

ROZDZIAŁ VII.

SILNIKI ELEKTRYCZNE PRĄDU STAŁEGO.

Wyróżniamy silniki prądu stałego: bocznikowe, szeregowo lub głównikowe i bocznikowo-szeregowe lub bocznikowo-głównikowe.

Przedewszystkiem rozważymy ogólne własności silników prądu stałego, a potem przejdziemy do szczegółów charakterystycznych dla każdego rodzaju osobno.

88. Moment obrotowy silnika prądu stałego.

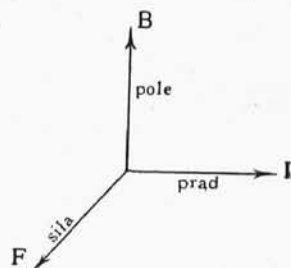
Moment obrotowy wszystkich silników elektrycznych powstaje na skutek sił, działających w polu magnetycznem na przewodniki, prowadzące prąd i na żelazo, w myśl ogólnej zasady kurczenia się i odpychania linii magnetycznych.

Kierunek działania pola magnetycznego na prąd jest prostopadły do kierunku prądu i kierunku linii sił pola w układzie zgodnym z kierunkami trzech palców lewej ręki: wskazujący palec wskazuje kierunek pola magnetycznego, średni — kierunek prądu, duży — kierunek siły mechanicznej, rys. 200.

Odwrocenie jednego z kierunków, pola czy prądu, wywołuje odwrócenie kierunku siły, odwrócenie obu kierunków, pola i prądu, nie powoduje odwrócenia kierunku siły.

Wielkość siły oddziaływania pola na prąd, przy prostopadłości kierunku prądu do kierunku linii magnetycznych, wyraża się wzorem:

$$F = B l I$$



Rys. 200.

gdzie:

F — siła działania pola magnetycznego na przewodnik, prowadzący prąd,

B — gęstość linii magnetycznych,

l — długość powyższego przewodnika w polu magnetycznym,

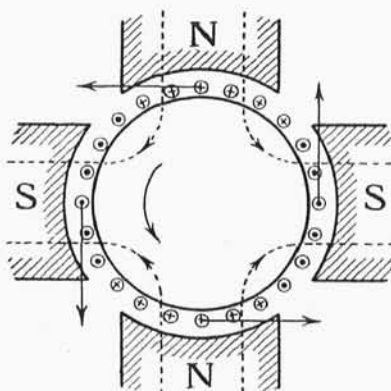
I — prąd.

Przykład:

$B = 5000$ gausów, $l = 20$ cm., $I = 50$ amp. = 5 c. g. s. E. M.

$$F = 5000 \times 20 \times 5 = 5 \times 10^5 \text{ dyn} = 0,51 \text{ kg.}$$

W silniku prądu stałego, który jest zbudowany zupełnie tak samo jak prądnica, puszczaemy prąd do uzwojenia elektromagnetycznego i do twornika. Wtedy mamy prądy w polu magnetycznym, ułożone tak, jak wskazuje rys. 201, co wynika z układów uzwojeń, omówionych przy prądnicach prądu stałego.



Rys. 201.

Z rys. 201 widzimy, że wszystkie siły wywołują momenty obrotowe w tym samym kierunku.

Chcąc odwrócić kierunek tych sił, a więc i kierunek wirowania silnika, należy zmienić kierunek prądu tylko w wirniku albo tylko w magneśnicy. Przy odwróceniu prądu w magneśnicy zmieniają się znaki biegunów, a więc odwrócą się kierunki strumieni magnetycznych.

Najprostszą drogą do wyznaczenia momentu obrotowego, działającego na twornik, jest następująca.

Z teorii elektromagnetyzmu wiadomo, że praca wykonana przez siły elektromagnetyczne, działające w polu magnetycznym na przewodnik, prowadzący prąd, wyraża się iloczynem prądu

przez strumień magnetyczny, przecięty przez ten drut w czasie ruchu w polu magnetycznem.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

M — moment obrotowy, działający na twornik,

Φ — strumień magnetyczny jednego bieguna,

p — liczba par biegunów,

a — liczba par równoległych gałęzi w uzwojeniu twornika,

z — liczba drutów na obwodzie twornika,

I — prąd w tworniku.

