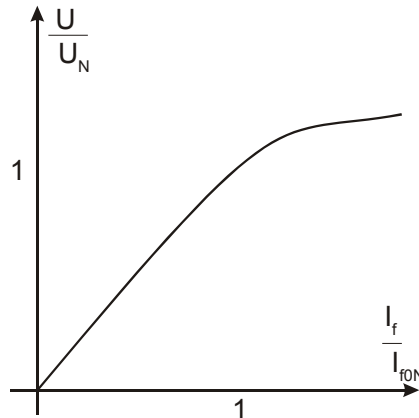


STAN USTALONY MASZYNY SYNCHRONICZNEJ:

Charakterystyka biegu jałowego:

$$U=f(I_f)$$

$$n=\text{const}$$



I_{f0N} - znamionowy prąd wzbudzenia przy biegu jałowym

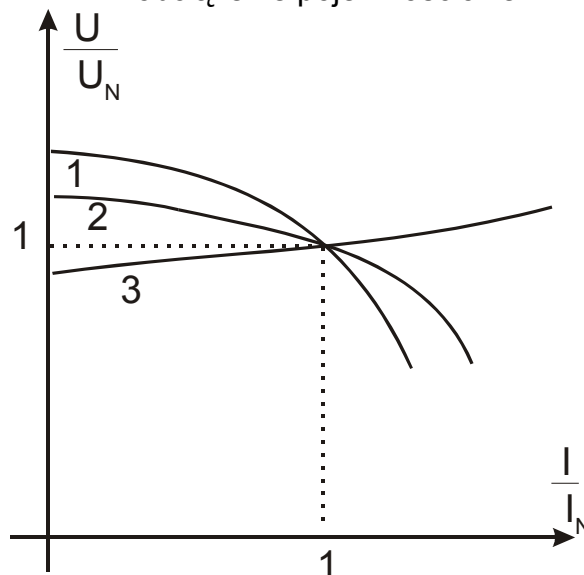
$$I_{fN} = (2 - 2.5)I_{f0N}$$

Charakterystyki zewnętrzne:

$$U=f(I), n=\text{const}, I_f=\text{const}, \cos\varphi=\text{const}$$

-zależność napięcia na zaciskach od prądu twornika przy stałej wartości prędkości kątowej, stałym prądzie wzbudzenia i przy stałym współczynniku mocy

- 1 – obciążenie indukcyjne
- 2 – obciążenie rezystancyjne
- 2 – obciążenie pojemnościowe



Zmienność napięcia:

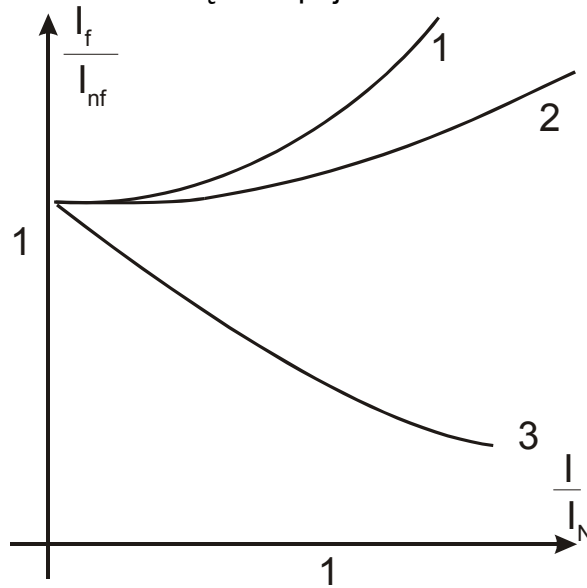
$$\Delta U_r = \frac{U_{ifN} - U_N}{U_N}$$

U_{ifN} - napięcie indukowane przez strumień magnesów (bez reakcji twornika), czyli przy $I=0$

$\Delta U_r \approx 0.4$ (dla znamionowych warunków obciążenia, zwykle $\cos\varphi=0.8$)

Charakterystyki regulacyjne:

