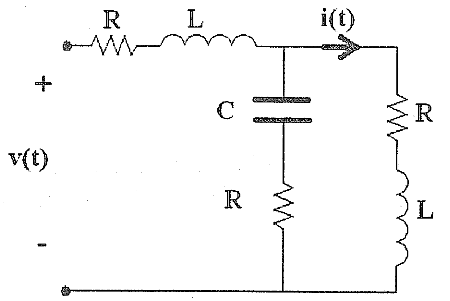
Prova scritta di Elettrotecnica

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

FILA B

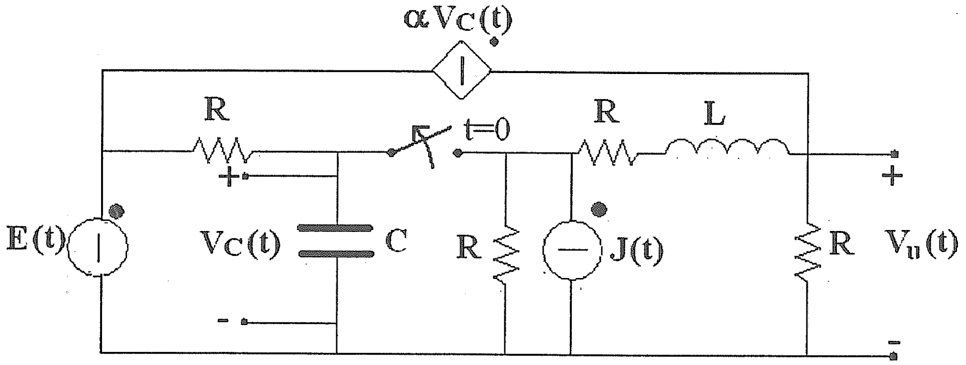
Pisa 24/01/2009 Allievo: ....Matricola: ....

0) Per il circuito di figura, considerato a regime, determinare la tensione $v(t)$ tale che la corrente $i(t)$ abbia l'andamento indicato.



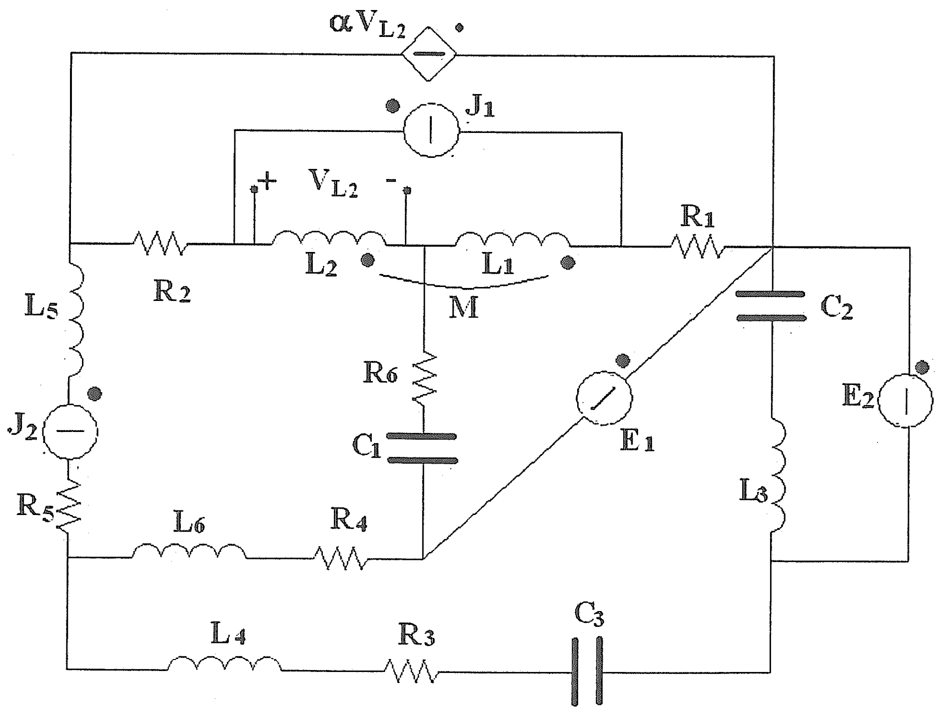
$$i(t) = 3\sin\left(500t + \pi/6\right)\ A$$
$$R = 50\Omega;$$
$$L = 90mH$$
$$C = 100\mu F$$

1) Con riferimento al circuito di figura, determinare l'andamento temporale della tensione $V_u(t)$ per $t \geq 0$, considerando l'apertura del tasto al tempo $t = 0$. Per $t < 0$ si consideri il circuito a regime per effetto dei generatori applicati.



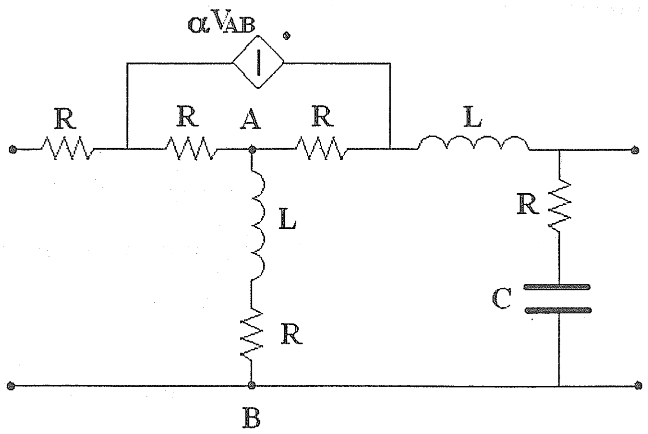
$$E(t) = 100V$$
$$J(t) = 5A$$
$$R = 15\ \Omega;$$
$$L = 20mH$$
$$C = 250\mu F;$$
$$\alpha = 0{,}1$$

2) Per il circuito in figura scrivere un sistema di equazioni di equilibrio con il metodo delle tensioni nodali, supponendo il circuito stesso in condizioni di regime sinusoidale.



24/01/09

3) Determinare la matrice dei parametri ABCD del doppio bipolo in figura.



