

Rozdział VI.

1. Budowa dynamoma- trycz prądu stałego.

Dwie najważniejsze części prądnicę stanowią twornik i elektromagnety.

Budowa twornika jest następująca. Na wale stalowym osadza się szorstką łanę żelazną w twornikach bębnowych i miedzianą w twornikach pierścieniowych (patrz tablica I i II). Na tej szorstkości kamocują się krążki żelazne z blachy, mniejszej grubości od 0,3 do 0,5 mm.

Krążki te są ściśnięte między grubemi tarczami. Gdy ułożenie ma być umieszczone na powierzchni rdzenia żelaznego, to krążki są na obwodzie gładkie (tabl. I i III), jeżeli natomiast potrzebne są dla umieszczenia drutów wgnębięcia —
Elektrotechnika, arkusz 11^{ty}.

rowki, to krawki blaszane są zabezpieczone tak, jak wskazano na tabl. III, otwory jednak ze wszystkich stron zamknięte - nie stosują się.

W większych maszynach dla wentylacji, w celu chłodzenia twornika, w kilku miejscach zostawiają się w rdzeniu twornika otwory, w kierunku prostopadłym do osi maszyny (patrz tabl. II).

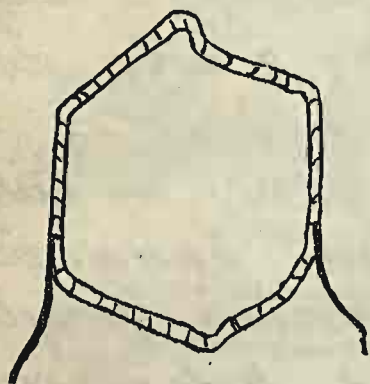
Rdzeń twornika robi się z blachy dla tego, aby unikać prądów wirowych, powstających przez indukcję przy obracaniu twornika w polu magnetycznem.

Wewnątrz rowków twornika umieszcza się dobrze izolowane druty miedziane ułożenia twornikowego tak jak to wskazano na tablicy IV.

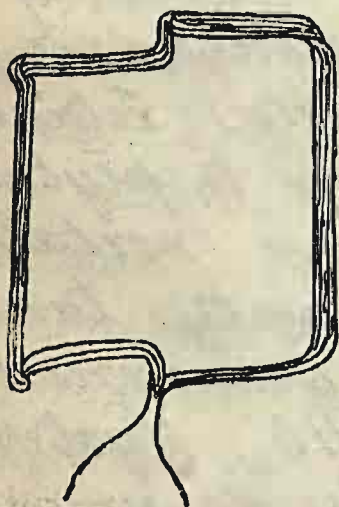
Ułożenie pierścieniowe wskazane na tabl. I, gdzie druty leżą wprost na powierzchni twornika, obecnie nie stosuje się. Także również nie używa się ułożenia rzecznego twornika bębnowego wskazane na rysunku dolnym tabl. I. Zwyczajnie na odpowiednich formach drewnianych przy-

gotowują się z drutu sekcye uchwycenia - rys. 114 i 115, które następnie układają się w rowki twornika.

Rys. 114.



Rys. 115.



Na rys. 114 widzimy, taką sekcję uchwycenia układającą się z kilku xwojów drutu izolowanego, owiniętych razem taśmą izolacyjną. Druty te są wygięte w ten sposób, że części uchwycenia xwonów rownów twornika układają się na przekłózonej powierzchni cylindrycznej rowienia twornikowego, jak to widać naprz. na tabl. III.

Na rys. 115 mamy inny rodzaj sekcji uchwycenia, przystosowanej do układu, wskazanego na rysunku twornika u góry, tabl. III.

Tutaj części xwojów nachwytów rownów leżą na podstawie cylindra i kształt wygięcia drutów stanowi krzywą linię xwana ewolwenty.

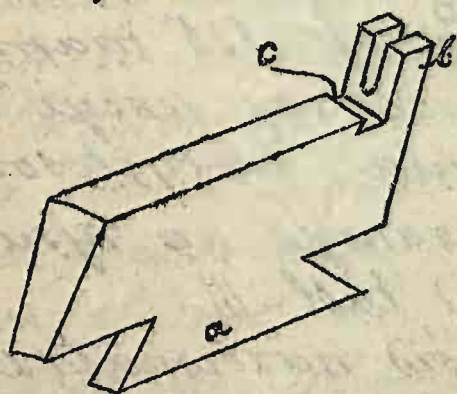
Dla zabezpieczenia drutów twornika od wysuwania się z rowków nawijają się bandaż i drutami nosi się go, pod bandażem znajduje się jeszcze warstwa izolacji mikowej. Druty bandażu skłutują się z sobą do kładnie na całej długości.

Na tablicy III u góry, na tworniku są uwidocznione bandaż.

Koniec zwojów twornika przyklutują się do drzałek kolektora.

Kolektor składa się z płytek, przygotowanych z twardej ciągniętej miedzi izolowanych do kładnie pomiędzy sobą i od piasty żelaznej, na której umocowują się te płytki.

Płytki kolektora mają kształt

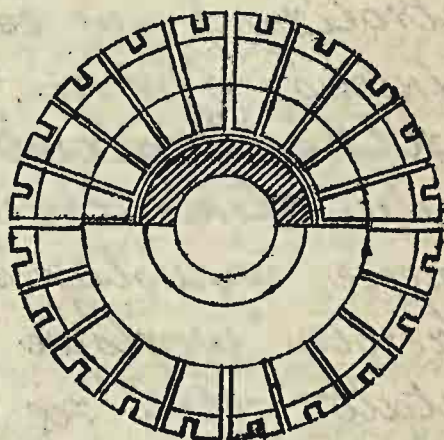
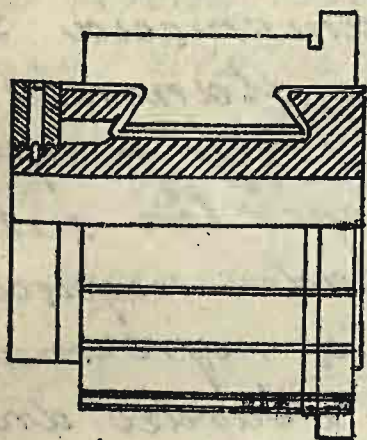


Rys. 116. klinowaty taki, jak wskazano na rys. 116. Wypstę a służy do umocowania płytek na piaście. Wypstę b z rowkiem służy do przyklutowania

drutów twornika, a wgłębienie c zabezpiecza równość powierzchni ko-

lektora przy ścierniu się. Gdyby tego wgłębienia nie było tworzyłaby się w tym miejscu nieprawidłowa wgłębność.

Rys. 117.



Niektóre szczegóły konstrukcyjne widzimy na rys. 117. Rolektor, jak widać z rysunku, stanowi niezależną całość, która gotowa nasadza się na wał.

Grubość płytek rolektora na powierzchni wynosi w maszynach małych od 3 mm do 5 mm, a w dużych od 5 mm do 15 mm. Grubość izolacji pomiędzy płytkami od 0,6 do 1,2 mm, a grubość izolacji od piasty 1,5 do 5 mm.

Z rolektora odprowadzają prąd szcrotki przylegające ściernie do jego powierzchni. Używają się szcrotki metalowe i węglowe. Metalowe szcrot-

ki robią się z cienkich blaszek lub też z tkaniny; stosują się one obecnie tylko do prądnic o nizkiem napięciu i bardzo silnym prądzie (prądnice do elektrolizy), w celu uniknięcia zbyt wielkiego oporu, jaki stanowią szczotki węglowe. Przy przepływie prądu elektrycznego opór ten zużywa napięcie wywołując spadek napięcia.

Szczotki węglowe mają najprostszy kształt, robią się one z bardzo drobno mielonego węgla z domieszką grafitu - w prasach pod silnem ciśnieniem.

Szczotki morganitowe robią się również z grafitu z pewnemi domieszkami.

Są różne gatunki rozmaitej twardości. Powierzchnia styku jednego kawałka węgla czyli jednej szczotki waha się zwykłe w granicach od 6 cm^2 do 9 cm^2 .

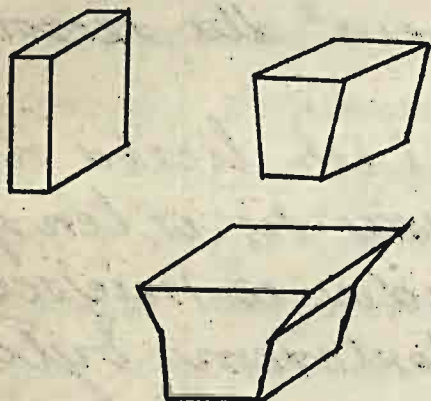
Są jeszcze szczotki węglowe z domieszką proszku metalowego, mają one mniejszy opór dla prądu od szczotek węglowych.

Do kolektorów zwykłych prądnic obecnie używają się szczotki tylko węglowe ze względu na to, że nie niszczą kolektora i przez swój większy

opór ułatwiający bieg maszyny bez
iskier^{*)}

Szczotki umocowują się w grabkach.
Grabki i szczotki widziemy na tabl. IV z
lewej strony, szczotka metalowa, a z
prawej węglowa. Kształty szczotek
węglowych obecnie najczęściej używa-
nych są pokazane na rys. 118.

-Rys. 118.



Do powierzchni ko-
lertonu oś szczotki jest
zwykle prostopadła.

Na zapewnienie do-
kładnego styku z grab-
kami górna część
szczotki nieraz pokry-
wa się warstwą mie-
dзи, a czasem przy-
mocowuje się do szczotki kabelek z

ciennych drutów miedzianych, któ-
ry drugim końcem przytwierdza się
do grabki.

Grabki umocowują się na bolcach
szczotkowych B, pokazanych w de-
talu u dołu tablicy IV. Zamoco-
wanie urządza się w ten sposób,
aby odpowiednia sprężyna ciągnę-

^{*)} Patrz dalej o iskrzeniu się szczotek.

dużąca się na grabnackach przyciskała szczotki do kolektora. Przy szczotkach węglowych należy zwracać uwagę na to, aby siła przyciskająca szczotkę przechodziła przez środek powierzchni styku szczotki z kolektorem. Szczotek nie należy zbyt mocno przyciskać do kolektora zwykłe stosuje się ciśnienie od 100 do 130 gr. na cm^2 dla szczotek metalowych i od 120 do 150 gr. na cm^2 dla szczotek węglowych.

Wielkość szczotek i ich liczba na jednym biegunie wybiera się w ten sposób, aby gęstość prądu w miejscu styku szczotki z kolektorem była następująca:

dla szczotek metalowych

od 10 - do 25 amper. na cm^2 ;

dla szczotek węglowych

od 4 - do 10 amper. na cm^2 ;

im twardsze tym mniej;

dla szczotek węglowych z domieszką proszku metalowego:

od 20 - do 45 amper. na cm^2 .

W kierunku obwodu kolektora wymiar szczotek wybieramy w ten spo-

zob, aby styk pokrywał określoną liczbę działek kolektora, a mianowicie: przy maszynach o różnicy napięcia zwykle szczerka pokrywa jedną działkę kolektora, a przy napięciach wyższych od 100 V., szczerki metalowe pokrywają 1 do $2\frac{1}{2}$ działek, a węglowe od 2 do $3\frac{1}{2}$ działek.

Elektromagnesy dynamomaszyn dawniej budowano w najrozmaitszy sposób. Kilka przykładów podano na tabl. V i VI. Tam widzimy układ zwojnic magnetyzujących i bieg średniej linii strumienia magnetycznego. Na jednym z rysunków pokazane są również linie rozproszenia.

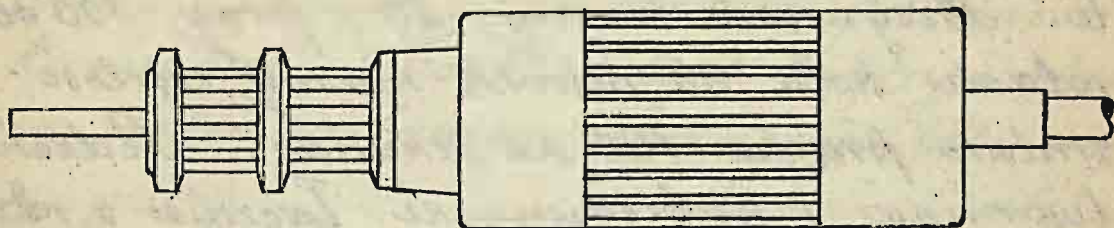
Obecnie budują się elektromagnesy prądnic prądu stałego prawie wyłącznie w kształcie pierścienia, wewnątrz którego są umieszczone bieguny w odpowiedniej ilości. Rdzenie biegunowe odlewają się razem z pierścieniem lub też robią się oddzielnie i przykrubowują się do pierścienia (patrz tabl. VI).

Na biegunach zazwyczaj, przymocowują się nabiegunniki zrobione z blachy, dla uniknięcia prądów wirowych wywołanych ruchem linii magnetycznych pod wpływem przebiegających w pobliżu zębów twornika.

Zwojnice magnesujące dawniej, nawijano na odpowiednie ramki, teraz częściej wprost zwijają z drutu izolowanego zwojnice, owinięte dokładnie tkaniną izolującą i ściśle nasadzają na występ biegunowy). Nabiegunnik przytrzymuje zwojnicę we właściwym położeniu.

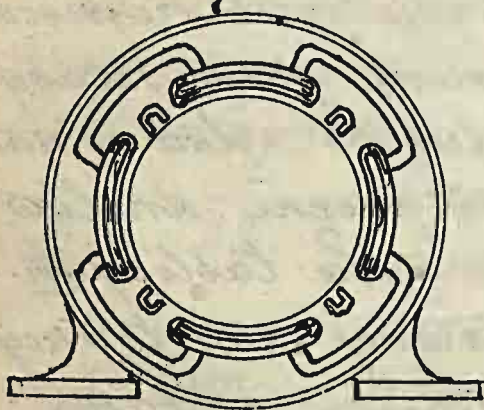
Odmierną budowę mają prądnice przeznaczone dla popędu za pomocą turbin parowych. Prądnice te przy dużej mocy, wykonywują znaczną liczbę obrotów w ciągu minuty, zwykle około 1500, więc średnica twornika i kolektora wypadła niewielką, kolektor bardzo długi. Dla zamocowania płytek kolektorowych nasadzają się izolowane pierścienie stalowe, rys. 119. Również stalowe pancernie na końcach trzymają uzwojenie.

Magnesnica na kształt pierścienia do-
Rys. 119.



żelaznego z blachek rys. 120 z rowkami na wewnętrznej powierzchni. W rowkach tych znajduje się uzwojenie przeznaczone dla wywołania zwykłego pola (na rysunku czterobiegunowe) o odpowiedniej liczbie biegunów i uzwojenie pomocnicze

Rys. 120.



kołektorem.

przeciwdziałające magnetycznemu wpływowi amperozwojów twornika. Po zatem są bieguny dodatkowe dla zapewnienia beziskrowego przebiegu prądu przez styk szczotek z kolektorem.

2. Budowa prądnicy prądu zmiennego.
Niektóre szczegóły budowy, widzi-

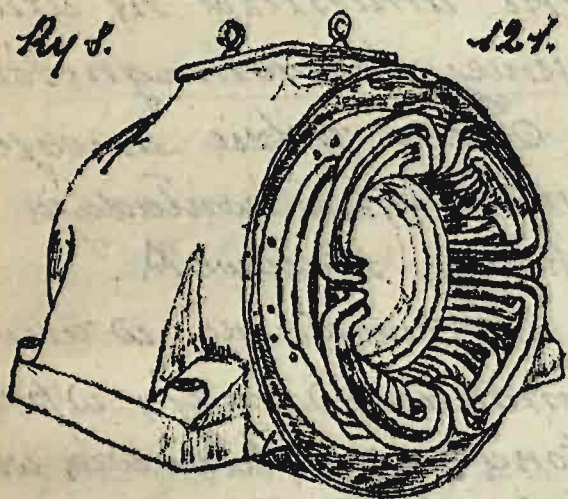
my na tablicach VII i VIII. Tablica VII przedstawia prądnicę z ruchomemi magnesami osadzonymi na dużem kole. Biegunów mamy 20; przy 300 obrotach koła na minutę mamy częstość zmian prądu 100 na sekundę. Rdzeń twornika i nabiegunniki łącznie z rdzeniami xwojnic magnetyzujących wykonano zą z blach w celu uniknięcia prądów wirowych. Przez pierścienie osadzone z prawej strony, na wale doprowadza się stały prąd do xwojnic magnetyzujących ruchome elektromagnesy. Uzwojenie nieruchomego twornika umieszcza się w rowkach, które są widoczne na rysunku prawym. Zależnie od wielkości napięcia prądu uzwojenie stanowią grube sztaby umieszczone po jednej, lub po kilka w każdą rowek, albo też prędkie drutów ułożonych w xwojnice. Na tablicy VIII widzimy prądnicę dawnej konstrukcji z nieruchomym twornikiem i jedną dużą nieruchomą xwojnicą magnetyzującą, przekrój poprzeczny tej xwojnicy, widoczny, jest u góry, rysunku.

Obraca się tu koło z występami osadzonymi na wale. Występy mają nabie-

gunnini z blachy. Na rysunku prawym widoczne są rowni twornina, gdzie umieszczają się druty, tworninowe. Najczęściej używane są obecnie prądnice turbinowe. Twornik tych maszyn stanowi beben z lanego żelaza rys. 121 z odpowiednimi nadlewami dla ustawienia.

Rys.

121.

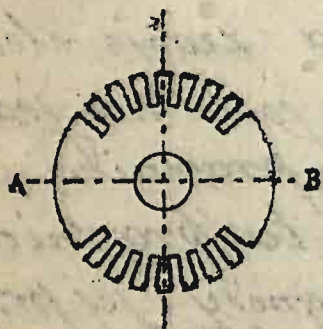


wiedniemi nadlewami dla ustawienia.

Wewnątrz umocowany jest pierścień z blach cienkich z rowkami, w których układają się druty, twornina odpowiednio izolowane.

W środku przechodzi wał z elektromagnesami. Dwa są rodzaje budowy elektromagnesów. Jedna prostsza polega na tem, że wał we-

Rys. 122.



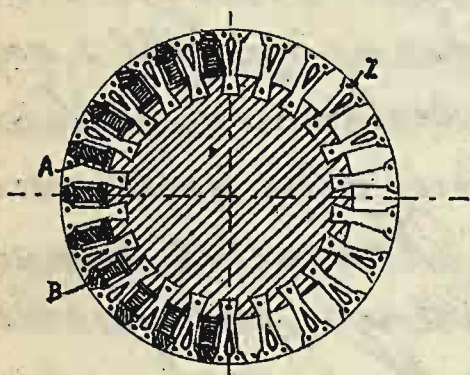
wewnątrz prądnicy magnetycznej, w którym wycięte są rowni, rys. 122, dla umieszczenia zwojów magnetyzujących. Na rys. 122 mamy przekrój takiego wału przygotowanego do utworzenia dwubiegunowego. W A i B pow-

jenia dwubiegunowego. W A i B pow-

stanu bieguny).

Na rys. 123 pokazany jest inny

Rys. 123.



sposób wykonania. Na
zgrubionym wale osi-
dają się zęby żłobki
i pomiędzy nimi zęba-
mi umieszczają się uzwo-
jenie elektromagnesów.

Tam gdzie uzwoje-
nia nie ma wstawiają
kliny stalowe A.

Przewodniki w uzwo-
jeniu tanich elektromagnesów mają w prze-
kroju kształt prostokątny, stanowią więc
paszki miedziane ułożone na płask jak wi-
dać na rys. 123.

Prąd do tych przewodników dopro-
wadza się przez dwa żelazne pierście-
nie izolowane umocowane na wale
z dwóch stron maszyny. Prądnica
prądu stałego, zasilająca zwoje elek-
tromagnesów umieszczona jest na jed-
nej podstawie z główną prądnicą i
turbina parowa. Często ta prądnica
jest tak mała, że elektromagnesy jej przy-
mocowują się do łożyska, a twornik osi-
dła nie ma przedłożenia wale.

Rozdział VII

Własności prądnic.

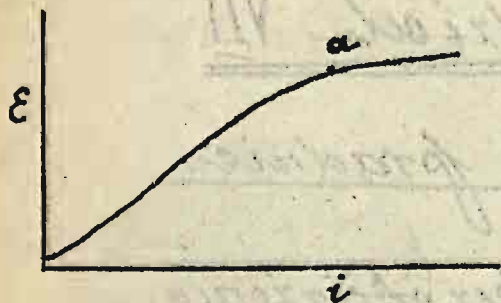
1. Charakterystyka bez obciążenia.

Własności prądnic bez obciążenia wyrażamy zależnością siły elektromotorycznej od liczby obrotów na minutę i od prądu w elektromagnesach przy prostym wzbudzeniu. Krzywa linję wyrażającą w odpowiednich współrzędnych zależność siły elektromotorycznej od prądu w elektromagnesach nazywamy charakterystyką dynamomaszyny bez obciążenia. Zależność siły elektromotorycznej od liczby obrotów na minutę wyraża się zawsze linją prostą, ponieważ że wzorów dla sił elektromotorycznych dynamaszyn prądu stałego i zmiennego wiemy, że siła elektromotoryczna zwiększa się proporcjonalnie do liczby obrotów maszyny na minutę.

