

Sprawność prądnic i silników.

91. Wstęp.

W każdej prądniczy część pracy mechanicznej przekształca się na ciepło wewnątrz samej prądnicy i tylko reszta wytwarza prąd, wykonywujący pracę w obwodzie zewnętrznym.

Tak samo w każdym silniku część pracy prądu dostarczonej do silnika przekształca się na ciepło wewnątrz silnika i tylko reszta wytwarza pracę mechaniczną.

W każdej maszynie elektrycznej rozróżniamy: straty na ciepło, powstające wskutek tarcia w łożyskach i tarcia szczotek o kolektor lub pierścienie, skutkiem prądów wirowych i histerezy w żelazie, i wreszcie straty na ciepło w ruchomych i nieruchomych zwojach drutów miedzianych skutkiem ich oporności elektrycznej.

Gdy maszyna wiruje bardzo szybko, to nie można pominąć jeszcze strat na tarcie wirującego bębna o powietrze i wywołanie wiatru; obie te straty energii przybierają ostatecznie również postać ciepła.

Stosunek otrzymanej z prądnicy pracy prądu do wprowadzonej do prądnicy w tym samym czasie pracy mechanicznej nazywamy **sprawnością prądnicy**.

Stosunek otrzymanej z silnika pracy mechanicznej do wprowadzonej do silnika w tym samym czasie pracy prądu nazywamy **sprawnością silnika**.

Korzystając z tej okoliczności, że, przy stałym obciążeniu, moc prądu jest proporcjonalna do pracy prądu, tak samo jak moc mechaniczna jest proporcjonalna do pracy mechanicznej, obliczenie współczynnika sprawności prowadzimy zwykle nie w miarach pracy, a w miarach mocy, posiłkując się podanymi wyżej określeniami.

Oznaczamy przez P_1 moc pobraną przez maszynę, a przez P_2 moc oddaną, sprawność zaś przez η *) to:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

tu P_1 i P_2 należy oczywiście wyrażać w tych samych jednostkach miar.

Moc pobraną w prądnicach (źródła prądu) i odaną w silnikach elektrycznych mierzymy zazwyczaj w koniach mechanicznych**), więc trzeba umieć przekształcać konie mechaniczne na kilowaty.

Koń mechaniczny — skrót *KM*, równa się 735 watom, więc np.:

$$5 \text{ KM} = 5 \times 735 = 3675 \text{ watów} = 3,65 \text{ kilowata.}$$

Małe maszyny mają sprawność mniejszą od sprawności maszyn dużych. Dla prądnic i silników, których moc wynosi od 0,5 do 10 kilowatów, sprawność mamy od 0,6 do 0,87. Dla prądnic i silników, których moc wynosi od 10 do 1000 kilowatów, mamy sprawność w granicach od 0,87 do 0,95.

Współczynniki te stosują się do obciążenia pełnego maszyn. Przy obciążeniu częściowym są one **mniejsze**, ponieważ straty na ciepło w żelazie skutkiem prądów wirowych i histeryzy pozostają stałe i tylko ciepło, wywiązujące się w drutach, zmniejsza się znacznie przy zmniejszaniu obciążenia maszyny. Straty na tarcie przy biegu luzem są tylko trochę mniejsze od strat na tarcie w maszynach obciążonych. Najoszczędniej pracuje maszyna przy obciążeniu pełnym.

*) Czytaj η „eta”.

**) Inaczej koniach parowych.

Przykład I. Ile potrzeba mocy mechanicznej do obracania prądnicy, dostarczającej 90 kilowatów mocy prądu elektrycznego?

Spółczynnik sprawności takiej prądnicy wynosi około 0,9, to znaczy, że prądnica ta winna otrzymać moc mechaniczną, tyle razy większą od mocy, jaką ma sama dostarczyć, ile razy 10 jest większe od 9.

Moc pobrana przez prądnice:

$$P_1 = \frac{90 \times 10}{9} = 100 \text{ kW}$$

$$100 \text{ kW} = 100000 : 735 = 136 \text{ KM.}$$

Wypada więc, że dla obracania powyższej prądnicy potrzeba 136 koni mechanicznych.

Przykład II. Jaki prąd stały otrzymamy z prądnicy przy napięciu 110 woltów, jeżeli mamy silnik, obracający prądnice, mocy 50 koni mechanicznych?

Sprawność takiej prądnicy wynosi około 0,89, więc z 50 koni mechanicznych tylko 0,89 przekształca się na pracę prądu:

$$50 \times 0,89 = 44,5 \text{ KM.}$$

Ponieważ jeden koń mechaniczny równa się 735 watom, więc:

$$44,5 \text{ KM} = 735 \times 44,5 = 32755 \text{ watów.}$$

Moc prądu stałego wyraża się iloczynem napięcia przez prąd, przeto, chcąc obliczyć prąd według napięcia i mocy, należy moc podzielić przez napięcie:

$$I = \frac{32752}{110} = 297 \text{ A.}$$

Prądnica dostarczy 297 amperów prądu stałego przy napięciu 110 woltów.

Przykład III. Jaki prąd trójfazowy otrzymamy z prądnicy przy napięciu 110 woltów i współczynniku mocy, równym jednostce, jeżeli moc mechaniczna silnika poruszającego prądnicę, wynosi 50 koni mechanicznych?

Z przykładu II-go już wiemy, że tu moc prądu wynosi 32750 waty. W rozdziale 52-im widzieliśmy, że moc prądu trójfazowego oblicza się według wzoru:

$$P = 1,73 \cdot V \cdot I.$$

stąd:

$$I = \frac{P}{1,73 \times V}$$

czyli:

$$I = \frac{32750}{1,73 \times 110} = 171 \text{ A.}$$

Wypada więc, że w każdym z trzech drutów przewodów trójfazowych popłynie prąd, wynoszący 171 amperów.

Przykład IV. Ile koni mechanicznych ma silnik, który bierze prąd mocy 40 kilowatów?

Sprawność takiego silnika wynosi około 0,88, przeto moc mechaniczna, którą otrzymujemy z silnika stanowi:

$$P = 40 \times 0,88 = 35,2 \text{ KW,}$$

albo:

$$P = 35200 \text{ W} = \frac{35200}{735} = 48 \text{ KM.}$$

Silnik więc daje 48 koni mechanicznych.

Przykład V. Ile amperów bierze silnik prądu stałego, przy napięciu 110 woltów, jeżeli moc mechaniczna silnika wynosi 0,5 konia mechanicznego?

Zamieniając konie na waty otrzymamy:

$$0,5 \text{ KM} = 735 \times 0,5 = 368 \text{ W.}$$

Sprawność takiego silnika wynosi około 0,6 więc musimy wprowadzić do silnika moc tyle razy większą od 368, ile razy 10 jest większe od 6, przeto moc prądu będzie:

$$P = \frac{368}{6} \times 10 = 613,3 \text{ W.}$$

Prąd zaś, płynący do silnika, wyniesie:

$$I = \frac{613,3}{110} = 5,57 \text{ A.}$$

Przykład VI. Ile amperów bierze silnik prądu trójfazowego przy napięciu 110 woltów, jeżeli moc mechaniczna silnika wynosi 0,5 konia mechanicznego?

W przykładzie V-ym obliczyliśmy, że moc prądu, którą należy dostarczyć silnikowi wynosi 613,3 wata. Z rozdziału 52-go zaś wiemy, że moc prądu, który spóźnia się w fazie względem napięcia, jak to zwykle bywa w silnikach asynchronicznych, obliczamy w sposób następujący:

$$P = 1,73 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

Stąd:

$$I = \frac{P}{1,73 \cdot V \cdot \cos \varphi},$$

Dla silnika półkonnego $\cos \varphi$ wynosi około 0,8, więc, wprowadzając odpowiednie liczby, otrzymamy:

$$I = \frac{613,3}{1,73 \times 110 \times 0,8} = 4,02 \text{ A.}$$

W każdym z drutów przewodów trójfazowych popłynie prąd 4,02 ampera.

Przy obliczeniach pobieżnych, uwzględniając powyższe współczynniki, możemy przyjąć w przybliżeniu, że na jednego konia mechanicznego w silnikach małych do 10 koni, można liczyć, około 980 watów, w silnikach większych — 820 watów mocy prądu. W małych prądnicach, poniżej 10 kilowatów

liczyć można po 1,8 konia mechanicznego, a w dużych prądnicach po 1,5 konia mechanicznego na jeden kilowat mocy prądu.

Np. w przybliżeniu obliczamy, że silnik elektryczny 5-konny bierze około:

$$980 \times 5 = 4900 \text{ watów} = 4,9 \text{ kW},$$

silnik 50-konny — około:

$$820 \times 50 = 41000 \text{ watów} = 41 \text{ kW}.$$

Prądnicę, dostarczającą prąd mocy 10 kW, porusza silnik spalinowy o mocy około:

$$1,8 \times 10 = 18 \text{ KM},$$

a prądnicę 100 kilowatową porusza np. maszyna parowa o mocy około:

$$1,5 \times 100 = 150 \text{ KM}.$$

Obsługa prądnic i silników.

92. Puszczanie w ruch.

Gdy mamy puścić w ruch maszynę*) nową lub też używaną, która długi czas nie pracowała, to przedewszystkiem należy ją oczyścić z kurzu i oliwy, zwracając szczególną uwagę na kolektor i pierścienie, a także na izolację kolektora i pierścieni od żelaza. Następnie trzeba przemyć łożyska najpierw naftą, a potem benzyną; naftę należy przelewać kilka razy póki nie zacznie wypływać zupełnie czysta. Przy przemycaniu — wał powoli obracać.

Po przemyciu łożysk **napełniamy** je oliwą. Potem przystępujemy do sprawdzania stanu izolacji uzwojeń i szczotek od żelaza za pomocą galwanoskopu lub próbnika izolacji tak, jak to opowiedziano w § 45-tym.

Drobne odchylenia galwanoskopu wskazują zwykle, że do warstw izolujących dostała się wilgoć; wtedy maszynę należy suszyć prądem lub ciepłym powietrzem w odpowiedniej suszarni. Jeżeli zaś odchylenie galwanoskopu jest duże, to znaczy, że izolacja jest uszkodzona i maszyna musi być oddana do naprawy.

Następnie przystępujemy do przycierania szczotek. Pod szczotkę, rys. 252, podkładamy kawałek papieru szklonego średniej szorstkości, szkłem do szczotki i, nacisnąwszy szczotkę sprężyną, przesuwamy papier tam i z powrotem, uważając,

*) Mamy tu na myśli prądnicę albo silnik elektryczny.

aby papier zawsze szczelnie przylegał do powierzchni kolektora lub pierścienia. Jeżeli maszyna ma się obracać tylko w jedną stronę i szczotki zlekka chleboczą w oprawce, to przy końcu przycierania należy, przyciskając szczotkę, przeciągnąć papier kilka razy w stronę obrotu maszyny, z powrotem zaś przesuwając papier ostrożnie, podnosząc szczotki. Gdy cała powierzchnia szczotek jest wyraźnie starta, to papier szklony usuwamy i ostatecznie docieramy szczotki pędząc maszynę bez prądu lub też pod prądem bardzo słabym.

