Esercitazione sulle Macchine

ESERCIZIO 1

Trasformatore monofase:

$V_{1n} = 6000$ V

$f = 50$ Hz

$n = \dfrac{V_{1n}}{V_{20}} = 30$ rapporto di trasformazione a vuoto

$R_1 = 8\,\Omega$ resistenza avvolgimento primario

$R_2 = 0.01\,\Omega$ resistenza avvolgimento secondario

$L_{d1} = 0.06$ H induttanza di dispersione dell'avvolgimento primario

$L_{d2} = 0.00013$ H induttanza di dispersione dell'avvolgimento secondaria

$I_0 = 0.25$ A $\cos\varphi_0 = 0.2$ nel funzionamento a vuoto alimentando con V_{1n}.

A carico il trasformatore alimenta al secondario un carico ohmico - induttivo ed in queste condizioni (V_{1n} e f) assorbe dalla rete una potenza $P_1 = 24$ kW con $\cos\varphi_1 = 0.8$.

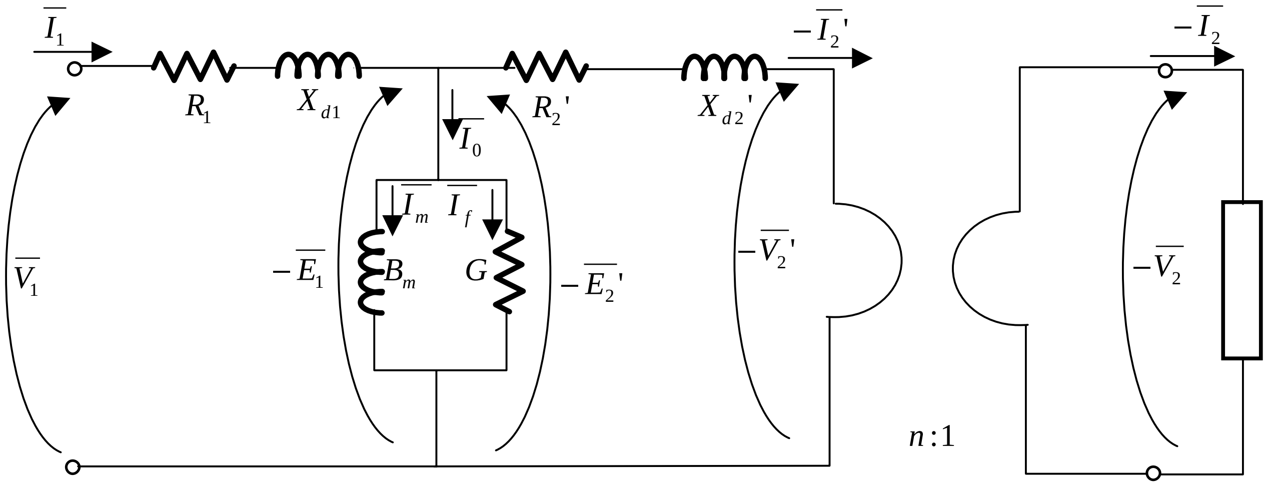
Determinare:

1) tensione, corrente e fattore di potenza del carico;

2) i valori della resistenza e della reattanza equivalente primaria e cioè di corto - circuito, del trasformatore.

Risoluzione

Il circuito equivalente del trasformatore, riportando l'impedenza dell'avvolgimento secondario al primario, è:



Calcoliamo il modulo di $\overline{I_1}$:

$$I_1 = \frac{P_1}{V_{1n} \cdot \cos\varphi_1} = \frac{24000}{6000 \cdot 0.8} = 5 \text{ A}$$

$$X_{d1} = \omega \cdot L_{d1} = 2\pi f \cdot L_{d1} = 314 \cdot 0.06 = 18.84\,\Omega$$

$$X_{d2} = \omega \cdot L_{d2} = 2\pi f \cdot L_{d2} = 314 \cdot 1.3 \cdot 10^{-4} = 0.0408\,\Omega$$

$$\overline{V_1} = -\overline{E_1} + R_1 \cdot \overline{I_1} + jX_{d1} \cdot \overline{I_1} \qquad \Rightarrow \qquad -\overline{E_1} = \overline{V_1} - R_1 \cdot \overline{I_1} - jX_{d1} \cdot \overline{I_1}$$

Prendendo $\overline{V_1}$ come riferimento $\overline{V_1} = 6000$

$$\overline{I_1} = I_1 \cdot (\cos\varphi_1 - j\,\text{sen}\,\varphi_1) = 5 \cdot (0.8 - j0.6) = 4 - j3$$

essendo $\varphi_1 = 36.87°$ in ritardo.

$$-\overline{E_1} = 6000 - 8 \cdot (4 - j3) - j18.84 \cdot (4 - j3) = 5911 - j51 \qquad \Rightarrow \qquad \alpha_1 = -0.5°$$

$$E_1 = \sqrt{5911^2 + 51^2} = 5912 \text{ V}$$

Il rapporto di trasformazione a vuoto è praticamente coincidente col rapporto spire per cui E_2 vale :

$$E_2 = \frac{E_1}{n} = \frac{5912}{30} = 197 \text{ V} \quad \text{in opposizione di fase rispetto ad } \overline{E_1}$$

$$\overline{I_0} = I_0 \cdot (\cos\varphi_0 - j\,\text{sen}\,\varphi_0) = 0.25 \cdot (0.2 - j0.98) = 0.05 - j0.245$$

con $\cos\varphi_0 = 0.2 \qquad \Rightarrow \qquad \varphi_0 = 78.46°$ in ritardo.

$$\left(-\overline{I_2}'\right) = \overline{I_1} - \overline{I_0} = 4 - j3 - 0.05 + j0.245 = 3.95 - j2.755$$

e il suo modulo è :

$$\left|-\overline{I_2}'\right| = \sqrt{3.95^2 + 2.755^2} = 4.82 \text{ A}$$

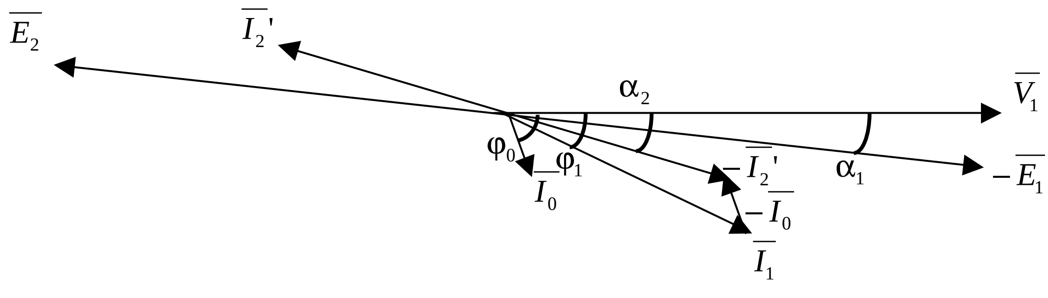
la fase :

$$\alpha_2 = \text{arctg}\left(\frac{-2.755}{3.95}\right) = -34.9°$$

$$\psi_{E_1 I_2'} = \psi_{E_2 I_2'} = \psi_{E_2 I_2} = \alpha_2 - \alpha_1 = 34.4°$$

$$I_2 = I_2' \cdot n = 4.82 \cdot 30 = 144.6 \text{ A}$$

E tracciamo il diagramma vettoriale :



