
Regimul nesimetric al mașinii sincrone

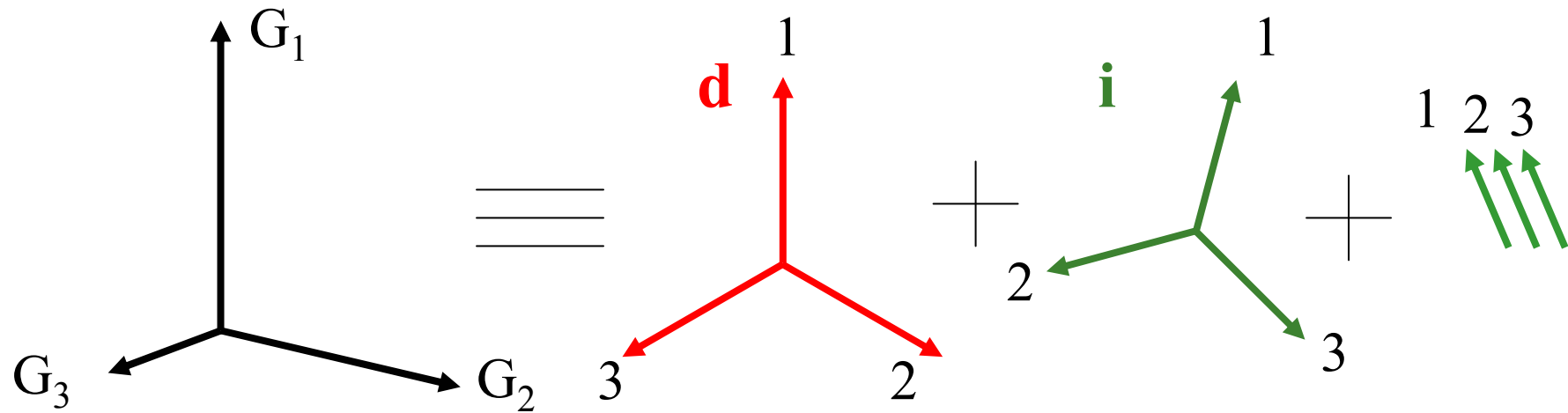
Scurtcircuite staționare nesimetrice

Metoda componentelor simetrice la mașinile sincrone

■ Ipoteze :

- ❑ circuit magnetic liniar,
 - ❑ parametrii constanți,
 - ❑ generator independent și excitat,
 - ❑ generator antrenat cu viteză constantă,
 - ❑ rezistențe mici în comparație cu reactanțe,
 - ❑ regimurile sunt stationare.
 - ❑ mașina este cu întrefier constant.
-

Metoda componentelor simetrice



$$\begin{bmatrix} G_d \\ G_i \\ G_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} * \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \end{bmatrix}$$

$$a = e^{-j\frac{2\cdot\pi}{3}}$$

Metoda componentelor simetrice

Transformarea inversă:

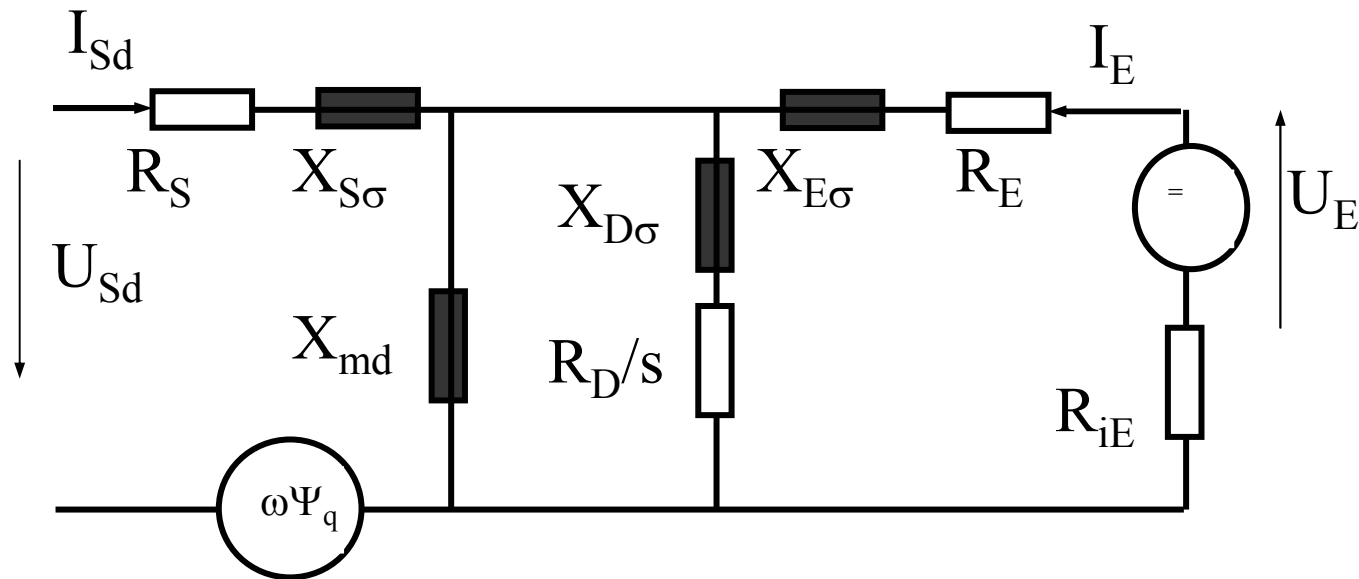
$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a & a^2 & 1 \\ a^2 & a & 1 \end{vmatrix} * \begin{bmatrix} G_d \\ G_i \\ G_0 \end{bmatrix}$$

Gradul de disimetrie $\varepsilon_d = \frac{G_i}{G_d}$

Gradul de asimetrie $\varepsilon_a = \frac{G_0}{G_d}$

Parametrii mașinii sincrone

Sistem simetric de succesiune directă.



La sincronism $s = 0$ deci $R_D/s \rightarrow \infty$

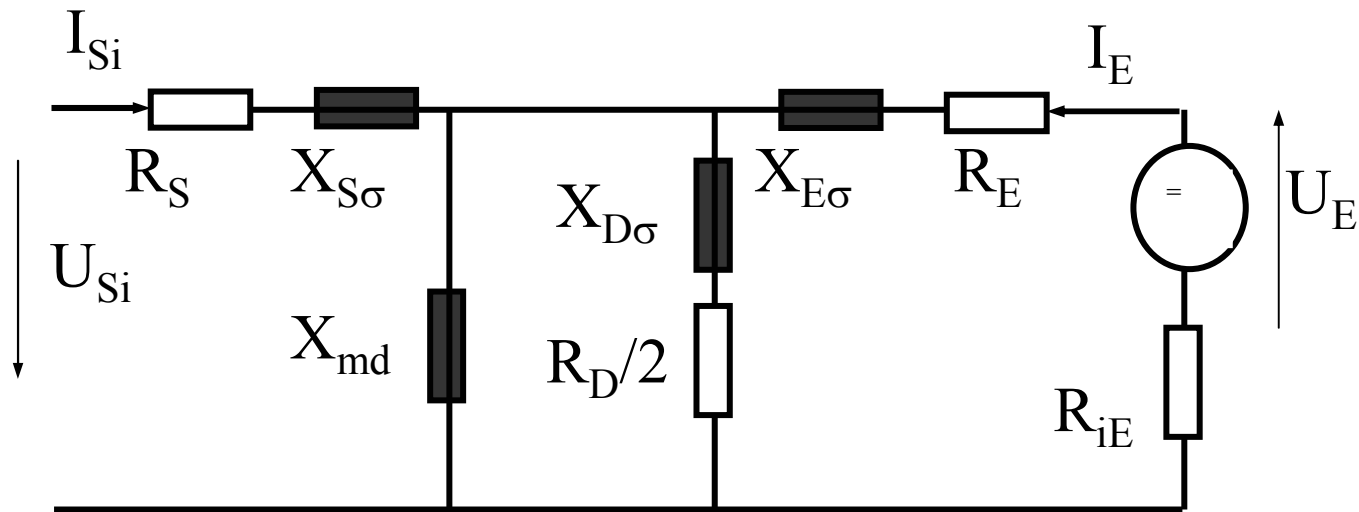
Reactanța de succesiune directă

$$X_d = X_{S\sigma} + X_{md}$$

$$R_d = R_S$$

Parametrii mașinii sincrone

Sistem simetric de succesiune inversă



Impedanța de succesiune inversă :

$$\underline{Z}_i = R_S + jX_{S\sigma} + \frac{jX_{md} \cdot \left(\frac{R_D}{2} + jX_{D\sigma} \right)}{\left(\frac{R_D}{2} + jX_{D\sigma} \right) + jX_{md}}$$

Parametrii mașinii sincrone

Dacă se consideră $X_{md} \gg X_{D\sigma}$

$$\underline{Z}_i \approx R_S + \frac{R_D}{2} + j(X_{S\sigma} + X_{D\sigma})$$

Parametrii de succesiune inversă depind de :

