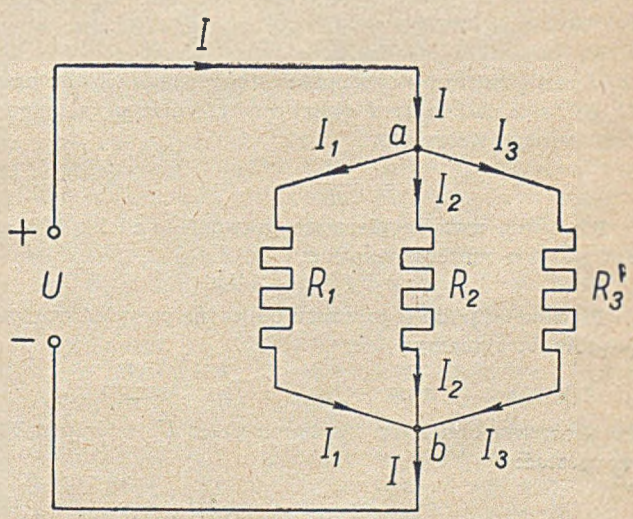
Rys. 27. Rozpływ prądu w węźle sieci (obwodu rozgałęzionego).

elektryczny jest ruchem swobodnych elektronów (ładunków) w przewodzie, całkowita ilość elektryczności, jaka dopływa do węzła, musi w tej samej ilości z niego odpłynąć, a zatem suma prądów dopływających musi być równa sumie prądów odpływających.

Pierwsze prawo Kirchhoffa ma również zastosowanie dla dowolnego punktu obwodu leżącego np. na przewodzie, przez który płynie prąd I: prąd dopływający jest równy prądowi odpływającemu.

11. Równoległe połączenie oporów

Jeżeli kilka oporów połączymy ze sobą tak, jak to pokazane jest na rys. 28 lub 29, to otrzymamy równoległe połączenie oporów. Widzimy, że początki wszystkich oporów połączone są ze sobą we wspólny węzeł **a** (rys. 28), zaś ich końce tworzą wspólny węzeł **b**. Na rys. 29 pokazany jest ten sam układ oporów, lecz nieco inaczej narysowany (nie stanowi to żadnej istotnej różnicy).

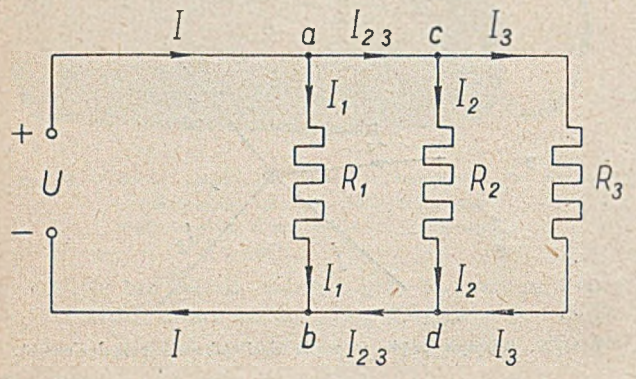


Rys. 28. Równoległe połączenie oporów.

Równoległe połączenie oporów tworzy obwód rozgałęziony, o którym już wspominaliśmy (rys. 14). Obliczenie takiego obwodu czyli określenie prądu I wypływającego ze źródła oraz prądów w poszczególnych gałęziach równoległych (na rys. 28 prądy I_1, I_2, I_3), sprowadza się do wyznaczenia **oporności zastępczej** całego

obwodu. Oporność zastępczą układu oporów połączonych równolegle obliczamy posługując się prawem Ohma.

Należy tu zaznaczyć, że w praktyce utarło się nazywać układ oporów połączonych równolegle wprost oporami równoległymi; w podobny sposób układ oporów połączonych szeregowo nazywany jest oporami szeregowymi.



Rys. 29. Inny rodzaj schematu obwodu z oporami równoległymi.

Rozpatrzmy obwód pokazany na rys. 28. Widzimy tu trzy opory równoległe R_1, R_2 i R_3 dołączone do źródła prądu o napięciu U, które tworzą obwód rozgałęziony o trzech gałęziach równoległych i o dwóch węzłach **a** i **b**. Ponieważ zakładamy, że oporności przewodów doprowadzających są równe **zeru**, to na przewodach tych nie mamy żadnego spadku napięcia, przeto w punktach węzłowych **a** i **b** panuje to samo napięcie U, jakie istnieje na zaciskach źródła prądu. Zatem na każdym oporze równoległym mamy to samo napięcie U. Mając wartość napięcia na oporze oraz wartość jego oporności możemy, posługując się prawem Ohma, dla każdego oporu oddzielnie obliczyć płynący przez niego prąd (wzór 40).

Wobec tego:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Jeżeli oznaczymy oporność zastępczą tego układu przez R, to prąd całkowity I obliczymy również przy pomocy tego samego wzoru (40):

$$I = \frac{U}{R}$$

Mając na uwadze pierwsze prawo Kirchhoffa np. dla węzła **a** możemy napisać:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Podstawiając do tego wzoru obliczone powyżej wartości prądów, otrzymamy:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Po skróceniu obu stron równania przez U, wzór przybierze postać:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad (55)$$

Możemy więc powiedzieć, że odwrotność oporności zastępczej oporów równoległych jest równa sumie odwrotności oporności poszczególnych oporów połączonych równolegle. A zatem oporność zastępcza R określa się ze wzoru:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \qquad (56)$$

Przy większej liczbie oporów równoległych stosujemy wzór ogólny:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}} \qquad (57)$$

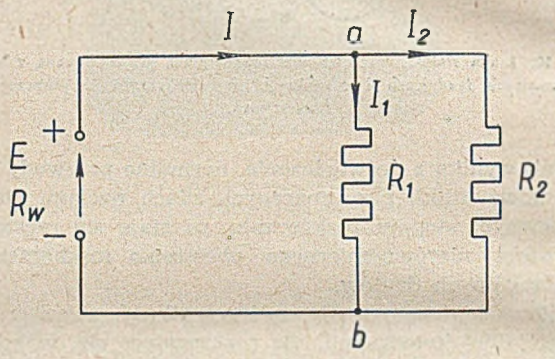
gdzie n oznacza liczbę oporów połączonych równolegle.

Jeżeli podobny obwód narysowany jest tak, jak podaje rys. 29, to w bardzo łatwy sposób, stosując pierwsze prawo Kirchhoffa dla węzła **c** lub **d**, możemy obliczyć prąd I_{23} płynący w części obwodu **a**—**c** lub **d**—**b**.

Wzór (55) możemy napisać jeszcze inaczej, zastępując oporności **przewodnościami**. Wiemy, że przewodność jest odwrotnością oporności, a zatem:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \qquad (58)$$

czyli przewodność zastępcza oporów równoległych jest równa sumie przewodności poszczególnych oporów połączonych równolegle. Nawiasem należy dodać, że wprowadzenie przewodności do obliczeń, mimo że ułatwia w znacznym stopniu te obliczenia, stosuje się w praktyce rzadko.



Rys. 30. Przykład obwodu rozgałęzionego z siłą elektromotoryczną.

W szczególnym przypadku, kiedy mamy dwa opory połączone równolegle, wzór (57) znacznie się upraszcza, a mianowicie:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

czyli

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad (59)$$

a więc oporność zastępcza dwóch oporów równoległych jest równa iloczynowi ich oporności podzielonemu przez sumę tych oporności. Wzór ten jest bardzo łatwy do zapamiętania i bardzo często się stosuje. Obwód z dwoma oporami równoległymi podany jest na rys. 30.

Jeżeli w obwodzie z oporami równoległymi mamy źródło prądu o sem E i o oporności wewnętrznej R_w, to obwód taki obliczamy znanymi nam metodami. W pierwszym rzędzie obliczamy oporność zastępczą R obwodu zewnętrznego, po czym dodając oporność wewnętrzną źródła R_w obliczamy oporność całkowitą obwodu R_c, jak to robiliśmy dla obwodu z rys. 24, a następnie obliczamy prąd całkowity I posiłkując się wzorem (51). Rozpływ prądu w węźle obliczamy jak poprzednio, mając na uwadze, że napięcie na zaciskach źródła prądu, a zatem i na oporach równoległych, będzie mniejsze od siły elektromotorycznej o spadek napięcia wewnętrzny, który należy przed tym obliczyć. Przy obliczaniu tego spadku napięcia stosujemy wzór (53).

Obliczając obwód rozgałęziony widzimy, że prąd **za** rozgałęzieniem jest taki sam, jak **przed** rozgałęzieniem, co możemy udowodnić, jeżeli weźmiemy pod uwagę pierwsze prawo Kirchhoffa dla obu węzłów rozgałęzienia.

Rozpatrzmy teraz obwód pokazany na rys. 30. Po obliczeniu oporności zastępczej obwodu zewnętrznego, oporności całkowitej obwodu, prądu całkowitego I, spadku wewnętrznego oraz napięcia w punktach **a** i **b**, przystępujemy do obliczania, jak poprzednio, prądów płynących w gałęziach równoległych.

A więc otrzymamy:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \qquad \text{oraz} \qquad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

a dzieląc jedno równanie przez drugie stronami i skracając prawą stronę przez U mamy:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \tag{60}$$

z czego możemy sformułować twierdzenie następujące:

prądy w gałęziach równoległych są odwrotnie proporcjonalne do oporności tych gałęzi.

Jeżeli opory równoległe są sobie równe co do wartości, to prądy przez nie płynące są także równe, zaś oporność zastępcza takiego układu jest tyle razy mniejsza od oporności jednego oporu, ile wynosi liczba równych oporów połączonych ze sobą równolegle. Ta ostatnia uwaga oraz twierdzenie wynikające ze wzoru (60) są bardzo pomocne przy pamięciowym rozwiązywaniu niektórych łatwiejszych obwodów elektrycznych.

Po rozwiązaniu każdego obwodu rozgałęzionego, tj. po obliczeniu prądów w gałęziach równoległych, bardzo celowe jest sprawdzanie wyników przy pomocy pierwszego prawa Kirchhoffa dla dowolnego węzła obwodu. Jeżeli w otrzymanych wynikach różnice nie przekraczają 1%, możemy uważać, że obwód jest rozwiązany prawidłowo.

12. Drugie prawo Kirchhoffa

Drugie prawo Kirchhoffa dotyczy każdego obwodu zamkniętego pojedyńczego lub wydzielonego z sieci czyli tzw. „okienka" („oczka") sieci.

Jeżeli w obwodzie zamkniętym przyjmiemy dowolnie kierunki dodatnie wszystkich wielkości elektrycznych np. zgodnie z kierunkiem biegu wskazówki zegara i oznaczymy je wspólną strzałką półkolistą (rys. 31), uważając wszelkie inne wielkości skierowane odwrotnie do obranego kierunku za ujemne, to drugie prawo Kirchhoffa możemy wyrazić w sposób następujący:

w obwodzie zamkniętym suma algebraiczna sił elektromotorycznych jest równa sumie algebraicznej napięć (spadków napięć) panujących na wszystkich oporach szeregowych.