Charakterystykę bez obciążenia, rys. 124, wyznaczamy w następujący

sposób. Doprrowadzamy do elektro-

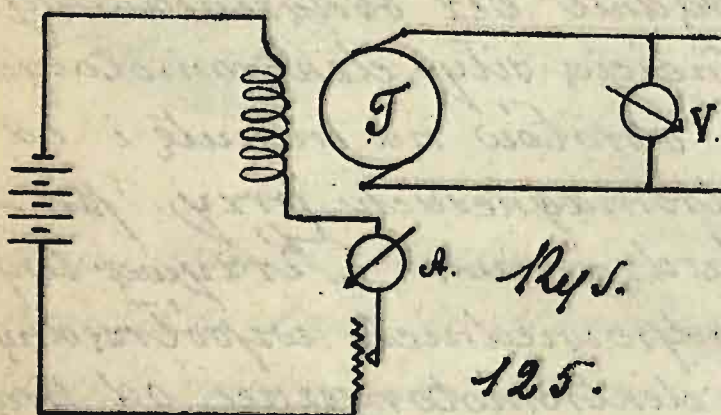
Rys. 124.



magnesów prądnicę, rys. 125
prąd z obrotu źródła przez
opornik i amperomierz, a
do końcówek twornika
przylaczymy woltomierz.

Wstawiamy prądnicę

w ruch i utrzymujemy stałą
szybkość w ciągu całego doświad-
czenia. Za pomocą opornika
zmieniamy siłę magnetyzującego



Rys.
125.

prądu i przy różnych prądach w elektro-
magnesach potujemy wskazania woltomierza. Przy połączeniu podanym
na rys. 125 woltomierz wskazuje siłę
elektromotoryczną powstającą w tworniku,
ponieważ w tym czasie prąd płynący
przez twornik jest bardzo mały.

Z doświadczeń tego rodzaju otrzymujemy krzywą linię, kształt której widzimy
na rys. 124. Linja ta nie zaczyna się od początku współrzędnych, ponieważ przy magnetyzującym prądzie rów-

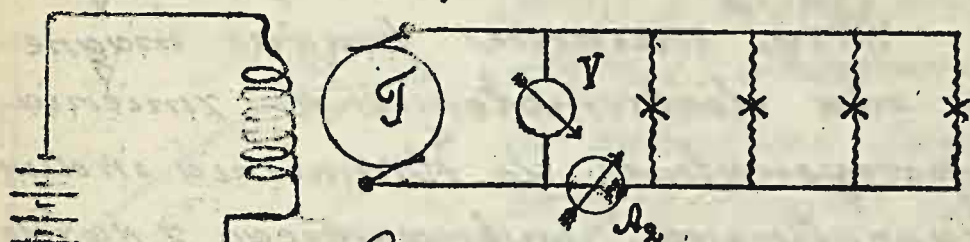
nym zero mamy pewną siłę elektromotoryczną powstającą w uzwojeniach twornika pod wpływem szczerkowego magnetyzmu. Przy zmianie prądu magnetyzującego siła elektromotoryczna zmienia się proporcjonalnie do strumienia indukcji magnetycznej, wybiegającego z nachyłego bieguna elektromagnesów. Strumień ten jednak nie jest proporcjonalny do siły prądu magnetyzującego z powodu zmienności przenikliwości magnetycznej żelaza. Przy wzroście prądu magnetyzującego przenikliwość żelaza zmniejsza się i strumień magnetyczny rośnie wolniej od prądu magnetyzującego, a więc wolniej rośnie i siła elektromotoryczna. Nominalna siła elektromotoryczna prądnicy zachwycaj odpowiadają punktowi a linii za przecięciem, wtedy bowiem przy znacznych nawet zmianach prądu magnetyzującego siła elektromotoryczna zmienia się niewiele.

2. Charakterystyka prądnicy stałego prądu z postronnym wzbudzeniem przy obciążeniu.

Układ połączeń prądnicy z postron-
Elektrotechnika arkusz 124.

nem wzbudzeniem obciążonej lampy

Rys. 126.

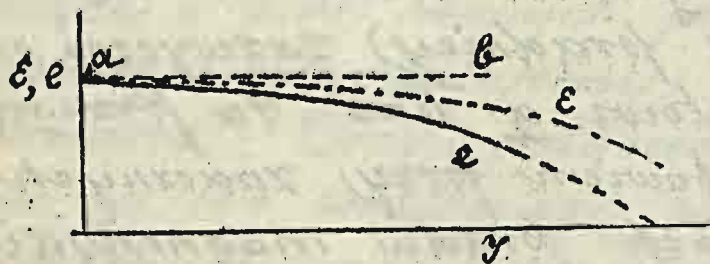


żarówce
mi wska-
zaną
jest na
rys. 126

Charakterystyka prądnicy, przy obciążeniu jest zależność napięcia na końcówkach prądnicy, od siły, prądu dostarczanego przez prądnicę przy stałym prądzie w elektromagnesach i stałej szybkości biegu.

Przy powiększaniu liczby lamp

Rys. 127.



włączonych równolegle opór wewnętrzny, zmniejsza się, a przez to wzrasta prąd - I, który wskazuje ampero-

miierz A_2 . Woltomierz V wskazuje napięcie na końcówkach prądnicy, oznaczmy to napięcie przez e . Jeżeli opór twornika jest r , to napięcie w zależności od siły, elektromotorycznej E . w zworach twornika wyrażamy wzorem:

$$e = E - yr$$

Przy wzroście prądu doczyn I_c zwiększa się, więc napięcie przez to spada. Jest jednak jeszcze inny czynnik wywołujący obniżanie się napięcia. Siła elektromotoryczna E nie jest wielkością stałą, gdyż przy zwiększaniu się prądu wzrasta działanie rozmagnetowujące twornika.

Na rys. 127 widzimy, że napięcie jest największe i równe sile elektromotorycznej, gdy prąd w obwodzie zewnętrzny, równa się zero.

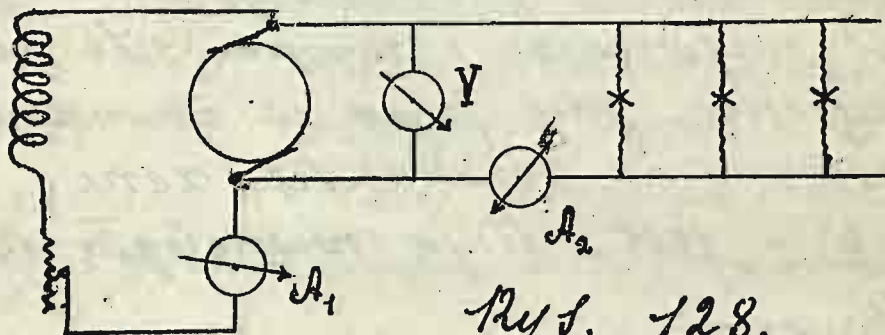
ab - jest linją równoległą do osi prądu.

Krzywa wyrażająca zmienność E od prądu odchyła się w dół od ab pod wpływem reakcyi twornika, a krzywa napięcia odchyła się jeszcze w dół od krzywej E z powodu straty napięcia w oporze twornika. W praktyce obciążamy prądnice w ten sposób, że napięcie zmniejsza się nie więcej jak o kilka procent. W prądnicach z postronnym wzbudzeniem możemy przy dowolnem obciążeniu zmieniać napięcie przez zmianę prądu w elektromagnetykach stopniowo od zera do nominalnego.

Obniżyć lub podwyższyć napięcie można również przez ^{zmianę} liczbę obrotów na minutę twornika.

3. Charakterystyka prądnicy woskowej.

Układ roboczej prądnicy woskowej obciążonej lampami podany



Rys. 128.

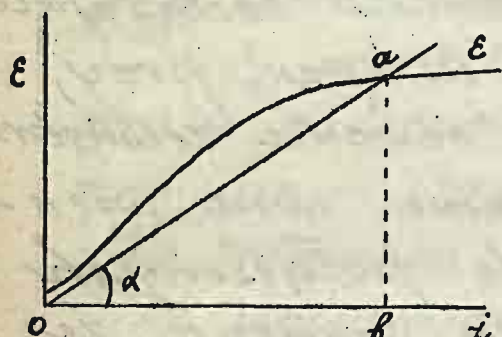
jest na rys. 128. Żwoje elektromagnetyzów przyłączone są tu do szeregów, od których prowadzimy prąd do lamp. Dla dokładnego pojmania działania takiej prądnicy, trzeba koniecznie jest przedewszystkiem rozważyć warunki zainstalowania. Oznaczmy przez i - prąd w elektromagnetykach, przez R - opór elektromagnetyzów łącznie z oporem dodatkowym. Wtedy, napięcie na szeregach - e wyrażimy wzorem:

$$e = iR.$$

Prąd magnetyjacy potrzebny, dla otrzymania danego napięcia \underline{e} możemy wyznaczyć z powyższego równania.

Prąd ten jednak po zatem musi czynić zależność zależności pomiędzy \underline{E} i \underline{i} wyrażonej charakterystyką prądnicy, bez obciążenia. Na

Rys. 129.

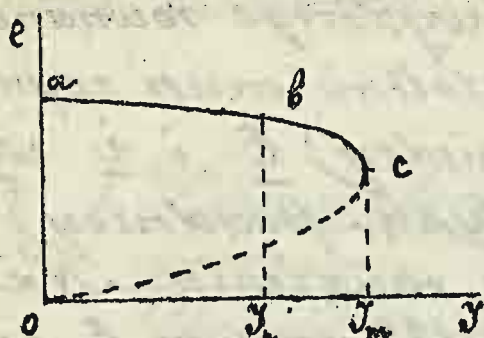


rys. 129 krzywa \underline{E} wyraża tę charakterystykę dla rozważanej prądnicy, wyraża ona zależność \underline{E} od \underline{i} w tym wypadku, gdy prądnicą wzbudzana jest ze źródła postronnego. Bez obciążenia $\underline{e} = \underline{E}$.

Przeprowadźmy prostą \underline{oa} pod kątem α do osi \underline{i} , tak aby $\operatorname{tg} \alpha = R$, wtedy punkt \underline{a} stanowiący przecięcie tej prostej z krzywą \underline{E} wyznaczy napięcie prądnicy nieobciążonej i prąd w elektromagnesach. " \underline{ab} " wyraża \underline{e} , a " \underline{ob} " wyraża odpowiednio \underline{i} . Gdy opór R jest tak duży, że prosta " \underline{oa} " przecnie krzywą \underline{E} zbyt nisko, to należy stąd wnosić, że przy takim oporze R , prądnicą nie wzbudzi się.

Przy obciążeniu napięcie na końców-

kach prądnicu) zmniejsza się. Na rys. 130 przedstawiona jest charakterystyka przy obciążeniu prądnicu bocznikowej. Wyraża ona zależność napięcia na końcówkach prądnicu od prądu obciążającego



go (naprz. w obwodzie lamppek), przy zmniejszaniu oporu obwodu zewnętrznego np. przez włączenie coraz większej ilości równolegle połączonych lamppek. Przywa ta wskazuje że największe napięcie mamy wtedy, gdy prąd I równa się zero t. j. obwód zewnętrzny jest przerwany.

Przy stopniowym wzroście prądu napięcie zmniejsza się i punkt b odpowiada normalnemu prądowi obciążonej prądnicu. Przy dalszym zmniejszaniu oporu obwodu zewnętrznego prąd wzrasta tylko do pewnego maksimum I_m , następnie gdy opór obwodu zewnętrznego będzie jeszcze mniejszy, prąd dalej nie wzrasta, a przeciwnie spada, ponieważ prądnicą prze staje się wzbudzać z powodu bardzo

znacznego osłabienia prądu magnetyzującego.

W prądnicu, bocznikowej napięcie na końcówkach przez siłę elektromotoryczną i prąd w tworniku wyrażamy wzorem:

$$e = E - (Y + i) \cdot r.$$

$(Y + i)$ - jest tu prąd w tworniku, a r opór twornika.

Przy wzroście Y , zwiększa się strata napięcia w tworniku i przez to zmniejsza się napięcie na końcówkach.

Po zatem są jednak jeszcze dwa czynniki wpływające na spadek napięcia. Siła elektromotoryczna nie pozostaje wielkością stałą przy obciążeniu prądnicy.

Pod wpływem zmniejszającego się napięcia prąd w elektromagnesach zmniejsza się, zmniejszają się więc magnetyzujące amperowojce. Jednocześnie z powodu wzrostu prądu w tworniku powiększa się liczba amperowojców rozmagnezujących twornika. Oba te czynniki zmniejszają strumień magnetyczny, prądnicy i przez to obniżają wartość siły elektromotorycznej.

W ten sposób napięcie na końcówkach zmniejsza się o 5 do 20% przy pełnem

obciążeniu prądnicy).

Przy zastosowaniu prądnic boschowskich wypadła utrzymywać na końcowych napięcie stałe. Osiągamy, to najwyższą zmniejszając stopniowo opór dodatkowy w obwodzie elektromagnesów.

Przez zmniejszenie tego oporu zwiększa się odpowiednio prąd magnetyzujący, w zwojach elektromagnesów.

Ta droga osiągniemy nie tylko zrównoważenie antyreaktywnej rozmagnezowującej twornika, ale nawet niewielkie zwiększenie strumienia magnetycznego, a więc i siły elektromotorycznej, w tworniku dla wyrownania spadku napięcia wywołanego przez opór twornika.

W tej prądnicy wysokość napięcia możemy zmieniać przez przyspieszenie lub zmniejszenie szybkości obrotu.

Charakterystykę prądnicy przy obciążeniu można wykreślić na podstawie danych konstrukcyjnych prądnicy nie robiąc doświadczenia. W tym celu

przede wszystkim wykreślamy charakterystykę prądnicy, bez obciążenia, nie przyjmując pod uwagę szeregowego rdzenia. Siłę elektromotoryczną

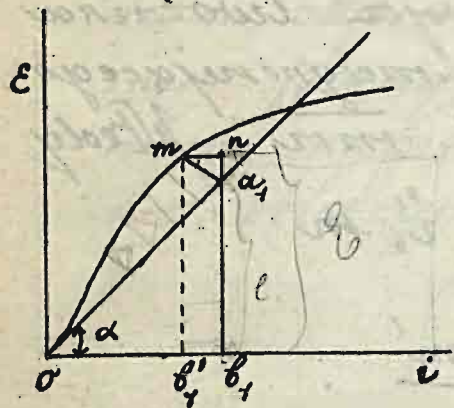
obliczamy ze wzoru:

$$\mathcal{E} = N \cdot \frac{p}{\alpha} \cdot z \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8},$$

przy różnych wartościach dla strumienia magnetycznego N . Siłę prądu magnetyzującego przy różnych N obliczymy na podstawie wzorów dla obwodu magnetycznego. Mając odpowiednie wartości dla \mathcal{E} i i , wykreślamy krzywą $\mathcal{E} = f(i)$.

Mając charakterystykę prądnicę bez obciążenia wyznaczymy charakterystykę przy obciążeniu. Na rys. 131

Rys. 131.



przedstawiona jest ta charakterystyka, a charakterem wykreślona jest ta prosta pod kątem α , który spełnia zależność równania: $\tan \alpha = R$; R -

jest to opór elektromagnetyczny łącznie z oporem dodatkowym.

Zauważmy, że przy pewnym obciążeniu napięcie wyraża się odcinkiem $a_1 b_1$, rys. 131; jeżeli $(I + i) \cdot z$ wyraża odcinek $a_1 n$, to $b_1 n$ przedstawia siłę elektromotoryczną. Prąd magnetyzujący, odpowiadający -

$$e = \mathcal{E} - (I + i)z$$

$$e + b_1 n = \mathcal{E}$$

cy, takiej sile elektromotorycznej wyraża się odcinkiem $\overline{ob'}$, który, jest mniejszy o $\overline{ob'}$, $\overline{ob'}$ od odcinka \overline{ob} wyrażającego prąd przebiegający w tych wiatkach przez zwoje elektromagnety. Odcinek \overline{mn} wyraża tę część prądu elektromagnety, która równoważy rozmagnetowujące działanie twornika. Mając to na względzie szereg, napięć odpowiadających różnym prądom obciążenia znajdziemy, w sposób następujący:

oznaczymy przez m liczbę zwojów zwojnic magnetyzujących, przez m' liczbę rozmagnetowujących zwojów twornika ^{x)} przez i' część prądu magnetyzującego odpowiadającą odcinkowi \overline{mn} . Stedy:

$$(Y+i).m' = i'.m$$

więc:

$$i' = \frac{(Y+i)m'}{m}$$

Wartość jednego ampera wyrażonego w milimetrach dla krzywej rys. 131 oznaczmy przez S , wtedy, możemy napisać równania:

^{x)} jest to liczba drutów zawarta w nasie 2a (patrz rys. 109) po jednej stronie twornika.

$$\overline{mn} = i' \cdot s' = \frac{(Y+i) \cdot m'}{m} \cdot s'$$

$$\overline{an} = (Y+i) \cdot r \cdot s'$$

Stąd:

$$\frac{\overline{an}}{\overline{mn}} = \frac{r \cdot s' \cdot m}{m' \cdot s'}$$

Stosunek ten jest wielkością stałą więc dla wszystkich napięć bok \overline{ma} ma jeden i ten sam kierunek. Mając stosunek boków \overline{an} i \overline{mn} łatwo kierunek boku \overline{ma} wyznaczyć. Przeprowadzając szereg linii równoległych do $\overline{a, m}$ i budując odpowiednie trójkąty, znajdziemy prądy odpowiadające określonym napięciom. Prąd w tworniku obliczymy ze wzoru:

$$(Y+i) = \frac{\overline{an}}{r \cdot s'}$$

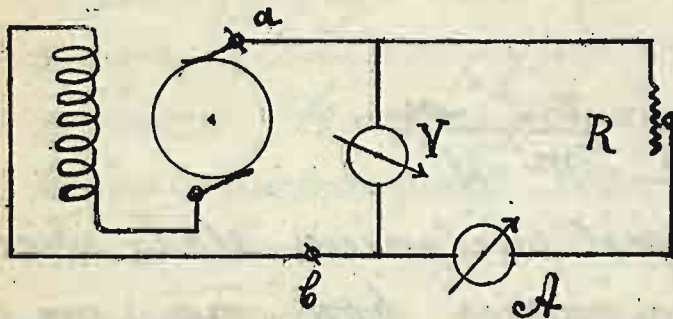
$$\angle(Y+i)/2 = \alpha$$

4. Charakterystyka prądnic, głównikowej.

Układ połączeń prądnic, w której zwoje elektromagnesów są połączone w szereg z twornikiem, wskazany jest na rys. 132. Końcówki ta-

kier, prądnicę) stanowią zaciski a , b , opornik R — to obwód zewnętrzny). Prądni-

Rys. 132.



ca taka przy obwodzie zewnętrznym otwartym, gdy twornik obraca się, wytwarza

tylko bardzo małe napięcie powstające wskutek szczytowego magnetyzmu.

Przy zmniejszaniu oporu R prąd w obwodzie stopniowo wzrasta i gdy warunki samowzbudzenia się, patrz str. 76, będą urzeczywistnione, to wtedy napięcie samo przez się podnosi się do pewnej granicy, odpowiadającej wartości oporu R .

Przy dalszym zmniejszaniu oporu R otrzymywać będziemy coraz większe napięcie, ponieważ prąd magnetyzujący wzrasta. Przy pewnym jednak prądzie napięcie osiągnie maksimum i dalej będzie zmniejszać się.

Stomaczy się to tem, że równoległe ze wzrostem amperozwojów magnetyzujących elektromagnesów wzrastają amperozwoje rozmagnezowujące twor-

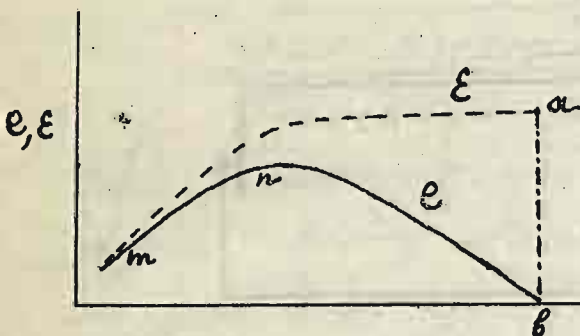
nika, a zarazem strata napięcia w tworniku i zwojach elektromagnesów.

Na rys. 133 wskazane są dwie krzywe:

Rys. 133.

$$e = f(y)$$

$$\text{i } \mathcal{E} = f(y).$$



Różnica pomiędzy
wartościami tych krzy-
wych wyraża spa-
dek napięcia w twor-
niku i zwojach elektromagnesów.

Oznaczmy przez r - opór twornika, przez r' - opór elektromagnesów, wtedy:

$$\mathcal{E} - e = y(r + r').$$

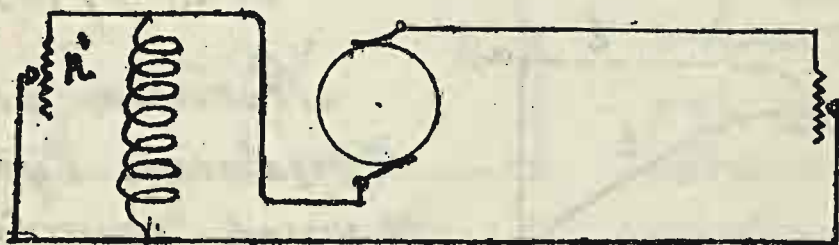
Gdy opór obwodu zewnętrznego bę-
dzie równy zero, to $e = 0$ i

$$\mathcal{E} = I_m \cdot (r + r').$$

I_m - oznacza tu maksymalny prąd wy-
tworzony przez prądnicę. Na ry-
sunku siła elektromotoryczna przy
maksymalnym prądzie wyraża się
odcinkiem "ab". Najczęściej zna-
czenie praktyczne ma część charakte-
rystyki zawarta pomiędzy punkta-
mi m, n. Zmieniac napięcie prąd-

nicy, szeregowy można przez przerwienie lub zwolnienie biegu, a także za pomocą opornika R' rys. 134 własnego

Rys. 134.



równoległe do uziwienia elektromagnesów. Im mniejszy będzie opór R' , tem większa część prądu popłynie przez ten opór, omijając zwoje elektromagnesów i przez to tem słabszy będzie strumień magnetyczny, w prądnicu. Mniejszą strumień wywoła mniejszą siłę elektromotoryczną, a więc niższe będącemu mieli napięcie.