Wtedy, obliczając całkowitą pracę, wykonaną w ciągu jednego obrotu przez wszystkie siły, działające na poszczególne druty, otrzymamy równanie:

$$2\pi M = \Phi 2p \frac{I}{2a} z$$

Stąd:

$$M = \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} z \Phi I^1)$$

Wprowadzając skrót:

$$K = \frac{pz}{2\pi a}$$

otrzymamy:

$$M = K \Phi I$$

Z powyższego wzoru wynika, że moment obrotowy silnika jest proporcjonalny do strumienia magnetycznego, wysłanego przez biegun magnetyczny, i do natężenia prądu w tworniku.

Gdy druty twornika są ułożone w żłobkach, główne siły obracające przenoszą się swemi punktami przyłączenia na żelazny rdzeń twornika, jednak obliczenia przeprowadzone wyżej zachowują swoją wartość.

Powyższy wzór na moment obrotowy ma znaczenie głównie dla uzasadnienia dalej rozważanych własności silników.

Przy obliczeniach, dotyczących zastosowania silników w praktyce, moment obrotowy, pożyteczny przy normalnej pracy, obliczamy ze wzoru: ²⁾

$$M = 716,5 \frac{P}{n}$$

¹⁾ Φ — w makswełach, I — w c. g. s. elektromagnetycznych, M — w dynocentymetrach.

²⁾ $P = \frac{M 2\pi n}{60 \times 75}$

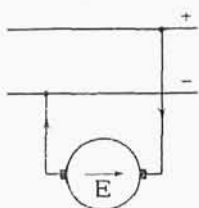
P — moc silnika w koniach mechanicznych,
 n — liczba obrotów na minutę,
 M — moment obrotowy w kilogramometrach.

89. Bieg luzem silnika o stałym polu magnetycznym.

Gdy silnik stoi, to w tworniku przebiega prąd, którego wielkość oblicza się według prawa Ohma:

$$I_0 = \frac{V}{r}$$

Gdy pozwolimy silnikowi obracać się, to w uzwojeniach twornika powstanie siła elektromotoryczna, przeciwna prądowi, wzniecona polem magnetycznym, rys. 202.



Rys. 202.

Wtedy prąd w tworniku znajdujemy ze wzoru ¹⁾:

$$I = \frac{V - E}{r}$$

Jeżeli rozważymy przypadek idealny, w którym twornik silnika nie będzie doznawać żadnych zgoła momentów hamujących, to szybkość biegu, wzrastając stopniowo coraz wolniej, ustali się wtedy, gdy będzie $V = E$, a więc $I = 0$, jak to wynika z powyższego wzoru.

Liczbę obrotów na minutę twornika, obracającego się w tych warunkach, znajdziemy w sposób następujący:

$$V = E = \Phi \frac{p}{a} \approx \frac{n}{60} 10^{-8} = K' \Phi n$$

więc:

$$n = \frac{V}{K' \Phi}$$

tu $K' = \frac{1}{60} \frac{p}{a} \approx 10^{-8}$ jest wielkością stałą zależną od budowy silnika.

¹⁾ W tym wzorze jak i we wszystkich dalszych wzorach przy rozważaniu silników litera r wyraża pewną oporność zastępczą obwodu twornika, obejmującą oprócz oporności omowej uzwojeń twornikowych również wpływ spadku napięcia w stykach szczotek.

90. Bieg silnika pod obciążeniem.

Gdy silnik, biegnący luzem obciążymy, to skutkiem powstania momentu hamującego silnik zwolni biegu, przez to zmniejszy się siła elektromotoryczna indukowana w uzwojeniach twornika, napięcie sieci ją przeważy i powstanie prąd:

$$I = \frac{V - E}{r}$$

Skutkiem powstania prądu wywiąże się moment obrotowy.

Bieg ustali się, gdy moment obrotowy stanie się równy momentowi hamującemu. Wtedy według poprzedniego wzoru obliczymy szybkość biegu silnika w sposób następujący:

$$E = K' \Phi n$$

więc:

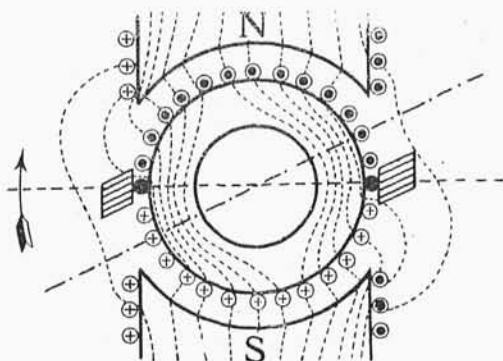
$$I = \frac{V - K' \Phi n}{r}$$

Przeto:

$$n = \frac{V - I r}{K' \Phi}$$

91. Reakcja twornika i bieguny zwrotne.

Wobec tego, że prąd w tworniku silnika ma kierunek odwrotny do prądu w tworniku prądnicy, mającej ten sam kierunek strumienia magnetycznego i ten sam kierunek wirowania, reakcja