Drugie prawo Kirchhoffa daje się ująć w następujący wzór matematyczny:

$$\sum E = \sum I \cdot R \tag{61}$$

Jest to wzór w postaci ogólnej. Dla obwodu pokazanego na rys. 31 możemy wobec tego napisać:

$$E_1 - E_2 + E_3 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

Należy tu podkreślić, że wspólny kierunek wielkości dodatnich obieramy **zupełnie dowolnie**, dowolnie również obieramy kierunek prądu I. Jeżeli w wyniku obliczeń wartość prądu I wypadnie ujemna, świadczy to o tym, że kierunek prądu obraliśmy mylnie i należy to poprawić na schemacie.

Jeżeli obwód posiada tylko jedną siłę elektromotoryczną, wtedy wzór (61) możemy napisać tak:

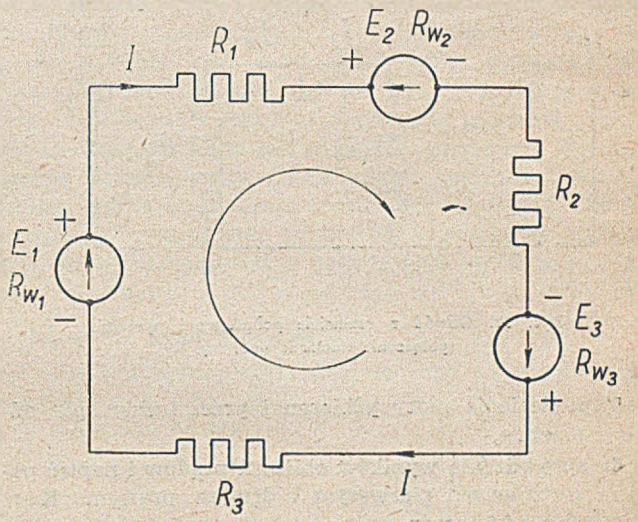
$$E = \sum I \cdot R \tag{62}$$

Tego rodzaju przypadek mieliśmy przy rozpatrywaniu obwodu z uwzględnieniem oporności wewnętrznej źródła prądu, który pokazany był na rys. 24 i określony wzorem (52).

Jeżeli rozpatrujemy okienko sieci, w którym **nie ma** siły elektromotorycznej, np. okienko a—c—d—b obwodu pokazanego na rys. 29, wtedy drugie prawo Kirchhoffa ma postać:

$$\sum I \cdot R = 0 \tag{63}$$

a więc wówczas algebraiczna suma napięć na oporach szeregowych w takim obwodzie jest równa **zeru**. Mówimy



Rys. 31. Obwód nierozgałęziony z kilkoma siłami elektromotorycznymi.

tu w oporach szeregowych, gdyż po wydzieleniu „okienka" **a—c—d—b** z sieci, opory R_1 **i** R_2 są połączone ze sobą w szereg.

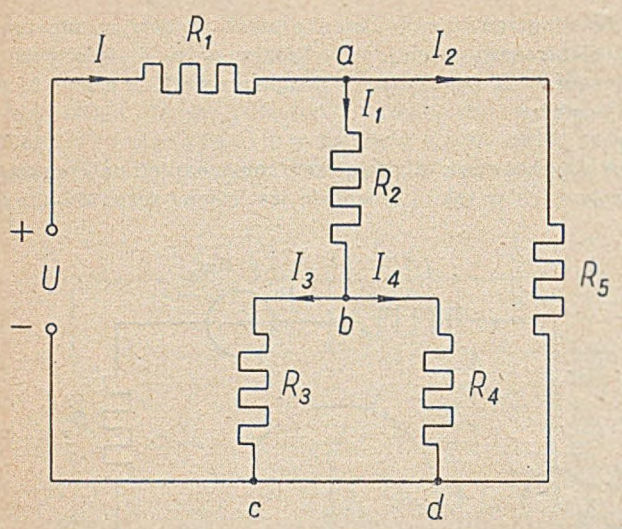
Przy pomocy drugiego prawa Kirchhoffa możemy w bardzo łatwy sposób sprawdzać wyniki otrzymane z obliczeń napięć i spadków napięć w dowolnym obwodzie dla każdego „okienka" oddzielnie.

13. Obliczanie obwodów z rozmaicie połączonymi oporami

W praktyce często spotykamy obwody z rozmaicie połączonymi ze sobą oporami. Jedne połączone są ze sobą równolegle inne szeregowo a te znów dalej mogą być połączone ze sobą szeregowo lub równolegle. Otrzymujemy w ten sposób obwód z rozmaicie połączonymi oporami, jak np. pokazane jest na rys. 32. Rozpatrując uważnie ten obwód widzimy, że opory R_3 i R_4 są połączone ze sobą równolegle, do nich zaś szeregowo dołączony jest opór R_2 tworząc układ trzech oporów R_2, R_3, R_4. Do tego układu równolegle dołączony jest opór R_5 tworząc nowy układ czterech oporów R_3, R_4, R_2 i R_5. Wreszcie do tego nowego układu szeregowo dołączony jest opór R_1 a cały obwód dołączony jest do źródła prądu o napięciu U. Inne rozumowanie jest **błędne** i należy na to zwrócić szczególną uwagę. Niedopuszczalne jest np. twierdzenie, że opór R_1 jest połączony szeregowo do oporu R_2; natomiast przy wydzieleniu okienka $U - R_1 - \mathbf{a} - R_2 - \mathbf{b} - R_3 - \mathbf{c} - U$ z całego obwodu i traktowaniu go, jako oddzielnego obwodu zamkniętego wydzielonego z sieci, twierdzenie to będzie słuszne, gdyż wtedy rzeczywiście opór R_1 będzie połączony szeregowo z oporem R_2.

Obliczenie obwodu z rys. 32 sprowadza się do:

1) obliczenia oporności zastępczej całego obwodu,
2) obliczenia wartości prądu całkowitego I,
3) określenia dla każdego oporu napięcia panującego na jego końcówkach oraz prądu, jaki przez ten opór płynie,
4) znalezienia mocy ogólnej pobieranej przez obwód zewnętrzny,



Rys. 32. Obwód z rozmaicie połączonymi oporami. (połączenie mieszane oporów).

5) znalezienia mocy pobieranej przez każdy opór oddzielnie,
6) sprawdzenia wyników obliczeń prądów i napięć posługując się pierwszym i drugim prawem Kirchhoffa oraz
7) sprawdzenia obliczonej mocy, opierając się na twierdzeniu, że suma mocy pobieranej przez każdy opór, **niezależnie** od sposobu połączenia oporów w obwodzie, jest równa ogólnej mocy pobieranej przez cały obwód zewnętrzny.

Jeżeli zamiast napięcia U na zaciskach źródła prądu podana jest sem E źródła oraz jego oporność wewnętrzna R_w, wówczas po obliczeniu oporności całkowitej obwodu R_c i określeniu prądu I, należy obliczyć spadek napięcia wewnętrzny U_w oraz napięcie U według wzoru (53).

Bieg obliczeń obwodu na rys. 32 jest następujący:

Obliczamy oporność zastępczą R_{34} równoległych oporów R_3 i R_4 po czym dodajemy do niej oporność R_2 jako szeregową i otrzymamy oporność zastępczą R_{234}. Następnie obliczamy oporność zastępczą R_{2345} równoległych oporów R_{234} i R_5, po czym dodajemy oporność R_1 jako szeregową, otrzymując ostatecznie oporność zastępczą całego obwodu R. Prąd I obliczamy z prawa Ohma, mając napięcie U i oporność R. Przystępując do obliczania napięć na poszczególnych oporach musimy pamiętać, że tylko taki opór da się obliczyć, dla którego mamy znalezione — z trzech wielkości potrzebnych do zastowania prawa Ohma — dwie wielkości (R i U, R i I lub U i I); wówczas trzecia wielkość z łatwością da się obliczyć. Takim oporem w naszym obwodzie jest opór R_1, gdyż znamy wartość jego oporności R_1 oraz prąd przez niego płynący I. A zatem napięcie na nim U_1 obliczymy ze wzoru (42). Mając poprzednio obliczoną oporność zastępczą R_{2345} i prąd przez nią płynący I obliczamy napięcie na niej panujące: będzie to zarazem napięcie U_5 na oporze R_5. Teraz prąd I_2 w oporze R_5 z łatwością da się obliczyć ze wzoru (42). To samo napięcie mamy na oporności zastępczej R_{234}, a zatem prąd I_1 płynący przez nią również obliczymy ze wzoru (42). Mając prąd I_1 oraz oporność R_2 obliczamy napięcie na oporze R_2, a następnie — napięcie na oporności R_{34}, gdyż przez nią płynie ten sam prąd I_1. W końcu mając napięcie na oporności R_{34} a tym samym na oporach R_3 i R_4, obliczamy prądy I_3 i I_4. Moc ogólną oraz moce na poszczególnych oporach obliczamy albo jako iloczyny z odpowiednich napięć i prądów, albo też jako iloczyny z kwadratu odpowiednich prądów przez wartości odpowiednich oporów (wzór 23 lub 46).

W celu uzyskania przejrzystości obliczeń oraz dla ułatwienia sprawdzenia wyników należy wszystkie otrzymane drogą obliczeń wartości wpisywać we właściwych miejscach na schemacie. W ten sposób uczymy się metodycznej pracy, ułatwiamy sobie kolejne sprawdzanie każdego wyniku oraz zabezpieczamy się przed ewentualnymi błędami, jakie są nieuniknione przy pracy nieuporządkowanej.

W praktyce elektrotechnicznej nie wszystkie obwody dadzą się obliczyć wyżej podaną metodą, gdyż nieraz połączenia oporów są tak skomplikowane, że obliczenie ogólnej oporności zastępczej staje się niemożliwe. Wtedy zachodzi konieczność stosowania metod specjalnych, które poznamy w dalszych rozważaniach.

Zanim jednak przystąpimy do obliczania obwodów więcej złożonych musimy **gruntownie** opanować materiał dotychczas wyłożony, toteż pożądane jest przerobienie **jak największej liczby** zadań praktycznych.

Zadanie 1. Trzy opory równoległe $R_1 = 15\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$ oraz $R_3 = 12\,\Omega$ połączone są ze źródłem prądu o napięciu $U = 24$ V za pomocą dwóch drutów żelaznych o średnicy 1 mm i o długości po 50 m każdy. Należy całkowicie obliczyć ten obwód.

