

Silniki elektryczne.

74. Wstęp.

Silnikiem, albo motorem elektrycznym, nazywamy maszynę, która, skutkiem pracy przepływającego przez nią prądu, wykonywa pracę mechaniczną. Gdy przez silnik elektryczny przepływa prąd, to wał silnika nie tylko sam się obraca, ale może obracać najrozmaitsze maszyny pomocnicze: tokarnie, pompy, maszyny do szycia i t. p., a także może poruszać wozy kolejowe, tramwaje i t. p.

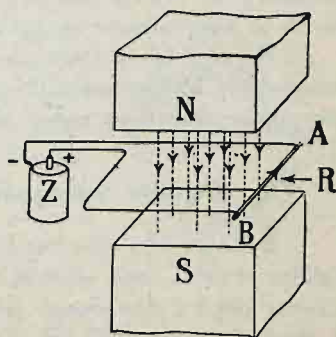
Każda prądnica pracuje jako silnik, jeżeli przez jej zwoje przepływa prąd, dostarczony z jakiegokolwiek źródła.

Prądnica jest więc maszyną odwracalną. Zależnie od okoliczności, możemy, dając pracę mechaniczną, otrzymywać z niej pracę prądu elektrycznego, albo, dając pracę prądu elektrycznego, brać z niej pracę mechaniczną.

Ruch wszystkich silników odbywa się pod wpływem sił oddziaływania elektromagnesów na przewodniki z prądem. Nieruchome elektromagnesy nie stykają się tu bezpośrednio z przewodnikami wirującymi; oddziaływanie odbywa się za pośrednictwem strumieni magnetycznych, wytworzonych przez elektromagnesy.

Doświadczenie wskazuje, że strumień magnetyczny stara się przesunąć krzyżujący się z nim prąd elektryczny w poprzek linii magnetycznych.

Na rysunku 192 mamy strumień magnetyczny pomiędzy biegunami elektromagnesów. Wpoprzek tego strumienia umieściliśmy przewodnik z prądem, płynącym w kierunku od *B* do *A* z ogniwa galwanicznego *Z*. Doświadczenie wskazuje, że strumień, magnetyczny ciągnie przewodnik *AB* w kierunku strzałki *R*. Kierunek siły ciągnącej przewodnik odwraca się, jeżeli zmienić kierunek prądu lub też odwrócić bieg linii magnetycznych. Wogóle kierunek działania strumienia magnetycznego na prąd elektryczny określa reguła lewej ręki.



Rys. 192.

Gdy położymy lewą rękę wzdłuż przewodnika tak, że cztery złożone palce wskażą kierunek prądu, a dłoń zwrócimy w ten sposób, aby linie magnetyczne przeszywały ją z wewnątrz na zewnątrz, to odstawiony w bok duży palec wskaże kierunek siły działania strumienia magnetycznego na prąd elektryczny.

Wielkość siły, z którą strumień magnetyczny popycha przewodnik z prądem elektrycznym, jest tem większa, im silniejszy jest prąd, im dłuższy przewodnik znajduje się w strumieniu magnetycznym i wreszcie im gęstsze są linie strumienia magnetycznego.

Siłę tę możemy obliczyć według następującego wzoru:

Przez *F* — oznaczmy siłę działania strumienia magnetycznego na przewodnik z prądem elektrycznym w kg., przez *B* gęstość linii magnetycznych w strumieniu, przez *I* natężenie prądu w amperach, przez *l* długość przewodnika znajdującego się w strumieniu magnetycznym w centymetrach *), wtedy:

$$F = 1,02 \cdot B \cdot I \cdot l \cdot 10^{-7}.$$

*) Przewodnik skierowany prostopadle do linii magnetycznych.

Przykład. $B = 5000$ linij magnetycznych na cm^2 , $l = 20$ cm, $I = 80$ amperów.

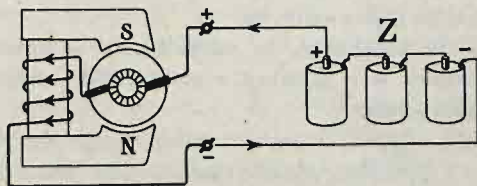
$$F = 1,02 \times 5000 \times 20 \times 80 \times 10^{-7} = 0,816 \text{ kilograma.}$$

Z tego przykładu wyraźnie widzimy, że chcąc mieć silny motor elektryczny, trzeba mieć dużą gęstość linii magnetycznych to znaczy silne magnesy i silny prąd w ruchomym drucie.

Na podstawie tych zasadniczych cech działania elektromagnesów na przewodniki z prądem elektrycznym, rozważymy szczegółowo rozmaite silniki.

75. Ogólne własności silników prądu stałego.

Budowa silników prądu stałego jest zupełnie taka sama, jak prądnic. Chcąc wprowadzić w ruch silnik elektryczny, puszczaemy prąd z dowolnego źródła do uzwojeń elektromagnesów i twornika, rys. 193. Prąd, wchodzący do twornika przez



Rys. 193.

szczotki, rozgałęzia się w uzwojeniach twornika w ten sposób, że w drutach pod biegunem północnym prąd płynie np. w głąb rysunku, a w drutach pod biegunem południowym odwrotnie, rys. 194. Według reguły lewej ręki strumień, przechodzący od bieguna północnego do południowego przez twornik, popycha przewodniki górne w lewo, a dolne w prawo. W ten sposób wprowadza on w ruch wirowy cały twornik w kierunku strzałki R .

Druty muszą być dobrze umocowane na tworniku, aby mogły pociągnąć za sobą rdzeń żelazny. Siła, obracająca

twornik silnika, wypada tem większa, im większy jest strumień magnetyczny i im silniejszy płynie prąd w tworniku.

Gdy mamy określony strumień magnetyczny i określony prąd w tworniku, to siłę, obracającą twornik, można zwiększyć, nawijając więcej drutów na tworniku, ponieważ cała siła, która obraca twornik, równa się sumie sił, działających na poszczególne druty, znajdujące się na obwodzie twornika.

Na szczególną uwagę zasługuje jeszcze kierunek prądu w tworniku silnika, w porównaniu do kierunku prądu w tworniku prądnicy.

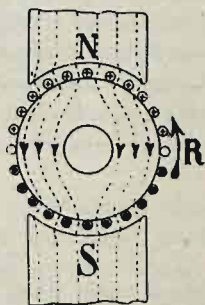
Jeżeli porównamy kierunek prądów w drutach twornika na rys. 194 z kierunkiem siły elektromotorycznej, która powstaje w prądnicy, obracającej się w tą samą stronę, to łatwo spostrzeżemy, że ta siła elektromotoryczna jest odwrotna do kierunku prądu w silniku. Sprawdzić to możemy, stosując regułę **prawej ręki**, określającą kierunek siły elektromotorycznej indukcji. Patrz § 46.

Z powyższego wynika, że przy tych samych biegunach elektromagnesów i tym samym kierunku ruchu twornika, w tworniku silnika płynie prąd **odwrotny** względem kierunku prądu w prądnicy.

Skutkiem tego oddziaływanie prądu twornika na strumień magnetyczny elektromagnesów w silniku jest odwrotne do tego, które mieliśmy w prądnicy.

Chcąc uniknąć iskrzenia szczotek przy zwiększaniu się prądu w tworniku, należy szczotki silników przesuwac **odwrotnie** do kierunku ruchu twornika.

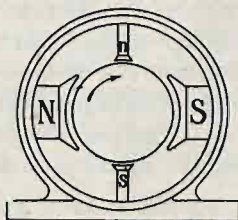
Dla uniknięcia przesuwania szczotek tak, jak w prądnicach, staramy się zmniejszyć możliwie liczbę amperozwojów twornika w porównaniu do liczby amperozwojów elektromagnesów, albo też, umieszczamy pomiędzy biegunami głównymi jeszcze bieguny dodatkowe, rys. 195. Porównywając ten rysu-



Rys. 194.

nek z rys. 123-cim, spostrzeżemy łatwo, że na rys. 195 znak biegunów dodatkowych jest odwrotny, skutkiem zmiany kierunku prądu twornika.

Warto zapamiętać, że właściwe działanie biegunów dodatkowych osiągamy w silnikach wtedy, gdy bieguny dodat-

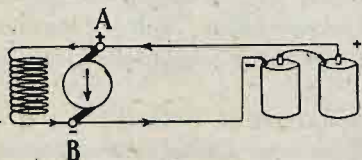


Rys. 195.

kowe mają znak odwrotny względem znaku najbliższych biegunów głównych w kierunku ruchu twornika.

76. Silniki bocznikowe.

W silniku bocznikowym uzwojenie elektromagnesów jest włączone równoległe do obwodu twornika, rys. 196; prąd wy-



Rys. 196.

pływający ze źródła prądu, dzieli się przy zacisku *A* na dwa prądy: jeden, płynący do twornika i drugi do elektromagnesów. Napięcie na zaciskach *A* i *B* jest zwykle prawie stałe, więc i prąd w uzwojeniu elektromagne-

sów — stały; wynosi on przy pełnym obciążeniu zaledwie kilka procentów prądu twornika.

Prąd w tworniku zależy od szybkości biegu silnika. Gdy silnik stoi nieruchomy, to na wielkość tego prądu ma wpływ tylko oporność uzwojenia twornika. Oporność ta jest zazwyczaj mała, np. w silniku na 15 kilowatów oporność uzwojenia twornikowego wynosi 0,025 oma.

Jeżeli na końcówkach A i B mamy napięcie 120 woltów, to prąd w tworniku będzie:

$$I = \frac{120}{0,025} = 4800 \text{ A.}$$

Taki prąd w żadnym razie nie może przepływać przez twornik bezpiecznie, uszkodzi on niewątpliwie uzwojenia twornika. Z tego względu w chwili puszczania w ruch takiego silnika, **koniecznie trzeba w obwód twornika włączyć opornik**. Opornik dobieramy zazwyczaj w ten sposób, aby prąd, płynący przez twornik, nie przewyższał pełnego prądu roboczego silnika więcej niż 1,5 do 2 razy.

Twornik w ruchu zachowuje się inaczej, niż w spoczynku. Druty twornika przecinają linie magnetyczne skutkiem tego w tworniku powstaje siła elektromotoryczna, skierowana wbrew prądowi, płynącemu do twornika, co łatwo sprawdzić, stosując regułę indukcji, podaną w § 46. Napięcie na zaciskach A i B pokonywa siłę elektromotoryczną w tworniku i wywołuje prąd tylko resztą woltów, pozostającą po odjęciu tego napięcia, które zużywa się na pokonanie powyższej siły elektromotorycznej.

W rozważanym wyżej przykładzie, gdy silnik biegnie jałowo, w uzwojeniu twornika powstaje siła elektromotoryczna, niewiele mniejsza od napięcia na szczotkach. Jeżeli napięcie na szczotkach mamy 120 woltów, to siła elektromotoryczna w uzwojeniach twornika wynosi 119,75 woltów. Na wytworzenie prądu w tworniku pozostaje:

$$120 - 119,75 = 0,25 \text{ V.}$$

Poprzednio mówiliśmy, że oporność uzwojeń twornika stanowi 0,025 oma, więc natężenie prądu będzie:

$$I = \frac{0,25}{0,025} = 10 \text{ A.}$$

Taki prąd płynie do twornika, gdy silnik biegnie jałowo, nieobciążony.

Jeżeli następnie zaprzęgniemy ten silnik do wykonywania pracy, np. do poruszania tokarni, to będzie on miał do pokonania opór tarcia wałów i kół zębatach, a przez to trochę zwolni biegu. Przy powolniejszym biegu mniejsza będzie szybkość, z którą druty twornika przecinają linje strumienia magnetycznego, a więc zmniejszy się i siła elektromotoryczna, przeciwstawiająca się prądowi. Załóżmy, że ta siła elektromotoryczna wyniesie teraz 118 woltów; w takim razie na pokonanie oporu twornika pozostanie 2 wolty, ponieważ:

$$120 - 118 = 2 \text{ V.}$$

Prąd w tworniku wypadnie:

$$I = \frac{2}{0,025} = 80 \text{ A.}$$

Wreszcie, gdy tokarnia zacznie wykonywać pracę, t. j., gdy założymy noże, tnące żelazo, to przybędą nowe czynniki, hamujące ruch i silnik jeszcze zwolni biegu. Siła elektromotoryczna w tworniku wyniesie wtedy 116,35 wolta. Na pokonanie oporu twornika pozostanie:

$$120 - 116,35 = 3,65 \text{ V.}$$

Prąd w tworniku wypadnie:

$$I = \frac{3,65}{0,025} = 146 \text{ A.}$$

Z tych obliczeń widzimy, że najmniejszy prąd w tworniku mamy w czasie luźnego biegu silnika. Przy zwiększaniu obciążenia silnika prąd wzrasta w nim stopniowo i w ten sposób wytwarza się większa siła, obracająca twornik, potrzebna dla pokonania wzrastających oporów ruchu.

Nagrzewanie się silnika stawia kres obciążeniu. Pełnem obciążeniem silnika nazywamy takie największe obciążenie, przy którym twornik i elektromagnesy nie nagrzewają się jeszcze niebezpiecznie, nawet przy najdłuższej pracy.

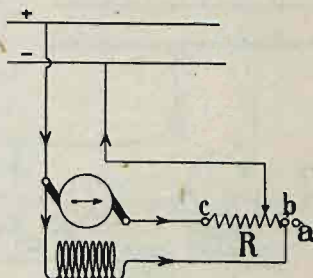
Silniki, odpowiednio zbudowane, mogą bez uszkodzenia pracować przez pół godziny przy obciążeniu o 25% i przez trzy minuty nawet przy obciążeniu o 40% większem od peł-

nego*). Szybkość biegu silników bocznikowych przy obciążeniu zmniejsza się niewiele. Dobrze zbudowane silniki przy pełnem obciążeniu zwalniają szybkość biegu nie więcej, jak o 2 do 5%. Wyjaśnia to następujące rozumowanie.