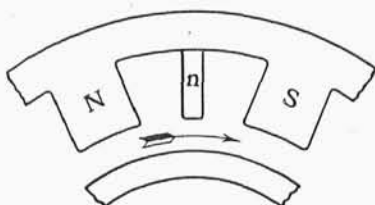
Rys. 203.

prądu twornikowego sprawia skręcenie strumienia magnetycznego w kierunku przeciwnym do ruchu wirowego twornika, rys. 203, odwrotnie do tego, co było w prądnicy, rys. 35.

Wobec tego w silnikach bez biegunów zwrotnych szczotki wypadaloby przesuwac nieco w kierunku odwrotnym wzgledem ruchu wirnika, w miare zwikszania sie obciazenia.

Uniknac tego mozna przez stosowanie silnego pola magnesnicy w porownaniu do pola twornika i odpowiednie nasycenie obwodu magnetycznego.

Skuteczniejszy jednak sposob, umozliwiajacy pozostawienie szczotek w tem samym polozeniu przy wszystkich obciazeniach, a nawet zmianach kierunku wirowania twornika, polega na stosowaniu biegunow zwrotnych, ktorych biegunowosc bedzie oczywiscie odwrotna do tej, jaką mieliśmy w prądnicach ¹⁾. Rys. 204 wskazuje znak bieguna zwrotnego magnesnicy silnika.



Rys. 204.

Tu biegun zwrotny ma znak ten sam, co najblizszy biegun glówny ze strony przeciwnej do kierunku wirowania twornika.

Pozatem silniki duze przeznaczone dla obciazenia zmiennego, zachodzacego raptownie w szerokich granicach, zaopatruje sie na magnesnicy w uzwojenia kompensacyjne, patrz § 10.

W silnikach elektrycznych nalezy zwracac baczna uwage na dokladne zachowanie polozenia szczotek, ustalonego w wytwórni, która budowała silnik, szczegolnie w silnikach z regulacja szybkości przez oslabienie pola magnetycznego.

Rozważając kierunek linii magnetycznych pola twornikowego na podstawie kierunkow prądow widocznych na rys. 203, łatwo przekonać się, że przesuwając szczotki wbrew ruchowi twornika, wywołamy reakcję ujemną, t. j. amperozwoje twornika będą przeciwdziały amperozwojom cewek magnesnicy, i przez to strumień czynny zmniejszy się, natomiast przy przesuwaniu szczotek za biegiem twornika, amperozwoje twornika będą współdziały z amperozwojami cewek magnesnicy, reakcja będzie dodatnia, czynny strumień magnetyczny wzrośnie ²⁾.

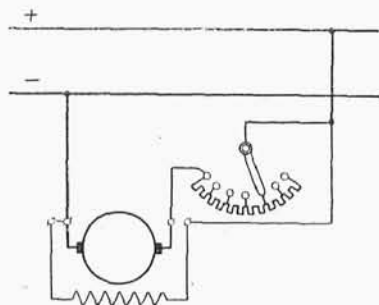
¹⁾ Patrz rys. 32.

²⁾ Wobec nasycenia zelaza zwykle wzrost bedzie znacznie mniejszy niz zmniejszenie.

Zmiany strumienia magnetycznego mają wybitny wpływ na bieg silnika jak zobaczymy dalej.

92. Rozruch silnika bocznikowego.

Przy rozruchu należy stosować opornik rozruchowy R , rys. 205, zabezpieczający twornik od nadmiernego prądu.



Rys. 205.



Przykład. Silnik, pobierający normalny prąd 54,6 A pod napięciem 220 woltów, można na czas krótki przy rozruchu obciążyć prądem podwójnym. Wtedy oporność opornika rozruchowego znajdujemy ze wzoru:

$$54,6 \times 2 = \frac{220}{R+r}$$

Opór twornika tego silnika wynosi: $r = 0,121 \, \Omega$, wobec tego wypadnie $R \cong 1,879 \, \Omega$.

Oporność uzwojenia elektromagnesów jest wielka, wynosi ona w danym silniku $140 \, \Omega$, i prąd do tych uzwojeń puszcza bezpośrednio z sieci. Wyniesie on:

$$i_m = \frac{220}{140} = 1,57 \, \text{A}$$

Podczas ruchu wielkość tego prądu ulega tylko nieznacznym zmianom skutkiem wahań napięcia sieci i wzrostu oporności uzwojenia, skutkiem nagrzewania się od wywiązującego się w tym uzwojeniu ciepła Joule'a.