$R = 50\Omega$

$L = 20mH$

$C = 200\,\mu F$

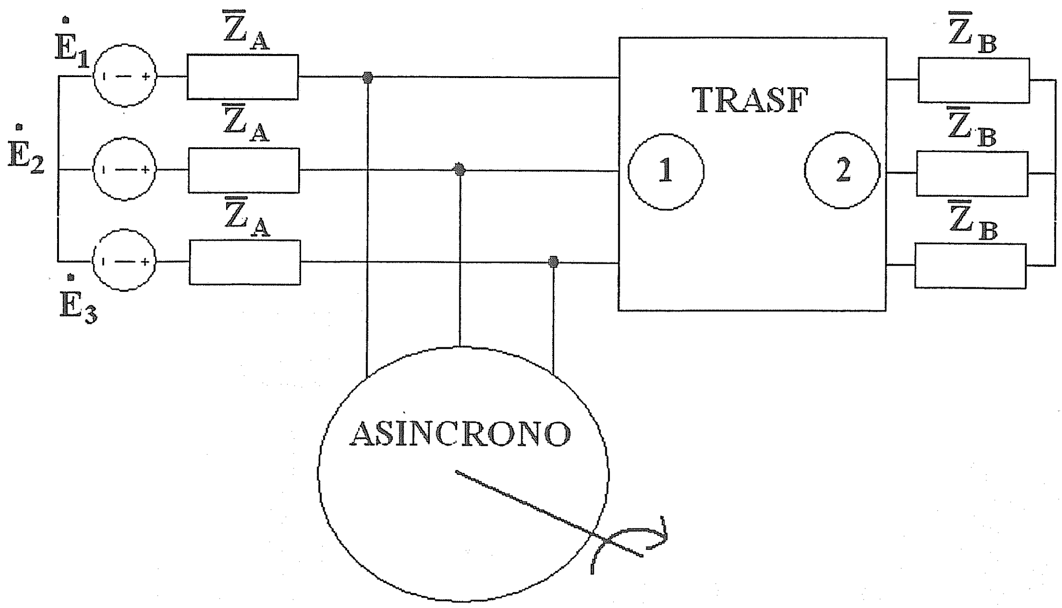
$\omega = 628\, rad/s$

$\alpha = 10$

4) Nel sistema trifase simmetrico ed equilibrato di figura determinare la potenza attiva e reattiva erogata dal generatore trifase E. Determinare inoltre la potenza dissipata nel ferro del trasformatore e nel ferro del motore asincrono.

$$\dot{E}_1 = 110\ e^{j\pi/3}\ V$$
$$\overline{Z}_A = 6 + j6\ \Omega$$
$$\overline{Z}_B = 2 + j0.5\ \Omega$$
$$f = 60\ \ Hz;$$

Trasformatore
Prova a vuoto $V_{10} = 400\ V;\quad I_{10} = 5\ A;\quad P_{10} = 1370\ W;$
Prova in cc $V_{1cc} = 100\ V;\ I_{1cc} = 22\,A;\ P_{1cc} = 1640\ W;$
$n = 2;\ (E_1^T = nE_2^T);$
Asincrono
Prova a vuoto $V_{10} = 800\ V;\quad I_{10} = 2\ A;\quad P_{10} = 1200\ W;$
Prova in cc $V_{1cc} = 200\ V;\ I_{1cc} = 12\,A;\ P_{1cc} = 1500\ W;$
$k = 2;\ (E_1^A = kE_2^A);\ \ s = 0.8;\ R_{1s} = 0.5\ \Omega;\ X_{1s} = 1.25\ \Omega;$



(1)

Prova scritta del 24/01/09

Esercizio 0 A VERS. PROVV.

Il fasore rappresentativo della corrente assegnata è

$\dot{I}_{RL} = 2e^{j\frac{\pi}{6}}$, mentre le impedenze valgono:

$\bar{Z}_{RL} = R + j\omega_0 L = 60 + j48 \ \Omega$

$\bar{Z}_{RC} = R + \frac{1}{j\omega_0 C} = 60 - j15.15 \ \Omega$

La tensione $\dot{V}_{AB}$ è

$$\dot{V}_{AB} = \bar{Z}_{RL}\dot{I}_{RL} = -23.14 + j151.9 \ V$$

La corrente su $\bar{Z}_{RC}$ è

$$\dot{I}_{RC} = \frac{\dot{V}_{AB}}{\bar{Z}_{RC}} = -0.96 + j2.29 \ A$$

Quindi il fasore rappresentativo della v(t) sarà

$$\dot{V} = \bar{Z}_{RL}(\dot{I}_{RL} + \dot{I}_{RC}) + \dot{V}_{AB} = -213.95 + j339.29 \ V$$

ed infine $v(t) = 449.15 \,\mathrm{sen}(600t + 2.07) \ V$

Esercizio 0B

$\dot{I}_{RL} = 3e^{j\frac{\pi}{6}} \ A$

$\bar{Z}_{RL} = 50 + j45 \ \Omega$

$\bar{Z}_{RC} = 50 - j20 \ \Omega$

$\dot{V}_{AB} = -41.93 + j137.4 \ V$

$\dot{I}_{RC} = -2.084 + j3.11 \ V$

$\dot{V} = -328.18 + j456.75 \ V$

$v(t) = 562.42 \,\mathrm{sen}(500t + 2.194) \ V$

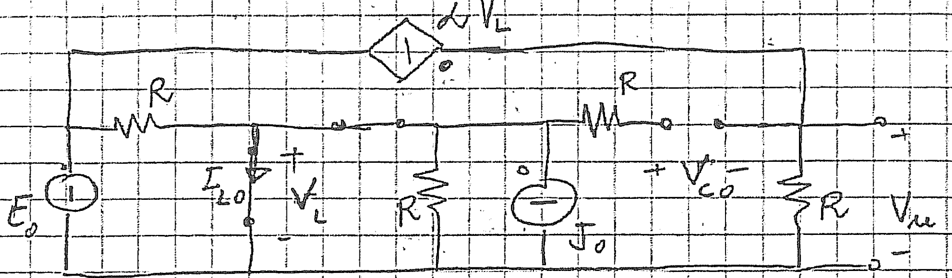
Prova scritta del 24/01/09

VERS. PROVV

Esercizio 1A

Calcolo delle condizioni iniziali a tasto chiuso.