W silniku bocznikowym strumień magnetyczny pozostaje zawsze prawie stały, więc siła elektromotoryczna w tworniku zmienia się tylko skutkiem zmiany szybkości ruchu twornika, którego druty ze zmienną prędkością przecinają linie sił magnetycznych. Przy małych wahaniach prędkości biegu silnika powstają małe zmiany siły elektromotorycznej, wystarczające dla przystosowania się prądu do obciążenia silnika.

Oporniki, wprowadzone w obwód twornika, w celu odpowiedniego nastawienia prądu przy puszczeniu w ruch silnika, nazywamy **rozrusznikami**. Na rys. 197 wskazany jest najprostszy sposób połączenia takiego opornika. Gdy silnik stoi, rączka rozrusznika znajduje się na kontakcie izolacyjnym *a*; wtedy prąd przez uzwojenie silnika nie płynie. Przy puszczeniu silnika w ruch przestawiamy rączkę na kontakt *b*. Wtedy do elektromagnesów prąd płynie bezpośrednio, do twornika zaś przez cały opornik. Gdy silnik zacznie obracać się i będzie stopniowo przyspieszać bieg, to rączkę rozrusznika przestawiamy powoli z *b* na *c*. Gdy rączka rozrusznika stanie na kontakcie *c*, to do twornika prąd popłynie bezpośrednio, a do elektromagnesów przez cały opór. Jednak wpływ tego oporu na prąd w elektromagnesach jest nie wielki, gdyż rozrusznik zwykle ma oporność małą, w porównaniu do oporności uzwojeń elektromagnesów.

Gdy zależy na zachowaniu stałej wielkości prądu w elektromagnesach, stosujemy rozrusznik, wskazany na rys. 198.

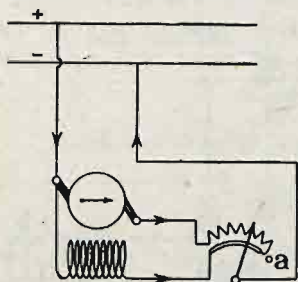


Rys. 197.

*) Powyższe własności dotyczące obciążenia, mają wszystkie dobrze zbudowane silniki stałego i zmiennego prądu.

Tu do elektromagnesów prąd płynie z rączki rozrusznika bezpośrednio, do twornika zaś przez opór rozruchowy.

W układach połączeń wskazany na rys. 197 i 198 zasługuje na uwagę pewien szczegół, mający ważne znaczenie przy zatrzymywaniu silników.



Rys. 198.

W obu układach z uzwojeń twornika i elektromagnesów jest utworzony zamknięty obwód. Przy przesuwaniu rączki rozrusznika na kontakt izolujący *a*, przerywa się prąd w tworniku i w uzwojeniach elektromagnesów, tu mamy wielką ilość zwojów, a przez to przy przerywaniu prądu powstaje tam znaczna siła elektromotoryczna samoindukcji. Zamknięty obwód, utworzony przez stałe połączenie końcówek elektromagnesów z twornikiem, sprawia, że prąd samoindukcji przebiega po tym obwodzie i przez to nie może wytworzyć wysokiego napięcia na końcach zwojów elektromagnesów i łuku elektrycznego pomiędzy ostatnim kontaktem rozrusznika i rączką. Łuk ten, jak wiemy, stapia brzegi kontaktów, pomiędzy którymi powstaje, więc, przy częstym zatrzymywaniu silnika, one prędko zepsułyby się.

Za pomocą oporników można nastawiać większą lub mniejszą szybkość biegu silnika. Na rys. 199 pokazany jest układ połączeń z dwoma opornikami. Przy stałym napięciu między przewodami *A* i *B*, opornik *R*, włączony w obwód twornika, daje możliwość zmiany napięcia na szczotkach *CD*. Jeżeli np. opornik *R* ma opór 2 omy, a prąd wynosi 10 amperów, to w oporniku traci się 20 woltów:

$$2 \times 10 = 20 \text{ V.}$$

Jeżeli napięcie między przewodami *A* i *B* mamy 120 V, to na szczotkach *CD* zostanie tylko:

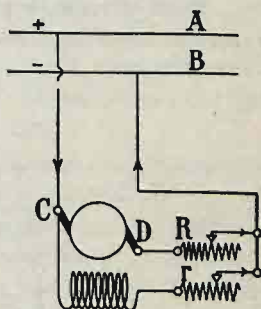
$$120 - 20 = 100 \text{ V.}$$

Odpowiednio do tego zmniejszonego napięcia przystosowuje się prędkość biegu silnika. Przy wprowadzaniu oporu R , prąd w tworniku słabnie, siła obrotowa silnika zmniejsza się i silnik zwalnia bieg, przez co prąd prędko wzrasta z powrotem do poprzedniej wartości, skutkiem zmniejszenia się siły elektromotorycznej w uzwojeniach twornika.

Zmniejszanie prędkości biegu silnika przez wprowadzenie oporu R przed twornikiem stosujemy rzadko, ze względu na znaczne straty pracy prądu, skutkiem nagrzewania się tego opornika. Jeżeli np. zmniejszymy prędkość biegu silnika do połowy, to ilość pracy prądu, zaczerpnięta z przewodów, nie zmniejszy się, natomiast połowa tylko będzie zużyta w silniku, a druga połowa będzie nagrzewać opornik R .

Z tego względu tam, gdzie potrzeba często, przez czas długi pracować przy zmniejszonej prędkości biegu silnika, unikamy wprowadzenia oporu w obwód twornika, stosując inne sposoby nastawiania odpowiedniej szybkości. Bierzymy np. kilka źródeł prądu o różnym napięciu, lub też zmieniamy w oszczędny sposób napięcie tego samego źródła prądu.

Chcąc przyspieszyć bieg silnika, wprowadzamy opornik r w obwód uzwojeń elektromagnesów. Rys. 199. Opór ten osłabia prąd w uzwojeniach elektromagnesów, a przez to zmniejsza strumień magnetyczny silnika. Przy osłabieniu strumienia magnetycznego, siła elektromotoryczna w tworniku, przeciwna prądowi, zmniejsza się i prąd wzrasta tak znacznie, że pomimo osłabienia strumienia magnetycznego, siła, obracająca twornik wzmaga się i przyspiesza jego bieg. W ten sposób można zwiększyć szybkość silnika o 20%. Przy dalszym osłabieniu strumienia magnetycznego zazwyczaj szczotki zaczynają iskrzyć, to też dalsze podwyższenie szybkości biegu w zwykłych silnikach nie jest praktykowane.

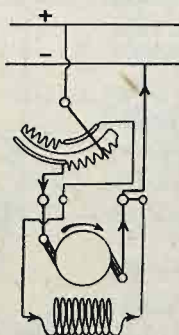


Rys. 199.

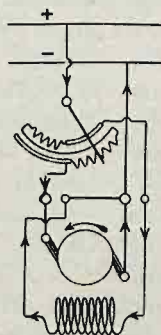
Należy zawsze starannie dbać o dokładność połączeń w obwodzie bocznika, bo znaczne osłabienie prądu w elektromagnesach może spowodować nadmierny wzrost szybkości biegu i uszkodzenie twornika.

Opornik z dwoma oporami zmiennymi używa się zwykle w połączeniu wskazanem na rys. 200.

Prąd płynie tu przez jedną ręczkę, która ma dwie łapki sprężynowe, ślizgające się po kontaktach odpowiednich opor-



Rys. 200.



Rys. 201.

ników. Przesuwając ręczkę w lewo, zmniejszamy stopniowo opór przed twornikiem i skutkiem tego silnik powoli przyspiesza bieg. Do elektromagnesów prąd płynie wprost, omijając opór. Gdy ręczka opornika znajduje się w środkowym położeniu, to oporu dodatkowego niema ani w obwodzie elektromagnesów, ani w obwodzie twornika. Przesuwając ręczkę dalej w lewo, włączamy opór w obwód elektromagnesów, skutkiem czego szybkość biegu silnika w dalszym ciągu wzrasta. Połączenie pomiędzy początkiem opornika twornikowego i końcem opornika elektromagnesów ma na celu utworzenie z uzwojeń twornika i elektromagnesów jednego obwodu zamkniętego, dla uniknięcia złych skutków samoindukcji w uzwojeniach elektromagnesów.

Oporniki, prowadzące prąd twornikowy, są dwójakiego rodzaju: jedno do nastawiania obrotów silnika, drugie — roz-

ruchowe. Ponieważ w opornikach nastawniczych prąd płynie przez cały czas wolnego biegu silnika, więc wykonywamy je z grubego drutu, natomiast w opornikach rozruchowych prąd płynie tylko kilkanaście sekund w czasie rozruchu, więc druty mogą być cienkie. Jeżelibyśmy wzięli cienkie druty w opornikach nastawniczych, to prąd rozgrzałby je do czerwoności. W opornikach rozruchowych krótkotrwały prąd nie zdąży mocno ogrzać nawet cienkich drutów. Należy jednak pamiętać, że nie można używać oporników rozruchowych do nastawiania obrotów silnika i nie można przesuwając rączek tych oporników zbyt wolno.

Wszystkie oporniki w obwodzie twornika mają oporność małą, około jednego oma lub najwyżej kilku omów.

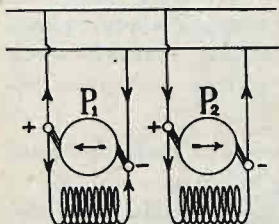
Oporniki bocznikowe są tylko jednego rodzaju. Drut dobieramy w nich w ten sposób, aby prąd mógł przepływać czas nieograniczony, nie nagrzewając go nadmiernie. Oporniki bocznikowe mają oporność dość dużą ze względu na znaczny opór uzwojeń elektromagnesów, wynosi ona zwykle kilkadziesiąt albo kilkaset omów. W opornikach bocznikowych strata pracy prądu jest niewielka i z tego powodu nastawianie szybkości biegu silnika za pomocą tych oporników odbywa się oszczędnie.

Przy zastosowaniu silników elektrycznych wypada nieraz zmienić kierunek obrotu silnika. W tym celu należy odwrócić siłę, obracając silnik. Na podstawie reguły lewej ręki rys. 192 wiemy, że w celu odwrócenia siły działania elektromagnesów na przewodniki z prądem należy odwrócić kierunek prądu w ruchomym przewodniku, lub kierunek strumienia magnetycznego w elektromagnesie. Na rys. 200, pokazany jest układ połączeń silnika bocznikowego z opornikiem dla biegu w prawo, a na rys. 201 dla biegu w lewo.

Zestawiając te dwa układy, łatwo spostrzeżemy, że różnica polega tylko na kierunku prądu w uzwojeniach elektromagnesów. Odwrócenie siły, obracającej twornik, zostało tu osiągnięte przez odwrócenie kierunku strumienia magnetycznego.

Możemy, oczywiście, obmyślić inny układ połączeń, w którym odwrócenie kierunku obrotu silnika osiągniemy przez zmianę kierunku prądu w tworniku, a w elektromagnesach prąd pozostawimy bez zmiany.

W związku z kierunkiem obrotów silnika należy zwrócić uwagę na zachowanie się prądnic, połączonych równolegle. W razie zmniejszenia się siły elektromotorycznej w jednym z tworników, np. P_2 , rys. 202, prąd z prądnicy P_1 popłynie do prądnicy P_2 , która zacznie pracować jako silnik. Kierunek prądu w tworniku zmienia się, w elektromagnesach zaś pozostaje bez zmiany i twornik obraca się w tę samą stronę.



Rys. 202.

Mając na względzie powyższe okoliczności, spostrzeżemy łatwo, że gdy dwie prądnice, połączone równolegle, poruszane za pomocą maszyn parowych, nie będą zaopatrzone w wyłączniki samoczynne i jedna z maszyn parowych ulegnie zepsuciu, to bieg odpowiedniej prądnicy stanie się wolniejszy, zmniejszy się siła elektromotoryczna, prąd w tworniku odwróci się i prądnica, kręcąc się w dalszym ciągu w tę samą stronę, zacznie pracować jako silnik i będzie obracać maszynę parową.

77. Silnik szeregowy.

Na rys. 203 mamy wskazane połączenie silnika szeregowego ze źródłem prądu. W silniku szeregowym ten sam prąd płynie przez twornik i przez uzwojenie elektromagnesów. Uzwojenie elektromagnesów wykonywamy tu z drutu grubego, ponieważ w tym uzwojeniu płynie pełny prąd silnika.

Tylko bardzo małe silniki szeregowy można włączyć wprost na przewody, doprowadzające prąd. Wogóle obwód silnika szeregowego ma opór mały, więc, dla uniknięcia zbyt

silnego prądu w chwili puszczenia silnika w ruch wprowadzamy w obwód opornik rozruchowy R , wskazany na rys. 203.

Przy przesuwaniu rączki na kontakt izolacyjny, nie należy obawiać się złych skutków samoindukcji, które mieliśmy w silnikach bocznikowych, gdyż tutaj w silniku szeregowym, przy niewielkiej liczbie zwojów w elektromagnesach, siła elektromotoryczna samoindukcji wypada bardzo mała.

