

Rozdział VII.

RODZAJE PRĄDNIC PRĄDU STAŁEGO.

Bieguny prądnic prądu stałego zwykle są elektromagnesami t.zn., że muszą posiadać uzwojenie wzbudzające, przez które w czasie pracy maszyny przepływa stały prąd elektryczny.

Mogą być prądnice t.zw. m a g n e t o e l e k - t r y c z n e, posiadające bieguny jako magnesy stałe ze stali twardej - hartowane. Prądnice te stosuje się rzadko /magneta w samochodach, maszynki do zapalania min, oraz do celów laboratoryjnych/, gdyż indukcja magnesów stałych z czasem słabnie i wogóle nie może dochodzić do takiej wielkości, jak w elektromagnesach.

Zależnie od rodzaju wzbudzania dzielimy prądnice na o b e o w z b u d n e i s a m o w z b u d n e.

Uzwojenie wzbudzające maszyny obcowzbudnej zasilane jest więc z oddzielnego źródła prądu stałego np. baterji akumulatorów lub innej prądnicy, a uzwojenie wzbudzające w prądnicie samowzbudnej - z twornika tej samej maszyny.

Zasada samowzbudzania się maszyny, wynaleziona przez Wernera Siemens'a w roku 1867, polega na tem, że gdy zaczniemy obracać twornik wzbudzi się w nim niewielka siła elektromotoryczna od magnetyzmu szczątkowego. Gdy uzwojenie wzbudzające połączymy z twornikiem popłynię przez nie prąd, który wzmocni magnetyzm szczątkowy, skutkiem czego wzrośnie siła elektromotoryczna twornika, a następnie prąd w uzwojeniu wzbudzającym, a więc i strumień i t.d. /patrz str. 271/.

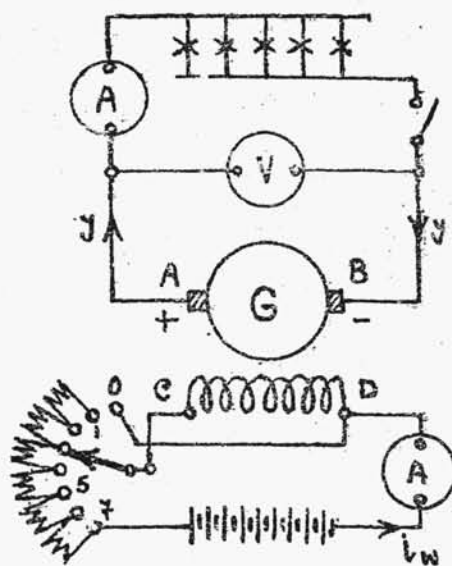
Zależnie od sposobu łączenia uzwojenia wzbudzającego z twornikiem, prądnice samowzbudne dzielimy na: b o c z n i k o w e /równoległe/, w których uzwojenie wzbudzenia jest połączone równoległe z uzwojeniem twornika, g ł ó w n i k o w e /szeregowe/, gdzie wzbudzenie jest połączone z twornikiem szeregowo i g ł ó w n i k o w e - b o c z n i k o w e /compound/, w których uzwojenie wzbudzenia składa się z dwóch części - jedna część połączona jest równoległe, a druga szeregowo z twornikiem.

1. Prądnica obcowzbudna.

Schemat prądnicy obcowzbudnej pokazany jest na rys. 130. Zapomocą opornika w obwodzie elektromagnesów możemy zmieniać natężenie prądu wzbudzenia, przez co zmieniać się będzie również strumień magnetyczny i siła elektromotoryczna.

Strumień magnetyczny biegunów jest proporcjonalny do amperozwojów wzbudzenia, obojętnem jest więc czy uzwojenie wzbudzające ma dużą ilość zwojów, a niewielki prąd wzbudzenia, czy też mało zwojów, a duży prąd wzbudzenia. Jednakże okazuje się, że korzystniej jest, gdy przez uzwojenie wzbudzające przepływa prąd niewielki, wówczas straty na ciepło Joule'asą małe, ale za to uzwojenie musi mieć dużą liczbę zwojów.

Normalnie napięcie wzbudzenia waha się w granicach do 250 woltów, a prąd wzbudzenia 2 - 3% prądu twornika. W prądnicy obcowzbudnej zwykle regulacja napięcia odbywa się w granicach od 0,1 do 1 i wyżej od normalnej wartości. Stosownie do tego opornik regulujący prąd wzbudzenia musi być odpowiedni i posiadać znaczną ilość /około 30/ stopni regulacyjnych.



Rys. 130.

Uzwojenie wzbudzające, mając dużą ilość zwojów, posiada przez to samo dużą samoindukcję, tak że przy przerywaniu prądu wzbudzenia w uzwojeniu mogłaby powstać znaczna siła elektromotoryczna samoindukcji i uszkodzić uzwojenie, a co najmniej wytworzyć iskrę, a nawet i łuk między

kontaktami "1" i "0" regulatora napięcia. W celu uniknięcia tych następstw kontakt "0", zwany kontaktem przeciwickrowym, łączymy z końcem D uzwojenia wzbudzającego.