Rozwiązanie: Rysujemy schemat, który będzie podobny do schematu pokazanego na rys. 28, z tą tylko różnicą, że druty łączące opory równoległe ze źródłem prądu posiadają oporność, a zatem należy je traktować, jako opory połączone szeregowo z układem trzech oporów równoległych. Na schemacie oznaczamy strzałkami rozpływ prądów oraz wpisujemy znane wartości oporów.

Obliczamy oporność jednego drutu:

$$s = 0{,}785 \cdot d^2 = 0{,}785 \cdot 1 = 0{,}785 \text{ mm}^2$$

$$R_p = \varrho \cdot \frac{l}{s} = 0{,}13 \cdot \frac{50}{0{,}785} \approx 8{,}28\,\Omega$$

i wpisujemy do schematu.

Obliczamy oporność zastępczą oporów R_1, R_2 i R_3:

$$R_{123} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{20} + \frac{1}{12}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{4 + 3 + 5}{60}} = \frac{1}{\frac{12}{60}} = \frac{60}{12} = 5\,\Omega$$

Obliczamy oporność zastępczą całego obwodu:

$$R = R_p + R_{123} + R_p = 8{,}28 + 5 + 8{,}28 \approx 21{,}6\,\Omega$$

Prąd całkowity I wynosi:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24}{21{,}6} = 1{,}11 \text{ A}$$

Spadek napięcia na **jednym** przewodzie żelaznym wynosi:

$$U_p = I \cdot R = 1{,}11 \cdot 8\,28 \approx 9.19 \text{ V}$$

Napięcie na oporach równoległych czyli w punktach a i b wynosi:

$$U_{ab} = I \cdot R_{123} = 1{,}11 \cdot 5 = 5{,}55 \text{ V}$$

Obliczone napięcia sprawdzamy według drugiego prawa Kirchhoffa: (napięcie U traktujemy, jak siłę elektromotoryczną)

$$U = U_p + U_{ab} + U_p = 9{,}19 + 5{,}55 + 9{,}19 = 23{,}93 \text{ V}$$

Ponieważ błąd nie przekracza 1%, wyniki można uważać za dokładne.

Teraz obliczamy prądy w gałęziach równoległych:

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1} = \frac{5{,}55}{15} \approx 0{,}37 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = \frac{5{,}55}{20} \approx 0{,}28 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} = \frac{5{,}55}{12} \approx 0{,}46 \text{ A}$$

Obliczone prądy sprawdzamy według pierwszego prawa Kirchhoffa:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}37 + 0{,}28 + 0{,}46 = 1{,}11 \text{ A}$$

a zatem wyniki są dobre, wobec czego wpisujemy je do schematu.

Moc całkowita pobierana przez obwód wynosi:

$$P = U \cdot I = 24 \cdot 1{,}11 = 26{,}64 \text{ W},$$

zaś moc na poszczególnych oporach:

$$P_1 = U_{ab} \cdot I_1 = 5{,}55 \cdot 0{,}37 \approx 2{,}05 \text{ W}$$
$$P_2 = U_{ab} \cdot I_2 = 5{,}55 \cdot 0{,}28 \approx 1{,}55 \text{ W}$$
$$P_3 = U_{ab} \cdot I_3 = 5{,}55 \cdot 0{,}46 \approx 2{,}55 \text{ W}$$
$$P_p = U_p \cdot I = 9{,}19 \cdot 1{,}11 \approx 10{,}2 \text{ W}$$

Obliczone moce sprawdzamy:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + 2 \cdot P_p = 2{,}05 + 1{,}55 + 2{,}55 + 2 \cdot 10{,}2 = 26{,}55 \text{ W}.$$

Błąd jest bardzo mały, zatem obliczenia można uważać za dokładne; wpisujemy je do schematu.

Odpowiedź: $I = 1{,}11$ A, $I_1 = 0{,}37$ A, $I_2 = 0{,}28$ A, $I_3 = 0{,}46$ A, $U_{ab} = 5{,}55$ V, $U_p = 9{,}19$ V, $P = 26{,}64$ W, $P_1 = 2{,}05$ W, $P_2 = 1{,}55$ W, $P_3 = 2{,}55$ W, $P_p = 10{,}2$ W.

Zadanie 2. Linia dwuprzewodowa z drutu miedzianego o przekroju 1 mm² i o długości 0,5 km przyłączona jest jednym końcem do źródła prądu o sem $E = 230$ V i oporności wewnętrznej $R_w = 3\ \Omega$, zaś do drugiego jej końca dołączone są równolegle dwie żarówki przeznaczone na napięcie 220 V i o mocach jedna 200 W, druga — 150 W. Należy obliczyć napięcie na żarówkach oraz moc, jaką one pobierają w obecnych warunkach.

Rozwiązanie: Rysujemy schemat tak, jak na rys. 30, (trzeba tylko dorysować opory przewodów). Obliczenia prowadzimy podobnie, jak w zadaniu 1, wpisując otrzymane wyniki do schematu. Przed tym jednak należy obliczyć oporności żarówek.

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \frac{220^2}{200} = 242\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \frac{220^2}{150} \approx 323\ \Omega$$

Oporność zastępcza obu równolegle włączonych żarówek:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{242 \cdot 323}{242 + 323} \approx 138\ \Omega$$

Oporność obu przewodów:

$$R_p = \varrho \cdot \frac{2 \cdot l}{s} = 0{,}0172 \cdot \frac{2 \cdot 500}{1} = 17{,}2\ \Omega$$

Oporność całkowita obwodu:

$$R_c = R_{12} + R_p + R_w = 138 + 17{,}2 + 3 = 158{,}2\ \Omega.$$

Prąd całkowity:

$$I = \frac{E}{R_c} = \frac{230}{158{,}2} \approx 1{,}45 \text{ A}$$

Napięcie na żarówkach:

$$U_{ab} = I \cdot R_{12} = 1{,}45 \cdot 138 = 200 \text{ V}.$$

Moc pobierana przez żarówki:

$$P_1 = \frac{U_{ab}^2}{R_1} = \frac{200^2}{242} \approx 165 \text{ W}$$

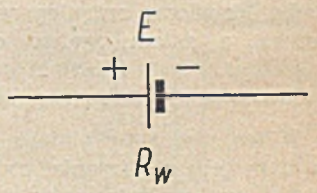
$$P_2 = \frac{U_{ab}^2}{R_2} = \frac{200^2}{323} \approx 124 \text{ W}.$$

Odpowiedź: $U_{ab} = 200$ V, $P_1 = 165$ W, $P_2 = 124$ W.

Ograniczyliśmy liczbę podanych zadań do dwóch. Są to zadania typowe bardzo często spotykane w praktyce. Resztę zadań, których — jak już zaznaczyliśmy — należy przerobić jak największą liczbę, trzeba ułożyć i przerobić samemu tak, aby nie było żadnych wątpliwości, że całkowity materiał dotychczas poznanej części podstaw elektrotechniki jest należycie opanowany. W przeciwnym bowiem razie dalsza nauka podstaw elektrotechniki będzie niezmiernie utrudniona, gdyż przy następnych rozważaniach stale opierać się będziemy na poznanych dotychczas prawach a poza tym dalsze zagadnienia będą trudniejsze.

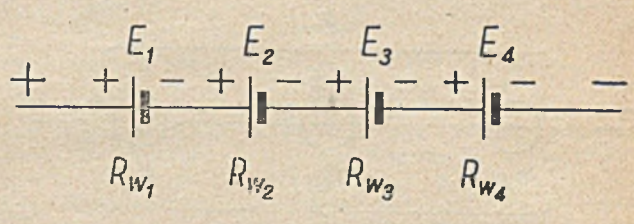
4. Łączenie źródeł prądu.

Źródła prądu możemy łączyć ze sobą szeregowo, równolegle albo też szeregowo-równolegle — w zależności od potrzeby.



Rys. 33. Graficzny symbol ogniwa elektrycznego.

Źródła prądu łączymy ze sobą szeregowo, jeżeli chcemy otrzymać **wyższe** napięcie. Najprostszym źródłem prądu jest ogniwo elektryczne posiadające pewną siłę elektromotoryczną E oraz pewną oporność wewnętrzną R_w. Symbol graficzny takiego ogniwa pokazany jest na rys. 33. Rys. 34 pokazuje, w jaki sposób wykonywane jest szeregowe połączenie ogniw. Widzimy, że minus pierwszego ogniwa połączony jest z plusem drugiego ogniwa, minus drugiego ogniwa — z plusem trzeciego itd. W ten sposób powstaje tzw. bateria ogniw szeregowych (rys. 35).

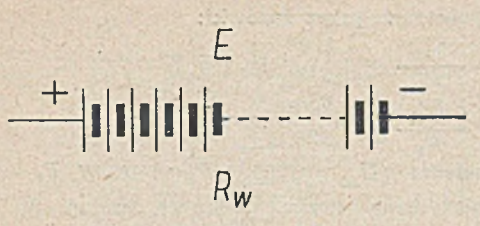


Rys. 34. Szeregowe połączenie ogniw.

Jeżeli ogniwa połączone szeregowo posiadają siły elektromotoryczne skierowane **zgodnie** w jednym kierunku, to na podstawie drugiego prawa Kirchhoffa możemy powiedzieć, że siła elektromotoryczna powstałej w ten sposób baterii ogniw jest równa **sumie** sił elektromotorycznych ogniw składowych. Jeżeli którekolwiek ogniwo w baterii posiada sem skierowaną **przeciwnie**, to traktujemy ją jako ujemną i wtedy możemy powiedzieć, że siła elektromotoryczna baterii jest sumą algebraiczną sił elektromotorycznych ogniw składowych. W praktyce jednak bardzo rzadko którekolwiek ogniwo w baterii ma sem przeciwnie skierowaną, toteż możemy napisać ogólnie (rys. 34):

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n \qquad (64)$$

gdzie n jest liczbą ogniw połączonych szeregowo.



Rys. 35. Bateria ogniw połączonych szeregowo.

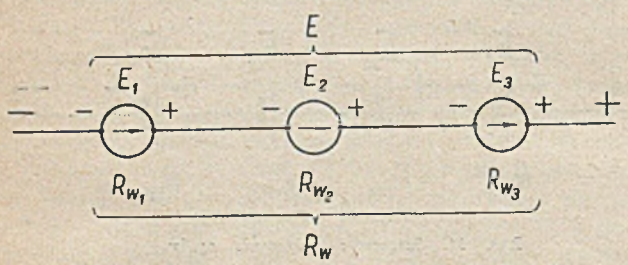
Oporność wewnętrzna baterii ogniw szeregowych jest sumą oporności ogniw składowych, niezależnie od tego, jak skierowane są siły elektromotoryczne ogniw składowych, gdyż oporności te są połączone szeregowo, a zatem oporność zastępcza jest równa ich sumie. Możemy więc napisać:

$$R_w = R_{w_1} + R_{w_2} + R_{w_3} + \ldots\ldots + R_{wn} \qquad (65)$$

Siły elektromotoryczne ogniw składowych baterii mogą być w zasadzie różne co do wartości, natomiast pożądane jest, aby oporności wewnętrzne ogniw o równych siłach elektromotorycznych były w miarę możności równe a przynajmniej o wartościach zbliżonych. Tłumaczy się to tym, że oporność wewnętrzna źródła prądu, jak wiemy, ogranicza wartość dopuszczalnego prądu ogniwa, a zatem ogniwo o większej oporności wewnętrznej w baterii będzie więcej obciążone i więcej narażone na przeciążenie a tym samym na uszkodzenie.