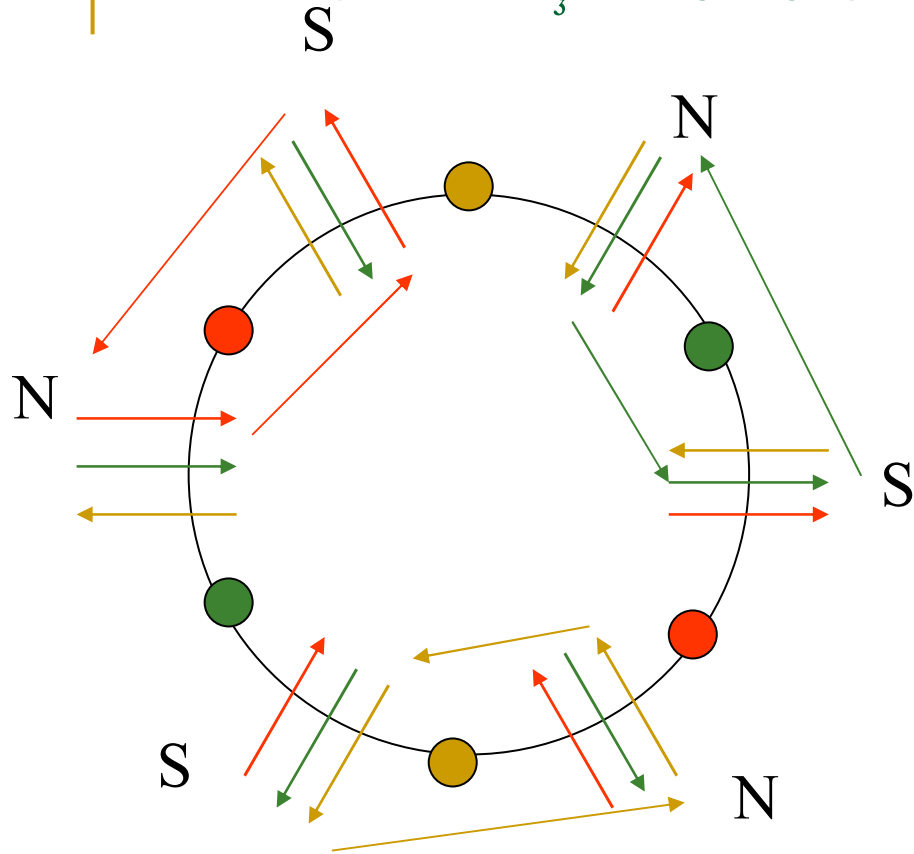
înfășurarea de amortizare.

- Sunt dependenți și de saturația mașinii.
- În cazul unei amortizări puternice $Z_i \rightarrow Z_S$, este mic.
- În cazul lipsei înfășurării de amortizare câmpul invers poate străbate și rotorul, deci $Z_i \rightarrow Z_d$.

Câmpul homopolar

Depinde de construcția înfășurărilor statorice, de numărul creștăturilor, de armonicile superioare ale câmpului.

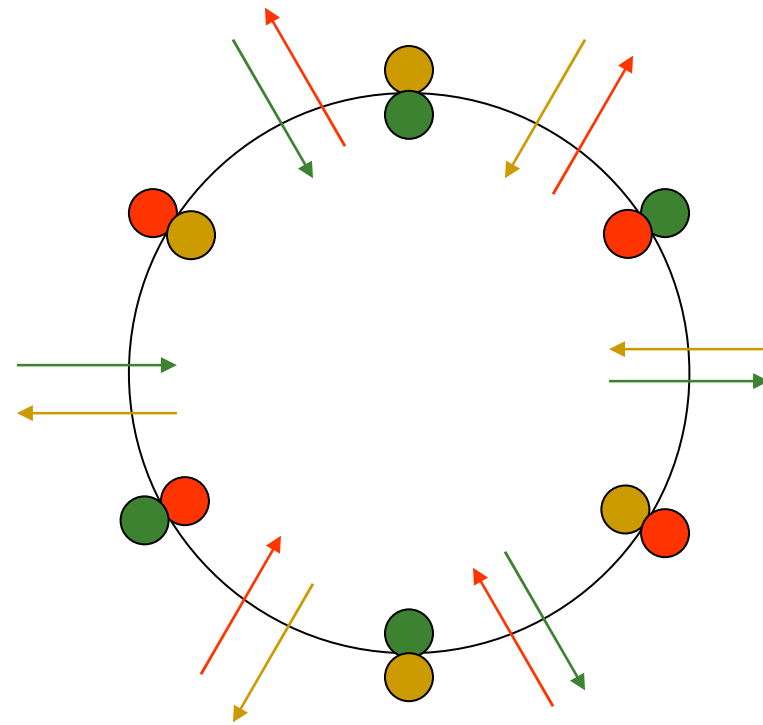
Parametrii mașinii sincrone



Câmpul homopolar la înfășurare într-un strat, câmp pulsator cu

$$p_h = 3 \cdot p$$

$$X_h = X_{S\sigma} + X_{\sigma arm}$$



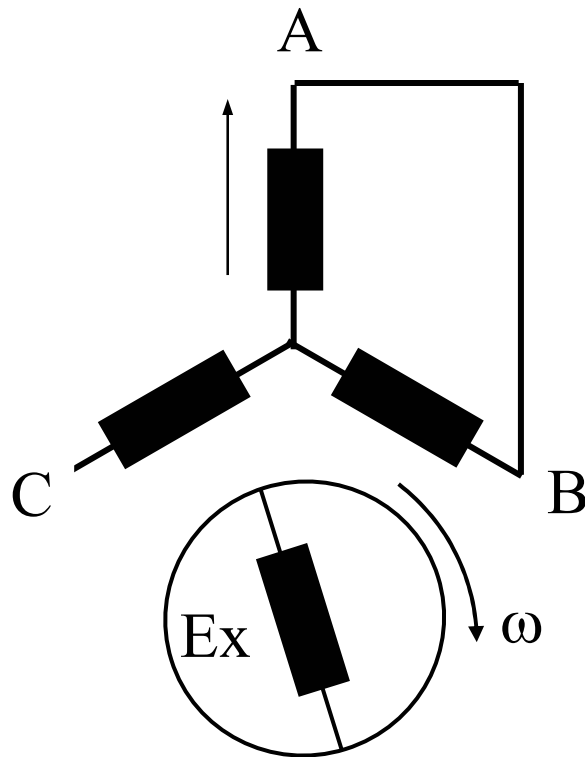
Câmpul homopolar la înfășurarea în dublu strat cu scurtare $\gamma = 2/3 \tau$

$$R_h \approx R_S$$

$$X_h = X_{\sigma arm}$$

Scurtcircuit bifazat la generator sincron.

Schema mașinii.



Expresiile curenților și tensiunilor

$$\underline{I}_A = \underline{I} = -\underline{I}_B$$

$$\underline{I}_C = 0$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = 0$$

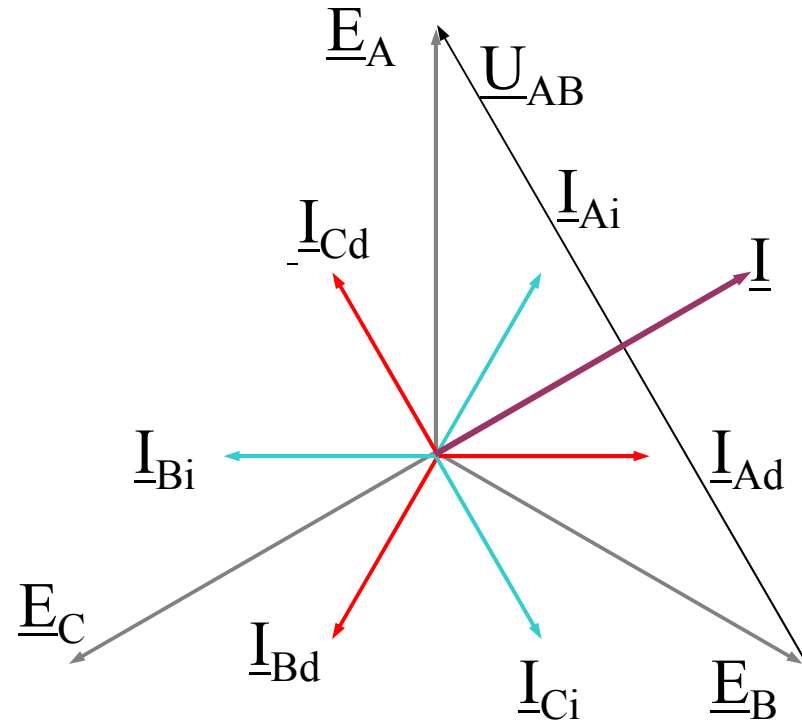
Scurtcircuit bifazat la generator sincron.

Componentele simetrice:

$$\underline{I}_{Ad} = \frac{1}{3}(1 - a) \cdot \underline{I}$$

$$\underline{I}_{Ai} = \frac{1}{3}(1 - a^2) \cdot \underline{I}$$

$$\underline{I}_{Ah} = 0$$



Scurtcircuit bifazat la generator sincron.

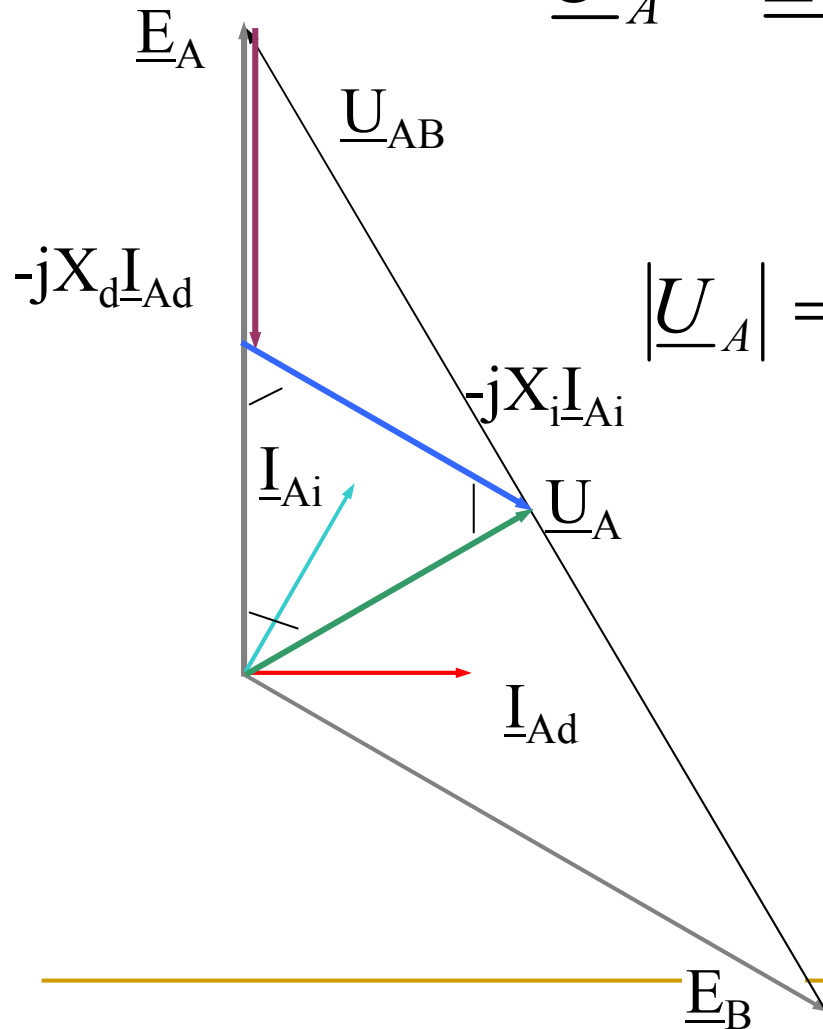
$$\underline{U}_A = \underline{E}_A - j \cdot X_d \cdot \underline{I}_{Ad} - j \cdot X_i \cdot \underline{I}_{Ai}$$