Wzbudzenie obce stosuje się obecnie w niewielu przypadkach: gdy maszyna jest zbudowana na napięcie nieodpowiednie do zasilania uzwojenia wzbudzenia np. maszyny wysokiego albo bardzo niskiego napięcia, lub gdy zachodzi potrzeba regulacji napięcia w bardzo szerokich granicach. Oprócz tego obce wzbudzenie stosuje się w maszynach, których jarzma i magnesy są blachowane, a skutkiem tego maszyny te posiadają słaby magnetyzm szczątkowy /typ maszyn turbogeneratorowych/.

Zazwyczaj prądnice budowane są na napięcia znormalizowane; za normalne napięcia nominalne dla prądnic uważane są następujące:

115 - 230 - 460 woltów

Do ładowania akumulatorów używane są prądnice z regulacją napięcia od 115 do 160 albo od 230 do 320 woltów, przy zachowaniu liczby obrotów wskazanej na tabliczkach. W tych przypadkach przy wyższych napięciach prądnice powinny być obciążone najwyżej połową prądu dopuszczalnego przy napięciach niższych.

W kolejnictwie elektrycznym stosowane są prądnice o napięciu jeszcze wyższym. Napięcie pomiędzy przewodem

ślizgowym a szynami w urządzeniach tramwajowych wynoszą:
500 do 800 woltów, a na kolejach zamiejskich i między-
miastowych: 750 do 2500 woltów.

Charakterystycznymi wielkościami każdej prądnicy są:

E - siła elektromotoryczna twornika,

V - napięcie na szczotkach lub na zaciskach maszyny,

J - prąd obciążenia,

i_w - prąd wzbudzenia,

n - liczba obrotów twornika na minutę.

C h a r a k t e r y s t y k ą p r ą d n i c y
nazywamy zależność pomiędzy dwoma powyższymi wielkościami
przy założeniu pozostałych wielkości stałych.

Odróżniamy następujące charakterystyki prądnicy:

a/ c h a r a k t e r y s t y k a b i e g u j a -
z o w e g o, t.j.zależność siły elektromotorycznej E od
prądu wzbudzenia i_w , czyli

$$E = f(i_w)$$

przy $J=0$ i $n=const.$

b/ c h a r a k t e r y s t y k a o b c i ą ż e -
n i a, t.j.zależność napięcia V od prądu wzbudzenia i_w ,
czyli

$$V = f(i_w)$$

przy $J=const.$ i $n=const.$

c/ c h a r a k t e r y s t y k a z e w n ę t r z -
n a, t.j.zależność napięcia V od prądu obciążenia J , czyli

$$V = f(J)$$

przy $n = \text{const.}$ i $i_w = \text{const.}$

d/ charakterystyka wewnętrzna, t.j. zależność siły elektromotorycznej E od prądu obciążenia J , czyli

$$E = f(J)$$

przy $n = \text{const.}$ i $i_w = \text{const.}$

e/ charakterystyka regulacyjna, t.j. zależność prądu wzbudzenia i_w od prądu obciążenia J , czyli

$$i_w = f(J)$$

przy $V = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$

Rozpatrzmy wszystkie charakterystyki dla prądnicy obcowzbudnej.

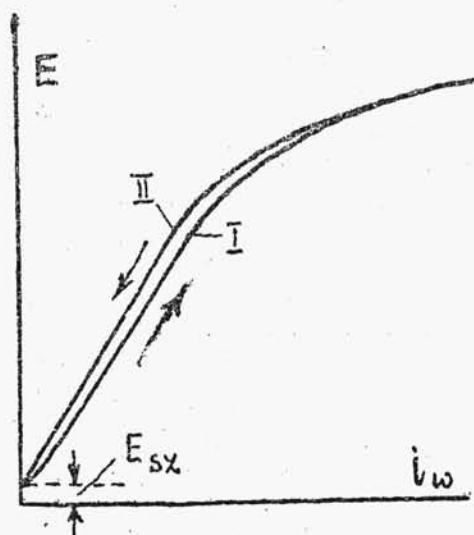
A. Charakterystyka biegu jałowego.

Wobec zmiennych własności magnetycznych żelaza strumień Φ nie rośnie proporcjonalnie do natężenia prądu wzbudzenia i_w , przeto siła elektromotoryczna przy zmianie prądu magnetyzującego nie zmienia się proporcjonalnie do i_w , lecz według wykresu podanego na rys.131.

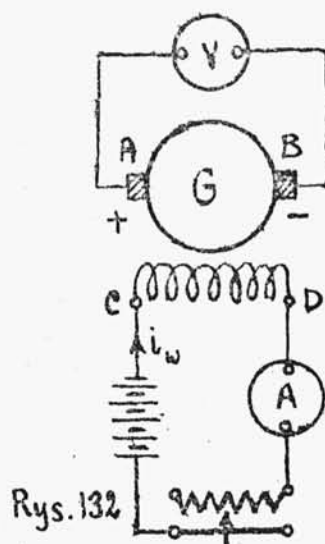
Schemat połączeń, którym należy się posługiwać przy zdjęciu charakterystyki biegu jałowego, pokazany jest na rys.132.

