

można przez przesylenie pasa łożem skrócić jego długość niemal o 2%. W tym celu pociągamy wewnątrz stronę pasa pendzlem, umaczanym w roztopionym czystym łożu bydłecym. Poza tem, nie należy używać żadnych tłuszczów, kalfonji czy żywicy, gdyż niszczą one skórę, z wyjątkiem tylko oleju rogowego, który nadaje jej większą sprężystość.

Przy zakładaniu należy uważać na położenie złącza względem kierunku biegu, aby ostry koniec pasa od strony wewnętrznej nie zadzierał się przy uderzeniach o koła pasowe. Ostrze tego końca powinno być zwrócone przeciwko kierunkowi biegu (rys. 24).

Prądnic e.

§ 10. Rodzaje maszyn i części składowe.

1. Prądnic a (dynamomaszyna, generator) otrzymuje z silnika pracę mechaniczną, a wytwarza wzajemian prąd elektryczny.

2. Silnik elektryczny (motor elektryczny) odbiera z sieci prąd elektryczny, a oddaje pracę mechaniczną.

3. Przetwornic a służy do zamiany rodzaju prądu (np. zmiennego na stały), a przy prądzie stałym — również do zamiany napięcia (np. z 500 V na 120 V).

4. Transformator służy do zamiany napięcia przy prądzie zmiennym (np. z 6000 V na 120 V).

5. Prostownik służy do zamiany prądu zmiennego na prąd o kierunku stałym.

Prądnic e, silniki i przetwornic e wirujące zaliczamy do maszyn, natomiast transformator y i prostownik i — do przyrządów.

Maszyna elektryczna składa się zwykle z dwóch części zasadniczych:

1. magnesnic y, w której wzbudza się pole magnetyczne, i
2. twornika, w którym wznieca się napięcie elektryczne.

W maszynach prądu stałego magneśnica jest częścią nieruchomą, a twornik — częścią wirującą, w prądnicach zaś prądu zmiennego zazwyczaj wiruje magneśnica, a twornik stoi nieruchomo. Ogólnie biorąc, nazywamy:

1. kadłubem czyli statorem — nieruchomą część maszyny, a

2. wirnikiem czyli rotorem — część ruchomą.

Części żelazne maszyny bez uzwojenia, a więc wieniec magneśnicy, bęben twornikowy wraz z wałem i t. p. nazywamy:

1. szkieletem maszyny, a

2. uzwojeniem nazywamy przewodniki do wzniesienia lub przewodzenia prądu. Uzwojenie musi być dokładnie odosobnione od szkieletu maszyny zapomocą odpowiednich warstw izolacyjnych.

Magneśnica w maszynach prądu stałego ma kształt wieńca, z którego wyrzynają się pieńki. Na pieńkach żelaznych osadzone są cewki, owinięte drutem izolowanym, który tworzy jedną gałąź uzwojenia magnesowego. Każdy pieńek jest rdzeniem elektromagnesu o pewnej określonej bieguności (§ 3). Zwykle bieguny północne uszeregowane są naprzemian z biegunami południowymi *N, S, N, S* i t. d. Zależnie od liczby pieńków, maszyny bywają:

1. dwubiegunowe i

2. wielobiegunowe (cztero, sześć, ośmiobiegunowe i t. d.).

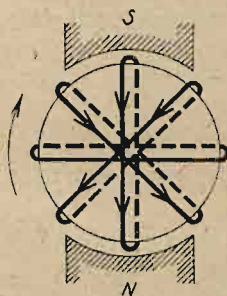
Twornik w maszynach prądu stałego ma kształt bębna i zaopatrzony jest na całym obwodzie w żłobki i zęby (rys. 26). Druty lub pręty miedziane, umieszczone w żłobkach a powiązane w jedną całość, stanowią uzwojenie twornikowe. Gdy maszyna nabierze ruchu wirowego, druty twornikowe przecinają pole magnetyczne. Obracanie twornika przy wzbudzonej nieruchomej magneśnicy lub — co na jedno wychodzi — obracanie wzbudzonej magneśnicy przy nieruchomym tworniku wymaga pewnego wysiłku czyli nakładu pracy. Praca ta zamienia się w pracę elektryczną, w uzwojeniu bowiem twornikowym, wskutek przecinania pola magnetycznego, wzniesia się prąd elektryczny (rys. 27). Napięcie tego

prądu jest tem wyższe, im większe natężenie pola i im szybciej maszyna wiruje.

Kierunek prądu wznieszanego zależy od rodzaju biegunów magnetyzmu. Gdy drut twornikowy przechodzi koło bieguna północnego, wzniesza się w nim prąd o pewnym kierunku, a gdy przechodzi koło bieguna południowego, wzniesza się prąd o kierunku przeciwnym; słowem, w każdym drucie twornikowym wzniesza się prąd zmienny. Jeżeli pomimo tego maszyna wydaje nazewnątrz prąd stały, zawdzięczamy to



Rys. 26.



Rys. 27.

kolektorowi czyli komutatorowi, który przełącza poszczególne części uzwojenia twornikowego w odpowiedni sposób, czyli komutuje.

Krańce uzwojenia doprowadzone są do zacisków maszynowych (na rys. 29—A, B, C, D).

Pod względem rodzaju pracy różniamy maszyny, przeznaczone:

1. do pracy ciągłej, długotrwałej, nieprzerwanej i
2. do pracy dorywczej czyli przerywanej — np. silniki, pędzące dźwigi, żorawie, tramwaje.

Miara obciążenia maszyny jest liczba wydawanych kilowatów. Mocą maszyny nazywamy liczbę kilowatów, którą maszyna może wydać bez nadmiernego nagrzania się (§ 30) przez 10 godzin z rzędu w warunkach zwykłych, do jakich była przeznaczona (przy pracy ciągłej lub dorywczej). Wiel-

kość mocy jest podana na tabliczce przy każdej maszynie elektrycznej. Maszyna może być bez szkody przeciążona o 25% w ciągu $\frac{1}{2}$ godziny lub o 40% w ciągu 3 minut. Gdy maszyna jest w ruchu bez obciążenia, mówimy, że ma bieg jałowy.

Maszyny elektryczne muszą być przystosowane do warunków, w jakich pracują. Pod tym względem rozróżniamy maszyny:

1. otwarte,
2. półzamknięte czyli przystosowane do przewietrzania prądem czystego powietrza i
3. szczelnie zamknięte czyli okapturzone.

Maszyny półzamknięte i szczelnie zamknięte przeznaczone są do miejsc nasyconych kurzem, parą wodną lub oparami żrącymi.

§ 11. Prądnice prądu stałego.

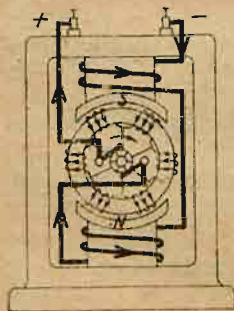
Wzbudzanie. Prądnice mogą być wzbudzone prądem obcym (np. z akumulatorów) lub własnym.

1. W prądnicach obcowzbudnych uzwojenie magnesowe oddzielone jest od twornikowego.

2. W prądnicach szeregowych, inaczej głównikowych (rys. 28 i 54), uzwojenie magnesowe łączy się z obwodem zewnętrznym w szereg; całkowity prąd, wytworzony w prądnicach, przepływa przez zwoje magnesowe.

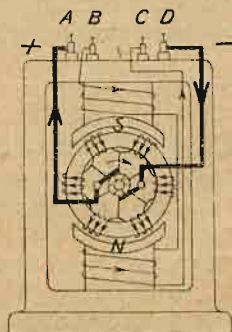
3. W prądnicach bocznikowych (rys. 29 i 38) uzwojenie magnesowe łączy się z obwodem zewnętrznym równolegle; przez zwoje magnesowe, jako przez bocznik, przepływa tylko część prądu wytworzonego.

4. W prądnicach szeregowo-bocznikowych, inaczej głównikowo-bocznikowych (rys. 30 i 40), magnesy mają podwójne uzwojenie: jedno — szeregowo czyli głównikowe (ozn. linią grubą), drugie — bocznikowe (ozn. linią cienką).

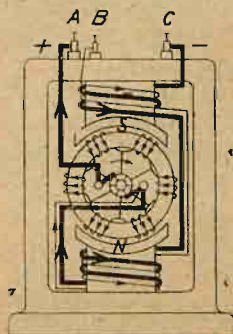


Rys. 28.

Przy rozruchu prądnicy samowzbudnej (szeregowej, boczni-
kowej lub szeregowo-bocznikowej) w zwojach magnesowych
nie ma prądu wzbudającego, a w zwojach twornikowych



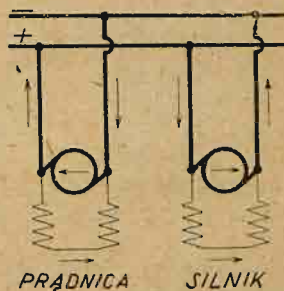
Rys. 29.



Rys. 30.

wznica się prąd tylko pod wpływem magnetyzmu szczątko-
wego czyli pozostałego. Z chwilą jednak wzniesienia prądu,
magnesy otrzymują wzbudzenie, które prędko dochodzi do
normy.

W maszynach szeregowych
wzbudzenie magnesów wzrasta
w miarę zapotrzebowania prądu;
im większy prąd, tem większe na-
pięcie. Prądnice boczni-
kowe mają wzbudzenie i napięcie prawie
stałe, nieznacznie tylko spadające
przy wzroście obciążenia. Wresz-
cie, prądnice szeregowo-bocznik-
owe dają napięcie zupełnie stałe,
gdyż przy większem obciążeniu
wzrost wzbudzenia szeregowego



Rys. 31.

wynagradza odpowiedni spadek wzbudzenia bocznikowego.

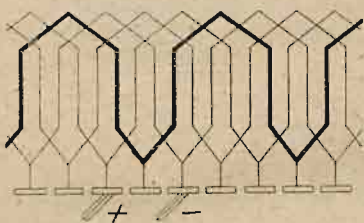
Najwięcej rozpowszechnione są maszyny boczni-
kowe, a szczególnie przy wspólnej pracy z akumulatorami. Przez
uzwojenia magnesowe maszyny boczni-
kowej prąd płynie
zawsze w jednym kierunku (rys. 31), zarówno przy wytwarza-

niu prądu (praca prądnicowa), jak i przy odbieraniu (praca silnikowa). Natomiast z prądnicami szeregowymi lub szeregowo-bocznikowymi może zająć wypadek utraty magnetyzmu szczątkowego, gdy z innej maszyny lub z akumulatorów popłynie prąd przez zwoje magnesowe w kierunku przeciwnym (prąd wsteczny).

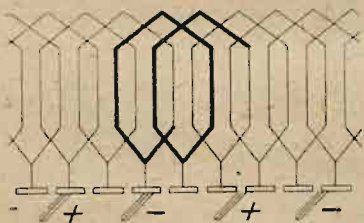
Prądnice szeregowo-bocznikowe używane są przy bardzo zmiennym obciążeniu.

Uzwojenie i komutacja. Zwoje twornika ułożone są na bębnie w ten sposób, że w każdym żłobku mieści się po kilka drutów. Połączenie bywa najrozmaitsze, zawsze jednak uzwojenie tworzy obwód zamknięty, przyczem koniec przedni każdego drutu łączy się z końcem przednim następnego, a tylny z tylnym końcem poprzedniego. Droga uzwojenia przy każdym przejściu od jednego drutu do drugiego opuszcza pewną ilość żłobków, czyli robi poskok. W uzwojeniu falistym poskoki idą zawsze w jednym kierunku, w pętlicowym zaś naprzemian to naprzód, to w tył.

Rys. 32 przedstawia rozwiniętą powierzchnię twornika o 18 drutach w połączeniu falistym; droga uzwojenia



Rys. 32.



Rys. 33.

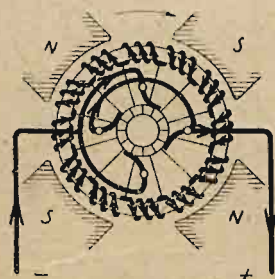
obiega 3 razy wokoło powierzchnię twornika, nim przejdzie przez wszystkie druty i wróci do punktu wyjścia. Obwód zaś uzwojenia pętlicowego na rys. 33 zamyka się po jednym obejściu powierzchni.

