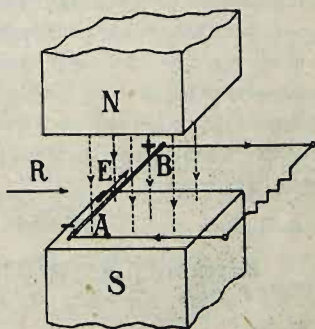


Zasady budowy i działania prądnic.

46. Wstęp.

Prądnicami, albo dynamomaszynami a także generatorami nazywamy maszyny, służące do przetwarzania pracy mechanicznej rozmaitych silników: parowych, wodnych, spalinowych i t. p. w pracę prądu elektrycznego. W prądnicach druty (zwykle miedziane) poruszają się względem biegunów elektromagnesów, z których wybiegają strumienie magnetyczne i skutkiem tego w tych drutach powstaje siła elektromotoryczna indukcji, wywołująca prąd.

Na rys. 80 mamy dwa bieguny magnesu, pomiędzy którymi przebiega strumień magnetyczny z góry na dół. Drut AB porusza się pomiędzy biegunami w kierunku strzałki R . Przez doświadczenie łatwo stwierdzić, że w takich warunkach w obwodzie, wskazanym na rysunku, powstanie prąd w kierunku strzałek oznaczonych na przewodnikach. Prąd ten płynie pod wpływem siły elektromotorycznej powstającej w przewodniku AB , gdy on przecina linie magnetyczne. Kierunek siły elektromotorycznej wskazuje strzałka E .



Rys. 80.

Przy odwróceniu kierunku ruchu, albo kierunku linii magnetycznych odwraca się również kierunek siły elektromotorycznej.

Dla zapamiętania zależności kierunku siły elektromotorycznej od kierunku ruchu przewodnika i kierunku linii magnetycznych najlepiej posłużyć się regułą następującą.

Kierunek siły elektromotorycznej wskazują palce prawej dłoni, umieszczonej wzdłuż przewodnika w ten sposób, aby linie magnetyczne przeszywały dłoń w kierunku z wewnątrz na zewnątrz, a odstawiony w bok duży palec wskazywał kierunek ruchu przewodnika względem linii magnetycznych.

Wielkość siły elektromotorycznej, powstającej w przewodniku AB , jest wprost proporcjonalna do gęstości linii magnetycznych, do szybkości ruchu przewodnika względem linii magnetycznych i do jego długości.

Oznaczmy przez B gęstość linii magnetycznych pomiędzy biegunami, przez u szybkość ruchu przewodnika, a przez l długość przewodnika znajdującą się w strumieniu magnetycznym; założmy, że drut AB jest skierowany prostopadle do linii magnetycznych i że porusza się również prostopadle do linii magnetycznych, jak to zwykle bywa w prądnicach, wtedy siłę elektromotoryczną, powstającą w tym drucie, obliczymy w woltach ze wzoru:

$$E = B \cdot l \cdot u \cdot 10^{-8} *)$$

Przykład. $B = 5000$ linii na cm^2 pola biegunów, $l = 20$ cm. $u = 15$ metr. na sek., co stanowi 1500 centymetrów na sek., wtedy:

$$E = 5000 \times 20 \times 1500 \times 10^{-8} = 1,5 \text{ wolta.}$$

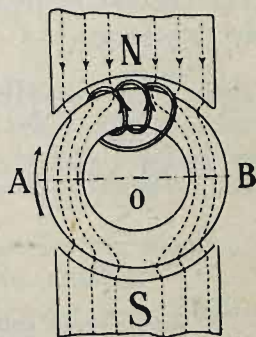
*) Łatwo spostrzec, że wzór ten można wyprowadzić z poprzednio podanego na str. 66 jeżeli rozważać zmianę liczby linii objętych obwodem elektrycznym, w którym włączony jest drut AB .

W prądnicach przewodniki izolowane nasyconą bawełną umieszczamy zwykle na bębnach żelaznych obracających się pomiędzy biegunami elektromagnesów.

Na rys. 81 widzimy taki bęben pomiędzy dwoma biegunami. Na bębnie nawinięte są trzy zwoje drutu, końce tych zwojów są połączone razem tak, że stanowią obwód zamknięty.

Linje strumienia magnetycznego przebiegają, jak wskazano na rysunku, od bieguna północnego do południowego przez bęben, który magnesuje się pod wpływem biegunów *N* i *S* i skupia w sobie strumień magnetyczny.

Gdy obracamy bęben ze zwojnicą, to linje magnetyczne pozostają nieruchome, a druty, znajdujące się na obwodzie zewnętrznym bębna, przecinają w ruchu linje magnetyczne. Kierunki sił elektromotorycznych w poszczególnych zwojach są zgodne i wywołują prąd w drucie w tym samym kierunku. Ogólna siła elektromotoryczna równa się sumie sił elektromotorycznych w poszczególnych zwojach.



Rys. 81.

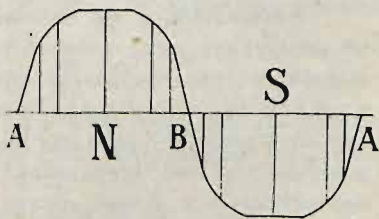
Zastanawiając się nad wielkością i kierunkiem siły elektromotorycznej przy różnych położeniach zwojnicy, łatwo spostrzeżemy, że gdy zwoje przechodzą pomiędzy biegunami w *A* i w *B*, to linie magnetycznych nie przecinają i w tedy siły elektromotorycznej indukcji niema. Gdy wszystkie zwoje znajdują się pod biegunami, to siła elektromotoryczna jest największa, ma jednak różny kierunek zależnie od bieguna. Przy obrocie bębna w kierunku strzałki w drutach, leżących na zewnętrznym obwodzie bębna pod biegunem północnym „*N*” prąd płynie od czytelnika w głąb rysunku, rys. 81. Ale gdy bęben obróci się w ten sposób, że druty znajdą się nad biegunem południowym „*S*”, to w drutach popłynie prąd odwrotny taki jak na rys. 82.

Ten kierunek prądu łatwo wyznaczyć według podanej wyżej reguły prawej dłoni. Tu linie magnet. idą zgóry na dół.

Póki pod biegunami magnesów są wszystkie zwoje, siła elektromotoryczna zmieniać się będzie mało, bo szybkość ruchu jest stała i gęstość linii magnetycznych pod biegunami jest wszędzie prawie jednakowa. Gdy jednak zwoje zaczynają kolejno wychodzić z pod biegunów ogólna siła elektromotoryczna zmniejsza się, ponieważ brak jej składników, gdyż te zwoje, które wychodzą z pod biegunów, przecinają stopniowo coraz mniej linii i wreszcie w punktach *A* i *B* już żadnej siły elektromotorycznej nie mają. Linję *AB* na rys. 81 i 82 nazywamy obojętną, albo neutralną.

Dla lepszego zdania sobie spraw ze zmienności prądu i siły elektromotorycznej w rozważanej zwojnicy posługujemy się następującym wykresem rys. 83.

Wyobraźmy sobie, że drogę kołową, po której porusza się zwojnica, wyprostowaliśmy w linię *ANBSA*. Poszczególne litery oznaczają tu odpowiednie miejsca na rys. 82. Do góry i na dół od linii *ANBSA* prowadzimy kreski, których długość wyraża wielkość siły elektromotorycznej w zwojnicy przy odpowiednich położeniach pomiędzy biegunami. Jeżeli siła elektromotoryczna jest skierowana w głąb rysunku, to odpowiednią kreskę rysujemy do góry,



Rys. 83.

a gdy siła elektromotoryczna wypada odwrotna względem poprzedniej, to rysujemy kreskę w dół. Końce kresek łączymy linią krzywą, postać której wyobraża zmienność siły elektromotorycznej zwojnicy w ciągu jednego obrotu bębna. W ciągu

następnego obrotu siła elektromotoryczna zmieniać się będzie zupełnie tak samo. Czas jednego pełnego obrotu zwojnicy z bębniem nazywamy tu **okresem zmienności** siły elektromotorycznej. W ciągu jednego okresu siła elektromotoryczna dwa razy osiąga największość i dwa razy staje się równą zeru. Prąd, który ona wywołuje, ma taki sam okres zmienności, tak samo wzrasta i zmniejsza się do zera. Taki prąd zazwyczaj nazywamy krótko **prądem zmiennym**.

Dla wyzyskania pracy prądu elektrycznego, powstającego w zwojnicy przez indukcję, nie zamykamy jej obwodu bezpośrednio, lecz łączymy końce zwojnicy z pierścieniami lub też z połówkami pierścienia rozciętego.

Na rys. 84 widzimy końce zwojnicy połączone z pierścieniami, do których dotykają blaszki czyli t. zw. **szczotki**.

W czasie ruchu bębna ze zwojami szczotki ślizgają się po pierścieniach. Od nieruchomych szczotek przewody odprowadzają prąd do lamp.

Bęben z uzwojeniem, w którym powstaje siła elektromotoryczna, wywołująca prąd, nazywamy **twornikiem**.

W rozważanym przykładzie na tworniku mamy osadzone pierścienie, z tego względu taki twornik nazywamy zazwyczaj **twornikiem z pierścieniami**.

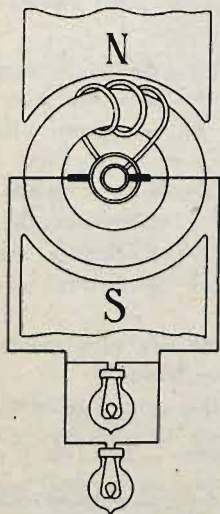
Zastanawiając się nad połączeniem zwojnicy twornika z obwodem zewnętrznym spostrzeżemy łatwo, że jeden koniec zwojnicy jest stale połączony z lewym przewodem lamp, a drugi stale połączony z prawym przewodem lamp.

Z poprzedniego rozważania wiemy, że siła elektromotoryczna ma zmienny kierunek, więc i prąd w zewnętrznym obwodzie jest zmienny. W ciągu jednej połowy obrotu twornika prąd płynie w jedną stronę, a w ciągu następnej w przeciwną.

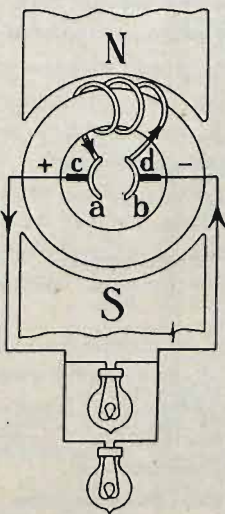
Szczotkę, przez którą prąd wychodzi, oznaczamy zwykle znakiem plus (+), a drugą, przez którą prąd wraca, znakiem minus (—).

W rozważanej prądnicy mamy prąd zmienny, więc i szczotki nie mają stałego znaku. Każda szczotka kolejno bywa to dodatnia, to ujemna.

Chcąc otrzymać prąd, płynący zawsze w jedną stronę, wypada zastosować zamiast pełnych pierścieni dwie połówki, połączone z końcami zwojnicy tak, jak to wskazuje rys. 85. Przy obrocie twornika te półpierścienie zmieniają swój znak. W położeniu wskazanym na rys. 85 półpierścień *a* jest dodatni, a półpierścień *b* ujemny. Gdy zaś zwojnica przejdzie pod biegun południowy, znaki półpierścieni będą odwrotne.



Rys. 84.

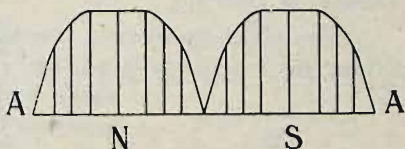


Rys. 85.

