NAKŁAD 10000 EGZEMPLARZY CENA ZESZYTU ZŁ. 60.—

WIADOMOŚCI ELEKTROTECHNICZNE

CZASOPISMO DLA ELEKTRYKÓW—PRAKTYKÓW

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

ROK IX MAJ—CZERWIEC 1949 ZESZYT 5/6

TREŚĆ ZESZYTU 5/6-go 1. URZĄDZENIA OCHRONNE GENERATORÓW. 2. EKSPLOATACJA IZOLATORÓW NAPOWIETRZNYCH LINII WYSOKIEGO NAPIĘCIA. 3. ŁĄCZENIE PRZEWODÓW I KABLI ALUMINIOWYCH. 4. ROZDZIELNIE I PODSTACJE WYSOKIEGO NAPIĘCIA. 5. KILKA UWAG O ELEKTROWNIACH WODNYCH. 6. PORAŻENIA ELEKTRYCZNE W POLSCE. 7. POPULARNA ELEKTROTECHNIKA. 8. NOWINY ELEKTROTECHNICZNE. 9. SKRZYNKA TECHNICZNA.

Urządzenia ochronne generatorów.

Inż. TADEUSZ FRANK.

Ogólne uwagi.

Urządzenia ochronne przenaczone są dla zabezpieczenia generatorów przed uszkodzeniami oraz dla zmniejszenia skutków powstałych uszkodzeń.

Należyte wyposażenie generatora w urządzenie ochronne (rys. 1 i 2) jest wprawdzie kosztowne, lecz **opłaca się** w czasie pracy, gdyż żadna maszyna elektryczna nie może być — ze względów gospodarczych — tak zbudowana, aby mieć pewność całkowitego uchronienia jej przed uszkodzeniami wewnętrznymi.

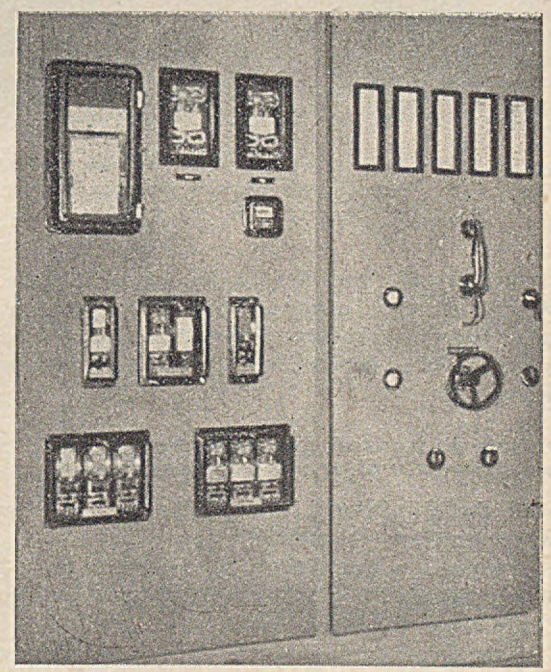
Najdoskonalsze nawet urządzenia ochronne nie są jednakże w stanie zapobiec samemu powstawaniu uszkodzeń. Tym nie mniej **ograniczenie** tych uszkodzeń do spalenia naprzykład kilku cewek jest nie do pogardzenia, gdyż uszkodzenie takie jest **prostsze do usunięcia**, niż wymiana wszystkich cewek oraz blach, co byłoby konieczne w wypadku, gdyby zwarcie w generatorze spowodowało pożar. Nie tylko koszty samego remontu mają tu znaczenie, ale przede wszystkim straty spowodowane dłuższą przerwą w produkcji energii elektrycznej. Jest to moment bardzo ważny, zwłaszcza przy dużych generatorach, których jednodniowy nawet postój może być w pewnych wypadkach kosztowniejszy od kosztu instalacji urządzeń ochronnych.

W okresach gospodarki deficytowej, a więc po każdej wojnie, urządzenia ochronne mają jeszcze ważniejsze znaczenie, gdyż dostawa materiałów potrzebnych dla remontu może być bardzo kłopotliwa i sprawić poważne trudności. A poza tym — wobec braku jednostek prądotwórczych — wypadnięcie z ruchu generatora powodować może dodatkowo wielkie trudności w dostawie energii elektrycznej odbiorcom.

Urządzenia ochronne generatorów dzielimy zasadniczo na dwie grupy; są to:

1) urządzenia ochronne, których zadaniem jest zabezpieczenie przed powstawaniem uszkodzeń, oraz
2) urządzenia ochronne, które **stwierdzają** powstanie uszkodzeń i w zależności od ich wielkości oraz stopnia zagrożenia maszyny powodują odłączenie i odmagnesowanie generatora.

Zakłócenia w pracy generatora mogą być wywołane przede wszyskim przepięciami — bądź o charakterze atmosferycznym, bądź też wywołanymi przez załączanie i odłączanie linii oraz uziemienia na sieciach. Zakłócenia te mogą powstać również wskutek wad ma-



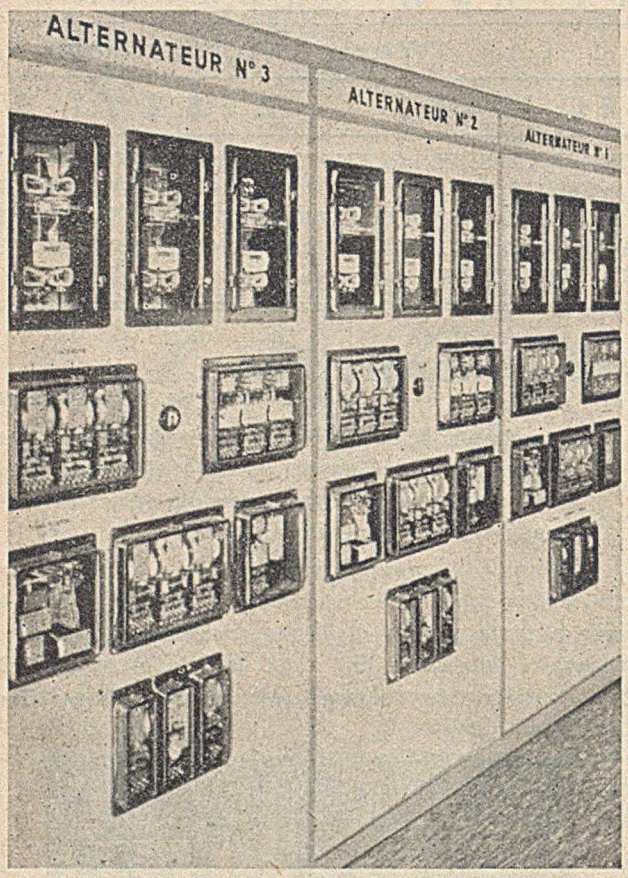
Rys. 1. Widok tablicy z urządzeniami ochronnymi generatora o mocy 47,5 MVA na napięcie 13,5 kV.

OD REDAKCJI.

Pragnąc wyrównać opóźnienie w ukazywaniu się czasopisma, Redakcja „Wiadomości Elektrotechnicznych" wydaje zeszyt niniejszy, jako podwójny w objętości 36 stron. Brakujące strony wyrównamy w dalszych zeszytach.

teriałowych, starzenia się izolacji oraz na skutek przedostania się obcych ciał do wnętrza generatora.

Trwałe przeciążenia generatorów zagrażają ich uzwojeniom i powiększają niebezpieczeństwo możliwości ich uszkodzeń. Należy więc ich unikać albo też w wypadku zaobserwowania — zastosować konieczne środki zapobiegawcze.



Rys. 2. Tablica rozdzielcza dla trzech generatorów, każdy o mocy 27,5 MVA zawierająca wszystkie niezbędne urządzenia ochronne.

Z powyższych uwag wynika, że oprócz odpowiedniej konstrukcji maszyny oraz zastosowania właściwych materiałów, **należy wyposażyć generator w zabezpieczenia** chroniące go przed przepięciami oraz unikać szkodliwych przeciążeń.

Przyczyny uszkodzeń generatorów spowodowane wpływami zewnętrznymi.

Jeżeli chodzi o czynniki zewnętrzne, występujące po za generatorem, to zagrażają mu:

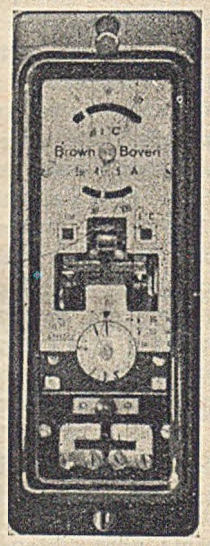
a) **przepięcia** o charakterze atmosferycznym;
b) **przeciążenia** i zewnętrzne zwarcia powodujące szkodliwe nagrzania;
c) **nagłe odciążenia** powodujące niedopuszczalny wzrost napięcia.

Omówimy po kolei urządzenia ochronne, które służą do zabezpieczenia generatorów przed każdym z powyższych zjawisk.

a) W elektrowniach, w których generatory bezpośrednio zasilają sieci napowietrzne, najlepszą ochroną przed przepięciami atmosferycznymi są tzw. odgromniki. Powszechnie stosowane instalowanie odgromników w miejscu wprowadzenia przewodów napowietrznych do rozdzielni zapewnia wtedy tylko dobrą ochronę generatorów, gdy odległość między wejściem linii do rozdzielni a generatorem nie jest zbyt duża, a odgromniki przepięciowe dostosowane są do rzędu izolacji generatora. W przeciwnych wypadkach należy odgromniki zainstalować również na zaciskach generatorów, a ze względu na tzw. odbicie falowe wskazane jest zabudowanie ponadto dodatkowych odgromników między punktem zerowym generatora a uziemieniem.

b) Chcąc uniknąć przeciążenia, wywołującego szkodliwe nagrzanie generatora, musimy kontrolować jego temperaturę lub obciążenie. Bezpośredni pomiar temperatury uzwojeń jest w zasadzie możliwy; elementy pomiarowe znajdują się wówczas pod wysokim napięciem i przyrządy pomiarowe muszą być przyłączane do odpowiednich przekładników (transformatorków) mierniczych. Z tego względu ograniczamy się do pomiaru temperatury możliwie w pobliżu uzwojeń, np. na dnie żłobka lub między dwoma prętami o pełnej izolacji. Wahania temperatury uzwojeń mogą być uchwycone przy takim pomiarze jedynie z pewnym opóźnieniem. Przy silnie wahającym się obciążeniu lub przy krótkotrwałych przeciążeniach wskazania termometru nie odzwierciadlają w tych warunkach właściwej temperatury uzwojenia. Ponadto konstruktorzy maszyn niechętnym okiem patrzą na umieszczanie elementów pomiarowych wewnątrz generatora, gdyż są to ciała obce, które mogą niekorzystnie wpłynąć na pewność ruchu maszyny.

Z tych względów dla ochrony generatorów przed przetężeniami (przeciążeniami) stosujemy obecnie prawie wyłącznie przekaźniki cieplne (rys. 3). Przekaźniki te wskazują dokładny stan nagrzania chronionego obiektu. Zaczynają one działać, gdy tylko zostanie przekroczona temperatura, na którą przekaźnik został nastawiony. W zależności od warunków ruchowych przekaźnik cieplny może spowodować bądź natychmiastowe wyłączenie generatora, bądź też uruchomi on tylko sygnał ostrzegający obsługę, że należy zmniejszyć obciążenie maszyny.



Rys. 3. Widok przekaźnika cieplnego.

Dalszą zaletą przekaźników cieplnych, cenną w ruchu elektrowni, jest umożliwienie krótkotrwałego wykorzystania przeciążalności generatora, co ma duże znaczenie np. gdy wypadną z ruchu inne maszyny pracujące na wspólną sieć.. Oczywiście dopuszczalne jest pewne przeciążenie generatora, ale tylko do chwili osiągnięcia przez uzwojenia takiej temperatury, której wysokość jeszcze nie wpłynie szkodliwie na jakość materiałów izolacyjnych.

Przekaźniki cieplne posiadają charakterystykę zależną od prądu, przez co stanowią idealne zabezpieczenie przed przeciążeniami. Niezależne od prądu przekaźniki nadmiarowe o stałym stopniowaniu czasowym i czasach wyzwalania trwających kilka sekund stanowią z charakteru swej pracy urządzenie odpowiednie dla ochrony generatora przed zwarciami. Nie mogą one mieć natomiast zastosowania, jako urządzenia zabezpieczające przed przeciążeniami.

Niebezpieczne dla pracy generatora są również:

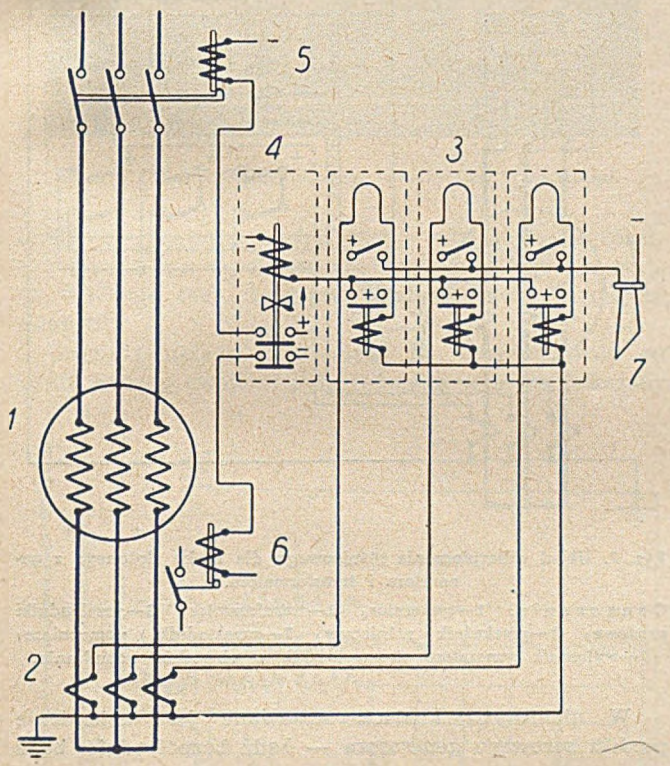
z w a r c i a na szynach zbiorczych elektrowni,

z w a r c i a na sieciach, które nie zostały odłączone przez odpowiednie przekaźniki zabudowane na liniach odchodzących z elektrowni, oraz

w z r o s t y n a p i ę c i a, które zostały spowodowane przekroczeniem normalnej liczby obrotów przez turbinę napędzającą generator.

Przed zwarciami chronią generator przekaźniki nadmiarowe zabudowane bezpośrednio na wyłącznikach generatora, (tzw. przekaźniki pierwotne) lub też przekaźniki nadmiarowe wtórne zabudowane na tablicach rozdzielczych, a przyłączone do przekładników (transformatorków) prądowych ustawionych w rozdzielniach.

W ostatnich czasach zaczęto stosować k o m b i n o w a n ą ochronę przeciwzwarciową złożoną z dwóch lub trzech wtórnych przekaźników cieplnych i jednego przekaźnika czasowego — jak to pokazane jest schematycznie na układzie na rys. 4.



Rys. 4. Schemat zabezpieczenia generatora przy pomocy trzech przekaźników cieplnych i jednego przekaźnika czasowego.
O z n a c z e n i a: 1 — generator; 2 — przekładniki (transformatorki) prądowe; 3 — przekaźniki cieplne; 4 — przekaźnik czasowy; 5 — wyłącznik generatora; 6 — wyłącznik w obwodzie wzbudzenia; 7 — sygnalizacja.

Przekaźniki c i e p l n e chronią generator przed przeciążeniami, a zabudowany w nich element wyłączający — przy osiągnięciu prądu granicznego — w połączeniu z przekaźnikiem czasowym przejmuje zadanie szybkiego wyłączenia generatora po wystąpieniu zwarcia. Urządzenie to pozwala na trójfazową ochronę zarówno przed przeciążeniem, jak i przed zwarciami. Trójfazowe wykonanie jest niezbędne w urządzeniach z tzw. niskoomowym lub bezpośrednio uziemionym punktem zerowym a także przy generatorach, które pracują w bloku [1]) z transformatorami o układzie połączeń trójkąt-gwiazda. W pozostałych wypadkach wystarcza ochrona dwufazowa.

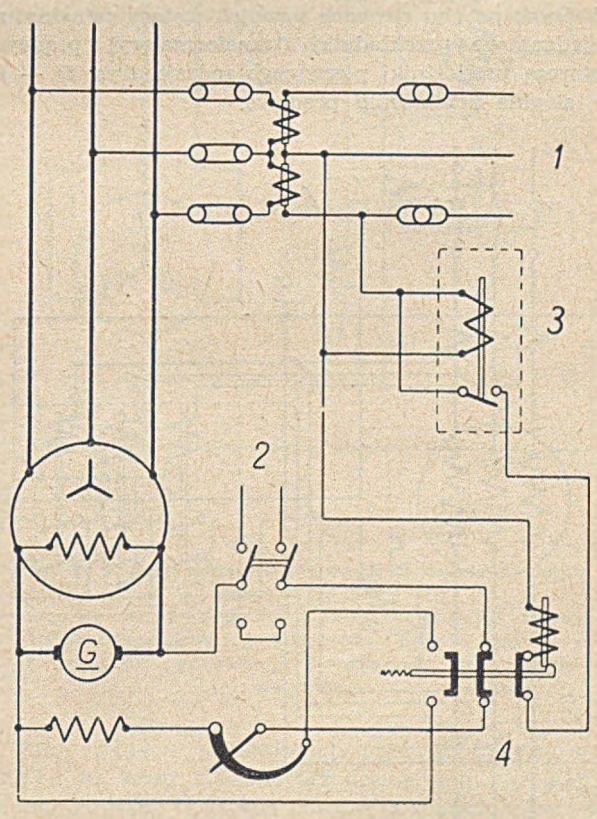
[1]) Jest to układ, w którym transformator stanowi całość (zarówno nieodłączalną, jak i nieprzełączalną na inne generatory) z danym generatorem.

Przy turbogeneratorach ustalony prąd zwarcia jest zbyt niski dla uruchomienia wyzwalacza granicznego, zabudowanego w przekaźniku cieplnym i wówczas stosuje się oddzielne przekaźniki o charakterystyce niezależnej — dla ochrony przed zwarciami oraz przekaźniki cieplne — dla ochrony przed przetężeniami.

c) Przy n a g ł y m o d c i ą ż e n i u generatora nie powstają na ogół znaczniejsze wzrosty napięcia na generatorze, gdyż samoczynny regulator napięcia powoduje natychmiastowe zmniejszenie wzbudzenia generatora. Ze względu na wysoką pewność pracy nowoczesnych regulatorów napięcia rezygnujemy przeważnie ze specjalnego urządzenia ochronnego, zwłaszcza gdy generatory napędzane są turbinami p a r o w y m i, a to z tego powodu, że turbogeneratory — ze względów mechanicznych — nie wytrzymują znaczniejszego wzrostu liczby obrotów, wobec czego nie bierze się pod uwagę ich ruchu z podwyższonymi obrotami.

Natomiast w generatorach napędzanych turbinami w o d n y m i mogą wystąpić niebezpieczne wzrosty napięcia, gdy zawiedzie regulacja obrotów, a zwłaszcza wtedy, kiedy wzrost liczby obrotów wywołany jest przejściem na obciążenie pojemnościowe, jakie ma np. miejsce przy pracy nieobciążonych linii. Dla ochrony przed tego rodzaju przepięciami stosowane są z reguły p r z e k a ź n i k i p r z e p i ę c i o w e o charakterystyce niezależnej od częstotliwości sieci. Przy mniejszych przepięciach przekaźnik ten działa z pewnym o p ó ź n i e n i e m czasowym; natomiast przy niebezpiecznych przepięciach następuje n a t y c h m i a s t o w e odłączenie — na skutek zadziałania wyzwalacza nastawionego na najwyższą dopuszczalną wartość napięcia.

Rys. 5 przedstawia schemat załączenia przekaźnika



Rys. 5. Układ połączeń przekaźnika przepięciowego w elektrowni o małej mocy zainstalowanej nie posiadającej pomocniczego źródła prądu stałego.
O z n a c z e n i a: 1 — przyłączenie aparatów pomiarowych; 2 — przyłączenie regulatora napięcia; 3 — przekaźnik przepięciowy; 4 — wyłącznik w obwodzie wzbudzenia.

przepięciowego w małej elektrowni, która nie posiada niezależnego źródła prądu pomocniczego. Przekaźnik przepięciowy i regulator napięcia generatora przyłączone są tu do oddzielnych przekładników (transformatorków) napięciowych. Jest to dlatego konieczne, że w razie uszkodzenia przekładnika zasilającego regulator napięcia, wzbudzenie generatora nastawione jest przez regulator na najwyższe napięcie. Przekaźnik napięciowy winien zadziałać i odłączyć generator. Ale może to nastąpić tylko wtedy, gdy jest on przyłączony do innych przekładników. Dlatego też przyłączamy go do tych przekładników napięciowych, do których przyłączone są aparaty pomiarowe. O ile moc tych przekładników jest zbyt mała, stosujemy specjalne przekaźniki przepięciowe o małym poborze mocy w połączeniu z oddzielnym przekaźnikiem czasowym.

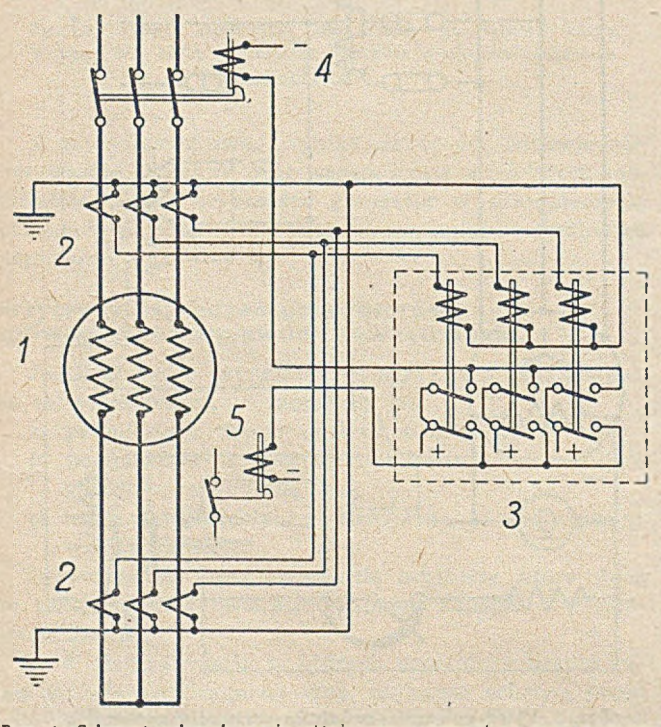
Uszkodzenia wewnętrzne generatorów.

Rozróżniamy następujące uszkodzenia wewnętrzne generatorów:

a) zwarcia między fazami;
b) zwarcia między zwojami jednej fazy;
c) zwarcia z ziemią uzwojenia stajana generatora, oraz
d) zwarcia z ziemią uzwojenia wirnika generatora.

W celach ochronnych stosowane są — zależnie od rodzaju tych zwarć — różnorodne urządzenia ochronne, które omówimy po kolei.

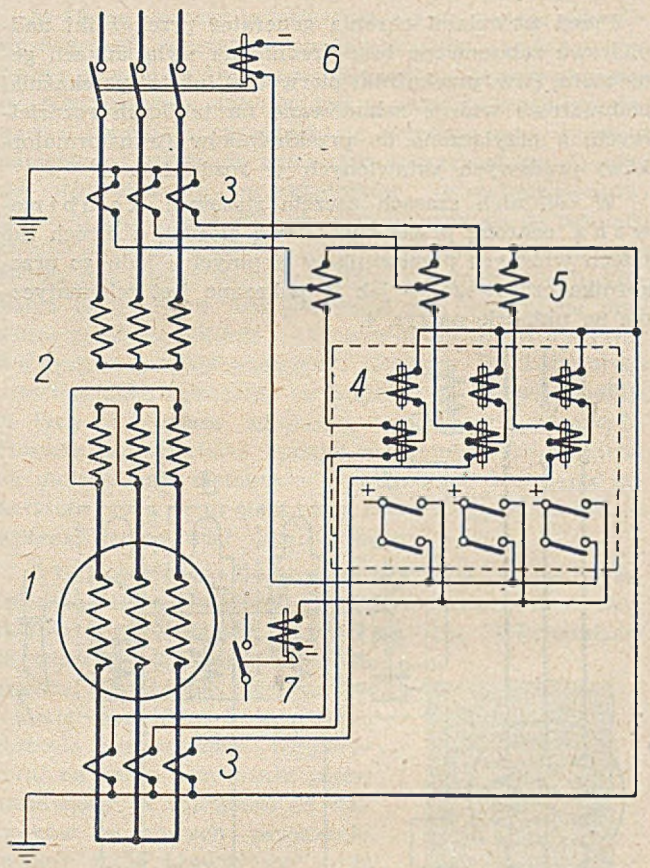
a) **Dla ochrony przed zwarciami między fazami** generatora stosowane są przekaźniki różnicowe. Używane są dwa rodzaje tych przekaźników: zwykłe przekaźniki prądowe oraz skompensowane (tzw. „procentowe") przekaźniki różnicowe. Dla generatorów, w których po obu stronach uzwojeń statora zabudowane są jednakowe przekładniki (transformatory) prądowe, wystarczą przekaźniki pierwszego rodzaju (rys. 6) — tj. tzw. zwykłe przekaźniki prądowe.



Rys. 6. Schemat zabezpieczenia różnicowego generatora przy pomocy „zwykłego" przekaźnika prądowego.
Oznaczenia: 1—generator, 2—przekładniki prądowe, 3—przekaźnik różnicowy, 4—wyłącznik generatora, 5—wyłącznik w obwodzie wzbudzenia.

Dla ochrony transformatorów oraz bloków złożonych z generatorów i transformatorów stosuje się tzw. „procentowe" przekaźniki różnicowe. Na rys. 7 pokazany jest schemat układu ochronnego grupy (bloku) złożonej z generatora i transformatora.

Ochrona różnicowa przedstawia proste i pewne zabezpieczenie o dużej czułości i dlatego jest stosowana bardzo często.



Rys. 7. Układ zabezpieczenia różnicowego dla bloku złożonego z generatora i transformatora.
Oznaczenia: 1—generator, 2—transformator, 3—przekładniki prądowe, 4—przekaźnik różnicowy, 5—przekładniki pomocnicze, 6—wyłącznik generatora, 7—wyłącznik w obwodzie wzbudzenia.

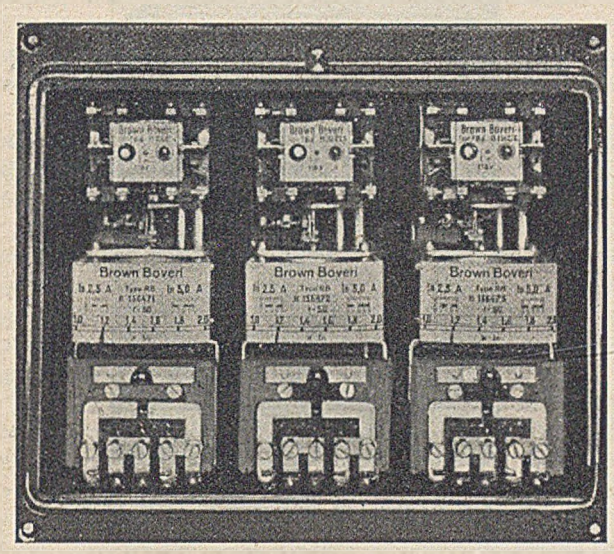
W niektórych krajach stosowane jest uziemienie punktu zerowego generatora — bądź bezpośrednio, bądź też przez opór omowy o niskiej wartości; ma to na celu spowodowanie zadziałania przekaźników różnicowych w wypadku zwarcia z ziemią. Metoda ta ma jednak poważną wadę, albowiem każde zwarcie z ziemią staje się tu jednocześnie zwarciem między fazami, co jest nieprzyjemne, zwłaszcza przy przejściowych zwarciach z ziemią w sieciach napowietrznych.

Ponadto w razie zwarcia z ziemią w generatorze prąd zwarcia międzyfazowego staje się z reguły przyczyną wystąpienia w miejscu zwarcia uszkodzeń poważniejszych, niż te, które spowodowałby niewielki prąd zwarcia z ziemią. Z tego też powodu zrezygnowano ze stosowania przekaźników różnicowych dla ochrony przed zwarciami z ziemią; w tym ostatnim celu stosuje się inne rodzaje zabezpieczeń. Np. na rys. 8 pokazany jest trójbiegunowy przekaźnik różnicowy.

b) Stosowanie **ochrony przed zwarciami pomiędzy zwojami jednej fazy** zależy od rodzaju budowy maszyny i dlatego wybór tej ochrony uzależniony jest od rodzaju uzwojenia. W uzwojeniu o jednym pręcie w żłobku nie ma obawy zwarć międzyzwojowych, natomiast w ge-

neratorach na wysokie napięcie, posiadających uzwojenia cewkowe niebezpieczeństwo tych zwarć istnieje.

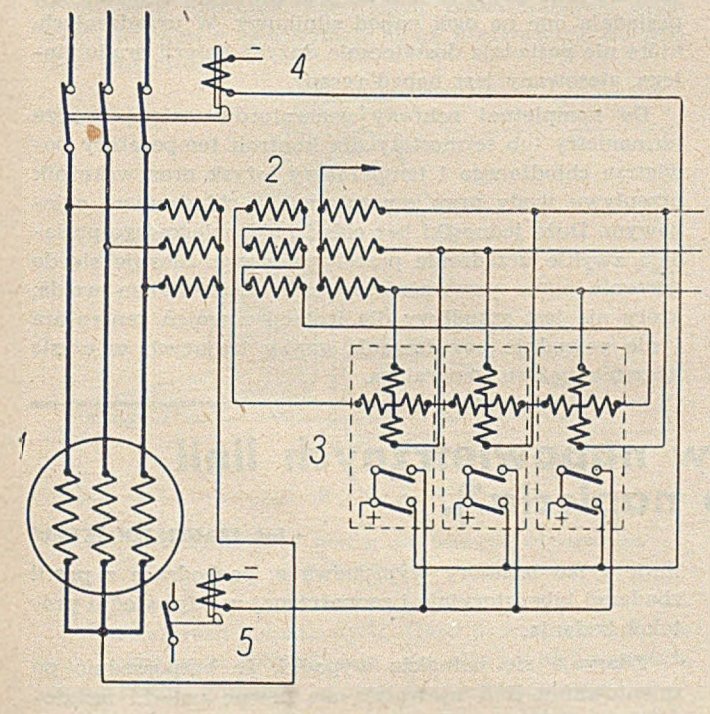
W generatorach, w których w jednej fazie zastosowano dwa równoległe uzwojenia, można przez porównanie prądów w obu równoległych fazach uzyskać proste



Rys. 8. Widok trójbiegunowego przekaźnika różnicowego.

urządzenie ochronne o charakterze zabezpieczenia różnicowego. Na rys. 5 pokazany jest schemat, który pozwala na ustalenie fazy, w której nastąpiło zwarcie między zwojami.

