

## R e z d z i a ł IV.

### ODDZIAŁYWANIE /REAKCJA/ TWORNIKA.

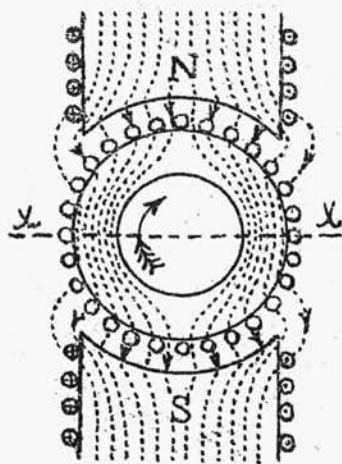
#### 1. Reakcja twornika przy szczotkach nieprzesuniętych.

Rozkład pola magnetycznego w prądniccy przy biegu jałowym przedstawia rys. 87. Strumień magnetyczny przebiega w samych biegunach i rdzeniu twornika linjami równoległymi do osi biegunów; linja obojętna  $xx$  jest prostopadła do kierunku strumienia, a więc i do osi biegunów; prąd w tworniku jest równy zero. Przebieg indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej, dla tego przypadku, widzimy na rys. 88, taki symetryczny kształt na krzywa indukcji tylko wtedy, gdy prąd w tworniku jest równy zero.

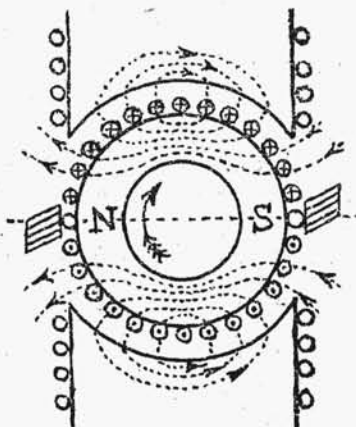
Gdy zaczniemy prądnicę obciążać w tworniku zjawi się prąd, który, płynąc przez jego uzwojenie, wytworzy pole magnetyczne poprzeczne, przedstawione na rys. 88.

Pole magnetyczne, powstałe od uzwojenia twornika, współdziała z polem magnetycznym biegunów głównych

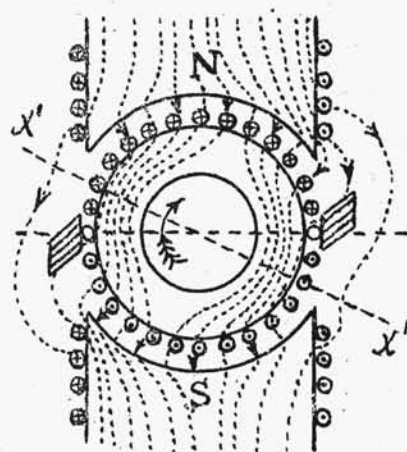
wskutek czego, otrzymujemy pewne wypadkowe pole o charakterze pokazanym na rys.89.



Rys. 87.



Rys. 88.



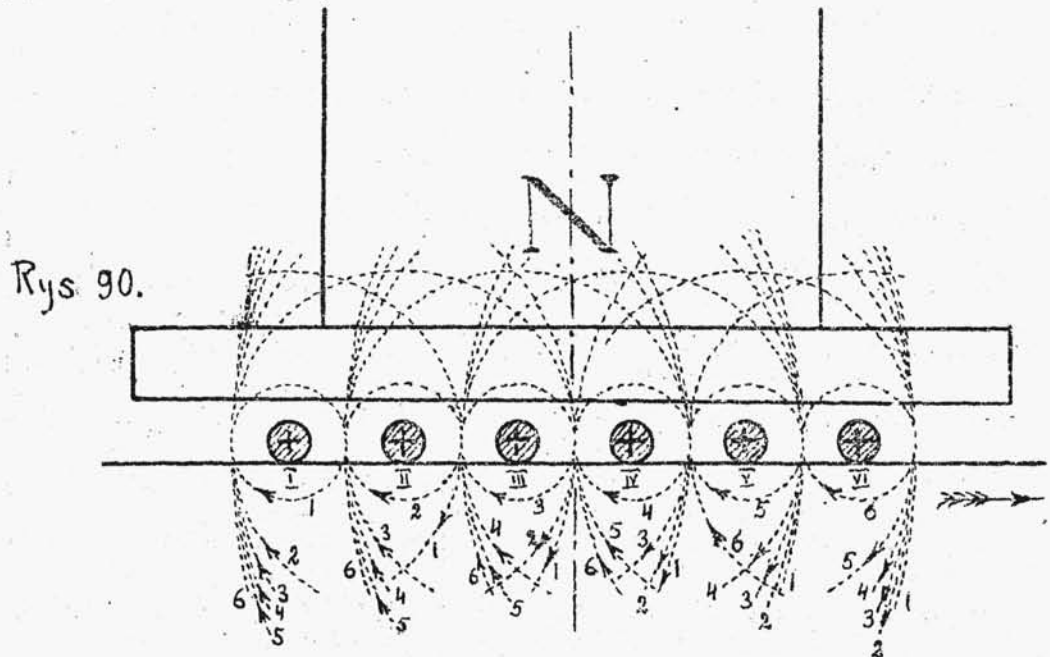
Rys. 89.