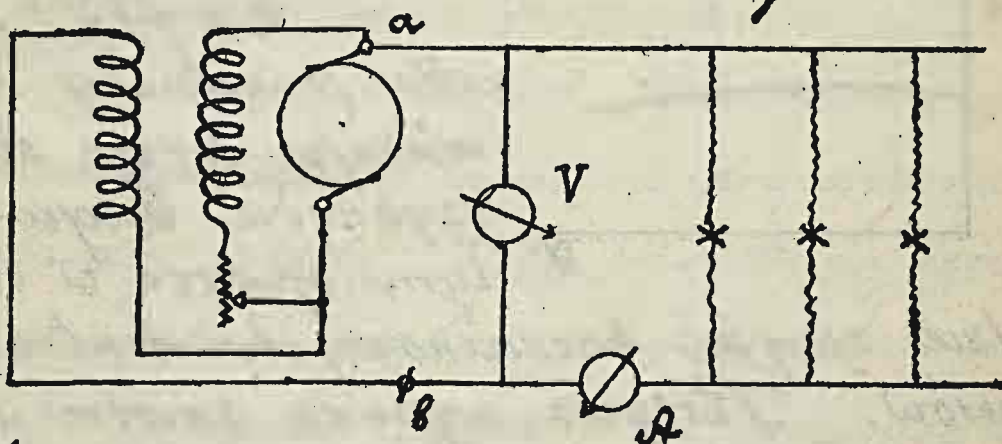
Prądnice szeregowe takie jak wyżej opisane stoją się w praktyce rzadko, działanie jednak magnetyczne zwojów na elektromagnesy połączone w szeregu z twornikiem niekiedy znajduje zastosowanie dla nadania prądnicom bosznikowym lub z postronnym wzbudzeniem porządkowych własności. Jako przykład wprowadzenia tego rodzaju siły mogą prądnice szeregowo boszniko-

we omawiane dalej).

5. Charakterystyki prądnic szeregowo-bocznikowych.

Połączenie zwojnic elektromagnetycznej z twornikiem i obwodem zewnętrznym, który stanowi lampy pokazane jest na rys. 135.

Rys. 135.



Dwa szeregowo nawinięte na elektromagnetych w ten sposób, aby prąd przez nie płynący wyznaczał strumień magnetyczny, wywołany prądem w zwojach bocznikowych.

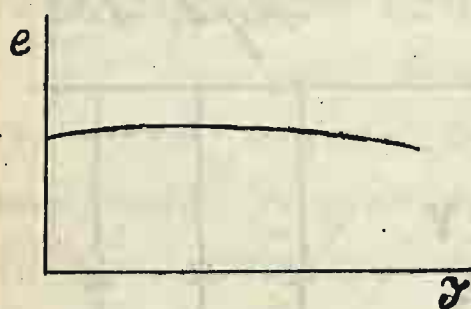
Przy zmniejszeniu oporu zewnętrznego przez równoległe włączenie coraz większej liczby lamp, prąd w obwodzie zewnętrznym wzrasta.

Liczba zwojów zwojnic szeregowych dobie-

namy w ten sposób, że magnetyczne działanie tych zwojów równoważy czynniki wpływające na spadek napięcia prądnicy, bocznikowej; wtedy napięcie na zaciskach dynamo- α , β - będzie stałe przy różnych prądach w obwodzie zewnetrznym w granicach praktycznie stosownego obciążenia prądnicy). Na rys. 136 widzimy

Rys. 136.

krzywą wyrażającą zależność:



$$e = f(I).$$

dla prądnicy tego rodzaju przy stałej szybkości biegu i stałym oporze w obwo-

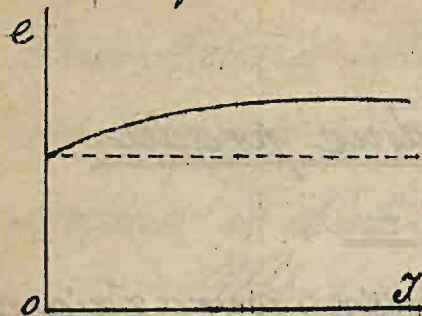
dzie zwojów bocznikowych elektromagnesów. Krzywa wypadła zawsze nieco wypukła ku górze z powodu ziemnej przenikliwości magnetycznej żelaznych części obwodu magnetycznego.

Nieraz liczbę zwojów szeregowych dobieramy w ten sposób, aby nie tylko równoważyć działanie czynników obniżających napięcie, ale jeszcze podnieść napięcie wyżej od tego, które mieliśmy na końcówkach prądnicy nieobciążonej. Wtedy charakterystyka

prądniczy wyrażająca zależność:

Rys. 137.

$$e = f(I)$$



ma kształt wskazany na rys. 137. Są to maszyny „przebudzone” po niemiecku z Ueberkompaund, które stosu-

ją się wtedy gdy chodzi o utrzymanie stałego napięcia przy zmianie obciążenia nie na końcówkach prądniczy, a dalej w sieci przewodników zasilanych przez prądnicę.

W przewodnikach tych mamy zawsze pewien spadek napięcia proporcjonalny do siły prądu. Otóż wzrost napięcia na końcówkach prądniczy wyrównywa ten spadek. Szczególnie dogodne są prądnice skregowo-bocznikowe w tych wypadkach, gdy trzeba zasilai prądem urządzenia o szybko zmiennym obciążeniu, wtedy ani ręka ludzka przesuwająca rączkę opornika bocznikowego, ani regulator automatyczny mechaniczny, działający na tę rączkę, nie są wstanie dość prędko powiększyć prąd w magnesujących

Elektrotechnika, arkusz 13-ty. -

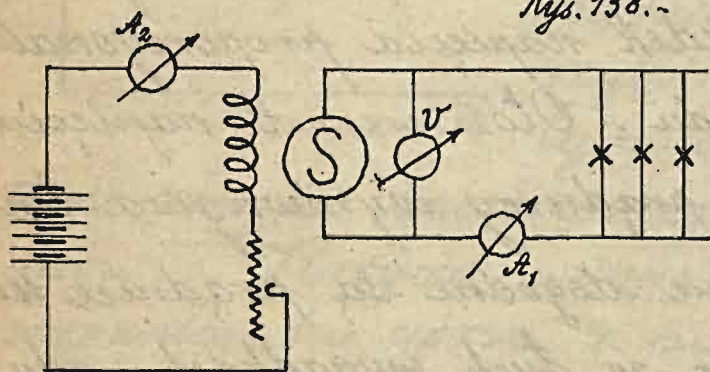
zwojach bocznikowych i utrzymać stałe napięcie. -

6. Charakterystyki prądnic prądu zmiennego. -

Charakterystyka bez obciążenia, wyrażająca zależność siły elektromotorycznej od prądu w elektromagnesach, jest zupełnie taka sama jak dla prądnic prądu stałego. -

Przy obciążeniu warunki działania są nieco odmienne.

Rys. 138. -



Wszystkie prąd-
nice prądu
zmiennego wzbud-
zane są prą-
dem stałym,

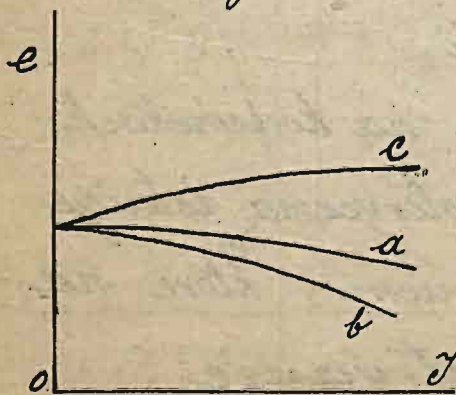
otrzymywanym ze źródła postronnego, któ-
rym może być bateria akumulatorów
lub prądnic prądu stałego wprowadzana
w ruch tym samym silnikiem, który obraca
prądnicę prądu zmiennego, lub też innym
silnikiem cieplikowym, wodnym albo
elektrycznym otrzymującym prąd z

prądnicę prądu zmiennego. W tym ostatnim wypadku zwykle ustawia się jeszcze baterję akumulatorów włączoną równolegle do prądnicę wzbudzającą w celu zasilenia elektromagnesów prądem w chwili rozruchu prądnicę głównej.

Układ połączeń prądnicę jednofazowej prądu zmiennego wzbudzonej z baterji akumulatorów i obciążonej lampkami wskazany jest na rys. 138.

Charakterystyka takiej prądnicę przy obciążeniu jest podobna do charakterystyki prądnicę prądu stałego przy postronnem wzbudzaniu, ma jednak niektóre szczegóły odrębne na które musimy zwrócić uwagę. - Utrzymując stałą szybkość biegu prądnicę i stały prąd w uzwojeniach elektromagnesów zmniejszamy opór zewnętrzny przez zwiększanie liczby równolegle

Rys. 139.



połączonych lampek, wtedy krzywa spadku napięcia przedstawi się tak jak wskazuje linja a na rys. 139. Napięcie przy zwiększaniu prądu zmniejsza się.

-196-

Czynniki jakie tu wpływają na spadek napięcia są następujące: opór omiczny i indukcyjny twornika, a pozatem reakcja twornika, zmniejszająca strumień magnetyczny elektromagnesów. -

Oznaczmy przez:

- \mathcal{E} - siłę elektromotoryczną powstającą w zwojach twornika pod wpływem indukcyjnego działania strumienia magnetycznego, przebiegającego w elektromagnesach. -
- \mathcal{E} - napięcie na końcówkach twornika. -
- r - opór omiczny, a przez
- L - współczynnik samoindukcji twornika. -

Nadmienić tu należy, że samoindukcja wywołuje tu tylko ten strumień magnetyczny twornika, który jest skojarzony tylko z amperozwojami twornika; strumień ten zamyka się przeważnie przez szczelinę pomiędzy twornikiem a elektromagnesami. -

Pomiędzy napięciem na końcówkach prądu a siłą elektromotoryczną istnieje związek wyrażony równaniem, które należy pojmować geometrycznie:

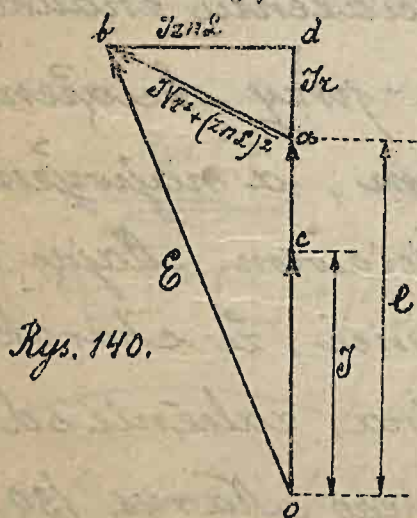
$$e = E - \sqrt{I^2 r^2 + (x \pi L)^2}$$

x - jest to liczba zmian prądu na sekundę,
a więc $x \pi L$ - opór indukcyjny twornika. -

Na wykresie wzór ten wypadnie rozmaicie
zależnie od tego, czy obwód zewnętrzny ma
samoindukcję lub pojemność, czy też tylko
opór omiczny. -

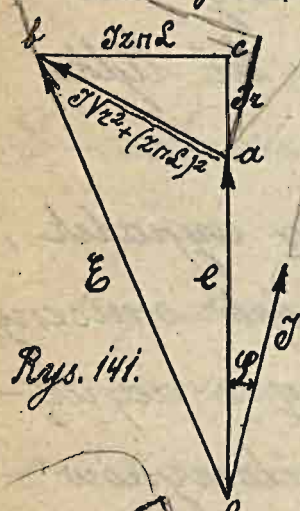
Na rys. 140*) mamy pokazany wypadek,
gdy opór zewnętrzny ma tylko opór omiczny,
wtedy prąd jest zgodny co do fazy z napię-
ciem e . Geometryczna suma iloczynów
 $I r$ i $I x \pi L$ wyraża całkowity spadek napię-
cia w tworniku, przedstawiony na wykresie
odcinkiem ab . Powyższy wykres stosuje się
do tego wypadku, gdy obwód zewnętrzny
stanowią lampy żarowe.

Jeżeli jednak w tym obwodzie
są cewki lub silniki elektryczne,
to prąd spóźnia się w fazie wzglę-
dem napięcia i wykres ma po-
stać wskazaną na rys. 141.

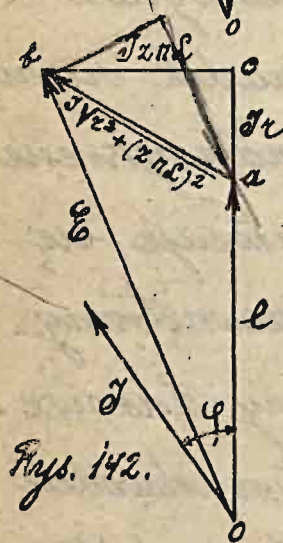


*) Wektory bracia się wbrew ruchowi wskazówek zegarka. -

Kąt φ wyraża tu różnicę faz prądu i napięcia na końcówkach prądnicy; a siła elektromotoryczną, prąd ten tworzy kąt jeszcze większy. - Może się jeszcze zdarzyć, że obwód zewnętrzny ma własności pojemnościowe, wtedy



Rys. 141.



Rys. 142.

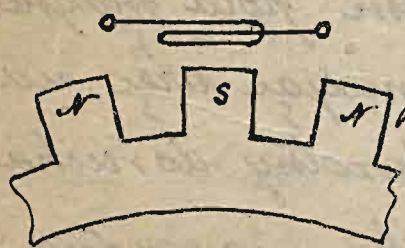
układ wektorów na wykresie przedstawia rys. 142. Prąd wyprzedza napięcie o kąt φ . - Trzy wykresy: na rys. 140, 141 i 142 odpowiadają tej samej sile prądu w tworniku i tej samej sile elektromotorycznej. Napięcie w tych trzech różnych wypadkach otrzymujemy, rozmaite. Najniższe napięcie jest przy obciążeniu indukcyjnem, wyższe - przy obciążeniu bezindukcyjnem, a najwyższe -

przy obciążeniu pojemnościowem. Mając to na względzie, łatwo zrozumieć, że charakterystyka prądnicy jest różna, zależnie od własności obwodu zewnętrznego. Na rys. 139 krzywa b wyraża charakterystykę prądnicy.

przy obciążeniu indukcyjnem, krzywa a przy obciążeniu bezindukcyjnem i krzywa c przy obciążeniu pojemnościowem. Najwięcej spada napięcie przy obciążeniu indukcyjnem, przy obciążeniu zaś pojemnościowem gdy prąd wzrasta i napięcie wzrasta chociaż nie ciągle.

Te własności prądnicy prądu zmiennego wynikają z różnego układu fazy spadku napięcia w tworniku względem siły elektromotorycznej, a pozatem jeszcze z tego, że prąd twornika osłabia pole magnetyczne elektromagnesów przedewszystkiem wtedy, gdy prąd spóźnia się w fazie względem siły elektromotorycznej, gdy zaś prąd znaczenie wyprzedza siłę elektromotoryczną, to prąd twornika nawet wzmacnia pole wytworzone przez prąd w elektromagnesach. Za pomocą

Rys. 143.



wykresów wektorowych łatwo się jest otem przekonać. Zatem, że w przybliżeniu pole wywołane przez elektromagnesy twornika jest sinusoidalnie zmiennie (patrz str. 80 do 85), Na rysunku 143 nad środkami sinusów

indukcja magnetyczna jest największa, a w środku między biegunami równa się zero.

Gdy układ takich biegunów porusza się pod zwojnicą, to liczba linii objętych zwojnicą zmienia się sinusoidalnie. Pod wpływem tych zmian powstaje w zwojnicy siła elektromotoryczna. Oznaczmy przez \bar{N} maksymalny strumień objęty przez zwojnicę, przez N_t strumień objęty przez zwojnicę w chwili t , wtedy:

$$N_t = \bar{N} \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$$

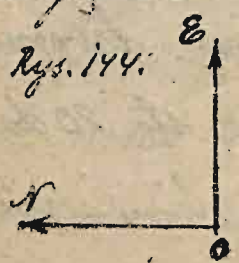
Siła elektromotoryczna w zwojnicy utworzonej z m zwojów będzie:

$$E_t = - \frac{dN_t}{dt} \times m$$

albo

$$E_t = -m \cdot \frac{2\pi}{T} \times \cos \frac{2\pi t}{T}$$

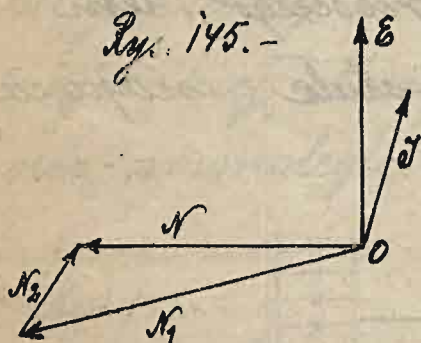
Wzór ten wskazuje, że siła elektromotoryczna spóźnie się względem pola magnetycznego o ćwierć okresu, mając więc na względzie ruch wektorów odwrotny do ruchu



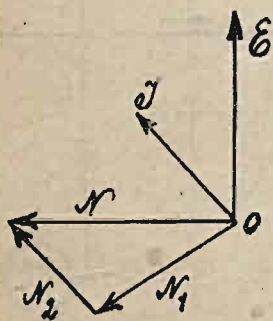
wskazówek zegarka, wypadną wektory N i E tak jak wskazano na rys. 144.

Pole prądu jest obciążone, strumień magnetyczny N wywołują amperowoje elektromagnesów i twornika łacenie. Strumień N możemy uważać jako wypadkowy dwóch strumieni, z których jeden N_1 został wywołany prądem elektromagnesów, a drugie N_2 - prądem twornika; ten strumień jest co do fazy zgodny z prądem w tworniku.

Rys. 145.-



Rys. 146.-



Na rys. 145 wskazany jest układ wektorów w tym wypadku, gdy prąd spóźnia się względem siły elektromotorycznej twornika, wtedy wypadkowy strumień jest mniejszy od strumienia, który wywołałby prąd elektromagnesów.

Na rys. 146 wskazany jest układ wektorów w tym wypadku,

gdy prąd wyprzedza znaczenie siły elektromotorycznej, wtedy strumień magnetyczny wypadkowy jest większy od tego strumienia magnetycznego, który wywołałby prąd w elektromagnesach.

Gdy chodzi o utrzymanie jaknajbardziej sta-
łego napięcia na końcówkach prądnicy
prądu zmiennego, to zwykle stosują się re-
gulatory samoczynne, w których pod wpływem
prądu roboczego prądnicy, za pomocą odpo-
wiedniego mechanizmu, zmniejsza się lub
zwiększa opór dodatkowy w obwodzie elektro-
magnesów. Im szybciej działają te mechanizmy
przy zmianie siły prądu roboczego, tem
dokładniej utrzymuje się stałe napięcie
na końcówkach prądnicy

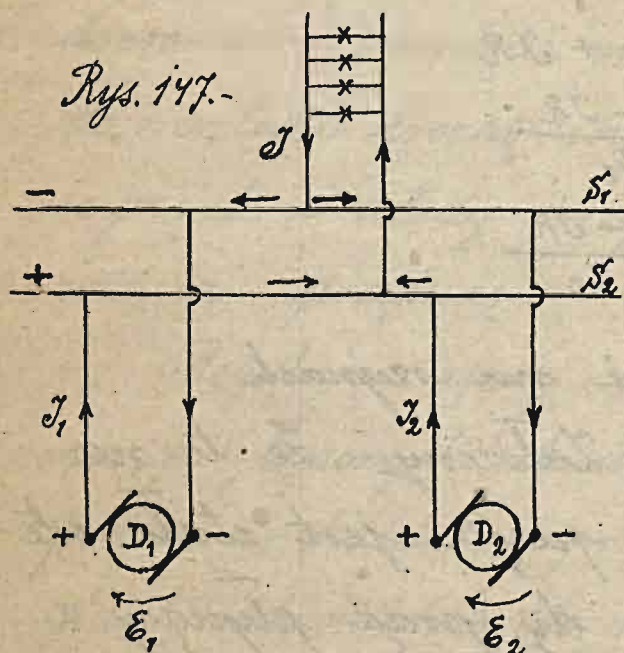


Rozdział VIII.

Połączenie równoległe prądnic

1. Połączenie prądnic prądu stałego.-

Gdy mamy kilka prądnic w elektrowni, to najczęściej stosuje się połączenie tych prądnic równoległe. Na rys. 147. — \mathcal{E}_1 i \mathcal{E}_2 są zwy-



ny zbiorcze, a \mathcal{D}_1 i \mathcal{D}_2 — dwie prądnice połączone równoległe. — Równoległe mogą pracować tylko prądnice o jednakowym napięciu. —

Prąd płynący do zewnętrznego obwodu z szyn równa się tu sumie prądów dostarczanych przez poszczególne prądnice.

$$I = I_1 + I_2 \quad 204$$

Rozkład prądów pomiędzy dwie prądnice zależy od oporów tych części obwodu, w których są prądnice i od sił elektromotorycznych tych prądnic.

Układ połączeń pokazany na rys. 147 możemy prościej przedstawić tak jak wskazano na rys. 148. Stosując oznaczenia wskazane na rys. 148, według praw Kirchhoff'a, mamy:

$$\mathcal{E}_1 = r_1 I_1 + IR$$

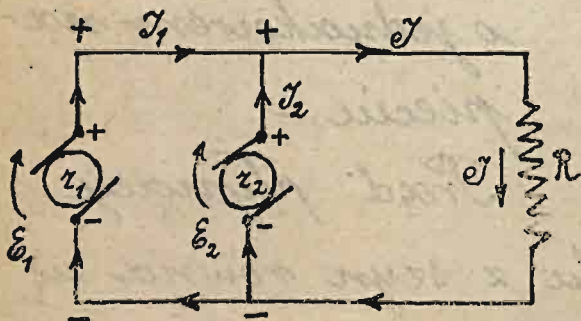
$$\mathcal{E}_2 = r_2 I_2 + IR$$

$$\text{skąd : } I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 - IR}{r_1}$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}_2 - IR}{r_2}$$

IR — stanowi napięcie na szynach.