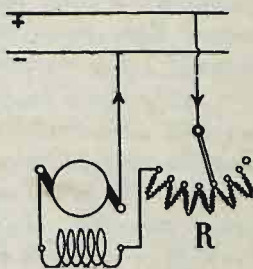
W porównaniu z silnikami bocznikowymi na szczególną uwagę zasługuje siła, obracająca twornik w chwili rozruchu. Wiemy, że siła ta jest zależna od wielkości strumienia magnetycznego i od prądu w uzwojeniach twornika.

W silniku szeregowym duży prąd przy rozruchu płynie przez twornik i uzwojenia elektromagnesów, wytwarza więc strumień magnetyczny większy, niż w biegu. Duży strumień magnetyczny w chwili rozruchu sprawia, że siła rozruchowa w tym silniku jest znacznie większa, niż w silniku bocznikowym.

Duży prąd w chwili rozruchu zazwyczaj wywołuje znaczny spadek napięcia w przewodach. Więc np., gdy na końcówkach silnika w biegu mamy 120 woltów, to w chwili rozruchu napięcie wynosi tylko 115 woltów, różnica 5 woltów poszła tu na pokonanie oporu przewodów, doprowadzających prąd do silnika. Ten spadek napięcia niema wpływu na działanie silnika szeregowego, natomiast w silniku bocznikowym, przy spadku napięcia, słabnie prąd w elektromagnesach i skutkiem tego zmniejsza się strumień magnetyczny.

Przy rozruchu silnika szeregowego, tak samo jak bocznikowego, powstaje w tworniku siła elektromotoryczna, przeciwna prądowi, ograniczająca natężenie prądu, więc opór rozruchowy R stopniowo wyłączamy, przesuwając odpowiednio rączkę.

Prędkość biegu silnika szeregowego w znacznym stopniu zależy od obciążenia. Przy obciążeniu małym, a szczególnie



Rys. 203.

w biegu luzem, silnik szeregowy obraca się bardzo szybko, tak, że nawet, skutkiem zbyt szybkiego ruchu, może być uszkodzony twornik: mogą pęknąć bandaże i może rozlecieć się kolektor. Tylko bardzo małe silniki szeregowe można puszczać w ruch luzem, ponieważ w nich jest dosyć duże tarcie. Znaczną szybkość biegu silnika bez obciążenia wytłómaczyć sobie możemy w sposób następujący:

Gdy silnik biegnie luzem, to mały prąd wytwarza odpowiednią siłę obrotową. Siła elektromotoryczna przeciwna prądowi jest wtedy prawie równa napięciu, gdyż wpuszcza do silnika tylko ten słaby prąd. Przy słabym prądzie mały jest także strumień magnetyczny, bo prąd twornika przebiega również w zwojach elektromagnesów. Dla wytworzenia znacznej siły elektromotorycznej w słabym polu magnetycznym druty twornika muszą się poruszać bardzo szybko, skutkiem tego silnik szeregowy biegnie luzem nadzwyczaj prędko.

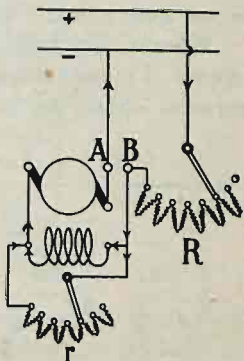
Przy zwiększaniu obciążenia silnik zwalnia biegu, siła elektromotoryczna, przeciwna prądowi, zmniejsza się i przez to prąd wzrasta. Zwiększający się prąd wywołuje coraz silniejszy strumień magnetyczny i silnik musi dalej zwolnić biegu, aby, pomimo przyrostu strumienia magnetycznego, siła elektromotoryczna, powstrzymująca prąd, zmniejszyła się dostatecznie i wpuściła prąd taki, przy którym siła obracająca twornik pokonywa opór mechaniczny obciążenia.

Widzimy więc, że w silniku szeregowym wzrastający strumień magnetyczny przeszkadza odpowiedniemu zmniejszeniu się siły elektromotorycznej, gdy w silniku bocznikowym strumień magnetyczny pozostaje zawsze stały, niezależnie od obciążenia. Z tego względu przy obciążeniu silnik szeregowy zwalnia biegu znacznie więcej, niż silnik bocznikowy. Zrazem jednak silnik szeregowy przy wzrastaniu obciążenia nie wymaga dla swej pracy tak znacznego wzrostu prądu, jak silnik bocznikowy. Wystawmy sobie np., że silnik bocznikowy obraca windę, która podnosi pewien ciężar. Jeżeli podnosić będziemy ciężar cztery razy większy, to prąd w silniku bocznikowym wzrośnie cztery razy. Natomiast, jeżeli windę obra-

ca silnik szeregowy, to przy czterokrotnem zwiększeniu ciężaru prąd wzrośnie mało co więcej, niż dwa razy, gdyż w silniku bocznikowym strumień magnetyczny jest stały, więc siła obracająca twornik, może zwiększyć się tylko przez wzrost prądu w tworniku, natomiast w silniku szeregowym, przy wzrastaniu prądu w tworniku, zwiększa się jednocześnie strumień magnetyczny.

Głównie, ze względu na powyższą własność silniki szeregowe stosujemy do poruszania wozów tramwajowych, wind i t. p.

Zmiana szybkości, biegu silników szeregowych odbywa się za pomocą oporników R i r rys. 204. Wprowadzając opór R , zmniejszamy napięcie na zaciskach silnika A i B , ponieważ część napięcia zużywa się na pokonanie tego oporu. Gdy napięcie na zaciskach silnika zmniejszymy, to będzie on obracać się wolniej, ponieważ siła elektromotoryczna w tworniku przystosowuje się do nowego zmniejszonego napięcia.



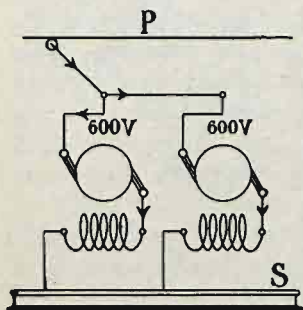
Rys. 204.

Odgałęziając część prądu przez opór r pomimo elektromagnesów, możemy osłabić strumień magnetyczny i w ten sposób przyspieszyć bieg silnika. Zwiększenie się szybkości silnika tłumaczymy tu znacznym wzrostem prądu w tworniku. Wzrost prądu wywołało zmniejszenie się siły elektromotorycznej, przeciwnej prądowi, skutkiem osłabienia strumienia magnetycznego. Szybkość biegu pozostaje zwiększoną, ponieważ tylko przy zwiększonej szybkości biegu siła elektromotoryczna, przeciwna prądowi, wpuszcza przy osłabionym strumieniu magnetycznym odpowiedni prąd do twornika. Im mniejszy będzie opór r , tem większa część prądu przepłynie pomimo uzwojeń elektromagnesów i tym sposobem szybciej pójdzie silnik.

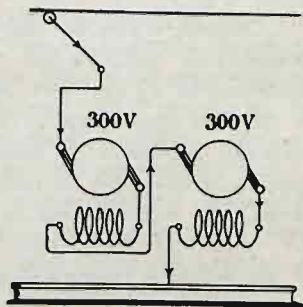
W celu osiągnięcia znacznej zmiany szybkości biegu silników bez straty pracy prądu w opornikach, gdzie zawsze

powstaje dużo ciepła, stosujemy nieraz, np. w tramwajach, przełączanie dwóch silników z układu równoległego na szeregowy. Na rys. 205 wskazane jest połączenie równoległe silników tramwajowych. P — przewód ślizgowy, s — szyny tramwajowe na ziemi. Jeżeli napięcie pomiędzy przewodem ślizgowym a szynami — 600 V , to przy połączeniu równoległym na końcówkach każdego silnika napięcie wynosi 600 V .

Na rys. 206 widzimy połączenie szeregowe tych samych silników. Tu całe napięcie pomiędzy przewodem ślizgowym i szynami dzieli się na dwa silniki po 300 V na każdy.



Rys. 205.



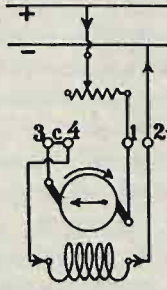
Rys. 206.

W drugim przypadku mamy napięcie na końcówkach silników dwa razy mniejsze, niż w pierwszym, więc szybkość biegu jest również dwa razy mniejsza, o ile obciążenie silników pozostało bez zmiany.

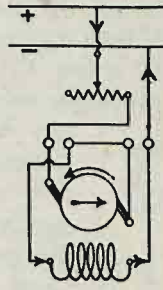
Odwroćenie kierunku obrotu silnika osiągamy przez zmianę kierunku prądu w tworniku lub też w uzwojeniach elektromagnesów.

Połączenia uzwojeń silnika szeregowego dla biegu w prawo i w lewo są pokazane na rys. 207 i 208. Odwrócenie kierunku biegu osiągamy tu przez zmianę kierunku prądu w tworniku. Łącznik C , umieszczony na rys. 207 pomiędzy zaciskami 4 i 3, przenosimy pomiędzy 4 i 1, rys. 208, a jeden z przewodów, połączony poprzednio z zaciskiem 1 prze-

kładamy na zacisk 3. W ten sposób zmieniamy kierunek prądu w tworniku, pozostawiając ten sam kierunek w uzwojeniach elektromagnesów.

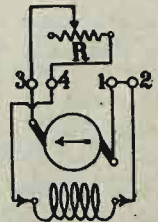


Rys. 207.



Rys. 208.

Przy zatrzymywaniu silników szeregowych bywa nieraz stosowane hamowanie elektryczne, polegające na odwróceniu działania silnika, który przy hamowaniu staje się prądnicą. Żeby silnik, kręcący się z rozpędu, wzbudził się i zaczął dawać prąd, trzeba zmienić połączenie twornika z uzwojeniem elektromagnesów, tylko wtedy prąd, płynący z twornika, wzmocni magnetyzm szczątkowy w rdzeniach elektromagnesów. Załóżmy, że mamy silnik, pracujący przy układzie połączeń wskazanym na rys. 208. W celu zahamowania tego silnika, po odłączeniu przewodów, doprowadzających prąd, rozłączamy zaciski 4 i 1, a łączymy 1 i 2 i pomiędzy zacisk 3 i 4 wprowadzamy opornik R rys. 209. Wtedy siła elektromotoryczna, działająca w silniku wbrew prądowi, wywołuje prąd w kierunku strzałek.



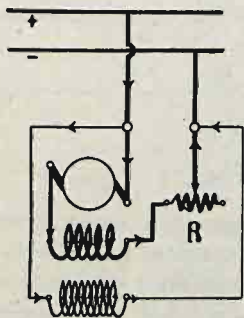
Rys. 209.

Strumień magnetyczny, według reguły lewej ręki rys. 192, hamuje ruch przewodników twornika i w ten sposób silnik szybko staje. Hamowanie będzie tem gwałtowniejsze, im silniejszy prąd przebiegać będzie w czasie hamowania, a więc im mniejszy wprowadzimy opór R .

78. Silnik szeregowo-bocznikowy.

W celu zmiany niektórych własności silnika bocznikowego stosujemy na elektromagnesach dodatkowe uzwojenia szeregowe. Stosownie do kierunku działania amperozwojów dodatkowych rozróżniamy dwa rodzaje silników.

Na rys. 210 mamy układ połączeń silnika szeregowo-bocznikowego, w którym amperozwoje szeregowe i bocznikowe są zgodne, t. j. wytwarzają linie magnetyczne w tę samą stronę. W tych warunkach główny strumień magnetyczny, wywołany przez uzwojenie bocznikowe, wzmacnia się pod wpływem amperozwojów szeregowych.



Rys. 210.

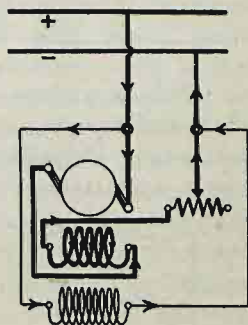
Taki silnik szeregowo-bocznikowy będzie miał w chwili ruszania większą siłę pociągową, niż silnik bocznikowy, gdyż uzwojenia szeregowe powiększą strumień magnetyczny. W biegu wpływ uzwojenia szeregowego wywoła znaczny spadek szybkości biegu silnika,

a zarazem wpłynie na mniejszy wzrost prądu przy zwiększeniu obciążenia. Takie własności silnika wypływają oczywiście z działania magnetycznego zwojów szeregowych, rozważanego w rozdziale poprzednim.

Drugi rodzaj silników szeregowo-bocznikowych ma układ połączeń wskazany na rys. 211. W tym układzie amperozwoje szeregowe uzwojenia elektromagnesów działają wbrew amperozwojom bocznikowym i skutkiem tego w chwili rozruchu strumień magnetyczny jest słabszy, niż w silniku bocznikowym, więc siła obrotowa jest również mniejsza. Lecz taki silnik będzie prawie z tą samą prędkością co bocznikowy, ponieważ przy małym prądzie w tworniku wpływ uzwojeń szeregowych jest nieznaczny. Przy obciążeniu silnika bocznikowego, jak wiemy, szybkość biegu zmniejsza się. Szyb-

kość biegu silnika szeregowo-bocznikowego drugiego rodzaju jest niezależna od obciążenia. Silnik obracający się luźno i obciążony, biegnie z jednakową szybkością. Tłumaczymy to sobie w sposób następujący. W tym silniku mamy na elektromagnesach dodatkowe uzwojenie szeregowe, osłabiające strumień magnetyczny. Obecność tego uzwojenia sprawia, że, przy wzroście obciążenia, prąd w tworniku zwiększa się nie skutkiem zmniejszenia się szybkości biegu, a przez osłabienie strumienia magnetycznego, wywołujące zmniejszenie siły elektromotorycznej przeciwdziałającej prądowi.