Przy wykonaniu połączeń silnika z siecią i opornikiem rozruchowym, należy pamiętać aby obwód uzwojenia elektromagnesów odgałęziać przed oporem rozruchowym (patrz rys. 205), gdyż, w razie włączenia tego uzwojenia za oporem rozruchowym, wielki

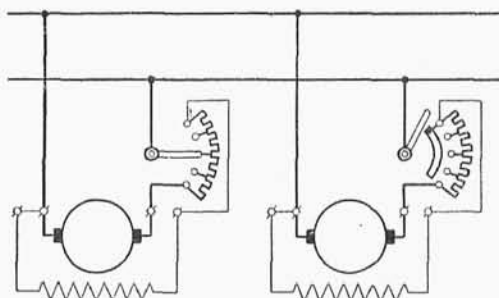
spadek napięcia, wywołany prądem twornika na tym oporze, obniża bardzo znacznie napięcie na zaciskach uzwojenia magnesów, a przez to i prąd magnesujący.

Wtedy silnik, mając mały strumień magnetyczny, ma mały moment obrotowy i skutkiem tego może z miejsca nie ruszyć.

Oporniki rozruchowe są zbudowane na krótkotrwały prąd rozruchu, więc rączkę tych oporników należy przesuwac z określoną szybkością, zwykle przepisaną w większych opornikach, nie za prędko i nie za wolno.

Dla uniezależnienia rozruchu od ręki ludzkiej, często bywają stosowane rozruszniki samoczynne, wprawiane w ruch pod wpływem chwilowego przyciśnięcia łącznika przyciskowego.

Na rys. 206 i 207, widzimy dwa wykonania praktyczne układów połączeń w rozrusznikach.



Rys. 206.

Rys. 207.

Na rys. 206, opornik rozruchowy przy puszczeniu w ruch silnika stopniowo wyłącza się z obwodu twornika i włącza się w obwód uzwojenia magneśnicy, ma to niewielki wpływ na oporność tego obwodu, gdzie uzwojenia są o dużym oporze. Na rys. 207, prąd do uzwojenia magneśnicy płynie niezależny. W obu przypadkach zwarty obwód, utworzony z twornika i uzwojeń magneśnicy, zapewnia tłumienie iskry przy wyłączaniu (patrz. str. 57).

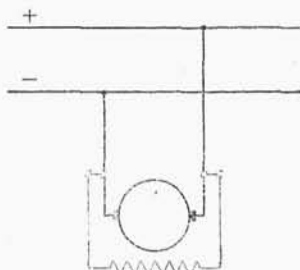
Silniki małe od 0,17 do 0,7 KM bez obciążenia mogą być puszczone w ruch przy napięciach do 220 V bez rozruszników, lecz wtedy trzeba pamiętać, że krótkotrwały prąd rozruchowy może osiągnąć wartość 10-krotną w porównaniu do normalnego.

93. Bieg silnika bocznikowego przy obciążeniu.

Przy obciążeniu, zwykle oporu przed twornikiem niema, wtedy mamy układ połączeń, wskazany na rys. 208.

Szybkość biegu można wyrazić wzorem, jak poprzednio:

$$n = \frac{V - Ir}{K' \Phi} \dots \dots \dots (1)$$



Rys. 208.

Ze wzoru na moment obrotowy:

$$M = K \Phi I$$

wypada:

$$I = \frac{M}{K \Phi}$$

a więc:

$$n = \frac{V - \frac{M}{K \Phi} r}{K' \Phi}$$

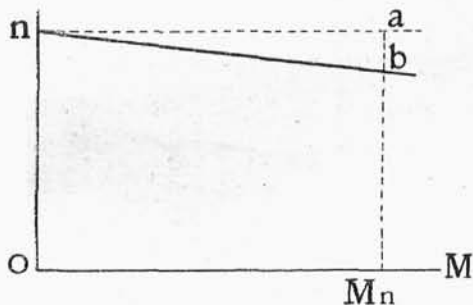
Stąd:

$$n = \frac{V}{K' \Phi} - \frac{r}{K K' \Phi^2} M$$

Wprowadzając skróty dla stałych czynników: K'' i K''' , napiszemy:

$$n = K'' - K''' M \dots \dots \dots (2)$$

Wzorowi temu odpowiada wykres, wskazany na rys. 209.



Rys. 209.

Odcinek ab wyraża tu spadek liczby obrotów przy normalnym momencie obciążającym.