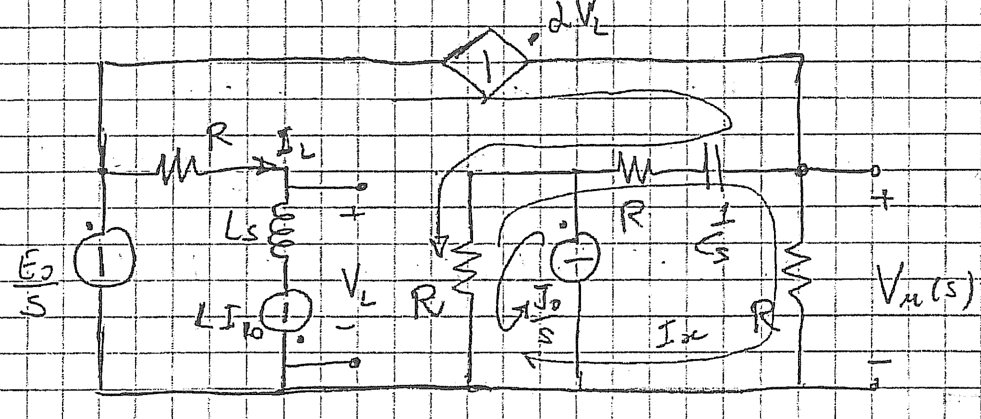
Il circuito è da ritenersi in condizioni di regime.



$V_L = 0$ quindi il generatore controllato da corrente è spento

$V_{C0} = 0$; $I_{L0} = \frac{E_0}{R} + J_0 = 11.67$ A

Il circuito L-trasf è:



$$I_L = \frac{\frac{E_0}{s} + L I_{L0}}{R + Ls} = \frac{E_0 + Ls\, I_{L0}}{s(R + Ls)}$$

$$V_L = Ls\, I_L - L I_{L0} = Ls \frac{E_0 + Ls I_{L0}}{s(R + Ls)} - L I_{L0} =$$

$$= \frac{L E_0 + \cancel{L^2 s I_{L0}} - R L I_{L0} - \cancel{L^2 s I_{L0}}}{R + Ls} =$$

$$= \frac{L\, E_0 - R I_{L0}}{R + Ls}$$

24/01/03

L'espressione per la determinazione di I_x è (3)

$$0 = \left(3R + \frac{1}{Cs}\right) I_x - R\frac{J_0}{s} - \alpha V_L \left(2R + \frac{1}{Cs}\right)$$

$$I_x = \frac{R\frac{J_0}{s}}{3R + \frac{1}{Cs}} + \alpha\frac{L\,\frac{E_0 - RI_{L0}}{R+Ls}\left(2R + \frac{1}{Cs}\right)}{3R + \frac{1}{Cs}} =$$

$$= \frac{R\frac{J_0}{\cancel{s}}}{\frac{3RCs+1}{C\cancel{s}}} + \frac{\alpha L\,\frac{E_0 - RI_{L0}}{R+Ls}\cdot\frac{2RCs+1}{\cancel{Cs}}}{\frac{3RCs+1}{\cancel{Cs}}} =$$

$$= \frac{RCJ_0}{3RCs+1} + \frac{\alpha L(E_0 - RI_{L0})(2RCs+1)}{(R+Ls)(3RCs+1)} =$$

$$= \frac{\cancel{RC}}{3\cancel{RC}}\,\frac{J_0}{s+\frac{1}{3RC}} + \frac{\alpha \cancel{L}(E_0 - RI_{L0})2\cancel{RC}}{\cancel{L}\cdot 3\cancel{RC}}\,\frac{s+\frac{1}{2RC}}{\left(s+\frac{R}{L}\right)\left(s+\frac{1}{3RC}\right)} =$$

$$V_u(s) = RI_x = \frac{RJ_0}{s+\frac{1}{3RC}} + R\frac{2\alpha(E_0 - RI_{L0})}{3}\,\frac{s+\frac{1}{2RC}}{\left(s+\frac{R}{L}\right)\left(s+\frac{1}{3RC}\right)}$$

Solo il II termine va scomposto in fratti semplici:

$$\frac{s+\frac{1}{2RC}}{\left(s+\frac{R}{L}\right)\left(s+\frac{1}{3RC}\right)} = \frac{A}{s+s_1} + \frac{B}{s+s_2}$$

$S_1 = 750$

$S_2 = 88.89$

$A = 0.933$

$B = 0.067$

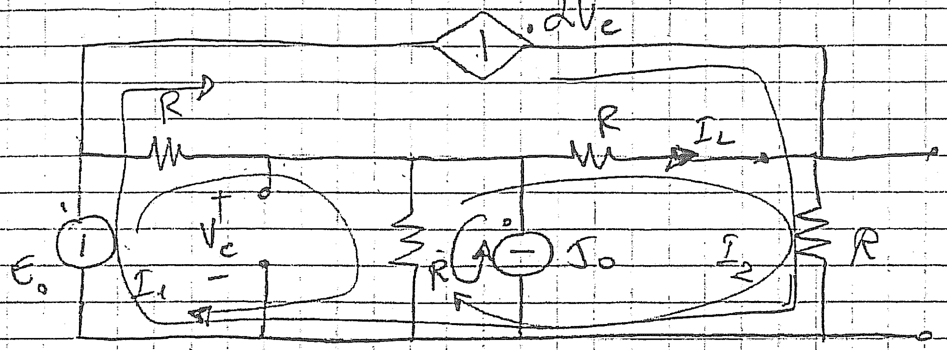
$$v_u(t) = 75\,e^{-88.89t}\,u(t) - 69.96\,e^{-750t}\,u(t) - 5.04\,e^{-88.89t}\,u(t)$$

VERS. PROVV.

24/01/09

Esercizio 1B VERS. PRO V.V. 4

Condizioni iniziali a tasto chiuso



Le equazioni di equilibrio sono:

$$\begin{cases} E_0 = 2RI_1 - RI_2 + RJ_0 \\ 0 = -RI_1 + 3RI_2 - RJ_0 + \alpha V_c R \end{cases}$$

Eq. controllo:

$$V_c = E_0 - RI_1$$

Sostituendo l'eq. di controllo nelle eq. delle maglie si ha:

$$\begin{cases} E_0 - RJ_0 = 2RI_1 - RI_2 \\ RJ_0 - \alpha E_0 R = -(R + \alpha R^2)I_1 + 3RI_2 \end{cases}$$

Sostituendo i valori numerici:

$$\begin{pmatrix} 25 \\ -75 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30 & -15 \\ -37.5 & 45 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Risolvendo (es metodo di Cramer)