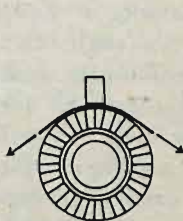
Szczotki na kolektorze ustawiamy zazwyczaj podług kreski na uchwycie szczotkowym; kreska ta powinna stać na-przeciwko takiej samej kreski na nieruchomej części maszyny. Odległości pomiędzy poszczególnymi szczotkami wzdłuż obwodu kolektora powinny być dokładnie sobie równe.

Pozatem w czasie ruchu maszyny, możemy troszkę przesunąć uchwyt szczotkowy w celu osiągnięcia położenia, w którym pod szczotkami znikną iskry.

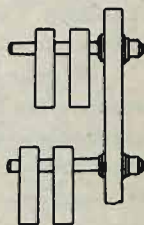
Na poszczególnych trzpieniach ustawiamy szczotki w ten sposób, jak wskazuje rys 253, ażeby cała powierzchnia kolektora ścierała się możliwie równo.

Sprężyny przy szczotkach należy dokładnie wyregulować aby szczotki były równo i lekko przyciśnięte do kolektora. Im twardsze są szczotki, tem mocniej trzeba je przyciskać.

Przy puszczeniu w ruch prądnic prądu stałego może się czasem zdarzyć brak magnetyzmu szczotkowego. Wtedy wypada na chwilę puścić prąd do uzwojeń elektromagnesów ze źródła obcego np. z baterji ogniów galwanicznych. Zdarzyć się może także, że oporność obwodu, w którym przebiega prąd wzbudający, jest zbyt wielka; wtedy często wystarcza przycisnąć na chwilę szczotki palcami*) do kolektora. Jeżeli,



Rys. 252.



Rys. 253.

*) Przez papierek dla izolacji.

pomimo zastosowania wskazanych powyżej środków, prądnica nie wzbudza się, to trzeba spróbować zmienić kierunek prądu w elektromagnesach albo kierunek biegu prądnicy, a także szczegółowo obejrzeć i sprawdzić dokładność kontaktów na wszystkich zaciskach, całość drutów i kierunek prądu. Kierunek prądu w zwojnicach najprościej jest sprawdzić za pomocą busolki. Należy puścić prąd z obcego źródła do uzwojeń elektromagnesów i zbliżyć do biegunów busolkę. Igła magnesowa powinna kolejno zwracać się to północnym, to południowym końcem do poszczególnych biegunów. Nie należy jednak busolki przysuwać do biegunów zbyt blisko, bo igła może przemagnesować się naodwrot pod wpływem silnego elektromagnesu.

Całość drutów w poszczególnych zwojnicach sprawdzamy galwanoskopem, łącząc końce obwodu, zawierającego galwanoskop i baterję, z końcami zwojnicy. Silne odchylenie galwanoskopu wskazuje, że drut jest cały.

W celu uniknięcia uszkodzenia izolacji przy raptownem podniesieniu napięcia do normalnej wysokości, należy, przed puszczeniem w bieg pod pełnem napięciem, przesuszyć maszynę prądem niskiego napięcia albo w suszarni. Przy suszeniu maszyny prądem przepuszczamy przez zwoje możliwie pełny prąd przy jaknajniższem napięciu jednak nie od razu największy, ale z początku $\frac{1}{4}$ pełnego za pół godziny $\frac{1}{2}$ pełnego i t. d. pomału zwiększając. W tym celu wprowadzamy w obwód opornik lub też np. w prądnicach, zwieramy krótko grubym drutem końcówki i ostrożnie wzbudzamy obcym prądem mały strumień magnetyczny. Strumień ten wywołuje małą siłę elektromotoryczną, która w obwodzie o małym oporze daje pełny prąd. Dla pewności, że siła elektromotoryczna nie będzie zbyt wielka, nie zawadzi zwolnić biegu prądnicy.

Najlepiej w obwodzie krótko zwartym umieścić amperomierz i podług niego nastawiać wzbudzanie i szybkość biegu tak, aby przebiegał odpowiedni prąd. Niezawadzi również odpowiedni topliwy bezpiecznik.

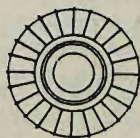
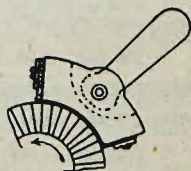
Po dokładnem wysuszeniu, można maszynę puścić w ruch przy właściwem jej napięciu i stopniowo zwiększać obciążenie

93. Obsługa maszyn w ruchu.

W czasie pracy, maszyny elektryczne należy koniecznie często czyścić, usuwając kurz i oliwę, szczególnie z izolacji przy kolektorze i pierścieniach, gdzie zawsze osiada drobny pył węglowy i metalowy. Przynajmniej raz na tydzień należy całą maszynę dokładnie obejrzeć i pousuwać kurz ze wszystkich zakątków. Tylko małe silniki prądu zmiennego asynchroniczne, bez pierścieni można oglądać raz na miesiąc. Dla wydmuchiwania kurzu stosujemy mieszki z drewnianymi dyszami.

Kolektor i pierścienie należy przecierać ściereczkami płóciennymi. Przed puszczeniem w ruch, w miarę możliwości, codziennie wygładzamy kolektor papierem szklonym albo płótnem karborundowym. Papier szklony najlepiej umieszczać na klocku drewnianym, który ma wklęsłość, przystosowaną dokładnie do kształtu powierzchni kolektora rys. 254 *). Należy unikać gładzenia kolektora na gorąco, ponieważ wtedy miedź i mika ścierają się nierówno. W rozgrzanym kolektorze, z powodu większej rozszerzalności miedzi, płytki miedziane występują troszkę nad powierzchnię izolacji mikowej, a więc przy wygładzaniu kolektora na gorąco, płytki miedziane zetrą się, a mika pozostanie nietknięta. Gdy kolektor ostygnie, płytki miedziane skurczą się i mika będzie wystawać, rys. 255. Do takiego kolektora szczotki nie będą mogły dokładnie przylegać. Jeżeli nierówności na kolektorze są zbyt wielkie, to wypada przetoczyć kolektor ostrym nożem. Gdy twornik jest duży i няма odpowiedniej tokarni, to suport z nożem przytwierdzamy do maszyny w ten sposób, aby nóż miał umocowanie**) pewne

Rys. 254.



Rys. 255.

*) Z prawej strony przytwierdzony jest papier szlifierski, a z lewej kawałek sukna, które zbiera kurz.

**) Brac trzeba nóż ze stali twardej i umocować go krótko, aby jak najmniej sprężynował.

i mógł przesuwac się wzdłuż całego kolektora. Zamiast noża możemy stosować krążek karborundowy, szybko wirujący. Pilnikiem wygładzać kolektora nie można, gdyż niesposób osiągnąć tą drogą dokładnie okrągłej powierzchni. Po przetoczeniu, wygładzamy kolektor papierem szklonym, stopniowo coraz mniej szorstkim, wreszcie przecieramy dokładnie czystą ściereczką płócienną.

Nieraz się zdarza, że izolacja mikowa jest znacznie twardsza od płytek miedzianych i skutkiem tego płytki ścierają się trochę więcej od izolacji, wtedy izolacja wystaje stale ponad powierzchnię miedzi, skutkiem tego niema dobrego kontaktu szczotek z kolektorem. W takim wypadku należy ostrożnie ostrym i twardym nożem wyskrobać mikę w ten sposób, aby utworzyć niegłębokie rowki pomiędzy działkami kolektora. Takie rowki zwykle pozostają czyste, bo kurz węglowy nie zatrzymuje się w nich przy szybkim obrocie.

Pierścienie kontaktowe należy również co pewien czas przetoczyć, skoro tylko spostrzeżemy, że szczotki źle przylegają i zaczynają skakać.

Najczęściej stosowane łożyska pierścieniowe nie wymagają kłopotliwej obsługi. Przy ciągłej pracy maszyn trzeba zmieniać oliwę najwyżej co miesiąc, przemylwając łożyska naftą i benzyną. Co pewien czas wypada w łożyskach zmieniać panewki, gdy się znacznie zetrą i jest obawa ślizgania się wirnika po powierzchni stojnika.

Przy pracy maszyn należy zwracać baczną uwagę na zagrzewanie się maszyn. Z praktyki wiemy, jaką najwyższą temperaturę mogą osiągnąć różne części maszyn bez uszkodzenia. Należy także mieć na względzie wpływ stanu ciepłego otaczającego powietrza. Zimą maszyny zagrzewają się mniej, niż latem.

W zestawieniu, które jest przytoczone niżej dla zwykłych maszyn, mamy dwie kolumny liczb: jedna wskazuje, o ile stopni pewna część maszyny może być cieplejsza od

powietrza otaczającego, a druga — najwyższą temperaturę, na jaką pozwolić możemy bez obawy uszkodzenia maszyny*).

	Nadmiar temperatury względem powietrza	Najwyższa temperatura
Zelazo i uzwojenia	50°	90°
Kolektor i pierścienie	50°	90°
Łożyska	45°	85°

Przy wyznaczeniu przyrostu temperatury uzwojeń za pomocą pomiaru oporu elektrycznego, można przyjąć za dopuszczalny nadmiar temperatury tych uzwojeń 60°, a najwyższą dopuszczalną temperaturę 100°.

Temperatura jest tu podana w stopniach Celsjusza. Jeżeli termometr ma stopnie Reomiura, to można obliczyć odpowiednią liczbę stopni Celsjusza w sposób następujący. Ponieważ 80° Reomiura odpowiada 100° Celsjusza, więc na każde 4° Reomiura przypada 5° Celsjusza.

Jeżeli np. zanotowaliśmy temperaturę podług termometru Reomiura 40° to podług termometru Celsjusza wypadnie:

$$\frac{40}{4} \times 5 = 50^\circ.$$

Termometry, stosowane do badania maszyn, mające kreski na szklanej płytce wewnątrz rurki, zwykle mają działki według skali Celsjusza.

W celu zmierzenia temperatury twornika, niezwłocznie po zatrzymaniu maszyny, przykładamy we właściwym miejscu kuleczkę termometru, owiniętą cynfolią i przykrywamy watą lub ściereczką; położenie rtęci w rurce termometru odczytujemy wtedy gdy słupek rtęci przestanie się podnosić.

Załóżmy, żeśmy znaleźli temperaturę 80°, a powietrze otaczające ma temperaturę 25° Celsjusza; nadmiar temperatury ry twornika nad temperaturą otaczającego powietrza wynosi:

$$80^\circ - 25^\circ = 55^\circ.$$

*) Szczegółowy wykaz czytelnik znajdzie w odpowiednich przepisach międzynarodowych i krajowych.

Nadmiar ten przewyższa granicę dopuszczalną, pomimo to, że temperatura twornika nie jest za wysoka. Ten sam twornik przy wyższej temperaturze powietrza otaczającego rozgrzeje się nadmiernie, a więc takiej maszyny nie możemy uważać za dobrą.