Szczotki *c* i *d* są jak zwykle nieruchome i stykają się kolejno to z jednym, to z drugim półpierścieniem. Przez cały czas ruchu zwojnicy pod biegunem północnym szczotka *c* styka się z półpierścieniem *a*, a szczotka *d* z półpierścieniem *b*. Gdy zaś zwojnica znajduje się pod biegunem południowym to szczotka *c* styka się z półpierścieniem *b*, a szczotka *d* z półpierścieniem *a*.

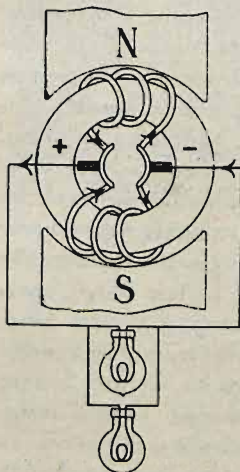
W ten sposób szczotka *c* styka się zawsze z tym półpierścieniem, który jest w danej chwili dodatni, a szczotka *d* z tym półpierścieniem, który jest ujemny. Skutkiem tego w obwodzie zewnętrznym prąd płynie zawsze od szczotki *c* do *d*. Przez to szczotka *c* jest zawsze dodatnią, a *d* ujemną. Natężenie prądu jest jednak zmienne, odpowiednio do zmiany siły elektromotorycznej w zwojnicy twornika. Zmienność prądu w obwodzie zewnętrznym takiej prądnicy wyraża linja falowa na wykresie rys. 86.

Na tworniku można umieścić więcej zwojnic na przykład dwie, rys. 87. Tutaj prąd dopływa do szczotki dodatniej z dwóch zwojnic połączonych równolegle, więc według prawa Kirchhoffa natężenie prądu, płynącego do lamp, równe jest sumie prądów, przepływających w poszczególnych zwojnicach. Siły elektromotoryczne w zwojnicach są w każdej chwili co do wielkości jednakowe, ponieważ jedna zwojnica jest zawsze tak samo położona



Rys. 86.

względem bieguna południowego, jak druga względem bieguna północnego. Prądy w zwojnicach będą zmieniać się jednakowo i prąd wypadkowy da się przedstawić tak samo, jak w prądnicy z jedną zwojnicą za pomocą linii wskazanej na rys. 86.



Rys. 87.

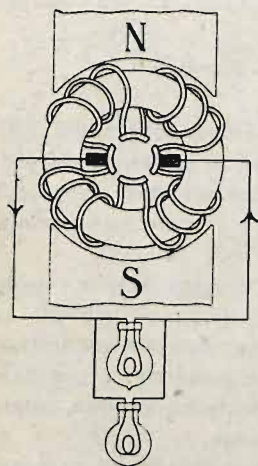
Przez dodanie drugiej zwojnicy osiągamy tu tylko możliwość brania z prądnicy większego prądu, nie obawiając się uszkodzić druty twornika, ponieważ przez każdy z drutów płynie tylko połowa prądu obwodu zewnętrznego.

O ile przerwiemy obwód zewnętrzny, to przerwie się prąd nie tylko w obwodzie lamp, ale i wewnątrz prądnicy, bo chociaż dwie połączone ze sobą zwojnice tworzą zawsze obwód zamknięty, to jednak prąd w tym wewnętrznym obwodzie powstać nie może, gdyż siły elektromotoryczne w zwojnicach mają dla tego obwodu kierunki przeciwne i są zawsze równe, więc się znoszą.

W celu otrzymania prądu stałego umieszczamy na tworniku kilkadziesiąt, a co najmniej kilkanaście zwojnic. Dla wyjaśnienia jaki wpływ ma dalsze zwiększenie liczby zwojnic

na przebieg prądu, rozważymy działanie trwonika z czterema zwojnicami, rys. 88. Zamiast półpierścieni mamy ćwiartki pierścienia. Zwojnice tworzą tu jak widać dwie grupy równoległe, z których każda składa się z dwóch zwojnic połączonych w szereg.

Siły elektromotoryczne zwojnic **połączonych w szereg** dodają się i przez to prąd, który otrzymamy z takiego twor-



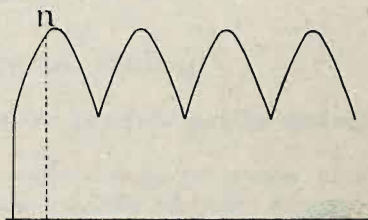
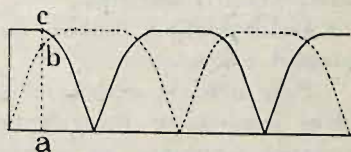
Rys. 88.

nika, będzie miał wyższe napięcie, pozatem będzie on równiejszy czyli stałszy. Żeby sobie wyjaśnić jaka będzie wypadkowa siła elektromotoryczna, wywołana przez dwie połączone w szereg zwojnice, zwróćmy uwagę przede wszystkim na to, że sąsiednie zwojnice niejednocześnie przechodzą pod środkami biegunów i niejednocześnie przechodzą przez linię objętną między biegunami. Kiedy pewna zwojnica znajdzie się w środku bieguna, to następna będzie na linii objętnej. W tych warunkach siły elektromotoryczne sąsiednich zwojnicach nie będą jednocześnie osiągały największości. Kiedy w zwojnicy pod biegunem siła elektromotoryczna będzie największa,

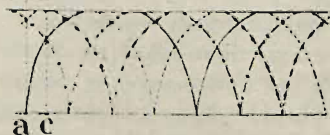
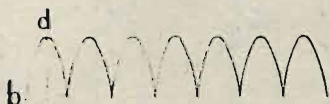
to w zwojnicy sąsiedniej siła elektromotoryczna będzie zero. Mówimy zwykle, że pomiędzy siłami elektromotorycznymi w tych zwojnicach jest różnica faz, która tu wynosi ćwierć okresu, ponieważ odpowiada ćwiercy pełnego obrotu trwonika. Na rysunku zmienność prądów, wywołanych przez te siły elektromotoryczne, można przedstawić za pomocą dwóch linii, posuniętych jedna względem drugiej o ćwierć okresu. Na rys. 89, jedna linia jest ciągłą, a druga kropkowana. Jeżeli następnie prądy te dodać razem, składając odcinki pionowych linii, to otrzymamy rys. 90. Tu np. odcinek n równa się sumie odcinków ab i ac na rys. 89. Wielkość prądu wypadko-

wego, jak widać, jest tu stałszą niż przy jednej lub dwóch zwojnicach. Teraz prąd nigdy nie bywa równy zeru.

Jeżeli zwiększyć liczbę zwojnic jeszcze dwukrotnie, mianowicie zrobić zwojnic ośmiu, to będziemy mieli po cztery zwojnice połączone w szereg, w których siły elektromotoryczne będą przesunięte w fazie o ósmą część okresu. Po dodaniu prądów, wywołanych przez te siły elektromotoryczne w obwodzie zewnętrznym, otrzymamy prąd, wyrażony linią wskazaną na rys. 91. Prąd tutaj zmienia się tylko w granicach wskazanych odcinkami *ab* i *cd*. W prądnicach stosowanych zazwyczaj do oświetlenia i przenoszenia siły, dzielimy pierścień, do którego dotykają szczotki, na kilkanaście, kilkadziesiąt, a nawet kilkaset cząstek, stosując odpowiednią liczbę zwojnic.



Rys. 89 i 90.



Rys. 91.

Wtedy prąd drga bardzo mało i bardzo często, więc możemy uważać go za stały i prądnice takie nazywamy prądnicami prądu stałego. Szereg działek pierścienia, po których ślizgają się szczotki nazywamy kolektorem, albo komutatorem. Prąd stały otrzymujemy z twornika z kolektorem: rys. 85, 87 i 88, prąd zmienny zaś z twornika z pierścieniami, rys. 84. Z opisów prądnic prądu stałego

i zmiennego, podanych powyżej, widzimy następujące główne części składowe: elektromagnesy, twornik z kolektorem albo pierścieniami i szczotki.

Dalej podamy osobno opis szczegółowy prądnic prądu stałego i zmiennego.

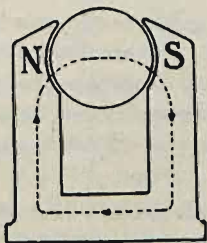
Przy prądzie zmiennym uwzględnimy jeszcze odmienny rodzaj prądnic, w których twornik jest nieruchomy, wtedy powyższe pierścienie są oczywiście zbędne.

Prądnice prądu stałego.

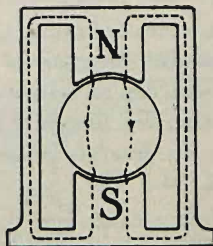
47. Budowa elektromagnesów prądnic prądu stałego.

Elektromagnesy prądnic prądu stałego są zawsze nieruchome, mają one rozmaitą postać zależnie od liczby biegunów i sposobu umieszczenia zwojnic magnesujących.

Na rys. 92, 93, 94 i 95 wskazane są ważniejsze rodzaje elektromagnesów, stosowanych przy budowie prądnic. Obok siebie znajdują się zawsze bieguny przeciwne *N* i *S*.



Rys. 92.

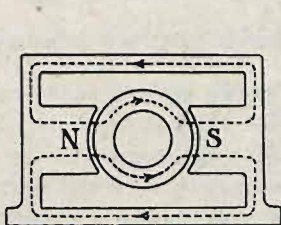


Rys. 93.

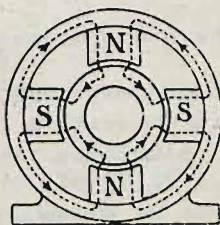
Zwojnice magnesujące umieszczamy najczęściej bezpośrednio na biegunach (patrz dalej rys. 104). Kierunek zwojów zwojnic przystosowuje się do znaku biegunów w ten sposób, aby zapomocą prądu, przebiegającego kolejno przez wszystkie zwojnice, wzbudzić naprzemian bieguny północne i południowe.

Przebieg strumienia magnetycznego*) wskazuje, że w elektromagnesie rys. 92 mamy jeden obwód magnetyczny, na rys. 93 i 94 po dwa obwody, tu cały strumień, przebiegający przez twornik, dzieli się na dwa strumienie, które zamykają się z jednej i z drugiej strony przez ramę magnesnicy. **Magneśnicą** nazywamy żelazną ramę z biegunami, na których osadzają się zwojnice. Na rys. 95 mamy magneśnicę wielobiegunową, tu jest tyleż oddzielnych strumieni magnetycznych ile biegunów.

Rama magneśnicy zrobiona jest najczęściej ze stali lanej, czasem z surowca. Bieguny odlewają się razem z ramą, lub też wyrabiane są z żelaza kutego i następnie są przykręcane



Rys. 94.



Rys. 95

za pomocą śrub do ramy. Często bieguny zaopatruje się jeszcze w nasadki biegunowe rys. 104. Rdzeń twornika, przez który zamyka się obwód magnetyczny, zrobiony jest z cienkich krążków, wyciętych z blachy żelaznej, mocno ściśniętych. Rdzeń ten ma kształt pełnego bębna rys. 92 i 93 albo pierścienia rys. 94 i 95.

Pomiędzy rdzeniem twornika i biegunami jest szczelina, której szerokość wynosi kilka milimetrów. Im szersza jest ta szczelina, tem więcej potrzeba amperozwojów dla wywołania odpowiedniego strumienia magnetycznego. Również dużo potrzeba amperozwojów dla przeprowadzenia strumienia magnetycznego przez takie miejsca obwodu magnetycznego, w których linie magnetyczne są bardzo zgęszczone. Z tego

*) Zaznaczony na rysunku linią kropkowaną.

względę należy baczyć aby strumień magnetyczny wszędzie miał dostateczny przekrój.