Per le grandezze del secondario riportate al primario abbiamo che:

$$-\overline{E_2}' = -\overline{I_2}' \cdot (R_2' + jX_{d2}') - \overline{V_2}'$$

e cambiando di segno:

$$\overline{E_2}' = \overline{I_2}' \cdot (R_2' + jX_{d2}') + \overline{V_2}'$$

e prendendo proprio le grandezze del secondario:

$$\overline{E_2} = R_2 \cdot \overline{I_2} + jX_{d2} \cdot \overline{I_2} + \overline{V_2}$$

e quindi:

$$\overline{V_2} = \overline{E_2} - R_2 \cdot \overline{I_2} - jX_{d2} \cdot \overline{I_2}$$

$\overline{E_2} = 197$ e lo prendiamo come riferimento

$$\overline{I_2} = I_2 \cdot (\cos 34.4° - j \operatorname{sen} 34.4°) = 144.6 \cdot (0.825 - j0.564) = 119 - j81.5$$

$$\overline{V_2} = 197 - 0.01 \cdot (119 - j81.5) - j0.0408 \cdot (119 - j81.5) = 192.5 - j4$$

Il modulo è:

$$V_2 = \sqrt{192.5^2 + 4^2} = 192.6 \text{ V}$$

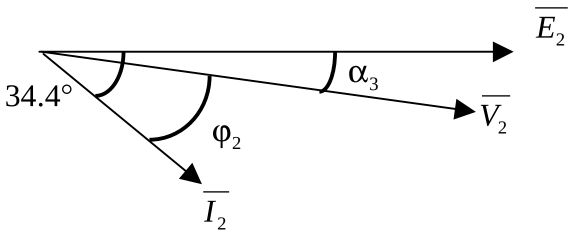
la fase:

$$\alpha_3 = \operatorname{arctg}\left(\frac{-4}{192.5}\right) = -1.19°$$

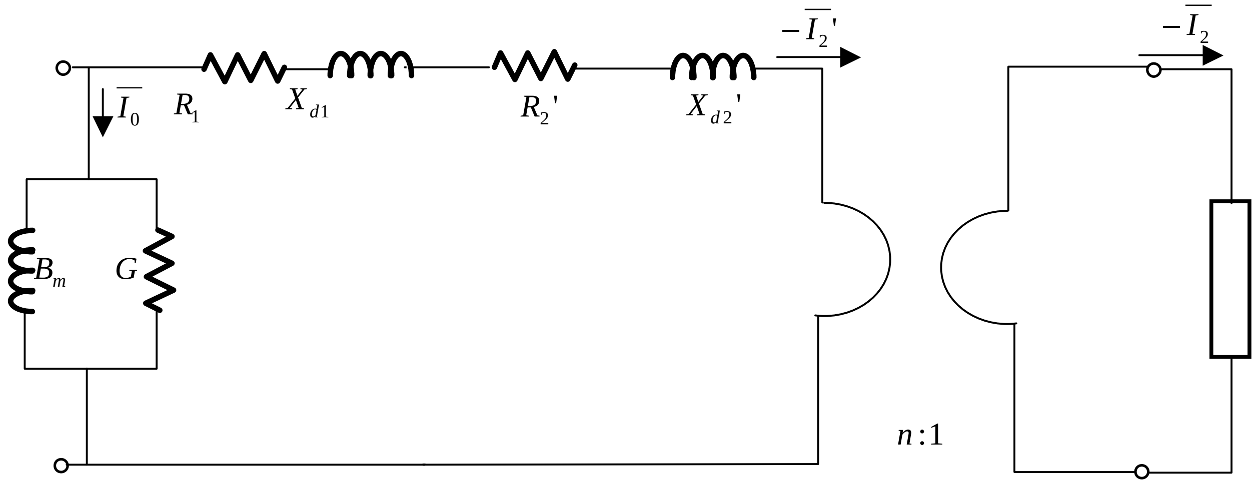
L'angolo di sfasamento tra $\overline{V_2}$ e $\overline{I_2}$ è:

$$\varphi_2 = 34.4° - 1.19° = 33.21° \quad \Rightarrow \quad \cos\varphi_2 = 0.837$$

Tracciamo il diagramma vettoriale:



Calcoliamo l'impedenza di corto-circuito.
Trascuriamo l'effetto del passaggio della corrente a vuoto nell'impedenza primaria. Ciò equivale a portare l'ammettenza a vuoto a monte.



Abbiamo che l'impedenza di corto - circuito secondaria ridotta al primario è :

$\dot{Z}_{c2}' = R_{c2}' + jX_{c2}'$

dove :

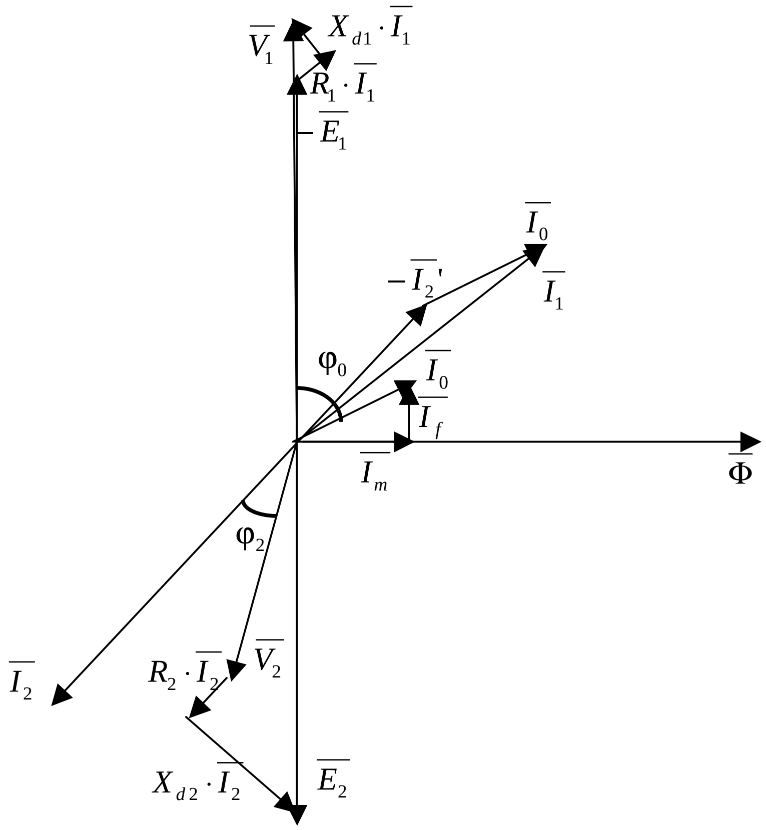
$R_{c2}' = R_1 + R_2' = R_1 + R_2 \cdot n^2 = 8 + 0.01 \cdot 30^2 = 17\ \Omega$