Rezultă :

$$|\underline{U}_A| = |\underline{E}_A - j \cdot X_d \cdot \underline{I}_{Ad}| = |-j \cdot X_i \cdot \underline{I}_{Ai}|$$

$$E_A = X_d \cdot I_{Ad} + X_i \cdot I_{Ai}$$

$$I_{Ad} = I_{Ai} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$



Scurtcircuit bifazat la generator sincron.

$$I = I_{sc2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_A}{X_d + X_i}$$

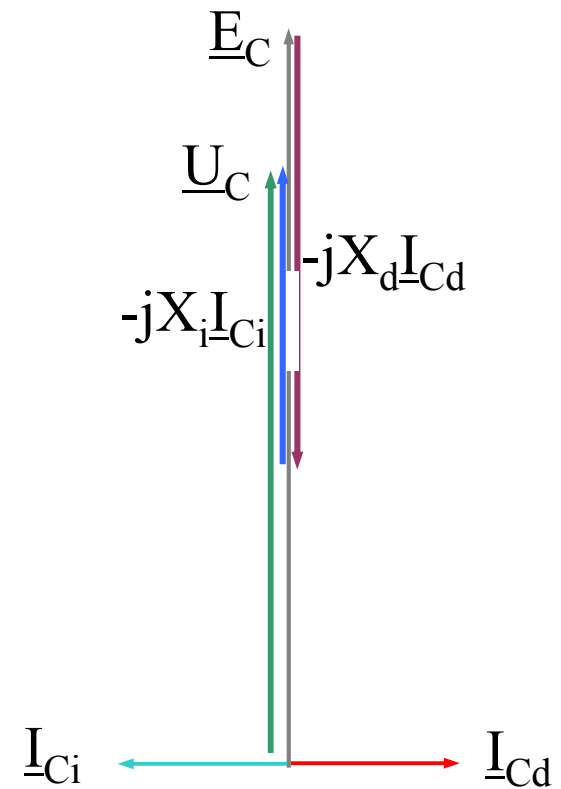
Pentru faza liberă rezultă:

$$\underline{U}_C = \underline{E}_C - j \cdot X_d \cdot \underline{I}_{Cd} - j \cdot X_i \cdot \underline{I}_{Ci}$$

$$U_C = E_C - X_d \cdot I_{Cd} + X_i \cdot I_{Ci}$$

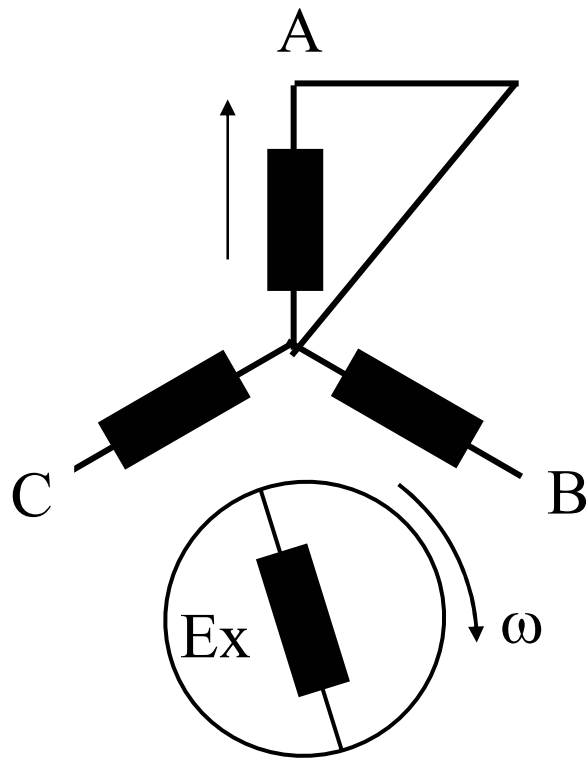
$$E_C = E_A$$

$$U_C = \frac{2}{\sqrt{3}} X_i \cdot I$$



Scurtcircuit monofazat la generator sincron.

Schema mașinii



Expresiile curenților și tensiunilor

$$\underline{I}_A = \underline{I}$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_C = 0$$

$$\underline{U}_A = 0$$

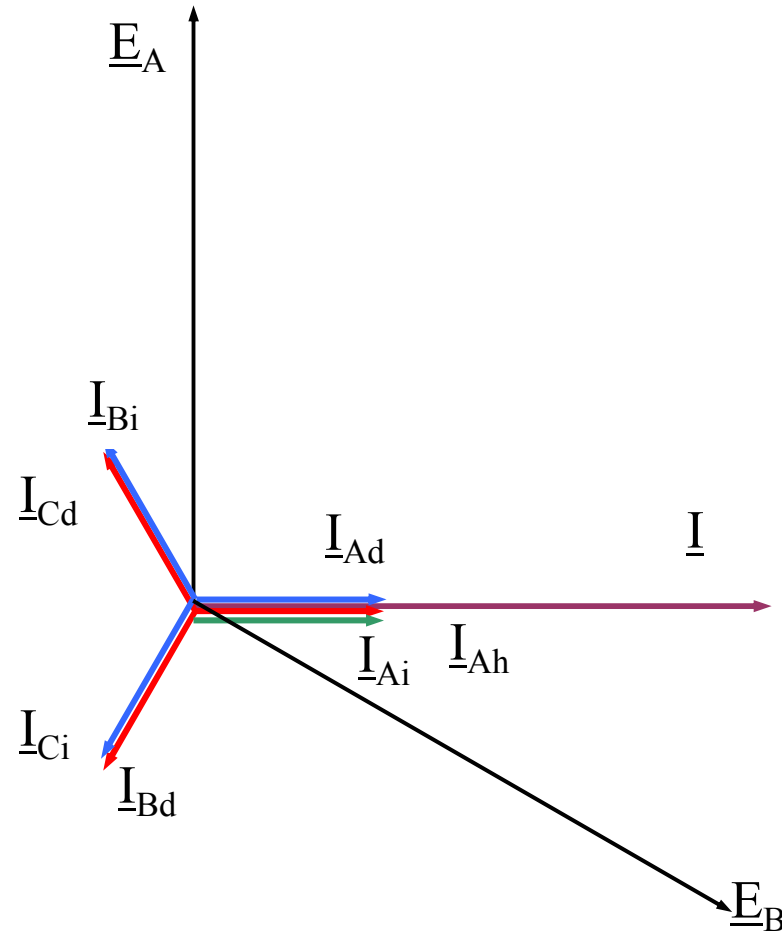
Scurtcircuit monofazat la generator sincron.

Componentele simetrice

$$\underline{I}_{Ad} = \frac{1}{3} \underline{I}$$

$$\underline{I}_{Ai} = \frac{1}{3} \underline{I}$$

$$\underline{I}_{Ah} = \frac{1}{3} \underline{I}$$



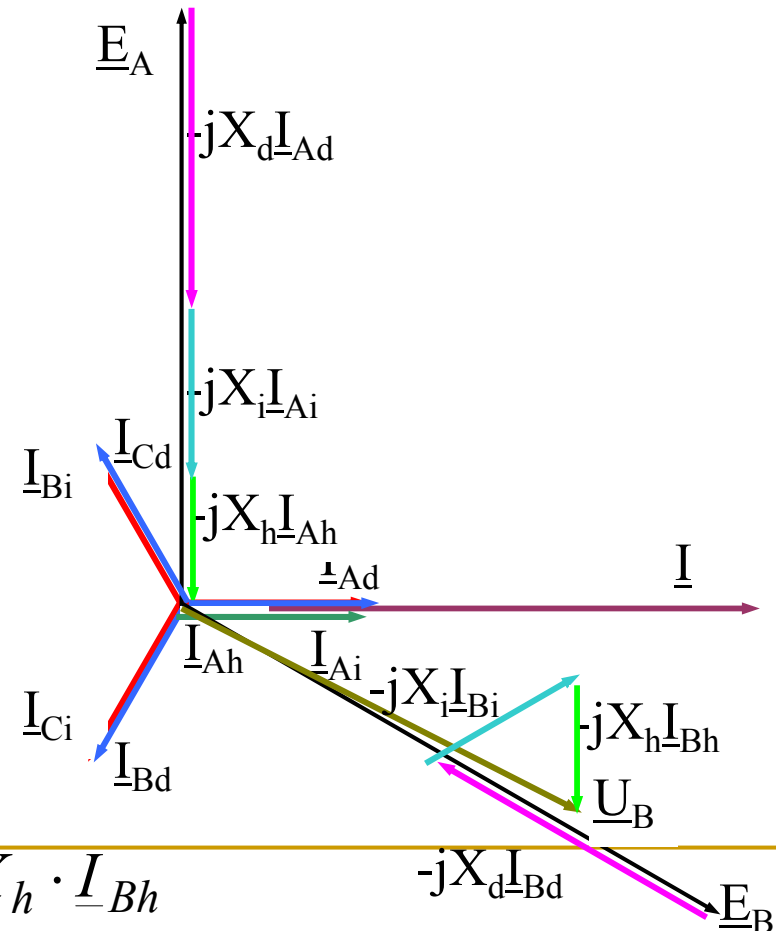
Scurtcircuit monofazat la generator sincron.