W rdzeniach biegunowych, czyli w tak zwanych pieńkach i w ramie zewnętrznej, czyli, tak zwanem, jarzmie jest zawsze więcej linii magnetycznych niż w tworniku, gdyż część linii, wybiegających z biegunów, zamyka się pomimo twornika przez powietrze i stanowi strumień rozproszony.

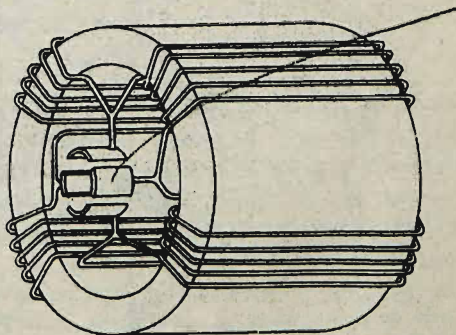
Zwojnice elektromagnesów zwijamy z drutu miedzianego izolowanego bawełną. Drut stosuje się różnej grubości, zależnie od prądu, przepływającego przez zwoje. Przy wielkich prądach zamiast drutu okrągłego używamy wstęg miedzianych, które zajmują mniej miejsca i dają się łatwiej giąć. Druty i wstęgi nawijamy czasem na ramki tekturowe, albo blaszane, wyłożone izolacją. Zwojnice elektromagnesów nasadzamy na pieńki biegunowe po wykonaniu nawinięcia.

48. Budowa twornika prądnic prądu stałego.

Twornik prądnic składa się z czterech zasadniczych części: **wału, rdzenia żelaznego, uzwojenia i kolektora**, kolektor nazywa się nieraz komutatorem (patrz rys. 104).

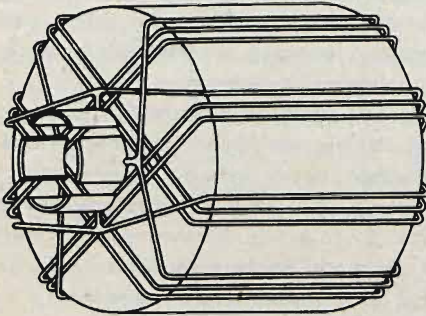
Budowa twornika bywa różna, zależnie od tego, jakie stosujemy uzwojenie tak zw. **bębnowe** czy **pierścieniowe**.

Na rys. 96 mamy wskazaną zasadę wykonania uzwojenia pierścieniowego. Rdzeń twornika ma kształt pierścienia; na nim nawinięty jest szereg zwojnic, połączonych z działkami kolektora. Takie uzwojenie stosuje się obecnie rzadko, ponieważ wykonanie uzwojenia jest dosyć kłopotliwe; znaczna



Rys. 96.

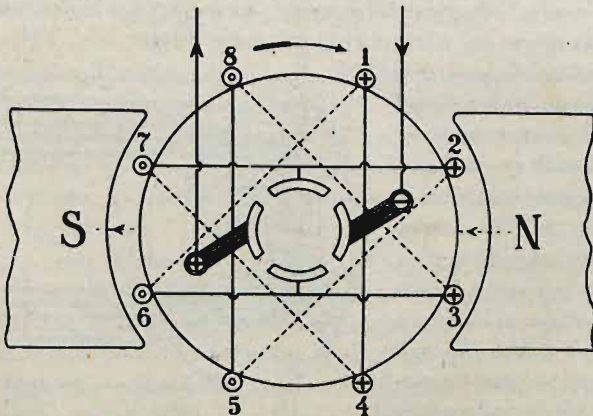
część przewodnika, znajdująca się wewnątrz pierścienia, jak widzimy na rys. 81 nie przecina linii magnetycznych i nie przyczynia się do wytworzenia siły elektromotorycznej.



Rys. 97.

Obecnie prawie wyłącznie stosujemy uzwojenie tworników bębnowych. Na rys. 97 przedstawiony jest sposób nawijania przewodników na rdzeń w kształcie bębna pełnego. Widzimy tu także połączenie zwojów z działkami kolektora. Na rys. 98 mamy te same uzwojenie, przedstawione w ten

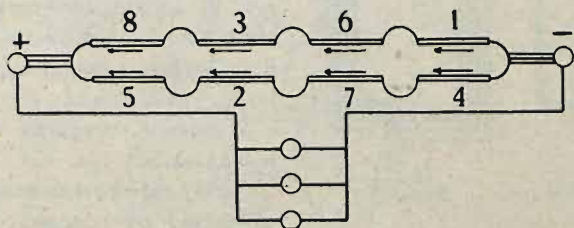
sposób, aby łatwiej było rozpoznać bieg prądu. Dla uproszczenia rysunku, kilka zwojów, umieszczonych obok siebie na rys. 97, zastąpiono na rys. 98 zwojami pojedynczymi.



Rys. 98.

Uwzględniając bieg linii sił magnetycznych od bieguna północnego do południowego i kierunek obrotu twornika

wskazany strzałką, łatwo przekonamy się, według reguły prawej dłoni, że w drutach pod biegunem północnym siły elektromotoryczne są skierowane wgląd rysunku, a w drutach pod biegunem południowym zglębi rysunku. Idąc myślą za biegiem prądu w uzwojeniu twornika, spostrzeżemy, że prąd płynie wewnątrz prądnicy od szczotki ujemnej przez druty 1, 6, 3 i 8 do szczotki dodatniej. W tych wszystkich drutach siły elektromotoryczne zgodnie wywołują prąd w jednym kierunku. Obok tego obwodu, mamy drugi równoległy, również od szczotki ujemnej przez druty 4, 7, 2 i 5 do szczotki dodatniej. Na rys. 99 wskazany jest rozwinięty obwód powyższego twornika z odpowiednimi siłami elektromotorycznymi. Tu w jednej gałęzi płynie prąd kolejno przez druty 1, 6, 3 i 8 a w drugiej przez 4, 7, 2 i 5.



Rys. 99.

Przy obracaniu twornika druty ciągle zmieniają miejsca, ale ogólny ich układ pozostaje bez zmiany. Na rys. 99 widzimy wyraźnie, że prąd, płynący do lamp, składa się tu z dwóch prądów, płynących w drutach twornika. Jeżeli np. w każdej gałęzi uzwojenia twornika płynie po 20 A, to prąd płynący do lamp wynosi 40 A. Siła elektromotoryczna tej prądnicy jest sumą sił elektromotorycznych, powstających w poszczególnych drutach, połączonych w szereg w jednej czy w drugiej gałęzi, a więc tylko połowy wszystkich drutów, znajdujących się na obwodzie twornika. Jeżeli weźmiemy pod uwagę górną gałąź rys. 99, to dodać należy do siebie siły elektromotoryczne drutów: 1, 6, 3 i 8. Załóżmy że w każdym

drucie powstaje siła elektromotoryczna przeciętnie 2 wolty, to całkowita siła elektromotoryczna twornika wyniesie:

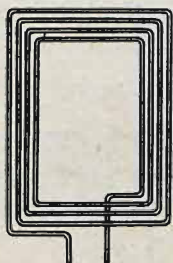
$$2 \times 4 = 8 \text{ V}$$

Drugi szereg drutów połączonych równolegle do poprzednich znajduje się w tych samych warunkach co pierwszy, więc w tym szeregu powstaje taka sama siła elektromotoryczna, jak w pierwszym; nie dodaje się jednak ona do poprzedniej, gdyż przy połączeniu równoległym składają się tylko prądy.

W celu powiększenia siły elektromotorycznej należy zwiększyć liczbę zwojów. Na rys. 98 każda zwojnica pomiędzy dwiema działkami kolektora składa się tylko z pojedynczego zwoju. Na rys. 100 widzimy taki zwój utworzony np. z 8-go i 3-go drutu. W uzwojeniu na rys. 97 każda zwojnica składa się z trzech zwojów, taka zwojnica, wyjęta z podobnego uzwojenia, składająca się jednak z 4 zwojów, wygląda tak, jak wskazano na rys. 101.



Rys. 100.



Rys. 101.

Siły elektromotoryczne w drutach poszczególnych zwojów, wywołują prądy w tym samym kierunku, przeto, jeżeli w każdym drucie powstaje siła elektromotoryczna 2 wolty, to siła elektromotoryczna twornika ze zwojnicami, mającymi po cztery zwoje, będzie w porównaniu z przykładem poprzednim czterokrotnie większa i wyniesie:

$$8 \times 4 = 32 \text{ V.}$$

Jeżeli zamiast czterech zwojów w zwojnicy zastosować 20 zwojów; to siła elektromotoryczna wzrośnie jeszcze pięciokrotnie i wyniesie:

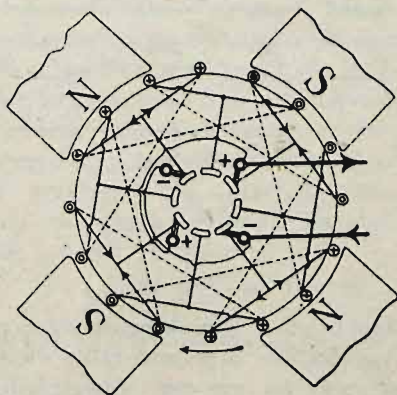
$$32 \times 5 = 160 \text{ V.}$$

Mając tak wielką liczbę drutów na obwodzie twornika, znacznie powiększamy liczbę działek kolektora, w celu otrzy-

mania równiejszego prądu. Całą liczbę zwojów dzielimy wtedy na tyle zwojnic, ile mamy działek kolektora.

Układ dwubiegunowy stosuje się tylko do prądnic małych.

Na kilkanaście i więcej kilowatów buduje się prądnice wielobiegunowe. Na rys. 102 wskazana jest zasada wykonania uzwojenia twornika prądnicy czterobiegunowej. Zwojnice są tu węższe od średnicy twornika, ponieważ przeciwne bieguny, pod którymi muszą znaleźć się druty poszczególnych zwojnic, są umieszczone na odległości czwartej części obwodu. Na kolektorze takiego twornika dla odprowadzenia prądu ustawiamy dwie pary szczotek. Dwie z nich są dodatnie, a drugie dwie

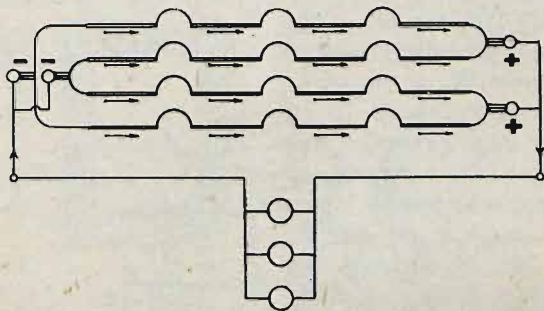


Rys. 102.

ujemne. Dwie dodatnie łączymy razem i w ten sposób otrzymujemy końcówkę dodatnią prądnicy, a dwie ujemne łączymy również razem i w ten sposób otrzymujemy końcówkę ujemną.

Siły elektromotoryczne w drutach pod biegunami północnymi są skierowane włąb rysunku, a pod biegunami południowymi odwrotnie. Śledząc bieg prądu w uzwojeniu twor-

nika, łatwo spostrzeżemy, że tu prąd dzieli się w tworniku na cztery części, ponieważ są cztery równoległe gałęzie. Uzwojenie twornika, rys. 102 rozwinięte w ten sposób, aby wyraźnie było widać cztery równoległe gałęzie, pokazane jest na rys. 103. Gdy do lamp płynie prąd, wynoszący 100 amperów, to na poszczególne druty twornika przypada tylko 25 amperów. Siła elektromotoryczna takiego twornika równa się sumie sił elektromotorycznych w czterech drutach, połączonych w szeregu. Zastępując zwojnice jednozwojowe wielozwojowewi i zwiększając liczbę działek kolektora, otrzymujemy siłę elektromotoryczną odpowiedniej wielkości i dostateczną stałość prądu.