Schemat układu ochronnego do zabezpieczenia od zwarć między zwojami jednej fazy generatora pokazany

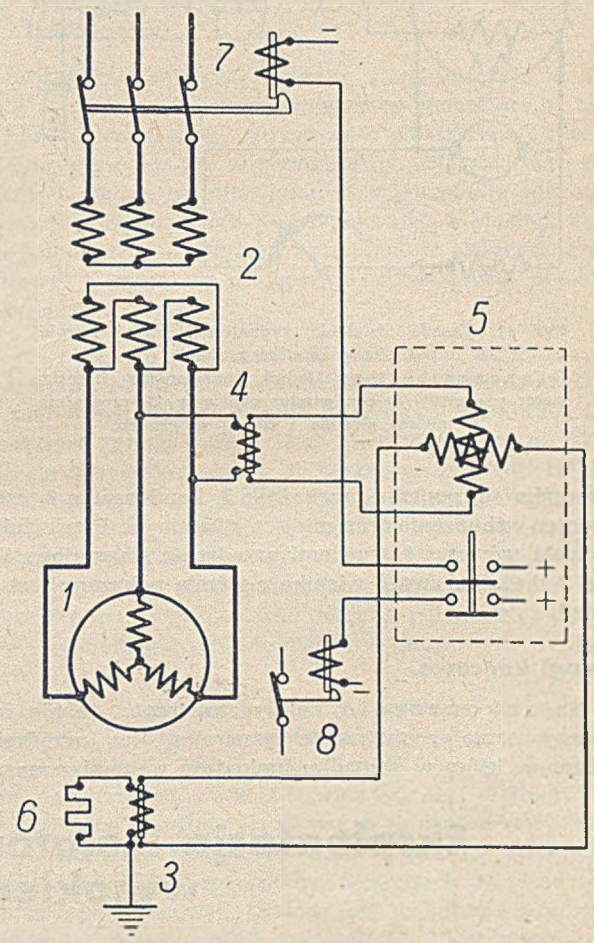


Rys. 9. Schemat zabezpieczenia od zwarć zwojów jednej fazy generatora. Oznaczenia: 1—generator, 2—przekładnik napięciowy, 3—przekaźnik, 4—wyłącznik generatora, 5—wyłącznik w obwodzie wzbudzenia.

jest na rys. 9. Pozwala on na ustalenie fazy, w której nastąpiło zwarcie między zwojami.

c) Zabezpieczenie od **zwarć z ziemią uzwojenia stojana generatora** jest bardzo ważne, albowiem najpoważniejsze uszkodzenia generatorów zaczynają się jako zwarcie z ziemią. Ponadto inne rodzaje uszkodzeń generatorów przeistaczają się zwykle bardzo szybko w zwarcia z ziemią. Z tego względu urządzenia do ochrony przed zwarciami z ziemią musi być przede wszystkim zastosowane i to w każdym generatorze.

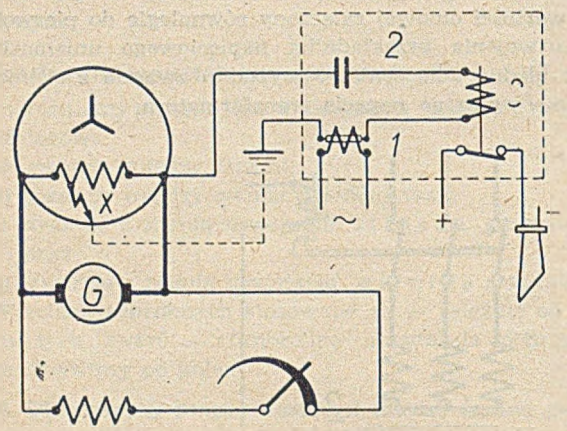
Dla układów blokowych składających się z generatora i transformatora o jednakowej mocy, urządzenie to jest bardzo proste: wystarczy kontrolować napięcie punktu zerowego w stosunku do ziemi przy pomocy prostego przekaźnika przepięciowego, przyłączonego poprzez przekładnik napięciowy. Jedno z uzwojeń przekaźnika załączone jest poprzez przekładnik napięciowy do napięcia przewodowego, drugie zaś — do napięcia między punktem zerowym a ziemią (rys. 10). Czułość przekaźnika pozwala na ochronę do 95% całego uzwojenia generatora. Opór o dużej wartości omowej załączony równolegle do pierwotnego uzwojenia przekładnika napięciowego uniemożliwia tzw. błędne odłączenia w wypadku zwarcia z ziemią po stronie wyższego napęcia transformatora.



Rys. 10. Schemat zabezpieczenia od zwarć uzwojenia stojana generatora z ziemią.
Oznaczenia: 1—generator, 2—transformator, 3 i 4—przekładniki napięciowe, 5—przekaźnik, 6—opór rzeczywisty, 7—wyłącznik generatora, 8—wyłącznik w obwodzie wzbudzenia.

Przy kilku generatorach pracujących równolegle na szyny zbiorcze urządzenie ochronne staje się skomplikowane; musi ono bowiem pracować selektywnie, to znaczy wyłączać tylko ten generator, w którym nastąpiło zwarcie z ziemią. Selektywność tę uzyskujemy przy pomocy kierunkowych przekaźników ziemnozwarciowych, które ustalają kierunek prądu zwarcia, a tym samym i miejsce uszkodzenia.

d) Zwarcia z ziemią uzwojeń wirnika generatora nie są tak niebezpieczne, jak zwarcia uzwojeń stojana — przynajmniej tak długo, jak długo trwa właściwe zwarcie z ziemią. Dlatego dawniej ten rodzaj ochrony stosowano bardzo rzadko. O ile jednak — obok jednego już istniejącego — nastąpi drugie zwarcie z ziemią, to skutki jego mogą być bardzo nieprzyjemne. Z tego względu pożądane jest umieszczenie wskaźników zwarcia, aby usunąć zwarcie z ziemią przy najbliższej okazji. Zasada działania urządzenia wskazującego zwarcie z ziemią uzwojeń wirnika pokazana jest na rys. 11. Składa się ono z przekładnika 1, kondensatora ochronnego 2 oraz czułego przekaźnika 3. Gdy w uzwojeniach wirnika wystąpi zwarcie z ziemią (np. w punkcie X) to obwód wtórny przekładnika

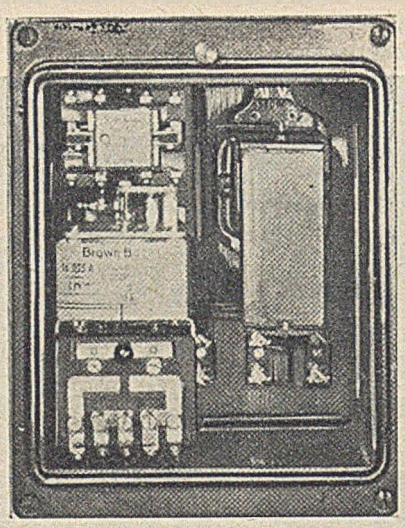


Rys. 11. Zasada działania sygnalizacji zwarć uzwojeń wirnika generatora z ziemią.
Oznaczenia: 1—przekładnik pomocniczy (transformator prądowy); 2—kondensator ochronny; 3—przekaźnik; X—miejsce zwarcia z ziemią w wirniku.

1 zamyka się poprzez przekaźnik 3, kondensator 2, część uzwojeń wzbudzenia oraz miejsce zwarcia X. Przekaźnik 1 zadziała wówczas i uruchomi urządzenie alarmujące. Widok wskaźnika zwarć wirnika z ziemią pokazany jest na rys. 12.

Uwagi końcowe.

Na zakończenie należy zaznaczyć, że nie wystarczy samo zaopatrzenie generatora w urządzenie ochronne, które w wypadku uszkodzeń wewnątrz maszyny spowoduje otwarcie wyłącznika generatora, albowiem uzwojenie maszyny synchronicznej może ulec uszkodzeniu przez własne swe napięcie.



Rys. 12. Wskaźnik zwarć wirnika z ziemią.

Dlatego też stosowane są jeszcze szybkodziałające **urządzenia odmagnesowujące**, powodujące możliwie natychmiastowy zanik pola magnetycznego wirnika.

Dla małych maszyn wystarcza odpowiedni wyłącznik w obwodzie bocznikowym magnesów. Dla maszyn średnich i dużych mocy stosowane są wyłączniki w obwodzie wzbudzenia, zapewniając szybkie i całkowite odwzbudzanie generatora. Wyłączniki te umieszcza się w pobliżu generatorów, aby uniknąć długich przewodów łączących; posiadają one na ogół napęd silnikowy. W urządzeniach, które nie posiadają dostatecznie dużych baterii prądu stałego, stosowany jest napęd ręczny.

Do kompletnej ochrony generatorów należą jeszcze termometry lub termostaty dla kontroli temperatury powietrza chłodzącego i temperatury łożysk oraz wskaźnik przepływu wody przy generatorach z chłodzeniem obiegowym. Duże jednostki bez chłodzenia obiegowego posiadają zwykłe urządzenie przeciwpożarowe. Stosuje się do gaszenia ognia przeważnie butle z dwutlenkiem węgla, który nie jest szkodliwy dla izolacji uzwojeń generatora i nie powoduje powstawania gazów trujących w czasie gaszenia pożaru generatora.

Eksploatacja izolatorów napowietrznych linii wysokiego napięcia*).

Inż. FRANCISZEK SZYMIK

1. Wstęp.

Najważniejszym elementem napowietrznej linii wysokiego napięcia jest izolator. Dobroć izolatora stanowi o wytrzymałości elektrycznej linii, a tym samym o prawidłowym ruchu wykazującym minimalną liczbę przerw i zakłóceń.

Izolatory poddawane są — po ich wykonaniu w fabryce — specjalnym badaniom laboratoryjnym, mającym na celu wykrywanie błędów i usterek fabrycznych. Izolatory nieodpowiednie zostają odrzucone. Odbiorca otrzymuje tylko izolatory wypróbowane, pochodzące z partii zbadanej laboratoryjnie i zaopatrzonej w odpowiedni protokół badania.

Zdarzają się jednakże wypadki, że bezpośrednio po zmontowaniu linii ujawniają się pewne usterki izolatorów, mimo że przeszły one przepisowe badania w fabryce. Wypadki te należy przypisać niedbałości przy transportowaniu izolatorów z fabryki na miejsce budowy, niewłaściwemu opakowaniu w czasie transportu, nieostrożności w czasie montażu itp. Uniknąć tych wypadków można przez stosowanie odpowiednich środków ostrożności zarówno podczas transportu, jak i przy montażu.

W czasie swej pracy na linii napowietrznej podlega izolator różnym niekorzystnym działaniom zewnętrznym,

*) Niniejszy artykuł stanowi przeróbkę artykułu tegoż Autora, jaki ukazał się w „Biuletynie Technicznym ZEZW", rok II, zeszyt 4, str. 212.

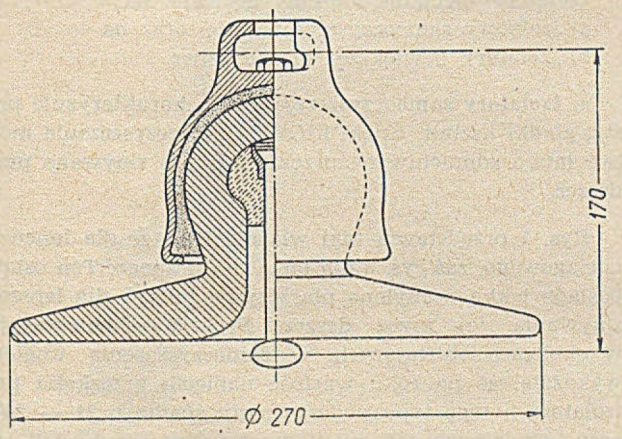
z których najważniejsze są: przepięcia burzowe i łączeniowe, silne wahania temperatury, opady atmosferyczne, zanieczyszczenia pochodzące z otaczającej atmosfery, zmienne obciążenia mechaniczne, złośliwe czy też przypadkowe obrzucanie kamieniami i in. Wpływy te powodują tzw. **starzenie się izolatorów**, objawiające się w zmniejszaniu ich elektrycznej i mechanicznej wytrzymałości i powodujące z czasem konieczność wymiany ich na nowe.

Obowiązkiem personelu eksploatacyjnego jest **okresowe badanie izolatorów pracujących na linii**, gdyż w sprzyjających warunkach mogą one stać się źródłem przeskoków i przebić, powodujących przerwy w ruchu.

Za pomocą specjalnych przyrządów można dokonywać okresowych badań izolatorów na linii **bez potrzeby wyłączania jej spod napięcia.** Na podstawie wyników tych badań izolatory, wykazujące wskutek starzenia się nadmierny spadek wytrzymałości elektrycznej, muszą być wymienione.

Należy tu zwrócić uwagę na pewną wyższość izolatorów kołpakowych w porównaniu do izolatorów stojących. Jak wiadomo, izolator kołpakowy składa się ze specjalnie ukształtowanego talerza porcelanowego, kołpaka i trzpienia (rys. 1). Te dwa ostatnie wykonane są ze stali cynkowanej i połączone z porcelaną za pomocą specjalnego kitu. Izolatory kołpakowe łączone są w łańcuchy izolatorowe przez wkładanie gałkowato zakończonego trzpienia jednego izolatora do specjalnego gniazdka w kołpaku drugiego, umieszczonego niżej, izolatora. W zależności od wysokości napięcia liniowego, łańcuch składa się z mniejszej lub większej liczby izolatorów.

Szybkie wypalanie oraz stygnięcie izolatorów w czasie ich fabrykacji powoduje powstawanie w nich **wewnętrznych naprężeń**, które przy niekorzystnych wpływach w okresie eksploatacji mogą doprowadzić do pęknięć i przebić.



Rys. 1. Jednotalerzowy izolator dla łańcucha odciągowego. odciągowego.

W izolatorach kołpakowych, dzięki prostej ich budowie oraz mniejszym objętościom porcelany, **nie powstają** w czasie ich stygnięcia w procesie fabrykacyjnym naprężenia wewnętrzne i dlatego są one odporniejsze na zmiany temperatury otoczenia. Poza tym są one bardziej wytrzymałe mechanicznie. Przez dodatkowe zastosowanie podwójnych łańcuchów izolatorów kołpakowych można dzięki temu sprostać wszelkim naciągom spotykanym w praktyce.

Uszkodzenia, powstające przy przeskoku łuku wzdłuż łańcucha, polegają przeważnie na częściowym pękaniu lub stopieniu się kilku jego członów, przy czym wytrzymałość pozostałych izolatorów pozwala przeważnie na prowizoryczne utrzymanie ruchu aż do czasu wymiany uszkodzonych elementów. Z uwagi na to oraz ze względu na prostszy montaż i możliwość wymiany poszczególnych członów, istnieje tendencja do stosowania **izolatorów kołpakowych** dla napięć **od 20 kV wzwyż.** Tylko izolatory niższych napięć — 3, 6, 10, 15 i ewentualnie 20 kV (rzadko 30 kV) stosowane są, jako stojące, nasadzone na trzonie żelaznym. Stosowanie przy tych napięciach izolatorów kołpakowych byłoby niecelowe, gdyż wchodziłby tu w rachubę tylko **jeden** człon.

Przeważna liczba powstających z biegiem czasu uszkodzeń izolatorów jest niedostrzegalna i nie wywołuje w normalnym ruchu żadnych zakłóceń. Jednakże pod wpływem przepięć izolatory takie ulegają łatwo przebiciom, powodując tym samym zakłócenia w normalnym ruchu sieci. Zakłóceń tych można uniknąć przez staranne, okresowe sprawdzanie izolatorów.

2. Starzenie się izolatorów.

Wszystkie izolatory, zarówno znajdujące się w eksploatacji jak i przechowywane w magazynach, tracą z biegiem czasu swą wytrzymałość elektryczną i mechaniczną, czyli jak już wspominaliśmy, „starzeją się". Starzenie to polega na pojawianiu się w porcelanie mikroskopijnych szczelin, które — przybierając z biegiem czasu na rozmiarach — obniżają wytrzymałość elektryczną izolatorów i mogą w następstwie spowodować przebicia elektryczne.

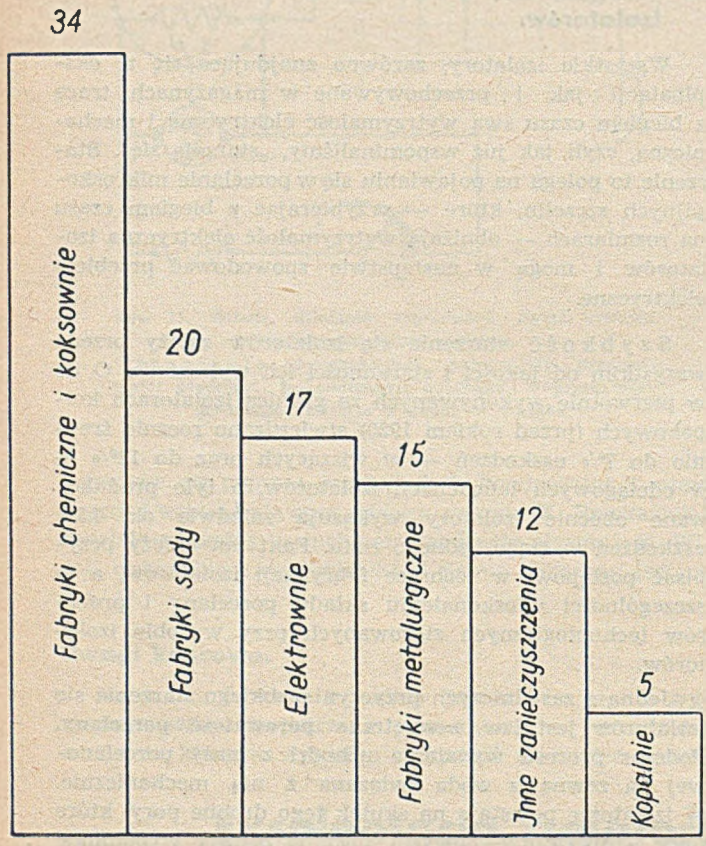
Szybkość starzenia się izolatorów zależy przede wszystkim od jakości i staranności ich wykonania. O ile w pierwotnie wykonywanych za granicą izolatorach kołpakowych (przed rokiem 1920) stwierdzano rocznie średnio do 7% uszkodzeń — w wiszących oraz do 12% — w odciągowych łańcuchach izolatorów, o tyle produkowane obecnie izolatory wykazują zaledwie ok. 0,5% uszkodzeń w ciągu jednego roku. Fakt ten należy przypisać postępowi w technice fabrykacji izolatorów, a w szczególności udoskonaleniu składu porcelany i procesów technologicznych stosowanych przy wyrobie izolatorów.

Jedną z zasadniczych przyczyn szybkiego starzenia się izolatorów jest tzw. **zewnętrzna porowatość porcelany.** Podczas procesu wypalania uchodzi z masy porcelanowej na zewnątrz woda związana z nią mechanicznie. W izolatorze powstają na skutek tego drobne pory, które przy temperaturze powyżej 1000° C zostają wypełnione przez topiący się szpat polny, wchodzący w skład mieszaniny porcelanowej. Dlatego też techniczna porcelana wykazuje zawsze pewną porowatość. Pory wychodzące na zewnętrzną, niestarannie glazurowaną powierzchnię izolatora, przedstawiają niebezpieczeństwo osłabienia jego izolacji na skutek możliwości przeniknięcia wilgoci do wnętrza porcelany.

Nieodpowiednie i niestaranne łączenie części stalowych z porcelaną może być również powodem szybkiego starzenia się izolatorów kołpakowych. Łączenie powinno być wykonane za pomocą specjalnie spreparowanego kitu cementowego, którego współczynnik rozszerzalności termicznej musi być podobny, jak dla porcelany i stali. Stosowanie w kitowanych miejscach elastycznych przekładek tłumi mogące ewentualnie powstać naprężenia wewnętrzne.

Izolator nagrzany na słupie promieniami słonecznymi często zostaje gwałtownie ochłodzony przez deszcz. Przyjmując, że nagrzanie porcelany może wynosić 25° C powyżej temperatury otaczającego ją powietrza, gwałtowny spadek temperatury dojść może do ok. 50° C. Taka zmiana temperatury nie może wyrównać się jednocześnie w całej masie izolatora. Powstają zatem **naprężenia wewnętrzne**, które mogą wywołać mikroskopijne pęknięcia w porcelanie, prowadzące po upływie pewnego czasu do osłabienia wytrzymałości elektrycznej i do przebicia izolatora.

Duży wpływ na szybkość starzenia się izolatora wywiera także **obciążenie mechaniczne**, jakiemu podlega on w czasie swej pracy na linii. Praktyka eksploatacyjna wykazała, że starzenie się izolatorów w łańcuchach odciągowych następuje kilkakrotnie szybciej, aniżeli w łańcuchach nośnych. Bardzo silny wpływ na szybkość starzenia się izolatorów ma także zjawisko drgania (wibracji) przewodów, które powoduje rozluźnienie zamocowania trzpieni oraz powstawanie rys i pęknięć na porcelanie.



Rys. 2. Podział liczby zakłóceń na liniach napowietrznych wysokiego napięcia wg. pochodzenia zanieczyszczeń fabrycznych (wg danych radzieckich).

Starzenie się izolatorów występuje w poszczególnych latach eksploatacji z niejednakowym nasileniem. W pierwszym roku pracy izolatorów notujemy często większą liczbę uszkodzeń spowodowanych fabrycznymi błędami oraz uszkodzeniami, powstałymi w czasie transportu izolatorów oraz ich montażu.

3. Zanieczyszczenie Izolatorów.

Powodem zanieczyszczenia powierzchni izolatorów jest osadzanie się na nich kurzu, wyziewów i dymu z fabryk chemicznych, kotłowni elektrownianych, parowozów, cementowni, kopalń itp. Jeżeli na zanieczyszczonych izolatorach osiada mgła, rosa lub deszcz, to warstwa zanieczyszczeń staje się elektrycznie przewodzącą i wartość napięcia przeskoku izolatorów silnie maleje.

Stopień obniżenia oporu izolacji oraz obniżenia napięcia przeskoku zależy od grubości warstwy zanieczyszczeń, od jej przewodności właściwej oraz od stopnia zawilgocenia powierzchni izolatora.

Bardzo niebezpieczne są zanieczyszczenia izolatorów solami w okolicach nadmorskich. Angielska praktyka wykazuje zakłócenia na skutek zanieczyszczeń izolatorów solami morskimi na liniach, położonych nawet kilkadziesiąt kilometrów od wybrzeży.

Oprócz przeskoków na zanieczyszczonych izolatorach mogą powstawać także pożary drewnianych słupów, wywołane znacznymi prądami upływu, jakie płyną po wilgotnych, zanieczyszczonych izolatorach poprzez drewniany słup do ziemi.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowo podział liczby zakłóceń według pochodzenia zanieczyszczeń fabrycznych, opracowany na podstawie danych z 3-ch lat jednego z rejonów sieci w Z. S. R. R. Widzimy, że najgroźniejsze są zanieczyszczenia przemysłowe, składające się z pyłów w roztworze wody słonej.

Przy projektowaniu linii napowietrznej wysokiego napięcia należy przeprowadzić szczegółowe badania celem ustalenia ewentualnych źródeł zanieczyszczeń, groźnych dla izolacji linii. Uwzględniając rejony zadymione i obfitujące w zanieczyszczenia pyłowe oraz kierunek wiatrów, należy prowadzić linię napowietrzną w ten sposób, aby była ona jak najmniej narażona na działanie zanieczyszczeń. W miejscach niebezpiecznie zanieczyszczanych należy wyposażyć linię albo w izolatory wzmocnione (o większej liczbie członów), albo w izolatory specjalne.

Izolatory specjalne stosuje się o różnej konstrukcji, w zależności od różnorodnych warunków zanieczyszczeń i zawilgocenia, w których mają one pracować.

Izolatory specjalne możemy podzielić na:
a) izolatory samooczyszczające się, oraz na
b) izolatory o większej liczbie żeber.

a. Izolatory samooczyszczające się charakteryzuje prosty, gładki kształt, dzięki któremu zanieczyszczenia mogą być łatwo zdmuchiwane przez wiatr lub zmywane przez deszcz.

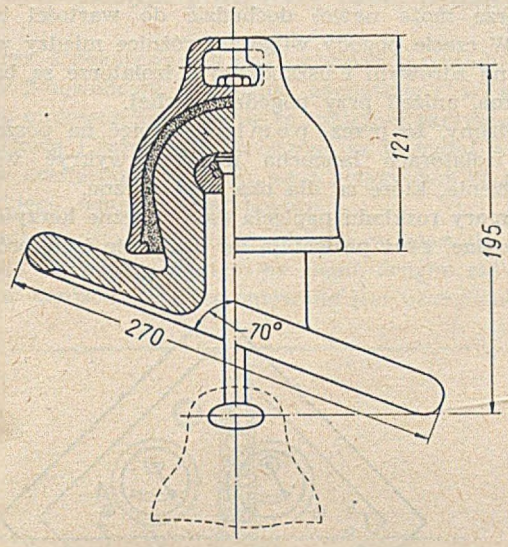
Rys. 1 przedstawia taki właśnie izolator dla łańcucha odciągowego, zaś rys. 3 dla łańcucha nośnego. Ten ostatni posiada lekko pochyloną płaszczyznę talerza dla lepszego zmywania jej przez deszcz. Praktyka eksploatacyjna w okolicach obfitujących w zanieczyszczenia węglowe wykazała, że po roku wartość napięcia przeskoku przy izolatorach tego typu podczas mgły spadła o 21 — 26%, przy normalnych zaś (nie samooczyszczających się!) izolatorach — aż do 65%.

Samooczyszczające się izolatory nadają się do stosowania tam, gdzie zanieczyszczenia nie tworzą na izolatorach silnego, niezmywalnego osadu.

b. Izolatory z większą liczbą żeber charakteryzuje duży stosunek drogi upływu prądu do wysokości izolatora. Równocześnie izolatory te posiadają dobre warunki samooczyszczania przez wiatr i deszcz.

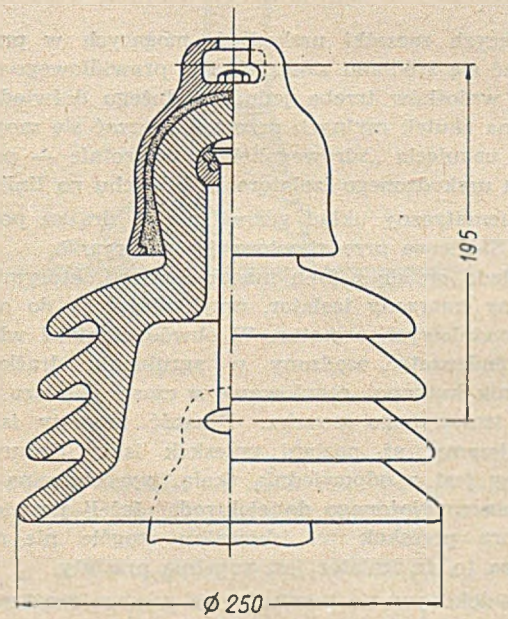
Typy takich izolatorów widzimy na rys. 4 i 5. Pierwszy z nich (rys. 4) jest typem spotykanym u nas; w wykonaniu 3-talerzowym jest on znany, jako izolator „NK 3" (Nebel-Kappenisolator). Wadą tego izolatora jest trudny dostęp do wąskich wgłębień między żebrami, co utrudnia jego czyszczenie.

Izolator pokazany na rys. 5 nie posiada tej wady, gdyż wgłębienia jego są dostępne, co ułatwia ich oczyszczanie. Praktyka angielska wykazała zadowalające wyniki eksploatacyjne tych izolatorów w ciągu 2 lat bez ich czyszczenia, podczas gdy izolatory normalne wymagały regularnego czyszczenia od 2 do 4 razy w ciągu roku.



Rys. 3. Samooczyszczający się izolator kołpakowy, dla łańcucha nośnego.

Na rys. 6 pokazany jest izolator nośny z głęboko ukształtowanymi żebrami wewnętrznymi. Żebra te ulegają wprawdzie zanieczyszczeniom niezmywalnym, jednakże w czasie deszczu i mgły pozostają one suche (względnie nieznacznie wilgotne), dzięki czemu wartość napięcia przeskoku niewiele się obniża.

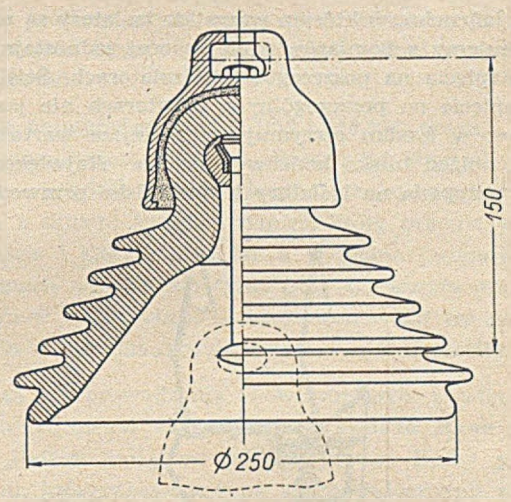


Rys. 4. Izolator wiszący zaopatrzony w większą liczbę żeber (czyszczenie powierzchni utrudnione).

W okolicach obfitujących w zanieczyszczenia należy izolatory zarówno normalne, jak i specjalne, poddawać co pewien czas c z y s z c z e n i u. Czyszczenie odbywa się przy wyłączonej linii za pomocą szmat — suchych lub zmoczonych w wodzie ewentualnie z dodatkiem mydła. Czyszczenie osadów trwalszych, trudno zmywalnych wodą, odbywa się na drodze chemicznej, jak np. za pomocą 5—10% roztworu kwasu solnego. W przypadku, gdy osady na izolatorach tworzą specjalnie trwałą powłokę, niezmywalną w żaden sposób, należy izolatory wymienić na czyste, a zdjęte wysłać do laboratorium celem oczyszczenia ich na drodze chemicznej lub mechanicznej.

Można stosować także mycie izolatorów bez wyłączania linii — za pomocą sikawki strażackiej. Jest to możliwe tylko tam, gdzie dysponujemy odpowiednią ilością wody. Sposób ten wymaga **wielkiej ostrożności** i może być powierzony tylko **kwalifikowanym pracownikom.**

Woda używana do mycia musi wykazywać oporność elektryczną nie mniejszą od 200 Ω/cm^3. Ciśnienie strumienia wody powinno wynosić 4—5 atn. Niższe ciśnienie nie daje gwarancji dobrego spłukiwania zanieczyszczeń; wyższe — budzi obawy uszkodzenia izolatorów i powiększa niebezpieczeństwo robót, gdyż strumień wody o wysokim ciśnieniu posiada daleko większą przewodność elektryczną. Sztuciec węża sikawki musi być u z i e m i o n y. Osoba przeprowadzająca mycie powinna posiadać gumowe rękawice oraz gumowe buty. Długość strumienia wody powinna wynosić co najmniej 10 m.



Rys. 5. Izolator wiszący o większej liczbie żeber o wgłębieniach dostępnych dla czyszczenia.