Siłę elektromotoryczną maszyny wskazuje woltomierz,

który ma znaczny opór omowy, więc prąd płynący przez niego i przez twornik prądnicy jest tak mały, że praktycznie przyjmujemy jako równy zero. Ściślej mówiąc woltomierz



Rys. 131.



Rys. 132

wskazuje napięcie na zaciskach maszyny; różnica między siłą elektromotoryczną, a napięciem prądnicy jest równa spadkowi napięcia ΔV w tworniku t.j. iloczynowi prądu i przez sumę oporów $\sum r$ twornika, szczotek i przejścia między szczotkami a komutatorem, czyli

$$\Delta V = i \cdot \sum r$$

Ponieważ przyjęliśmy, że prąd w tym przypadku jest równy zero, zatem napięcie prądnicy przy biegu lu zem jest równe sile elektromotorycznej.

Na rys. 131 pokazana jest charakterystyka biegu jałowego w przypadku wzrostu /krzywa I/ i zmniejszania /krzywa II/ prądu wzbudzenia. Krzywe te nie nakładają

się na siebie wskutek histerezy żelaza. Krzywa ta charakteryzuje magnetyczne własności maszyny i posiada bardzo duże znaczenie, ponieważ z niej, drogą prostych konstrukcji graficznych, możemy wyznaczyć większość pozostałych charakterystyk

Przy $i_w = 0$ siła elektromotoryczna pod wpływem magnetyzmu szczątkowego ma wartość E_{sz} , która wynosi zazwyczaj 5 - 10% siły elektromotorycznej normalnej.

Przy wzrastaniu prądu wzbudzenia siła elektromotoryczna rośnie niemal proporcjonalnie do natężenia tego prądu, dalej jednak linja wykresu zakrzywia się, a potem biegnie znowu prawie prosto pod małym kątem względem osi prądu, co powoduje przy jednakowym wzroście prądu znacznie mniejszy wzrost siły elektromotorycznej.

Normalna wielkość siły elektromotorycznej E_n prądnicy bywa zwykle tuż za zagięciem linji wykresu.

B. Charakterystyka obciążenia.

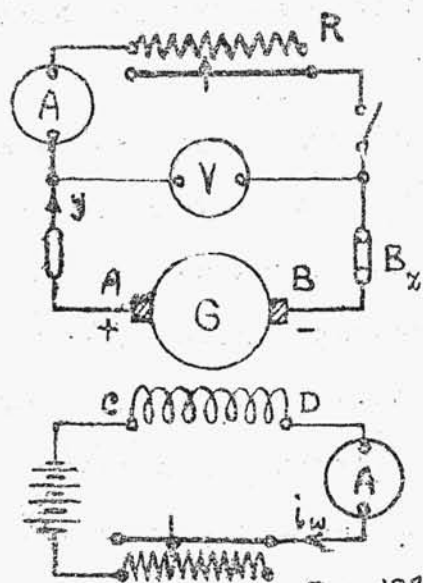
Jest to funkcja

$$V = f(i_w)$$

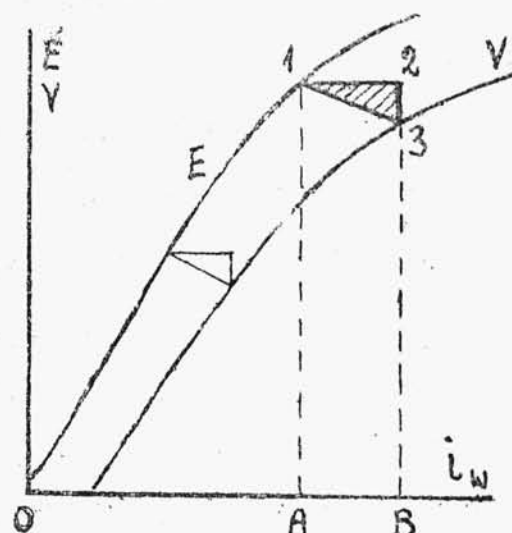
przy warunku, że $J = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$

Schemat połączeń dla zdjęcia charakterystyki obciążenia przedstawia rys.133. Przy zwiększaniu prądu wzbudzenia napięcie wzrasta, wzrasta również prąd obciążenia, który, aby utrzymać stałym, należy zwiększać

opór R obwodu zewnętrznego, rys. 133. /Gdy zamiast opornika R w obwodzie zewnętrznym mamy lampy w układzie równoległym wówczas należy je stopniowo wyłączać/.



Rys. 133.