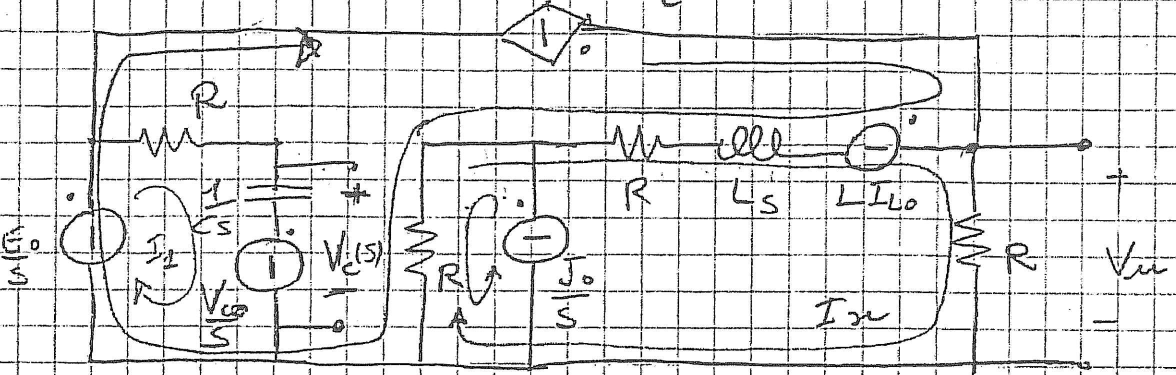
$$I_1 = 0; \quad I_2 = -1.667\ A;$$

Quindi $V_{c0} = E_0 = 100\ V$

$$I_{L0} = I_2 = -1.667\ A$$

Prove scritte del 24/01/03 (5)

Esercizio 1B   VERS. PROVV.



$$\frac{E_0}{s} - \frac{V_{c0}}{s} = \left(R + \frac{1}{Cs}\right) I_1$$

$$L I_{L0} = (3R + Ls) I_x - \frac{J_0}{s} R - \alpha V_c (2R + Ls)$$

$$V_c(s) = \frac{1}{Cs} I_1 + \frac{V_{c0}}{s}$$

Dalla I^a equazione, essendo $V_{c0} = E_0$ si ha che $I_1 = 0$, quindi è

$$V_{c(s)} = \frac{V_{c0}}{s}$$

$$I_x = \frac{L I_{L0}}{3R + Ls} + \frac{R \frac{J_0}{s} + \alpha \frac{V_{c0}}{s}(2R + Ls)}{3R + Ls} =$$

$$= \frac{L I_{L0}}{3R + Ls} + \frac{R J_0 + \alpha V_{c0}(2R + Ls)}{s(3R + Ls)}$$

$$V_u = R I_x = R I_{L0} \cdot \frac{1}{s + \frac{3R}{L}} + R \alpha V_{c0} \cdot \frac{s + \frac{R J_0 + \alpha V_{c0} 2R}{\alpha V_{c0} L}}{s\left(s + \frac{3R}{L}\right)}$$

Solo il II termine va scomposto ai poli semplici:

$$\frac{s + \frac{R J_0 + \alpha V_{c0} 2R}{\alpha V_{c0} L}}{s\left(s + \frac{3R}{L}\right)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s + s_1};$$

$s_1 = 2250$

$A = 0.833$

$B = 0.167$

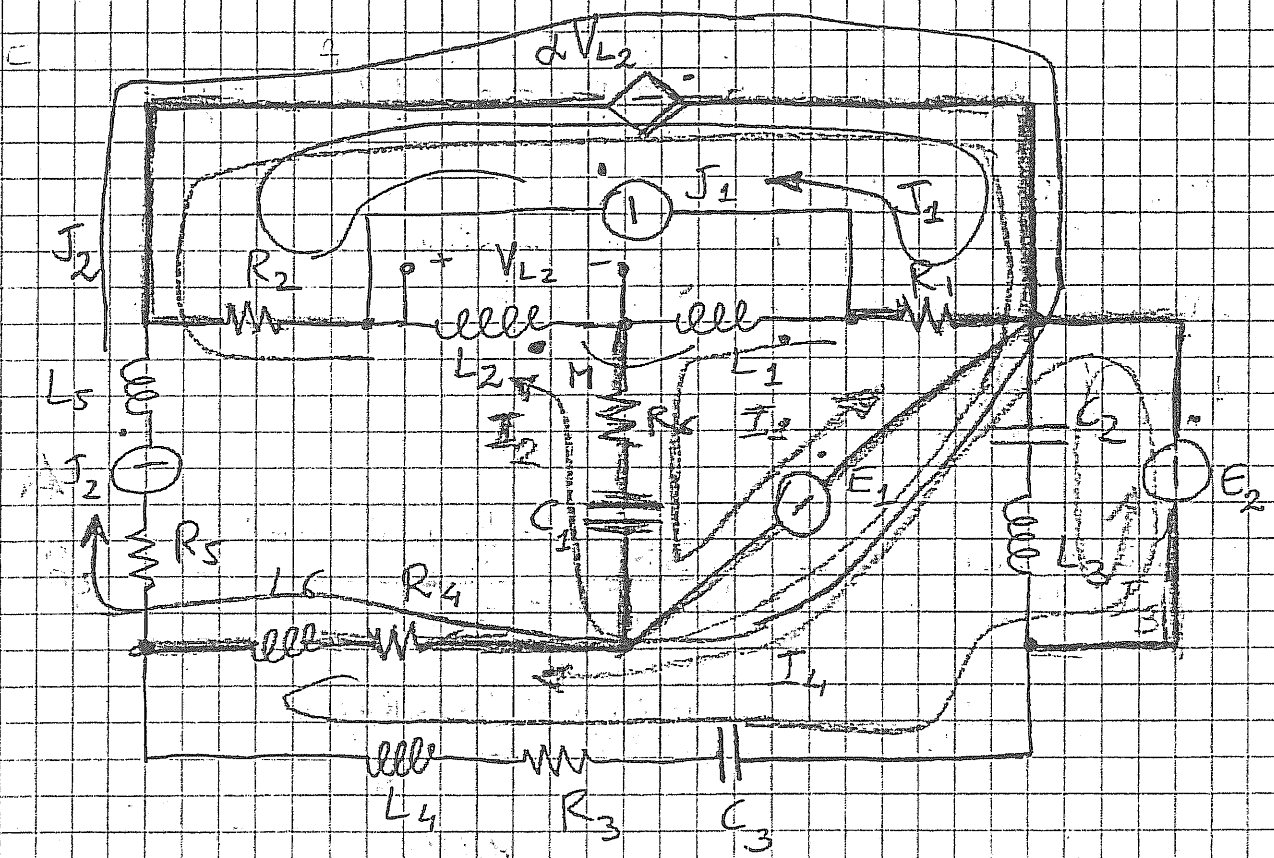
24/01/09

$$v_u(t) = -25.0\, e^{-2250t}\, u(t) + 125\, u(t) + 25\, e^{-2250t}\, u(t) =$$

$$= 125\, u(t)$$ (6)

VERS. PROVV.