Ecuatia de tensiune

$$\underline{U}_A = \underline{E}_A - jX_d \cdot \underline{I}_{Ad} - jX_i \cdot \underline{I}_{Ai} - jX_h \cdot \underline{I}_{Ah}$$

$$U_A = E_A - (X_d + X_i + X_h) \cdot \frac{I}{3}$$

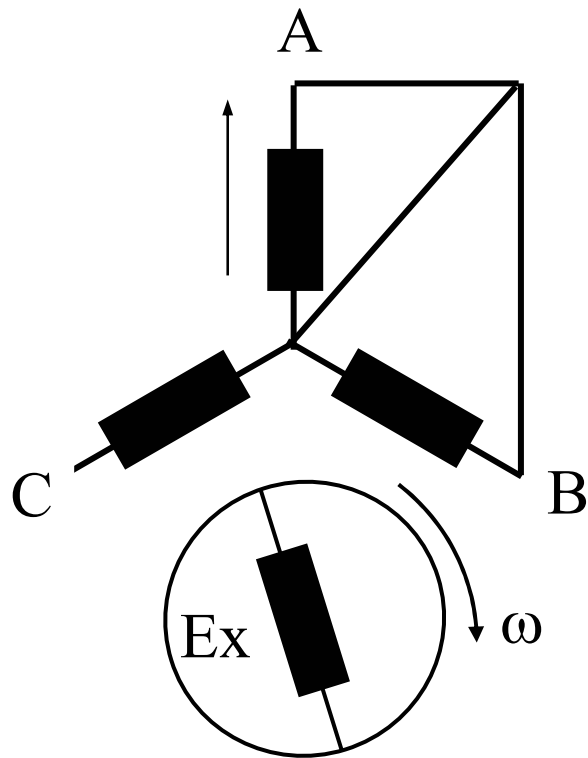
$$I = I_{sc1} = \frac{3 \cdot E_A}{X_d + X_i + X_h}$$



$$\underline{U}_B = \underline{E}_B - jX_d \cdot \underline{I}_{Bd} - jX_i \cdot \underline{I}_{Bi} - jX_h \cdot \underline{I}_{Bh}$$

Scurtcircuit bifazat cu nul la generator sincron

Schema mașinii



Expresiile curenților și tensiunilor

$$\underline{U}_A = \underline{U}_B = \underline{U}_{AB} = 0$$

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B = \underline{I}$$

$$\underline{I}_C = 0$$

Scurtcircuit bifazat cu nul la generator sincron

Componentele simetrice

$$\underline{I}_{Ad} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B)$$

$$\underline{I}_{Ai} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a^2 \cdot \underline{I}_B)$$

$$\underline{I}_{Ah} = \frac{1}{3} (\underline{I}_A + \underline{I}_B)$$

Ecuatiile de tensiuni

$$0 = \underline{E}_A - j \cdot X_d \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B) - j \cdot X_i \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a^2 \cdot \underline{I}_B) - j \cdot X_h \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + \underline{I}_B)$$

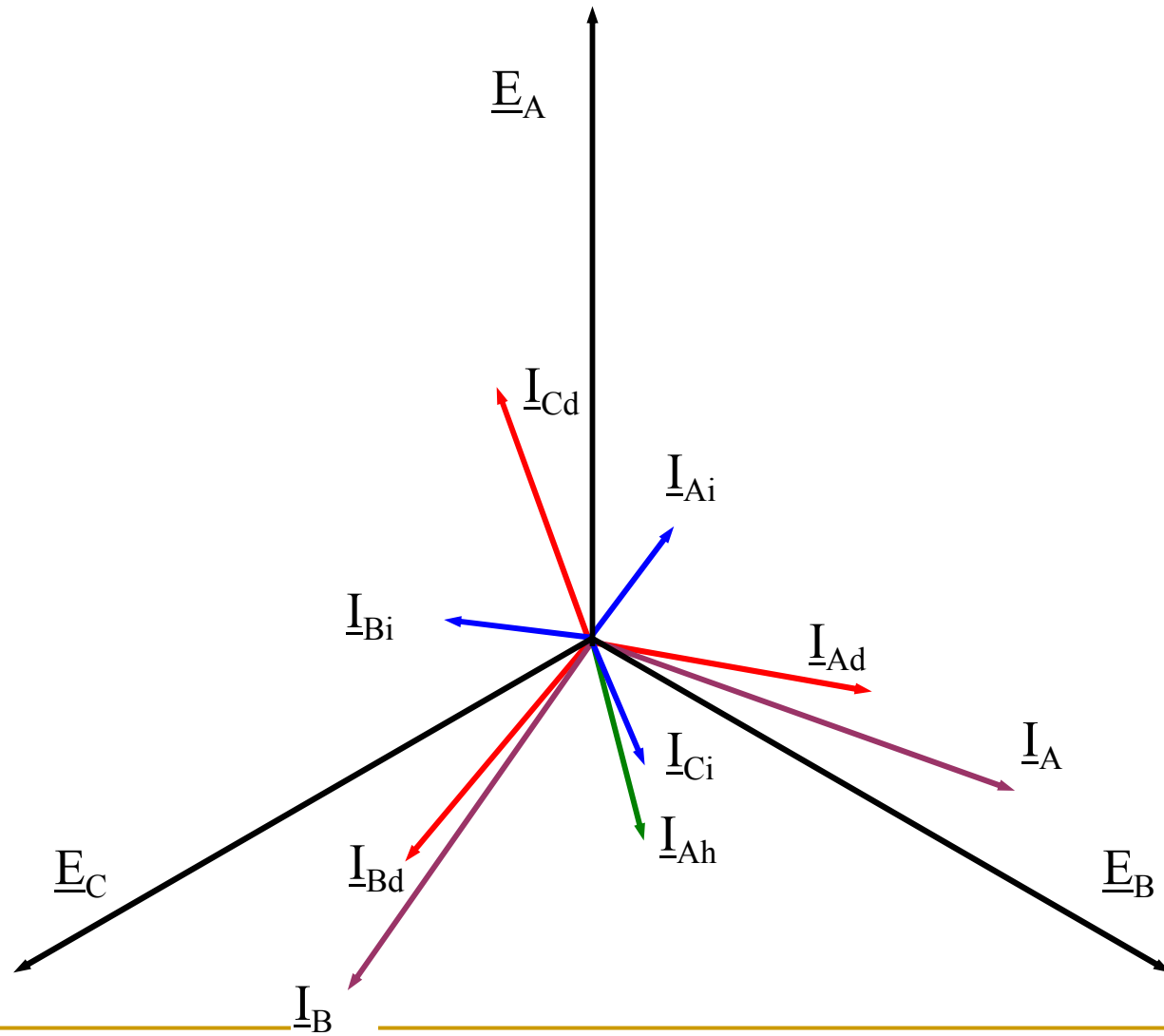
$$0 = \underline{E}_B - j \cdot X_d \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a \cdot \underline{I}_B) \cdot a^2 - j \cdot X_i \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + a^2 \cdot \underline{I}_B) \cdot a - j \cdot X_h \cdot \frac{1}{3} (\underline{I}_A + \underline{I}_B)$$