$X_{c2}' = X_{d1} + X_{d2}' = X_{d1} + X_{d2} \cdot n^2 = 18.84 + 0.0408 \cdot 30^2 = 55.67\ \Omega$

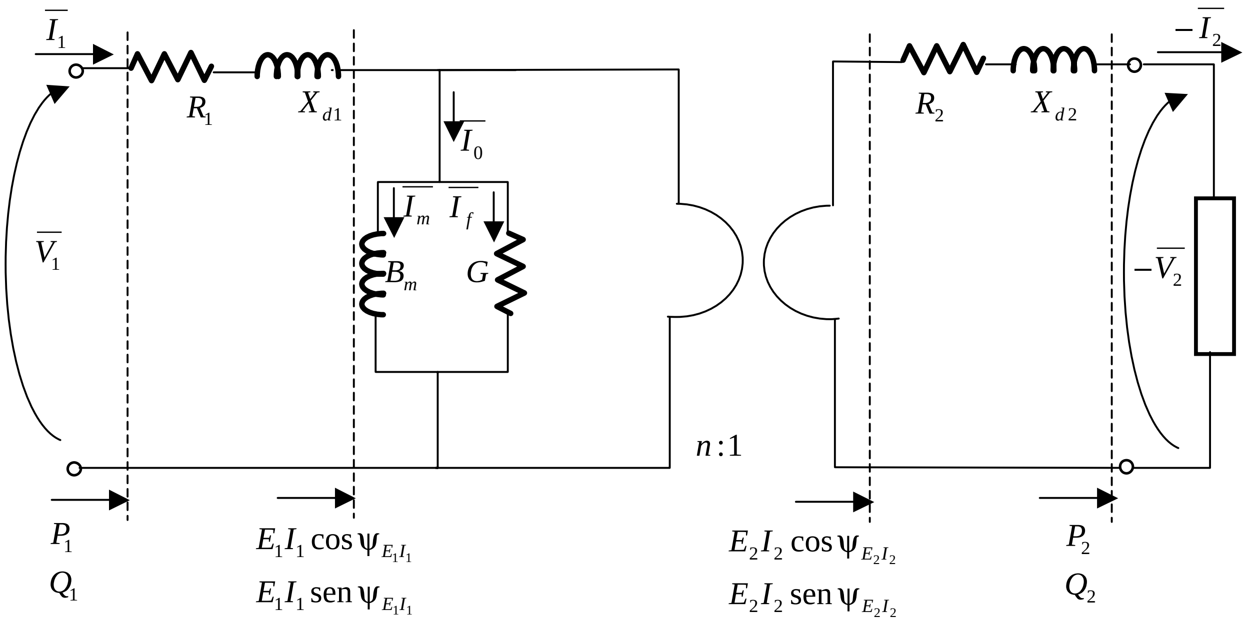
quindi :

$\dot{Z}_{c2}' = 17 + j55.67$

Infine tracciamo il diagramma fasoriale complessivo:



Un metodo alternativo consiste nell'applicazione del teorema di Boucherot. Consideriamo il seguente circuito equivalente del trasformatore:



Sappiamo che $P_1 = 24000 \text{ W}$

allora

$Q_1 = P_1 \cdot \tan\varphi_1 = 24000 \cdot 0.75 = 18000 \text{ VAR}$

La potenza persa nel rame al primario è:

$P_{Cu1} = R_1 \cdot I_1^2 = 8 \cdot 5^2 = 200 \text{ W}$

La potenza reattiva della reattanza di dispersione al primario è

$Q_{X_{d1}} = X_{d1} \cdot I_1^2 = 18.84 \cdot 5^2 = 470 \text{ VAR}$

Quindi abbiamo che:

$E_1 I_1 \cos\psi_{E_1 I_1} = P_1 - P_{Cu1} = 24000 - 200 = 23800 \text{ W}$

$E_1 I_1 \operatorname{sen}\psi_{E_1 I_1} = Q_1 - Q_{X_{d1}} = 18000 - 470 = 17530 \text{ W}$

da cui:

$$\tan\psi_{E_1 I_1} = \frac{17530}{23800} = 0.736 \quad \Rightarrow \quad \psi_{E_1 I_1} = 36.35° \quad \Rightarrow \quad \cos\psi_{E_1 I_1} = 0.805$$

$$E_1 = \frac{E_1 I_1 \cos\psi_{E_1 I_1}}{I_1 \cos\psi_{E_1 I_1}} = \frac{23800}{5 \cdot 0.805} = 5910 \text{ V}$$

$$E_2 = \frac{E_1}{n} = \frac{5910}{30} = 197 \text{ V}$$

al secondario abbiamo :

$E_2 I_2 \cos\psi_{E_2 I_2} = E_1 I_1 \cos\psi_{E_1 I_1} - P_0$

$E_2 I_2 \operatorname{sen}\psi_{E_2 I_2} = E_1 I_1 \operatorname{sen}\psi_{E_1 I_1} - Q_0$

Determiniamo P_0 e Q_0 :

$P_0 = V_{1n} I_0 \cos\varphi_0 = 6000 \cdot 0.25 \cdot 0.2 = 300 \text{ W}$

$Q_0 = P_0 \cdot \tan\varphi_0 = 1470 \text{ VAR}$

$E_2 I_2 \cos\psi_{E_2 I_2} = 23800 - 300 = 23500 \text{ W}$

$E_2 I_2 \operatorname{sen}\psi_{E_2 I_2} = 17530 - 1470 = 16060 \text{ VAR}$

Allora :

$$\psi_{E_2 I_2} = \operatorname{arctg}\frac{16060}{23500} = 34.35°$$

$$I_2 = \frac{E_2 I_2 \cos\psi_{E_2 I_2}}{E_2 \cos\psi_{E_2 I_2}} = \frac{23500}{197 \cdot 0.826} = 144.5 \text{ A}$$