Na spadek szybkości biegu silników bocznikowych przy obciążeniu ma znaczny wpływ reakcja twornika, która, zwłaszcza przy szczotkach nieco zsuniętych z linii obojętnej w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania twornika, osłabia strumień magnetyczny i przez to czynniki K'' i K''' we wzorze (2) już nie są zupełnie stałe, lecz nieco wzrastają¹⁾, skutkiem czego spadek szybkości biegu silnika wypada mniejszy, niżby to wynikało z równania (2).

Nadmierna reakcja twornika może nawet spowodować podniesienie się linii nb , wykresu rys. 209, ponad poziomą prostą na , wtedy większym szybkościom wirowania twornika odpowiadać będą większe momenty obrotowe.

Przy stałym hamującym momencie obciążenia, niezależnym od szybkości wirowania, taki silnik będzie chwiejny w biegu.

Jeżeli założymy, że w takim silniku chwilowo została osiągnięta równowaga pomiędzy momentem napędowym i hamującym, to w razie przypadkowego zmniejszenia się momentu hamującego silnik może rozbiegać się.

Tylko przy momencie hamującym rosnącym, np., proporcjonalnie do drugiej potęgi szybkości wirowania silnika, może być osiągnięta w jednym punkcie równowaga stała.

W praktyce używane są silniki o charakterystyce:

$$n = f(M)$$

takiej, jak podana na rys. 209.

Spadek szybkości wirowania przy normalnym obciążeniu od szybkości biegu luzem dla silników o mocy od 1 do 100 KM wynosi zazwyczaj od 10 do 1%.

Szczegółowsze dane podajemy w tabelce²⁾:

Moc silnika w kW.	Spadek obrotów przy norm. obciążeniu
1	8 — 5 %
5	5 — 3 %
20	2 — 1 %
50	1 %

¹⁾ Patrz wynik rozumowania w § 95.

²⁾ Według W. Lehmana.

Ze względu na tak małe zmiany szybkości biegu silników bocznikowych przy obciążeniu, są one stosowane wszędzie gdzie, niezależnie od różnych okoliczności pracy maszyny, napędzanej silnikiem elektrycznym, wymagana jest prawie stała szybkość ruchu.

Najszerszą dziedziną do stosowania silników bocznikowych są wszelkiego rodzaju obrabiarki.

94. Regulacja szybkości biegu silnika bocznikowego zapomocą oporu w obwodzie twornika.

Opornik regulacyjny twornikowy włącza się tak samo jak opornik rozruchowy, rys. 205. We wzorze na szybkość biegu silnika oporność R opornika regulacyjnego dodaje się do oporności twornika i przez to:

$$n = \frac{V - I(r + R)}{K' \Phi}$$

Wprowadzając wzór na moment obrotowy:

$$M = K I \Phi$$

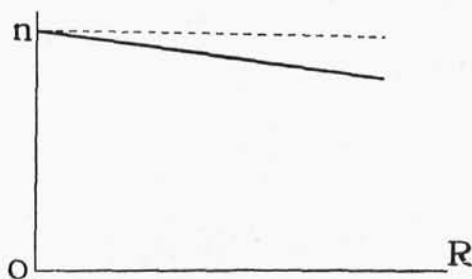
znajdziemy:

$$n = \frac{V - \frac{M}{K \Phi} (r + R)}{K' \Phi} \quad (3)$$

albo, upraszczając wzór przez skróty w postaci nowych stałych, K^{IV} i K^V , otrzymamy:

$$n = K^{IV} - K^V R$$

Z tego wzoru wynika, że w miarę wzrostu oporu R , szybkość biegu maleje według wykresu, podanego na rys. 210.



Rys. 210.

Przy regulacji tego rodzaju mamy wielką stratę energii w oporniku. W przybliżeniu traci się na ciepło w oporniku

regulacyjnym taką część pobranej z sieci energii, jaką część pełnych obrotów na minutę stanowi obniżenie szybkości biegu.

Np. silnik 25-konny, przy normalnem obciążeniu i normalnym biegu pobiera:

$$P = \frac{25 \times 0,736}{0,85} = 22 \text{ kW}$$

Jeżeli, przy tym samym momencie obrotowym, szybkość biegu silnika zmniejszy się do połowy, to oczywiście dostarczać on będzie już tylko 12,5 KM. Jednakże z sieci pobierany będzie ten sam prąd, a więc ta sama moc 22 kW; połowa tego, t. j. 11 kW, przekształcać się będzie na ciepło niemal całkowicie w oporniku regulacyjnym.