Rys. 148. —



Zastójmy, że to napięcie jest stałe, wtedy prąd płynący z odpowiedniej prądnicy jest tem silniejszy im większa jest odpowiednia siła elektromotoryczna i mniejszy opór obwodu

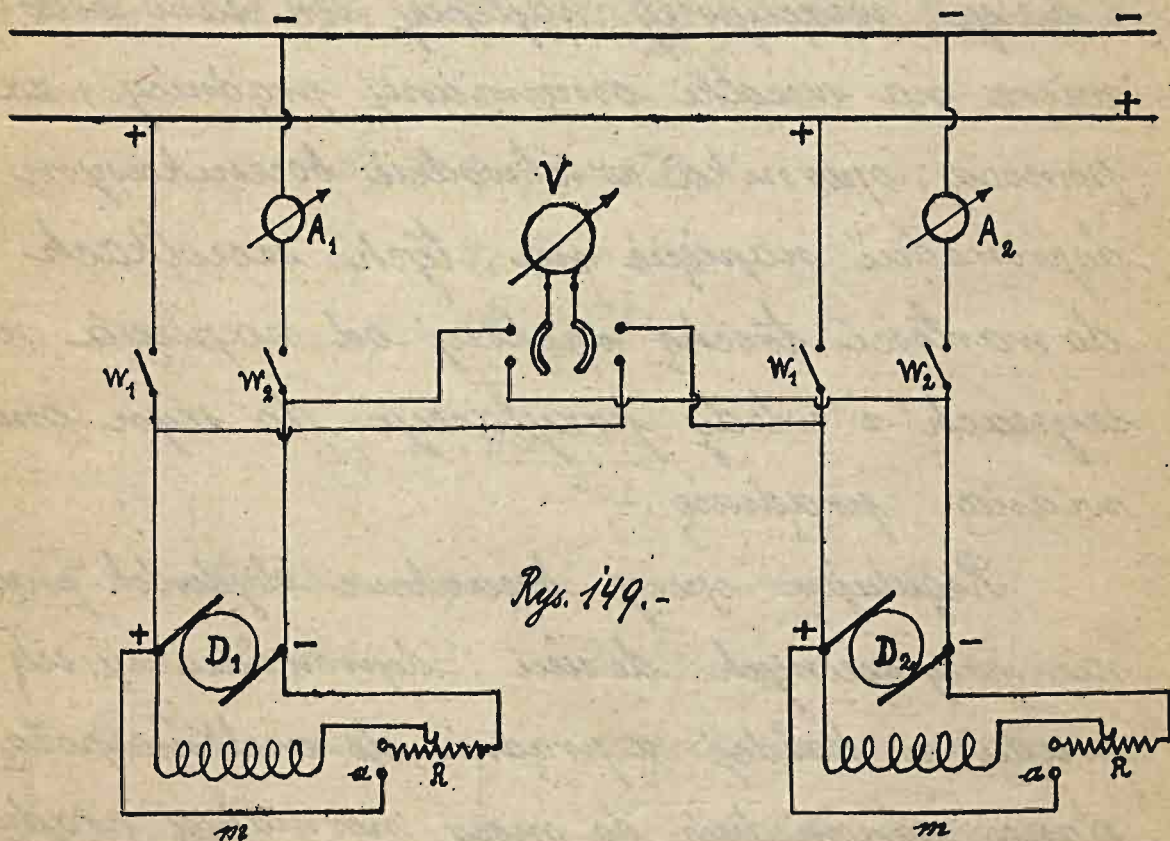
prądnicę, a więc przedewszystkiem opór tabor-
nika. - Przyłączanie nowej prądnicę do innej
znajdującej się w ruchu należy uskuteczniać w
sposób następujący:

Przedewszystkiem trzeba prądnicę uru-
chomić i doprowadzić szybkość biegu do nor-
malnej liczby obrotów na minutę. Następnie
zmierzyć woltomierzem napięcie na szynach
i dalej, włączając najlepiej ten sam wolt-
mierz na szczotki omawianej prądnicę; za
pomocą opornika w obwodzie bocznikowym
doprowadzić napięcie na tych szczotkach
do wartości trochę większej od napięcia na
szynach i wtedy przyłączyć do szyn oma-
wianą prądnicę.

Regulując opory bocznikowe obydwóch prąd-
nic, przyłączonych do sieci, doprowadzamy siłę
prądu w każdej z prądnic do wielkości pożą-
danej odpowiednio do mocy normalnej prądnic.

Jeżeli silnik, obracający którąkolwiek
prądnicę, uległ zepsuciu i prądnicę tę
zwolnitaby biegu, to siła elektromotoryczna
zmniejszyłaby się i prąd dostarczany

przez prądnicę nie tylko zmniejszyłby się do zera, ale mógłby nawet odwrócić się, gdyby siła elektromotoryczna prądnicy stała się mniejsza od napięcia na szynach. - Wtedy prąd pędziłby rozwarowaną prądnicę jako motor w tym samym kierunku. - Dla uniknięcia takiego wypadku w obwód równolegle połączonych prądnic



Rys. 149.-

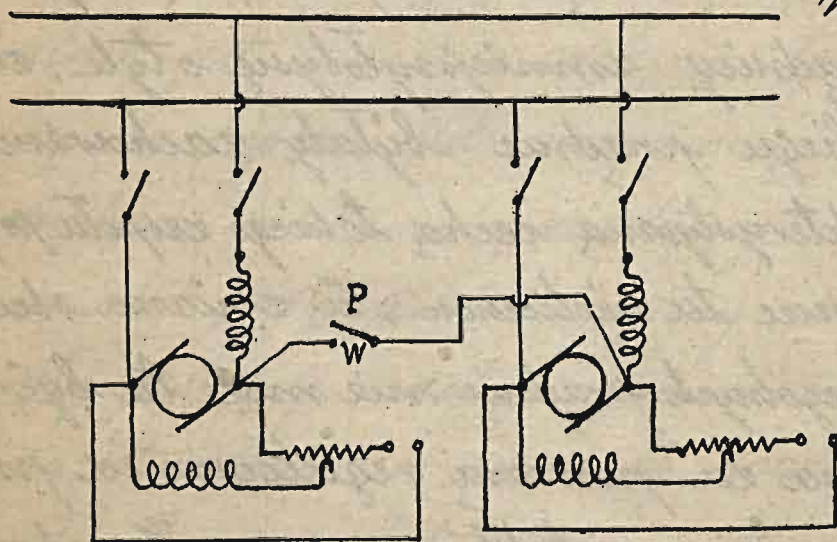
włącza się zwykle wyłącznik samoczynny minimalny, który przy pewnym małym prądzie samoczynnie odłącza prądnicę od szyn. Na rys. 149 wskazany jest szeregowy schemat

połączenia prądnic bocznikowych.

Jeden z wyłazników \underline{W}_1 lub \underline{W}_2 powinien być samoczynny. - Oporniki bocznikowe \underline{R} zaopatrzone są w tak zwane przeciwiskrowe kontakty \underline{a} , które przy wyłazcaniu prądu w elektromagnesach przez przewód \underline{m} sprawiają krótkie zwarcie zwojnicy elektromagnesów, przez co przy przerywaniu prądu unikamy sługiej iskry. -

Prądnicę gdy są bocznikowo-szeregowe, to dla zapewnienia odpowiedniego rozdziału prądów pomiędzy dwiema prądnicami należy urządzić przewód wyrównawczy.

Rys. 150. -



Przys. 150.

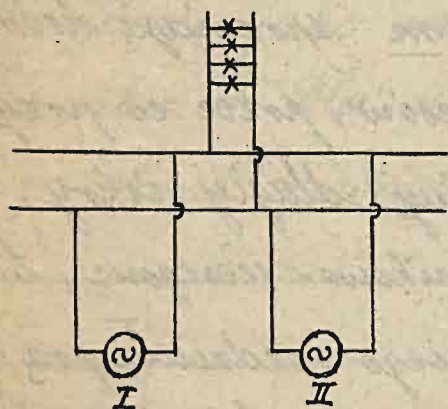
Przyłazając drugą prądnicę, należy przed przyłazczeniem zamknąć przedewszyst-

kim wyłaznik \underline{W} , aby przewód wyrównawczy był czynny. -

2. Połączenie prądnic prądu zmiennego. ^{208.}

Rozważmy przedewszystkiem układ dwóch prądnic jednofazowych połączonych tak jak

Rys. 151. -



wskazuje rys. 151. - Takie prądnice działają prawidłowo mogą tylko wtedy, gdy liczba okresów prądów dostarczanych przez te prądnice jest jednakowa. Gdyby którykolwiek silnik obra-

cający prądnice dążył do zwolnienia biegu, to niezwłocznie obciążenie prądem odpowiedniej prądnicy zmniejszyłoby się o tyle, że zgodność biegu prądnic byłaby zachowana.

Charakterystyczną cechą takiego zespołu prądnic jest jeszcze ta okoliczność, że zmiana obciążenia poszczególnych prądnic nie może tu być uskuteczniona za pomocą regulowania prądu wzbudzającego elektromagnesy. Nypada to z następującego rozumowania: przedewszystkiem zwrócić należy uwagę na to, że obciążenie prądnicy przy prądzie zmiennym wyraża się wzorem: $eI \cos \varphi$

Z tego wzoru wypada, że wielkość mocy prądu, a więc i moment hamujący prądnice jest zależny nie tylko od siły prądu, lecz i od kąta φ , wyrażającego różnicę faz pomiędzy prądem, a napięciem. - Gdy powiększymy prąd wzбудzający w którejkolwiek prądniczy, to skutkiem tego wzrośnie odpowiednia siła elektromotoryczna i prąd, kąt φ jednak zwiększy się o tyle, że moc pozostanie ta sama. - Odbywa się to skutkiem tego, że silnik nie może pokonać większego momentu hamującego. - Szybkość jego zależna jest od szybkości biegu silnika drugiego, a więc np. gdy drugi silnik jest znacznie większy, to możemy przyjąć, że szybkość jest niezmienna, w tych warunkach mechanizm regulujący dopływ paliwa lub pary jest nieczynny, zwiększenie siły pędzącej nastąpić nie może. - Gdy zwiększa się obciążenie w sieci, to powiększenie dopływu pary lub paliwa do silników odbywa się jednocześnie we wszystkich silnikach, skutkiem chwilowego zwolnienia biegu

Elektrotechnika - arkusz 14. -

jednocześnie wszystkich tych silników. -

Przyłączenie jednej prądnicy do drugiej równolegle może być uskutecznione tylko po wyrównaniu napięć sieci i przyłączonej prądnicy, po wyrównaniu częstości zmian prądu i ugodnieniu faz napięć sieci i prądnicy. -

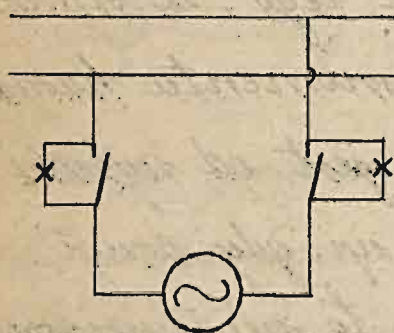
Dla ugodnienia faz stosują się zazwyczaj lampki elektryczne włączone w taki

rys. 152. -

sposób jak to wskazano na

rys. 152. - Gdy częstości zmian napięć w sieci i na końcówkach prądnicy są różne, to lampki migają, zapalając się i gasnąc naprzemiennie

skutkiem zmian napięcia na biegunach tych lampek. - Zmienność tego napięcia wyraża się różnicą sinusoid o różnych okresach, będzie to krzywa okresowa o zmiennej amplitudzie. - Im mniejsza jest różnica częstości zmian napięć sieci i prądnicy tem okresy rozjaśniania się i przyciemniania lampek będą dłuższe. - Gdy częstości będą jednakowe i fazy zgodne, lampki zgasną,

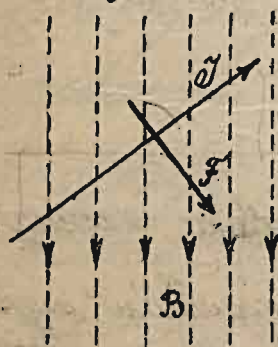


wtedy można zamknąć wyłączniki, łączące prądnicę z siecią. - Przenoszenie obciążenia z jednej prądnicy na drugą odbywa się za pomocą zaworu regulującego dopływ pary lub paliwa do silnika pędzącego prądnicę. - Zwiększając np. dopływ pary powiększamy obciążenie odpowiedniej prądnicy, ponieważ ona dążąc do przyspieszenia biegu bierze na siebie więcej obciążenia. Oporniki bocznikowe regulujemy w ten sposób, aby siła prądu płynącego przez prądnicę była jaknajmniejsza. -

3. Silniki elektryczne.

Zasada ogólna. Zasada działania wszystkich silników elektrycznych polega na współdziałaniu pola magnetycznego i prądu.

Rys. 153. -



Gdy w polu magnetycznym o indukcji magnetycznej \underline{B} , rys. 153., znajduje się przewodnik z prądem, którego siła jest \underline{I} , to pod wpływem tego pola na przewodnik działa siła \underline{F} . -

Jeżeli przewodnik mamy prosty, a pole jest jednostajne, to siła jest skierowana prostopadłe do kierunku indukcji magnetycznej, według reguły trzech palców lewej ręki (duży palec wskazuje kierunek siły, wskazujący - kierunek natężenia pola, średni - kierunek prądu). - Wielkość siły F , działającej na przewodnik, którego długość w polu wynosi l i który jest prostopadły do kierunku indukcji, wyraża się wzorem:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

Przykład. - Przewodnik z prądem 5 A umieszczono w polu magnetycznym o indukcji $B = 5000$ c.g.s. (gausów); długość przewodnika, znajdująca się w polu magnetycznym, wynosi 20 cm. -

$$F = 5000 \times 20 \times 5 \times 0,1 = 50000 \text{ dyn} \approx 0,05 \text{ kg.}$$

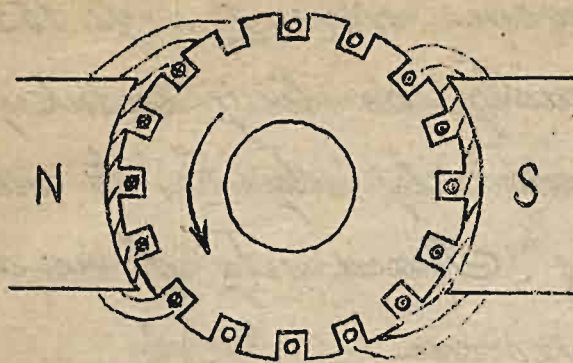
Jeżeli przewodnik tworzy z kierunkiem indukcji kąt α , to

$$F' = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha$$

W silnikach, przewodniki z prądem zachwycają się umieszczone wewnątrz rowków wyłobionych w żelazie, rys. 154, wtedy linie sił

biegną przeważnie w żelazie i indukcyja

Rys. 154.-



magnetyczna wewnątrz rowków jest mała. W tych warunkach siła działająca na przewodniki z prądem, wypadła niewielka. - Moment obracający ruchomą część silnika działą tu na rdzeń żelazny twornika. Powstawanie sił obracających można wytłomaczyć jako skutek układu linii indukcji pomiędzy ruchomą a nieruchomą częścią silnika. Układ tych linii, jak widać z rys. 154 *) jest taki, że dążąc do skrócenia się, linie te obracają żelazny cylinder w kierunku strzałki. W tym wypadku można jednak dla wielu obliczeń praktycznych posilkować się wzorem wyżej podanym, przyjmując, że druty z prądem znajdują się w polu magnetycznem o takiej

*) Układ linii magnetycznych wskazany na rysunku 154 ma miejsce wtedy, gdy prąd płynie w zwoiniach elektromagnesów i w tworniku. -

indukcyi magnetycznej, jaka istnieje w szczelinie powietrznej. -

Gdy pod wpływem siły \underline{F} , rys. 153, przewodnik prostopadły do linii indukcyi porusza się w kierunku tej siły \underline{F} , to siła ta wykonywa pracę. Praca siły \underline{F} na drodze \underline{s} wyraża się wzorem:

$$F \times s = B \times l \times c \times s = N \mathcal{I}$$

N oznacza tu strumień magnetyczny przecięty przez przewodnik przy ruchu na drodze \underline{s} . Na podstawie tego wzoru łatwo znaleźć wyraz pracy mechanicznej wykonanej przez silnik elektryczny. -

Moc silnika otrzymany ze wzoru:

$$\frac{F \times s}{t} = \frac{N}{t} \times \mathcal{I} = \mathcal{E} \times \mathcal{I}$$

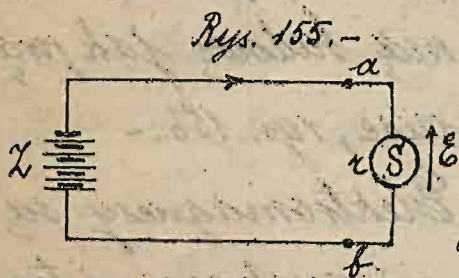
Wzór ten wskazuje, że moc mechaniczna silnika wyraża się iloczynem siły elektromotorycznej \mathcal{E} przez siłę prądu \mathcal{I} , płynącego w tym drucie, gdzie powstaje ta siła elektromotoryczna. -

Określając na podstawie prawa indukcyi kierunek powyższej siły ele-

-215-

któromotorycznej łatwo spostrzedz, że ona jest odwrótne do kierunku prądu. W każdym więc silniku mamy siłę elektromotoryczną skierowaną odwrótnie do prądu. -

W obwodzie składającym się ze źródła prądu \underline{Z} i silnika \underline{S} , prąd w silniku mo-



żna wyrazić wzorem:

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

gdzie \underline{e} oznacza napięcie na końcówkach \underline{ab} ,

\underline{E} - siłę elektromotoryczną w silniku, \underline{r} - opór wewnętrzny silnika. -

Z powyższego równania:

$$e = E + Ir$$

$$\text{albo } eI = EI + I^2 r$$

\underline{eI} stanowi moc prądu dostarczoną do silnika, $\underline{I^2 r}$ - moc równoważącą stratę ciepła wytworzonej w jednostce czasu w oporze \underline{r} , a \underline{EI} - moc równoważącą moc mechaniczną silnika. -

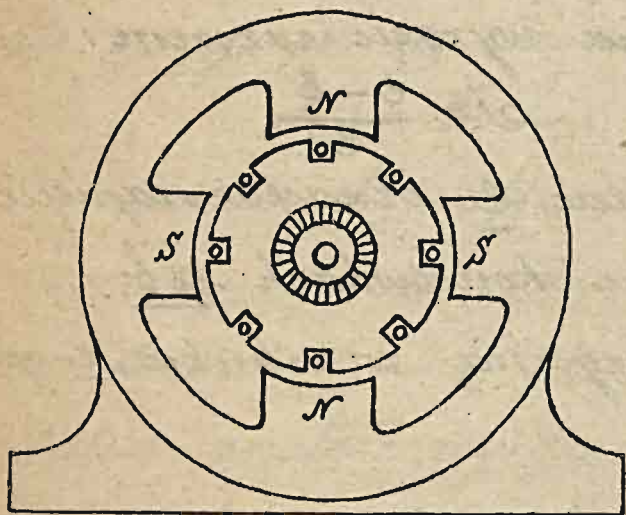
Takie są zależności ogólne pomiędzy wielkościami, które znajdziemy we wszystkich silnikach. Teraz rozważymy urządzenie

poszczególne .-

4. Silniki prądu stałego.-

Własności ogólne.

Rys. 156.-



Silniki prądu stałego mają taką samą budowę jak prądnicę, rys. 156.-

Elektromagnesy są nieruchome i twornik z kolektorem.-

Do twornika i do wywojeń elektroma-

gnesów doprowadzamy prąd z jakiegokolwiek źródła prądu.- Własności silnika elektrycznego najlepiej można uwypatnić przez wyprowadzenie wzorów wyrażających moment obrotowy silnika i liczbę obrotów na minutę.
Moment obrotowy.

Oznaczmy moment obrotowy twornik silnika przez \underline{D} , wtedy praca wykonana przez silnik w ciągu jednego obrotu wyraża się wzorem:

Pracę tę można wyrazić inaczej w sposób następujący :

$$N. p. z. \frac{I}{a}$$

N - strumień magnetyczny wychodzący z jednego bieguna. -

p - liczba biegunów elektromagnesów. -

z - liczba drutów na tworniku. -

I - prąd w tworniku. -

a - liczba równoległych gałęzi twornika. -

Mamy więc równanie :

$$2. \pi. D = N. p. z. \frac{I}{a}$$

Z tego równania :

$$D = \frac{p. z}{2. \pi. a} \cdot N. I$$

Spółczynnik $\frac{p. z}{2. \pi. a}$ zależy od budowy silnika i jest wielkością stałą, natomiast N i I zmieniają się rozmarcie w różnych okolicznościach.

Oznaczymy $\frac{p. z}{2. \pi. a}$ przez K , wtedy :

$$D = K \cdot N \cdot I \dots \dots \dots (1)$$

Moment obracający jest proporcjonalny do strumienia magnetycznego i do

-278-

siły prądu w tworniku.