Współdziałanie pola magnetycznego twornika z polem biegunów głównych nazywamy oddziaływaniem albo reakcją twornika, a samo pole twornika nazywamy polem reakcji.

Rezultatem reakcji twornika jest zniekształcenie pola głównego /pod jedną częścią bieguna następuje rozrzedzenie, a pod drugą zgęszczenie linii sił/, co powoduje w prądnicach obrócenie kierunku strumienia w rdzeniu twornika o pewien kąt w kierunku ruchu twornika /w silnikach odwrotnie - patrz część II-ga/. Linja obojętna XX jako prostopadła do kierunku strumienia zostanie obrócona o tenże sam kąt w kierunku ruchu i zajmie położenie X'X', rys.89.

Linie sił pola reakcji twornika, wytworzone przez przewodniki pod jednym biegunem, oddziaływując na siebie, częściowo się znoszą. Wyobraźmy sobie, że między każdymi dwoma sąsiednimi przewodnikami przechodzą linie sił, powstałe od działania wszystkich przewodników, znajdujących się na przestrzeni jednej podziałki biegunowej.

rys.90.



linij dodatnich	6	5	4	3	2	1	0
linij ujemnych	0	1	2	3	4	5	6
linij efektywnych	6	4	2	0	-2	-4	-6

Dla uproszczenia załóżmy, że każdy przewodnik pod biegunem wytwarza taką ilość linii sił /przedstawionych na rys.90 w postaci kół koncentrycznych względem prze -

wadników/, że na jeden przewodnik przypada jedna linja /koło/. Rzymskimi cyframi oznaczone są numery przewodników, a arabskimi - linje sił i to w ten sposób, że np. przewodnik I wytwarza wszystkie linje oznaczone cyfrą 1, przewodnik II - wszystkie linje oznaczone cyfrą 2 i t.d.

Przyjmując np. przechodzenie linii sił z dołu do góry za kierunek dodatni, a przechodzenie z góry na dół za kierunek ujemny, możemy wyliczyć efektywną liczbę linii sił pola reakcji, istniejącą w każdym miejscu pod biegunem. Liczby te są umieszczone pod rysunkiem na wprost przestrzeni między przewodami.

Efektywna liczba linii sił daje pojęcie o przebiegu zmienności pola reakcji twornika w szczelinie powietrznej.

Widzimy, że w samym środku pod biegunem strumień reakcji jest równy zero. W miarę oddalania się w obie strony, od środka bieguna, strumień wzrasta a wartość jego ma znaki różne, więc z jednej strony nastąpi wzmocnienie, a z drugiej osłabienie pola głównego.

Strumień reakcji, wytwarzany jest przez amperozwoje twornika, a raczej przez przewody z prądem czyli t. zw. a m p e r o p r z e w o d y, których rezultat działania jest równoznaczny z działaniem amperozwojów.