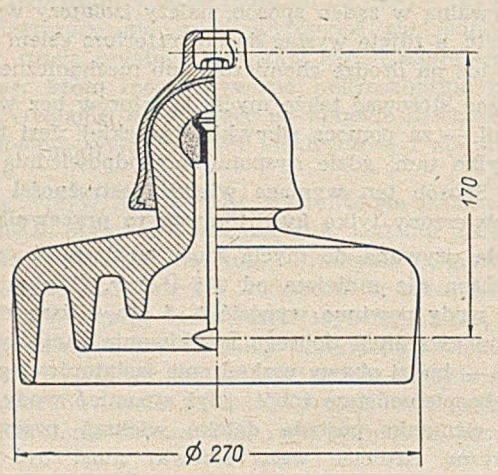
Należy przy tym uważać, aby zanieczyszczone krople wody, rozpryskując się w czasie mycia, nie padały na sąsiednie fazy, gdyż może to wywołać zwarcie międzyfazowe. Podczas mycia występuje silne świecenie, widoczne także przy dziennym świetle. Zniknięcie tego świecenia wskazuje na kompletne oczyszczenie izolatorów.

4. Sprawdzanie izolatorów w ruchu.

Powszechnie stosowane obchody linii służą do wyszukiwania tylko z dołu widocznych zbitych lub nadbitych izolatorów oraz ewent. innych widocznych uszkodzeń linii. Należyta eksploatacja linii, której głównym celem jest ograniczenie do minimum zakłóceń, powinna również przewidywać okresowe badanie izolatorów w ruchu, tj. bez wyłączania linii spod napięcia.

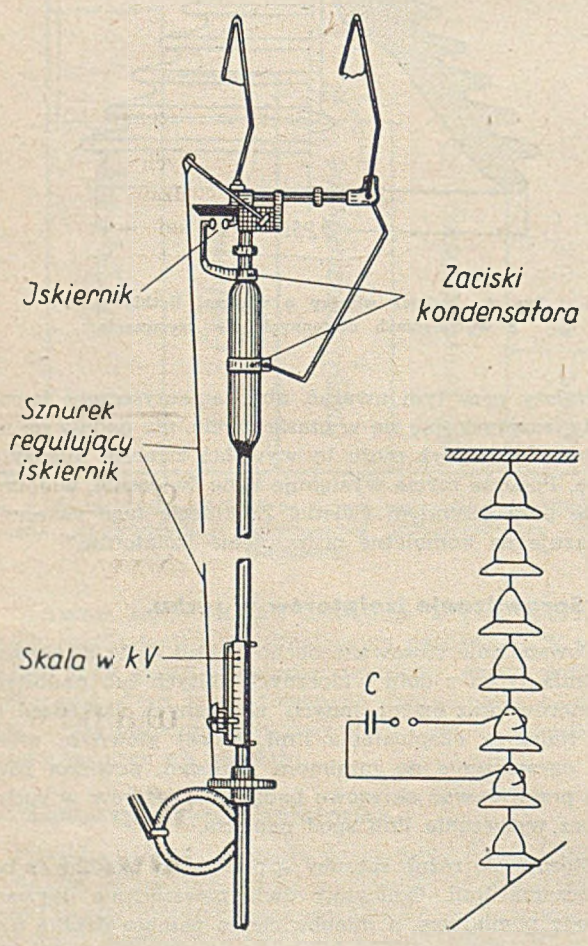
Stosuje się różne sposoby sprawdzania izolatorów bez wyłączania linii. Omówimy dwie powszechnie używane metody pomiarowe, a mianowicie za pomocą drążka Siemensa oraz za pomocą aparatu wysokiej częstotliwości AEG.

Badanie izolatorów łańcuchowych za pomocą drążka pomiarowego polega na mierzeniu napięć panujących na poszczególnych ogniwach łańcucha izolatorowego.



Rys. 6. Izolator wiszący nośny o głębokich żebrach wewnętrznych.

Na łańcuchu, w którym wszystkie izolatory są zdrowe, otrzymujemy z pomiarów mniej-więcej jednostajny rozkład napięcia na poszczególnych izolatorach. Ściśle biorąc napięcie na poszczególnych izolatorach nie jest jednakowe; w środku otrzymujemy mniejsze wartości napięcia, aniżeli blisko końców łańcucha. Największe napięcie przypada na izolatory leżące blisko przewodu.

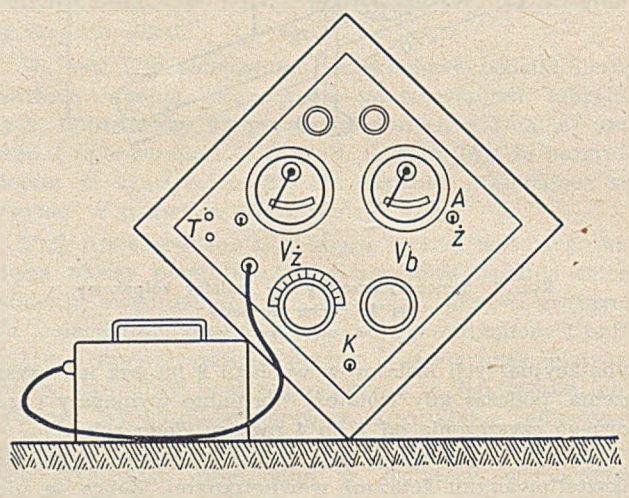


Rys. 7. Schematyczny układ górnej części drążka pomiarowego.

Jeżeli natomiast w łańcuchu znajduje się izolator uszkodzony, to zmierzone napięcie na nim jest wybitnie małe, różniące się znacznie od napięć na sąsiednich „zdrowych" izolatorach; napięcie na uszkodzonym izolatorze może nawet dochodzić do wartości bliskiej zeru. W czasie pogody wilgotnej różnice między wartościami na zdrowym i uszkodzonym izolatorze są bardziej widoczne, aniżeli przy pogodzie suchej.

Widzimy, że przez pomiar napięć na poszczególnych izolatorach łańcucha możemy wykryć wszelkie uszkodzenia, które są dla oka niewidoczne.

Pomiary rozkładu napięcia dają znaczne **korzyści eksploatacyjne**, gdyż pozwalają na usuwanie izolatorów po-



Rys. 8. Schematyczny widok przyrządu do wykrywania pękniętych izolatorów.

siadających zaczątki uszkodzeń, mogących w przyszłości stać się źródłami zakłóceń. Dla prawidłowego wyciągania wniosków trzeba jednakże dużego doświadczenia, gdyż na skutek mylnych orzeczeń zdarzać się mogą wypadki usunięcia „zdrowego" i — odwrotnie — pozostawienia uszkodzonego izolatora w łańcuchu na linii.

Schematyczny układ górnej części drążka pomiarowego Siemensa przedstawiony jest na rys. 7.

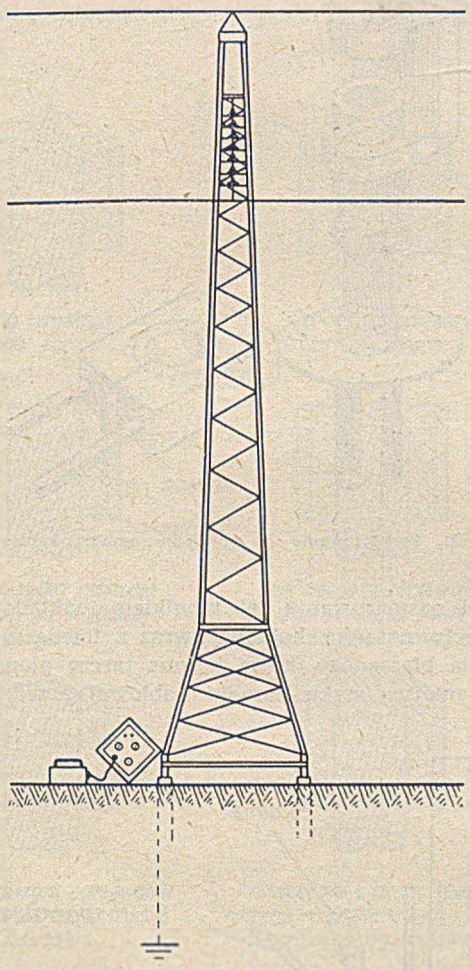
Składa on się z 2-ch macek-elektrod, którymi obejmujemy mierzony izolator, przykładając je do obydwu jego metalowych armatur. W obwód elektrod włączony jest kondensator, osadzony w zgrubieniu drążka oraz iskiernik kulkowy, regulowany w czasie pomiaru za pomocą izolowanego sznurka. Długość przerwy iskrowej zmniejszamy, aż nastąpi przeskok iskry Sznurek połączony jest z odpowiednią skalą, wycechowaną w kV napięcia przyłożonego do elektrod. Jeżeli przy objęciu izolatora przeskok na iskierniku wogóle nie nastąpi, oznacza to, że izolator jest zupełnie przebity.

Do dokonywania pomiarów za pomocą drążka należy używać personelu wykwalifikowanego, zdającego sobie dobrze sprawę z istoty niebezpieczeństw związanych z tymi pomiarami. Przy małej liczbie członów w łańcuchu (poniżej 3) nie wolno wogóle przeprowadzać pomiarów, gdyż w wypadku uszkodzenia jednego członu, zwierając drążkiem drugi człon, możemy spowodować pełne zwarcie danej fazy. Jeżeli w łańcuchu okaże się połowa członów uszkodzonych, to z tych samych powodów należy pomiary na tym łańcuchu przerwać, cały zaś łańcuch izolatorów przeznaczyć do wymiany. **Pomiary drążkiem** można wykonywać **tylko** w czasie **suchej pogody.**

Do wykrywania uszkodzonych izolatorów używa się także przyrządu wysokiej częstotliwości firmy AEG (Hochspannungsfehlersucher). Zasada jego polega na wykrywaniu wyładowań wysokiej częstotliwości wywoływanych przez lekko nawet pęknięty izolator.

Na rys. 8 pokazany jest ogólny widok przyrządu AEG. Jest to 2-obwodowy odbiornik, zaopatrzony w antenę ramową umieszczoną w ramie zewnętrznej skrzyni. Baterie anodowa i żarzenia umieszczone są w małej walizce, którą w czasie pomiaru łączy się z przyrządem za pomocą giętkiego sznura wielożyłowego.

Przyrząd ustawiamy pod słupem w kierunku linii, opierając go jednym kantem na ziemi, drugim zaś — na słupie w miejscu, gdzie zmontowane jest uziemienie słupa (rys. 9). W ten sposób uzyskujemy zmniejszenie wpływów pojemności oraz dobre oddziaływanie na pole wysokiej częstotliwości, skupiające się wokół uziemienia słupa.



Rys. 9. Sposób ustawienia pod słupem linii wysokiego napięcia przyrządu pomiarowego do wykrywania uszkodzonych izolatorów.

Badanie izolatorów za pomocą przyrządu AEG jest znacznie prostsze aniżeli za pomocą drążka. Sprawdzanie za pomocą tego przyrządu odbywa się bez konieczności wchodzenia na słup. Jedynie w razie wykrycia pod którymś ze słupów pola zakłócającego, musimy przeprowadzić dodatkowe badania na tym słupie, a to w celu wykrycia uszkodzonego izolatora w łańcuchu.

Za pomocą uproszczonego drążka pomiarowego wyposażonego w iskiernik kulkowy o stałej długości przeskoku iskrowego (najczęściej 1 mm) zwieramy wtenczas po kolei poszczególne izolatory w danym łańcuchu, obserwując jednocześnie umieszczony pod słupem przyrząd. W chwili zwarcia drążkiem uszkodzonego izolatora wskazanie przyrządu zniknie. Uszkodzony izolator został tym samym wykryty.

Należy zaznaczyć, że przyrząd AEG może być także używany na liniach wyposażonych w izolatory stojące oraz łańcuchowe o małej liczbie członów (poniżej trzech). Uszkodzenia na danym słupie wyszukuje się w takich przypadkach za pomocą obrotowego lusterka, umieszczonego na drążku izolacyjnym. Jeżeli badanie za pomocą tego lusterka nie dadzą wyniku, należy wymienić wszystkie izolatory na podejrzanym słupie i oddać je do zbadania w laboratorium.

5. Zakończenie.

Sprawa należytego badania izolatorów pracujących na liniach wysokiego napięcia jest **sprawą pierwszorzędnej wagi.** Starzejące się z biegiem czasu izolatory stanowią poważne źródło wszelkiego rodzaju zakłóceń, których uniknąć możemy przez wykrywanie nieznacznie nawet uszkodzonych izolatorów za pomocą jednej z podanych wyżej metod.

Linie najwyższych napięć (110 i 220 kV) pracują u nas stosunkowo jeszcze niedługo, dlatego też stan ich izolacji jest względnie zadowalający. Gorzej przedstawia się sprawa z liniami średnich napięć, które pracują już po kilkanaście i kilkadziesiąt lat, a wymiana izolatorów na tych liniach odbywa się tylko przy wyraźnym oraz widocznym w czasie obchodu uszkodzeniu lub też po wystąpieniu zakłócenia spowodowanego przez izolator.

Drogą przeprowadzania obowiązujących i odpowiednich co do metod **okresowych sprawdzań stanu izolacji na liniach** możemy uniknąć pewnej liczby przerw w ruchu, które spowodowane są niewidocznymi na zewnątrz uszkodzeniami izolatorów, a które zwykliśmy najczęściej kłaść na karb bądź to wyładowań atmosferycznych bądź też przepięć łączeniowych.

Zachęcajcie znajomych
ELEKTRYKÓW
i ENERGETYKÓW
do prenumerowania
„WIADOMOŚCI
ELEKTROTECHNICZNYCH"

Łączenie przewodów i kabli aluminiowych.

Inż. STANISŁAW BŁADOWSKI.

(Ciąg dalszy).

Spawanie nasadek kablowych.

Końce kabli aluminiowych zaopatrzone są w głowice kablowe, przy czym żyły aluminiowe bądź to przechodzą przez głowicę i łączą się z innymi aluminiowymi częściami urządzenia elektrycznego za pośrednictwem aluminiowych nasadek kablowych, bądź też (gdy głowica kablowa służyć ma do połączenia kabla aluminiowego z szynami lub przewodami miedzianymi) żyłę aluminiową spawa się z nasadką kablową aluminiowo-miedzianą.

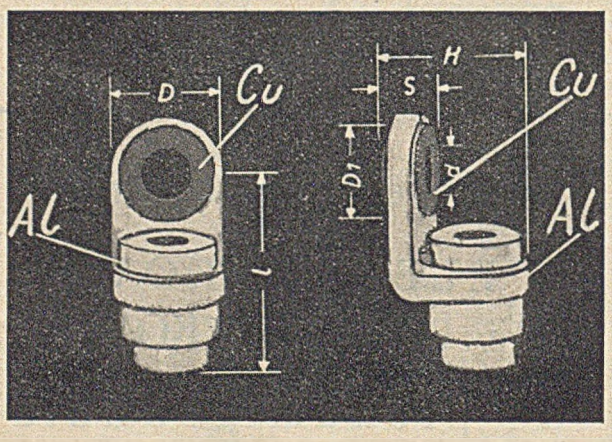
Wymiary nasadki aluminiowo-miedzianej podaje tablica II.

Tablica II.
Wymiary nasadki kablowej aluminiowo-miedzianej.

Przekrój żyły mm²	Wymiary w mm					
	D	D_1	H	d	S	l
35	21	16	21	6,5	7	31
50	24	20	25	8,5	8	46
80	27	23	29	10,5	9	62
95	27	23	32	10,5	9	62
150	31	28	36	13,5	10	67
240	31	23	46	13,5	11	68
300	42	35	46	17	11	72
400	42	35	56	17	14	75

Wewnętrzna część nasadki, która ma połączenie z szynami lub z zaciskami miedzianymi, wykonana jest w postaci pierścienia miedzianego wtopionego do zacisku aluminiowego.

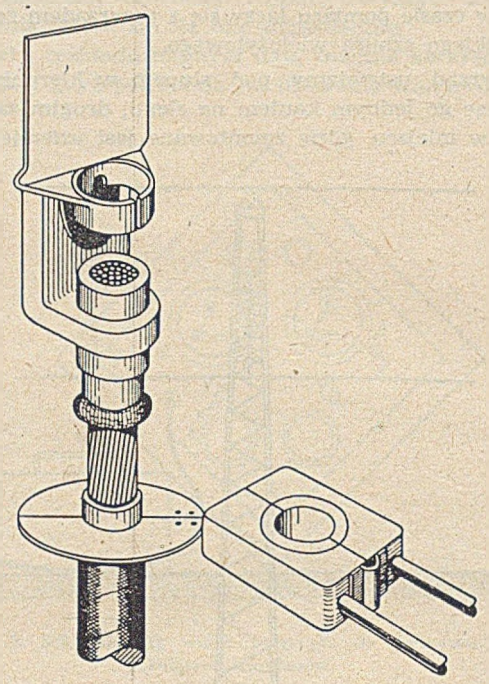
Połączenie żył aluminiowych z nasadką kablową aluminiową lub aluminiowo-miedzianą wchodzi w grę nie tylko przy zakończeniu żył kablowych, ale także żył przewodów izolowanych — szczególnie przekrojów większych (powyżej 16 mm²). Zwracamy w tym miejscu uwagę na cokolwiek odmienny kształt, jaki posiadać muszą nasadki aluminiowe, podobnie jak i aluminiowo-miedziane (rys. 30). Posiadają one mianowicie zakończenie w postaci poziomego nadlewka, umożliwiającego umocowanie formy i tarczy ochronnej, dla zabezpieczenia powierzchni pionowych nasadki przed działaniem płomienia spawalniczego.



Rys. 30. Nasadka kablowa aluminiowo-miedziana.

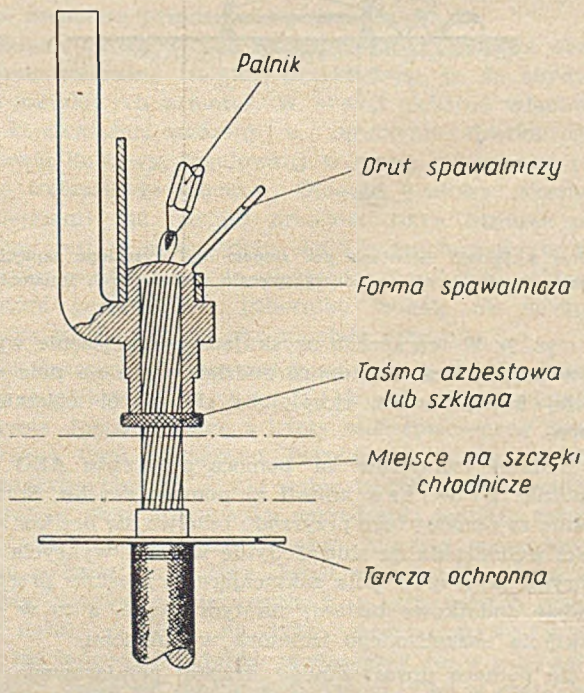
Spawanie nasadek kablowych (rys. 31) odbywa się następująco:

z żyły zdejmuje się izolację na długości nasadki z dodaniem 20—30 mm, aby można było pod nasadką nałożyć szczęki chłodnicze. Po oczyszczeniu drutów żyły



Rys. 31. Przygotowanie do spawania nasadki kablowej.

z oleju i nasmarowaniu jej topnikiem, nakłada się na koniec żyły nasadkę kablową wraz z formą w postaci pierścienia blaszanego, która trzyma tarczę pionową dla ochrony miejsca styku nasadki kablowej przed płomie-

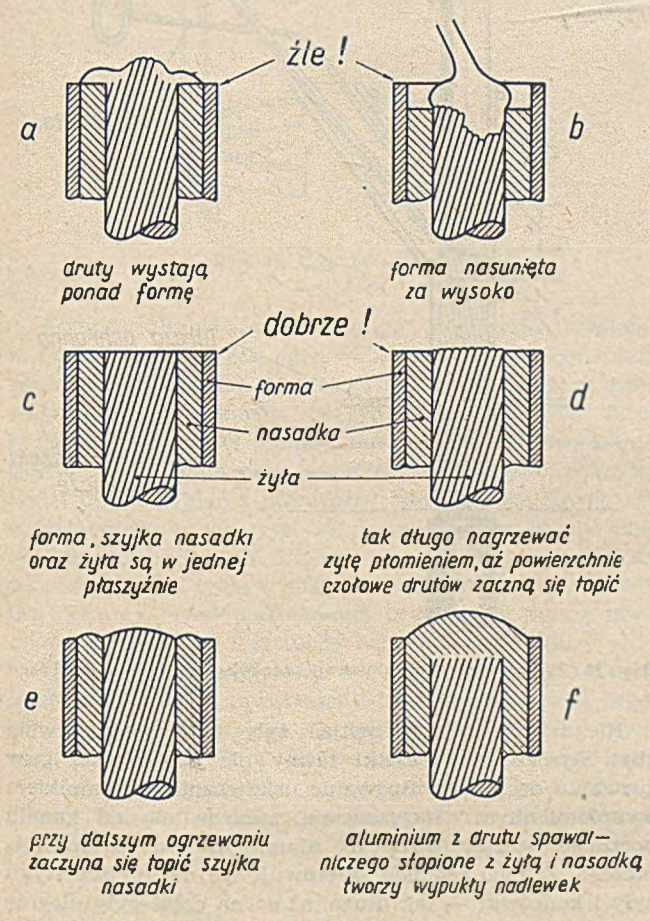


Rys. 32. Spawanie nasadki kablowej.

niem. Nasadkę kablową oraz formę spawalniczą nasadza się na żyłę w ten sposób, że górne ich płaszczyzny znajdują się na jednym poziomie. Należy unikać wystawania drutów z formy lub też wystawania ich ponad powierzchnię żyły (rys. 32).

Jeżeli żyła kablowa ma kształt sektorowy, należy ją urobić przy pomocy szczypców o ile możności na kształt okrągły, względnie wypełnić wolne miejsca wewnątrz nasadki kawałkami drutu aluminiowego.

Przy pomocy ostrego płomienia nagrzewa się wpierw górną powierzchnię żyły aluminiowej, przez co druty zaczynają się topić. Nad powierzchnią żyły tworzy się mała wypukłość. Dodając aluminium z drutu spawalniczego — przy silnym ogrzewaniu płomieniem całej spoiny, — tworzymy jednolitą wypukłość, która obejmuje całą powierzchnię nasadki. Rys. 33 pokazuje poszczególne fazy

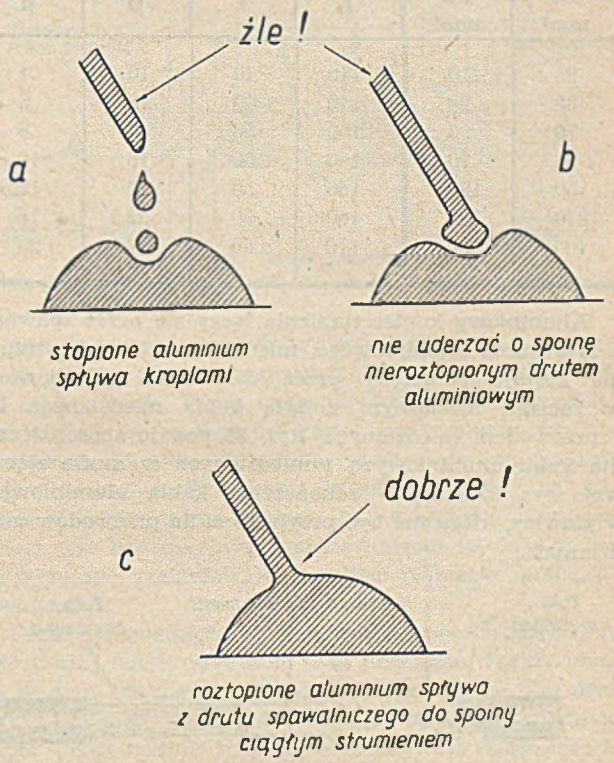


Rys. 33. Tworzenie spoiny z nasadką kablową.

topienia aluminium i tworzenia spoiny z nasadką kablową. Rys. 34 podaje prawidłowy i błędny sposób stapiania drutu spawalniczego; aluminium nie powinno spływać kroplami do miejsca spawu, gdyż łatwo ulega utlenianiu; nie należy również końcem drutu spawalniczego uderzać o topiące się aluminium żyły. Należy cierpliwie podgrzewać miejsce spawane do tej temperatury, aż drut aluminiowy ciągłym strumieniem będzie spływał do spoiny.

W ten sposób w miejscu spojenia żyły z nasadką kablową tworzy się półokrągły nadlewek, przy czym tlenki i żużle mogą wypływać na jego powierzchnię, skąd łatwo je sunąć.

Przy spawaniu nasadek kablowych z wkładką miedzianą zaleca się dla lepszego odprowadzenia ciepła przymocować do miedzianej części nasadki klocek miedziany lub aluminiowy. Przy spawaniu nasadek kablowych na żyły wielodrutowe skręcone z drutów o średnicy poniżej 1 mm zdarzyć się może, że — na skutek wysokiej temperatury i stosunkowo znacznej ilości ciepła doprowadzanego przy spawaniu — cienkie druty aluminiowe ulegną spaleniu. W tych przypadkach zaleca się koniec



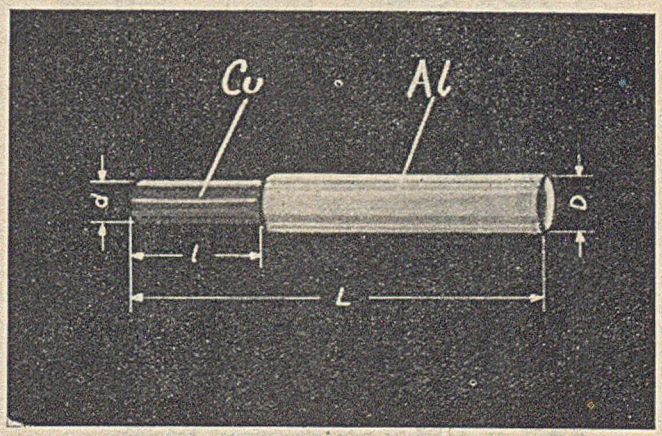
Rys. 34. Spływanie aluminium z drutu spawalniczego do spoiny.

żyły wielodrutowej zespawać w formie, tworząc jednolity pręt, który z kolei w wyżej opisany sposób można zespawać z nasadką kablową.

Spawanie końcówek aluminiowo-miedzianych.

Niejednokrotnie zachodzi konieczność połączenia kabli aluminiowych z kablami miedzianymi lub też połączenia głowicy kabla aluminiowego z przewodami wykonanymi z miedzi. Wówczas końce żył aluminiowych łączy się przy pomocy spawania z końcówkami wykonanymi w postaci trzpienia aluminiowo-miedzianego.

Rys. 35 oraz tablica III podają wymiary trzpieni aluminiowo-miedzianych. Zostają one wykonane przez stopienie w kokilach pręta miedzianego i aluminiowego, przez co uzyskuje się trwałe połączenie obu metali.

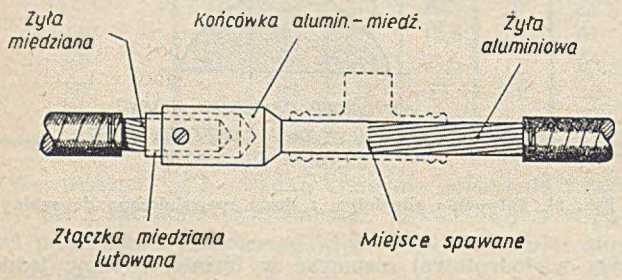


Rys. 35. Końcówka aluminiowo-miedziana.

Tablica III.
Wymiary trzpieni aluminiowo-miedzianych

Przekrój		Wymiary w mm			
Al mm²	Cu mm²	L	l	D	d
25	10	140	40	10	4
35	25	140	40	12	6
70	50	150	50	14	8
95	70	150	50	16	10
150	120	160	50	18	12,5
210	185	160	50	22,5	16
400	300	170	60	27	20

Aluminiowy koniec trzpienia łączy się przez spawanie z żyłą kabla aluminiowego, miedziany zaś koniec trzpienia zostaje połączony przez lutowanie i ześrubowanie w zacisku mosiężnym z żyłą kabla miedzianego lub z przewodem miedzianym. Rys. 36 podaje sposób łączenia kabli aluminiowych i miedzianych w mufie złączowej, rys. 37 zaś — zakończenie kabla aluminiowego w głowicy, która ma być przyłączona do przewodów miedzianych.

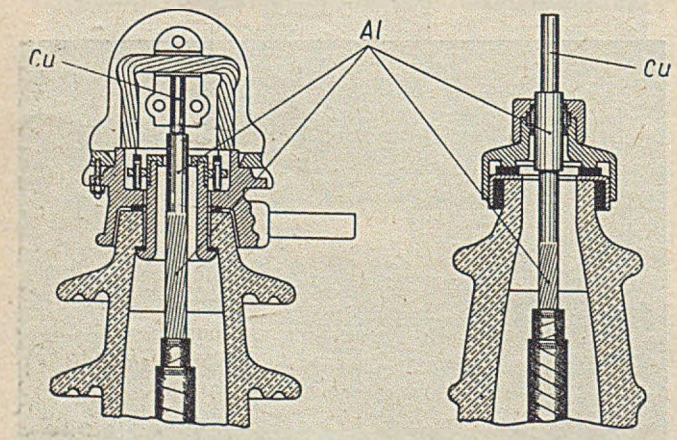


Rys. 36. Łączenie żyły aluminiowej w mufie złączowej przy pomocy końcówki aluminiowo-miedzianej.

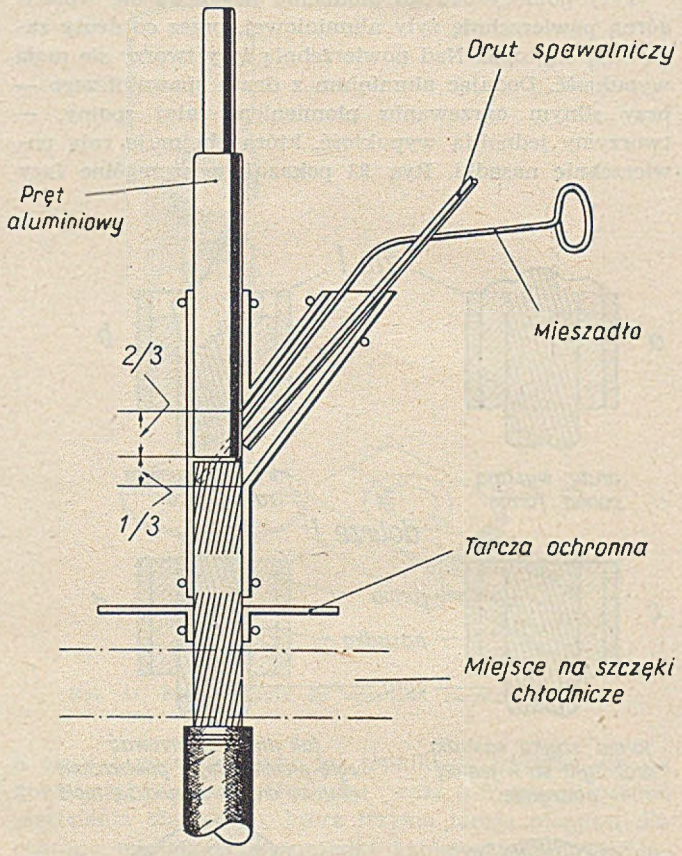
Sposób wykonania połączenia żyły aluminiowej z końcówką aluminiowo-miedzianą przedstawia rys. 38.