Le perdite nel rame al secondario sono :

$P_{Cu2} = R_2 \cdot I_2^2 = 209 \text{ W}$

La potenza reattiva dovuta alla reattanza di dispersione al secondario è :

$Q_{X_{d2}} = X_{d2} \cdot I_2^2 = 855 \text{ VAR}$

Allora al carico ho :

$P_2 = E_2 I_2 \cos\psi_{E_2 I_2} - P_{Cu2} = 23500 - 209 = 23291 \text{ W}$

$Q_2 = E_2 I_2 \operatorname{sen}\psi_{E_2 I_2} - Q_{X_{d2}} = 16060 - 855 = 15205 \text{ VAR}$

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg}\frac{Q_2}{P_2} = \operatorname{arctg}\frac{15205}{23291} = 33.137°$$

$\cos\varphi_2 = 0.83$

$$V_2 = \frac{P_2}{I_2 \cos\varphi_2} = \frac{23291}{144.5 \cdot 0.83} = 197 \text{ V}$$

ESERCIZIO 2

Dati di targa di un trasformatore monofase:

$S_n = 40 \text{ kVA}$

$V_{1n} = 12000 \text{ V}$

$V_{20} = 260 \text{ V}$

$f = 50 \text{ Hz}$

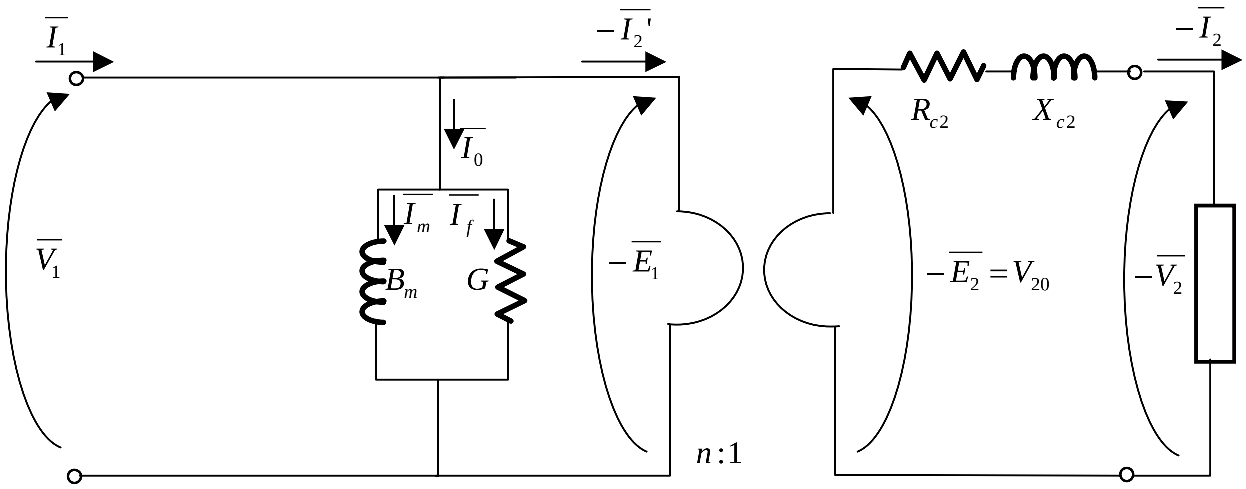
prova a vuoto $\begin{cases} P_0\% = 0.4\% \\ \cos\varphi_0 = 0.2 \end{cases}$

prova in corto - circuito $\begin{cases} P_{cc}\% = 1.8\% \\ V_{cc}\% = 4\% \end{cases}$

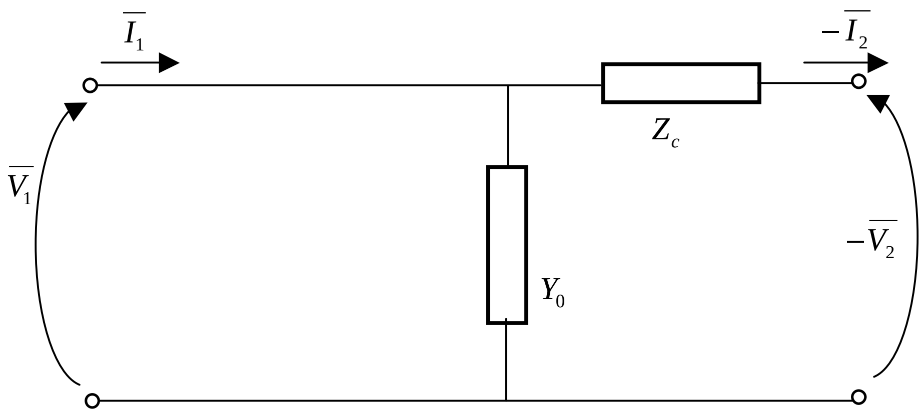
Determinare: impedenze, resistenze e reattanze dei circuiti equivalenti semplificati riferiti al primario ed al secondario.

Risoluzione

Riferiamoci al circuito equivalente semplificato.



O anche ad un circuito equivalente a Γ del tipo:



Abbiamo per l'impedenza di corto circuito

$$P_{cc} = \frac{P_{cc}\% \cdot S_n}{100} = \frac{1.8 \cdot 40 \cdot 10^3}{100} = 720 \text{ W}$$

$$R_{c2} = \frac{P_{cc}}{I_{2n}^2} \qquad \text{dove } I_{2n} = \frac{S_n}{V_{20}} = \frac{40000}{260} = 154 \text{ A}$$

Allora

$$R_{c2} = \frac{720}{154^2} = 3.04 \cdot 10^{-2}\ \Omega$$

$$X_{c2} = R_{c2} \cdot \tan \varphi_{cc} = R_{c2} \cdot \tan\left(\arccos \frac{P_{cc}\%}{V_{cc}\%}\right) = 3.04 \cdot 10^{-2} \cdot 1.98 = 6 \cdot 10^{-2}\ \Omega$$

Z_{c2} in modulo è :

$$Z_{c2} = \frac{R_{c2}}{\cos \varphi_{cc}} = \frac{3.04 \cdot 10^{-2}}{0.45} = 6.76 \cdot 10^{-2}\ \Omega$$

Per l'ammettenza a vuoto si ha :

$$\frac{1}{G} = R_{01} = \frac{V_{1n}^2}{P_0} \qquad \frac{1}{B_m} = X_{01} = \frac{V_{1n}^2}{Q_0} \qquad \text{(ossia riferita al primario)}$$