Liczbę amperoprzewodów, przypadającą na 1 cm. długości obwodu twornika, nazywamy o b c i ą ż e n i e m l i n j o w e m twornika i wyrażamy następującym

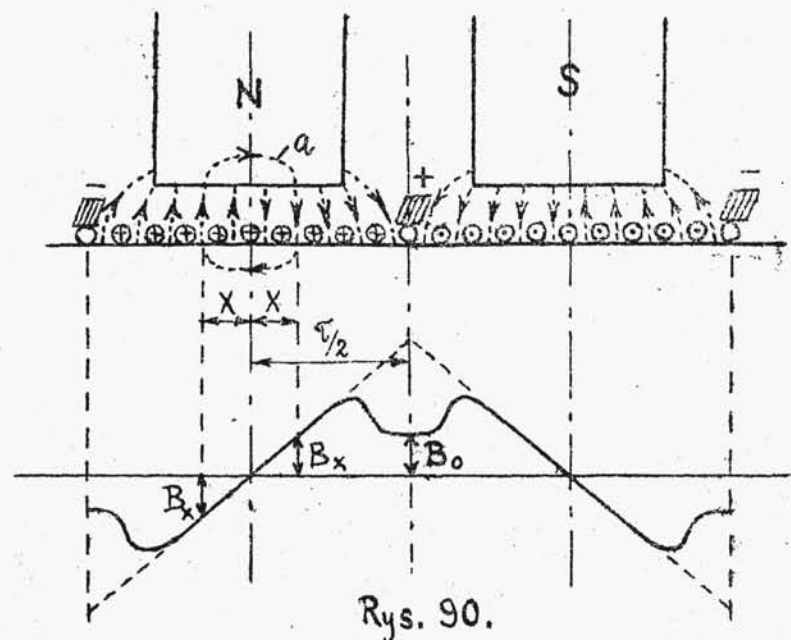
WZOREK

$$AP = \frac{N \cdot i}{2 \cdot D} = \frac{N \cdot J}{2 \alpha \cdot \pi \cdot D} \quad \text{§ 3.}$$

gdzie  $N$  - całkowita liczba przewodników twornika,  
 $i$  - prąd w jednym przewodzie /gałęzi/ w amperach,  
 $D$  - średnica twornika w cm,  $\alpha$  - ilość par gałęzi,  $J$  - prąd twornika

Wielkość  $AP$  wywiera bardzo duży wpływ na pracę maszyny, na proces komutacji, na nagrzewanie i t.p.. Im większe jest  $AP$  tem maszyna jest lepiej wyzyskana, ale zato trudniej jest osiągnąć dobre warunki pracy. Normalnie wielkość  $AP$  dochodzi do 500.

Na rys. 91 mamy pokazane rozwinięte uzwojenie i przebieg linii sił pola reakcji twornika /część górna rysunku/.



Rys. 90.

Rozpatrzmy jedną z zamkniętych linii sił pola reakcji np. linię a, przechodzącą przez dwa punkty oddległe od środka bieguna o x cm., rys.91.

Strumień magnetyczny, w obrębie długości x od środka bieguna t.j. aż do linii a włącznie, został wytworzony liczbą amperoprzewodów równą  $2 \cdot x \cdot AP$ .

Przyjmując za opór magnetyczny linii sił pola reakcji, opór szczeliny powietrznej /pomijamy niewielki stosunkowo opór rdzenia twornika i nabiegunknika/, możemy powiedzieć, że amperoprzewody, działające w obrębie długości x od środka bieguna, idą na przeprowadzenie strumienia reakcji dwa razy przez szczelinę powietrzną, zatem

$$2 \cdot x \cdot AP = 1,6 \cdot \delta \cdot B_x$$

skąd indukcja reakcji twornika w odległości x od środka bieguna jest

$$B_x = \frac{AP}{0,8 \cdot \delta} x \quad 74.$$

Ponieważ amperoprzewody i szerokość szczeliny powietrznej dla danej maszyny w warunkach normalnych są wielkościami stałymi, zatem

$$B_x = C \cdot x$$

Te równanie linii prostej wyraża zmienność indukcji pola oddziaływania twornika w szczelinie powietrznej, rys.91, /część dolna rysunku/.