Esercizio 2A



Facendo riferimento all'albero indicato in figura si scrivono le equazioni:

$$\dot{E}_1 = \left(R_1 + j\omega L_1 + R_6 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) \dot{I}_1 - \left(R_6 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_2$$

$$+ R_1 \dot{J}_1$$

24/01/09

$$\alpha \dot{V}_{L2} - \dot{E}_1 = -\left(R_6 + \frac{1}{j\omega C_1}\right)\dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_1 + \left(R_2 + R_6 + \frac{1}{j\omega C_1}\right)\dot{I}_2 + R_2 \dot{J}_1$$

7

$$\dot{E}_2 = \left(j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C_2}\right)\dot{I}_3$$

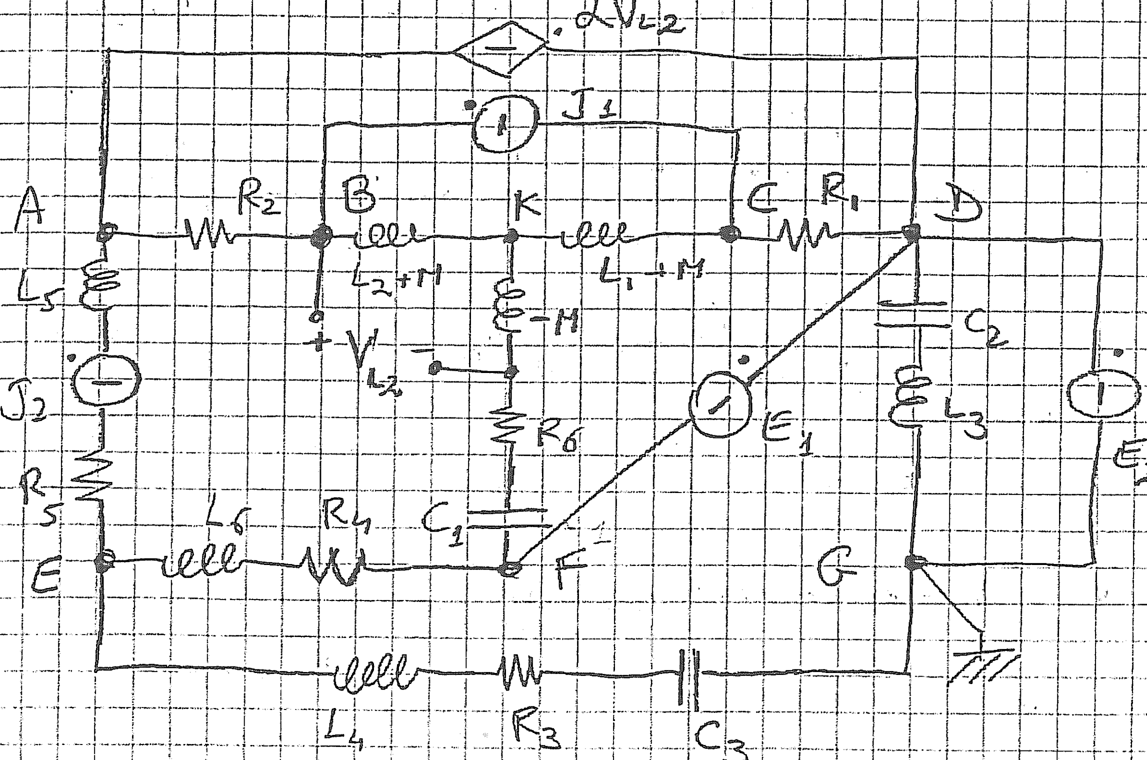
$$\dot{E}_2 - \dot{E}_1 = \left(R_4 + j\omega L_6 + j\omega L_4 + R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}\right)\dot{I}_4 + \dot{J}_2\left(R_4 + j\omega L_6\right)$$

$$\dot{V}_{L2} = j\omega L_2 \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_1$$

VERS. PROVV.

Esercizio 2B

Per potere utilizzare l'analisi modale occorre sostituire i due induttori mutuamente accoppiati con un circuito equivalente.



24/01/09

(8)

Assumendo il nodo G come riferimento si ha:

$$\dot{V}_A = -\alpha \dot{V}_{L2} + \dot{E}_2 \;; \quad \dot{V}_D = \dot{E}_2 \;; \quad \dot{V}_F = \dot{E}_2 - \dot{E}_1 \;;$$

Restano da scrivere le equazioni ai nodi B, K, C ed E

B) $$\dot{J}_1 = -\frac{1}{R_2}\dot{V}_A + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{j\omega(L_2+M)}\right)\dot{V}_B - \frac{1}{j\omega(L_2+M)}\dot{V}_K$$

K) $$0 = -\frac{1}{j\omega(L_2+M)}\dot{V}_B + \left(\frac{1}{j\omega(L_1+M)} + \frac{1}{j\omega(L_2+M)} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{-j\omega M + R_6 + \frac{1}{j\omega C_1}}\right)\dot{V}_K - \frac{1}{j\omega(L_1+M)}\dot{V}_C +$$

$$- \frac{1}{-j\omega M + R_6 + \frac{1}{j\omega C_1}}\dot{V}_F$$

C) $$-\dot{J}_1 = -\frac{1}{j\omega(L_1+M)}\dot{V}_K + \left(\frac{1}{j\omega(L_1+M)} + \frac{1}{R_1}\right)\dot{V}_C - \frac{1}{R_1}\dot{V}_D$$

E) $$-\dot{J}_2 = \left(\frac{1}{R_4 + j\omega L_6} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_4 + R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}}\right)\dot{V}_E +$$

$$-\left(\frac{1}{R_4 + j\omega L_6}\right)\dot{V}_F$$

Equazioni di controllo:

$$\dot{V}_{L_2} = \dot{V}_B - \dot{V}_K + \left(\dot{V}_K - \dot{V}_F\right)\frac{-j\omega M}{-j\omega M + R_6 + \frac{1}{j\omega C_1}}$$

VERS. PROV.