$I_f=f(I)$ $n=\text{const}$ $U=\text{const}=U_n$ $\cos\varphi=\text{const}$
 1 – obciążenie indukcyjne
 2 – obciążenie rezystancyjne
 3 – obciążenie pojemnościowe

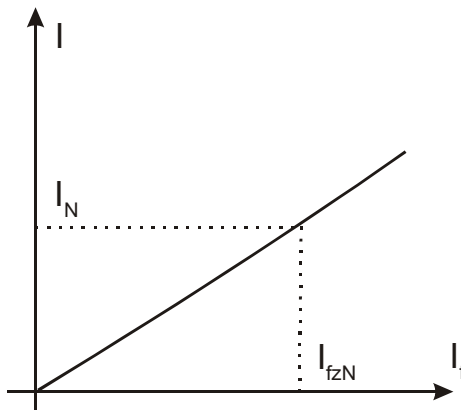


Przy znamionowym $\cos\varphi$, znamionowym prądzie twornika, prąd wzbudzenia dla utrzymania napięcia znamionowego musi być 2-2.5 raza większy niż znamionowy prąd wzbudzenia przy biegu jałowym:

$$I_{fN} = (2 - 2.5)I_{f0N} \quad I_{fNr} = 2 - 2.5$$

Charakterystyki zwarcia ustalonego symetrycznego

$I=f(I_f)$ $n=\text{const}$



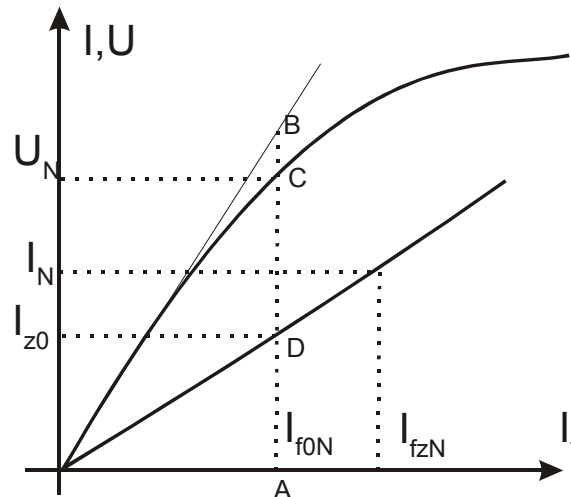
I_{fzN} – znamionowy prąd wzbudzenia przy zwarcia

Dla uproszczonego schematu zastępczego maszyny (z pominięciem rezystancji) otrzymamy przy zwarcia maszyny:

$$I_z = \frac{E}{X_d} = cI_f$$

Przy prądzie wzbudzenia równym znamionowemu prądowi wzbudzenia przy biegu jałowym (przy $I_f = I_{f0N}$)

$$I_{z0r} = \frac{I_{z0}}{I_N} = 0.4 - 1.5$$



Stosunek zwarcia:

$$K_z = \frac{I_{z0}}{I_N} = \frac{I_{f0N}}{I_{fzN}} \quad K_z = \frac{1}{I_{fzNr}} = 0.4 - 1.5$$

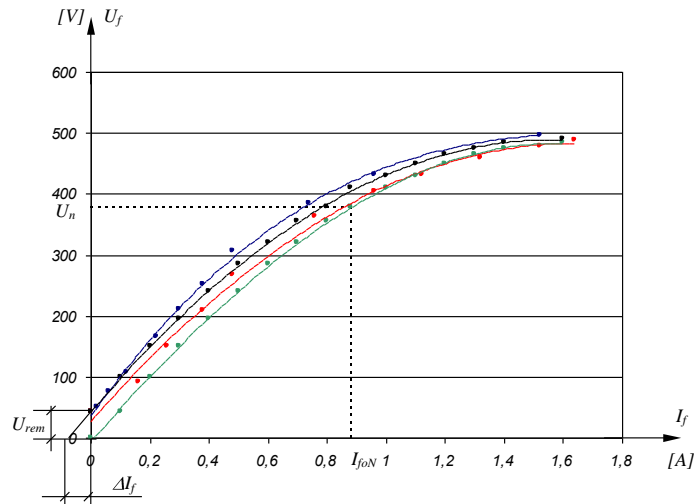
Wyznaczanie reaktancji synchronicznej podłużnej (nasyconej)