Przy bardzo powolnym, stopniowym zwiększeniu obciążenia, bieg silnika może być zupełnie równy. Jeżeli jednak obciążenie zmienia się skokami, to oczywiście i bieg silnika podlega wahaniom, ponieważ przy wzroście obciążenia silnik chwilowo zwalnia biegu, a następnie, pod wpływem działania zwojów szeregowych, przyspiesza i powraca do biegu pierwotnego.



Rys. 211.

Oslabienie pola magnetycznego przy obciążeniu silnika ma jeszcze ten skutek, że prąd w tworniku, potrzebny dla wywołania pewnej siły obrotowej, wypada większy w silniku szeregowo-bocznikowym drugiego rodzaju, niż w zwykłym silniku bocznikowym. Np. jeżeli obciążenie takiego silnika szeregowo-bocznikowego zwiększymy dwukrotnie, to prąd wzrośnie nie dwukrotnie, a nieco więcej, ponieważ osłabienie pola musi być zrównoważone odpowiednim wzrostem prądu w tworniku.

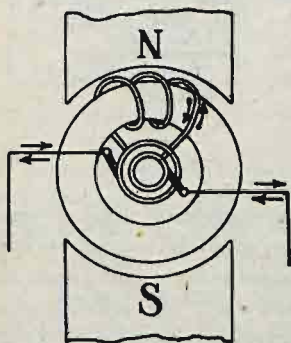
Chcąc zmienić kierunek obrotu silnika szeregowo-bocznikowego, należy według reguły lewej ręki, odwrócić kierunek prądu w tworniku lub też w obu uzwojeniach elektromagnesów.

79. Silniki prądu zmiennego.

Zależnie od budowy rozróżniamy silniki synchroniczne, asynchroniczne*) i kolektorowe. Każdy rodzaj silników może być zasilany prądem jednofazowym lub trójfazowym. Najczęściej używają się silniki asynchroniczne trójfazowe, ze względu na prostą budowę i własności, zbliżone do silników boczniowych prądu stałego.

80. Silniki synchroniczne.

Tak nazywamy silniki, zasilane prądem zmiennym jedno lub wielofazowym, zbudowane tak samo, jak prądnice prądu zmiennego. Do elektromagnesów takich silników doprowadzamy prąd stały, a do twornika prąd zmienny.



Rys. 212.

Na rys. 212, mamy najprostszy układ, składający się z twornika z pierścieniami i z elektromagnesów, których tylko bieguny widzimy na rysunku. Elektromagnesy są zasilane prądem stałym, więc znak biegunów pozostaje zawsze stały, bez zmiany.

Rozważamy działanie strumienia magnetycznego na przewodniki z prądem, znajdujące się na tworniku. Według reguły lewej ręki rys. 192, kierunek siły, poruszającej przewodniki, zależy od kierunku linii magnetycznych i od kierunku prądu.

Założmy przedewszystkiem, że silnik jest nieruchomy. Wtedy siły, działające na przewodniki twornika, będą zmienne, ponieważ prąd w tych przewodnikach jest zmienny. Jeżeli np.

*) Synchroniczne znaczy jednoczesne, asynchroniczne znaczy niejednoczesne.

założymy, że prąd sto razy w ciągu sekundy zmienia kierunek, to w ciągu jednej setnej części sekundy strumień magnetyczny popycha przewodniki w prawo, a w ciągu następnej setnej części sekundy popycha te same przewodniki w lewo. Takie targanie to w tą, to w ową stronę nie może oczywiście wprowadzić w ruch twornika. Z tego wypada, że silnik synchroniczny ruszyć z miejsca nie może, chociaż w tworniku i w elektromagnesach płynie prąd.

Wystawmy jednak sobie, że silnik synchroniczny wprowadziliśmy w ruch za pomocą silnika pomocniczego. Szybkość obrotu przystosowaliśmy dokładnie do zmienności prądu w tworniku w ten sposób, że za każdym razem, gdy w drutach na obwodzie twornika prąd płynie wgłęb rysunku, druty te znajdują się pod biegunem północnym; gdy prąd odwróci się, to druty znajdują się pod biegunem południowym i t. d.; wtedy w obu położeniach twornika strumień magnetyczny będzie obracał twornik w tym samym kierunku. Stąd wypada, że silnik synchroniczny może pracować tylko przy pewnej szybkości biegu, zgodnej z prądem zmiennym, zasilającym twornik. Liczba obrotów silnika na minutę musi być taka sama, jak prądnicy, mającej tyle samo biegunów, co silnik, i wytwarzającej prąd tej samej częstotliwości, jaką ma prąd, zasilający silnik*).

Więc np. gdy silnik ma cztery bieguny, a zasilający go prąd pięćdziesiąt okresów na sekundę, to liczbę obrotów silnika na minutę obliczymy jak następuje:

$$n = \frac{50 \times 60}{2} = 1500.$$

Wogóle:

$$\text{liczba obrotów na minutę} = \frac{\text{częstotliwość} \times 60}{\text{liczba par biegunów}}$$

*) Na zasadzie tej zgodności obrotów silnika i prądnicy powstała nazwa „silnik synchroniczny”, co znaczy silnik jednoczesny, t. j. obracający się jednakowo z prądnicą.

albo wzorem literowym:

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

W silnikach synchronicznych, tak samo, jak w silnikach prądu stałego, powstaje w tworniku siła elektromotoryczna. Kiedy silnik biegnie luzem, ta siła elektromotoryczna jest przeciwna napięciu i największość siły elektromotorycznej następuje prawie w tej samej chwili, co największość napięcia na zaciskach twornika, t. j. siła elektromotoryczna i napięcie mają fazy prawie przeciwne sobie.

W chwili wprowadzenia obciążenia, silnik tylko na część sekundy zwalnia biegu, a następnie znowu obraca się z tą samą szybkością co poprzednio. Skutkiem tego chwilowego zwolnienia biegu, siła elektromotoryczna przesuwają się w fazie i największość siły elektromotorycznej wypada znacznie później: niż napięcia.

Takie przesunięcie fazy wywołuje wzmożenie się prądu w tworniku i powstanie odpowiedniej siły obrotowej, pokonywającej opór mechaniczny obciążenia.

Zwiększać się może siła obrotowa tylko do pewnej granicy, gdyż przy dalszym opóźnianiu się siły elektromotorycznej względem napięcia na zaciskach, siła, z którą strumień magnetyczny popycha twornik, nie zwiększa się.

Silnik synchroniczny **przeciążony—staje**. Widzimy więc, że silnik synchroniczny obracać się może jedynie z dokładnie określoną szybkością, zależną tylko od liczby biegunów silnika i liczby okresów na sekundę prądu, zasilającego twornik. Szybkość tę zachowuje silnik przy wszystkich możliwych obciążeniach.

Zmiana natężenia prądu stałego w elektromagnesach nie wpływa na szybkość biegu silnika. Skutkiem wpływu elektromagnesów na twornik, zmieniając prąd w elektromagnesach, można nastawiać prąd w tworniku. Gdy strumień magnetyczny jest bardzo silny lub też bardzo słaby, to różnica pomiędzy napięciem i siłą elektromotoryczną w tworniku jest wielka i skutkiem tego przez twornik płynie silny prąd.

Można jednak dobrać taki prąd w elektromagnesach, aby prąd w tworniku był najmniejszy; prąd taki jest w fazie z napięciem i wtedy silnik pracuje najoszczędniej, ponieważ prąd, zgodny w fazie z napięciem, przy danej liczbie amperów wykonywa najwięcej pracy.

W podobny sposób działają silniki synchroniczne zbudowane tak samo, jak prądnice prądu zmiennego, z nieruchomym twornikiem i ruchomymi elektromagnesami, rys. 145. Tu prąd zmienny, przebiegający w tworniku, wprawia w ruch elektromagnesy. Stosownie do budowy uzwojenia twornika, zasilamy silniki te prądem jednofazowym lub trójfazowym.

Puszczanie w ruch silników synchronicznych jest bardzo kłopotliwe. Silnik synchroniczny przede wszystkim należy wprawić w ruch za pomocą silnika pomocniczego i nastawić szybkość biegu odpowiednio do prądu, przeznaczonego do zasilania twornika silnikowego. Następnie wpuszczamy prąd stały do elektromagnesów silnika i wyrównujemy okresy siły elektromotorycznej twornika i napięcia prądu, mającego zasilać twornik. Fazy powyższej siły elektromotorycznej i napięcia nastawiamy przeciwne, tak, aby największość napięcia prądu w jedną stronę wypadała w tej samej chwili, co największość siły elektrycznej w stronę przeciwną. Gdy osiągniemy te wszystkie warunki biegu silnika, zamykamy przerywacz, łączący twornik silnika z przewodami, doprowadzającymi prąd zmienny, a jednocześnie przerywamy prąd, płynący do pomocniczego silnika rozruchowego.

Gdy silnik synchroniczny już biegnie luzem z szybkością, jemu właściwą, wtedy możemy go stopniowo obciążać unikając zbliżenia się do tej granicy, poza którą silnik staje.

Silniki synchroniczne stosują się dość rzadko, głównie ze względu na konieczność wprowadzenia dwóch prądów: stałego i zmiennego, a także z powodu kłopotliwego puszczania w ruch.

Dodatnie cechy tych silników stanowią: jednakowa szybkość przy wszelkich obciążeniach, mały prąd w czasie biegu luzem, a głównie możność nastawienia na prąd zgodny w fa-

zie z napięciem $\cos\varphi = 1$., tak aby mniejszym prądem można wykonać tą samą pracę.

W ostatnich czasach zaczęto budować silniki synchroniczne, w których na elektromagnesach mamy pomocnicze uzwojenie, takie same jak w silnikach asynchronicznych opisanych dalej.

Takie pomocnicze uzwojenie umożliwia łatwy rozruch silnika i przy chwilowym przeciążeniu zabezpiecza od zatrzymania się.

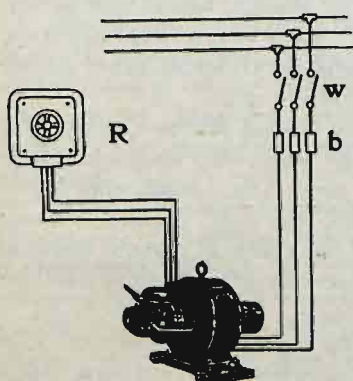
81. Asynchroniczne silniki trójfazowe.

Zasady ustroju.

Nieruchoma część silników asynchronicznych, czyli tak zwany stojan, zbudowana jest zupełnie tak samo, jak nieruchomy twornik prądnic prądu zmiennego. Część zaś ruchoma, czyli tak zwany wirnik, ma zupełnie inną budowę.

Rdzeń żelazny wirnika, w kształcie bębna, jest ułożony z krążków cienkiej blachy. Na rdzeniu znajduje się uzwojenie, zwarte lub połączone z pierścieniami ślizgowymi.

Prąd doprowadzamy z sieci tylko do uzwojenia stojana; w wirniku prąd powstaje przez indukcję.

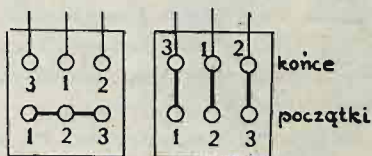


Rys. 213.

Gdy uzwojenie wirnika jest zwarte w sobie, to tylko końcówki uzwojenia stojana łączymy z przewodami zasilającymi przez topliwe bezpieczniki i wyłącznik trójbiegunowy. Jeżeli zaś mamy wirnik uzwojony z pierścieniami ślizgowymi, to uzwojenie stojana otrzymuje prąd z sieci przez wyłącznik *w* i bezpieczniki topliwe *b* rys. 213, a prąd indukowany w wirniku przepływa przez opornik *R*, który jest połączony z uzwojeniem

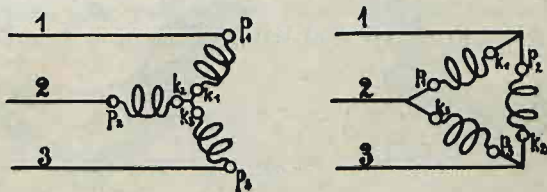
wirnika za pomocą pierścieni ślizgowych i szczotek. Opornik służy jako rozruchowy i regulacyjny, lub też tylko jako rozruchowy.

Końcówki uzwojeń stojana są wyprowadzane na zewnątrz i umieszczone na tabliczce izolacyjnej tak, jak wskazano na rys. 214. Tu widzimy również układ początków i końców zwojnic poszczególnych faz. W górnym szeregu mamy końce w kolejce: 3—1—2, a w dolnym szeregu — początki w kolejce 1—2—3. Układ ten przystosowany jest do łatwego łączenia w trójkąt lub gwiazdę. Na rys. 214 z lewej strony mamy połączenie w gwiazdę, a z prawej — w trójkąt, co wynika z porównania rys. 214 z rys. 215.



Rys. 214.

Najszersze zastosowanie mają silniki zbudowane na niskie napięcie prądu. Wtedy uzwojenie stojana bywa zazwyczaj przeznaczone dla podwójnego napięcia 127/220 woltów lub



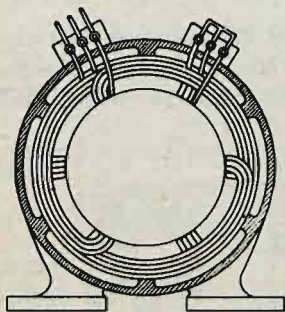
Rys. 215.

też 220/380 woltów. Niższe napięcia: 127 woltów pierwszego silnika i 220 drugiego stosują się przy połączeniu uzwojeń w trójkąt, a wyższe napięcia 220 woltów pierwszego i 380 woltów drugiego, przy połączeniu uzwojeń stojana w gwiazdę.