W ten sam sposób mogą być łączone ze sobą szeregowo w celu otrzymania wyższego napięcia inne źródła prądu np. prądnice prądu stałego, prostowniki itp. Oczywiście, w tym przypadku byłoby bezcelowe włączanie źródła prądu o sem skierowanej przeciwnie. Na rys. 36 pokazany jest sposób szeregowego połączenia trzech źródeł prądu o tym samym kierunku sił elektromotorycznych.

Na rys. 37 pokazany jest przypadek ogólny połączenia szeregowego źródeł prądu o rozmaitych kierunkach sił elektromotorycznych. Sem ogólna jest równa sumie algebraicznej sem składowych, a zatem:



Rys. 36. Szeregowe połączenie źródeł prądu o tym samym kierunku sił elektromotorycznych.

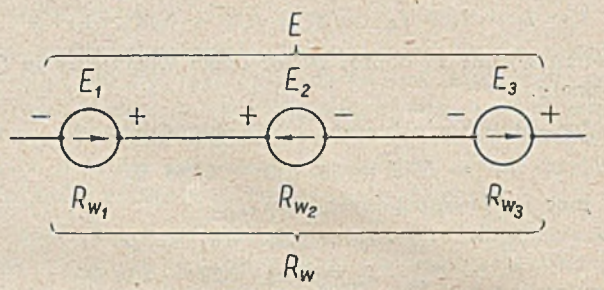
$$E = E_1 - E_2 + E_3$$

natomiast oporność ogólna wynosi:

$$R_w = R_{w_1} + R_{w_2} + R_{w_3}$$

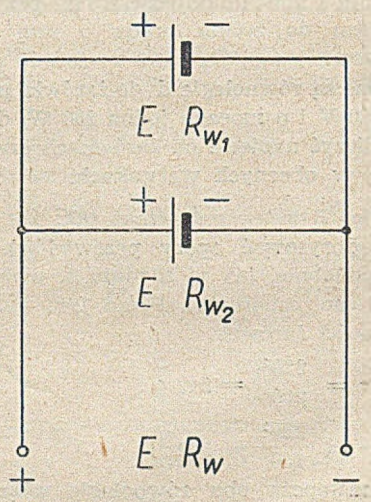
Z powyższego wynika, że odwrócenie kierunku sem jednego źródła prądu wchodzącego w skład baterii może zmniejszyć ogólną sem, natomiast oporność wewnętrzna takiej baterii pozostaje bez zmiany.

Równolegle mogą być łączone ze sobą tylko takie źródła prądu, które posiadają takie same siły elektromotoryczne (rys. 38). W przeciwnym bowiem razie według drugiego prawa Kirchhoffa, w obwodzie utworzonym przez równoległe połączenie dwóch źródeł prądu o nierównych sem musi istnieć spadek napięcia na opornościach wewnętrznych tych źródeł, co w rezultacie daje prąd płynący w utworzonym w ten sposób obwodzie, a zatem w jednym źródle prądu kierunek prądu będzie przeciwny do jego sem. Źródło to przestaje pracować i staje się wtedy odbiornikiem prądu i może być narażone na uszkodzenie. Odbiornikiem takim jest, oczywiście, źródło o mniejszej sile elektromotorycznej, niezależnie od oporności wewnętrznej tego źródła.



Rys. 37. Szeregowe połączenie źródeł prądu o rozmaitych kierunkach sił elektromotorycznych.

Warunek równości sił elektromotorycznych dla źródeł łączonych równolegle musi być zawsze dotrzymany, natomiast oporności wewnetrzne takich źródeł mogą być różne, gdyż każde źródło prądu połączone równolegle bierze na siebie tylko takie obciążenie, na jakie pozwala mu jego oporność wewnętrzna. Udowodnić to można prostym rachunkiem na przykładzie liczbowym, podstawiając dowolne wartości dla R_{w_1} i R_{w_2} (rys. 38) i obciążając układ kolejno kilkoma dowolnymi oporami. Przy rów-



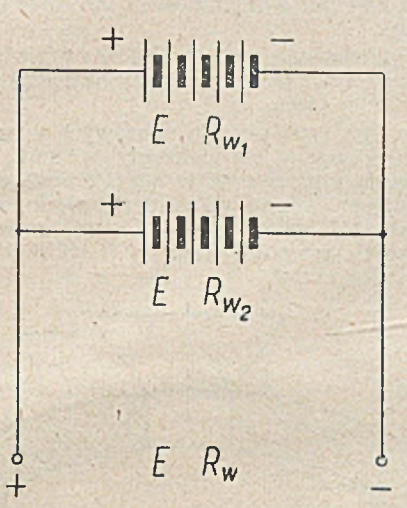
Rys. 38. Równoległe połączenie ogniw.

nych sem obu źródeł, obliczając wewnętrzne spadki napięcia w każdym źródle przekonamy się, że prądy płynące w nich są odwrotnie proporcjonalnie do ich oporności wewnętrznych, a zatem obciążenie rozkłada się na oba ogniwa w stosunku odwrotnym do ich oporności wewnętrznych.

Ogólna oporność wewnętrzna kilku ogniw połączonych ze sobą równolegle może być obliczona ze wzoru (57), dla dwóch zaś ogniw ze wzoru (59); będzie ona mniejsza od najmniejszej oporności wewnętrznej ogniwa wchodzącego w skład baterii równoległej. Możemy powiedzieć zatem, że równoległe połączenie źró-

del prądu stosuje się wtedy, gdy zachodzi konieczność powiększenia mocy źródła prądu przy tym samym napięciu na zaciskach.

Szeregowo - równoległe połączenie źródeł prądu stosujemy wtedy, gdy pożądane jest zarówno wyższe napięcie baterii, jak i większa moc przy tym samym napięciu na zaciskach. Jasną jest rzeczą, że w tym



Rys. 39. Równoległe połączenie baterii ogniw szeregowych (połączenie szeregowo-równoległe).

przypadku baterie ogniw szeregowych łączone ze sobą równolegle powinny posiadać napięcia takie same, natomiast oporności wewnętrzne tych baterii mogą być różne. Na rys. 39 pokazana jest bateria składająca się z dwóch baterii ogniw szeregowych połączonych ze sobą równolegle.

(C. d. n.)

Nowiny elektrotechniczne

ELEKTRYCZNE PIECE DO TOPIENIA SZKŁA. — Pierwsze próby topienia szkła za pomocą energii elektrycznej datują się od r. 1880. Zagadnienie elektrycznego topienia szkła ma specjalne znaczenie dla krajów bogatych w zasoby energii wodnej, a ubogich w węgiel, jak np. Szwecja lub Szwajcaria.

Piece elektryczne do topienia szkła dzielą się na dwie grupy; są to: a) piece tyglowe oraz b) piece-wanny.

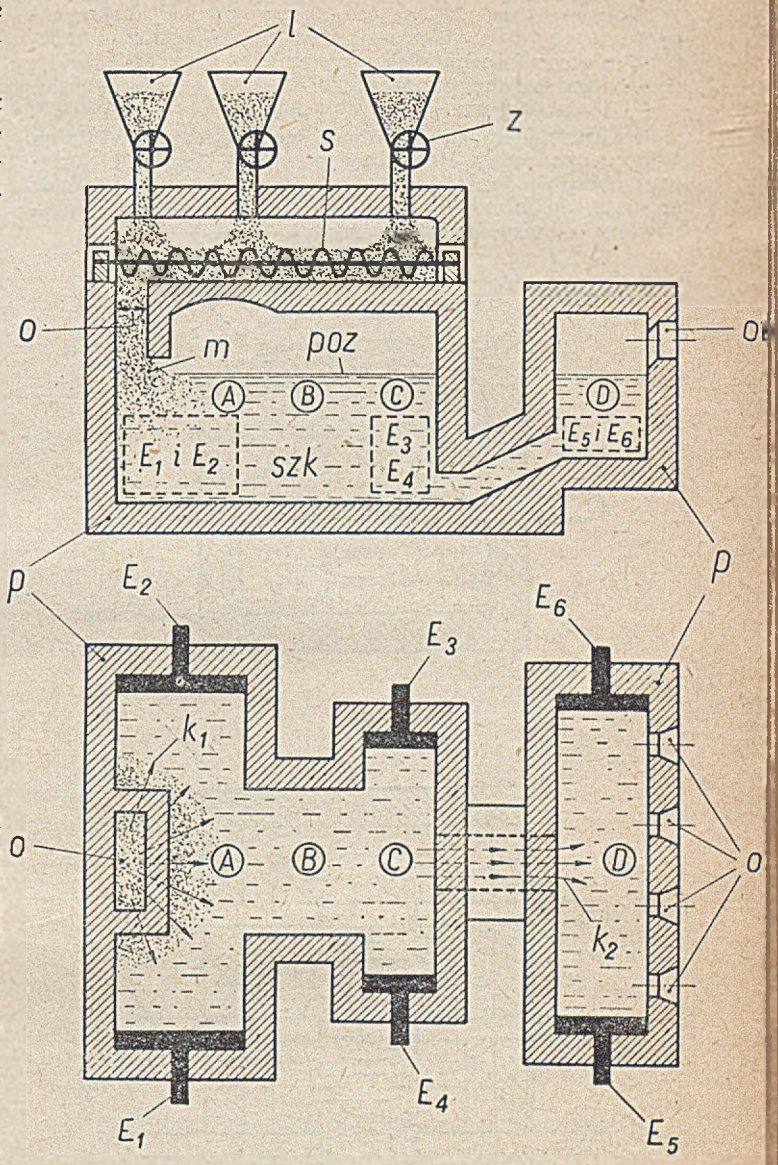
Piece tyglowe mają charakter działania okresowy, zaś piece-wanny posiadają charakter pracy ciągły.

Do elektrycznych pieców tyglowych ładowane są duże tygle wypełnione przeznaczonymi do stopienia składnikami. Liczba tygli jednocześnie ładowanych do pieca wynosi od 6 do 16. Po stopieniu szkliwa i przekazaniu go do dalszego przerobu następuje topienie innej partii mieszanki surowców. Okres pracy pieca tyglowego trwa od rozpoczęcia do chwili ukończenia topienia danej partii.