Spawanie części aluminiowych wykonywa się w formach zamkniętych, przy czym forma posiadać musi kanał boczny, którym roztopione aluminium spływa z drutu spawalniczego. Sposób wykonania spoiny jest następujący:

po dokładnym oczyszczeniu drutów żyły z oleju owija się ją taśmą azbestową lub szklaną, po czym nakłada się obie połówki formy stalowej, której ściany wewnętrzne zostały posmarowane pastą kokilową. Forma powinna być tak daleko nasunięta na żyłę, aby koniec żyły znajdował się na odległości 1/3 wlotu bocznego kanału formy. Żyła i końcówka aluminiowo-miedziana muszą być osadzone centrycznie i uszczelnione wewnątrz formy przez owinięcie taśmą lub przędzą azbestową, tak, aby podczas spawania płynne aluminium nie wyciekało wzdłuż szczelin linki na zewnątrz formy.



Rys. 37. Łączenie żyły aluminiowej końcówką aluminiowo-miedzianą w mufie głowicowej.



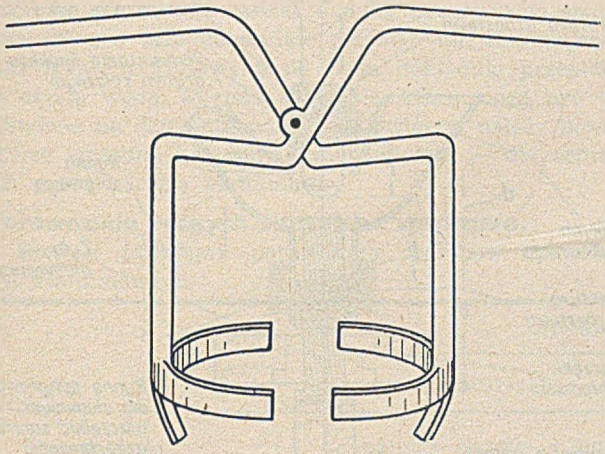
Rys. 38. Łączenie żyły aluminiowej końcówką aluminiowo-miedzianą.

Nie należy jednak owijać żyły taśmą ogniotrwałą zbyt wysoko, aby resztki taśmy nie dostały się przy spawaniu do spoiny. Spawanie uskutecznia się palnikiem dwupłomiennym. Nagrzewanie zaczyna się od kanału bocznego, w którym topi się aluminium z drutu spawalniczego. Z kolei płomień skierowuje się na miejsce styku żyły i końcówki — tak długo, aż górna część żyły ulegnie stopieniu. Można się o tym przekonać, gdy hak żelazny — stosowany, jako mieszadło — dotyka ściany formy leżącej na przeciw kanału bocznego, zaś poziom płynnego aluminium w kanale bocznym nie obniża się. Wówczas przerywamy topienie, mieszając przy pomocy haka płynne aluminium, aby ułatwić wypłynięcie tlenków i żużli ze spoiny do kanału bocznego. Z kolei zakłada się na żyłę szczęki chłodnicze, po czym — gdy miejsce spojenia oziębiło się dostatecznie i spoina stała się twarda — zdejmuje się formy spawalnicze, obcina boczny nadlewek, miejsce zaś spojenia dokładnie się opiłowuje na okrągło.

Spawanie żył przez zalewanie roztopionym aluminium.

Spawanie żył aluminiowych przez zalewanie roztopionym aluminium polega na tym, że końce żył, które mają być ze sobą połączone, umieszcza się w formie za-

opatrzonej w otwór na spodzie i przelewa roztopionym aluminium tak długo, aż pod wpływem nagrzania druty żył zaczynają się topić. Po pewnym czasie otwór wypływowy w formach poziomych zostaje zamknięty, płynne zaś aluminium — znajdujące się w formie po zastygnięciu — stanowi połączenie obu żył. Metoda ta stosowana w elektrowniach miasta Berlina (Bewag) nadaje się szczególnie do łączenia **kabli wysokiego napięcia** oraz żył dużych przekrojów, wymaga jednak znacznej wprawy i dużego doświadczenia w jej stosowaniu.



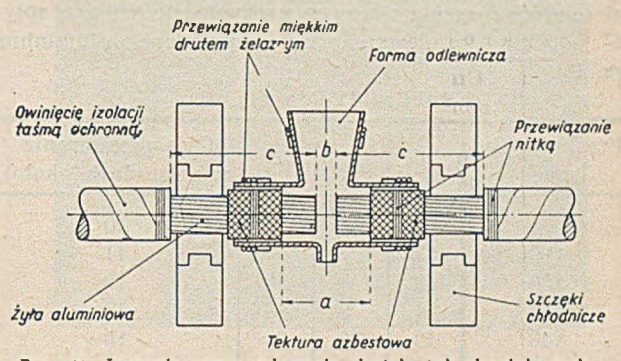
Rys. 39. Cęgi odlewnicze.

Płynne aluminium otrzymuje się przez stopienie w tyglach grafitowych ogrzewanych w przenośnym piecu żelaznym wyłożonym szamotą i opalanym węglem drzewnym lub płomieniem benzynowym. Pokrywa pieca w górnej swej części posiada kominek dla odprowadzania gazów spalinowych oraz wziernik. Po zdjęciu pokrywy tygiel można wyjąć z pieca przy pomocy specjalnych obcęgów odlewniczych (rys. 39) i umieścić go w pierścieniu umocowanym na drążku odlewniczym, który służy do przenoszenia tygla z roztopionym aluminium (rys. 40). Dla ochrony przed poparzeniem pracownicy muszą nosić rękawice, kamasze i fartuchy ochronne z azbestu.

Do wykonania połączenia żył o przekroju do 300 mm² wystarcza tygiel o zawartości 6 kg aluminium; dla przekrojów wyższych stosuje się tygle objętości 10 kg płynnego aluminium. Topi się zazwyczaj odpadki żył kabli aluminiowych, starannie oczyszczone z oleju i izolacji. Formy stosowane do spawania płynnym aluminium są podobne do używanych do spawania przy pomocy płomienia gazowego w formach zamkniętych. Jedynie formy do łączenia żył w położeniu poziomym posiadają u spodu otwór przelewowy.

Rys. 40. Pierścień do przenoszenia tygla.

Do topienia aluminium należy przystąpić na godzinę przed rozpoczęciem spawania. W tym czasie pomocnik monterski musi uważać, aby ogień w piecu do topienia aluminium palił się prawidłowo. Temperatura, przy której należy wykonywać zalewanie miejsc połączenia aluminium, powinna wynosić 850—900° C; roztopione aluminium ma wówczas barwę jasnowiśniową. Temperaturę aluminium należy sprawdzać przy pomocy pirometru. Można również sprawdzić temperaturę odpowiednią do zalewania aluminium w następujący sposób: do tygla z płynnym aluminium zanurza się kawałek drutu aluminiowego o średnicy 2 mm; jeżeli odcinek o długości



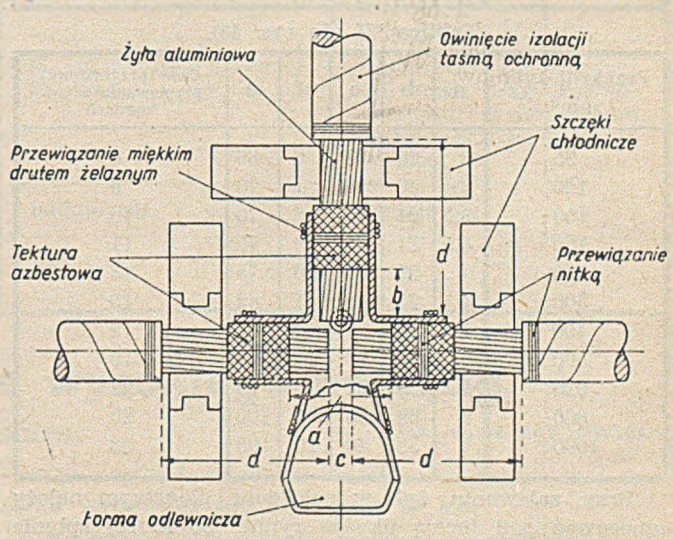
Rys. 41. Łączenie przez zalewanie dwóch żył aluminiowych.

25 mm tego drutu stopi się w ciągu 2 sekund, — oznacza to, że płynne aluminium posiada temperaturę odpowiednią do zalewania. Przed zalewaniem należy zebrać szlakę, jaka pływa na powierzchni roztopionego aluminium.

Podczas topienia aluminium monter ma przygotować żyły do łączenia. W miejscu nasadzenia formy na żyłę, owija się żyły taśmą szklaną lub azbestową. Ponieważ azbest jest hygroskopijny, po nawinięciu na żyłę należy go wysuszyć, podgrzewając miejsce owinięcia lampą lutowniczą.

Formy spawalnicze są dwudzielne; po nasadzeniu na żyły muszą one szczelnie do nich przylegać. Formy owija się drutem żelaznym; krawędzie miejsca styku obu połówek zalepia się pastą kokilową. Dla ochrony izolacji na żyłach przed nadmiernym jej nagrzaniem w czasie spawania szczęki chłodnicze nakłada się na żyły p r z e d rozpoczęciem zalewania płynnym aluminium.

Rys. 41 podaje układ żył w formie spawalniczej przy łączeniu dwóch żył poziomo. Rys. 42 podaje układ żył w formie spawalniczej przy wykonywaniu odgałęzienia,



Rys. 42. Łączenie przez zalewanie trzech żył aluminiowych.

rys. zaś 43 — łączenie końca żył z trzpieniem aluminiowym w położeniu pionowym. Równocześnie tablice IV, V i VI podają wymiary długości żył, odstępy wewnątrz form oraz przybliżony czas wykonywania przelewania płynnego aluminium przez formę dla uzyskania należytego rozgrzania i roztopienia końców żył w miejscu spawania.

W kablach wielożyłowych należy przygotować do spawania w formach odrazu wszystkie żyły, aby zalewanie płynnym aluminium można było wykonać kolejno. Przy łączeniu żył w położeniu poziomym, podstawia się pod miejsce łączenia obszerne naczynie, do którego spływa podczas przelewania żył roztopione aluminium (rys. 44).

Tablica IV (do rys. 41).

Przekrój żyły mm²	a	b	c	Czas przelewania w sekundach (około)
95	35	6	58	10
120	37	7	60	11
150	39	8	60	12
185	41	9	63	13
240	43	10	63	15
300	45	11	66	17
400	47	13	71	19
500	50	15	74	21
625	54	16	74	24
800	58	18	76	27
1000	64	20	79	30

Tablica V (do rys. 42).

Przekrój żyły mm²	a	b	c	d	Czas przelewania w sekundach
95	35	17	6	58	14
120	37	18	7	60	15
150	39	19	8	60	16
185	41	20	9	63	17
240	43	21	19	63	18
300	45	22	11	66	21
400	47	23	13	71	23
500	50	25	15	74	25
625	54	27	16	74	28
800	58	29	18	76	31
1000	64	32	20	79	34

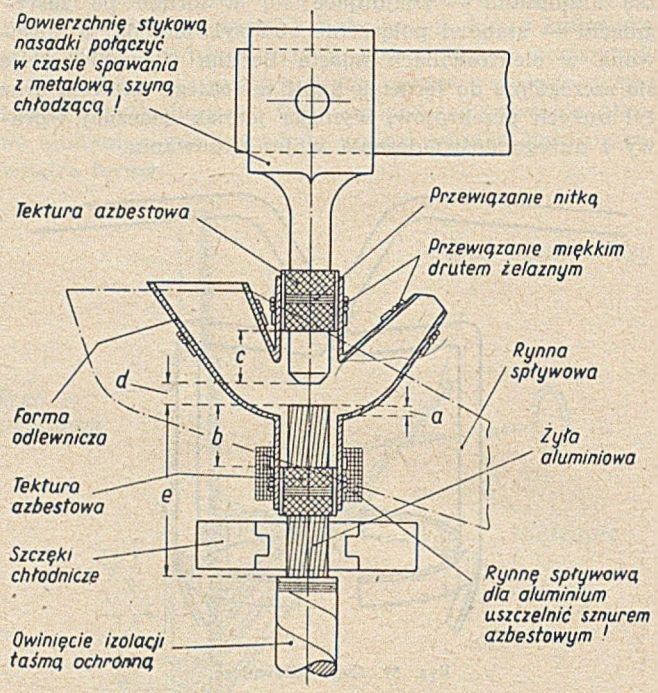
Tablica VI (do rys. 43).

Przekrój żyły mm²	a	b	c	d	e	Czas (przybliżony) przelewania w sekundach
95	3	20	17	6	66	8
120	3	20	18	7	70	9
150	3,5	21	19	8	70	10
185	3.5	21	21	9	75	11
240	4	22	23	10	75	13
300	4	23	24	11	82	15
400	5	25	27	13	87	17
500	6	27	29	15	95	19
625	7	29	32	16	95	22
800	8	32	36	18	100	25
1000	9	35	40	20	105	28

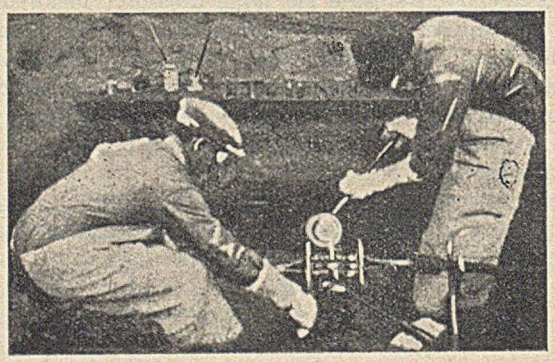
Przy zalewaniu żył w położeniu pionowym należy umocować pod formą ukośną rynnę, po której spłynie aluminium do naczynia, trzymanego w czasie przelewania przez pomocnika monterskiego.

W czasie przelewania monterzy muszą nosić odzież ochronną — fartuchy, rękawice, azbestowe kamasze i okulary ochronne. Pomimo, że samo przelewanie płynnym aluminium nie jest niebezpieczne, jednak w wypadku, gdyby w obwoju azbestowym żyły lub wewnątrz formy znajdowała się wilgoć, pryskające aluminium mogłoby poparzyć monterów wykonujących spawanie.

Przelewanie żył należy wykonywać ciągłym strumieniem roztopionego aluminium. Czas przelewania miejsca łączenia roztopionym aluminium podany w tablicach IV do VI należy uważać, jako orientacyjny. Przed przystąpieniem do spawania zaleca się wykonać próbę na kawałku żyły o tym samym przekroju co żyły kabla, który ma być spawany, a to celem sprawdzenia i ustalenia czasu trwania przelewania. Czas ten zależy od temperatury roztopionego aluminium, od wielkości przekroju żyły i od rodzaju formy. Przy zbyt krótkim czasie trwania przelewania koniec żyły próbnej nie zostanie dostatecznie stopiony, przy zbyt długim zaś przelewaniu żyła aluminiowa ulec może całkowitemu wytopieniu na znacznej długości. Wykonując próby, można dokładnie ustalić właściwy czas zalewania i uniknąć niepowodzeń przy spawaniu.



Rys. 43. Łączenie przez zalewanie żyły aluminiowej z nasadką kablową.



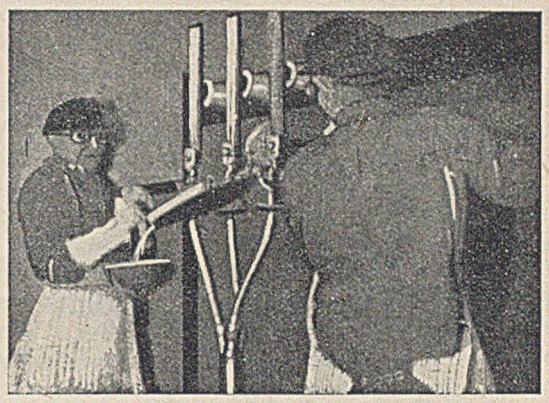
Rys. 44. Zalewanie żył w położeniu poziomym.

Przy zalewaniu miejsca łączenia w położeniu **poziomym** (rys. 44) jeden z monterów wlewa płynne aluminium, drugi zaś, przy pomocy specjalnych obcęgów, zamyka po pewnym z góry ustalonym czasie otwór wylewowy formy.

Przy zalewaniu miejsca łączenia w położeniu **pionowym**, (rys. 45), jeden z monterów wlewa płynne aluminium do formy, drugi zaś trzyma naczynie, do którego spływa rynną roztopione aluminium.

Przed zalewaniem następnej żyły kabla należy wstawić tygiel do pieca celem uzyskania odpowiedniej temperatury płynnego aluminium. Szczęki chłodnicze zdejmuje się dopiero po całkowitym zastygnięciu płynnego aluminium w formie. Z kolei zdejmuje się formy z miejsca spawania, ścina nadlewki i opiłowuje spoinę na okrągło. Po wykonaniu tych czynności można dopiero zdjąć obwój taśmy, chroniący izolację papierową i na nowo zarobić końce izolacji.

Przy stosowaniu do spawania topników hygroskopijnych należy usunąć resztki topnika pozostałe po spawaniu. W tym celu zaleca się przemyć miejsce spawania 10% kwasem azotowym, po czym dokładnie przepłukać je czystą wodą. Miejsca spawania, które mogą być wystawione na działanie wilgoci i powietrza należy posmarować wazeliną lub pomalować lakierem — dla ochrony ich przed korozją aluminium.



Rys. 45. Zalewanie żył w położeniu pionowym.

Porównanie różnych sposobów spawania.

Poniżej podajemy porównanie sposobów spawania żył aluminiowych.

	Spawanie w formach:		Zalewanie
	otwartych	zamkniętych	
Wyposażenie	palniki zwykłe i butle z gazem: rynienki z blachy lub szamoty jednodzielne	palnik 2-płomienny lub 2 palniki zwykłe, butle z gazem; formy dwudzielne	piec do topienia aluminium, tygiel i narzędzia odlewnicze; formy dwudzielne
Czynności wstępne	usunięcie oleju wymagane	usunięcie oleju wymagane	usunięcie oleju nie jest wymagane
Topniki	niehygroskopijne hygroskopijne,	hygroskopijne, niehygroskopijne	hygroskopijne, w postaci proszku
Czas spawania	3 minuty dla żył 185 mm²	2 minuty dla żył 105 mm²	15 — 25 sekund
Zużycie ciepła przy spawaniu	małe	większe	najmniejsze
Nadaje się do łączenia żył o przekroju:	do 240 mm²	dla przekrojów powyżej 95 mm²	dla przekrojów powyżej 95 mm² przy równoczesnym wykonywaniu dużej liczby połączeń w sieci
Spawanie nasadek	nadaje się	nadaje się	nadaje się
Spawanie końcówek Cu-Al	nadaje się	nadaje się	—

(C. d. n.)

Rozdzielnie i podstacje wysokiego napięcia.

(Ciąg dalszy)

Inż. - el. W. PAWŁOWSKI.

7. Napędy wyłączników, odłączników mocy i odłączników.

Przeznaczenie łącznika i ogólne warunki jego pracy, a w stosunku do wyłączników wymagana moc wyłączalna, decydują nie tylko o wyborze typu i wielkości samego łącznika, lecz również o **wyborze rodzaju jego napędu.**

Napęd r ę c z n y może być użyty o ile moc wyłączalna wyłącznika **nie przekracza 200 MVA** przy napięciu znamionowym, prąd zaś udarowy [3]), jaki wyłącznik może pokonać przy włączaniu na istniejące zwarcie czyli tzw. **prąd wyłączalny nie przekracza 30 kA.**

Ręczny napęd kołowy wyłącznika widzieliśmy na rys. 5, dźwigniowy zaś napęd odłącznika — na rys. 16.

Ze względu na dynamiczne oddziaływanie prądu udarowego ręczna obsługa wyłącznika wymaga, nawet przy zachowaniu podanych wyżej granic (200 MVA, 30 kA), dużej siły i zręczności. Również warunek możliwie szybkiego włączania wymaga ze strony obsługującego dużej zręczności i szybkiej decyzji.

Z powyższych względów — pomimo tak oczywistych zalet napędów ręcznych, jak: prosta konstrukcja i brak

[3]) Prądem u d a r o w y m nazywamy największą chwilową wartość prądu zwarcia, jaka występuje w pierwszym okresie tego zjawiska.

jakichkolwiek dodatkowych urządzeń (stosowanych przy napędach mechanicznych), prosta obsługa, oraz małe wymiary i niska cena, — niemożliwe jest przekraczanie wymienionych wyżej granic stosowalności napędów ręcznych do wyłączników, a to ze względu na bezpieczeństwo obsługi. Z uwagi na małą pewność dostatecznie szybkiego wyłączania przy zastosowaniu napędów ręcznych, nie poleca się stosowania tych napędów, nawet przy nieprzekroczeniu wymienionych wyżej granic, przy wyłącznikach prądnic pracujących równolegle (łączenie prądnic na pracę równoległą winno przebiegać bardzo szybko).

Napędy ręczne zwłaszcza dźwigniowe (jak na rys. 16) są obecnie stosowane głównie do odłączników, z pewnym zaś ich ulepszeniem (mechanizm sprężynowy dla błyskawicznego łączenia) — również do odłączników mocy.

Spotykane są — w zastosowaniu do wyłączników — również napędy ręczne sprężynowe (rys. 7).

We wszystkich przypadkach, w których napędy ręczne działające pod wpływem siły ręki ludzkiej nie mogą znaleźć zastosowania, używane są napędy mechaniczne sterowane z odległości; napędy te działają pod wpływem siły pochodzącej z obcego źródła.

Rozpowszechnione są następujące napędy mechaniczne:

a) elektryczne — silnikowe lub elektromagnetyczne;
b) powietrzne (pneumatyczne) oraz
c) sprężynowe — z elektrycznym naciągiem sprężyny.

Napęd **elektryczny silnikowy** (ogólny widok zewnętrzny — na rys. 9 i 10) dzięki szeregowej charakterystyce stosowanych silników posiada zaletę dużego momentu obrotowego rozwijanego w trakcie przebiegu łączenia.

Napęd **elektromagnetyczny** wymaga dużej mocy źródła prądu stałego; posiada on wielką zaletę bardzo krótkiego czasu włączania (rzędu 0,2 s), nadaje się zatem szczególnie do napędu wyłączników, włączających prądnice na pracę równoległą; włączanie takie powinno być ukończone w czasie nie dłuższym niż 0,5 sekundy.

Napęd **pneumatyczny**, widoczny w ogólnych zarysach na rys. 11 przedstawia rodzaj napędu o wysokich zaletach oraz najbardziej wszechstonnych ze wszystkich napędów możliwościach zastosowania. Z natury rzeczy największe zastosowanie znajduje napęd pneumatyczny w wyłącznikach powietrznych [4]).

Napęd **sprężynowy** o silnikowym naciągu sprężyn odznacza się dużą pewnością działania i posiada czas włączania naogół jeszcze krótszy, niż napęd elektromagnetyczny (rzędu 0,15 s).

Napędy mechaniczne sterowane są z odległości za pomocą nastawników tablicowych (tzw. „kontrolerków") lub przy pomocy przycisków dwuguzikowych. Posiadają one jednak — niezależnie od powyższego — możność bezpośredniego uruchamiania ręcznego za pomocą przycisków nabudowanych na samym napędzie lub przy pomocy odejmowanej dźwigni.

8. Bezpieczniki.

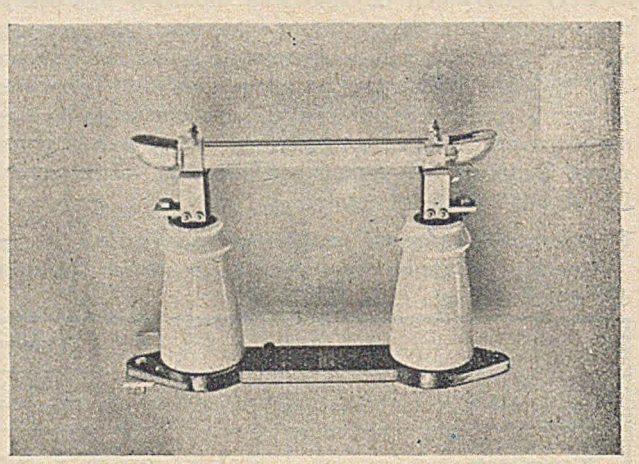
Bezpieczniki są to przyrządy wyposażone w jeden lub kilka drutów topikowych (zwanych inaczej **stopkami**) dla samoczynnego przerywania prądów przy przetężeniach. Bezpiecznik wysokiego napięcia składa się z podstawy i rury bezpiecznikowej.

Moc wyłączalna bezpieczników podawana jest trójfazowo w sposób podobny, jak dla wyłączników (patrz wzór [1] w rozdziale o wyłącznikach [5]).

[4]) Powietrze sprężone służy tu do dwóch celów: gaszenie łuku oraz napęd wyłącznika.

[5]) Por. zeszyt 2/3—49 r. „W. E." str. 27.

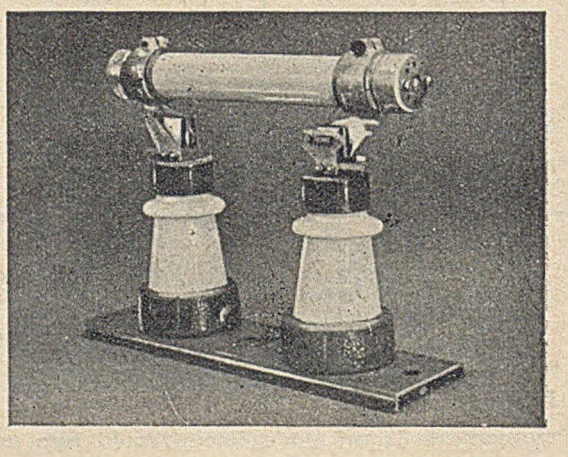
Według nowoczesnych poglądów bezpieczniki wysokiego napięcia o mocy wyłączalnej do 10 MVA przy napięciu znamionowym — noszą nazwę **bezpieczników małej mocy**. Rozpowszechnione są bezpieczniki o mocach znacznie wyższych np. 250 MVA przy napięciu 6 kV. Takie przyrządy noszą nazwę **bezpieczników dużej mocy wyłączalnej**. Stosowane są również bezpieczniki o pośrednich mocach — tzw. **średniej mocy wyłączalnej** (rys. 27 i 28).



Rys. 27. Kompletny bezpiecznik budowy wnętrzowej, małej mocy wyłączalnej na napięcie znamionowe 10 kV.

Główne zalety bezpieczników wielkiej mocy, poza niską ceną w porównaniu z wyłącznikami, są następujące:

a) ich moc wyłączalna dorównywuje mocy nowoczesnych wyłączników;
b) powodują one znaczne ograniczenie największej wartości prądu zwarcia, jaki płynąłby w obwodzie, gdyby nie było w nim bezpieczników (ochrona przed dynamicznymi skutkami tych prądów); obwód zostaje przerwany przez bezpiecznik zanim prąd zwarcia osiągnie największą swą wartość;

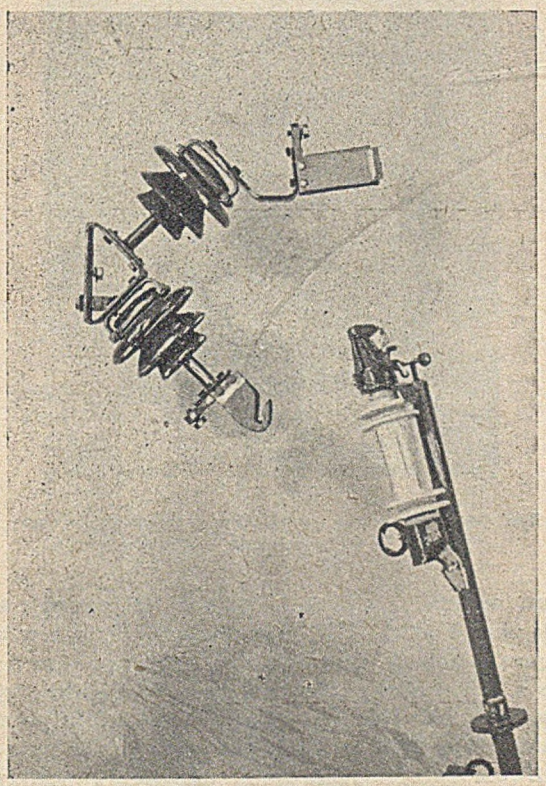


Rys. 28. Kompletny bezpiecznik budowy wnętrzowej, na napięcie znamionowe 10 kV, wielkiej mocy wyłączalnej (250 MVA przy 6 kV).

c) bardzo szybkie przerywanie obwodu przez bezpieczniki chroni zabezpieczone urządzenie przed cieplnymi skutkami prądów zwarcia;
d) małe wymiary przyrządów przy jednoczesnej ich wielkiej mocy wyłączalnej.

Jako wady bezpieczników wielkiej mocy, należy wymienić:

a) przerwy w ruchu wywołane koniecznością wymiany przepalonych rur bezpiecznikowych;
b) przerywanie obwodu — w przypadku zwarć jednofazowych — tylko na jednym biegunie, co może powodować komplikacje ruchowe; wadę tę można usunąć przez współpracę bezpieczników z odłącznikami mocy (patrz rozdział II/6 — str. 75).
c) stosunkowo małe prądy znamionowe — zazwyczaj do 100 A przy 6 kV, dla wyższych zaś napięć jeszcze mniejsze;
d) większy, niż dla innych bezpieczników koszt wymiany drutów topikowych (dokonywany w zakładzie wytwórcy).

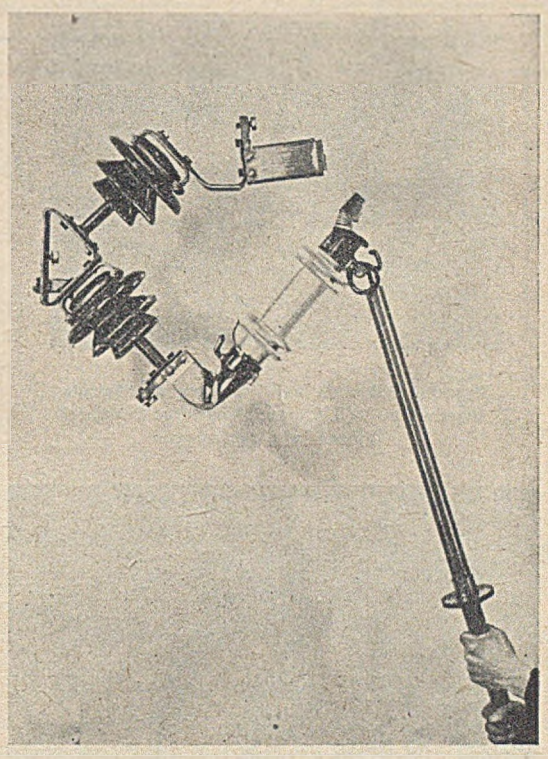


Rys. 29. Zakładanie rury bezpiecznikowej za pomocą drążka.

Bezpieczniki wnętrzowe wysokiego napięcia zakłada się i wyjmuje przy pomocy kleszczy izolacyjnych, stojąc na podstawie izolacyjnej.