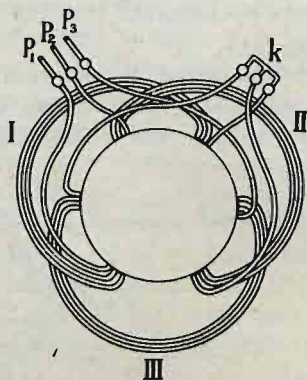
82. Strumień magnetyczny stojana w trójfazowym silniku asynchronicznym.

Najprostszy stojan ma trzy zwojnice, umieszczone w ten sposób, jak wskazano na rys. 216. Zwojnice te są nawinięte w żłobkach utworzonych na wewnętrznej powierzchni żelaznego pierścienia, rys. 219.

Poszczególne fazy mają po jednej zwojnicy, połączenie zwojnic pomiędzy sobą może być wykonane w trójkąt lub gwiazdę. Połączenie powyższych zwojnic w gwiazdę widzimy na rys. 217. Prąd doprowadzamy tu przewodami P_1 P_2 P_3 przez początki zwojnic, końce zaś łączymy razem łącznikiem k . Prąd zmienny przebiegający w zwojnicach, wywołuje zmienne strumienie magnetyczne. Na rys. 218 widzimy układ zwojów jednej zwojnicy. W niej prąd przebiega od końca k_1 do początku p_1 i wytwarza strumień magnetyczny w kierunku



Rys. 216.



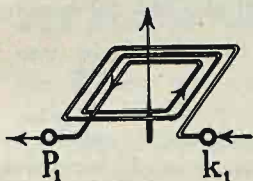
Rys. 217.

pionowej strzałki. Jeżeli prąd odwróci się, to odwróci się i kierunek strumienia magnetycznego. Gdy strumień magnetyczny ma kierunek, wskazany na rys. 218 to u dołu zwojnicy mamy biegun S , a u góry N .

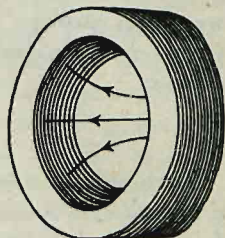
Mając na uwadze zależność kierunku strumienia magnetycznego, a więc i znaku biegunów od kierunku prądu w zwoj-

nicach poszczególnych faz, łatwo wyznaczmy położenie strumienia magnetycznego wewnątrz stojana.

Z rozdziału o prądzie trójfazowym wiemy, że kierunek i natężenie prądów w przewodach poszczególnych faz zmienia się kolejno stosownie do położenia linii falowych na rys. 167 i strzałek na rys. 175.

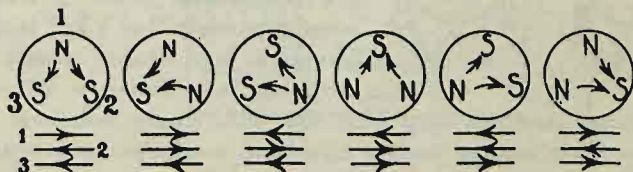


Rys. 218.



Rys. 219.

Gdy prąd wchodzi do silnika po przewodzie fazy 1-ej, a wychodzi po przewodach faz 2-ej i 3-ej, to prąd zwojniczy 1-ej wytwarza na wewnętrznej powierzchni stojana biegun północny, a prąd w zwojnicach 2-ej i 3-ej — bieguny południowe. Bieguny jednoimienne południowe znajdują się tuż obok siebie, więc tworzą one jeden szeroki biegun południowy. Na rys. 219 widzimy układ linii magnetycznych, przebie-



Rys. 220.

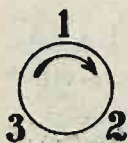
gających od bieguna północnego do południowego wewnątrz pierścienia stojana. Położenie biegunów a z nimi i linii magnetycznych zmienia się stopniowo tak, jak to wskazuje rys. 220.

Z kolejną zmianą kierunku prądów w poszczególnych fazach, strumień magnetyczny obraca się. W ciągu całego okresu prądu trójfazowego strumień magnetyczny obróci się około raz jeden.

Stąd wynika, że strumień magnetyczny dwubiegunowego stojana *) obraca się tyle razy na minutę, ile wypada na minutę okresów prądu. Np. jeżeli w uzwojeniach stojana przepływa prąd, którego liczba okresów na sekundę wynosi 50, to strumień magnetyczny wykonywa 3000 obrotów na minutę, ponieważ:

$$50 \times 60 = 3000.$$

Kierunek obrotu strumienia magnetycznego zależy od tego, w jakiej kolejności odbywają się zmiany prądu w zwojnicach różnych faz. Na rys. 220 widzimy, że strumień magnetyczny obraca się w kierunku ruchu wskazówek zegarka. Kolejność zwojnic, do których wchodzi prąd z przewodów, odpowiada tu porządkowi, wskazanemu na rys. 221, a największość prądu wpływającego do silnika, mamy najprzód w fazie 1-ej, potem w 2-ej, a następnie w 3-ciej.



Rys. 221.



Rys. 222.

Chcąc zmienić kierunek obrotu strumienia magnetycznego, wystarczy wymienić którekolwiek dwa przewody, doprowadzające prąd do silnika. Jeżeli np. wymienimy przewody 2-ej i 3-ej fazy, to zwojnica fazy drugiej stanie się zwojnicą fazy 3-ciej, a zwojnica fazy 3-ciej zwojnicą fazy 2-ej, rys. 222, wtedy kolejność faz na obwodzie stojana będzie odwrotna względem poprzedniej, a kolejność zmienności prądu zostanie taka sama, jak poprzednia, a więc znowu największość prądu, dopływającego będziemy mieli najprzód w fazie 1-ej, potem w 2-giej, a następnie w 3-ciej, skutkiem tego kierunek obrotu strumienia magne-

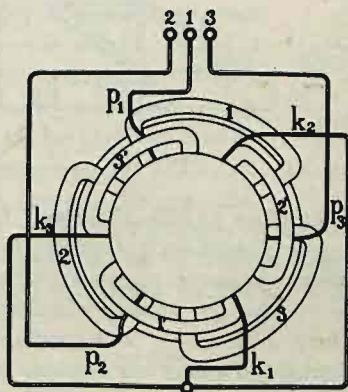
*) Albo jak inni mówią: pole magnetyczne dwubiegunowe.

tycznego wypadnie w stronę odwrotną względem ruchu wskazówek zegarka, jak to widzimy na rys. 222.

W podobny sposób łatwo przekonać się, że wymiana dowolnych dwóch przewodów, doprowadzających prąd do silnika, wywołuje odwrócenie kierunku obrotu strumienia magnetycznego.

Przyglądając się układowi linii magnetycznych na rys. 220, łatwo spostrzeżemy, że bieguny północny i południowy zajmują nierówne części pierścienia i kolejno to biegun północny, to południowy rozszerza się, gdy biegun przeciwny zwęża się. W celu uniknięcia takiej nierówności biegunów, odbijającej się niekorzystnie na biegu silnika, zamiast trzech zwojnic zwykle umieszczamy na stojanie sześć zwojnic.

Najczęściej stosujemy układ, wskazany na rys. 223. Zwojnice, jak zwykle, są nawinięte w żłobkach, utworzonych na

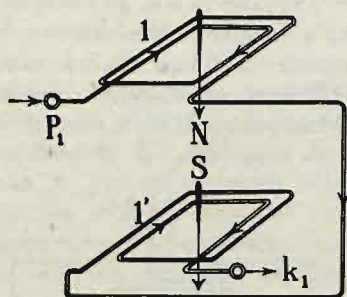


Rys. 223.

wewnętrznej powierzchni żelaznego pierścienia. Każda faza ma po dwie zwojnice, oznaczone liczbami: 1 i 1', 2 i 2', 3 i 3'. Połączenie zwojnic poszczególnych faz i kierunek zwojów wskazany jest na rys. 224 dla fazy 1-ej; w innych fazach połączenia są takie same. Dopływ prądu mamy przez początki

zwojnic p_1 , p_2 i p_3 , końce zaś zwojnic k_1 , k_2 i k_3 są połączone razem, rys. 223. Połączenie więc wykonano w gwiazdę.

Z rys. 224 widzimy, że gdy prąd wchodzi przez przewód pierwszej fazy, to na wewnętrznej, dolnej powierzchni zwojnicy 1-ej powstaje biegun północny, a na wewnętrznej górnej powierzchni zwojnicy 1' — biegun południowy. Gdyby prąd odpływał przez przewód fazy pierwszej, t. j. wychodził przez zacisk p_1 , to bieguny byłyby odwrotne. W innych fazach będzie to samo.

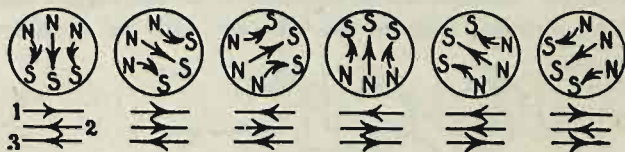


Rys. 224.

Mając na względzie zależność znaku biegunów od kierunku prądu w poszczególnych fazach, łatwo wyznaczmy położenie strumienia magnetycznego wewnątrz stojana. Gdy prąd wchodzi do silnika po przewodzie fazy 1-ej, a wychodzi po przewodach fazy 2-ej i 3-ej, to zwojnice 1, 2' i 3' wytwarzają na wewnętrznej powierzchni stojana bieguny północne, a zwojnice 1', 2 i 3 bieguny południowe. Bieguny jednoimienne znajdują się obok siebie, więc mamy ostatecznie jeden szeroki biegun północny i jeden szeroki biegun południowy. Strumień magnetyczny jest tu dwubiegunowy.

Odpowiednio do zmian w prądzie, bieguny stopniowo przesuwają się po obwodzie pierścienia, jak to wskazuje rys. 225. Z kolejną zmianą kierunku prądów w poszczególnych fazach strumień magnetyczny obraca się i po upływie

całego okresu prądu trójfazowego strumień magnetyczny obróci się jeden raz wokół. Wic, gdy prąd zasilający stojan, ma częstotliwość 50, to strumień magnetyczny wykonywa 3000 obrotów na minutę.



Rys. 225.

Kierunek obrotu strumienia jest tu przeciwny kierunkowi ruchu wskazówek zegarka. Chcąc zmienić kierunek obrotu strumienia magnetycznego, wystarczy wymienić którekolwiek dwa przewody, doprowadzające prąd do silnika, ponieważ wtedy odwróci się kolejność zwojnic faz 1, 2 i 3-ciej. Jeżeli np. wymienimy przewody pierwszej i trzeciej tazy, to zamiast układu zwojnic, wskazanego na rys. 223 i 226, otrzymamy układ, podany na rys. 227.



Rys. 226.



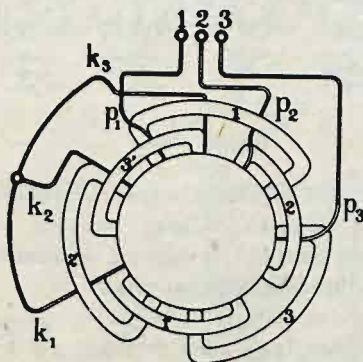
Rys. 227.

Zwracając uwagę tylko na zwojnice oznaczone liczbami bez kresek, widzimy wyraźnie, że w drugim przypadku kolejność zwojnic 1, 2 i 3 jest odwrotna względem kolejności w przypadku pierwszym.

Zmieniając połączenie zwojnic w stojanie, możemy przy sześciu zwojnicach otrzymać strumień magnetyczny czterobiegunowy.

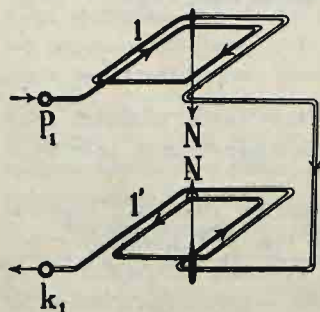
Na rys. 228 wskazane jest połączenie zwojnic z przewodami, doprowadzającymi prąd, a na rys. 229 połączenie pomiędzy sobą zwojnic jednej fazy. Z rysunku 228 widzimy, że zwojnice są połączone, jak poprzednio, w gwiazdę, tylko teraz w innych miejscach doprowadzamy prąd do zwojnic.

Porównyując rysunek 229 z 224, spostrzeżemy, że w zwojnicy 1' prąd został odwrócony i skutkiem tego odwróciły się linie magnetyczne. Teraz obie zwojnice wytwarzają wewnątrz pierścienia stojana bieguny jednakowe np. oba północne, a po odwróceniu prądu — oba południowe. Tak jak zwojnice pierwszej fazy na rys. 229 zwinięte są i połączone



Rys. 228.

zwojnice innych faz 2 i 2', a także 3 i 3'. Przy kolejnej zmianie kierunku prądów w poszczególnych fazach w ciągu jednego okresu, strumień magnetyczny przybiera kolejno postać, wskazano na rys. 230. Na tym rysunku widzimy, że gdy



Rys. 229.

biegun północny jest pojedynczy, to południowy — podwójny i odwrotnie: gdy północny podwójny, to południowy pojedynczy. Dwa bieguny jednoimienne, leżące obok siebie, stanowią właściwie jeden szeroki biegun, mamy więc tu wokoło pierścienia ogółem tylko cztery bieguny i strumień magnetyczny przebiega po czterech niezależnych obwodach. Z szeregu następujących po sobie

układów linii magnetycznych na rys. 230 wypada, że strumień magnetyczny w ciągu jednego okresu prądu wykonywa pół obrotu w kierunku ruchu wskazówek zegarka.

Kierunek obrotu strumienia magnetycznego możemy tu również odwrócić, wymieniając dwa przewody, doprowadzające prąd w jakichkolwiek dwóch fazach.