Rys. 103.

W twornikach prądnic wielobiegunowych można łączyć zwojnice w ten sposób, aby otrzymać tylko dwie gałęzie równoległe, wtedy np. przy dwa razy mniejszym prądzie otrzymamy dwa razy wyższe napięcie. Uzwojenie twornika, w którym mamy tylko dwa obwody równoległe, nazywamy **uzwojeniem szeregowym**, a uzwojenie, w którym liczba obwodów równoległych równa się liczbie biegunów, — **uzwojeniem równoległym**. Jeżeli liczba równoległych gałęzi jest większa od dwóch, a mniejsza od liczby biegunów, to takie uzwojenie nazywamy **szeregowo równoległym**.

Dla obliczenia siły elektromotorycznej twornika musimy wiedzieć, jaki strumień magnetyczny Φ wchodzi do twornika

z każdego bieguna, ile drutów z jest na tworniku, ile par biegunów p ma magnesia, ile par równoległych gałęzi a ma uzwojenie i ile obrotów na minutę n ma szybkość biegu twornika. Znając to wszystko, obliczamy siłę elektromotoryczną twornika w woltach według wzoru:

$$E = \Phi \cdot z \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8}$$

z puz. num. de ytych gody u

Znając budowę prądnicy, możemy obliczyć według powyższego wzoru jej siłę elektromotoryczną, o ile zdołamy wyznaczyć strumień magnetyczny Φ . Strumień magnetyczny znajdujemy w przybliżeniu, z wymiarów powierzchni bieguna, zwróconej do twornika.

Współczesne prądnice zazwyczaj mają na biegunach gęstość linii magnetycznych wahającą się w niewielkich granicach od 5000 w małych maszynach do 9000 w maszynach wielkich. Biorąc więc gęstość linii magnetycznych według tej wskazówki i mnożąc przez powierzchnię bieguna zwróconą do twornika otrzymamy cały strumień magnetyczny.

Gdy dla przykładu powierzchnia bieguna, zwrócona do twornika, wynosi około 300 cm², dla gęstości linii przyjmujemy, wartość średnią 7300 to:

$$\Phi = 7300 \cdot 300 = 2190000.$$

Przykład. $\Phi = 2190000$ linii, $z = 220$, $p = 3$, $a = 1$, $n = 960$.

Według powyższego wzoru:

$$E = 2190000 \cdot 220 \cdot 3 \cdot \frac{960}{60} \cdot 10^{-8} = 230 \text{ woltów.}$$

Wielkość prądu, który można brać bezpiecznie z prądnicy, nie obawiając się rozgrzać ją nadmiernie, oblicza się w zależności od gęstości prądu j w drutach twornika, od przekroju drutu s w tworniku i od liczby par równoległych gałęzi a . Według tych wszystkich danych, cały prąd wynosi:

$$I = j \cdot s \cdot 2a.$$

Prąd

Przykład. Dla rozważanej poprzednio prądnicy przekrój drutu na tworniku $s = 38,5 \text{ mm}^2$, liczba par równoległych gałęzi $a = 1$. Gęstość prądu w małych prądnicach wynosi 5 amperów na mm^2 , a w dużych 4 ampery na mm^2 .

przyjmijemy $j = 4,5 \frac{A}{\text{mm}^2}$. Wtedy, według wyżej podanego wzoru:

$$I = 4,5 \cdot 38,5 \cdot 2 = 346 \text{ A.}$$

Mając siłę elektromotoryczną i prąd możemy obliczyć przybliżoną moc prądnicy. $P = 230 \times 346 = 79,5 \text{ kW}$.

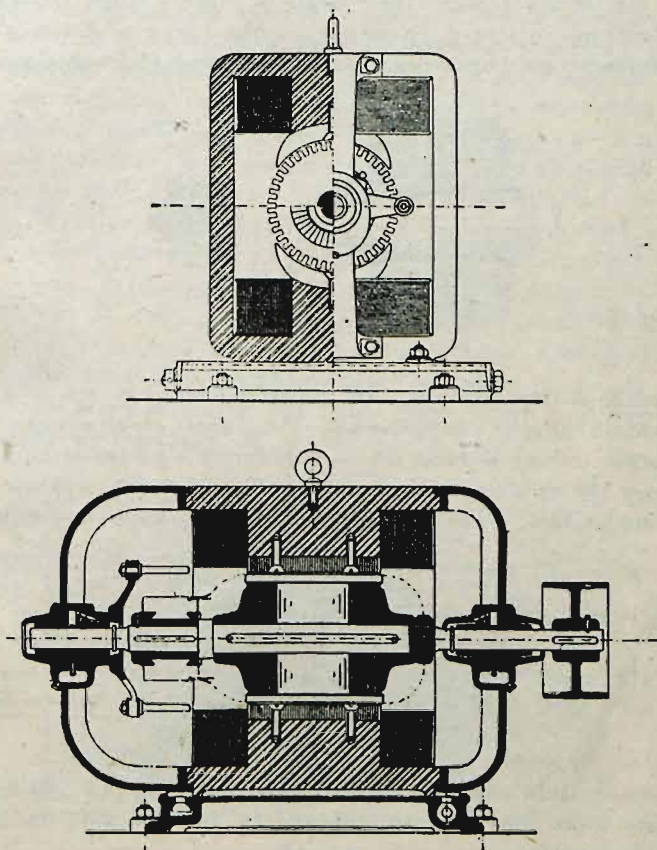
Na rys. 104 mamy przekroje prądnicy dwubiegunowej. Widzimy tu, jak zbudowany jest twornik. Na wał stalowy nasadzona jest tarcza stalowa, albo żelazna, opierająca się na występie wału, dalej paczka krążków z cienkiej blachy żelaznej, grubości około 0,5 mm., pokrytej lakierem lub oklejonej bibułką, następnie znowu tarcza okrągła, taka jak poprzednia i wreszcie naśrubek ściskający mocno paczkę blach między tarczami. Dla uniknięcia obracania się tarcz i blach na wale, wzdłuż wału mamy klin.

Nieraz twornik buduje się jeszcze inaczej. Paczkę krążków blaszanych umieszczamy nie wprost na wale, lecz na piąście z tarczami, a piastę wsadzamy na wał z klinem.

Taki rzeń twornikowy widzimy na rys. 105 w dwóch przekrojach. Mamy tu także uwidocznione szczeliny dla przewietrzania rdzenia. Krążki blaszane są ułożone w trzy paczki, pomiędzy którymi znajdują się wkładki odpowiedniego kształtu.

Podział rdzenia na szereg krążków z blachy żelaznej, izolowanych od siebie jest wywołany koniecznością osłabienia prądów wirowych. Jeżeliby rdzeń twornika stanowił pełny walec żelazny, obracający się pomiędzy biegunami elektromagnesów rys. 106 to pod wpływem sił elektromotorycznych indukcji powstałyby w nim bardzo silne prądy wirowe. Kierunek tych prądów wirowych mamy wskazany na rys. 106, gdzie pokazano pełny walec w przecięciu płaszczyzną poziomą.

Prądy wirowe mocno ogrzewają żelazo, a ciepło to otrzymuje się kosztem pracy silnika, obracającego prądnice. Z tego ciepła niema pożytku, więc pracę silnika tracimy na próżno,



Rys. 104.

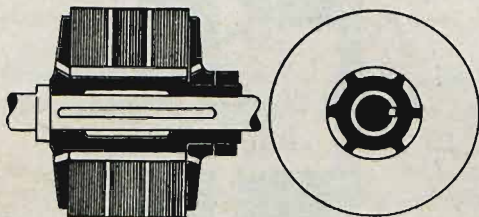
poza to przy znacznym zagrzaniu się twornika może być łatwo uszkodzona izolacja drutów.

Przez podział walca na blaszki prostopadłe do kierunku sił elektromotorycznych zmniejszamy w znacznej mierze na-

*Straty:
1) prądy wirowe
2) histereza*

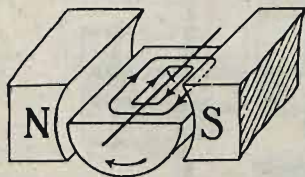
ciążenie prądów wirowych i ciepło przez nie powstające. Im cieńsze są blaszki w tworniku, tem mniejsze wypadają straty na prądy wirowe.

Są jednak jeszcze inne straty w rdzeniu twornika, a mianowicie na histerezę. Rdzeń twornika, przy obrocie ulega ciąglemu przemagnesowywaniu. Pod wpływem elektromagnesów

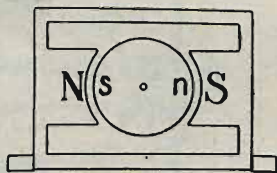


Rys. 105.

na rdzeniu twornika rys. 107 powstają bieguny s i n , które wypadają zawsze naprzeciwko biegunów elektromagnesów. Twornik jednak obraca się, więc bieguny n i s twornika przesuwają się na coraz nowe miejsce. Gdy twornik wykona pół obrotu, to tam, gdzie był na tworniku poprzednio biegun s ,



Rys. 106.

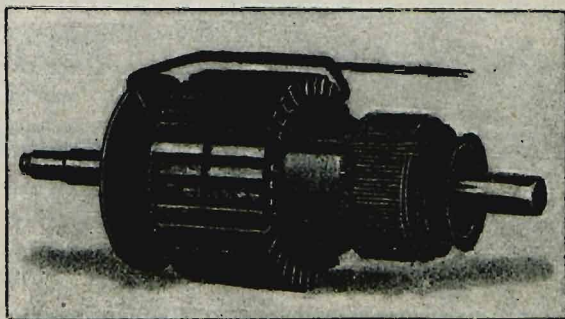


Rys. 107.

powstanie teraz biegun n i odwrotnie, gdzie był biegun n , tam będzie teraz biegun s , to znaczy, że twornik ulegnie przemagnesowaniu.

Własności magnetyczne żelaza nasunęły przypuszczenie, że jednak poszczególne cząsteczki żelaza zachowują swój magnetyzm, jeden koniec cząsteczki zawsze jest biegunem północnym, a drugi południowym. Przy przemagnesowywaniu te cząsteczki obracają się wewnątrz żelaza.

Gdy cały twornik obraca się pomiędzy biegunami, to cząstki te nie tylko poruszają się z twornikiem, ale jednocześnie obracają się w odwrotną stronę, tak, że koniec południowy zwraca się zawsze w lewo, a północny w prawo. Wiemy jednak że żelazo posiada własność histerezy czyli szczątkowego magnetyzmu, to znaczy, że są siły, które starają się zachować w żelazie układ cząsteczek, wywołany poprzednimi siłami magnesującymi. Przy obracaniu twornika musimy pokonać te siły zachowawcze i na to potrzebna jest praca. Skutkiem tej pracy powstaje ciepło w żelazie twornika. W żelazie czystym i miękkim siły, utrzymujące magnetyzm szczątkowy, są najsłabsze, a więc potrzeba najmniej pracy dla przemagnesowania twornika złożonego z blach miękkich. W celu usuwania ciepła, powstającego skutkiem histerezy i prądów wirowych, w twornikach większych zostawiamy pomiędzy paczkami blach w kilku miejscach kanały do przewietrzania, rys. 105, przez które przy obrocie twornika wydmuchuje się powietrze..

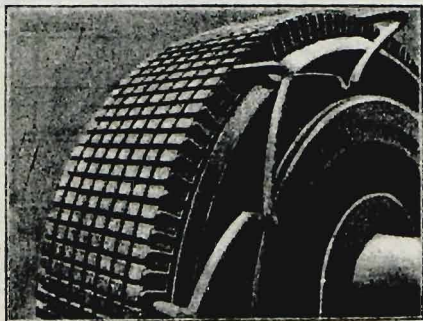


Rys. 108.