Ta okoliczność sprawia, że naogół staramy się unikać takiej marnotrawnej regulacji, a w razie koniecznej potrzeby stosujemy ją jak najkrócej.

Oporniki regulacyjne muszą być inaczej zbudowane niż rozruchowe, ze względu na znaczne ilości ciepła, które wydzielają się w nich przez dłuższy przeciąg czasu.

Naogół opornik regulacyjny jest znacznie większy i droższy od rozruchowego.

Wielkość opornika regulacyjnego powinna być przystosowana do obciążenia, przy którym ma odbywać się regulacja.

Należy również nie zapominać, że przy stałym oporze regulacyjnym, włączonym w obwód twornika, niewielkie nawet zmiany momentu obciążającego silnik, wywołują znaczne wahania szybkości biegu silnika. Wynika to od razu z rozważania wzoru (3) na str. 155.

Wobec tego silnik bocznikowy ze stałe włączonym oporem w obwodzie twornika nie ma tej cennej własności — prawie stałej szybkości biegu, niezależnej od obciążenia.

95. Regulacja szybkości biegu silnika bocznikowego oporem w obwodzie elektromagnesów.

Włączając opornik R' , rys. 211, w obwód uzwojenia elektromagnesów, możemy zmieniać wielkość strumienia magnesnicy.

Ze wzoru na szybkość biegu silnika przy stałym momencie obrotowym otrzymujemy następującą zależność liczby obrotów na minutę od wielkości strumienia magnetycznego, czynnego w silniku:

Tłumaczymy to sobie w sposób następujący: gdy osłabimy trochę strumień magnetyczny magnesnicy, siła przeciwelektromotoryczna w tworniku zmniejsza się, skutkiem tego wzrasta w tworniku prąd; wzrost prądu jest tak znaczny, że iloczyn ΦI , pomimo zmniejszenia się Φ , rośnie i moment obrotowy silnika przeważa moment hamujący. Pod wpływem tej różnicy w momentach silnik nabiera przyspieszenia, szybkość biegu rośnie, przez co siła przeciwelektromotoryczna również rośnie i powoduje zmniejszenie się prądu, przez to ΦI maleje i moment obrotowy stopniowo znów staje się równy momentowi hamującemu — bieg mamy znowu jednostajny, ale szybszy niż poprzednio.

Prąd twornikowy przy słabszym polu będzie oczywiście silniejszy.

Biorąc pochodną od n po Φ we wzorze (5) na str. 157, z równania:

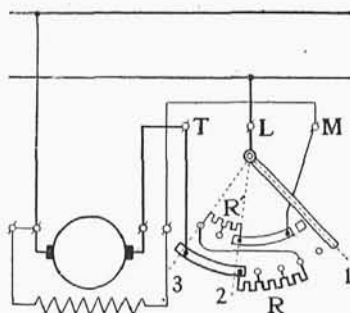
$$\frac{dn}{d\Phi} = 0$$

znajdziemy Φ , przy którym n będzie maksimum.

Podstawiając to rozwiązanie do wzoru (5) znajdziemy maksymalne n a następnie podstawiając wyrazy na maksymalne n i na odpowiednie Φ do równania (4) łatwo przekonamy się, że w tych warunkach wypada:

$$Ir = \frac{1}{2} V$$

Spadek napięcia w tworniku wynosi połowę napięcia sieci. Wtedy mielibyśmy w tworniku tak duże straty energii, że racjonalna praca byłaby niemożliwa, to też w praktyce trzymamy się zdala od tej maksymalnej szybkości.



Rys. 213.

Regulacja obrotów w zwykły zapomocą opornika w obwodzie uzwojenia magnesnicy jest oszczędna, gdyż słaby prąd magnesnicy wytwarza niewiele ciepła w oporniku regulacyjnym R' .

Zwykłe silniki dają się regulować w ten sposób do szybkości biegu o 25% większej od normalnej.

Przy jeszcze większym osłabieniu pola magnetycznego szczotki nadmiernie iskrzą.

Stosując jednak odpowiednie bieguny zwrotne pomiędzy biegunami głównymi, można zbudować silniki, których szybkość biegu może być zwiększona trzykrotnie i więcej.

Bieg silnika przy słabym polu magnetycznym jest jednak naogół dosyć chwiejny, małe przesunięcie szczotek na kolektorze łatwo może wywołać zaburzenia w biegu.

Z tego powodu regulacja bardzo szeroka znajduje zastosowanie tylko w specjalnych przypadkach; przy dobrym wykonaniu maszyn działa zupełnie zadawalająco.