Rys. 230.

W podobny sposób, stosując większą liczbę zwojnic, możemy otrzymać strumień magnetyczny sześciobiegunowy, ośmiobiegunowy i t. d.

Liczba obrotów na minutę takiego strumienia równa jest ogólnie:

$$\frac{\text{częstotliwość prądu} \times 60}{\text{liczba par biegunów}},$$

albo wzorem literowym:

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

Np. przy częstotliwości — 50 w 12-biegunowym stojanie, liczba obrotów strumienia magnetycznego na minutę wyniesie:*)

$$n = \frac{50 \times 60}{6} = 500.$$

Na podstawie tego wzoru łatwo obliczyć liczby obrotów strumienia magnetycznego dla całego szeregu silników. Zestawienie podajemy w tablicy na następnej stronie, tu p — liczbą par biegunów strumienia magnetycznego stojana, n — liczbą obrotów strumienia na minutę.

*) Przy 12-tu biegunach liczba par biegunów jest — 6.

p	n
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500

83. Wirnik klatkowy silnika asynchronicznego trójfazowego.

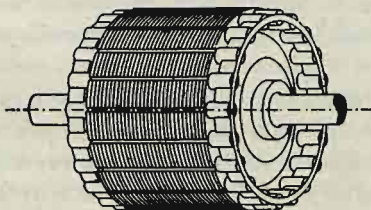
Rozważmy teraz szczegóły budowy wirnika, który umieszczamy wewnątrz stojana. Najprostszy wirnik widzimy na rys. 231. Na wale silnika mamy mocno osadzony walec żelazny, utworzony z krążków, wyciętych z cienkiej blachy żelaznej, oklejonej papierem, albo lakierowanej w celu zmniejszenia prądów wirowych. W tym walcu, w pobliżu obwodu, znajdują się otwory, przez które przetknięto pręty miedziane, połączone pomiędzy sobą miedzianymi pierścieniami. Do tych pierścieni pręty są przynitowane. Rdzeń żelazny wirnika zmniejsza opór obwodu magnetycznego, umożliwiając powstawanie silnego strumienia magnetycznego. W tym też celu walec żelazny wirnika musi mieć taką średnicę, aby pomiędzy wirnikiem i stojanem pozostawała tylko jaknajwęższa szczelina, wynosząca w małych silnikach drobne części milimetra, w większych około milimetra.

Silniki, w których wirnik ma pręty miedziane, połączone za pomocą pierścieni, nazywamy silnikami zwartymi, a wirniki klatkowymi.

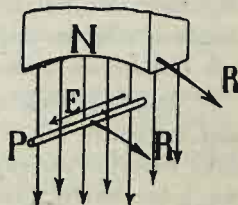
Powstawanie siły obrotowej w silniku asynchronicznym tłumaczymy sobie w sposób następujący.

Założmy narazie, że silnik jest nieruchomy. Gdy puścimy prąd do stojana, to powstanie strumień magnetyczny wirujący. Linje tego strumienia, znajdujące się w ruchu, przecinają

pręty miedziane wirnika i wywołują w nich prądy indukcyjne. Wystawmy sobie, że z biegunem N linie magnetyczne, poruszają się w kierunku strzałki R , rys. 232, wtedy pręt P przecina linie magnetyczne i według reguły prawej ręki (rys. 80) w tym przecie powstaje siła elektromotoryczna w kierunku strzałki E . Tu prawą dłoń układamy w kierunku pręta P , wewnętrzną powierzchnią dłoni do góry, skierowując duży palec w stronę odwrotną względem strzałki R , ponieważ, przy ruchu linii magnetycznych w kierunku strzałki R , pręt P jak gdyby przesuwają się względem linii magnetycznych w kierunku odwrotnym. Złożone palce wskażą kierunek siły elektromotorycznej— E .



Rys. 231.



Rys. 232.

Pod wpływem siły elektromotorycznej, wzbudzonej liniami magnetycznymi, w przecie P powstaje prąd w kierunku strzałki E .

Według reguły lewej ręki strumień magnetyczny ciągnie pręty z prądem w kierunku strzałki R' , rys. 232, t. j. w tę samą stronę, w którą posuwają się linie magnetyczne, czyli, innymi słowy, wirujący strumień magnetyczny pociąga za sobą wirnik silnika, gdy w nim są prądy indukowane.

Jeżeli silnik biegnie luzem, bez obciążenia, wtedy silnik ma do pokonania głównie niewielki opór tarcia w łożyskach, więc pod wpływem wirującego strumienia magnetycznego przyspiesza bieg i wreszcie liczba obrotów wirnika na minutę staje się prawie równą liczbie obrotów na minutę strumienia magnetycznego. Wirnik nie może obracać się tak samo szybko, jak strumień magnetyczny, gdyż w razie jednakowej szybkości biegu wirnika i strumienia, linie magnetyczne i pręty

miedziane biegną obok siebie zawsze w jednakowym położeniu. W takich warunkach linje magnetyczne, oczywiście nie przecinają prętów wirnika, prąd indukcyjny nie powstaje, niema więc i sił, poruszających wirnik, gdyż strumień magnetyczny pociąga za sobą tylko przewodniki z prądem elektrycznym.

Przy obciążeniu, szybkość ruchu wirnika zmniejsza się i wirnik pozostaje w tyle za strumieniem magnetycznym, którego bieg jest zawsze jednostajny. W tych warunkach więcej linji magnetycznych przetnie w ciągu sekundy pręty wirnika i skutkiem tego powstanie w nich prąd indukcyjny większy. Strumień magnetyczny ciągnie za sobą pręty wirnika z tem większą siłą im większy w nich jest prąd i w ten sposób silnik pokonywa opór większego obciążenia.

Jeżeli jednak zwiększyć obciążenie nadmiernie np. o tyle aby szybkość biegu silnika zmniejszyła się np. do połowy to przy dalszym zwiększaniu obciążenia silnik odrazu zatrzymuje się, gdyż wtedy przez nadmierne prądy indukcyjne w wirniku strumień magnetyczny osłabia się znacznie. Zwykle pełne obciążenie, dla którego silnik jest zbudowany, zmniejsza szybkość biegu zaledwie o kilka procentów.

Np. silnik, który biegnie luzem z szybkością, wynoszącą prawie 1500 obrotów na minutę, przy pełnem obciążeniu wykonywa 1425 obrotów na minutę. Różnica stanowi tu zaledwie 5%.

Szybkość biegu silników asynchronicznych porównujemy zwykle z szybkością wirowania strumienia magnetycznego. Różnicę pomiędzy liczbą obrotów strumienia magnetycznego na minutę i liczbą obrotów silnika na minutę nazywamy **poślizgiem**.

W powyższym przypadku, gdzie strumień magnetyczny wykonywa 1500 obrotów na minutę, a silnik 1425, poślizg wynosi:

$$1500 - 1425 = 65.$$

Czyli w procentach od 1500 mamy poślizg 5%.

W biegu luzem poślizg zwykle nie jest większy od 1%.

Stąd, że wirnik obraca się wolniej od strumienia magnetycznego, pochodzi nazwa tych silników — nienadążne, albo **asynchroniczne**, co znaczy niejednoczesne.

Prąd w uzwojeniach stojana zależy do obciążenia. Tak, jak w silnikach prądu stałego, mamy w tych uzwojeniach siłę elektromotoryczną, która powstrzymuje dopływ prądu. Siła elektromotoryczna, w uzwojeniach silnika powstaje skutkiem przecinania tych zwojów przez linie magnetyczne strumienia wirującego. Największą siłę elektromotoryczną mamy wtedy, gdy silnik biegnie luzem; przy obciążeniu zwiększa się prąd w przewodnikach wirnika i osłabia magnetyczny strumień wirujący, skutkiem tego zmniejsza się siła elektromotoryczna, powstrzymującą dopływ prądu do stojana i przez to ten prąd rośnie.

Najmniejszy prąd płynie do uzwojeń stojana przy biegu silnika luzem, a przy obciążeniu stopniowo wzrasta. W silnikach o mocy kilku kilowatów prąd w stojanie przy biegu luzem wynosi około 40% prądu pełnego obciążenia.

Np. silnik o mocy 4,4 kilowatów przy 214 woltach i pełnem obciążeniu bierze 17 amperów prądu, a w czasie biegu luzem 6,5 ampera, co od 17 stanowi — 38,2%.

Inaczej zachowuje się silnik prądu stałego. Silnik boczniowy tej samej mocy, zasilany prądem stałym, bierze w czasie biegu luzem zaledwie 18% prądu pełnego obciążenia.

Poza tem należy mieć na względzie, że przy biegu luzem prąd, płynący do stojana silników asynchronicznych, spóźnia się bardzo znacznie w fazie względem napięcia, skutkiem czego współczynnik mocy tego prądu jest mały. Np. w powyższym silniku współczynnik mocy, w czasie biegu luzem, wynosi 0,2, tak, że nie bacząc na duży prąd pobierany przez silnik, moc tego prądu jest mała:

$$P = 1,73 \cdot 214 \cdot 6,5 \cdot 0,2 = 0,481 \text{ kilowata,}$$

co stanowi koło 11% pełnej mocy.

Przy zwiększaniu obciążenia, stopniowo zmniejsza się różnica faz prądu i napięcia, nigdy jednak prąd i napięcie

nie mają faz zupełnie zgodnych. W powyższym silniku przy pełnem obciążeniu współczynnik mocy wynosi około 0,86.

Największe obciążenie silnika asynchronicznego ograniczone jest głównie prądem w stanie. Pełnem obciążeniem nazywamy takie największe obciążenie, przy którym stojan i wirnik nie grzeją się jeszcze niebezpiecznie nawet przy najdłuższym biegu.

Silniki, odpowiednio zbudowane, mogą bez uszkodzenia pracować przez pół godziny przy przeciążeniu 25%, a przez trzy minuty nawet przy przeciążeniu 40% od pełnego.

84. Rozruch i regulacja obrotów silników z wirnikiem klatkowym.

Jeżeli uzwojenie stojana łączyć ze źródłem prądu wprost za pomocą zwykłego przerywacza, to, w chwili puszczenia w ruch silników z wirnikiem zwartym, natężenie prądu w stanie przewyższa wielokrotnie natężenie prądu przy pełnem obciążeniu.

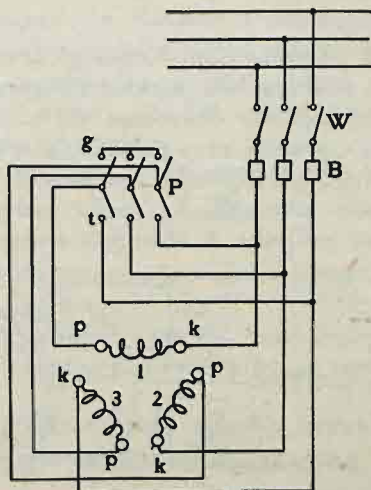
Zbyt silny prąd może uszkodzić uzwojenie silnika, a zarazem jest on nieporządkany w przewodach, doprowadzających prąd, ponieważ przy silnym prądzie zachodzi wielka strata napięcia, a wtedy inne przyrządy, zasilane z tych samych przewodów, będą otrzymywały prąd nie odpowiedni, zbyt niskiego napięcia. Lampy, przyłączone do takich przewodów, migają przy puszczeniu w ruch silników. Z tego względu tylko małe silniki, np. do 1 kilowata, włączamy wprost za pomocą przerywacza na przewody, doprowadzające prąd.

Przy większych silnikach stosujemy różne urządzenia w celu zmniejszenia prądu rozruchowego.

Silniki od 1 do 2 kilowatów włączamy najczęściej za pomocą przełącznika — gwiazda-trójkąt. Przełącznik ten przy jednym położeniu przełącznika łączy uzwojenia stojana w gwiazdę, a przy drugim w trójkąt.

Na rys. 233 podajemy układ połączeń uzwojenia stojana z przełącznikiem i przewodami, doprowadzającymi prąd do silnika.

Przy puszczeniu silnika w ruch, po włączeniu wyłącznika *W*, przełącznik *P* stawiamy przedewszystkiem na kontakty *g*, łączące uzwojenia w gwiazdę, a następnie na kontakty *t*, łączące uzwojenia w trójkąt.



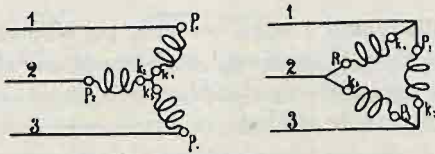
Rys. 233.

Porównywując połączenie w trójkąt z połączeniem w gwiazdę, rys. 234, łatwo spostrzec, że przy połączeniu w gwiazdę na jedną fazę przypada mniej woltów. Napięcie międzyprzewodowe, np. 220 woltów, przy połączeniu w gwiazdę, rozdzieli się na dwie fazy, a więc na każdą z faz przypadnie wówczas według reguły, podanej w rozdziale 63-ym:

$$220 : 1,73 = 127 \text{ V.}$$

Przy połączeniu w trójkąt zaś całe napięcie międzyprzewodowe przypada na uzwojenie jednej fazy.

Przy połączeniu w gwiazdę, odpowiednio do mniejszego napięcia, mniejszy prąd popłynie do stojana.

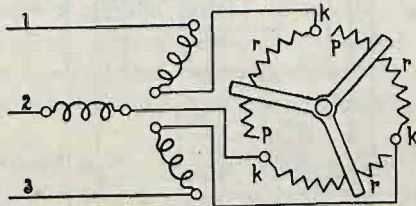


Rys. 234.

Gdy silnik nabierze odpowiedniego biegu i w jego zwojach powstanie większa siła elektromotoryczna, przełączamy uzwojenie na trójkąt, nie obawiając się zbyt silnego prądu.