Rys. 134

Na rys. 134 pokazana jest charakterystyka obciążenia /krzywa V / otrzymana doświadczalnie. Charakterystykę tę można również zbudować z danej charakterystyki biegu jałowego /krzywej E /.

Założmy, że maszyna biegnie luzem ze wzbudzeniem $i_w = OA$, odpowiadającym napięciu na zaciskach $V = E = A1$. Gdy teraz maszynę obciążymy prądem J napięcie spadnie wskutek reakcji twornika. Odkładając w prawo od punktu 1 i równoległe do osi i_w odcinek 1-2 równy $\overline{AB} = \frac{AZ_r}{Z_w}$, gdzie AZ_r - jest liczbą amperozwojów wzbudzenia, kompensujących amperozwoje pola reakcji twornika, a Z_w - liczbą zwojów uzwojenia wzbudzenia, znajdziemy wielkość prądu wzbudze-

nia OB, niezbędnego dla utrzymania przy obciążeniu maszyny stałego napięcia.

Napięcie V na zaciskach prądnicy będzie mniejsze od siły elektromotorycznej o omowy spadek napięcia $J \cdot R_w$ na oporze uzwojenia twornika, szczotek i przejścia między szczotkami a komutatorem. Odkładając od punktu 2 wzdłuż odcinek 2-3 równy $J \cdot R_w$ otrzymamy napięcie maszyny $V = \mathcal{E}$ przy obciążeniu prądem J . Trójkąt 1-2-3 nazywamy trójkątem charakterystycznym.

Zakładając w przybliżeniu, że przy stałym prądzie obciążenia reakcja twornika, jako też i wewnętrzny spadek napięcia w prądnicy są wielkościami stałymi, mamy stałe wymiary trójkąta charakterystycznego przy zmiennym prądzie wzbudzenia. Gdy następnie trójkąt 1-2-3 przesuwac będziemy w ten sposób, aby punkt 1 poruszał się po charakterystyce biegu jałowego, a boki 1-2 i 2-3 były odpowiednio równoległe do osi i_w oraz \mathcal{E} , punkt 3 wyznaczy nam krzywą V , będącą charakterystyką obciążenia prądnicy.

W rzeczywistości zaś wskutek nasycenia magnetycznego liczba amperozwojów kompensujących reakcję twornika wzrasta w miarę wzrostu prądu wzbudzenia, wobec czego krzywa V będzie coraz więcej odchyłać się od krzywej \mathcal{E} .

Znając z doświadczenia charakterystykę obciążenia i charakterystykę biegu jałowego możemy w łatwy sposób określić reakcję twornika, postępując odwrotnie: z punktu 3

odpowiadającego napięciu $V=3B$ w danej chwili, wystawiamy odcinek 2-3 prostopadłe do osi i_w , a równy wewnętrznemu spadkowi napięcia w prądnic $J \cdot R_t$. Następnie w lewo od punktu 2 prowadzimy prostą równoległą do osi i_w aż do przecięcia się z krzywą E , wówczas odcinek 1-2 w pewnej skali będzie równy liczbie amperozwojów reakcji twornika.

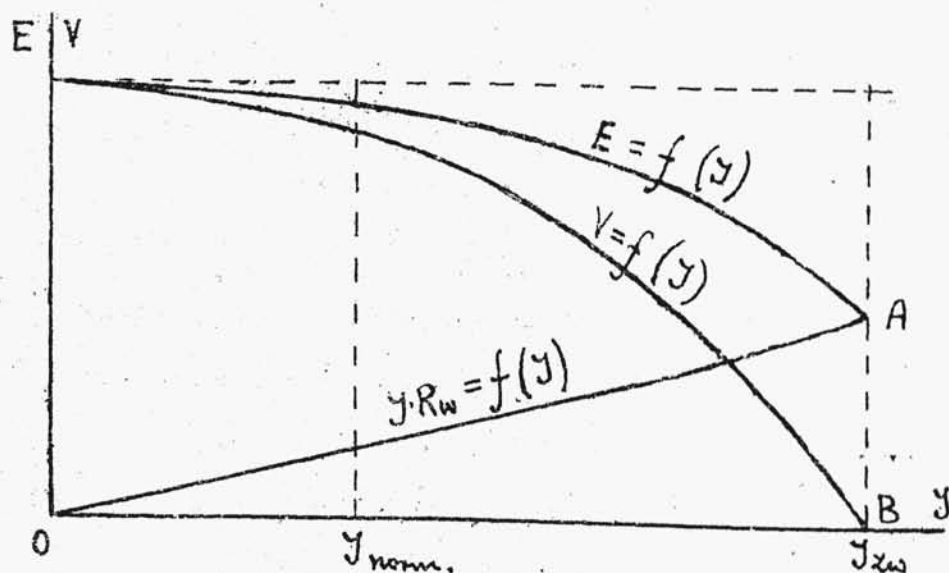
C. Charakterystyka zewnętrzna.