Przykład.-

$$p = 2, \quad z = 400, \quad a = 2, \quad N = 0,5 \cdot 10^6, \quad I = 20 \text{ A.}$$

$$D = \frac{2 \times 400}{2 \times 3,14 \times 2} \times 0,5 \times 10^6 \times 20 \times 0,1 = 63700000 \text{ dynocent.}$$

$$D = 0,65 \text{ kgm.}$$

Szybkość biegu.-

Gdy mamy silnik połączony ze źródłem prądu, obciążony pewnym momentem hamującym, to jednostajną szybkość biegu osiągnie silnik przy równowadze pomiędzy momentem obrotującym i hamującym.

Jeżeli więc mamy pewien dany moment hamujący, to taki sam będzie moment obrotujący:

$$D = K_1 \times N \times I.$$

Prąd I możemy wyrazić przez siłę elektromotoryczną w tworniku \underline{E} , opór \underline{r} i napięcie na końcówkach twornika \underline{e} , wówczas:

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

Siłę elektromotoryczną indukcji, jak wiemy z poprzednich rozdziałów, oznacza-

jących działanie prądu, wyrażamy wzorem:

$$E = N \cdot \frac{n}{60} \cdot z \cdot \frac{p}{a}$$

Wprowadzimy ten wyraz do równania poprzedniego; wtedy otrzymamy:

$$I = \frac{E - N \cdot \frac{n}{60} \cdot z \cdot \frac{p}{a}}{r}$$

Stąd: $n = \frac{60 \cdot a}{z \cdot p} \cdot \frac{E - I \cdot r}{N} = K_2 \cdot \frac{E - I \cdot r}{N}$

$$n = K_2 \cdot \frac{E - I \cdot r}{N} \text{ ----- (2)}$$

gdzie $K_2 = 60 \frac{a}{z \cdot p}$ $W.n = K_2 E - K_2 I r$

$$\text{a} \quad I = \frac{E}{r} - \frac{n \cdot N}{K_2 \cdot r}$$

Wprowadzając ten wyraz dla I we wzór momentu, otrzymamy:

$$D = K_1 \cdot N \left(\frac{E}{r} - \frac{n \cdot N}{K_2 \cdot r} \right)$$

stąd: $n = \frac{K_2 \cdot E}{N} - \frac{K_2 \cdot D \cdot r}{K_1 \cdot N^2} \text{ ----- (3)}$

W tym wzorze mamy trzy wielkości E , N i D , które mogą się zmieniać i zależnie od ich wartości otrzymamy określony, liczbę obrotów. —

Gdy silnik nie jest obciążony i oporów tarcia w łożyskach nie przyjmujemy pod uwagę, moment obrotowy $D = 0$, wtedy liczba obrotów silnika na minutę jest największa i wynosi:

$$n' = \frac{K_2 \cdot \mathcal{E}}{\pi}$$

$$\frac{n' \cdot \pi}{60 \cdot 2\pi} = 26$$

stad

$$\mathcal{E} = K_2 \cdot n' \cdot \pi = \mathcal{E}$$

Wtedy, jak widzimy, napięcie równe jest sile elektromotorycznej w silniku. Siła prądu jest zero.

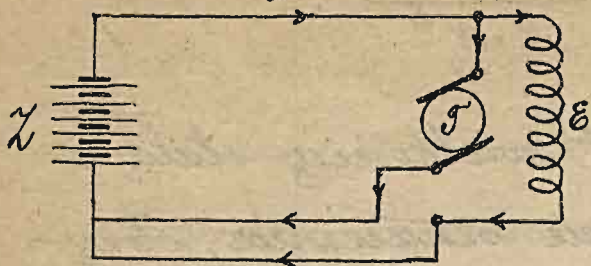
Przy zwiększaniu obciążenia, moment obrotowy D wzrasta i liczba obrotów silnika stopniowo zmniejsza się.

Rozważymy szeregowo dwa rodzaje silników prądu stałego: bocznikowe i szeregowo.

5. Silnik bocznikowy.

Połączenie silnika bocznikowego ze źródłem prądu wskazane jest na rys. 157.

Rys. 157. -

Z - źródło prąduT - twornikE - uzwojenie elektromagnesów. -

Do twornika i do elektromagnesów płyną niezależne prądy. Przy stałym napięciu na końcówkach źródła prądu, prąd w elektromagnesach jest stały. -

Rozważmy moment obrotowy takiego silnika. Według poprzednich wywodów:

$$D = K_1 \times N \times I$$

W silniku bocznikowym prąd w elektromagnesach jest stały *), więc i strumień magnetyczny wywołany przez ten prąd jest wielkością stałą.

Oznaczmy stałą $K_1 N$ przez K_1' , wtedy

$$D = K_1' \times I$$

Moment obrotowy takiego silnika jest wprost proporcjonalny do pierwszej potęgi prądu płynącego do twornika. Weźmy teraz wzór dla szybkości biegu silnika:

*) O ile nie uwzględniamy reakcji twornika. -

$$n = \frac{-222 - K_2 \times \underline{e}}{N} - \frac{K_2 \times D \times r}{K_1 \times N^2}$$

Zakładając, że N jest wielkością stałą i wprowadzając odpowiednie oznaczenia, otrzymamy:

$$n = K'_1 \underline{e} - K''_1 D \times r \text{ ----- (4)}$$

Wzór ten wskazuje, że liczba obrotów na minutę wyraża się różnicą dwóch wielkości, z których jedna, niezależna od momentu obracającego jest proporcjonalna do napięcia na końcówkach twornika, druga zaś jest proporcjonalna do momentu obracającego. Opór twornika r jest, w silnikach niebylet małych, wielkość mała, a przez to i iloczyn $K''_1 D \times r$ jest niewielki, skutkiem czego liczba obrotów silników bocznikowych, przy stałym napięciu e, zmienia się bardzo mało pod wpływem obciążenia.

Wzór powyższy wskazuje jednak także, że przy pewnym, zwykle bardzo dużym momencie obracającym $n = 0$, będzie to wtedy, gdy:

$$K'_1 \underline{e} - K''_1 D \times r = 0$$

$$-223-$$

$$D = \frac{K'}{K''} \times \frac{e}{\tau}$$

Wtedy silnik stoi, więc siły elektromotorycznej indukcji w tworniku niema i prąd w tworniku wyraża się wzorem:

$$I = \frac{e}{\tau}$$

Przy odciążeniu silnika moment obracający $D=0$ oczywiście pomijając opór tarcia w łożyskach i powietrza, a także opory powstające skutkiem przemagnesowywania rdzenia żelaznego twornika. -

Wtedy według wzoru (4)

$$n = K' \times e$$

Ponieważ $K' = \frac{K_2}{N} = \frac{60 \times a}{Z \times p \times N}$

Wtedy:

$$n = \frac{60 \times a}{Z \times p \times N} \times e$$

Stąd:

$$e = N \times Z \times \frac{n}{a} \times \frac{n}{60}$$

Wzór po prawej stronie znaku równości wyraża siłę elektromotoryczną, powstającą w tworniku - \mathcal{E} , więc:

$$e = \mathcal{E}$$

Prąd w tworniku wyrażamy wzorem:

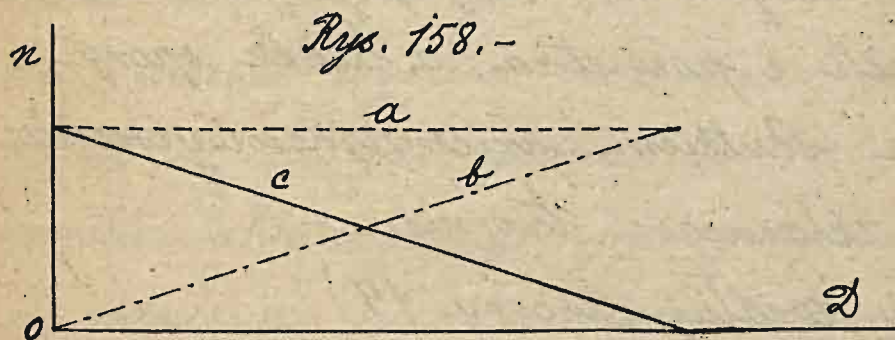
$$I = \frac{e - \mathcal{E}}{\tau}$$

Węc z tego równania wypadła, że:

$$J = 0$$

Silnik obraca się w tym razie skutkiem bezwładności obracających się części.

Na podstawie równania (4) można przedstawić wykreslnie zależność liczby obrotów silnika na sekundę od momentu obra-



cającego silnik.

Według tego równania zależność powyższa wyraża się linią prostą c rys. 158, która stanowi różnicę rzędnych linii a i b.

Najszybkiej obraca się silnik nieobciążony. W miarę zwiększania obciążenia, szybkość zmniejsza się.

Gdy obciążenie silnika wzrosnie, moment obracający jest w pierwszej chwili mniejszy od momentu hamującego ruch, przez co silnik zwalnia bieg.

skutkiem tego zmniejsza się przeciwelektromotoryczna siła, w zwojach twornika i prąd w tworniku rośnie, co wynika ze wzoru

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

W tym wzorze I - prąd w tworniku, E - napięcie na szczotkach, \mathcal{E} - siła elektromotoryczna w tworniku, r - opór uzwojenia twornika.

Większy prąd w tworniku wywołuje zwiększony moment obrotowy. Bieg jednostajny strzymany znów, gdy prąd będzie dość silny aby wytworzyć moment obrotowy równy momentowi hamującemu. -

Z wyrażenia (4) widzimy, że szybkość biegu zmniejsza się tym więcej im większy jest opór twornika. -

Poniżej podajemy zestawienie liczb, wyrażających zmniejszenie się szybkości biegu silników przy obciążeniu.

Kształt krzywej podany na rys. 158 nie zgadza się ściśle z wynikami doświadczeń skutkiem tego, że strumień magnetyczny N zmniejsza się przy obciążeniu.

-226-

Silnika pod wpływem prądu w tworniku *).

Moc w koniach	dla silników zwykłych	dla silników z biegunami dodatkowymi
1	6 - 9 %	8 - 12 %
5	3 - 5 %	6 - 10 %
25	1 - 2 %	4 - 8 %
50	1 %	—
100	1 %	—

Pozatem trzeba mieć na względzie, że napięcie na szczotkach zmniejsza się pod wpływem spadku napięcia w przewodach doprowadzających prąd do silnika, a gdy napięcie się zmniejszy, to i prąd w elektromagnesach będzie mniejszy, a przez to słabsze pole elektromagnesów.

We wzorze (4) współczynniki K' i K'' są odwrotnie proporcjonalne do N , więc przy zmniejszeniu się N , szybkość biegu wzrasta. W rzeczywistości więc linja wyrażająca zmienność n pod wpływem D przechodzi wyżej od linii c .

*) Patrz rozdział reakcji twornika.

i jest nieco wypukła ku górze.

6. Zmiana szybkości biegu silnika bocni- kowego przy stałym momencie obracającym.

Gdy moment obracający silnika jest stały, szybkość biegu można zmienić wpływając na wielkość czynników: \underline{e} , \underline{N} , lub też wprowadzając opór dodatkowy \underline{R} przed twornikiem.

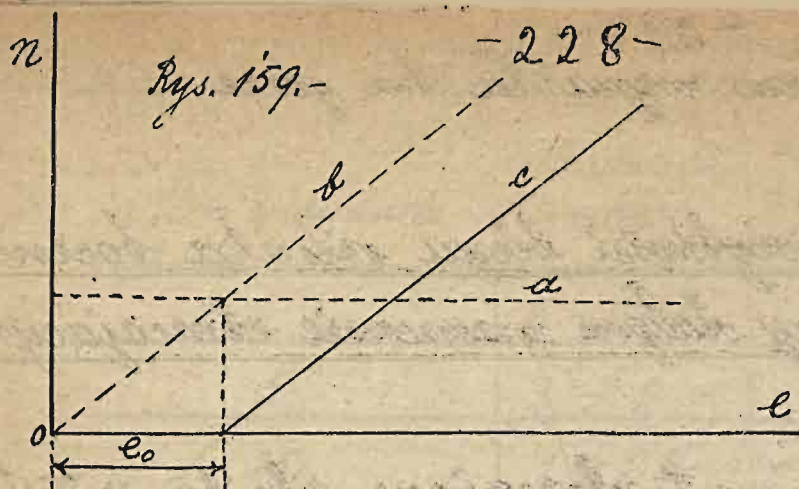
Wzór (4) możemy napisać inaczej, wprowadzając zamiast \underline{r} , $(R+r)$ i odpowiednio wyrazy zamiast \underline{K}' i \underline{K}'' , wtedy otrzymamy:

$$n = \frac{K_2 \cdot e}{N} - \frac{K_2 \cdot D \cdot (R+r)}{K_2 \cdot N^2} \dots (5)$$

Jeżeli zmieniać tylko napięcie \underline{e} prądu dopływającego do twornika, to liczba obrotów silnika na minutę zmieni się będzie według wzoru:

$$n = K''' \cdot e - K'''' \dots (6)$$

K''' i K'''' czynniki stałe -



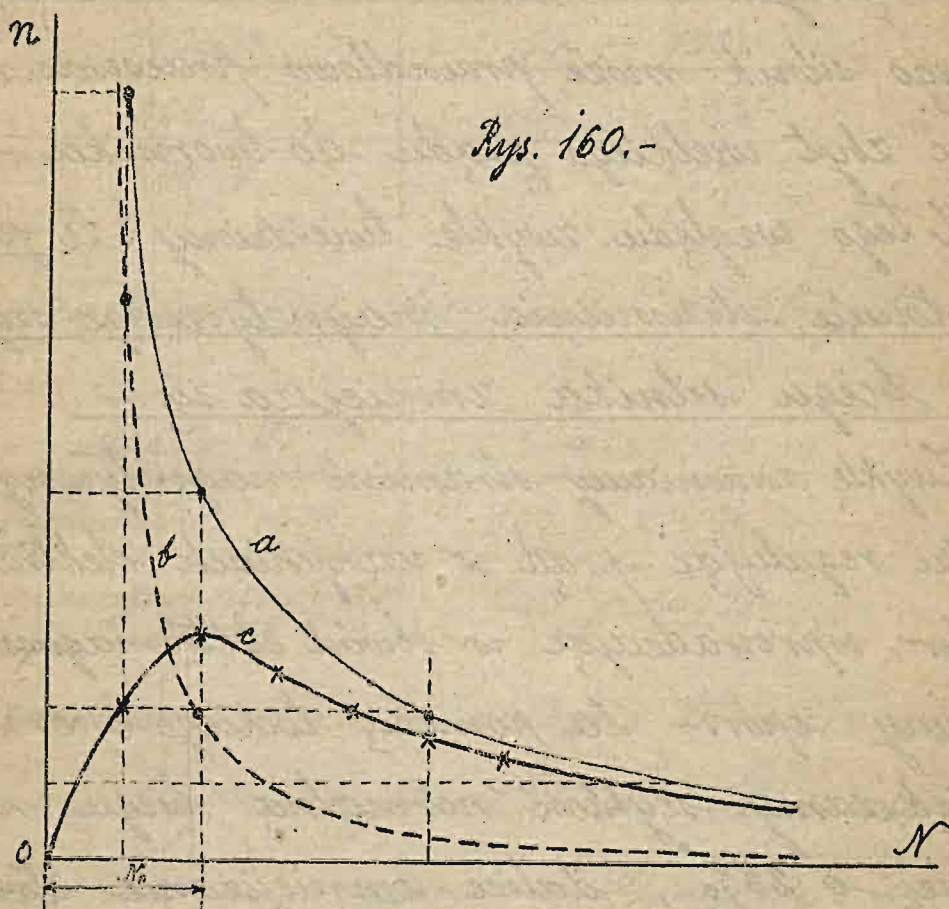
Zależność n od e wykreślnie wyraża się linią c na rys. 159. Rzędne tej linii są, różnicą rzędnych linii a i b , jak widać z równania (6).-

Zachowując stały strumień magnetyczny w silniku ^(możemy dowolnie zwiększać szybkość biegu silnika) przez stopniowe podnoszenie napięcia na szczotkach. Z wykresu na rys. 159 widzimy, że napięcie musi osiągnąć pewną wartość e_0 , aby silnik, przy nieznacznym zwiększeniu tej wartości, zaczął się poruszać.

Według wzoru (5) możemy również przewidzieć zmianę szybkości biegu silnika pod wpływem zmiany strumienia magnetycznego \mathcal{N} . Zakładając, że tylko n i \mathcal{N} są wielkościami zmiennymi i oznaczając przez \mathcal{F}^v i \mathcal{K}^v wielkości stałe, z powyższego

równania (5) otrzymamy :

$$n = \frac{\mathcal{K}^{\bar{v}}}{N} - \frac{\mathcal{K}^{\bar{v}}}{N^2} \dots \dots \dots (7)$$



Rys. 160.-

Równanie (7) można przedstawić wykreślnie za pomocą krzywej c rys. 160. Rzędne linji c są różnicą rzędnych linji a i b, stosownie do dwóch składników prawej strony równania (7). Z kształtu krzywej c wynika, że przy wzrastaniu strumienia magnetycznego narazie szybkość biegu silnika wzrasta: przy $N = N_0$ osiąga maximum

i dalej zmniejsza się. -

Praktyczne znaczenie ma część krzywej α za maximum w prawo, ponieważ tylko przy tych większych wartościach strumienia magnetycznego silnik może prawidłowo pracować nie biorąc zbyt wielkiego prądu do twornika. -

Z tego względu zwykle twierdzimy, że przy
wzrostaniu strumienia magnetycznego szyb-
kość biegu silnika zmniejsza się. -

Zwykle zmieniający strumień magnetyczny w silniku regulując prąd w uzwojeniach elektromagnesów, wprowadzając w obwód elektromagnesów zmienny opór. - Za pomocą takiego oporu powiększamy szybkość normalną biegu najczęściej o 25%, dalsze zmniejszanie strumienia magnetycznego wywołuje iskrzenie szczotek z powodu znacznego odkształcenia pola *). Przy zastosowaniu biegunów zwrotnych daje się zwiększać szybkość więcej. -

Nieżej podajemy tablicę liczb wskazujących najwyższe granice zwiększania liczby

*) Patrz rozdział o położeniu szczotek i reakcji twornika. -

obrotów przez osłabienie pola :

Dla silników bez biegunów dodatkowych. -

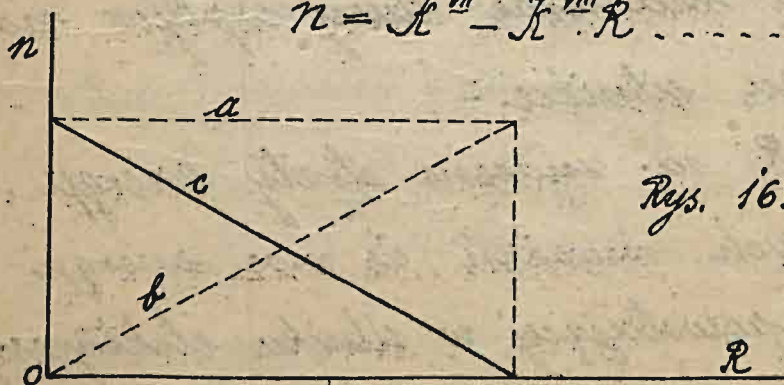
Napięcie na szczotkach	n
110 V	50 — 75%
220 V	25 — 50%
500 V	0 — 25%

Przy zastosowaniu biegunów zwrotnych

Moc w HP	n
maszyny do 10 HP	300 — 400 %
maszyny powyżej 10 HP	200 — 300 %

Wprowadzanie oporu w obwodzie twornika wywołuje zmiany w szybkości biegu, które można wyrazić wzorem w sposób następujący. Z wzoru (5), zakładając że tylko n i R są zmienne, otrzymamy :

$$n = K^{\text{III}} - K^{\text{III}} R \dots \dots (8)$$



Rys. 161. -

Na rys. 161 widzimy wykreślne wyrażenie zależności n od R . Linja e wyraża tę zależność. -

Przednie tej linii są różnice rzędnych linii a i b . -

Z równania (8) i wykresu na rys. 161 widzimy, że za pomocą oporu R szybkość biegu silnika można zmniejszać od szybkości normalnej do zera. -

Taki jednak sposób regulowania biegu silnika stosuje się rzadko z dwóch powodów:

Silnik ze znacznym oporem w obwodzie twornika przy zmiennym momencie obciążenia zmienia bardzo znacznie szybkość biegu. - Wychyła to z równania (4) w którym zamiast współczynnika ε przy D , będziemy teraz mieli $(R+\varepsilon)$ i przez to równanie (4) przybiera postać:

$$n = K' \varepsilon - K'' D (R + \varepsilon)$$

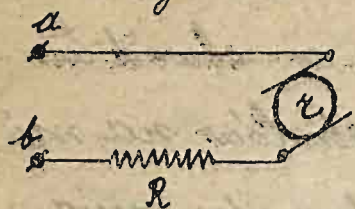
$(R+\varepsilon)$ jest znacznie większe od ε , więc czynnik ujemny ma teraz duży wpływ na szybkość biegu silnika. -

W oporze R są znaczne straty energii. -

Wiemy z ogólnych rozważań, że moc energii mechanicznej powstającej w silniku elektrycznym wyraża się wzorem:

Rozważając zaś obwód twornika rys. 162 wi-

Rys. 162. -



drimy, że napięcie źródła prądu \underline{e} na końcówkach \underline{a} i \underline{b} wyrazić możemy wzorem:

$$\underline{e} = \underline{E} + I(R+r)$$

Mnożąc przez \underline{I} otrzymamy:

$$\underline{e} \cdot \underline{I} = \underline{E} \cdot \underline{I} + I^2(R+r)$$

$\underline{e} \cdot \underline{I}$ - wyraża moc dostarczoną do silnika. -

$\underline{E} \cdot \underline{I}$ - moc mechaniczną strzymaną w silniku

$I^2(R+r)$ - moc równoważna ilości ciepła wytwarzającego się w oporze $(R+r)$ w jednostce czasu. -

Dla zbilansowania sobie sprawy z ilości energii straconej w tym razie, możemy przeprowadzić następujące rozumowanie. -

Siłę elektromotoryczną powstającą w tworniku możemy wyrazić wzorem:

$$\underline{E} = \frac{N}{K_2} \times n_1 \quad *)$$

*) K_2 - stała czynnik stracony poprzednio. -

Załóżmy, że w tym wypadku, gdy w obwodzie twornika nie ma oporu dodatkowego, silnik obraca się z szybkością \underline{n}_1 obrotów na minutę, a przy oporze \underline{R} wprowadzanym w obwód twornika obraca się z szybkością \underline{n}_2 obrotów na minutę, wtedy możemy napisać dwa równania:

$$\underline{e} = \underline{I} \underline{r} + \frac{\underline{N}}{\underline{K}_2} \times \underline{n}_1$$

$$\underline{e} = \underline{I}(\underline{R} + \underline{r}) + \frac{\underline{N}}{\underline{K}_2} \times \underline{n}_2$$

Z tych równań wypada:

$$\frac{\underline{n}_1}{\underline{n}_2} = \frac{\underline{e} - \underline{I} \underline{r}}{\underline{e} - \underline{I}(\underline{R} + \underline{r})}$$

Opór twornika jest wielkość mała, można więc opisać $\underline{I} \underline{r}$ wobec \underline{e} i \underline{r} wobec \underline{R} , wtedy:

$$\frac{\underline{n}_1}{\underline{n}_2} = \frac{\underline{e}}{\underline{e} - \underline{I} \underline{R}}$$

stał $\underline{I} \underline{R} = \underline{e} \left(1 - \frac{\underline{n}_2}{\underline{n}_1}\right)$

Mnożąc przez \underline{I} , otrzymamy:

$$\underline{I}^2 \underline{R} = \underline{e} \cdot \underline{I} \left(1 - \frac{\underline{n}_2}{\underline{n}_1}\right)$$

albo:

$$\underline{I}^2 \underline{R} = \underline{e} \underline{I} \left(1 - \frac{\underline{n}_2}{\underline{n}_1}\right) = \underline{e} \underline{I} \frac{\underline{n}_1 - \underline{n}_2}{\underline{n}_1}$$

Wzór ten wskazuje, że straty mocy w oporze dodatkowym stanowią taką część całej mocy dostarczonej do silnika, jaką część początkowej liczby obrotów stanowi liczba, wyrażająca spadek liczby obrotów. -

Wieg np. gdy zmniejszymy liczbę obrotów do połowy, to połowę energii dostarczonej do silnika stracimy w oporze dodatkowym. -

Oporniki rozruchowe.

