

ELEKTROTECHNIKA

Semestr jesienny

Wykład
inż. A. Pozanyskiego
w szkole mechaniczno-technicznej
H. Pawelberga i J. Protwandta
19 $\frac{13}{14}$.

ELEKTROTECHNIKA



nr. 465

Muzeum

257-1-97-K

BC-03P/285-08

Rozdział I.

Elektromagnesy o prądzie statycznym.

Stosowane w praktyce elektro-
magnesy są dwójakiego rodzaju.
Jedne służą do podtrzymywania
ciężarów, inne do przesuwania roz-
maitych części mechanizmów.
Stosownie do przeznaczenia bu-
dowa tych elektromagnesów bywa
różna.



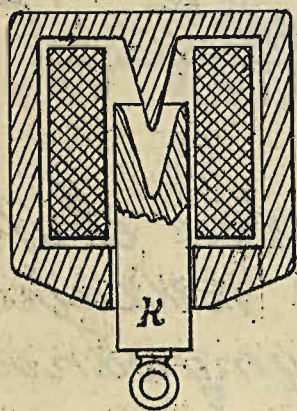
Rys. 1.

Na rys. 1. widzimy
najczęściej stosowany
kształt elektromagnesu
do podtrzymywania
ciężarów, w precyzji.
Elektromagnes ten skła-
da się z pustego walca
żelaznego¹⁾, odwróconego

¹⁾ żelazo kute albo łana stal najczęściej.

dnem do wóru; w środku tego dna jest rdzeń okrągły. Rdzeń ten otacza zwojnica, po której przebiega prąd magnesujący.

Rys. 2.



Na rys. 2. widzimy elektromagnes do przesuwania. W tym elektromagnecie rdzeń jest urządzony w ten sposób, aby, przy zapewnieniu znacznej siły w ciągu całego znośu kotwicy - K, odłu-

gosi znośu była możliwie większa.

Projektowanie budowy elektromagnesów opiera się na dwóch wzorach. Posługujemy się jednym albo drugim zależnie od rodzaju elektromagnesu i dogodności obliczenia.

Idąc chodzi o magnesy przedstawione na rys. 1 stosujemy wzór Maxwell'a wyrażający natężenie w strumieniu linii magnetycznych równe w przybliżeniu ile przyciągania kotwicy elektromagnesu przez rdzeń.

Opiszemy prąd P siłą przyciągania w kg, prąd B inakweje magnetyczną w sterelinie między rdzeniem elektromagnesu i kotwicą (zakładając, że na całej powierzchni biegunowej jest ona stała), prąd S powierzchnię jednego bieguna elektromagnesu (na rys. 1. jeden biegun stanowi podstawa wewnętrznej rdzenia, a drugi obrotowe pole podstawy wewnętrznych żelazek). Według wzoru Maxwell'a :

$$P = 4,06 B^2 S \cdot 10^{-8}$$

Siła P jest znana jako wartość dla budowy elektromagnesu.

B i S trzeba wyznaczyć. Jedną wielkość należy wybrać, aby drugą obliczyć.

W pewnych wypadkach mamy dane S , wtedy obliczymy B , które jednak nie może przekroczyć granicy do jakiej w praktyce można namagnesować żelazo.

Częściej wybieramy takie B aby elektromagnes wypadł jak najmniejszy.

Najczęściej stosujemy B w granicach od 5000 do 15000.

Mając B obliczamy S z powyższego wzoru.

Dla znalezienia innych wymiarów elektromagnesu trzeba zaprojektować zwojnicę.

Obliczamy amperozwoje zwojnicy na podstawie wzorów znanych z teorii obwodów magnetycznych.

Naważcie przyjmujemy pod uwagę tylko te amperozwoje, które są potrzebne dla przeprowadzenia linii sił magnetycznych przez powietrze.

Każda linia magnetyczna w elektromagnecie przechodzi przez szczelinę powietrzną dwukrotnie.

Więc jeżeli przez S oznaczymy w cm. grubość szczeliny powietrznej pomiędzy rdzeniem elektromagnesu i kotwicą, to liczba amperozwojów potrzebna dla przeprowadzenia tych linii przez powietrze będzie

$$ni = 0,8 B \cdot 2S$$

Grubość warstwy S przy oblicza-

niu elektromagnesu musimy założyć.
W dalszym ciągu postępujemy roz-
maicie zależnie od tego, czy stoso-
wujemy do warunków pracy elektro-
magnesu mamy daną siłę prądu w
zwojnicy lub też napięcie na jej
końcówkach.

Gdy mamy siłę prądu i , to
znając iloczyn nie łatwo znaleźć
n t.j. liczbę zwojów zwojnicy.

Przekrój drutu wybieramy w
ten sposób, aby zwojnica nie roz-
grzewała się zbyt silnie. Z doświad-
czenia wiadomo, że w takich zwoj-
nicach wypadła przyjmować gę-
stość prądu w drutach:

od 1 do 3 amperów na mm².

Znając siłę prądu i gęstość jego
obliczamy przekrój drutu.

Według znalezionych wielkości pro-
jektujemy zwojnicę i rdzeń elektro-
magnesu nie zapominając o niezbęd-
nej izolacji.

Grubość izolacji na drutach wyno-
si około 0,35 do 0,5 mm.

Pozatem dla izolacji między warst-

wami należy zostawić po pół milimetra, a dla izolacji na zewnątrz od 3-5 mm. około, za wyjątkiem bardzo małych elektromagnesów zasilanych prądem o niskim napięciu (kilka lub kilkadziesiąt woltów), wtedy 1-2 mm. wystarczy.

Projektując zwojnicę można zrobić ją długą i cienką lub też grubą i krótką. Warunki ochładzania się będą oczywiście pomyslniejsze dla długiej, ale elektromagnes wypadnie cięższy.

Wybieramy więc na razie niechcąc długą i następnie sprawdzamy warunki ochładzania się. A mianowicie obliczamy ilość watów, zamieniających się w zwojnicę na ciepło, przypadającą na jeden centymetr kwadratowy bocznej zewnętrznej powierzchni zwojnicę.

Łość ta nie powinna być większą od 0,1 wata na centymetr kwadratowy.^{x)}

Na obliczenia mocy zużywanej przez zwojnicę wyznaczyć należy długość

x) Gdy elektromagnes ma być dłuższy, czas pod prądem napr. $\frac{1}{2}$ godziny i więcej, to trzeba liczyć 0,05 wata na cm².

drutów xwojnicy; znajdujemy przedewszyst-
kiem średnią długość jednego xwoju, a zna-
jąc ich liczbę, długość całkowitą, na-
stępnie opór drutu, zakładając prze-
wodnictwo ogyranej miedzi równe 50.

Gdy mamy opór r i prąd i
znajdujemy moc prądu ze wzoru:

$$i^2 r .$$

Jeżeli jest dane napięcie na
koncówkach xwojnicy, to postępu-
jemy nieco inaczej.

Oznaczmy:

przez	e	napięcie na koncówkach xwojnicy
"	i	- siła prądu
"	r	- opór xwojnicy
"	n	- liczbę xwojów
"	l	- średnią długość jednego xwoju.
"	q	- przekrój drutów
"	j	- gęstość prądu
"	k	- przewodnictwo materiału, z którego zrobione są druty.

Wtedy mamy trzy równania:

$$e = i r$$

$$r = \frac{n \cdot l}{q \cdot k}$$

$$i = q \cdot j$$

Podstawiając r i i w pierwsze równanie otrzymamy:

$$e = \frac{n \cdot l \cdot j}{k}$$

albo

$$n = \frac{e \cdot k}{l \cdot j}$$

Wybieramy średnią długość zwoju i obliczamy z tego równania n .

Znając n łatwo obliczyć siłę prądu, mając liczbę amperozwojów, a następnie i inne wielkości z powyższych równań.

Dalej projektujemy całą zwojnicę i sprawdzamy jej warunki ochładzania się.

Przy obliczeniach powyżej opisanych pominięliśmy zupełnie część obwodu magnetycznego, którą stanowi żelazo.

Możemy uwzględnić i ją jednak dopiero teraz, gdy już mamy przybliżone wymiary elektromagnesu.

Jeżeli znamy wymiary długości linii magnetycznej średniej i znając z praktycznych danych liczbę amperozwojów niezbędną dla wzbudzenia 1 cm. linii w żelazie^{x)} przy danej indukcji, znajdziemy liczbę amperozwojów dodatkowych niezbędną dla żelaza.

Odpowiednio do nowej całej liczby amperozwojów zwojnic zmieniamy nieco wymiary.

Należy jeszcze pamiętać, że przy szczelinie powietrznej, mającej grubość kilku milimetrów rozproszenie magnetyczne można pominąć, przy szczelinie jednak nieco większej rozproszenie musi być uwzględnione.

x) Patrz Technika TII.

Drugi sposób obliczenia elektromagnetycznego polega na zastosowaniu wzoru wyrażającego pracę wykonaną przez siłę przyciągającą kotwicę przy ruchu tej kotwicy.

Pochwycimy jakinowien elektromagnes, parę na rys. 2. Założymy że po drutach zwojnicy przepływa pewien stały prąd i . Wokół zwojnicy jest strumień magnetyczny, który stanowi pewien запас energii. Energię łatwo obliczymy w następujący sposób.

Idąc prąd i powstawał - powstawał również i strumień magnetyczny, a przez to w zwojnicy była pewna przeciwdziałająca siła, która da się wyrazić przez zmianę strumienia w jednostkę czasu.

Oznaczmy przez N - strumień magnetyczny, przez t - czas, a przez n liczbę zwojów zwojnicy, to przeciwdziałająca siła wyrazi się wzorem:

$$\frac{dN}{dt} \cdot n$$

Pod wpływem tej siły elektromotorycznej prąd i_t wykona pracę:

$$\frac{dN}{dt} \cdot n \cdot \frac{i_t}{10} \cdot dt = dN \cdot n \cdot \frac{i_t}{10}$$

(i_t - chwilowy prąd wyrażony w amperach, a $\frac{i_t}{10}$ - w bezwzględnych jednostkach).

Z własności obwodów magnetycznych wiemy, że w chwili t :

$$N_t = \frac{1,25 \cdot n \cdot i_t}{R}$$

R - opór magnetyczny obwodu.

Podstawiając i_t z tego wzoru w powyższy otrzymamy:

$$dN \cdot n \cdot \frac{N_t \cdot R}{1,25 \cdot n \cdot 10}$$

Gdy prąd wzrósł do i , a N_t do N , to cała praca wykonana przez prąd i zgromadza na w postaci energii strumienia magnetycznego będzie:

$$A = \int_0^N \frac{R}{1,25 \cdot 10} \cdot N_z \cdot dN =$$

$$= \frac{R}{1,25 \cdot 10} \cdot \frac{1}{2} \cdot N^2$$

Ponieważ jednak

$$N = \frac{1,25 \cdot n \cdot i}{R}$$

wieć zastępując jedno N we wzorze pracy przez i otrzymamy:

$$A = \frac{1}{20} N \cdot n \cdot i$$

ni - są to amperowoję zwojnicy.

Rozważmy, teraz co się dzieje w elektromagnecie, gdy kotwica wsuwa się przy stałym prądzie, przepływającym w zwojnicy.

Oczywiście z powodu zmniejszenia oporu obwodu magnetycznego zwiększa się strumień magnetyczny, przez co powstaje w zwojach przeciwno elektromotoryczna siła, wywołująca

jąca przepływ energii z obwodu do elektromagnesu.