Na powierzchni twornika znajdują się żłobki w których umieszczamy uzwojenie. W celu utworzenia żłobków poszczególne blachy mają zęby odpowiedniego kształtu patrz rys. 104 i 108.

Uzwojenie składa się najczęściej z szeregu niezależnych zwojnic, które nawijamy oddzielnie na odpowiednich dREW-

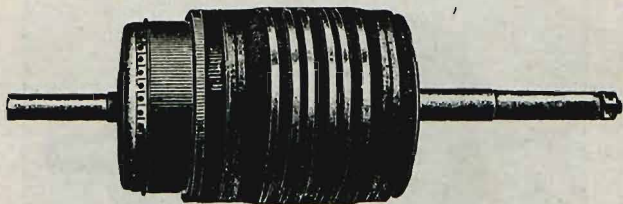
nianych lub żelaznych formach. Na rys. 108 pokazana jest jedna taka zwojnica, zwinięta z drutu, izolowanego przędzą bawełnianą. Pęczki drutów są tu owinięte bawełnianą taśmą.



Rys. 109.

Na rys. 109 widzimy, jak zwojnice układają się w żłobki wyłożone izolacją; w każdym żłobku mieszczą się dwa pęczki drutów, jeden nad drugim. Gdy wszystkie zwojnice są już ułożone, nawijamy w kilku miejscach twornika tak zwane bandaże, czyli obręcze z drutu miedzianego cynowanego, mosiężnego, lub też stalowego rys. 110. Po nawinięciu, obręcze lutują się wzdłuż cyną.

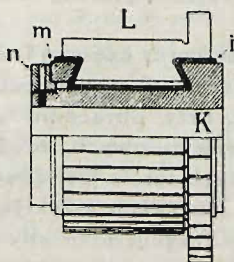
Obręcze zabezpieczają zwojnice od wypadania ze żłobków, przy szybkim ruchu wirowym.



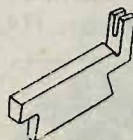
Rys. 110.

Końce zwojnic przylutowujemy do działek kolektora. Budowę kolektora widzimy na rys. 111. Poszczególne działki kolektora *L* stanowią płytki z twardej miedzi klinowatego kształtu, rys. 112. Płytki te za pomocą pierścieni *m* i *n* są umocowane na żelaznej piaście *K*. Od piasty i pomiędzy sobą są one izolowane czystą miką *i* albo mikanitem, utworzonym z blaszek miki, sklejonych odpowiednią smołą.

Płytki miedziane i mikiowe ściskamy mocno na piaście za pomocą pierścienia *n* z gwintem. Złożony w ten sposób cały kolektor nasadzamy na wał i umocowujemy go za po-



Rys. 111.

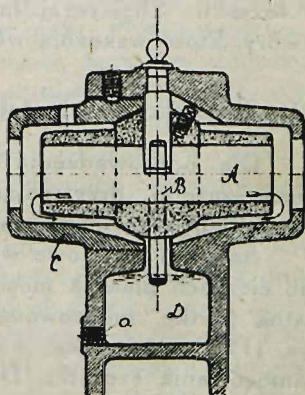


Rys. 112.

mocą klina. Występy działek z prawej strony służą do przy-lutowywania przewodników twornika.

49. Budowa łożysk.

Wał/twornika obraca się w łożyskach rys. 113 mających mosiężne panewki *A*. W ma-łych maszynach panewki te stanowią całkowitą rurkę, a w maszynach dużych—składa-ją się z dwóch połówek. Przy znacznem ciśnieniu na panewki, pokrywamy je wewnątrz grubą warstwą białego metalu, stano-wiącego stop kilku metali, do-branych w ten sposób, aby tarcie wału o panewki było jaknajmniejsze. Smarowanie w łożyskach zazwyczaj jest pier-ścieniowe. Wiszący luźno na wale pierścień *B*, przy szybkim

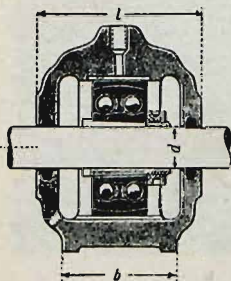


Rys. 113.

obrocie wału, zagarnia oliwę z dolnego zbiornika i w pro-wadza ją na wał z góry; tu oliwa rozlewa się po powierzchni

wału i wypływa w końcach panewek. Przez odpowiednie kanały *C* oliwa wraca z powrotem do dolnego zbiornika *D* jak wskazują na rysunku strzałki. Zanieczyszczoną oliwę, możemy wypuszczać przez otwór *a*.

W ostatnich czasach stosowane są coraz częściej łożyska kulkowe, rys. 114. Tu wał opiera się na twardych kulkach



Rys. 114.

stalowych, które, przy obracaniu wału, toczą się po pierścieniowych rowkach. W takich łożyskach tarcie jest znacznie mniejsze, niż w łożyskach zwykłych.

W maszynach dużych, gdzie siły działające na panewki są nieraz bardzo znaczne, zamiast kulkowych, stosują się łożyska walcowe, gdzie zamiast kulek mamy wokoło czopa w panewce kilkanaście okrągłych walców stalowych*).

Przy obsłudze łożysk należy baczyć przede wszystkim na czystość wału i panewek, na prawidłowy ruch pierścienia samosmaru i na dostateczną ilość oliwy w łożysku. Zazwyczaj łożyska zaopatrują się w rurki lub otwory, które wskazują właściwy poziom oliwy.

50. Szczotki — ich ustrój i położenie na kolektorze.

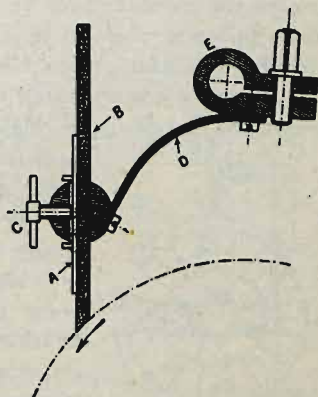
Dla odprowadzenia prądu elektrycznego z kolektora służą szczotki, przylegające ściśle do jego powierzchni. Szczotki bywają metalowe i węglowe.

Szczotki metalowe wyrabiane są z tkaniny miedzianej lub cienkich blaszek mosiężnych, z których zwija się prostokątną płytkę, umocowaną w oprawce zapomocą śruby. Na rys. 115 *B* — szczotka, *A* — blaszka mosiężna, *C* — śruba do zamocowania szczotki. *D* — sprężyna mosiężna, *E* — zacisk sprężysty. Oprawka ze szczotką osadza się i zamocowuje za pomocą zacisku *E* na trzpieniu uchwytu szczotkowego. Na

*) Takie same łożyska oczywiście mają zastosowanie przy innych maszynach opisanych dalej.

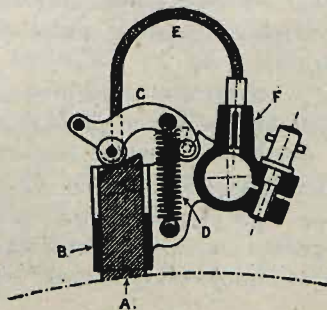
rys. 105 widzimy uchwyt umocowany na łożysku w ten sposób, że można go obracać razem ze szczotkami. Szczotki metalowe ustawiamy zawsze pochyło względem powierzchni kolektora, w ten sposób, aby ruch kolektora odbywał się według strzałki, wskazanej na rys. 115.

Szczotki metalowe stosujemy tylko w prądnicach na niskie napięcie i silny prąd, ponieważ przy przejściu prądu z kolektora do szczotek miedzianych mamy małą stratę napięcia. Wszystkie inne prądnice zaopatrujemy w szczotki węglowe. Pod szczotkami węglowymi kolektor ściera się bardzo powoli i równo, a pozatem przy węglowych szczotkach łatwiej jest uniknąć iskier pod szczotkami.



Rys. 115.

Szczotki węglowe wyrabiane są z proszku węglowego i grafitowego, mocno ściśniętego pod prasą. Płytkę węglową A, stanowiącą szczotkę, umieszczamy w oprawce B, rys. 116, w ten sposób, aby ona mogła się swobodnie przesuwać w kierunku z dołu do góry. Sprężyna D skobelkiem C przyciska płytkę do kolektora. Prąd odpływa z płytki węglowej przez linkę E, zwiniętą z cienkich drucików miedzianych i przymocowaną z jednej strony do płytki węglowej, a z drugiej—do sprężystego zacisku F. Oprawkę ze szczotką osadzamy na

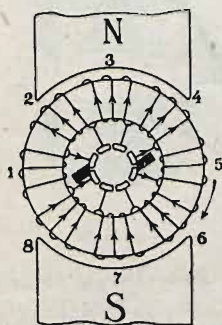


Rys. 116.

trzępieniu uchwytu szczotkowego. Względem powierzchni kolektora ustawiamy szczotki węglowe prostopadle lub też trochę pochyło.

Położenie szczotek na kolektorze określa rodzaj uzwojenia twornika i układ biegunów elektromagnesów. Odległość pomiędzy odpowiednimi krawędziami szczotek różnych biegunów na dwubiegunowych prądnicach powinna równać się ściśle połowie obwodu kolektora, na czterobiegunowych prądnicach — ćwierci obwodu kolektora i t. d.

Położenie wszystkich szczotek razem wziętych względem biegunów łatwo przewidzieć, znając rodzaj uzwojenia i ba-



Rys. 117.

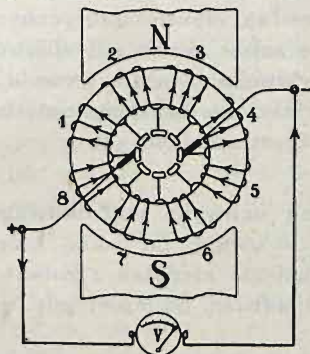
cząc na to, aby szczotki dodatnie stanęły tam, gdzie prądy w zwojach twornika schodzą się, a ujemne — tam gdzie się te prądy rozchodzą. Można również poślikować się tą okolicznością, że przy właściwym położeniu szczotek wywołują one krótkie zwarcie zwojnic twornika, znajdujących się na linii obojętnej pomiędzy biegunami, rys. 117. Na tym rysunku wskazane jest położenie twornika, w którym 1 i 5 zwojnice znajdują się na linii obojętnej i są krótko zwarte przez szczotki.

Szczotki są zawsze grubsze od warstwy miki pomiędzy działkami kolektora, i we wskazanem położeniu dotykają jednocześnie dwóch działek kolektora, połączonych z końcami odpowiedniej zwojnicy.

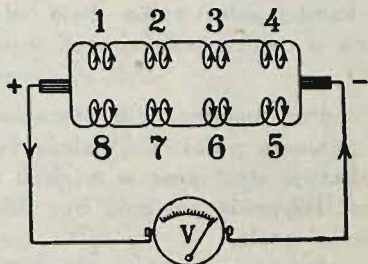
Podobne zwarcie zachodzi w tworniku bębnowym, np. w uzwojeniu rys. 98, gdy działki kolektora przekręca się z twornikiem o ósmą część obrotu w prawo. Szczotka dodatnia dotknie się wtedy jednocześnie do dwóch działek kolektora i zwojnica, składająca się z drutów 8-go i 3-go, będzie zwarta. Jednocześnie szczotka ujemna, dotykając dwóch działek, wywoła zwarcie zwojnicy, składającej się z drutów 7-go i 4-go.

Gdy mamy prądnicę, której uzwojenie nie jest nam dokładnie znane, to najłatwiej znaleźć właściwe położenie szczotek, łącząc ze szczotkami woltomierz i ustawiając szczotki w takim położeniu, aby woltomierz wskazywał najwyższe napięcie.