Bezpieczniki napowietrzne wykonywane są podobnie, jak nożowe odłączniki jednobiegunowe; są one załączane oraz wyłączane za pomocą drążka izolacyjnego (rys. 29 i 30).

Budowę bezpiecznika wielkiej mocy wyjaśnia przekrój podłużny tego przyrządu pokazany na rys. 31. Rura bezpiecznika **R** wykonana z materiału ceramicznego (porcelana lub kamionka) zawiera 7 drutów topikowych **T**, z których jeden drut umocowany jest w kanale środkowym w geometrycznej osi rury i połączony z tłoczkiem sygnałowym **Tł**. Pozostałych 6 drutów topikowych jest przeciągniętych przez kanały **K** o przekroju kołowym, rozmieszczone naokoło kanału środkowego. Kanały wypełnione są materiałem gaszącym (gasiwem) stałym, np. piaskiem kwarcowym, który dzięki stosunkowo dużej powierzchni oddziaływa dejonizująco na gazy powstałe po przepaleniu pasków topikowych.



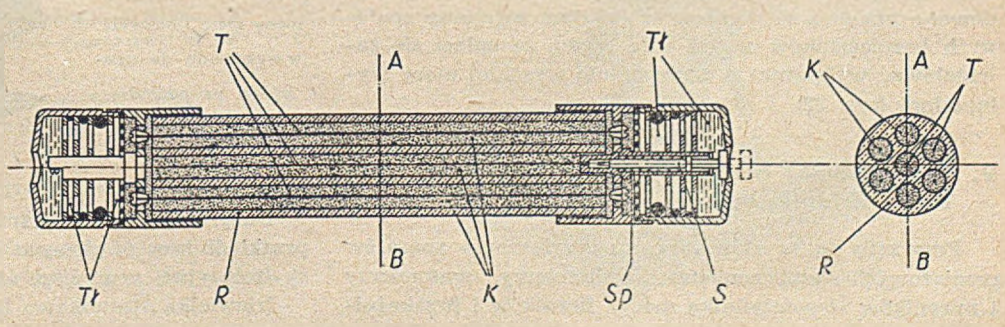
Rys. 30. Załączanie bezpiecznika napowietrznego za pomocą drążka.

Tłoczek sygnałowy **Tł** jest zakończony wskaźnikiem przepalenia bezpiecznika w postaci kolorowego guzika. Wskaźnik przepalenia wypchnięty sprężyną **Sp** może przełączać styki obwodu sygnalizującego, co pozwala na łatwą kontrolę z odległości (z jednego miejsca) stanu bezpieczników zainstalowanych w rozdzielni, względnie na wyłączanie wyłącznika (o słabej mocy wyłączalnej) współpracującego z danym zespołem bezpieczników.

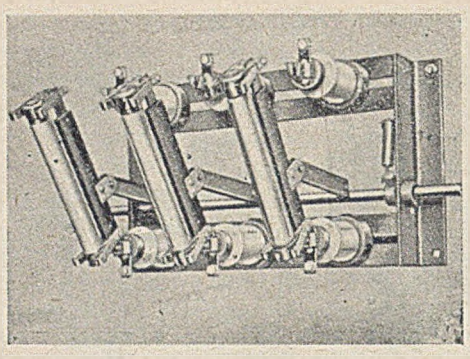
Na rys. 31 z prawej strony pokazany jest przekrój poprzeczny bezpiecznika wzdłuż osi **A—B**.

Poza współpracą z odłącznikami mocy bezpieczniki wielkiej mocy mogą być również stosowane, jako nabudowane na zwykłym odłączniku, co znajduje zastosowanie w przypadkach zabezpieczania obwodów o małych prądach roboczych (rys. 32).

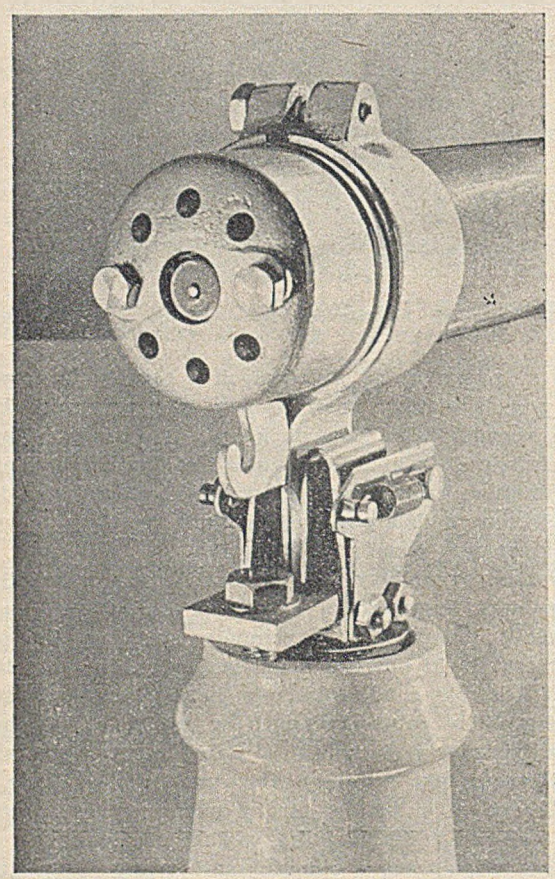
Zabezpieczanie mniejszych stacyj transformatorowych stanowi główny zakres zastosowania bezpieczników



Rys. 31. Przekrój podłużny bezpiecznika wielkiej mocy wyłączalnej na napięcie znamionowe 10 kV. R—rura bezpiecznika, K—kanały o przekroju kołowym, T—druty topikowe, Tł—tłoczek sygnałowy, Sp—sprężyna, S—wskaźnik przepalenia bezpiecznika.



Rys. 32. Odłącznik trójbiegunowy na napięcie znamionowe 10 kV z nabudowanymi bezpiecznikami wielkiej mocy.



Rys. 33. Widok bezpiecznika wielkiej mocy od strony wskaźnika przepalenia.

wielkiej mocy. Ze względów gospodarczych opłaci się zabezpieczać w ten sposób transformatory o mocy nieprzekraczającej 1000 kVA. Powyżej tej mocy straty spowodowane przerwą w ruchu oraz kosztem wymiany spalonych bezpieczników są już tego rzędu, że opłaci się zainstalować wyłączniki o odpowiednio wysokiej mocy wyłączalnej (rys. 32).

9. Przekładniki (transformatory miernicze) prądowe i napięciowe.

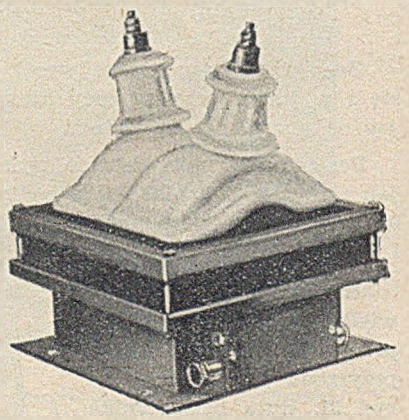
Przyrządy te są stosowane do przyłączania aparatów pomiarowych (amperomierzy, woltomierzy, watomierzy i mierników współczynnika mocy), liczników i przekaźników.

Do niedawna jeszcze najbardziej rozpowszechnioną konstrukcją przekładników (transformatorów mierniczych), zarówno w wykonaniu wnętrzowym jak i napowietrznym, była tzw. konstrukcja **garnkowa** z zastosowaniem oleju izolacyjnego.

Ilość oleju wypełniającego garnek przekładnika zależy, oczywiście, od napięcia znamionowego i wynosi dla przekładników napięciowych jednofazowych na napięcie znamionowe 6 kV — ok. 7 kg, na napięcie zaś 30 kV — ok. 50 kg. Są to ilości mogące przedstawiać w pewnych warunkach poważne niebezpieczeństwo pożarowe dla rozdzielni wnętrzowej.

Rys. 34. Jednofazowy przekładnik napięciowy olejowy, 3000/100 V, w wykonaniu napowietrznym.

Z tego względu konstrukcja olejowa (garnkowa) w zakresie napięć do 30—45 kV utrzymała się jedynie w budowie przekładników dla rozdzielni napowietrznych, gdzie z jednej strony niebezpieczeństwo pożaru jest bez porównania mniej groźne, z drugiej zaś strony — zastosowanie oleju jako środka izolacyjnego daje dużą niewrażliwość przekładnika na wpływy atmosferyczne (rys. 34 i 35).



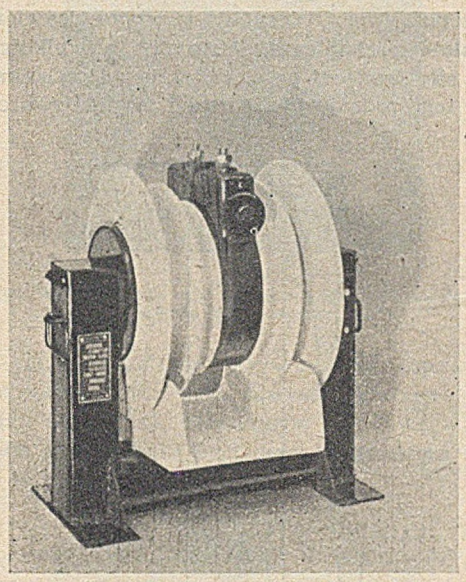
Rys. 35. Jednofazowy przekładnik napięciowy 6000/100 V, wypełniony masą izolacyjną, w wykonaniu do ustawienia na podłodze.

Duży krok naprzód stanowią konstrukcje wnętrzowych przekładników prądowych i napięciowych z użyciem masy izolacyjnej w miejsce oleju.

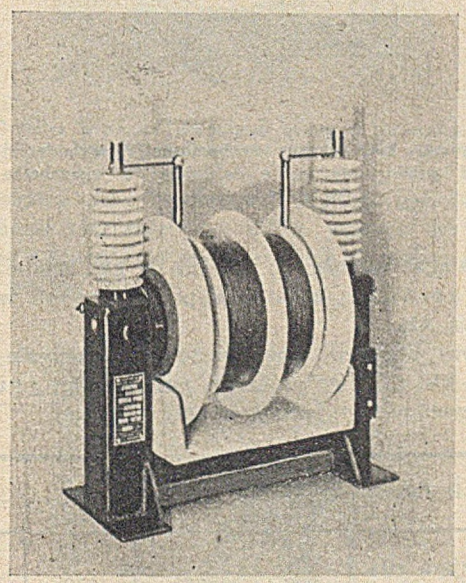
Niewielką stosunkowo ilość masy, wypełniającej wolne przestrzenie między korpusem cewek przekładnika a jego obudową, wprowadza się przy zastosowaniu próżni, a to celem uniemożliwienia powstawania w masie

pęcherzy powietrznych, co obniżałoby w znacznym stopniu izolację przyrządu i mogłoby spowodować przebicie elektryczne.

Najlepsze techniczne rozwiązanie stanowią bezwątpienia bardzo rozpowszechnione obecnie przekładniki **z izolacją suchą** — porcelanową lub wykonaną z papieru bakelizowanego, całkowicie wolne od wszelkiego rodzaju substancji palnych, jak olej lub masa izolacyjna (rys. 36 i 37).



Rys. 36. Przekładnik prądowy wnętrzowy z izolacją porcelanową, na napięcie znamionowe 20 kV.



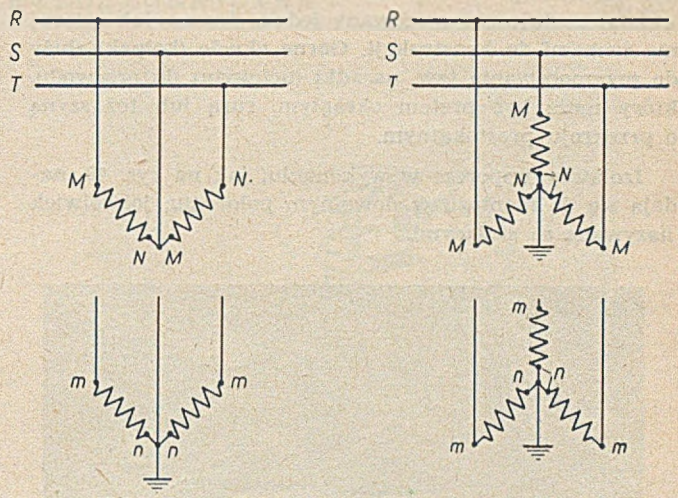
Rys. 37. Przekładnik napięciowy jednofazowy wnętrzowy, z izolacją porcelanową na napięcie znamionowe 10 kV.

Najczęściej stosowane są w praktyce polskiej przekładniki napięciowe jednofazowe w następujących układach (wg. rys. 38):

a) układ „V" dwóch transformatorów dla sieci z nieuziemionym punktem zerowym, oraz

b) układ gwiazdowy trzech transformatorów dla sieci z punktem zerowym uziemionym (rys. 38 — prawa strona rysunku).

Przekładniki napięciowe w wykonaniu trójfazowym są mniej rozpowszechnione od jednofazowych,



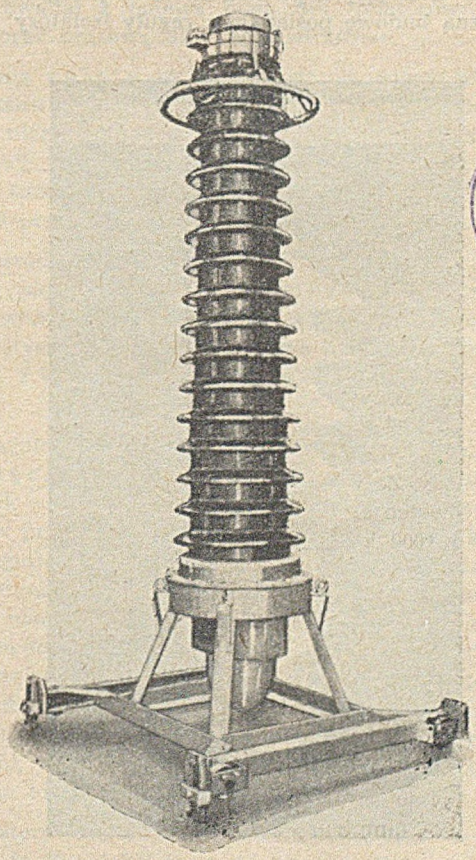
Rys. 38. Układy połączeń przekładników napięciowych jednofazowych.

jeżeli chodzi o zakres napięć do 30 — 45 kV. Dla napięć wyższych od podanych nie są one wogóle stosowane.

Dla napięć bardzo wysokich (ponad 60 kV) powszechnie stosowane są konstrukcje **małoolejowe** przekładników prądowych i napięciowych. Transformamator w takim wykonaniu ma obudowę porcelanową w postaci kolumny, której wnętrze wypełnione jest stosunkowo nieznaczną ilością oleju (rys. 39).

10. Izolatory wsporcze i przepustowe.

Izolator wsporczy służy do podtrzymywania (umocowania) gołego przewodu w określonej odległości od innych przewodów lub uziemionych części konstrukcji wsporczych, osłon i ścian. Posiada on **dolne okucie** (stopę) najczęściej okrągłe lub owalne. Przy pomocy tego okucia

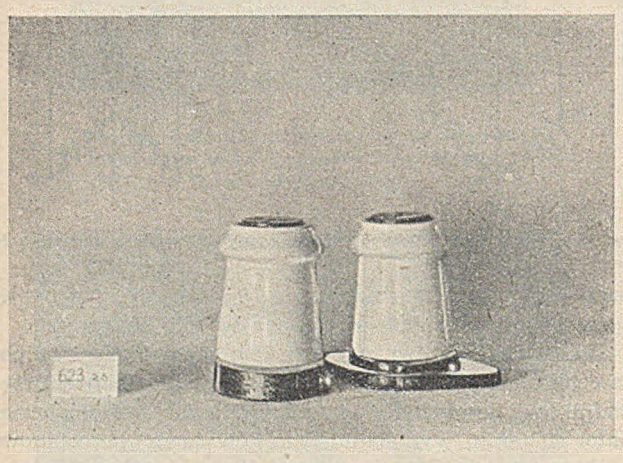


BIBLIOTEKA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Rys. 39. Przekładnik prądowy małoolejowy na napięcie znamionowe 220 kV.

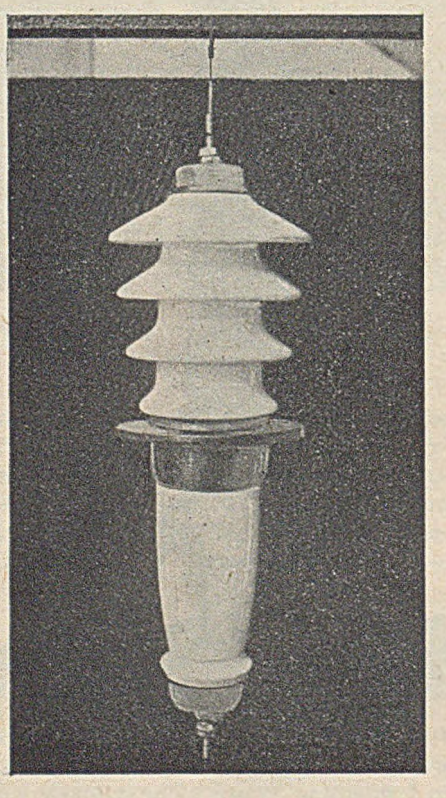
izolator zostaje przymocowany jedną, dwoma lub czterema śrubami do konstrukcji. **Górne okucie** (kołpak) służy do przymocowania tzw. **nasadki** (uchwytu) do przewodu, który może być prętem okrągłym, rurą lub też szyną o przekroju prostokątnym.

Izolatory wsporcze w wykonaniu, jak na rys. 40, nadają się do montażu w dowolnym położeniu, jakkolwiek nazywane są **stojącymi**.



Rys. 40. Izolatory wsporcze wnętrzowe na napięcie 6 kV (lewy ze stopą okrągłą, prawy — z owalną).

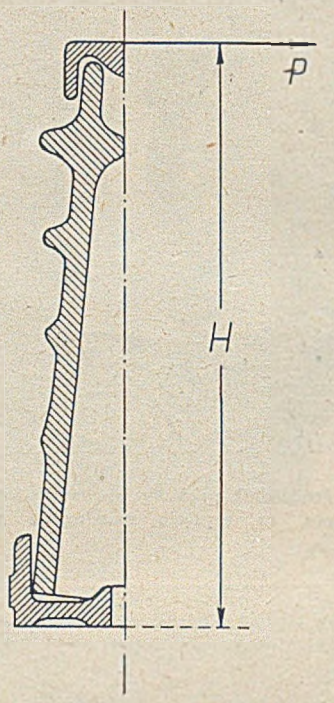
Izolator przepustowy służy do przeprowadzenia przewodu przez przegrodę, a więc np. ścianę budynku, pokrywę zbiornika w wyłączniku olejowym lub przez pokrywę transformatora. Izolator przepustowy może być symetryczny lub niesymetryczny — zależnie od warunków pracy istniejących po obu stronach przegrody. Niesymetryczną budowę posiadają z reguły izolatory wyjściowe (napowietrzno-wnętrzowe) stosowane dla wyprowadzenia gołych przewodów z budynku na zewnątrz, w wykonaniu podobnym, jak na rys. 41.



Rys. 41. Izolator przepustowy wyjściowy na napięcie 30 kV, na prąd znamionowy 200 amperów.

Izolatory przepustowe montujemy za pomocą **kołnierzy**. Krańce izolatora zaopatrzone są w **kołpaki**. Każdy izolator przepustowy zaopatrzony jest w **sworzeń** przewodzący prąd.

Obok względów natury elektrycznej (napięcie znamionowe) na wybór typu izolatora zarówno wsporczego, jak i przepustowego, decydujący wpływ wywiera jego **wytrzymałość mechaniczna**. Mierzymy ją wielkością **najmniejszej siły łamiącej** przyłożonej do wierzchołka izolatora. Siły tego rodzaju pochodzą od prądów zwarciowych



Rys. 42. Kierunek siły mechanicznej P pochodzącej od prądu zwarcia, a działającej u wierzchołka izolatora wsporczego.

i mogą osiągać wartości b. znaczne (w kg). Znane są wypadki łamania izolatorów porcelanowych w czasie zwarć (rys. 42).

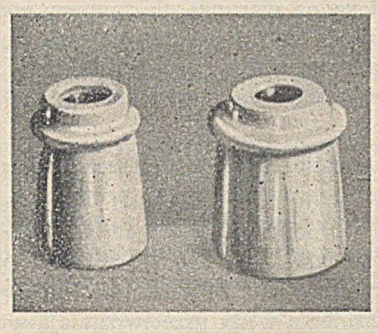
Izolatory wsporcze i przepustowe w zakresie napięć do 30—45 kV, dzielimy na cztery podane niżej grupy — według wielkości najmniejszej siły łamiącej.

Grupa izolatora	N	A	B	C
Najmniejsza siła łamiąca (w kg)	200	375	750	1250

Grupa **N** (normalna) jest w Polsce najbardziej rozpowszechniona; znosi ona dobrze siły pochodzące od umiarkowanych prądów zwarć, jakie mogą powstać w większości naszych urządzeń.

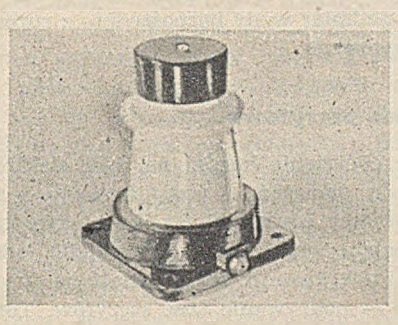
Spośród grup **A**, **B**, **C**, (wzmocnionych) najczęściej stosowana jest grupa **B**. Inne wyrabiane są przeważnie na specjalne żądanie odbiorcy; izolatory tych grup odznaczają się na ogół znacznie mocniejszą budową, co wyraźnie widać z rys. 43 i 44. Stosowane są one w rozdzielniach i podstacjach narażonych na wielkie prądy zwarcia (powyżej 30 kA).

Podobnie, jak konstrukcje uziemione przyrządów rozdzielczych i przekładników, stopy izolatorów wsporczych i kołnierze przepustowych winny być zaopatrzone w zaciski uziemiające (widoczne na rys. 40, 44 i 45).



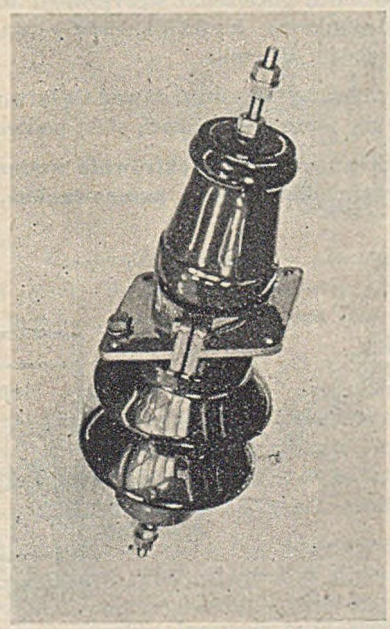
Rys. 43. Izolatory wsporcze grupy A i B (nieokute), na napięcie znamionowe 10 kV.

Jeśli chodzi o izolatory wyjściowe, to rozpowszechniły się konstrukcje skośne tzw. **odwrotno-kloszowe** w wykonaniu, jak na rys. 45. Płaszczyzna metalowego kołnierza ustawiona jest skośnie względem osi izolatora (por. rys.

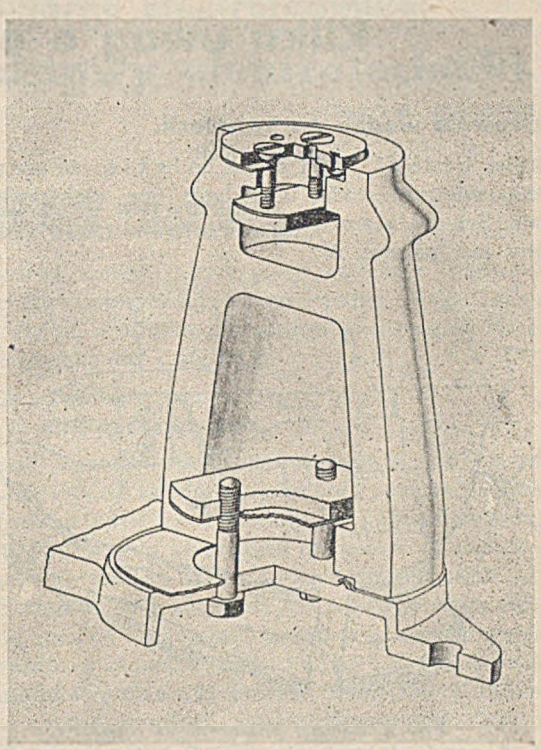


Rys. 44. Izolator wsporczy wnętrzowy grupy C na napięcie znamionowe 10 kV, ze stopą czworokątną do umocowania za pomocą 4 śrub.

41). Kloszowa część zewnętrzna izolatora spełnia mianowicie lepiej swą rolę przy takim właśnie usytuowaniu kołnierza i kloszy, niż ma to miejsce w izolatorze wykonanym, jak na rys. 41.



Rys. 45. Izolator przepustowy wyjściowy, skośny (tzw. odwrotnokloszowy) na napięcie znamionowe 10 kV, na prąd znamionowy 200 amperów.



Rys. 46. Przekrój izolatora wsporczego okutego mechanicznie (niekitowanego).

Jako materiał izolacyjny stosuje się w praktyce krajowej dla izolatorów wnętrzowych prawie wyłącznie, dla napowietrznych zaś wyłącznie, **porcelanę polewaną** (glazurowaną) z polewą białą dla izolatorów wnętrzowych oraz brązową dla napowietrznych.

Cenną zaletą izolatorów porcelanowych jest wielka **niewrażliwość porcelany na wilgoć.** Izolatory porcelanowe są niezastąpione w rozdzielniach napowietrznych, we wszelkich urządzeniach pracujących w okolicach o klimacie szczególnie wilgotnym, w okolicach nadmorskich oraz w pomieszczeniach stale wilgotnych.

Spośród innych materiałów — poza porcelaną — używa się do wyrobu wnętrzowych izolatorów wsporczych i przepustowych materiałów izolacyjnych włóknistych, jak np. repelit oraz bakelit. Izolatory wykonane z tych materiałów są jednakże wrażliwe na wilgoć.

Specjalne zagadnienie w konstrukcji izolatorów stanowi łączenie właściwego izolatora z okuciami (stopa i kołpak — w izolatorach wsporczych, kołnierz i kołpaki — w przepustowych). Dawniejszy sposób — kitowanie — ustępuje coraz więcej, w zastosowaniu do izolatorów porcelanowych dla napięć do 30 — 45 kV włącznie, **okuwaniu mechanicznemu** bez użycia kitu. W takim wykonaniu okucia posiadają elementy wprowadzane do środka izolatora wsporczego. Okucia te zostają — po założeniu — unieruchomione przy pomocy odpowiednich śrub. Izolatory okute mechanicznie odznaczają się mniejszymi wymiarami, mniejszym ciężarem oraz nie są wrażliwe na wahania temperatury ze względu na brak kitu (rys. 46).

Izolatory wsporcze stojące napowietrzne w zakresie napięć do 30—45 kV są analogiczne do liniowych izolatorów deltowych oraz szerokokloszowych, izolatory zaś wsporcze wiszące niczym w zasadzie nie różnią się od normalnych łańcuchów izolatorów liniowych.

(Ciąg dalszy nastąpi)

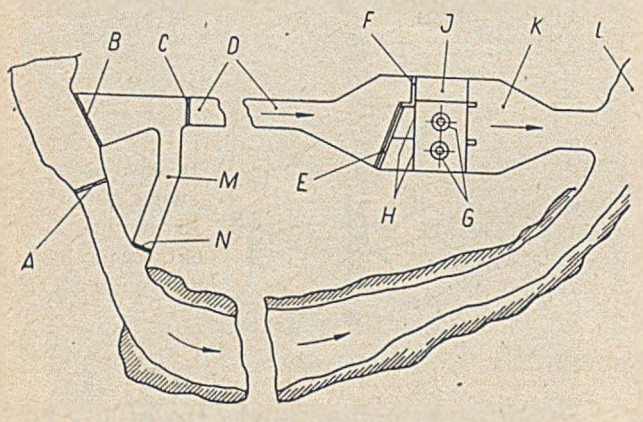
Kilka uwag o elektrowniach wodnych.

(Ciąg dalszy)

Inż. TADEUSZ WINIARSKI.

Elektrownie wodne na kanałach.

O ile brzegi rzeki są tak niskie, że nie można zbytnio spiętrzać wody, ustawiamy tzw. **elektrownię na kanale.** Schematyczny szkic tego rodzaju elektrowni pokazany jest na rys. 5.



Rys. 5. Schemat elektrowni na kanale.
A—jaz, B—wejście do kanału roboczego, C—krata ochronna, D—kanał roboczy górny, E—krata ochronna komór turbiny, F—zasuwa upustowa, G—turbo-zespoły, H—zasuwy komór turbinowych, J—kanał upustowy, K—kanał dolny, L—ujście kanału, M—kanał do odpiaszczania, N—zasuwa piaskowa.

W odpowiednio wybranym miejscu na rzece buduje się **jaz** o takiej tylko wysokości, by można było skierować wodę do bocznego kanału. Kanał ten otrzymuje możliwie mały spad, przez co u wlotu dolnej partii kanału do rzeki uzyskuje się dostateczną różnicę poziomów pomiędzy zwierciadłem wody w kanale a zwierciadłem wody w rzece.

Najlepiej do tego celu nadaje się ta część rzeki, która tworzy pętlę. Przecinając taką pętlę kanałem, uzyskuje się na małej odległości duży spad. Wejście do kanału zakłada się ok. 20 m powyżej jazu. Tam ustawia się zasuwy — tak, aby w razie potrzeby, po opuszczeniu tych zasuw, móc kanał odwodnić i wykonać niezbędny remont. Część kanału poza zasuwami ma dno obniżone i jest szersza, dzięki czemu tworzy tzw. osadnik, z którego co pewien czas należy usunąć naniesiony przez wodę żwir i piasek.

Kanał zamyka się elektrownią wodną, która wyzyskuje spad uzyskany w powyższy sposób.

Elektrownię umieszcza się przy końcu opisanego wyżej kanału — tak, by kanał odpływowy wypadł możliwie najkrótszy. Wlot kanału górnego do komory turbinowej zamknięty jest kratą o wąskich przelotach (ok. 2 cm).

Woda z turbin przepływa poprzez rury ssące, które, zamieniając szybkość wody w energię ciśnienia, umożliwiają odzyskanie części energii zawartej w odpływającej wodzie. Obok zasuw przy komorach turbinowych wykonany jest tzw. upust jałowy, pozwalający na odpływ nadmiaru wody wprost do kanału dolnego.

Elektrownie przy jazach i na kanałach, przerabiające tylko bieżącą wodę rzeki, nazywamy elektrowniami przepływowymi w odróżnieniu od elektrowni zbiornikowych.

Elektrownie zasilane z rurociągów.

Bardzo dogodne warunki dla budowy elektrowni wodnych stwarzają rzeki i jeziora górskie. Zamykając naturalny odpływ wody z jeziora lub rzeki górskiej, doprowadza się ją sztolnią i rurociągami do elektrowni wodnej.

