

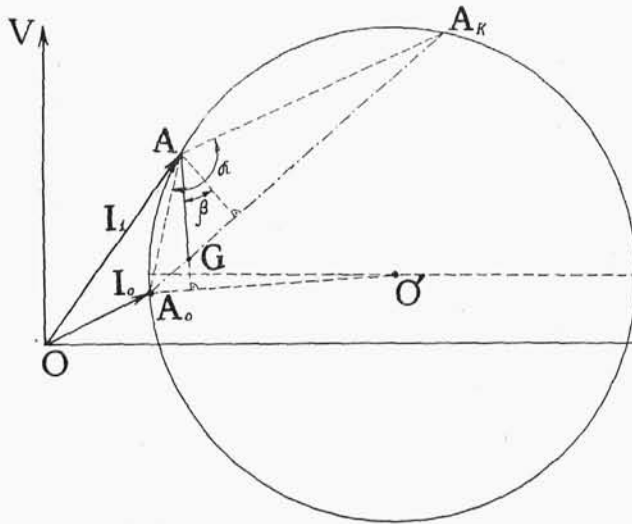
### 171. Moc mechaniczna silnika na wykresie kołowym.

Moc mechaniczną silnika określa się z obwodu zastępczego wzorem:

$$P_m = (I_2)^2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

albo:

$$P_m = I_2 \cdot I_2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right)$$



Rys. 315.

Pokażemy, że odcinek  $A_0A$ , rys. 315, jest proporcjonalny do  $I_2$ , a odcinek  $AA_K$  do:  $I_2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right)$

$$\overline{A_0A} = \hat{I}_1 - \hat{I}_0 = \frac{\hat{V}}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}''} \cdot \frac{\hat{Z}_a - \hat{Z}''}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a}$$

ale

$$\frac{\hat{V}}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}''} = \hat{I}_1 = \hat{I}_2 \frac{\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2}{\hat{Z}_a}$$

po podstawieniu więc do poprzedniego równania otrzymamy:

$$\overline{A_0A} = \hat{I}_2 \frac{(\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2)(\hat{Z}_a - \hat{Z}'')}{\hat{Z}_a (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a)}$$

Uwzględniając, że:

$$\hat{Z}_a - \hat{Z}'' = \frac{\hat{Z}_a^2}{\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2}$$

wypadnie:

$$\hat{I}_2 = \overline{A_0 A} \cdot \frac{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a^{1)} }{\hat{Z}_a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

albo, wprowadzając oznaczenia symboliczne:

$$\hat{I}_2 = \overline{A_0 A} C_1 e^{j\varphi'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Liczbowo więc:

$$I_2 = C_1 [\overline{A_0 A}]$$

Podobnie:

$$\overline{AA_k} = \hat{I}_k - \hat{I}_1 = \frac{\hat{V}}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}''} \cdot \frac{\hat{Z}'' - \hat{Z}'}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}'} = \hat{I}_2 \cdot \frac{(\hat{Z}'' - \hat{Z}')(\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2)}{\hat{Z}_a(\hat{Z}_1 + \hat{Z}')} \quad .$$

Uwzględniając, że:

$$\hat{Z}'' - \hat{Z}' = \frac{\hat{Z}_a^2 (\hat{Z}'_2 - \hat{Z}_2)}{(\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2)(\hat{Z}_a + \hat{Z}_2)}$$

i że:

$$\hat{Z}'_2 - \hat{Z}_2 = r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right)$$

otrzymamy:

$$\hat{I}_2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = \overline{AA_k} \cdot \frac{(\hat{Z}_1 + \hat{Z}')(\hat{Z}_a + \hat{Z}_2)}{\hat{Z}_a} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

albo:

$$\hat{I}_2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = C_2 e^{j\varphi''} \overline{AA_k} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

a więc liczbowo:

$$I_2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = C_2 [\overline{AA_k}]$$

Przeto:

$$P_m = C_1 C_2 [\overline{A_0 A}] [\overline{AA_k}] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Porównyując dwa wzory, wyrażające pole trójkąta  $A_0 AA_k$ , rys. 315, łatwo spostrzec, że<sup>2)</sup>:

$$[\overline{A_0 A}] [\overline{AA_k}] = [\overline{A_0 A_k}] [\overline{AG}] \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

