

Pręty te umieszcza się w głębokich wąskich żłobkach na obwodzie wirnika.

W chwili rozruchu, gdy prąd w wirniku ma dużą częstotliwość, pozorna oporność poszczególnych warstw pręta, na jakie można go w myśli podzielić, równoległe do osi wirnika, jest nierówna, gdyż głębsze warstwy będą miały większą indukcyjność.

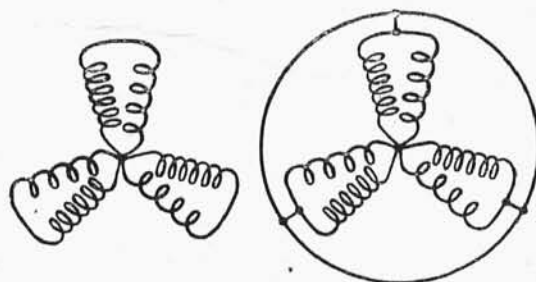
Skutkiem tego prąd w wirniku płynie wtedy głównie w warstwach górnych prętów i oporność omowa prętów jest znacznie większa od obliczonej dla prądów stałych.

W biegu normalnym częstotliwość prądu w wirniku — niewielka, indukcyjność wtedy ma wpływ mały i prąd na całym przekroju prętów rozkłada się niemal równomiernie, więc omowa oporność prętów wypada teraz znacznie mniejsza. Przy włączeniu od razu na pełne napięcie, moment rozruchowy takich silników przewyższa 1,2 do 1,5 raza moment normalny, prąd zaś rozruchowy jest 3,8 do 4,8 razy większy od prądu normalnego.

130. Rozruch silnika z wirnikiem o uzwojeniach przeciwsobnych.

Wirnik ma tu uzwojenie trójfazowe podwójne o różnej liczbie zwojów na fazę.

W chwili rozruchu uzwojenia te łączą się w szereg przeciw sobie i tworzą zamknięte obwody, w których siły elektromotoryczne są skierowane w przeciwnych kierunkach względem obiegu kołowego obwodu, tak że czynna jest tu różnica sił elektromotorycznych, powstających w poszczególnych uzwojeniach, rys. 259.



Rozruch. Bieg.
Rys. 259.

Gdy silnik osiągnie odpowiednią szybkość, oba uzwojenia zostają zwarte, zapomocą mechanizmu, działającego pod wpływem sił odśrodkowych.

Prąd stojana w chwili włączania i przełączania osiąga tu w przybliżeniu potrójną wartość prądu normalnego.

131. Rozruch przy zastosowaniu sprzęgieł mechanicznych samoczynnych.

W celu zmniejszenia natężenia prądu rozruchowego i powiększenia momentu rozruchowego znajdują nieraz zastosowanie sprzęgła mechaniczne.

Silnik tu rusza luzem i dopiero gdy osiągnie pewną dość znaczną szybkość, siła odśrodkowa zamyka sprzęgło, przez co silnik zostaje mechanicznie sprzęgnięty z tym mechanizmem, dla obracania którego jest przeznaczony.

Prąd rozruchowy trwa tu tak krótko, że wpływ jego na lampy zaledwie można zauważyć. Poza tem, gdy silnik w biegu się sprzęga, na wale silnika mamy moment obrotowy o wiele już większy od momentu obrotowego w chwili rozruchu, patrz rys. 250.

132. Regulacja szybkości biegu silników asynchronicznych zapomocą oporników w obwodzie wirnika.

W silnikach z wirnikami uzwojonemi, zaopatrzonemi w pierścienie ślizgowe, możemy obniżać szybkość biegu przy stałym momencie obrotowym przez włączanie oporów w obwód wirnika.

Ze wzoru (3), str. 189, na moment obrotowy silnika asynchronicznego mamy równanie:

$$n_s^2 + K' r n_s + K'' r^2 = 0$$

tu:

$$K' = -\frac{KB^2}{MkL^2} \quad K'' = \frac{1}{k^2 L^2}$$

Z powyższego równania wypada:

$$n_s = K''' r$$

A więc przy stałym momencie obrotowym poślizg jest proporcjonalny do oporności obwodu wirnikowego, patrz rys. 251, str. 191.

Jeżeli zatem włączymy do tego obwodu opornik o oporności R , to wypadnie:

$$n_s = K''' (r + R)$$

W miarę zwiększania R rośnie n_s , t. j. maleje szybkość biegu, gdyż liczba obrotów wirnika na minutę wyraża się wzorem:

$$n_w = n_p - n_s$$

W praktyce najczęściej znajdują zastosowanie oporniki, zmniejszające szybkość biegu o 25 lub 50%, przy zachowaniu normalnego momentu obrotowego.

Oporniki, przeznaczone do tego celu, są znacznie większe od oporników rozruchowych, gdyż muszą wytrzymywać znaczny prąd przez czas nieograniczony, nie rozgrzewając się nadmiernie.