Jest to funkcja

$$V = f(y)$$

przy założeniu, że $i_w = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$

Przy obciążeniu prądnicy np. w miarę dodawania równoległe połączonych lamp, w obwodzie zewnętrznym powstaje prąd J stopniowo wzrastający ze względu na to, że oporność obwodu zewnętrznego maleje.



Rys. 135.

Na rys.133 pokazana jest charakterystyka zewnętrzna, otrzymana doświadczalnie. Schemat połączeń, jakim należy się posługiwać przy zdjęciu charakterystyki zewnętrznej przedstawia rys.133.

Przy wzrastaniu prądu obciążenia maleje napięcie na zaciskach prądnicy, skutkiem wzrastania spadku napięcia wewnętrznego

$$JR_w = JR_t + 2\Delta v$$

gdzie R_t - oporność uzwojenia twornika, v - spadek napięcia przy przejściu prądu przez styk szczotek jednej biegunowości.

Gdy maszyna posiada bieguny zwrotne, mające uzwojenie połączone w szereg z twornikiem, to we wzorze tym zamiast R_t będziemy mieli oporność łączną $R_t + R_d$ twornika i uzwojenia biegunów zwrotnych.

Wewnętrzny spadek napięcia $/JR_w/$ tem więcej jeszcze wzrasta ze wzrostem prądu obciążenia, gdyż napięcie przejścia ΔV rośnie z powiększeniem gęstości prądu.

Napięcie na zaciskach prądnicy wyniesie więc

$$V = E - /JR_t + 2\Delta v/$$

Przy wzroście natężenia prądu, jak jasno wynika z powyższego wzoru, napięcie na zaciskach prądnicy spada. Spadek napięcia ~~za~~ miejsce nie tylko skutkiem zwiększania wartości JR_w , lecz jeszcze skutkiem pewnego zmniejszania się siły elektromotorycznej E wobec osłabienia strumienia

magnetycznego elektromagnesów przez reakcję twornika.

Dodając do rzędnych krzywej V, rys.135, wielkość wewnętrznego spadku napięcia JR_w otrzymamy krzywą

$$E = f(\gamma)$$

która stanowi charakterystykę wewnętrzną prądnicy.

Gdy będziemy jeszcze bardziej zwiększać prąd obciążenia przez zmniejszanie oporu R obwodu zewnętrznego dojdziemy do momentu, że napięcie na zaciskach prądnicy stanie się równe zeru; będzie to zwarcie prądnicy. Prąd J_{zw} przy którym to nastąpi, nazywamy prądem zwarcia. W stanie zwarcia siła elektromotoryczna /odcinek AB, rys.135/ idzie całkowicie na pokrycie wewnętrznego spadku napięcia.

Zwarcie prądnicy obcowzbudnej jest bardzo niebezpieczne, gdyż skutkiem nadmiernego prądu wydziela się tak znaczna ilość ciepła, że izolacja uzwojenia twornika ulega zwęgleniu, a nawet sam drut może być stopiony. Następuje silne iskrzenie szczotek, które w stanie zwarcia prądnicy zwierają sekcje, nieznajdujące się na linii obrotowej, gdyż ta skutkiem dużej reakcji twornika została przesunięta blisko osi biegunów. Wskutek tego może być uszkodzony komutator.

Dla zabezpieczenia prądnicy przed zwarciami stosuje się bezpieczniki lub wyłączniki automatyczne/Bz, rys.133/.

Prąd zwarcia, zależnie od mocy maszyny przekracza zwykle kilkakrotnie normalny prąd obciążenia.

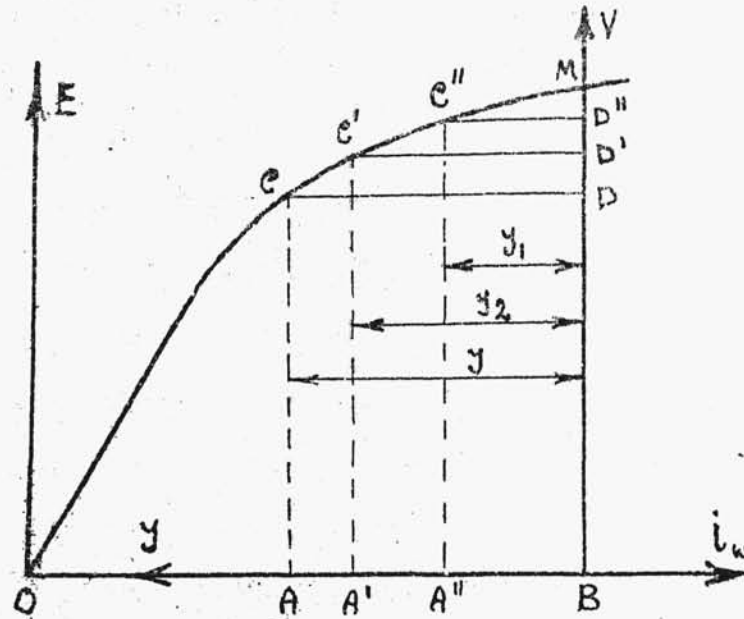
W maszynach z biegunami zwrotnymi stan zwarcia następuje przy wartości prądu większej niż w maszynach bez biegunów zwrotnych, a to z tego względu, że w tych pierwszych napięcie na zaciskach maszyny spada wolniej niż w tych drugich, gdyż wpływ reakcji twornika w maszynach z biegunami zwrotnymi sprowadzony jest do minimum, a siła elektromotoryczna ma wartość prawie stałą.