Tworniki maszyn prądu stałego zaopatrzone są w kolektory, służące do komutowania i oddawania prądu. Kolektor ma również kształt bębna i składa się z szeregu wycinków

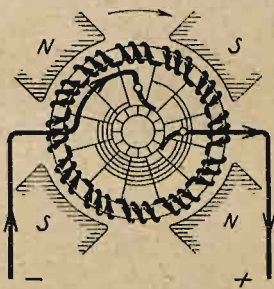
miedzianych, zaizolowanych jeden od drugiego zapomocą płytek z miki. Każdy wycinek łączy się z odpowiednim punktem uzwojenia twornikowego, jak na rys. 32 i 33 (na rys. kolektor ma 9 wycinków). Kolektor wiruje razem z twornikiem, a po powierzchni kolektora ślizgają się szczotki, zbierające prąd. Szczotki bywają:

1. węglowe lub
2. metalowe.

W maszynach dwubiegunowych są 2 rzędy szczotek (rys. 28, 29, 30): dodatni (+) i ujemny (-), a w maszynach



Rys. 34.



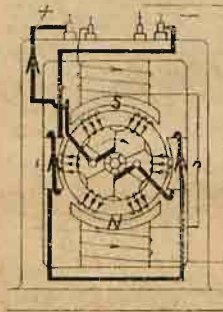
Rys. 35.

wielobiegunowych — tyle, ile biegunów (na rys. 34 — cztery rzędy). W ostatnim wypadku rzędy dodatnie łączą się zapomocą szyn w jeden biegun, a ujemne — w drugi (rys. 34). Połączenie to jednak można wykonać w samym uzwojeniu twornikowym i wówczas maszyna wielobiegunowa będzie miała tylko 2 rzędy szczotek (rys. 35).

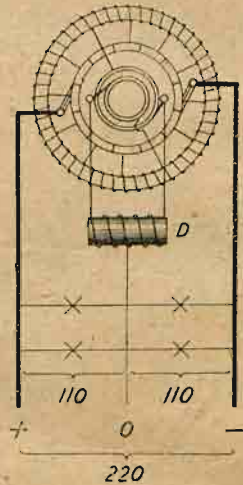
Trzymadło szczotkowe ma kształt drążka dwuramiennego, krzyża, gwiazdy lub wieńca i zaopatrzone jest w pręty (inaczej palce), na których nawleczone są obsadki szczotkowe. Liczba prętów odpowiada liczbie rzędów szczotek. Kręcąc trzymadło, można przesuwając po powierzchni kolektora wszystkie szczotki naraz, w jedną lub drugą stronę. Przy zmianach obciążenia prądnicy zachodzi właśnie potrzeba przesuwania szczotek, a mianowicie: przy wzroście obciąże-

nia — w kierunku biegu maszyny, przy spadku — w kierunku przeciwnym. Dowodem błędnego położenia szczotek jest zjawisko iskrzenia. Przyczyna, dla której szczotki wymagają przesuwania, tkwi w pobocznym magnetyzmie twornikowym. Twornik bowiem jest poniekąd elektromagnesem, który wydaje własny strumień magnetyczny i wprowadza pewne zakłócenia w głównym polu magnetycznym. Wielkość pobocznego magnetyzmu zależy od prądu, płynącego w zwojach twornikowych.

W ulepszonych maszynach nowoczesnych z pomocniczymi



Rys. 36.



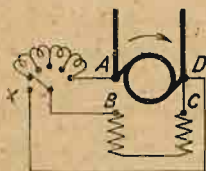
Rys. 37.

biegunami zwrotnymi przesuwanie szczotek jest bardzo małe. Bieguny te rozstawione są między głównymi (rys. 36 i 53: N, S — główne, n, s — zwrotne), i mają za zadanie niwelować poboczny magnetyzm twornikowy. Uzwojenie magnesów zwrotnych połączone jest z uzwojeniem twornikowym w szereg. W maszynach szeregowo-bocznikowych uzwojenie szeregowo i bocznikowe znajduje się na tych samych pieńkach, w maszynach zaś bocznikowych z biegunami zwrotnymi — na pieńkach oddzielnych.

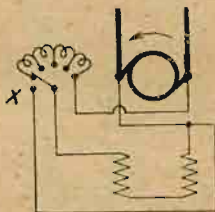
W urządzeniach trójprzewodowych używane są niekiedy prądnice z dzielnikiem napięcia (rys. 37). Maszyny te mają

oprócz kolektora dwa pierścienie ślizgowe, które wirują wraz z twornikiem. Pierścienie są połączone z dwoma przeciwległymi punktami uzwojenia twornikowego i przez szczotki wysyłają prąd zmienny do właściwego dzielnika D , który składa się z cewki, osadzonej na żelaznym rdzeniu. Przewód obojętny przyłącza się do środka uzwojenia cewki.

Regulacja napięcia. Napięcie prądnicy zależy od trzech czynników: liczby drutów uzwojenia, prędkości biegu i natężenia pola magnetycznego. Regulacja napięcia odbywa się przez zmianę ostatniego czynnika, t. j. magnetyzmu. W tym celu włączamy w obwód uzwojenia magnesowego



Rys. 38.



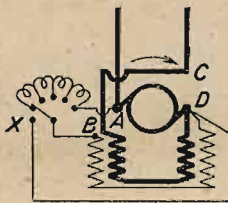
Rys. 39.

opornik regulacyjny (rys. 38), którego opór zmienia się przez przesuwanie korbki po całym szeregu guzików metalowych, zwanych kontaktami. Prąd wzbudzający płynie od bieguna D przez uzwojenie magnesowe CB , przez korbkę i zwoje opornika regulacyjnego do drugiego bieguna A . Zmniejszenie oporu zwiększa napięcie — i odwrotnie. Po puszczeniu prądnicy w ruch należy magnesy wzbudzić przez stopniowe zmniejszanie oporu (na rys. korbkę przesuwamy na prawo), a przed zatrzymaniem należy usunąć wzbudzenie, zwiększając opór (na rys. przesuwając korbkę na lewo). Na ostatnim wreszcie guziku x prąd wzbudzający znosi się zupełnie, wskutek zwarcia zwojów magnesowych, przyczepionych do bieguna D . Gdyby ten ostatni guzik nie był połączony z odpowiednim biegunem maszyny, wówczas obwód magnesowy

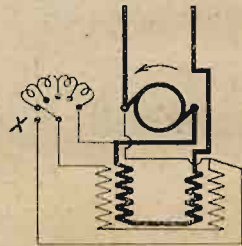
przy wyłączaniu wzbudzenia przerywałby się nagle, a przy włączaniu — zamykał. Wskutek tak raptownych zmian prądu magnesowego wzniecałoby się zbyt silne choć chwilowe napięcie samoindukcyjne (§ 3), szkodliwe dla izolacji maszyny.

W sposób powyższy regulujemy napięcie w prądnicach obcowzbudnych, bocznikowych (rys. 38) i szeregowo-bocznikowych (rys. 40). W ostatnim wypadku opornik włączamy w obwód bocznikowy.

Kierunek biegu. Przy montażu wypada nieraz nadać prądnicę bieg odwrotny, niż był przewidywany w fabryce.



Rys. 40.



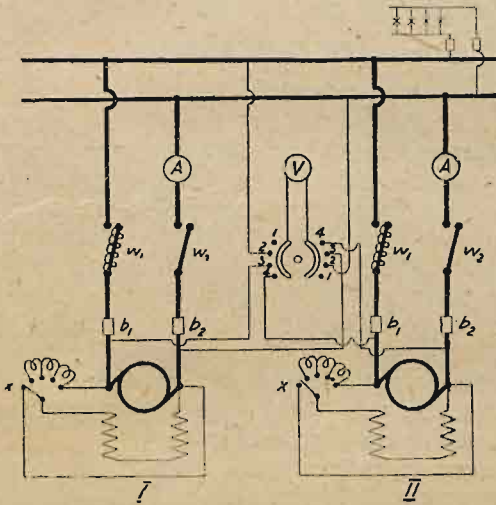
Rys. 41.

Chcąc w tym wypadku nie zmieniać magnetyzmu biegunów, należy w prądnicę bocznikowej przełożyć oba końce odgałęzienia bocznikowego (rys. 39), a w prądnicę szeregowo-bocznikowej — przełożyć końce zarówno odgałęzienia bocznikowego, jak i szeregowego (rys. 41). Uzwojenie biegunów zwrotnych powinno jednak pozostać bez zmiany. Co się tyczy szczotek, to należy je wszystkie przesunąć po powierzchni kolektora w kierunku biegu prądnic, a w maszynie z biegunami zwrotnymi pozostawić na tem samym miejscu. Szczotki, ustawione skośnie względem powierzchni kolektora, muszą być tak przestawione, by szły z biegiem maszyny.

§ 12. Łączenie równoległe prądnic prądu stałego.

W układzie równoległym bieguny dodatnie wszystkich prądnic łączą się w tablicy rozdzielczej jedną szyną zbiorczą, a ujemne — drugą. Napięcie zespołu równa się napięciu każdej poszczególnej prądnicy, prąd — sumie prądów wszystkich połączonych prądnic.

Rys. 42 przedstawia układ równoległy dwóch prądnic bocznikowych I i II. Prąd płynie z maszyn do dwu szyn zbiorczych: dodatniej (+) i ujemnej (-), a następnie do sieci



Rys. 42

(na rys. — 4 lampki żarowe). Na obu biegunach każdej maszyny umieszczone są bezpieczniki b_1 , b_2 , wyłączniki w_1 , w_2 , a na jednym biegunie amperomierz A . Wyłączniki w_2 są zwyczajne (otwierane i zamykane ręcznie), w_1 zaś — samoczynne „wsteczne“ (§ 53), przerywające prąd automatycznie w razie zmiany kierunku prądu. Mogłoby się bowiem zdarzyć, iż jedna z maszyn, wskutek niżki napięcia, zaczęłaby pracować

jako silnik i czerpać prąd z maszyny równoległej. W tych właśnie wypadkach samoczynny wyłącznik wsteczny wyskoczy i odłączy maszynę wadliwie naregulowaną. Do mierzenia napięcia służy woltomierz V z przełącznikiem na 4 odgałęzienia. Gdy drążek przełącznika stoi na guzikach:

- | | | |
|-----|---|-----------------------------------|
| 1,1 | — | woltomierz jest wyłączony, |
| 2,2 | — | " mierzy napięcie między szynami, |
| 3,3 | — | " " " maszyny I, |
| 4,4 | — | " " " " II. |

Chcąc przyłączyć prądnicę, stojącą bezczynnie, do jednej lub kilku prądnic pracujących, należy:

1. puścić ją w ruch z normalną prędkością,
2. wzbudzić i wyregulować napięcie (§ 11) ściśle podług woltażu szyn zbiorczych (2,2),

3. zamknąć wyłącznik ręczny w_2 i samoczynny w_1 ,
4. przenieść część obciążenia na maszynę przyłączoną.

Przenoszenie odbywa się przez regulowanie wzbudzenia. Chcąc np. przenieść obciążenie z maszyny I na II, należy stopniowo wzmacniać wzbudzenie maszyny II (na rys. przesuując korbkę opornika na prawo), a jednocześnie zmniejszać wzbudzenie maszyny I (na rys. — przesuując korbkę na lewo). Napięcie pozostanie na tej samej wysokości.

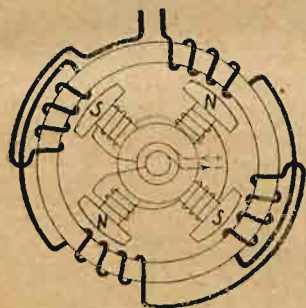
Odłączając prądnicę od sieci, trzeba:

1. przenieść całe obciążenie na maszyny pozostałe,
2. pootwierać wyłączniki w_2 i w_1 ,
3. znieść wzbudzenie przez cofnięcie rączki opornika na ostatni guzik x ,
4. maszynę zatrzymać.