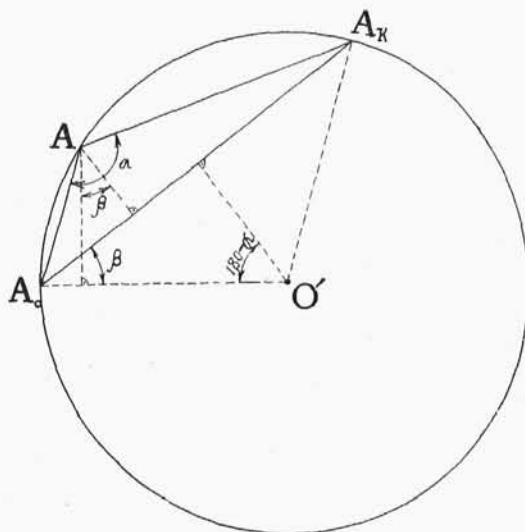
<sup>1)</sup> Tu wartości  $\hat{Z}_1$ ,  $\hat{Z}_a$  są stałe niezależne od stanu silnika.

<sup>2)</sup>  $AG \perp$  do  $O'A_0$ .

Z rysunku zaś 316-go wynika, że  $\beta = \alpha - 90^\circ$ , przeto  $\cos \beta = -\sin \alpha$  i  $\frac{\cos \beta}{\sin \alpha} = -1$ .

Wzór na  $\overline{A_0 A_k}$  wypada następujący:

$$\overline{A_0 A_k} = \hat{I}_k - \hat{I}_0 = \hat{V} \cdot \frac{\hat{Z}_a}{(\hat{Z}_a + \hat{Z}_2)(\hat{Z}_1 + \hat{Z}')} \cdot \frac{\hat{Z}_a}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a}$$



Rys. 316.

Porównyując z poprzednimi wzorami (3) i (4), (5) i (6) znajdziemy, iż:

$$\overline{A_0 A_k} = \hat{V} \cdot \frac{1}{C_2 e^{j\varphi''}} \cdot \frac{1}{C_1 e^{j\varphi'}}$$

liczbowo więc:

$$[\overline{A_0 A_k}] = \frac{V}{C_2 C_1}$$

Wzór (8) przekształca się zatem na:

$$[\overline{A_0 A}] [\overline{A A_k}] = \frac{V}{C_1 C_2} [\overline{A G}]$$

a wzór (7) na moc mechaniczną przybiera postać:

$$P_m = V [\overline{A G}]$$

Według tego wzoru moc mechaniczna wyraża się wielkością odcinka  $AG$ , wyrażoną w skali prądu, pomnożoną przez stałe napięcie sieci, moc mechaniczna przeto jest wprost proporcjonalna do długości odcinka  $AG$ , prostopadłego do kierunku  $O'A_0$  i poprowadzonego od punktu  $A$  do prostej  $A_0A_k$ , rys. 315.

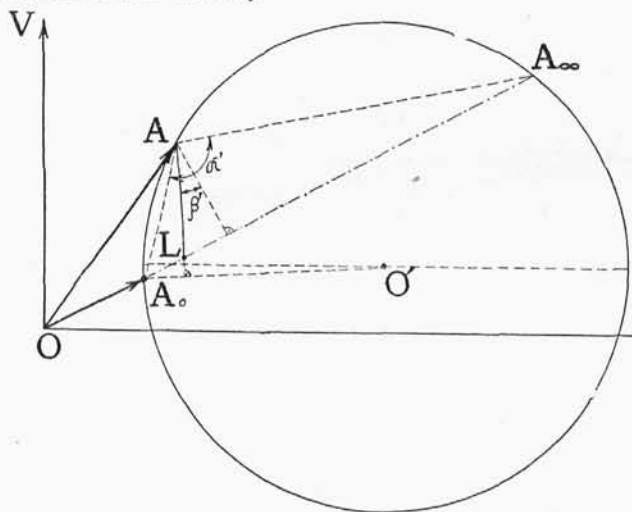
Gdy punkt  $A$  leży na górnym łuku  $A_0A_k$  silnik oddaje moc mechaniczną.

Gdy zaś punkt  $A$  wypada na dolnym łuku  $A_0A_k$ , to silnik przestaje pełnić swoją funkcję właściwą i pobiera moc mechaniczną. W punkcie  $A_0$ , gdy  $s=0$  silnik biegnie synchronicznie i przy  $s=1$  w  $A_k$  stoi; moc mechaniczna jest oczywiście w obu przypadkach równa zero.

### 172. Moc całkowita, pobrana przez wirnik, na wykresie kołowym.

Na wykresie kołowym, rys. 317, jest jeszcze jeden punkt osobliwy, odpowiadający końcowi wektora prądu  $I_1$  przy  $s=\infty$ .