Scurtcircuit bifazat cu nul la generator sincron

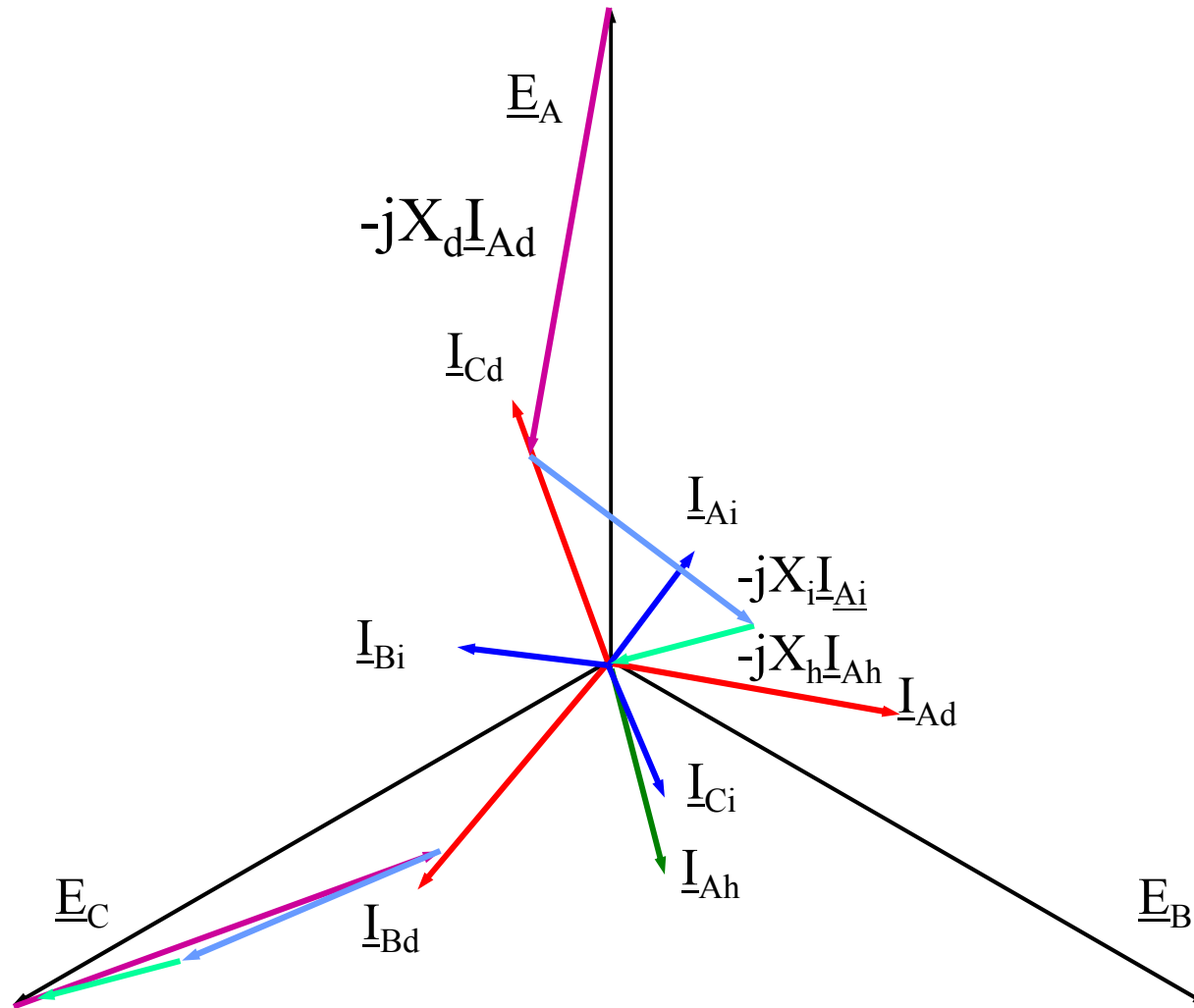
$$\underline{I}_A = -j \frac{\underline{E}_A \cdot (X_d + X_i + X_h) - \underline{E}_B \cdot (a \cdot X_d + a^2 \cdot X_i + X_h)}{X_d \cdot X_i + X_d \cdot X_h + X_i \cdot X_h}$$

$$\underline{I}_B = -j \frac{\underline{E}_B \cdot (X_d + X_i + X_h) - \underline{E}_A \cdot (a^2 \cdot X_d + a \cdot X_i + X_h)}{X_d \cdot X_i + X_d \cdot X_h + X_i \cdot X_h}$$

Scurtcircuit bifazat cu nul la generator sincron



Scurtcircuit bifazat cu nul la generator sincron



Cuplul masinii sincrone

- Sistemul direct al curenților determină o solenație învârtitoare ce se rotește în sensul câmpului învârtitor rotoric → **cuplul sincron**
- Sistemul invers al curenților determină o solenație învârtitoare ce se rotește în sens invers față de câmpul învârtitor rotoric → **cele două câmpuri nu sunt în repaus relativ → cuplu pulsator**
- Sistemul invers al curenților determină o solenație învârtitoare ce se rotește în sens invers față de câmpul învârtitor rotoric, induce în înfășurarea de amortizare t.e.m. și curenții care iau naștere determină o solenație învârtitoare → **cuplu asincron**
- Sistemul homopolar al curenților determină o solenație pulsatorie cu $p_h = 3 * p$ → **cele două câmpuri nu sunt în repaus relativ → cuplu pulsator .**
- Sistemul homopolar al curenților determină o solenație pulsatorie cu ~~$p_h = 3 * p$ induce în înfășurarea de amortizare t.e.m. și curenții care iau naștere determină o solenație pulsatorie~~ → **cuplu asincron**

Scurtcircuit monofazat.Exemplu

Un generator sincron este antrenat la viteza nominală și excitat având parametrii :

$$X_d := 17.6 \quad \Omega$$

$$E := 400 \quad \text{V}$$

$$X_i := 2.48 \quad \Omega$$

$$R := 0 \quad \Omega$$

$$X_h := 1.04 \quad \Omega$$

Curentul staționar de scurtcircuit

$$I_{sc1} := 3 \cdot \frac{E}{X_d + X_i + X_h}$$

$$I_{sc1} = 56.818 \quad \text{A}$$

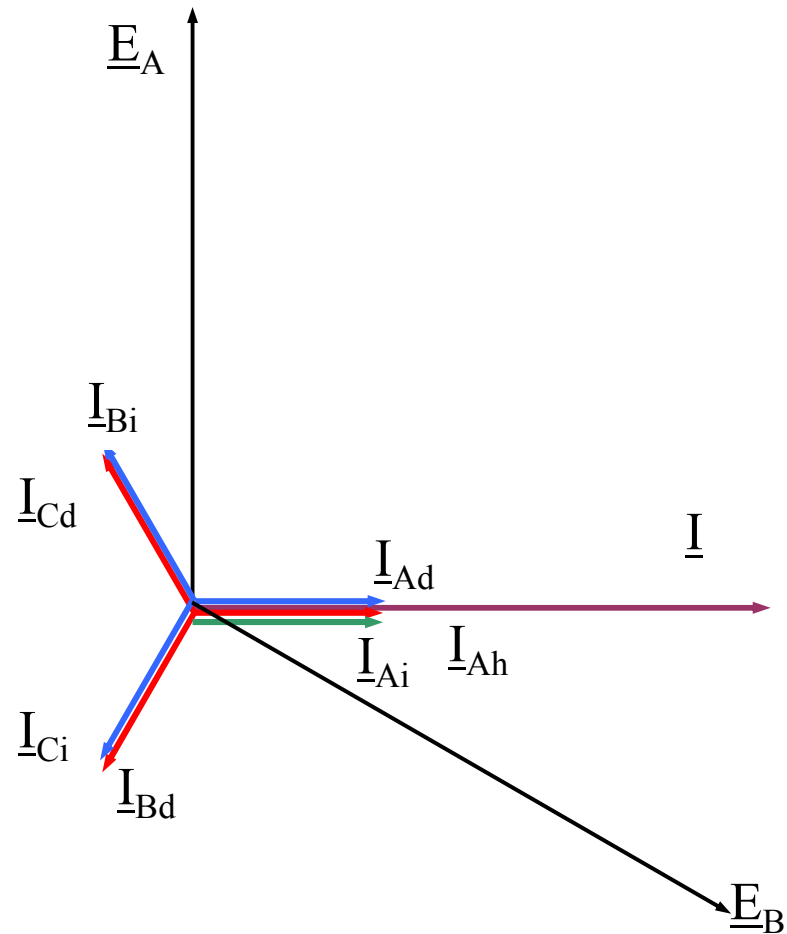
Scurtcircuit monofazat

$$I_{ad} := -i \cdot \frac{I_{sc1}}{3}$$

$$I_{ai} := I_{ad}$$

$$I_{ad} = -18.939i$$

$$I_{ah} := I_{ad}$$



Scurtcircuit monofazat

Tensiunile fazelor

$$U_a := E - i \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

$$U_a = 2.842 \times 10^{-14}$$

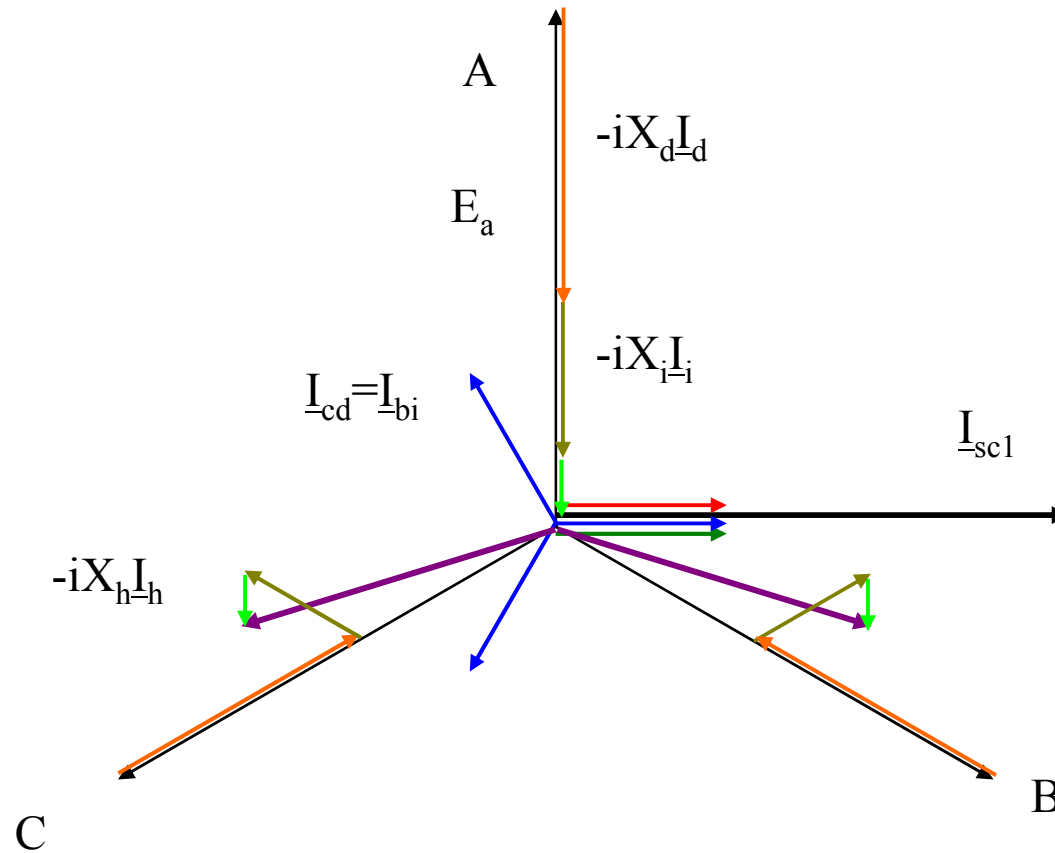
$$U_b := a^2 \cdot E - i \cdot a^2 \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot a \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

$$U_b = -29.545 - 98.412i$$

$$U_c := a \cdot E - i \cdot a \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot a^2 \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