Prestelinijny przebieg indukcji oddziaływania

jest tylko pod nabiegunnikami, gdyż tu szczelina powietrzna jest wielkością stałą. W sferze obojętnej, między biegunami wielkość szczeliny powietrznej dla linii strumienia oddziaływania jest zmienną i ciągle wzrasta, dochodząc do maksymalnej wartości  $\delta_0$  na linii obojętnej czyli na odległości  $\frac{r}{2}$  od środka bieguna. Wobec tego równanie 74 dla strefy obojętnej przestanie być równaniem linii prostej. Wielkość indukcji oddziaływania twornika w środku między biegunami wyrazi się

$$B_0 = \frac{r}{2} \cdot \frac{AP}{0,8 \cdot \delta_0} \quad 75.$$

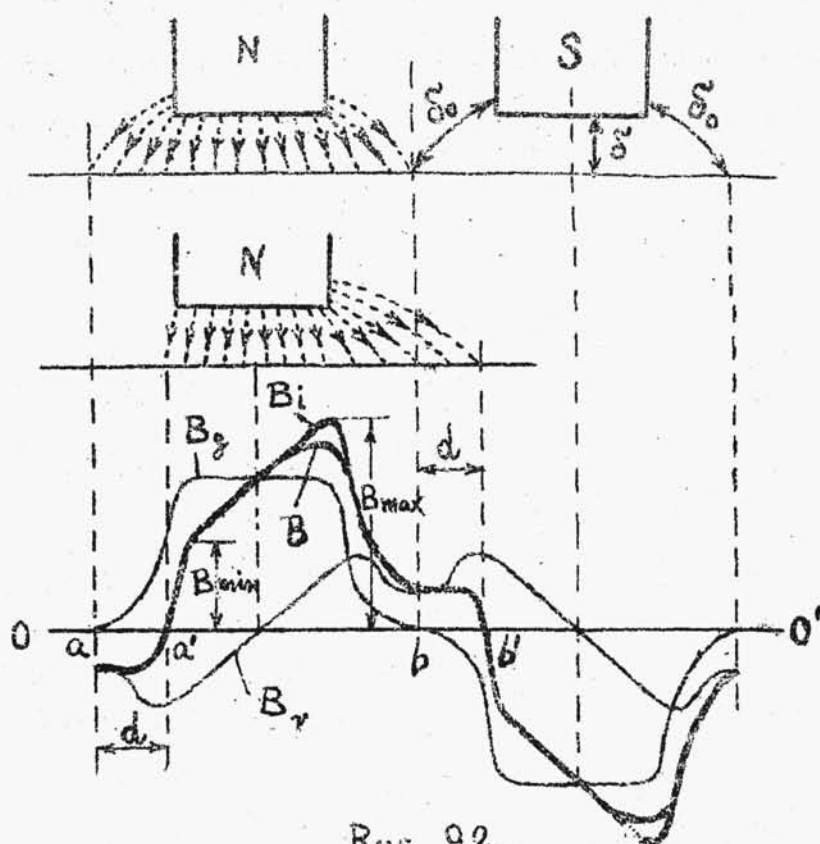
Na rys.91 /część dolna/ pokazany jest całkowity przebieg indukcji magnetycznej, powstałej od pola oddziaływania, wzdłuż całego obwodu twornika.

W szczelinie powietrznej działają będą więc dwa strumienie: jeden strumień główny, którego przebieg indukcji wyraża krzywa  $B_g$ , rys.92 /dolna część rysunku/ i drugi strumień reakcji - krzywa  $B_r$ . Suma tych dwóch strumieni da nam strumień wypadkowy /krzywa  $B_i$ /, który istnieje w szczelinie powietrznej gdy maszyna jest obciążona.

Z rys.92 widzimy, że krzywa  $B_i$  indukcji wypadkowej przecina prostą  $OO'$  w punktach  $a'$  i  $b'$ , odległych od punktów przecięcia /a i b/ krzywej indukcji  $B_g$ , odpowiadającej pracy maszyny przy biegu jałowym, o pewien



odcinek  $d$ , mierzony w kierunku ruchu. Dowodzi to, że linja obojętna skutkiem oddziaływania twernika została przekręcona o kąt, odpowiadający odcinkowi  $d$  na obwodzie twernika.



Rys. 92.

Jak widzimy wszystkie te wywody zgodne są z fizycznym wyjaśnieniem zjawiska oddziaływania twernika, przedstawionem na rys. 87, 88, 89, 90.