Normalny spadek napięcia od biegu jałowego do pełnego obciążenia w prądniccy obcowzbudnej bez biegunów zwrotnych wynosi 8 - 12%, a z biegunami zwrotnymi 6 - 10%.

Na rys.135 mamy charakterystykę zewnętrzną prądniccy obcowzbudnej otrzymaną doświadczalnie. Charakterystykę tę możemy wyznaczyć graficznie, mając tylko charakterystykę biegu jałowego.

W tym celu przypuśćmy, że napięcie prądniccy przy biegu luzem jest równe sile elektromotorycznej i wyraża się odcinkiem CA, przy odpowiednim wzbudzeniu $i_w = OA$, rys.136. Przy obciążeniu maszyny prądem J zjawia się pole reakcji twornika, wobec czego napięcie spadnie i aby utrzymać je na tej samej wielkości co przy biegu jałowym należy zwiększyć amperozwoje wzbudzenia lub wprost prąd wzbudzenia o wielkość AB proporcjonalną do amperozwojów reakcji i równą $\frac{AZ_r}{Z_w}$, gdzie AZ_r jest liczbą amperozwojów wzbudzenia.

czenia, kompensujących amperozwoje pola reakcji twornika, a Z_w - liczba zwojów uzwojenia wzbudzenia.



Rys. 136.

Odcinek OB wyraża wielkość prądu wzbudzenia przy obciążeniu maszyny prądem J, przy czym napięcie na zaciskach nie uległo zmianie /Pomijamy wewnętrzny spadek napięcia/.

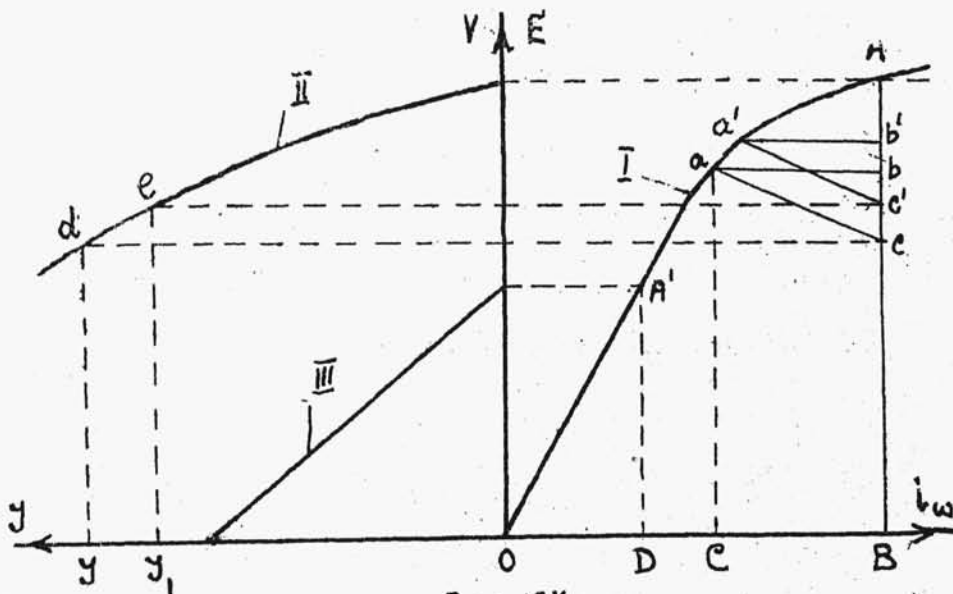
Przyjmując proporcjonalność między amperozwojami reakcji twornika i amperozwojami, o jakie należy zwiększyć wzbudzenie skutkiem tejże reakcji, aby napięcie się nie zmieniło, czyli inaczej przyjmując proporcjonalność między prądem obciążenia i prądem wzbudzenia, możemy powiedzieć, że odcinek AB w pewnej skali wyznacza nam prąd obciążenia J.

Idąc dalej możemy dla różnych prądów obciążenia

wyznaczyć wielkości amperozwojów reakcji twornika i znaleźć odpowiednie zwiększenie amperozwojów wzbudzenia.

Inaczej odcinki CD , $C'D'$, $C''D''$, wyrażać nam będą w pewnej skali prądy obciążenia maszyn, a odcinki CA , $C'A'$, $C''A''$, odpowiednie wartości napięć na zaciskach.