Wzrost temperatury elektromagnesów wyznaczamy zwykle przez pomiar oporności. Załóżmy, że przed puszczeniem w ruch przy temperaturze 20° otaczającego powietrza oporność uzwojeń elektromagnesów wynosiła 200 omów. Po zatrzymaniu maszyny, która pracowała przez kilka godzin, oporność elektromagnesów zwiększyła się do 240 omów.

Przyrost oporności wynosi:

$$240 - 200 = 40 \, \Omega.$$

Na każdy stopień przyrostu temperatury opór miedzianych drutów zwiększa się o 0,004 pierwotnej wielkości, a więc w rozważanym przykładzie na 1° zwiększa się o

$$200 \times 0,004 = 0,8 \, \Omega.$$

Wobec tego całkowity przyrost temperatury uzwojenia elektromagnesów będzie:

$$40 : 0,8 = 50^{\circ}.$$

Początkowa temperatura uzwojeń była równa temperaturze otaczającego powietrza czyli 20° , więc temperatura uzwojeń ogrzanych wynosi:

$$20^{\circ} + 50^{\circ} = 70^{\circ}.$$

Jeżeli temperatura powietrza otaczającego przy powtór-nem mierzeniu oporu będzie 25° , to nadmiar temperatury uzwojenia elektromagnesów w porównaniu z temperaturą otaczającego powietrza wyniesie:

$$70^{\circ} - 25^{\circ} = 45^{\circ}.$$

Wobec tego, że dopuszczalny nadmiar temperatury wynosi 60° , więc badana maszyna jest dobra.

Pomiar oporności uzwojeń elektromagnesów wykonywamy zazwyczaj za pomocą mostu Wheatstona, którego urządzenie jest opisane w § 39-tym lub za pomocą pomiaru prądu i napięcia, według prawa Ohma jak opisano w § 38.

Przy badaniu zagrzewania się maszyn trzeba mieć na względzie, że maszyna zimna w chwili puszczenia w ruch zagrzewa się stopniowo i zaledwie po kilku godzinach pracy przy pełnem obciążeniu osiąga temperaturę, która potem już prawie zupełnie się nie podnosi. Im większa jest maszyna, tem dłuższego trzeba czasu, aby się ogrzała zupełnie*).

Zwykle uważamy, że maszyna osiągnęła ustaloną temperaturę, jeżeli wzrost temperatury jest mniejszy niż 2° w ciągu godziny na termometrze przyłożonym do nieruchomej części maszyny.

Stosując bardziej doskonałą izolację, budujemy maszyny więcej wytrzymałe na ciepło. tak np. można zbudować maszynę, której twornik i elektromagnesy mogą się ogrzać bez uszkodzenia do 105° przy pomiarze termometrowym.

Szereg wiadomości praktycznych o naprawie uszkodzeń zawiera książka B. Gimputa: „Uszkodzenia i niedokładności w maszynach elektrycznych prądu stałego i zmiennego”. Wyd. księg. J. Lisowskiej.

*) Dla maszyn średniej wielkości około 8 godzin.

Przetwornice.

Gdy prąd, wytworzony w prądnic, nie nadaje się z jakichkolwiek względów do bezpośredniego zastosowania, wprowadzamy go wtedy do maszyn lub przyrządów pomocniczych w celu przekształcenia w taką postać, jaka w danym razie jest potrzebna.

Przekształcenie prądu stałego wysokiego napięcia na prąd stały niskiego napięcia i odwrotnie, prądu zmiennego na prąd stały i odwrotnie, prądu zmiennego o pewnej częstotliwości okresów na prąd zmienny innej częstotliwości okresów, odbywa się w maszynach wirujących, zwanych przetwornicami. Przetwornice stanowią zespoły prądnic i silników elektrycznych. Rozróżniamy przetwornice dwutwornikowe i jednotwornikowe.

94. Przetwornice dwutwornikowe.

Przetwornice dwutwornikowe składają się z silnika elektrycznego i prądnic, połączonych pomiędzy sobą mechanicznie; najczęściej tworniki obu maszyn osadzają się na jednym wale. Dla udogodnienia ustawiania, wał składa się z dwóch części, połączonych sprzęgłem. Prąd pierwotny, który mamy przekształcić, wprowadzamy do odpowiedniego silnika. Prąd przekształcony, tak zwany wtórny, otrzymujemy z prądnic. Budowa prądnic jest przystosowana do prądu wtórnego.

Tego rodzaju przetwornice mają wielką zaletę, że prądy pierwotny i wtórny przebiegają w dwóch zupełnie niezależ-

nych obwodach, a przez to wybór napięcia niczem nie jest skrępowany i nastawianie napięcia odbywa się tak samo, jak w zwykłej prądnicy. Ze względu jednak na podwójne przekształcanie pracy, mamy tu duże straty. W silniku praca prądu przekształca się na pracę mechaniczną, a w prądnicie odwrotnie — praca mechaniczna w pracę prądu i przy każdym przekształceniu część pracy tracimy w postaci ciepła.

Założmy np., że prądnica dostarcza prąd, którego moc wynosi 50 kilowatów. Sprawność takiej prądnicy jest 0,9, więc silnik dostarczyć musi pracę, której moc jest tyle razy większa od 50, ile razy 10 jest większe od 9, a więc:

$$\frac{50}{9} \times 10 = 55,5 \text{ kW}.$$

Silnik, którego moc mechaniczna wynosi 55,5 kilowata, ma sprawność również około 0,9, więc moc prądu, płynącego od silnika wyniesie:

$$\frac{55,5}{9} \times 10 = 61,5 \text{ kW}.$$

W obu maszynach tracimy $61,5 - 50 = 11,5$ kilowata.

Ogólną sprawność przetwornicy wyraża stosunek mocy prądu wtórnego do mocy prądu pierwotnego, więc w rozwanym przypadku wynosi on:

$$\frac{50}{61,5} = 0,81.$$

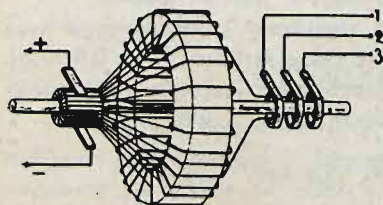
Porównywując tą sprawność ze sprawnością poszczególnych maszyn, łatwo spostrzeżemy, że sprawność całej przetwornicy dwutwornikowej równa jest iloczynowi sprawności poszczególnych maszyn.

95. Przetwornice jednotwornikowe.

Przy przetwarzaniu prądu trójfazowego na stały stosują się bardzo często przetwornice jednotwornikowe.

Na rys. 256 pokazany jest twornik przetwornicy jednotwornikowej. Elektromagnesy są zwykle, jak w prądnicach prądu stałego. Uzwojenie twornika, oprócz kolektora, ma jeszcze trzy pierścienie.

Prąd trójfazowy wprowadzamy przez szczotki na pierścieniach i gdy twornik obraca się z szybkością synchroniczną względem prądu,^{*)} to ze



Rys. 256.

szczotek na kolektorze odprowadzamy prąd stały. Większa część prądu z pierścieni przechodzi wprost do kolektora i przez szczotki dostaje się do obwodu prądu stałego, tylko różnica prądów zmiennego i stałego przepływa

przez uzwojenie twornika. Skutkiem tego straty na ogrzewanie twornika są tu znacznie mniejsze, niż w przetwornicy dwutwornikowej, elektromagnesy mamy tylko jedno, to też sprawność przetwornicy jednotwornikowej jest znacznie wyższa od sprawności przetwornicy dwutwornikowej.

Ze względu jednak na bezpośrednie połączenie przewodów prądu stałego z przewodami prądu zmiennego, napięcia tych dwóch prądów nie mogą być dowolne.

Napięcie pomiędzy przewodami prądu trójfazowego wynosi zawsze 0,62 napięcia prądu stałego. Np., jeżeli prąd stały ma napięcie 200 woltów, to prąd trójfazowy:

$$200 \times 0,62 = 124 \text{ V.}$$

A więc w takiej przetwornicy można przetworzyć prąd trójfazowy o napięciu 124 woltów na prąd stały tylko o napięciu 200 woltów.

Przetwornica jednotwornikowa stanowi zespół silnika synchronicznego z prądnicą prądu stałego, więc przy puszczaniu w ruch, maszynę trzeba wprowadzić w ruch synchroniczny.

^{*)} Patrz rozdział o silnikach synchronicznych.

ny względem prądu zmiennego, następnie wzbudzić i dopiero po nastawieniu napięcia, częstości okresów i faz połączyć ze źródłem prądu trójfazowego. W tym celu wał przetworniczy jednotwornikowej sprzęgamy często z silnikiem asynchronicznym trójfazowym, który służy do puszczania w ruch przetwornicy.

Silnik rozruchowy bierze prąd tylko w czasie rozruchu. Mając obce źródło prądu stałego odpowiedniego napięcia można rozruszać przetwornicę prądem stałym, wprowadzając go przez szczotki i kolektor do twornika. Wogóle jednak obce źródło prądu jest zbyt cenne, gdyż prąd stały do elektromagnesów bierzemy ze szczotek, ustawionych na kolektorze.

Nastawiając odpowiednio prąd w elektromagnesach, można doprowadzić prąd zmienny do zgodności w fazie z napięciem i tą drogą wyzyskać całą moc prądu zmiennego.

Przetwornice jednotwornikowe prądu zmiennego na stały budują się obecnie jako sześciofazowe; wtedy na tworniku mają one zamiast trzech pierścieni — sześć. Z sieci bierzemy prąd trójfazowy, przetwarzamy go w odpowiednich transformatorach*) na sześciofazowy, a następnie wprowadzamy do przetwornicy jednotwornikowej. Powyższe transformatory dają także możliwość dobrania odpowiedniego napięcia prądu sześciofazowego, od którego następnie zależy napięcie prądu stałego.

Stosowanie prądu sześciofazowego umożliwiło korzystniejsze przetwarzanie prądu zmiennego na stały w jednej maszynie, gdyż układ prądów sześciofazowych w skojarzeniu z prądem stałym mniej nagrzewa twornik, niż układ prądów trójfazowych. Sprawność dużych przetwornic jednotwornikowych wynosi od 90 do 95%.

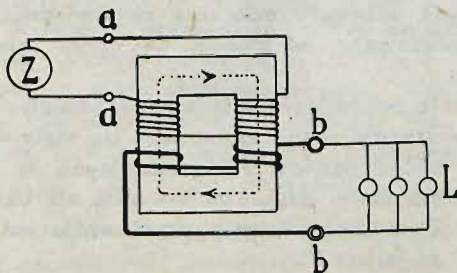
*) Patrz rozdział następny.

Transformatory.

96. Wstęp.

Transformatorami nazywamy przyrządy, służące do przetwarzania prądu zmiennego pewnego napięcia na prąd zmienny innego napięcia.