Wykresy pól magnetycznych, przedstawione na rysunkach 91 i 92, mogą być zdejmowane w rzeczywistych maszynach zapomocą woltomierza i dodatkowych szczotek lub zapomocą oscylografu.



Skutkiem reakcji twornika mamy więc znieszczenie pola głównego i przesunięcie w kierunku ruchu linii obojętnej o pewien kąt, wielkość którego zależy od obciążenia. Rezultatem tego, jak się zaraz przekonamy, jest osłabienie głównego strumienia magnetycznego maszyny, a więc i siły elektromotorycznej.

Przy obliczeniu pola reakcji zakładaliśmy, że twornik jest gładki i za opór magnetyczny strumienia oddziaływania przyjmowaliśmy tylko opór szczeliny powietrznej z pominięciem niewielkiego oporu nabiegunknika i rdzenia twornikowego. Przy tworniku uzębionym za opór magnetyczny dla strumienia reakcji należy przyjmować opór magnetyczny szczeliny i zębów /opór magnetyczny zębów jest dość znaczny ze względu na duże nasycenia i pominąć go niemożna/, a więc amperozwoje reakcji idą na przeprowadzenie strumienia reakcji przez szczelinę powietrzną i zęby.

Z rozważań nad obwodem magnetycznym wiemy, że w maszynie elektrycznej przy rozpatrywaniu obwodu magnetycznego głównego największy opór stanowiła droga przez szczelinę i zęby. Możemy więc z pewnem przybliżeniem przyjąć, że prawie całkowite /zwykle około 80%/ amperozwoje, wytwarzane w biegunach głównych idą na przeprowadzenie strumienia głównego przez szczelinę i zęby, a więc podobnie jak i przy strumieniu oddziaływania twornika

Aby określić wpływ oddziaływania twornika na główny strumień magnetyczny, budujemy krzywą magnesowania dla pola oddziaływania twornika, rys. 93. Jako rzędne będziemy odkładali w danym przypadku indukcję w szczelinie  $B_p$ , która jest proporcjonalna do strumienia wchodzącego do twornika i równa

$$B_p = \frac{\Phi}{k_2 b_i l_i}$$

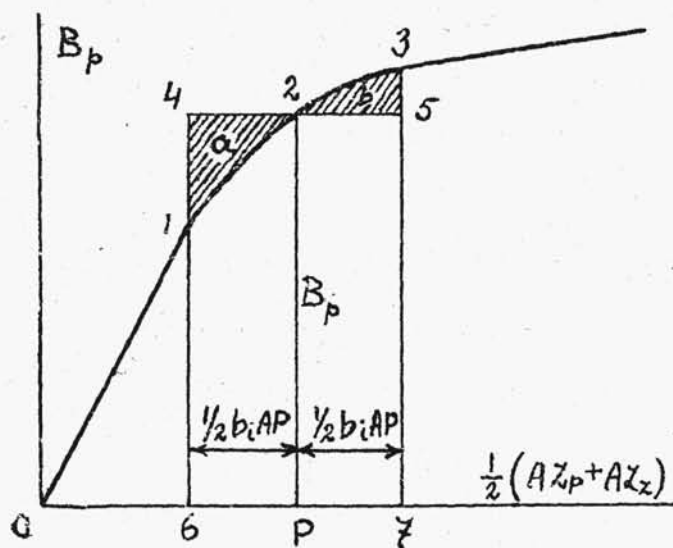
jako odcięte - połowę sumy amperozwojów /gdyż obliczenie odniesione jest do jednego bieguna/ na drogę w szczelinie i zębach, czyli

$$\frac{1}{2}(AZ_p + AZ_z)$$

Możemy to zrobić dlatego, że, jak wiemy, amperozwoje biegunów głównych i amperozwoje reakcji idą

na przeprowadzenie strumienia po tejże samej drodze obwodu magnetycznego.

Otrzymana krzywa magnesowania dla pola poprzecznego nazywa się również charakterystyką przejściową ponieważ wyznacza amperozwoje



Rys. 93.

potrzebne do przejścia strumienia z rdzeni biegunów do twornika. Jest to krzywa niewiele różniąca się od charakterystyki maszyny biegu jałowego.

Widzimy więc, że badając zależność głównego strumienia czy też siły elektromotorycznej od amperozwojów biegunów głównych, mamy też samą, w pewnym przybliżeniu zależność strumienia reakcji od amperozwojów twornika.