Traktując proste MB i BO jako osie współrzędnych V i J z początkiem układu w punkcie B mamy zależność $V=f(J)$, którą przedstawia krzywa MC . Jak widzimy, przy pominięciu wewnętrznego spadku napięcia charakterystyka zewnętrzna nakłada się na krzywą biegu jałowego, a prąd BO odpowiada zwarcia maszyny. Należy tylko pamiętać, że na osi OB skala prądów obciążenia jest inna niż skala prądów wzbudzenia.



Rys.137 przedstawia budowę charakterystyki zewnętrznej z uwzględnieniem wewnętrznego spadku napięcia

w prądniccy.

Odcinek OB wyraża normalny prąd wzbudzenia, taki, że przy biegu jałowym, siła elektromotoryczna, równa napięciu na zaciskach, wyrazi się odcinkiem AB.

Gdy maszynę obciążymy prądem J siła elektromotoryczna, a więc i napięcie zmniejszy się skutkiem reakcji twornika, a oprócz tego napięcie spadnie wskutek wzrostu omowego spadku napięcia JR_w wewnątrz prądniccy. Wyliczamy następnie amperozwoje reakcji twornika AZ_r ; z punktu B w lewo odkładamy odcinek $BC = \frac{AZ_r}{Z_w}$, co stanowiłoby zwiększenie prądu wzbudzenia, aby napięcie przy obciążeniu prądem J utrzymać takie, jak przy biegu jałowym /odcinek AB/

Odcinek $aC = bB$ wyraża wielkość napięcia prądniccy obciążonej prądem J , po uwzględnieniu reakcji twornika. Odejmując od tego napięcia odcinek $bc = JR_w$ mamy ostatecznie wartość napięcia /odcinek cB / na zaciskach maszyny obciążonej prądem J przy $i_w = \text{const.}$

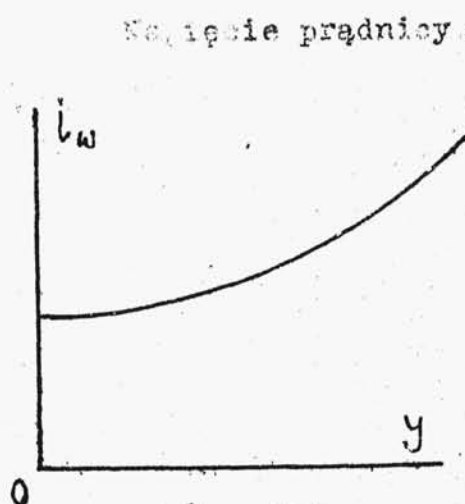
Odkładając na lewo od punktu O wartość prądów obciążenia mamy dla prądu J rzędną, z którą przecięcie się prostej poziomej, poprowadzonej z punktu c da nam punkt d, należący do charakterystyki zewnętrznej.

Przyjmując, że wszystkie boki trójkąta $a-b-c$ są proporcjonalne do prądu obciążenia, możemy przeciwprostokątną ac traktować jako prąd obciążenia w pewnej skali. A więc w celu otrzymania jakiegokolwiek innego punktu

charakterystyki zewnętrznej prowadzimy prostą $a'c'$ równoległą do ac . Z punktu c' wyznaczamy prostą poziomą, która z przecięciem się rzędnej, wystawionej z punktu, odpowiadającego prądowi J_1 , da nam punkt e , należący również do charakterystyki zewnętrznej i t.d.

Na rys. 137 krzywa III jest charakterystyką zewnętrzną tej samej maszyny przy mniejszym prądzie wzbudzenia CD . Porównywując krzywe II i III widzimy, że przy wzroście obciążenia napięcie raptowniej spada w maszynie wzbudzonej słabo, a więc pracującej na prostoliniowej części charakterystyki, czyli w tym przypadku wahanie napięcia będzie większe. Dlatego maszyny elektryczne oblicza się w ten sposób, aby ich praca normalna zachodziła w nasyconej części krzywej magnesowania.

D. Charakterystyka regulacyjna.



Rys. 138.

Napięcie prądnic na zaciskach spada w miarę wzrostu obciążenia; aby jednakże utrzymać to napięcie stałym należy zwiększać prąd wzbudzenia. Zależność zmian prądu wzbudzenia od prądu obciążenia, przy stałej liczbie obrotów, nazywa się, jak wiemy charakterys-

równoległy do osi i_w , a bok bc do osi E ; przedłużamy odcinek bc do osi i_w , wówczas odcinek OB stanowić będzie wartość prądu wzbudzenia przy obciążeniu maszyny prądem J .

W celu określenia wartości prądów wzbudzenia dla różnych obciążeń prowadzimy szereg prostych $a'c'$, $a''c''$ i t.d. równoległych do ac , stanowiących w pewnej skali wielkości różnych prądów obciążenia, zaś odcinki sc' , sc'' i t.d. dadzą odpowiednie szukane wartości prądów wzbudzenia.