W odróżnieniu od pieców tyglowych piece-wanny pracują w sposób ciągły. Ogólnie biorąc, są one większe, wydajniejsze co do ilości szkła oraz oszczędniejsze w użyciu energii elektrycznej w porównaniu z piecami tyglowymi.

Temperatura, jaką należy osiągnąć w piecu podczas topienia, zależy od gatunku szkła. Niektóre jego gatunki topią się już przy 1000° C, inne, jak naprzykład szkło kwarcowe, wymagają temperatury sięgającej 1800° C.

Podczas topienia szkła powstają gazy i pary, których rodzaj zależny jest od rodzaju stapianych mieszanek przeznaczonych do utworzenia szkliwa. Najczęściej tworzy się tlenek węgla (czad) lub dwutlenek węgla. Są to gazy obojętne, które nie niszczą części metalowych.



Rys. 1. Piec-wanna konstrukcji Raedersa o nagrzewaniu oporowym bezpośrednim.

poz — poziom stopionego szkliwa; ot — otwory do pobierania szkliwa; szk — stopione gorące szkliwo; m — zasypka (mieszanina składników, które po stopieniu utworzą szkło); E_1 do E_6 — grafitowe elektrody; A — strefa stapiania się składników; B i C — strefy klarowania się stopionego szkliwa; D — komora robocza, skąd przez otwory ot szkliwo pobiera się do przerobu (np. do wydmuchiwania butelek); o — kanał, przez który wprowadza się zasypkę, tj. mieszaninę składników, które po stopieniu utworzą szkło; p — ogniotrwała obmurówka pieca-wanny; l — leje zasypowe; z — zawory zasypowe; s — ślimak mieszający i przesuwający składniki na szkliwo do kanału o; k_1 — kierunek wydostawania się zasypki do wanny; k_2 — kierunek przedostawania się szkliwa do komory D.

O ile jednakże w skład mieszanek przeznaczonych do wytworzenia szkliwa wchodzą związki siarki, to wówczas podczas procesu tworzenia się szkliwa mogą powstawać lotne związki siarki w postaci gazów lub par, które niszczą metalowe przewody oraz metalowe elementy oporników grzejnych.

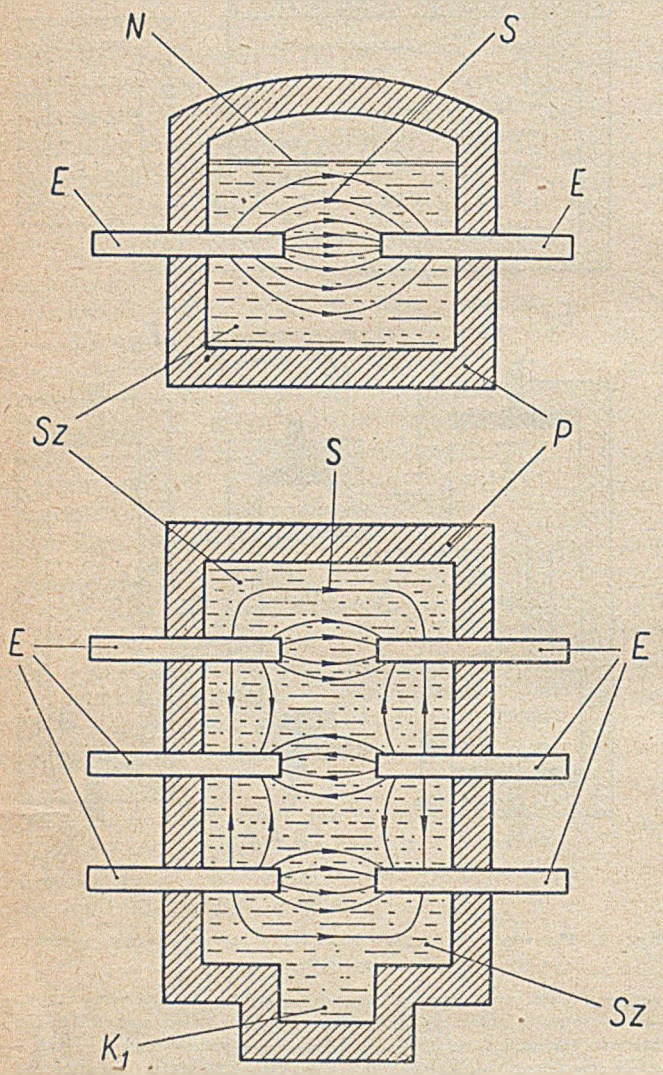
Okoliczności te bierze się pod uwagę przy budowie pieców elektrycznych do topienia szkła.

Roztopione szkliwo, stykając się w piecu z elektrodami, oddziaływa chemicznie na metal elektrod. Powstają nowe związki chemiczne, które, przechodząc do szkła, barwią je na kolor zależny od metali, z jakich wykonane są elektrody. Zjawisko to zależy od składu chemicznego szkła oraz od gatunku elektrod i jest brane pod uwagę przy konstruowaniu pieców.

Stosowane są następujące typy pieców elektrycznych:

— piece z łukiem elektrycznym,
— piece indukcyjne oraz
— piece oporowe.

Te ostatnie mogą być bądź ogrzewane pośrednio za pomocą oporowych elementów grzejnych, bądź też ogrzewane bezpośrednio (stopione szkliwo samo stanowi opór grzejny). Są wreszcie piece ogrzewane w sposób kombinowany — bezpośredni i pośredni.



Rys. 2. Zasada działania oporowych pieców o nagrzewaniu bezpośrednim. E — elektrody o dużym przekroju; Sz — stopione szkliwo; K_1 — komora z której pobiera się szkliwo; S — strzałki; N — poziom stopionego szkliwa.

Piece łukowe i indukcyjne. Liczne próby przeprowadzone z piecami łukowymi wykazują niepożądane barwienie szkła cząsteczkami węgla, które odrywają się od elektrod i zanieczyszczają szkliwo.

Piece indukcyjne nie wykazują większych zalet. Ostatnio nadchodzą wiadomości o piecu indukcyjnym, którego obwód wtórny stanowi płynna cyna, bezpośrednio stykająca się ze szkliwem. Cyna nie łączy się chemicznie ze szkliwem, nie zanieczyszcza go i nie zabarwia.

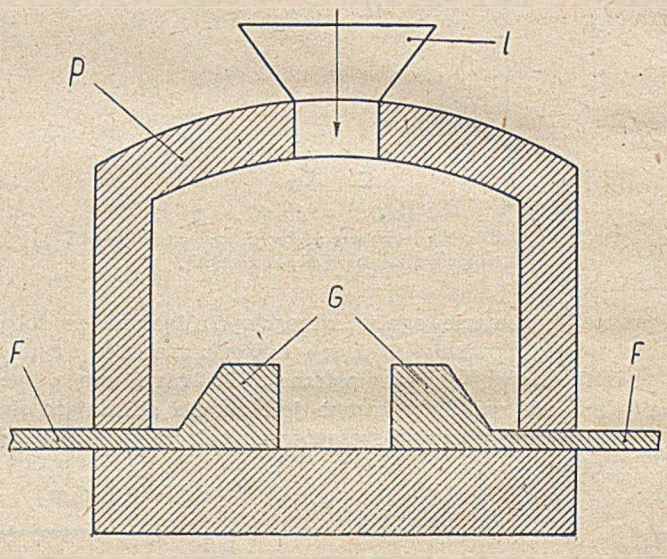
Piece oporowe o ogrzewaniu pośrednim. Pierwsze próby oporowego ogrzewania pośredniego były dokonane przez Bronna, jednakże bez dodatnich wyników, gdyż zużywały one zbyt dużo energii (ok. 6 kWh/kg szkła). Następne konstrukcje pieców były już znacznie lepsze. Tak np. piece tyglowe o pojemności 500 kg szkliwa wykazują pobór energii wynoszący tylko 2,25 kWh/kg.

Piece oporowe ogrzewane bezpośrednio. Próby zastosowania bezpośredniego ogrzewania pieców do topienia szkła były dokonane na piecach - wannach. Sauvageon pierwszy zaproponował bezpośrednie ogrzewanie oporowe pieca - wanny do topienia szkła. Zbudował on piec do topienia szkła o pojemności 10 ton szkła butelkowego. Pobór energii tego pieca wynosił 4,8 kWh/kg stopionego szkła.

Raeders i Cornélius zbudowali typ pieca oporowego o ogrzewaniu bezpośrednim. Odmianą tego rodzaju pieca stanowi piec zbudowany przez Raedersa w Moss (Norwegia) o pojemności 5 ton (moc pobierana — ok. 250 kW).

Rys. 1 przedstawia piec Raedersa zasilany prądem trójfazowym. Na rys. 2 pokazany jest schemat elektryczny tego pieca.

W innego typu piecach oporowych o podgrzewaniu bezpośrednim stosuje się elektrody grafitowe o dużym przekroju umieszczone w pozycji poziomej i niejako „przeszywające" wannę wypełnioną płynnym szkliwem. Strzałki wskazują przebieg prądu przez masę stopionego szkła. Piece te są wydajne co do ilości szkła i oszczędne (2,3 kWh/kg szkła).



Rys. 3. Schemat pieca-wanny o bezpośrednim ogrzewaniu pomysłu Corneliusa.

Piece oporowe o nagrzewaniu mieszanym. Piece te, dogodne w obsłudze, posiadają wbudowane elementy grzejne oporowe a ponadto elektrody zanurzone w masie płynnego szkliwa. Są one budowane na produkcję do 20 ton szkła w ciągu doby. W tak dużych piecach oporowych o nagrzewaniu mieszanym zużycie energii może być doprowadzone do 1,8 kWh/kg.

Piec - wanna o bezpośrednim ogrzewaniu. Piec ten zaopatrzony jest w masywne elektrody stalowe całkowicie zanurzone w masie stopionego szkliwa. Schemat tego pieca pomysłu Cornéliusa pokazany jest na rys. 3. Piec zasilany jest prądem zmiennym jednofazowym. (G. M. Fours électriques pour la fusion du verre. **Electricité.** Zeszyt 149, kwiecień 1949 r.). — *A. B.*

INDUKCYJNY POMIAR SZYBKOŚCI PRĄDÓW WODY W MORZACH I OCEANACH. — Ażeby zrozumieć zasadę pomiarów wg tej metody rozpatrzmy schemat na rys. 1.