Nieskończenie wielki poślizg otrzymamy, gdy będziemy obracali wirnik w odwrotną stronę względem wirowania pola, z szybkością nieskończenie wielką.



Rys. 317.

Wtedy oporność pozorna drogi prądu wtórnego w obwodzie zastępczym wypadnie:

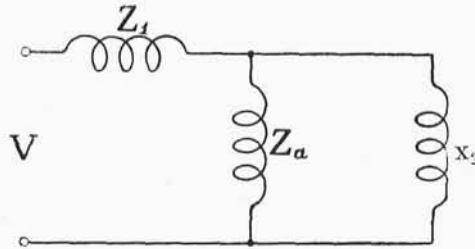
$$\hat{Z}_2 + r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = r_2 + jx_2 + r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = r_2 + jx_2 - r_2 = jx_2$$

Obwód więc zastępczy przybierze postać, wskazaną na rys. 318-ym, a przeto:

$$\hat{I}_{\infty} = \frac{\hat{V}}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}'''}$$

gdzie:

$$\hat{Z}''' = \frac{\hat{Z}_a j x_2}{\hat{Z}_a + j x_2}$$



Rys. 318.



Moc całkowita pobrana przez wirnik przy dowolnym poślizgu  $s$ , wynosi:

$$P_w = (I_2)^2 r_2 + (I_2)^2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right) = (I_2)^2 \frac{r_2}{s} \quad . . . . . (9)$$

albo:

$$P_w = I_2 \cdot I_2 \frac{r_2}{s} \quad . . . . . (10)$$

Według poprzednich wywodów otrzymaliśmy wzór (4) str. 270. a więc liczbowo:

$$I_2 = C_1 [\overline{A_0 A}] \quad . . . . . (11)$$

Iloczyn zaś  $I_2 \frac{r_2}{s}$  wyraża się zapomocą odcinka  $AA_{\infty}$ .

$$\overline{AA_{\infty}} = \hat{I}_{\infty} - \hat{I}_1 = \hat{V} \frac{\hat{Z}'' - \hat{Z}'''}{(\hat{Z}_1 + \hat{Z}'')(\hat{Z}_1 + \hat{Z}''')}$$

Przez podstawienie wyrazu na  $\hat{Z}'' - \hat{Z}'''$  i

$$\frac{\hat{V}}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}''} = \hat{I}_1 = \hat{I}_2 \frac{\hat{Z}_a + \hat{Z}'_2}{\hat{Z}_a}$$

łatwo znajdziemy:

$$\overline{AA_{\infty}} = \hat{I}_2 \frac{r_2}{s} \frac{\hat{Z}_a}{(\hat{Z}_a + j x_2)(\hat{Z}_1 + \hat{Z}''')} \quad . . . . . (12)$$

Wprowadzając odpowiednie oznaczenia symboliczne, otrzymujemy:

$$\hat{I}_2 \frac{r_2}{s} = \overline{A A_\infty} C_3 e^{j\varphi'''} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

a więc liczbowo:

$$I_2 \frac{r_2}{s} = C_3 [\overline{A A_\infty}] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Porównyując dwa wzory wyrażające pole trójkąta  $A_0 A A_\infty$ , znajdziemy <sup>1)</sup>:

$$[\overline{A_0 A}] \cdot [\overline{A A_\infty}] = [\overline{A_0 A_\infty}] \cdot [\overline{A L}] \frac{\cos \beta'}{\sin \alpha'}$$

Wektor  $A_0 A_\infty$  wyraża się, jak następuje:

$$\overline{A_0 A_\infty} = \hat{I}_\infty - \hat{I}_0 = \hat{V} \frac{\hat{Z}_a - \hat{Z}'''}{(\hat{Z}_1 + \hat{Z}''')(\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a)}$$

ponieważ:

$$\hat{Z}_a - \hat{Z}''' = \frac{\hat{Z}_a^2}{\hat{Z}_a + jx_2}$$

to, po podstawieniu do równania poprzedniego otrzymamy:

$$\overline{A_0 A_\infty} = \hat{V} \frac{\hat{Z}_a}{(\hat{Z}_a + jx_2)(\hat{Z}_1 + \hat{Z}''')} \cdot \frac{\hat{Z}_a}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_a}$$

Porównyując ten wzór z poprzednimi oznaczeniami we wzorach (3), (4), (12) i (13), znajdziemy, że liczbowo:

$$[\overline{A_0 A_\infty}] = V \frac{1}{C_1 C_3}$$

Obok tego, jak poprzednio,

$$\beta' = \alpha' - 90^\circ \quad \cos \beta' = \sin \alpha' \quad \frac{\cos \beta'}{\sin \alpha'} = 1$$