Prova scritta del 24/01/09

9

Esercizio 3A

$$V_1 = A V_2 + B(-I_2)$$

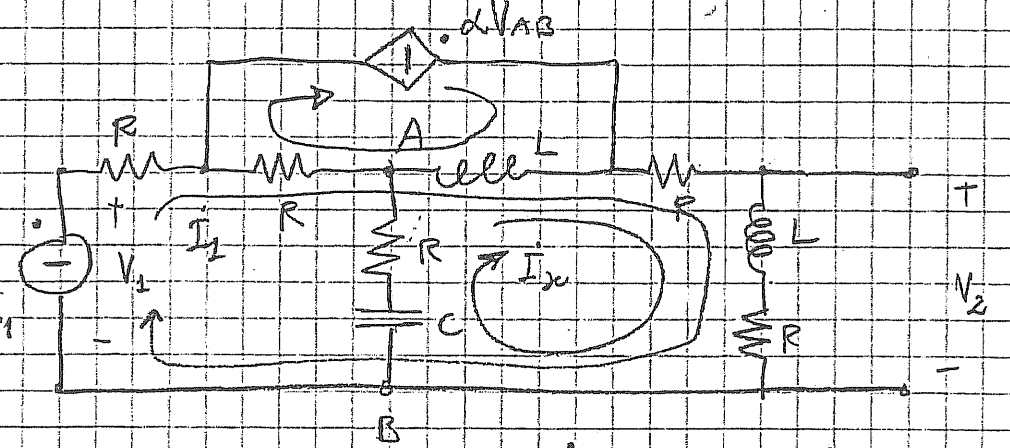
VERS. PROVV.

$$I_1 = C V_2 + D(-I_2)$$

$$\frac{1}{A} = \left.\frac{V_2}{V_1}\right|_{I_2=0} \qquad \frac{1}{C} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0}$$

Entrambi possono essere calcolati a partire dal circuito assegnato alimentato da un generatore di corrente di prova fra i morsetti della porta 1 e con la porta 2 aperta.

La determinazione di C è immediata, per determinare A occorre esprimere V_1 in funzione di I_1, quindi valutare il rapporto $\frac{V_2}{V_1}$.



$$0 = \left(3R + 2j\omega L + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_x - j\omega L\alpha\dot{V}_{AB} + \left(2R + 2j\omega L\right)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_{AB} = -\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_x$$

$$\dot{I}_x = -\frac{2R + 2j\omega L}{3R + 2j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L\alpha\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)}\dot{I}_1 = \bar{K}\dot{I}_1$$

$$\bar{K} = -0.0087 + j0.015$$

$$\dot{V}_2 = (R + j\omega L)(1 + \bar{K})\dot{I}_1$$

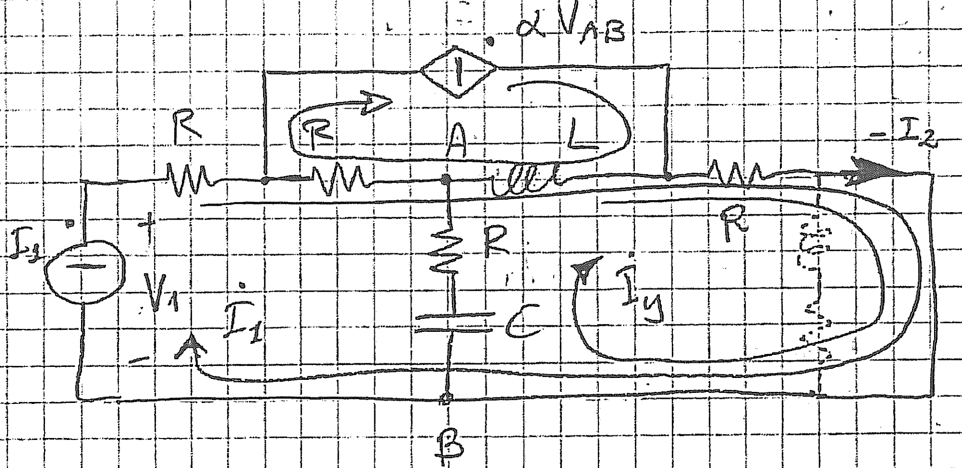
$$\dot{V}_1 = 2R\dot{I}_1 - R\alpha\dot{V}_{AB} + \dot{V}_{AB} = \left[2R + (\alpha R - 1)\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\bar{K}\right]\dot{I}_1$$

24/01/09

$$\frac{1}{C} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} = (R + j\omega L)(1 + \bar{K}) = 49.48 + j\,13.21 \quad \Omega$$

10

$$\frac{1}{A} = \left.\frac{V_2}{V_1}\right|_{I_2=0} = \frac{(R + j\omega L)(1 + \bar{K})}{2R + (\alpha R - 1)\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\bar{K}} = 0.002 + j\,0.0005$$



VERS. PROVV

$$0 = \left(2R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_y - j\omega L \alpha \dot{V}_{AB} + (R + j\omega L)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_{AB} = -\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_y$$

$$\dot{I}_y = -\frac{R + j\omega L}{2R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L \alpha \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)}\dot{I}_1 = \bar{H}\,\dot{I}_1$$

$$\bar{H} = -0.041 + j0.066$$

$$-\dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_y = (1 + \bar{H})\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_1 = 2R\dot{I}_1 - R\alpha\dot{V}_{AB} + \dot{V}_{AB} =$$