Ze względu na mały opór obwodu twornika w silnikach *) dla uniknięcia zbyt silnego prądu przy puszczaniu w ruch, stosują się zarwy-
razaj oporniki w obwodzie twornika. -

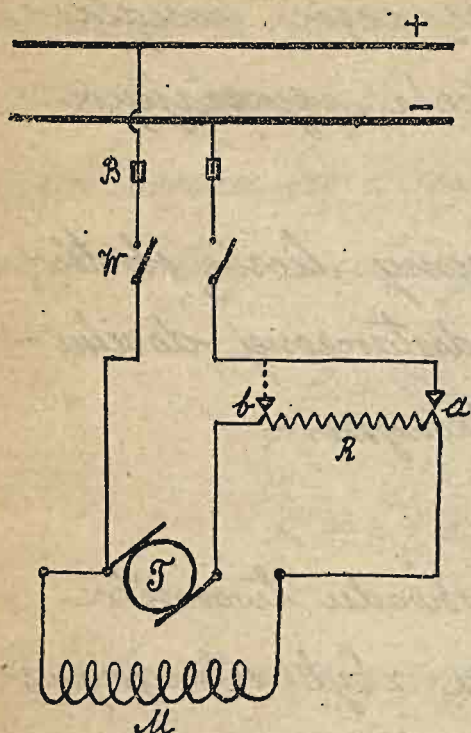
Oporniki te w miarę przyspieszenia biegu silnika stopniowo wylączamy, przesuwając kontakt. Najczęściej stosowany układ połączeń opornika rozruchowego wskazany jest na rys. 163. -

B - bezpieczniki, W - wylącznik, T - twornik,
M - uzwojenie elektromagnesów, R - opór roz-
ruchowy.

*) Za wyjątkiem silników bardzo małych, w których opór jest dość duży i który można włączyć wprost przez przewody.

W chwili puszczenia silnika w ruch kontakt

Rys. 163.



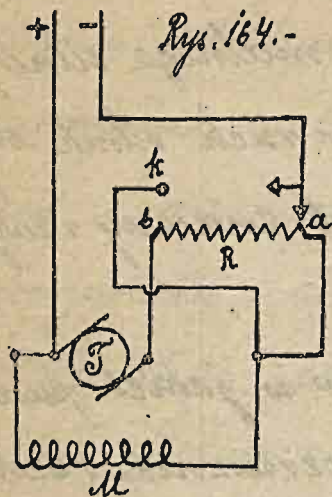
znajduje się w położeniu a, w biegu kontakt opornika znajduje się w b. -
Z układu połączeń łatwo spostrzedz, że przy położeniu kontaktu w a, opór R włączony jest w obwód twornika, a przy położeniu kontaktu w b, opór R włączony jest

przed uzwojeniami elektromagnesów; opór ten zwykle jest niewielki w porównaniu do oporu uzwojenia elektromagnesów, więc zmniejszenie prądu w elektromagnesach pod wpływem tego oporu jest nie wielkie. -

Zresztą, jeżeli opór przed twornikiem zastosowano dość duży, to w końcowym położeniu kontaktu rozrusznika można go wyłączać, stosując dodatkowy kontakt k, rys. 164, połączony bezpośrednio z uzwojeniem elektromagnesów. -

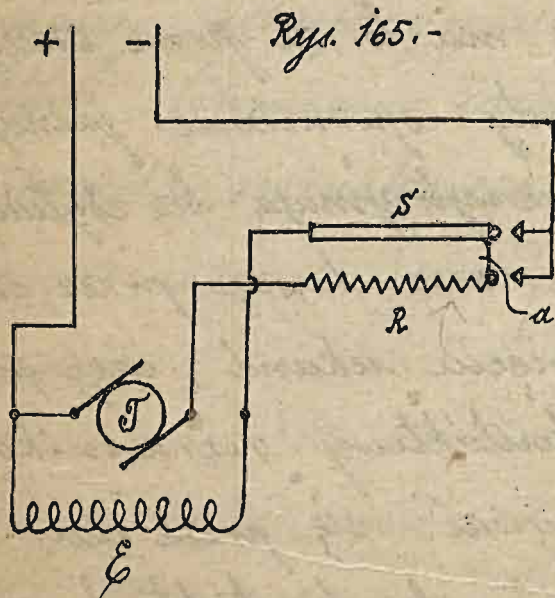
Więcej jeszcze nieco silniejszego

urząd rozrusznika z dwoma kontaktami, jednym dla twornika, a drugim dla elektromagnesów. -



Na rys. 165 widzimy układ odpowiednich połączeń. Prąd doprowadzony z sieci przechodząc przez kontakty rozrusznika dzieli się na dwie części, z których jedna

przez opornik R płynie do twornika, a druga przez płytkę metalową S - do elektromagnesów. -



Połączenie a - ma na celu utworzenie obwodu zamkniętego z twornika i elektromagnesów, dla uniknięcia powstawania dużej iskry przy przery-

waniu obwodu z wielką samoindukcją. -

Drut w opornikach rozruchowych wybieramy takiej grubości, aby się zbyt nie

rozgrzał przy puszczaniu w ruch. -

Gdy puszczamy w ruch silnik nieobciążony, to prąd rozruchowy zwykle stanowi drobną część, np. 0,1 prądu normalnego silnika, natomiast gdy puszczamy w ruch silnik obciążony, to prąd rozruchowy jest znaczący i zwykle przewyższa prąd normalny. -

Zależnie więc od warunków w jakich puszczamy silnik, należy stosować rozruszniki rozmaite:

przy puszczaniu w ruch bez obciążenia z drutem grubym, a przy puszczaniu w ruch z obciążeniem z drutem cienkim. - Ponadto należy zwrócić uwagę na to, że przez oszczędność zwykle stosują się druty opornikowe jaknajcieńsze, tak że one nie wytrzymują bez zbytecznego rozgrzewania się prądu rozruchowego przez czas dłuższy od kilkunastu sekund, więc przy przesuwaniu rączki kontaktowej rozrusznika nie można zatrzymywać się przez czas dłuższy na poszczególnych kontaktach pośrednich i stosować taki rozrusznik do regulowania szybkości biegu silnika. -

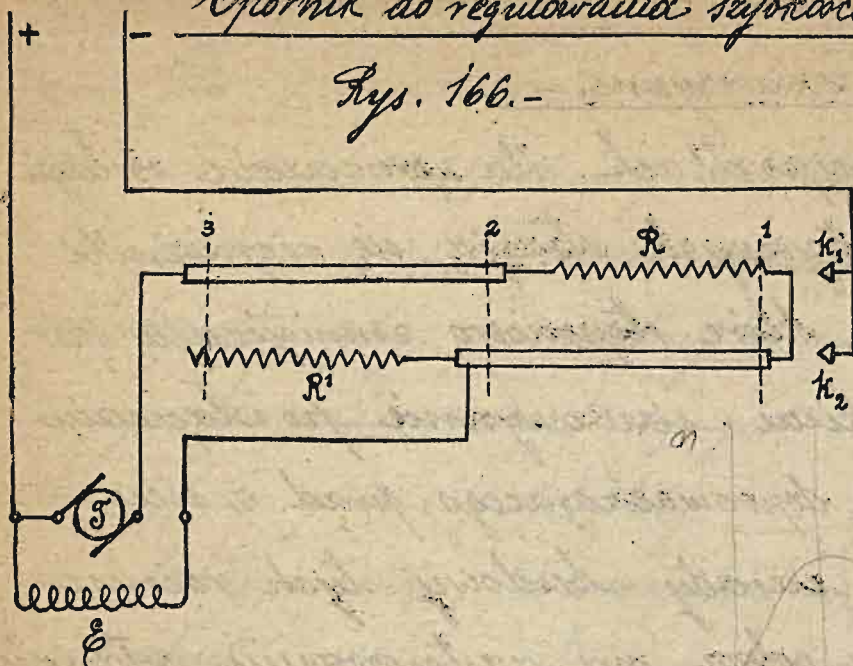
Rozruszniki samoczynne. —

W pewnych wypadkach dla uproszczenia obsługi silników elektrycznych stosują się rozruszniki samoczynne, które stopniowo zmniejszają opór przed twornikiem samoczynnie po włączeniu przerywacza, doprowadzającego prąd z sieci. —

Są dwie zasady budowy tych rozruszników. Jedna polega na zastosowaniu własności drutu żelaznego, który przy wysokiej temperaturze posiada opór kilka razy większy od oporu drutu zimnego, a według zasady drugiej stosujemy szereg elektromagnesów, które stopniowo zwićrają poszczególne części opornika rozruchowego. —

Opornik do regulowania szybkości biegu silnika.

Rys. 166.-



Na rys. 166 pokazany jest układ połączeń oporników wtaczonych przed twornikiem i przed uzwojeniami elektromagnesów. -

Prąd doprowadza się przez dwa kontakty ruchome k_1 i k_2 . Gdy rączka z kontaktami znajduje się w położeniu oznaczonym kreską 1, prąd do twornika płynie przez opornik R , a do elektromagnesów bez oporu, wtedy szybkość biegu silnika jest najmniejsza. -

W położeniu 2 kontakty doprowadzają prąd do twornika i do elektromagnesów bez żadnego oporu. - Wreszcie przy położeniu kontaktów na linii 3, prąd do twornika płynie wprost, natomiast do elektromagnesów prąd przepływa

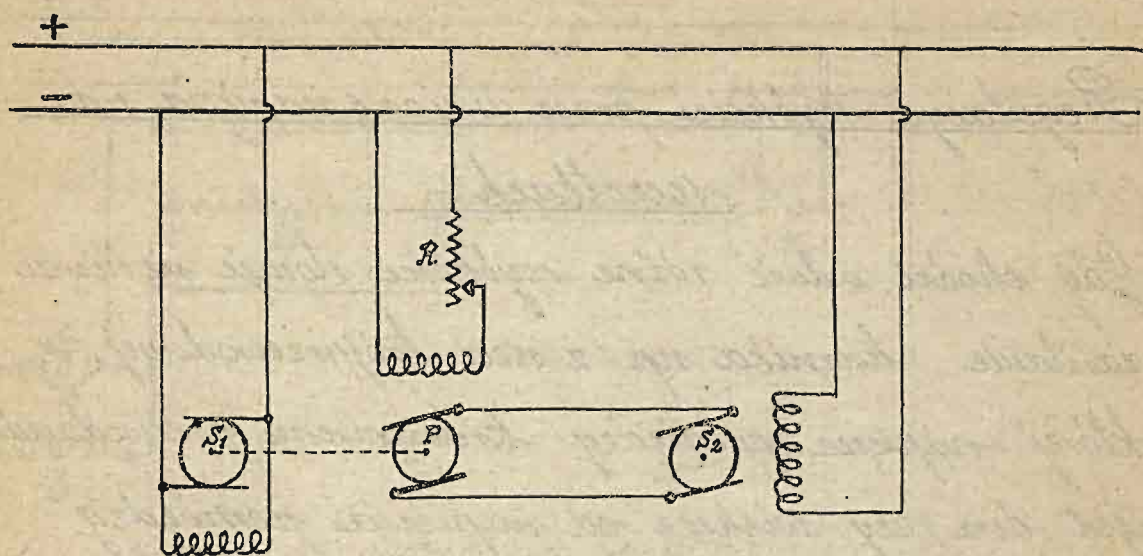
⁻²⁴¹⁻
przez opór R' . Przy tym położeniu kontaktów
szybkość biegu silnika jest największa. -

Regulacja szybkości przez zmianę napięcia na szczołkach. -

Gdy chodzi o dwie różne szybkości stoi się nieraz
zaślanie twornika np. z sieci trójprzewodowej, w
której napięcie pomiędzy krańcowymi przewodami
jest dwa razy większe od napięcia pomiędzy
przewodem środkowym i krańcowymi. -

Rys. 167. -	Można także stosować różne
+	źródła prądu dla zasilenia
0	twornika. -
-	

Elektromagnesy są tu zawsze zasilane z
tego samego źródła i prąd w nich utrzy-
muje się zawsze ten sam. Gdy chodzi o
zmianę szybkości stopniową, to zwykle ma za-
stosowanie układ połączeń Ward-Leonarda.
Na rys. 168 wskazany jest układ połączeń sto-
sowany przy zasilaniu urządzenia z sieci
prądu stałego. S_1 - silnik o możliwie stałej



P — prądnicą obracaną powyższym silnikiem, z postronnem wzbudzeniem, S₂ — twornik silnika, którego liczba obrotów jest zmienna.-

Za pomocą opornika R zmieniaemy dowolnie siłę prądu w uzwojeniu elektromagnesów prądnic P. W ten sposób dowolnie zmienia się napięcie na szczotkach silnika S₂ połączonego z prądnicą P. Prąd w uzwojeniach elektromagnesów silnika S₂ pozostaje bez zmiany, więc liczba obrotów silnika S₂ na minutę jest prawie proporcjonalna do napięcia na szczotkach.-

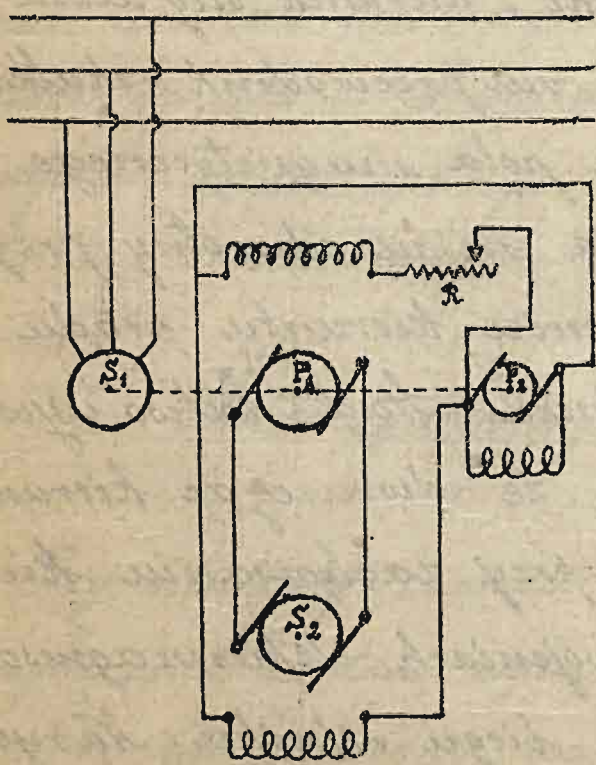
Czorem stoi się układ sieci zupełnie niezwykły dla umożliwienia osiągnięcia

trzech różnych szybkości rys. 169. Pomiedzy
 Rys. 169. przewodami a i b
 mamy 75 V, b i c -
 150 V. i a i c - 225 V.

<u>a</u>		
<u>b</u>	75	
<u>c</u>	150	225

Uzwojenia elektromagnesow przyłączają sie na
 stałe, do któregośkolwiek napięcia stosownie do
 ustroju uzwojenia, twornik zaś zasilany kolejno
 od różnych napięć i w ten sposób osiągaemy
 trzy różne szybkości.

Jeżeli energję dostarcza sieć prądu trójfazowego, to stosujemy
 Rys. 170.- układ połączeń wskazywany na rys. 170.-



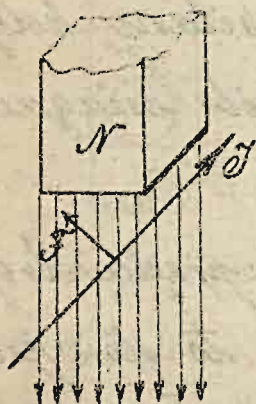
W tym razie silnik prądu trójfazowego S_1 o możliwie stałej liczbie obrotów obraca dwie prądnice P_1 - dużą i P_2 - małą. - Twornik dużej prądnicy jest bezpośrednio połączony z twornikiem silnika S_2 . Uzwojenia elektromagnesow prądnicy P_1 i silnika S_2

z twornikiem silnika S_2 . Uzwojenia elektromagnesow prądnicy P_1 i silnika S_2

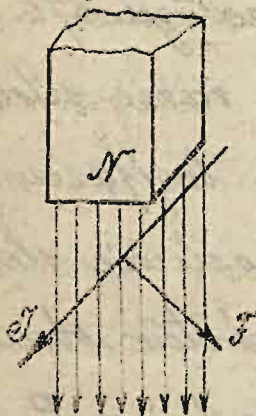
zasilane są z prądnicy małej P_2 . Za pomocą opornika R zmienia się prąd w uzwojeniach elektromagnesów prądnicy P_1 .

Zmiana kierunku obrotu silników

Rys. 171. - bocznikowych. -



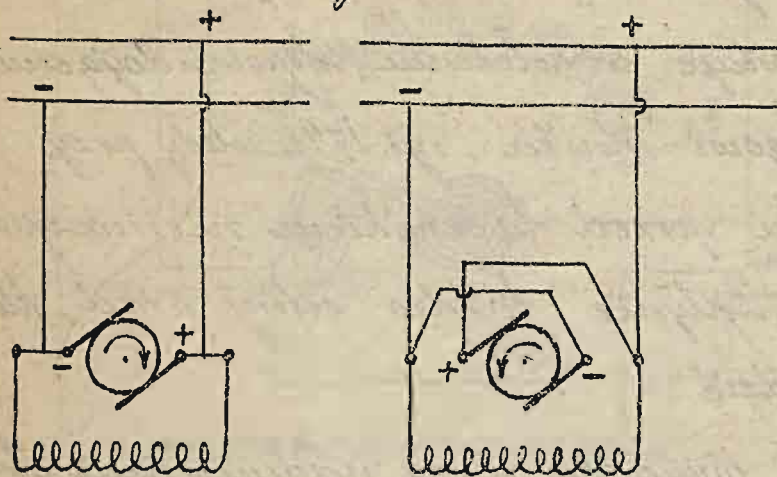
Rys. 172.



Przy rozważaniu działania pola magnetycznego na przewodnik z prądem, łatwo spostrzedz, że według reguły trzech palców lewej ręki, kierunek siły działającej na przewodnik, skutkiem wpływu pola magnetycznego, zmienia się na odwrót przy odwróceniu kierunku prądu w przewodniku. Stąd łatwo wywnioskować, że odwracając kierunek prądu w tworniku, przy zachowaniu kierunku prądu w uzwojeniach elektromagnesów, odwrócimy kierunek biegu silnika. Na rys. 173 widzimy dwa połączenia silnika z siecią, przy których silnik obracać się będzie w różne

strony. Gdy chodzi o rychłą zmianę kierunku ruchu silnika, stosują się rozmaite przelączniki, które odwracają kierunek prądu w tworniku.

Rys. 173. -



Można również osiągnąć ten sam skutek z chowując pole, cześć twornika z siecią i zmieniając kierunek

prądu w elektromagnesach. - Lepiej jest jednak unikać przemagnesowywania rdzeni elektromagnesów. - Przemiany magnetyczne odbywają się zawsze z pewnym opóźnieniem względem zmian zachodzących w prądzie magnetyzującym.