Przeto:

$$[\overline{A_0 A}][\overline{A A_\infty}] = \frac{V}{C_1 C_3} [\overline{A L}] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Mając na względzie wzory (9), (11) i (14) otrzymamy:

$$P_m = (I_2)^2 \frac{r_2}{s} = C_1 C_3 [\overline{A_0 A}][\overline{A A_\infty}]$$

<sup>1)</sup>  $\overline{A L}$  — poprowadzono prostopadle do  $O'A_0$ .



Podstawiając ten wyraz na  $P_m$  do wzoru na moment obrotowy, znajdziemy :

$$M = P_w \frac{60}{2 \pi n_p}$$

Wyraz  $\frac{60}{2 \pi n_p}$  jest liczbą stałą, niezależną od stanu silnika, możemy więc w odpowiedniej skali obliczać moment obrotowy silnika z tego samego odcinka na wykresie kołowym, co służył do wyznaczenia mocy, pobranej przez wirnik silnika.

Uwzględniając wzór (16), otrzymamy :

$$M = V \frac{60}{2 \pi n_p} [A L]$$

Wyrażając odcinek  $AL$  w skali prądu, obliczymy z powyższego wzoru moment obrotowy  $M$  w dżaulach<sup>1)</sup>.

Dla wszystkich punktów  $A$ , leżących powyżej cięciwy  $A_0 A_\infty$ , mamy moment dodatni, w kierunku normalnego ruchu silnika. Dla wszystkich zaś punktów  $A$  poniżej cięciwy  $A_0 A_\infty$  moment obrotowy wypada ujemny, a więc odwrotny względem powyższego kierunku.

#### 174. Wyznaczenie kierunku cięciwy $A_0 A_\infty$ .

Nie mając na obwodzie koła punktu  $A_\infty$ , nie możemy wyznaczyć kierunku  $A_0 A_\infty$  przez połączenie tych punktów, posilkujemy się więc punktem  $A_k$ , odpowiadającym stanowi spoczynku silnika pod prądem.

Moc, pobrana wtedy przez silnik, wyraża się na wykresie, rys. 319, odcinkiem  $A_k F_k$ ; zużywa się ona niemal wyłącznie na ogrzewanie uzwojeń, stojana i wirnika, gdyż mechanicznej pracy nie ma, a wobec wielkiego prądu w stojanie i wirniku straty w żelazie stanowią zaledwie kilka procent strat w miedzi.

Odcinek  $A_k L_k$  wyraża moc, pobraną przez wirnik, a więc zużytą niemal wyłącznie na ciepło w uzwojeniach wirnika.

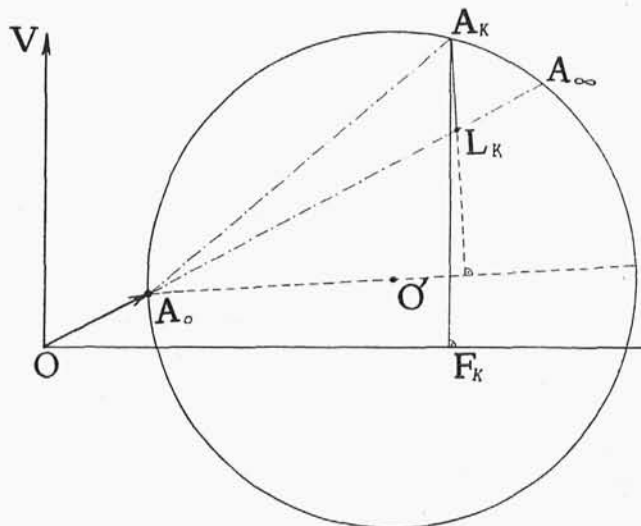
Znając prąd stojana przy zwarcu  $I_k$  i oporność omową uzwojeń stojana, łatwo wyznaczyć długość odcinka  $A_k L_k$ , odejmując od całej mocy pobranej przez silnik w stanie zwarcia moc pobraną przez stojan.

<sup>1)</sup> 1 kgm = 9,8 dżaula.



Niekiedy jednak można postępować i inaczej.