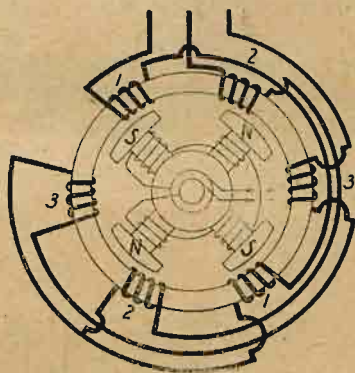
Prądnice szeregowo-bocznikowe łączą się równolegle w ten sam sposób. Odpowiedni układ otrzymamy, zastępując na rys. 42 maszyny bocznikowe szeregowo-bocznikowemi (według rys. 40). Właściwością układu tych ostatnich jest tylko dodatkowy przewód wyrównawczy, łączący bezpośrednio między sobą bieguny D wszystkich maszyn; maszyny bez tego przewodu traciłyby magnetyzm szczątkowy od prądów wstecznych w uzwojeniu szeregowem.

§ 13. Prądnice prądu zmiennego.

Wzbudzanie. Do wzbudzania magnesów potrzebny jest prąd stały, czerpany bądź z obcego źródła, bądź z małej prądnicy wzbudzającej czyli wzbudnicy, osadzonej na wspólnym wale z prądnicą prądu zmiennego. Magnesnica jest zwykle wirującą częścią maszyny, zaopatrzoną w dwa pierścienie (dodatni i ujemny), po których ślizgają się szczotki. Prąd płynie z prądnicy wzbudzającej przez szczotki i pierścienie do uzwojenia magnesowego.



Rys. 43.



Rys. 44.

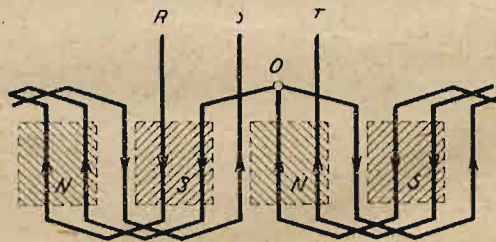
Rys. 43 przedstawia schematycznie prądnicę jednofazową o 4 zewojach twornikowych, połączonych w szereg, a rys. 44 — prądnicę trójfazową o 6 zewojach, powiązanych w gwiazdę. Magnesnica w obu przykładach jest czterobiegunowa.

Prędkość biegu. Prądnica powinna być pędzona z taką prędkością, by wytwarzała prąd o przepisanej częstotliwości. Prąd o 50 okresach na sekundę wytwarza prądnica:

$p=1$	2-biegunowa przy 3000 obrotach na minutę
$p=2$	4 " " 1500 " " "
$p=3$	6 " " 1000 " " "
$p=4$	8 " " 750 " " "
$p=5$	10 " " 600 " " "

Ogólnie biorąc,
 liczba obrotów na min. = $\frac{60}{p} \times \text{częstotliwość}$
 liczba biegunów.

Uzwojenie. W maszynach prądu zmiennego uzwojenie mieści się na wewnętrznej powierzchni nieruchomego twornika. Druty są wpuszczone w żłobki i połączone przy prądzie jednofazowym w jeden szlak, a przy trójfazowym — w trzy szlaki, odpowiadające trzem fazom. Szlak, wychodząc z rdzenia, opuszcza pewną liczbę żłobków, czyli robi poskok, przyczem w uzwojeniu falistym poskoki idą w jednym kierunku, a w pętlicowym — naprzemian to w tył, to naprzód. Rys. 45 przedstawia rozwiniętą powierzchnię twornika o 12



Rys. 45.

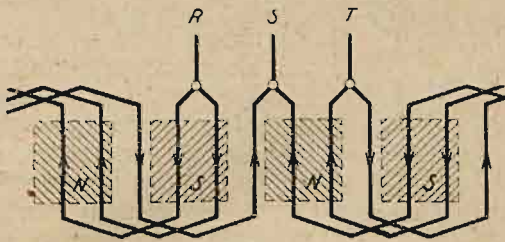
drutach, połączonych w trzy szlaki faliste. Szlaki są złączone w gwiazdę: trzy końce — związane w jeden punkt zerowy O , a trzy pozostałe — wyprowadzone nazewnątrz do zacisków maszynowych: R , S i T . To samo uzwojenie, złączone w trójkąt, widzimy na rys. 46.

Na tle rozwiniętej powierzchni twornikowej (rys. 45 i 46) widzimy 4 bieguny magnesowe N, S, N, S . Wszystkie druty wspólnej fazy zajmują względem nich zupełnie jednakowe

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}$$

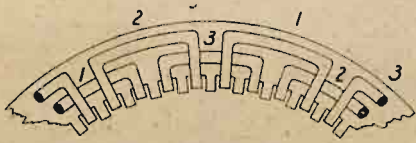
naprężenie między biegunami
 $N = 1.73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

położenie; np. druty z fazy *R* znajdują się naprzeciwko biegunów, blisko środka, druty z fazy *T* — blisko krawędzi,

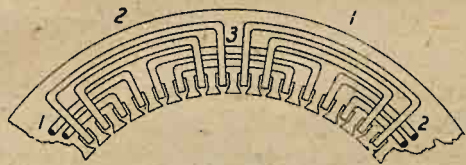


Rys. 46.

a druty fazy *S* — między biegunami. W przykładzie naszym na każdy biegun i fazę przypada po jednym żłobku. Widok boczny takiego uzwojenia przedstawia rys. 47. Natomiast



Rys. 47.



Rys. 48.

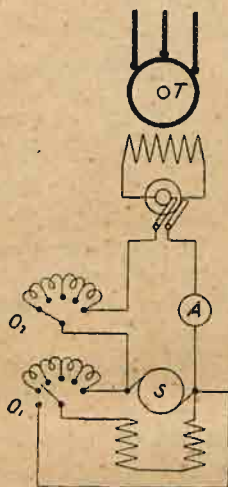
rys. 48 podaje uzwojenie, w którym na biegun i fazę przypada po dwa żłobki. Ogólnie biorąc, liczba żłobków równa się iloczynowi:

$$\text{liczba biegunów} \times \text{liczba faz} \times \text{pewna liczba cała.}$$

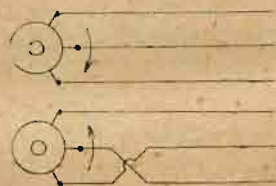
Regulacja napięcia. Napięcie prądnicy zależy od liczby drutów uzwojenia połączonych w szereg, prędkości

biegu i natężenia pola magnetycznego. Regulacja napięcia odbywa się przez zmianę magnetyzmu.

Rys. 49 przedstawia połączenie prądnicy wzbudzającej S z trójfazową T . Do regulowania napięcia tej ostatniej służą dwa oporniki, z których jeden (O_1) jest połączony w szereg z uwojeniem magnesowem maszyny prądu stałego, a drugi (O_2) jest połączony w szereg z uzwojeniem magnesowem maszyny prądu zmiennego. Pierwszy opornik — boczni-



Rys. 49.



Rys. 50.

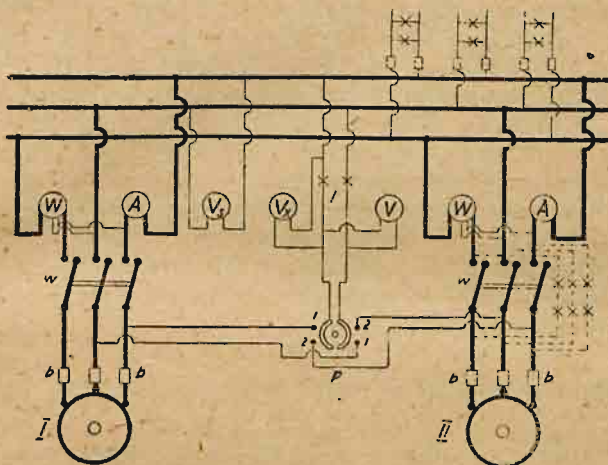
kowy reguluje napięcie prądu wzbudzającego, drugi — szeregowy reguluje natężenie prądu.

Kierunek biegu. Zmiana kierunku obrotu prądnicy trójfazowej wywołuje odwrotny bieg silników elektrycznych, czerpiących z niej prąd. Chcąc przywrócić silnikom poprzedni kierunek biegu, wystarczy przełożyć przy zaciskach prądnicy (rys. 50) dwa dowolne przewody. Natomiast kierunek biegu prądnic jednofazowych nie ma na odbiorniki prądu żadnego wpływu.

§ 14. Łączenie równoległe prądnic prądu zmiennego.

Prądnice prądu zmiennego mogą wspólnie pracować tylko w tym wypadku, gdy mają ustrój jednakowy i bieg

bardzo jednostajny. Prądnice, nie odpowiadające tym warunkom, zamiast pracować zgodnie na obciążenie sieci, przesyłałyby sobie prąd nawzajem jedna drugiej. Zjawisko to, widoczne z amperomierzy (silne wahania wskazówek), nazywamy kołysaniem.



Rys. 51.

Rys. 51 przedstawia układ równoległy dwóch prądnic trójfazowych I i II. Prąd płynie z maszyn do trzech szyn zbiorczych, a następnie do sieci (na rys. — 6 lampek żarowych). Przy każdej maszynie umieszczone są trzy bezpieczniki *b*, wyłącznik trójbiegunowy *w*, w jednym biegunie amperomierz *A*, a w drugim — watomierz *W*. Do mierzenia napięcia sieci służy woltomierz V_s . Poza tem, przy równoległym łączeniu maszyn niezbędny jest przyrząd, zwany synchronizatorem, składający się w tym wypadku z

2 woltomierzy V i V_x ,

przełącznika dwubiegunowego na 2 odgałęzienia *p* i 2 żarówek *ł*.

Działanie tego przyrządu opiszemy poniżej.

Zgodność biegunów. W równoległym układzie maszyn prądu stałego (§ 12) biegun dodatni łączy się z dodatnim, ujemny z ujemnym. Bieguny maszyn prądu zmiennego, odpowiadające krańcom uzwojenia i zaciskom maszynowym (§ 13), nie są ani dodatnie, ani ujemne. Zdawałoby się, iż można je łączyć dowolnie. Tak jest w rzeczywistości przy prądzie jednofazowym. Oznaczywszy bieguny maszyny jednofazowej I przez A_1 i B_1 , a maszyny II przez A_2 i B_2 , możemy połączyć zarówno $A_1 - A_2$, $B_1 - B_2$, jak i $A_1 - B_2$, $B_1 - A_2$.

Inaczej jest z prądem trójfazowym. Bieguny w tym wypadku są fazami i mają pewną kolejność, którą łatwo uwidocznic przez przyłączenie silnika elektrycznego. Silnik obracać się będzie bądź w jednym, bądź w odwrotnym kierunku, w zależności od uszeregowania biegunów. Wyobraźmy sobie tablicę rozdzielczą z trzema szynami zbiorczymi, do których przyłączony jest silnik i prądnica trójfazowa o trzech biegunach I II III. Jeżeli do szyn przyłączymy bieguny prądnicy w porządku

I II III,

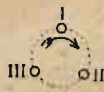
a następnie w porządku odwrotnym

III II I,

to zauważymy, że silnik zmienił kierunek biegu. Natomiast nie zmieni kierunku, gdy przesuniemy względem szyn wszystkie bieguny w tym samym porządku. A więc układ

I II III }
II III I }
III I II }

daje
jeden kierunek
obrotu



III II I }
II I III }
I III II }

daje
odwrotny kierunek
obrotu



Przyłączając do szyn zbiorczych dwie lub kilka prądnic trójfazowych, należy baczyć, aby bieguny wszystkich maszyn miały jednakową kolejność. Można byłoby to sprawdzić przez puszczenie silnika elektrycznego od każdej maszyny

z osobna; zmiana biegu okazywałaby błędne przyłączenie prądnic. Zwykle jednak używamy innego sposobu, a mianowicie włączamy żarówki między każdy biegun badanej maszyny i odpowiedni biegun szyn zbiorczych. Najdogodniej wykonać połączenie między przeciwległymi zaciskami wyłącznika trójbiegunowego *w*, jak na rys. 51 przy maszynie II (połączenie linjamy przerywanymi). Po uruchomieniu maszyn i wzbudzeniu okaże się, iż żarówki zapalają się i gasną naprzemian. W razie zgodności biegunów, zmiany te zachodzą jednocześnie we wszystkich trzech żarówkach. W przeciwnym razie wypadnie przełożyć między prądnicą a szynami dwa dowolne przewody (rys. 51).