Układ połączeń w oporniku regulacyjnym, zawierającym oba opory do twornika i do magneśnicy, mamy podany na rys. 213.

96. Regulacja szybkości biegu silnika bocznikowego zapomocą zmiany napięcia prądu, zasilającego twornik.

Ze wzoru na szybkość biegu silnika:

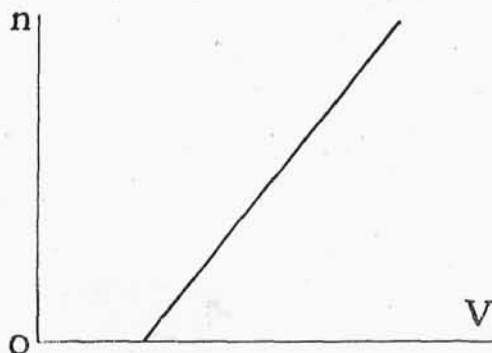
$$n = \frac{V - Ir}{K' \Phi}$$

widzimy, że przy stałym momencie obrotowym, zachowując wartości dla I i Φ , możemy zmieniać liczbę obrotów silnika na minutę przez zmianę napięcia V .

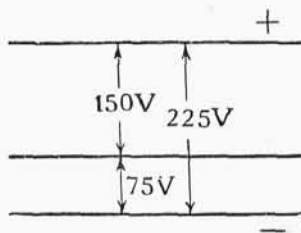
Wprowadzając stałe współczynniki K^{VIII} i K^{IX} , otrzymamy następujący wzór, wyrażający zależność n od V :

$$n = K^{VIII} V - K^{IX}$$

Na wykresie zależność ta daje się przedstawić linią prostą, wskazaną na rys. 214.



Rys. 214.



Rys. 215.

Ze wzoru i wykresu wynika, że przez zmianę napięcia V regulację możemy skutecznie w dowolnych granicach.

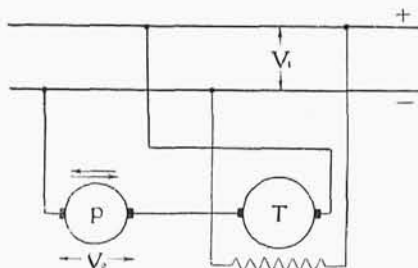
Są trzy sposoby, zapomocą których oszczędnie możemy zmieniać napięcie prądu, zasilającego twornik, pozostawiając bez zmiany prąd w tworniku.

Sposób 1-szy. Sieć wieloprzewodowa zasilą się z prądnicy, dającej, np., prąd pod napięciem 225 woltów, a zapomocą maszyn wyrównawczych, rys. 85, str. 65 skutecznie się podział tego napięcia na 150 i 75 woltów, rys. 215.

Z takiej sieci zasilą się silniki, których magnesnice biorą prąd zawsze pod napięciem 225 woltów, a tworniki stosownie do potrzeby włącza się na 225 — 150 — 75 woltów. Regulacja szybkości biegu odbywa się tu skokami. Dla szerszej regulacji tego rodzaju, bywają stosowane urządzenia pięcioprzewodowe, z napięciem na skrajnych przewodach 525 woltów, przewody pośrednie dzielą to napięcie na 58—175—175—117 woltów.

Prądnica na elektrowni ma napięcie 525 woltów, podział napięcia skutecznie się zapomocą zespołu wyrównawczego, składającego się z czterech maszyn, których wirniki są osadzone na jednym wale i połączone przewodami w szereg. Uzwojenia magnesnic tych maszyn są połączone równolegle i zasilane z pełnego napięcia sieci 525 woltów.

Takie urządzenia znajdują głównie zastosowanie w drukarniach tkanin.



Rys. 216.

Sposób 2-gi¹⁾. Do przewodów sieci rozdzielczej możemy włączyć szeregowo dodatkową prądnicę p , rys. 216, obracaną dowolnym silnikiem. Wtedy prąd do twornika T regulowanego silnika płynąć będzie pod napięciem:

$$V = V_1 \pm V_2$$

wielkość którego zależna będzie od wielkości i kierunku napięcia dodatkowej prądnicy.

¹⁾ Tak zwany układ za i przeciw napięciowy.