$$X_d = \frac{U_{if}}{I_z} = \frac{\overline{AC}}{\overline{AD}}$$

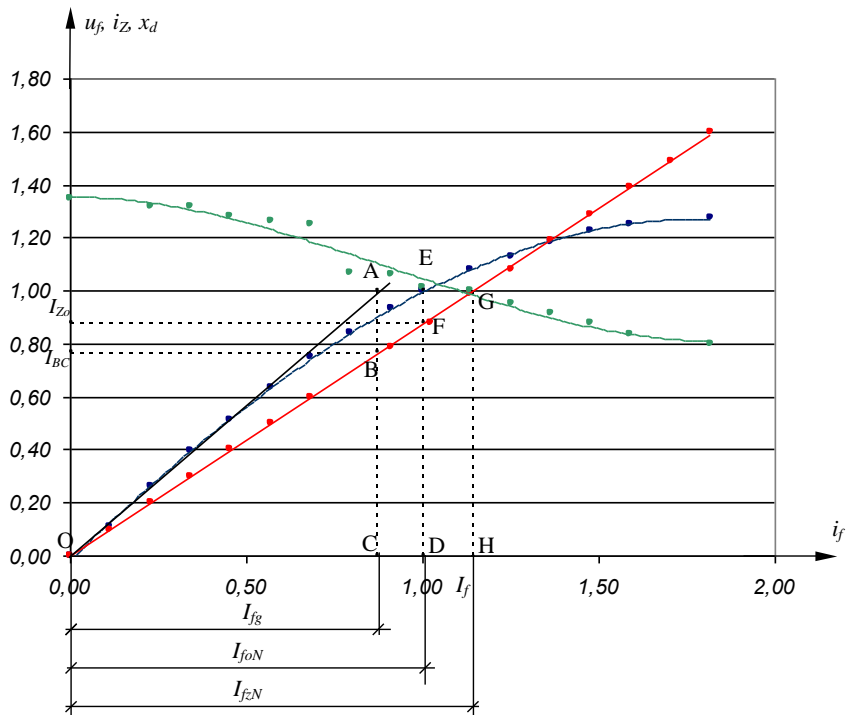
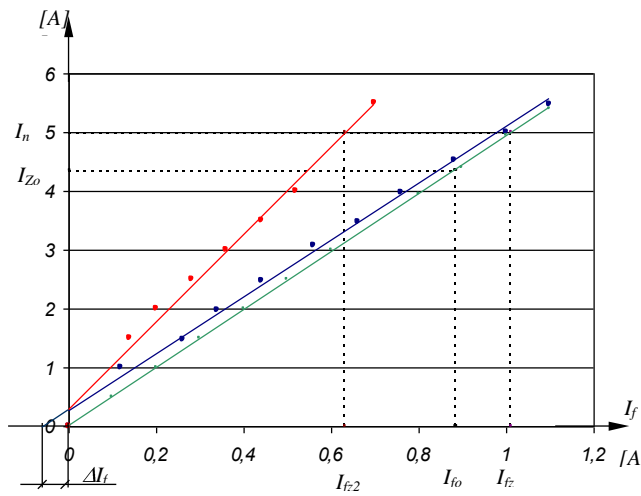
Wyznaczanie reaktancji synchronicznej podłużnej (nienasyconej)

$$X_d = \frac{U_{if}}{I_z} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AD}}$$