Samoczynne wyłączniki. -

Przy silnikach nierozłączających się samoczynne wyłączniki, które wyłaczają prąd, jeżeli silnik jest narażony na uszkodzenie. Dwa są najważniejsze wypadki, kiedy silnik może być uszkodzony: 1) gdy prąd w sieci przerwało i

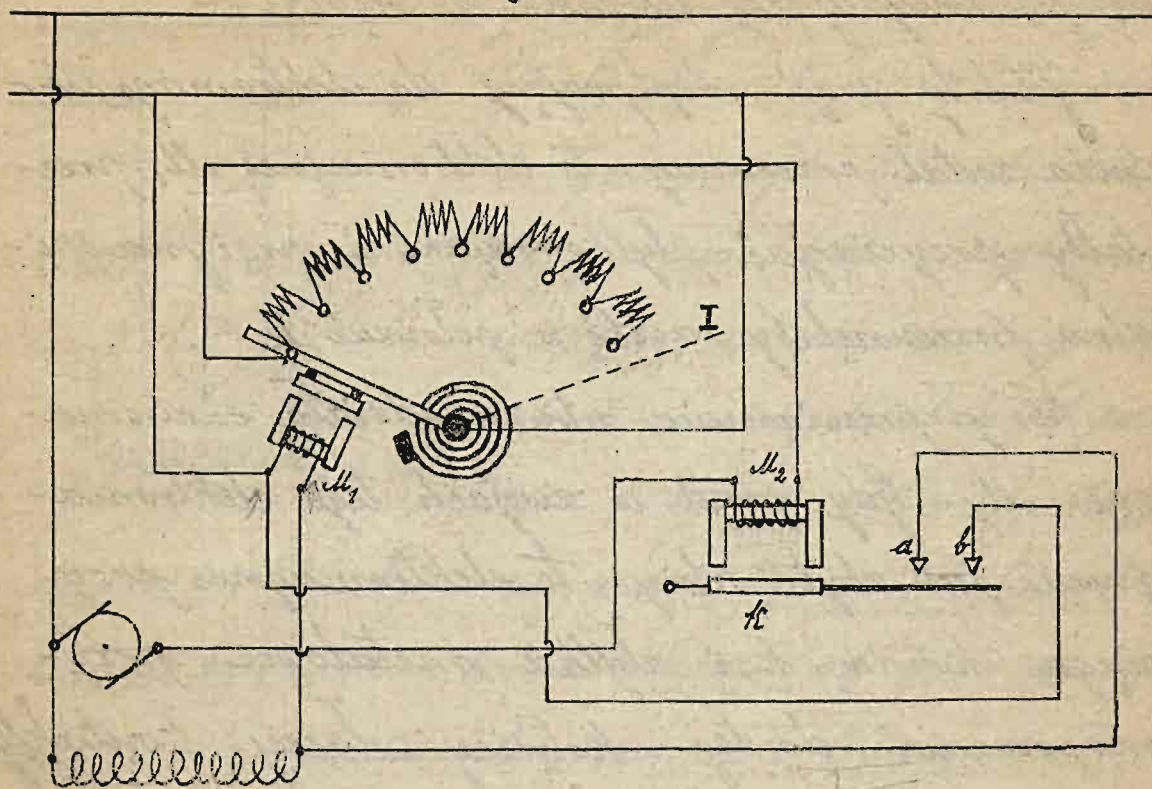
następnie niespodziewanie puszczaono, gdy silnik jest zbyt mocno obciążony. -

W pierwszym wypadku poprzewiedzeniu prądu w sieci silnik zatrzyma się, a rączka opornika rozruchowego zostaje w położeniu, odpowiadającemu normalnemu biegowi silnika, rys. 174, wtedy przy przerwie prądu przed twornikiem nie ma oporu i do twornika płynie bardzo silny prąd, który może go uszkodzić. -

W drugim wypadku przy nadmiernym obciążeniu silnika prąd w włożeniu twornika będzie zbyt wielki i może uszkodzić twornik. -

W obu razach pewne zabezpieczenie stanowią bezpieczniki topliwe, często nie jest to jednak wystarczające ze względu na niedokładne działanie tych przyrządów przy prądach krótkotrwałych. -

Urządzenie wyłoczowników samoczynnych łączy się zazwyczaj z opornikiem rozruchowym. Na rys. 174 wskazany jest układ połączeń z elektromagnesami przeznaczonych do wyłoczenia w razie przerwy prądu, lub też w razie przeciążenia silnika. -



Elektromagnes M_1 - zaopatrzony jest w uzwojenie z cienkiego drutu, przez który płynie prąd do elektromagnesów silnika. Elektromagnes zaś M_2 - ma zwojnicę z grubego drutu, przez który płynie prąd do twornika. Rączka rozrusznika zaopatruje się w żelazną płytkę, stanowiącą kotwicę elektromagnesu M_1 . Gdy silnik znajduje się w biegu normalnym, to rączka stoi w tym położeniu, które odpowiada wyłączonego opornikowi, wtedy płytką żelazną rączki dotyka elektromagnes M_1 - który utrzymuje rączkę

w tym położeniu wtów działaniu sprężyny spiralnej, znajdującą się na osi rączki. -

Jeżeliby prąd, dopływający do elektromagnesów silnika został przerwany, to elektromagnes M, przestaby przyciągać płytkę rączki i sprężyna spiralna przesuwałaby rączkę w położenie I. -

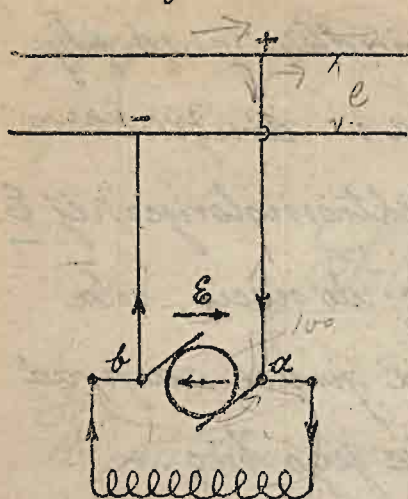
Przy przecięciu silnika działającego elektromagnes M₂. Gdy prąd w zwojach tego elektromagnesu jest zbyt silny, to elektromagnes przyciąga kotwicę k i płytkę metalową, przymocowaną do tej kotwicy, łącząc kontakty a i b; skutkiem tego prąd, płynący przez zwoje elektromagnesu M, słabnie, ponieważ większa część jego płynie przez przewodnik o małym oporze, łączący kontakty a i b. -

Elektryczne hamowanie silników boczni- kowych. -

Silnik boczniowy przy zachowaniu połączenia z siecią, może być prądnicą. -

Na ry. 175 widzimy kierunek prądu, który przebiega wtedy, gdy silnik otrzymuje energję z sieci. - Wtedy prąd płynie od a do b

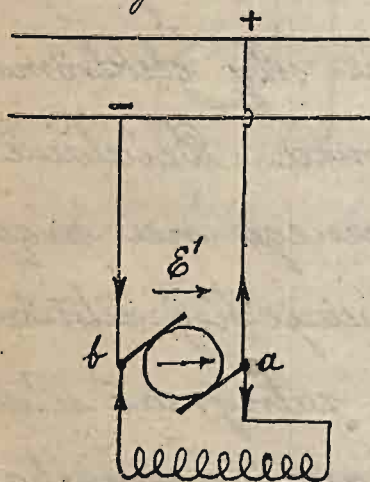
Rys. 175.-



-249-
wobec siły elektromotorycznej \mathcal{E} ,
powstającej w tworniku. -
Jeżeli twornik silnika obracać
w tym samym kierunku co
poprzednio, lecz z szybkością
większą od poprzedniej, to
silnik zacznie działać jak prąd-
nica i będzie oddawał energję

do sieci. W tym wypadku prąd w tworniku
zmieni kierunek i będzie płynął od b do a zgod-
nie z siłą elektromotoryczną powstającą w tworni-
ku rys. 176. - Kierunek prądu w elektromagne-

Rys. 176.-



sach w obu wypadkach będzie
ten sam. - Odwrócenie kie-
runku prądu w tworniku
odbywa się tu skutkiem tego,
że w pierwszym wypadku na-
pięcie na szczotkach \mathcal{E}_{ab} jest
większe od siły elektromotorycz-

nej \mathcal{E} ;

$$\mathcal{E}_{ab} > \mathcal{E}.$$

W drugim zaś wypadku, gdy liczba
obrotów twornika na sekundę jest większa

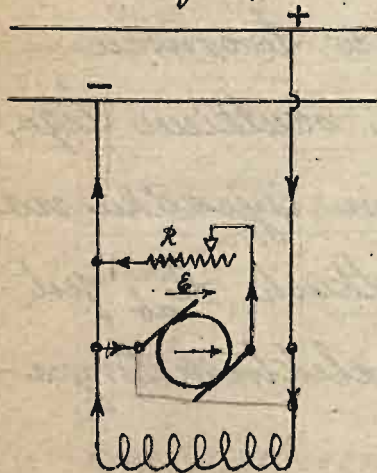
$$E_{ab} < \overset{-250-}{E'}$$

Skutkiem tego w pierwszym wypadku prąd płynie w kierunku napięcia E_{ab} , a w drugim wypadku - w kierunku siły elektromotorycznej E' .

Gdy twornik oddaje energję do sieci, siła poruszająca twornik wykonuje pracę, a prąd powstający w tworniku, hamuje jego bieg.

Chcąc zahamować silnik w celu zmniejszenia liczby obrotów na minutę, należy odłączyć twornik od sieci i szczytki połączyć przez odpowiedni opór, a elektromagnesy pozostawić w połączeniu z siecią, tak jak wskazuje na rys. 177.

Rys. 177.



Prąd w tworniku otrzymujemy w kierunku siły elektromotorycznej twornika. Działanie pola magnetycznego na prąd w tworniku hamuje bieg silnika, ale ostatecznie zatrzymać silnik można tylko hamując mechanicznie, ponieważ im mniej

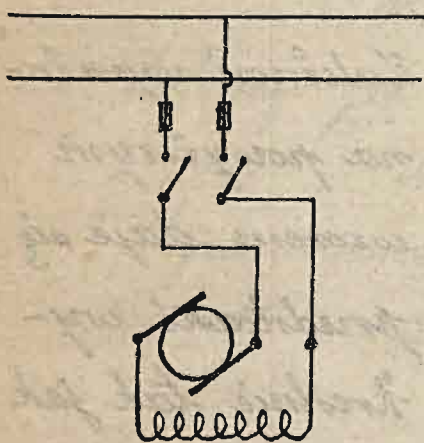
szła jest liczba obrotów twornika na minutę, tym mniejsza jest siła elektromotoryczna w tworniku i prąd indukowany.

W celu regulowania wielkości momentu hamującego elektromagnetycznego, możemy zmieniać opór R. -

Silnik szeregowy.

W silniku szeregowym twornik jest połączony w szereg z uzwojeniem elektromagnesów rys. 178. -

Rys. 178



Prąd z sieci przepływa kolejno przez twornik i elektromagnesy. Siła prądu w tworniku i w uzwojeniach elektromagnesów jest ta sama. - Moment obrotowy takiego silnika ma inne własności

niż silnika bocznikowego. -

Ze wzoru :

$$D = K_1 \cdot N \cdot I$$

możemy wyprowadzić wzory przyjmując w przybliżeniu pewną zależność N od I wyrażoną matematycznie. Prąd twornika przepływa tu przez uzwojenie elektromagnesów, więc, gdy że leży w obwodzie magnetycznym silnika

nie jest jeszcze magnetycznie nasycone możemy przyjąć, że strumień magnetyczny jest proporcjonalny do siły prądu w uzwojeniu elektromagnesów. -

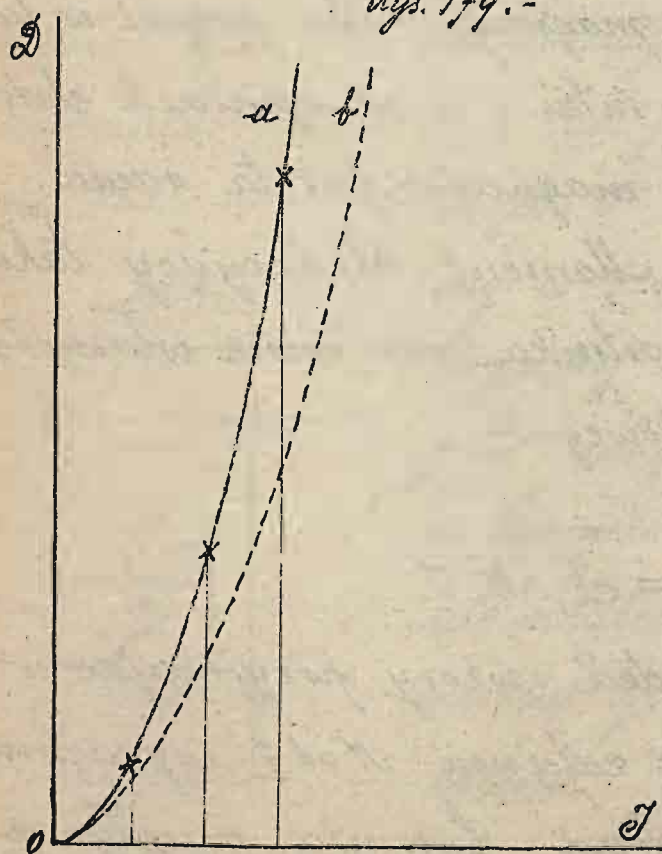
$$N = K''' \cdot I$$

wiec $D = K_1 \cdot K''' \cdot I^2$

albo $D = K'' \cdot I^2$

Wzór ten wskazuje, że moment obrotowy siłnika jest proporcjonalny do drugiej potęgi siły prądu. -

Rys. 179. -



Zależność wyrażona powyższym wzorem daje się przedstawić wykresnie tak jak wskazano na rys. 179. - linja a. - Ze wzrostem prądu magnesującego strumień magnetyczny w żel-

azie naprawdę wrosta powolniej, a przy nasyceniu magnetycznym żelaza wrosta

bardzo mały; z tego względu zależność D od J ,
otrzymamy doświadczalnie w sitnikach tego ro-
dzaju wyraża się linią kreskową b , która
leży niżej od linii a . -

Zależność szybkości biegu sitnika od momen-
tu obciążenia znajdziemy ze wzoru (2):

$$n = K_2 \frac{e - J \cdot \tau}{N}$$

mając na uwadze, że:

$$D = K^{\text{IV}} \cdot J^2$$

Złożymy jak poprzednio:

$$N = K^{\text{III}} \cdot J$$

Z tych równań otrzymamy:

$$J = \sqrt{\frac{D}{K^{\text{IV}}}}$$

$$N = K^{\text{III}} \sqrt{\frac{D}{K^{\text{IV}}}}$$

$$n = K_2 \cdot \frac{e - \sqrt{\frac{D}{K^{\text{IV}}}} \cdot \tau}{K^{\text{III}} \sqrt{\frac{D}{K^{\text{IV}}}}}$$

albo:

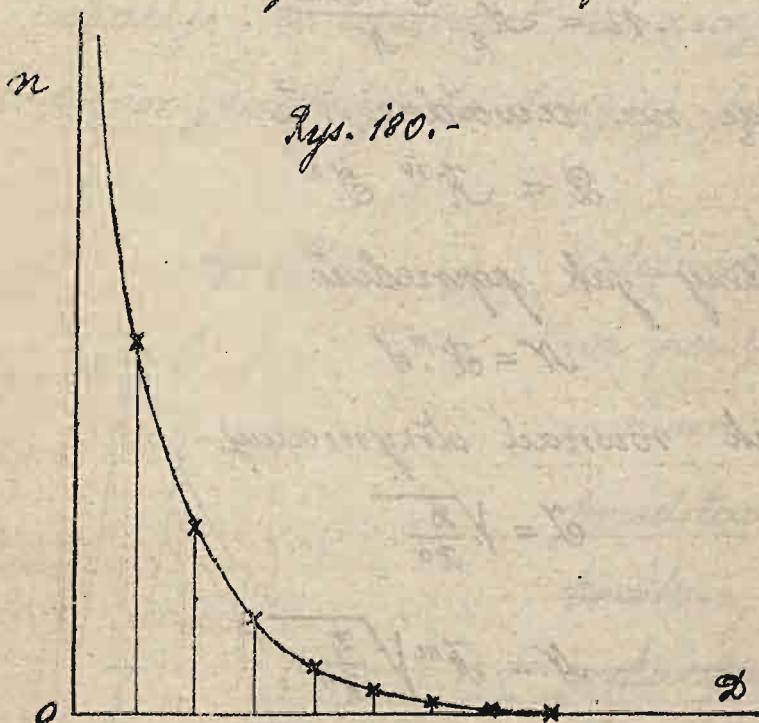
$$n = \frac{K_2 \cdot e \sqrt{K^{\text{IV}}}}{K^{\text{III}} \sqrt{D}} - \frac{K_2}{K^{\text{III}}} \cdot \tau \dots \dots (9)$$

Oznaczając przez K^{IV} i K^{III} wielkości stałe,
możemy wyrazić zależność liczby obrotów

silnika na minutę od momentu obciążenia, wzorem następującym :

$$n = \frac{K^i}{\sqrt{D}} - K^{ii}$$

Wzór ten wskazuje, że przy $D = 0$, $n = \infty$, a przy $D = \left(\frac{K^i}{K^{ii}}\right)^2$, $n = 0$. Wykreślić wyznaczony tę zależność tak, jak to wskazuje rys. 180.:-



W rzeczywistości krzywa jest mniej stroma, bo współczynnik K^{iii} we wzorze: $N = K^{iii} I$ nie jest stały, przy wzroście prądu, K^{iii} staje się coraz mniejszy, a przez to n - nieco większe niż to wypływa z poprzedniego wzoru. -

Widzimy stąd, że silnik ten bez obciążenia

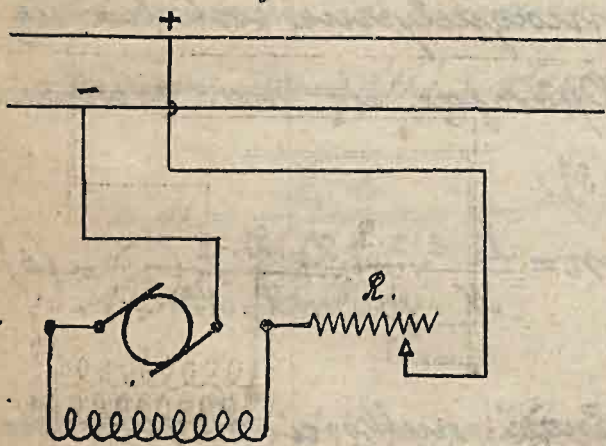
= 255 -

zewnątrznego, gdy cały moment \underline{Q} stanowią opory tarcia i t.p., obroci się bardzo szybko, tak, że nawet może być uszkodzony skutkiem sił bezwładności działających w ruchu wirowym.