Na końcu sztolni (rys. 6) umieszcza się tzw. **zamek** — mały zbiornik wyrównawczy. W przypadku, gdy elektrownia zamknie dopływ wody do turbiny, woda dopływająca ze sztolni spiętrza się w zamku, dzięki czemu unikamy niepożądanych zwyżek ciśnienia wody w rurociągu.

Zwyżce ciśnienia wody przeciwdziałają w takich urządzeniach również regulatory ciśnienia. Może się bowiem zdarzyć, że na skutek nagłego spadku obciążenia regulatora w elektrowni aparat kierowniczy zamknie dopływ wody z rurociągu do turbiny, co pociągnie za sobą nagłą zwyżkę ciśnienia w rurociągu oraz możliwość uszkodzenia bądź turbiny, bądź też rurociągów. W razie takiej właśnie ewentualności regulatory ciśnienia mają za zadanie odprowadzić nadmiar wody bezpośrednio z rurociągu do kanału odpływowego.

Elektrownie szczytowe.

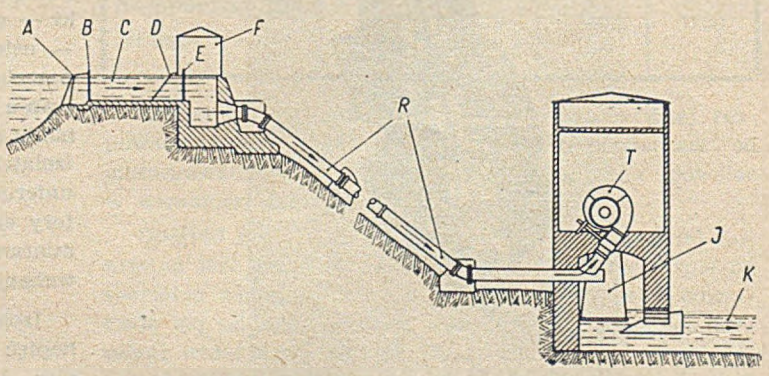
Dobowe obciążenie każdej na ogół elektrowni składa się z dwóch obciążeń — podstawowego i szczytowego. Przy współpracy równoległej kilku elektrowni wygodnie jest — z wielu względów — przydzielić jednym z tych elektrowni pokrywanie tzw. obciążenia podstawowego, reszcie zaś — pokrywanie tzw. szczytów. Toteż dzielimy elektrownie z tego punktu widzenia na tzw. podstawowe i na elektrownie szczytowe.

Elektrownia podstawowa, pokrywając dolną część dziennych wykresów obciążeń, pracuje na ogół jednakową mocą przez możliwie długi okres czasu.

Elektrownia szczytowa wspomaga elektrownię podstawową w godzinach obciążenia szczytowego, toteż pracuje ona przez stosunkowo krótki czas — najczęściej po kilka tylko godzin dziennie.

Elektrownia szczytowa musi dawać się łatwo i szybko uruchomić i nie może mieć dużych strat podczas postojów.

Do tego celu nadają się **elektrownie wodne zbiornikowe** oraz **elektrownie wodne z pompowaniem.**

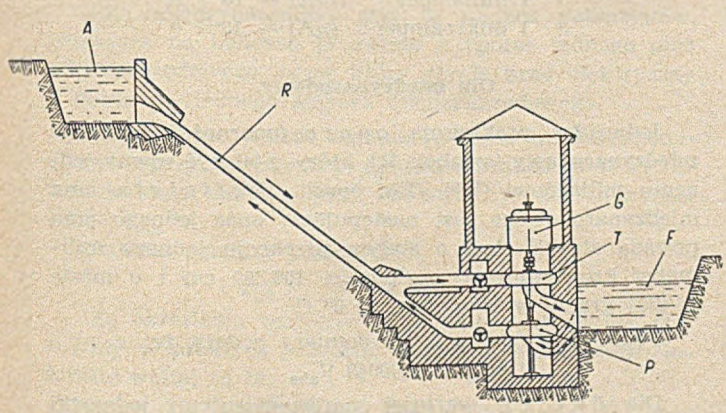


Rys. 6. Schematyczny układ elektrowni zasilanej z rurociągu.
A—krata ochronna, B—zasuwa kanału, C—kanał górny, D—krata ochronna, E—zasuwa, F—zamek, R—rurociąg, T—turbina, J—rura ssąca, K—kanał dolny.

Elektrownia zbiornikowa została już omówiona. Należy jedynie zaznaczyć, że elektrownia zbiornikowa szczytowa winna być zaopatrzona w umieszczony poniżej zbiornik wyrównawczy. Zadaniem takiego zbiornika jest wyrównywanie odpływu wody. Szczytowa bowiem elektrownia wypuszcza w pewnych godzinach duże ilości wody, w innych zaś zupełnie ją zatrzymuje. Gdyby nie było zbiornika wyrównawczego, skutek byłby taki, że raz płynęłyby rzeką duże ilości wody, a potem przepływ jej ustałby całkowicie.

Aby temu zapobiec, poniżej elektrowni zbiornikowej umieszcza się zbiornik wyrównawczy, do którego spływa bezpośrednio woda z elektrowni szczytowej. Ze zbiornika wyrównawczego spływa woda do drugiej elektrowni — położonej poniżej, przy czym moc turbin pracujących w danym dniu jest tak dobrana, aby możliwie przez całą dobę mogły one pracować z jednakową mocą, a więc równomiernie zasilały wodą rzekę. Elektrownia położona poniżej zbiornika wyrównawczego zapewnia równomierny przepływ wody w rzece. Mamy tu zatem dwie elektrownie: szczytową — powyżej zbiornika wyrównawczego oraz wyrównawczą — poniżej tego zbiornika.

Elektrownia zbiornikowa z pompowaniem (rys. 7) posiada dwa zbiorniki — górny i dolny. Woda, spływając z górnego zbiornika, porusza turbinę **T**, która napędza prądnicę synchroniczną **G**. Pompa **P** pompuje wodę z dolnego zbiornika do górnego. Pompa ta umieszczona jest zazwyczaj na wspólnym wale z turbiną. Podczas szczytu woda spływa z górnego zbiornika i napędza turbinę. Poza szczytem — w okresie małego zapotrzebowania mocy — elektrownia pobiera energię zbywającą z sieci. Maszyna synchroniczna **G** pracuje wówczas, jako silnik synchroniczny, pompa zaś przetłacza wodę z dolnego zbiornika do górnego. Zbywająca moc w sieci powstaje z tego powodu, że wobec nierównomiernego obciążenia



Rys. 7. Elektrownia zbiornikowa z pompowaniem.
A—zbiornik górny, R—rurociąg, G—prądnica synchroniczna, T—turbina, P—pompa, F—zbiornik dolny.

w ciągu doby, tygodnia lub roku, część zakładów wytwórczych nie może zbyć bezpośrednio całej swej energii. Głównie jest ta energia do dyspozycji w nocy oraz w święta i wtedy zużytkowuje się ją do akumulacji wody za pomocą pompowania jej do górnych zbiorników.

Zaletą urządzenia z turbiną i pompą na wspólnym wale jest to, że maszyna synchroniczna, pracując jako silnik, służy jednocześnie do poprawiania współczynnika mocy sieci.

(Ciąg dalszy nastąpi)

Popularna elektrotechnika.

Podstawy elektrotechniki.

Inż.-el. T. KULISZEWSKI

(Ciąg dalszy)

13. Sposoby wytwarzania siły elektromotorycznej.

Spośród szeregu istniejących sposobów wytwarzania siły elektromotorycznej na szczególną uwagę zasługują, jeżeli chodzi o otrzymanie energii elektrycznej do celów praktycznych, dwa sposoby:

a) **chemiczny** oraz
b) **elektromagnetyczny.**

Reszta sposobów wytwarzania *sem* [1]), jak np. otrzymywanie *sem* na skutek naświetlania pewnych substancji promieniami świetlnymi (fotokomórki), otrzymywanie *sem* przy drganiu płytki kwarcowej (piezoelektryczność), przez nagrzewanie miejsca styku dwóch różnych metali (termoelektryczność), w maszynach elektrostatycznych itp., posiadają pewne znaczenie praktyczne wykorzystywane przeważnie w działach specjalnych elektrotechniki, jak miernictwo elektrotechniczne, teletechnika, radiotechnika, technika wysokich napięć, nowoczesna elektrochemia, fizyka i in.

Niektóre z tych sposobów wytwarzania *sem* podamy opisowo w działach specjalnych Podstaw Elektrotechniki.

a. Sposób chemiczny.

Z powstawaniem siły elektromotorycznej na drodze chemicznej mamy do czynienia w ogniwach pierwotnych (ogniwa galwaniczne) oraz w ogniwach wtórnych (akumulatory). W ogniwach tych następuje przemiana energii chemicznej (nagromadzonej w tzw. elektrolicie) na energię elektryczną, której to przemianie towarzyszy powstawanie siły elektromotorycznej.

Zjawiska te stanowią przedmiot działu Elektroliza.

b. Sposób elektromagnetyczny.

Sposób otrzymywania *sem* na drodze elektromagnetycznej ma miejsce we wszelkiego rodzaju prądnicach i silnikach elektrycznych, oraz w innych urządzeniach, w których pole magnetyczne oddziaływa w pewnych warunkach na przewody uzwojenia. Następuje tu przemiana energii mechanicznej — za pośrednictwem energii pola magnetycznego — na energię elektryczną, albo też bezpośrednio energia pola magnetycznego zamienia się na energię elektryczną. Jak w jednym, tak i w drugim przypadku, zjawiskom tym towarzyszy powstawanie siły elektromotorycznej.

4. Jednostki wielkości elektrycznych.

Poznane przez nas wielkości elektryczne posiadają zazwyczaj pewne wartości liczbowe. Celem określenia tych wartości musimy ustalić dla każdej z tych wielkości odpowiednie jednostki.

Ponieważ każda wielkość elektryczna jest wynikiem pewnego zjawiska fizycznego to, jak wiemy, może być ona mierzona przy pomocy jednostek bezwzględnego układu jednostek cgs. Jednakże stosowanie bezwzględnego

[1]) Siłę elektromotoryczną będziemy oznaczać w skrócie przez „*sem*".

układu jednostek cgs do wszystkich zjawisk — zarówno elektrycznych, jak i magnetycznych — wymaga pewnych założeń.

Dawniej, w początkowym okresie nauki o elektryczności, zjawiska elektryczne i magnetyczne stanowiły odrębne dziedziny nauki, niezależne od siebie. Wielkości występujące w obu tych dziedzinach były mierzone w bezwzględnym układzie jednostek cgs, jednak dla każdej z nich były poczynione odrębne założenia, stanowiące punkt wyjścia przy określaniu jednostek pochodnych. Tak powstały bezwzględne układy **jednostek elektrostatycznych cgs** oraz **jednostek elektromagnetycznych cgs.**

Nie zawsze jednak owe jednostki bezwzględne nadawały się do celów praktycznych, gdyż niekiedy były albo zbyt duże, albo też zbyt małe. Jest to o tyle niewygodne, że przy jednostkach zbyt dużych wypadają w rachunkach liczby małe (np. ułamki dziesiętne) natomiast przy jednostkach zbyt małych — liczby bardzo duże, co stwarza łatwość pomyłek przy obliczaniu [1]). Dlatego też stworzono — równolegle do układów bezwzględnych — **układy jednostek praktycznych** stanowiących bądź wielokrotność, bądź też podwielokrotność jednostek bezwzględnych.

Z czasem, gdy ustalono ścisły związek pomiędzy wielkościami elektrycznymi a magnetycznymi, powstał jeden układ jednostek praktycznych obejmujący obie grupy, natomiast układy jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych pozostały nadal w mocy.

Jednakże nie wszystkie wielkości elektryczne określano w jednostkach praktycznych. W praktyce okazało się bowiem dogodne pozostawić niektóre jednostki w układach bezwzględnych, co wytworzyło z czasem pewien chaos w wyprowadzaniu wzorów i określeń — tym bardziej, że nie wszędzie uznawane były te same założenia i wzory podstawowe. Poza tym wyprowadzono jednostki praktyczne tej samej wielkości elektrycznej, wychodząc z obu układów jednostek bezwzględnych, wskutek czego przynajmniej jeden z bezwzględnych układów jednostek okazał się zbędny.

Z biegiem czasu, stosując różne założenia, stworzono szereg układów bezwzględnych jednostek elektrostatycznych i elektromagnetycznych, co jeszcze bardziej spotęgowało panujący w tej dziedzinie chaos.

Przeprowadzone ostatnio pomiary wykazały, że używany przez szereg lat układ jednostek praktycznych — oparty na jednostkach podstawowych wyprowadzonych z jednostek bezwzględnych — posiada pewne odchylenia, które należałoby skorygować. Dlatego też dążeniem dzisiejszej nauki jest stworzenie takiego układu jednostek bezwzględnych i praktycznych, który by nie posiadał wad układów dotychczas używanych. Prace nad nowym układem jednostek nie są jeszcze ukończone.

W dalszych naszych rozważaniach używać będziemy układów jednostek bezwzględnych i praktycznych, najczęściej do tej pory w praktyce stosowanych, a mianowicie: **bezwzględny układ jednostek elektrostatycznych cgs** (niezracjonalizowany), **układ bezwzględny jednostek elektromagnetycznych cgs** (niezracjonalizowany) oraz **układ praktyczny międzynarodowy.** Ze szczegółami tych układów zapoznamy się w dalszym ciągu rozważań.

Wprowadzimy obecnie po kolei jednostki, znanych nam wielkości elektrycznych, w pierwszym zaś rzędzie **jednostki praktyczne układu międzynarodowego.** Jednostki układów jednostek elektrostatycznych (JES) oraz jednostek elektromagnetycznych (JEM) [2]) podamy w działach Elektrostatyka i Elektromagnetyzm.

Za podstawę praktycznego układu międzynarodowego przyjęto:

jednostkę **natężenia** prądu,
jednostkę **oporu** elektrycznego,
bezwzględną jednostkę **długości** (cm) oraz
bezwzględną jednostkę **czasu** (s).

Widzimy, że jednostkami podstawowymi są tu dwie jednostki elektryczne oraz dwie jednostki mechaniczne, zapożyczone z fizycznego bezwzględnego układu jednostek.

Amper międzynarodowy.

Za jednostkę praktyczną natężenia prądu przyjęto **amper** (oznaczenie: A), który miał być równy jednej dziesiątej części jednostki elektromagnetycznej (w skrócie: 0,1 JEM) natężenia prądu. Definicja (określenie) **ampera międzynarodowego** jest następująca: jeden amper jest to takie natężenie prądu stałego, który, przepływając przez wodny roztwór azotanu srebra, strąca w ciągu jednej sekundy 1,118 miligramów srebra [3]).

Amper międzynarodowy (A_{int}) według powyższej definicji miał być równy amperowi bezwzględnemu (A_{abs}) czyli absolutnemu, który z kolei wynosił jedną dziesiątą część 1 JEM natężenia prądu.

Ostatnio dokonane pomiary wykazały tu pewne odchylenia, a mianowicie stwierdzono, że:

$$1\ A_{int} = 0{,}99985\ A_{abs}$$

W praktyce często używane są pochodne jednostki ampera — wielokrotne lub podwielokrotne, a mianowicie:

1 kiloamper (kA) = 10^3 A
1 miliamper (mA) = 10^{-3} A
1 mikroamper (μA) = 10^{-6} A

Om międzynarodowy.

Jednostką praktyczną oporu (oporności) jest **om międzynarodowy** (symbol: Ω), który miał być równy jednemu miliardowi (10^9) JEM oporu. Definicja oma międzynarodowego jest następująca: opór jednego oma posiada słupek rtęci o stałym przekroju jednego milimetra kwadratowego o długości 106,300 cm i o masie 14,4521 grama w temperaturze 0^0 C.

Ostatnio dokonane ścisłe pomiary podają, że:

$$1\ \Omega_{int} = 1{,}00049\ \Omega_{abs}$$

Dla dużych wartości oporów stosujemy jednostki wielokrotne oma, a mianowicie:

1 kiloom (kΩ) = 10^3 Ω oraz
1 megom (MΩ) = 10^6 Ω

Kulomb międzynarodowy.

Jednostką ładunku elektrycznego jest **kulomb** (symbol: C), który miał być równy 3. 10^9 JES ładunku lub 0,1 JEM ładunku.

---

[1]) Jest to tak, jak gdybyśmy chcieli np. ciężar dużego transformatora wyrazić w miligramach (liczba bardzo duża), albo grubość blachy transformatorowej w kilometrach (liczba bardzo mała).

[2]) JES — oznacza w skrócie: jednostka elektrostatyczna.
JEM — jednostka elektromagnetyczna.

[3]) Definicja ta oparta jest na zjawisku elektrolizy. Z innymi definicjami ampera zapoznamy się w dalszym ciągu.

Kulomb międzynarodowy określamy, posługując się wzorem (12):

$$Q = I \cdot t$$

czyli:

$$1\ C = 1\ A . 1\ s = 1\ As \qquad (24)$$

Wynika stąd, że ładunek mierzymy również w amperosekundach (As).

Jednostką większą jest amperogodzina (Ah)

$$1\ Ah = 3600\ As.$$

Ostatnie pomiary wykazały, że:

$$1\ C_{int} = 0{,}99985\ C_{abs}$$

Ze wzoru (13) możemy wyznaczyć jednostkę natężenia prądu zakładając $t = 1$ s, w sposób następujący:

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$1\ A = \frac{1\ C}{1\ s}$$

Słowami możemy to wyrazić w następujący sposób: jeżeli przez przekrój przewodu przepływa ładunek o wartości jednego kulomba w czasie jednej sekundy, to natężenie prądu w tym przewodzie wynosi jeden amper.

Należy tu nadmienić, że 1 JES ładunku zawiera $2{,}097 . 10^9$ ładunków elementarnych czyli elektronów. Zatem natężenie jednego ampera jest równoznaczne z przepływem $6{,}29 . 10^{18}$ elektronów na sekundę przez dowolny przekrój przewodu. Jest to tzw. elektronowa definicja jednostki natężenia prądu — ampera.

Wolt międzynarodowy.

Siłę elektromotoryczną, potencjał oraz napięcie mierzymy w tej samej jednostce. Jednostką tą jest **wolt** (symbol: V), który miał być równy 10^8 JEM napięcia lub jednej trzechsetnej części 1 JES napięcia.

Ścisła definicja wolta międzynarodowego wynika z prawa Ohma, które poznamy niebawem; brzmi ona: wolt międzynarodowy jest to różnica potencjałów, istniejąca na końcach przewodu o oporze jednego oma międzynarodowego, przez który płynie prąd elektryczny o natężeniu jednego ampera międzynarodowego.

Istnieje inne jeszcze określenie wolta międzynarodowego — przy pomocy tzw. ogniwa normalnego Westona, którego napięcie przy temperaturze 20^0 C wynosi $1{,}0183\ V_{int}$ [4]).

Ostatnie pomiary podają, że:

$$1\ V_{int} = 1{,}00034\ V_{abs}$$

Dla określania większych lub mniejszych napięć stosujemy w praktyce jednostki wielokrotne lub podwielokrotne wolta; są to:

1 megawolt (MV) = 10^6 V
1 kilowolt (kV) = 10^3 V
1 miliwolt (mV) = 10^{-3} V

Dżul międzynarodowy.

Jednostką pracy elektrycznej podobnie jak i w mechanice, jest jeden **dżul międzynarodowy** (J), który miał być równy 10^7 jednostek bezwzględnych fizycznego układu jednostek cgs, czyli 10^7 ergów. Definicja dżula międzynarodowego jest następująca: jeżeli podczas przepływu elektryczności w ilości jednego kulomba międzynarodowego między dwoma punktami przewodu istnieje różnica potencjałów jednego wolta międzynarodowego, to ilość energii elektrycznej zamienionej na energię innego rodzaju — równoważną wykonanej pracy — wynosi jeden dżul międzynarodowy. Definicja ta wynika ze wzorów (17) lub (20):

$$W = U \cdot Q$$

$$1\ J = 1\ V . 1\ C$$

Ponieważ ze wzoru (24) mamy:

$$1\ C = 1\ A . 1\ s$$

więc:

$$1\ J = 1\ V . 1\ A . 1\ s \qquad (25)$$

Ostatnie pomiary wykazały, że:

$$1\ J_{int} = 1{,}00019\ J_{abs}$$

Wat międzynarodowy.

Jednostką mocy elektrycznej podobnie jak i w mechanice, jest **wat międzynarodowy** (symbol: W), który miał być równy 10^7 ergów na sekundę. Definicję wata międzynarodowego możemy wyprowadzić ze wzoru (23) lub (25)

$$P = U . I$$

$$1\ W = 1\ V . 1\ A$$

lub

$$\frac{1\ J}{1\ s} = 1\ V . 1\ A = 1\ W \qquad (26)$$

w sposób następujący:

jeżeli w czasie przepływu prądu o natężeniu jednego ampera międzynarodowego między dwoma punktami przewodu istnieje różnica potencjałów jednego wolta międzynarodowego, to moc prądu elekrycznego w czasie przemiany energii elektrycznej na inny rodzaj energii, zachodzącej między tymi punktami wynosi jeden wat międzynarodowy.

Ze wzorów (26) i (23) wynika, że

wat = wolt × amper.

Ostatnio dokonane pomiary wykazują, że:

$$1\ W_{int} = 1{,}00019\ W_{abs}$$

W codziennej praktyce spotykamy i tu jednostki wielokrotne lub podwielokrotne, a mianowicie

1 megawat (MW) = 10^6 W
1 kilowat (kW) = 10^3 W
1 miliwat (mW) = 10^{-3} W.

Ze wzoru (22) możemy wyznaczyć jednostkę energii elektrycznej

$$W = P . t$$

czyli

W = waty × sekundy = watosekundy (Ws)

W praktyce używamy również jednostek wielokrotnych; są nimi:

1 watogodzina (Wh) = 3600 Ws
1 kilowatogodzina (kWh) = 1000 Wh = 3600000 Ws.

Simens międzynarodowy.

Simens międzynarodowy jest to jednostka przewodności elektrycznej; oznaczamy go symbolem S. Definicja simensa międzynarodowego wynika ze wzoru (14):

$$G = \frac{1}{R}$$

a więc

$$1\ S = \frac{1}{1\ \Omega} = 1\ \Omega^{-1}$$

Simens międzynarodowy jest odwrotnością oma międzynarodowego i ma być równy 10^{-9} JEM oporu.

Ostatnie pomiary wykazują, że:

$$1\ S_{int} = 0{,}99951\ S_{abs}$$

[4]) Dokładne dane zostaną przytoczone w dziale Elektroliza.

W praktyce używane są również jednostki podwielokrotne simensa:

1 milisimens (mS) = 10^{-3} S = 1 kΩ
1 mikrosimens (μS) = 10^{-6} S = 1 MΩ

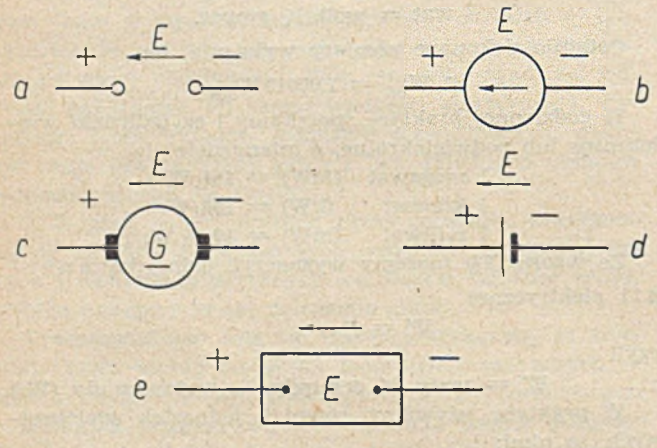
Wobec tego, że ostatnio dokonane, bardzo dokładne pomiary, jak już wspomnieliśmy, wykazują niezbyt wielkie odchylenia wartości praktycznych jednostek międzynarodowych od jednostek bezwzględnych, wyprowadzonych jako jednostki wielokrotne lub podwielokrotne układów bezwzględnych jednostek elektrostatycznych lub elektromagnetycznych (różnice te wynoszą mniej niż ± 0,1%), układ praktyczny jednostek międzynarodowych uznać należy za całkowicie wystarczający zarówno w praktyce codziennej, jak i w rozważaniach teoretycznych.

15 Obwody elektryczne.

Obwodem elektrycznym nazywamy układ połączonych ze sobą części urządzeń elektrycznych, umożliwiający zamknięty obieg prądu.

Podstawowe części obwodu elektrycznego stanowią: **źródło** prądu, **odbiornik** (wzgl. odbiorniki) prądu oraz **przewody** łączące źródło prądu z odbiornikiem (odbiornikami). Dodatkowym urządzeniem w obwodzie może być wyłącznik lub tp.

Dla oznaczenia na rysunkach i schematach części składowych obwodu elektrycznego lub układów elektrycznych używane są tzw. symbole graficzne czyli ogólnie przyjęte znaki kreślarskie. Na rys. 10 pokazane są częściej stosowane symbole graficzne źródeł prądu [1]).



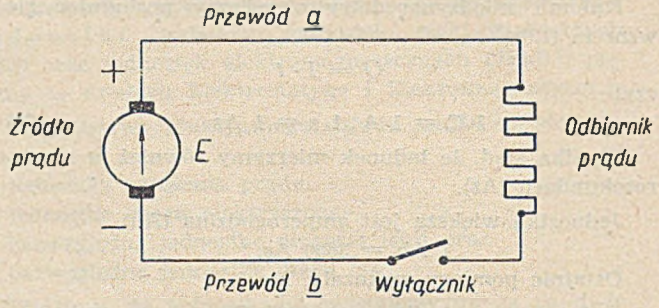
Rys. 10. Symbole graficzne źródeł prądu stałego.
a. zaciski źródła prądu stałego, b. symbol ogólny źródła prądu stałego, c. prądnica prądu stałego, d. ogniwo galwaniczne lub akumulatorowe, e. inne oznaczenie źródła prądu stałego.

Najprostszy obwód elektryczny pokazany jest na rys. 11. Odbiornikiem prądu jest tu opornik, przedstawiony za pomocą ogólnego symbolu graficznego oporu.

Rozróżniamy zasadniczo trzy stany, w jakich obwód elektryczny może się znajdować; obwód może być bowiem:

a) zamknięty,
b) otwarty oraz
c) zwarty.

[1]) Symbole graficzne innych części obwodów będziemy podawali stopniowo na schematach w miarę ich ukazywania się w tekście.

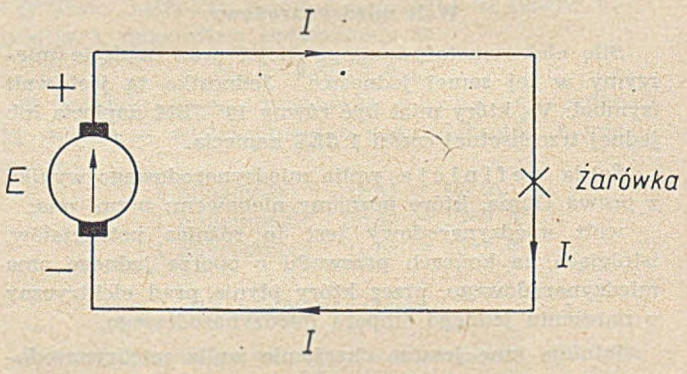


Rys. 11. Najprostszy obwód elektryczny prądu stałego.

Obwód zamknięty widzimy na rys. 12; powstaje on po zamknięciu wyłącznika. W obwodzie zamkniętym umożliwiony jest przepływ prądu ze źródła prądu do odbiornika i z powrotem. Prąd w takim obwodzie ma obieg zamknięty.

Obwód elektryczny dzielimy zazwyczaj na dwie części; odróżniamy mianowicie **obwód zewnętrzny**, utworzony przez odbiornik prądu oraz przewody łączące i **obwód wewnętrzny** stanowiący samo źródło prądu.

Według poczynionych uprzednio założeń prąd w obwodzie zewnętrznym — jeżeli chodzi o źródło prądu stałego — płynie od plusa (+) źródła prądu poprzez odbiornik — do minusa (—) źródła prądu, wewnątrz zaś źródła — od minusa do plusa. Kierunek prądu I pokazany jest na rys. 12. Omawiać na razie będziemy obwody prądu

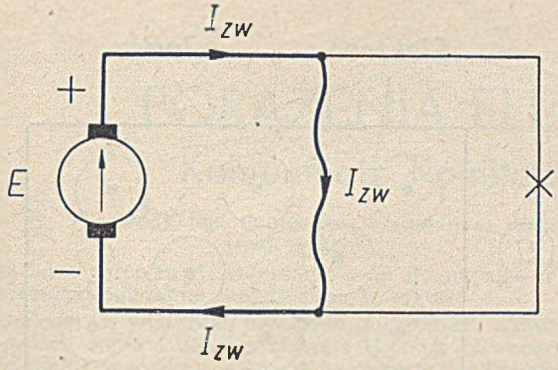


Rys. 12. Obieg prądu w obwodzie zamkniętym prądu stałego.

stałego. Podstawową cechą obwodu zamkniętego jest to, że w każdym punkcie zamkniętego obwodu nierozgałęzionego natężenie prądu jest jednakowe. Kierunek prądu w takim obwodzie jest zgodny z kierunkiem siły elektromotorycznej E źródła prądu.

Obwód otwarty powstaje wtedy, gdy mamy w obwodzie przerwę, uniemożliwiającą przepływ prądu. W przypadku pokazanym na rys. 11, obwód otwarty powstanie z chwilą otwarcia wyłącznika. Jasne jest, że w obwodzie otwartym prąd nie płynie, czyli $I = 0$.

Obwód zwarty powstanie wówczas, gdy przewody łączące odbiornik ze źródłem prądu zostaną ze sobą w jakikolwiek sposób połączone (zwarte), tworząc styk metaliczny. Wtedy, jak to widzimy z rys. 13, prąd nie płynie, praktycznie rzecz biorąc, przez odbiornik, lecz przez połączenie między przewodami, zamykając w ten sposób obieg prądu. Będziemy mieli wówczas w obwodzie inny prąd, niż poprzednio, — o dużej na ogół wartości — tzw. prąd zwarcia I_{zw}. Jak zobaczymy później, prąd zwarcia jest bardzo szkodliwy zarówno dla źródła prądu, jak i dla całego urządzenia.

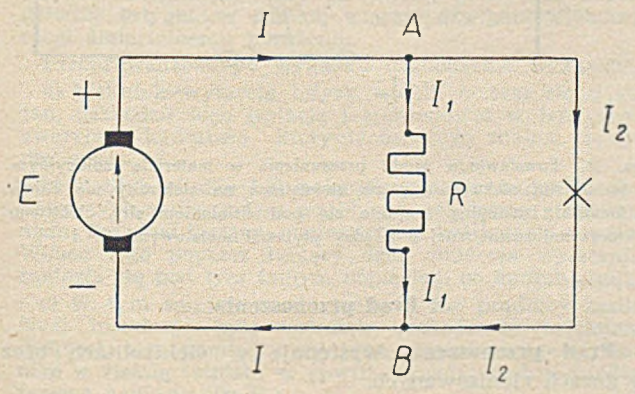


Rys. 13. Obwód zwarty.