Żarówki, używane do sprawdzania biegunów, muszą być przystosowane do najwyższego napięcia, jakie powstaje chwilowo między biegunami dwóch prądów trójfazowych. Napięcie to równa się podwójnemu napięciu gwiazdowemu, a więc jest większe od międzyprzewodowego (§ 5) o 15%

$$2 \times \text{nap. gwiazd.} = 2 \times \frac{\text{nap. międzyprzewod.}}{1,73} = \\ = 1,15 \times \text{nap. międzyprzewodowe.}$$

Przykład. Jakie żarówki należy użyć do sprawdzenia biegunów przy równoległym łączeniu prądnic o napięciu 3×190 V?

$$1,15 \times 190 = 220 \text{ V.}$$

Żarówki do napięcia 220 V, albo po dwie żarówki w szereg (jak na rys. 50) do napięcia 110 V.

Przyłączanie. Zgodność biegunów sprawdza się tylko raz jeden, w czasie montażu, przed ostatecznym przyłączeniem maszyny do tablicy rozdzielczej. Natomiast czynności, które opisujemy poniżej, muszą być powtarzane przy każdym przyłączaniu maszyny bezczynnej do jednej lub kilku prądnic pracujących.

1. Puszczenie maszyny w ruch; wzbudzenie; zrównywanie częstotliwości.

Pierwszym warunkiem przy łączeniu prądnic jest jednokowa częstotliwość. Jeżeli napięcie maszyny I ma 50 okre-

sów na sekundę, to i napięcie maszyny II również powinno wykazać tę samą liczbę okresów. Mówimy wówczas, iż prądnice mają bieg synchroniczny. Maszyny o równej liczbie biegunów biegną synchronicznie przy jednakowych obrotach. Ogólnie biorąc, iloczyn z liczby biegunów i liczby obrotów na minutę jest dla wszystkich maszyn synchronicznych jednakowy:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{liczba} & & \text{liczba} & & \text{liczba} & & \text{liczba} \\ \text{biegunów} & \times & \text{obrotów} & = & \text{biegunów} & \times & \text{obrotów} \\ \text{maszyny I} & & \text{maszyny I} & & \text{maszyny II} & & \text{maszyny II} \end{array}$$

Przykład. Z jaką prędkością należy pędzić prądnicę 8-biegunową, chcąc połączyć ją równoległe z prądnicą 6-biegunową o 1000 obrotach na minutę?

$$\begin{aligned} 6 \times 1000 &= 8 \times \text{niewiadoma liczba obrotów;} \\ (6 \times 1000) : 8 &= 750 \text{ obrotów na minutę.} \end{aligned}$$

Liczniki obrotów nie są przyrządami dostatecznie czułymi, aby można było na nich polegać. Do sprawdzania synchronizmu używamy przyrządu elektrycznego, zwanego synchronizatorem

Chcąc przyłączyć maszynę II (rys. 51), należy przede wszystkim uruchomić ją i wzbudzić. Synchronizator zacznie działać z chwilą nastawienia przełącznika *p* na guziki 2, 2. Jak widać z rysunku, obie żarówki *l* włączone są między bieguny maszyny II i odpowiednie szyny zbiorcze. Jest to ten sam układ połączeń, jak przy sprawdzaniu biegunów, a żarówki muszą być również przystosowane do napięcia o 15% wyższego od woltażu międzyprzewodowego. Wskutek pewnych różnic w przebiegu napięcia jednej i drugiej maszyny, żarówki będą zapalały się i gasły naprzemian. Gaśnięcie lamp przypada w momentach chwilowej zgody między falami obu napięć.

Przebieg napięć możemy porównać z dwoma wahadłami, z których jedno daje np. 60 odchyżeń na minutę, a drugie — 50. Co pewien czas wahadło pierwsze dogoni drugie i współcześnie z niem odchyli się w tę samą stronę. Zgoda ta jednak będzie krótkotrwała. Wyobraźmy sobie, że zwiąk-

szyliśmy prędkość wahadła drugiego z 50 na 55 odchyień na minutę. Momenty zgodnego biegu trwają teraz dłużej, lecz powtarzają się znacznie rzadziej, innymi słowy, większy przeciąg czasu upływa od jednego spotkania do następnego.

To samo jest z napięciem. Początkowo maszyna II nie nadąży za maszyną I. Lampki będą zapalały się i gasły raz po raz. Regulujemy bieg silnika, pędzącego prądnicę II, i widzimy, że lampki gasną coraz wolniej. Możemy wreszcie tak naregulować prędkość maszyny II, iż przeciąg czasu od jednego przygaśnięcia żarówki do następnego będzie bardzo długi. Ściśle biorąc, częstotliwość obu maszyn nie jest jeszcze równa, lecz bardzo zbliżona i dla połączenia maszyn zupełnie wystarczająca.

2. Zrównanie napięcia.

Drugim warunkiem przy łączeniu prądnic jest jednakowy woltaż. Napięcie maszyny przyłączanej regulujemy według napięcia szyn zbiorczych zapomocą oporników (§ 13). Napięcie maszyny wskazuje woltomierz V , a napięcie szyn — V_s .

3. Uchwycenie momentu zejścia się faz, zamknięcie wyłącznika.

Trzecim wreszcie warunkiem jest zupełna zgodność między falami obu napięć w chwili łączenia. Napięcia powinny kołysać się w takt, jak dwa zgodne wahadła. Moment ten nazywamy *zejściem się faz*. Jak mówiliśmy wyżej, żarówki synchronizatora w tym momencie gasną z powodu braku różnic napięcia między odpowiednimi biegunami. Żarówki nie są jednak dostatecznie czułymi wskaźnikami napięcia: gasną, nim napięcie spadnie do zera, a zapalają się już przy dość znacznym woltażu. Natomiast woltomierz V_x , włączony równolegle do jednej z żarówek, wskaże zupełnie dokładnie moment zaniku napięcia.

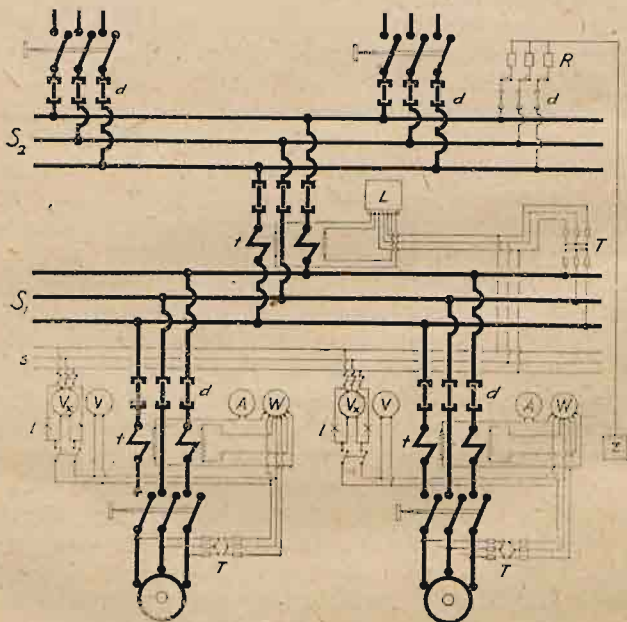
Na rys. 51 synchronizator jest połączony w ten sposób, że w momencie zejścia się faz lampki gasną. Przy innym połączeniu jest wprost przeciwnie: moment zejścia się faz poznaje się po jasnym paleniu lampek i pełnym napięciu.

Widząc zbliżający się moment zejścia się faz, prędko zamykamy wyłącznik w . Maszyny są już połączone i biegają

zgodnie, jakby były osadzone na jednym wale. Wskazówki amperomierzy powinny stać spokojnie; silne bowiem wahanie czyli kołysanie świadczyłoby o wadliwym połączeniu. W tym ostatnim wypadku nie pozostaje nic innego, jak odłączyć prądnicę, przyczem należy to wykonać w chwili, gdy amperomierz wskazuje zero.

4. Przenoszenie obciążenia.

Prądnica, pomimo przyłączenia, ma bieg jałowy, dopóki nie przeniesiemy na nią obciążenia. Przenoszenie i wogóle



Rys. 52.

podział obciążenia odbywa się przez odpowiednie przestawianie regulatorów w silnikach mechanicznych (zwiększanie dopływu pary w jednym silniku, zmniejszanie — w drugim). Na tem nie kończy się jednak rozdział obciążenia. Porów-

nywając wskazania amperomierzy A i watomierzy W , spostrzeżemy, iż prąd w maszynach przy przenoszeniu obciążenia staje się nadmiernie wysokim w stosunku do mocy. Innemi słowy, powstaje zjawisko przesunięcia się faz (§ 5) między napięciem a prądem. Zjawisko to należy usunąć przez nastawienie korbek oporników w położenie, przy którym liczba amperów byłaby doprowadzona do minimum. Każdemu obciążeniu odpowiada pewne określone wzbudzenie. Regulowanie wzbudzenia bez uprzedniego przestawienia regulatora w silniku — jak przy prądzie stałym (§ 12) — nie prowadzioby do celu. Przy prądzie zmiennym całkowity prąd równa się sumie prądów poszczególnych prądnie tylko w tym wypadku, gdy wzbudzenie maszyn jest ściśle dostosowane do obciążenia.

Rys. 52 przedstawia układ równoległy dwóch prądnic trójfazowych o wysokim napięciu. Prąd płynie z prądnic do szyn zbiorczych S_1 , stąd przez licznik (§ 50) L do szyn zdawczych S_2 , a następnie do poszczególnych gałęzi sieci. Wszystkie przyrządy pomiarowe, a więc: licznik L , amperomierze A , watomierze W , woltomierze V i V_x , żarówki l , a także szyny pomocnicze s do synchronizatorów są oddzielone od sieci wysokiego napięcia zapomocą transformatorów miernikowych prądowych t (§ 46) i napięciowych T (§ 47).

Odłączanie. Odłączając prądnicę od sieci, trzeba:

1. przenieść całe obciążenie na maszyny pozostałe, i w tym celu
 - a) przestawić regulatory w silnikach, aż watomierz wskaże zero,
 - b) naregulować wzbudzenie prądnicy, aż amperomierz wskaże zero;
2. otworzyć wyłącznik w ;
3. znieść wzbudzenie;
4. maszynę zatrzymać.

§ 15. Sprawność.

Każda maszyna elektryczna pracuje z pewnymi stratami, zarówno mechanicznymi (tarcie w łożyskach), jak elektrycznymi (opór uzwojeń twornikowych i magnesowych, uporność magnetyczna rdzenia twornikowego i wzniesienie w nim bezużytecznych prądów wirowych). Stosunek pracy otrzymanej do włożonej nazywamy sprawnością.

Sprawność = praca otrzymana : pracę włożoną.

Maszyny wielkie mają sprawność lepszą od małych. Poza tem sprawność zależy od obciążenia; najsprawniej pracują maszyny przy obciążeniu normalnem.

Prądnice prądu stałego najczęściej używane.

Moc w kW	Sprawność przy obciążeniu całkowitem	P r z y b l i z o n a	
		liczba obro- tów na mi- nutę	waga w kg
10	0,84	1550	300
20	0,85	1300	500
30	0,87	1150	750
40	0,88	1000	1000
50	0,88	900	1200
60	0,89	850	1600
75	0,90	750	2000
100	0,91	650	2800
150	0,91	550	4800
200	0,92	450	8000

Przykład. Obliczyć moc silnika napędowego dla prądnicy prądu stałego o 110 V i 320 A.

Moc (§ 1) prądnicy = $320 \times 110 = 35,200 \text{ W} = 35,2 \text{ kW}$.

Sprawność maszyn tej wielkości wynosi 0,875. Prądnica wydaje 35,200 W, a otrzymuje z silnika mechanicznego

$$35\,200 : 0,875 = 40\,228 \text{ W.}$$

Moc 1 konia mech. równa się 736 W, a więc liczba watów, obliczona powyżej, odpowiada

$$40\,228 : 736 = 54,7 \text{ KM.}$$

Sprawność prądnic prądu zmiennego zależy jeszcze od jednego czynnika, mianowicie od współczynnika mocy (§ 5). Prądnicą pracuje sprawniej przy obciążeniu bezindukcyjnym (wyłącznie dla światła), niż przy indukcyjnym (dla silników).

Prądnicę trójfazowe najczęściej używane.