Napięcie tej dodawczej prądnicy może być regulowane w granicach od

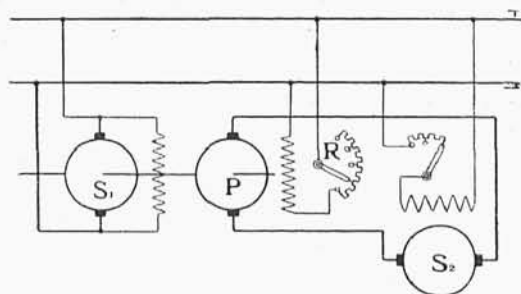
$$-V_2 \text{ do } +V_2$$

zapomocą prądu w jej elektromagnesach, a zatem w sposób ekonomiczny.

Sposób 3-ci. Najszerszą regulację otrzymuje się, stosując układ Ward-Leonarda, polegający na użyciu przetwornicy dwumaszynowej, która zasila twornik silnika regulowanego. Tego rodzaju sposób regulacji może być stosowany przy dowolnym prądzie, stałym czy zmiennym, który czerpiemy z sieci rozdzielczej rozważanego urządzenia elektrycznego.

Gdy sieć rozdzielcza jest prądu stałego, rys. 217, wystarczy przetwornica, składająca się z silnika S_1 , o stałej liczbie obrotów na minutę, obracającego prądnicę P obcowzbudną o zmiennym napięciu.

Wzbudzenie tej prądnicy i silnika regulowanego S_2 bierzemy wprost z sieci.



Rys. 217.

Szybkość biegu silnika S_2 zmieniamy w dowolnych granicach zapomocą opornika R , którym regulujemy prąd w magneśnicy prądnicy P .

Krzyżując przewody, łączące prądnicę P z silnikiem S_2 , lub też zmieniając kierunek prądu w magneśnicy prądnicy P , łatwo zmienić kierunek wirowania silnika S_2 .

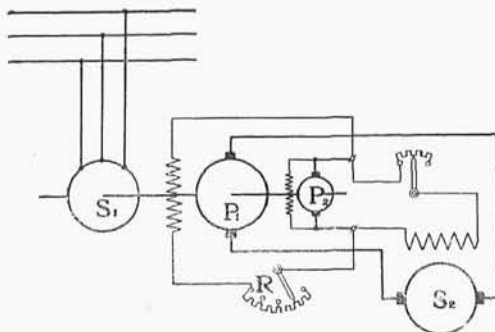
Gdy w sieci rozdzielczej mamy prąd trójfazowy, rys. 218, wypadnie wziąć przetwornicę trójmaszynową, składającą się z napędowego silnika trójfazowego S_1 , na stałą liczbę obrotów, obcowzbudnej prądnicy P_1 i małej prądnicy samowzbudnej P_2 prądu stałego.

Prądnicą obcowzbudną zasila twornik silnika regulowanego S_2 , a mała prądnicą samowzbudną służy do zasilania magneśnicy prądnicy obcowzbudnej i silnika regulowanego.



Regulacja odbywa się przy pomocy opornika R .

Gdy zależy na tem, aby sieć przewodów zasilających i wał silnika napędowego odciążyć od gwałtownych zmian momentu obrotowego, umieszczamy, według pomysłu Ilgnera, we właściwym



Rys. 218.

miejsu na wale przetwornicy koło zamachowe odpowiednio ciężkie, a silnik napędowy budujemy w ten sposób, aby przy zwiększeniu obciążenia odpowiednio zmniejszał szybkość biegu. Wtedy, przy nagłym wzroście obciążenia, koło zamachowe będzie oddawało energję i zmniejszy skok obciążenia silnika napędowego, a przy nagłym odciążeniu, koło zamachowe będzie pobierało energję i zwiększy obciążenie silnika napędowego. Dla odpowiedniego wyzyskania działania koła zamachowego, należy dbać aby silnik napędowy układu przetworniczowego w dość znacznej mierze zmniejszał szybkość biegu, np., od 10 do 15% przy pełnem obciążeniu.

97. Rozruch silnika szeregowego.

W silniku szeregowym, rys. 219, twornik i uzwojenie magnetyczne są połączone w jeden nierozgałęziony obwód.

Moment obrotowy może być wyrażony wzorem:

$$M = K \Phi I = K_1 I^2 \quad (6)$$

o ile przypuścimy, iż strumień magnetyczny zmienia się proporcjonalnie do natężenia prądu, co jest dopuszczalne tylko w niewielkim zakresie $a - b$, rys. 220, gdzie charakterystyka tej zależności jest prostolinijna.

Wobec tego zależność momentu obrotowego silnika szeregowego od natężenia prądu wyrażona wzorem (6) w rzeczywistości bywa osiągalna tylko dla małych obciążeń silnika, przy obciąże-