Charakterystyka biegu jałowego: $U=f(I_f)$



Charakterystyka zwarcia



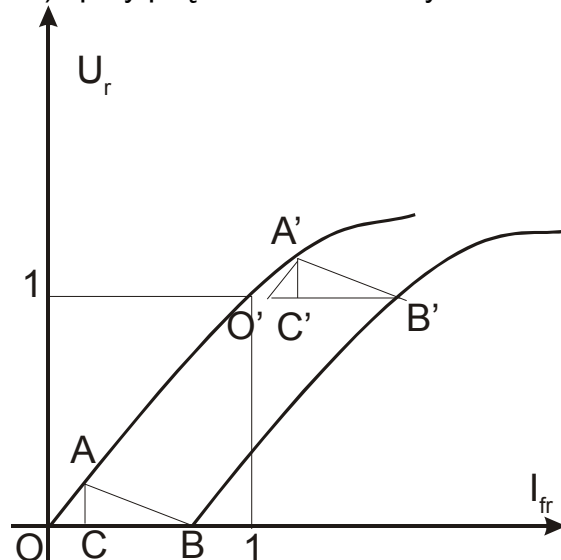
Charakterystyka biegu jałowego, zwarcia i przebieg reaktancji X_d w jednostkach względnych.

Charakterystyka obciążenia:

- zależność napięcia na zaciskach prądnicy od prądu wzbudzenia przy stałym współczynniku mocy, stałym prądzie i stałej prędkości obrotowej:

$$U=f(I_f) \quad n=\text{const} \quad I=\text{const} \quad \cos\varphi=\text{const}$$

Największe znaczenie ma charakterystyka przy obciążeniu czysto indukcyjnym ($\cos\varphi=0$ ind) i przy prądzie znamionowym:



W punkcie B – znamionowy prąd wzbudzenia przy zwarcii:

Trójkąt ABO nazywamy trójkątem zwarciovym (trójkątem Potiera):

AC – odpowiada spadkowi napięcia na reaktancji rozproszenia

OB – odpowiada znamionowemu prądowi wzbudzenia przy zwarcii

CB – odpowiada za reakcję twornika

OC – odpowiada przepływowi wypadkowemu

Wyznaczanie trójkąta Potiera:

- punkt B – z próby zwarcia
- od punktu B' wykreśla się odcinek B'O'
- z punktu O' kreślimy prostą równoległą do prostoliniowego odcinka charakterystyki magnesowania
- - prosta ta przecina charakterystykę biegu jałowego w punkcie A'

Moment maszyny synchronicznej w stanie ustalonym:

Przy pominięciu rezystancji twornika – dla dużych maszyn synchronicznych założenie to jest bardzo dokładne- tzn. przy założeniu, że sprawność maszyny jest równa 100%, moc mechaniczna jest równa mocy pobranej (odebranej) od strony obwodu elektrycznego, wówczas dla maszyny cylindrycznej (bieguny ukryte) z uproszczonego wykresu wskazowego wynika:

$$P = mUI \cos\varphi = m \frac{UE}{X_d} \sin\vartheta$$

ϕ - kąt pomiędzy prądem a napięciem na zaciskach maszyny

ϑ - kąt pomiędzy wartością napięcia indukowanego przez prąd wzbudzenia (s.em.) a napięciem na zaciskach maszyny

Moment mechaniczny można wyrazić zależnością:

$$M = \frac{P}{\omega_M}$$

gdzie ω_M jest prędkością mechaniczną wirnika

Stąd:

$$M = m \frac{UE}{X_d \omega_M} \sin \vartheta$$

Przy czym:

$$\omega_M = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega}{p}$$

p- liczba par biegunów,

ω - pulsacja

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60\omega_M}{2\pi} = 9.55\omega_M$$

Moment maszyny jawnobiegunowej:

Dla uproszczonego wykresu wskazowego dla maszyny jawnobiegunowej:

$$E = U \cos \vartheta + X_d I_d \quad U \sin \vartheta = X_q I_q$$

$$I_d = \frac{E}{X_d} - \frac{U}{X_d} \cos \vartheta \quad I_q = \frac{U}{X_q} \sin \vartheta$$

$$P = mUI \cos \varphi = mUI \cos(\psi - \vartheta)$$

ψ - kąt pomiędzy E oraz prądem I

$$P = mU(I \cos \psi \cos \vartheta + I \sin \psi \sin \vartheta)$$

$$P = mU(I_q \cos \vartheta + I_d \sin \vartheta)$$

$$P = mU \left(\frac{U}{X_q} \sin \vartheta \cos \vartheta + \left(\frac{E}{X_d} - \frac{U}{X_d} \cos \vartheta \right) \sin \vartheta \right)$$

$$P = mU \frac{E}{X_d} \sin \vartheta + mU^2 \sin \vartheta \cos \vartheta \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right)$$

$$P = mU \frac{E}{X_d} \sin \vartheta + \frac{mU^2}{2} \sin 2\vartheta \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right)$$

$$M = \frac{mUE}{X_d \omega_M} \sin \vartheta + \frac{mU^2}{\omega_M 2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\vartheta$$

Przeciążalność statyczna maszyny synchronicznej:

Moment znamionowy maszyny cylindrycznej można wyrazić wzorem:

$$M_n = m \frac{U_n E_n}{X_d \omega_M} \sin \vartheta_n$$

Moment maksymalny przy znamionowym napięciu i znamionowej wartości prądu wzbudzenia:

$$M_k = m \frac{U_n E_n}{X_d \omega_M}$$

Stąd przeciążalność:

$$u = \frac{M_k}{M_n} = \frac{1}{\sin \vartheta_n}$$

Moment znamionowy można także wyrazić wzorem:

$$M_n = \frac{1}{\omega_M} P_n = \frac{1}{\omega_M} m U_n I_n s \cos \varphi_n$$

$$u = \frac{M_k}{M_n} = \frac{E_n}{X_d I_n \cos \varphi_n} \quad \frac{E_n}{X_d} = I_{zn}$$

$$u = \frac{I_{zn}}{I_n \cos \varphi_n} = \frac{I_{fn}}{I_{fzn} \cos \varphi_n}$$

Ze wzoru na stosunek zwarcia:

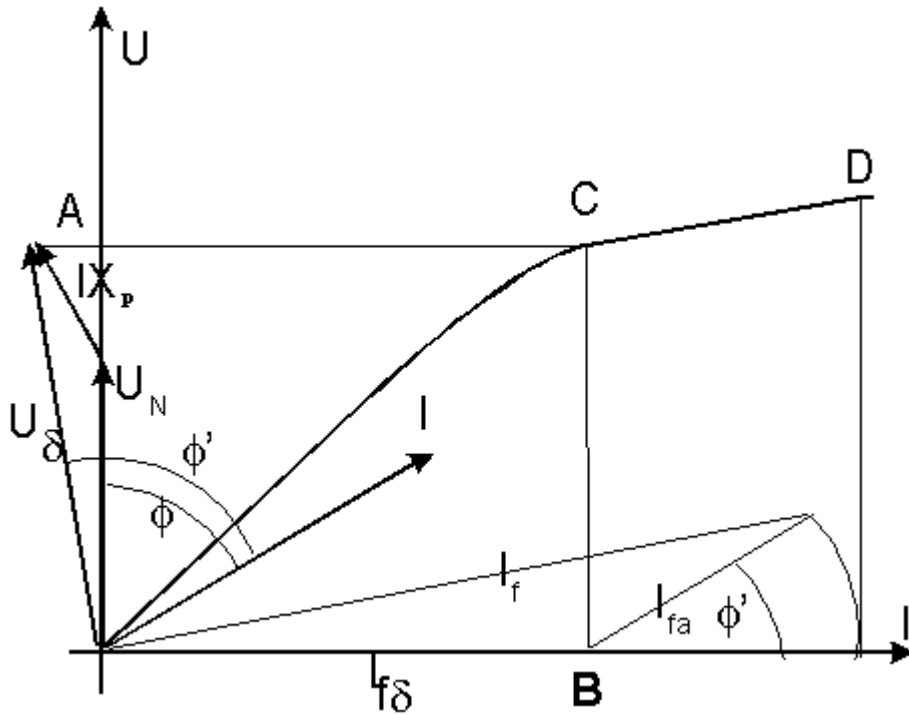
$$I_{fzn} = \frac{I_{f0n}}{K_z} \quad u = K_z \frac{I_{fn}}{I_{f0n} \cos \varphi_n}$$