Moc pozorna w kVA	Sprawność przy obciążeniu całkowitem i przy współczynniku mocy		Liczba obrotów na minutę	Przybliżona waga w kg
	= 1	= 0,8		
10	0,86	0,82	1000	500
20	0,88	0,85		900
30	0,90	0,87		1100
40	0,91	0,89		1300
50	0,91	0,89		1500
60	0,92	0,90	750	1700
75	0,92	0,90		2000
100	0,93	0,91		2300
150	0,93	0,91		3300
200	0,94	0,92		4700

Przykład. Obliczyć moc silnika napędowego dla prądnicy trójfazowej o 500 V i 74 A przy współcz. mocy = 1 i = 0,8.

$$\text{Moc pozorna prądnicy} = 74 \times 500 \times 1,73 = 64\,010 \text{ VA} = 64,01 \text{ kVA.}$$

a) Współcz. mocy = 1; sprawność = 0,92.

Prądnicą wydaje 64 010 VA = 64 010 W, a otrzymuje z silnika mechanicznego

$$64\,010 : 0,92 = 69\,576 \text{ W.}$$

Moc silnika = $69\,576 : 736 = 94,5$ KM.

b) Spółcz. mocy = 0,8; sprawność = 0,90.

Prądnicą wydaje $64\,010 \times 0,8 = 51\,208$ W, a otrzymuje z silnika mechanicznego

$51\,208 : 0,90 = 56\,898$ W.

Moc silnika = $56\,898 : 736 = 77,3$ KM.

Silniki elektryczne.

§ 16. Silniki prądu stałego.

Przy prądzie stałym niema żadnej różnicy między prądnicą a silnikiem; każda prądnicą może pracować jako silnik i odwrotnie. W zależności od sposobu połączenia zwojów twornikowych z magnesowemi (§ 11), silniki bywają:

1. szeregowo czyli głównikowe (rys. 28 i 55),
2. bocznikowe (rys. 29 i 56),
3. szeregowo-bocznikowe (rys. 30).

Działanie silnika. Po przyłączeniu maszyny do sieci prąd płynie zarówno przez uzwojenie magnesowe, jak twornikowe. Wzbudzone magnesy wytwarzają pole magnetyczne, a w polu magnetycznym twornik nabiera ruchu wirowego pod wpływem prądu, płynącego w jego uzwojeniu. Jednocześnie przez ruch wirowy wznieca się w zwojach twornikowych napięcie własne, nieco mniejsze od napięcia sieci, lecz o biegunach przeciwnych. Prąd, płynący w tworniku, odpowiada różnicy tych dwóch napięć. W pierwszej chwili rozruchu, dopóki jeszcze silnik nie wznieci napięcia własnego, prąd w tworniku odpowiadałby całemu napięciu sieci i byłby nadmierny, gdybyśmy w obwód nie włączyli opornika rozruchowego czyli rozrusznika. Zazwyczaj, tylko bardzo małe silniki (do $\frac{1}{2}$ kW) obywiają się bez rozruszników.

Lecz nawet i przy zastosowaniu rozrusznika podskok prądu jest dość znaczny. Zapotrzebowanie prądu w pierwszej chwili rozruchu dochodzi w silnikach:

szeregowych do 2,5-krotnej,
bocznikowych do 1,8 krotnej,
szeregowo-bocznikowych do 2-krotnej wielkości prądu
normalnego.

Napięcie własne silnika, powstające w tworniku, zależy od tych samych trzech czynników, co napięcie prądnicy (§ 11), mianowicie: liczby drutów w uzwojeniu, prędkości biegu i natężenia pola magnetycznego. Ponieważ w silniku napięcie jest prawie stałe, a liczba drutów również nie ulega zmianom, przeto: liczba obrotów \times natężenie pola magnetycznego jest wielkością stałą.

Innymi słowy, im większe wzbudzenie, tem wolniejszy jest bieg silnika i odwrotnie.

K o m u t a c j a. W tworniku silnika obciążonego wzbudza się magnetyzm poboczny, wprowadzający pewne zakłócenie w głównem polu magnetycznem. Magnetyzm poboczny zmienia się w zależności od prądu, płynącego w tworniku. Wskutek tego, przy zmianach obciążenia zachodzi potrzeba przesuwania szczotek po powierzchni kolektora. W silnikach przesuwanie szczotek odbywa się odwrotnie, niż w prądnicy (§ 11), a mianowicie: przy spadku obciążenia — w kierunku biegu maszyny, przy wzroście — w kierunku przeciwnym. Iskrzenie dowodzi błędnego położenia szczotek.

W maszynach nowoczesnych z biegunami zwrotnemi przesuwanie szczotek jest bardzo małe lub zgoła zbyteczne. Bieguny zwrotne mają uzwojenie szeregowo i niweczą poboczny magnetyzm twornikowy. Kolejność biegunów jest odmienna, niż w prądnicy; idąc z biegiem maszyny, natrafimy w silniku na magnesy

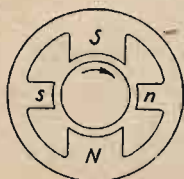
N, n, S, s (rys. 54),

w prądnicy zaś

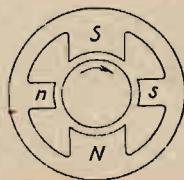
N, s, S, n (rys. 53).

Silniki szeregowo. Prędkość biegu silnika szeregowego jest bardzo zmienna i zależna od obciążenia. Przy wzmagającym się obciążeniu wzrasta zapotrzebowanie prądu, wzrasta wzbudzenie magnesów, a przez to zmniejsza się prędkość. Odwrotnie, spadek obciążenia wywołuje wzrost liczby

obrotów. Przy obciążeniu niewielkim lub w biegu jałowym silnik może rozbiegać się, czyli ulec zniszczeniu wskutek nadmiernej prędkości. Zaletą silnika szeregowego jest łatwość ruszania przy



Rys. 53 (Prądnicą).



Rys. 54 (Silnik).

wielkim obciążeniu. Maszyny te stosuje się do takich urządzeń, jak żorawie, dźwigi, tramwaje, w których mają duży opór do przeciążenia przy rozruchu i w których nigdy nie wyzbywają się obciążenia.

Rozrusznik łączy się z silnikiem w szereg (rys. 55).

Silniki bocznikowe. Prędkość biegu silnika bocznikowego jest prawie stała i tylko nieznacznie zmniejsza się przy wzroście obciążenia.



Rys. 55.



Rys. 56.

Silniki bocznikowe, w zależności od warunków miejscowych, otrzymują rozruszniki, z którymi mogą ruszać bez obciążenia, z połowicznym obciążeniem lub całkowicie. Zadanie rozrusznika polega na zmniejszeniu prądu twornikowego przy możliwie największym prądzie magnesowym. Silne bowiem wzbudzenie magnesów przyczynia się do prędkiego wzniesienia w tworniku napięcia własnego, a napięcie to — jak wyjaśniliśmy wy-

żej — zmniejsza prąd twornikowy. Poza tem maszyna przy silnem wzbudzeniu rusza łatwiej i z większą siłą pociągawą. Wobec tego, odgałęzienie bocznikowe powinno przez cały czas rozruchu otrzymywać całkowite napięcie sieci, odgałęzienie zaś szeregowo — napięcie, zmniejszone za pomocą opornika.

Rys. 56 przedstawia układ połączeń silnika bocznikowego z rozrusznikiem. Korbka rozrusznika ślizga się jednocześnie po łuku kontaktowym i guzikach, dzielących opór na części. Korbka połączona jest z biegunem sieci, łuk—z uzwojeniem magnesowem, pierwszy guzik — z łukiem, ostatni — z uzwojeniem twornikowem.

Chcąc uruchomić silnik, należy:

1. zamknąć wyłącznik i
2. powoli posuwać korbkę rozrusznika (na rys. — w stronę prawą) od pierwszego guzika do ostatniego.

Dopóki korbka stoi poza guzikami (jak na rys.), dopływ prądu jest przzerwany, a z chwilą wejścia korbki na łuk i guziki, silnik przyłączony jest do sieci i rusza. Przez zwoje magnesowe płynie całkowity prąd wzbudzający, przez twornikowe — prąd, osłabiony oporem rozrusznika. Korbkę przesuwamy powoli, by silnik zdążył rozpędzić się przed wyłączeniem oporu. W przeciwnym razie następowałyby zbyt szybki podskok prądu.

Chcąc zatrzymać silnik, należy:

1. cofnąć dość prędko korbkę rozrusznika (na rys. — w stronę lewą) z ostatniego guzika na pierwszy i
2. otworzyć wyłącznik.

Opór rozrusznika wyłączamy śpiesznie w pełnym biegu maszyny. Przy powolnym wyłączaniu mógłby ucierpieć rozrusznik, który znosi tylko obciążenie krótkotrwałe. Z chwilą otworzenia wyłącznika maszyna wyzbywa się dopływu prądu, przyczem zwoje twornikowe, magnesowe i rozrusznikowe tworzą obwód zamknięty, przyczepiony do jednego z biegunów sieci. Gdyby łuk kontaktowy nie był połączony z pierwszym guzikiem, wówczas obwód magnesowy przerywałby się nagle przy każdym zatrzymaniu maszyny i również nagle zamykał—przy puszczeniu. Wskutek tak raptownych zmian prądu magnesowego wznicałoby się w zwojach zbyt silne, choć chwilowe napięcie samoindukcyjne (§ 3), szkodliwe dla izolacji maszyny.

Silniki szeregowo-bocznikowe. Silniki szeregowo-bocznikowe stanowią przejście od silników szeregowych do bocznikowych i łączą w sobie własności jednych i drugich.

Rozruszniki. Rozruszniki bywają:

1. metalowe i
2. płynowe.

W pierwszych—opory stanowią bądź blaszki, bądź druty, zwite spiralnie, w drugich—woda z domieszką sody. Opory metalowe przewietrzane są przewiewem powietrza lub dla lepszego studzenia zanurzone w oliwie (rozzruszniki olejowe). W rozrusznikach płynowych opór reguluje się przez większe lub mniejsze zanurzenie płyt żelaznych.

Gdy silnik zatrzyma się wskutek przerwy prądu (np. przez stopienie się bezpieczników), maszynista powinien bezwzględnie odłączyć silnik od sieci lub cofnąć korbkę rozrusznika na pierwszy guzik. Z chwilą bowiem powrotu prądu, silnik byłby uruchomiony bez pomocy rozrusznika i mógłby ulec zniszczeniu od nadmiernego prądu. Wypadkom zapobiega samoczynny wyłącznik zanikowy (§ 52), automatycznie odłączający maszynę od sieci, lub rozrusznik specjalny, którego korbka cofa się automatycznie w razie przerwy prądu. W czasie biegu maszyny wzbudzony elektromagnes przyciąga korbkę rozrusznika; z chwilą zaś zaniku napięcia, korbka wraca do pierwszego guzika dzięki sile sprężyny.

§ 17. Kierunek biegu w silnikach prądu stałego.

Prądnica szeregową, puszczone jako silnik, przy zachowaniu połączenia z siecią zmienia kierunek prądu zarówno w tworniku, jak magnesnicy i biegnie w stronę odwrotną. Prądnica zaś bocznikowa zmienia kierunek prądu tylko w tworniku (rys. 31) i obraca się w tę samą stronę. Wreszcie prądnica szeregowo-bocznikowa, zamieniona na silnik, również zachowuje poprzedni kierunek biegu, wymaga jednak przełożenia końców szeregowego uzwojenia magnesów; uzwojenie zaś biegunów zwrotnych powinno pozostać bez zmiany.

Chcąc odwrócić bieg jakiegokolwiek silnika, wystarczy zmienić kierunek prądu w tworniku lub magnesnicy. Natomiast przy jednoczesnej zmianie kierunku prądu w tworniku

i magniesnicy bieg pozostanie bez zmiany. Odwracając bieg silnika przez zmianę kierunku prądu w tworniku, należy:

1. w szeregowym uzwojeniu biegunów głównych pozostawić prąd bez zmiany, a
2. w uzwojeniu biegunów zwrotnych zmienić kierunek prądu.

Odwracając zaś bieg przez zmianę kierunku prądu w bocznikowym uzwojeniu magniesnicy, należy:

1. w szeregowym uzwojeniu również zmienić kierunek, a
2. w uzwojeniu biegunów zwrotnych pozostawić prąd bez zmiany.