Odróżniać będziemy w obwodach zamkniętych: obwody nierozgałęzione i obwody rozgałęzione. a także obwody o działającej w nich sile elektromotorycznej oraz obwody bez siły elektromotorycznej.

Przykładem obwodu nierozgałęzionego, posiadającego działającą w nim siłę elektromotoryczną, jest obwód pokazany na rys. 12.

Rys. 14 podaje schemat obwodu rozgałęzionego składającego się z dwóch gałęzi równoległych: **ARB** oraz **AZB**, w których załączone są dwa odbiornika — opornik **R** oraz żarówka **Z**[2]) o oporności innej niż opornik **R**. W obwodzie rozgałęzionym pokazanym na rys. 14 płyną trzy różne prądy I, I_1 oraz I_2, które nie są sobie równe. Obliczeniem tych prądów zajmiemy się później. Na razie podkreślimy, na co szczególną trzeba zwrócić uwagę —, że wartość prądu I, wypływającego ze źródła prądu jest zawsze równa wartości prądu powracającego do tego źródła. Możemy więc powiedzieć[3]), że w obwodzie rozgałęzionym prąd przed rozgałęzieniem **A** jest taki sam, jak za rozgałęzieniem **B** (rys. 14).



Rys. 14.. Przykład obwodu rozgałęzionego.

Rozpatrując schemat pokazany na rys. 14, możemy odróżnić w nim trzy oddzielne obwody zamknięte:

1) obwód **E-A-R-B-E**, jest to obwód zamknięty, w którym działa siła elektromotoryczna E, a który w pewnych warunkach można rozpatrywać, jako obwód nierozgałęziony;

2) obwód **E-A-Z-B-E**, przedstawiający obwód podobny, jak w p. 1 oraz

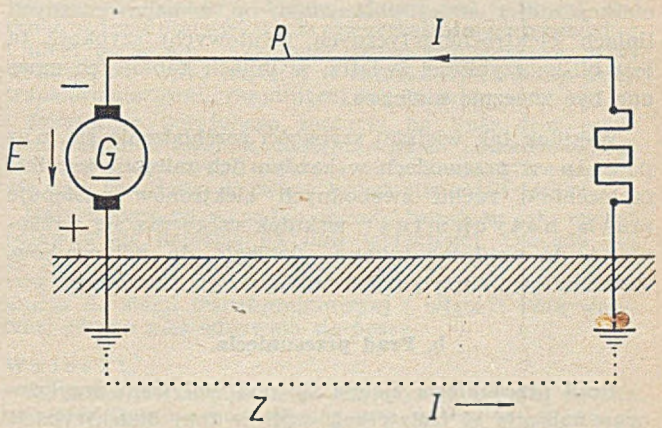
3) obwód **A-Z-B-R-A**; jest to obwód zamknięty, w którym nie działa żadna siła elektromotoryczna, a który w pewnych warunkach może być również uważany za obwód nierozgałęziony.

[2]) Literę **Z** opuszczono na rys. 14; prosimy ją uprzejmie dopisać obok żarówki!

[3]) Ściśle biorąc jest to słuszne w założeniu, że izolacja obwodu jest doskonała i że nie ma tzw. upływu prądu.

Poza tym każdy obwód rozgałęziony, jako całość, będziemy nazywać siecią, obwód zaś okalający sieć (na rys. 14 — obwód **E-A-Z-B-E**) — obwodem zewnętrznym sieci. Każdy obwód sieci nieposiadający wewnątrz rozgałęzienia (na rys. 14—obwód **E-A-R-B-E** lub **A-Z-B-R-A**) — nosi nazwę oczka (okienka) sieci. Prócz tego każdy punkt sieci, w którym schodzą się połączone ze sobą przynajmniej trzy przewody, nazywać będziemy węzłem sieci (na rys. 14 — węzłami są punkty **A** i **B**).

W niektórych przypadkach obwód elektryczny może być „zamknięty przez ziemię", ziemia bowiem jako zbiór materiałów przewodzących, stanowi na ogół względnie dobry przewodnik prądu. Tego rodzaju obwód — z wykorzystaniem ziemi — może mieć na celu np. zaoszczędzenie przewodów przy większych odległościach pomiędzy odbiornikiem a źródłem prądu (rys. 15). Należy



Rys. 15. Wykorzystanie ziemi, jako jednego z przewodów prowadzących prąd.

jednak zwrócić uwagę że tworzenie obwodów z wykorzystaniem ziemi musi być traktowane z pewną rezerwą, gdyż po pierwsze występuje tu szereg czynników dodatkowych, które należy uwzględniać w obliczeniach, po drugie zaś — z uwagi na konieczność stosowania specjalnych środków ostrożności (dla zapobieżenia ewentualnym zwarciom z ziemią) oraz ze względu na bezpieczeństwo (przy wyższych napięciach).

Rys. 15 pokazuje typowy przykład obwodu, w którym prądnica **G** zasila — poprzez ziemię **Z** i przewód **p** — odbiornik.

16. Rodzaje prądu elektrycznego.

Opierając się na elektronowej teorii elektryczności, prądy elektryczne możemy podzielić na pewne rodzaje — w zależności od charakteru ruchu elektronów oraz od ich szybkości.

Rozróżniamy cztery rodzaje prądów, a mianowicie:

a) prądy przewodzenia,
b) prądy przesunięcia,
c) prądy przenoszenia oraz
d) prądy elektronowe.

a. Prąd przewodzenia.

Do **prądów przewodzenia** zaliczamy prądy płynące w dobrych **przewodnikach** elektryczności — w pierwszym zaś rzędzie w metalach. O tych prądach właśnie mowa była dotychczas, kiedy to rozpatrywaliśmy ich właściwości. Prąd przewodzenia jest to więc **ruch elektronów swobodnych** w przewodniku pod wpływem siły elektromotorycznej skierowany w pewnym określonym kierunku.

Szybkość jednokierunkowego ruchu elektronów w przewodnikach (przeskok z atomu na atom) jest — rzecz na pozór dziwna — **bardzo mała**, pomimo, że szybkość ich w ruchu bezładnym w samym przewodniku jest olbrzymia; prąd zatem w przewodniku płynie powoli. Szybkość prądu przewodzenia w przeciętnych warunkach jest rzędu 1 milimetra na sekundę.

Zdawałoby się, że jest to nieprawdopodobne, gdyż np. po załączeniu prądu w elektrowni miejskiej światło zapala się natychmiast w całym mieście. Otóż należy tu zwrócić uwagę, że z chwilą włączenia źródła prądu na sieć, napięcie na odległym odbiorniku zjawi się prawie natychmiast, rozchodzi się ono bowiem (ale nie płynie!) wzdłuż przewodów, jako fala elektromagnetyczna, z szybkością zbliżoną do szybkości światła (około 300000 km. na sekundę). Szybkość ta jest zależna od rodzaju linii elektrycznej i od jej właściwości; np. w napowietrznych liniach elektroenergetycznych (drutowych) szybkość ta jest bliska szybkości światła; w liniach kablowych może ona być znacznie mniejsza.

Wskutek tak wielkiej szybkości rozchodzenia się napięcia w przewodach w każdym ich miejscu wszelkie zakłócenie [1]) ruchu swobodnych elektronów następuje prawie natychmiast wskutek czego ma się wrażenie, że to prąd tak szybko „dobiegł" do odbiorników. Jednakże jest to tylko pewnego rodzaju złudzenie.

b. Prąd przesunięcia.

Prąd przesunięcia zjawia się pod wpływem przyłożonego napięcia w izolatorach czyli w tzw. dielektrykach.

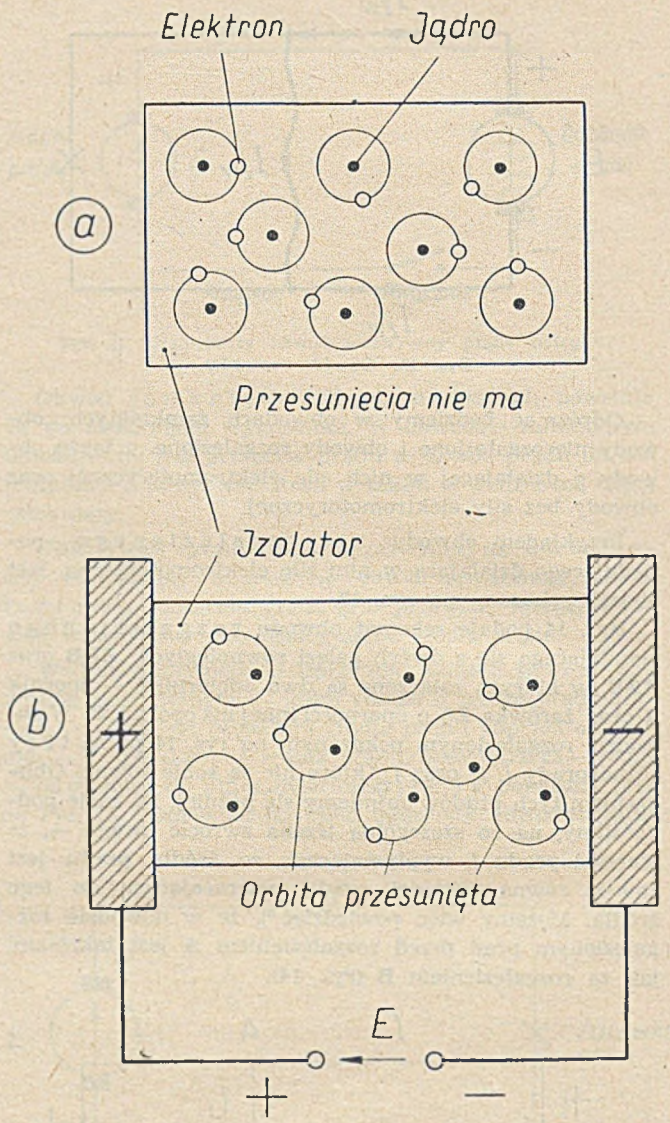
Liczba swobodnych elektronów w izolatorach [2]) jest znikomo mała, wobec czego możemy przyjąć, że prądy przewodzenia przez izolator, praktycznie biorąc, nie płyną. Tłumaczy się to tym, że najbardziej „kompletna" w drobinie izolatora jest zewnętrzna warstwa elektronów, wskutek czego elektrony te są silniej przyciągane przez jądro własnego atomu, niż przez jądra atomów sąsiednich. Toteż żaden elektron „nie chce" oderwać się od swej orbity i dlatego właśnie prądy przewodzenia w materiałach izolacyjnych nie występują.

Natomiast elektrony planetarne pod wpływem przyłożonego napięcia jako ładunki ujemne, będą przyciągane do bieguna dodatniego źródła przyłożonego napięcia; ponieważ nie są one w stanie oderwać się od atomu, **orbity ich ulegną zniekształceniu** (rys. 16-b). Czas, zużyty na zniekształcenie orbit elektronów planetarnych, określa czas trwania chwilowego prądu w izolatorze. Jest to właśnie tzw. **prąd przesunięcia.** Po wyłączeniu napięcia przyłożonego do izolatora, orbity elektronów zajmą swe położenia początkowe (rys. 16-a) i znów zjawi się prąd przesunięcia, lecz o kierunku odwrotnym. Jak widzimy, prąd przesunięcia nie ma stałego kierunku.

W pewnych przypadkach prąd przesunięcia może powstać również w ciałach płynnych lub też w gazach.

[1]) Mamy tu do czynienia z tzw. „perturbacją" elektromagnetyczną.

[2]) Pod słowem izolator nie należy tu rozumieć izolatora wykonanego np. z porcelany lub szkła i używanego do zamocowania przewodów, lecz **materiał izolacyjny.** Izolatorami są np.: mika, ebonit, wyroby bakelizowane, szkło, porcelana, olej transformatorowy oraz liczne inne.



Rys. 16. Powstawanie prądu przesunięcia w materiale izolacyjnym. a. żadna siła elektromotoryczna zewnętrzna na elektrony nie działa. b. materiał izolacyjny znajduje się pod działaniem siły elektromotorycznej zewnętrznej E między płytkami metalowymi (+ i —).

c. Prąd przenoszenia.

Prąd przenoszenia występuje w elektrolitach oraz w gazach zjonizowanych.

Tu prąd elektryczny utworzony jest przez ruch ładunków ujemnych, które posiadają jony ujemne, wobec czego następuje ruch jonów ujemnych do bieguna dodatniego źródła przyłożonego napięcia. Poza tym jony dodatnie dążą do bieguna ujemnego źródła przyłożonego napięcia.

(Ciąg dalszy nastąpi).

Pomagajmy racjonalizatorom w Energetyce i w Przemyśle Elektrotechnicznym!

PORAŻENIA ELEKTRYCZNE w POLSCE

Komunikaty Komitetu Bezpieczeństwa Pracy SEP (ciąg dalszy)

22. Przewody pod napięciem w spalonym domu (woj. wrocł.)

12-letni chłopiec K. wszedł do ruin domu, aby znaleźć deszczułki potrzebne mu do prac w szkole.

Dotknął się wiszącego przewodu połączonego z mufą sąsiedniego domu i uległ porażeniu. Koledzy chłopca zaraz dali znać o wypadku, tak że w krótkim czasie porażonego, dającego oznaki życia, przewieziono do szpitala, gdzie lekarz wkrótce stwierdził zgon.

Odpowiedzialnym za wypadek uznano pracownika, który zaniedbał dopilnowania odłączenia od sieci przewodów w zrujnowanych domach.

Wnioski.

Wypadek ten powinien być przestrogą dla pracowników sprawujących kontrolę nad siecią rozdzielczą w miejscowościach, gdzie są zrujnowane domy.

Z opisu wypadku można wnosić, że były wszelkie szanse na uratowanie chłopca, gdyby pomocy udzielono mu zaraz na miejscu, zamiast przewozić go do szpitala. Wskazuje to, że najprostsze zasady ratownictwa powinny być znane szerokiemu ogółowi.

23. Zerwany przewód uziemienia (woj. warszawskie)

W zakładzie włókienniczym monter K. został wezwany do kotłowni celem zbadania silnika, z którego zaczął wydobywać się dym, wobec czego silnik wyłączono.

Silnik (napędzający wentylator) umieszczony był na szynach stalowych wmurowanych w ścianę na wysokości ok. 2,5 m. Wyłącznik z napędem dźwigniowym przymocowany był do ściany na wysokości ok. 1,5 m. Napięcie międzyprzewodowe wynosiło 500 V.

Monter stwierdził duże nagrzanie jednego z łożysk i brak w łożysku oleju. Nalał więc oleju i pozostawił silnik do ostygnięcia. Gdy po dwóch godzinach, stwierdziwszy ostygnięcie silnika, włączał dźwignią wyłącznik, uległ śmiertelnemu porażeniu.

Przeprowadzone po wypadku dochodzenie wykazało:

a) Wskutek wytarcia łożysk wirnik ocierał się o stojan, uszkodził jego izolację i spowodował w ten sposób zwarcie z kadłubem, który wobec tego znalazł się pod napięciem.

b) Kadłub silnika był połączony gołym drutem z obudową wyłącznika celem wspólnego połączenia z uziemieniem. Przewód łączący z uziemieniem był jednak zerwany. Wobec tego poprzez łączący drut obudowa wyłącznika znalazła się pod tym samym napięciem co kadłub silnika.

c) W tym samym czasie jedna z faz prądnicy zasilającej instalację była wskutek uszkodzenia uziemiona. Wskutek tego pomiędzy obudową wspomnianego wyłącznika a ziemią istniało w chwili wypadku pełne międzyfazowe napięcie 500 V.

Gdy monter zamknął wyłącznik, prąd przeszedł z fazy zwartej z kadłubem silnika poprzez drut łączący kadłub z obudową wyłącznika do dźwigni wyłącznika, skąd przez rękę i ciało montera do ziemi, a następnie do uziemionej fazy prądnicy.

Trzeba dodać, że pod wyłącznikiem znajdowała się położona na ziemi płyta stalowa, co zmniejszyło opór przepływu prądu z nóg montera do ziemi.

Wnioski.

Zbyt często zapomina się, że uziemienie tylko wówczas może być urządzeniem ochronnym, jeżeli jest należycie utrzymane.

Zerwany przewód uziemiający stanowi wprost niebezpieczeństwo dla obsługi, bo przebicie do kadłuba w jednym z przyrządów zawsze się może zdarzyć, a wówczas wszystkie połączone z nim obudowy innych przyrządów znajdują się pod napięciem, jak w danym wypadku obudowa wyłącznika połączona z korpusem silnika.

Trzeba z naciskiem podkreślić, że wartość ochronna uziemienia zależy od tylu zmiennych czynników, że często tylko fachowiec dobrze obeznany z zagadnieniami uziemienia jest w stanie orzec, czy w danych warunkach uziemienie można uważać za pewny środek zabezpieczający przed porażeniem. Dlatego też nawet tam, gdzie zgodnie z przepisami zainstalowano uziemienie, zaleca się stosowanie chodników izolujących przy przyrządach i maszynach elektrycznych.

W opisanym wypadku dymienie silnika przed wyłączeniem powinno było nasunąć monterowi konieczność zbadania także, czy nie powstało przebicie izolacji w silniku.

24. Praca na słupie linii o napięciu 380 V (woj. poznańskie)

Monter elektrowni Sz., zakładając w pewnej wsi odgałęzienie do jednego z domów od linii 380-woltowej, dotknął podczas pracy na słupie równocześnie dwu przewodów i uległ porażeniu, jakkolwiek przed rozpoczęciem pracy wyłączył sieć spod napięcia w zamykanej na klucz stacji transformatorowej, znajdującej się w tejże wsi.

Pomocnicy porażonego zarzucili na linię drut celem spowodowania zwarcia, następnie zdjęli poszkodowanego ze słupa i zastosowali sztuczne oddychanie, które jednak nie dało rezultatu; wezwany lekarz stwierdził śmierć.

Natychmiast po wypadku zaczęto badać, w jaki sposób pojawiło się napięcie na linii wyłączonej. Okazało się, że jeden z mieszkańców wsi, zirytowany widocznie przerwą w dopływie prądu, dostał się przy pomocy dobranego klucza do stacji transformatorowej i włączył linię wówczas, gdy na niej odbywała się praca.

Wnioski.

Wypadek jest specjalnie pouczający, gdyż rzuca światło na warunki, które mogą występować na wsi, co jest ważne w związku z przeprowadzaną na wielką skalę elektryfikacją wsi. Trzeba się liczyć z możliwością wypadków specyficznych dla warunków wiejskich.

Drzwi pomieszczeń elektrycznych powinny być zawsze zaopatrzone w specjalne zamki, nie dające się otworzyć dobranym kluczem.

Zalecenie zawarte w § 56 PNE-10, aby także przy niskim napięciu zwierać i uziemiać przewody w miejscu prowadzonej pracy po wyłączeniu dopływu prądu, powinno być ogólnie stosowane. Monterzy dla własnego bezpieczeństwa nie powinni się zrażać dodatkową pracą związaną ze zwieraniem i uziemianiem przewodów, uchronią się bowiem w ten sposób od śmiertelnego, jak w tym wypadku, włączenia linii pod napięcie przez osobę niepowołaną lub wskutek omyłki.

25. Konserwacja transformatora o nap. 15 000/380 V (woj. pomorskie)

W podstacji transformatorowej wyłączono transformator spod napięcia po stronie niskiego i wysokiego napięcia, a po stronie wysokiego napięcia zwarto ponadto przewody i uziemiono je, nie wyjmując jednak bezpieczników. Następnie pomocnik monterski S. przystąpił do malowania konserwatora oleju.

W chwilę po ukończeniu pracy, gdy usunięto już zwarcie i uziemienie przewodów, lecz nie dano jeszcze sygnału włączenia, pomocnik monterski S. chciał jeszcze jakiś szczegół poprawić, wszedł na transformator i uległ śmiertelnemu porażeniu, zetknąwszy się z jedną z części, będącej pod napięciem.

Powstało zagadnienie, w jaki sposób pojawiło się napięcie na zaciskach transformatora, skoro nie był dany umówiony sygnał włączenia. Okazało się, że monter, który obsługiwał wyłącznik wysokiego napięcia, znajdujący się w odległości ok. 300 m od stacji transformatorowej, dostrzegł ruch przy usuwaniu zwarcia i uziemienia przewodów i biorąc to za dowód ukończenia pracy dokonał włączenia, pomimo że wyraźnie był umówiony sygnał akustyczny, którego nie dano.

Wnioski.

Każdy monter powinien pamiętać, że jak obowiązkiem jego jest dbać o własne bezpieczeństwo, tak samo musi dbać o to, aby nie spowodować zagrożenia towarzyszów

pracy i osób postronnych. Słusznie więc wspomniany wyżej monter został ukarany za lekkomyślne włączenie bez umówionego sygnału i spowodowanie tym śmierci kolegi.

Wypadki wskutek włączenia urządzeń pod napięcie w czasie pracy zdarzają się tak często, że na ten szczegół należy zwracać szczególnie baczną uwagę przy organizowaniu prac.

W sprawie danego wypadku należy zaznaczyć, że po zdjęciu zabezpieczeń w postaci zwarcia i uziemienia przewodów nie wolno prowadzić żadnych dalszych prac i dlatego w tym wypadku część winy spada na porażonego. Towarzyszący mu monter, który zdejmował zabezpieczenia, powinien był powstrzymać kolegę od ponownego wejścia na transformator.

Najpewniejsze są przerwy w obwodzie widoczne z miejsca pracy. Trudno zrozumieć, dlaczego w danym wypadku nie wyjęto na czas pracy bezpieczników znajdujących się przy transformatorze.

26. Czyszczenie rozdzielni na 6 000 V (woj. śląskie)

W jednej z hut brygada złożona ze starszego montera i dwu monterów czyściła poszczególne celki rozdzielni na 6 000 V, wyłączając uprzednio urządzenia w czyszczonych celkach spod napięcia i uziemiając wyłączone przewody. Do czyszczenia użyto odkurzacza elektrycznego na drążku izolacyjnym zbudowanym do użycia przy napięciu 6 000 V.

Zdawałoby się, że o wypadku w tych warunkach nie może być mowy. Jednak w czasie przerwy śniadaniowej starszy monter wyszedł z jednym z pomocników do sąsiedniej hali. Tam usłyszeli krzyk, a powróciwszy do rozdzielni zobaczyli drugiego pomocnika S. w płonącym ubraniu w celce będącej pod napięciem.

Pomimo szybkiego ugaszenia pożaru gaśnicami pianowymi i przywiezienia poszkodowanego do szpitala nie dało się go uratować i po dwu dniach monter zmarł wskutek doznanych poparzeń.

Dochodzenie wykazało, że poszkodowany korzystając z nieobecności starszego montera wszedł do celki znajdującej się pod napięciem i zaczął czyścić urządzenia zwykłą szczotką wygodniejszą niż odkurzacz na drążku izolacyjnym. Ponieważ szczotka była wiązana drutem, powstało zwarcie pomiędzy fazami, a łuk elektryczny poparzył poszkodowanego i zapalił na nim ubranie.

W n i o s k i.

Cechą charakterystyczną urządzeń elektrycznych jest to, że niebezpieczeństwo z nimi związane nie jest tak oczywiste, jak na przykład w wielu urządzeniach mechanicznych. Mało wykwalifikowany personel jest więc narażony każdej chwili na wypadek wskutek własnej nieświadomości.

Wynika stąd nauka, że zwłaszcza przy urządzeniach wysokiego napięcia nie wolno pozostawiać mało wykwalifikowanych pracowników bez nadzoru. Ponadto praktyczne szkolenie pracowników elektrotechnicznych trzeba zaczynać od wymagań bezpieczeństwa pracy.

Wielu monterów ma tendencję do posługiwania się dla ułatwienia sobie pracy niewłaściwym sprzętem (jak w tym wypadku zwykłą szczotką, w dodatku wiązaną drutem), chociaż sprzęt ochronny, niezależnie od innych wskazań bezpieczeństwa, jest nakazany po to, aby uchronić ich samych od możliwości wypadku.

27. Stacja transformatorowa o napięciu 15 000 V (woj. poznańskie)

W zakładzie mechanicznym ślusarz B., zatrudniony w hali fabrycznej przy robotach ślusarskich, wszedł podczas przerwy obiadowej i pod nieobecność współtowarzyszy pracy do stacji transformatorowej, znajdującej się obok.

Drzwi do stacji, zwykle zamknięte na kłódkę, były tym razem pozostawione otwarte.

Ponieważ w stacji transformatorowej zgromadzono zwoje kabli, zapasowe rozruszniki, żarówki itd., nieobeznany ślusarz sądził prawdopodobnie, że znalazł się w składzie materiałów elektrotechnicznych, chociaż na drzwiach wejściowych była tablica ostrzegawcza „Baczność, wysokie napięcie". Zobaczywszy przez uszkodzone oszalowanie z desek drewnianych goły przewód, prowadzący od mufy do transformatora, sięgnął po niego ręką prawdopodobnie chcąc go wyciągnąć.

Przewód był pod napięciem 15 000 V, to też ślusarz uległ porażeniu, zdołał jednak oderwać się od przewodu, dotknął go bowiem końcami palców.

Że taki był przebieg wypadku, wywnioskowano z położenia ciała poszkodowanego po wypadku i z obrażeń, które odniósł (znamiona prądowe na palcach).

Gdy po przerwie obiadowej współtowarzysze pracy znaleźli poszkodowanego bez przytomności, wynieśli go do sąsiedniej hali, następnie na podwórze i zastosowali sztuczne oddychanie. Jednak wezwana sanitariuszka fabryczna, stwierdziwszy brak tętna i brak reakcji źrenic na światło, poleciła przerwać sztuczne oddychanie i przewieźć porażonego do lekarza. Lekarz zastosował zastrzyk i przewiózł porażonego do szpitala, gdzie nadal stosowano zastrzyki i sztuczne oddychanie do chwili stwierdzenia zgonu ponad wszelką wątpliwość.

W n i o s k i.

Niewątpliwie przyczyną wypadku była niedbałość ze strony personelu elektrotechnicznego, który wbrew wyraźnemu nakazowi PNE-10, § 55, p. 3, pozostawił niezamknięte drzwi od transformatorni, co umożliwiło ślusarzowi wejście do tego pomieszczenia.

Trzeba jednak również zanotować także inne uchybienia:

a) oszalowanie transformatora i mufy było zrobione z desek zamiast z materiału ogniotrwałego,

b) oszalowanie było uszkodzone i pozostawione bez naprawy,

c) w pomieszczeniu ruchu elektrycznego zrobiono podręczny skład materiałów, co jest niedopuszczalne.

Ponadto, jak w tylu innych wypadkach, zapomniano, czy nie wiedziano o najważniejszej zasadzie ratowania porażonych: trzeba sztuczne oddychanie stosować na miejscu wypadku i wezwać lekarza. Strata czasu połączona z przewożeniem porażonego może być przyczyną nieskuteczności zabiegów ratowniczych. Sanitariuszka źle postąpiła przerywając sztuczne oddychanie po stwierdzeniu u porażonego braku tętna i braku reakcji źrenic na światło.

Brak zewnętrznych oznak życia, czyli tak zwana „śmierć pozorna", bynajmniej nie upoważnia ratujących do przerwania zabiegu sztucznego oddychania, które należy stosować bez przerwy przez kilka godzin po wypadku, chyba że wezwany lekarz wcześniej stwierdzi zgon porażonego.

28. Wymiana bezpieczników w kopalni (woj. śląskie)

W kopalni węgla na dole górnik L., wymieniając bezpiecznik znajdujący się we wspólnej obudowie z wyłącznikiem doprowadzenia prądu do wrębiarki, dotknął ręką gwintu drugiego bezpiecznika i został śmiertelnie porażony. Napięcie sieci wynosiło 500 V. Górnik nie był uprawniony do otwierania obudowy wyłącznika i wymiany bezpieczników, a wezwany do naprawy elektromonter był już w drodze.

Po wypadku stwierdzono, że chociaż wyłącznik był zaopatrzony w zaryglowanie uniemożliwiające otworzenie obudowy przy zamkniętym wyłączniku, jednak ponowne zamknięcie wyłącznika było możliwe przy otwartej pokrywie. Widocznie więc górnik po otworzeniu pokrywy zamknął wyłącznik, aby się przekonać, czy samo ponowne włączenie nie usunie defektu, a następnie przystąpił do wymiany bezpieczników, nie zdając sobie sprawy, że znalazły się one znowu pod napięciem.

W n i o s k i.

Wypadek ten potwierdza słuszność żądania, aby pokrywy aparatów elektrycznych miały taką konstrukcję, przy której do odkręcenia śrub konieczny jest specjalny klucz, powierzany elektromonterowi obsługującemu urządzenia.

Ponadto cały personel kopalni — bez względu na to, czy jest upoważniony do manipulowania przy urządzeniach elektrycznych — powinien być pouczany o niebezpieczeństwie porażenia przy nieumiejętnym lub nieostrożnym obchodzeniu się z tymi urządzeniami, albowiem lekceważenie zakazów, jak w tym wypadku, wynika często z niezrozumienia ich słuszności.

Nowiny elektrotechniczne.

JEDNOBIEGUNOWE OBCOWZBUDNE PRĄDNICE PRĄDU STAŁEGO BEZ KOMUTATORA. — Dla potrzeb elektrochemii oraz galwanotechniki niezbędne są źródła prądu stałego o stosunkowo niskim napięciu, lecz o dużym natężeniu prądu.

Do tego celu służą:

a) **Niskonapięciowe prądnice z komutatorem** o specjalnej budowie. Do trudności napotykanych w budowie tych prądnic należy zarówno konieczność posiadania przez nie komutatora o dużych wymiarach, jak również i szereg innych zagadnień konstrukcyjnych. Prądnice te, zbudowane podobnie jak normalne maszyny prądu stałego z komutatorem, noszą niekiedy nazwę „galwanicznych", służą one bowiem najczęściej celom galwanotechniki.

b) **Prostowniki stykowe**, stosowane z korzyścią przy stosunkowo niedużych mocach. Przy znacznych mocach koszty tych prostowników szybko rosną wraz ze wzrostem mocy zainstalowanej i wówczas ustępują one miejsca prądnicom „galwanicznym", jako tańszym.

c) **Prostowniki lampowe** stosowane są chętnie przy małych mocach, a to ze względu na niskie koszty inwestycyjne. Przy niskich napięciach, z jakimi spotykamy się zazwyczaj w galwanotechnice, współczynnik sprawności tych urządzeń jest niski. Przy większych mocach straty, z którymi możnaby się pogodzić w instalacji małej mocy, stają się w prostownikach lampowych na tyle dotkliwe, że prostowniki te — przy większych mocach zainstalowanych — ustępują miejsca wspomnianym wyżej prądnicom galwanicznym, jako posiadającym większy współczynnik sprawności.

Trudności konstrukcyjne, jakie występują w budowie prądnic prądu stałego na niskie napięcie i na duże natężenia, jeżeli chodzi o prądnicę posiadającą komutator, skłoniły konstruktorów do nawrotu do dawnej konstrukcji prądnicy prądu stałego bez komutatora; jest to tzw. **prądnica „unipolarna"** czyli jednobiegunowa. Po wprowadzeniu pewnych ulepszeń ten typ prądnicy uznano za nadający się doskonale do wytwarzania dużych oraz bardzo dużych natężeń prądu przy niskich napięciach.