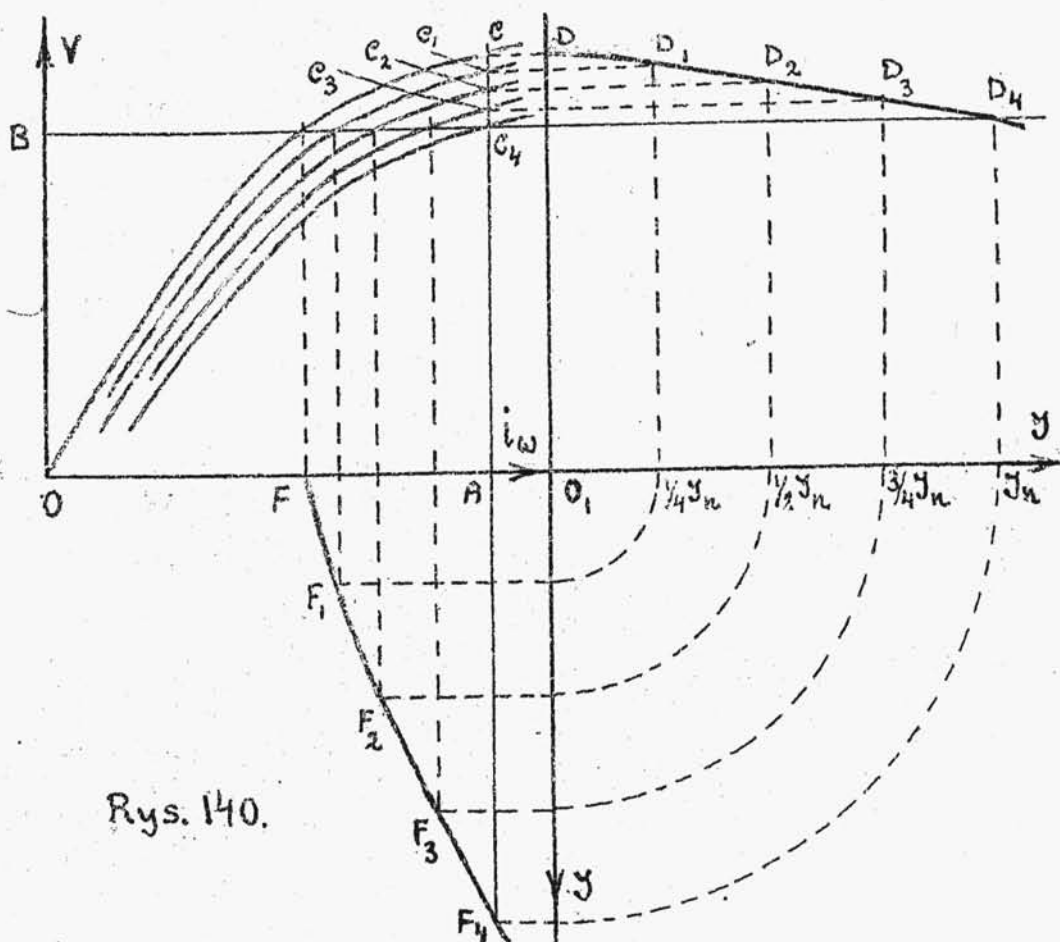
Wykreślając te wielkości w układzie współrzędnych i_w i J otrzymamy charakterystykę regulacyjną, rys.138.

Na rys.140 pokazany jest graficzny sposób budowy charakterystyki zewnętrznej $V=f(J)$ i regulacyjnej

$i_w=f(J)$ na podstawie danych charakterystyk obciążenia $V=f(i_w)$ zdjętych doświadczalnie dla kilku prądów obciążenia, począwszy od zera aż do normalnego.

W tym celu z punktu A , odpowiadającego normalnemu prądowi wzbudzenia /t.j.prądowi, przy którym prądnicą przy normalnym prądzie obciążenia posiada normalne napięcie np. $V = OB$ / prowadzimy pionową prostą AC aż do przecięcia się ze wszystkimi charakterystykami obciążenia. Z punktów C, C_1, C_2, C_3 , prowadzimy na prawo proste poziome do przecięcia się z odpowiednimi rzędnymi, wystawionymi na poziomej osi prądów obciążenia, w punktach odpowiadających obciążeniom $\frac{1}{4}J_n$, $\frac{1}{2}J_n$, $\frac{3}{4}J_n$ i J_n .

Punkty przecięcia D, D_1, D_2, D_3 i D_4 wyznaczają nam charakterystykę zewnętrzną maszyny.



Rys. 140.

Z punktów przecięcia się charakterystyk obciążenia z prostą BC , wyznaczającą normalne napięcie prądu, prowadzimy pionowe proste wzdłuż osi OO_1 aż do przecięcia się z rzędnymi, wystawionymi na pionowej osi prądów obciążenia w punktach, odpowiadających odpowiednim obciążeniom $\frac{1}{4}J_n, \frac{1}{2}J_n$ i t.d.

Punkty F_1, F_2, \dots wyznaczają charakterystykę regulacyjną maszyny.