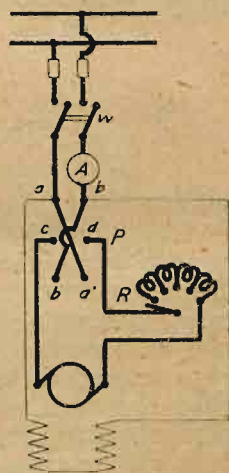
Co się tyczy szczotek, to należy je przesunąć w stronę przeciwną kierunkowi biegu, a w silniku z biegunami zwrotnymi — pozostawić na dawnym miejscu. Szczotki, ustawione skośnie względem powierzchni kolektora, muszą być tak przełożone, by szły z biegiem maszyny.

W wielu urządzeniach silnik musi obracać się naprzemian to w jednym, to w drugim kierunku. Odpowiedni układ podaje rys. 57. Przełącznik dwubiegunowy P zmienia kierunek prądu w tworniku. Rozrusznik R różni się nieco od opisanego powyżej (§ 16), nie posiada bowiem łuku kontaktowego. Chcąc silnik uruchomić, należy:

1. odpowiednio nastawić przełącznik (bieg w jedną stronę: c połączone z a , d — z b ; bieg w stronę odwrotną: c — z b' , d — z a');
2. zamknąć wyłącznik w ;
3. powoli przesuwając korbkę rozrusznika R (na rys. — w stronę prawą) od pierwszego guzika do ostatniego.

Chcąc silnik zatrzymać, należy:

1. cofnąć prędko korbkę rozrusznika (na rys. — w stronę lewą) z ostatniego guzika do pierwszego,
2. otworzyć wyłącznik w .



Rys. 57.

W chwili wyłączenia, zwoje twornikowe, magnesowe i rozrusznikowe tworzą obwód zamknięty, oddzielony od sieci. Przed zatrzymaniem silnika, obwodu tego nie wolno przerywać, gdyż mogłoby to wywołać następstwa szkodliwe dla maszyny (§ 16). Na rys. 57 korbka rozrusznika zesłała z guzików i przerwała obwód. Dla uniknięcia podobnych wypadków rozrusznik urządza się w ten sposób, by korbka zahaczała o kołeczek i nie mogła schodzić z guzików. Poza tem łatwo może powstać przerwa w przełączniku *P*; nigdy więc nie należy przełącznika tego otwierać lub przekładać, dopóki silnik nie stanie.

Aby uniknąć pomyłek przy łączeniu, używa się nastawnika walcowego, który zastępuje jednocześnie wyłącznik *w*, przełącznik *P* i rozrusznik *R*. Zapomocą nastawnika wszystkie czynności, niezbędne do uruchomienia i zatrzymania silnika, odbywają się kolejno przez obracanie korby bądź w jedną, bądź w drugą stronę.

§ 18. Prędkość biegu w silnikach prądu stałego.

Regulowanie opornikiem. Zmiany w prędkości biegu silnika osiągamy przez włączanie i wyłączenie dodatkowego opornika regulacyjnego.

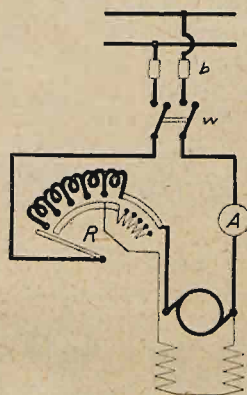
W silnikach głównikowych opornik regulacyjny włącza się w ten sam sposób, jak rozruchowy (rys. 55). Różnica między opornikiem regulacyjnym a rozruchowym polega na tem, iż pierwszy jest przystosowany do obciążenia trwałego czas dłuższy, gdy drugi nadaje się tylko do obciążenia chwilowego. Opory, włączone w szereg, niweczą część napięcia i zmniejszają prędkość biegu.

Silniki bocznikowe regulują się w sposób dwojaki:

1. zmniejszenie prędkości osiąga się przez włączenie oporu w gałąź twornikową;
2. zwiększenie prędkości—przez włączenie oporu w gałąź magnesową, czyli przez zmniejszanie wzbudzenia (§ 16—działanie silnika). Pierwszy sposób regulowania, wobec wiel-

kiego prądu, płynącego przez twornik, pociąga za sobą dość znaczne straty, a więc odbija się niekorzystnie na sprawności maszyny.

Opory rozrusznikowe i regulacyjne mogą być objęte jednym przyrządem. Na rys. 58 korbka opornika ślizga się po dwóch rzędach kontaktów; rząd zewnętrzny łączy się z uzwojeniem twornikowym, rząd wewnętrzny zmagnessowem. Część przyrządu po stronie lewej, z guzikami w zewnętrznym rzędzie i łukiem w rzędzie wewnętrznym, służy do rozruchu i regulowania wzníž, część zaś po stronie prawej z odwrotnym układem kontaktów służy do regulowania wzwyż. Puszczając maszynę w ruch, przesuwamy korbkę od strony lewej ku prawej, aż korbka zejdzie z ostatniego guzika zewnętrznego na łuk. W tem położeniu wszystkie opory są wyłączone i silnik pracuje normalnie. Chcąc zwiększyć liczbę obrotów, przesuwamy korbkę dalej w tym samym kierunku; chcąc zmniejszyć — cofamy ją z powrotem.

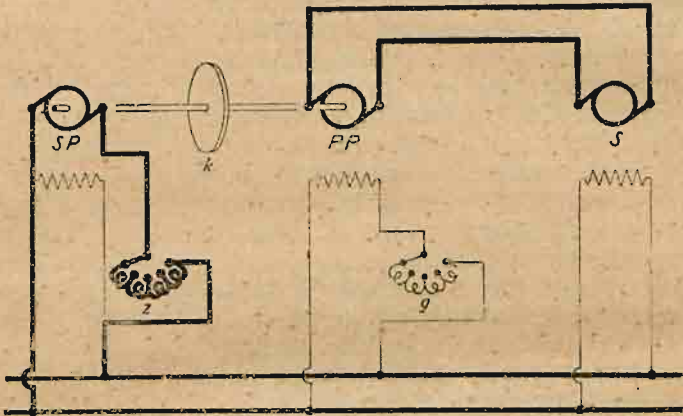


Rys. 58.

Prędkość biegu silników może być przy pomocy opornika regulacyjnego zwiększona w czwórnasób.

Regulowanie za pośrednictwem przetwornicy. Wielkie silniki elektryczne w walcowniach i maszynach wyciągowych regulują się w szerokich granicach zapomocą specjalnej przetwornicy, złożonej z silnika (na rys. 59 — *SP*) i prądnicy (*PP*), osadzonych na wspólnym wale. Silnik bocznikowy *SP* (*z* — oznacza rozrusznik) czerpie prąd z sieci i pędzi prądnicę *PP*, prądnica zaś przesyła całkowity prąd wytworzony właściwemu silnikowi *S*. Ostatnie dwie maszyny (*PP* i *S*) wzbudzone są prosto z sieci. Dzięki przetwornicy, napięcie zwojów twornikowych w silniku uniezależnione jest od stałego napięcia sieci i może być z łatwością regulowane. Zmiany napięcia odbijają się na prędkości biegu: im napięcie wyższe, tem prędszy bieg i odwrotnie. Słowem, regulowanie

biegu silnika *S* sprowadza się do regulowania napięcia prądnicy *PP* zapomocą opornika *g*. Przez opornik płynie niewielki prąd wzbudzający i dlatego straty, wynikające z regulacji, są bardzo nieznaczne.



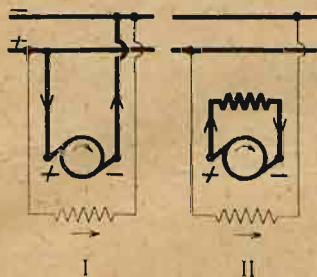
Rys. 59.

W powyższem urządzeniu przetwornicę zaopatruje się jeszcze w koło rozpędowe *k*, które ma na celu wyrównywanie wahań prądu. Silnik *S* bowiem pracuje z przerwami i daje raptowne skoki obciążenia. Przy zatrzymaniu silnika *S* silnik *SP* przyspiesza biegu, a koło przejmuje od niego nieco pracy. Odwrotnie, przy puszczeniu silnika *S* w ruch, silnik *SP* zwalnia biegu, a koło oddaje przejętą pracę silnikowi *S* za pośrednictwem prądnicy *PP*. Czynność koła rozpędowego można w pewnym stopniu porównać z czynnością akumulatorów. W chwilach mniejszego zapotrzebowania prądu koło przejmuje pracę, a w chwilach większego zapotrzebowania—oddaje. W ten sposób obciążenie sieci przez silnik *SP* jest znacznie równiejsze, niż obciążenie prądnicy *PP* przez silnik *S*.

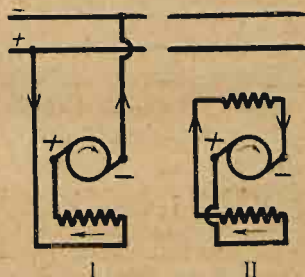
Hamowanie. Niektóre urządzenia, pędzone silnikami elektrycznymi, jak np. dźwigi, żorawie, tramwaje, wymagają hamulców. Oprócz hamowania mechanicznego i magnetycznego (zapomocą elektromagnesów) istnieje bardzo łatwy sposób hamowania elektrycznego, nie wymagający żadnych przyrządów dodatkowych. Wystarczy bowiem tylko przełączyć rozpędzony silnik, by zamienić go w prądnicę, zmusić do wykonywania pracy elektrycznej i w ten sposób zahamować.

W silniku bocznikowym przełączenie polega na odcięciu gałęzi twornikowej od sieci i połączeniu obu końców tej gałęzi zapomocą niewielkiego oporu (rys. 60 I — bieg; II — hamowanie). Im mniejszy opór, tem prędsze hamowanie. Gałąź magnesowa pozostaje nadal przyłączona do sieci bez zmiany, tak, iż silnik bocznikowy w czasie hamowania pracuje, jak prądnica obcowzbudna.

W silniku szeregowym przełączenie polega na zupełnem odcięciu od sieci, przełożeniu obu końców uzwojenia magnesowego i połączeniu zacisków maszynowych zapomocą niewielkiego oporu (rys. 61 I — bieg; II — hamowanie). Gdyby



Rys. 60.



Rys. 61.

końce uzwojenia magnesowego nie były przełożone, prąd wzbudzający płynąłby w kierunku odwrotnym, niweczył istniejący magnetyzm, a prądnica nie wzbudzona nie dałaby prądu. Silnik szeregowy w czasie hamowania pracuje, jak samowzbudna prądnica szeregową.

Przełączenia, opisane powyżej, jak wszystkie wogóle przełączenia przy silniku (rozruch, regulacja, zmiana kierunku, hamowanie), wykonywają się zapomocą nastawnika walcowego (§ 17).

§ 19. Silniki asynchroniczne.

Rodzaje silników prądu zmiennego. Silniki prądu zmiennego bywają trzech rodzajów:

1. asynchroniczne (nienadążne) czyli indukcyjne,
2. synchroniczne (nadążne) i
3. kolektorowe.

Silniki asynchroniczne różnią się zasadniczo od innych maszyn elektrycznych, nie mają bowiem ani pieńków magnetycznych, ani kolektora, a uzwojenie wirnika (rotora) odcięte jest zupełnie od sieci i od uzwojenia kadłuba (statora). W praktyce maszyny tego ustroju pracują zwykle tylko jako silniki.