Jeżeli silnik pracuje przy połączeniu w gwiazdę, to oczywiście powyższego przełącznika zastosować nie możemy.

Inny sposób zmniejszenia prądu rozruchowego polega na zastosowaniu opornika w obwodzie stojana rys. 235.



Rys. 235.

Silnik pracuje tu przy połączeniu w gwiazdę. Uzwojenia stojana połączone są z jednej strony bezpośrednio z przewodami, doprowadzającymi prąd do silnika, a z drugiej—z opornikiem, utworzonym z trzech gałęzi r, r, r . Po kontaktach tego opornika przesuwają się trzy ręczki, połączone razem. Gdy silnik rusza, łapki ręczek stoją na kontaktach p, p, p . Następnie, w miarę tego jak silnik przyspiesza biegu, przesuwamy łapki i zmniejszamy opory. Pełny bieg osiąga silnik dopiero wtedy, gdy łapki opornika stoją na kontaktach k, k, k .

Oba przytoczone tu sposoby zmniejszania prądu rozruchowego mogą być stosowane tylko wtedy, gdy silnik rusza

prawie bez obciążenia, ponieważ w obu przypadkach, czy to przez połączenie w gwiazdę silnika, zbudowanego dla pracy w trójkąt, czy też przez wprowadzenie oporników w obwód stojana, zawsze zmniejszamy strumień magnetyczny silnika, a skutkiem tego w znacznym stopniu słabnie jego siła rozruchowa.

Regulacja szybkości biegu silnika z wirnikiem klatkowym odbywać się może tylko za pomocą oporników w obwodzie stojana, albo też przez zmianę szybkości wirowania pola magnetycznego stojana. Zmianę tę uskutecznić można dwoma sposobami: można zmienić liczbę biegunów, powstających na wewnętrznej powierzchni stojana, przez zmianę układu połączeń uzwojeń stojana, lub też zmienić częstotliwość prądu dopływającego do stojana.

Wtedy jak wiadomo z rozważań § 82 i wzoru:

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

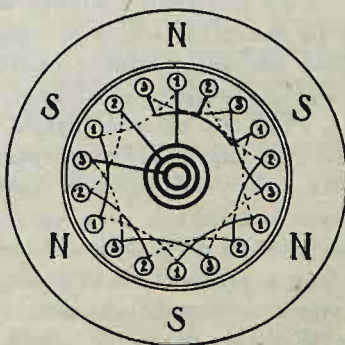
szybkość wirowania strumienia magnetycznego stojana ulega zmianie.

Liczby par biegunów mogą być tylko 1—2—3 i t. d., a więc zmiana liczby biegunów pozwala tylko na regulację skokami.

85. Wirnik trójfazowego silnika asynchronicznego z pierścieniami ślizgowymi.

W celu zachowania przy rozruchu siły obrotowej, a nawet jej zwiększenia, pozostawiamy zwyczajne uzwojenie stojana, połączone z przewodami zapomocą zwykłego przerywacza trójbiegunowego, stosujemy zaś inny wirnik, mianowicie wirnik uzwojony, z pierścieniami.

W wirnikach z pierścieniami zamiast prętów połączo-

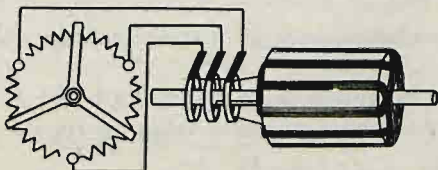


Rys. 236.

nych między sobą obręczkami, nawijamy na bębnie żelaznym wirnika druty według tej samej zasady, jak na stojanie, aby prąd, wzniecony w tych zwojnicach, wytworzył strumień magnetyczny o tej samej liczbie biegunów, co prąd w stojanie.

Na rys. 236 widzimy sześciobiegunowe uzwojenie wirnika. Druty odpowiednich faz są oznaczone liczbami. Połączenia z przodu wskazane linjami ciągłymi, a z tyłu przerywanymi. Pomiędzy sobą uzwojenia faz są połączone w gwiazdę. Prąd z wirnika odprowadzamy przez pierścienie izolowane, umieszczone na wale tak, jak to widzimy na rys. 237. Do pierścieni dotykają nieruchome szczotki, które w czasie ruchu twornika ślizgają się po tych pierścieniach.

Szczotki są połączone z potrójnym opornikiem, zaopatrzonym w trzy złączone razem ręczki. Na ręczkach umocowane są łapki, które ślizgają się po kontaktach opornika.



Rys. 237.

Przy puszczeniu silnika w ruch ustawiamy łapki na początku opornika, wtedy w obwodzie wirnika w każdej fazie będzie włączony jeden z oporów. Skutkiem tego w zwojach wirnika powstaje prąd słabszy, niż wtedy, gdyby oporów nie było. Prąd ten niewiele osłabi strumień magnetyczny stojana i przez to siła elektromotoryczna w jego zwojach będzie dość wielka, aby nie wpuścić zbyt dużego prądu do stojana. W tych warunkach przy dość silnym prądzie w wirniku będziemy mieli duży strumień magnetyczny, prawie zgodny co do fazy z prądem wirnika, skutkiem czego otrzymamy znaczną siłę obrotową silnika przy ruszaniu.

W miarę tego, jak silnik przyspiesza bieg wyłączamy stopniowo opory z obwodu wirnika, przesuwając ręczki. Silnik

osiągnie właściwą szybkość ostatecznie wtedy, gdy łapki będą stały na kontaktach, połączonych ze szczotkami. Na tych kontaktach rączki zwierają szczotki krótko.

W celu zaoszczędzenia szczotek i pierścieni zaopatrujemy nieraz te silniki w przyrządy, zwierające krótko pierścienie.

Rączka przesuwająca łapki takiego zwieracza, jednocześnie podnosi szczotki, które przestają się trzeć o pierścienie: w czasie pracy silnika obwody wszystkich faz wirnika są krótkozwarte i tylko na czas rozruchu szczotki dotykają do pierścieni i łączą uzwojenie wirnika z opornikiem. Gdy rozruch się skończył, t. j. silnik biegnie z pełną szybkością, zwieramy krótko pierścienie i podnosimy szczotki.

Za pomocą opornika w obwodzie wirnikowym możemy zmniejszać szybkość biegu silników asynchronicznych. Im większy opór wprowadzimy w obwód wirnika, tem wolniej obracać się będzie silnik.

Oporniki do nastawiania biegu silnika muszą mieć druty dość grube, aby silny prąd, przepływając przez długi czas po drutach opornika, nie rozgrzał ich zbyt mocno.

Oporników rozruchowych nie należy używać do nastawiania biegu silnika, ponieważ mają one druty zbyt cienkie, które mogłyby się przepalić.

Sposób zmniejszania szybkości biegu silnika przez wprowadzenie oporu do obwodu wirnika nie jest oszczędny. Jeżeli chcemy zmniejszyć szybkość silnika o pewien procent, to taki sam procent pracy prądu, dostarczonej do silnika, wypada stracić w postaci ciepła, wywiązującego się w oporniku.

Należy również mieć na uwadze, że za pomocą opornika nie możemy zwiększyć szybkości biegu silnika.

Przy rozruchu można stosować w obwodzie wirnika, zamiast oporników, przełączniki samoczynne. Wtedy uzwojenie każdej fazy w wirniku dzielimy na dwie części, w których siły elektromotoryczne różnej wielkości, działające w szereg, są skierowane w strony przeciwne i przez to częściowo się znoszą.

Kiedy szybkość biegu silnika już niewiele się różni od właściwej danemu silnikowi, to odpowiedni przełącznik samoczynny przełącza uzwojenia. W uzwojeniu wirnika powstają wtedy nowe obwody, w których powyższe siły elektromotoryczne działają równolegle i wywołują właściwe im prądy.

Taki przełącznik samoczynny, umieszczony na końcu wału silnika i obracający się z nim razem, ma w skrzynce dwa ciężarki, utrzymywane w pewnem położeniu zapomocą sprężyny. Przy odpowiedniej szybkości obrotu ciężarki, kręcąc się razem z wałem, odskakują, rozciągając sprężynę, i przesuwają wtedy drążek przełącznika wirnikowego.

Mając różne sposoby stopniowego rozruchu silnika asynchronicznego nie mamy dobrego sposobu zmiany szybkości biegu.

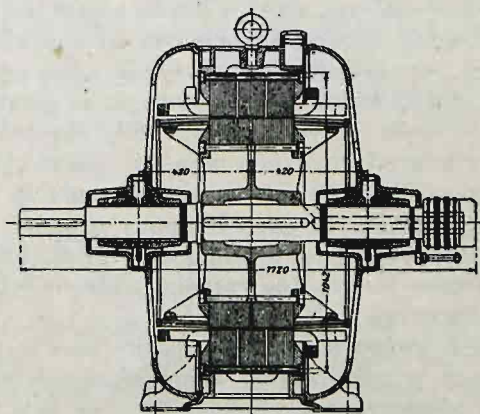
Poza rozrzutnym sposobem zmniejszania szybkości biegu przez włączanie oporów do wirnika, można przełączając uzwojenia stojana, zmieniać liczbę biegunów. Przy zmniejszeniu liczby biegunów szybkość wzrasta, a przy zwiększaniu zmniejsza się, zawsze jednak skokami. Pozatem silniki takie mają tę wadę, że muszą być zaopatrzone w wielokontaktowe, złożone przełączniki.

Przy porównywaniu z silnikami prądu stałego, silniki asynchroniczne mają tę zaletę, że mogą być łatwo zbudowane na prąd wysokiego napięcia, który ma zastosowanie przy urządzeniach elektrycznych, rozprawdzających prąd na znaczne odległości. Nieruchome uzwojenia i zaciski stojana łatwo jest zabezpieczyć w ten sposób, aby były niedostępne. Pamiętać należy, że dotknięcie do przewodów wysokiego napięcia może przyprowadzić o śmierć.

Poważną zaletą silników asynchronicznych jest prosta budowa. Pierścienie zużywają się znacznie mniej od kolektora, szczególnie, gdy jest urządzenie do podnoszenia szczotek przy równoczesnem krótkiem zwarcu pierścieni, łatwiejszą jest również obsługa takich silników.

Wadę silników asynchronicznych stanowi różnica faz napięcia i prądu, skutkiem której prąd niema pełnej mocy, odpowiadającej jego natężeniu.

Na rys. 238 mamy przekrój dużego silnika asynchronicznego z pierścieniami. W lanym kadłubie jest umocowany duży pierścień, ułożony z paczek blachy żelaznej; w pierścieniu tym od strony wewnętrznej są żłobki, w których znajduje się uzwojenie z drutu. Wirnik stanowi koło lane, na obwodzie którego jest również umocowany pierścień z paczek blachy żelaznej; na zewnętrznym obwodzie tego pierścienia w odpowiednich żłobkach osadzone są pręty miedziane, stanowiące uzwojenie wirnika, pręty te przez otwór wału mają połączenie z mosiężnymi pierścieniami, umocowanymi na wale.

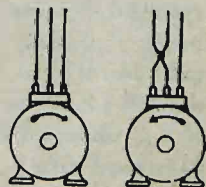


Rys. 238.

86. Zmiana kierunku wirowania trójfazowego silnika asynchronicznego.

Kierunek obrotu silnika asynchronicznego zależy od kierunku obrotu strumienia magnetycznego, wytworzonego prądami w stojanie.

Z poprzednich rozważań wiemy, że dla odwrócenia kierunku obrotu strumienia magnetycznego wystarczy wymienić dwa dowolne druty, doprowadzające prąd do silnika.



Rys. 239. Rys. 240.

Jeżeli więc przy połączeniu wskazanem na rys. 239, silnik obraca się w kierunku ruchu wskazówek zegarka, to przy połączeniu na rys. 240 obracać się będzie w stronę przeciwną.

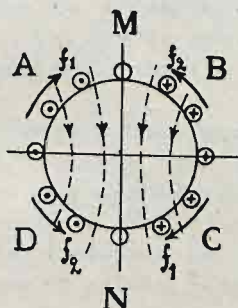
87. Silniki asynchroniczne jednofazowe.

Jeżeli przerwać połączenie jednego z trzech drutów silnika trójfazowego asynchronicznego, znajdującego się w biegu, to silnik będzie dalej i wykonywał pracę, biorąc jednak znacznie silniejszy prąd z przewodów. W takim przypadku prąd płynie tylko przez przewody dwóch faz; nazywamy go jednak prądem jednofazowym, gdyż w każdej chwili jest on jednako-
wy w obu drutach. Silnik pracuje w tym razie jako jednofazowy.

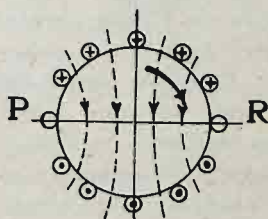
Gdy po zatrzymaniu spróbujemy taki silnik puścić w ruch, zamykając obwód prądu jednofazowego, to przekonamy się, że silnik nie może ruszyć z miejsca. Siły obrotowe, działające na druty z prądem wzniesionym w wirniku, mają różne kierunki i skutkiem tego znoszą się. Wypada to z następującego rozumowania. Na rys. 241 mamy strumień magnetyczny silnika jednofazowego, przenikający wirnik, którego uzwojenie jest krótko zwarte, (na rysunku widzimy tylko przekrój poprzeczny drutów).