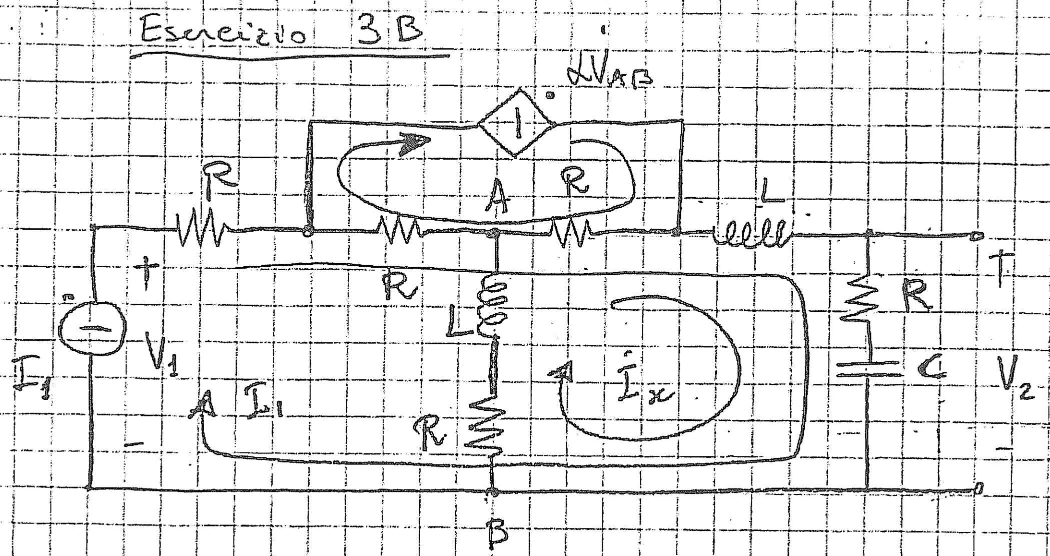
$$= \left[2R + (R\alpha - 1)\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\bar{H}\right]\dot{I}_1$$

$$\frac{1}{D} = \left.\frac{-\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{V_2=0} = (1 + \bar{H}) = 0.959 + j\,0.0661$$

$$\frac{1}{B} = \left.\frac{-\dot{I}_2}{\dot{V}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{1 + \bar{H}}{2R + (R\alpha - 1)\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\bar{H}} = -1.37 \cdot 10^{-4} + -j\,4.8 \cdot 10^{-4} \ \mho$$

24/01/09

Esercizio 3B



$$0 = \left(3R + 2j\omega L + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_x - R\alpha\dot{V}_{AB} + \left(2R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}\right)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_{AB} = -\left(R + j\omega L\right)\dot{I}_x$$

$$\dot{I}_x = -\frac{2R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}{3R + 2j\omega L + \frac{1}{j\omega C} + \alpha R\left(R + j\omega L\right)}\dot{I}_1 = \bar{M}\dot{I}_1$$

$$\bar{M} = -3.8 \cdot 10^{-3} + j0.8 \cdot 10^{-3}$$

$$\dot{V}_2 = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\left(1 + \bar{M}\right)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_1 = 2R\dot{I}_1 - R\alpha\dot{V}_{AB} + \dot{V}_{AB} = \left[2R + (\alpha R - 1)(R + j\omega L)\bar{M}\right]\dot{I}_1$$

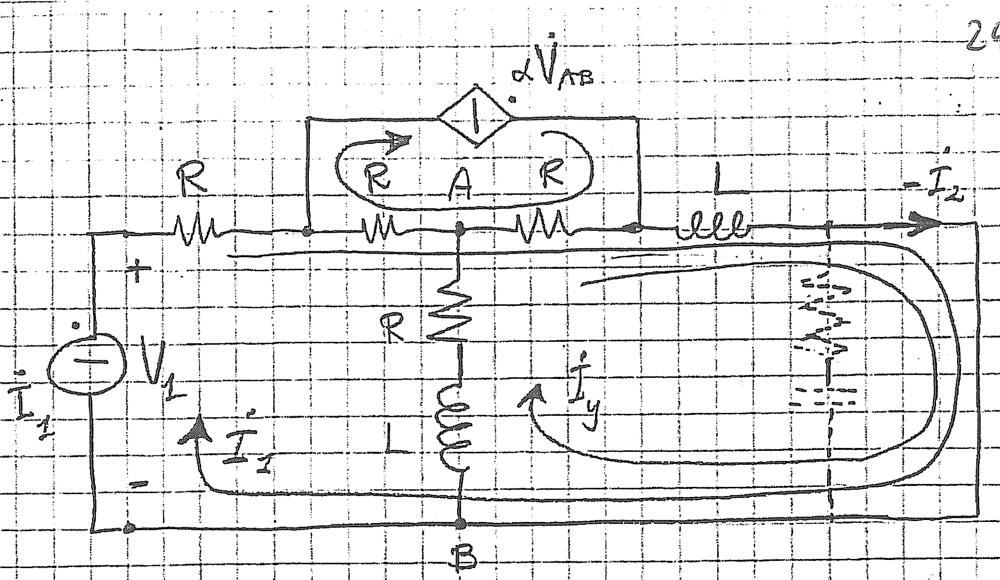
$$\frac{1}{C} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{I}_1}\bigg|_{\dot{I}_2 = 0} = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\left(1 + \bar{M}\right) = 49.82 - j\,7.89\ \Omega$$

$$\frac{1}{A} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\bigg|_{\dot{I}_2 = 0} = \frac{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)\left(1 + \bar{M}\right)}{2R + (\alpha R - 1)(R + j\omega L)\bar{M}} = 3.41 + j\,10.17$$

VERS PROVV

24/01/09

12



$$0 = \left(2R + 2j\omega L\right)\dot{I}_y - R\alpha\dot{V}_{AB} + \left(R + j\omega L\right)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_{AB} = -\left(R + j\omega L\right)\dot{I}_y$$

$$\dot{I}_y = -\frac{R + j\omega L}{2R + 2j\omega L + \alpha R\left(R + j\omega L\right)}\dot{I}_1 =$$

$$= -\frac{\cancel{(R + j\omega L)}}{(2 + \alpha R)\cancel{(R + j\omega L)}}\dot{I}_1 = \bar{N}\dot{I}_1$$

$$\bar{N} = -2\cdot 10^{-3}$$

$$-\dot{I}_2 = \dot{I}_y + \dot{I}_1 = \left(1 + \bar{N}\right)\dot{I}_1$$

$$\dot{V}_1 = 2R\dot{I}_1 - R\alpha\dot{V}_{AB} + \dot{V}_{AB} = \left[2R + (R\alpha - 1)(R + j\omega L)\bar{N}\right]\dot{I}_1$$

$$\frac{1}{D} = \left.\frac{-\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{V}_2 = 0} = 1 + \bar{N} = 0.998$$

$$\frac{1}{B} = \left.\frac{-\dot{I}_2}{\dot{V}_1}\right|_{\dot{V}_2 = 0} = \frac{1 + \bar{N}}{2R + (R\alpha - 1)(R + j\omega L)\bar{N}} = 18.7\cdot 10^{-3} + j4.6\cdot 10^{-3}\ ℧$$

VERS PROVV.