W rozważanym stanie zwarcia silnika prąd w stojanie jest niemal równy prądowi w wirniku, przerachowanemu na ilość zwojów stojana, gdyż prądy te różnią się tylko o prąd magnesujący, który nieraz wynosi zaledwie kilka procentów prądu zwarcia. Wtedy możemy przyjąć w przybliżeniu, że straty w miedzi dzielą się pomiędzy stojan i wirnik proporcjonalnie do oporności omowych tych uzwojeń <sup>1)</sup>.



Rys. 319.

Wobec tego, że ogólne straty w miedzi wyrażają się odcinkiem  $A_k F_k$ , a straty w wirniku odcinkiem  $A_k L_k$ , to z powyższych rozważań wynika, że

$$[A_k L_k] = \frac{[A_k F_k]}{r_1 + r_2} r_2$$

W ten sposób, znając położenie punktu  $A_k$ , możemy wyznaczyć położenie punktu  $L_k$ , a więc i kierunek prostej  $A_0 L_k A_\infty$ .

<sup>1)</sup> Przypuszczamy, że wykres, wykonany w założeniu równych oporności omowych stojana i wirnika, może być zastosowany w przybliżeniu do silnika, w którym oporności te są nieco różne.

### 175. Wyznaczenie poślizgu z wykresu kołowego.

Z powyższych wzorów: (2) str. 269 i (9) str. 273 wynika:

$$\frac{P_w}{P_m} = \frac{(I_2)^2 \frac{r_2}{s}}{(I_2)^2 r_2 \left( \frac{1}{s} - 1 \right)} = \frac{1}{1-s}$$

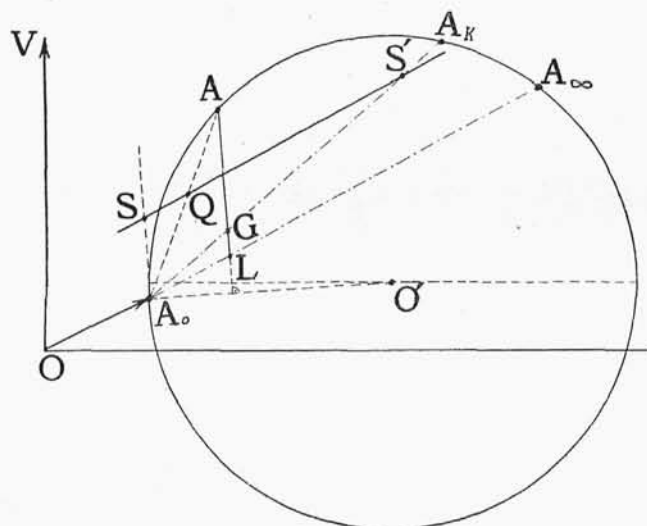
Stąd:

$$s = \frac{P_w - P_m}{P_w}$$

A wobec tego, że na wykresie, rys. 320, w tej samej skali,  $AG$  wyraża  $P_m$ , a  $AL$  wyraża  $P_w$ , mamy więc:

$$s = \frac{[AL] - [AG]}{[AL]}$$

Równoległe do  $A_0 A_\infty$ , prowadzimy na dowolnej odległości prostą  $SS'$ , równoległe zaś do  $AL$ , a więc prostopadłe do  $O' A_0$ ,



Rys. 320.

prostą  $A_0 S$  przez punkt  $A_0$ , wtedy na zasadzie podobieństwa trójkątów:

$$\triangle S A_0 S' \sim \triangle A_0 G L$$

oraz

$$\triangle A_0 S Q \sim \triangle A_0 A L$$

mamy :

$$\frac{[\overline{GL}]}{[\overline{A_0L}]} = \frac{[\overline{A_0S}]}{[\overline{SS'}]} \quad \frac{[\overline{AL}]}{[\overline{A_0L}]} = \frac{[\overline{A_0S}]}{[\overline{SQ}]}$$

Dzieląc przez siebie te dwa równania odpowiednimi stronami, znajdujemy :

$$\frac{[\overline{GL}]}{[\overline{AL}]} = \frac{[\overline{SQ}]}{[\overline{SS'}]}$$

Ponieważ  $[\overline{AL}] - [\overline{AG}] = [\overline{GL}]$

$$s = \frac{[\overline{SQ}]}{[\overline{SS'}]}$$

Jeżeli odcinek  $SS'$  podzielimy na 100 części i punkt  $S$  oznaczmy przez 0, a  $S'$  przez 100, to w punkcie  $Q$  odczytamy poślizg w procentach.

Przy biegu synchronicznym silnika punkt  $Q$  znajdzie się w  $S$ , a przy silniku nieruchomym w  $S'$ .