Transformator składa się z ramy, utworzonej z wycinków cienkiej blachy żelaznej, ułożonych w paczki i zwojów miedzianego drutu izolowanego, który jest owinięty w około tej ramy, rys. 257. Uzwojenie transformatora jest podzielone na dwa obwody. Zaciski *a* i *a* stanowią końcówki tak zwanych



Rys. 257.

zwojów pierwotnych. Zaciski *b* i *b*—końcówki zwojów wtórnych. W zwojach pierwotnych płynie prąd zmienny z prądnic *Z*, we wtórnych powstaje prąd indukowany, płynący do lamp *L*. Prąd pierwotny wywołuje zmienny strumień magne-

tyczny. Strumień ten zmienia się tak, jak prąd: wzrasta się stopniowo w pewnym kierunku, osiąga największość, następnie zmniejsza się do zera, odwraca się w stronę przeciwną, wzrasta się w tym nowym kierunku, osiąga największość, znowu zmniejsza się do zera i t. d.

Zmienny strumień magnetyczny, powstając i znikając, przecina zwoje wtórne i w ten sposób wywołuje siłę elektromotoryczną, pod wpływem której w obwodzie wtórnym powstaje prąd.

Praca prądu pierwotnego przenosi się do obwodu wtórnego. Jeżeli przerwać obwód wtórny, to prąd tu przestaje płynąć, wtedy transformator jest nieobciążony. Przez włączanie w obwód wtórny lamp obciążamy transformator.

W obwodzie pierwotnym prąd płynie zawsze, niezależnie od tego czy transformator jest obciążony czy też nie, ale w obciążonym transformatorze prąd pierwotny jest znacznie silniejszy od prądu w transformatorze nieobciążonym.

Zastanówmy się, w jaki to sposób prąd wtórny oddziaływa na prąd pierwotny, sprawiając, że wielkość jego przystosowuje się do prądu wtórnego.

W nieobciążonym transformatorze prąd pierwotny jest słaby, ponieważ strumień magnetyczny w zwojach pierwotnych wzbudza znaczną siłę elektromotoryczną, skierowaną wbrew prądowi, hamującą jego dopływ.

Gdy obwód wtórny zamkniemy, powstaje prąd wtórny. Kierunek tego prądu wypada zawsze taki, że prąd ten osłabia nieco strumień magnetyczny, wywołany przez prąd pierwotny. Skutkiem zmniejszenia się strumienia zmniejsza się w zwojach pierwotnych siła elektromotoryczna, hamująca dopływ prądu, i ten prąd wzrasta.

Pamiętać jednak należy, że zachodzi tu bardzo niewielkie zmniejszenie strumienia, ponieważ niewielka zmiana siły elektromotorycznej może wywołać duże zmiany w prądzie, przebiegającym w zwojach drutu o małym oporze.

Każda nowa lampka, włączona do obwodu wtórnego, zmniejsza opór tego obwodu, — prąd wtórny rośnie,

i zmniejsza strumień magnetyczny transformatora, skutkiem tego prąd pierwotny również wzrasta i t. d. do pełnego obciążenia.

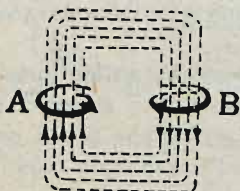
Np. bez obciążenia prąd pierwotny wynosił 0,3 A, a przy pełnym obciążeniu wzrasta do 10 A.

Prąd transformatora nieobciążonego jest znacznie opóźniony w fazie względem napięcia, np. $\cos \varphi = \text{około } 0,45$. Prąd transformatora obciążonego przesuwają się w fazie względem napięcia rozmaicie zależnie od rodzaju obciążenia. Gdy transformator zasila lampy żarowe, to prąd pierwotny jest prawie zgodny w fazie z napięciem, przy obciążeniu motorami prąd ten opóźnia się w fazie względem napięcia dość znacznie.

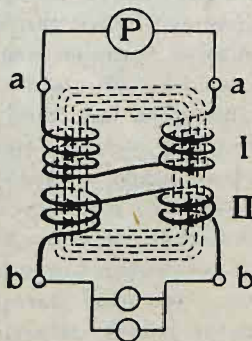
97. Stosunek napięć w transformatorze.

Napięcie prądu wtórnego zależy od napięcia prądu pierwotnego i od stosunku liczby zwojów wtórnych do pierwotnych.

Żeby to wyjaśnić rozważmy jeden zwój drutu, obejmujący zmienny strumień magnetyczny rys. 258. Powstając i zni-



Rys. 258.



Rys. 259.

kając linie magnetyczne strumienia przecinają drut i wzbudzają w nim siłę elektromotoryczną. Kierunki sił elektromotorycznych w zwojach A i B są odwrotne, gdyż strumienie

magnetyczne w tych zwojach są zawsze zwrócone w kierunkach przeciwnych.

W uzwojeniu transformatora wszystkie zwoje rys. 259 przenika ten sam strumień magnetyczny, więc siła elektromotoryczna w każdym zwoju jest ta sama. W obwód zwoje są tak włączone, że cała siła elektromotoryczna w uzwojeniu równa się sumie sił elektromotorycznych poszczególnych zwojów, gdyż wszystkie one są skierowane wzdłuż drutu w jedną stronę. Tu zwoje z prawej strony nawijamy odwrotnie w porównaniu do zwojów z lewej strony, w ten sposób, pomimo odwróconego kierunku siły elektromotorycznej, wypada ona zgodną co do działania z siłą elektromotoryczną zwojów z lewej strony.

Jeżeli transformator przetwarza prąd wysokiego napięcia na prąd niskiego napięcia, to mamy dużo zwojów w uzwojeniu pierwotnym i mało we wtórnym. Załóżmy, że zwojów pierwotnych mamy 2000 i że w każdym zwoju wzbudza się siła elektromotoryczna wynosząca 3 wolty, wtedy cała siła elektromotoryczna w uzwojeniu pierwotnym będzie:

$$3 \times 2000 = 6000 \text{ V.}$$

Ta siła elektromotoryczna przeciwstawia się prądowi, płynącemu z prądnicy.

Napięcie tego prądu jest trochę wyższe od powyższej przeciwelektromotorycznej siły. Różnica napięcia i siły przeciwelektromotorycznej pokonywa oporność uzwojenia pierwotnego. Wobec tego, że oporność ta jest mała, niewielka jest także różnica pomiędzy siłą przeciwelektromotoryczną a napięciem. Możemy więc przy naszych rozważaniach przyjąć w przybliżeniu, że napięcie pierwotne na zaciskach $a'a$ wynosi 6000 V.

Napięcie wtórne znajdziemy w podobny sposób:

Jeżeli zwojnica wtórna ma 40 zwojów, a w każdym zwoju, jak mówiliśmy, wzbudza się siła elektromotoryczna, wynosząca 3 V, to cała siła elektromotoryczna wtórnej zwojnicy będzie:

$$3 \times 40 = 120 \text{ V.}$$

Ta siła elektromotoryczna pokonywa oporność uzwojenia wtórnego i daje napięcie na wtórnych zaciskach — b, b . Oporność uzwojenia wtórnego jest mała, na pokonanie jej wystarcza bardzo nie wiele woltów, przeto siła elektromotoryczna wtórna jest w przybliżeniu równa napięciu na wtórnych zaciskach.

Na tej podstawie mamy w rozważanym przykładzie na wtórnych zaciskach napięcie 120 V. Obliczmy teraz stosunek napięcia wtórnego do pierwotnego:

$$\frac{120}{6000} = \frac{3 \times 40}{3 \times 2000} = \frac{40}{2000} = \frac{1}{50}$$

Z tego obliczenia widzimy, że stosunek napięć w transformatorze równa się stosunkowi liczb zwojów wtórnego i pierwotnego uzwojenia.

Stosunek napięcia wtórnego do napięcia pierwotnego nazywamy przekładnią transformatora albo spółczynnikiem transformacji.

Znając napięcie pierwotne np. 6000 V i przekładnię $\frac{1}{50}$, łatwo obliczymy napięcia wtórne:

$$6000 \cdot \frac{1}{50} = 120 \text{ V.}$$

Zależność napięcia wtórnego od pierwotnego wyraża się wzorem algebraicznym w sposób następujący.

V_1 — napięcie pierwotne, V_2 — napięcie wtórne, n_1 — liczba zwojów pierwotnych, n_2 — liczba zwojów wtórnych, k — przekładnia:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = k,$$

stąd:

$$V_2 = V_1 \cdot k.$$

Prąd możemy transformować dwojako: podwyższając napięcie, lub zniżając go, przez wybór odpowiedniego stosunku liczby zwojów.

Jeżeli $V_1 = 6000$ woltów, a V_2 ma być 120 woltów, to przy $n_1 = 2000$, mamy $n_2 = 40$, jeżeli zaś mając $V_1 = 6000$ woltów chcielibyśmy otrzymać $V_2 = 15000$ woltów, to przy $n_1 = 2000$ zwojów, wypadło by wziąć $n_2 = 5000$ zwojów.

Rozważmy jeszcze wpływ zmiany liczby zwojów wtórnych i pierwotnych na napięcie wtórne.

Jeżeli w poprzednio rozważanym transformatorze, nie zmieniając liczby zwojów pierwotnych, **zwiększymy** liczbę zwojów wtórnych do 75-ciu, to napięcie wtórne **wzrośnie**. Warunki powstawania siły elektromotorycznej w poszczególnych zwojach nie zmieniły się, więc jak poprzednio, w każdym zwoju mamy 3 wolty, wobec tego w 73 zwojach otrzymamy napięcie:

$$3 \times 75 = 225 \text{ V.}$$

Przekładnia tutaj wzrosła:

$$k = \frac{n_2}{n_1} = \frac{75}{2000} = \frac{3}{80}.$$

Według wzoru algebraicznego:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

stąd wypada:

$$V_2 = \frac{V_1}{n_1} \cdot n_2,$$

co wskazuje, że napięcie wtórne jest **wprost proporcjonalne** do liczby zwojów wtórnych.

Rozpatrzmy jeszcze wpływ liczby zwojów pierwotnych. Załóżmy, że w transformatorze rozważanym początkowo, nie zmieniając liczby zwojów wtórnych, których było 40, **zwiększymy** liczbę zwojów pierwotnych np. do 2200. Wtedy zmieni się warunki powstawania siły elektromotorycznej w poszczególnych zwojach, gdyż, przy poprzednim napięciu pierwotnym 6000 V, zawsze równa jemu siła elektromotoryczna

powstaje nie w 2000, lecz w 2200 zwojach, wobec tego na jeden zwój teraz przypada.

$$\frac{6000}{2200} = 2,73 \text{ wolta,}$$

zamiast poprzednio wzbudzonych 3 woltów.

Takie zmniejszenie siły elektromotorycznej w poszczególnych zwojach odbywa się na skutek osłabienia strumienia magnetycznego, gdyż zwojnica o większej liczbie zwojów bierze znacznie mniejszy prąd magnesujący.

Ten osłabiony strumień magnetyczny, przenikając zwoje pierwotne i wtórne, wywołuje w każdym zwoju siłę elektromotoryczną zmniejszoną — 2,73 V. W 40 zwojach zwojnicy wtórnej mieć będziemy teraz:

$$2,73 \times 40 = 109,2 \text{ wolta,}$$

gdy poprzednio mieliśmy 120 V.