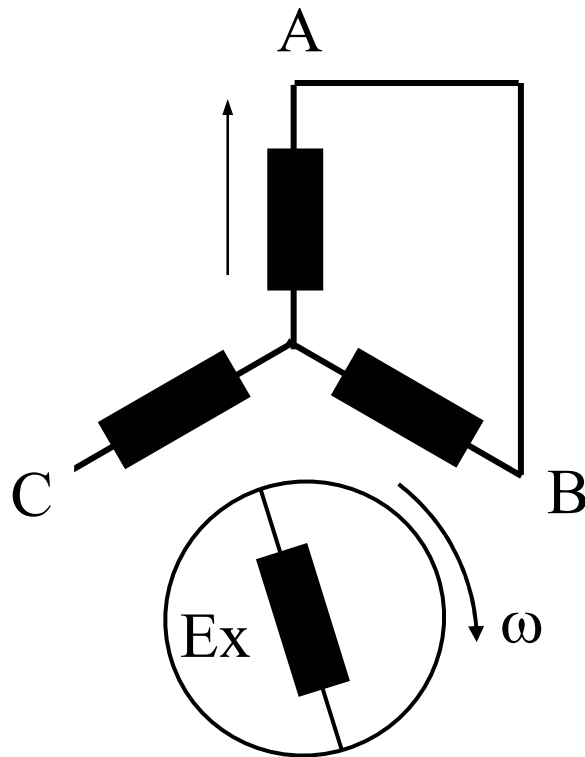
$$U_c = -29.545 + 98.412i$$

Diagrama tensiunilor



Scurtcircuit bifazat la generator sincron.

Schema mașinii.



Expresiile curenților și tensiunilor

$$\underline{I}_A = \underline{I} = -\underline{I}_B$$

$$\underline{I}_C = 0$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = 0$$

Scurtcircuit bifazat

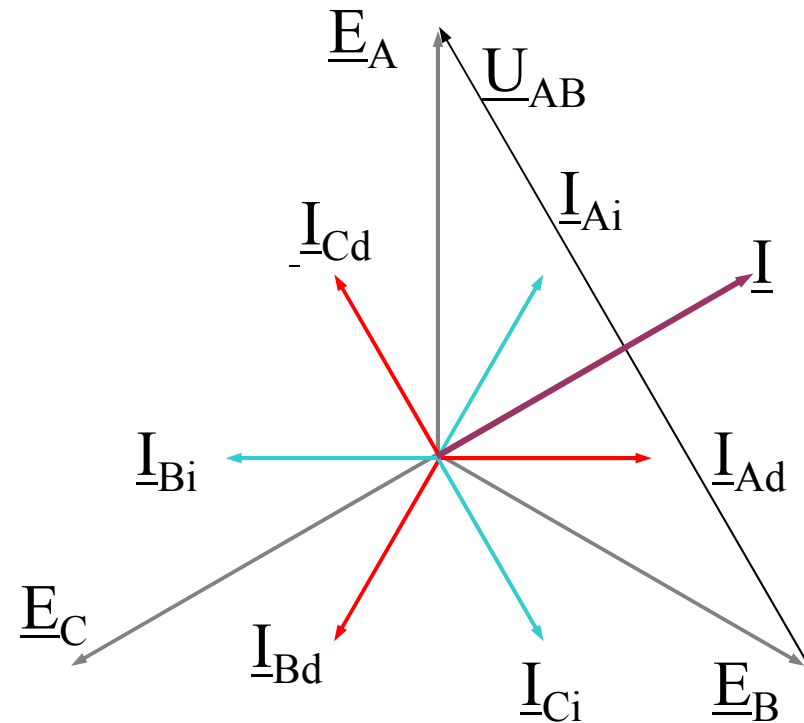
$$I_{ad} := (1 - a) \cdot \frac{I}{3}$$

$$I_{ai} := (1 - a^2) \cdot \frac{I}{3}$$

$$I_{ah} := (1 - 1) \cdot \frac{I}{3}$$

$$I_{ad} = -19.92i \quad \text{A}$$

$$I_{ai} = 17.252 - 9.96i \quad \text{A}$$



$$I_{ah} = 0$$

Scurtcircuit bifazat

$$U_a := E - i \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

$$U_a = 24.701 - 42.784i$$

$$U_b := a^2 \cdot E - i \cdot a^2 \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot a \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

$$U_b = 24.701 - 42.784i$$

$$U_c := a \cdot E - i \cdot a \cdot X_d \cdot I_{ad} - i \cdot a^2 \cdot X_i \cdot I_{ai} - i \cdot X_h \cdot I_{ah}$$

$$U_c = -49.402 + 85.567i$$

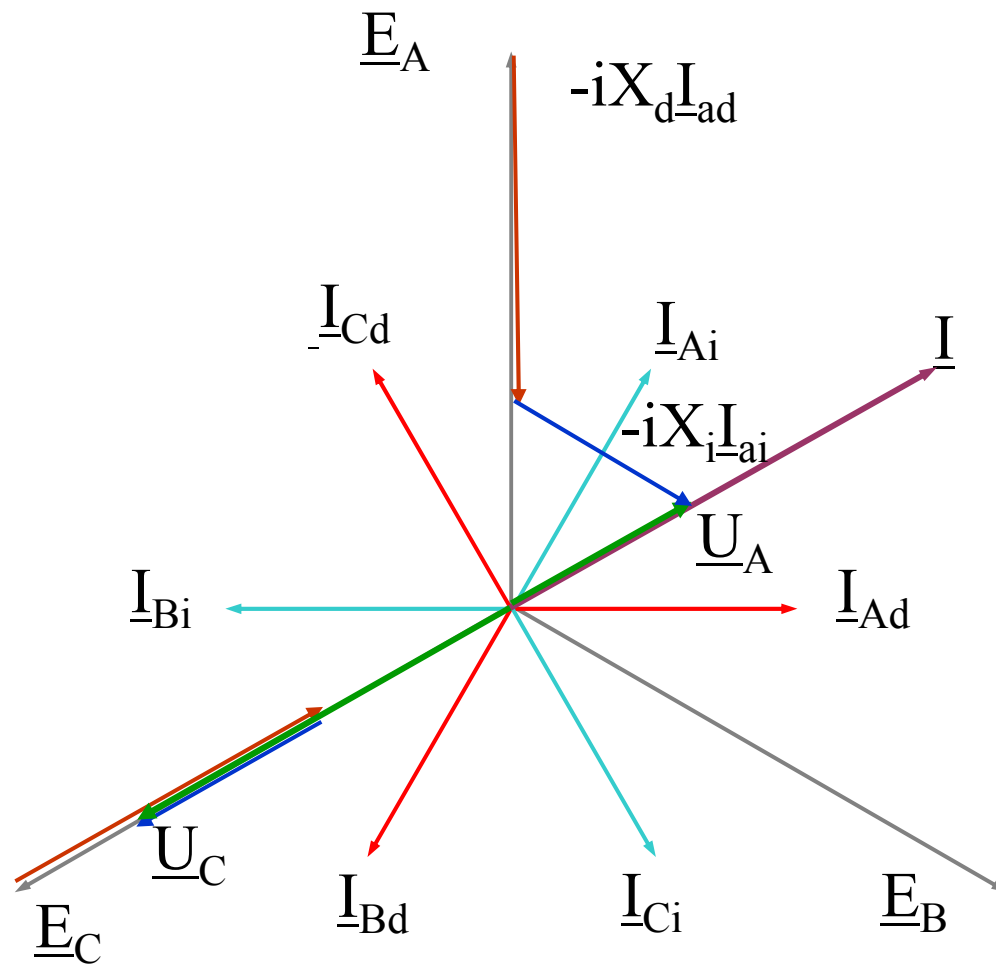
$$x_i := \frac{|U_c|}{|I|}$$

$$|U_c| = 98.805$$

$$x_i = 2.864$$

$$X_i := 2.48$$

Scurtcircuit bifazat



Masina sincrona

Exemple de calcul

Date

O masina sincrona avand datele :

- puterea nominala $S_N=2,5$ MVA;
- tensiunea $U_{SN}= 6,3$ kV;
- conexiunea infasurarilor statorice in stea ;
- factorul de putere $\cos \varphi_N= 0,8$ ind
- numarul de poli $2p=10$
- parametrii : $X_d = 9,5 \Omega$; $X_q = 6,25 \Omega$; $R_s = 0,5 \Omega$

lucreaza ca generator la sarcina nominala fiind excitata astfel ca unghiul intern de sarcina $\theta = 15^\circ$.

Sa se determine t.e.m. indusa de fluxul de excitatie, capacitatea de suprincarcare.