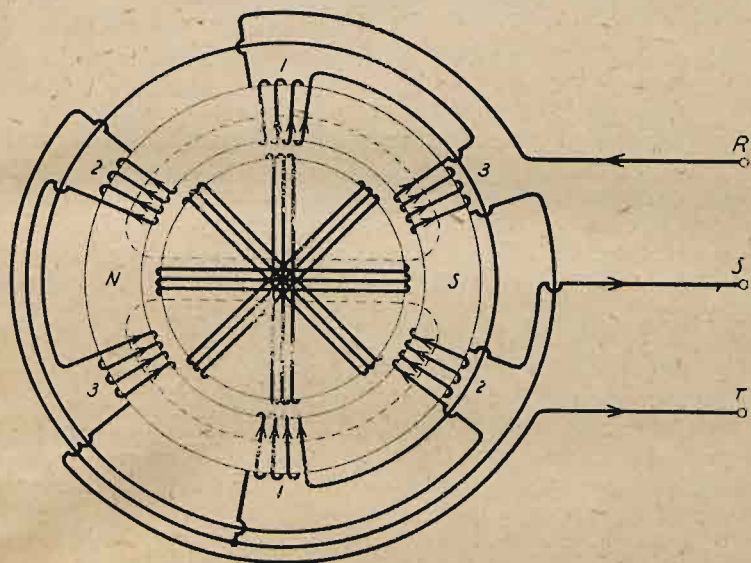
Prądnice prądu zmiennego (§ 13), użyte do zamiany pracy elektrycznej na mechaniczną, nazywamy silnikami synchronicznymi. Uzwojenie twornikowe przyłącza się do sieci, a magnesowe do źródła prądu stałego (np. baterji akumulatorów). Silniki synchroniczne nie ruszają same przez się, lecz muszą być puszczane w bieg zapomocą silnika pomocniczego (np. silnika prądu stałego). Maszyny powyższe przez cały czas pracy nie zmieniają prędkości, a w razie przeciążenia — stają.

Silniki wreszcie kolektorowe są w zasadzie tego samego ustroju, co silniki szeregowo prądu stałego.

W praktyce największe zastosowanie mają silniki asynchroniczne.

Silniki trójfazowe. Rys. 62 przedstawia schematycznie ustrój silnika trójfazowego. Uzwojenie kadłuba składa się w tym przykładzie z 6 zezwojów, połączonych w gwiazdę, a uzwojenie wirnika — z 4 oddzielnych zezwojów w sobie zamkniętych. Z chwilą przyłączenia zacisków *R*, *S*

i T do sieci, w rdzeniu kadłuba wzbudza się magnetyzm dwubiegunowy. Na rysunku podano kierunki prądu wzbudzającego we wszystkich trzech fazach i wskazano położenie obu biegunów (północny — N , południowy — S). Zarówno kierunek prądu, jak i położenie biegunów odnosi się tylko do pewnego momentu. Prądy, jako zmienne, bezustannie zmieniają wielkość i kierunek, a bieguny posuwają się stale w jednym kierunku. Słowem, powstaje wirujące pole magne-



Rys. 62.

tyczne. Podobne pole wirujące mieliśmy przy prądnicach prądu zmiennego; w prądnicach jednak pole wzbudzał prąd stały, a pole to wirowało wraz z magnesnicą, w silniku zaś prąd trójfazowy wzbudza pole wirujące w nieruchomym kadłubie.

Wirujące pole magnetyczne wznieca czyli indukuje prądy elektryczne w zwojach wirnika (stąd nazwa — silniki indukcyjne). Wskutek tych prądów, wirnik otrzymuje ruch

obrotowy i podąża za wirującym polem magnetycznym w tym samym kierunku. Mówimy, iż pole wirujące porywa z sobą wirnik. Co się tyczy prędkości, to wirnik nie może nadążyć i biegnie nieco wolniej od pola; a zatem, obroty pola magnetycznego i wirnika są różne czyli niesynchroniczne (stąd nazwa — silniki asynchroniczne). Różnica liczby obrotów, wyrażona procentowo, nazywa się poślizgiem.

Przykład. Pole magnetyczne wiruje 1000 razy na minutę, wirnik — 980; poślizg wynosi 20 obrotów na 1000 czyli 2%.

Uzwojenie kadłuba umieszcza się w żłobkach na powierzchni wewnętrznej i wiąże w ten sam sposób, jak w prądniccy trójfazowej (§ 13). Rys. 45 i 46 możemy uważać za układ uzwojeń kadłuba (należy tylko pominąć pieńki magnetyczne N, S, N, S , których w silniku niema), a rys. 47 i 48 — za widok boczny. Kadłuby bywają dwubiegunowe lub wielobiegunowe. Na rys. 45 i 46 uzwojenie jest czterobiegunowe, gdyż idąc po obwodzie kadłuba, napotykamy każdą fazę po 4 razy. W naszym przykładzie na każdy biegun i fazę przypada po 1 żłobku; zwykle bywa więcej. Poszczególne fazy łączą się w gwiazdę (rys. 45) lub trójkąt (rys. 46).

Uzwojenie wirnika bywa samo w sobie zamknięte lub wyprowadzone nazewnątrz przy pomocy trzech pierścieni zdawczych, po których ślizgają się szczotki. W pierwszym wypadku nazywamy silnik:

1. zwartym, w drugim wypadku —
2. pierścieniowym.

Dzięki pierścieniom, możemy wprowadzić do uzwojenia wirnika opór dodatkowy w postaci opornika regulacyjnego (na rys. 64 — R), przyłączonego do szczotek.

Najprostrzą maszyną elektryczną jest silnik trójfazowy z wirnikiem zwartym, nie posiada bowiem przyrządów ślizgowych, pierścieni, ani kolektora i nie wymaga prawie żadnej obsługi. Puszczanie w ruch odbywa się wprost przez zamknięcie wyłącznika trójbiegunowego. Wadą silnika z wirnikiem zwartym jest znaczne zapotrzebowanie prądu w pierw-

szym momencie przyłączenia do sieci. Raptowny podskok prądu powoduje spadek napięcia w sieci i odbija się szkodliwie na oświetleniu. Wskutek tego, przy silnikach powyżej 0,5 kW stosuje się zwykle urządzenia, zmierzające do zmniejszenia prądu rozruchowego. Zmniejszenie prądu można osiągnąć przez zmniejszenie napięcia, bądź za pomocą transformatora rozruchowego, bądź za pomocą przełącznika z gwiazdy w trójkąt; pierwszy reguluje napięcie i stosuje się do maszyn większych, drugi daje dwa stopnie napięcia i nadaje się do silników mniejszych.

Zapotrzebowanie prądu w pierwszej chwili rozruchu dochodzi w silnikach:

zwartych do 6 krotnej,
zwartych z transformatorem rozruchowym . . . do 2-krotnej,
zwartych z przełącznikiem z gwiazdy w trójkąt do 2-krotnej,
pierścieniowych do 2-krotnej
wielkości prądu normalnego.

Najwięcej rozpowszechnione jest przełączanie zwojów kadłuba z gwiazdy w trójkąt. Kadłub, pracujący normalnie w skojarzeniu trójkątowym, przełącza się na czas rozruchu w skojarzenie gwiazdowe. Wskutek tego zwoje otrzymują w pierwszym momencie napięcie znacznie zmniejszone, mianowicie napięcie gwiazdowe, zamiast międzyprzewodowego (§ 5).

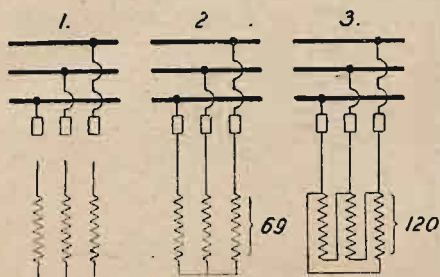
Przykład. Przy 120 V zezwoje otrzymują początkowo $120 : 1,73 = 69$ V, a następnie całkowite 120 V.

Odpowiedni przełącznik w położeniu 1 (rys. 63) odłącza zupełnie uzwojenie od sieci, w przejściowym położeniu 2 — przełącza uzwojenie związane w gwiazdę, a w położeniu 3 — przełącza to samo uzwojenie — w trójkąt.

Silniki z wirnikiem pierścieniowym puszcza się w ruch za pomocą rozrusznika (rys. 64). Chcąc silnik uruchomić, należy:

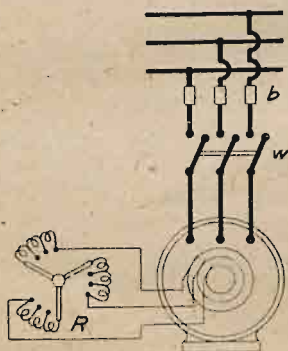
1. zamknąć wyłącznik trójbiegunowy *w* i
2. powoli posuwać korbkę rozrusznika *R* (na rys. w kierunku wskazówki zegarowej).

Dopóki korbka stoi poza guzikami, obwód prądu w wirniku jest przerwany. Z chwilą wejścia na pierwszy guzik (jak na rys.) korbka łączy trzy fazy wirnika w jeden punkt zerowy i silnik rusza. Dalsze przesuwanie korbki ma na celu stopniowe wyłączanie oporów. Na ostatnim wreszcie guziku opór rozrusznikowy zupełnie jest wyłączony, a zwoje wirnika są zwarte czyli połączone korbką rozrusznika na



Rys. 63.

krótko. O ile nie zachodzi potrzeba regulowania prędkości, wirnik pierścieniowy przez cały czas biegu normalnego pracuje, jak zwarty. Chcąc uniknąć zbyt dużego tarcia szczotek, zaopatruje się silnik w przyrząd do łączenia wszystkich trzech pierścieni i do podnoszenia szczotek. Gdy silnik jest w pełnym biegu, łączymy zwoje wirnika przy pierścieniach za pomocą tego przyrządu, a wówczas rozrusznik staje się zbyt duży i może być odcięty.



Rys. 64.

Uzwojenie wirnika, jak wiadomo, nie łączy się z siecią i ma inne napięcie (zwykle niższe) i inny prąd (zwykle wyższy), niż uzwojenie kadłuba. Prąd w wirniku interesuje nas głównie przy wyznaczaniu prze-

kroju przewodów do połączenia wirnika z rozrusznikiem. Prąd ten można z łatwością obliczyć, zmierzwszy przedtem woltaż, panujący między pierścieniami przy wzbudzonym kadłubie i nieruchomym wirniku. Moc silnika w kW możemy wyrazić za pomocą przybliżonego wzoru (§ 5):

$$\frac{1,73 \times \text{ampery w wirniku} \times \text{wołty w wirniku}}{1000}$$

Stąd wynika, iż

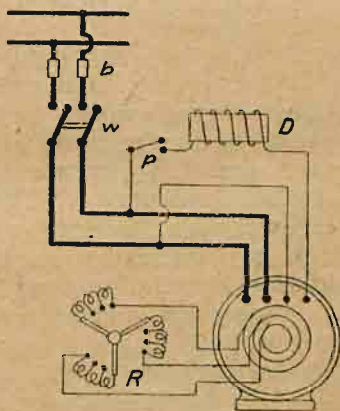
$$\frac{\text{ampery w wirniku}}{\text{wołty w wirniku}} = \frac{\text{kiłowaty} \times 578}{\text{wołty w wirniku}} = \frac{\text{konie mech.} \times 425}{\text{wołty w wirniku}}$$

Przykład. Silnik 7,5 kW (otrzymujący 12 A przy 500 V) wykazuje między pierścieniami napięcie 72 V. Obliczyć prąd, płynący z wirnika do rozrusznika:

$$\frac{7,5 \times 578}{72} = 60 \text{ A.}$$

Asynchroniczne silniki trójfazowe ruszają przy znacznym obciążeniu, dają się przeciążać, obroty mają niemal stałe, nieznacznie zmniejszające się przy wzroście obciążenia.

Silniki jednofazowe. Kadłub, uzwojony jednofazowo, nie wytwarza wirującego pola magnetycznego; dopiero wspólne pole magnetyczne kadłuba i biegnącego wirnika posiada ruch wirowy. Wskutek tego, silnik jednofazowy nie rusza sam przez się, lecz wprowadzony w ruch biegnie nadal o własnej sile. Dla wprowadzenia w ruch silnik otrzymuje drugą fazę pomocniczą, wytworzoną sztucznie z dodatkowego odgałęzienia przez włączenie dławika (na rys. 65—*D*). Obie gałęzie, główna i pomocnicza, składają się na uzwojenie kadłuba, które jest dwufazowe. Dzięki dławikowi, prąd gałęzi pomocniczej przesunięty jest w fazie w porównaniu z gałęzią główną. Faza pomocnicza włącza się tylko na czas rozruchu i wówczas silnik staje się dwufazowym, odrazu wytwarza wirujące pole magnetyczne



Rys. 65.

i rusza, choć z niewielką siłą pociągową. Wirnik silnika jednofazowego nie różni się od wirnika trójfazowego i również bywa zwarty lub pierścieniowy.

Chcąc silnik uruchomić (rys. 65), należy:

1. zamknąć wyłączniki w i p ,
2. powoli posuwać korbkę rozrusznika R (na rys. — w kierunku wskazówki zegarowej), a osiągnąwszy normalne obroty,
3. otworzyć wyłącznik p .