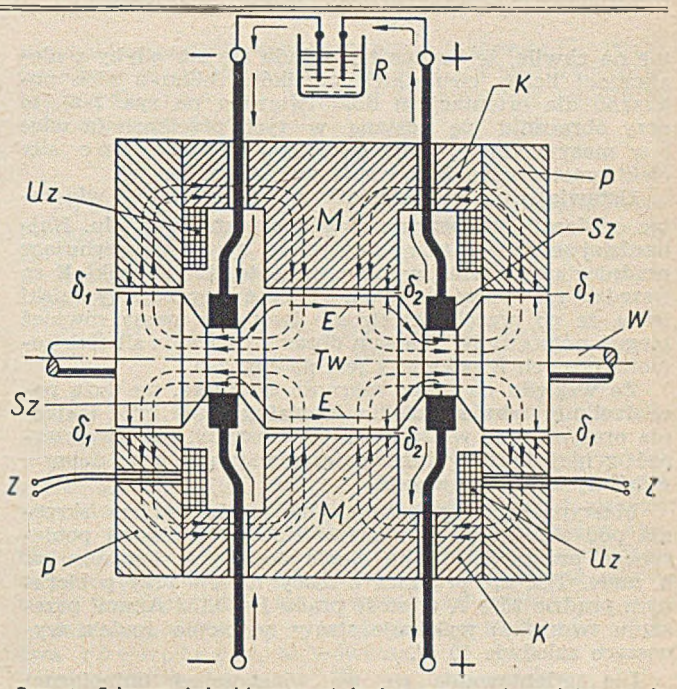
Maszyny jednobiegunowe wchodzą zatem w grę, gdy chodzi o dostarczenie energii elektrycznej w postaci prądu stałego o stosunkowo niskim napięciu, a jednocześnie przy dużym natężeniu prądu. Gospodarczo prądnice te są uzasadnione, o ile wielkość napięcia nie przekracza 40 woltów. Natężenie prądu budowanych obecnie jednostek unipolarnych sięga 300 tysięcy amperów.

Na rys. 1 pokazany jest schemat takiej maszyny. Korpus **K** przykryty jest pokrywami bocznymi **P**. Zarówno korpus, jak i pokrywy, wykonane są z żeliwa lub ze stali lanej o dużej przenikalności magnetycznej. Do pokryw **P** są przymocowane uzwojenia wzbudzające **Uz**. Na wale **W** osadzony jest twornik **Tw**. Twornik wykonany jest, jako odlew o kształtach okrągłych z miękkiej stali albo też jako odkuty ze stali kujnej o dobrych własnościach magnetycznych. Jest on starannie obtoczony i wyrównoważony, a to ze względu na szybkie obroty.

Uzwojenie wzbudzenia **Uz** zasilane jest prądem stałym z obcego źródła prądu (np. z baterii akumulatorów); wytwarza ono **strumień magnetyczny** Φ, którego przebieg w maszynie pokazany jest na rys. 1 i 2-a liniami przerywanymi. Strumień ten przenika przez kadłub **K**, przez szczelinę powietrzną δ_2, przez wirujący twornik **Tw**, po raz drugi przez szczelinę powietrzną (δ_1) i poprzez pokrywę **P** powraca do magnesu **M**.

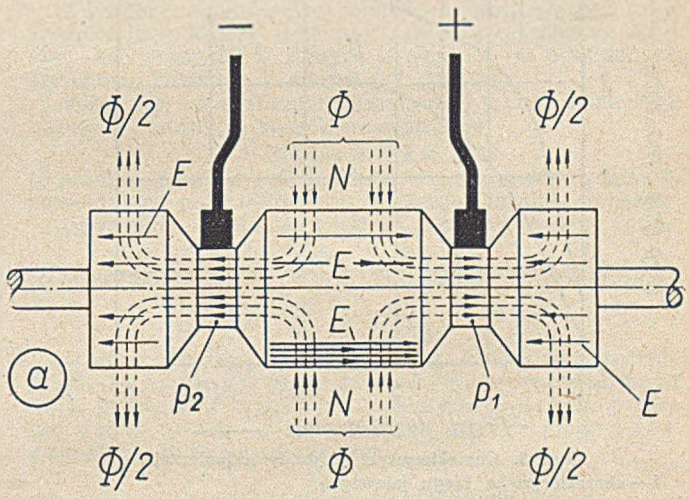
Gdy nadamy twornikowi obroty, zostanie w nim wzniecona siła elektromotoryczna **E** zaznaczona strzałką. Powstawanie tej siły elektromotorycznej w masywnym korpusie twornika możemy sobie wyobrazić, posługując się rys. 2 [1]). Na rys. 2-a widzimy korpus twornika wirujący w polu magnetycznym. Jeżeli wyobrazimy so-

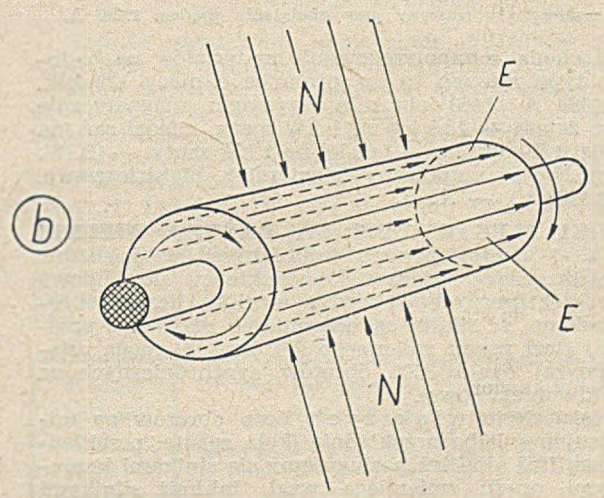
[1]) Zarówno rys. 2, jak i objaśnienie do tego rysunku, zostały dodane przez Referenta dla lepszego wyjaśnienia Czytelnikowi istoty zjawiska wzniecania siły elektromotorycznej **E** w tworniku **Tw**. (Przyp. Red.).



Rys. 1. Schemat jednobiegunowej bezkomutatorowej prądnicy prądu stałego.

K—kadłub, P—pokrywy boczne, W—wał maszyny, Uz—uzwojenie wzbudzające strumień magnetyczny, Tw—twornik (odlany ze stali miękkiej lub odkuty ze stali), M—magnesy (bieguny N), Sz—szczotki zbierające bezpośrednio prąd z twornika, δ —szczelina powietrzna, E—siła elektromotoryczna wzniecana w tworniku i jednocześnie kierunek prądu w tworniku, R—obciążenie zewnętrzne (piec elektrochemiczny lub wanna galwaniczna), Z—zasilanie obwodu wzbudzenia,





Rys. 2. Pomocniczy schemat do rys. 1 dla wyjaśnienia sposobu wzniecania siły elektromotorycznej E w tworniku prądnicy unipolarnej. a—schematyczny przekrój twornika, b—widok uproszczony twornika w perspektywie.

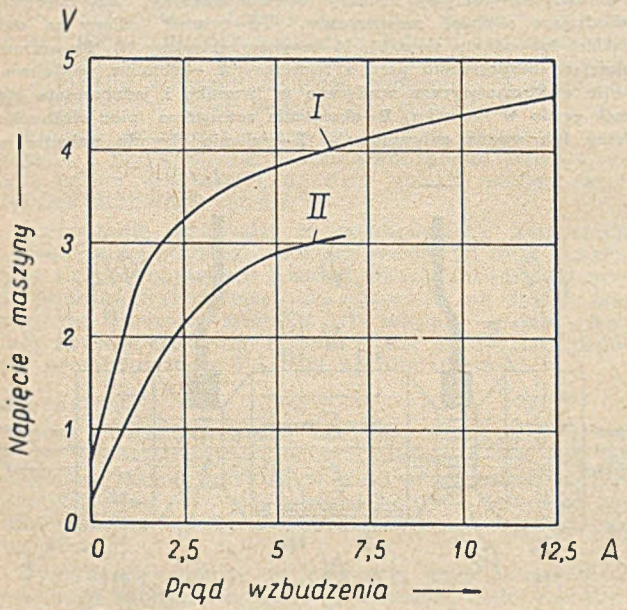
bie na chwilę, że korpus ten składa się jak gdyby z niezliczonej liczby cieniutkich pręcików (kilka z nich pokazano dla orientacji u dołu twornika na rys. 2-a), to przy obracaniu się zostaną w tych pręcikach (a więc i w masywnym korpusie twornika) wzniecone siły elektromotoryczne **E** o wspólnym kierunku.

Ustawiając na pierścieniach p_1 i p_2 szczotki i włączając odbiornik utworzymy obwód zamknięty prądu. Najbardziej charakterystyczne zjawisko cechujące prądnicę unipolarną, a mianowicie to, że kierunki **E** są wszędzie na tworniku jednakowe, uzyskujemy dzięki temu, że po przeciwnej stronie twornika mamy również biegun północny **N**. Ten sam obraz wzniecania sił elektromotorycznych **E** pokazany jest na rys. 2-b.

Ze względu na małą oporność twornika, na dużą powierzchnię styku szczotek z twornikiem, na brak iskrzenia oraz na inne właściwości tej maszyny, możemy czerpać z niej bardzo duże natężenia prądu przy dobrym współczynniku sprawności.

Maszyna ma bieg spokojny, nie ma tu bowiem iskrzenia pod szczotkami i to niezależnie od wielkości pobieranego prądu. Straty na ciepło Joule'a w tworniku są b. małe. Tak np. prądnica o mocy 7,5 kW przy pobieranym prądzie 2500 A (gęstość prądu $j = 0{,}155$ A/mm² przekroju twornika) wykazuje straty na ciepło Joule'a wynoszące zaledwie 40 W.

Dla zorientowania się we własnościach unipolarnej maszyny na 2500 A, 3 V, 4000 obr./min. zostały podane jej charakterystyki (rys. 3).



Rys. 3. Charakterystyki prądnicy unipolarnej.
I — charakterystyka biegu jałowego,
II — charakterystyka maszyny przy obciążeniu prądem 25200 A.

Jeżeli chodzi o zapotrzebowanie materiałów na budowę tego typu maszyn to np. prądnica o mocy 120 kW, 6 V, 20000 A, 1460 obr./min. wymaga: magnetycznie czynnego żelaza — 18,5 kg na 1 kW mocy, miedzi zaś (na uzwojenie wzbudzenia) — 1,68 kg na 1 kW mocy. — (B. W. Kostin. Nowyj unipolarnyj gienierator. **Elektriczestwo.** Zeszyt 2/1939 r.). — *A. B.*

SILNIKI ELEKTRYCZNE NA BARDZO WIELKIE OBROTY. — Szereg potrzeb technicznych w dziedzinie prądu elektrycznego zmusza konstruktorów do budowy silników elektrycznych o bardzo wielkiej liczbie obrotów. Wiadomo, że silniki asynchroniczne zasilane z przemysłowej sieci prądu zmiennego (50 okr/sek) mogą osiągać najwyżej około 3000 obrotów synchronicznych na minutę (dwubiegunowe).

Dla osiągnięcia większych liczb obrotów na minutę stosujemy: albo przekładnię (koła zębate, przekładnia pasowa itp) albo też posługujemy się sinikami komutatorowymi prądu zmiennego wzgl. takimiż silnikami prądu stałego. Jednakże budowa silników kumutatorowych na b. wielkie obroty (już np. rzędu 20.000 obr./min) napotyka na b. poważne trudności. Występują one w związku z **dużą szybkością obwodową** na komutatorze oraz związanymi z tym trudnościami, a także z uwagi na wyważenie mechaniczne wirnika, które utrudnione jest przez dość skomplikowane uzwojenie maszyn komutatorowych, a także przez samą obecność komutatora.

W dążeniu do zbudowania silnika na ultraszybkie obroty myśl konstruktora zwraca się ku **silnikowi asynchronicznemu z wirnikiem klatkowym** zasilanemu z sieci o podwyższonej częstotliwości.

Jeżeli chodzi o osiągnięcia dokonane w tej dziedzinie przez konstruktorów radzieckich, to silniki ultraszybkie zbudowano na liczbę obrotów $n = 48\,000$ obr/min oraz $n = 120\,000$ obr/min. Jeden z nich o mocy 4,5 kW, 48 000 obr/min. służy do bezpośredniego napędu szybkobieżnej przeciągarki kulistej do wyrobu specjalnych rurek miedzianych o grubości ścianki 0,1 mm.

Wirniki tych silników są b. starannie wyważane, przy czym należy podkreślić, że wyważanie wirnika klatkowego jest z wielu względów łatwiejsze, aniżeli wirnika maszyny komutatorowej.

Jako łożyska do silników ultraszybkobieżnych są stosowane zarówno łożyska toczne (kulkowe wzgl. rolkowe), jak i łożyska ślizgowe. Obsady tych łożysk są chłodzone wodą, smarowanie zaś odbywa się albo z oliwiarek kropelkowych albo też z oliwiarek doprowadzających smar pod ciśnieniem.

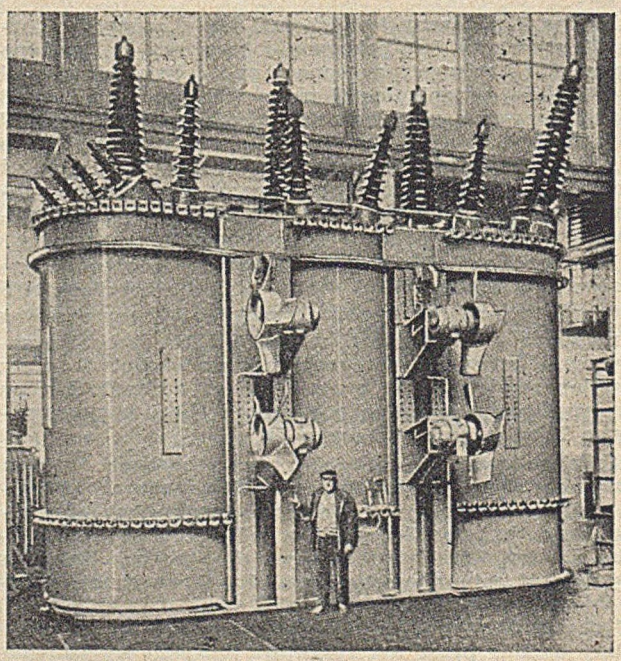
Jako źródło prądu zmiennego o podwyższonej częstotliwości stosowane są bądź przetwornice maszynowe, bądź też zespoły lamp elektronowych dużej mocy. — (L. N. Szaszanow. Świerchskorostnyje priwody powyszennoj czastoty. **Elektriczestwo.** Zeszyt 12/1948 r.).

NOWOCZESNE TRANSFORMATORY WIELKIEJ MOCY. — Moce jednostkowe transformatorów budowanych przez wytwórnie europejskie przekroczyły już dawno 100 000 kVA (100 MVA).

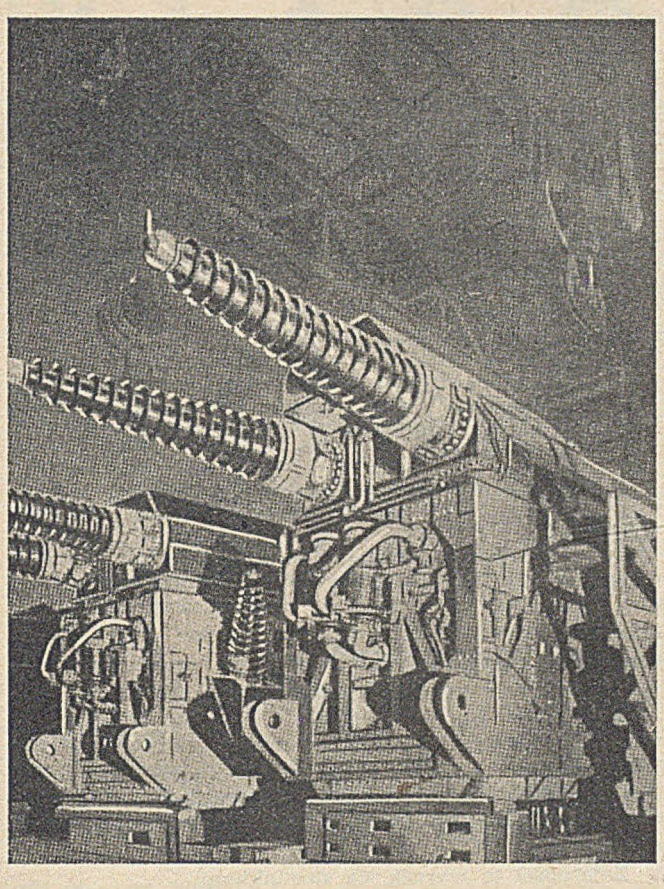
Niedawno pewne zakłady szwedzkie wybudowały transformator o wyjątkowo dużych rozmiarach. Jest to jeden z transformatorów przeznaczonych do obniżania napięcia 200 kV na napięcie 100 kV oraz 30 kV, które to napięcia są głównymi napięciami rozdzielczymi miasta Sztokholmu.

Dla łatwiejszego przyłączania silników synchonicznych (działających jako przesuwniki fazowe celem poprawiania $\cos\varphi$) transformator zaopatrzono w dodatkowe uzwojenie na napięcie 6,6 kV. Posiada on także przełącznik do regulacji zaczepów po stronie 30 kV.

Ponieważ moc przetwarzana dochodzi do 125 MVA postanowiono zbudować jeden transformator główny (rys. 4) o przekładni 200/100/30/6,6 kV (którego uzwojenia obliczone są na moce 125/60/125/15 MVA) oraz transformator regulacyjny 30/30 + 9 × 0,39 kV; 125 MVA.



Rys. 4. Widok transformatora głównego o mocy 125 000 kVA.



Rys. 5. Widok transformatora przewoźnego o mocy 100 000 kVA.

Chłodzenie transformatora — kombinowane; do wysokości obciążenia wynoszącej 75%, transformator posiada chłodzenie własne, powyżej zaś jest on chłodzony za pomocą wentylatorów. Przejście do chłodzenia wentylatorami odbywa się samoczynnie — po osiągnięciu przez olej odpowiedniej temperatury.

Ciężar głównego transformatora bez oleju wynosi 208,5 tony; ciężar oleju — 68,4 t.

Wymiary transformatora są następujące: długość skrzyni wynosi 11,0 m, szerokość — 5,8 m, wysokość 8,63 m.

Pomierzone straty (odniesione do temperatury miedzi 75° C) wynoszą przy przetwarzaniu z 200 na 100 kV: straty biegu jałowego 238 kW, straty w miedzi 284 kW przy obciążeniu 60 MVA; napięcie zwarcia 13%, zaś przy przetwarzaniu z 200 na 30 kV — straty biegu jałowego 238 kW, straty w miedzi 522 kW.

Na rys. 5 pokazany jest transformator **przewoźny** na napięcia 220/110/10 kV. Moce odpowiednio wynoszą: 100/100/40 MVA; Na rys. 5 zwraca uwagę sposób wyprowadzenia ze skrzyni izolatorów 220 kV — poziomo, co tłumaczy się koniecznością dostosowania wysokości transformatora do tzw. gabarytu kolejowego. — (125,000 kVA Transformer Units. — **Asea Journal.** Zeszyt 3—4/1948, oraz 100/100/40 MVA Wandertransformator. **Elektrotechnik.** Zeszyt 4/1947 r.).

Skrzynka techniczna.

J. S. BYKOWINA. Pytanie 1. Proszę o podanie wzoru na obliczanie uzwojenia w silnikach trójfazowych asynchronicznych, które należy przewinąć (przezwoić) na inne napięcie znamionowe niż to, na jakie silnik ten pracował dotychczas.

Odpowiedź. — Zasada przezwajania (przewijania) silników asynchronicznych na inne napięcie jest bardzo prosta. Przede wszystkim należy dokładnie określić liczbę drutów z_1 ułożonych szeregowo w żłobku stojana (statora) dla danego napięcia fazowego U_1; uskuteczniamy to licząc te druty. Interesującą nas liczbę drutów z_2 dla innego napięcia fazowego U_2 obliczamy tedy z prostej zależności:

$$z_2 = z_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} \qquad (1)$$

Przykład. W żłobku stojana (statora) trójfazowego silnika asynchronicznego o mocy 15 kW, na napięcie 220 V Δ umieszczono 28 drutów połączonych szeregowo. Ile drutów należy umieścić w żłobku silnika, o ile ma on pracować na napięcie 380 V Δ?

Rozwiązanie. Ze wzoru (1) obliczamy:

$$z_2 = 28 \cdot \frac{380}{220} = 48{,}4.$$

dajemy więc, zaokrąglając do liczby całkowitej, 48 drutów na żłobek.

Przy usuwaniu dawnego („starego") uzwojenia należy sporządzić dokładny jego schemat, aby mieć gotowy wzór na późniejsze przewijanie. Należy również zwrócić baczną uwagę, **czy wszystkie druty znajdujące się w żłobku połączone są szeregowo i czy wszystkie cewki fazy są powiązane między sobą szeregowo.** Poczynione obserwacje notujemy obok narysowanego schematu.

Jeżeli np. okaże się, że w żłobku jest 56 drutów — po dwa równolegle, to wówczas:

$$z_1 = \frac{56}{2} = 28.$$

Przy pomocy mikromierza, który jest nieodzownym przyrządem w pracy samodzielnego elektryka-nawijacza, mierzymy średnicę drutu nawojowego, sprawdzając również grubość izolacji. Przekrój drutu obliczamy ze wzoru:

$$s = 0{,}78\, d^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

we wzorze tym d oznacza średnicę drutu w mm.

Z tabliczki znamionowej silnika odczytujemy jego prąd znamionowy. Należy brać pod uwagę **prąd fazowy** czyli ten, który płynie w samym uzwojeniu (w połączonych szeregowo cewkach każdej z faz silnika).

Jeżeli np. na tabliczce znamionowej silnika podane są napięcia i prądy w sposób następujący:

Δ/⅄ 220/380 V ; 8,65/5 A,

to prądem fazowym będzie w tym przypadku prąd odpowiadający połączeniu w ⅄ (gwiazdę), czyli 5 amperów.

Gdybyśmy natomiast mieli na tabliczce podane tylko:

500 V Δ ; 10,4 A ,

to wówczas prąd fazowy znajdujemy z przeliczenia:

$$I_{faz} = \frac{I_\Delta}{1{,}73} = \frac{10{,}4}{1{,}73} = 6 \text{ A}.$$

Dzieląc odczytane z tabliczki wzgl. obliczone natężenie prądu fazowego przez przekrój s drutu lub przez sumę przekrojów drutów równoległych (o ile mamy dwa lub więcej drutów równoległych otrzymamy tzw. **gęstość prądu** (j) w uzwojeniu:

$$j = \frac{I_{faz}}{s} \quad (\text{A / mm}^2)$$

Gęstość prądu, którą konstruktor obliczający maszynę elektryczną przyjmuje w jej uzwojeniu, jest zależna od kilku czynników, a mianowicie: od wielkości maszyny, od rodzaju budowy maszyny i jej chłodzenia, od charakteru pracy maszyny oraz od jej liczby obrotów.

Podana niżej orientacyjna tablica dla gęstości prądu j w zależności od rodzaju budowy i wielkości mocy maszyny wskazuje, że gęstość prądu może się zmieniać w dość szerokich granicach.

Przy przewijaniu silników w warsztatach monterskich znajomość tej wielkości charakterystycznej (gęstości j) jest o tyle niezbędna, że stanowi ona wcale niezły sprawdzian danych nawojowych.

Rodzaj budowy silnika:	Otwarty lub osłonięty z przewietrznikiem		Zamknięty z przewietrznikiem	
	małej mocy	średn. mocy	małej mocy	średn. mocy
Gęstość prądu j (A/mm²)	6 do 4		3,5 do 2,5	

Jeżeli przezwajamy silnik na inne napięcie, to tym samym zmieniamy — przy stałej mocy — jego prąd znamionowy. Ponieważ **moc** silnika powinna pozostać bez zmiany (nie wolno nam jej zmienić w żadnym wypadku!), zatem wartość prądu I_2 obliczymy z zależności:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Przykład. Silnik asynchroniczny o prądzie znamionowym fazowym $I_1 = 5$ A przewijamy z napięcia $U_1 = 380$ V ⅄ na napięcie $U_2 = 500$ V ⅄. Nowy prąd silnika (jaki będzie miał on po przezwojeniu) I_2 obliczamy ze wzoru (4):

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 5 \cdot \frac{380}{500} = 3{,}8 \text{ A}$$

Przyjmując, że gęstość prądu w nowym uzwojeniu silnika musi pozostać bez zmiany, musimy odpowiednio zmniejszyć przekrój drutu nawojowego, dając:

$$s_2 = s_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \text{ (mm}^2\text{)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Średnicę nowego drutu możemy obliczyć ze wzoru:

$$d_2 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} \text{ (mm)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Średnicę tę możemy też ustalić na podstawie pomocniczej tabelki, którą można ułożyć samemu, obliczając przy pomocy wzoru (2) różne przekroje s dla różnych średnic d. Jeżeli po obliczeniu s_2 i d_2 okaże się że drutem żądanym nie rozporządzamy, można wówczas nawinąć na nowo silnik drutem cieńszym, układając po kilka drutów równolegle — tak aby w sumie uzyskać żądany przekrój.

Przykład. Z obliczenia otrzymujemy przekrój drutu (nowego) $s_2 = 12{,}6$ mm² ; $d_2 = 4$ mm². Zamiast niewygodnego w nawijaniu drutu ϕ 4 mm możemy zastosować $2 \times \phi$ 2,85 ($s_2 = 2 \times 6{,}4$ mm² $= 12{,}8$ mm²) lub też $3 \times \phi$ 2,3 ($s_2 = 3 \times 4{,}15$ mm² $= 12{,}45$ mm²).

Posługiwanie się drutami o niejednakowym przekroju przy równoległym ich układaniu jest niewskazane; jest ono natomiast wręcz niedopuszczalne — o ile przekroje różnią się między sobą więcej niż 20%.

Po przewinięciu silnika na inne napięcie należy pamiętać o konieczności umieszczenia tabliczki z wybitym na niej nowym napięciem i nowym prądem znamionowym. Wg przepisów nową tabliczkę umieszcza się tuż przy dawnej (pod nią), starą zaś przekreśla się cienko czerwoną farbą.

Nieprzestrzeganie tej zasady bywa często powodem zbędnych i przykrych nieporozumień przy naprawie przezwojonego silnika, albo też przy zmianie jego posiadacza.

Pytanie 2. Czy istnieją sposoby badania wirnika klatkowego w silniku asynchronicznym, o ile istnieje podejrzenie, że wirnik ma przerwę?

Spotykam się często z silnikami, których wirniki zalane są aluminium i na zewnątrz przerw takich nie widać. Dopiero kiedy zmieniam wirnik na inny, okazuje się, że poprzedni wirnik był wadliwy.

Odpowiedź. Przerwa w klatce silnika asynchronicznego może być dwojakiego rodzaju; może to być albo

1) pęknięcie lub wylutowanie się pręta przy pierścieniu zwierającym klatki, albo też
2) pęknięcie samego pierścienia zwierającego.

Pęknięcie pierścienia sprowadza się jednakże do wypadku (1), gdyż praktycznie będzie ono wówczas dopiero odczuwalne, gdy przynajmniej chociaż jeden pręt wirnika zostanie w rezultacie tego uszkodzenia wyłączony z obwodu elektrycznego klatki.

Im więcej żłobków posiada wirnik, tym słabiej ujawnia się na zewnątrz uszkodzenie pojedyńczego jego pręta. Wyraźne objawy przerw w klatce wirnika możemy zaobserwować dopiero przy uszkodzeniu obejmującym kilka prętów.

Zazwyczaj uszkodzenie jednego pręta pociąga z biegiem czasu uszkodzenie prętów sąsiednich a to wskutek nadmiernego nagrzewania się klatki w okolicy uszkodzonego miejsca. Wtedy dopiero silnik zaczyna wyraźnie niedomagać w pracy lub wręcz zawodzi.

W małych silnikach, o niewielkiej liczbie żłobków w wirniku, objawy towarzyszące przerwom w klatce wystąpić mogą wyraźniej nawet przy uszkodzeniu pojedyńczego pręta.

Charakterystyczne oznaki tego rodzaju „choroby" silnika są następujące:

1) spadek obrotów przy obciążeniu znamionowym i wzrost stopnia nagrzewania się silnika, oraz
2) pogorszenie się warunków rozruchu przy jednoczesnym zmniejszeniu się wielkości prądu rozruchowego.

O istnieniu przerw w klatce wirnika możemy wnioskować na podstawie następujących prób dodatkowych:

przy zahamowanym wirniku zasilamy stojan napięciem tak dopasowanym, aby silnik pobierał z sieci prąd równy lub bliski wartości prądu znamionowego I_n Mierzymy wówczas: prąd I_n oraz napięcie U_{zw}. Z tych danych możemy obliczyć ile razy prąd rozruchu silnika I_r jest większy od znamionowego prądu silnika. Istotnie, jeżeli napięcie U_{zw} zostało tak dobrane, że prąd płynący w stojanie przy zahamowanym silniku odpowiada wartości prądu znamionowego I_n, to prąd rozruchu będzie tyle razy większy od prądu znamionowego, ile razy napięcie U_{zw} jest mniejsze od pełnego napięcia znamionowego silnika U_n.

Zależności te wyrażą się stosunkiem:

$$\frac{\text{prąd rozruchu}}{\text{prąd znamionowy}} = \frac{I_r}{I_n} = \frac{\text{napięcie znamionowe}}{\text{napięcie zwarcia}} = \frac{U_n}{U_{zw}}$$

Normalnie dla silników asynchronicznych małej i średniej mocy stosunek

$$\frac{U_n}{U_{zw}} = 3{,}7 \div 4{,}5$$

Jeżeli stwierdzimy więc, że $\frac{U_n}{U_{zw}} = 2 \div 3$ to będzie wszelkie prawdopodobieństwo istnienia przerw w klatce wirnika.

Próbę taką możemy przeprowadzić na silniku prowizorycznie zmontowanym — tak, aby po odłączeniu stojana od sieci można było szybko wyjąć wirnik i sprawdzić na dotyk jego temperaturę na całym obwodzie. Jeżeli po 10-cio wzgl. 15-to minutowej próbie tego rodzaju okaże się, że na obwodzie wirnika są miejsca silnie nagrzane, będze to wskazywać, że właśnie między nimi należy szukać przerw w obwodzie klatki.

Należy zaznaczyć, że naprawa wirników klatkowych zalewanych aluminium jest najczęściej niemożliwa, gdyż przerwy mogą wynikać z błędów fabrykacyjnych (niedokładne zalewanie żłobków). Jedynym wtedy wyjściem jest wykonanie w wytwórni nowego wirnika.

Inż. J. Św.

Zmiana adresu Redakcji i Administracji

„Wiadomości Elektrotechniczne"

Nowy adres Redakcji i Administracji „Wiadomości Elektrotechniczne" brzmi:

Warszawa, ul. Czackiego 3/5

Adres Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego 3/5 Telefon Redakcji 8-95-10 wewn. 14.

KONTO CZEKOWE W P. K. O. I — 4242.

P. W. Z. G. — Okr. Pld. Wrocław — Z.G. 581/49 — F 68972