Parametrii

-curentul nominal

$$I_N = \frac{S_N}{3U_s} = \frac{2,5 \cdot 10^3}{3 \cdot 3,5} = 238 A$$

- impedanta longitudinala

$$Z_d = \sqrt{X_d^2 + R_s^2} = \sqrt{9,5^2 + 0,5^2} = 9,513 \Omega$$

$$\alpha_d = \operatorname{arccotg}(0,5/9,5) = 87^\circ$$

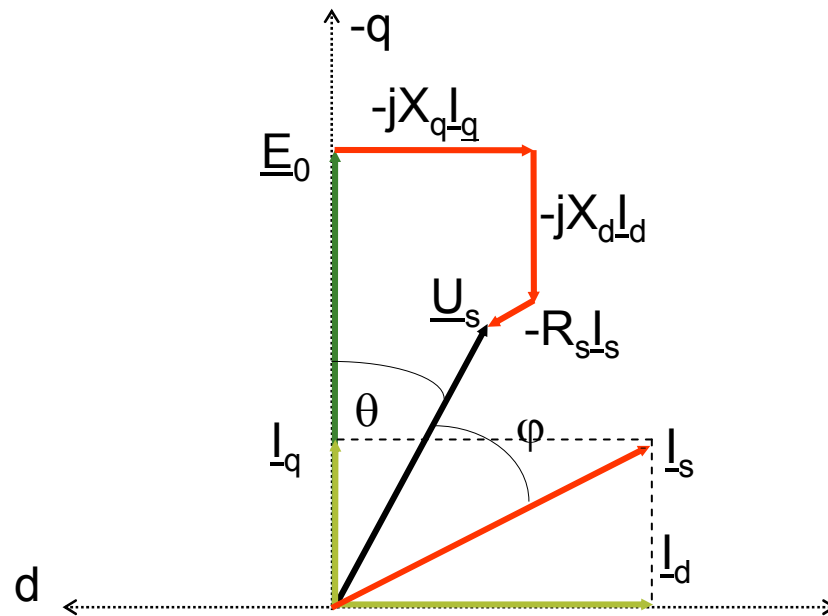
- impedanta transversala

$$Z_q = \sqrt{X_q^2 + R_s^2} = \sqrt{6,25^2 + 0,5^2} = 6,27 \Omega$$

$$\alpha_q = \operatorname{arccotg}(0,5/6,25) = 85^\circ 15'$$

Diagrama vectoriala

- diagrama vectoriala a generatorului



- t.e.m. indusa

$$E_0 = X_d I_d + R_s I_q + U_s \cos \theta$$

$$U_s \sin \theta = X_q I_q - R_s I_d$$

$$I_d = I \sin(\theta + \varphi) = I(\sin \theta \cos \varphi + \cos \theta \sin \varphi)$$

$$I_q = I \cos(\theta + \varphi) = I(\cos \theta \cos \varphi - \sin \theta \sin \varphi)$$

$$I_d = 238 \cdot 0,7866 = 180,21 \text{ A}$$

$$I_q = 238 \cdot 0,6175 = 141,5 \text{ A}$$

$$E_0 = X_d \cdot I_d + R \cdot I_q + U_s \cdot \cos \theta = 9,5 \cdot 180,2 + 0,5 \cdot 141,5 + 6300 \cdot 0,9659 / \sqrt{3}$$

$$E_0 = 5296 \text{ V}$$

Puterea electromagnetica

- puterea activa debitata

$$P_u = 3U_s I_s \cos \varphi = 3 \cdot 3,5 \cdot 0,238 \cdot 0,8 = 2,000 \text{ MW}$$

- puterea reactiva este debitata

$$Q = 3U_s I_s \sin \varphi = 3 \cdot 3,5 \cdot 0,238 \cdot 0,6 = 1,500 \text{ MVAr}$$

- puterea aparenta a generatorului

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{2,00^2 + 1,50^2} = 2,50 \text{ MVA}$$

- puterea electromagnetica in cazul neglijarii rezistentei statorului

$$P = mU_s \left[\frac{E_0}{X_d} \sin \theta + \frac{U_s}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \right] =$$

$$= 3 \cdot 3500 \left[\frac{5232,7}{9,5} 0,25882 + \frac{3500}{2} \left(\frac{1}{6,8} - \frac{1}{9,5} \right) 0,5 \right] = 1,468 + 0,834 = 2,302 \text{ MW}$$

Puterea electromagnetica

- valoarea exacta a puterii electromagnetice se poate calcula cu relatia

$$P = m E_p I_q = 3 \cdot 5,296 \cdot 141,5 = 2241,8 \text{ kW}$$

sau cu relatia:

$$P_S = m_S \cdot \frac{U_S^2}{\cos(\Delta\alpha)} \left[\frac{\cos(\alpha_d - \theta) \cdot \cos\theta}{Z_q} - \frac{\sin(\alpha_q - \theta) \cdot \sin\theta}{Z_d} \right] \\ - m_S \cdot \frac{U_S \cdot E_0}{\cos(\Delta\alpha)} \left[\frac{\cos\alpha_d \cdot \cos\theta}{Z_q} - \frac{\sin\alpha_q \cdot \sin\theta}{Z_d} \right]$$

unde $\cos(\Delta\alpha) = \cos(\alpha_q - \alpha_d) = 0,9996$ rezulta:

$$P_S = -0,87368 - 1,1141 = -1,9878 \text{ Mw}$$

- unghiul intern pentru care cuplul este maxim, in cazul neglijarii rezistentei statorice, rezulta din conditia de cuplu sincronizant nul, care conduce la o ecuatie de gradul doi

$$\cos^2 \theta_m + \frac{1}{2} \frac{E_0}{U_s} \frac{X_q}{X_d - X_q} \cos \theta_m - \frac{1}{2} = 0$$

Puterea maxima

Rezulta:

$$\cos \theta_m = -3,76535 + \sqrt{3,76535^2 + 0,5} = 0,08794 \quad \theta \cong 84^{\circ}52'$$

- puterea maxima

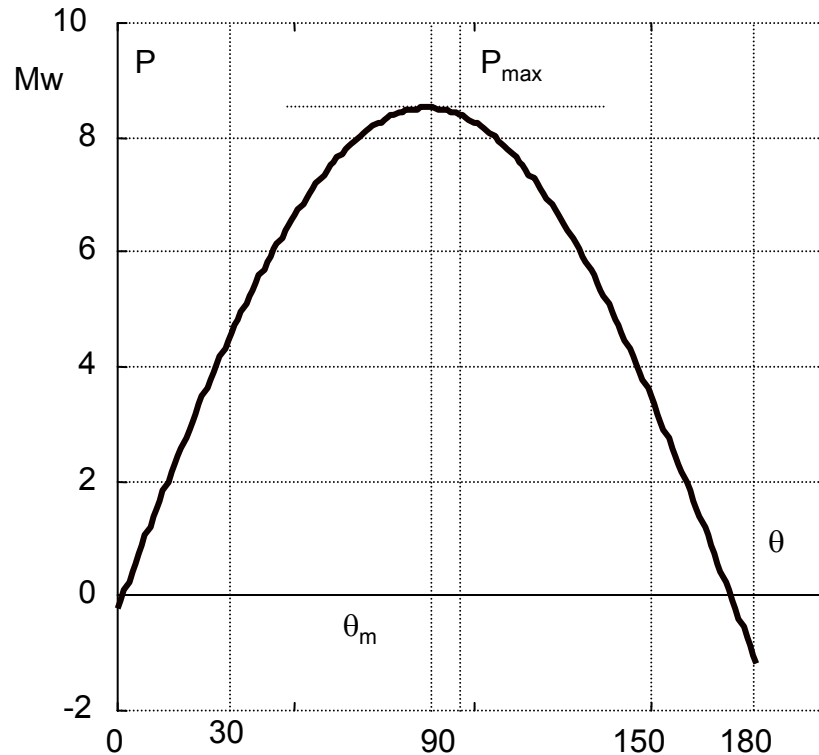
$$\begin{aligned} P_{\max} &= 3U_s \left[\frac{E_0}{X_d} \sin \theta_m + \frac{U_s}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta_m \right] = \\ &= 3 \cdot 6,3 / \sqrt{3} \left[\frac{5,296}{9,5} 0,9961 + \frac{6,3}{2\sqrt{3}} \left(\frac{1}{6,25} - \frac{1}{9,5} \right) 0,1751 \right] = 6,249 MW \end{aligned}$$

sau in cazul considerarii rezistentei statorice din conditia

$$\cos (\theta_m - \alpha_d) = 0 ; \text{ si } \theta_m = \alpha_d = 87^{\circ}$$

$$P_{\max} = 2,0934 + 6,1543 = 8,2477 MW$$

Caracteristica cuplului



Variatia puterii electromagnetice

Se constata ca exista o diferenta destul de mare intre marimile calculate cu relatiile simplificate (in cazul neglijarii rezistentei) si exacte, desi puterea masinii nu este prea mica.

- capacitatea de supraincarcare

$$\lambda = \frac{P_{\max}}{P} = \frac{8,514}{2,248} = 3,787$$

Exemplul 2

O masina sincrona avand datele:

- puterea nominala $S = 10$ MVA;
- tensiunea $U_s = 11$ kV;
- conexiunea infasurarilor statorice in stea;
- $\cos\varphi = 0,8$
- si parametri: $X_s = 16,5 \Omega$; $R_s = 1 \Omega$;
- $2p = 2$;
- caracteristica mers in gol data in tabelul:

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|
| E_0 | 4.8 | 7.2 | 8.8 | 9.6 | 10.4 | 11.2 | 12 | 13 | [kV] |
| I_E | 22 | 33 | 42 | 49 | 60 | 86 | 134 | 200 | [A] |

Lucreaza in sarcina debitand o putere $P = 8$ MW si $Q = 5$ MVar.

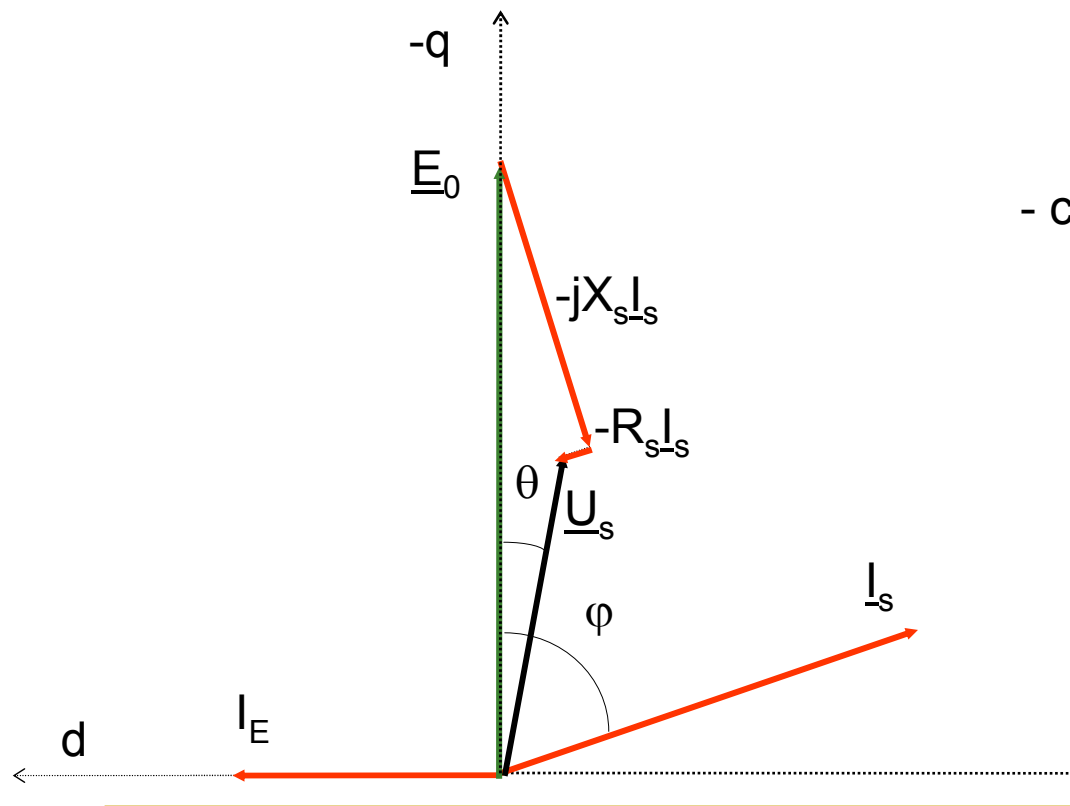
Sa se calculeze: curentul de excitatie, capacitatea de supraincarcare.

Pana la ce valoare trebuie redus i_E pentru ca generatorul sa aiba factor de putere unitar.

Care sunt parametrii energetici in acest caz.

Diagrama vectoriala

- diagrama vectoriala a generatorului



- factorul de putere

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 5^2}} = 0,848$$

$$\varphi = 32^\circ$$

- curentul de sarcina al generatorului

$$I = \frac{P}{3U_s \cos \varphi} = \frac{8 \cdot 10^3}{3 \frac{11}{\sqrt{3}} 0,848} = 495,2 \text{ A}$$

- ecuatiile de tensiuni

$$E_0 \cos(\theta + \varphi) = U_s \cos \varphi + R_s I$$

$$E_0 \sin(\theta + \varphi) = U_s \sin \varphi + X_s I$$

Unghiul intern

- unghiul de sarcina intern

$$\operatorname{tg}(\theta + \varphi) = \frac{U_s \sin \varphi + X_s I}{U_s \cos \varphi + R_s I} = \frac{6350 \cdot 0,530 + 16,5 \cdot 495,2}{6350 \cdot 0,848 + 1 \cdot 495,2} = 1,96195$$

$$\sin(\theta + \varphi) = \frac{\operatorname{tg}(\theta + \varphi)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\theta + \varphi)}} = 0,8909$$

$$\cos(\theta + \varphi) = 0,4541$$

- t.e.m. indusa de fluxul inductor

$$E_0 = \frac{U_s \cos \varphi + R_s I}{\sin(\theta + \varphi)} = \frac{6350 \cdot 0,53 + 16,5 \cdot 495,2}{0,8909} = 12.949V$$

din tabel, prin aproximare liniara rezulta $I_E = 196,6 \text{ A}$

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|
| E_0 | 4.8 | 7.2 | 8.8 | 9.6 | 10.4 | 11.2 | 12 | 13 | [kV] |
| I_E | 22 | 33 | 42 | 49 | 60 | 86 | 134 | 200 | [A] |

Puterea electromagnetica

impedanta masinii sincrone

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = \sqrt{1^2 + 16,5^2} = 16,53 \Omega$$

$$\alpha = \arctg(16,5/ 1) = 86^\circ 30'$$

- puterea electromagnetica

$$P_{em} = m \left[\frac{U_s E_0}{Z_s} \cos(\alpha - \theta) + \frac{E_0^2}{Z_s} \cos \alpha \right] = 3 \left[\frac{6,35 \cdot 12,949}{16,53} 0,5657 + \frac{12,949^2}{16,53} 0,0605 \right] = 10,28 MW$$

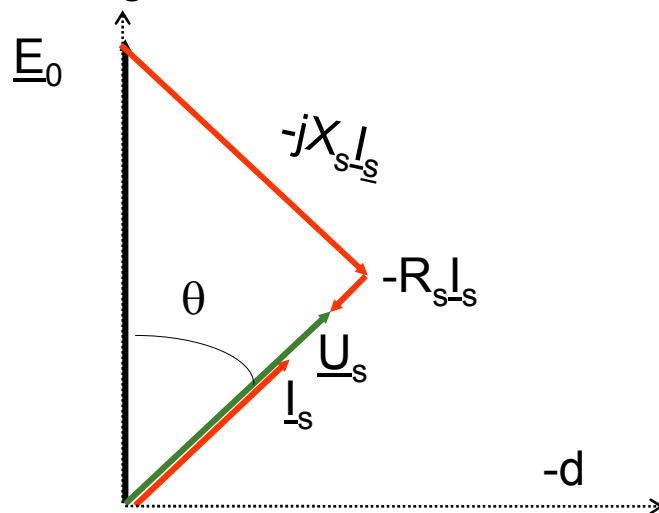
- capacitatea de supraincarcare

$$\lambda = \frac{T_k}{T_N}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{0,53} = 1,887$$

diagrama vectoriala

- diagrama vectoriala la factor de putere unitara



- rezulta din curentul de sarcina:

$$I = \frac{p}{mU_s} = \frac{8 \cdot 10^3}{3 \cdot 6,35} = 420 \text{ A}$$

- ecuatiile de tensiune in acest caz

$$E_0 \sin \theta = X_s I$$

$$E_0 \cos \theta = U + RI$$

- considerand aceeasi putere debitata $P = 8 \text{ MW}$

- unghiul intern de sarcina

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{X_s I}{U + RI} = \frac{16,5 \cdot 420}{6350 + 1 \cdot 420} = 1,0236$$

$$\sin \theta = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}} = 0,7153$$

$$\cos \theta = 0,6988$$

$$\theta \cong 45^{\circ} 40'$$

Puterea electromagnetica

- t.e.m. indusa

$$E_0 = \frac{E_0 \sin \theta}{\sin \theta} = \frac{6,9291}{0,7153} \cdot 10^3 = 9687V$$

rezulta curentul de excitatie $i_E = 50,2 \text{ A}$

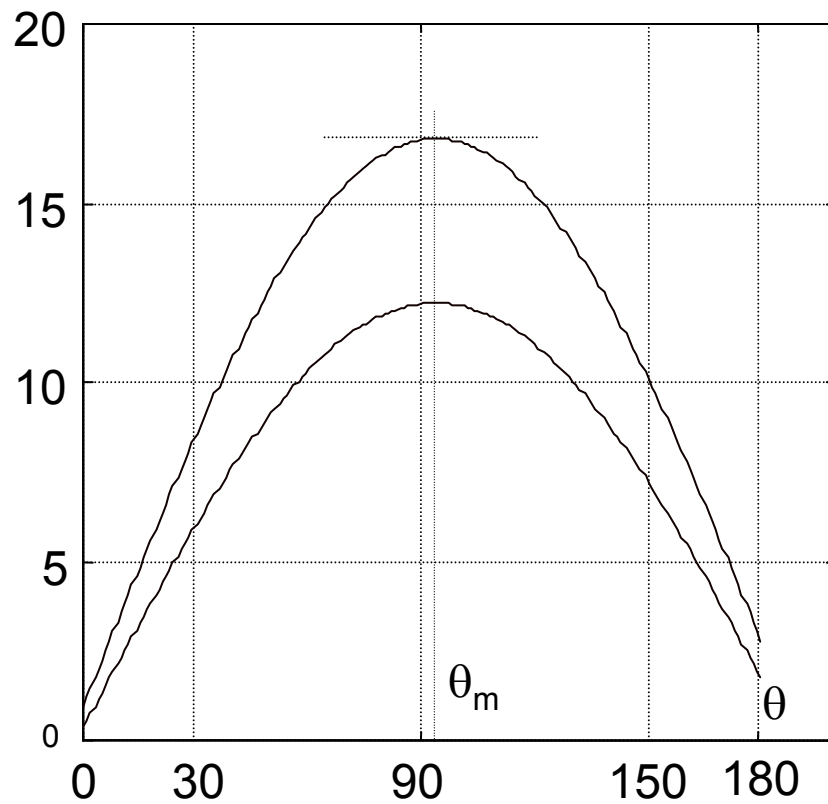
-puterea electromagnetica la $\alpha - \theta = 30^\circ 50'$

$$P_{em} = 3 \left[\frac{6,35 \cdot 9,688}{16,53} 0,85866 + \frac{9,688^2}{16,53} 0,0605 \right] = 10,617 \text{ MW}$$

- puterea electromagnetica maxima pentru $\alpha = \theta$

$$P_{em \max} = 3 \left[\frac{6,35 \cdot 9,688}{16,53} + \frac{9,688^2}{16,53} 0,0605 \right] = 12,195 \text{ MW}$$

Caracteristica cuplului



$I_E = 196,6 \text{ A}$

$i_E = 50,2 \text{ A}$

Caracteristica cuplului in cele doua cazuri