A więc **zwiększenie** liczby zwojów pierwotnych wywołało **zmniejszenie** napięcia wtórnego.

Przekładnia będzie teraz mniejsza:

$$k = \frac{40}{2200} = \frac{1}{55}.$$

Ze wzoru algebraicznego:

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot n_2}{n_1},$$

wyrażnie widzimy, że wtórne napięcie jest odwrotnie proporcjonalne do liczby zwojów pierwotnych.

Powyższe rozumowanie, przedstawiając dobrze istotę działania transformatora, są jednak, jak zaznaczyliśmy, przybliżone, gdyż zwojnice mają opór i oprócz strumienia magnetycznego głównego, są jeszcze inne niewielkie strumienie magnetyczne — **rozproszone**, zamykające się przez powietrze, nie wskazane na rys. 259.

Opór zwojnic i te strumienie rozproszone sprawiają, że stosunek liczby zwojów wtórnych do liczby zwojów pierwotnych jest o kilka procent większy od stosunku napięć.

Chcąc więc mieć stosunek napięć czyli przekładnię — k , należy brać

$$\frac{n_2}{n_1} = k + \text{kilka } \% \text{ od } k.$$

Oto przykład z praktyki: Transformator mocy 36 kVA, zbudowany na pierwotne napięcie 2000 V, a wtórne napięcie 200 V, ma przekładnię:

$$k = \frac{1}{10}.$$

Liczba zwojów $n_1 = 312$, a liczba zwojów $n_2 = 32$, przeto:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{32}{312} = 0,1026,$$

czyli:
$$\frac{n_2}{n_1} = 0,1 + 0,0026,$$

a więc tu do k dodano 2,6 % od k .

Przy sposobności nadmieniamy, że oporność uzwojenia pierwotnego tego transformatora wynosi 0,51 Ω , a uzwojenia wtórnego 0,0053 Ω .

98. Stosunek prądów w transformatorze.

Zwróćmy się teraz do prądów, płynących w uzwojeniach transformatora przy pełnem obciążeniu. Zależność pomiędzy temi prądami możemy znaleźć, rozważając amperozwoje wywołujące strumień magnetyczny transformatora. Obwód magnetyczny transformatora jest doskonały, gdyż stanowią go paczki blachy żelaznej, ułożone w kształcie ramki rys. 257, w której strumień magnetyczny biegnie wokoło. Oporność magnetyczna takiego obwodu jest bardzo mała, więc dla wywołania nawet gęstego strumienia magnetycznego potrzeba niewiele amperozwojów.

Prądy pierwotny i wtórny magnesują rdzeń transformatora w kierunkach odwrotnych, przy tem jednak magnesujące działanie prądu pierwotnego przeważa, strumień magnetyczny powstaje więc pod wpływem niewielkiej różnicy amperozwojów pierwotnych i wtórnych.

Załóżmy, że pełne obciążenie transformatora w obwodzie wtórnym wynosi 200 A, a zwojów tam mamy 40, to amperozwojów wtórnych wypadnie:

$$200 \times 40 = 8000.$$

Jeżeli założymy, że uzwojenie pierwotne składa się z 2000 zwojów, to łatwo znajdziemy wartość przybliżoną prądu pierwotnego, stosując następujące rozumowanie.

Według rozważań poprzednich, liczba amperozwojów pierwotnych mało się różni od liczby amperozwojów wtórnych, więc w przybliżeniu wynosi również 8000. Stąd prąd pierwotny przy 2000 zwojów będzie:

$$8000 : 2000 = 4 \text{ A.}$$

Oznaczmy przez I_1 — prąd pierwotny, a przez I_2 — wtórny, n_1 — liczba zwojów pierwotnych, a n_2 — liczba zwojów wtórnych. Według poprzednich rozważań mamy w przybliżeniu:

$$I_1 n_1 = I_2 n_2,$$

skąd wypada:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Natężenia prądów są odwrotnie proporcjonalne do liczby zwojów odpowiednich uzwojeń.

W naszym przykładzie:

$$\frac{200}{4} = \frac{2000}{40}.$$

Uwzględniając, że:

$$\frac{n_2}{n_1} = k,$$

wypadnie:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{k}.$$

Stosunek prądów równa się odwrotności przekładni.

Jeżelibyśmy wzięli więcej zwojów wtórnych niż pierwotnych, to otrzymalibyśmy wtórny prąd mniejszy. Np. przy $n_1 = 2000$ i $n_2 = 5000$, a $I_1 = 4$ A, wypadnie:

$$I_2 = 4 \cdot \frac{2000}{5000} = 1,6 \text{ A}.$$

Obliczenia te według uwag poczynionych na początku powyższego rozważania, są zgodne z praktyką z dokładnością do kilku procent.

Nie uwzględniony przez nas prąd magnesujący i prąd dostarczający energję dla pokrycia strat na ciepło od histerezy i prądów wirowych w żelazie, sprawiają że uzwojenie pierwotne zawsze bierze nieco więcej amperów w stosunku do prądu wtórnego, niż to wypada z powyższych obliczeń.

Stosunek pomiędzy prądami w transformatorze możemy wyznaczyć jeszcze inną drogą.

Obecnie budowane transformatory powodują bardzo małe straty energii. więc możemy przejąć w przybliżeniu, że moc pierwotna równa jest mocy wtórnej:

$$P_1 = P_2.$$

Przy obciążeniu lampami nie mamy przesunięcia fazy pomiędzy prądem i napięciem, więc popełniając tylko mały błąd, możemy napisać:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2,$$

skąd:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Prądy są odwrotnie proporcjonalne do napięć.

Przykład. Moc transformatora 24 kVA , to znaczy kilowoltampery, czyli 24 kW przy $\cos\varphi = 1$. Napięcie pierwotne 6000 V , a wtórne 125 V .

Prąd wtórny:

$$I_2 = \frac{24000}{125} = 192\text{ A}.$$

Prąd pierwotny, w przybliżeniu:

$$I = \frac{24000}{6000} = 4\text{ A},$$

więc:

$$\frac{4\text{ A}}{192\text{ A}} = \frac{125\text{ V}}{6000\text{ V}}.$$

99. Sprawność transformatorów.

Straty energii w transformatorach mamy dwojakie: w żelazie na ciepło skutkiem histerezy i prądów wirowych, gdyż rdzeń żelazny ulega ciągłemu przemagnesowywaniu, i na ciepło w przewodnikach miedzianych uzwojeń, skutkiem ich oporności.

Straty w żelazie są prawie niezależne od obciążenia wobec tego, że wielkość strumienia magnetycznego jest prawie ta sama w transformatorze obciążonym co i nie obciążonym *).

Natomiast straty w miedzi są według prawa Joule'a proporcjonalne do drugiej potęgi prądu, a więc do drugiej potęgi obciążenia.

O ile obciążenie transformatora jest stałe, to sprawność wyraża się, jak dla poprzednio omawianych maszyn, stosunkiem pełnej mocy wtórnej do pełnej mocy pierwotnej:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Sprawność zależy od mocy transformatora. Podajemy w tablicy zestawienie wzięte z praktyki dla transformatorów, zasilanych prądem o częstotliwości 50 okresów na sekundę.

*) Patrz § 96.

P_2 w kVA.	η w %
1	93
5	94,7
10	96
50	97,5
250	98
500	98,5
2000	do 99

Przy częstotliwości mniejszej, sprawność jest nieco mniejsza.

Przykład. Transformator na 50 wtórnych kilowatów ma sprawność 97,5%.

To znaczy, że on bierze tyle razy więcej mocy niż daje, ile razy 100 jest większe od 97,5, więc:

$$P_1 = \frac{50}{97,5} \times 100 = 51,28 \text{ kW},$$

a straty wyniosą:

$$51,28 - 50 = 1,28 \text{ kW}.$$

W tym transformatorze 1,28 kW przekształca się na ciepło, które rozgrzewa żelazo i miedź.

Są jednak okoliczności, w których sprawność transformatorów oblicza się inaczej.

W transformatorach przyłączonych do sieci miejskiej oświetlenia elektrycznego uzwojenia pierwotne okrągły rok są zawsze pod prądem, a tymczasem prąd wtórny bywa rozmaity, zależnie od godziny w ciągu doby, od dnia w tygodniu i od pory roku, często przez czas długi taki transformator jest mało obciążony, wtedy szczególnie dają się we znaki stałe straty w żelazie*). Sprawność oblicza się tu już nie podług mocy, ale podług pracy oddanej i pobranej.

Jeżeli A_1 — praca pobrana przez uzwojenie pierwotne w ciągu roku, a A_2 — praca oddana przez uzwojenie wtórne w ciągu roku, to **sprawność roczna** transformatora wynosi:

$$\eta' = \frac{A_2}{A_1}.$$

Sprawność roczna zawsze jest mniejsza od sprawności zwykłej przy pełnem obciążeniu.

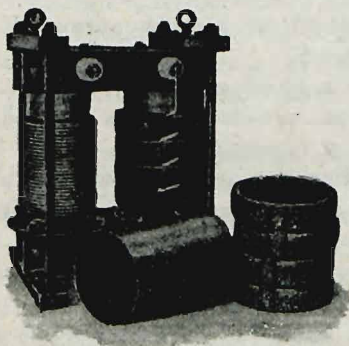
*) Dla zmniejszenia tych strat, takie transformatory mają rdzenie z blachy żelaznej dobrze nakrzemionej.

Np. gdy sprawność zwykła przy pełnem obciążeniu pewnego transformatora wynosiła 96%, to sprawność roczna tego transformatora przy włączeniu go do sieci miejskiej oświetlenia elektrycznego dosięgła zaledwie 83%.

Wogóle jednak zaznaczyć należy, że sprawność transformatorów jest bardzo wysoka; są to przyrządy przetwarzające najoszczędniej prąd jednego rodzaju na prąd drugiego rodzaju.

100. Budowa transformatorów.

Transformatory jednofazowe mają dwa rdzenie pionowe i dwa jarzma poziome: rys. 260. Rdzenie i jarzma wszystkich transformatorów są zbudowane z arkuszy bardzo cienkiej



Rys. 260.



Rys. 261.

blachy (0,3 mm. grubości) żelaznej, ilozowanej cienkim papierem lub lakierem. Podział rdzenia na cienkie warstwy, ułożone wzdłuż linii magnetycznych, w znacznym stopniu zapobiega prądom wirowym. Gatunek żelaza zapewnia małe straty na histerezę. Na rys. 261 pokazany jest rdzeń transformatora, utworzony z prostokątnych arkuszy cienkiej

blachy, znitowanych mocno w czterech miejscach. Z blach robią się również jarzma, które przyciskają się mocno śrubami do rdzeni, rys. 260.