§ 20. Silniki kolektorowe.

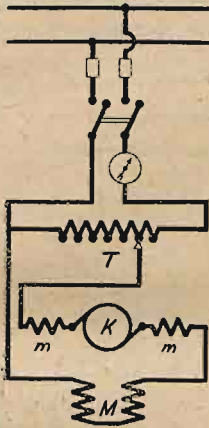
Silniki jednofazowe. Silniki kolektorowe są podobne do szeregowych prądu stałego: ruszają z wielką siłą pociągową, zwiększają prędkość przy spadku obciążenia i podlegają niebezpieczeństwu rozbiegania. Rozróżniamy dwa rodzaje silników kolektorowych:

1. szeregowy czyli głównikowy i
2. repulsyjny.

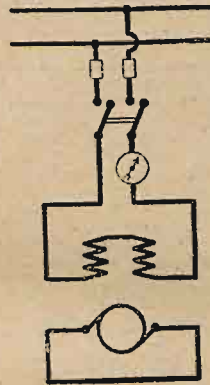
Zmiana kierunku prądu w silniku szeregowym prądu stałego odbija się jednocześnie w tworniku i magnesach, a dlatego niema wpływu na kierunek biegu (§ 17). Innymi słowy, maszyna obraca się w tę samą stronę bez względu na kierunek prądu, a wskutek tej własności nadaje się również do prądu zmiennego. W wykonaniu praktycznym silniki szeregowy prądu zmiennego różnią się nieco od maszyn prądu stałego, gdyż muszą być przystosowane do pewnych zjawisk, zachodzących tylko przy prądzie zmiennym.

Magneśnica silników szeregowych posiada oprócz głównego uzwojenia magnesowego—uzwojenie pomocnicze, które zapobiega iskrzeniu kolektora i powiększa spółczynnik mocy (§ 5). Oba uzwojenia magnesowe umieszcza się w żłobkach na wewnętrznej powierzchni magneśnicy, która wobec tego kształtem swym przypomina kadłub silnika asynchronicznego. Rys. 66 podaje układ silnika. Za pośrednictwem szczotek, ślizgających się po kolektorze, zwoje twornikowe K połączone są w szereg z głównym uzwojeniem magnesowym M

i z pomocniczem m . Silnik może być przyłączony wprost do sieci lub przez transformator T , którego napięcie daje się odpowiednio regulować.



Rys 66.



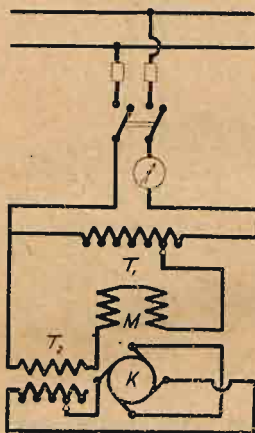
Rys. 67.

Silnik repulsyjny w najprostszym wykonaniu (rys. 67) składa się z dwóch obwodów elektrycznych: 1) obwodu magnesowego, przyłączonego do sieci i 2) obwodu twornikowego, zamkniętego w sobie przez zwarcie obu rzędów szczotek. Przy prądzie stałym silnik repulsyjny nie mógłby pracować ze względu na brak prądu w tworniku. Inaczej jest przy prądzie zmiennym. Zmienne pole magnetyczne, wzbudzone w magnesnicy, wznieca prądy w zwojach twornikowych i pod wpływem tych prądów odpycha twornik (odpychanie po łacinie „repulsio“), który nabiera ruchu wirowego. Prędkość biegu zależy od położenia szczotek.

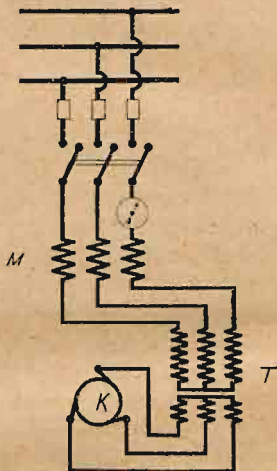
Rys. 68 podaje układ silnika repulsyjnego udoskonalonego. Uzwojenie magnesowe M przyłączone jest do sieci za pośrednictwem transformatora T_1 . Po kolektorze ślizgają się cztery rzędy szczotek, przyczem rzędy przeciwległe są z sobą zwarte. Wzbudzenie reguluje się podczas rozruchu przez zmianę na-

pięcia w transformatorze T_1 , a prędkość biegu reguluje się za pomocą dodatkowego transformatora T_2 .

Silniki trójfazowe. Rys. 69 przedstawia układ silnika szeregowego do prądu trójfazowego. Za pośrednictwem trzech rzędów szczotek, ślizgających się po kolektorze, zwoje



Rys. 68.



Rys. 69.

twornikowe K powiązane są w szereg z uzwojeniem magnetycznym M . Drogę między jednym a drugim uzwojeniem przecina transformator T . Dzięki transformatorowi twornik otrzymuje napięcie niższe, niż magnetyczna. Przesuwając po powierzchni kolektora jednocześnie wszystkie trzy rzędy szczotek, można regulować prędkość biegu silnika w szerokich granicach.

§ 21. Kierunek biegu w silnikach prądu zmiennego.

Silnik trójfazowy, jak już mówiliśmy powyżej (§ 14), zmienia kierunek biegu po przełożeniu dwóch dowolnych

przewodów, doprowadzających prąd do kadłuba (rys. 50).
Rys. 70 przedstawia układ, przy którym silnik może obracać się naprzemian to w jednym, to w drugim kierunku.

Chcąc silnik uruchomić, należy:

1. odpowiednio nastawić przełącznik p ,
2. zamknąć wyłącznik w i
3. powoli posuwać korbkę rozrusznika R (na rys. — w kierunku wskazówki zegarowej).

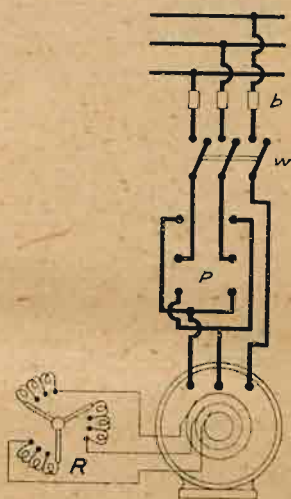
Zmieniając kierunek biegu, trzeba:

1. cofnąć korbkę rozrusznika R i

2. przełożyć przełącznik p .

Przełącznik powinien być otwierany i przekładany tylko przy cofniętej korbce rozrusznika, gdyż w przeciwnym razie zapotrzebowanie prądu wzrastałoby raptownie, jak przy silnikach z wirnikiem zwartym. Zapomocą nastawnika walcowego wszystkie czynności, potrzebne do uruchomienia i zatrzymania silnika, odbywają się kolejno przez obracanie korby w jedną lub drugą stronę.

W silnikach jednofazowych kolektorowych można zmienić kierunek biegu bądź przez przesunięcie szczotek w położenie odwrotne, bądź przez przełożenie przewodów, doprowadzających prąd do pomocniczego uzwojenia magnesowego, w silnikach zaś asynchronicznych — przez przełożenie przewodów, zasilających jedną z dwóch faz uzwojenia kadłubowego.



Rys. 70.

§ 22. Prędkość biegu w silnikach prądu zmiennego.

Prędkość biegu silników synchronicznych i asynchronicznych zależy od częstotliwości prądu zmiennego i liczby biegunów magnetycznych. Przy najczęściej używanym prądzie o 50 okresach na sekundę:

silnik 2-biegunowy	daje	3000	obrotów	na	minutę,
„ 4	„	1500	„	„	„
„ 6	„	1000	„	„	„
„ 8	„	750	„	„	„
„ 10	„	600	„	„	„

i t. d. Ogólnie biorąc,

$$\text{liczba obrotów na min.} = \frac{120 \times \text{częstotliwość}}{\text{liczba biegunów}}$$

Prędkość biegu jest proporcjonalna do częstotliwości: przy większej częstotliwości silniki wirują prędzej, przy mniejszej — wolniej. Silniki synchroniczne dają ściśle wyżej wymienione liczby obrotów, asynchroniczne zaś o kilka procent mniejsze (poślizg — patrz § 19). Pierwsze zupełnie się nie dają regulować, asynchroniczne — bardzo nieznacznie. Co się tyczy regulowania tych ostatnich, to możliwe jest tylko zwalnianie biegu przez włączanie oporów dodatkowych bądź do uzwojenia kadłuba (zmniejszanie napięcia), bądź do uzwojenia wirnika. Jeden i drugi sposób regulowania pociąga za sobą znaczne straty, a pierwszy z nich poza tem obniża moc maszyny. Np. moc silnika przy połowie napięcia wynosi zaledwie czwartą część mocy normalnej. Z tej przyczyny regulowanie odbywa się tylko drugim sposobem, zapomocą opornika regulacyjnego, włączonego, jak rozrusznik (rys. 64, 65 i 70), do pierścieni wirnikowych. Silników zwartych nie reguluje się zupełnie, gdyż wobec braku pierścieni niema możności przyłączenia opornika do zwojów wirnika.

Z silników prądu zmiennego jedynie tylko kolektorowe odznaczają się łatwością regulowania. Silniki te reguluje się przesuwaniem szczotek po kolektorze lub zapomocą dodatkowych transformatorów.

§ 23. Sprawność.

Każdy silnik elektryczny pracuje z pewnymi stratami (§ 15). Sprawność czyli stosunek pracy otrzymanej do włożonej zależy od wielkości maszyny i od stopnia obciążenia.

Silniki prądu stałego najczęściej używane.

M o c		Sprawność przy obciążeniu całkowitem	P r z y b l i ż o n a	
w kW	w KM		liczba obro- tów na minutę	waga w <i>kg</i>
0,75	1	0,78	1700	50
1,5	2	0,79	1600	60
2,2	3	0,81	1550	70
3,7	5	0,82	1450	130
7,5	10	0,83	1200	240
11	15	0,84	1100	360
15	20	0,85	1000	450
22	30	0,87	900	700
30	40	0,88	800	900
37	50	0,88	700	1200
45	60	0,88	625	1500
55	75	0,89	550	2000
75	100	0,89	475	3000

Przykład. Ile amperów czerpie silnik prądu stałego 36-konny przy 110 V, przy całkowitem obciążeniu?

Silnik wydaje

$$36 \times 736 = 26\,496 \text{ W,}$$

a wchłania przy sprawności 0,875

$$26\,496 : 0,875 = 30\,281 \text{ W,}$$

$$30\,281 : 110 = 275 \text{ A.}$$

W silnikach prądu zmiennego zachodzi zjawisko przesunięcia fazy (§ 5) między napięciem a prądem, czerpanym z sieci. Tylko w silnikach synchronicznych i kolektorowych można uniknąć tego przesunięcia przez odpowiednie naregulowanie wzbudzenia. Chcąc obliczyć zapotrzebowanie prądu, trzeba znać nie tylko sprawność maszyny, lecz również i współczynnik mocy.

Silniki trójfazowe najczęściej używane.

M o c		Sprawność	Spółczynnik mocy	Liczba obrotów na minutę	Przybliżona waga w <i>kg</i>
w kW	w kM				
przy obciążeniu całkowitem					
0,75	1	0,82	0,81	1420	40
1,5	2	0,83	0,83	1420	60
2,2	3	0,84	0,83	1430	90
3,7	5	0,86	0,85	1430	110
7,5	10	0,87	0,85	1440	200
11	15	0,87	0,86	955	350
15	20	0,88	0,87	960	450
22	30	0,89	0,87	960	600
30	40	0,90	0,88	965	700
37	50	0,90	0,87	730	900
45	60	0,91	0,87	730	1000
55	75	0,91	0,87	730	1200
75	100	0,91	0,87	730	1400

Przykład. Ile amperów otrzymuje silnik trójfazowy 40-konny przy 120 V przy całkowitem obciążeniu?

Silnik wydaje

$$40 \times 736 = 29\,440 \text{ W,}$$

przy sprawności 0,90 czerpie

$$29\,440 : 0,90 = 32\,710 \text{ W,}$$

przy współczynniku mocy 0,88

$$32\,710 : 0,88 = 37\,157 \text{ VA;}$$

$$(37\,157 : 1,73) : 120 = 179 \text{ A.}$$