Przy prawidłowem położeniu szczotek, siły elektromotoryczne wszystkich czterech zwojnic, stanowiących jedną gałąź, są skierowane w tę samą stronę i wtedy mamy napięcie najwyższe, rys. 118 i 119.

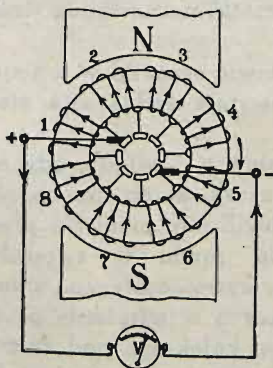


Rys. 118.

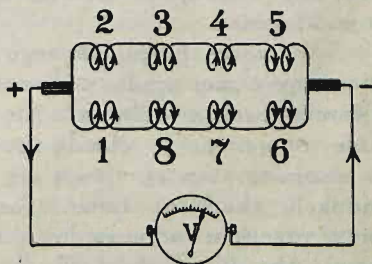


Rys. 119.

Przy niewłaściwem położeniu szczotek, napięcie będzie mniejsze od najwyższego, co łatwo spostrzec z rys. 120, gdzie



Rys. 120.



Rys. 121.

szczotki są ustawione niewłaściwie. Rozważając bieg prądu, widzimy tu, że w tworniku prąd dzieli się na dwa obwody równoległe, wyraźnie przedstawione na rys. 121.

Zastanawiając się nad kierunkami sił elektromotorycznych na rys. 121, widzimy, że siła elektromotoryczna 5-ej zwojnicy jest skierowana przeciw siłom elektromotorycznym zwojnic 2, 3 i 4-ej. a w drugiej gałęzi siła elektromotoryczna zwojnicy 1 jest skierowana przeciw siłom elektromotorycznym zwojnic 8, 7 i 6-ej. Przeciwdziałające sobie równe siły elektromotoryczne znoszą się. W tych warunkach prąd wywołują w każdej gałęzi tylko dwie siły elektromotoryczne, powstające w dwóch połączonych w szereg zwojnicach.

Przy ostatecznem zamocowaniu uchwytu szczotkowego w pewnem położeniu, należy zwrócić uwagę na iskry, które pokazują się nieraz w miejscu zetknięcia szczotek z kolektorem. Iskrzenie powinno być jak najslabsze, najlepiej gdy go niema wcale.

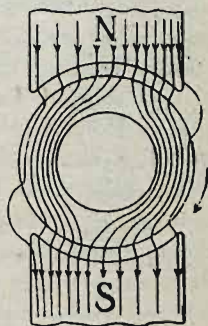
Jedną z przyczyn iskrzenia szczotek jest silny prąd, powstający w chwili zwarcia przez szczotkę. Nawet mała siła elektromotoryczna może tu wywołać prąd znaczny, bo oporność obwodu zwarcia jest mała. Przerzwanie tego silnego prądu w chwili zsunięcia się szczotki na następną działkę kolektora wywołuje iskrę.

Dla uniknięcia iskier należy ustawić szczotki w ten sposób, aby w zwojnicy zwartej nie powstała żadna siła elektromotoryczna.

W czasie biegu jałowego prądnicy, t. j. wtedy, gdy nie bierzemy z niej prądu, ustawiamy szczotki w ten sposób, aby zwarcie zwojnic odbywało się w chwili ich przejścia przez linję obojętną. Z chwilą powstania prądu w tworniku, w zwojnicy zwartej, zjawia się siła elektromotoryczna samoindukcji, skutkiem zmian, zachodzących w natężeniu prądu przy przejściu odpowiednich działek kolektora pod szczotkami. Aby znieść działanie siły elektromotorycznej samoindukcji, wypada przesunąć nieco szczotki w kierunku obrotu twornika. Wtedy, pod wpływem strumienia magnetycznego elektromagnesów, powstaje odpowiednia siła elektromotoryczna indukcji, która znosi działanie siły elektromotorycz-

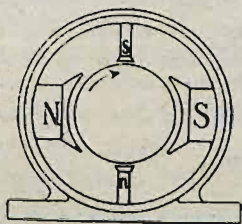
nej samoindukcji. Przesuwać szczotki wypadnie tem więcej, im silniejszy prąd płynie przez twornik, ponieważ od natężenia prądu twornika zależy wielkość siły elektromotorycznej samoindukcji.

Prąd w tworniku ma wpływ na wielkość i kształt strumienia magnetycznego. w którym obracają się zwojnice twornika. Prąd twornika odkształca strumień magnetyczny w ten sposób, jak wskazano na rys. 122. Strumień magnetyczny przekręca się nieco w kierunku ruchu twornika i z tego względu szczotki wypadają przesunąć jeszcze dalej naprzód.



Rys. 122.

Dla uniknięcia konieczności przesuwania szczotek przy zmianie natężenia prądu w tworniku można zbudować taką prądnicę, w której amperozwoje elektromagnesów będą tak znacznie przewyższać amperozwoje twornika, że wpływ prądu twornika na strumień magnetyczny będzie bardzo mały.



Rys. 123.

Skuteczniejsze jest stosowanie tak zwanych biegunów dodatkowych, czyli zwrotnych, rys. 123. Pomiedzy biegunami głównymi przy-mocowujemy znacznie węższe bieguny dodatkowe, zaopatrzone w odpowiednie zwojnice magnesujące, przez które płynie zazwyczaj cały prąd twornika. Kierunek zwojów na biegunach stosujemy taki, aby linje magnetyczne tych biegunów były skierowane wbrew linjom magnetycznym, wywołanym przez prąd w uzwojeniu twornika. Wtedy bieguny

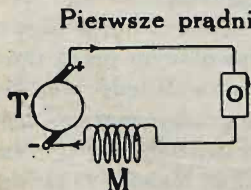
dodatkowe znoszą działanie siły elektromotorycznej samoindukcji w zwojach krótkozwartych i przeciwdziałają magnesującemu wpływowi amperozwojów twornika. Należy zapamiętać, że właściwe działanie biegunów dodatkowych osiągamy

wtedy, gdy bieguny dodatkowe mają ten sam znak, co najbliższe bieguny główne, w kierunku ruchu twornika.

Bieguny dodatkowe skutecznie znoszą wpływ siły elektromotorycznej samoindukcji przy różnych obciążeniach prądnicy, gdyż cały prąd przepływa przez uzwojenie tych biegunów, a ze wzrostem prądu wzmacnia się ich działanie. W ten sposób bieguny dodatkowe umożliwiają ustawienie szczotek w tym miejscu kolektora, gdzie otrzymujemy najwyższe napięcie. Położenie takie możemy zachować przy wszystkich obciążeniach prądnicy, od biegu jałowego do obciążenia pełnego. Przez stałe położenie szczotek unikamy osłabienia pola magnetycznego elektromagnesów przez prąd twornika, gdyż, badając magnesujące działanie prądów twornika, łatwo stwierdzić, że w miarę przesuwania szczotek w kierunku ruchu kolektora amperozwoje twornika w coraz wyższym stopniu przeciwdziałają amperozwojom elektromagnesów.

Bieguny dodatkowe nie mogą jednak znieść zupełnie rozmagnesowującego działania prądu twornika i z tego względu w bardzo wielkich prądnicach szybkobieżnych, poruszanych zazwyczaj przez turbiny parowe i w prądnicach o zmiennym napięciu, oprócz uzwojenie na biegunach dodatkowych, umieszczamy jeszcze na elektromagnesach tak zwane uzwojenie kompensacyjne. Uzwojenie to jest włączone w obwód prądu głównego. Linje magnetyczne tego uzwojenia biegną wbrew linjom magnetycznym twornika i znoszą jego rozmagnesowujące działanie.

51. Samowzbudzenie.



Rys. 124.

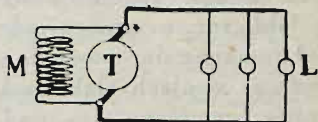
Pierwsze prądnice budowano z magnesami stałymi bez uzwojenia, następnie zaczęto zamiast magnesów stałych stosować elektromagnesy, których uzwojenia były zasilane prądem z innych prądnic o stałych magnesach. Dopiero Werner Siemens wynalazł zasadę samowzbudzania się prą-

dnic, która polega na magnesowaniu elektromagnesów prądem, wpływającym z twornika tej samej prądnicy.

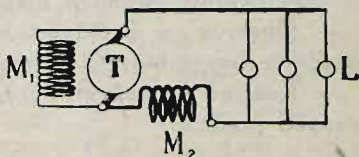
Najprostsze połączenie twornika z uzwojeniem elektromagnesów polega na zastosowaniu układu szeregowego, rys. 124, w którym twornik T , uzwojenie elektromagnesów M i lampy L , stanowią jeden obwód nierozgałęziony. Takie prądnice nazywamy **prądnicami szeregowymi** albo **głównikowymi**.

Można jednak utworzyć obwód jeszcze inaczej. Prąd z twornika rozdzielamy na dwie części, z których jedną wprowadzamy do uzwojenia elektromagnesów, a drugą do lamp rys. 125. Tego rodzaju prądnice nazywamy **prądnicami bocznikowymi**.

Pozatem w pewnych wypadkach mają zastosowanie prądnice z podwójnym uzwojeniem elektromagnesów, rys. 126. W takich prądnicach prąd, wypływający z twornika, dzieli się również na dwa prądy, z których jeden płynie do uzwojenia bocznikowego elektromagnesów M_1 a drugi do



Rys. 125.



Rys. 126.

lamp L ; prąd, płynący do lamp, przepływa tu jednak jeszcze przez uzwojenie szeregowe elektromagnesów M_2 . Tego rodzaju prądnice nazywamy **prądnicami bocznikowo szeregowymi**.

We wszystkich tych prądnicach powstanie prądu w chwili puszczenia w ruch odbywa się pod wpływem magnetyzmu szczątkowego w rdzeniach elektromagnesów. Magnetyzm ten pozostaje jako resztką strumienia magnetycznego, wywołanego prądem, wprowadzonym z obcego źródła przy próbie maszyny w fabryce, gdzie maszynę budowano.

Gdy wprowadzimy w ruch obrotowy twornik prądnicy, posiadającej nawet niewielki strumień magnetyczny szczątkowy to w drutach twornika, przecinających linie magnetyczne, powstaje niewielka siła elektromotoryczna. Ta siła elektro-

motoryczna wywołuje słaby prąd w zwojach elektromagnesów. Prąd ten wzmacni strumień magnetyczny, przez co powiększy się siła elektromotoryczna w tworniku, a więc i prąd w elektromagnesach. Skutkiem tego wzrośnie znowu strumień magnetyczny i t. d. dopóki, stosownie do własności obwodu magnetycznego i elektrycznego, strumień magnetyczny i prąd elektryczny nie osiągną wartości największej, odpowiadającej istniejącym warunkom.

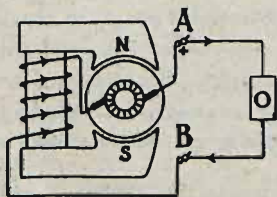
Aby prądnica dała prąd czyli, jak mówimy zwykle, **wzbudziła się**, potrzebne są trzy następujące warunki: **szybkość obrotu** twornika powinna być odpowiednia, wskazana na tabliczce, przymocowanej do prądnicy; **oporność obwodu elektromagnesów** powinna być **jaknajmniejsza**, a **kierunek prądu** w zwojach elektromagnesów — taki, aby linje magnetyczne, wywołane tym prądem, były zgodne z linjami magnetycznymi **szczałkowego strumienia magnetycznego** i przez to powiększały strumień magnetyczny prądnicy.

Obecnie w praktyce są stosowane niemal wyłącznie prądnice bocznikowe i szeregowo bocznikowe.