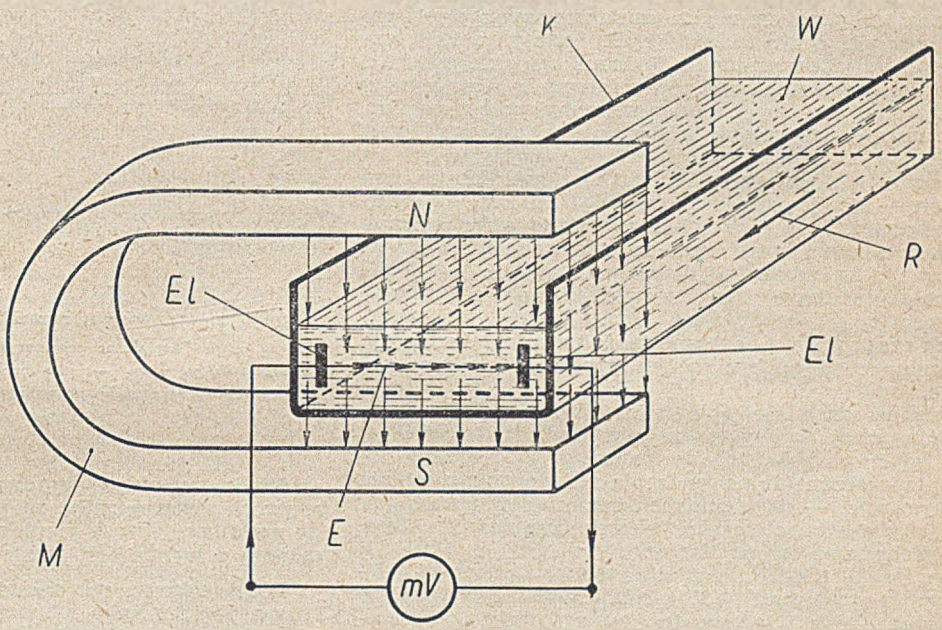
W szklanym korytku **K** płynie strumień wody morskiej **W** w kierunku pokazanym strzałką **R**. Woda morska zawiera w stanie rozpuszczonym wiele różnych soli i dlatego jest przewodnikiem prądu elektrycznego.

Jeśli umieścimy nad korytkiem **K** i pod tym korytkiem bieguny **N** i **S** magnesu podkowiastego **M**, to na pewnej długości korytko i płynąca w nim ciecz znajdą się w polu linii sił tego magnesu.

Ponieważ woda morska płynie, a więc jest w ruchu (w polu magnetycznym), a zarazem jest ona przewodnikiem — zostaną w niej wzniecione siły elektromotoryczne, jak to pokazane jest na rys. 1 strzałkami **E** (reguła prawej dłoni).

Zachodzi tu całkowite podobieństwo do ogólnie znanego zjawiska wzniecania siły elektromotorycznej w pręcie metalowym poruszanym w polu magnetycznym jak to przypomina nam rys. 2.

Jeżeli następnie zanurzymy w przepływającej wodzie morskiej elektrody z blachy metalowej i połączymy je

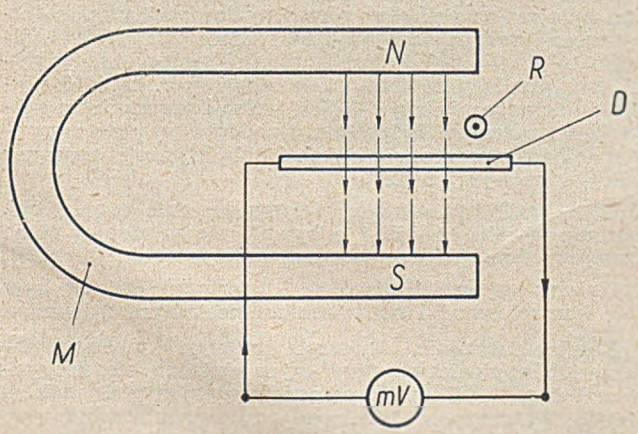


Rys. 1. Zasada wzniecania sił elektromotorycznych w wodzie morskiej.

K — korytko szklane; W — woda morska; R — kierunek ruchu; M — magnes; NS — bieguny magnesu; E — kierunek siły elektromotorycznej; El — elektrody blaszane; mV — miliwoltomierz.

z miliwoltomierzem o dużej oporności, jak to pokazano na rys. 1, będziemy mogli zmierzyć w przybliżeniu wzniecaną siłę elektromotoryczną.

Ponieważ pole magnetyczne jest stałe, a przewodność wody morskiej przyjmujemy także jako wielkość stałą, z wielkości pomierzonej siły elektromotorycznej możemy wnioskować o szybkości ruchu wody.



Rys. 2. Wzniecanie siły elektromotorycznej w pręcie metalowym poruszanym w polu magnetycznym.

M — magnes; NS — bieguny magnesu; D — drut poruszany w polu magnesu; R — symboliczne oznaczenie kierunku ruchu drutu D wskazujące, iż drut ten porusza się jakgdyby wychodząc z poza rysunku i posuwa się w kierunku do patrzącego na rysunek; mV — miliwoltomierz.

Ten sposób pomiaru ma szereg zalet, gdyż:

1) pozbawiony jest części ruchomych, które łatwo niszczą się w wodzie morskiej;
2) rozstawiając odpowiednio elektrody, można ogarnąć pomiarem znaczne obszary i uzyskać dla nich średnią szybkość ruchu mas wody.

Pierwsze doświadczenia w przeprowadzaniu tego rodzaju pomiarów szybkości mas wody podczas przypływu i odpływu oceanów i innych prądów morskich były przeprowadzane z dwoma elektrodami blaszanymi oddalonymi od siebie o 1 km (a w niektórych doświadczeniach nawet o wiele kilometrów). Jako pole magnetyczne, wyzyskiwano **pole magnetyczne ziemskie.** Elektrody były sporządzone z blachy srebrnej; na ich powierzchni wytwarzano warstewkę nierozpuszczalnego chlorku srebra.

Mierząc siłę elektromotoryczną między elektrodami, wnioskowano o średniej szybkości ruchu wody. Jak już wspomniano, pomiar ten daje możność ogarnięcia dużych obszarów.

Do pomiarów szybkości wody w pewnym określonym punkcie zostało zbudowane na tej samej zasadzie nieco odmienne urządzenie; odległość między elektrodami zredukowano tu do 0,35 m. Dla zwiększenia czułości zastosowano pole magnetyczne wzniecone za pomocą magnesu. Kierunek linii sił tego pola obrano pionowy i zastosowano indukcję magnetyczną rzędu 15 gausów.

W dalszym biegu doświadczeń i prób zamieniono magnes stały na elektromagnes zasilany prądem zmiennym. W związku z tym siła elektromotoryczna indukowana w ruchomej warstwie wody (zależna co do wartości swej od szybkości ruchu) jest zmienna. W wyniku tego odpadają wszelkie przeszkody natury elektrochemicznej, które mogłyby wystąpić na elektrodach zanurzonych w wodzie morskiej, jak np. pasożytnicze siły elektromotoryczne itp.

W tym przyrządzie przy szybkości wody 1 m/sek. indukuje się siła elektromotoryczna około 0,53 mV.

Aby uniknąć indukowania przez zmienne pole magnetyczne sił elektromotorycznych niezależnie od ruchów wody, zastosowano odpowiednie środki zaradcze, które zbadano w stojącej wodzie morskiej (w komorze próbnej). Są to:

a. taki układ przewodów doprowadzających prąd zmienny (zasilający elektromagnes) oraz przewodów odprowadzających napięcie mierzone, aby indukcja wzajemna między nimi była jak najmniejsza;

b. układ kompensacyjny składający się z cewek indukcyjnych sprzężonych ze sobą, włączonych w obwód zasilania oraz w obwód pomiarowy.

W ten sposób zredukowano napięcie pasożytnicze w obwodzie pomiarowym do wielkości 50 μV (mikrowoltów).

Urządzenie to, jak już wspomniano, nie posiada części ruchomych zanurzonych w wodzie; może ona być zanurzona na dowolną głębokość i wykazuje dokładność pomiaru rzędu ± 10%. (B. I. Filipowicz. Indukcjonnyj metod izmierienija skorosti morskich tieczenij. **Elektriczestwo.** Zeszyt 4/1948 r.). *A. B.*

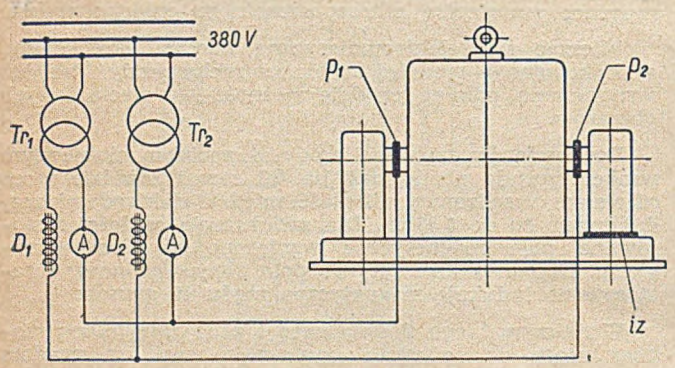
NOWY SPOSÓB SUSZENIA MASZYN ELEKTRYCZNYCH DUŻEJ MOCY. — Nowy sposób suszenia maszyn elektrycznych sposobem nagrzewania za pomocą ciepła pochodzącego od strat indukcyjnych (straty z histerezy i straty od prądów wirowych Foucault'a), jakie powstają w stalowych częściach maszyny (zarówno w stali czynnej magnetycznie, jak i w obudowie maszyny) polega na tym, iż jako **zwój pierwotny** wykorzystywany jest wał maszyny.

Przez wał maszyny — za pomocą nałożonych nań pierścieni — zostaje przepuszczony prąd zmienny o dużym natężeniu. Prąd ten wytwarza **dokoła wału zmienne pole magnetyczne**, które wznieca w masach metalowych maszyny (w kadłubie, łożyskach, podstawach do łożysk, płycie fundamentowej i in.) prądy wirowe. Prądy te nagrzewają wspomniane wyżej części maszyny, wskutek czego zostają nagrzane także uzwojenia maszyny. Uzwojenia te mogą być w ten sposób dokładnie wysuszone.

Ponieważ wszystkie wymienione wyżej części maszyny elektrycznej są wykonane jako „pełne" (nieblachowane), gdyż w warunkach normalnej pracy maszyny nie są one przeznaczone do prowadzenia zmiennego strumienia magnetycznego, — w warunkach sztucznie w sposób powyższy wytworzonych części te wykazują bardzo duże straty pochodzące od prądów wirowych.

Jako źródła prądu przepuszczanego przez wał maszynowy są stosowane bądź jednofazowe transformatory spawalnicze, bądź też normalne transformatory jednofazowe. Maszyna podczas całego przebiegu suszenia stoi nieruchomo.

Na rys. 1 pokazany jest schemat połączeń stosowany przy suszeniu opisanym wyżej sposobem maszyny elektrycznej dużej mocy.



Rys. 1. Schemat połączeń do suszenia maszyny elektrycznej dużej mocy. Tr_1 i Tr_2 — jednofazowe transformatory typu spawalniczego; D_1 i D_2 — dławiki regulacyjne typu spawalniczego; p_1 i p_2 — masywne pierścienie nieruchome osadzone na wale; iz — izolacja jednego z łożysk.