Quindi ci servono P_0 e Q_0

$$P_0 = \frac{P_0\% \cdot S_n}{100} = \frac{0.4 \cdot 40 \cdot 10^3}{100} = 160 \text{ W}$$

$$Q_0 = P_0 \cdot \tan \varphi_0 = 160 \cdot \tan(\arccos \varphi_0) = 160 \cdot \tan 78.46° = 784 \text{ VAR}$$

$$R_{01} = \frac{V_{1n}^2}{P_0} = \frac{(12000)^2}{160} = 9 \cdot 10^5 \ \Omega \qquad G_{01} = \frac{1}{9 \cdot 10^5} = 0.11 \cdot 10^{-5} \ \mathrm{S}$$

$$X_{01} = \frac{V_{1n}^2}{Q_0} = \frac{(12000)^2}{784} = 1.84 \cdot 10^5 \ \Omega \quad B_{m1} = \frac{1}{1.84 \cdot 10^5} = 0.54 \cdot 10^{-5} \ \mathrm{S}$$

quindi Z_{01} in modulo è :

$$Z_{01} = \frac{1}{Y_{01}} = \frac{1}{\sqrt{G_{01}^2 + B_{m1}^2}} = 1.8 \cdot 10^5 \ \Omega$$

Il rapporto di trasformazione a vuoto è :

$$n = \frac{V_{1n}}{V_{20}} = \frac{12000}{260} = 46.2$$

Quindi possiamo riportare i valori di R_0, X_0 e Z_0 al secondario

$$R_{02} = \frac{R_{01}}{n^2} = 423 \, \Omega$$

$$X_{02} = \frac{X_{01}}{n^2} = 86.4 \, \Omega$$

$$Z_{02} = \frac{Z_{01}}{n^2} = 84.6 \, \Omega$$

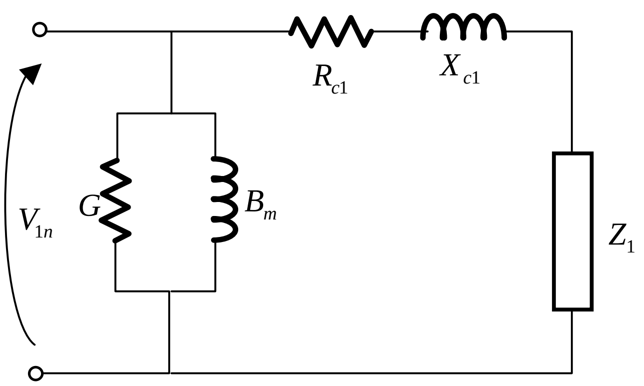
Se invece riportiamo l'impedenza di corto circuito al primario si ha :

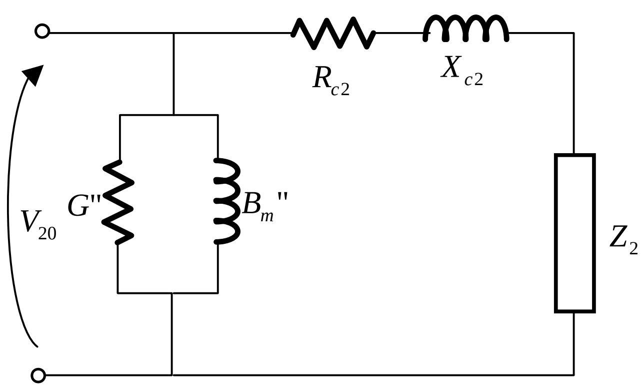
$$Z_{c1} = Z_{c2} \cdot n^2 = 144 \, \Omega$$

$$R_{c1} = R_{c2} \cdot n^2 = 64.8 \, \Omega$$

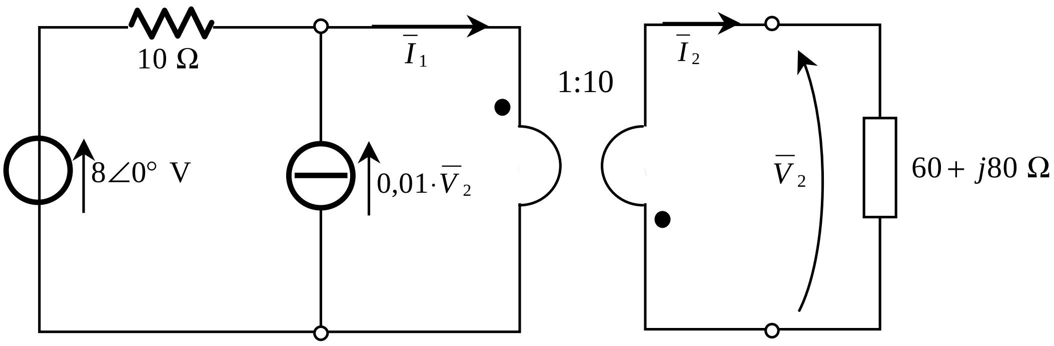
$$X_{c1} = X_{c2} \cdot n^2 = 128 \, \Omega$$

Si hanno due tipi di circuiti equivalenti possibili :





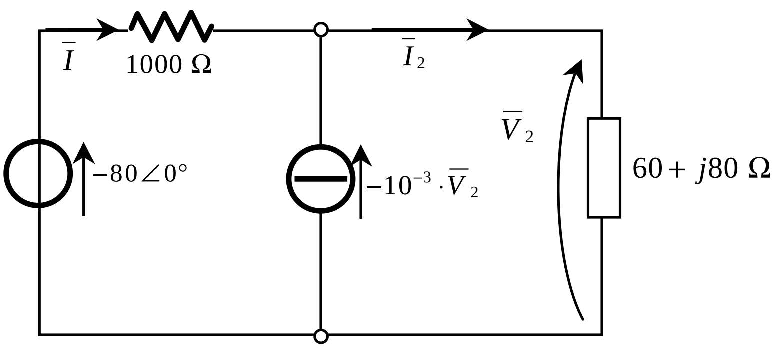
ESERCIZIO 3
(Febbraio 95)



Il trasformatore ideale, con le polarità indicate in figura ha un rapporto di trasformazione n = 1:10. Ricavare $\bar{V}_2$

Risoluzione

Riportiamo tutto al secondario:



Il segno negativo nei due generatori tiene conto delle polarità del trasformatore

$$\bar{I} = \bar{I}_2 - \left(-10^{-3}\cdot\bar{V}_2\right) = \bar{I}_2 + 10^{-3}\cdot\bar{V}_2$$

$$\bar{V}_2 = \left(60 + j80\right)\cdot\bar{I}_2$$

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_2}{60 + j80}$$

Applichiamo Kirchoff alle maglie:

$$-80\angle 0° - 1000 \cdot \overline{I} - \overline{V}_2 = 0$$

$$80\angle 0° + 1000 \cdot \left(\overline{I}_2 + 10^{-3} \cdot \overline{V}_2\right) + \overline{V}_2 = 0$$

$$80\angle 0° + 10^3 \cdot \left(\frac{\overline{V}_2}{60 + j80} + 10^{-3} \cdot \overline{V}_2\right) + \overline{V}_2 = 0$$

$$\overline{V}_2 + 80\angle 0° + 10^3 \cdot \frac{\overline{V}_2}{60 + j80} + \overline{V}_2 = 0$$

$$2 \cdot \overline{V}_2 \cdot (60 + j80) + 80 \cdot (60 + j80) + 1000 \cdot \overline{V}_2 = 0$$

$$\overline{V}_2 \cdot (120 + j160 + 1000) + 4800 + j64000 = 0$$

$$\overline{V}_2 \cdot (1120 + j160) = -(4800 + j64000)$$

$$\overline{V}_2 = -\frac{(4,8 + j6,4) \cdot 10^3}{(1,12 + j0,16) \cdot 10^3} = \frac{8\angle -143,13°}{1,13\angle 8,13} = 7,07\angle -135°$$

$$\boxed{\overline{V}_2 = 7,07\angle -135°}$$

ESERCIZIO 4

I dati di targa di un trasformatore monofase sono:

$$S_n = 60 \text{ kVA}; \quad \frac{V_{1n}}{V_{20}} = \frac{380}{1000}; \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Prova a vuoto:

$P_0\% = 1.5\%$

Prova in corto-circuito:

$V_{cc2} = 50 \text{ V}$ (al secondario)

$\cos\varphi_{cc2} = 0.44$

Determinare la tensione ai capi del carico ed il rendimento della macchina, alimentata alla tensione e frequenza nominali, nelle seguenti condizioni:

a) pieno carico e fattore di potenza 0.8 in ritardo;

b) a metà carico e fattore di potenza 0.5 in anticipo.

Risoluzione

Calcoliamo la corrente nominale secondaria:

$$I_{2n} = \frac{S_{2n}}{V_{20}} = \frac{60000}{1000} = 60 \text{ A}$$

Poi l'impedenza di corto-circuito del trasformatore:

$$z_{c2} = \frac{V_{cc}}{I_{2n}} = \frac{50}{60} = 0.833\,\Omega$$

$$R_{c2} = z_{c2} \cdot \cos\varphi_{cc2} = 0.833 \cdot 0.44 = 0.366\,\Omega$$

$$X_{c2} = z_{c2} \cdot \operatorname{sen}\varphi_{cc2} = 0.833 \cdot 0.897 = 0.746\,\Omega$$

a)

$I_2 = I_{2n}$

$\cos\varphi_2 = 0.8$ in ritardo

La caduta di tensione è data da:

$\Delta V = (R_{c2} \cdot \cos\varphi_2 + X_{c2} \cdot \operatorname{sen}\varphi_2) \cdot I_2$ è una formula approssimata.

Allora la tensione ai capi del carico è:

$$V_2 = V_{20} - (R_{c2} \cdot \cos\varphi_2 + X_{c2} \cdot \operatorname{sen}\varphi_2) \cdot I_2$$

quindi sostituendo i valori numerici:

$$V_2 = 1000 - (0.366 \cdot 0.8 + 0.746 \cdot 0.6) \cdot 60 = 1000 - 44.4 = 955.6 \text{ V}$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 = 955.6 \cdot 60 \cdot 0.8 = 45900 \text{ W}$$

$$P_0 = P_{fe} = \frac{P_0\% \cdot S_n}{100} = \frac{1.5 \cdot 60 \cdot 10^3}{100} = 900 \text{ W}$$

$$P_{Cu} = P_{cc} = R_{c2} \cdot I_2^2 = 0.366 \cdot 60^2 = 1320 \text{ W}$$

Vediamo il rendimento:

$$\eta = 1 - \frac{P_p}{P_2 + P_p} = 1 - \frac{P_{fe} + P_{Cu}}{P_2 + P_{fe} + P_{Cu}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{fe} + P_{Cu}} = \frac{45900}{45900 + 1320 + 900} = 0.954$$

b)

A metà carico vuol dire che:

$$I_2 = \frac{I_{2n}}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ A}$$

inoltre $\cos\varphi_2 = 0.5$ in anticipo $(\varphi_2 < 0)$

$$\Delta V = (R_{c2} \cdot \cos\varphi_2 + X_{c2} \cdot \text{sen}\,\varphi_2) \cdot I_2 = (0.366 \cdot 0.5 - 0.746 \cdot 0.866) \cdot 30 = -13.86 \text{ V}$$

$$V_2 = V_{20} - \Delta V = 1000 + 13.86 = 1013.86 \text{ V}$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 = 1013.86 \cdot 30 \cdot 0.5 = 15.2 \text{ kW}$$

$P_{Cu} = \frac{P_{cc}}{4}$ perché è proporzionale al quadrato della corrente in quanto:

$$P_{Cu} = R_{c2} \cdot \left(\frac{I_{2n}}{2}\right)^2 = R_{c2} \cdot \frac{I_{2n}^2}{4} = \frac{P_{cc}}{4}$$

$$P_{Cu} = \frac{1320}{4} = 330 \text{ W}$$

$P_0 = P_{fe} = 900$ W la stessa del caso a) in quanto la tensione di alimentazione e la frequenza sono le stesse

$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fe} + P_{Cu}} = \frac{15200}{15200 + 900 + 330} = 0.925$ più basso di quello del caso a).

ESERCIZIO 5

Le prove a vuoto ed in corto - circuito, su un trasformatore monofase da 10 kVA, 220/2200 V, 50 Hz, hanno fornito i seguenti risultati :

a) Prova a vuoto

$V_0 = 220$ V

$I_{10} = 2.5$ A

$P_f = 100$ W

$V_{20} = 2200$ V (lato alta tensione aperto)

b) Prova in cto - cto

$V_{cc} = 150$ V

$I_{cc} = 4.55$ A

$P_J = 215$ W

- Ricavare i parametri dei circuiti equivalenti riferiti sia al lato bassa tensione che al lato alta tensione;
- Ricavare anche la corrente di eccitazione I_{10} rapportata al valore nominale I_{1n}, ed il fattore di potenza a vuoto ed in cto - cto.