Przeciążalność statyczna jest zatem odwrotnie proporcjonalna do znamionowego współczynnika mocy oraz proporcjonalna do stosunku zwarcia

Zwiększenie stosunku zwarcia można uzyskać poprzez zwiększenie szczeliny powietrznej (zmniejszenie reaktancji synchronicznej – zmniejszenie reaktancji reakcji twornika)

Wykres Potiera

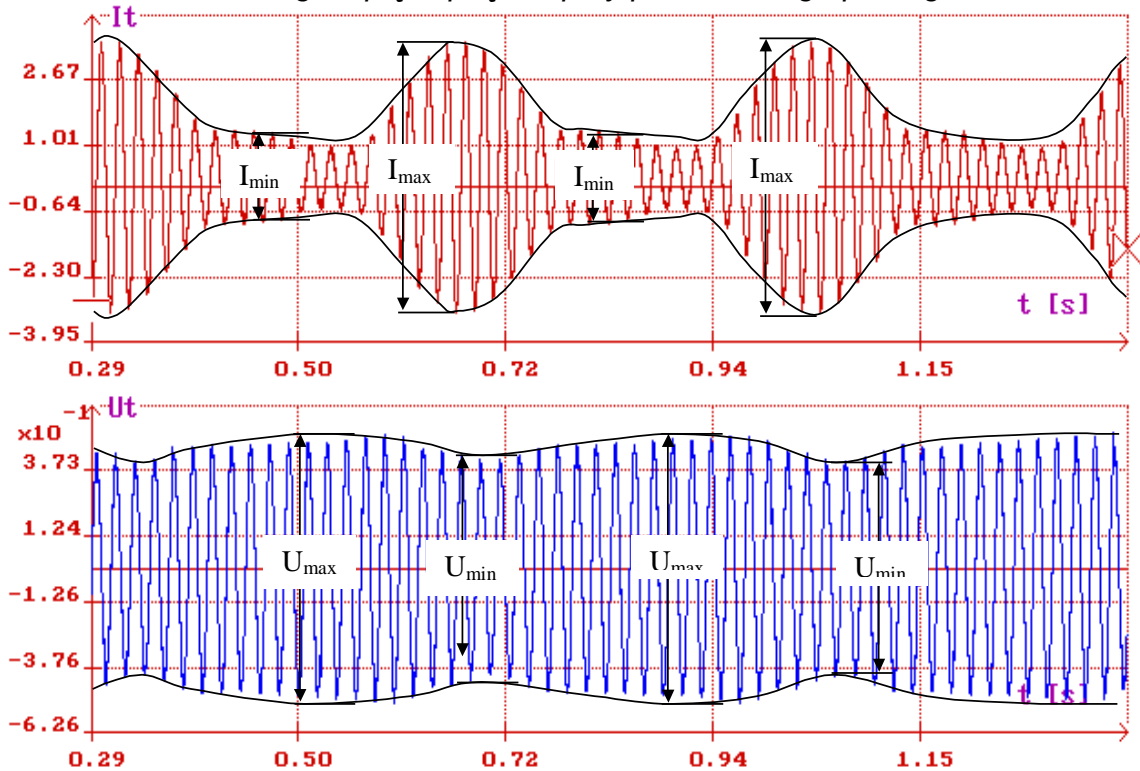
wyznaczanie znamionowego prądu wzbudzenia i zmienności napięcia
 X_p – reaktancja Potiera



Wyznaczanie zmienności napięcia

$$\Delta U = \frac{U_{ifn} - U_n}{U_n}$$

Przebiegi napięć i prądów przy próbie małego poślizgu.