Zmiana szybkości biegu silnika przy stałym momencie obciążenia. -

W silnikach szeregowych zmiana szybkości biegu odbywa się najczęściej za pomocą oporników włączonych w obwód tak jak wskazuje rys. 181. -

Rys. 181. -



Przez opornik \underline{R} płynie całkowity prąd silnika i wytwarza znaczne straty energii. -

Ze wzoru (9) wypada że:

$$n = \frac{K''' - K''''}{r}$$

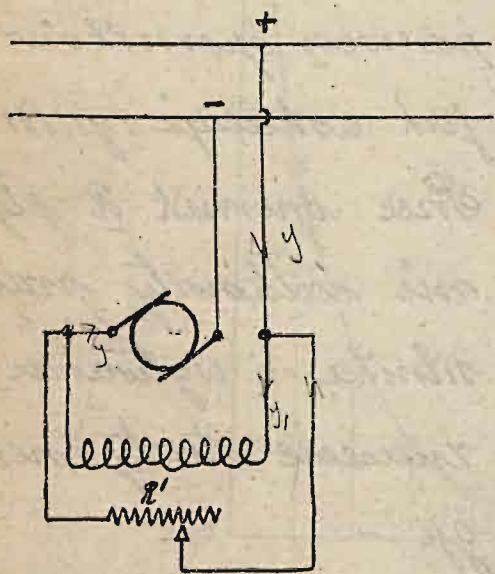
\underline{K}''' i \underline{K}'''' stałe czynniki, \underline{r} - opór twornika i elektromagnesów tarcie. Gdy wprowadzimy opór dodatkowy \underline{R} , to wzór powyższy wypada napisać inaczej:

$$n = \mathcal{K}''' - \mathcal{K}'''(z + R)$$

jest to wzór ten sam, który poprzednio oznaczaliśmy cyfrą (8), zależność więc n od R wyraża się linią wskazaną na rys. 161. -

Dla przyspieszenia biegu silnika można posilkować się oporem R' włączonym równolegle do elektromagnesów jak wskazano na rys. 182,

Rys. 182.



wtedy im mniejszym jest opór R' tem więcej część prądu płynie do uzwojeń elektromagnesów i pole magnetyczne osłabia się. Opierając się na równaniu (3):

$$n = \frac{\mathcal{K}_2 \cdot e}{N} - \frac{\mathcal{K}_2 \cdot D \cdot z}{\mathcal{K}_1 \cdot N^2} \dots (3)$$

możemy znaleźć zależność szybkości biegu silnika n od oporu R' . - W tym celu oznaczmy opór twornika przez z_1 , opór elektromagnesów z_2 , wtedy w powyższym równaniu

$$z = z_1 + \frac{R' \cdot z_2}{R' + z_2} \dots (10)$$

Jeżeli założymy: $N = K'' \cdot \underline{I}'$, gdzie \underline{I}' - prąd płynący przez zwoje elektromagnesów. - Przez \underline{I} oznaczymy prąd płynący przez twornik, wtedy na zasadzie prawa rozgałęzienia prądów, wyprowadzi:

$$\underline{I} = \underline{I}' \frac{R' + r_2}{R'}$$

albo, podstawiając zamiast \underline{I}' jego wyraz przez N , otrzymamy:

$$\underline{I} = \frac{N}{K''} \cdot \frac{R' + r_2}{R'}$$

Wprowadzimy ten wzór dla prądu \underline{I} w wyraz momentu obrotującego się sznurka:

$$\mathcal{D} = K_1 \cdot N \cdot \underline{I} = K_1 \cdot N^2 \cdot \frac{R' + r_2}{K'' \cdot R'}$$

$$\text{stąd } N = \sqrt{\frac{K'' \cdot \mathcal{D} \cdot R'}{K_1 (R' + r_2)}} \quad \text{----- (ii)}$$

Wprowadzając do równania (3) wyrazy dla \underline{r} i N z równań (i) i (ii), otrzymamy:

$$n = \frac{K_2 \cdot e}{\sqrt{\frac{K'' \cdot \mathcal{D} \cdot R'}{K_1 (R' + r_2)}}} - \frac{K_2 \left(r_1 + \frac{r_2 R'}{r_2 + R'} \right)}{\frac{K'' \cdot R'}{R' + r_2}}$$

Z tego wzoru, po przekształceniu, oznaczając przez K^{IX} , K^{X} i K^{XI} stałe czynniki, otrzymujemy:

$$n = K^{\text{IX}} \cdot \sqrt{1 + \frac{r_2}{R'}} - K^{\text{X}} \cdot \frac{1}{R'} - K^{\text{XI}} \quad \text{----- (12)}$$

Przy $R' = \infty$, t.j. gdy obwód równoległy do elektroma-

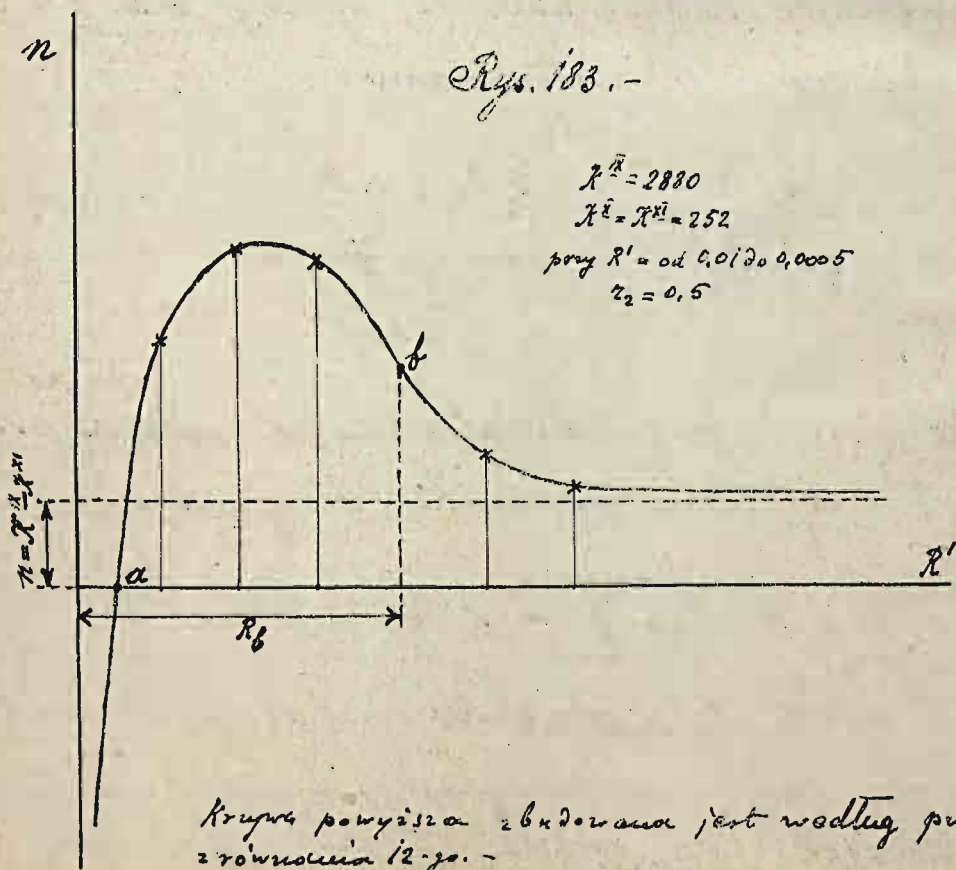
mesów jest przerwaną, strzyminą.

$$n = \mathcal{K}^{\bar{R}} - \mathcal{K}^{\bar{R}'}$$

Króć ten wyrovia pewną ilość obrotów odpowiadającą normalnemu biegowi silnika przy danym momencie obciążającym. - Aby wyznaczyć jaka będzie liczba obrotów silnika przy $R'=0$. Przekształćmy nieco równanie (12) opuszczając 1 wobec $\frac{z_2}{R'}$ przy zbliżeniu się R' do 0.

$$n = \mathcal{K}^{\bar{R}} \sqrt{\frac{z_2}{R'}} - \mathcal{K}^{\bar{R}} \frac{1}{R'} - \mathcal{K}^{\bar{R}'} = \frac{\mathcal{K}^{\bar{R}} \sqrt{z_2} \cdot \sqrt{R'} - \mathcal{K}^{\bar{R}}}{R'} - \mathcal{K}^{\bar{R}'}$$

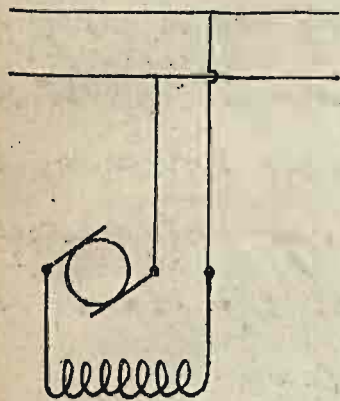
Przy $R'=0$ powyższy wyraz dla n staje się $-\infty$. - Zastanawiając się nad temi dwiema wartościami dla n , łatwo spostrzec, że zależność n od R' da się wyrazić krzywą linią, wskazaną na rys. 183. -



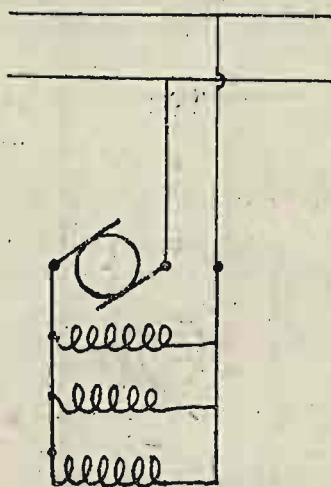
Część krzywej ujemna nie ma fizycznego znaczenia, bo przy oporze odpowiadającym punktowi α silnik staje i dalej kręcić się nie może. W praktyce wprowadzenie oporu R' służy dla przypięszczenia biegu silnika i wtedy stosując się wartości oporów R' większe od R_2 .

Stosowany bywa jeszcze zupełnie inny sposób zmiany pola magnetycznego silnika. Urządzenie elektromagnesów składowych na trzy równoległe galerie. Oznaczamy przez m liczbę zwojów na elektromagnesach połączonych

Rys. 184.-



Rys. 185.-



przez m liczbę zwojów na elektromagnesach połączonych w szeregu rys. 184, wtedy w każdej z równoległych galerii rys. 185. wypadnie zwojów $\frac{m}{3}$.

Jeżeli prąd w zwojach na rys. 184 wynosi I , to, przy zachowaniu tego samego prądu twornika, na rys. 185, prąd w każdym zwoju elektromagnesów wynosi $\frac{I}{3}$. Ogólna liczba odczynów zwojów w pierwszym wypadku wynosi $m \cdot I$, a w drugim $3 \cdot \frac{m}{3} \cdot \frac{I}{3} = \frac{m \cdot I}{3}$. Widzimy więc, że przez równoległe połączenie kilku części nawojenia osiągnemy osłabienie siły magnetycznej zwojów, a więc i strumienia magnetycznego silnika.

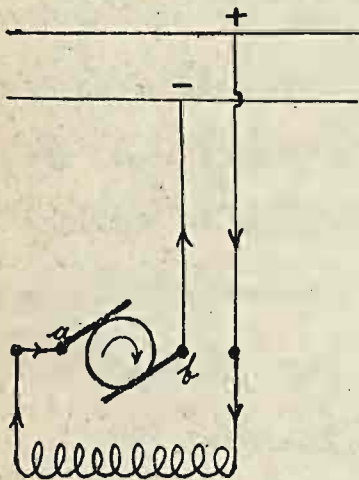
Silnik przyspiesza biegu. - 260-

Zmiana kierunku biegu silników szeregowych. -

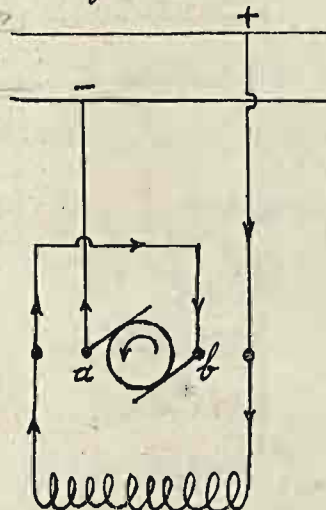
Zmiana kierunku biegu silnika odbywa się zarówno przez zmianę kierunku prądu w tworniku. -

Na rys. 186 prąd w tworniku płynie od a do b, a na rys. 187 od b do a, prąd zaś w elektromagnesach w obydwu wypadkach płynie w tym samym kierunku. -

Rys. 186. -



Rys. 187. -

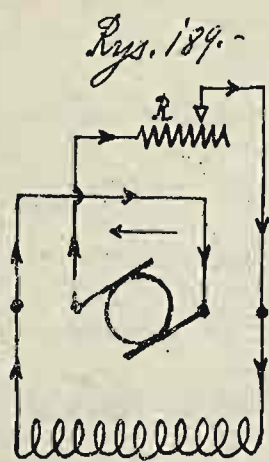
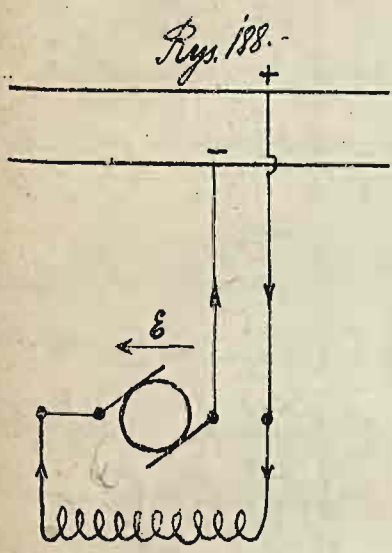


Gdy silnik, przy położeniu rys. 186 obraca się w prawo, to przy położeniu rys. 187 obraca się wlewo. -

Hamowanie elektryczne silników szeregowych. -

Hamowanie silników szeregowych przez wytwarzanie pracy prądu elektrycznego kosztem energii kinetycznej kręcących się mas odbywa się przez odłączenie silnika od sieci i zwarcie końcówek ze pomocą odpowiedniego oporu. Na szerególną uwagę zasługuje tu położenie

elektromagnesów z twornikiem. - Potężenie to musi być odwrócone w porównaniu do tego potężenia, które miało miejsce przy biegu silnika potężonego ze źródłem prądu. -



Jeżeli silnik przy biegu normalnym był potężony ze źródłem prądu tak jak wskazyje rys. 188, to przy hamowaniu należy wykonać potężenie takie

jak wskazuje na rys. 189. Taka zmiana potężenia elektromagnesów z twornikiem jest konieczna ze względu na zachowanie kierunku prądu w elektromagnesach. Tylko wtedy, jak wiadomo z własności prądu elektrycznego, nastąpi wzbudzenie odpowiedniej siły elektromotorycznej w tworniku. Za pomocą oporu R reguluje się moment hamujący. -

Silnik szeregowo-bocznikowy

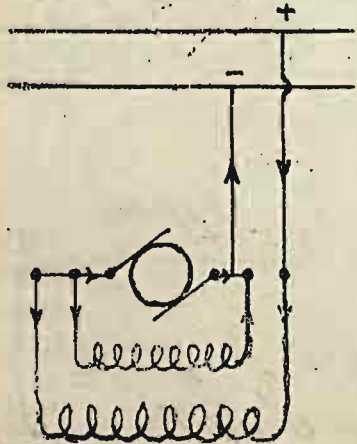
W tych wypadkach, gdy chodzi o nadanie silnikowi bocznikowemu szeregowych własności stosuje się dodatkowe nawinięcia szereowe. -

Uwójenie to może być połączone w ten sposób, że będzie współdziałać z uwójeniem bocznikowem, lub też przeciwdziałać. Gdy uwójenie szeregowo działa zgodnie z uwójeniem bocznikowem, to silnik ma tę zaletę, że w chwili puszczenia w ruch, silny prąd w uwójeniu szeregowem wywołuje silny strumień magnetyczny, a przez to duży moment obrotowy.

Gdy uwójenie szeregowo skłania odwrócić do uwójenia bocznikowego, to moment przy puszczeniu w ruch wywołuje słaby, ale przy obciążeniu szybkość biegu silnika zmniejsza się mało, o ile liczby zwojów szeregowych i bocznikowych są odpowiednio dobrane, ponieważ siła magnetyczna zwojów szeregowych osłabia pole magnetyczne.

Układ połączeń silnika szeregowo-bocznikowego wskazany jest na rys. 190 bez oporników rozruchowych i regulujących.

Rys. 190.

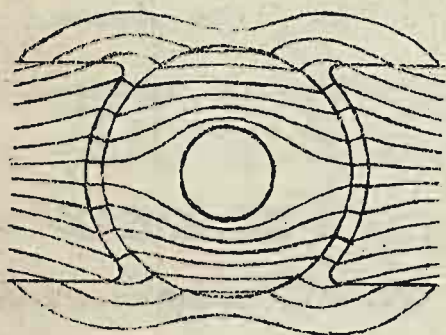


Reakcja twornika.

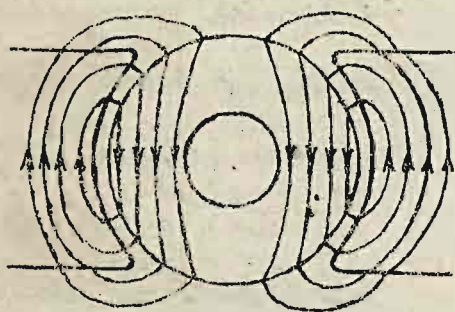
W silnikach elektrycznych reakcja twornika jest podobna do reakcji w prądnicach. Różnica pochodzi stąd, że przy danym układzie biegunów elektromagnesów prąd w tworniku silnika płynie w jedną stronę,

a w tworniku prądu w stronę przeciwną, o ile kierunek obrotu twornika pozostaje bez zmiany. Skutkiem innego kierunku prądu ^{pole} magnetyczne odkształca się w odwrotną stronę, t.j. jest przekreślane w stronę odwrotną do kierunku ruchu twornika. -

Rys. 191. -



Rys. 192. -



Rys. 193. -

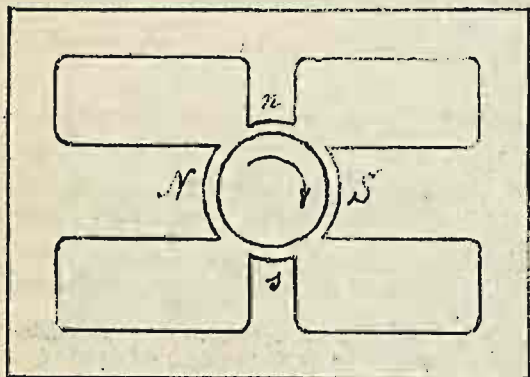


Wobec tego srodkowi na kolektorze trzeba przesunąć w stronę odwrotną do kierunku obrotu twornika. Na rys. 191 wskazano linie pola elektromagnetycznego, na rys. 192 linie pola twornika, a na rys. 193 linie pola wypadkowe. - Stosując bieguny dodatkowe, rozpatrzone w ujęciu szeregowym, po którym przebiega prąd twornika, można uzyskać przesunięcia srodków powierając przez skojarzenie pól magnetycznych elektromagnetycznych głównych siłko ułożenie twornika i biegunów dodatkowych.

można także osiągnąć odpowiedni układ linii

-264-
 sil magnetycznych. Uzwojenie biegunów dodatko-
 wych powinno być wykonane w ten sposób aby zna-
 ki biegunów wypadły takie jak wskazano na rys. 194.

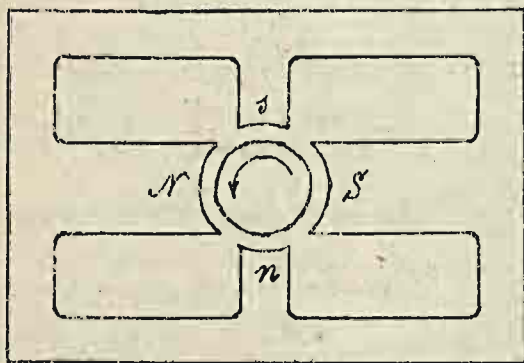
Rys. 194. -



Przy odwracaniu kie-
 runku biegu silnika
 przez zmianę kierunku
 prądu w tworniku, na-
 leży zachować poto-
 czenia uzwojenia bie-
 gunów dodatkowych
 z twornikiem. -

Przy zmianie kierunku prądu bieguny zmieniają
 znak, co odpowiada zmieniennemu kierunkowi
 obrotu twornika rys. 195. -

Rys. 195. -



Obecnie wszystkie sil-
 niki o zmiennym kie-
 runku biegu zapatrzu-
 ją się w bieguny do-
 datkowe w celu unik-
 niecia iskrenia swo-
 tek przy zachowaniu
 ich połączenia na ko-

lektornie. Połączenie uzwojenia dodatkowych bie-
 gunów z uzwojeniem twornika należy pozostawić
 bez zmiany również wtedy, gdy silnik zamienia
 się na prądnicę, ponieważ wtedy odwraca-
 się kierunek prądu w tworniku i zmienia

się znak biegunów dodatkowych, tak jak być powinno w celu zrównoważenia odwróconego pola magnetycznego twornika. —

Budowa silników prądu stałego. —

W zasadzie budowa silników prądu stałego jest taka sama jak prądnic. Duże silniki mają te same modele co i odpowiednie prądnice. Budowa zaś silników mniejszych przystosowuje się do ich przeznaczenia i jest bardzo urozmaicona. Szybkość biegu silników jest wogóle dość znaczna. Im wolniej silnik się kręci, tym drożej kosztuje. Najczęściej stosowane są następujące szybkości biegu:

Moc silnika w koniach mechanicznych	Liczba obrotów na minutę
1	1200 — 1800
10	800 — 1500
50	400 — 900
100	400 — 800

Napięcia prądu zasilającego silnik najczęściej stosują się: 110 v., 220 v., 440 v., 600 v. i 800 v.

Małe silniki nie wysokie napięcie nie budują się, ponieważ zbyt cienkie wypadają obręty i taki silnik łatwo się poruża. —

Najwyższe napięcia prądu stosowanego przy silnikach
różnej mocy podają w tablicy:

Moc silnika w koniach mechanicznych	Napięcie w woltach
$\frac{1}{4}$	100 wyjątkowo 200
$\frac{1}{2}$	200 wyjątkowo 400
1	500
5	600
10	750 wyjątkowo więcej

Na szczególną uwagę zasługują jeszcze urządzenia
dla zabezpieczenia silnika od działania szkodliwych
czynników mechanicznych lub chemicznych. —

Tam gdzie nie ma o to obawy stosują się silniki
otwarte, ze swobodnym dostępem powietrza do wy-
stkich części. — Gdzie chodzi tylko o zabezpieczenie
od uszkodzeń mechanicznych, to ostroja się twor-
nik i kolektor odpowiedniemu przykrywaniu niebyle
szczelności. Dla uchronienia zaś silnika od che-
micznych wpływów wypada stosować ostony
zupełnie szczelne. Taki ostony utrudniają jednak
rozpraszanie się ciepła, powstającego w silniku
skutkiem przebiegu prądu i przez to taki ostoni-
ty silnik nie można obciążać w takim stopniu
jak silnik otwarty. O ile to jest możliwe stosują
się silniki przewietrzane, rozpatrywane w opozycji, we-
wnętrz, której wprowadza się powietrze czyste. —

Pozostea są jone silniki zapatrone w urzadzenu ochronne od wybuchu gazow. - Ponizdy szczegolnie a kolektorom w silnikach stalego pradu powstaja prawie zawsze chocia drobne iskierki, ktore w razie rozniecania kolektora mogz wziesc sie. - Jkna taka zapala mieszaniny wybuchowe. Dla zabezpieczenia od wybuchu najprosciej byloby zamknac mozliwie hermetycznie silnik, ale poniewaz przewietranie jest potrzebne dla ochlodzenia silnika, wiez stosuja oslony zapatrone w otwory z odpowiednimi kanalami lub siatkami. - Wtedy, w razie zapalenia sie mieszaniny wybuchzacej, wybuch nastapi tylko wewnatrz oslony i plomie nie przeniesie sie nazewnatrz z powodu ochlodzajacego działania scianek kanalow lub drucikow siatki. -

Wymiary silnikow i ich budowa wybiera sie z uwzglednieniem w ten sposob, aby w ciagu pót godziny silnik bez szkody wytrzymal 25% przeciżenia ponowol sprawnosci normalnej, 40% w ciagu trzech minut. Chwilowo przez czas wynoszący okolo sekundy silnik moze wytrzymac od 75 do 100% przeciżenia, jezeli napiecie pradu zostajacego wynosi 110 do 220 v. i 40 do 50% przy napięciach do 500 v. -

Silniki majace przewazanie specjalne, np. silniki traumatyczne majaz wykle inne rozne warunki dotyczace mozności przeciżenia.