Na każdym pionowym rdzeniu są cewki niskiego i wysokiego napięcia, jedna w drugiej w celu zmniejszenia rozproszenia linii magnetycznych, gdyż jak widzieliśmy dla prawidłowego działania transformatora ważnem jest aby oba uzwojenia pierwotne i wtórne obejmowały ten sam strumień magnetyczny. W celu ułatwienia naprawy, cewki niskiego napięcia umieszczają się wewnątrz cewek wysokiego napięcia, które częściej ulegają uszkodzeniu.

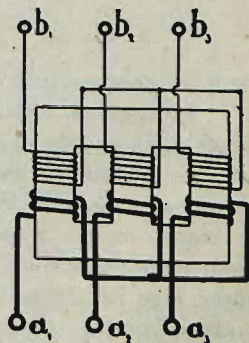
Uzwojenie transformatorów wykonywamy z drutów miedzianych okrągłych lub prostokątnych izolowanych bawełną.

W celu osiągnięcia dobrej izolacji od żelaza, a także pomiędzy zwojami pierwotnymi i wtórnymi, druty nawijamy na bębny papierowe lub mikanitowe. Na rys. 260 widzimy zdjęty bęben izolacyjny i cewki wtórnego uzwojenia. Na rdzeniu lewym pozostało tylko uzwojenie pierwotne.

Gdy prądy są znaczne, a napięcie niezbyt wysokie to zwojnice nakładamy bez żadnej oprawy, wprost na rdzenie żelazne; izolacja z cienkiej tektury, umieszczona w odpowiednich miejscach, wystarcza tu zupełnie.

W celu zabezpieczenia zwojów od uszkodzenia okrywamy transformator blachą dziurkowaną. Dziurki są tu potrzebne dla umożliwienia dopływu powietrza, które unosi ciepło, wywiązujące się w transformatorze i zabezpiecza go od nadmiernego wzrostu temperatury.

Jeżeli potrzeba zamknąć transformator szczelnie to umieszczamy go w skrzyni blaszanej, wypełnionej olejem. Olej odprowadza ciepło od transformatora jeszcze lepiej niż powietrze. Skutkiem ruchu ciepłego oleju do góry i zimnego na dół, ciepło przenosi się



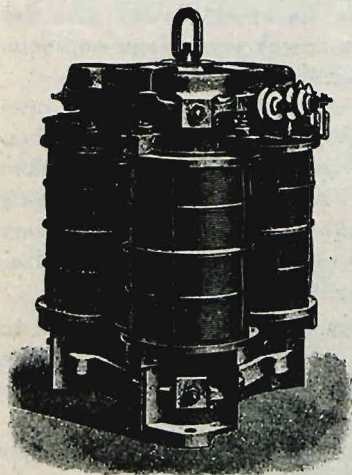
Rys. 262.

na ścianki boczne skrzyni, które robimy najczęściej z blachy falistej dla zwiększenia powierzchni, promieniującej ciepło.

Transformatory na prąd trójfazowy rys. 262 mają ramę żelazną, składającą się z 3-ch rdzeni pionowych połączonych u góry i u dołu jarzmami. Na każdym rdzeniu znajdują się po dwie zwojnice. Zwojnice poszczególnych faz łączymy w trójkąt albo w gwiazdę. Na rysunku oba układy zwojnic, wtórny i pierwotny, są połączone w gwiazdę, a_1 , a_2 i a_3 —

końcówki uzwojeń niskiego napięcia, a b_1 , b_2 i b_3 — końcówki uzwojeń wysokiego napięcia.

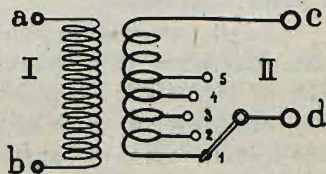
Ze względu na dogodność umieszczenia transformatora w okrągłych budkach, rdzenie transformatorów trójfazowych czasem ustawiamy inaczej, tak jak wskazuje rys. 263. Jarzma mają tu kształt przystosowany do położenia rdzeni. Trzy układy cewek wtórnego uzwojenia z wielką liczbą zwojów, widoczne na rysunku, dają prąd wysokiego napięcia. Końcówki tych cewek są połączone z trzema zaciskami, które dla zapewnienia dobrej izolacji umieszczono na du-



Rys. 263.

żych porcelanowych izolatorach.

Szczególny rodzaj transformatorów stosujemy do stopniowego podnoszenia napięcia, np. przy rozruchu silników asynchronicznych, rys. 264, mamy tu transformator z przełącznikiem wielostopniowym. Za pomocą tego przełącznika wtórne zaciski transformatora łączymy kolejno z różną liczbą wtór-



Rys. 264.

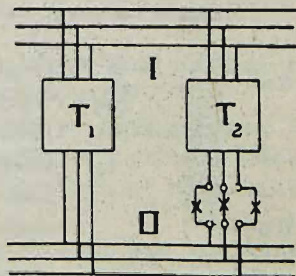
nych zwojów. Zaciski pierwotne a i b , jak zwykle, łączymy ze źródłem prądu. Gdy rączka przełącznika znajduje się na kontakcie 1-ym, to napięcie na zaciskach c i d jest najwyższe, przy położeniu rączki na kontakcie 5-m mamy napięcie najniższe. W pierwszym przypadku napięcie na zaciskach c i d powstaje wskutek spóldziałania sił elektromotorycznych wszystkich wtórnych zwojów, w drugim zaś — tylko tych zwojów, które znajdują się pomiędzy kontaktem 5-ym i zaciskiem c .

Kontakty i łapka na rączce mają takie wymiary i są tak urządzone, że przy przesuwaniu rączki z jednego kontaktu na drugi prąd, odpływający z zacisków c i d , nie przerywa się.

101. Równoległe połączenie transformatorów.

Przy równoległym przyłączeniu kilku transformatorów do jednej sieci należy zwracać pilną uwagę na szczegóły budowy.

Transformatory przeznaczone do równoległej pracy powinny mieć równe napięcia i przy prądzie trójfazowym zgodne układy wewnętrznych połączeń faz, odpowiednio w uzwojeniach pierwotnych i w uzwojeniach wtórnych, najlepiej zupełnie jednakowe. O właściwości połączeń uzwojeń wewnątrz transformatora przekonać się można przez przyłączenie nowego transformatora do sieci pierwotnej bezpośrednio rys. 265, a do sieci wtórnej przez lampki. Transformatory mogą być włączane na sieć wtórną bezpośrednio, dopiero po dobraniu takiego połączenia końcówek wtórnych transformatora z siecią wtórną, przy którym lampki, wprowadzone w miejsce przerywaczy pomiędzy transformator a sieć wtórną, będą ciemne. Taką ostrożność należy zachować tak samo przy transformatorach jednofazowych.



Rys. 265.

Jeżeli przy wykonaniu połączenia transformatorów trójfazowych lampki zawsze świecą i przez żadne przekładanie połączeń nie da się osiągnąć zgaśnięcia lamp, to znaczy że transformatory mają niezgodne układy wewnętrznych połączeń uzwojeń fazowych i nie mogą pracować w połączeniu równoległym.

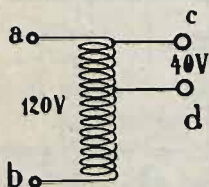
W celu zapewnienia prawidłowego rozdziału obciążenia transformatorów równolegle połączonych, większego na transformatory większe i mniejszego na mniejsze, należy przestrzegać aby spadki napięcia w transformatorach, wywołane opornością zwojów i indukcyjnością rozproszonych strumieni magnetycznych, były odpowiednio równe.

Wszystkie transformatory równolegle połączone muszą mieć przy pełnem obciążeniu równe spadki napięcia, wywołane opornością rzeczywistą i tak samo równe spadki napięcia wywołane opornością indukcyjną.

102. Autotransformatory.

Gdy chodzi o niewielką zmianę napięcia, a przytem zależy na zaoszczędzeniu przewodnika miedzianego i pracy prądu, to stosujemy tak zwane autotransformatory,

Zasada budowy autotransformatorów polega na połączeniu



Rys. 266.

wszystkich zwojów transformatora w szereg, rys. 266 i wprowadzeniu prądu wysokiego napięcia przez skrajne zwoje, połączone z zaciskami *a* i *b*, a wyprowadzeniu prądu niskiego napięcia przez zaciski *c* i *d*, pomiędzy którymi jest tylko część zwojów.

Zwoje pomiędzy zaciskami *c* i *d* są zwykle zrobione z grubszego drutu, niż pozostałe, ze względu na silniejszy prąd który tu przepływa. Jeżeli np. wysokie napięcie wynosi 120 woltów, a niskie 40 woltów jest więc trzy razy mniejsze od napięcia wysokiego, to zacisk *d* wypadnie połączyć w ten sposób z uzwojeniem,

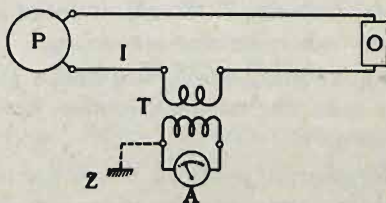
aby liczba zwojów pomiędzy c i d stanowiła trzecią część całej liczby zwojów, zawartych pomiędzy zaciskami a i b .

Straty na ciepło w zwojach autotransformatorów są mniejsze od strat w transformatorach zwykłych, a przez to i sprawność jest wyższa od sprawności transformatorów zwykłych.

Autotransformatory stosujemy w celu stopniowego podnoszenia napięcia na silnikach, gdy przy pełnym biegu może być zastosowane napięcie całe. Wtedy urządzają się przełączniki podobne do wskazanego na rys. 264.

103. Miernikowe transformatory prądowe.

Dla izolowania przyrządów mierniczych od przewodów prowadzących prąd zmienny pod wysokim napięciem, a także w celu rozszerzenia skali amperomierza na prąd zmienny, stosowany jest zazwyczaj mały transformerek T rys. 267,



Rys. 267.

w którym przez uzwojenie pierwotne płynie prąd zmienny I , a uzwojenie wtórne łączy się z amperomierzem.

Przez indukcję w obwodzie wtórnym powstaje prąd i , którego natężenie jest tyle razy mniejsze od natężenia prądu pierwotnego, ile razy liczba zwojów wtórnych jest większa od liczby zwojów pierwotnych.

Uzwojenie wtórne zazwyczaj uziemia się jak wskazano na rys. 267 tu Z — uziemienie. Połączenie to ma na celu zabezpieczenie od porażenia prądem osób, dotykających się do amperomierza w razie przypadkowego przerzutu wysokiego napięcia sieci do obwodu amperomierza, wskutek zepsucia izolacji.

Najczęściej są budowane transformatoriki na prąd wtórny 5 A, prąd zaś pierwotny bywa różny stosownie do potrzeby np. 10 — 100 — 1000 i t. d. amperów.

Na skali amperomierzy połączonych z transformatorikiem napisane są zazwyczaj liczby wyrażające wielkość prądu pierwotnego I , płynącego w przewodzie, a więc w uzwojeniu pierwotnem transformatorika.