Stość tej energii będzie podobnie jak poprzednio:

$$\frac{dN}{dt} \cdot n \cdot \frac{i}{10} \cdot dt = dN \cdot n \cdot \frac{i}{10}$$

Wzrost strumienia magnetycznego powiększy energię jego.

Je wzoru dla A , widzimy, że gdy i jest stałe, a przyrasta tylko N , to:

$$dA = \frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot dN$$

Różnica

$$dN \cdot n \cdot \frac{i}{10} - \frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot dN = \frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot dN$$

Stanowi tę energię, która zamieniła się w pracę mechaniczną wykonaną przez elektromagnes.

Wyraz więc pracy mechanicznej wykonanej przez żyłę, przyciągającą kotwicę, będzie:

$$\frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot dN$$

Jeżeli przyjąć że przy wyrzuceniu kotwicy, rys. 2 strumień magnetyczny będzie N' , a przy wsunięciu N'' , to praca wypadnie:

$$\frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot (N'' - N')$$

Oznaczając przez S przekrój wewnętrz-
nego rdzenia, a przez B'' i B' gęstości
linij magnetycznych przy wsunięciu i
wyrzuceniu rdzenia, otrzymamy:

$$N'' = B'' \cdot S \quad \text{i} \quad N' = B' \cdot S$$

a więc praca wyrazi się wzorem:

$$\frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot (B'' - B') \cdot S$$

Ponieważ stosowanie tego wzoru nie jest
zupełnie ściśle, głównie ze względu na
linje magnetyczne rozproszone, nie obej-
mujące wszystkich zwojów, więc moż-
na założyć $B' = 0$ i stosować nastę-
pujący wyraz dla pracy mechanicz-
nej elektromagnetu, którą oznaczymy
przez A ; (zakładamy $B'' = B$).

$$A = \frac{1}{20} \cdot n \cdot i \cdot B \cdot S$$

Obliczenie elektromagnesu na podstawie powyższego wzoru możnaby przeprowadzić w następujący sposób.

Zatem należy liczyć amperokwojów, która będzie zastosowana w elektromagnecie i największą indukcję B , wtedy z równania dla pracy można obliczyć przekrój rdzenia S , ponieważ praca, jaką ma wykonać elektromagnes musi być zadana.

Mając liczbę amperokwojów, projektujemy zwojnicę tak jak wyżej opisano.

Według zwojniczy i przekroju rdzenia projektujemy części żelazne i wreszcie sprawdzamy, czy magnetyczna siła zwojniczy jest wystarczająca dla pokonania oporu zaprojektowanego obwodu magnetycznego i czy zwojnica ta dostatecznie będzie się ochładzała.

Dla przykładu podaję kilka danych z praktyki. Elektromagnety o pracy: 50 - 200 - 500 i 1000 Rgcm, pochłaniają odpowiednio: 150 - 300 - 400 - 500 watów.

Inne elektromagnesy przy gru-

-18-

Łości szeregowej powietrznej 3 - 2,3 -
5 - 5 mm. wywołują siłę przysia -
gająca: 200 - 1500 - 6500 - 14000 kg.
ciągnąjąc odpowiednio:
60 - 100 - 570 - 1100 watów.

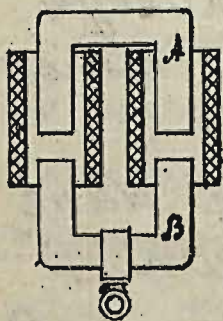


Rozdział II.

Elektromagnety o prądzie zmiennym.

Elektromagnety prądu zmiennego stosują się rzadko. O ile możności należy unikać ich użycia głównie dla tego, że przy tej samej sile przy odsuniętej kotwicy one pochłaniają znacznie więcej energii, niż elektromagnety prądu stałego. Poza to siła przyciągania jest zmienna, więc kotwica drga co częściej jest szkodliwe niż pożyteczne.

Rys. 3.



Często te elektromagnety mają kształt wskazany na rys. 3. Rdzeń A i kotwica B zrobione są z paczek cienkiej blachy (0,3-0,5 mm). żelaznej dla uniknię-

cia prądów wirowych.

Ponieważ gęstość linii magnetycznych jest sinusoidalnie zmienna, więc średnia siła przyciągania kotwicy, która oczywiście nie zależy od kierunku linii magnetycznych i jest proporcjonalna do kwadratu gęstości linii sił, będzie wyrażać się podobnym wzorem jak przy prądzie stałym, tylko zamiast B^2 wypadnie napisać $\frac{\bar{B}^2}{2}$, ponieważ tyle wynosi średnia z kwadratów wielkości B .

Wobec średnia siła przyciągania kotwicy będzie (patrz str. 5.)

$$P = 4,06 \cdot \frac{\bar{B}^2}{2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-8}.$$

Przy elektromagnesach prądu zmiennego ze względu na zmniejszenie strat na prądy wirowe i histerezę, zakładamy indukcję magnetyczną B znacznie mniejszą niż przy prądzie stałym.

Założymy B i mając dane P obliczamy z powyższego wzoru \bar{B} - prze-

^{*)} \bar{B} - oznacza maximum wielkości B .

krój żelaznego rdzenia.

W tym wypadku gdy mamy dany prąd, to możemy postąpić dla dalszego obliczenia podobnie jak to robiliśmy przy elektromagnesach prądu stałego, obliczając amperowoje potrzebne dla pokonania oporu magnetycznego powietrza.

Oznaczmy przez δ - grubość warstwy powietrza z każdej strony w cm.

Wtedy zachowując oznaczenia użyte przy elektromagnesach prądu stałego, otrzymamy:

$$ni = 0,8 \frac{B}{12} \cdot 2\delta.$$

Gdy i - siła prądu.

znając i - obliczymy n .

Przyjmując gęstość prądu koło 1 ampera na mm² znajdziemy przekrój drutu w uwojeniu.

Gdy zaprojektujemy uwojenie, a również wymiary rdzenia i kotwicy, możemy poprawić liczbę amperowoży, dodając te, które są potrzebne dla pokonania oporu magnetycznego żelaza.

Następnie możemy sprawdzić warunki ochładzania się zwojnic, przyjmując pod uwagę oprócz ciepła wytwarzającego się w drutach uzwojenia jeszcze ciepło z powodu histerexy i prądów wirowych powstające w rdzeniu S i w kotwicy B .

Przy $B = 10000$ można liczyć w zwykłym żelazie po 3,27 wata na kilogram żelaza, gdy blacha jest 0,5 mm. gruba i po 2,65 watów na kg., gdy blacha ma 0,35 mm. grubości, żelazo silnie nakszernione (Si - 3-4%) jest odpowiedniejsze, w nim straty są dwa razy mniejsze.

W tym wypadku, gdy mamy dane napięcie prądu na końcówkach uzwojenia elektromagnesu, obliczenie przewodzinny inaczey. Mając przekrój rdzenia S i in-

dukcję maksymalną \bar{B} obliczamy)
strumień magnetyczny

$$\bar{N} = \bar{B} \cdot S'.$$

W przybliżeniu możemy, na razie
przyjąć, że napięcie na końcówkach
zwojnicy równa się sile elektro-
magnetycznej samoindukcji, powstającej
w zwojnicy pod wpływem zmienn-
nego pola.

Ponieważ pole zmienia się sinu-
soidalnie, więc można napisać na-
stępujący szereg wzorów:

$$\mathcal{E}_t = \frac{d\bar{N}}{dt} \cdot n$$

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{N} \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos \frac{2\pi t}{T}$$

$$\mathcal{E}_t = \bar{N} \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot n \cdot \cos \frac{2\pi t}{T}$$

$$\bar{\mathcal{E}} = \bar{N} \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot n$$

$$\mathcal{E} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2}{T} \cdot \bar{N} \cdot n = 2,22 \cdot x \cdot \bar{N} \cdot n$$

albo zakładając — $e = \mathcal{E}$,

$$e = 2,22 \cdot x \cdot \bar{N} \cdot n.$$

Mając ϵ , liczbę zmian prądu na sekundę, x i N , obliczymy n-liczbę zwojów zwojnic.

A z wyboru:

$$n \cdot i_1 = 0,8 \frac{B}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot S$$

Znajdziemy siłę prądu magnesującego i_1 .

Założymy, gęstość prądu koło lampy na 1 mm^2 ,

— obliczymy przekrój drutów i zaprojektujemy zwojnicę, a także rdzeń żelazny i kotwicę.

Mając taki przewidywany projekt, możemy wprowadzić poprawki następujące.

Prąd magnesujący potrzebny jest większy, ponieważ należy dodać amperowozwoje dla pokonania oporu żelaza.

Oprócz prądu magnesującego należy uwzględnić jeszcze prąd roboczy dla pokrycia strat na ogrzewanie drutów i żelaza.

Obliczymy moc zużywającą na ogrzewanie drutów¹⁾ i żelaza, oznaczmy ją

¹⁾ zakładając w przybliżeniu że cały prąd jest i_1

przez w, wtedy prąd roboczy i_2 wy-
znaczymy ze wzoru:

$$i_2 = \frac{w}{e}$$

Prądy i_1 i i_2 dodamy geomet-
rycznie ^{*)}, przyjmując pod uwagę ten
prąd wypadkowy, wyznaczymy warunki
ochładzania się elektromagnesu.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na
to, że, gdy kotwica przyciągnie się,
prąd w zwojnicach zmniejszy się
znacznie, ponieważ niezależnie od od-
ległości kotwicy od rdzenia stru-
mien magnetyczny N pozostaje
prawie stały, wynika to stąd,
że e jest prawie równe \mathcal{E} , a

$$\mathcal{E} = 2,22 \cdot x \cdot n \cdot \bar{P},$$

gdzie $2,22 \cdot x \cdot n$ - jest stała wiel-
kość, przytem zastadamy, że na-
pięcie e - jest stałe.

Jeżeli własność elektromagnesów na-
leży uwzględnić przy sprawdza-
niu warunków ochładzania się.

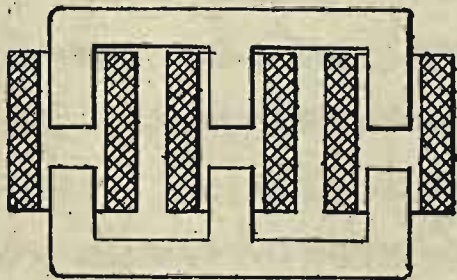
Warunkom ochładzania się po-
danym wyżej (0,1 wata na cm.²)

*) Prądy różnią się o fazie o 90°.

powinny czynić xadość xwojnice tyl-
ko po wciągnięciu rdzenia.

Idy mamy prąd trójfazowy,
stanowiący zwojowanie trzech prą-
dów xmiennych, przesuniętych w
fazie o trzecią część okresu, to
należy budować elektromagnes o
trzech rdzeniach i zasilać każ-
dy rdzeń oddzielną fazą prądu.
(rys. 4). Z tycią doprowadzającą

rys. 4.



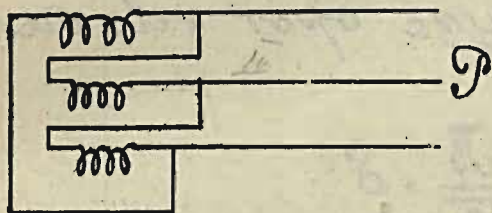
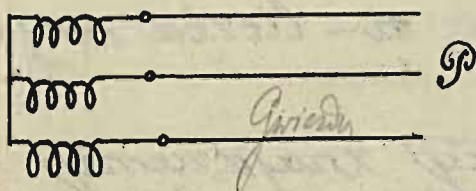
prąd trójfa-
zowy, za po-
mocą trzech
przewodników
możno połą-
czyć xwojnice
elektromagne-
su tak, jak
to jest wka-

zane na rys. 5, lub też tak jak
na rys. 6.

Przy połączeniu według rys. 5

napięcie na każdej zwojnicy będzie $\sqrt{3}$ razy, mniejsze niż między dwoma przewodami sieci.^{x)}

Rys. 5.



Rys. 6.

Sila przyciągająca takiego magnesu będzie się zmieniać daleko mniej niż w elektromagnecie rys. 3, ponieważ χ zmienność indukcji magnetycznej w poszczególnych rdzeniach jest przesunięta w

fazie jedna od drugiej o trzecią część okresu.

Wzór dla siły przyciągającej będzie następujący:

$$P = 4,6 \cdot \frac{B^2}{2} \cdot 3 \cdot S \cdot 10^{-3}.$$

Z tego wzoru, jak poprzednio, znajdziemy S o ile inne wielkości będą dane.

Liczba zwojów poszczególnych zwojnic obliczamy według takiego

^{x)} Patrz dalej rozdział o prądzie trójfazowym.

tegoż wzoru, jak poprzednio

$$e = 2,22 \cdot \lambda \cdot R \cdot n.$$

e - jest to napięcie na końcówkach jednej zwojnicy, a n - liczba zwojów jednej zwojnicy.

Prąd magnesujący znajdujemy przyjmując, że każda zwojnica magnetyzuje swój rdzeń.

A więc opuszczając opór żelaza, wypadnie:

$$n \cdot i = 0,8 \cdot \frac{B}{\sqrt{2}} \cdot \delta$$

δ - jest grubość warstwy powietrza między nieruchomą ramą i rotującą.

Dalsze obliczenia wykonujemy tak samo, jak przy prądzie jednofazowym, stosując je do jednej zwojnicy. Wszystkie zwojnice robią się jednakowe.

Z praktyki mamy następujące dane dla elektromagnesów zasilanych prądem trójfazowym.

Elektromagnesy o pracy: 100 i 500 kgem. posiadają odpowiednio przy wymienionym rdzeniu:

-29-

4000 i 7000 watów (15000 i 40000
woltamperów, bo cyp maty), a przy
wsuniętych rdzeniach : 60 i 200 wa-
tów (300 i 600 woltamperów).

Rodział III.

Dane praktyczne. dot. cząstki izolacji zwojnic.

Ponieważ dla zaprojektowania zwojnicy pierwszy rzędu znaczenie ma przekrój zainstalowany przez izolację, więc podaję tu trochę szczegółowych danych w tej sprawie.

Według Arnolda

Grubość gołego drutu.

w mm. : ——— 0,5 - 1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5,0

Grubość drutu izolowanego bawełną

podwójnie : ——— 0,8 - 1,4 - 2,4 - 3,5 - 4,5 - 5,5

Stosunek przekroju miedzi do przekroju poprzecznego

całej zwojnicy nawiniętej z drutów mających

wyżej podaną izolację : 0,31 - 0,4 - 0,55 - 0,58 - 0,62 - 0,65

Stosunek ^{*)} ten obliczono według wzoru:

$$f = 0,785 \frac{d^2}{d_1^2}$$

d - średnica drutu gołego

d_1 - " " izolowanego

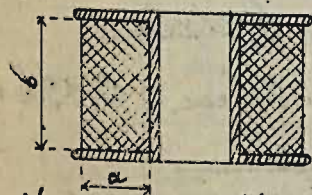
Według Hobarta pewniej jest obliczać według wzoru:

$$f = 0,630 \frac{d^2}{d_1^2}$$

Dla cieńszych drutów mamy jeszcze dane z kalendarza Uppenborna:

Grubość drutu w mm. \backslash f w %	Drut emalowany	Izolacja dwoma warstwami jedwabiu	Izolowany dwoma warstwami bawełny
0,07	48	15	—
0,1	54	22	—
0,15	60	31	14
0,20	54	37	20
0,30	61	47	28
0,40	64	53	34
0,50	67	57	40
0,70	69	62	48
1,00	72	64	54
1,50	73	69	62

rys. 7.



^{*)} Należy mieć na względzie, że ten stosunek f jest liczony dla pola $a \times b$ (rys. 7) z pominięciem pudełka, na które czasem nawija się zwójnica. Wgę jeżeli mamy w zwójnicy (rys. 7) n zwojów, a przekrój gołego drutu wynosi q , to: $f = \frac{q \cdot n}{a \times b}$.

Przykład obliczenia elektromagnesu zasilanego prądem stałym.

Dane $P = 100 \text{ kg.}; \delta = 3 \text{ mm.}$

napiecie prądu $e = 110 \text{ V.}$

Zakładamy $B = 6000 \text{ c.g.s.}$

$$S = \frac{P \cdot 10^8}{4,06 \cdot 2 \cdot B^2} = 34,2 \text{ cm}^2.$$

Magnes ma mieć kształt taki, jak wskazano na rys. 1.

Rolzeń wewnętrzny będzie okrągły, więc jego średnicę - d znajdziemy, że wzoru:

$$\frac{\pi d^2}{4} = 34,2$$

$$d = 6,6 \text{ cm.}$$

Dalej obliczamy amperozwoje zwojniczy:

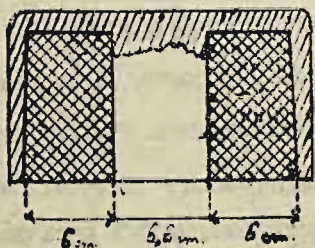
$$ni = 0,8 B \cdot 2 \cdot \delta = 2880$$

Zakładamy (rys. 8) grubość zwojniczy $6 \text{ cm.}^*)$

Wtedy długość średnicy jednego zwoju będzie:

$$l = \pi D = \pi \cdot 12,6 = 39,6 \text{ cm.} = 0,396 \text{ m}$$

Rys. 8



^{*)} Arnold przy obliczeniu zwojniczy magnetyzujących dynamometrów doradza nie brać więcej jak 6 cm., aby nie utrudniać ochładzania się.

nie magnetyzujących dynamometrów doradza nie brać więcej jak 6 cm., aby nie utrudniać ochładzania się.

Dodając $j = 1,5 \text{ A/mm}^2$ i $K = 50$, otrzymamy liczbę zwojów według wzoru:

$$n = \frac{e \cdot K}{j \cdot l} = 9250.$$

$$i = \frac{2880}{9250} = 0,311 \text{ A}.$$

$$q = \frac{i}{j} = 0,208 \text{ mm}^2.$$

Przekrój miedzi w zwojnicy będzie:

$$q \cdot n = 0,208 \times 9250 = 1920 \text{ mm}^2.$$

Przy $q = 0,208 \text{ mm}^2$ goły drut ma średnicę $0,514 \text{ mm}$, stosując więc tablicę Uppenborna otrzymamy cały przekrój zwojnicy z jednej strony:

$$\frac{1920}{0,4} = 4800 \text{ mm}^2 = 48 \text{ cm}^2.$$

Stąd wysokość zwojnicy:

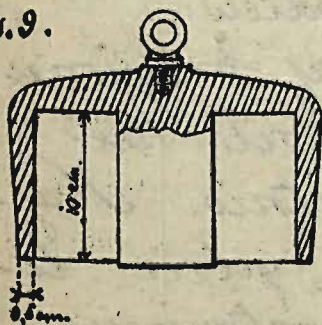
$$\frac{48}{6} = 8 \text{ cm}.$$

Dodając jeszcze pewien procent na zewnętrzną izolację zwojnicy od żelaza przyjmujemy 10 cm . (rys. 9).

Sprawdzamy teraz zwojnice na grzanie się:

Roczna powierzchnia

Rys. 9.



zwojnicy wynosi:

$$\pi \cdot 18,6 \cdot 10 = 584 \text{ cm}^2$$

Liczba watów zamieniających się w ciepło w zwojnicy będzie:

$$110 \times 0,3115 = 34,3 \text{ wata.}$$

Wobec tego liczba watów na 1 cm^2 tej bocznej powierzchni wypadnie:

$$\frac{34,3}{584} = 0,0587.$$

Mając wymiary zwojnicy, zaprojektujemy resztę obwodu magnetycznego.

Grubość ścianek określimy w ten sposób, aby gęstość linii magnetycznych na obwodzie była taka sama jak w środku, a więc aby pole pierścienia stanowiącego zewnętrzny biegur wynosiło $34,2 \text{ cm}^2$.

Obliczając na tej zasadzie grubość ścianki otrzymamy $0,6 \text{ cm}$.

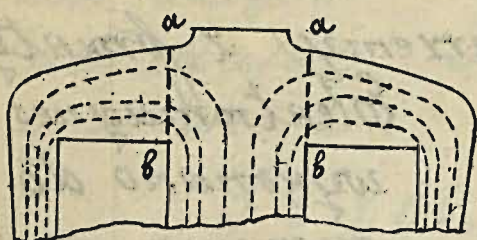
Wyżej możemy ściankę zgrubić ze względu na łatwiejszy odlew.

Grubość górnej pokrywy przyjmujemy taką, aby linie sił nie zgrzeszały się w niej zbyt szybko. Najważniejsze miejsce jest tam, gdzie linie sił przechodzą z wewnętrznego rdzenia do pokrywy i zaginają.

się pod prostym kątem.

Dla obliczenia wybieramy prze-

Rys. 10



krój ab (rys. 10),
mający kształt
bocznej powierzch-
ni cylindra.

Jeżeli oznaczy-
my ab przez

X , to wielkość tej powierzchni będzie:

$$X = \pi \cdot b \cdot b.$$

Przyjmijmy że wyniesie ona $34,2 \text{ cm}^2$,
w takim razie

$$X = \frac{34,2}{\pi \cdot b \cdot b} = 1,65 \text{ cm}.$$

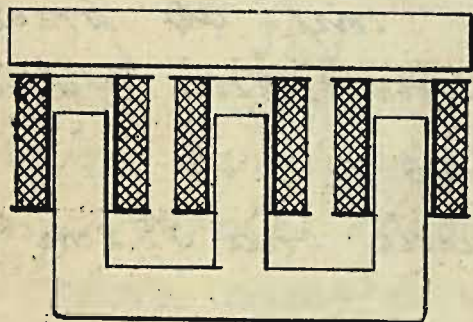
Jeżeli względów mechanicznych możemy
zaokrąglić ten wymiar do 2 cm .

Mając wymiary żelaza, łatwo zna-
leźć długość średniej linii sił mag-
netycznych, która wypadnie około
 42 cm . Przy $B = 6000$ możemy li-
czyć po $2,5$ amperowojów na 1 cm , a
więc na 42 cm wypadnie 105 ampe-
rowojów co stanowi 3% od śred-
nio znalezionej liczby. Odpowiednio
do zwiększonej liczby amperowojów
możemy trochę podwyższyć zwójni-
cę. (Patrz odnośnik po drugim przykładzie.)

Przykład obliczenia elektro- magnesu zasilanego prądem trój- fazowym.

Przykład bierze my z praktyki.

Rys. 11.



Elektromagnes musi
wykonano do po-
ruszania wyłacz-
nika automatycz-
nego przy moto-
rze.

Skok wybrano
4cm.; siła ciągnię-

nia przy wysuniętych rdzeniach ma
wynosić 1,2 kg. Elektromagnes będzie
zasilany z sieci trójfazowej o napię-
ciu 125 V przy połączeniu zwojnic
w gwiazdę, także na każdej zwojnici
ce wypadnie:

$$\frac{125}{\sqrt{3}} = 72,25 \text{ V}$$

Obliczać będziemy jedną zwojnicę,
bo pozostałe dwie są takie same,
jak pierwsza.

Przy obliczeniu zastosujemy porzą-
dek nieco odmienny od tego, który

podany był wyżej dla elektromagnesów
mających zwojnice o małym oporze;
tu wypadnie zastosować zwojnice o opo-
rze dość dużym.

Zanładując $B = 2200$ otrzy-
mamy że wzoru:

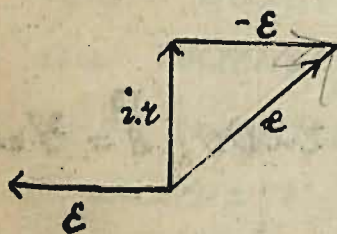
$$P = 4,06 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \frac{B^2}{2} 10^{-8}$$

$$S = 4 \text{ cm}^2.$$

Przekrój więc rdzenia będzie $2 \times 2 \text{ cm}$.
kwadratowy. Dla zmniejszenia prą-
dów wirowych wykonujemy te rdze-
nie z paszek cienkiej blachy żelaznej
i wtedy łatwiej jest wykonać rdzeń
prostokątny.

Ze względu na małą indukcję
w żelazie straty na prądy wirowe
i histerezę będą tu bardzo małe
(mniej niż 0,5 wata na kg.) więc mo-
żemy te czynniki w ob-

Rys. 12.



liczeniu pominać. Wte-
dy można rozważać zwoj-
nice tak, jak rozważa-
liśmy zwojnice bez że-
laza. Na rys. 12

mammy układ wekto-
rów prądu, napięcia i elektro-
magnetycznego.

rycznej, siły samoindukcji. Z tego wy-
kresu wypadła że $iH = \sqrt{e^2 - \varepsilon^2}$,
 ε — możemy wyrazić za pomocą prą-
du w następujący sposób:

z teorii wyżej podanej wiemy, że

$$\varepsilon = 2,22 \cdot z \cdot N \cdot n \cdot 10^{-8},$$

$$\text{a } \bar{N} = \bar{B}' \cdot S.$$

Ponieważ tutaj szczelina powietrzna
jest bardzo szeroka, więc musimy
uwzględnić, że nie wszystkie linie mag-
netyczne przechodzą przez rdzeń ze-
larny wewnątrz zwojnicy, wychodzą
u góry rdzenia.

Na podstawie danych praktycznych
zadaliśmy współczynnik rozproszenia rów-
ny 1,27, wtedy gęstość linii w rdzeniu
będzie:

$$\bar{B}' = 2200 \times 1,27 = 2800.$$

Pozatem również z teorii elektromag-
netów znamy zależność:

$$n \cdot i = 0,8 \frac{\bar{B}}{\sqrt{2}} \cdot S$$

$$\bar{B} \text{ w powietrzu} = 2200; S = 4 \text{ cm.}$$

Wyznaczymy stąd n :

$$n = \frac{0,8 \cdot \bar{B} \cdot S}{i \cdot \sqrt{2}}$$

i podstawmy go w wyraz dla ε wtedy otrzymamy:

$$\varepsilon = 2,22 \cdot z \cdot \bar{N} \cdot \frac{0,8 \cdot \bar{B} \cdot \bar{S}}{i \cdot \sqrt{2}} \cdot 10^{-8}$$

$z = 100$ liczba zmian prądu na sekundę; inne litery mają również wartości nam znane, które przytoczyłem wyżej, za wyjątkiem ε i i więc z tego wzoru obliczymy:

$$\varepsilon = \frac{123,7}{i}$$

Siłę prądu i zakładamy 2 A. wtedy:

$$\varepsilon = 61,8 \text{ V}$$

Znając e i ε , obliczamy $i \cdot r$:

$$i \cdot r = \sqrt{(72,2)^2 - (61,8)^2} = 37,3 \text{ V}$$

$$r = \frac{37,3}{2} = 18,6 \Omega$$

Przekrój drutu znajdziemy zakładając gęstość prądu $5,5 \text{ A/mm}^2$.

Przyjmujemy ten duży ze względu na to, że wyżej podany prąd przepływa tylko bardzo krótko, do po przyciągnięciu rdzeni przez górne jarzmo m. j. su opór magnetyczny zmniejsza się bardzo znacznie i dla wywołania strumienia magnetycznego wystarczy znacznie mniej amperohiwów. Wielkość strumienia

niewiele wzrasta przy wsuwaniu się rdzeni; więc q określi się jako $q = \frac{2}{5,5} = 0,364$.

Następnie znajdziemy liczbę zwojów zwojnicy według wzoru:

$$n = \frac{0,8 \cdot \bar{B} \cdot \delta}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{0,8 \cdot 2200 \cdot 4}{2 \cdot \sqrt{2}} = 2500.$$

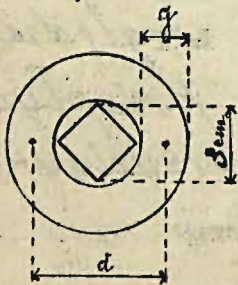
Mając przekrój jednego drutu i liczbę drutów, znajdziemy łatwo przekrój zwojnicy z jednej strony, uwzględniając że przy takiej grubości drutu jak powyższa połowę przekroju zajmuje izolacja.

Przekrój zwojnicy wyniesie:

$$\frac{0,55 \cdot 2250}{0,5} = 2490 \text{ mm}^2$$

Z wyrazu dla oporu drutu obliczymy przeciętną długość jednego zwoju:

Rys. 13.



$$r = \frac{n \cdot l}{k \cdot q},$$

$$l = \frac{r \cdot k \cdot q}{n},$$

$$r = 18,6; k = 55;$$

$$q = 0,364; n = 2500$$

$$\text{więc: } l = 20,5 \text{ cm.}$$

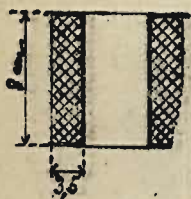
Przeciętna średnica zwojów (rys. 13) będzie:

$$d = \frac{20,5}{3,14} = 6,55 \text{ cm. } ^*)$$

Ponieważ wewnętrzna średnica zwojnicy jest 3 cm, więc grubość nawinięcia φ będzie: $6,55 - 3 = 3,55 \text{ cm.} \sim 35 \text{ mm.}$

Cale pole przekroju abcd - rys. 14 według poprzedniego obliczenia wynosi 2490 mm^2 więc wysokość zwojnicy będzie:

Rys. 14.



$$\frac{2490}{35} = 71,4 \sim \underline{80 \text{ mm.}}$$

Moc prądu doprowadzonego do zwojnicy wyniesie:

$$2^2 \cdot 18,6 = 74,4 \text{ wata.}$$

powierzchnia boczna zwojnicy

$$\pi \cdot 10 \cdot 8 = 251 \text{ cm}^2$$

na 1 cm^2 wypadnie watów:

$$\frac{74,4}{251} = \underline{0,29\%} . -$$

Jest to wielkość dość znaczna, ale obawiać się zbytniego grzania się zwojnic nie należy, ponieważ powyższy prąd jest bardzo krótkotrwały.

^{*)} W praktyce nieraz robią zwojnice rzadziej przylegającą do rdzenia - kwadratową, ale to nie obliczenie istotnie nie wpłynie.

Edy wymiary zwojnic zostały wyznaczone, projektujemy części żelazne elektromagnesu stosownie do szkicu na rys. II, mając na względzie warunki mechaniczne. —

Odnosząc do przykładu pierwszego: Ze względu na pewność działania w różnych okolicznościach liczbę obliczoną amperozwojów można powiększyć od $1\frac{1}{2}$ do 3 razy naprz. przez zwiększenie gęstości prądu lub całej zwojnicy).

Rozdział IV

Prądnice

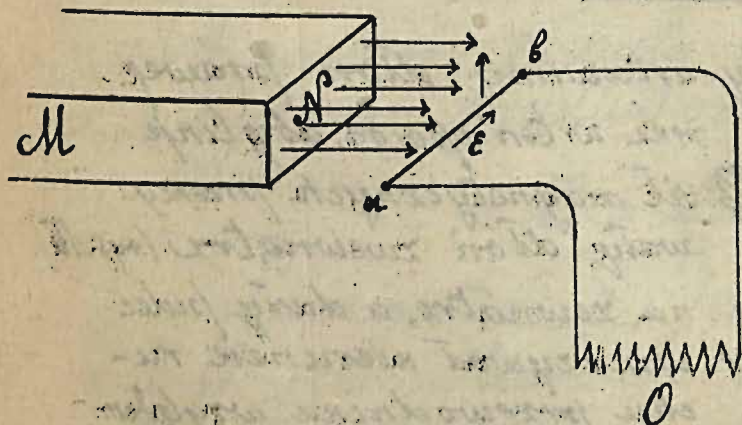
Wiadomości podstawowe.

1. Zasada budowy prądnicy.

Prądnica nazywana maszyną, służącą do przetwarzania pracy mechanicznej w pracę prądu elektrycznego.

Budowa maszyn tego rodzaju oparta jest na zjawisku indukcji prądów przy względnym ruchu przewodników i linii pola magnetycznego.

Rys. 15.



W tych warunkach praca wykonana przy ruchu

zamienia się na pracę prądu.

Na rys. 15 wskazany jest układ uwidaczniający zasadę działania prądnicy. M - magnes, ab - przewodnik, poruszający się w polu magnesu M .

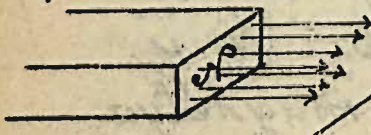
Obwód przewodnika ab jest zamknięty przez opór R . Przy ruchu przewodnika do góry, w nim powstaje elektromotoryczna siła indukcji skierowana od a do b zgodnie z prawem indukcji. ^{x)}

Pod wpływem tej siły elektromotorycznej powstaje w obwodzie prąd.

Pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem hamując ruch tego przewodnika w polu; siła więc działania mechanicznego pola na przewodnik skierowana jest odwrotnie do kierunku ruchu przewod-

^{x)} Reguła dłoni: gdy ustawimy, dłoń prawej

Rys. 16.



ręki w ten sposób, aby linie sił magnetycznych przerzywały, dłoń zewnątrz (rys. 16).



na zewnątrz, a duży palec wskazywał kierunek ruchu przewodnika względem

linii sił magnetycznych, to reszta wyprostowanych palców wskaże kierunek siły elektromotorycznej indukcji.

nika w polu (na rys. na dół).

Dla utrzymania przewodnika w ruchu jednostajnym przyspieszamy do przewodnika siłę równą siłę hamującej, działającą w kierunku ruchu (na rys. do góry).

Praca tej siły poruszającej zamienia się w pracę prądu.

Oznaczmy:

przez F — siłę poruszającą,

" S — drogę przebytą przez punkt przyśpieszenia siły w kierunku siły,

" \mathcal{E} — siłę elektromotoryczną,

" \mathcal{Y} — siłę prądu,

" R — całkowity opór obwodu,

" t — czas, w ciągu którego punkt przyśpieszenia siły F prze-
szedł drogę S i

i założmy że w ciągu tego całego czasu t wielkość \mathcal{E} była stała.

Wielkość prądu \mathcal{Y} określi się prawem Ohma:

$$\mathcal{Y} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Ponieważ \mathcal{E} jest stałe więc i \mathcal{Y} jest stałe. Według prawa zachowania energii dla zja-

wiska indukcji wypadła :

$$F \cdot l = \epsilon \cdot I \cdot l$$

Silę F możemy wyrazić wchorem ; oznaczając długość przewodnika w polu magnetycznym przez l , a indukcję magnetyczną pola przez B i zakładając, że przewodnik jest prostopadły do linii sił magnetycznych, wtedy według prawa elektrodynamiki wypadnie :

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

Z powyższych dwóch wchorów

$$\epsilon = B l \frac{v}{l}$$

$\frac{v}{l}$ - jest szybkość ruchu, oznaczamy ją przez v , wtedy :

$$\epsilon = B \cdot l \cdot v^*)$$

Z tego wchoru widzimy, że wielkość siły elektromotorycznej w prądnicach zależy od trzech czynników :

*) Gdy B mamy w bezwzględnych jednostkach, l w cm., v w $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$, to ϵ wypadnie w bezwzględnych jednostkach; dla otrzymania w woltach trzeba pomnożyć przez 10^{-8} .

1. Od pola magnetycznego, czyli ściślej od wielkości indukcji magnetycznej w polu, albo gęstości linii magnetycznych.
2. Od długości przewodnika przecinającego linie.
3. Od szybkości ruchu przewodników względem linii sił magnetycznych.

Wszystkie te trzy czynniki są niezmiennie w czasie, to wielkość siły elektromotorycznej \mathcal{E} jest stała.

Praca mechaniczna dostarczona prądnicą przy stałej sile elektromotorycznej jest zależna od prądu.

Wzór: $F \cdot s = \mathcal{E} \cdot I \cdot t$ wskazuje, że im silniejszy prąd daje prądnicą, tem większą pracę jej wypadła dostarczyć, zwiększenie pracy przy stałej szybkości ruchu odbywa się przez wzrost siły F , która jest, jak wiadac z jednego z poprzednich wzorów, proporcjonalna do prądu.

Wprowadzimy we wzór dla pracy opór obwodu, podstawiając zamiast I wyraz $\frac{\mathcal{E}}{R}$, wtedy otrzymamy:

$$F.s' = \frac{\varepsilon^2}{R} \cdot 4.$$

Z tego widać wyraża, że przy R bardzo małej praca dostarczona jest bardzo duża, a charakter przy $R = \infty$, gdy obwód jest przerwany, praca równa się zero. Przy przerwany obwodzie oczywiście prąd nie daje prądu; wtedy dla poruszania prądu nie trzeba żadnej pracy (oczywiście pomijamy tu wszystkie opory tak zwane szkodliwe, które zawsze istnieją).

Przewodnik albo poruszający się w polu magnetycznym stanowi tak zwany - wewnętrzny obwód dynaminy, a opór O i przewodniki łączące - obwód zewnętrzny. Rys. 15.

Przez zmniejszenie oporu obwodu zewnętrznego sprawiamy wzrost prądu czyli jak zwykle mówimy obciążamy dynaminę. Przy wzroście prądu zwiększa się siła oddziaływania pola magnetycznego na przewodnik z prądem i hamująca ruch; dla zachowania ruchu jednostajnego musi być odpowiednio zwiększona

siła poruszająca, a więc i praca dostarczona do dynamomaszyny.

Największe obciążenie jakie można dać prądnicę zależy od wytrzymałości części mechanicznych, przenoszących siłę kręcącą i od temperatury jaką osiągną przewodniki prowadzące prąd. Znaczenie wytrzymałości mechanicznej jest łatwo zrozumiałe. Co się zaś tyczy temperatury, to należy wyjaśnić, że w prądnicach zawsze są straty energii, które przejawiają się jako ciepło, ogrzewające prądnicę. Im większe jest obciążenie tem większe są straty i większa ilość ciepła powstającego w prądnicach. Najbardziej wrażliwa na ciepło w prądnicach jest izolacja przewodników; więc prądnicą przestaje działać prawidłowo, gdy temperatura podniesie się do tego stopnia, że psuje się izolacja.

Z rys. 15 widzimy, że każda prądnicą ma dwie części zasadowe: magnety, wytwarzające pole i przewodniki, w których powstaje siła elektromotoryczna indukcji. Te przewodniki łączymy z częściami maszyny.

na których one są umieszczone nazy-
wamy twornikiem. A więc każda
prądnicą składa się z magnesów (czyli
elektromagnesów) i twornika. W dal-
szym ciągu rozważymy kilka cha-
rakterystycznych stosowanych w prak-
tyce wypadków budowy prądnic
na razie w ogólnych zarysach.

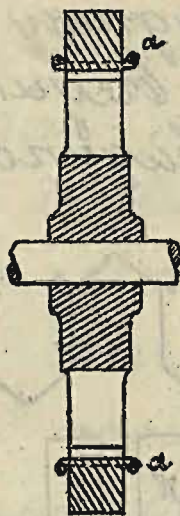
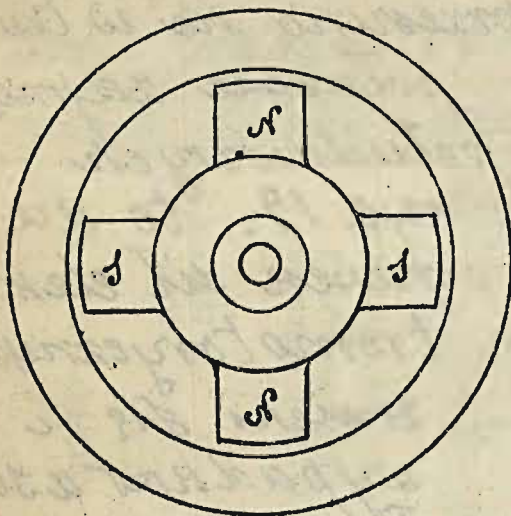
2. Prądnicą z nieruchomym twornikiem.

Są dwa układy prądnic te-
go rodzaju. W pierwszym elektro-
magnesy stanowią koło ^(rys. 17) na obwo-
dzie którego są osadzone biegu-
ny namagnesowane różnoimiennie
za pomocą ichwojów umieszczonych
na rdzeniach biegunowych. Twor-
nik nieruchomy ma kształt pier-
ścienia, na wewnętrznej powierzchni
którego ułożone są przewodniki (a)
połączone między sobą w ten spo-

śób jak wskazuje na rys. 18.

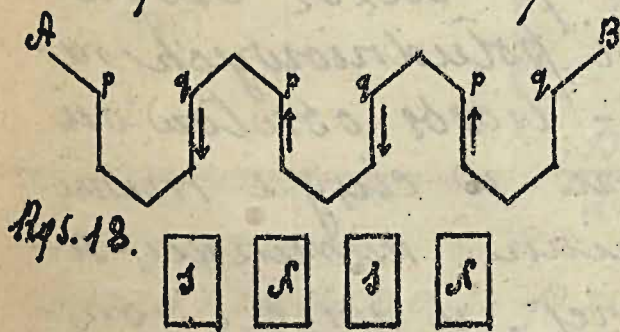
Rys. 17.

Su-
mag-
net,
obra-
caj-
się we-
wnętrz-
nicu-
chome-
go twor-
nika,
to w



przewodnikach twornika pos-
tują siły elektromotoryczne,
które dodają się ze względu na
odpowiednie połączenie. Na rys. 18^a

jest przedstawio-
na chwila, gdy
przewodniki ox-
naczone literą p
znajdują się nad

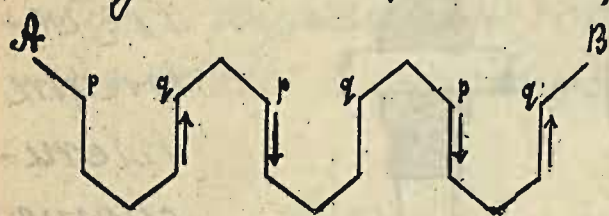


położonymi biegunami, i siła elektro-
motoryczna jest w nich skierowana do
góry, natomiast we wszystkich prze-

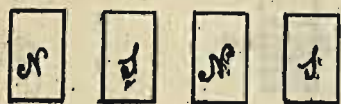
Na rys. 18. 19 widzimy rozwinięcie wewnętrznej po-
wierzchni pierścienia twornika i schematycznie oznaczone
bieguny, które naprawdę znajdują się pod drutami twornika.

wodniakach q - na dot. Wypadkowa siła elektromotoryczna będzie skierowana od B do A .

Gdy magnesy przesuną się w ten sposób, że bieguny północne zajmą miejsca biegunów południowych



Rys. 19.



rys. 19. to kierunek sił elektromotorycznych zmieni się i wypadkowa siła elektro-

motoryczna będzie skierowana od A do B . Wypada więc stąd, że otrzymamy w zwojach twornika siłę elektromotoryczną zmienną.

Oznaczmy przez p - liczbę biegunów północnych i południowych razem, a przez n - liczbę obrotów wirnika z elektromagnesami w ciągu minuty, to liczbę zmian kierunku siły elektromotorycznej, a więc i prądu w tworniku obliczymy w następujący sposób:

Siła elektromotoryczna w tworniku zmienia swój kierunek za każdym razem, gdy elektromagnesy

przekraczają się o kąt odpowiadający odległości pomiędzy dwoma przyległymi biegunami; liczba takich kątów przy jednym obrocie oczywiście jest równa liczbie biegunów - p . Wobec tego w ciągu jednego obrotu prąd w tworniku zmieni się p -razy, a w ciągu minuty $p \cdot n$ razy. Zaxwycxaj liczymy zmiany w ciągu jednej sekundy, w tym czasie będzie ich oczywiście 60 razy mniej t.j. $\frac{p \cdot n}{60}$.

Przy prądach zmiennych zamiast liczby zmian obliczamy nieraz liczbę okresów licząc po dwie zmiany na jeden okres.

Okresów więc wypadnie na sekundę:

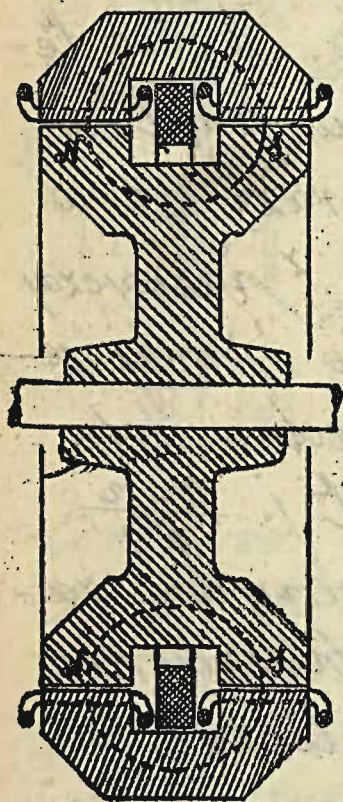
$$\frac{p \cdot n}{2 \cdot 60}$$

Przykład: $p = 4$; $n = 1500$;

$$\frac{p \cdot n}{2 \cdot 60} = \frac{4 \cdot 1500}{2 \cdot 60} = 50.$$

Drugi rodzaj prądnic x nieruchomym twornikiem przedstawiony jest na rys. 20. Twornik ma tu kształt

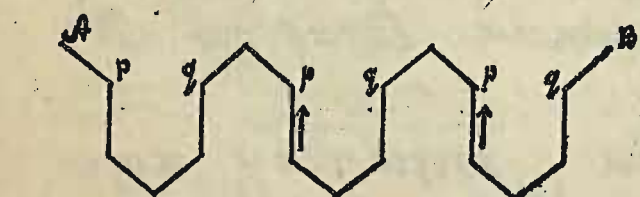
Rys. 20.



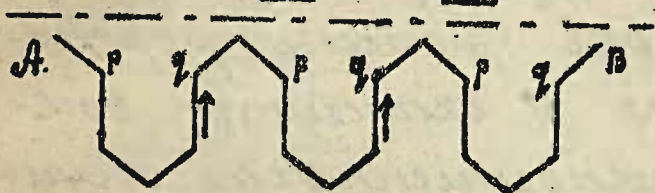
dwóch pierścieni umieszczonych obok siebie, na wewnętrznej powierzchni tych pierścieni są umieszczone dwa zupełnie jednakowe uwojenia, takie same jak w prądniccy poprzedniej. Mamy więc tu dwa niezależne tworniki. Część ruchoma prądniccy stanowią dwa koła biegunowe umieszczone na jednej osi

i ściśle stykające się ze sobą lub też stanowiące jednolity odlew żelazny. Wszystkie bieguny jednego koła są naprz. północne, a drugiego południowe; dla wywołania takiego stanu magnetycznego znajduje się pomiędzy twornikami zwojnica, której wewnętrzna średnica jest mniej więcej równa wewnętrznej średnicy pierścieni twornikowych. Zwojnica ta

jest nieruchoma. Prąd w tej zwojnicy wytwarza pole magnetyczne, średnia linia sił tego pola podana jest na rysunku jako linia przerywana. Układ biegunów względem drutów twornika widzimy na rys. 21 i 22. Gdy druty p znajdują się nad biegunami, to druty q wypadają między nimi.



Rys. 21.



Rys. 22.

w drutach xaj q niema ich prawie wcale.^{x)} Wypadkowa siła elektromotoryczna będzie zgodna co do kierunku z siłami elektromotorycznymi w drutach p; na rys. 21 kierunek

x) W rzeczywistości są tam elektromotoryczne siły tego samego kierunku (na rys. do góry) co i w drutach p. pod wpływem linii sił przebiegających w przerwie między biegunami, ale te siły elektromotoryczne są znacznie mniejsze, bo tu jest mniejsza indukcja magnetyczna.

jej będzie od B do A.

Gdy bieguny przesuną się w prawo tak, że ich położenie będzie takie, jak wskazuje na rys. 22, to znaczne siły elektromotoryczne powstaną w drutach α i wypadkowa siła elektromotoryczna będzie skierowana teraż od A do B.

Ten układ brzdnicy daje prąd zmienny. Liczba zmian na sekundę wyrazi się tym samym wyrazem, który był podany poprzednio, jeżeli przez p oznaczymy podwojną liczbę jednoimiennych biegunów na każdym kole biegunowym.

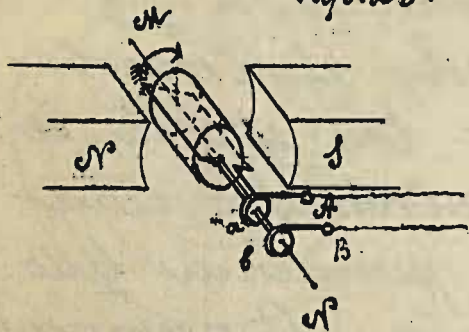
Obecnie są najwięcej w użyciu brzdnice pierwszego rodzaju z jednym kołem biegunowym i zwojniami na każdym biegunie.

3. Brzdnica z ruchomym twornikiem i pierścieniami.

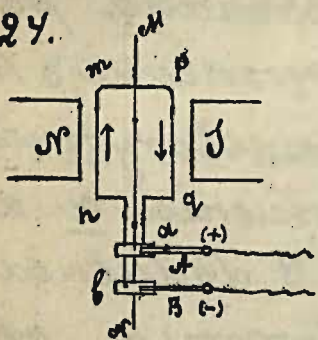
Zasada budowy i działania brzdnic z ruchomym twornikiem

i pierścieniarni uwidocznioma jest na rys. 23, 24 i 25. Pomiaru, biegunami N , S elektromagnesu obraca się wa-

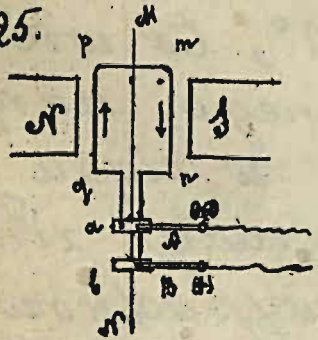
Rys. 23.



Rys. 24.



Rys. 25.



lec, na powierzchni którego znajdują się przewodniki połączone w jeden obwód.

Koniec tego obwodu łączy się z pierścieniami a i b (rys. 24) w ten sposób, że koniec drutu q jest połączony z pierścieniem a , a koniec drutu r tylko z pierścieniem b . Wałek z drutami stanowi twornik

obracający się koło osi MN . Na pierścieniach ślizgają się szczotki A i B , za pomocą których odprowadza się prąd z twornika do obwodu zewnętrznego. Przy obracaniu się twornika pomiędzy

biegunami w drutach powstają siły elektromotoryczne. Kierunek tych sił, jest wskazany na rys. 24 i 25.

Na rys. 24 gdy drut mn znajduje się pod biegunem północnym, a py pod południowym siły elektromotoryczne dodają się w ten sposób, że wypadkowa siła elektromotoryczna jest skierowana od pierścienia b do a (szczotka A dodatnia, B-ujemna)

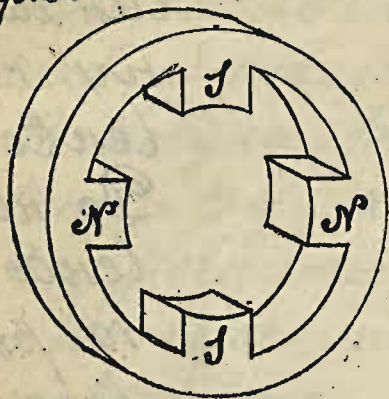
Na rys. 25, który odpowiada położeniu twornika przekręconemu o 180° , wypadkowa siła elektromotoryczna jest skierowana od pierścienia a do pierścienia b (szczotka B dodatnia, A-ujemna). Gdy twornik obróci się jeszcze o 180° , to wróci do położenia wskazanego na rys. 24.

Ład wypadka, że w ciągu jednego obrotu dwa razy zmienia się kierunek wypadkowej siły elektromotorycznej, względem szczotek A, B.

Jeżeli ten sam twornik będzie obracać się w polu magnetycznym utworzonym przez kilka biegunów rys. 26, to kierunek pra-

du zmiany się tyle razy w ciągu jednego obrotu, ile jest biegunów.

Rys. 26.



Liczba zmian prądu w ciągu sekundy określi się wzorem takim samym jaki był podany na str. 53 — $\frac{p \cdot n}{60}$.

p - liczba biegunów nieruchomych elektromagnesów, n - liczba obrotów na minutę twornika.

Liczba okresów na sekundę będzie

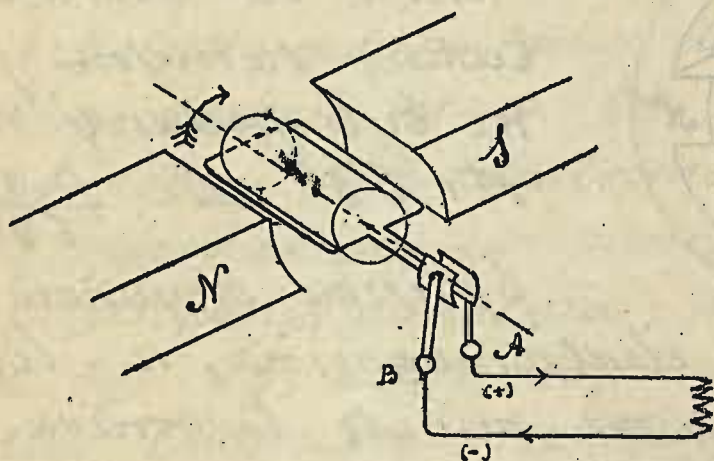
$$\frac{p \cdot n}{2 \cdot 60}.$$

4. Prądnica z kolektorem.

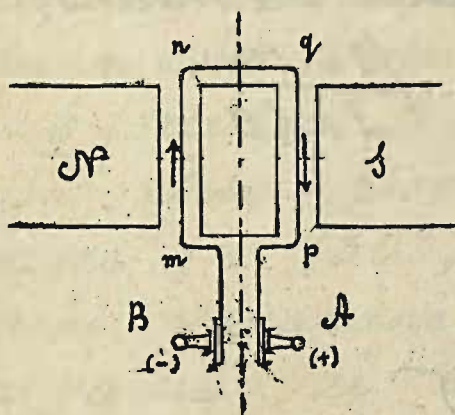
Prądnice opisane w poprzednich rozdziałach dają prąd zmienny. Dla otrzymania prądu stałego płynącego w kierunku obwodzie zawsze w jednym kierunku można zastosować prądnicę przedstawioną na rys. 27

zastępując tylko pierścienie dworna
płytkami zgierzeni w kształcie kory-
tek, rys. 28. Te płytki stanowią

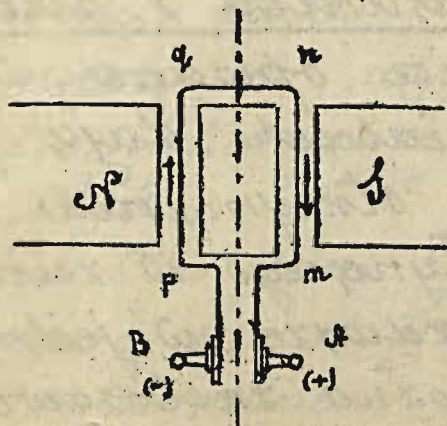
Rys. 27.



Rys. 28.



Rys. 29.



tak zwa-
ny ko-
lktor.

Do ko-
lento-
ra przy-
legają
nieu-
chodne
szczot-
ki A i B,

do któ-
rych
przy-
łącza-
ją ob-
wód

zewnąt-
ny.

Por-
ówna-
jąc dwa
poło-

żeńia twornika rys. 28 i rys. 29 wi-

drim, że pozmimo zmian, kierunku siły elektromotorycznej w drutach twornika zawsze A zawsze jest dodatnia, a B ujemna ponieważ w położeniu na rys. 28 szczotka A dotyka płytki połączonej z drutem pq , a na rys. 29 dotyka płytki połączonej z drutem m .

W tych warunkach siła elektromotoryczna twornika wytwarza prąd płynący w obwodzie zewnętrznym zawsze od A do B .

W prądnicach mających zastosowanie w praktyce, na tworniku jest dużo zwojów drutu i znaczna liczba zębów kolektora.

5. Prądnice unipolarne.

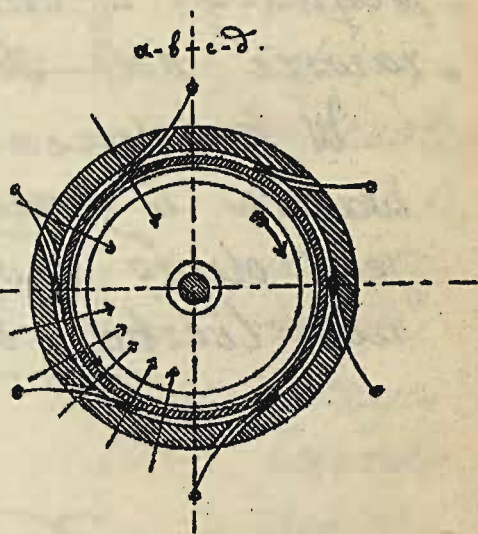
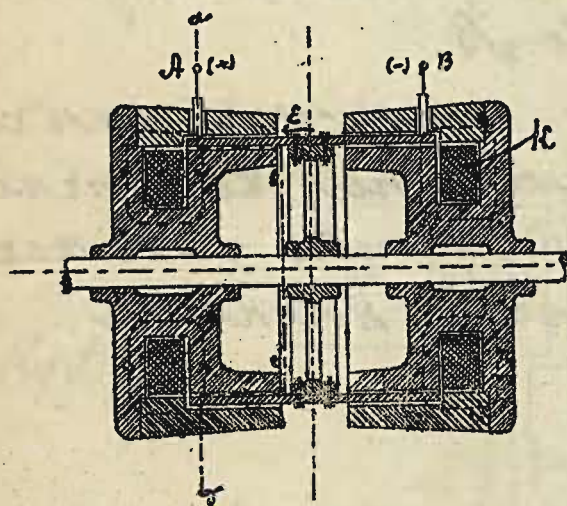
Prąd stały można otrzymać jeszcze, stosując urządzenie twornika innego rodzaju bez kolektora. Dwie są zasadnicze odmiany tworników bez kolektora, wytwarzających prąd stały.

Pierwsza odmiana polega na zastosowaniu walca lub tarczy, które obracają się w polu magnetycznym o jednorównym kierunku linii magnetycznych na całym obwodzie, stąd nazwa tych prądnic unipolarne (jednobiegunowe).

Na rys. 30 widzimy układ cylindryczny. Zwojnica magnesująca

Rys. 30.

Rys. 31.



k dużej średnicy wywołuje pole magnetyczne, którego średnica linij jest wznazana linią przerywaną na rys. 30. Na rys. 31 widzimy że w szczelinie pomiędzy dwoma powierzchniami cylindrycznymi, stanowiącymi powierzchnie biegunowe elektromagnesów, linie magnetyczne

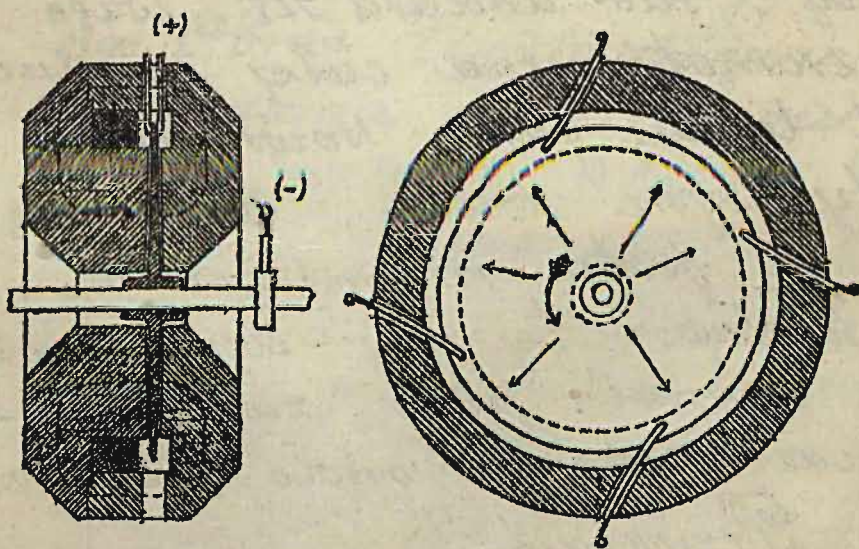
są skierowane naprz. do osi.

W tej szczelinie porusza się bęben miedziany, w którym powstaje siła elektromotoryczna w kierunku równoległym do osi wlewo. Szczotki A i B umieszczone na brzegach walca odprowadzają prąd. Gdy chodzi o odprowadzenie prądu silnego ustawiamy na każdym brzegu po kilka szczotek, rozłożonych w równych odstępach na całym obwodzie.

Na rys. 32, 33 przedstawiona jest prądnica tarczowa. Tutaj pole mag-

Rys. 32.

Rys. 33.



netyczne wytworzone prądem zwojnic k, k . w szczelinie pomiędzy dwo-

ma pionowemi pierścieniowemi powierach-
niaimi ma linje magnetyczne zmicro-
wane równoległe do osi wzdzie w
jedną stronę. W tym polu obra-
ca się twornik w kształcie tar-
czy zrobiony ze stali. Przy obro-
cie tej tarczy powstają siły elek-
tromotoryczne w kierunku promieni
naprz. od osi. Prąd odprowadza
się za pomocą szczotek ustawionych
na obwodzie i na osi.

Opisane tu prądnice mają tę cha-
rakterystyczną cechę, że twornik nie-
ma uzwojenia, i poszczególne siły
elektromotoryczne, powstające w tym
tworniku, stanowią układ równo-
legły, nie dodają się, więc siła
elektromotoryczna całej prądnicy
jest taka, jaka powstałaby w po-
jedynczym drucie, poruszającym
się w polu magnetycznem.

Wielkość tej siły elektromotorycz-
nej wynosi przy zwykłych szyb-
kościach obrotu około kilku woltów.

Przykład:

$$B = 10000. \quad v = 2000 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}. \quad l = 40 \text{ cm.}$$

$$E = 10000 \cdot 2000 \cdot 40 \cdot 10^{-8} = 8 \text{ V.}$$

Stosując szybkości bardzo duże można osiągnąć kilkadziesiąt woltów:

Przykład: $B = 18000$; $v = 6000 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$; $l = 55 \text{ cm}$.

$$E = 18000 \cdot 6000 \cdot 55 \cdot 10^{-8} = 60 \text{ V.}$$

Opisane tu maszyny praktycznego zastosowania obecnie nie mają; szczególną trudność techniczną przedstawia osiągnięcie trwałego kontaktu pomiędzy szcztką i zewnętrznym obwodem tarczy.^{*)}

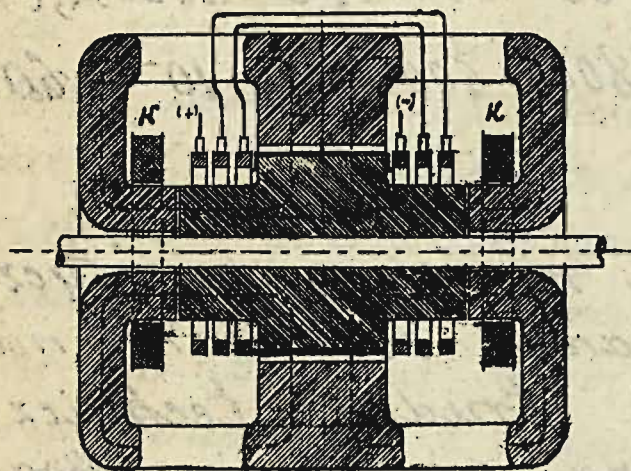
Pradnice unipolarne stosowane w praktyce Amerykańskiej, zbudowane według patentu Noeggerath'a mają na bębnie twornikowym ułożenie składające się z szeregu przewodników w kształcie sztab.

Wszystkie sztaby umocowane są na bębnie rys. 34 równoległe do osi i podzielone na kilka grup (rys. 35) — A, B i t.d. Każda grupa z jednego i z drugiego końca bębna jest

*) Patrz Przegląd techn. № 29 z roku 1911, str. 386.

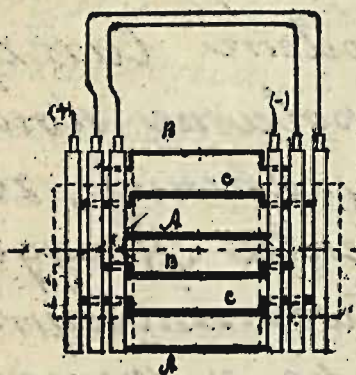
połączona razem pierścieniem metalowym. Twornik obraca się w polu magnetycznym wy-

Rys. 34.



tworzonym przez prąd, płynący w zwojniciach k, k. Linje sił tego pola przecinają powierzchnię cylindryczną twornika w kierunku prostopad-

Rys.



35.

łym do osi na całym obwodzie w jedną stronę.

Gdy twornik obraca się w takim polu magnetycznym na wszystkich sztabach powstają siły elektromotoryczne skierowane w jedną stronę, wobec tego napręż. wszystkie pierścienie z lewej strony (rys. 34) bę-

da dodatnie, a z prawej ujemne. Na pierścieniach opierają się szczotki, które łączą się pomiędzy sobą w ten sposób, że siły elektromotoryczne dodają się.

Tego rodzaju prądnice budują się obecnie do napięć wynoszących 500 woltów przy 3000 obrotach na minutę.

Wogóle prądnice unipolarne stanowią obecnie przedmiot prób w wielu zakładach budowy maszyn elektrycznych, w celu przystosowania ich do popędu za pomocą turbin parowych.

6. Wzbudzanie prądnic.

Dla całokształtu wyobrażenia o zasadach budowy i działania prądnic trzeba jeszcze zwrócić uwagę na sposoby wytwarzania pola magnetycznego wzbudzającego siły elektromotoryczne w tworniku.

Pierwsza prądnicą miała magnesy stałe obecnie wywoływanie pola magnetycznego za pomocą magnesów stałych stosowane jest tylko w małych prądnicach przy urządzeniach sygnalizacyjnych, w zapalnicach silników spalinowych i t.d.

Tego rodzaju prądnice często nazywamy maszynami magneto-elektrycznymi.

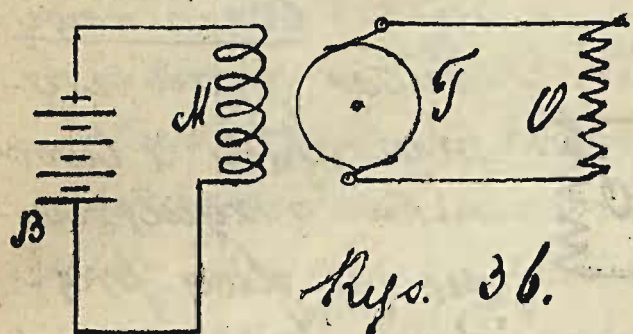
Zwyczajne prądnice, stosowane do oświetlenia elektrycznego i przenoszenia siły, mają pole wytworzone za pomocą elektromagnesów. Elektromagnesy wytwarzają pole o znacznie większym natężeniu niż magnesy stałe.

Prądnice z elektromagnesami często nazywamy dynamo maszynami. Elektromagnesy dynamo maszyn mają biegunowość stałą, więc muszą być zasilane prądem stałym. Płynącym zawsze w jednym kierunku. Wywoływanie pola magnetycznego za pomocą prądu elektrycznego wprowadzonego do elektromagnesów nazywamy zachwycem.

wzbudzaniem prądu.

Prąd do elektromagnesów może być dostarczany z obcego źródła wtedy mówimy że prądnicą ma wzbudzenie postronne.

Na rys. 36 widzimy schematycznie pokazany



Rys. 36.

układ obwodów takiej prądnicy. T - twornik, W - obwód zewnętrzny, M - uzwojenie elektromagnesów,

B - bateria akumulatorów, dostarczająca prądu do elektromagnesów. Zamiast baterji można umieścić dynamomaszynę prądu stałego.

Postronne wzbudzenie stosuje się zazwyczaj do prądnic prądu zmiennego. Gdy uzwojenie elektromagnesów jest ruchome, rys 17, to doprowadzenie prądu magnesującego odbywa się za pomocą pierścieni i szczotek.

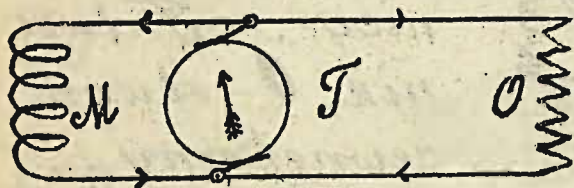
Prądnice prądu stałego najczęściej są samowzbudne. Do tego

magnesów doprowadza się prąd twor-
nika.

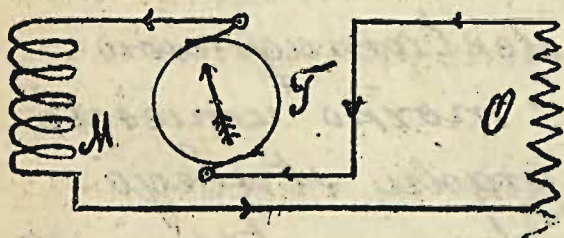
Ta trzy układy połączeń twornika z elektromagnesami.

Na rys. 37 widzimy układ połączeń

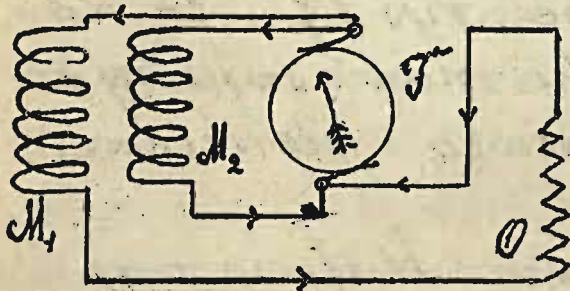
Rys. 37.



Rys. 38.



Rys. 39.



w ten sposób prąd-
nicę dozwolonej.
Tutaj prąd wy-
pływający z twor-
nika rozgałęzia
się na dwa proz-
ty. Jeden prąd,
który płynie przez
ukwienie elektro-
magnesów i drugi
po obwodzie zew-
netrznym.

Na rys. 38 ma-
my układ po-
łączeń prądnic
szeregowej (inaczej
głównikowej). Tu-
taj prąd płyną-
cy do obwodu
zewnątrznego cały

przechodzi również przez zwoje elektro-
magnesów, — cały układ stanowi jeden

nierozdzielny obwód.

Wzrzuć na rys. 39 wznaną jest układ rotacyjnej prądnicy o podwojnym wzbudzeniu. Na elektromagnetykach są dwa uzwojenia. M_1 - uzwojenie, tak zwane, główkowe, połączone w szeregu z twornikiem i M_2 - uzwojenie bocznikowe, połączone z twornikiem równolegle. Prąd wypływający z twornika dzieli się na dwa prądy: jeden płynie przez uzwojenie bocznikowe elektromagnetyków M_2 i drugi przepływa przez uzwojenie szeregowy elektromagnetyków i obwodzie zewnętrznym.

Tego rodzaju prądnice nazywamy prądnicami bocznikowo-szeregowymi.

Zasada samowzbudzenia prądnicy była wynaleziona przez Wernera Siemens'a i Wheatsona jednocześnie.

Na szczególną uwagę zasługuje powstawanie prądu w samowzbudzającej się prądnicy, gdy ją ruszamy w ruch.

W pierwszej chwili niewielką siłę elektromotoryczną wywołuje ruch

nowe pole magnetyczne, znajdujące się zawsze w pobliżu żelaza, które kiedykolwiek było magnesowane. (Wydrukowych rachach z powodu wstrząśnienia przy przewożeniu szcztakowy magnetyzm może ulec bardzo znacznemu osłabieniu). Gdy obwód uzwojenia elektromagnesu jest zamknięty, w obwodzie tym pod wpływem niewielkiej siły elektromotorycznej, twornika powstaje prąd wzmacniający szcztakowy magnetyzm, przez co powstaje silniejsze pole magnetyczne; pole to wywołuje w tworniku większą siłę elektromotoryczną, która wytwarza silniejszy prąd magnetyzujący i t.d. Zmniejszająca się stopniowo przenikliwość magnetyczna żelaza stawia kres wzrostowi pola i siły elektromotorycznej, ponieważ tym samym przyrostom prądu magnetyzującego odpowiadają stopniowo — coraz mniejsze przyrosty indukcji magnetycznej w polu.

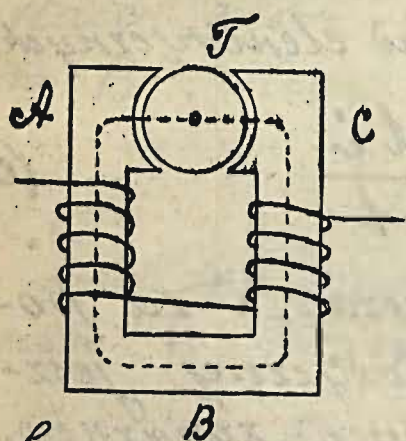
Zestawiając zwoązki istniejące pomiędzy siłą elektromotoryczną w tworniku, prądem w elektromagne-

zach i polem magnetycznem łatwo sprostrzedz, że nie można dynamometryczna może się sama wybudzić.

Położymy prądnicę boehniową w której układ połączeń uchwytów twornika z uchwytami elektromagnesów schematycznie jest pokazany na rys. 37.

Na rys. 40 przedstawiony jest obwód magnetyczny tej dynamometrycznej, składający się

Rys. 40.



z żelaznej magnetycznej ABC, żelaznego rdzenia twornika T i dwóch szczebli powietrznych pomiędzy powierzchnią cylindryczną twornika T i

biegunami elektromagnesów; średnia linia magnetyczna strumienia magnetycznego wskazana jest na rysunku linia kropkowana.

Oznaczymy przez E — siłę elektromotoryczną w tworniku, przez N — strumień magnetyczny w szczelinie powietrznej wywołujący siłę elektromotoryczną E , a przez i prąd

piętno, y w uchwyceniach elektromagnesów. Założmy, że obwód zewnętrzny jest przerwany, rys. 40. Spór obwodu elektromagnesów i tworząca. Łącznie oznaczmy prąd i , a współczynnik samoindukcji tego całego zamkniętego obwodu przez L , wtedy zależność prądu w danej chwili od siły elektromotorycznej w tej chwili wyrazi się wzorem, znanym z teorii obwodów elektrycznych:

$$E = i \cdot r + L \cdot \frac{di}{dt} \dots \dots (a)$$

Prąd i można wyrazić za pomocą siły elektromotorycznej jeszcze na podstawie innych związków.

Strumień magnetyczny N jest wywołany przez prąd i . Oznaczmy przez R opór magnetyczny obwodu magnetycznego, a przez

A stałą zastępującą wyraz $\frac{4\pi m i}{10}$ (m - liczba zwojów zwojnic magnetyzujących).

Wtedy N przez i wyrazi się wzorem znanym z teorii obwodów magnetycznych:

-75-

$$N = \frac{A \cdot i}{R}$$

Sila elektromotoryczna indukcji powstająca w zwojach twornika jest proporcjonalna do wielkości strumienia magnetycznego N i po-
za tem zależy od długości drutów i sposobu wykonania uzwojenia na tworniku, a także od szybkości obrotu; wszystko to będą czynniki stałe, które obejmiemy jedną lite-
rą B , wtedy:

$$E = B \cdot N.$$

Podstawiając N z tego równania w poprzednie, otrzymamy:

$$\frac{E}{B} = \frac{A \cdot i}{R}$$

Wyznaczymy z tego równania i i podstawimy w równanie (a) otrzymamy, wtedy:

$$E = \frac{R \cdot i}{A \cdot B} + L \cdot \frac{R}{A \cdot B} \cdot \frac{dE}{dt}$$

Z tego równania wypada, że

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E}{L \cdot \frac{R}{A \cdot B}} - \frac{E}{R \cdot \frac{A \cdot B}{R}}$$

$$d\mathcal{E} = \mathcal{E} \frac{1}{L \cdot R} \cdot (A \cdot B - R \cdot \mathcal{E}) dt.$$

To równanie wskazuje że przyrost siły elektromotorycznej w tworzeniu będzie dodatni tylko wtedy gdy $A \cdot B - R \cdot \mathcal{E} > 0$, a więc

$$A \cdot B > R \cdot \mathcal{E}.$$

Nierówność ta wskazuje, że iloczyn oporu elektrycznego elektromagnesów przez opór magnetyczny obwodu magnetycznego dynamaszyny musi być mniejszy od iloczynem statycznych $A \cdot B$.

Gdy opór obwodu elektromagnesów jest zbyt wielki prądnicą nie wzbudzi się, tak samo nie wzbudzi się prądnicą w której zbyt szerokie są szczeliny powietrzne, ponieważ wtedy wypadnie zbyt znaczny opór magnetyczny - R .

Powyższe równanie wskazuje również na to, że prądnicą może zacząć wzbudzać się tylko przy określonej szybkości ob-

rotów. Spółczynnik - 13 jest proporcjonalny do liczby obrotów na minutę twornika, więc nim ta liczba obrotów jest taka że $A.B < R.z$, to prądnicą wzbudzać się nie może.

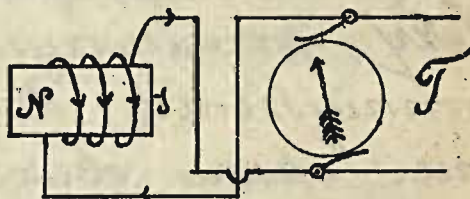
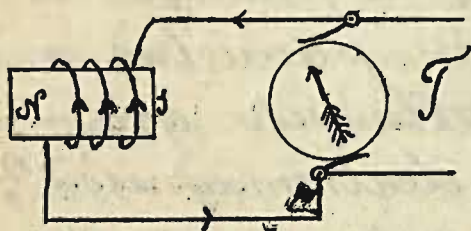
Dla zapewnienia warunków wzbudzenia się prądnicę w wypadkach zdarzających się w praktyce należy przedewszystkiem pamiętać o zmniejszeniu do możliwych granic oporu obwodu elektromagnesów^{x)}, a następnie o tem aby prąd w obwodzie elektromagnesów miał kierunek taki, który odpowiada wymaganiom złączkowego magnetyzmu. Najłatwiej o tem przekonać się, przyłączając do złączek twornika woltmetr i przytykając i zatrzymując obwód

^{x)} Należy tu zwrócić uwagę na właściwe położenie rączek oporników, włączonych w ten obwód, i na zapewnienie dobrego kontaktu w złączkach, łączących druty, i w miejscach zetknięcia złączek z kolektorem.

elektromagnesów. Gdy napięcie
wzrośnie choć trochę przy hamowa-
niu obwodu elektromagnesów, to po-
łączenie jest prawidłowe, w przeciw-
nym razie trzeba zmienić połą-
czenie twornika z elektromagnesami.
Na rys. 41, 42 widzimy
elektromagnes, opisane schema-
tycznie, nazwy biegunów odpowia-

Rys. 41.

Rys. 42.



dają magnetyzmowi szczególny.

Na rys. 41 wskazane jest pra-
widłowe połączenie twornika
z elektromagnesami, a na
rys. 42 nieprawidłowe.

Należy także pamiętać, że
kierunek obrotu twornika wpły-
wa na kierunek siły elektro-
magnetycznej w tworniku, więc
czasem zmieniać połącze-

nia twornika z elektromagne-
tami można tylko zmienić nie-
równowagę obrotów twornika.