Kolejno rozważymy szczegółowo działanie powyżej wskazanych prądnic.

52. Prądnica szeregowo.

Na rys. 127 mamy układ połączeń prądnicy szeregowej, zasilającej prądem odbiornik *O*. Literami *A* i *B* oznaczone są tak zwane zaciski czyli końcówki prądnicy, t. j. śruby, do których przymocowują się przewody, odprowadzające prąd.



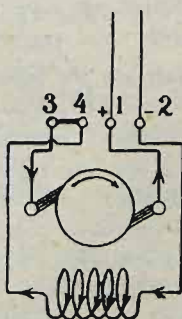
Rys. 127.

Prądnica szeregowo wzbudza się tylko przy zamkniętym obwodzie zewnętrznym, ponieważ tylko wtedy może płynąć prąd przez uzwojenia elektromagnesów. Przy zmniejszaniu oporu obwodu elektrycznego, rys. 127, prąd wzrasta.

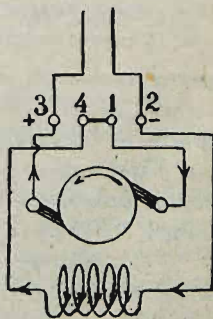
Skutkiem zwiększenia się prądu w uzwojeniu elektromagnesów, wzrasta strumień magnetyczny i wywołuje w tworniku znaczniejszą siłę elektromotoryczną indukcji. Napięcie na zaciskach *A* i *B* zwiększa się. Dzieje się to jednak tylko do pewnej granicy, a potem napięcie spada z powodu znacznej straty napięcia w oporze wewnętrznym prądnicy, który jest tu równy sumie oporów twornika i elektromagnesów. Wogóle napięcie tej prądnicy jest nadzwyczaj zmienne: przy małym prądzie i napięcie jest małe przy średnim — duże, a przy bardzo wielkim prądzie znowu jest małe. Prądnice tego rodzaju mają czasem zastosowanie w obwodach o stałej sile prądu.

Przy puszczeniu w ruch należy zwracać baczną uwagę, aby prądnice obracały się we właściwym kierunku, ponieważ od tego zależy kierunek siły elektromotorycznej i prądu, pozatem prądnica wzbudza się tylko przy obracaniu jej w pewnym określonym kierunku, ponieważ tylko wtedy prąd wzmocni istniejący magnetyzm szczątkowy. Zazwyczaj na prądnicy w fabryce malują strzałkę, wskazującą właściwy kierunek obrotu twornika, przy którym prądnica daje napięcie. Jeżeli jednak dla jakichkolwiek względów kierunek obrotu prądnicy ma być odwrócony, to należy zmienić połączenie pomiędzy twornikiem, a zwojami elektromagnesów, w ten sposób, aby prąd w zwojach elektromagnesów płynął w tą samą stronę, co przy obrocie w stronę poprzednią. Na rys. 128 widzimy np. połączenie przy obrocie twornika w kierunku ruchu wskazówek zegarka, na rys. 129 połączenie — przy obrocie w stronę przeciwną.

Porównywając te dwa rysunki spostrzegamy, że w pierwszym wypadku są połączone pomiędzy sobą zaciski 3 i 4.



Rys. 128.



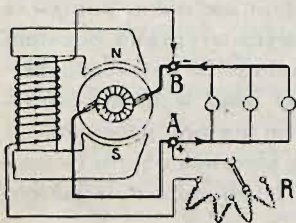
Rys. 129.

a 1 i 2 stanowią końcówki prądnicy, natomiast w drugim przypadku są połączone razem zaciski 4 i 1, a końcówki prądnicy stanowią zaciski 3 i 2. Prąd w tworniku zmienia kierunek, w elektromagnesach zaś płynie zawsze w tę samą stronę.

53. Prądnica bocznikowa.

Na rys. 130 widzimy układ połączeń w obwodzie prądnicy bocznikowej. W odgałęzieniu, prowadzącym prąd do elektromagnesów, wprowadzony jest opornik R , za pomocą którego można regulować czyli nastawiać natężenie prądu, płynącego do uzwojeń elektromagnesów.

Przy puszczeniu w ruch takiej prądnicy najlepiej obwód lamp przerwać, a w oporniku R rączkę przesunąć na opór najmniejszy, wtedy przy odpowiedniej szybkości i kierunku obrotu twornika prądnica wzbudza się. Następnie doprowadzamy napięcie na zaciskach A i B do odpowiedniej wielkości, ustawiając we właściwym miejscu rączkę opornika R . Wreszcie zamykamy obwód lamp.



Rys. 130.

Prąd wypływający z twornika przez zacisk A , dzieli się na dwa prądy: jeden, płynący do lamp i drugi — do uzwojeń elektromagnesów. Przy zacisku B prądy te łączą się razem i wracają do twornika. Według prawa Kirchhoff'a, prąd przepływający przez twornik, równy jest sumie powyższych dwóch prądów: jednego płynącego przez lampy i drugiego — przez uzwojenie elektromagnesów.

Jak widzimy na rysunku, lampy są połączone równolegle, więc im więcej przybędzie lamp, tem silniejszy popłynie prąd z prądnicy. Do lamp płynie większa część prądu twornika. Gdy wszystkie lampy, które może zasilać prądnica, są włączone, t. j. przy pełnem obciążeniu prądnicy, tylko kilka setnych części prądu, wypływającego z twornika, wpływa do elektromagnesów. Naprzykład do lamp płynie 200 A , to do uzwojeń elektromagnesów idzie tylko 6 A .

Przy włączaniu nowych lamp, zasilanych przez prądnicę, t. j. przy zwiększaniu obciążenia prądnicy napięcie na zaciskach *A* i *B* zmniejsza się, prądnica daje coraz mniej woltów; spadek napięcia jednak nie będzie wielki, ponieważ prąd magnesujący nie jest tu bezpośrednio zależny od prądu płynącego do lamp. Zmniejszanie się ilości woltów na zaciskach prądnicy wywołane jest stratą napięcia na pokonanie oporu twornika i wpływem rozmagnesowującym amperozwojów twornika. Ta strata napięcia i wpływ rozmagnesowujący są wprost proporcjonalne do natężenia prądu w tworniku. Przez to przy pełnym prądzie napięcie jest mniejsze od tego, które mamy przy jałowym biegu prądnicy. Ten spadek napięcia wynosi od 6 do 20%. A więc np., jeżeli przy biegu jałowym na zaciskach prądnicy mamy napięcie 120 woltów, to przy pełnym obciążeniu napięcie spadnie do 108 woltów.

Łatwo jednak napięcie, obniżone przez obciążenie, podwyższyć do pierwotnej wielkości, która była przy biegu jałowym. W tym celu wystarczy, przesunięciem ręczki, zmniejszyć oporność opornika *R*, rys. 130. Do obwodu elektromagnesów popłynie silniejszy prąd, wzrośnie strumień magnetyczny, wybiegający z biegunów, a więc i siła elektromotoryczna, wywołana przez indukcję w tworniku.

Pełny prąd, t. j. taki, dla którego zbudowano prądnicę, jest zwykle oznaczony na tabliczce przytwierdzonej do magnesnicy.

Jeżeli do obwodu prądnicy, obciążonej pełnym prądem, przyłączymy jeszcze kilka lamp, to oczywiście prąd się powiększy. Ile lamp można jeszcze przyłączyć do obwodu prądnicy? Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy zastanowić się, jakie są skutki przeciążenia, t. j. pobierania z prądnicy prądu powyżej pełnego.

Przy nadmiernem przeciążeniu przez twornik płynie wielki prąd; druty twornika rozgrzewają się mocno i skutkiem tego może się zepsuć, a nawet zapalić izolacja uzwojenia twornikowego. Pozatem dla wytworzenia bardzo silnego prądu silnik, obracający prądnicę, musi dostarczyć jej wielką ilość pracy,

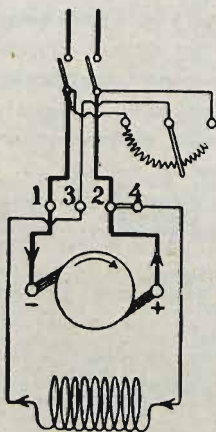
czyli mówiąc prościej, ciężko jest obracać przeciążaną prądnice, skutkiem czego wał, za pomocą krórego obracamy twornik, może się skrócić i urwać.

Stąd wynika, że przyłączając nadmierną ilość lamp, narażamy na zepsucie twornik prądnicy.

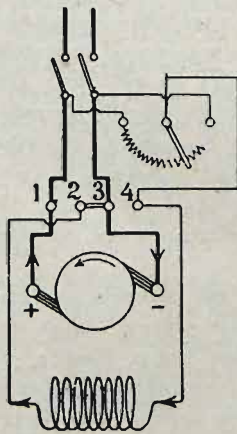
Jeżeli prądnica nie jest jeszcze zupełnie rozgrzana, jak to bywa przy długotrwałej pracy i pełnem obciążeniu, to można na przeciąg $\frac{1}{2}$ godziny przeciążyć prądnice o $\frac{1}{4}$ część pełnego prądu. A więc np. jeżeli na tabliczce napisano 240 amperów, to przez pół godziny można brać z prądnicy:

$$240 + (\frac{1}{4} \times 240) = 300 \text{ A.}$$

Dłużej takiego prądu brać nie należy, bo zwoje twornika nagrzewają się nadmiernie. Odpowiednio do wyżej podanych prądów musi być przystosowana liczba lamp, zasilanych przez prądnice.



Rys. 131.



Rys. 132.

W prądnicach bocznikowych należy również baczyć, aby stosownie do kierunku obrotu twornika, było właściwe połączenie szczotek z elektromagnesami. Na rys. 131 i 132 wskazane są dwa układy połączeń.

Na rys. 131 mamy układ połączeń przy ruchu twornika w kierunku ruchu wskazówek zegarka, na rys. 132 przy ruchu odwrotnym. W obu przypadkach prąd płynie przez elektromagnes w tę samą stronę, tylko wtedy bowiem prądnica wzbudza się skutkiem wzmagania się strumienia magnetycznego szczątkowego. Przewody, idące od szczotek i od uzwojeń elektromagnesów, wyprowadzone są do czterech zacisków śrubowych, oznaczonych cyframi 1, 2, 3, 4.

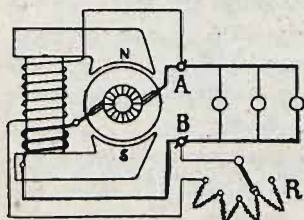
Różnica w połączeniu polega na umieszczeniu łącznika, który na rys. 131 łączy zaciski 2 i 4, a na rys. 132 łączy zaciski 2 i 3; pozatem rączka opornika na rys. 131 jest połączona z zaciskiem 3, a na rys. 132 z zaciskiem 4.

Na uwagę zasługuje jeszcze ostatni kontakt na oporniku, połączony z przeciwnym biegunem prądnicy z przewodem 2 na rys. 131. Jest to kontakt, tak zwany, **przeciwickrowy**. Zabezpiecza on ostatni kontakt opornika od iskry. Gdyby nie było kontaktu przeciwickrowego, to przy przerywaniu prądu w elektromagnesach, skutkiem znacznej samoindukcji w uzwojeniu elektromagnesów, pomiędzy ostatnim kontaktem opornika i rączką powstałaby duża iskra, a właściwie łuk świetlny, utworzony z pary metalu. W celu uniknięcia powstawania tej iskry i znacznej siły elektromotorycznej samoindukcji, która może przebić izolację drutów zwojnicy, łączymy, ostatni kontakt z przeciwnym biegunem prądnicy. Gdy rączka opornika staje na ostatnim prawym kontakcie, to tworzy się krótko zwarty obwód, zawierający zwojnicę elektromagnesów w którym przebiega prąd, wywołany przez samoindukcję. Prąd ten zanika powoli, a więc i strumień magnetyczny ginie stopniowo, przez co siła elektromotoryczna samoindukcji nie była tak wielka, jak przy zwykłym przerywaniu prądu.