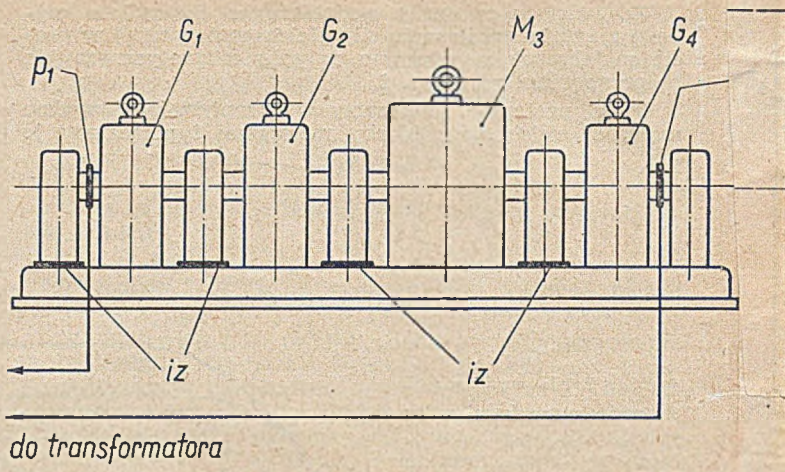
Jak widzimy, dwa transformatory jednofazowe połączone są równolegle, aby móc dostarczyć prądu o dostatecznie dużym natężeniu.

Tym samym sposobem mogą być suszone zespoły składające się z wielu maszyn. Schemat suszenia zespołu wielomaszynowego pokazany jest na rys. 2.

Pierwszy raz zastosowano suszenie tym sposobem (zwanym niekiedy sposobem „jednozwojowym") silnika walcowniczego prądu stałego o mocy 7000 KM; 700 V; od 40 do 100 obr/min. Wolnobieżny ten silnik posiadał duże wymiary i ważył ok. 240 ton.

Tymże sposobem wysuszono następnie z dobrym skutkiem 8 maszyn dużej mocy o łącznej mocy 25000 kW.

Jako źródła prądu użyto transformatora jednofazowego typu zbliżonego do spawalniczego o napięciu pierwotnym (po stronie sieci) 380 V i o napięciu wtórnym (grzejnym) 50 V. Prąd wtórnego uzwojenia transformatora wynosił ok. 400 A.



Rys. 2. Schemat suszenia zespołu wielomaszynowego

G_1, G_2, G_4 — napędzane generatory elektryczne; M_3 — silnik elektryczny napędzający; p_1 i p_2 — pierścienie osadzone na wale; iz — izolacja łożysk, Tr — przewody prowadzące do transformatora grzejnego (typu spawalniczego).

Prąd zmienny doprowadzano do wału maszyny z dwóch stron wirnika za pomocą szczelnie dociśniętych do wału specjalnych pierścieni wykonanych z szyny miedzianej o wymiarach przekroju 100 × 10 mm.

Podstawowym warunkiem zastosowania omawianego tu sposobu suszenia jest konieczność starannego odizolowania wału maszyny od jej kadłuba oraz od płyty fundamentowej.

Duże elektryczne maszyny walcownicze są zwykle budowane w ten sposób, że jedno łożysko lub kilka łożysk są odizolowane od płyty fundamentowej, jak to pokazane jest na rys. 1 i 2. Izolację tę należy sprawdzić przed rozpoczęciem suszenia.

Przy suszeniu wspomnianego wyżej silnika walcowniczego o mocy 7000 KM prąd w wale wahał się przy suszeniu od 500 do 600 A.

Temperatura uzwojeń oraz części stalowych silnika była mierzona w górnej, w średniej oraz w dolnej części maszyny. Największa różnica temperatur wynosiła 10° C. Aby wyrównać te różnice temperatur i przyspieszyć przebieg suszenia, ustawiono dodatkowo 5 piecyków elektrycznych po 4,5 kW rozmieszczonych w dolnej części maszyny. Dzięki temu podczas suszenia maszyny różnica temperatury górnych i dolnych części maszyny wynosiła najwyżej 3° C.

Silnik 7000 KM otulono podczas suszenia brezentami. Suszenie trwało 10 dób i odbywało się w ciepłej porze roku przy temperaturze dziennej powietrza ok. 20÷25° C.

Zmiany oporności uzwojeń i oporności izolacji były stale kontrolowane i notowane w specjalnym dzienniku.

Kolejne suszenie dalszych maszyn wykonywano w sposób analogiczny, przy czym zbliżono się do granicznej dopuszczalnej temperatury uzwojeń tych maszyn (100° C). W ten sposób skrócono czas suszenia maszyn do 6 dób.

Suszenie zespołów kilku maszyn (rys. 2) tym się różni od suszenia maszyn pojedyńczych, iż mniejsze maszyny zostają wysuszone prędzej, większe zaś jednostki muszą być jeszcze jakiś czas „dosuszane".

Opisany sposób suszenia maszyn jest prosty i zasługuje na szerokie zastosowanie w praktyce.

Przewiduje się w ZSRR produkcję specjalnych jednofazowych transformatorów przystosowanych do tego sposobu suszenia maszyn. Napięcie wtórne tych transformatorów ma wynosić 24÷48 V, prąd wtórny ma być — rzędu 1000 A.

Przewidziana jest również produkcja specjalnych termopar umieszczanych w różnych miejscach maszyny. Termopary te sterować mają odpowiednie przekaźniki

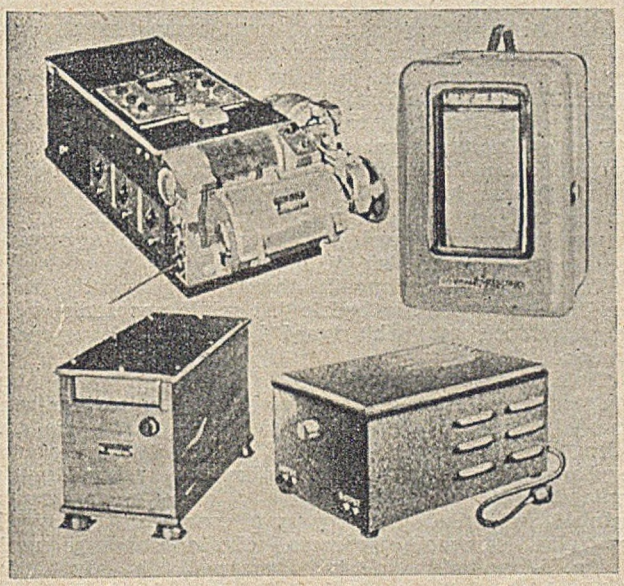
i wyłączniki odłączające transformatory grzejne z chwilą, gdy temperatura suszonej maszyny przekroczy wielkość dopuszczalną.

W ten sposób suszenie odbywać się będzie automatycznie. — (Inż. D. M. Andrianow. Suszka elektriczeskich maszin odnowitkowym metodom. **Elektriczeskije Stancji.** Zeszyt 10/1949 r.). — *A. B.*

ELEKTRYCZNE METODY POMIARU WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH. — Ostatnio rozszerza się wybitnie zastosowanie przyrządów i metod elektrycznych **do pomiarów wielkości nieelektrycznych.** Dotyczy to wielu dziedzin, jak mechanika, fizyka, biologia, medycyna i inne.

Zasadę tych pomiarów stanowi odtworzenie mierzonej wielkości w postaci prądu elektrycznego (naprzykład za pomocą termopary lub fotokomórki), następnie wzmocnienie otrzymanych tą drogą prądów elektrycznych, przez silny wzmacniacz lampowy i wreszcie pomiar natężenia tych prądów za pomocą czułego galwanometru. W dalszym ciągu z uprzednio ustalonych zależności układu: fotokomórka — wzmacniacz — galwanometr, lub: fotokomórka — wzmacniacz — mostek — galwanometr (ułożonych w tablice lub nomogramy — stosownie do rodzaju pomiaru) nietrudno już odcyfrować wynik pomiaru.

Rys. 1 przedstawia komplet podstawowych elektrycznych przyrządów do pomiarów wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi; na lewo u góry pokazany jest oscylograf elektromagnetyczny, na prawo u góry — fotokomórka ze wzmacniaczem; na lewo u dołu galwanometr lusterkowy, na prawo zaś u dołu — samoczynnie równoważący się mostek.

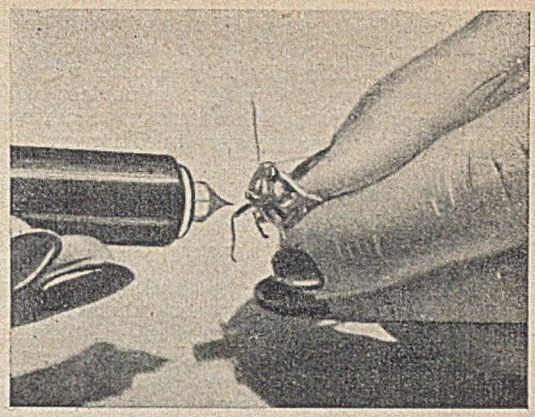


Rys. 1. Widok dokladnych elektrycznych przyrządów pomiarowych do pomiarów wielkości nieelektrycznych.

Podstawowe te przyrządy — zależnie od potrzeby — dodatkowo uzupełniamy innymi, jak termopary, fotokomórki, termoogniwa, filtry optyczne, soczewki, pryzmaty oraz tp. aparaturą laboratoryjną.

Powstają w ten sposób bardzo **różnorodne układy,** którymi można dokonywać analiz chemicznych, badań fizycznych, badań właściwości materiałów magnetycznych i innych, pomiarów naprężeń części maszyn poddanych obciążeniom dynamicznym, badania wyrównoważenia części maszyn szybko wirujących i wielu innych wielkości.

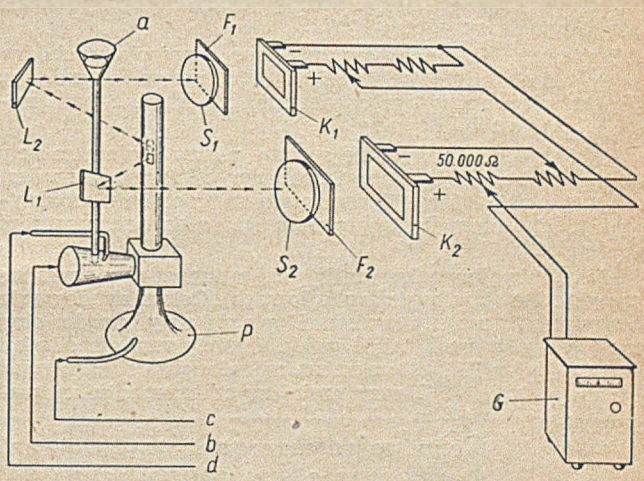
Na rys. 2 pokazano — jako jeden z przykładów — pomiar temperatury ciałka konika polnego za pomocą bardzo małej termopary. Termopara połączona jest ze wzmacniakiem; odczyty są dokonywane za pomocą czułego galwanometru. Przy pomocy tablic dla każdego ze wskazań galwanometru odczytywana jest właściwa temperatura. Dokładne tego rodzaju badania owadów były prowadzone w związku z działaniem na nie trucizn selektywnych, zabójczych dla owadów, a nieszkodliwych dla człowieka. Badania te doprowadziły do wykrycia skutecznego środka owadobójczego „D.D.T.".