133. Strata energii przy regulacji opornikiem w wirniku.

Energja, otrzymana przez wirnik silnika asynchronicznego, rozdziela się na dwie części: jedna przetwarza się na pracę mechaniczną, a druga na ciepło w uzwojeniu wirnika i oporach włączonych w jego obwód.

Wzór na moc mechaniczną otrzymamy, korzystając z wywodów, podanych w § 117, omawiającym moment obrotowy.

Jeżeli moment obrotowy, działający na wirnik, będzie M , a liczba obrotów wirnika na minutę n_w , to moc P wypadnie:

$$P = M \frac{2\pi n_w}{60}$$

Ponieważ, uwzględniając znaczenie stałej K w wyrażeniu (3), str. 189.

$$M = \frac{\pi D^2 l^2 z}{2 \times 60} \cdot \frac{B^2 r n_s}{r^2 + (k n_s L)^2}$$

przeto:

$$P = \frac{\pi^2 D^2 l^2 z}{60^2} \cdot \frac{B^2 r n_s}{r^2 + (k n_s L)^2} n_w$$

Moc, przetwarzająca się na ciepło w obwodzie wirnika, obliczymy ze wzoru na ciepło Joule'a:

$$p = I^2 r z$$

I — skuteczna wartość prądu, r — oporność jednego drutu, z — liczba drutów na wirniku.

$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + (k n_s L)^2}} \quad E = B l \frac{\pi D n_s}{60}$$

Przeto:

$$p = \frac{\pi^2 D^2 l^2 z}{60^2} \cdot \frac{B^2 r n_s^2}{r^2 + (k n_s L)^2}$$

Porównyując wzory na P i p , otrzymamy stosunek:

$$\frac{P}{p} = \frac{n_w}{n_s}$$

Stąd:

$$\frac{P+p}{p} = \frac{n_w+n_s}{n_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

A więc:

$$p = (P+p) \frac{n_s}{n_p}$$

Z tego wzoru wynika, że na ciepło w obwodzie wirnika tracimy taką część energii, dostarczonej przez stojan do wirnika, jaką stanowi poślizg w porównaniu do szybkości wirowania pola.

Tak, np., gdy opornikiem osiągamy bieg wirnika z szybkością, wynoszącą 50% szybkości wirowania pola magnetycznego, to połowa energii, dostarczonej do wirnika, przetwarza się na ciepło w obwodzie wirnika. Regulacja więc takim opornikiem jest nieekonomiczna.

Pozatem, jak łatwo wykazać ze wzoru na moment obrotowy, poślizg, a więc i szybkość biegu silnika przy zmianie obciążenia ulega tym większym wahaniom im większa jest oporność obwodu wirnikowego.

Wobec tego silnik, z obniżoną szybkością biegu zapomocą opornika w wirniku, przy zmiennem obciążeniu ma bieg nierówny, to znaczy, że szybkość biegu jego przy zmianie obciążenia waha się w szerokich granicach.

Pomimo to jednak inne lepsze sposoby regulacji są stosowane rzadko ze względu na znacznie więcej skomplikowane urządzenia.

134. Regulacja szybkości biegu silnika asynchronicznego przez zmianę liczby biegunów.

Zmiana liczby biegunów stojana odbywa się przeważnie przez przełączenie uzwojeń stojana. Wirnik stosowany przytem jest zwarty jako nadający się do każdej liczby biegunów stojana. Małe silniki otrzymują dwa uzwojenia niezależne o różnej liczbie biegunów, duże zaś mają jedno uzwojenie, w którym zmieniamy połączenia pomiędzy poszczególnymi zwojnicami w ten sposób, że otrzymuje się zmianę w rozkładzie kierunków prądu, przez co powstaje pole o różnej liczbie biegunów.

Gdy zmienimy liczbę biegunów stojana, zmieni się szybkość wirowania pola, a przez to bieg wirnika, który zawsze przystosowuje się do szybkości wirowania pola.

135. Regulacja szybkości biegu silników asynchronicznych przez zmianę częstotliwości prądu zasilającego silnik.

Zmieniając częstotliwość prądu, zasilającego silnik asynchroniczny, zmieniamy szybkość wirowania pola:

$$n_p = \frac{60 f}{p}$$

a przez to i wirnika.

Gdy mamy dużo małych silników biegnących jednocześnie i razem regulowanych, jak to jest projektowane dla maszyn przędzalniczych, to najprostszy sposób osiągnięcia odpowiedniej szybkości polega na zastosowaniu prądu o częstotliwości od 150 do 300 okresów na sekundę. Prąd taki wytwarza się zapomocą odpowiednich przetwornic. Regulując bieg tych przetwornic możemy stopniowo w ciągły sposób zwiększać częstotliwość prądu i tą drogą podwyższać jednocześnie liczbę obrotów na minutę wszystkich silników, zasilanych z tej przetwornicy.