Za punktem  $S'$  w prawo będą poślizgi większe od 100% czyli  $s > 1$ , a za punktem  $S'$  w lewo poślizgi ujemne  $s < 0$ .

## 176. Własności maszyny asynchronicznej na podstawie wykresu kołowego.

Mając stałe punkty na okręgu koła, rys. 321,  $C, D, A_0, A_k, A_\infty$  i ruchomy punkt  $A$ , wyrażający pewien dowolny stan maszyny, możemy wyróżnić kilka bardzo charakterystycznych zakresów pracy.

Gdy punkt  $A$  znajduje się na górnym łuku  $A_0A_k$ , mamy  $0 < s < 1$ , a więc normalną pracę maszyny asynchronicznej jako silnika.

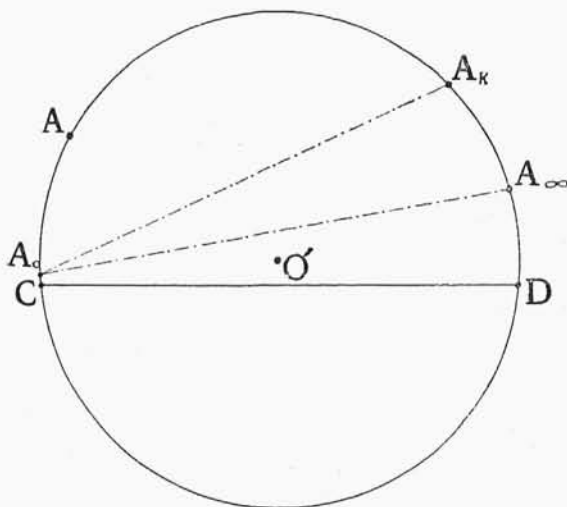
Przy położeniu punktu  $A$  na prawym łuku  $A_kA_\infty$ , mamy  $1 < s < \infty$ . Tu maszyna przestaje być silnikiem i staje się maszyną asynchroniczną, obracaną siłą obcą w kierunku odwrotnym do kierunku ruchu pola wirującego wbrew jej momentowi obrotowemu. Dodatni moment obrotowy maszyny hamuje ten ruch wirnika, maszyna asynchroniczna jest więc teraz hamulcem. Energia doprowadzona do niej elektrycznie i mechanicznie przekształca się w niej na ciepło.

Gdy punkt  $A$  wędruje dalej od  $A_\infty$  do  $D$ , poślizg zmienia się w granicach —  $s_D > s > -\infty$ <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Punktowi  $A_\infty$  odpowiada  $s = \pm \infty$ .

Maszyna wiruje wtedy w kierunku ruchu pola magnetycznego pod wpływem obcej siły, straty jednak częściowo są pokrywane prądem, pobieranym z sieci.

Przy posuwaniu się punktu  $A$  z  $D$  do  $C$  po dolnym łuku, poślizg zawiera się w granicach  $-s_C < s < -s_D$ ; maszyna obraca się z szybkością nadsynchroniczną i pracuje, jako prądnica asynchroniczna, w której obcy moment obrotowy daje pracę, przetwarzającą się na energię elektromagnetyczną, dostarczaną prądem stojaną do sieci. Prąd jednak magnesujący pobierany jest z sieci.



Rys. 321.

W granicach od  $C$  do  $A_0$  poślizg zmienia się od  $-s_C$  do  $0$ ; tu maszyna wiruje również z szybkością nadsynchroniczną, ale obcy moment obrotowy łącznie z prądem, płynącym z sieci, zaledwie pokrywa straty w miedzi i w żelazie maszyny, nie dostarczając energii do sieci.

### 177. Asynchroniczna przetwornica częstotliwości.

Do napędzania wirówek, przewietrzników, maszyn przędzalniczych i obrabiarek do drzewa bywają często stosowane silniki trójfazowe zwarte.

Liczba obrotów tych silników powinna nieraz przewyższać 3000 na minutę, co przy częstotliwości prądu zasilającego wynoszącej 50 okresów na sekundę, jest dla silników asynchronicznych, przy bezpośrednim połączeniu z siecią, nie do osiągnięcia.

Pozatem potrzebna tu bywa czasem regulacja obrotów.

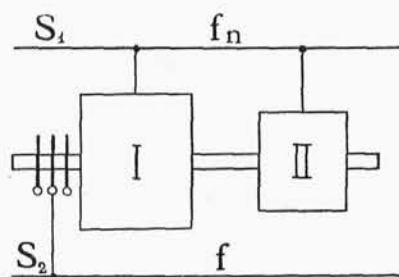
Zasilając silniki prądem o częstotliwości wyższej od 50 okr. na sek. łatwo osiągniemy szybkość biegu większą od 3000 obr. na min., a regulując częstotliwość prądu, zasilającego silniki, możemy zmieniać szybkość ich biegu.