Gdy prąd mierzony płynie pod wysokim napięciem to pierwotne uzwojenie i jego końcówki muszą być bardzo dobrze izolowane od uzwojenia wtórnego i od żelaza. Z tego powodu na tych transformatorikach oprócz prądów pierwotnego i wtórnego zaznaczone bywa najwyższe napięcie prądu pierwotnego, dla którego jest przystosowana izolacja pierwotnego uzwojenia transformatorika.

Jeden zacisk wtórnego uzwojenia łączy się z zaciskiem uziemiającym na pokrywce transformatorika. Osobny drut uziemiający łączy pokrywkę z uziemieniem.

Transformatoriki prądowe są stosowane nie tylko do amperomierzy, lecz także do zasilania prądem cewek prądowych watomierzy i liczników.

Gdy transformatoriki prądowe pozostają pod prądem, po odjęciu przyrządów pomiarowych, to końcówki wtórne tych transformatorików należy połączyć ze sobą krótkim miedzianym drutem, czyli zewrzeć, a to w celu uniknięcia nadmiernie silnego strumienia magnetycznego, który rozgrzewa żelazo. Przy wtórnym obwodzie zwartym taki strumień magnetyczny powstać nie może, bo prąd indukowany wtórny niemal znosi magnesujące działanie prądu pierwotnego.

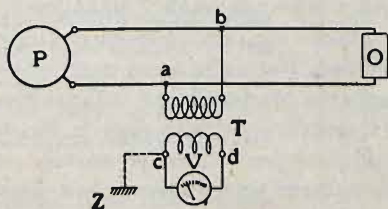


Rys. 268.

Na rys. 268 widzimy transformator prądowy do prądu wysokiego napięcia. U góry znajdują się końcówki dla połączenia z przewodem wysokiego napięcia. Niżej małe zaciski do połączenia z amperomierzem.

104. Napięciowe transformatory miernikowe.

W celu rozszerzenia skali woltomierzy przy prądzie zmiennym często bywa stosowany mały transformator miernikowy *T* rys. 269, którego uzwojenie pierwotne łączy się



Rys. 269.

z punktami *a* i *b*, gdzie mamy mierzone napięcie, a uzwojenie wtórne łączy się z woltomierzem. Po zatem wtórne uzwojenie połączone jest z uziemieniem *Z*. Woltomierz zazwyczaj używa się na 100 woltów, pierwotne napięcie zależnie od okoliczności wynosi np. 1000 — 5000 — 50000 — 100000 i więcej woltów.

Na skali woltomierza, stale połączonego z transformatorem, wypisane są liczby wyrażające napięcie pomiędzy punktami *a* i *b*, a więc pierwotne napięcie transformatora.

Przy wysokim napięciu pierwotne uzwojenie musi być bardzo dobrze izolowane od wtórnego uzwojenia i od żelaza. Pozatem dla uniknięcia przerzutu wysokiego napięcia na uzwojenie wtórne, jedna z końcówek wtórnego uzwojenia zawsze musi być uziemiona.

Na rys. 270 widzimy napięciowy transformator miernikowy dla wysokiego napięcia.



Rys. 270.

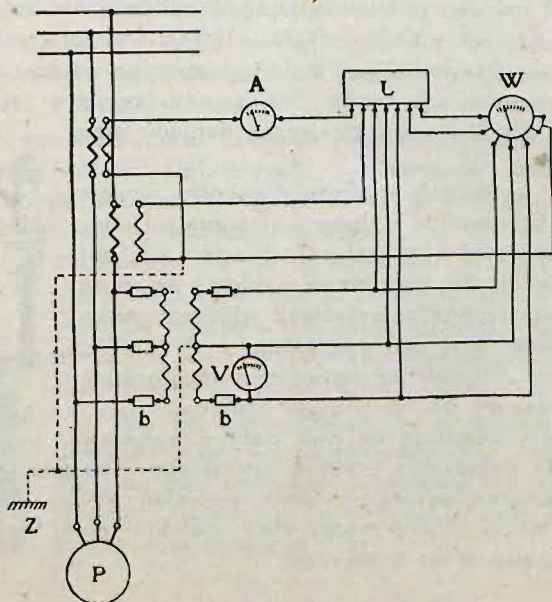
U góry znajdują się dwa dobrze izolowane zaciski dla połączenia z siecią wysokiego napięcia. Zaciski te umieszczone są na wysokich porcelanowych izolatorach przepustowych. Niżej mamy dwa zaciski słabiej izolowane, dla połączenia z woltomierzem.

105. Transformatorki miernikowe w zastosowaniu do amperomierzy, woltomierzy, watomierzy i liczników w układach trójfazowych.

Bardzo często transformatorki miernikowe bywają stosowane również przy watomierzach i licznikach. Transformatorek napięciowy włącza się przed cewką napięciową, a prądowy przed cewką prądową. Nieraz te same transformatorki służą jednocześnie do zasilania prądem kilku przyrządów pomiarowych.

Na rys. 271 widzimy w jaki sposób licznik L watomierz W , woltomierz V i amperomierz A zostały zaopatrzone we wspólne transformatorki miernikowe: dwa prądowe i dwa napięciowe, dla pomiaru pracy, mocy, napięcia i natężenie prądu trójfazowego, dostarczonego z prądnicy do szyn zbiorczych w elektrowni.

Transformatorki napięciowe zawsze zaopatrują się w obwodzie pierwotnym i wtórnym w bezpieczniki topliwe b, b . rys. 271.

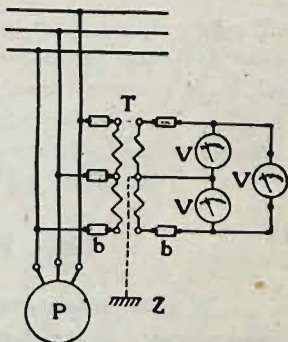


Rys 271.

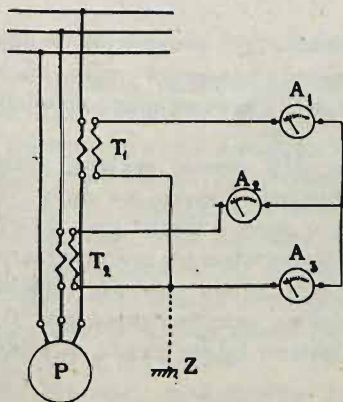
Jeżeli chcemy mierzyć jednocześnie napięcie trzech faz, to do dwóch transformatorów napięciowych przyłączamy trzy woltomierze tak jak to pokazano na rys. 272.

Chcąc mierzyć powyższe trzy napięcia kolejno, możemy wziąć tylko jeden woltomierz i przełączać go za pomocą odpowiedniego przełącznika na poszczególne fazy, aby kolejno otrzymać połączenia wskazane na rys. 272.

Chcąc jednocześnie mierzyć natężenie prądu w trzech fazach można posługiwać się trzema transformatorami miernikowymi, lepiej jednak, ze względu na tańsze urządzenie, użyć tylko dwóch transformatorów prądowych T_1 i T_2 w układzie połączeń wskazanym na rys. 273.



Rys. 272.



Rys. 273.

Tu amperomierze A_1 i A_2 wskazują oczywiście prądy pierwszej i drugiej fazy, amperomierz zaś trzeci A_3 wskazuje sumę prądów pierwszej i drugiej fazy.

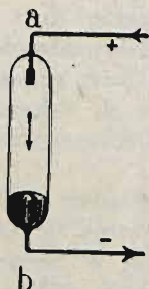
Suma ta w układzie trójfazowym zawsze równa się prądowi trzeciej fazy. W ten sposób amperomierz A_3 wskazuje prąd trzeciej fazy.

Przestrzegać tylko należy, aby połączenie wykonać dokładnie, według podanego schematu, tak aby prądy schodziły się w trzecim amperomierzu.

Prostowniki.

106. Prostowniki rtęciowe.

W celu przetworzenia prądu zmiennego na prąd jednokierunkowy, stosujemy czasem, zamiast maszyn, przyrządy, których budowa oparta jest na różnych zasadach. Na szczególną wzmiankę zasługują rurki szklane z rtęcią, zwane **prostownikami rtęciowymi**, za pomocą których można prąd zmienny jedno, albo trójfazowy przetworzyć na prąd tętniący o zmiennem natężeniu, lecz stałym kierunku.



Rys. 274.

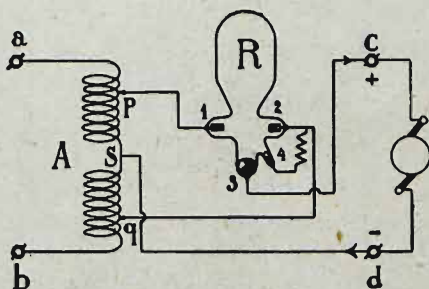
Zasada działania tych prostowników opiera się na szczególnej własności rurki, opróżnionej z powietrza i zawierającej niewielką ilość rtęci.

Na rysunku 274 mamy szklaną rurkę, opróżnioną z powietrza, z rtęcią na dnie i węglową pałeczką u góry. Druty *a* i *b* wtopione w szkło, doprowadzające prąd do lampy, łączymy ze źródłem prądu stałego, którego napięcie wynosi około stu woltów, przestrzegając aby rtęć była połączona z biegunem ujemnym źródła prądu, a węgiel z biegunem dodatnim.

Jeżeli rurkę przechylić w ten sposób, aby rtęć połączyła przewodniki *a* i *b*, a potem odwrócić rurkę z powrotem do poprzedniego położenia, to prąd, który zaczyna płynąć przy połączeniu drutów *a* i *b* rtęcią, nie przerywa się, ponieważ

rukę wypełnia para rtęci, stanowiąca stałe połączenie pomiędzy drutami. Para rtęci świeci i nazywa się rtęciowym łukiem *).

Prąd w takiej rurce płynie od *a* do *b*, w kierunku do rtęci. Jeżeli odwrócić bieguny w ten sposób, aby rtęć była połączona z biegunem dodatnim, to po zwróceniu rurki do poprzedniego położenia łuk nie tworzy się. Prąd w rurce nie może wypływać z rtęci. Na podstawie takiej własności rurki z rtęcią sporządzone są prostowniki rtęciowe.



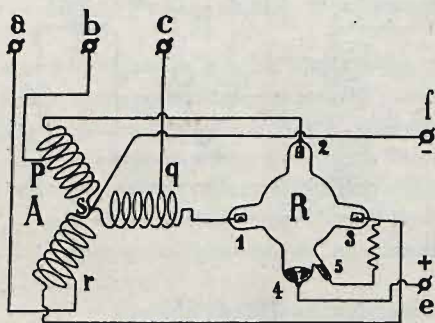
Rys. 275.