Strumień magnetyczny jest zmienny, więc wzniesie w prętach stojącego wirnika prądy, zamykające się w obwodach, leżących w płaszczyznach prostopadłych do linii magnetycznych i obejmujących strumień magnetyczny, gdyż w tych właśnie obwodach liczba objętych przez nie linii magnetycznych zmienia się. W pewnej chwili wszystkie druty na prawo od linii MN będą miały prądy płynące wgłąb rysunku, a wszystkie druty na lewo od linii MN prądy idące z głębi rysunku do nas. Siły działania strumienia magnetycznego na pręty z prądem będą miały kierunki wyznaczone według reguły lewej ręki i wskazane na rys. 241 strzałkami. Jeżeli podzielić wirnik na ćwiartki, to widzimy, że siły f_1 w ćwiartkach A i C obracają wirnik w kierunku ruchu wskazówek zegara, natomiast siły f_2 w ćwiartkach B i D obracają wirnik w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegarka.

Układ tych sił jest zupełnie symetryczny tak, że suma momentów sił skierowanych w jedną stronę jest równa sumie momentów sił skierowanych w stronę przeciwną, więc ostatecznie działanie tych sił znosi się i wirnik z miejsca nie ruszy. Jeżeli jednak wirnik silnika jednofazowego wprowadzimy w ruch nieraz nawet powolny np. ręką, to przy niezbyt wiel-



Rys. 241.



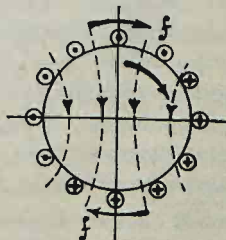
Rys. 242.

kich oporach, hamujących bieg silnika, wirnik sam dalej nabiera szybkiego biegu. Własność tą silnika jednofazowego można wyjaśnić w następujący sposób.

Gdy wirnik krótko zwarty zaczniemy obracać w polu magnetycznym, to w nim powstaną siły elektromotoryczne jak w zwykłej prądniccy, według reguły prawej dłoni.

Kierunek tych sił elektromotorycznych jest wskazany na rys. 242. Tu w górnej połowie wirnika od linii PR mamy siły elektromotoryczne skierowane w głąb rysunku, a w dolnej połowie z głębi rysunku do nas.

Te nowe siły elektromotoryczne, łącznie z poprzednimi siłami elektromotorycznymi i zmienionymi warunkami powstawania prądów sprawiają, że może wytworzyć się układ prądów wskazany na rys. 243. Badając kierunek sił działających od strumienia magnetycznego na pręty wirnika z prądem łatwo przekonać się, że i tu nie wszystkie siły



Rys. 243.

obrotowe są skierowane w tę samą stronę, jednak przeważają te, które obracają wirnik w tą stronę w jaką go pokręciliśmy początkowo.

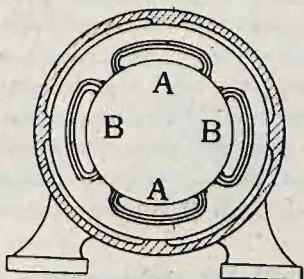
Jeżeli zakręcimy wirnikiem dość szybko w stronę przeciwną, to siły elektromotoryczne indukowane odwrócą się; zmieniają się warunki powstawania prądów i prądy w prętach wirnika przybiorą taki kierunek, że siły działające od strumienia magnetycznego na wirnik wskazane na rys. 243 odwrócą się i będą obracać wirnik znowu w tą stronę, w którą został początkowo pokręcony.

Kierunek biegu silnika jednofazowego zależy więc tylko od tego, w którą stronę go pokręcimy przy rozruchu. Im większe opory mechaniczne silnik ma do pokonania przy ruszaniu, tem większą szybkość należy nadać wirnikowi silnika. W każdym razie jednak niema potrzeby, jak w silnikach synchronicznych, doprowadzać prędkość obrotu wirnika do synchronizmu z prądem zasilającym.

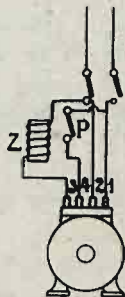
Dla ułatwienia rozruchu silniki jednofazowe zaopatrują się w uzwojenia pomocnicze na stojanie. Przy strumieniu magnetycznem dwubiegunowym, układ uzwojeń głównych i pomocniczych wskazany jest na rys. 244 tu $A - A$ — uzwojenie główne $B - B$ uzwojenie pomocnicze. *) Końce tych uzwojeń wyprowadzamy do czterech zacisków rys. 245. Zaciski 1 i 2 uzwojenia głównego łączymy bezpośrednio przez przerywacz ze źródłem prądu. Zaciski zaś 3 i 4 uzwojenia pomocniczego otrzymują prąd z przewodów głównych przez przerywacz P i zwojnicę indukcyjną, czyli dławik Z . Skutkiem wpływu tej zwojnicy, w której powstaje siła elektromotoryczna samoindukcji, prąd w obwodzie pomocniczym jest znacznie więcej opóźniony w fazie względem napięcia, niż prąd w zwojach głównych. Pomiedzy prądem głównym, a pomocniczym mamy więc różnicę faz i bieguny na wewnętrznej powierzchni stojana powstają na zwojnicach $B B$ rys. 244 z pewnem opóź-

*) Zwykle uwojenia A i B zachodzą jedno na drugie, krzyżują się tu dla wyrazistości rysunku cewki pokazano zwięzione.

nieniem względem zwojnic $A A$, w ten sposób bieguny zmiennego natężenia wędrują po wewnętrznej powierzchni pierścienia stojana, wywołując strumień magnetyczny wirujący, który



Rys. 244.



Rys. 245.

pociąga za sobą wirnik jak w silnikach trójfazowych, gdyż budowa wirnika w silnikach jednofazowych i trójfazowych jest jednakowa.

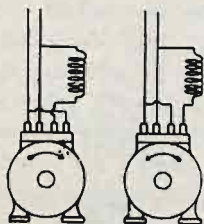
Gdy silnik osiągnął właściwą mu szybkość, przerywacz P otwieramy i wtedy silnik pracuje tylko prądem głównym.

Siła obrotowa takiego silnika jednofazowego przy ruszaniu jest niewielka; ze względu na to taki silnik można puszczać w ruch tylko luzem, lub przy małym obciążeniu.

Przy powiększaniu obciążenia silników jednofazowych, szybkość ich biegu zmniejsza się więcej, niż silników trójfazowych. Wymiary silnika jednofazowego są większe, niż silnika trójfazowego przy tej samej mocy. Silniki jednofazowe stosują się rzadko.

Czasem jednak, mając nawet źródło prądu trójfazowego, ustawiamy silnik jednofazowy, aby uniknąć prowadzenia trzech przewodów. Gdy silnik jest bardzo mały, np. w zastosowaniu do wentylatorów i t. p., uzwojenie pomocnicze jest najczęściej stale włączone w obwód. Różnica faz głównego i pomocniczego prądu osiąga się tu przez odpowiedni układ zwojów

i ich liczbę; w tych warunkach w jednym uzwojeniu powstaje większa siła elektromotoryczna, niż w drugim. Puszczamy w ruch i zatrzymujemy takie silniki za pomocą zwykłego przerywacza.



Rys. 246.

Kierunek biegu silnika z uzwojeniem pomocniczym możemy odwrócić, wymieniając druty, doprowadzające prąd do pomocniczych albo też do głównych uzwojeń. Na rys. 246 wskazana jest zmiana układu połączeń przy odwróceniu kierunku biegu, przez wymianę drutów, prowadzących prąd do uzwojeń pomocniczych

88. Komutatorowe silniki szeregowe.

Odpowiednio zbudowany silnik prądu stałego z kolektorem obraca się również pod wpływem prądu zmiennego. Przy jednoczesnej zmianie kierunku prądu w tworniku i w uzwojeniu elektromagnesów kierunek siły obrotowej, działającej na przewodniki twornika pozostaje zawsze ten sam.

Elektromagnesy silników kolektorowych budują się tak, jak stojany silników trójfazowych, w kształcie pierścieni, ułożonych z cienkiej blachy żelaznej, izolowanej w celu zmniejszenia strat na prądy wirowe i histerezę. Uzwojenie jednak wykonywamy inaczej, oczywiście w ten sposób, aby otrzymać odpowiednią liczbę biegunów.

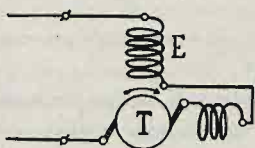
Twornik z kolektorem, stanowiący wirnik silnika budujemy zupełnie tak samo, jak do prądu stałego.

W celu zmniejszenia samoindukcji w silniku i wyzyskania możliwie większej mocy prądu nawijamy na elektromagnesach w odpowiednim miejscu zwoje pomocnicze, znoszące magnetyczne działanie twornika. W ten sposób osiągamy zmniejszenie różnicy faz prądu i napięcia, a pozatem usuwamy iskry pod szczotkami.

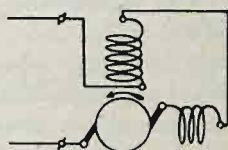
Najczęściej twornik — T , zwoje pomocnicze i uzwojenie elektromagnesów — E łączymy w szereg, rys. 247.

Taki silnik ma wszystkie prawie własności silnika szeregowego stałego prądu: wielką siłę pociągową przy ruszaniu i znaczny spadek szybkości przy wzrastaniu obciążenia.

Chcąc odwrócić kierunek obrotu silnika, należy wymienić przewody, doprowadzające prąd do uzwojeń elektromagnesów, lub też do twornika z pomocniczymi zwojami.



Rys. 247.



Rys. 248.

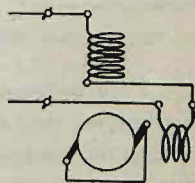
Jeżeli przy połączeniu, wskazanym na rys. 247, silnik obraca się w kierunku wskazówek zegarka, to przy połączeniu według układu rys. 248, silnik będzie się kręcić w stronę przeciwną.

89. Komutatorowe silniki repulsyjne.

Pozatem są silniki, zasadniczo różne od poprzednich, tak zwane repulsyjne rys. 249*). W tych silnikach prąd doprowadzamy tylko do uzwojenia elektromagnesów i do zwojów pomocniczych. Szczotki zaś, przylegające do kolektora, zwieramy krótko.

W zwojach twornika powstaje tu prąd, wzniecony przez zmienny strumień magnetyczny elektromagnesów. Skutkiem tego prądu bieguny elektromagnesów popychają, druty twornika i w ten sposób wywiązuje się siła, obracająca silnik.

Nie przy każdym jednak położeniu szczotek na kolektorze siły, popychające druty twornika, wprowadzają go w ruch wirowy. Przy pewnym



Rys. 249.

*) Repulsyjne znaczy to samo co odpychowe, czyli polegające na odpychaniu.

położeniu szczotek siły te są skierowane w różne strony i równoważą się, więc silnik z miejsca nie ruszy. Jeżeli jednak szczotki przekreścimy np. w prawo, to kierunek niektórych sił zmieni się i otrzymamy wypadkową siłę, obracającą twornik np. w prawo. Przesuwając szczotki w lewo, osiągniemy odwrócenie kierunku prądu w innych drutach i ruch silnika będzie skierowany w lewo.

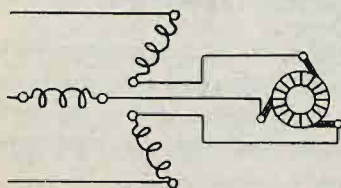
Silniki repulsyjne, tak samo jak szeregowce, znacznie zwalniają bieg przy obciążeniu.

Szybkość biegu silników repulsyjnych można zmienić, przesuwając szczotki, a szeregowych—zmieniając napięcie prądu.

Silniki repulsyjne i szeregowce, zasilane prądem zmiennym, stosują się głównie do wind i lokomotyw elektrycznych.

90. Komutatorowe silniki trójfazowe.

Twornik z kolektorem można umieścić także wewnątrz silnika trójfazowego, ustawić na kolektorze trzy szczotki i po-



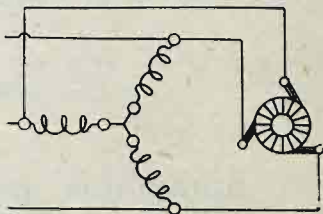
Rys. 250.

łączyć je z końcami uzwojeń stojana, jak to wskazuje rys. 250. W ten sposób uzwojenie twornika jest połączone w szereg uzwojenia stojana. Zespół prądów w wirniku i w stojanie wytwarza tu strumień magnetyczny wirujący, który wprawia w ruch wirnik.

Przy połączeniu, wskazanem na rys. 250, prąd do wirnika dopływa ze źródła prądu i skutkiem tego jest do pewnego stopnia niezależny od wirującego strumienia magnetycznego stojana; w takich warunkach wirnik może obracać się nawet szybciej od wirującego strumienia, co jest niemożliwe w silnikach asynchronicznych.

Wogóle silnik trójfazowy kolektorowy, połączonych według układu, wskazanego na rys. 250, ma własności, podobne do silnika szeregowego prądu stałego.

Budują się jeszcze silniki trójfazowe kolektorowe, w których stojan i wirnik połączone są równoległe, tak jak wskazuje rys. 251. Te silniki mają własności silników bocznikowych prądu stałego. Zmiana szybkości biegu odbywa się tu zapomocą przesuwania szczotek i zmiany napięcia prądu, zasilającego silnik. Trzy szczotki ustawiamy na kolektorze tylko wtedy, gdy stojan ma dwa bieguny. Przy czterobiegunowym stojanie wypada ustawić na kolektorze sześć szczotek i t. d.



Rys. 251.

Silniki kolektorowe trójfazowe stosują się głównie do pędzenia tych maszyn, które wymagają zmiany szybkości biegu w bardzo szerokich granicach np. maszyny przędzalnicze, drukarskie i t. p. W takich silnikach liczbę obrotów na minutę można zmienić trzykrotnie, a nawet sześciokrotnie.