Jeżeli każdy silnik ma mieć szybkość biegu niezależną od innych, to każdy musi mieć swoje źródło prądu o zmiennej częstotliwości. O ile jednak chodzi o jednakową i jednoczesną zmianę szybkości wielu silników, to można te silniki przyłączyć do wspólnej sieci, zasilanej z jednego źródła.

Dla otrzymania prądu odpowiedniej częstotliwości są stosowane przeważnie przetwornice.

Najprostszym w zasadzie układem będzie zespół, składający się z silnika, pobierającego prąd o częstotliwości 50 okr. na sek., i prądnicy, dostarczającej prąd zmienny o innej liczbie okresów.

W wielu razach jednak oszczędniej będzie zastosować przetwornicę asynchroniczną. Przetwornica asynchroniczna składa się z dwóch maszyn asynchronicznych I i II, sprzęgniętych ze sobą mechanicznie, rys. 322. Zasilane są one w zwykły sposób z sieci  $S_1$ , doprowadzającej prąd normalnej częstotliwości  $f_n$ . Wirnik maszyny I-ej łączy się przez pierścienie z siecią  $S_2$ , którą on zasila prądem innej częstotliwości  $f$ .



Rys. 322.

Jeżeli przez  $n_p$  oznaczmy synchroniczną liczbę obrotów maszyny I-ej, to przy obracaniu się wału z szybkością od  $n=0$  do  $n=n_p$  w kierunku wirowania pola stojana, otrzymamy wszystkie wartości dla  $f$  w granicach od  $f=f_n$  do  $f=0$ , t. j. częstotliwości mniejsze od normalnych; obracając zaś wał z szybkością od  $n=0$  do  $n=\infty$  w kierunku przeciwnym do kierunku wirowania pola stojana, otrzymamy różne częstotliwości od  $f=f_n$  do  $f=\infty$ , t. j. częstotliwości większe od normalnych.

W pierwszym zakresie pracy, gdy  $f$  zmienia się od  $f_n$  do 0, maszyna I-a pracuje częściowo jako transformator, w którym energia prądu trójfazowego o częstotliwości  $f_n$  przekształca się na energię prądu o częstotliwości  $f$ , częściowo zaś jako silnik, wytwarzający energię mechaniczną, pobieraną przez maszynę II-gą i zwracaną do sieci.

Na wykresie kołowym ten zakres pracy odpowiada położeniu punktu  $A$  na obwodzie koła pomiędzy  $A_0$  i  $A_k$ , rys. 321. Wobec tego, że maszyna I-a pracuje, jako silnik asynchroniczny, w którym przy pominięciu strat cała moc  $P$ , pobrana przez stojan, przenosi się na wirnik, to według wyników rozumowania, przeprowadzonego w § 173-im na wale rozwija się moc mechaniczna:

$$P_m = \frac{P n}{n_p}$$

Silnik I-szy obraca maszynę II-gą, która pracuje teraz jako prądnica, i moc mechaniczna  $P_m$ , przekształcona na moc prądu elektrycznego, wraca do sieci  $S_1$ .

Reszta mocy, otrzymanej przez wirnik I-ej maszyny:

$$P - P_m = \frac{P(n_p - n)}{n_p}$$

jest oddawana przez pierścienie wirnika do sieci  $S_2$  w postaci prądu elektrycznego trójfazowego o częstotliwości:

$$f = f_n \frac{n_p - n}{n_p}$$

W drugim zakresie pracy tej przetwornicy, gdy powiększamy częstotliwość prądu, obracając wirnik maszyny asynchronicznej I-ej przeciw wirowaniu pola jej stojana, charakter pracy tej maszyny jest zupełnie inny. Na wykresie kołowym określa go położenie punktu  $A$  pomiędzy punktami  $A_k$  i  $A_\infty$ .

Jak wynika z tego wykresu, moment obrotowy jest wtedy odwrotny do kierunku ruchu wirnika i przez to maszyna I-a musi być obracana przez maszynę II-gą, która, czerpiąc energię z sieci  $S_1$ , pracuje jako silnik.

Moc mechaniczną, dostarczaną do maszyny I-ej, obliczymy również z rozumowań § 173-go uwzględniając, że przy odwróceniu się znaku szybkości wirowania wirnika  $n$  odwraca się i znak  $P_m$ .