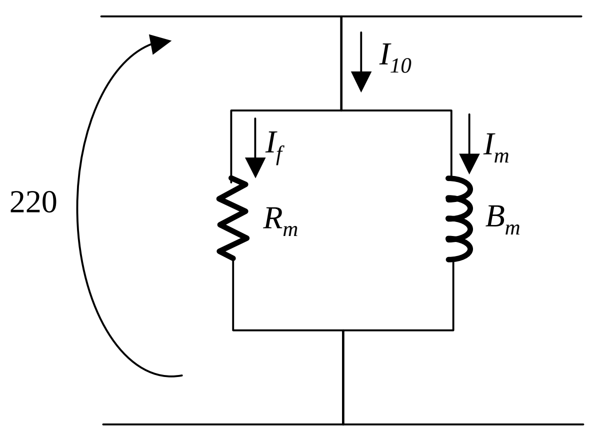
Risoluzione

Le correnti nominali sono :

$$I_{1n} = \frac{S}{V_{1n}} = \frac{10000}{220} = 45.5 \text{ A} \quad \text{lato bassa tensione}$$

$$I_{2n} = \frac{S}{V_{2n}} = \frac{10000}{2200} = 4.55 \text{ A} \quad \text{lato alta tensione}$$

Dalla conoscenza delle perdite nel ferro P_f ricavate con la prova a vuoto si ha :



$$R_m = \frac{V_0^2}{P_f} = \frac{220^2}{100} = 484\,\Omega \quad \Rightarrow \quad G_m = \frac{1}{R_m} = 2.066 \cdot 10^{-3}\ \text{S}$$

$$I_f = \frac{V_0}{R_m} = \frac{220}{484} = 0.45\ \text{A}$$

$$I_m = \sqrt{I_{10}^2 - I_f^2} = \sqrt{2.5^2 - 0.45^2} = 2.46\ \text{A}$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_m} = \frac{220}{2.46} = 89.4\,\Omega$$

da cui :

$$B_m = \frac{1}{X_m} = 0.01118\ \ \text{S}$$

$$L_m = \frac{X_m}{\omega} = \frac{89.4}{314} = 0.285\ \text{H}$$

oppure

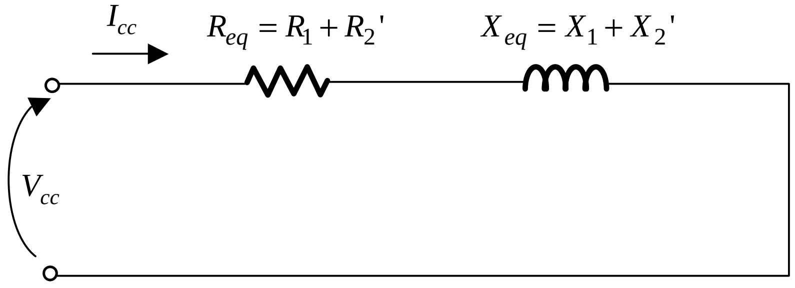
$$Y_m = \frac{I_{10}}{V_0} = \frac{2.5}{220} = 1.136 \cdot 10^{-2}\ \text{S}$$

$$B_m = \sqrt{Y_m^2 - G_m^2} = \sqrt{1.29 \cdot 10^{-4} - 0.0427 \cdot 10^{-4}} = 1.118 \cdot 10^{-2}\ \ \text{S}$$

Il rapporto di trasformazione è :

$$n = \frac{220}{2200} = 0.1$$

Dalla prova in cto - cto si ha :



$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = 32.967\,\Omega$$

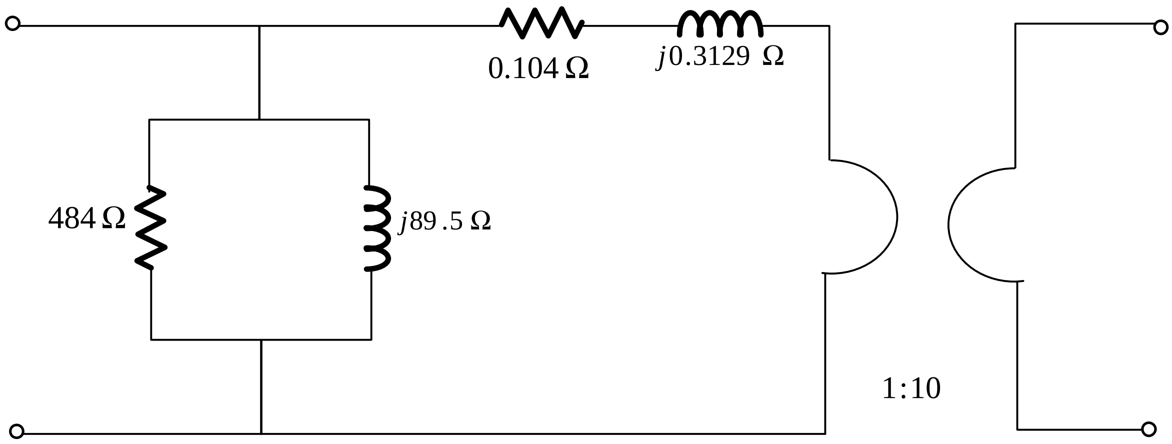
$$R_{eq} = \frac{P_J}{I_{cc}^2} = \frac{215}{4.55^2} = 10.4\,\Omega \qquad \text{sul lato alta tensione}$$

$$R_{eq}' = n^2 \cdot R_{eq} = 0.1^2 \cdot 10.4 = 0.104\,\Omega \qquad \text{sul lato bassa tensione}$$

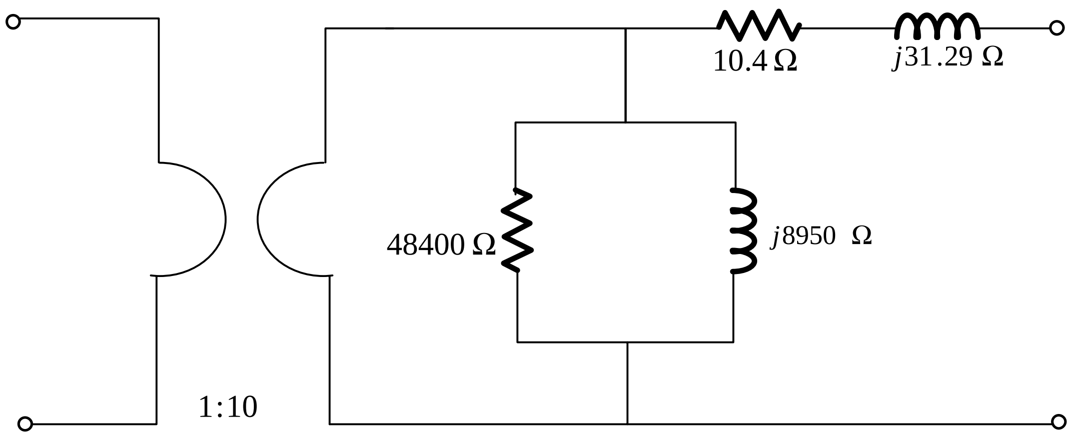
$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{32.967^2 - 10.4^2} = 31.29\,\Omega \quad \text{lato alta tensione}$$

$$X'_{eq} = n^2 \cdot X_{eq} = 0.1^2 \cdot 31.29 = 0.3129\,\Omega \quad \text{lato bassa tensione}$$