Mając częstotliwość 50 okresów na sekundę możemy osiągnąć najwyższą szybkość synchroniczną silnika.

$$n_p = \frac{50 \times 60}{1} = 3000 \text{ obrotów na minutę.}$$

Przy częstotliwości 300 okresów na sekundę osiągniemy:

$$n_p = \frac{300 \times 60}{1} = 18000 \text{ obrotów na minutę.}$$

Dla regulacji szybkości poszczególnych silników skokami, bywają stosowane wielokrotne układy przewodów trójfazowych¹⁾, np., na 40 — 50 — 55 okresów na sekundę, lub 50 — 75 — 100 okresów na sekundę.

136. Regulacja biegu silników przez połączenie dwóch silników w kaskadę.

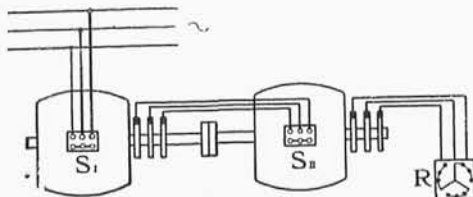
Wirniki dwóch silników asynchronicznych osadzone są na jednym wale, obracającym pewien mechanizm, rys. 260.

Prąd z sieci wprowadzamy do stojana silnika I-go, prąd indukowany w wirniku silnika pierwszego, płynie do stojana sil-

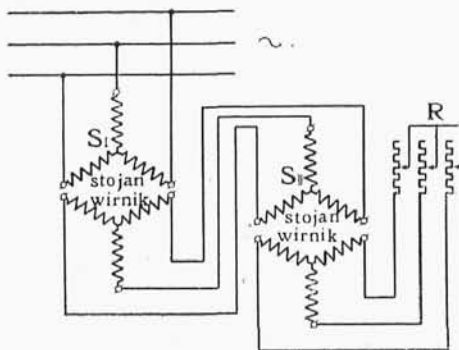
¹⁾ Np. trzy tory po trzy druty w każdym.

nika drugiego; wirnik zaś silnika drugiego zwieramy przez opornik R , rys. 261.

Zwykle bierzemy silniki o różnej liczbie par biegunów p_1 i p_2 . Prąd sieci ma częstotliwość f_1 ; prąd, płynący z wirnika silnika I-go do stojana silnika II-go, ma częstotliwość f_2 .



Rys. 260.



Rys. 261.

W tych warunkach ustala się pewna szybkość wirowania wału n_w , która ma wartość bliską do szybkości wirowania pola w silniku II-im.

Przypuśćmy, że poślizg II-go silnika jest bardzo mały, to n_w będzie prawie równe szybkości wirowania pola w II-im silniku.

$$n_w = \frac{60 f_2}{p_2}$$

Częstotliwość zaś prądu w stojanie II-go silnika obliczymy ze wzoru:

$$f_2 = \frac{(n_p - n_w) p_1}{60}$$

Podstawiając w równanie poprzednie, otrzymamy:

$$n_w = \frac{(n_p - n_w) p_1}{p_2}$$

stąd:

$$n_w = \frac{n_p p_1}{p_1 + p_2} = \frac{60 f_1}{p_1 + p_2}$$

Z tego wzoru wynika, że wał kaskady wiruje z szybkością, jakaby miał silnik o liczbie par biegunów równej sumie liczb par biegunów I-go i II-go silnika.

Moc prądu, dostarczona do silnika pierwszego, dzieli się tu na dwie części.

Pomijając straty energii w silnikach, z rozumowań § 133 wynika, że do silnika II-go przenosi się moc wyrażona wzorem:

$$P \frac{n_p - n_w}{n_p}$$

gdzie P — moc prądu dostarczona z sieci silnikowi I-mu. Pozostała część:

$$P \frac{n_w}{n_p}$$

wyraża moc mechaniczną, wytworzoną przez silnik pierwszy.

Wobec tego stosunek mocy, oddanych na wał przez silniki, połączone w kaskadę, wyraża się wzorem:

$$P \frac{n_w}{n_p} : P \frac{n_p - n_w}{n_p} = \frac{n_w}{n_p - n_w} = \frac{60 f_1}{p_1 + p_2} : \left(\frac{60 f_1}{p_1} - \frac{60 f_1}{p_1 + p_2} \right) = \frac{p_1}{p_2}$$

Wzór ten wskazuje, że stosunek mocy, oddanych na wał przez silniki przy pominięciu strat, równa się stosunkowi liczb par biegunów poszczególnych silników.

Jeżeli silniki, znajdujące się w powyższym zespole, zasilane będziemy prądem z sieci pojedynczo, to wał będzie obracał się z szybkością, odpowiadającą raz liczbie par biegunów p_1 , a drugi raz liczbie par biegunów p_2 . Dla przykładu rozważymy dwa silniki, połączone w kaskadę, mające liczby par biegunów:

$$p_1 = 4 \quad \text{i} \quad p_2 = 2$$

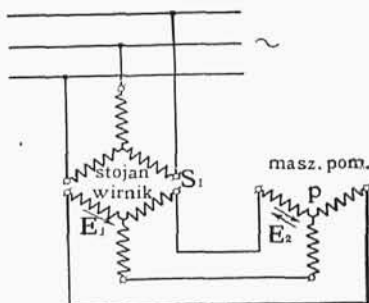
a więc w kaskadę pracujące przy szybkości, odpowiadającej 6 parom biegunów.

Zapomocą takich silników można będzie wprowadzić w ruch wał przy trzech szybkościach, dla których wartości synchroniczne przy $f_1 = 50$ wypadną:

kaskada	—	500	obrotów	na	minutę
silnik I	—	750	„	„	„
silnik II	—	1500	„	„	„

137. Regulacja szybkości biegu silnika asynchronicznego zapomocą przetwornicy.

Szybkość biegu silników asynchronicznych można regulować w sposób ciągły i dość oszczędny, stosując osobliwe przetwornice, które zasilają prądem wirnik silnika, rys. 262.



Rys. 262.

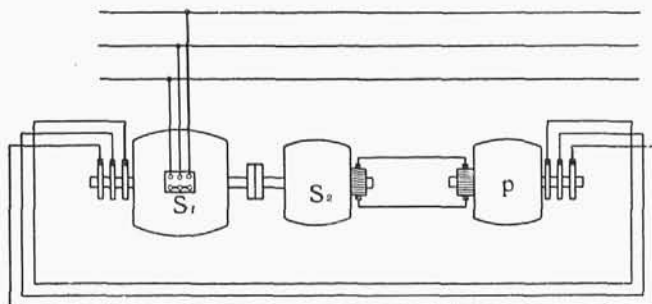
Zasada polega na wywoływaniu w obwodzie wirnika pomocniczej siły elektromotorycznej E_2 , zgodnej z siłą elektromotoryczną E_1 , wytwarzaną w uzwojeniu wirnika, lub też przeciwnej jej. Pomocnicza siła elektromotoryczna zgodna będzie sprzyjała powstawaniu prądu wirnikowego, i przez to prąd, potrzebny do wytwarzania pewnego momentu obrotowego, powstanie w wirniku przy mniejszym poślizgu, a więc szybkość biegu silnika wzrośnie i może nawet przekroczyć synchronizm.

Jeżeli natomiast siła elektromotoryczna pomocnicza będzie przeciwna własnej sile elektromotorycznej wirnika, to prąd wirnika narazie zmniejszy się, wskutek czego będzie musiał powiększyć się poślizg, co sprawi wzrost siły elektromotorycznej własnej wirnika, a przez to i prądu, do wartości, odpowiadającej potrzebnemu momentowi obrotowemu; silnik więc zwolni bieg.

Jako przykład takiego urządzenia, przytoczymy regulację Krämer'a, rys. 263.

Na wale silnika asynchronicznego S_1 osadzony jest twornik silnika bocznikowego prądu stałego S_2 , który otrzymuje prąd

z przetwornicy jednomaszynowej p , zasilanej prądem trójfazowym przez wirnik silnika asynchronicznego S_1 . Silnik S_2 i przetwornica p są wzbudzane z obcego źródła prądu stałego, nie pokazanego na rysunku.



Rys. 263.

Energja, pobrana z sieci przez silnik S_1 , przetwarza się częściowo na pracę mechaniczną w silniku S_1 , częściowo zaś dostaje się przez przetwornicę do silnika prądu stałego S_2 i także przekształca się na pracę mechaniczną.

Im większy jest poślizg, tem więcej energii otrzymuje silnik pomocniczy S_2 .

Wbrew temu, co się działo przy regulacji oporami, energja, pobrana przez obwód wirnika skutkiem poślizgu, przetwarza się tu na pracę mechaniczną, niewątpliwie więc regulacja w tym urządzeniu będzie oszczędniejsza.

Cheąc zmniejszyć ilość obrotów wału silnikowego, zwiększamy wzbudzenie silnika S_2 : jego siła przeciwelektromotoryczna rośnie i przez to zmniejsza się prąd, dopływający z przetwornicy, a więc i z wirnika silnika S_1 . Z tego powodu moment obrotowy silnika S_1 maleje i on zwalnia bieg; skutkiem zwolnienia biegu rośnie poślizg, zwiększa się siła elektromotoryczna wirnika silnika S_1 i zwiększa się prąd do wartości, potrzebnej do wytworzenia odpowiedniego momentu obrotowego. Jednocześnie zmniejszenie szybkości wirowania wału silnikowego zmniejsza siłę przeciwelektromotoryczną w silniku S_2 , co również sprzyja wzrostowi prądu w obwodzie wirnikowym.

138. Spółczynnik mocy prądu w silnikach asynchronicznych.

Wielką wadą zwykłych silników asynchronicznych jest przesunięcie fazy pomiędzy napięciem, a prądem pobieranym przez stojan silnika asynchronicznego.

Przy normalnem obciążeniu, zależnie od mocy i liczby obrotów na minutę, silniki asynchroniczne pobierają prąd przy różnem przesunięciu fazy.

Podajemy kilka liczb, wyrażających $\cos \varphi$ przy normalnem obciążeniu P , w następującej tabelce:

P w kW	Synchroniczna liczba obrotów na minutę					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,125	0,78	0,70	0,66	—	—	—
1,1	0,87	0,82	0,77	0,72	—	—
15,0	0,89	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79

Przy zmniejszeniu obciążenia lub przeciążeniu współczynnik mocy maleje. Dla przykładu podajemy dla jednego przypadku zmianę $\cos \varphi$ w zależności od obciążenia.

P	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{6}{4}$
$\cos \varphi$	0,60	0,78	0,85	0,87	0,87	0,86

Należy więc unikać słabego obciążenia silników.

Jeżeli mamy silnik z przełącznikiem gwiazda — trójkąt, to korzystnem jest, ze względu na osiągnięcie większego $\cos \varphi$, pracować przy małych obciążeniach na układzie gwiazdowym.

Gdy można ponieść większe koszty na urządzenie, stosowane bywają różne, zwykle dość skomplikowane sposoby zwiększenia $\cos \varphi$.

139. Silniki asynchroniczne synchronizowane.

Względnie najprostszymi silnikami asynchronicznymi o dużym $\cos \varphi$ są silniki asynchroniczne synchronizowane.

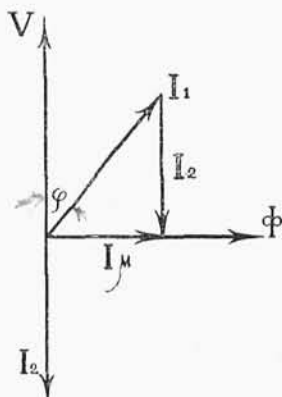
Na wale takiego silnika umieszcza się małą prądnicę prądu stałego, która po dojściu silnika do pełnego biegu zasila uzwojenie wirnika prądem stałym, przez co silnik dochodzi do synchronizmu i zaczyna biec jako synchroniczny. Wtedy przez odpowiednią regulację wzbudzenia można osiągnąć $\cos \varphi = 1$.

140. Silnik asynchroniczny z przesuwnikiem fazowym.

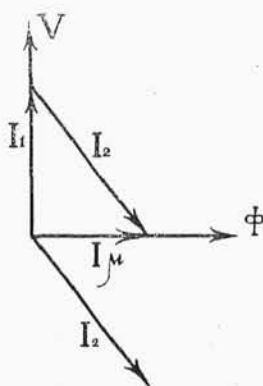
Pomysł silnika z przesuwnikiem fazowym polega na włączeniu w obwód wirnika silnika asynchronicznego przetwornicy, która wytwarza pomocniczą siłę elektromotoryczną, przesuwającą fazę prądu wirnikowego.

Przesunięcie fazy prądu wirnikowego oddziałuje na fazę prądu stojana.

Bez pomocniczej siły elektromotorycznej układ wektorów prądów stojana I_1 i wirnika I_2 łącznie z napięciem na stojanie mamy na rys. 264-ym, z pominięciem oporności pozornej stojana i strat w nim zachodzących.



Rys. 264.



Rys. 265.

Po wprowadzeniu odpowiedniej siły elektromotorycznej do obwodu wirnika, układ tych wektorów przybiera postać wskazaną na rys. 265.

Tu $\varphi \neq 0$, t. j. I_1 znajduje się w fazie z V ; prąd magnetyzujący I_μ jest dostarczany przez przetwornicę w obwodzie wirnika.

Jeden z układów, kompensujących przesunięcie fazy w silniku asynchronicznym, widzimy na rys. 266.

Tu S_1 jest głównym silnikiem napędowym. Wirnik jego jest połączony przez pierścienie z prądnicą p bez uzwojenia na magniesnicy. Prądnica ta wzbudza się prądem wirnika.

Taką prądnicę nazywamy zwykle przesuwnikiem fazowym lub też wzbudnicą trójfazową samowzbudną.

Twornik jej ma budowę jak na prąd stały z komutatorem. Trzy szczotki, przy układzie dwubiegunowym, leżą na obwodzie komutatora w miejscach, oddległych względem siebie pod kątem 120° .

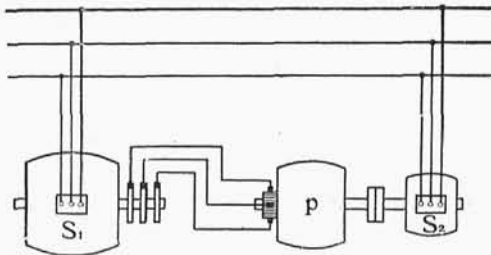
Twornik przesuwnika jest napędzany przez osobny mały silnik asynchroniczny S_2 .

Gdy przesuwnik jest nieruchomy, to prąd wirnika, przepływający w twornikowym uzwojeniu przesuwnika p , wywołuje pole, wirujące względem twornika z szybkością, odpowiadającą liczbie biegunów uzwojenia i częstotliwości prądu. A więc jeżeli przesuwnik ma trzy pary biegunów i poślizg silnika głównego wynosi 2% , to częstotliwość prądu wirnikowego mamy:

$$f_2 = \frac{50 \times 2}{100} = 1 \text{ okres na sek.},$$

a liczba obrotów pola na minutę w przesuwniku będzie:

$$n = \frac{60 f_2}{p} = \frac{60 \times 1}{3} = 20 \text{ obrotów na min.}$$



Rys. 266.

Pole wirujące przesuwnika w nieruchomym jego tworniku wzniera siłę elektromotoryczną, która oczywiście jest siłą elektromotoryczną samoindukcji, a więc opóźnioną w fazie względem prądu.

Włączenie nieruchomego przesuwnika sprawia zwiększenie samoindukcji w obwodzie wirnika, przez co zmniejsza się $\cos \varphi$ prądu stojana. Nieruchomy więc przesuwnik fazowy przesunęła fazę prądu w kierunku niewłaściwym.

Możemy jednak wprawić twornik przesuwnika w ruch. Przy nieruchomym położeniu szczotek na komutatorze, pole magnetyczne będzie wywołane temi samymi prądami jak poprzednio i będzie wirowało względem nieruchomych części przesuwnika z tą samą szybkością co przedtem.

Względem wirującego twornika jednak szybkość wirowania pola wypadnie oczywiście inna. Jeżeli będziemy obracali twornik w kierunku ruchu pola, to przy szybkości twornika, równej szybkości wirowania pola, samoindukcja zniknie i pole nie będzie indukowało żadnej siły elektromotorycznej w drutach twornika; gdy szybkość wirowania twornika powiększymy jeszcze więcej

tak, że będzie nadsynchroniczną względem pola wirującego, to w tworniku powstanie siła elektromotoryczna kierunku przeciwnego względem poprzedniej, a więc wyprzedzająca w fazie prąd. Wtedy przesuwnik fazowy działać będzie jak kondensator, włączony do obwodu wirnikowego silnika.

Taka siła elektromotoryczna wywoła przesunięcie naprzód prądu wirnikowego, zaś przez indukcję zbliżenie fazy prądu stojana do napięcia sieci, a więc zwiększenie $\cos \varphi$.

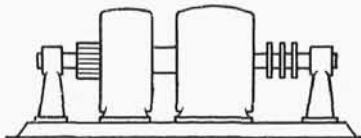
Dla wytworzenia się odpowiedniego działania przesuwnika fazowego musi się w nim wzbudzić odpowiednia siła elektromotoryczna, a to wymaga odpowiedniego pola magnetycznego, które wywołuje prąd wirnikowy. Przesuwnik taki działa zatem dobrze tylko wtedy, gdy w nim jest odpowiedni prąd, a więc zwykle w granicach od połowy do pełnego obciążenia silnika.

Inne przesuwniki fazowe, ze wzbudzaniem obcem, pozwalają na osiągnięcie dużego $\cos \varphi$ również i przy małych obciążeniach silnika.

141. Przetwornica kaskadowa.

Silnik asynchroniczny trójfazowy, połączony w jeden zespół z prądnicą prądu stałego, może służyć do przetwarzania prądu zmiennego trójfazowego na stały.

Dla osiągnięcia tego celu oczywiście byłoby najprościej wziąć maszyny, elektrycznie niezależne, sprzęgając je ze sobą tylko mechanicznie.



Rys. 267.

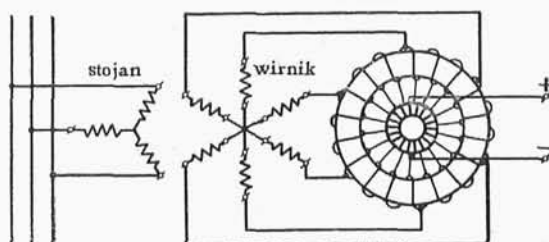
Lecz przetwarzanie pracy prądu trójfazowego na pracę prądu stałego da się osiągnąć znacznie oszczędniej, jeżeli w tych maszynach zastosować obok sprzężenia mechanicznego jeszcze sprzężenie elektryczne wirników silnika asynchronicznego i prądnicy prądu stałego.

Na rys. 267-ym widzimy układ mechanicznego wykonania maszyn, a na rys. 268-ym schemat połączeń elektrycznych w biegu.

Silnik z uzwojeniem trójfazowym w stojanie ma w wirniku uzwojenie wielofazowe o większej liczbie faz, np., dwunastofazowe. Na rys. 268-ym pokazane jest uzwojenie sześciofazowe w gwiazdę.

Końce tej gwiazdy połączone są z uzwojeniem twornika prądu stałego, który łącznie ze zwykłą magneśnicą stanowi rodzaj przetwornicy jednotwornikowej.

Im więcej faz posiada uzwojenie wirnika, tem mniejsze wypadają straty na ciepło w tworniku przetwornicy.



Układ połączeń w biegu.

Rys. 268.

Liczba obrotów na minutę takiego zespołu przy pracy jest stałą, niezależnie od obciążenia i odpowiada synchronicznemu biegowi twornika prądu stałego względem prądów, indukowanych w wirniku silnika asynchronicznego.

Jeżeli liczba par biegunów uzwojenia silnikowego wynosi p_1 , a liczba par biegunów maszyny prądu stałego — p_2 i częstotliwość prądu trójfazowego, pobieranego z sieci, jest f to, gdy wał wykonywa n obrotów na minutę, otrzymamy zależność:

$$\frac{p_1}{60} \left(\frac{60f}{p_1} - n \right) = \frac{p_2 n}{60}$$

Stąd:

$$n = \frac{60f}{p_1 + p_2}$$

Przy $p_1 = p_2$ poślizg silnika asynchronicznego tej przetwornicy wynosi 50%.

Praca prądu trójfazowego przenosi się tu na prąd stały dwiema drogami. Częściowo przez elektromagnetyczną transformację prądu trójfazowego stojana na prąd sześciofazowy wirnika, który, przechodząc dalej do przetwornicy jednotwornikowej, prostuje się na stały.

Oprócz tego praca mechaniczna, dostarczana przez silnik asynchroniczny daje w sprzężonej z nim prądnicą również pracę prądu stałego. W ten sposób maszyna prądu stałego w danym układzie pracuje dwójako: jako przetwornica jednotwornikowa i jako zwykła prądnicą bocznikowa prądu stałego napędzana asynchronicznym silnikiem trójfazowym.

Pomijając straty i uwzględniając, że powstawanie prądu w wirniku odbywa się skutkiem poślizgu wirnika, otrzymamy, że ilość energii, przeniesiona tą drogą t. j. przez elektromagnetyczną transformację wynosi taką część energii, dostarczonej do stojana silnika, jaką część synchronicznej szybkości wirowania stanowi poślizg.

Wyniesie to:

$$\frac{\frac{60f}{p_1} - n}{\frac{60f}{p_1}} = \frac{60f - n p_1}{60f}$$

Uwzględniając, że:

$$n = \frac{60f}{p_1 + p_2}$$

otrzymamy:

$$\frac{60f - n p_1}{60f} = \frac{p_2}{p_1 + p_2}$$

Energja prądu, dostarczana do stojana silnika asynchronicznego i przetworzona na pracę mechaniczną, wynosi taką część całej energii prądu stojana, jaką część stanowi szybkość biegu wirnika w porównaniu do szybkości synchronicznej, a więc:

$$\frac{\frac{n}{60f}}{\frac{p_1}{60f}} = \frac{n p_1}{60f}$$

Uwzględniając, że:

$$n = \frac{60f}{p_1 + p_2}$$

otrzymamy:

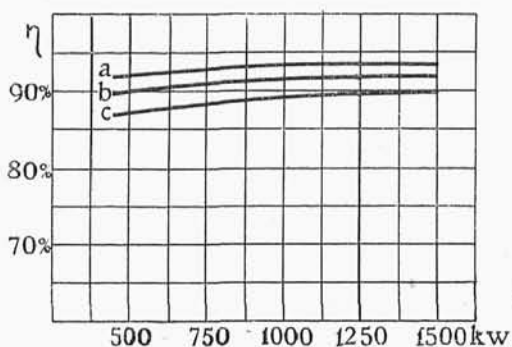
$$\frac{n p_1}{60f} = \frac{p_1}{p_1 + p_2}$$

Sprawność przetwornicy kaskadowej jest większa od zwykłej przetwornicy dwumaszynowej silnikowo-prądnicowej i nieco mniejsza od sprawności przetwornicy jednomaszynowej.

Na rys. 269 mamy wykresy porównawcze przetwornic różnego rodzaju, wyrażające zależność sprawności od obciążenia: a — dla przetwornicy jednomaszynowej, b — dla przetwornicy kaskadowej i c — dla zwykłej przetwornicy dwumaszynowej silnikowo-prądnicowej.

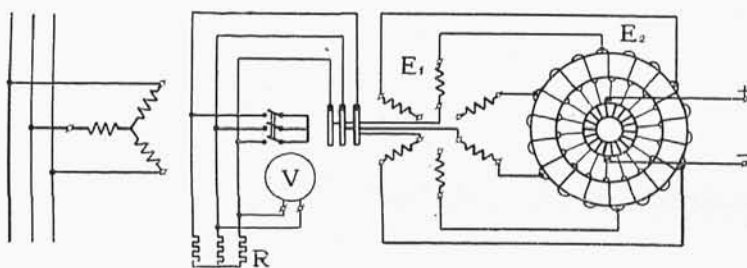
W celu rozruchu przetwornicy kaskadowej, połączenia środka gwiazdy nie wykonywamy tak, jak pokazano na rys. 268, lecz gwiazdę wirnikową w środku rozwiązujemy, rys. 270, i przynajmniej część uzwojeń zamykamy przez opornik R .

Rozruch silnika asynchronicznego odbywa się w zwykły sposób z oporem w wirniku. W pobliżu właściwej szybkości wzбудzamy pole magnetyczne maszyny prądu stałego. Wtedy w łącznym



Rys. 269.

obwodzie dwóch wirników powstają dwie siły elektromotoryczne: jedna E_1 od pola wirującego silnika asynchronicznego i druga E_2 od nieruchomej magnesnicy prądu stałego.



Układ połączeń przy rozruchu.

Rys. 270.

W pobliżu normalnej szybkości biegu:

$$n = \frac{60 f}{p_1 + p_2}$$

obie siły elektromotoryczne mają niemal tę samą częstotliwość, przez co powstają dudnienia w prądzie i napięciu na pierścieniach wirnika. Gdy dudnienia, widoczne na woltomierzu V , będą bardzo powolne, to zwieramy oporniki wyłącznikiem, rys. 270, i łączymy razem odpowiednim zwieraczem początki wszystkich faz wielofazowego uzwojenia wirnika tak, jak wskazuje rys. 268. Wtedy zespół maszyn przybiera właściwą mu szybkość wirowania i można go obciążać.

142. Prądnica asynchroniczna.

W pewnych okolicznościach silnik asynchroniczny może pracować, jako źródło prądu, przy obracaniu go, np., innym silnikiem z szybkością nadsynchroniczną.

n_p — szybkość wirowania pola,

n_w — szybkość wirowania wirnika,

n_s — poślizg.

Ponieważ:

$$n_s = n_p - n_w$$

a przy nadsynchronicznej szybkości wirowania $n_w > n_p$, więc mamy tu poślizg ujemny, wskutek czego ze wzoru na moment obrotowy wypada ujemny moment:

$$M = K \frac{B^2 r n_s}{r^2 + (k n_s L)^2}$$

$$n_s < 0, \text{ więc i } M < 0$$

Moment obrotowy, wyrażający oddziaływanie stojana na wirnik, jest tu zwrócony w kierunku odwrotnym do kierunku wirowania wału.

Równoważąc ten moment momentem silnika napędowego, odwracamy działanie silnika asynchronicznego, ponieważ zmuszamy go do oddawania energii w postaci pracy prądu na sieć, z którą jest on połączony, silnik asynchroniczny staje się (generatorem) prądnicą asynchroniczną.

Skutkiem ujemnego poślizgu odwraca się faza prądu wirnikowego, a przez to i faza siły elektromotorycznej, indukowanej prądem wirnika w stojanie, wskutek tego zmienia swoją fazę i prąd stojana.

Energja mechaniczna, dostarczana maszynie, może mieć wpływ tylko na składową prądu watawą (roboczą), to też tylko ta składowa odwraca się. Rys. 271 wskazuje układ wektorów, gdy maszyna pracuje jako silnik, tu

V — napięcie,

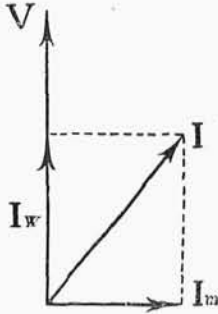
I — prąd całkowity stojana,

I_m — „ magnesujący,

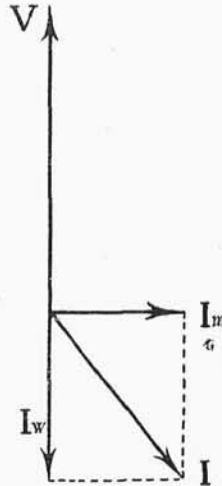
I_w — „ watawy.

Na rys. 272-im mamy układ tych samych wektorów, przy zachowaniu dodatnich kierunków, gdy maszyna pracuje jako prądnica.

Prądnica asynchroniczna zwykła, nie mając własnego źródła prądu magnesującego, może pracować na sieć tylko równolegle z prądnicami zwykłymi, tak zwanymi synchronicznymi, zaopatrzonymi w magnesnice, magnesowane prądem stałym, gdyż tylko takie prądnice mogą dostarczyć prądu magnesującego do prądnic asynchronicznych.



Rys. 271.



Rys. 272.

Prądnica asynchroniczna zatem bierze z sieci prąd magnesujący I_m i daje jej prąd roboczy I_w .

Zastosowanie prądnic asynchronicznych bywa dwojakie. Silniki kolejek elektrycznych trójfazowych mogą pracować, jako prądnice przy zjeżdżaniu w dół i w ten sposób oddawać do sieci energję, wytwarzaną przez pracę siły ciężkości.

W małych pomocniczych elektrowniach wodnych prądnice asynchroniczne mogą być stosowane zamiast prądnic synchronicznych, wobec uproszczonej obsługi.

Taką prądnicę asynchroniczną można puścić w ruch, jako silnik, a następnie przez otwarcie dopływu wody do turbiny z nią sprzęgniętej, wywołać odpowiedni moment obrotowy w kierunku wirowania wału i przez osiągnięcie szybkości nadsynchronicznej odwrócić działanie silnika asynchronicznego, oddając przez niego energję do sieci przewodów elektrycznych.