Budowa prostownika jednofazowego wskazana jest na rys. 275. Zaciski *a* i *b* łączymy ze źródłem prądu zmiennego, a od zacisków *c* i *d* odprowadzamy prąd wyprostowany, *A*—autotransformator, *R*—szklana rurka z czterema wtopionymi drucikami czyli elektrodami. Druciki 3 i 4 są zanurzone w rtęci. Gdy prąd zmienny płynie od *a* do *b*, to odgałęzienie do prostownika mamy po drodze: *a*—*p*—*1*—*3*—*c*—*d*—*s*—*q*—*b*; wtedy łuk powstaje pomiędzy elektrodami 1 i 3. W następnej chwili kierunek prądu zmiennego odwraca się, płynie on od *b* do *a* po drodze: *b*—*q*—*2*—*3*—*c*—*d*—*s*—*p*—*a*, tu mamy łuk pomiędzy elektrodami 3 i 2. Przez zaciski *c* i *d* prąd płynie zawsze w jednym kierunku. Elektroda 4-ta, umieszczona u dołu rurki, służy tylko do wywołania łuku przy na-

*) Patrz szczegóły o łuku w rozdziale o lampach łukowych.

chyleniu na chwilę rurki, przez wytworzenie połączenia pomiędzy elektrodami: 3, 4 i 2.

Układ połączeń prostownika rtęciowego dla prądu trójfazowego wskazany jest na rys. 276. Zaciski *a*, *b* i *c* łączymy ze źródłem prądu trójfazowego, *e* i *f* z obwodem prądu wyprostowanego. *A* — autotransformator, *R* — rurka szklana z pięcioma elektrodami: 5-ta elektroda służy do wywołania łuku, 4-ta, rtęciowa — do odprowadzenia prądu wyprostowanego. Gdy prąd wchodzi przez zacisk *a*, a wychodzi przez *b* i *c*, to przepięcie prądu jest następujący: $a-r-3-4-e-f-s$, stąd prąd



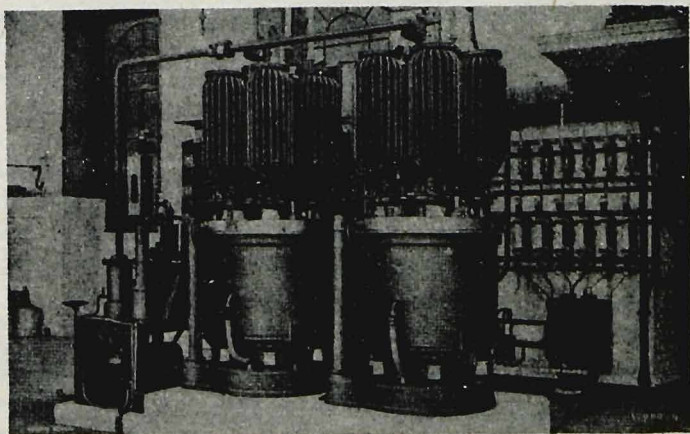
Rys. 276.

rozgałęzia się przez $s-p-b$ i $s-q-c$, łuk powstaje w rurce pomiędzy elektrodami 3 i 4. W następnej chwili, gdy prąd wchodzi przez zacisk *b*, łuk powstaje między elektrodami 2 i 4, a gdy prąd wchodzi przez zacisk *c*, to mamy łuk pomiędzy elektrodami 1 i 4. W obwodzie prądu wyprostowanego prąd płynie zawsze od *e* do *f*.

Sprawność takich prostowników jest dość wysoka, a budowa prosta, więc nieraz stosujemy takie przyrządy do ładowania akumulatorów, do lamp projekcyjnych, np. w kinematografach i do zasilania silników prądu stałego.

Dla dużej mocy do 1000 kW i wysokich napięć do kilkuset tysięcy woltów budują się obecnie prostowniki rtęciowe w żelaznych kotłach, w których próżnię utrzymują usta-

wione obok pompy. Na rys. 277 widzimy zespół dwóch takich prostowników z tablicą rozdzielczą firmy Brown Boveri & Co na 500 kW dla przekształcenia prądu trójfazowego 8500 V na prąd jednokierunkowy tętniący 550 V w celu zasilania silników elektrycznych.



Rys. 277.

W każdym prostowniku żelaznym wewnątrz kotła, w środku, na dole mamy miseczkę izolowaną wypełnioną rtęcią, która stanowi biegun dodatni dla wyprostowanego prądu. W górnym dnie sześć izolowanych elektrod doprowadza prąd sześciofazowy z odpowiednich transformatorów. Dla chłodzenia tych elektrod służą wysokie naczynia z blachy żelaznej wypełnione wodą. Widzimy je nad kotłami na rysunku.

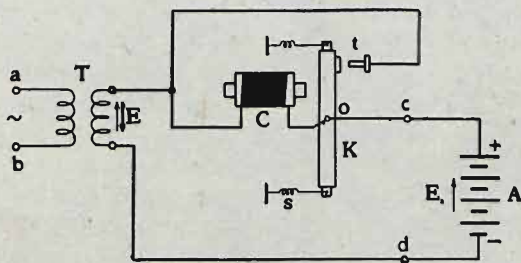
Główną zaletą takiego urządzenia prostownikowego jest wysoka sprawność, mało zależna od obciążenia. Sprawność dużych przyrządów tego rodzaju przy wyprostowaniu napięcia od 220 do 1000 woltów wynosi od 90 do 96% *).

*) Szczegóły są podane w zeszycie 24-tym „Przeglądu Elektrotechnicznego” 1923 r.

107. Prostownik mechaniczny.

Bardzo proste prostowniki mechaniczne bywają używane do ładowania akumulatorów ze źródła prądu zmiennego. Układów połączeń jest dużo.

Na rys. 278 widzimy jeden z najprostszych prostowników z jednym przerywaczem samoczynnym.



Rys. 278.

Zaciski a i b łączymy ze źródłem prądu zmiennego, a zaciski c i d z akumulatorami A . Dla obniżenia napięcia prądu służy transformator T , cewka C z rdzeniem żelaznym przyciąga drążek żelazny K obracający się koło osi O . Sprężynki s, s służą dla uregulowania położenia drążka K . Przy zetknięciu drążka K ze śrubką t zwiera się obwód cewki C .

Działanie prostownika jest następujące. W obwodzie składającym się z baterji akumulatorów *) A cewki elektromagnesu C , oraz wtórnego uzwojenia transformatora działają dwie siły elektromotoryczne: jedna stała baterji akumulatorów E_2 , zwrócona od $(-)$ do $(+)$ tej baterji, a druga zmienna co do wielkości i kierunku E_1 indukowana we wtórnem uzwojeniu transformatora.

Gdy obie siły elektromotoryczne mają ten sam kierunek, to prąd płynie przez akumulatory w kierunku siły elektromotorycznej E_2 , a więc akumulatory trochę wyładowują się, wtedy cewka C przyciąga drążek K i styk z t jest przerwany.

*) Patrz rozdział następny.

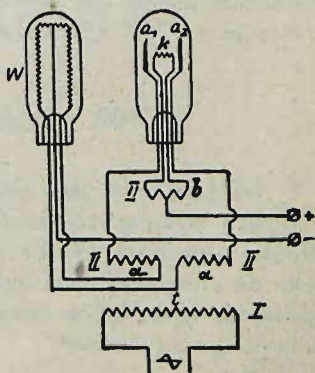
Jak tylko zmieni się kierunek siły elektromotorycznej E_1 , tak że ona będzie przeciwna sile elektromotorycznej E_2 w akumulatorach, to prąd osłabnie, gdyż teraz będzie działać w obwodzie różnica tych sił elektromotorycznych, a poprzednio działała suma. Skutkiem osłabienia się prądu w cewce C ona puści drążek K , który dotknie kontaktu t , a przez to obwód zamknie się drogą krótszą, o znacznie mniejszym oporze. Wtedy wtórne uzwojenie transformatora będzie bezpośrednio połączone z baterią akumulatorów. Siła elektromotoryczna wtórnego uzwojenia transformatora bierze się nieco większa od siły elektromotorycznej akumulatorów, przeto siła elektromotoryczna transformatora przeważa i prąd, płynąc wbrew sile elektromotorycznej akumulatorów, ładuje baterję. Takie prostowniki sporządzają się zazwyczaj do ładowania od 1 do 12 ogniw akumulatorowych przy natężeniu prądu do 5 A.

Transformator T przystosowuje się do napięć pospolicie stosowanych w sieciach oświetleniowych prądu zmiennego 120 i 220 woltów.

108. Prostownik katodowo-gazowy.

Z pośród różnych prostowników tego rodzaju u nas dość rozpowszechniony jest prostownik Philipsa, rys. 279.

Sam prostownik stanowi bańkę szklaną wypełnioną rozrzedzonym gazem. Wewnątrz tej bańki są dwie płytki metalowe a_1 i a_2 tak zwane anody i spiralka z drutu wolframowego k . Transformator t , który stanowi nieodzowną część składową tego urządzenia, składa się z jednego uzwojenia pierwotnego (I) i dwóch uzwojeń wtórnych II-a i II-b*).



Rys. 279.

*) Dla uproszczenia rysunku uzwojenia są pokazane w postaci zygzaków.

Uzwojenie wtórne b daje prąd bardzo niskiego napięcia do żarzenia drucika k , tak zwanej **katody**.

Końce drugiego uzwojenia wtórnego $a-a$ są przyłączone do płytek a_1 i a_2 , znajdujących się w bańce, w środku uzwojenie to jest rozdzielone na dwie połowy, pomiędzy którymi włączony jest opornik W , utworzony z cienkiego druciku, umieszczonego w szklanej bańce opróżnionej.

Źródło prądu zmiennego przyłączymy do końcówek uzwojenia pierwotnego I (u dołu rysunku). Odbiornik prądu tętniącego łączy się z zaciskami, oznaczonymi na rys. (+), (—), z których jeden przyłączono do środka uzwojenia transformatora żarzącego drucik w bańce, a drugi do środka opornika.

Taka bańka z rozżarzonym drucikiem przepuszcza prąd tylko w kierunku od anod do katody, skutkiem tego zacisk połączony z katodą zawsze jest dodatnim (+), jeżeli prostownik rozważać jako źródło prądu.

Prąd tętniący wywołują tu siły elektromotoryczne wtórnego uzwojenie a a , naprzemian to jedna połowa, to druga, zawsze ta, której siła elektromotoryczna jest zwrócona do zacisku połączonego z anodą bańki.

Prostowniki tego rodzaju budowane bywają na różne natężenia prądu, dla przyłączania do sieci prądu zmiennego o napięciu 120 i 220 woltów.

109. Prostownik tlenkowy.

Najprostszym jest prostownik tlenkowy, składa się on z dwóch stykających się ze sobą płytek: jednej miedzianej, drugiej ołowianej. Płytkę miedzianą z tej strony gdzie przytyka do ołowianej musi być konieczniej utleniona t. j. pokryta rodzajem rdzy, która otrzymuje się na miedzi pod wpływem wilgotnego powietrza.

Taka para płytek przepuszcza prąd daleko łatwiej w kierunku od ołowiu do miedzi niż odwrotnie. Jeżeli więc wpro-

wadzić te płytki w obwód prądu zmiennego, to otrzymamy prąd tętniący.

Prostowniki tego rodzaju znajdują zastosowanie przy niskim napięciu, jedna para płytek wystarcza najwyżej na 2 wolty, na napięcie wyższe trzeba łączyć kilka w szereg, jak ogniwa w baterji akumulatorów.