Rys. 2. Pomiar za pomocą czułej termopary temperatury ciałka konika polnego (szarańczy) poddanego próbnemu działaniu trucizny selektywnej.

Rys. 3 przedstawia układ do **analizy światłochemicznej.** Układ ten pozwala wykryć zawartość soli sodu lub potasu w badanym roztworze. Pomiar ten wykrywa i ustala ilościowo zawartość soli sodu lub potasu rzędu jednej milionowej części w stosunku do ilości badanego płynu.

Działanie układu jest następujące. Badany roztwór wlewamy do lejka **a**, skąd przedostaje się on do rozpylającej komory **b**; następnie w specjalnej dyszy drobno rozpylone kropelki badanego roztworu są porywane przez strumień powietrza dopływającego pod stałym ciśnieniem przez rurkę **d** do palnika bunzenowskiego **P**. Przez rurkę **c** dopływa do tegoż palnika gaz pod stałym ciśnieniem. Mieszanka ta spala się w palniku, przy czym obecność sodu lub potasu odpowiednio podbarwia płomień palnika. Podbarwienie to jest niewidoczne dla gołego oka. Kierując jednakże wiązkę promieni światła palnika za pomocą luster L_1 i L_2 przez soczewki skupiające S_1 i S_2, a następnie przez specjalne filtry optyczne F_1 i F_2 na fotokomórki K_1 i K_2 związane z układem elektrycznym, otrzymujemy odczyt na galwanometrze **G**.



Rys. 3. Układ światłobarwoczuły do analiz chemicznych.

Za pomocą tablic odczytujemy znaczenie wskazania galwanometru z dokładnością do jednej milionowej części zawartości soli sodu lub potasu w roztworze. (M. A. Princi i H. S. Day. Extending the usefulness of laboratory instruments. **General Electric Review.** Zeszyt 10/1948 r.).— *A. B.*

Skrzynka techniczna.

W. F. Pytanie. Proszę o podanie wzoru służącego do obliczania silnika asynchronicznego trófazowego. Silnik ten mam zamiar przewinąć z uzwojenia aluminiowego na uzwojenie miedziane przy czym zarówno napięcie, jak i moc silnika ma pozostać bez zmiany.

Odpowiedź. Wzór na obliczenie silnika asynchronicznego musiałby zająć wiele stron czasopisma, wobec czego chodzi Panu prawdopodobnie nie o wzór zawierający szczegółowe obliczenie silnika, lecz wzór na przeliczenie silnika asynchronicznego z uzwojeniem aluminiowym na silnik uzwojony miedzianym drutem nawojowym.

Miedź elektrolityczna, z której wykonywane są przewody nawojowe, posiada przewodność ok. 1,6 razy większą niż aluminium. Jeśliby więc silnik, o którym mowa, został przewinięty z zachowaniem tej samej liczby zwojów i tego samego przekroju drutu, to silnik po przewinięciu posiadać będzie pod niektórymi względami lepsze niż dotychczas właściwości, gdyż straty w miedzi będą mniejsze, niż były poprzednio, gdy silnik posiadał uzwojenie aluminiowe. Nagrzewanie się silnika byłoby również mniejsze, natomiast jego dane pozostałyby te same.

Można również dać bez obawy cieńszy przewód miedziany niż dotychczasowy aluminiowy, lecz nie więcej niż 1,6 razy mniejszy jeżeli chodzi o przekrój lub o 1,25 razy mniejszej średnicy.

W każdym razie o ile napięcie ma pozostać bez zmiany, należy dać tę samą liczbę zwojów oraz ten sam schemat uzwojenia. — *H. K.*

Z. M. Warszawa, Grochowska. Pytanie. Otrzymałem partię silników bez tabliczek znamionowych. Proszę o podanie, w jaki sposób można pomierzyć moc i napięcie poszczególnych silników. Jak odnowić tabliczkę znamionową?

Odpowiedź. Przede wszystkim należy określić napięcie znamionowe dla każdego z silników. Można to zrobić, załączając silnik na różne napięcia, poczynając od niewielkich, i wykreślając tzw. krzywą prądu biegu luzem w zależności od doprowadzanego napięcia, czyli — jak mówimy w skrócie — krzywę $I_o = f(U_1)$. Przy małych napięciach krzywa ta będzie linią prostą; dopiero przy większych napięciach będzie się ona zaginała do góry, to znaczy prąd I_o będzie wzrastał szybciej niż napięcie U_1 przyłożone do silnika. Owo „zaginanie się" krzywej oznacza, że zaczyna już występować nasycenie dróg strumienia magnetycznego w stali, a więc zębów i jarzm; oznacza to również, że nie można już za bardzo podnosić dalej napięcia w górę.

Ponieważ dla silników niskiego napięcia wchodzą w grę jedynie napięcia 120; 220 i 380 a czasem 500 woltów, nie jest więc rzeczą trudną określić, na które z tych napięć silnik jest zbudowany.

Trudniej przedstawia się sprawa z określeniem mocy silników. Moc silników asynchronicznych ograniczona jest albo **przeciążalnością** (tj. stosunkiem momentu maksymalnego do momentu znamionowego) albo też **grzaniem się** silnika.

Moment maksymalny najłatwiej wyznaczyć z wykresu pracy silnika (tzw. wykresu kołowego). Celem zbudowania tego wykresu należy wykonać pomiary prądu oraz mocy **biegu luzem** a także prądu i mocy **zwarcia** silnika. Wg. przepisów PNE-23 moment znamionowy silnika musi być co najmniej 1,75 razy mniejszy od momentu maksymalnego. Zazwyczaj jest on jednakże od 2 — 2,5 razy mniejszy, gdyż warunki pracy silników asynchronicznych wymagają często dużej przeciążalności.

Po wyznaczeniu w powyższy sposób mocy oraz prądu znamionowego silnika z wykresu pracy należy wykonać **próbę nagrzewania się** silnika przy obciążeniu prądem znamionowym oraz przy znamionowym napięciu, aż do ustalenia się temperatury.

O ile **przyrost temperatury i uzwojeń** nie przekroczy wartości dopuszczalnej zawartej w przepisach PNE-23, to wtedy dopiero możemy wybić na tabliczce ustaloną w podany wyżej sposób moc silnika przy pracy ciągłej.

Szczegóły wykonania podanych wyżej prób, dopuszczalne przyrosty temperatury oraz przepisy dotyczące tabliczek znamionowych należy wziąć z wydanych przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich przepisów PNE-23.—

Pytanie. Działanie silników asynchronicznych oparte jest na zasadzie transformatora, a więc w uzwojeniu wtórnym silnika powstaje siła elektromotoryczna.

Proszę o wytłumaczenie, dlaczego w silnikach klatkowych (zwartych) pręty tworzące klatkę mogą być nieizolowane, a mimo to nie następuje zwarcie ani przebicie do żelaza.

Odpowiedź. W uzwojeniach klatkowych wirników silników asynchronicznych „zwarcie" poszczególnych zwojów nie ma znaczenia. Całe bowiem uzwojenie klatkowe jest stale zwarte, cała więc wzniecana w zwojach siła elektromotoryczna idzie na pokonanie spadków napięcia prądu zwarcia.

Dla wyjaśnienia sprawy dodamy, że np. zwarcie w uzwojeniu wirnika silnika pierścieniowego ma znaczenie tylko w czasie rozruchu silnika, gdyż wtedy siła elektromotoryczna wzniecana w poszczególnych zwojach jest większa niż spadek napięcia spowodowany prądem w nich płynącym. Różnica ta idzie na pokonanie spadku napięcia na oporze rozrusznika włączonym w obwód wirnika. O ile któryś ze zwojów wirnika jest zwarty, to wtedy cała wzniecana w tym zwoju siła elektromotoryczna idzie na wywołanie w nim prądu zwarcia. Zwój ten nie bierze już udziału w wytwarzaniu napięcia na pierścieniach, powstaje w nim zato o wiele większy prąd płynący w innych zwojach, skutkiem czego występuje większe nagrzewanie się tego zwoju. Gdy po rozruchu silnika zewrzemy rozrusznik, to wówczas zwarcie poszczególnych zwojów nie będzie już miało znaczenia, gdyż we wszystkich zwojach płynąć będzie jednakowy prąd zwarcia.

Co się zaś tyczy przebicia do żelaza, to w wirniku klatkowym istnieje zawsze stałe połączenie metaliczne uzwojeń z żelazem, gdyż wirnik nie jest połączony z siecią, a droga prądu przez blachy jest tylko gałęzią równoległą głównej drogi prądu wirnika przez pręty i pierścienie zwierające. Praktycznie gałąź ta nie ma znaczenia, możność natomiast wykonywania uzwojeń klatkowych bez izolacji ogromnie upraszcza i obniża koszt wykonania silnika. W wyjątkowych tylko przypadkach, gdy chodzi o cichy bieg silnika oraz o kształt krzywej momentu rozruchowego, uzwojenia klatkowe wykonywane są, jako izolowane od blach wirnika. — *H. K.*

Cena pojedyńczego zeszytu wraz z opakowaniem i opłatą pocztową wynosi **zł. 60**
Prenumerata kwartalna wynosi . . . . . **zł. 180**

Prenumeratę należy wpłacać na konto P.K.O. I-4242 „Przegląd Elektrotechniczny" podając na odcinku nadawczym nazwę instytucji lub nazwisko, dokładny adres oraz przeznaczenie wpłaty.

WYDAWCA: Przegląd Elektrotechniczny, Spółka z ogr. odp. Udziałowcy Spółki: Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Centralny Zarząd Energetyki oraz Centralny Zarząd Przemysłu Elektrotechnicznego.

Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego 3/5. Telefon Redakcji 8-95-10, wewn. 46.

KONTO CZEKOWE W P. K. O. I — 4242.

Red. inż-el. Włodzimierz Kotelewski. A 4 — 5½ ark. pap. druk. sat. 70 gr. kl. V form. 61×86. nakład 7.500.

P.W.Z.G. - 02, Wrocław — zam. 194, 23. II. 1950. Druk ukończ. 6. IV. 1950. F-1-31027.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach