

ROZDZIAŁ I.

PRĄDNICE ELEKTRYCZNE.

1. Wstęp.

Prądnicami elektrycznymi inaczej dynamoszynami lub generatorami elektrycznymi nazywamy maszyny, które przekształcają pracę mechaniczną na pracę prądu elektrycznego.

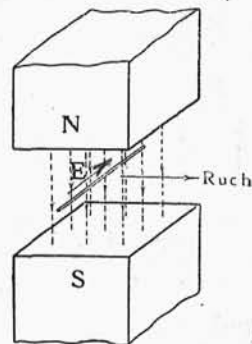
Zasada budowy wszystkich prądnic jest oparta na powstawaniu prądów indukowanych przy ruchu względnym elektromagnesów i przewodników, w których wznieca się prąd. Gdy przewodnik porusza się w polu magnetycznym w ten sposób, że przecina linie magnetyczne, rys. 1, to w nim powstaje siła elektromotoryczna, wytwarzająca napięcie na końcach przewodnika.

Kierunek siły elektromotorycznej odpowiada następującej regule Fleminga.

Palce prawej ręki należy ustawić w ten sposób aby duży i wskazujący leżały w jednej płaszczyźnie, a średni prostopadle do nich, wtedy: palec duży wskazuje kierunek ruchu przewodnika względem linii magnetycznych, palec wskazujący — kierunek linii magnetycznych, a palec średni — kierunek siły elektromotorycznej.

Według prawa indukcji w polu jednostajnym, gdy kierunek linii magnetycznych jest prostopadły do drutu i do kierunku ruchu, a kierunek ruchu do kierunku drutu, siła elektromotoryczna wyraża się wzorem:

$$E = B l v 10^{-8}$$



Rys. 1.

E — siła elektromotoryczna w woltach,
 B — gęstość linii magnetycznych, czyli indukcja magnetyczna w gaussach,
 l — długość drutu w polu magnetycznym w cm,
 v — szybkość ruchu przewodnika względem linii magnetycznych w cm na sek.

Przykład:

$$B = 5000 \text{ c.g.s.}, \quad l = 20 \text{ cm}, \quad v = 1000 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}.$$

$$E = 5000 \times 20 \times 1000 \times 10^{-8} = 1 \text{ wolt}.$$

Wobec tego, że wielkość B jest ograniczona własnościami żelaza obwodu magnetycznego, v — jest ograniczone wielkością sił odśrodkowych przy ruchu wirowym, powiększenie E odbywa się w prądnicach przez przedłużenie drutu, t. j. powiększenie l .

Prąd elektryczny otrzymamy, zamykając obwód, rys. 2. Wtedy na drut ruchomy zacznie działać siła elektromagnetyczna F' , zwrócona wbrew ruchowi przewodnika, i dla utrzymania ruchu jednostajnego potrzebna będzie siła $F = -F'$, zwrócona w kierunku ruchu. Siłę tę F dostarcza silnik napędowy poruszający prądnicę.

Praca siły F będzie:

$$Fs$$

o ile s jest drogą, przebytą przez punkt przyłączenia siły F w jej kierunku.

Z teorii elektromagnetyzmu wiadomo, że siła oddziaływania pola magnetycznego na prąd przy $B \perp l$ wynosi:

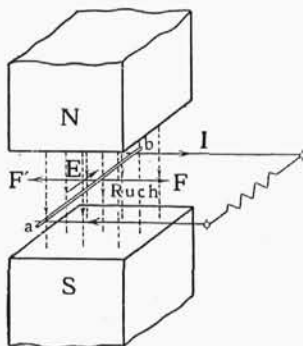
$$F' = BlJ$$

Tu B — gęstość linii magnetycznych,
 l — długość przewodnika w polu magnetycznym,
 J — natężenie prądu w przewodniku.

Więc:

$$Fs = BlJs = BlJvt = BlvJt = EJt$$

Wzory powyższe wskazują na równoważność pracy mechanicznej siły, poruszającej przewodnik, z pracą prądu elektrycznego.



Rys. 2.

Gdy bierzemy z prądnicy większy prąd, większa musi być siła F , poruszająca prądnicę.

Wielkość prądu stałego, płynącego w obwodzie prądnicy, może być wyrażona wzorem.

$$J = \frac{E}{r + R}$$

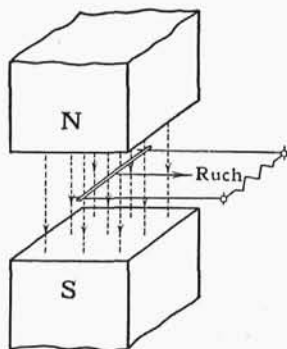
gdzie r — oporność wewnętrzna prądnicy (drutu ab na rys. 2),
 R — oporność reszty obwodu.

Obciążamy prądnicę, t. j. bierzemy z niej większy prąd przez zmniejszanie oporu R .

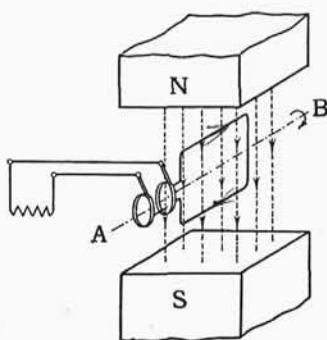
Granice obciążenia zwykle wyznacza temperatura maszyny, która ciągle wzrasta w miarę wzrostu obciążenia.

Są praktyczne normy dopuszczalnego grzania się maszyn elektrycznych, ustalone w ten sposób, aby izolacja przewodów nie zepsuła się¹⁾.

Inny sposób rozważania sił elektromotorycznych indukowanych polega na uwzględnieniu od razu całego obwodu zamkniętego.



Rys. 3.



Rys. 4.

Gdy w polu magnetycznym, jak na rys. 3, porusza się prosty przewodnik zamykający obwód, lub też, jak na rys. 4, ramka z drutu obraca się koło osi AB , a obwód zamyka się przez szczotki i pierścienie, zawsze zmienia się strumień magnetyczny objęty obwodem elektrycznym i według podstaw teorii zjawisk elektromagnetycznych, wtedy powstaje w rozważanym obwodzie siła elektromotoryczna indukowana polem magnetycznym.

¹⁾ Patrz Przepisy oceny i badania maszyn elektrycznych Póls. Kom. Elek.

Wielkość chwilowa tej siły elektromotorycznej wyraża się wzorem:

$$E_t = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8}$$

Tu $d\Phi$ oznacza przyrost (dodatni czy ujemny), strumienia magnetycznego, objętego obwodem, w czasie dt .

Dodatni kierunek siły elektromotorycznej jest tu zgodny z kierunkiem prądu, który wytworzyłby linie magnetyczne objęte obwodem w danej chwili, lub gdy obwód w tej chwili żadnych linii nie obejmuje, to te linie, które do niego w rozważanym czasie dt wchodzi.

Wyniki rozumowania opartego na tym drugim wzorze na siłę elektromotoryczną indukowaną wypadają zgodne z temi, które wysnuliśmy poprzednio.

2. Składowe części prądnicy.

Każda prądnica ma magnesnicę, w której wytwarza się główny strumień magnetyczny, i twornik z uzwojeniem, w którym się wzniewają siły elektromotoryczne.

W prądnicach prądu stałego elektromagnesy są nieruchome, a twornik wiruje.

W prądnicach prądu zmiennego bywają dwa układy:

- a) Magnesnica nieruchoma, twornik ruchomy.
- b) Twornik nieruchomy, magnesnica ruchoma.

Drugi układ jest zwykle stosowany w praktyce.

ROZDZIAŁ II.

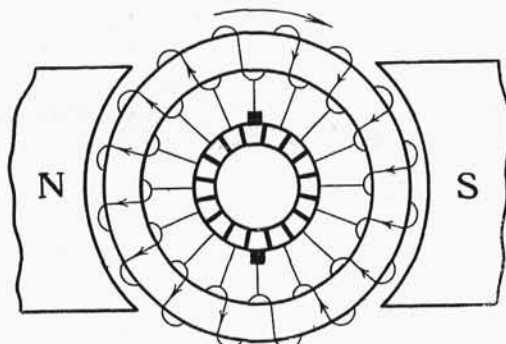
PRĄDNICE PRĄDU STAŁEGO.

Dla poznania budowy i działania prądnic najważniejszą sprawą jest rozważenie sposobów wykonania i własności uzwojeń twornika.

3. Uzwojenie pierścieniowe Pacinotti-Gramme'a.

Wynalezione niezależnie przez Pacinotti'ego i Gramme'a uzwojenie twornika ma obecnie małe zastosowanie ze względu na niedogodność wykonania, koszty materiału i nadmierne wymiary twornika, jest jednak najprostsze.

Uzwojenie pierścieniowe, rys. 5, stanowi ciągły szereg zwojów



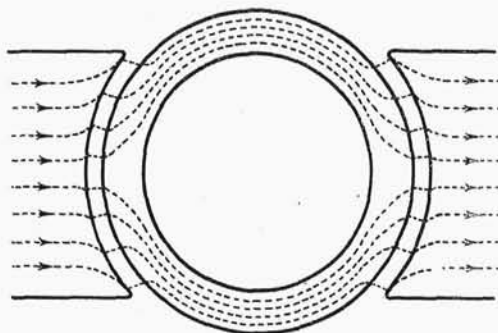
Rys. 5.

drutu izolowanego nawiniętego wokoło na żelaznym pierścieniu. Uzwojenie to jest zamknięte — koniec połączony z początkiem.

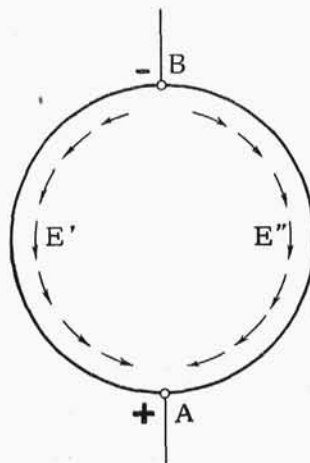
Dla odprowadzenia prądu z takiego uzwojenia mamy komutator czyli kolektor, składający się z miedzianych płytek — tak

zwanych wycinków — izolowanych jeden od drugiego, połączonych symetrycznie z uzwojeniem.

Gdy taki twornik wiruje w nieruchomym polu magnetycznym, rys. 5a, to w drutach uzwojenia powstają siły elektromotoryczne zaznaczone na rys. 5 strzałkami. Kierunek tych sił elektromotorycznych łatwo wyznaczyć np. według reguły Fleminga, pamiętając że linie magnetyczne wychodzą z bieguna północnego i wchodzi do południowego, przechodząc po pierścieniu.



Rys. 5a.



Rys. 6.

Jeżeli przedstawimy sobie drut uzwojenia twornikowego rozwinięty, rys. 6, to spostrzeżemy dwie grupy sił elektromotorycznych, przeciwdziałających sobie.

$$\sum E' \text{ i } \sum E''$$

Wobec symetrii układu, sumy tych sił elektromotorycznych są sobie równe:

$$\sum E' = \sum E''$$

a więc ogólna siła elektromotoryczna w całym obwodzie zamkniętego uzwojenia twornikowego wokoło, stanowiąca sumę algebraiczną wszystkich sił elektromotorycznych, oczywiście równa się zeru

$$\sum E_k = 0$$

gdzie znaczek k odpowiada kolejnym siłom elektromotorycznym wokoło uzwojenia.

Zapomocą szczotek, ślizgających się po komutatorze, odprowadzamy prąd z takiego twornika w punktach A i B .

A — biegun (+) tam gdzie siły elektromotoryczne się schodzą.

B — biegun (—) tam gdzie siły elektromotoryczne się rozchodzą.

Wobec tego dla obwodu zewnętrznego siłą elektromotoryczną czynną twornika będzie suma sił elektromotorycznych jednej połowy twornika, gdyż druga połowa jest przyłączona do pierwszej równolegle.

Dla zrozumienia działania prądnicy można wyobrazić sobie siły elektromagnetyczne w przestrzeni nieruchome i stałe co do wielkości, ruchomy jest tylko drut, w którym one powstają.

Wielkość siły elektromotorycznej twornika obliczamy w sposób następujący:

$$E = \sum E'$$

$$\sum E' = E_1' + E_2' + E_3' + \dots + E_m' = \frac{E_1' + E_2' + E_3' + \dots}{m} m$$

$$\frac{E_1' + E_2' + E_3' + \dots}{m} = E_{sr}$$

więc:

$$E = E_{sr} m$$

Średnia siła elektromotoryczna, powstająca przy ruchu przewodnika w polu magnetycznym na zasadzie praw indukcji, sformułowanych w teorii elektromagnetyzmu, może być wyrażona stosunkiem strumienia magnetycznego, przeciętego przez przewodnik, do czasu, w ciągu którego ten strumień był przecięty.

Powyższe twierdzenie jest wynikiem matematycznych przekształceń opartych na wzorze poprzednio podanym na str. 1.

W chwili t :

$$E_t = Blv = Bl \frac{ds}{dt}$$

ale

$$Bl ds = d\Phi$$

tu $d\Phi$ strumień magnetyczny przecięty w czasie dt , więc:

$$E_t = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$E_{sr} = \frac{1}{t} \int_0^t E_t dt = \frac{1}{t} \int_0^t d\Phi$$

$$E_{sr} = \frac{\Phi}{t}$$

Φ — strumień przecięty w czasie t .

Średnia siła elektromotoryczna w drucie przebiegającym drogę równą połowie obwodu twornika rys. 5, oblicza się ze wzoru:

$$E_{sr} = \frac{\Phi}{\frac{1}{2} \frac{60}{n}}$$

Tu Φ — strumień magnetyczny pod jednym biegunem magnetycznym.

$\frac{1}{2} \frac{60}{n}$ — czas potrzebny do zakreślenia połowy obwodu twornika, czyli czas połowy obrotu twornika, przy n — obrotach twornika na minutę.

Liczba m wyraża liczbę drutów na połowie obwodu twornika. Jeżeli więc przez z oznaczmy liczbę zwojów na całym tworniku czyli liczbę drutów na jego powierzchni, to

$$m = \frac{1}{2} z$$

Przeto siła elektromotoryczna twornika będzie:

$$E = \frac{\Phi}{\frac{1}{2} \frac{60}{n}} \cdot \frac{1}{2} z$$

czyli

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

Przykład:

$$\Phi = 30 \cdot 10^6 \text{ makswełów, } z = 840, \quad n = 475 \text{ obr. na minutę.}$$

Z obliczenia wypada:

$$E = 2000 \text{ woltów}$$

Prąd elektryczny, wypływający z twornika tego rodzaju, jak widać z rys. 6, dzieli się wewnątrz uzwojenia na dwie gałęzie.

W każdej gałęzi mamy natężenie $\frac{1}{2} J$.

Jeżeli przez q — oznaczmy przekrój drutu, przez j — gęstość prądu w drucie, to cały prąd, wypływający z twornika, będzie:

$$J = 2 j q$$

Oporność uzwojenia twornika dla całkowitego prądu znajdziemy ze wzoru:

$$r = \frac{1}{4} \cdot \frac{l}{50 q}$$

tu l — całkowita długość drutu, zużytego na uzwojenie twornika w metrach, q — przekrój tego drutu w mm^2 , 50 — przewodność miedzi w stanie nagrzanym.

Jeżeli się umieści ten sam twornik w polu wielobiegunowym o $2p$ biegunach, to otrzymamy w uzwojeniu twornika $2p$ układów sił elektromotorycznych. Na kolektorze postawimy wówczas $2p$ szczotek, p — dodatnich i p — ujemnych. Szczotki dodatnie połączymy razem i ujemne też razem, wtedy otrzymamy $2p$ równoległych gałęzi i prąd, pobierany z takiego twornika, wyrażać się będzie wzorem

$$J = 2p j q$$

Siła elektromotoryczna zachowa tę samą wartość, jak poprzednio, gdyż wprowadzie w jednej równoległej gałęzi będzie p razy mniej drutów, ale druty te szybciej będą przecinały linie magnetyczne, gdyż tu strumień magnetyczny jednego bieguna zostaje przecięty w ciągu

$$\frac{60}{n} \cdot \frac{1}{2p}$$

sekund, a więc p razy prędzej, przez co siła elektromotoryczna średnia każdego drutu będzie p razy większa.

4. Uzwojenie bębnowe Hefner-Alteneck'a.¹⁾

W uzwojeniu, tak zwanem bębnowem, zwoje drutu są umieszczone całkowicie na powierzchni walca twornikowego, zwykle w odpowiednich żłobkach.

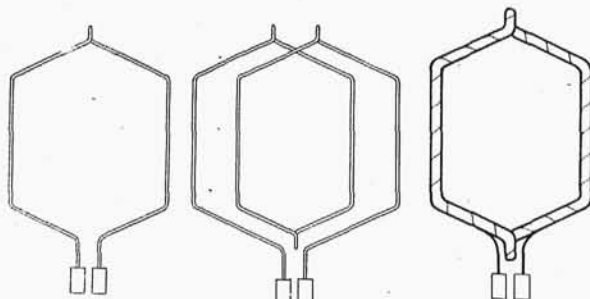
Zależnie od sposobu łączenia zwojów z komutatorem wyróżniamy dwa rodzaje zwojów: pętlicowe i faliste.

5. Uzwojenie bębnowe pętlicowe.

Element takiego uzwojenia stanowi sekcja, która bywa: jednozwojowa, rys. 7, utworzona z jednego zwoju drutu izolowanego,

¹⁾ Naczelný inż. firmy Siemens Halske.

lub też wielozwojowa, rys. 8, utworzona z kilku zwojów takiego drutu. Zwoje te zazwyczaj umieszczają się ściśle obok siebie i owijają się razem taśmą izolacyjną rys. 9.

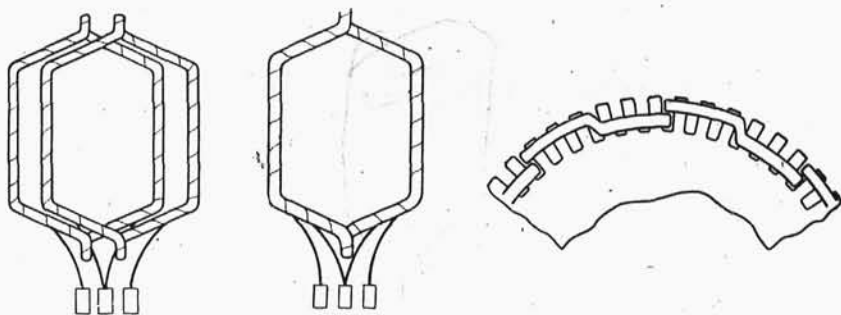


Rys. 7.

Rys. 8.

Rys. 9.

Końce sekcji jednozwojowej i wielozwojowej połączone są w uzwojeniu pętlicowym prostym z dwiema sąsiednimi wycinkami kolektora¹⁾. Jeżeli kilka sekcji, rys. 10, owinać izolacją razem, rys. 11, to utworzy się sekcja wielokrotna, której końce łączymy z kilkoma wycinkami komutatora. Na rys. 11 mamy sekcje dwukrotną, której cztery końce łączymy z trzema znajdującymi się obok siebie wycinkami komutatora.



Rys. 10.

Rys. 11.

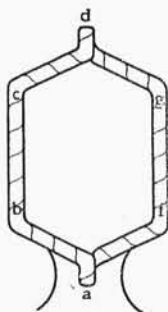
Rys. 12.

W żłobkach żelaznego rdzenia twornika sekcje są układane najczęściej w ten sposób, że w jednym żłobku mieszczą się dwa boki sekcji, jak to widzimy na rys. 12, gdzie pokazano kilka sekcji ułożonych w żłobkach. W ten sposób uzwojenie twornika tworzy dwie warstwy: w jednej warstwie znajdują się wszystkie prawe boki sekcji a w drugiej wszystkie lewe.

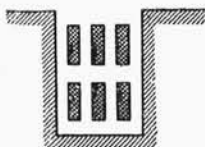
¹⁾ Są uzwojenia pętlicowe wielokrotne, wtedy np. w uzwojeniu dwukrotnym końce sekcji łączą się z wycinkami nie sąsiednimi, lecz przez jeden.

Dla wytworzenia takiego dwuwarstwowego uzwojenia zezwoje sekcji są odpowiednio powyginane, jak pokazano na rys. 13. Lewy bok $abcd$ leży wyżej od boku prawego $afgd$.

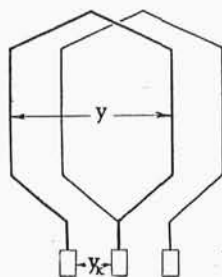
Gdy sekcja jest wielokrotna, to kilka boków lewych leży obok siebie w jednym żłobku w górnej warstwie i tyleż w dolnej warstwie rys. 14.



Rys. 13.



Rys. 14.



Rys. 15.

Rozpiętość sekcji y , rys. 15, wybieramy w ten sposób, aby siły elektromotoryczne, powstające w poszczególnych bokach dodawały się zawsze. Osiągniemy to wtedy, gdy rozpiętość sekcji równać się będzie odległości pomiędzy środkami sąsiednich biegunów magnetycznych, licząc po obwodzie twornika, ponieważ bieguny te są zawsze przeciwnego znaku.

Rozpiętość sekcji określa się zazwyczaj, tak zwanym, poskokiem żłobkowym y_z , który oblicza się ze wzoru:

$$y_z = \frac{u}{2p}$$

gdzie: u — oznacza liczbę żłobków na tworniku, p — liczbę par biegunów magnetycznych.

W większości wypadków pożądanym jest aby y_z wypadło z powyższego wzoru jako liczba całkowita, bywają jednak stosowane takie liczby na u i p , że y_z wypada niecałkowite, wtedy należy wynik obliczenia zaokrąglić do najbliższej liczby całkowitej.

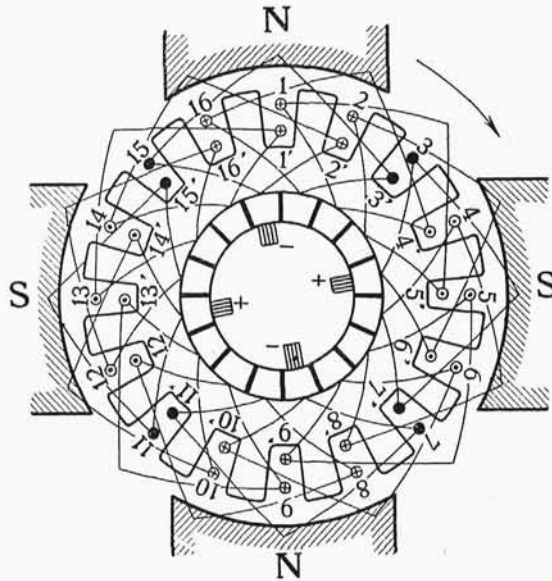
y_z wyraża tą liczbę żłobków, którą należy dodać do numeru żłobka, gdzie znajduje się lewy bok sekcji, aby otrzymać numer żłobka, gdzie jest prawy bok tej samej sekcji.

y_k , stanowi poskok kolektorowy, który tu $= 1$.

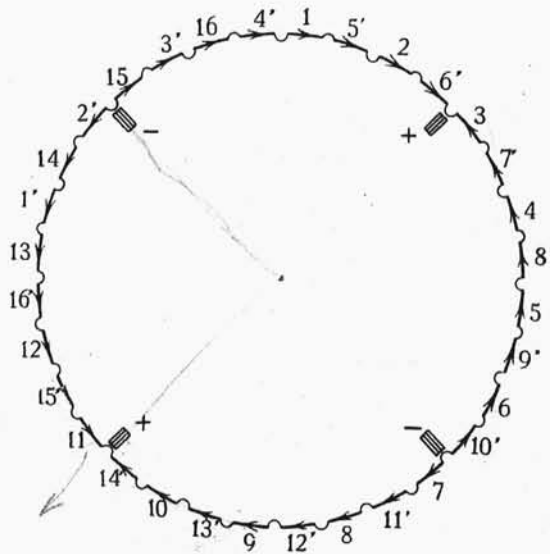
Jako przykład na rys. 16¹⁾ mamy podany układ uzwojenia

¹⁾ Krzyżyk oznacza prąd płynący w górę rys., a punkt — do czytelnika. Żłobki są tu nieproporcjonalnie duże w porównaniu do innych wymiarów twornika dla uwydatnienia schematu uzwojenia.

bębnowego czterobiegunowego z 16-tu sekcji, umieszczonych w 16-tu żłobkach i połączonych z 16-tu wycinkami kolektora.



Rys. 16.



Rys. 17.

Poskok żłobkowy wynosi tu:

$$y_z = \frac{16}{4}$$

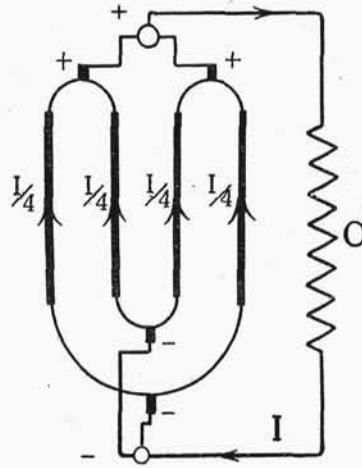
Jeżeli rozwiniemy takie uzwojenie w jeden obieg, rys. 17, i zaznaczymy kierunki sił elektromotorycznych, to łatwo się przekonamy, że mamy tu cztery równoległe gałęzie, z których możemy zaczerpnąć prąd zapomocą czterech szczotek ustawionych na komutatorze w odległości $\frac{1}{4}$ części obwodu. Dwie z nich naprzeciw siebie będą dodatnie, a dwie drugie ujemne.

Połączenie z obwodem zewnętrznym prądnicy uskutecznia się tak, jak pokazano na rys. 18.

Prąd w obwodzie zewnętrznym ma czterokrotne natężenie w porównaniu do natężenia prądu w drutach twornika.

Przy takim uzwojeniu zawsze liczba równoległych gałęzi w tworniku równa się liczbie biegunów magnetycznych:

$$2p = 2a$$



Rys. 18

Szczotki na obwodzie komutatora leżą pod kątem:

$$\frac{360^\circ}{2p}$$

Siła elektromotoryczna uzwojenia pętlicowego oblicza się w sposób następujący. Wobec tego, że mamy tu tyleż równoległych gałęzi, co w uzwojeniu pierścieniowym, umieszczonym w polu wielobiegunowym, siła elektromotoryczna będzie taka sama:

$$E = \Phi z \frac{n}{60} 10^{-8} \text{ woltów,}$$

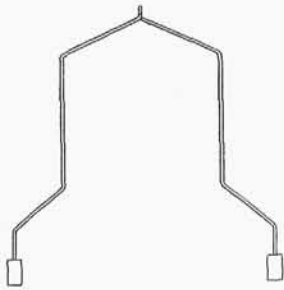
a prąd:

$$J = 2pjq$$

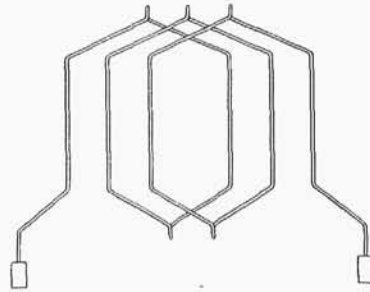
Litera z oznacza tu całą liczbę drutów znajdujących się w żłóbkach na obwodzie twornika.

6. Uzwojenie bębnowe faliste.

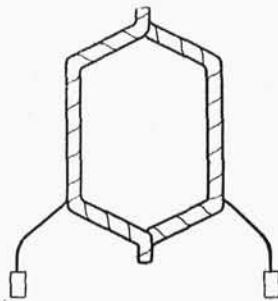
Element takiego uzwojenia stanowi sekcja, która może być jednozwojowa, rys. 19, wielozwojowa, rys. 20, owinięta



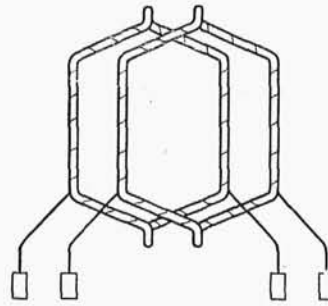
Rys. 19.



Rys. 20.



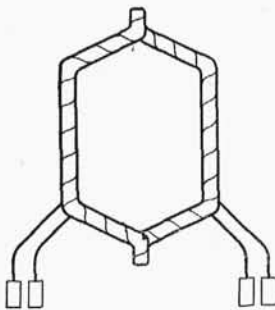
Rys. 21



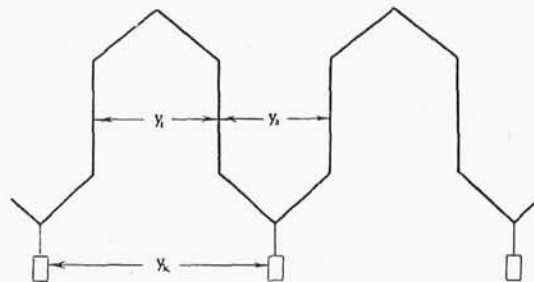
Rys. 22.

taśmą w jedną całość rys. 21, albo też wielokrotna, rys. 22, owinięta taśmą w jedną całość rys. 23.

Końce sekcji jedno — i wielozwojowej przyłącza się do dwóch wycinków kolektora, znajdujących się od siebie zdala. Sekcje uzwojenia falistego łączy się pomiędzy sobą i układa się na tworniku w żłóbki tak jak pokazano na rys. 24.



Rys. 23.



Rys. 24.

Rozpiętość sekcji określa poskok żłobkowy y_1 .

Wielkość jego oblicza się na tej zasadzie, że sekcja jak wiemy powinna mieć rozpiętość bliską do odległości pomiędzy środkami sąsiednich biegunów magnesy, więc jeżeli:

u — liczba żłobków na obwodzie twornika,
 $2p$ — liczba biegunów magnesnicy, to:

$$y_1 = y_2 = \frac{u}{2p}$$

Gdy otrzymamy iloraz z ułamkiem, to zaokrąglamy go do najbliższej liczby całkowitej zwykle mniejszej.

Poskok komutatorowy y_k wskazuje odległość na komutatorze dwóch wycinków, połączonych z końcami sekcji.

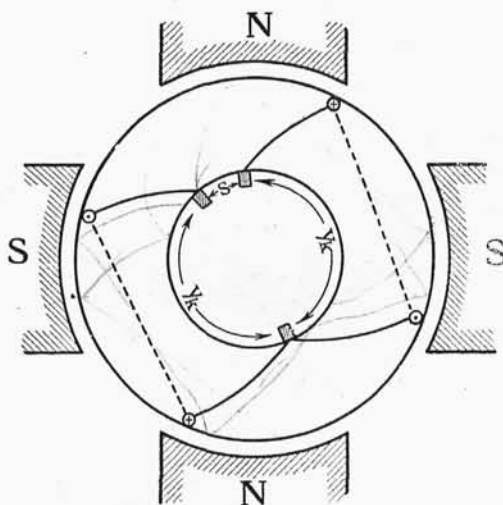
Poskok zaś y_2 określa położenie na tworniku następnej sekcji połączonej z poprzednią.

W tym przypadku gdy w każdym żłobku umieszczamy tylko po dwa boki sekcji, poskok komutatorowy wypada równy sumie poskoków y_1 i y_2 :

$$y_k = y_1 + y_2$$

gdyż y_2 określa się odpowiednią liczbą żłobków, a cała liczba żłobków na obwodzie twornika równa się tu liczbie wycinków komutatora.

Poskok y_k obliczymy na podstawie następującego rozumowania. Przy łączeniu sekcji przez wycinki komutatora, posuwamy się ciągle naprzód wokoło obwodu twornika, wielokrotnie go okalając.



Rys. 25.

Na rys. 25 dla przykładu pokazano jak przy jednym obejściu twornika prądnicy czterobiegunowej układają się kolejne sekcje i wycinki komutatora, połączone z niemi.

Na podstawie tego rysunku łatwo zrozumieć, że przy jednym obejściu twornika układa się na nim tyle sekcji ile mamy par biegunów magnesu. Ile wypadnie tych sekcji, tyleż razy ułoży się wokoło komutatora poskok y_k , a pomiędzy początkowym i końcowym wycinkiem komutatora pozostanie przesunięcie s , które ogólnie można wyrazić wzorem:

$$s = k - y_k p$$

k — liczba wszystkich wycinków komutatora,

p — liczba par biegunów magnesu.

Przy uzwojeniu falistym w maszynach wielobiegunowych możemy otrzymać rozmaitą liczbę gałęzi równoległych, zależnie od tego jakie wybierzemy y_k . Założmy, że liczba równoległych gałęzi uzwojenia twornikowego ma wynosić $2a$, wtedy można będzie wyznaczyć poskok y_k , uwzględniając następujące okoliczności.

Wszystkich wycinków na komutatorze mamy k , to na jedną równoległą gałąź uzwojenia przypadnie wycinków komutatora

$$\frac{k}{2a}$$

Przy jednym obejściu twornika, uzwojeniem bierzemy p wycinków komutatora, więc dla przejścia jednej równoległej gałęzi powinniśmy wykonać:

$$\frac{k}{2ap}$$

obejść twornika.

Wobec tego, że przy przejściu od jednej równoległej gałęzi do drugiej zmienia się kierunek siły elektromotorycznej, to po

$$\frac{k}{2ap}$$

obejściach powinniśmy się znaleźć w miejscu symetrycznym pod przeciwnym biegunem magnesu, a więc powinniśmy skokami s posunąć się po komutatorze wstecz o:

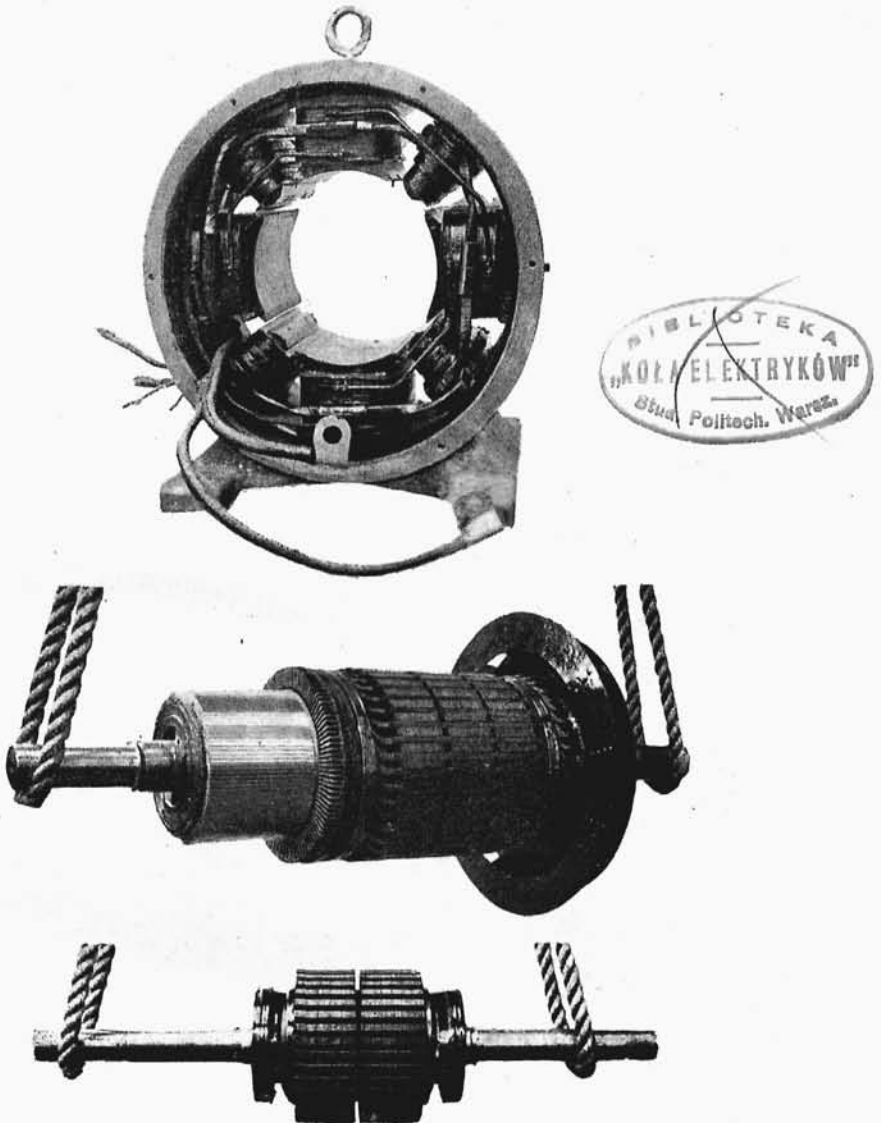
$$\frac{k}{2p}$$

wycinków.

Ponieważ przy tem wykonywamy

$$\frac{k}{2ap}$$

Tab. I.



1. Uzwojona magnesnica czterobiegunowa z biegunami komutacyjnymi prądu stałego.
2. Twornik prądu stałego z wentylatorem do przewietrzania.
3. Żłobkowany rdzeń twornika.

Maszyny firmy Polskie Towarzystwo Elektryczne w Warszawie.

obejść, a więc i tyleż poskoków s , przeto:

$$s \frac{k}{2ap} = \frac{k}{2p}$$

Stąd:

$$s = a$$

a ponieważ mieliśmy:

$$s = k - y_k p$$

Przeto:

$$y_k = \frac{k - a}{p}$$

Tu y_k musi być koniecznie liczbą całkowitą, zaokrąglić jej nie można¹⁾.

Dobierając odpowiednie liczby na k , możemy dla wielobiegunowej magniesnicy wziąć:

$$1) a = 1$$

$$2) 1 < a < p$$

$$3) a = p$$

Przy $a = 1$ będziemy mieli tak zwane uzwojenie szeregowo, mające dwie gałęzie równoległe.

Przy $1 < a < p$ otrzymamy uzwojenie szeregowo-równoległe, w którym liczba gałęzi równoległych jest większa od dwóch i mniejsza od liczby biegunów magniesnicy.

Przy $a = p$ będzie uzwojenie równoległe z liczbą gałęzi równą liczbie biegunów magniesnicy.

Do rzędu tego rodzaju uzwojeń z $a = p$ należą oczywiście również poprzednio rozważane uzwojenia pętlicowe.

¹⁾ Można również wziąć poskok y_k nieco większy, taki aby $y_k p$ było większe od k , wtedy wypadło by:

$$s = y_k p - k$$

taki poskok s był by zwrócony naprzód według naszego biegu po obwodzie twornika.

Ponieważ jak poprzednio

$$s = a$$

to wypadłby

$$y_k = \frac{k + a}{p}$$

a wzór ogólny:

$$y_k = \frac{k + a}{p}$$

Zazwyczaj jednak stosujemy poskok kolektorowy mniejszy, odpowiadający znakowi minus.



Uzwojenia szeregowo-równoległe i równoległe mogą być dwojakiego rodzaju: jednokrotnie zamknięte lub wielokrotnie zamknięte.

Jeżeli oznaczmy przez m liczbę wyrażającą ile razy uzwojenie zamyka się, to zawsze

$$m \leq a$$

Aby uzwojenie m razy zamknęło się, liczba wycinków komutatora musi posiadać wspólny dzielnik z liczbą, wyrażającą poskok komutatorowy.

Wynika to z następującego rozumowania.

Przy każdym poskoku y_k wprowadzamy do uzwojenia jeden wycinek komutatora, po wzięciu $\frac{k}{m}$ wycinków uzwojenie ma się zamknąć, więc liczbą $\frac{k}{m}$ poskoków powinniśmy obdzielić komutator pewną całkowitą liczbę razy np. b razy, wtedy:

$$\frac{k}{m} y_k = b k$$

stąd:

$$b = \frac{y_k}{m}$$

musi być liczbą całkowitą. Całkowitą liczbą musi być również:

$$\frac{k}{m}$$

gdyż nie sposób jest posuwać się o część poskoku.

A więc k i y_k mają wspólny dzielnik — m .

Z tego rozumowania wynika jeszcze, że rozważane uzwojenia zamykają się tylokrotnie ile wynosi największy wspólny dzielnik liczby wycinków komutatora k i poskoku komutatorowego y_k .

Np. gdy mamy $k=52$ wycinków komutatora i przy $p=3$ i $a=2$ zastosujemy:

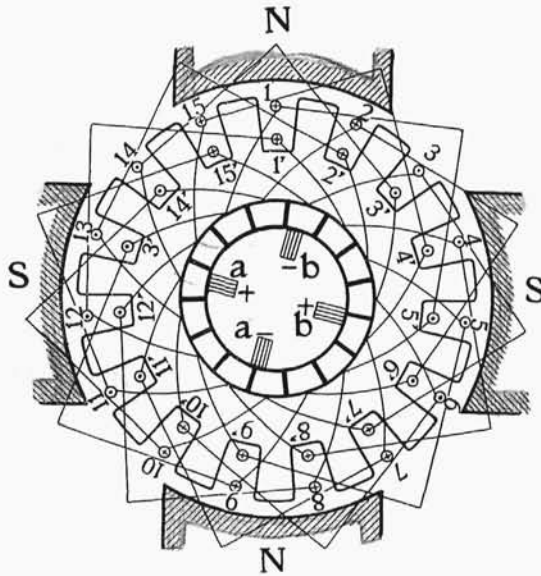
$$y_k = \frac{52+2}{3} = 18$$

to dla k i y_k — największy wspólny dzielnik będzie 2, mamy więc tu podwójne zamknięcie uzwojenia. Gdy zaczniemy uzwojenie od pierwszego wycinka komutatora, to po obejściu 26 wycinków wrócimy już do wycinka pierwszego.

Najczęściej stosowane są uzwojenia faliste szeregowo. Na rys. 26 mamy czterobiegunowe uzwojenie faliste, szeregowo w 15 żłobkach.

$$y_1 = \frac{15}{4} \cong 4 \qquad y_k = \frac{15-1}{2} = 7$$

Na rys. 27, wykreślono schemat rozwinięty uzwojenia, idąc wzdłuż kolejnych drutów i ich połączeń.



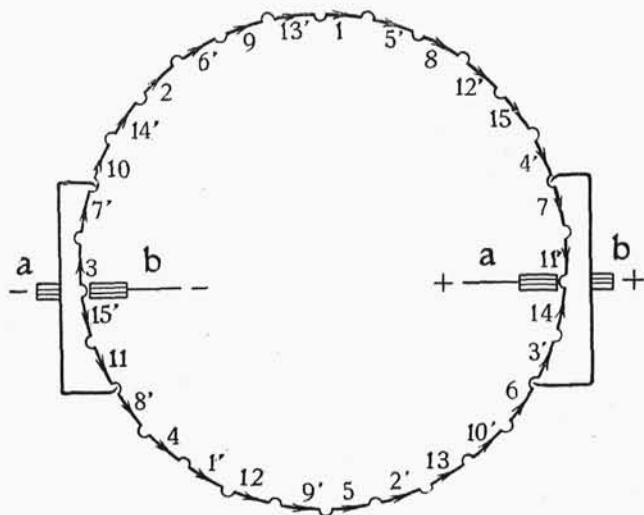
Rys. 26.

Na tym schemacie oprócz numerów drutów (górne bez znaczków, dolne ze znaczkami), mamy pokazane kierunki sił elektromotorycznych, ustalone przez położenie drutów pod biegunami i kierunek wirowania twornika, przyjęty zgodnie z ruchem wskazówki zegarka, wtedy siły elektromotoryczne pod północnymi biegunami są skierowane od nas, a pod południowymi ku nam.

Z układu sił elektromotorycznych na schemacie rozwiniętym widzimy, że uzwojenie dzieli się na dwie równoległe gałęzie. Szczotki zaś $a - a$, zapomocą których będziemy odbierali prąd z tego uzwojenia, wypadają na kolektorze w miejscach znajdujących się względem siebie pod kątem:

$$\frac{360^\circ}{2p}$$

Możemy jednak, oprócz jednej pary szczotek, umieścić na komutatorze jeszcze drugą parę $b - b$.



Rys. 27.

Wogóle i tutaj możemy ustawić na komutatorze tyle szczotek ile mamy biegunów magnesu, wszystkie szczotki na odległości jedna od drugiej:

$$\frac{360^\circ}{2p}$$

po obwodzie komutatora.

Będą to szczotki naprzemian dodatnie i ujemne. Wszystkie dodatnie będzie można połączyć razem i stąd odprowadzić prąd, a połączywszy razem wszystkie ujemne skierować tu prąd powrotny.

Rozdział prądu na dwie równoległe gałęzie zostanie zachowany, gdyż jednoimienne szczotki na rozwiniętym schemacie stoją tu blisko koło siebie. Połączenie między temi szczotkami zwiera część zwojów twornika, znajdujących się w strefach obojętnych między biegunami.

Mając po kilka szczotek na przewodach dopływowym i odpływowym, unikamy łatwo nadmiernej gęstości prądu w styku między szczotką, a komutatorem.

Siła elektromotoryczna twornika z uzwojeniem $2p$ — biegunowem o $2a$ równoległych gałęziach wypada oczywiście zawsze równą sile elektromagnetycznej jednej równoległej gałęzi. Śre-

dnia siła elektromagnetyczna w jednym drucie wynosi jak poprzednio:

$$E_{sr} = \frac{\Phi}{\frac{1}{2p} \frac{60}{n}}$$

Drutów, połączonych w szereg w jednej gałęzi, mamy

$$\frac{z}{2a}$$

a więc ogólna elektromotoryczna siła twornika będzie:

$$E = \frac{\Phi}{\frac{1}{2p} \frac{60}{n}} \cdot \frac{z}{2a}$$

czyli:

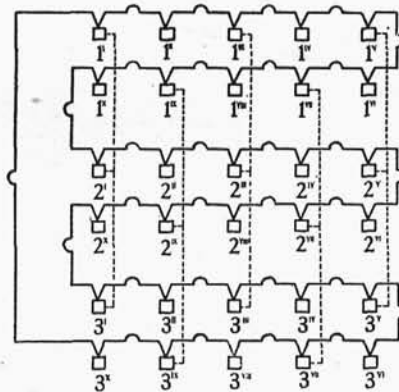
$$E = \Phi \cdot z \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{p}{a} 10^{-8} \text{ woltów}$$

Prąd pobierany z takiego twornika:

$$J = 2 a j q$$

7. Połączenia wyrównawcze.

Uzwojenia pętlicowe wielobiegunowe oraz uzwojenia faliste równoległe i szeregowo-równoległe dla prawidłowego działania wymagają specjalnych połączeń dodatkowych — wyrównawczych.



Rys. 28.

Rozważmy schemat rozwinięty uzwojenia równoległego sześciobiegunowego, z sześciu równoległymi gałęziami. Z rysunku łatwo spostrzedz, że każde trzy dowolne punkty A—A—A na tym