Wobec tego moc mechaniczna:

$$P_m = P \frac{n}{n_p}$$

będzie dostarczana teraz maszynie I-ej przez maszynę II-gą.

Ta moc mechaniczna, po przekształceniu się w wirniku maszyny I-ej na moc elektryczną, jest dostarczana sieci  $S_2$ .

Pozatem z wykresu kołowego widzimy, że cała moc  $P$ , dostarczona stojanowi maszyny I-ej, o ile pominiemy straty, zostaje przekazana wirnikowi tej maszyny, a stąd również sieci  $S_2$ .

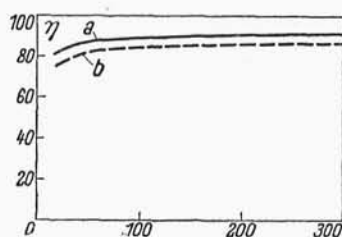
Wobec tego wirnik maszyny I-ej będzie zasilał sieć  $S_2$  mocą łączną:

$$P + P \frac{n}{n_p} = P \frac{n_p + n}{n_p}$$

prądu trójfazowego o częstotliwości:

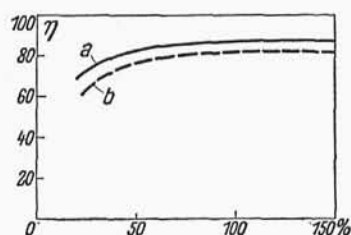
$$f = f_n \frac{n_p + n}{n_p}$$

Porównyując przetwornicę asynchroniczną, opisaną powyżej, ze zwyczajną przetwornicą dwumaszynową, składającą się z silnika i prądnicy, spodziewać się możemy lepszej sprawności zespołu asynchronicznego przy pracy połączonej z podwyższeniem częstotliwości, gdyż część energii przechodzi tu z sieci  $S_1$  do  $S_2$  drogą bezpośredniej transformacji elektromagnetycznej, bez pośrednictwa pracy mechanicznej.



Moc zespołów w kVA.

Rys. 323.



Obciążenie w %.

Rys. 324.

Tymczasem w zwykłej przetwornicy dwumaszynowej, składającej się z silnika i prądnicy, cała energia, przenoszona z sieci  $S_1$  do sieci  $S_2$ , musi przejść podwójną transformację: z pracy elektrycznej na mechaniczną i potem z powrotem z mechanicznej na

elektryczną. Próby wykonanych maszyn potwierdzają te przypuszczenia, jak to widać z wykresów sprawności, przytoczonych na rys. 323 i 324<sup>1)</sup>.

Na rys. 323 podana jest zależność całkowitej sprawności zespołów przetwornicowych od normalnej ich mocy, przy przetwarzaniu prądu o 50 okr. na sek. na prąd o 100 okr. na sek. i  $\cos \varphi = 0,7$ . Linja *a* stosuje się do przetwornic asynchronicznych, a *b* do zespołów silnikowo-prądnicowych.

Na rys. 324 podana jest zależność całkowitego współczynnika sprawności w zależności od obciążenia wyrażonego w % mocy normalnej zespołu przetwornicy asynchronicznej — wykres *a* i zespołu silnikowo-prądnicowego — wykres *b*.

Wykresy rys. 324 stosują się do zespołów o mocy normalnej 50 kVA przy  $\cos \varphi = 0,7$ , przeznaczonych do przetwarzania prądu o częstotliwości 50 okr. na sek. na prąd o częstotliwości 100 okr. na sek.

Gdy przetwornica asynchroniczna pracuje w celu obniżenia częstotliwości, część energii, pobranej z sieci  $S_1$ , wraca do niej zpowrotem, przechodząc przez podwójną transformację. Tu oczywiście będą straty, które mogą zrównoważyć korzyści, osiągnięte przez jednostopniową elektromagnetyczną transformację energii, przenoszonej z sieci  $S_1$  do  $S_2$ .

Porównanie zespołów przetwornicowych w normalnem wykonaniu doprowadza do wniosku, że w granicach częstotliwości od  $f=0$  do  $f=0,62 f_n$  sprawniejsze są przetwornice zwykle dwumaszynowe, składające się z silnika i prądnicy, a w granicach od  $f=0,62 f_n$  do  $f=f_n$  sprawniejsze są zespoły asynchroniczne, opisane powyżej.

---

<sup>1)</sup> Siemens Zeitschrift 1929 r. Nr. 11.