54. Prądnica bocznikowo-szeregową.

Na rys. 133 podany jest układ połączeń prądnicy z podwójnym uzwojeniem elektromagnesów. Zasadniczy strumień magnetyczny wywołują zwoje bocznikowe. Uzwojenie szere-

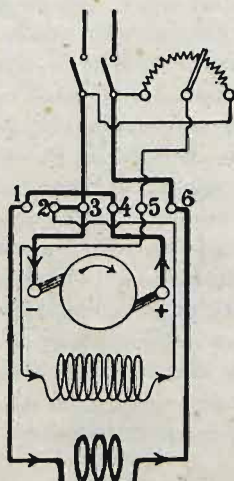
gowe, po którym przebiega prąd twornika, wywołuje strumień magnetyczny w tym samym kierunku, w którym biegną linie magnetyczne strumienia zasadniczego.



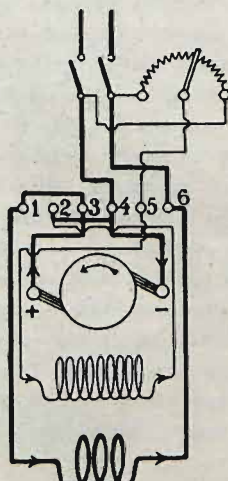
Rys. 133.

Skutkiem tego przy obciążeniu prądnicy uzwojenie szeregowe zwiększa strumień magnetyczny, wywołując większą siłę elektromotoryczną w zwojnicach twornika. Dobierając odpowiednią liczbę zwojów szeregowych, osiągamy stałe napięcie na zaciskach prądnicy, nie przesuwając ręczki opornika bocznikowego R rys. 133. W prąd-

nicy bocznikowo szeregowej, odpowiednio zbudowanej, niezależnie od tego, czy prądnica biegnie luzem, czy też jest trochę



Rys. 134.



Rys. 135.

lub całkowicie obciążona, mamy zawsze te same wolty na zaciskach $A B$. Opornik R służy zwykle tylko dla nastawienia napięcia prądnicy na początku, przy puszczeniu w ruch.

Tego rodzaju prądnice mają zastosowanie tam, gdzie potrzebne jest stałe napięcie na przewodach, a obciążenie mamy często i niespodziewanie zmienne, tak, że nie można zdążyć utrzymać stałego napięcia, przez przesunięcie rączki opornika bocznikowego.

Zależnie od kierunku obrotów twornika, podobnie jak w poprzednich prądnicach, wypada zastosować różne połączenia uzwojeń elektromagnesów z twornikiem, rys. 134 i 135. Mamy tu dwa łączniki, które należy przestawiać, ponieważ trzeba w szeregowych i bocznikowych zwojach elektromagnesów zachować w obu przypadkach jednakowe kierunki prądu.

55. Połączenie kilku prądnic prądu stałego.

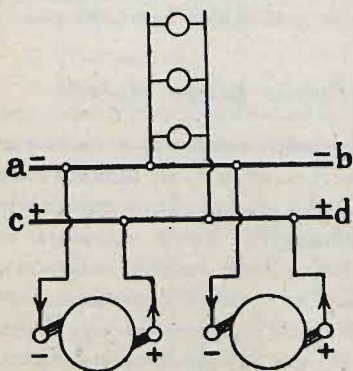
Urządzenie, mające na celu zasilanie prądem elektrycznym znacznej liczby lamp, silników i t. d., nazywamy **elektrownią**. W elektrowni ustawiamy zwykle kilka prądnic, które najczęściej łączymy **równolegle**. Są dwie przyczyny, które skłaniają do ustawienia kilku prądnic. Z jednej strony trzeba zaopatrzyć elektrownię w tak zwaną rezerwę, t. j. ustawić drugą maszynę, która zastąpiłaby pierwszą w razie jej zepsucia się. Z drugiej strony należy uwzględnić, że nie zawsze jest jednakowe zapotrzebowanie prądu. Więc zamiast jednej dużej maszyny, którą wypadłoby pędzić przy małym i wielkim obciążeniu elektrowni, ustawiamy kilka mniejszych i puszczaamy je w ruch w miarę wzrostu obciążenia elektrowni. W ten sposób elektrownia pracuje oszczędniej, ponieważ przy biegu dużej prądnicy, mało obciążonej, wiele pracy zużywa się bez pożytku na pokonanie tarcia w łożyskach i pokrycie strat na ciepło w tworniku skutkiem prądów wirowych i histerezy. Znaczne są także straty pracy w silniku, obracającym prądnicę.

Gdy elektrownia zasila wyłącznie lampy, to prawie zawsze są stosowane prądnice bocznikowe. Połączenie prądnic **równoległe** wskazane jest na rys. 136. Od prądnic poprowadzone są przewody do szyn zbiorowych *ab* i *cd*. Z szyną *ab* łączymy np. końcówki ujemne prądnic, a z szyną *cd* końcówki

dodatknie. Prądy z poszczególnych prądnic łączą się razem w szynach i dalej rozchodzą się do lamp.

Suma prądów, wypływających z poszczególnych prądnic, równa się sumie prądów, płynących do lamp. Napięcia na poszczególnych prądnicach są jednakowe, takie same, jak na przewodach, prowadzących prąd do lamp.

Chcąc przyłączyć do pracującej prądnicy drugą równolegle, puszczamy ją w ruch, nastawiamy za pomocą rączki opornika wolty trochę większe od woltów na prądnicę pracującej, i zamykając wyłącznik,



Rys. 136.

przyłączamy prądnice drugą do pierwszej. Następnie, przez odpowiednie ustawienie rączek oporników bocznikowych, rozdzielamy prąd, płynący do lamp, pomiędzy dwie prądnice. Przytem należy uwzględnić, że ta prądnica dostarcza więcej prądu, w której siła elektromotoryczna jest większa, a więc opór w oporniku bocznikowym mniejszy.

Przy zmianie obciążenia elektrowni utrzymujemy stałe

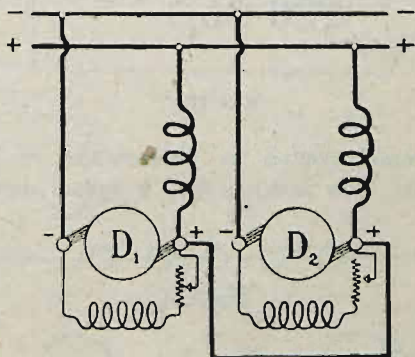
napięcie jednoczesnem przestawianiem rączek oporników bocznikowych wszystkich prądnic, połączonych równolegle.

Przy zatrzymaniu jednej z prądnic, przedewszystkiem, przenosimy całe obciążenie na tę prądnice, która ma pozostać w ruchu i wtedy, gdy amperomierz prądnicy zatrzymywanej wskazuje zero, przerywamy jej połączenie z szynami.

Prądnice z szynami łączymy nie zwykłemi przerywaczami, ale tak zwanemi wyłącznikami samoczynnymi zanikowemi*). Te wyłączniki samoczynne same przerywają obwód, gdy prąd zmniejszy się prawie do zera. Takie wyłączniki

*) Zasada budowy — patrz rozdział o wyłącznikach.

stosujemy w tym celu, aby zabezpieczyć prądnice od nadmiernego prądu odwrotnego, który może powstać niespodziewanie w razie zwolnienia biegu prądnicy skutkiem uszkodzenia silnika, poruszającego prądnice, lub też uszkodzenia obwodu bocznikowego prądnicy. Podobnie, jak prądnice bocznikowe, włączamy w obwód prądnice bocznikowo-szeregowe, z tą tylko różnicą, że dla zabezpieczenia prawidłowego rozdziału prądu pomiędzy prądnicami, łączymy pomiędzy sobą osobnym przewodem wyrównawczym te szczotki, od których poprowadzony jest drut do uzwojeń szeregowych elektromagnesów, rys. 137. W razie różnicy pomiędzy napięciami na szczotkach prądnic D_1 i D_2 po przewodniku wyrównawczym płynie prąd. Np. jeżeli napięcie prądnicy D_1 wzrośnie nadmiernie powyżej napięcia prądnicy D_2 , to część prądu popłynie przez drut dodatkowy z prądnicy D_1 do prądnicy D_2 , tu przejdzie przez uzwojenie szeregowe elek-



Rys. 137.

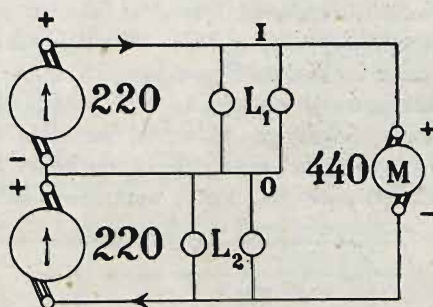
tromagnesów prądnicy D_2 , i w ten sposób, powiększając strumień magnetyczny tej prądnicy, wywołuje wzrost siły elektromotorycznej i przez to wyrównywa się różnica w napięciach i obciążeniach prądnic.

Z szynami łączymy te prądnice tak samo, jak poprzednie, za pomocą samoczynnych wyłączników zanikowych.

Prądnice szeregowych łączyć równolegle nie można, ponieważ nie ma sposobu utrzymania prawidłowego rozdziału prądu pomiędzy kilkoma maszynami.

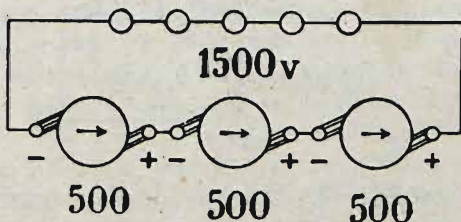
Oprócz połączenia równoległego prądnice stosuje się czasem połączenie szeregowe.

Na rys. 138 wskazane jest szeregowe połączenie dwóch prądnic. Mamy tu dwie prądnice, połączone w ten sposób,



Rys. 138.

że siły elektromotoryczne są skierowane w jedną stronę. Każda prądnica daje 220 woltów, a razem dają 440 woltów napięcia.



Rys. 139.

Od tych prądnic poprowadzone są trzy przewody. Przewód środkowy nazywamy zerowym. Pomiedzy przewodem zerowym, a każdym z przewodów skrajnych napięcie wynosi

220 woltów. Pomiedzy przewodami skrajnymi mamy napięcie 440 woltów. Dla lampy L_1 przewód górny jest dodatnim, a zerowy — ujemny, poniewaz prąd płynie od przewodu górnego do przewodu zerowego. Dla lampy L_2 przewód zerowy jest dodatnim, a dolny — ujemny, poniewaz prąd płynie tu od przewodu zerowego do dolnego. Pomiedzy przewodami zewnetrznymi wlaczony jest silnik M ; dla tego silnika przewód górny jest dodatnim, a dolny ujemnym. W przewodzie zerowym prąd płynie tylko wtedy, jezeli obciażenie na minusie jest inne, niz na plusie. Natężenie prądu w przewodzie zerowym równa się różnicy prądów w przewodach skrajnych.

Połączenie szeregowie kilku prądnic stosuje się wtedy, gdy potrzebny jest prąd stały wysokiego napięcia. Elektromotoryczne siły wszystkich prądnic są skierowane w jedną stronę. Na rys. 139 mamy trzy prądnice, z których każda daje napięcie 500 woltów na szczotkach, więc pomiedzy przewodami, prowadzącymi prąd do lamp, mamy napięcie 1500 woltów.
