

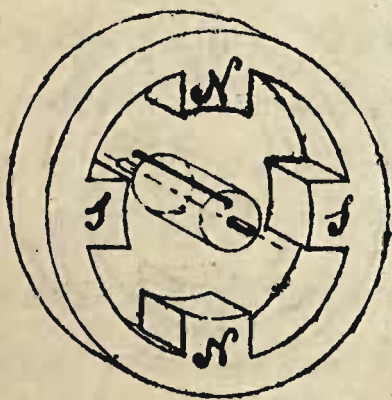
## Rozdział V.

### Uzwojenie tworników.

#### 1. Siła elektromotoryczna i jej faza.

Stosowane obecnie prądnice mają zwykłe pole magnetyczne, utworzone przez szereg biegunów różnoimennych i tworzące użwo-

Rys. 43.



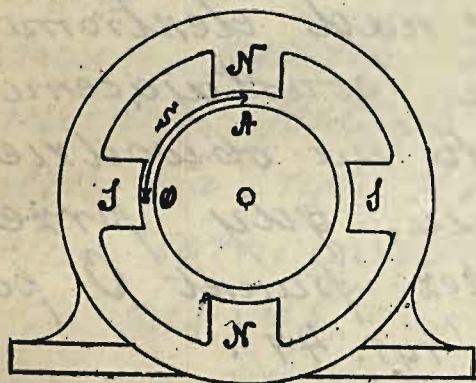
jeniem składającym się z drutów, ułożonych równolegle do osi. rys. 43, dla dokładnego zrozumięcia powstania siły elektromotorycznej

w rozmaitych użwojeniach tworników konieczną jest rzecz zdać

sobie przedewszystkiem sprawę z właściwości siły elektromotorycznej powstającej w jednym drucie twornika.

Rozważać będziemy układ przedstawiony na rys. 44, ale wystknie

Rys. 44.



rozumowania pozostała bez zmiany dla układu, w którym twornik będzie stanowił pierścień zewnętrzny, a elektromagnes wewnętrzny.

Siła elektromotoryczna -  $\mathcal{E}$ , powstająca w jednym drucie na podstawie prawa indukcji prądów wyrażamy wzorem. Oznaczmy przez  $B$  - indukcję magnetyczną w tym miejscu pola, gdzie znajduje się drut; przez  $l$  - długość drutu w polu magnetycznym (zakładamy, że na całej tej długości indukcja magnetyczna jest stała); przez  $v$  - oznaczmy szybkość ruchu drutu

Elektrotechnika arkusz 6<sup>ty</sup>



względem pola; zwykle też stajemy i uważali że wielkość stała.

Wzór wyrażający siłę elektromotoryczną będzie:

$$\mathcal{E} = B \cdot l \cdot v. -$$

Wzór ten można rozważać w dwojaki sposób.

Zastanówmy się nad elektromotorycznością siłami powstającymi w różnych drutach na obwodzie twornika w chwili, gdy przechodzą przez punkt O pola magnetycznego. (rys. 44).

W wyrażeniu dla  $\mathcal{E}$ , wielkość  $B$  będzie stała,  $l$  - również stała bo wszystkie druty na tworniku mają zawsze jednakową długość w polu,  $v$  - także stała; siła elektromotoryczna w każdym drucie w chwili gdy on przechodzi przez punkt O pola jest wielkością jednakową, w ten sposób można rozważać siły elektromotoryczne w oderwaniu od drutów umieszczone w określonych punktach pola magnetycznego - niezmienne w



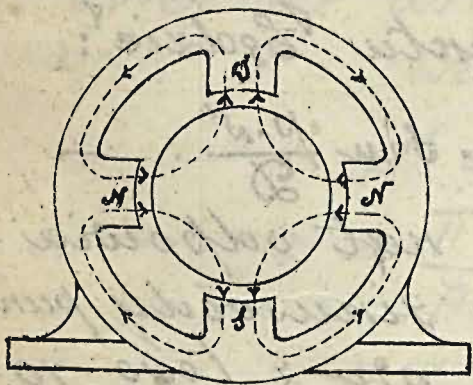
exacien.

Wielkość tych sił jest w każdym miejscu inna proporcjonalna do indukcji magnetycznej w odpowiednim miejscu.

Widzimy teraz myślał za jedynym drutem twornika poruszającym się w polu magnetycznym.

Sila elektromotoryczna w tym drucie będzie zmienna, ponieważ zmienna jest  $B$ . W polu wskazanym na rys. 45 bieguny są różnoimienne, więc zmienny

Rys. 45.



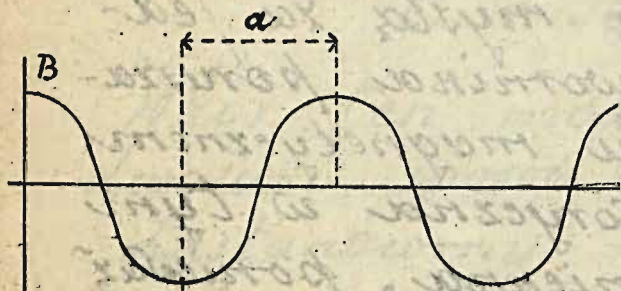
jest kierunek linii sił magnetycznych na obwodzie twornika. W przybliżeniu, można przyjąć, że rozkład gęstości linii jest si-

nusoidalny, a więc jeżeli przyjąć jakiś punkt pola na prz.  $O$  (rys. 44) za początek współrzędnych, a długość łuku na obwodzie twornika oznaczyć przez  $s$ , to można wyrazić zmienną indukcji mag-



netycznej, na obwodzie twornika krzywa linja sinusoidalna, rys. 46, dla której pół okresu  $a$  stanowi

Rys. 46.



wi odległość pomiędzy środkami dwóch przyległych biegunów.

Jeżeli średnica twornika będzie  $D$ , a liczba biegunów  $p$ , to

$$a = \frac{\pi \cdot D}{p} . \quad -$$

Rozważając punkt  $A$  na odległości  $s$  od  $O$ , wyraz indukcji magnetycznej dla tego punktu będzie:

$$B = \bar{B} \cdot \sin \frac{p \cdot s}{D} . \quad -$$

Wyraz  $\frac{p \cdot s}{D}$  wyraża kąt odpowiadający w wyrazie sinusoidy punktowi  $A$ ; wynika on z tego rozumowania, że  $\frac{2\pi D}{p}$  jest długością łuku na obwodzie twornika odpowiadającą całemu okresowi sinusoidy, a więc kąt odpowiadający łukowi  $s$  będzie:

$$\frac{2\pi \cdot s}{\frac{2\pi \cdot D}{p}} = \frac{p \cdot s}{D} . \quad -$$



$\bar{B}$  - jest maksymalną wielkością indukcji magnetycznej.

Podstawiając wyraz dla  $B$  we wzór siły elektromotorycznej otrzymamy:  $\mathcal{E} = \bar{B} \cdot l \cdot v \cdot \sin \frac{\rho \cdot s'}{D}$ . -

Wzór ten łatwo przekształcić wprowadzając jako wielkość zmienną czas  $t$  zamiast linii  $s'$  i oznaczając przez  $T$  - czas, w ciągu którego przewodnik przejdzie od środka jednego bieguna do środka następnego bieguna jednoczesnego.

Ponieważ drut porusza się z szybkością  $v$ , więc:

$$s' = v \cdot t;$$

$$\alpha \quad v = \frac{\pi D}{\rho \cdot T/2},$$

$$\text{więc:} \quad \frac{\rho \cdot s'}{D} = \frac{2 \pi \cdot t}{T}.$$

Podstawiając ten wyraz we wzór dla  $\mathcal{E}$ , otrzymamy:

$$\mathcal{E} = \bar{B} \cdot l \cdot v \cdot \sin \frac{2 \pi \cdot t}{T}.$$



Wzór ten wskazuje, że siła elektromotoryczna powstająca w drucie twornika zmienia się według prawa sinusoidy, maksymalna wielkość tej siły elektromotorycznej wynosi:

$$B \cdot l \cdot v. -$$

Okres  $T$  - równa się czasowi przesunięcia drutu od środka jednego bieguna do środka drugiego bieguna jednoimennego.

W rzeczywistości rozkład linii magnetycznych wokół twornika nie jest dokładnie sinusoidalny, ale w każdym razie wielkość  $B$  - jest funkcją okresową w zależności od  $s$ , a ponieważ siła elektromotoryczna jest proporcjonalna do  $B$ , więc rodzaj funkcji  $E = f(s)$  pozostaje taki sam, jak  $B = f(s)$ . -

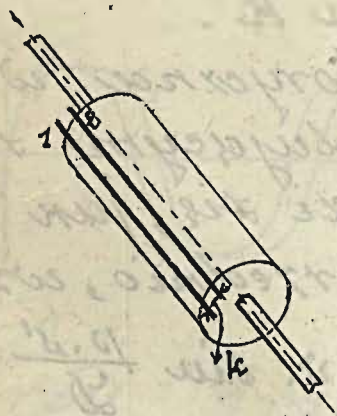
Ponieważ  $s$  jest proporcjonalne do czasu  $t$ , więc i  $E = f(t)$  będzie funkcją o kształcie takim samym, jak poprzednie.  $E = f(t)$  wyraża tak zwaną krzywą siły elektromotorycznej w jednym okresie przesunięcia, krzywa ta tak samo z po-



średniego wyraża jednocześnie tylko w zmienionej skali rozkład indukcji magnetycznej w polu prądnic.

Rozważmy teraz dwa druty na tworniku umocowane na odległości  $k$  jeden od drugiego. Rys. 47. Druty te oczywiście w różnych chwilach będą przechodziły przez te

Rys. 47.



same miejsca pola magnetycznego. Założmy że układ linii magnetycznych pola worka twornika jest sinusoidalny i że czas zaczniemy liczyć od tej chwili gdy drut 1 przechodzi przez punkt 0, rys. 44.

Wtedy dla drutu 1-go wyraz siły elektromotorycznej będzie taki jak poprzednio:

$$E_1 = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \frac{2\pi \cdot t}{T} . -$$

W drucie zaś 2-gim siła elektro-



motoryczna będzie powstawać tak  
samo jak w drucie pierwszym,  
ale wartości jednostkowe nie będą  
jednakowe, bo druty jednosko-  
nie znajdują się w różnych miej-  
scach.

Jeżeli drut pierwszy znajduje  
się w punkcie A w chwili t, to  
drut drugi był w tym punkcie  
wcześniej o  $\frac{k}{v}$  sekund, jeżeli za-  
łożymy, że twornik obraca się tak  
jak wskazówka zegarna, a więc  
w chwili t będzie znajdować się  
dalej o długość luku k.

Sila elektromotoryczna w dru-  
cie pierwszym znajdującym się  
w punkcie A wyrazi się, jak wy-  
prowadziliśmy poprzednio, wzor-  
em:

$$E_1 = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \frac{p \cdot s'}{D} \cdot -$$

Sila elektromotoryczna w dru-  
gim drucie wyrazi się w tej sa-  
mej chwili wzorem:

$$E_2 = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \frac{p \cdot (s' + k)}{D}$$

albo 
$$E_2 = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \left( \frac{p \cdot s'}{D} + \frac{p \cdot k}{D} \right).$$



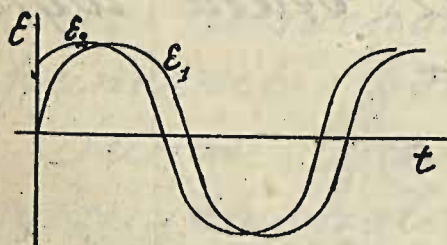
Kąt  $\frac{p \cdot k}{D}$  oznaczmy przez  $\varphi$  i zastąpimy zmienną  $S$  przez zmienną  $t$ , to otrzymamy:

$$E_2 = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{T} + \varphi\right).$$

Wzór ten wskazuje, że siła elektromotoryczna wypadła w fazie siły elektromotorycznej pierwszego drutu o kąt  $\varphi$ .

Wykresem przedstawimy te dwie siły elektromotoryczne tak jak wskazano na rys. 48 za pomocą

Rys. 48.



dwoch krzywych  $E_1 = f(t)$  i  $E_2 = f(t)$ .

Kąt różnicy faz wyraża się wzorem:

$$\varphi = \frac{p \cdot k}{D}.$$

Przy przesuwaniu drutu drugiego względem drutu pierwszego zmienia się odległość drutów  $k$ . Gdy odległość pomiędzy drutami stanie się równą odległości pomiędzy środkami dwóch przyległych biegunów, to  $k = \frac{\pi D}{10}$  i



$$\psi = \frac{p \cdot \frac{\pi d}{p}}{D} = \pi.$$

Różnica faz wynosi wtedy pół okresu.

I podobny sposób łatwo przemienić się, że przy odległości drutów równej połowie odległości pomiędzy środkami przyległych biegunów, różnica faz będzie wynosić ćwierć okresu, a przy odległości drutów równej połowie pomiędzy środkami dwóch biegunów przyległych jednoimiennych różnica faz będzie wynosić cały okres. —

Anteny różnych uzwojeń tworników prądnic oparte są na kojarzeniu tych sił elektromagnetycznych o różnych fazach.

Edy kotłownic prądnic, są połączone z pewnymi statemi punktami uzwojenia twornika przy nieustannym tworniku bezpośrednio (rys. 17) albo za pomocą pierścieni (rys. 34); to roz-



ważnym siły elektromotoryczne jako zwichane z drutami, wtedy otrzymujemy na końcówkach prądnicę napięcie zmienne pomiaru siły elektromotorycznej, które to napięcie wywołują, są zmiennie.

Gdy końcówki prądnicę stanowią szereg prętych do kolektora jak na rys. 27, a drutów i działek kolektora dużo, to będziemy rozważać siły elektromotoryczne niezależne od drutów, nieruchome w określonych punktach pola magnetycznego.

Suma tych sił elektromotorycznych połączonych w szeregu wytwarza w tym razie napięcie na szeregach.

Te siły elektromotoryczne są niezmiennie w czasie, a więc i napięcie przez nie wytworzone będzie stałe.

## 2. Uzwojenie twornika jednofazowe.

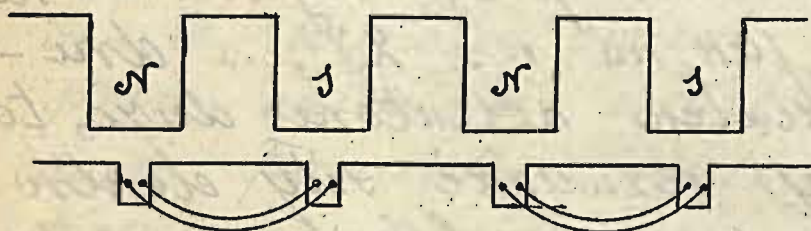
Uzwojenie twornika



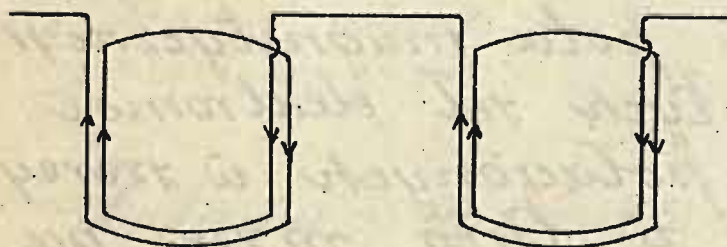
nika mają prądnice wytwarzające prąd zmienny jednofazowy).

Rozwinąwszy, elektromagnesy i twornik układu rys. 17 w prostej linii otrzymamy rys. 49 i rys. 50, na których są przedstawione szczegóły ułożenia.

Rys. 49.



Rys. 50.



Rys. 49

jest widokiem z boku, a rys. 50 widokiem z góry.

Dwoje twornika układają się w rowki wycię-

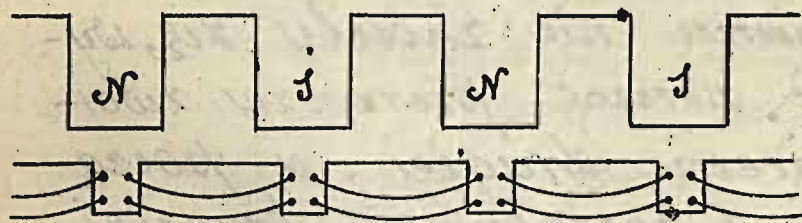
te równoległe do osi wału maszyny. W tym wypadku, który jest przedstawiony na rys. 49 i 50 rowków mamy tyle ile jest biegunów, i w każdym rowku po dwa druty, może być ich tam oczywiście i więcej. Połączenie zwójnic między sobą widoczne jest na rys. 50.



Niezależnie od liczby biegunów wyst-  
nie zwojnica na tworniku łacza się  
w szeregu, i początek pierwszej i ko-  
niec ostatniej stanowią końcówki  
prądniccy, od których prowadzimy  
prąd do obwodu zewnętrznego.

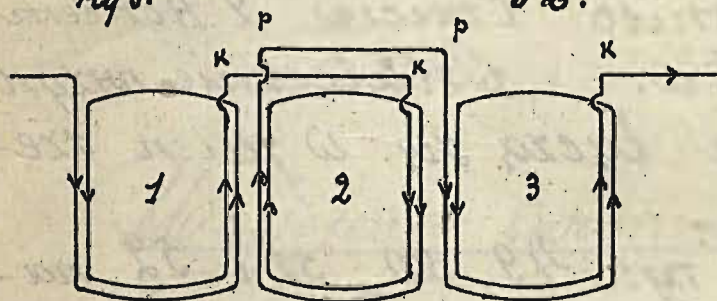
Dla uzyskania całego obwodu  
twornika niech równi robią się  
takie, że można umieścić w  
nich druty dwóch zwojnic są-  
siednich. Wtedy uzwojenie ma  
układ wskazany na rys. 51 i 52,

Rys. 51.



Rys.

52.



tu zwoj-  
nice wy-  
pada łą-  
czyć w  
ten spo-  
sób, aby  
koniec  
zwojnicy  
pierwszej  
był po-  
łączony  
z końcem

zwojnicy 2<sup>ej</sup>, a początek drugiej z  
początkiem trzeciej i t.d., wtedy  
tylko sila elektromotoryczna będzie

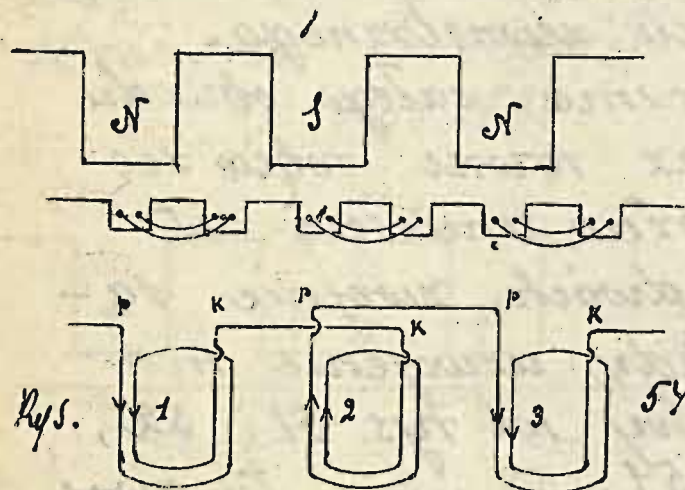


się odpowiednio dodawać.

Stosuje się także jeszcze inny układ zwojnic wskazany na rys. 53 i 54.

Równow jest tu dwa razy więcej niż cieżarów. Zwojnice umieszczo-  
ne w rownack  
tak, jak wka-  
zano na rys.  
54, wypadają  
łączyć w sze-  
regi odmien-  
nie niż na  
rys. 50. Aby  
siły elektro-  
motoryczne powstające pod różnie-  
mi biegunami nie znosiły się, wy-  
pada łączyć koniec pierwszej zwoj-  
nicy z końcem drugiej, a począt-  
ek drugiej z początkiem trzeciej,  
następnie koniec trzeciej z końcem  
czwartej i t.d. Ostatecznie wyst-  
nie zwojnice łączyć się w jeden sze-  
reg.

Układ — rys. 49, 50, 51 i 52 na-  
zywa się uzwojeniem z długimi  
zwojnicami, a na rys. 53 i 54 z  
krótkimi zwojnicami.

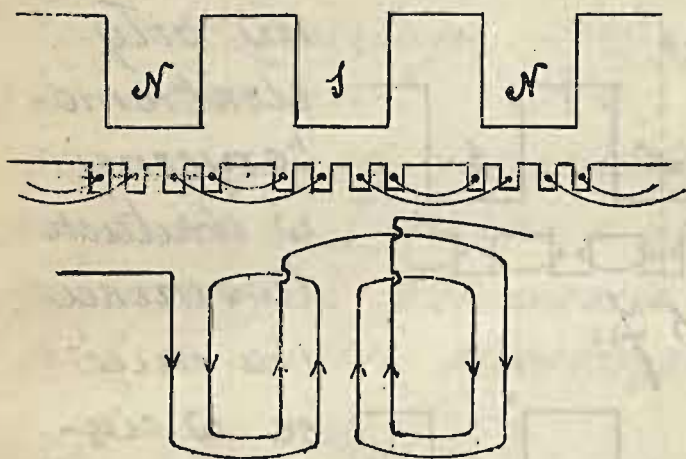


ne w rownack  
tak, jak wka-  
zano na rys.  
54, wypadają  
łączyć w sze-  
regi odmien-  
nie niż na  
rys. 50. Aby  
siły elektro-  
motoryczne powstające pod różnie-  
mi biegunami nie znosiły się, wy-  
pada łączyć koniec pierwszej zwoj-  
nicy z końcem drugiej, a począt-  
ek drugiej z początkiem trzeciej,  
następnie koniec trzeciej z końcem  
czwartej i t.d. Ostatecznie wyst-  
nie zwojnice łączyć się w jeden sze-  
reg.



Idąc w zwojnicach jest dużo zwojów nieraz robi się tyle równoległych aby można było jedną stronę zwojnicy umieścić w kilku równoległościach. Na rys. 55

Rys. 55.



widzimy uwojenie, w którym każda strona jednej zwojnicy mieści się w dwóch równoległościach.

Wzrostnie opisanie tu uwojenia są

tak zwane jednofazowe, ponieważ wzrostnie zwojnicy łączą się w jeden szereg i prąd odprowadza się z twornika przez dwie końcówki połączone z końcami uwojenia. —

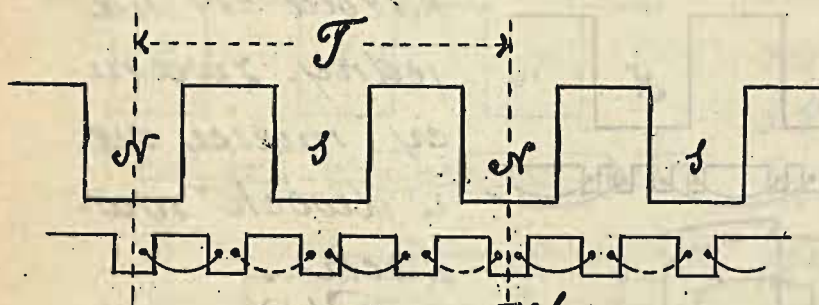
### 3. Uwojenie twornika dwufazowe.

W pranicie czasem stosuje się uwojenie twornika podwójne, wykonane w ten sposób, że mamy

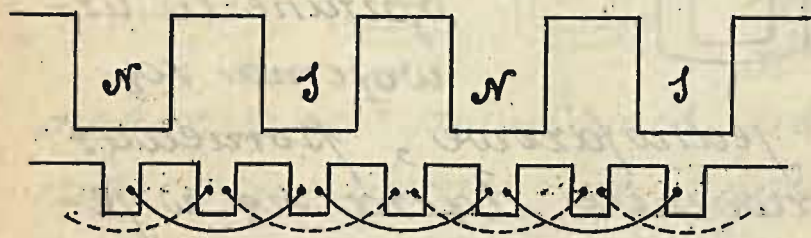


dwa jednakowe szeregi zwojnic, z których jeden szereg względem drugiego jest przesunięty o połowę odległości pomiędzy dwoma sąsiednimi biegunami elektromagnety. Cały

Rys. 56.



Rys. 57.



okres zmienny siły elektromotorycznej w drutach twornika ma miejsce w ciągu przejścia drutów od jednego bie-

guna do drugiego tej że samej maxwy. Przesunięcie więc o połowę odległości między sąsiednimi biegunami, które są różnoimienne odpowiada ćwierci okresu. A więc różnica faz sił elektromotorycznych wytworzonych w tych uzwojeniach wyniesie ćwierć okresu czyli  $90^\circ$

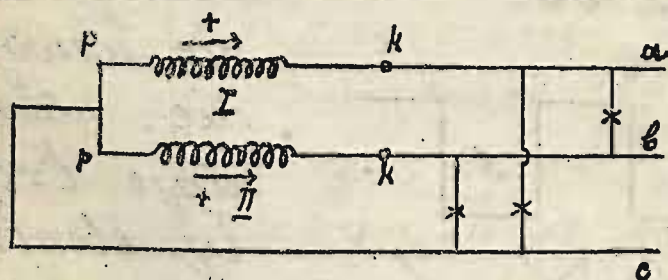
Gdy mamy krótkie zwojnice, to układ zwojnic mamy taki jak



wskazano na rys. 56, a goły zwojnice są dłuższe, to układ odpowiedni widzimy na rys. 57.

Ponieważ mamy tu dwie grupy zwojnic, więc uzwojenie będzie miało cztery końce. Uzwojenia te zwykle zasilają sieć przewodów w skojarzeniu. Na rys. 58 przedstawione są schematycznie dwa uzwojenia: I faza i II faza. Końce uzwojeń oznaczone są przez p i k w ten sposób, że dodatni kierunek siły elektromotorycznej jest zgodny w obydwu uzwojeniach

Rys. 58.



runek siły elektromotorycznej jest zgodny w obydwu uzwojeniach

od p do k.

Początki uzwojeń łączą się razem i od wspólnego początku i dwóch końców poprowadzone są trzy przewody. Napięcie pomiędzy przewodami ac i bc wynosi tyleż co siła elektromotoryczna poszczegół -







dzy irodnamu jednoiniennych biegunów.

Na rys. 60 mamy przedstawione takie uzwojenie z długimi zwojnicami. Wzyskie zwojnice, oznaczone cyfrą 1, łączą się w jeden obwód, cyfrą 2 w drugi obwód i cyfrą 3 w trzeci obwód.

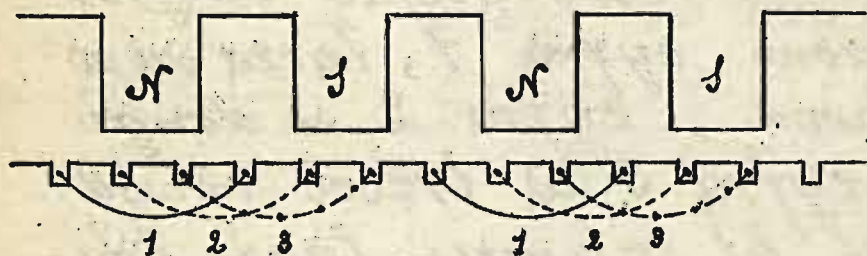
Na rys. 61 mamy także trójfazowe uzwojenie, ale z krótkimi zwojnicami.

Przy bardzo dużych twornikach pierścieni twornika robi się z dwóch części wtedy w miejscu połączenia dwóch półpierścieni jest niedogodnie mieć zwojnice leżące częściowo na górnej, a częściowo na dolnej połowie. Taka zwojnica mogłoby być nawinąć dopiero po złożeniu obydwuch połówek. Wtedy stosuje się takie uzwojenie, przy którym zawsze można tak rozdzielić twornik na dwie połowy, że nie będzie zwojnic leżących jedna strona po jednej, a druga po drugiej stronie rozdziału. Na rys. 62 widzimy takie uzwojenie. W tym



uzwojeniu układy zwojnic 1, 3 i 2  
za przesunięte względem siebie nie  
o trzecią część odległości pomię-

Rys. 62.

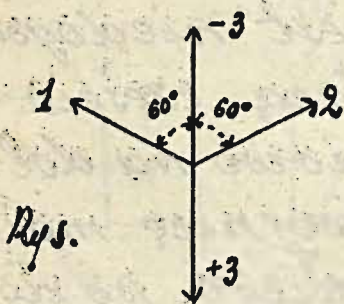


dzy jed-  
noimien-  
nymi bie-  
gunami,  
a o skłó-  
tą część tej

odległości. Wobec tego siły elek-  
tromotoryczne różnią się w fazie o  
skłó- tą część okresu t. j. o  $60^\circ$ .

Zatwo jednak spostrzedz z rys. 63,

że oznaczając na  
odwrot koniec i po-  
czątek 3<sup>iej</sup> układy zwoj-  
nic otrzymamy trzy  
siły elektromotorycz-  
ne przesunięte w fa-



Rys.

63

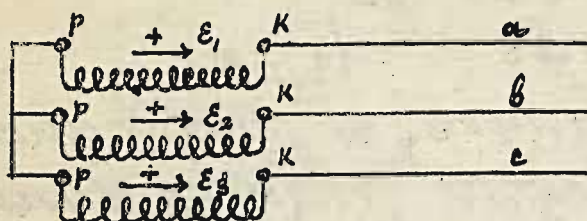
zie  $120^\circ$ .

Przy układy zwojnic twornic-  
kóv trójfazowych najprościej, zwyk-  
le razem w dwojaki sposób.

Na rys 64 mamy układ połą-  
czeń, który nazywamy układem  
w gwiazdę. Początki uzwojeń p-



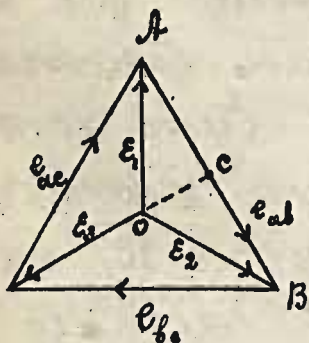
szczególnych faz łączą się tu razem,  
Rys. 64.



a przewody, od-  
prowadzające —  
prąd od dynamo-  
maszyny, przy-  
łączone są do  
końców.

W tych warunkach pomijając spa-  
dek napięcia z powodu oporu  
zwojów twornika, napięcie między  
przewodami ab będzie równe róż-  
nicy geometrycznej sił elektro-  
magnetycznych  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_2$ . Na rys. 65 widzi-

Rys. 65.



my, że te wypad-  
kowe napięcia mogą  
być wyrażone bokami  
trójkąta, gdy  
wektory wyrażające  
się trzema promienia-  
mi poprowadzonymi z

jednego punktu pod kątem  $120^\circ$  jed-  
ne względem drugich.

Rozważając trójkąt OAB łatwo  
udowodnić że  $\epsilon_{ab} = \sqrt{3} \cdot \epsilon$ , jeżeli  $\epsilon = \epsilon_1 = \epsilon_2$ .

Dowód jest następujący:

$$\angle AOB = 120^\circ; \angle AOC = \frac{\angle AOB}{2} = 60^\circ.$$

więc

$$\angle OBC = 30^\circ.$$



$$\overline{BC} = 0B \cdot \cos 30^\circ = 0B \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

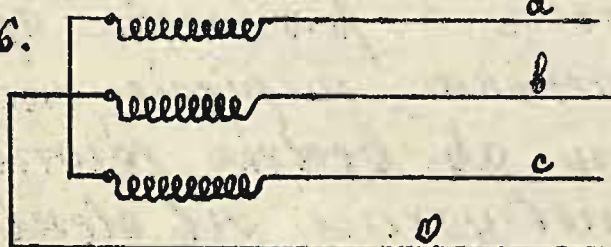
$$\overline{AC} = 0A \cdot \cos 30^\circ = 0A \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$0A = 0B = 0C = a$$

$$\overline{AB} = \overline{BC} + \overline{AC} = \sqrt{3} \cdot a$$

Prądy płynące w przewodach odprowadzających prąd z dynamomaszyny są tej samej siły co w drutach uzwojeń twornika.

Rys. 66.



Przy połączeniu uzwojeń twornika trójfazowego na gwiazdę,

skasem stoi się skwarty, przewodnik 0 poprowadzony od punktu zerowego uzwojenia twornika.

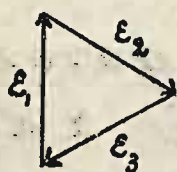
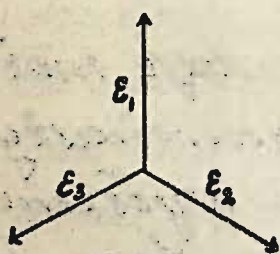
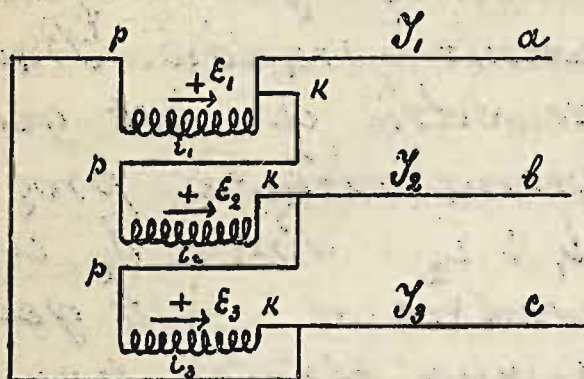
Wtedy, pomiędzy tym zerowym przewodem, a każdym z drutów a, b, c - mamy napięcie  $\sqrt{3}$  razy mniejsze od napięcia między przewodami a, b i c. —

Napięcie  $e_{ab} = e_{bc} = e_{ca}$  będziemy nazywali - napięciem złożonym, a  $e_{a0} = e_{b0} = e_{c0}$  - napięciem fazowym.

Opis połączenia w gwiazdę stoi się jeszcze połączenie uzwojeń trójfazowego twornika w trójkąt.



Na rys. 67 widzimy takie połą-  
czenie. Uzwoje-  
nia tworzą we-  
wnątrz twornika  
jeden zamknięty  
obwód, ale siły  
elektromotorycz-  
ne w tym obwo-  
dzie są takżę  
rowne że wypadkowa tych sił row-  
na jest zero. Na rys. 68 widzi-  
my że wektory  
tych sił elektro-  
motorycznych po  
dodaniu tworzą  
zamknięty trój-  
kąt.



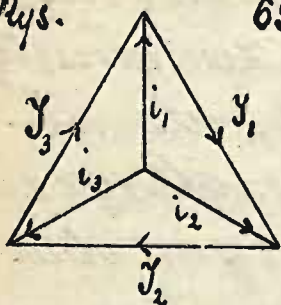
Napięcie pomiędzy przewoda-  
mi a, b i c są tu równe siłom elek-  
tromotorycznym poszczególnych faz,  
pomijając spadek napięcia wewnątrz  
zwojów.

Prądy zaś płynące w przewodach  
są  $\sqrt{3}$  razy większe od prądów ply-  
nących w poszczególnych zwojach.  
Wypływa to z prawa Kirchhoffa



zastosowanego do miejsc rozgałęzienia prądów.

Rys. 69. Na rys. 69 widzimy geometryczne sumowanie prądów. Prąd  $I_1$  w przewodzie  $a$  jest geometryczną różnicą prądów  $i_1$  i  $i_2$ . Prąd  $I_2$  w przewodzie  $b$  jest geometryczną różnicą prądów  $i_2$  i  $i_3$ . Prąd  $I_3$  w przewodzie  $c$  jest geometryczną różnicą prądów  $i_3$  i  $i_1$ .



Połączenie w gwiazdę daje możliwość otrzymania z dynamomaszyn prądu pod napięciem wyższym od napięcia poszczególnych faz, a połączenie w trójkąt umożliwia odbieranie prądu silniejszego od tego, który jest dopuszczalny dla poszczególnych zwojów twornika.

### 5. Wyraz siły elektromotorycznej uzwojeń jedno i wielofazowych.

Uzwojenia wielofazowe składa-



ją się z kilku zupełnie jednofazowych uzwojeń jednofazowych, wystarczy więc omówić tylko sprawę siły elektromotorycznej w uzwojeniu jednofazowym.

Siła elektromotoryczna każdego uzwojenia jednofazowego jest wypadkową sił elektromotorycznych występujących drutów na obwodzie twornika, włączonych w jeden szeregu.

Z tych występujących drutów można zawsze wybrać takie grupy drutów, w których wypadkowa siła elektromotoryczna będzie albo zgodna co do fazy lub też różnica faz wynosi  $180^\circ$ , a połączenie jest takie, że ostatecznie siły elektromotoryczne dodają się tak jak gdyby były w fazie.

Taka grupa drutów będziemy nazywać elementem uzwojenia.

Naprz. na rys. 49 i 50 jeden drut uzwojenia może być uważany za taki element, ponieważ w innych drutach powstają siły elektromotoryczne w fazie lub przeciw-



sumie o  $180^\circ$ . To samo mamy na rys. 51 i 52. Na rys. 53 i 54 wypadnie już jako element uzwojenia przyjąć jeden zwój z. Ładujący się z dwóch drutów. Na rys. 55 elementem uzwojenia nazwiemy dwa druty leżące w dwóch łobkach obok siebie.

Średnią siłę elektromotoryczną w jednym drucie tworzącą wyznaczamy łatwo znając ilość linii magnetycznych wychodzących z jednego bieguna -  $N$ , liczbę biegunów -  $p$ , liczbę obrotów elektromagnesów na minutę -  $n$ .

Średnią siłę elektromotoryczną będziemy obliczać za pół okresu, lub też za dowolną liczbę okresów nie uwzględniając znaku siły elektromotorycznej.

Wiemy, że liczbowo siła elektromotoryczna równa się liczbie linii przeciętych przez drut w ciągu sekundy, więc:

$$E_1 = N \cdot p \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Średnia siła elektromotoryczna



w każdym drucie osywiście będzie ta sama; więc suma średnich elektromotorycznych sił wszystkich w szeregu połączonych drutów na obwodzie twornika, których liczba niech będzie  $x$  - wyrazi się wzorem:

$$E' = N. p. \frac{n}{60} \cdot x \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Wielkość  $E'$  niekiedy równa się średniej sile elektromotorycznej całego uzwojenia, ponieważ poszczególne siły elektromotoryczne mają różne fazy).

Całkowita wielkość siły elektromotorycznej całego uzwojenia jednej fazy -  $E$  możemy wyrazić mnożąc powyższy wyraz przez stałą, dla danego rodzaju uzwojenia współczynnik -  $k$ , więc:

$$E = k \cdot N. p. \frac{n}{60} \cdot x \cdot 10^{-8} -$$

Dla znalezienia metody, za pomocą której moglibyśmy wyznaczyć  $k$ , zwróćmy uwagę, że oznaczając przez  $E_e$  sumę średnich wartości sił elektromotorycznych w jednym elemencie uzwojenia, przez



$\mathcal{E}_e$  - czynna siła elektromotoryczna elementu uzwojenia, a przez  $q$  liczbę elementów w całym uzwojeniu. jednej fazy, otrzymamy:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_e \cdot q ; \quad \mathcal{E}' = \mathcal{E}'_e \cdot q$$

wzory te piszemy, na podstawie tego, że siły elektromotoryczne poszczególnych elementów są w fazie.

Z powyższych wzorów wypada:

$$\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}'} = \frac{\mathcal{E}_e}{\mathcal{E}'_e} = k .$$

Jeżeli w jednym elemencie mamy  $m$  - drutów to:

$$\mathcal{E}'_e = \mathcal{E}_e \cdot m , \quad \text{więc} : \quad k = \frac{\mathcal{E}_e}{\mathcal{E}_e \cdot m} .$$

Wystarcza więc wyznaczyć krzywą siły elektromotorycznej dla jednego drutu i dla całego elementu uzwojenia. Następnie obliczyć napręż. sposobem geometrycznym średnicą i czynną wielkość. Mając te dwie wielkości wyznaczamy  $k$  - z powyższego równania.

Przykład - 1.<sup>ty</sup> Obliczyć  $k$  dla uzwojenia przedstawionego na ry-

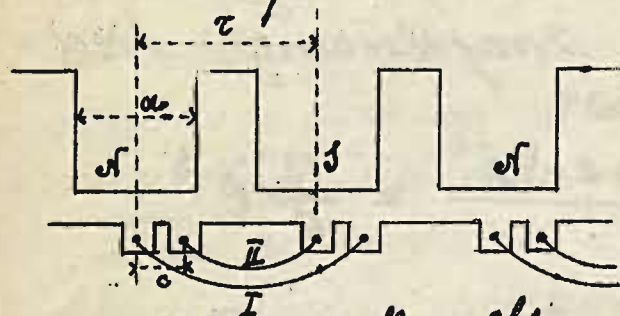


rysunki 70.

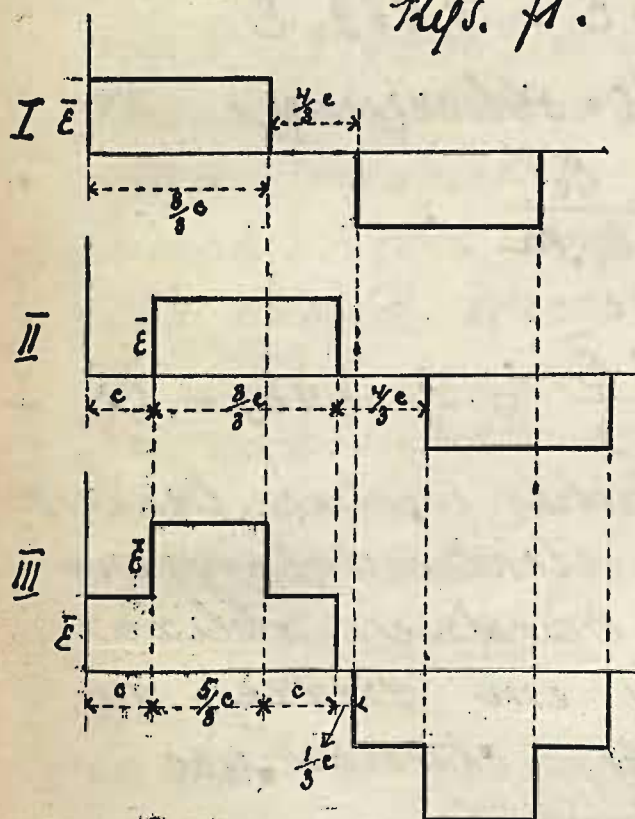
Ładując, że  
rys. 70.

$$\frac{a}{\tau} = \frac{2}{3}, \quad \text{a} \quad \frac{c}{\tau} = \frac{1}{4},$$

z tego wypadu  
$$a = \frac{8}{3} c.$$



Rys. 71.



Przyjmując że linje sił są tylko pod biegunami i gęstość ich jest na całej powierzchni biegunów jednako-  
wa, otrzymamy krzywe siły elektromotorycznej w I i II drucie takie jak wskazano na rys. 71.

Je dwa druty I i II stanowią element uwoje-

nia, więc obliczmy dla nich  $\mathcal{E}_1$  i  $\mathcal{E}_2$ .  
Wielkość średnia siły elektromotorycznej w jednym drucie będzie:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{\bar{\mathcal{E}} \cdot \frac{8}{3} c}{\frac{12}{3} c} = \frac{2}{3} \bar{\mathcal{E}}.$$

Ładując krzywe I i II otrzymamy



krzywa  $\text{III} = \text{I} + \text{II}$  - będzie to krzywa zmierności siły elektromotorycznej w elemencie uzwojenia.

Z tej krzywej znajdziemy średnią z kwadratów:

$$\frac{2\bar{E}^2 \cdot c + \frac{5}{3} \cdot c \cdot 4\bar{E}^2}{\frac{12}{3} \cdot c} = \frac{13}{6} \bar{E}^2.$$

Więc  $\mathcal{E}_e = \sqrt{\frac{13}{6}} \cdot \bar{E} = 1,469 \cdot \bar{E}.$

Sprószymnik -  $k$  - obliczymy ze wzoru

$$k = \frac{\mathcal{E}_e}{\mathcal{E}_1 \cdot m},$$

tu  $m = 2$ , więc:

$$k = \frac{1,469 \bar{E}}{\frac{2}{3} \bar{E} \cdot 2} = \frac{3}{4} \cdot 1,469 = 1,1. -$$

Z tego przykładu widać także, że krzywa siły elektromotorycznej prądnicy tem bardziej zbliża się do sinusoidy im szerszej są rozłożone druty, stanowiące element uzwojenia.

Przykład 2. Obliczyć liczbę drutów w każdym równie uzwojeniu trójfazowe o przy fazowym napięciu 120 V, mające następu-

jące dane:  
 gęstość linii w powietrzu - 5000;  
 wymiary biegunu -  $12 \times 17 \text{ cm.}$ ;  
 liczba biegunów - 4;  
 szybkość obrotu elektromagnesów - 1500 na min.  
 rowków na obwodzie - 48.

Dla uzwojenia trójfazowego czterobiegunowego wypadła stosownie do rys. 60 zrobić 6 zwojnic, każda zwojnica ma dwie strony, stanowiące oddzielne pęczki drutów, takich stron będzie 12.

Na każdą więc stronę przypadnie  $\frac{48}{12} = 4$  rowki, wobec tego każda zwojnica będzie miała układ jak na rys. 72, (patrz str. 112).

Jeżeli założymy, że

$$\frac{a}{\tau} = \frac{1}{2},$$

to będziemy mieli dosyć danych, aby tak jak w przykładzie pierwszym obliczyć współczynnik -  $k$ .

Z takiego obliczenia wypadła  $k = 1,25$ . Mając  $k$  - we wzorze dla siły elektromotorycznej, wiemy wszystko za wyjątkiem  $\Sigma i$  i  $N$ . Liczba linii  $\Sigma$  znajdzie-



my z powyższych danych:

$$N = 5000 \cdot 12 \cdot 17 = 1020000,$$

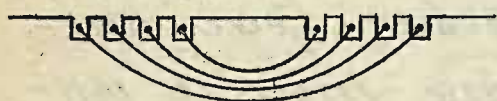
a więc:

$$Z = \frac{E}{k \cdot N \cdot p \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8}} = \frac{120}{1,25 \cdot 1020000 \cdot 4 \cdot \frac{1500}{60} \cdot 10^{-8}}$$

$$Z = 94.$$

Te druty są umieszczone w  $4 \times 4 = 16$  rowkach, więc w każdym rowku wypadnie umieścić 6 drutów.

Rys. 72.



Wtedy oczywiście  $Z = 16 \times 6 = 96$  drutów i będziemy mieli:

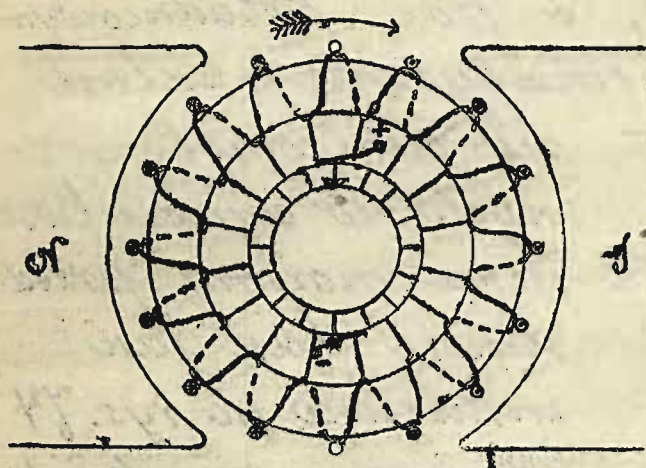
$$E = 120 \cdot \frac{96}{94} = 122,5 \text{ volta.}$$

## 6. Uzwojenia z kolektorem równoległym.

Uzwojenia z kolektorem robią się dla otrzymania prądu stałego. Napięcie więc na szczeptkach przy leżących do kolektora rys. 73 ma być stałe. Dla osiągnięcia tego celu obecnie stosują się uzwojenia, których sekcja charakterystyczna

jest to, że obwód drutów uzwojenia jest zamknięty wewnątrz twornika, prądy jednak w tym obwodzie powstać nie mogą, bo siły elektromotoryczne się znoszą.

rys. 73.



Najprostszy sposób połączenia drutów, ułożonych na zewnętrznej cylindrycznej powierzchni twornika polega

na łączeniu sąsiednich drutów wokół za pomocą drutów pomocniczych, przeprowadzonych na wewnętrznej powierzchni rdzenia twornikowego. Ponieważ przy takim uzwojeniu twornik ma kształt pierścienia, więc tego rodzaju uzwojenie nazywa się pierścieniowym.

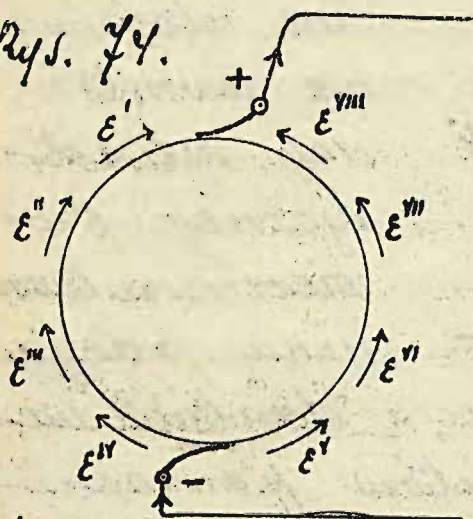
Działki kolektora przyłączają się symetrycznie w odpowiednich miejscach



do drutu uzwojenia.<sup>x)</sup>

Gdy twornik obraca się naprz. w polu dwubiegunowym w kierunku ruchu wskazówki zegara, <sup>(Rys. 73)</sup> to w drutach pod biegunem północnym powstają siły elektromotoryczne skierowane od nas, a pod południowym do nas. Schematycznie układ

Rys. 74.



sił elektromotorycznych w drucie twornika możemy przedstawić tak jak wskazano na rys. 74. Suma wszystkich sił elektromotorycznych wokoło drutu twornikowego będzie równa zero.

$$\epsilon^I + \epsilon^{II} + \epsilon^{III} + \epsilon^{IV} - \epsilon^V - \epsilon^VI - \epsilon^VII - \epsilon^{VIII} = 0.$$

Dla obwodu zewnętrznego są jednak te dwie grupy sił elektromotorycznych połączone równolegle, więc cała siła elektromotoryczna twornika będzie równa  $\epsilon$ :

$$\epsilon = \epsilon^I + \epsilon^{II} + \epsilon^{III} + \epsilon^{IV} = \epsilon^V + \epsilon^VI + \epsilon^VII + \epsilon^{VIII}.$$

<sup>x)</sup> Tego rodzaju uzwojenie wynaleziono było jednocześnie przez Gramma i Pacciniego.

Dla uzmysłowienia sobie działania twornika tego rodzaju należy zwrócić uwagę na to, że siły elektromotoryczne przy dużej ilości drutów na tworniku mogą być uważane za nieruchome w przestrzeni, ruszają się tu tylko druty. Wzór dla siły elektromotorycznej takiego twornika otrzymamy rozumując w następujący sposób.

Załóżmy że pod jednym biegunem mamy  $m$  - drutów, a więc  $m$  - sił elektromotorycznych, wtedy możemy napisać wzór:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}' + \mathcal{E}'' + \mathcal{E}''' + \dots + \mathcal{E}^m = \frac{\mathcal{E}' + \mathcal{E}'' + \mathcal{E}''' + \dots + \mathcal{E}^m}{m} \cdot m$$

albo

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{sr} \cdot m.$$

$\mathcal{E}_{sr}$  - jest to średnia siła elektromotoryczna powstająca pod jednym biegunem.

Taka średnia siła elektromotoryczna znajdziemy łatwo, przyrzucając, że pewien drut na powierzchni twornika przy jego obrocie zakreśla w ciągu połowy obrotu półkołę przechodząc pod jednym bie-



gunem. Średnia siła elektromotoryczna powstająca w takim drucie odcywie będzie równa średniej sile elektromotorycznej w powyższym równaniu.

Jeżeli z jednego bieguna wychodzi  $N$ -linij sił i twornik wykonuje  $n$ -obrotów na minutę, to

$$\mathcal{E}_{sr} = N \cdot \frac{60}{2 \cdot n} = \frac{2n}{60} \cdot N.$$

A więc:

$$\mathcal{E} = \frac{2n}{60} \cdot N \cdot m.$$

Jeżeli  $z$  - jest cała liczba drutów na obwodzie twornika, to

$$z = 2 \cdot m.$$

$$\text{i } \mathcal{E} = N \cdot \frac{n}{60} \cdot z \cdot 10^{-8} \text{ volt}.$$

Przykład.  $N = 1,2 \cdot 10^6$ ;  $n = 1200$ ;  $z = 500$ .

$$\text{to } \mathcal{E} = 1,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{1200}{60} \cdot 500 \cdot 10^{-8} = 120 \text{ V}.$$

Przy umieszczeniu znacznej ilości

Rys. 75.



drutów na tworniku tworzą się zwojnice, których końce odprowadzają się do kolektora rys. 75.



Prąd elektryczny, który będzie można brać z taniego twornika zależy od grubości drutów na tworniku. Jeżeli w drutach twornika największy dopuszczalny prąd będzie  $i$ , to prąd wypływający z twornika będzie wynosić:

$$I = 2 i .$$

Na rys. 73 i 74 wyraźnie widzimy, że wewnątrz twornika mamy dwie równoległe połączone gałęzie.

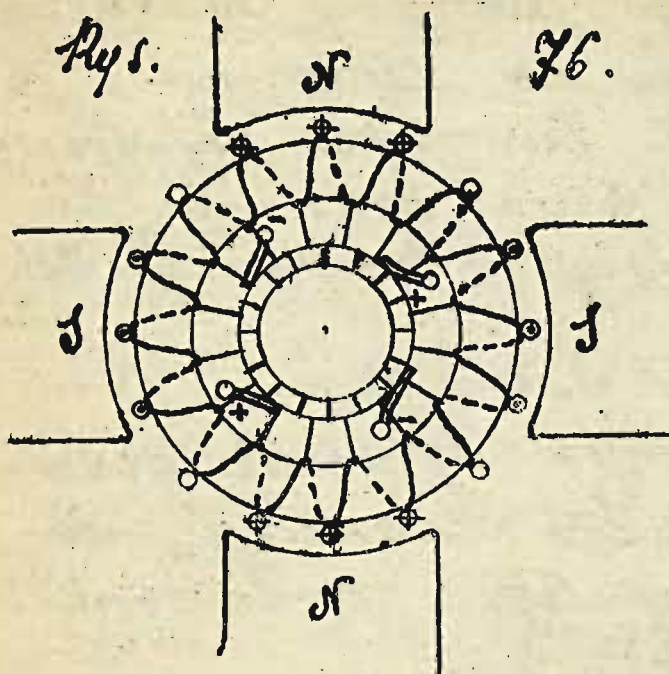
---

Jeżeli umieścić twornik pierścieniowy w polu wielobiegunowym, to siły elektromotoryczne podzieli się na tyle grup, ile jest biegunów elektromagnesów i dla odprowadzenia prądu wypadnie ustawić na kolektorze tyle szczotek, ile jest biegunów elektromagnesów. Na rys. 76 widzimy twornik pierścieniowy z nawinięciem takim samym jak opisanie poprzednio w polu czterobiegunowym.

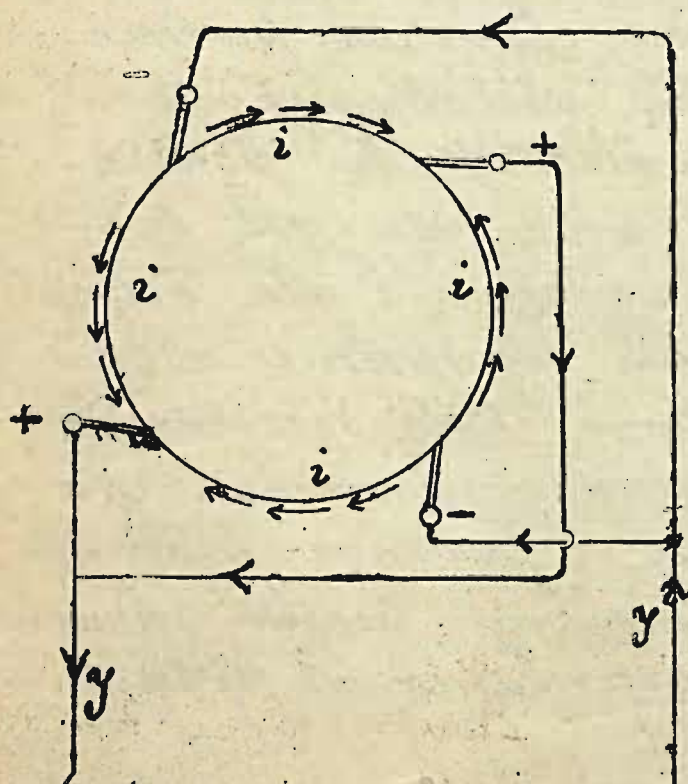
Mamy tu dwie szczotki dośrodkowe.



nie i dwie ujemne. Przyłączamy je



Rys. 77.



elektromotorycznych sumuje tylko

do obwodu zewnętrznego równoległe. Siły elektromotoryczne twornika tworzą cztery grupy, przyłączone równoległe do obwodu zewnętrznego rys. 77.

Elektromotoryczną siłę takiego twornika znajdziemy, w następujący sposób

$$E_{sr} = N \cdot \frac{60}{4n} =$$

$$N \cdot \frac{4n}{60},$$

tu grupa dodających się do siebie sił

ciwierci koła:

$$\mathcal{E} = N \cdot \frac{4n}{60} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4} = N \cdot \frac{n}{60} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Przez umieszczenie więc twornika tego rodzaju w polu ceterobiegunowym siła elektromotoryczna nie zmieniła się.

Natomiast inny, będzie prąd, który można będzie brać z takiej prądnicą. Oznaczmy prąd w drutach twornika przez  $i$  (rys. 77) wtedy, z każdej dodatniej szczotki będzie odpływał prąd  $2i$ , a więc do obwodu popłynie prąd:  $y = 4i$ .

Tworniki pierścieniowe używają się obecnie mało, głównie ze względu na braki konstrukcyjne.

### 7. Uchwycenie z kolektorem, szczotkowe.

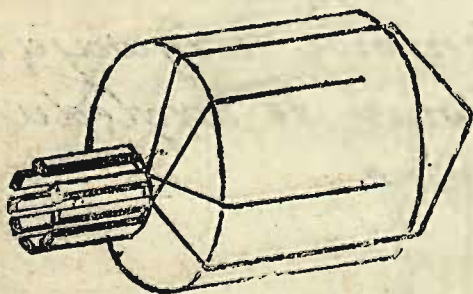
Wszystkie prawie dynamo maszyny prądu stałego z kolektorami budują się z twornikami szczotkowymi.



Nawinięcie na tworniku bębnowym różni się od uzwojenia pierścieniowego tylko sposobem łączenia drutów umieszczonych na zewnętrznej powierzchni twornika.

Tutaj druty łączymy w ten sposób, aby tworzyły jeden zamknięty obwód, a elektromotoryczne siły dodawały się równemi grupami, a w zamkniętym obwodzie uzwojenia twornikowego xnosily się. \*)

Czastkowe uzwojenia tego rodzaju w perspektywie widzimy na rys. 78. i całe uzwojenie w rozwinięciu na rys. 79.



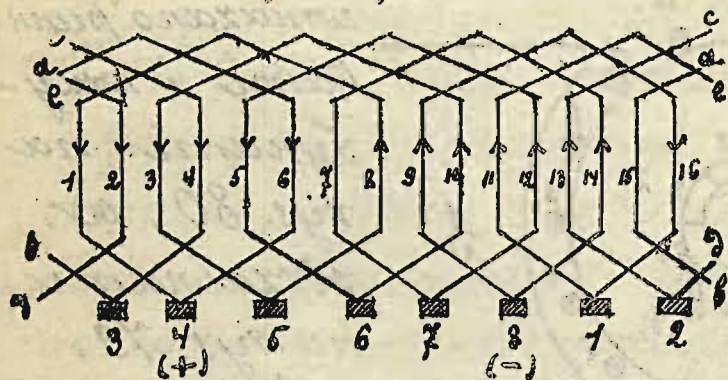
i z tyłu. Przednie połączenia idą do działek kolektora, które są izolowane jedna od drugiej. Przy wykonywaniu połączeń tego rodzaju stosują się xchwyxaj xchony określające

\*) Tego rodzaju uzwojenie wynalazł Hefner Altjen.



tak zwane znaki  $\psi_1$  - przedni i  $\psi_2$  - tylny, które wyrażają odległość dwóch łączonych pomiędzy sobą drutów, po-

Rys. 79.



dana w liczbie drutów przez które trzeba prze-  
snoczyć, aby dojść od jed-  
nego do dru-  
giego drutu.

A więc na przykład na rys. 79 łączymy drut 1- z 6-tym, to  $6-1=5$  nazywamy znakiem przednim,  $\psi_1 = 5$ . Od tyłu łączymy 6-ty drut z 15-tym. Znak liczymy też w porze-  
ciwym kierunku. Przeskakiemy tu przez 7 drutów wstecz.

Takie ułożenie nazywamy przeli-  
cownem.

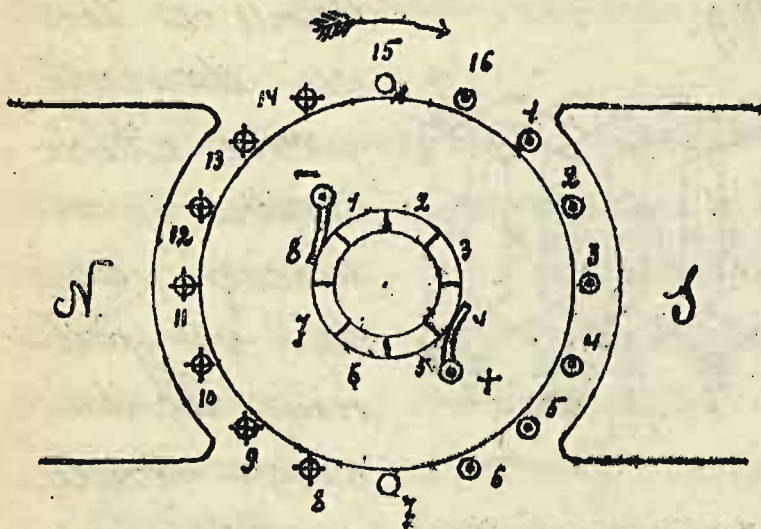
Po obejściu wszystkich drutów dookoła obwodu twornika zamknie się, jak to widać na rys. 79.

Na rys. 80 pokazujemy jest układ drutów w przekroju poprzecznym. Przy obracaniu twornika według ruchu wskazówek zegarka kierunek



sił elektromotorycznych w drutach

Rys. 80.

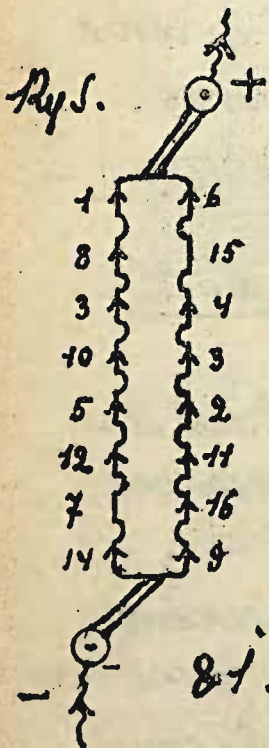


tego twornika wypadnie taki jak wskazano punktami i prędkościami na rys. 80, a strzałkami na rys. 79.

Śledząc za kolejnością

drutów i kierunkiem strzałek łatwo spostrzeżemy, że mamy układ sił elektromotorycznych przedstawiony na rys. 81. Tu widzimy, że siły elektromotoryczne twornika dzielą się na dwie równoległe grupy.

Co pewien czas szczerki będą łaczyć dwie sąsiednie działki kolektora, i mniejsza liczba drutów przyjmie udział w wytworzeniu siły elektromotorycznej, ale przy wielkiej liczbie drutów to wywołuje tylko niewielkie wahania siły.



elektromotorycznej.

Przy obracaniu się twornika będą zmieniać się kolejno numery drutów, ale siły elektromotoryczne pozostaną nieruchome w przestrzeni.

Tam gdzie siły elektromotoryczne schodzą się stawiamy na kolektorze szczytkę, gdzie to szczytką dodatnia - z niej prąd wypływa; tam gdzie siły elektromotoryczne roschodzą się ustawimy szczytkę ujemną, przez tę szczytkę prąd wraca do prądnicy.

Wielkość siły elektromotorycznej takiego twornika znajdziemy w następujący sposób: Przeciętna siła elektromotoryczna w jednym drucie w czasie jego przejścia pod jednym biegunem, co odpowiada połowie obrotu twornika wyniesie:

$$S: \frac{60}{2n} ;$$

$N$  - linja linii magnetycznych, wychodzących z jednego bieguna  
 $n$  - liczba obrotów twornika na minutę.

$\frac{60}{2n}$  - czas w sekundach połowy obrotu twor-



nina.

W jednym szeregu mamy w tworniku połączonych drutów  $\frac{x}{2}$ . jeżeli  $x$  jest liczbą wszystkich drutów na powierzchni twornika, więc cała siła elektromotoryczna twornika wypadnie:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{\frac{60}{2n}} \cdot \frac{x}{2} = N \cdot \frac{n}{60} \cdot x \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Prąd elektryczny, który, będziemy mogli wziąć z takiej dynamomaszyny, zależy od grubości drutów na tworniku.

Oznaczmy przez  $i$  - największy prąd, który można przepuścić przez zwoje twornika nie obawiając się rozgrzać ich zbyt.

Wtedy, cały prąd wypływający z dynamaszyny będzie:

$$Y = 2i.$$

Na rys. 81 wyraźnie widzimy, że prąd wypływający z dodatniej szczytki składa się z dwóch prądów płynących w drutach twornika.

Twornik rozdzielony jest tu na dwie równoległe gałęzie.



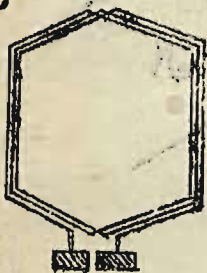
Przy wykonaniu tworników tego rodzaju dla otrzymania dość dużej siły elektromotorycznej, wypada stosować liczbę drutów znacznie większą od tej, która jest podana w powyższym przykładzie.

Użył wielką zaś liczbą działek kolektora jest kosztowna i nie praktyczna w wykonaniu. Wypada więc brać liczbę działek kolektora mniejszą od powyższej liczby drutów i tworzyć tak zwane zwoje lub też zwojnice, z których każda zawiera kilka zwojów.

Na przykład mając 720 drutów moglibyśmy utworzyć 72 wiązki drutów przyłączone do 36 działek kolektora. W każdej wiązce będziemy mieli po 10 drutów.

Rys.

82.



Na tworniku otrzymamy wtedy, zwoje zwojnice takich jak na rys. 82, w każdej takiej zwojnicy będziemy mieli jednak zwojów nie trzy, jak na rysunku, ale dziesięć. Dzieląc drutów na tworniku ukła-

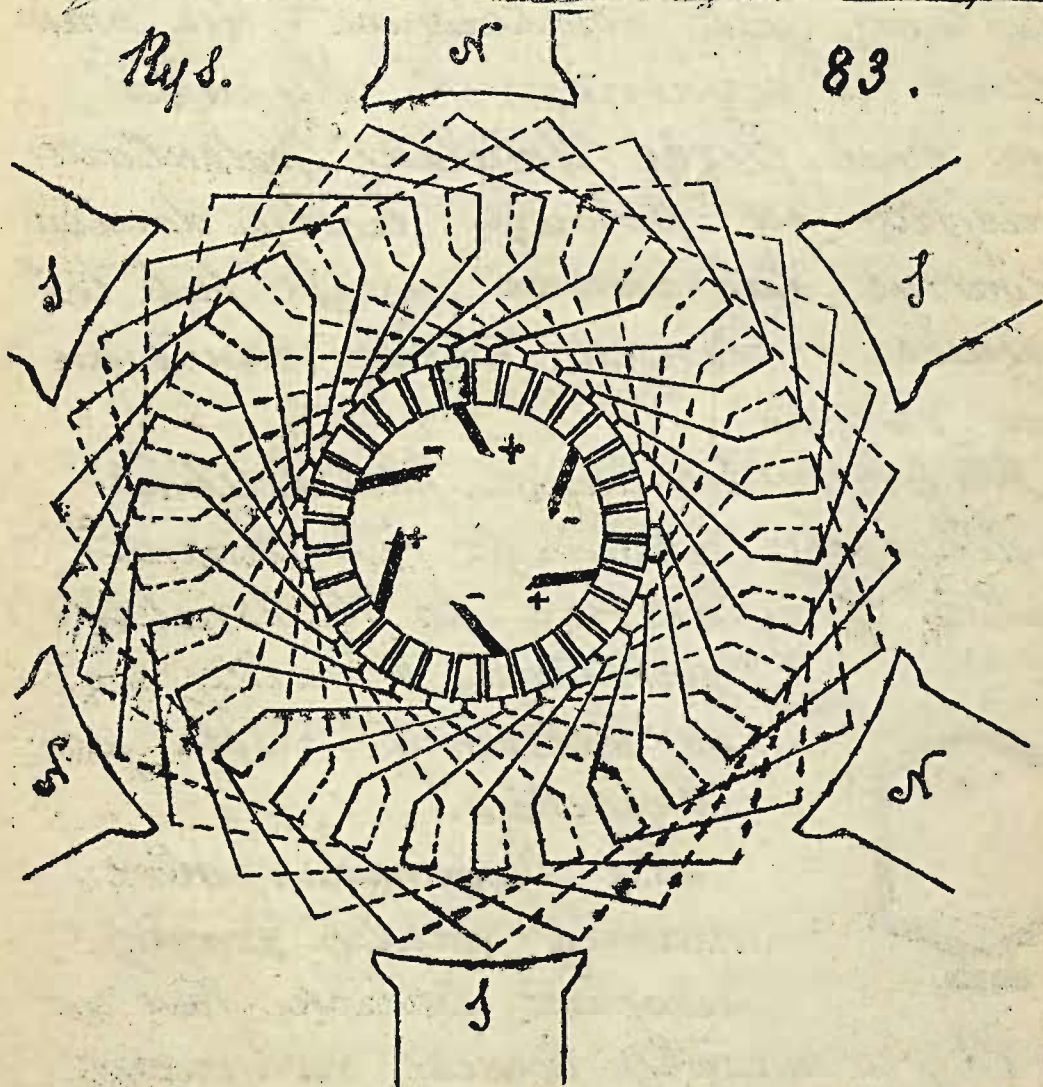


dają się wykonywać w równości.

Przy większej liczbie biegów wykonanie może być wykonane kółkami prostokątnymi. Najważniejsze są dwa sposoby: nałożenie równoległe i krzyżowe.

Rys.

83.



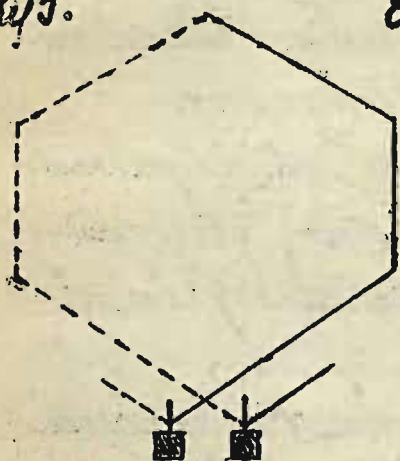
Równoległe nałożenie wykonuje się w podobny sposób jak na silnik dwubiegowy.

Na rys. 83 mamy schematycznie pokazane ułożenie sześcioboku-  
we równoległe z 60 drutów nawie-  
nięte w ten sposób że znak tylny  
(na rysunku zewnętrzne połączenie)  
wynosi - 9, a przedni ze strony  
kolatora - 11. Jeden znak liczy-  
my w prawo, a drugi w lewo.

Ułożenie mamy tu ptlicowe

Rys.

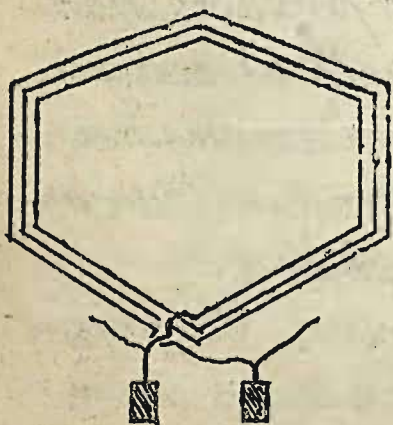
84.



kształt jednej zwoj-  
nicy, pokazany jest  
na rys. 84.

A o ile nie wystar-  
czyłoby, sześćdzie-  
sięciu drutów do wy-  
wołania odpowied-  
niej siły elektro-  
magnetycznej, to każ-  
da zwojnica miała-  
by kształt wzna-  
chanu, na rys. 85.

Rys. 85

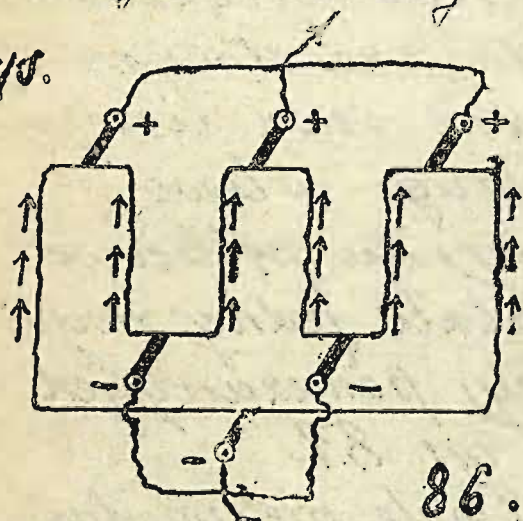


Mielibyśmy wte-  
dy na obwodzie  
twornika sześćdzie-  
siąt stron zwojnic,  
a w każdej stronie  
po kilka drutów.



Wszystkie druty twornika stanowią jeden gotowy obwód, w którym siły elektromotoryczne działają na sześć grup połączonych równolegle. Na rys. 86 widzimy układ tych grup: linia bez końca przedstawia tu rozwinięty drut twornika, a strzałki siły elektromotoryczne.

Rys.



Siła elektromotoryczna takiego twornika wyraża się tak samo jak dwubiegunowego.

Średnia siła elektromotoryczna w jednym drucie będzie:

$$EN : \frac{60}{n} ;$$

$EN$  — liczba linii sił przeciętych przez jeden drut w ciągu jednego obrotu twornika.  
 $\frac{60}{n}$  — czas jednego obrotu twornika w sekundach.

W jednej gałęzi twornika łączą się w szeregu  $\frac{Z}{6}$  drutów, więc:



$$\mathcal{E} = \frac{6N}{\frac{60}{n}} \cdot \frac{2}{6} = N \cdot \frac{n}{60} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

Prąd wypływający z dynamo-  
maszyn, będzie tu jak widać z  
rys. 86:

$$Y = 6 \cdot i ;$$

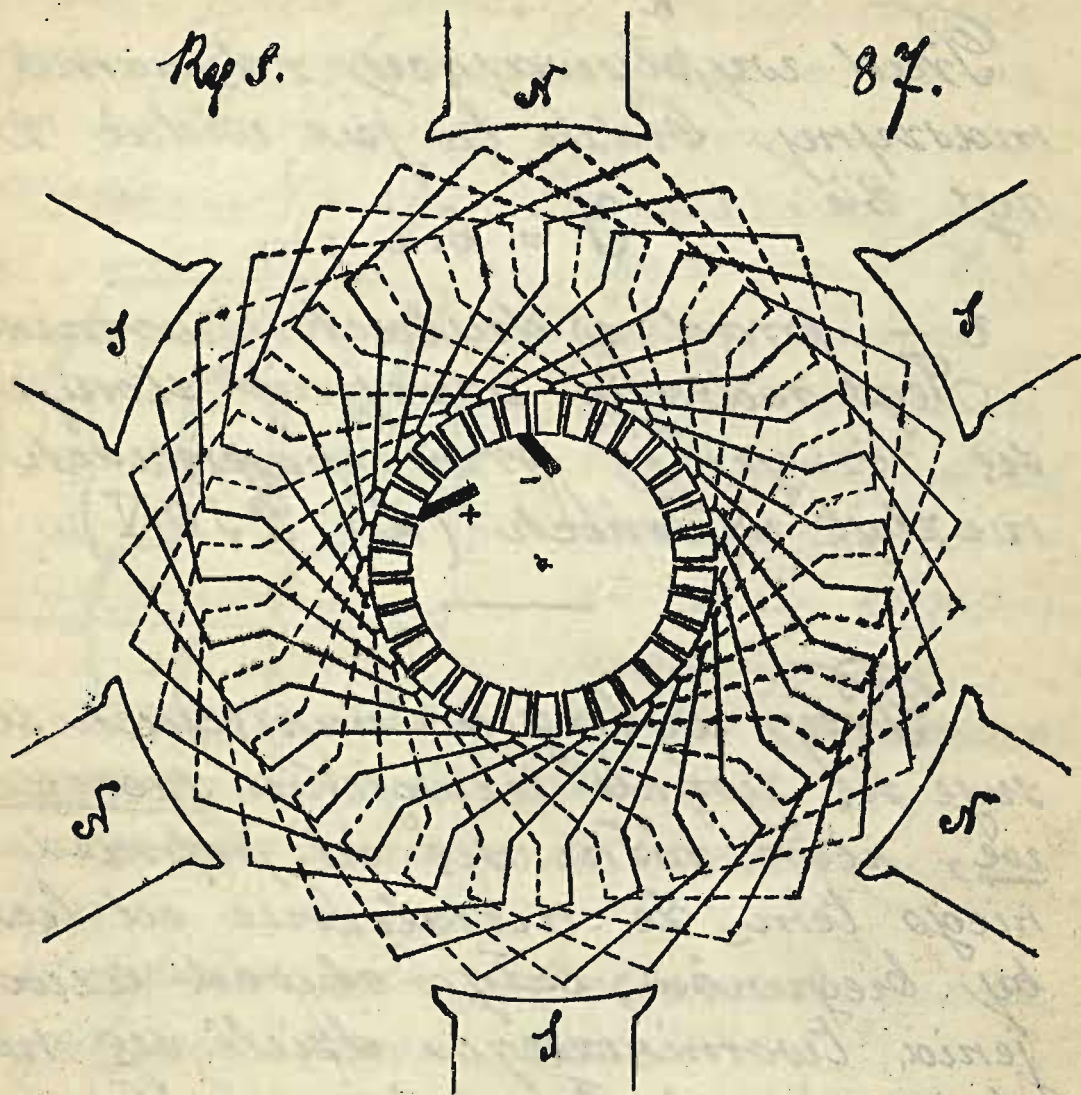
$i$  — prąd w drutach twornika.

Tego rodzaju uzwojenie stosuje  
się zazwyczaj przy napięciach  
niezbyt wysokich (do 250 V).

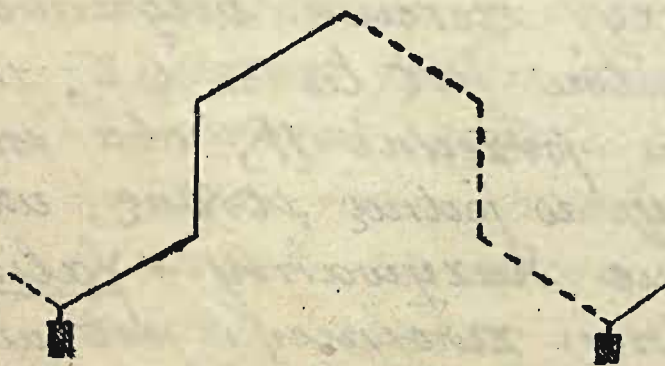
Przy wyższych napięciach sto-  
suje się zwykle uzwojenie szerego-  
we, które różni się od poprzed-  
niego tem, że niezależnie od lic-  
by biegunów, cały obwód uzwo-  
jenia twornikowego dzieli się na  
dwie równoległe części. Na rys. 87  
mamy przykład uzwojenia sze-  
regowego przy sześciu biegunach.  
Liczba drutów jest tu = 62, 3000  
tylny 9, a przedni 11, oba 3000  
ki liczymy w jedną stronę, uz-  
wojenie takie nazywamy — faliste;  
kształt jednej zwojnicy, jest uwi-  
Electrotechnische annalen 94



dozniony na rys. 88.



Rys. 88.



Edy, wypa-  
da xatoso-  
wać zwojri-  
ce o kilku  
zwojach, to  
zwojrica ma  
kształt po-

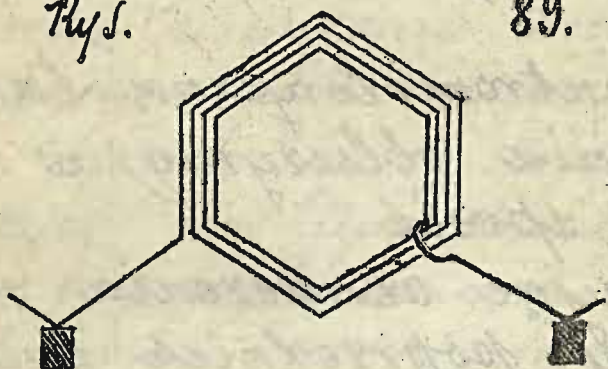
nazany na rys. 89.

Szczotki na kolektorze wypadają  
wstawić w dwóch miejscach pod  
kątem -  $\frac{360}{6} = 60^\circ$ .

Ustawić można szczotki dwie

Rys.

89.



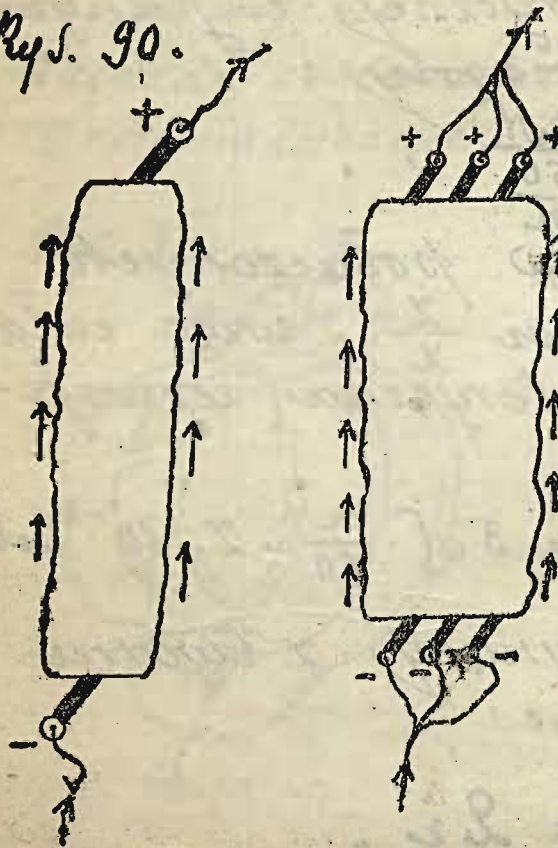
lub sześć szczotek rozstawionych pod kątem  $60^\circ$ .

Łączymy je między sobą tak jak przy uzwo-

jeniu równoległym.

Prąd jednak w tworniku podzieli się zawrze tylko na dwie gałęzie równoległe, ponieważ szczotki jednocienne będą połączone między sobą przez uzwojenie twornika pojedynczymi zwojnicami, których druty, znalazł się po-

Rys. 90.





między biegunami i przez to w nich nie ma znaczących sił elektromotorycznych.

Schemat rozwinięty ułożenia pokazany jest na rys. 90 przy dwóch i przy trzech częstotliwościach.

Siłę elektromotoryczną takiego ułożenia obliczymy, w następujący sposób.

Wskazując oznaczenia stosowane przy poprzednich ułożeniach, wyraz dla średniej siły elektromotorycznej w jednym drucie otrzymamy:

$$\frac{6N}{60} \cdot \frac{n}{2}$$

Liczba drutów połączonych w szeregu wynosi  $\frac{Z}{2}$ , więc cała siła elektromotoryczna ułożenia będzie:

$$\mathcal{E} = \frac{6N}{60} \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{Z}{2} = 3N \cdot \frac{n}{60} \cdot Z \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

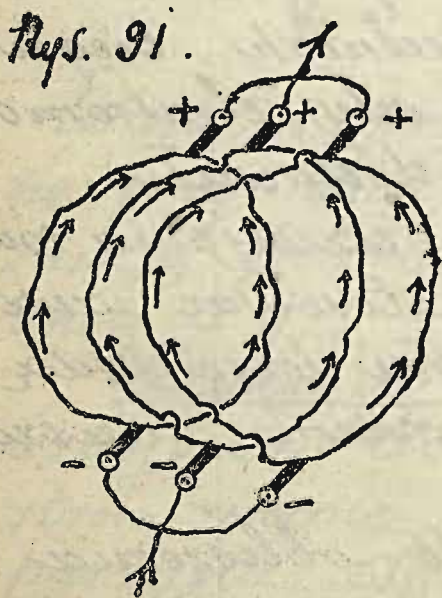
Prąd zaś płynący, z tworzonego wypadnie:

$$I = 2i.$$

jeżeli i oznaczą się prądu w jednym drucie twornika.

Oprócz tych dwóch zasadniczych rodzajów uzwojeń stosuje się czasem uzwojenia wielokrotne. Są to uzwojenia składające się z kilku niezależnych uzwojeń, nawiniętych na tym samym tworniku i przyłączonych do jednego kolektora, który jest zaopatrzony w taką liczbę działek, że każde uzwojenie ma swoje niezależne działki izolowane od innych.

Schematycznie takie uzwojenie wielokrotne trójbiegunowe, składające się z trzech niezależnych uzwojeń pokazane jest na rys. 91.



Późatem są jeszcze uzwojenia równoległe szeregowo, w których



urząd połączeń jest taki, że obwód uzwojenia tworninowego dzieli się na liczbę gateri równoległych mniejszą od liczby biegunów.

Dla wykonywania różnych uzwojeń należy mieć wskazówki co do wyznaczenia znaków.

Uzwojenie równoległe. Liczba drutów i liczba stron zwojnic osywnic musi być parzystą. Znaki zaś muszą być koniecznie liczby, nie parzyste, ponieważ przy parzystych znakach nie oberzlibyśmy wszystkich drutów. Znaki muszą zajmować mniej więcej taki sam na powierzchni twornika, jaki odpowiada odległości dwóch sąsiednich biegunów. Wtedy tylko siły elektromotoryczne będą się dodawały.

Dla otrzymania uzwojenia równoległego wypada stosować uzwojenie petlicowe, znaki więc będą liczone tam i z powrotem, muszą więc być różne.

Nazwijmy dla obliczenia znaków  $\psi_1$  i  $\psi_2$  stosując się przy



рґху, ихвоженіи то̀внолестем вохо-  
ну, пастєрґясе:

$$\gamma_1 = \frac{s' \pm b}{p} \pm 2$$

$$\gamma_2 = \frac{s' \pm b}{p} .$$

$s'$  — охпасха са́а лїсхвє строн хвожнїс  
на ро̀верхетнї твотнїка.

$b$  — лїсхва нто̀ра мо̀жє вупотїс: 0, 2,  
4, 6.

$p$  — лїсхва вїсгунїв.

Прхуґлад облісхенїа жнокїв дла  
ихвоженїа wskazanego на рґз. 83.

$$s' = 60 ; \quad b = 6 ; \quad p = 6 .$$

$$\gamma_1 = \frac{60 + 6}{6} - 2 = 9 .$$

$$\gamma_2 = \frac{60 + 6}{6} = 11 .$$

Дхїа́тнї колентора рґхуґасхаґа  
їє рґху, ихвоженіи то̀внолестем  
хавше ро̀нолї, вісє на коленторхє  
жнок —  $\gamma_k = \pm 1$ .

Ихвоженїє зхерєгове. Прху, тунє  
ихвоженіи лїсхва дрїтїв і лїсхва  
строн хвожнїс мїзї бу́с оххувїсїє  
рґххґста. Жнокї ха́з нїєрґххґсте.  
Дла отрххґманїа влґсїївєго иґлґ-



du drutów wypadła tu stosować uzwojenie faliste. Skoki liczą się zawsze w jedną stronę, mogą więc być równe albo nierówne.

Dla obliczenia skoków stosujemy wzór następujący:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = \frac{S' \pm 2}{p/2}$$

Dla otrzymania symetrycznego układu połączeń na kolektorze wypadła takich drzatk kolektora z uzwojeniem według skoku:

$$\gamma_k = \frac{k \pm 1}{p/2}$$

$k$  - liczba drzatek kolektora.

Przykład obliczenia skoków dla uzwojenia wskazanego na rys. 37.

$$S' = 62 ; \quad p = 6$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 = \frac{62 - 2}{6/2} = 20$$

Liczbę 20 dzielimy na dwie nieparzyste:

$$\gamma_1 = 11 \text{ i } \gamma_2 = 9 ;$$

$$\gamma_k = \frac{31 - 1}{6/2} = 10$$

Uzwojenie szeregoworównoległe.  
Przy tym uzwojeniu stosujemy rów-



niez uklad falisty i skoki obliczamy według wzorów:

$$\psi_1 + \psi_2 = \frac{N \pm a}{p/2}$$

$$\psi_k = \frac{k \pm a/2}{p/2}$$

$a$  - liczba galezi równoległych w tworniku, która może równać się dowolnej parzystej liczbie pomiędzy 0 i  $p$ .

Według Arnolda, który obmyślił uzwojenie tego rodzaju, stosunek  $\frac{k}{a/2}$  powinien być liczbą całkowitą.

### Ogólny wyraz siły elektromotorycznej.

Łatwo wyprowadzić wyraz dla siły elektromotorycznej w tworniku ogólny.

Rozważmy twornik z uzwojeniem przystosowanym do  $p$  - biegunów, z  $a$  - równoległymi galeziami.

Średnia siła elektromotoryczna w jednym drucie wyrazi się wzorem:

$$\frac{p \cdot N}{60 n},$$

a ponieważ mamy  $\frac{z}{a}$  drutów połączonych w szeregu, więc cała siła



ta elektromotoryczna twornina będzie:

$$\mathcal{E} = \frac{p \cdot N}{\frac{60}{n}} \cdot \frac{z}{a} \cdot 10^{-8} = N \cdot \frac{n}{60} \cdot z \cdot \frac{p}{a} \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

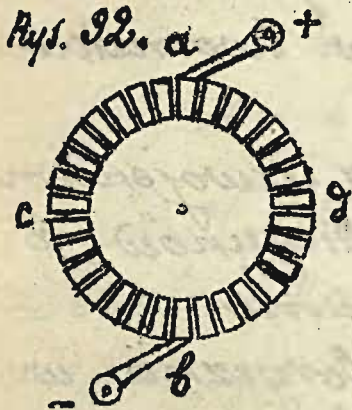
Siła prądu otrzymywana z prądnicy będzie:

$$Y = a \cdot i$$

$i$  — prąd w pojedynczym drucie.

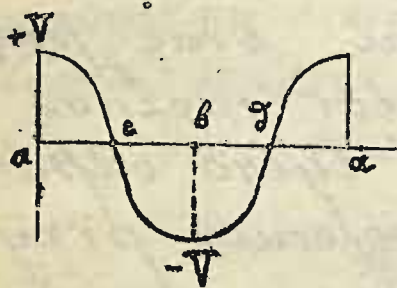
## 8. Otrzymywanie zmiennego prądu z uzwojeń rolentorowych.

Zastanawiając się nad rozkładem napięć po obwodzie rolentorowego naprz. przy uzwojeniu dwubiegowym, rys 92, łatwo spostrzedz, że jeżeli naprz. napięcie na szczotkach wynosi  $2v$  i potencjał w punkcie a na rolentorze jest  $(+v)$ , to w punkcie b będzie  $(-v)$ , a z powodu jednostajnego rozkładu sił elektromotorycznych w punktach c i d będzie „zero”.



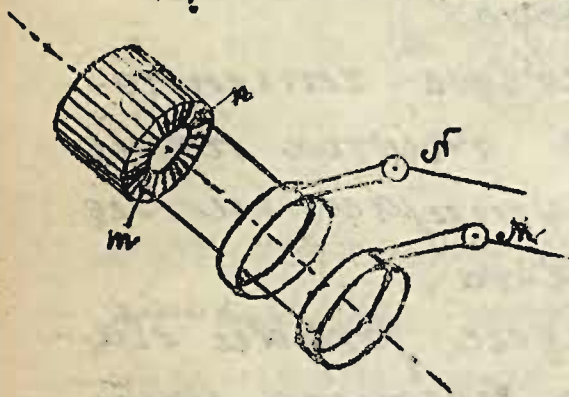
Rozwijając obwód kolektora w linję prostą otrzymamy rozkład potencyałów na kolektorze taki jak wskazano na rys. 93.

Rys. 93.



Ułożymy na przedłożeniu wa-  
tu twornika dwa  
pierścienie metalo-  
we izolowane rys. 94.<sup>\*)</sup>  
i połączymy je z  
dwoma dowolnymi przeciwległemi  
działkami kolektora tak jak wska-

Rys. 94.



zano na rys. 94. i  
zaopatrzymy te pier-  
ścienie w nieruchome  
szczotki dotykające  
się do nich. Łat-  
wo zpostredek, za-  
staniawiając się nad  
zmiennością poten-

cyatów na działkach kolektora m  
i r przy obracaniu się twornika,  
że różnica potencyałów na tych  
działkach będzie zmienną okre-  
sowo. Jeden okres będzie odpo-  
wiedział jednemu obrotowi. Takie

<sup>\*)</sup> Ułożenie twornika opuszczone.



same będą oczywiście zmiany napięcia na szczytkach  $M\dot{S}$ , które są połączone przez pierścienie z działkami kolentora  $m$  i  $n$ .

Jeżeli z uzwojenia twornika nie mamy zamiaru brać prądu stałego, to kolentor można oczywiście usunąć i tylko odpowiednio miejsca uzwojenia przyłączyć do pierścieni.

W ten sposób można otrzymać prąd zmienny, jednofazowy z uzwojenia dwubiegunowego pierścieniowego lub bębnowego.

Maksymalna wartość zmiennego napięcia będzie równa napięciu stałemu, otrzymującemu się przy pomocy kolentora.

Więc jeżeli napięcie prądu stałego otrzymanego z pewnego uzwojenia będzie wynosić  $e_1$ , to czynne napięcie prądu zmiennego wypadnie:

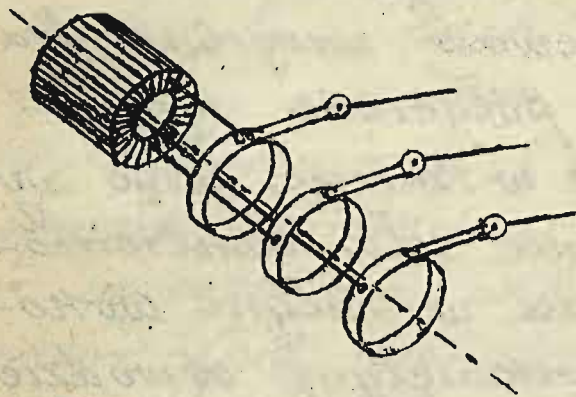
$$e_2 = \frac{e_1}{\sqrt{2}}.$$

Można otrzymać z uzwojeń kolentorowych i prąd wielofazowy).



Wystarczy w tym celu wybrać na kolektorze kilka punktów symetrycznych w ilości zastosowanej do liczby faz. Np. dla otrzymania prądu trójfazowego wypadła wziąć trzy punkty odległe jeden od drugiego na trzecią część obwodu kolektora rys. 95

Rys. 95.



i przyłączyć je do trzech pierścieni. W ten sposób z trzech szczotek opierających się na pierścieniach otrzymamy prąd trójfazowy.

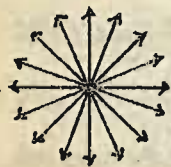
Uzwojenie twornika względem przewodów prądu trójfazowego będzie połączone w trójkąt.

O wielkości napięcia otrzymującego się w układach tego rodzaju najłatwiej zodać sobie sprawę, zakładając, że siła elektromotoryczna w drucie twornika, obracającego się w polu magnetycznym zmienia się dokładnie sinusoidalnie. Wtedy



oczywiście każdy z drutów będzie w danej chwili siedliskiem siły elektromotorycznej w innej fazie i mając naprz. 16 drutów na obwodzie rys. 80 siły elektromotoryczne w poszczególnych drutach można będzie przedstawić za pomocą szesnastu wektorów przesuniętych jeden względem drugiego o  $\frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ$  - jak to wskazano na rys. 96.

Rys. 96.

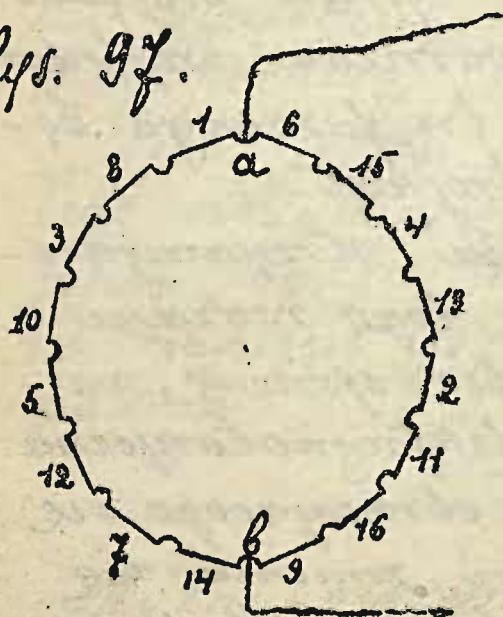


Ponieważ wszystkie druty są połączone symetrycznie w szeregu, więc wypadkowa siła elektromotoryczna w całym wokół zamkniętym obwodzie

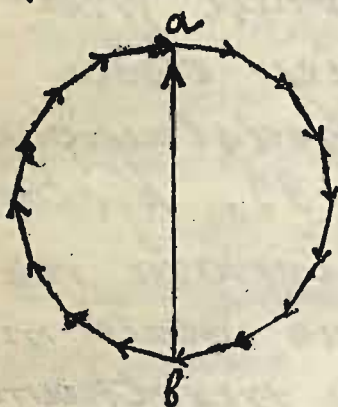
uzwojenia twornika będzie równa sumie sił elektromotorycznych poszczególnych drutów. (Rys. 97 patrz także rys 81).

Będzie to suma geometryczna wyrazi się więc ona boniem zamknięcia.

Rys. 97.



jęcym wielokąta utworzonego z powyższych wektorów. Ponieważ jednak te wektory mają układ rys. 97, więc ich suma będzie zero, i one utworzą wielokąt zamknięty, rys. 98.  
Rys. 98.



Jeżeli jednak odprowadzamy prąd od dwóch punktów znajdujących się na przeciwnych końcach średnicy kolektora, a więc od punktów

uzwojenia a i b rys. 97, to napięcie pomiędzy temi punktami wyraża się wektorem ab rys. 98, wektor ten jest sumą połowy, wszystkich sił elektromotorycznych.

Długość tego wektora wyraża maksymalne napięcie zmienne i napięcie stałe otrzymywane na szrotkach.

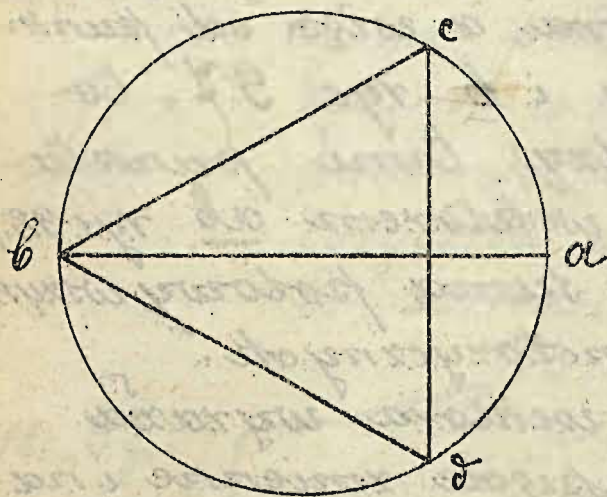
Oznaczmy, stałe napięcie przez  $e_s$  - wtedy efektywna wartość napięcia zmiennego będzie:

$$e = \frac{e_s}{\sqrt{2}} .$$



Jeżeli będziemy odbierali prąd trójfazowy, to wszystkie siły elektromotoryczne podziela się przez trzy grupy, wtedy liczba działek kolektora powinna dzielić się przez trzy. Wielonąt prądowy przy wielkiej ilości stron może być przedstawiony w kształcie koła rys. 99. Wektor

Rys. 99.



$\underline{ab}$  wyraża napięcie stałe między szczytkami, wektory zaś  $\underline{bc}$ ,  $\underline{cd}$  i  $\underline{db}$  napięcia maksymalne pomiędzy przewodami prowadzącymi prąd trójfazowy.

Określimy przez  $E_s$  - stałe napięcie na szczytkach ustawionych na kolektorze dla otrzymania prądu stałego, wtedy na podstawie zależności istniejącej pomiędzy bokami równobocznego trójkąta, a promieniem koła opisanego otrzymamy efektywne napięcie mię-



dzy przewodami prądu trójfazowego.

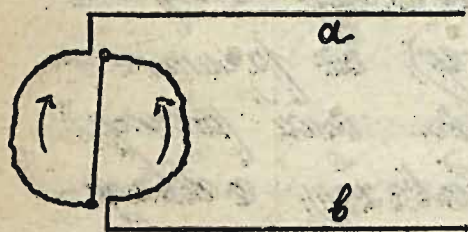
$$e = \frac{E_s \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{2}} = 0,613 E_s.$$

W podobny sposób można znaleźć napięcie prądu zmiennego o dowolnej liczbie faz dzieląc wielonąt sił elektromotorycznych na odpowiednią liczbę części.

Z uzwojenia kolektorowego można otrzymywać prądy wielofazowe jeszcze w inny sposób.

Dla otrzymania prądu jednofazowego można naprz. rozciąć uzwojenie w dwóch miejscach przeciwnych i połączyć tak jak wskaza-

Rys. 100



między przewodami a, b będzie dwa razy, większe od tego jakie obliczyliśmy przy układzie wskaza-

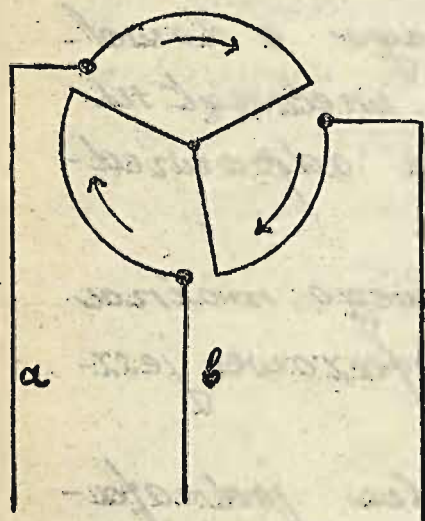
ny na rys. 97.

Prąd trójfazowy można otrzym-



mać dzieląc obwód zwojów twor-  
nika na trzy części i łącząc tak  
jak wskazano na rys. 101.

Rys. 101.



Porównując ten  
układ z układem  
omawianym poprzed-  
nio, łatwo spostrzedz,  
że tam mieliśmy po-  
łączenie zwojów twor-  
nika w trójkąt, tu zaś,  
c na rys. 101, mamy po-  
łączenie w gwiazdę  
więc napięcie w  $\sqrt{3}$

razy większe od poprzedniego.

Uzwojenia rozcięte można oczywiście  
stosować tylko wtedy, gdy nie zacho-  
pujemy maszyny w kolektor.

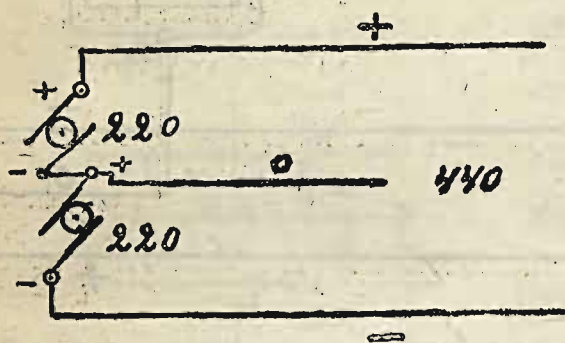
Przy uzwojeniach wielobiegu-  
nowych wypada oczywiście odgale-  
niać prąd wielofazowy w punktach  
kolektora innych niż przy  
dwubiegowych. Należy odleg-  
łość pomiędzy miejscami styku  
dwóch zwojów jednoimennych  
dzielić na odpowiednią ilość rów-  
nych części.



## 9. Prądnice trójprzewodowe.

Dla zasilania prądem sieci trójprzewodowych prądu stałego można posilkować się dwoma prądnicami połączone-

Rys. 102.



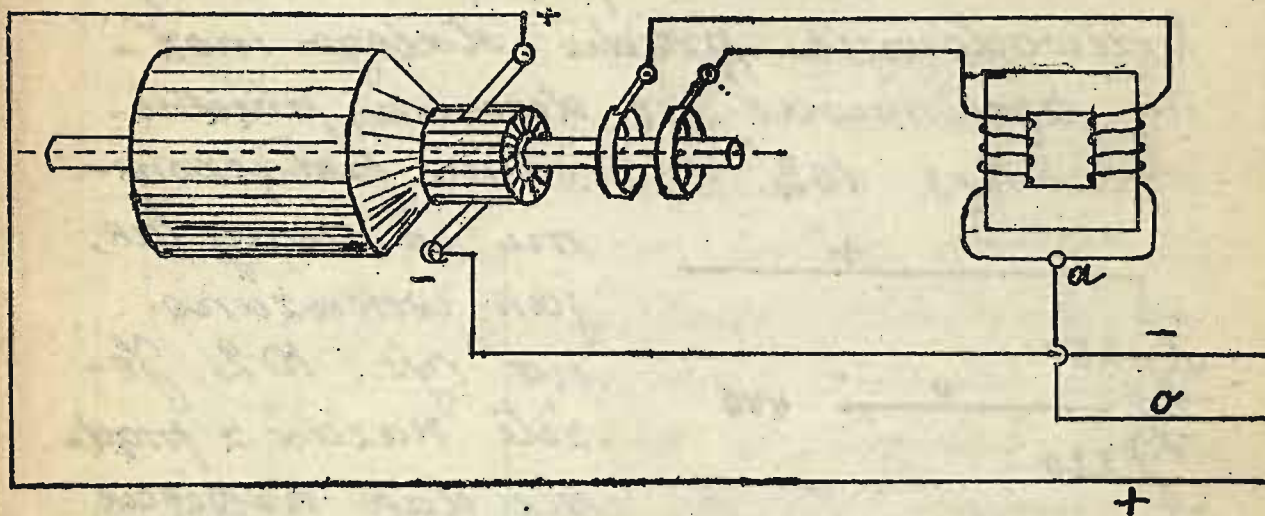
mi w szeregu tak, jak wskazano na rys. 102. Jeżeli każda z prądnic daje napięcie 220 V. to odpro-

wadzając tak zwany zerowy przewódnik sieci od miejsca połączenia prądnic między sobą otrzymamy napięcie 220 V. pomiędzy zerowym przewódnikiem i każdym z przewódników zewnętrznych, a 440 V. pomiędzy przewódnikami zewnętrznymi. Chcąc sieć trójprzewodową zasilac prądem z jednej dynamomaszyny należy ją tak zbudować, aby można było przyłączyć przewódnik zerowy).

W tym celu zaopatrujemy prądnicę w dwa pierścienie połączone z uzwojeniem twornika w



ten sposób jak wskazano na rys. 103.  
Rys. 103.

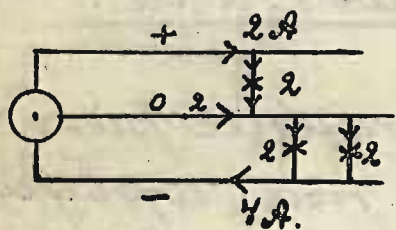


(Przy dwubiegunowym nawinięciu twornika - z przeciwległemi ośniami kolektora). Na tych pierścieniach, jak widzieliśmy poprzednio otrzymujemy okresowo zmienne napięcie. Szczotki ustawione na pierścieniach łączą się z uzwojeniem odpowiedniego dławnika. Środek uzwojenia dławnika oczywiście zawsze będzie miał potencjał średni pomiędzy potencjałami szczotek na pierścieniach. Gdy potencjały na tych szczotkach będą się zmieniały od pewnej dodatniej wielkości  $+V$ , do takiej samej  $-V$ , to w punkcie a -

- będzie stały potencjał - zero.  
Do tego więc punktu możemy przy-  
łączyć zerowy przewodnik sieci.

Przez zerowy przewodnik sieci pły-  
nie prąd tylko wtedy, gdy obciąże-  
nie obydwóch połówek sieci jest róż-  
ne. A więc napr. w wypadku

Rys. 104.



porazany na rys. 104  
między „+” i „0” ma-  
my włączony jeden  
przyrząd przepuszcza-  
jący prąd 2A., a  
między „0” i „-” - dwa

takie przyrządy przepuszczające  
prąd 4A., wtedy przez zerowy prze-  
wodnik płynie różnica prądów  
tych dwóch połówek sieci.

Dławnik i pierścienie obliczają się  
na przepuszczenie tylko pewnej czę-  
ści pełnego prądu dynamometry-  
ny napr. 20%.

Zamiast układu jednofazowego  
można stosować dla podziału na-  
pięcia również układ trójfazowy.

Ustawiając trzy pierścienie na  
tworniku i urządzając trzy uzwo-  
jenia na dławniku. Uzwojenia te



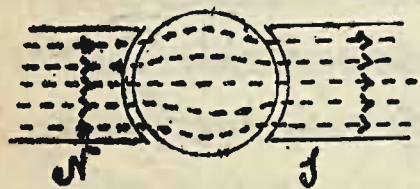
łącza się w gwiazdkę i od punktu zerowego odprowadza się zerowy przewódnik.

Stawniki stosowane w tych urządzeniach nazywają się dzielnikami napięcia.

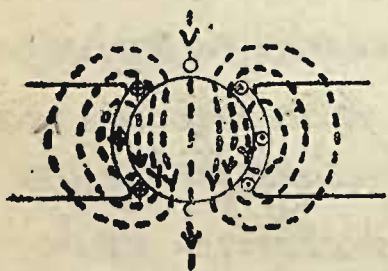
## 10. Reakcja twornika.

W działaniu prądnic pierw-  
szorzędne znaczenie ma wpływ  
prądu w tworniku na układ i  
gęstość linii magnetycznych po-  
la wzbudzającego zity, elektro-  
magnetyczne w tworniku.

Rys. 105.



Gdy nie ma pra-  
du w zwojach twor-  
nika pole wywoła-  
ne prądem w elek-  
tromagnetykach ma  
układ linii wskaza-  
ny na rys. 105.

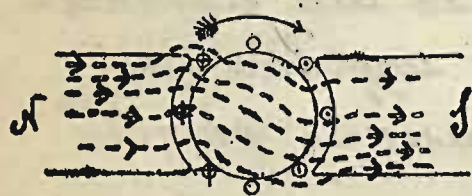


Rys. 106.

Prąd w tworniku  
przy przerwaniu  
prądu w elektromag-  
netykach wytworzyłby pole wskazane na rys. 106.



Przy obciążeniu prądnicy prąd jest jednocześnie w uzwojeniach elektromagnesów i w tworniku więc wypadkowe pole rys. 107 otrzymany przez złożenie obydwóch



Rys. 107. - pole poprzecznych.  
Z rys 107 widzimy, że pole jak by było pociągnięte przez wirujący ruch twornika.

Zestawiając kierunki linii sił na rys. 105 i 106 łatwo spostrzedz, że w górnej połowie północnego bieguna i w dolnej południowego kierunki są zgodne, a w dolnej połowie północnego bieguna i w górnej połowie bieguna południowego kierunki są przeciwnie.

W takich warunkach prąd twornika odkształca pole magnetyczne nie zmieniając ogólnej liczby linii magnetycznych wychodzących z biegunów.

Taki układ pola magnetycznego twornika istnieje jednak tylko wtedy, gdy szrotki są ustawione do-



kładnie na tej zwolnej linii obojętnej, t. j. dotykają tych drutów kolektora, które są połączone bezpośrednio z drutami na tworniku, znajdującymi się dokładnie w środku pomiędzy biegunami.

Dalej wyjaśnimy, że dla uniknięcia iskrzenia się szczotek wypada je przesunąć nieco w kierunku obrotu twornika.

Gdy szczotki są przesunięte, to osi magnetyczna w tworniku przechyli się naprzód rys. 108, ponieważ inaczej



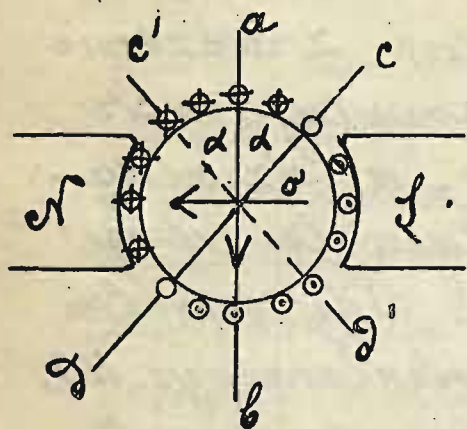
Rys. 108. będą rozłożone nie-  
równo prądów w dru-  
tach na obwodzie.

Wskutek tego pochyle-  
nia wzmoże się od-  
kształcające działa-  
nie prądu twornika.

Wszystkie amperozwoje twornika można wte-  
dy podzielić na dwie części, z któ-  
rych jedna odkształca pole ele-  
ktromagnesów, a druga osłabia.

Na rys. 109 prosta ab określa  
położenie linii obojętnej, prosta cd  
dzieli twornik na dwie połowy,

o różnych kierunkach prądu w  
Rys. 109. drutach. Prosta  $cd'$



przeprowadzamy w  
ten sposób aby:  $\angle aoc = \angle aoc'$ .

Wtedy widzimy, że  
amperozwoje twornika,  
zawarte w kącie  
 $\angle da$ , wytwarzają siłę  
magnetomotoryczną  
rozmagnezowującą

elektromagnesy. Reszta zaś ampe-  
rozwojów objęta kątem  $\angle c'od$  - wytwa-  
rza siłę magnetomotoryczną prosto-  
padłą do osi magnetycznej biegunów  
elektromagnesów, ta siła magnetomo-  
toryczna odkształca pole.

Amperozwoje zawarte w kącie  $\angle da$   
nazywamy amperozwojami rozmag-  
nezowującymi twornika. Kąt  $\angle da$  -  
jest kątem, na który przesunięte  
są szczotki od pasa obojętnego.

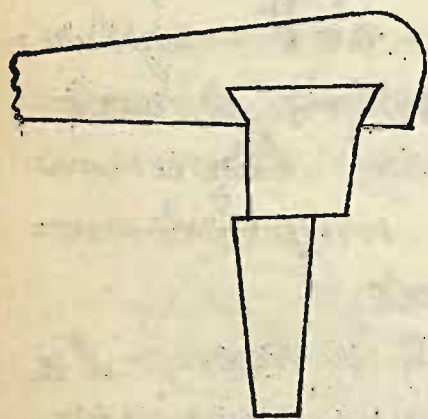
Liczbę amperozwojów rozmagnezowu-  
jących możemy obliczyć ze wzor-  
u:  $Z' \cdot i$ ;  $Z'$  - oznacza tu liczbę  
drutów twornika zawartych w  
kącie  $\angle da$ ,  $a \cdot i$  - prąd w każdym  
drucie.



# 11. Iskrzenie się szczotek.

W działaniu prądnic kolektorowych pierwszorzędne znaczenie ma sprawa isker, powstających pomiędzy szczotkami, a działkami kolektora. Powstają te iskry w następujący sposób. Gdy szczotka zsuwa się z działki kolektora rys. 110,

Rys. 110.



to powierzchnia styku stopniowo maleje. Prąd przepływając z kolektora do szczotki lub na odwrót stopniowo przybiera coraz większą gęstość. W chwili gdy rozważana działka kolektora opuszcza szczotkę

gęstość prądu jest największa, i przez to może wywierać się tu tak wielka ilość ciepła, że rozżarzy prawą i lewą szczotki i działki kolektora, wytwarzając parę węgla i metalu. Przez tę parę przewodzący prąd jeszcze jaśniejszy będzie płynął i wywoła w niej zjawisko świetlne, zwane iskrą.

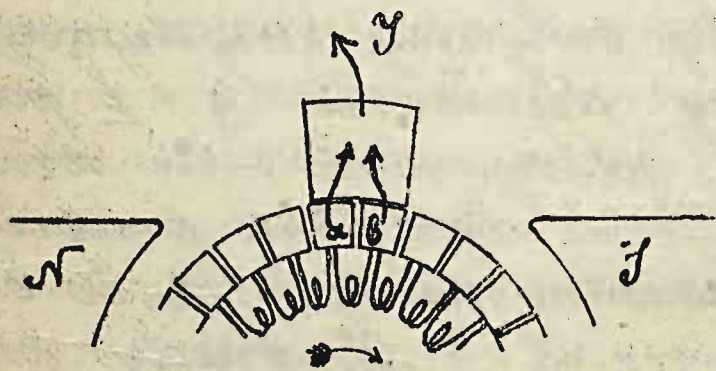
Takie iskry oczywiście nadgryzają i niszczą brzegi szczotki i działki kolektora.

Dla uniknięcia isker należy dążyć do tego, aby prąd przepływający z danej działki kolektora do szczotki zmniejszał się stopniowo przy — zmniejszaniu się powierzchni styku szczotki z działką kolektora, a w chwili gdy szczotka opuszcza działkę kolektora był równy zero.

Osiągnąć to można przynajmniej w przybliżeniu przez odpowiednie ustawienie szczotek.

Na rys. III widzimy część kolektora i zwojów przedstawionych schematycznie.

Rys. III.



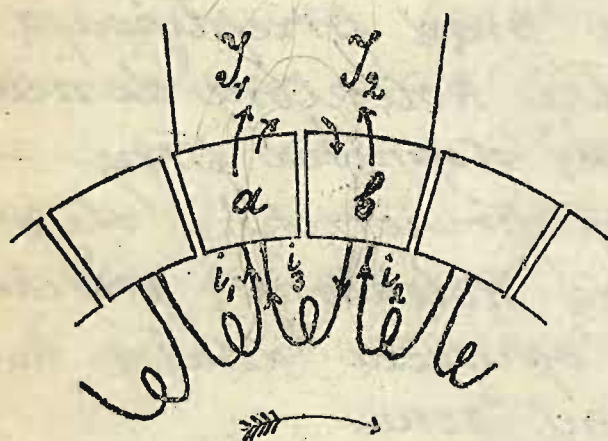
Szczotka jest nieruchoma, a działki ze zwojami stopniowo przechodzą się pod nią;

N i S — bieguny elektromagnesów częściowo widoczne na rysunku.



Na rys. 112, działki  $a$  i  $b$  są przedstawione w większej skali wyrazniej.

Rys. 112.



Prąd  $I$  wypływający ze szczotki dopływa z dwóch stron uzwojenia twornika tak że

$$I = i_1 + i_2.$$

Gdy twornik jest dokładnie symetryczny to:

$$i_1 = i_2 = \frac{I}{2}.$$


Przez powierzchnie zetknięcia szczotki z działkami kolektora przepływa jednak prąd  $i$  inny. Ponieważ w krótko spiętej zwojnicy znajdującej się pomiędzy działkami  $a$  i  $b$  powstaje prąd, który może mieć różny kierunek. Jeżeli ten prąd przebiega tak jak wskazano na rys. 112, to oznaczając przez  $I_1$  i  $I_2$  prądy przepływające przez styki szczotki z działkami kolektora  $a$  i  $b$ , otrzymamy według pierwszego prawa Kirchhoffa:

- 157 -

$$Y_1 = i_1 + i_3 \quad i$$

$$Y_2 = i_2 - i_3 \quad .$$

Wielkość i kierunek prądu  $i_3$  zależą od dwóch sił elektromotorycznych: od siły elektromotorycznej samoindukcji powstającej przy zmianie prądu  $i_1$ , zgodnie z tym prądem<sup>x)</sup>, a także od siły elektromotorycznej indukcji wywołanej zewnętrznym polem.

Gdy mamy maszynę zbudowaną, to zmieniać dowolnie siły elektromotorycznej samoindukcji nie możemy, natomiast łatwo dobrać odpowiednią siłę indukcji pola zewnętrznego; w chwili krótkiego złączenia zwójnicy przez szczotkę, wystarcza w tym celu zmieniać położenie szczotki względem biegunów elektromagnesów. Chodzi tu o osiągnięcie takiego prądu  $i_3$ , aby w chwili przechwywania się styku szczotki z działką kolektora  prąd

$$Y_2 = i_2 - i_3 \quad \text{równał się zero, a więc } i_2 = i_3 .$$

x) zwojnica krótko-złączona w chwili przedstawionej na rysunku 112 przed tą chwilą była w obwodzie lewej połowy twornika i przez nią płynął prąd  $i_1$ .



Osiągamy ten cel ustawiając szczerkę względem biegunów w ten sposób, aby zwojnica krótko spięta znajdowała się w pobliżu bieguna  $S$ , wtedy siła elektromotoryczna wywołana przez pole elektromagnesów wystarczy nie tylko dla zrównoważenia wspomnianej powyżej siły elektromotorycznej samoinducycji, ale i dla wywołania odpowiedniego prądu  $i_3$ .

Dla uniknięcia iskrzenia się szczerki wypadła więc jak widzimy przesunąć je z linii obojętnej w kierunku ruchu twornika.

Wiemy jednak, że na układ linii pola w prądniccy wpływa siła prądu w tworniku, a poza tem siła elektromotoryczna samoinducycy wzrasta z prądem twornika, położenie więc szczerki wypadnie różne dla rozmaitych sił prądów w tworniku t. j. obciążenia prądniccy. Im obciążenie będzie większe tym dalej wypadnie przesunąć szczerki.

Odpowiednia budowa twornika zapewniająca niewielką reakcję twornika i szczerki względem przez swój



większy opór styku zmniejszają  
znacznie wielkość kąta, na który  
wypada przesuwać szczotki.

Dla uniknięcia przesuwania szczotek z linij obojętnej obecnie bardzo często stosują się tak zwane bieguny dodatkowe umieszczone pomiędzy biegunami głównymi rys. 113.

Rys. 113.



One mają nawinięcie szeregowo t.j. prąd w zwojach umieszczonych na dodatkowych biegunach płynie ten sam co przez twornik.

Znak biegunów dodatkowych jest wskazany na rys. 113. Z rysunku widzimy, że przy ruchu twornika w prawo u góry mamy biegun południowy taki sam, do jakiego mieliśmy, zbliżając zwojnice krótko spista dla uniknięcia iskrzenia się szczotek. Biegun więc dodatkowy wywoła siłę elektromotoryczną potrzebną dla zabezpieczenia odpowiedniej zmiany prądu pod szczotkami. Nie należy



nigdy zapominać, że przy zmianie kierunku ruchu twornika nie trzeba zmieniać połączeń ani nawiązań na biegunach dodatkowych, bo przy zmianie kierunku ruchu twornika zmienia się kierunek prądu w tworniku i bieguny dodatkowe zmieniają także swoją biegunowość, ponieważ są zasilane prądem głównym.

Zachowując wyżej podane warunki można osiągnąć bieg maszyny bez iskier na szczotkach tylko wtedy, gdy szczotki szczególne są dopasowane do powierzchni kolektora i gdy powierzchnia kolektora jest gładka i równa. Szczególnie należy zwracać uwagę na to, aby nie wystawała z pomiędzy płytek. Nierzadko jest jeszcze wykrzesać.

Pozatem kolektor powinien być suchy, niczem nie należy kolektora smarować.

---