Z tego też powodu dla szybszego określenia wpływu pola reakcji na pole główne można korzystać ze wspomnianej charakterystyki biegu jałowego.

Zbadajmy teraz wpływ amperozwojów poprzecznego pola twornika na strumień główny.

Gdy prądnicą biegnie luzem, magnesnica daje, w szczelinie pod biegunem, strumień niemal jednostajny, którego indukcję wyraża odcinek  $B_p$ , rys. 93, a odpowiednią liczbę amperozwojów jaką wytwarza biegun - odcinek OP. Przy obciążeniu maszyny zjawia się pole reakcji które na długości łuku biegunowego  $b_1$  zostało wytworzone siła magnetomotoryczną równą  $b_1 \cdot AP$ .

Z jednej strony osi bieguna działać będzie siła magnetomotoryczna równa

$$OP + \frac{1}{2} b_1 \cdot AP$$

a z drugiej strony

$$OP - \frac{1}{2} b_1 \cdot AP$$

Wobec tego maksymalna wartość indukcji jaka będzie

istniała w szczelinie powietrznej wzdłuż łuku biegunowego, gdy maszyna jest obciążona, wyrazi się odcinkiem 3 - 7 /po stronie wzmocnienia strumienia/, a minimalna odcinkiem 1 - 6 /po stronie osłabienia/.

Część krzywej 1 - 2 - 3 jest do pewnego stopnia obrazem indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej wzdłuż łuku biegunowego przy obciążeniu maszyny. Wielkość strumienia magnetycznego przy biegu jałowym będzie proporcjonalna do pola prostokąta 6 - 4 - 5 - 7, a przy obciążeniu maszyny do pola 6 - 1 - 2 - 3 - 7, rys.93.

Gdyby żelazo nie miało własności nasycenia, krzywa 1-2-3 byłaby linją prostą i zakreskowane pola "a" i "b" byłyby sobie równe; mówiąc inaczej zwiększenie strumienia z jednej strony bieguna skompensowałoby się ze zmniejszeniem z drugiej strony, w rezultacie ogólna wartość strumienia magnetycznego nie uległaby zmianie.

Z rys.93 widzimy, że pole wzmocnienia "b" jest mniejsze od pola osłabienia "a" wobec czego strumień ogólny ulegnie zmniejszeniu.

Zjawisko to wyjaśnia ta okoliczność, że magnetyczny opór dla strumienia, przy większych nasyceniach jest większy niż przy nasyceniach mniejszych, rys.71.

Im dalej na prawo od przegięcia krzywej znajduje się punkt 2, tem mniejsza będzie różnica między polami "a" i "b" t.zn. że zmniejszenie strumienia głównego

będzie mniejsze.

W tym celu wskazaniem jest dopuszczać duże indukcje w szczelinie i w zębach oraz dawać większe szczeliny powietrzne.

Wiedząc teraz, że amperozwoje poprzeczne zmniejszają pole główne, możemy cofnąć się do wykresu przedstawionego na rys. 92 i powiedzieć, że w rzeczywistej obciążonej maszynie elektrycznej krzywa indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej nie przedstawia się według krzywej  $B_1$  lecz według krzywej  $B$ .

Pola ograniczone krzywami  $B_g$  i  $B_i$  są polami równymi, zaś pole ograniczone krzywą  $B$  jest od nich mniejsze, a ponieważ strumień główny jest proporcjonalny do pola ograniczonego krzywą  $B$ , zatem, jak widzimy, wskutek oddziaływania pola poprzecznego, strumień główny uległ zmniejszeniu.

## 2. Reakcja twornika przy szczotkach przesuniętych względem linii obojętnej.

Jak wyżej zostało wyjaśnione, skutkiem oddziaływania twornika, linia obojętna w prądnicach przesuwa się o pewien kąt w kierunku ruchu. Zmienia się przez to rozkład sił elektromotorycznych w uzwojeniu twornika i szczotki, które powinny zwierać zwojnice, znajdujące się w strefie obojętnej, jak również zajmować położenie gdzie prądy w tworniku się schodzą i rozchodzą, też muszą być przesunięte o ten sam kąt.