Il circuito equivalente sul lato bassa tensione è :



Mentre riportato dal lato alta tensione è:



$$\frac{I_{10}}{I_{1n}} = \frac{2.5}{45.5} = 0.055 \quad \Rightarrow \quad 5.5\%$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_f}{V_0 \cdot I_{10}} = \frac{100}{220 \cdot 2.5} = 0.182 \quad \Rightarrow \quad \varphi_0 = 80°$$

$$\cos\varphi_{cc} = \frac{P_J}{V_{cc} \cdot I_{cc}} = \frac{215}{150 \cdot 4.55} = 0.315 \quad \Rightarrow \quad \varphi_{cc} = 72°$$

ESERCIZIO 6

I dati di targa di un trasformatore monofase sono:

Potenza nominale: 60 MVA

tensione nominale primaria: 15 kV

tensione a vuoto secondaria: 220 kV

$f = 50$ Hz, $V_{cc}\% = 10\%$, $P_{cc}\% = 0.8\%$.

Determinare la resistenza R_{c2}, la reattanza X_{c2} e l'impedenza Z_{c2} di corto circuito secondarie.

Risoluzione

$$A_n = 60\ \text{MVA}$$
$$V_{1n} = 15\ \text{kV}$$
$$V_{20} = 220\ \text{kV}$$
$$f = 50\ \text{Hz}$$
$$V_{cc}\% = 10\%$$
$$P_{cc}\% = 0.8\%$$
$$Z_{c2} = \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n}$$

infatti $Z_{c2} = \frac{V_{cc}}{I_{2n}} = \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}}{I_{2n}} = (\text{molt. e div. per } V_{20}) = \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{I_{2n} \cdot V_{20}} = \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n}$

quindi

$$Z_{c2} = \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n} = \frac{10}{100} \cdot \frac{\left(220 \cdot 10^3\right)^2}{60 \cdot 10^6} = 80.67\ \Omega$$

$$R_{c2} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n}$$

infatti $R_{c2} = \frac{P_{cc}}{I_{2n}^2} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{A_n}{I_{2n}^2} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20} \cdot I_{2n}}{I_{2n}^2} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}}{I_{2n}} = (\text{molt. e div. per } V_{20}) =$

$= \frac{V_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{I_{2n} \cdot V_{20}} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n}$

quindi

$$R_{c2} = \frac{P_{cc}\%}{100} \cdot \frac{V_{20}^2}{A_n} = \frac{0.8}{100} \cdot \frac{\left(220 \cdot 10^3\right)^2}{60 \cdot 10^6} = 6.45\ \Omega$$

$$X_{c2} = \sqrt{Z_{c2}^2 - R_{c2}^2} = 80.41\ \Omega$$

ESERCIZIO 7

Un motore asincrono a 6 poli, trifase, frequenza 50 Hz, lavora allo scorrimento $s_{\%}$=4% con un certo carico.
Determinare la velocità di sincronismo, la velocità del rotore, la frequenza delle correnti rotoriche, la velocità del campo magnetico rotante del rotore rispetto allo statore, e la velocità del campo magnetico rotante del rotore rispetto al campo rotante di statore.

Risoluzione

Prima vediamo qualcosa sul principio di funzionamento del motore asincrono:
• Si ponga l'avvolgimento rotorico in cto-cto.
• Si applichi all'avvolgimento statorico una terna simmetrica di tensioni, essa darà luogo ad una terna equilibrata di correnti che dà luogo ad un campo rotante.
• Il campo rotante taglia i conduttori dell'indotto e genera un sistema trifase di f.e.m., e quindi un sistema trifase di correnti, da cui un campo magnetico sincrono con quello generato e opposto (reazione di indotto).
• A rotore bloccato il comportamento é analogo al trasformatore.
• Se il rotore può ruotare é soggetto ad un sistema di forze meccaniche tangenziali.
• Per ragioni di simmetria il sistema di forze equivale ad una coppia.
• Sotto l'azione della coppia il rotore ruota nel verso del campo magnetico.
• Anche a rotore libero (senza carico sull'albero non si può raggiungere la velocità di sincronismo.
• Esiste un carico dovuto agli attriti e alla ventilazione. L'equilibrio non può sussistere.

La velocità di sincronismo è:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ giri/minuto.}$$

Poiché lo scorrimento è definito come:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

dove n è la velocità del rotore, questa grandezza è pari a:

$$n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - 0.04) \cdot 1000 = 960 \text{ giri/minuto.}$$

La frequenza delle correnti rotoriche è:

$$f_r = s \cdot f = 0.04 \cdot 50 = 2 \text{ Hz}$$

Il campo rotante prodotto dal rotore ruota alla velocità di sincronismo :

$$n_r = \frac{120 \cdot f_r}{p} = \frac{120 \cdot s \cdot f}{p} = s \cdot n_s = 0.04 \cdot 1000 = 40 \text{ giri/minuto.}$$

ma la velocità del rotore rispetto allo statore è :

$$n = (1 - s) \cdot n_s$$

da cui la velocità del campo rotorico rispetto allo statore è :

$$n_s' = n_r + n = s \cdot n_s + (1 - s) \cdot n_s = n_s = 1000 \text{ giri/minuto.}$$

La velocità del campo rotorico rispetto al campo statorico è :

$$n_s' - n = 0$$

ESERCIZIO 8

Si abbia una macchina asincrona alimentata alla frequenza $f_1 = 60$ Hz con $p = 4$ (coppie polari), e con scorrimento $s = 2\%$. Trovare la velocità di sincronismo, la velocità del rotore, la frequenza delle correnti rotoriche.

Risoluzione

La velocità di sincronismo è :

$$n_s = \frac{120 \cdot f_1}{2 \cdot p} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 60}{4} = 900 \text{ giri/minuto}$$

La velocità del rotore è :

$$n_r = (1 - s) \cdot n_s = 0.98 \cdot n_s = 882 \text{ giri/minuto}$$

La frequenza delle correnti rotoriche è :

$$f_2 = \frac{p \cdot (n_s - n_r)}{60} = \frac{4 \cdot (900 - 882)}{60} = 1.2 \text{ Hz}$$

o anche $f_2 = s \cdot f_1 = 0.02 \cdot 60 = 1.2$ Hz

f_2 assume sempre valori bassi perché lo scorrimento ha valori piccoli