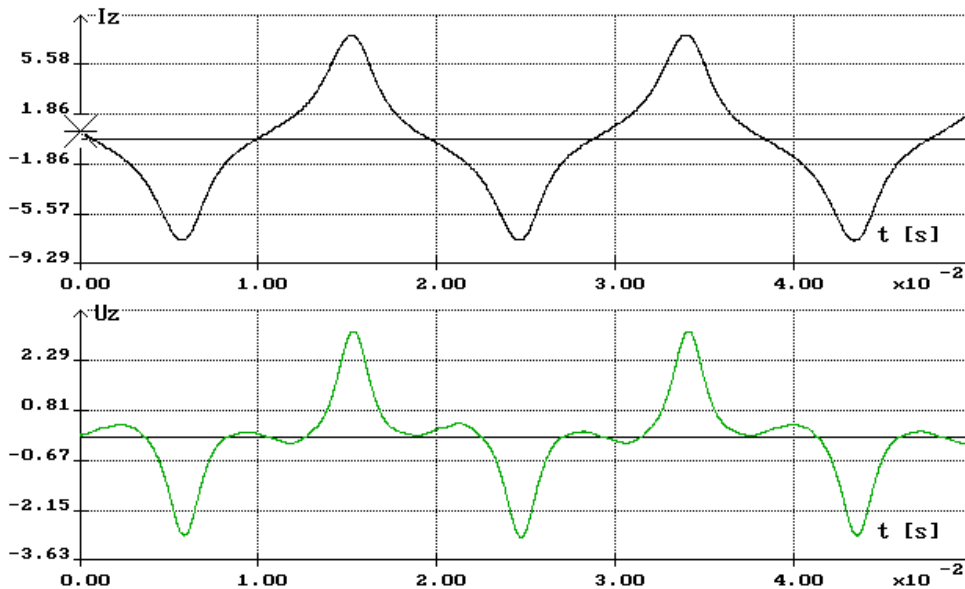
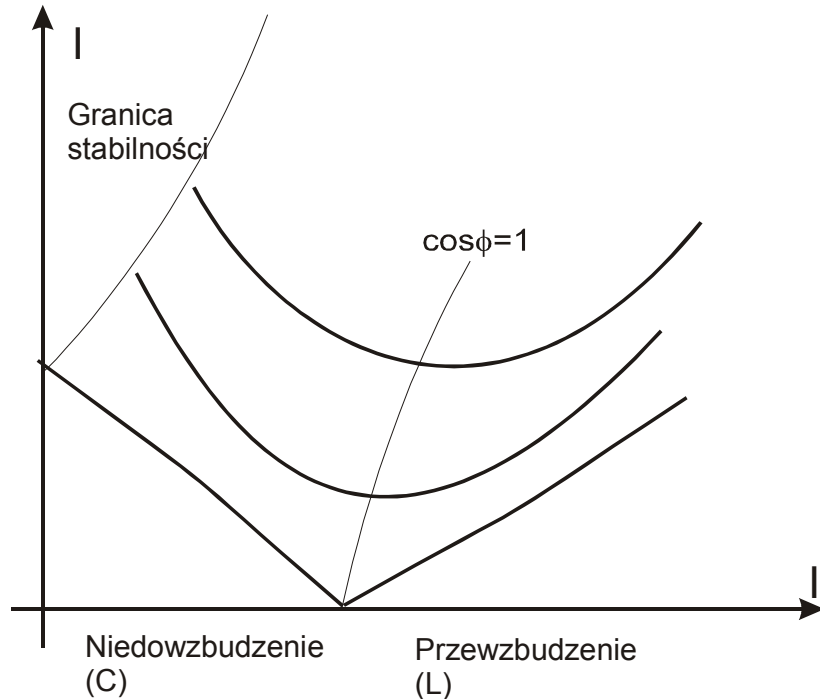


$$X_d = \frac{U_{\max}}{\sqrt{3}I_{\min}} [\Omega] \quad X_q = \frac{U_{\min}}{\sqrt{3}I_{\max}} [\Omega]$$

Krzywe Mordey'a (V)

- zależność prądu twornika od prądu wzbudzenia

$$I = f(I_f) \quad U = \text{const} \quad P = \text{const} \quad \cos\phi = \text{const} \quad \omega = \text{const}$$



Przebiegi prądu zwarciego i napięcia U_{UV} podczas próby zwarcia dwufazowego – zniekształcenie przebiegów związane jest z faktem, że składowa przeciwna prądu wytwarza w uzwojeniu wzbudzenia s.em. o częstotliwości $2f$, dzięki temu w wirniku płynie prąd o tej częstotliwości, który tworzy strumień wirujący względem uzwojenia stojana z prędkością synchroniczną oraz 3 razy większą, stąd w stojanie powstają składowe prądu o częstotliwości 1,3,5,7...razy większej od częstotliwości znamionowej

Obciążenie niesymetryczne generatora:

$$\begin{bmatrix} \underline{W}_0 \\ \underline{W}_1 \\ \underline{W}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{W}_A \\ \underline{W}_B \\ \underline{W}_C \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{W}_A \\ \underline{W}_B \\ \underline{W}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{W}_0 \\ \underline{W}_1 \\ \underline{W}_2 \end{bmatrix}$$

gdzie: $a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = e^{j120^\circ}$

Zwarcie ustalone niesymetryczne:

Zwarcie jednofazowe:

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \frac{1}{3} \underline{I}_u = \frac{1}{3} \underline{I}_{if}$$

$$\underline{E}_{i0} = \underline{E}_{i2} = 0 \quad \underline{E}_{i1} = \underline{E}_{if}$$

Siły elektromotoryczne indukowane mają tylko składową zgodną

$$\underline{U}_0 + \underline{U}_1 + \underline{U}_2 = 0$$

Napięcie na zaciskach fazy U jest równe zero

Równania maszyny w składowych symetrycznych przyjmują postać:

$$0 = \underline{U}_0 + \underline{Z}_0 \underline{I}_0$$

$$\underline{U}_{i1} = \underline{U}_1 + \underline{Z}_1 \underline{I}_1$$

$$0 = \underline{U}_2 + \underline{Z}_2 \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_{i1} = \underline{U}_1 + \underline{U}_0 + \underline{U}_2 + \\ + \underline{Z}_2 \underline{I}_0 + \underline{Z}_1 \underline{I}_0 + \underline{Z}_0 \underline{I}_0$$

$$\underline{U}_{i1} = \underline{Z}_2 \underline{I}_0 + \underline{Z}_1 \underline{I}_0 + \underline{Z}_0 \underline{I}_0$$

$$\underline{U}_{i1} = (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_1 + \underline{Z}_0) \underline{I}_0$$

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{i1}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_1 + \underline{Z}_0}$$

Prąd zwarcia jednofazowego jest równy:

$$\underline{I}_{zI} = \frac{3\underline{U}_{i1}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_1 + \underline{Z}_0}$$

Dla zwarcia dwufazowego możemy przeprowadzić podobne rozumowanie, otrzymując:

$$\underline{I}_{zII} = \frac{\sqrt{3}\underline{U}_{i1}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_1}$$

Pomijając rezystancje dla poszczególnych składowych w powyższych równaniach możemy przyjąć, że impedancje są równe reaktancjom. Reaktancja dla składowej zerowej jest związana praktycznie ze strumieniem rozproszenia (ew. 3-harmoniczna przestrzenna pola magnetycznego), stąd:

$$X_1 \gg X_0$$

Reaktancja dla składowej przeciwnej związana jest ze strumieniem reakcji twornika dla dużego poślizgu i ze strumieniem rozproszenia, stąd:

$$X_1 \gg X_2$$

Przyjmując dla uproszczenia, że:

$$X_0 = X_2 \approx 0$$

$$\underline{I}_z = \frac{\underline{U}_i}{jX_{11}}$$

Otrzymamy:

$$I_z : I_{zII} : I_{zI} = 1 : \sqrt{3} : 3$$