Prova scritta del 24/01/09 VERS. PROVV (13)

Esercizio 4

Parametri x il circuito equivalente

Trasformatore

$G_m^T = \dfrac{P_{10}}{V_{10}^2} = 0.0086\ \mho$

$Y_m^T = \sqrt{3}\dfrac{I_{10}}{V_{10}} = 0.0217\ \mho$

$B_m^T = \sqrt{Y_m^{T^2} - G_m^{T^2}} = 0.02\ \mho$

$\bar{Z}_m^T = \dfrac{1}{G_m^T - jB_m^T} = 18.27 + j42.42\ \Omega$

$Z_{1cc}^T = \dfrac{V_{1cc}}{\sqrt{3}\, I_{1cc}} = 2.62\ \Omega$

$\cos\varphi_{cc}^T = \dfrac{P_{1cc}}{\sqrt{3}\, V_{1cc} I_{1cc}} = 0.43$

$\bar{Z}_{1cc}^T = Z_{1cc}\left(\cos\varphi_{cc}^T + j\,\mathrm{sen}\,\varphi_{cc}^T\right) =$

$= 1.13 + j2.37\ \Omega$

Macchina Asincrona

$G_m^A = \dfrac{P_{10}}{V_{10}^2} = 0.002\ \mho$

$Y_m^A = \sqrt{3}\dfrac{I_{10}}{V_{10}} = 0.0053\ \mho$

$B_m^A = \sqrt{Y_m^{A^2} - G_m^{A^2}} = 0.004$

$\bar{Z}_m^A = \dfrac{1}{G_m^A - jB_m^A} = 100 + j208.17\ \Omega$

$Z_{1cc}^A = \dfrac{V_{1cc}}{\sqrt{3}\, I_{1cc}} = 9.62\ \Omega$

$\cos\varphi_{cc}^A = \dfrac{P_{1cc}}{\sqrt{3}\, V_{1cc} I_{1cc}} = 0.361$

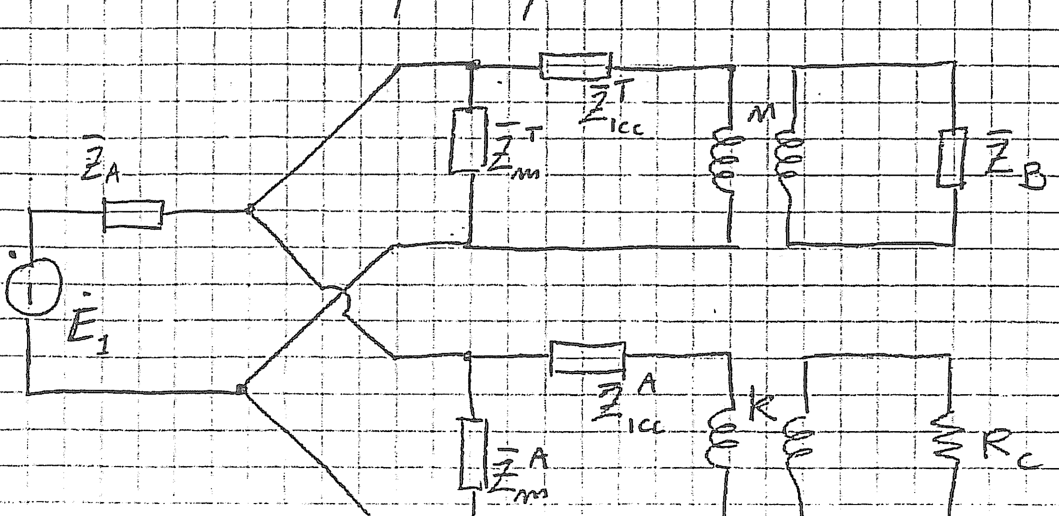
$\bar{Z}_{1cc}^A = Z_{1cc}^A\left(\cos\varphi_{cc}^A + j\,\mathrm{sen}\,\varphi_{cc}^A\right) =$

$= 3.47 + j8.97\ \Omega$

$\bar{Z}_{2d}^A = \dfrac{1}{K^2}\left(\bar{Z}_{1cc}^A - \bar{Z}_{1s}\right) = 0.74 + j1.9\ \Omega$

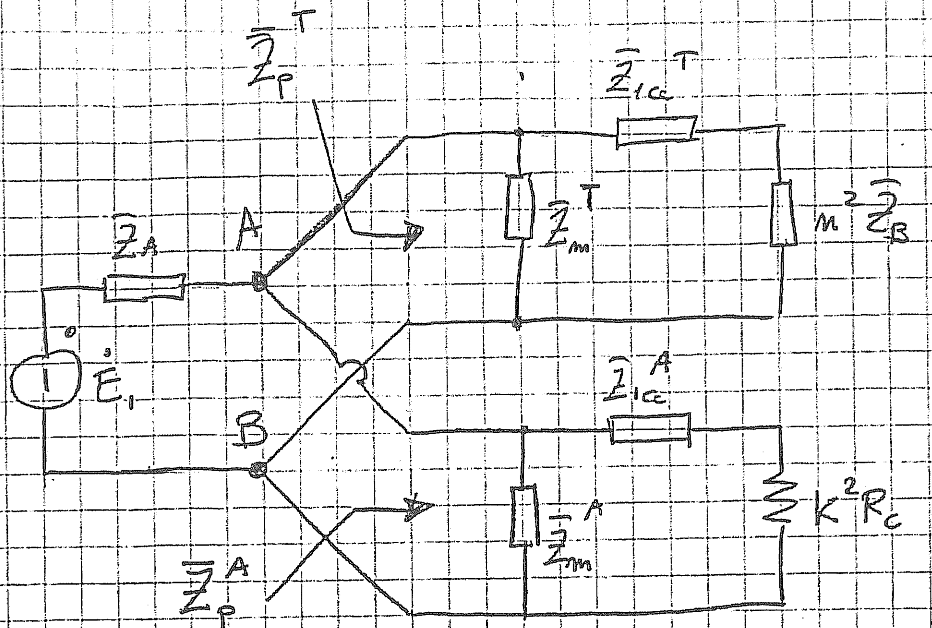
$R_c^A = \dfrac{1-s}{s} R_{2d}^A = 0.19\ \Omega$

Il circuito monofase equivalente del sistema è:



24/01/09

14

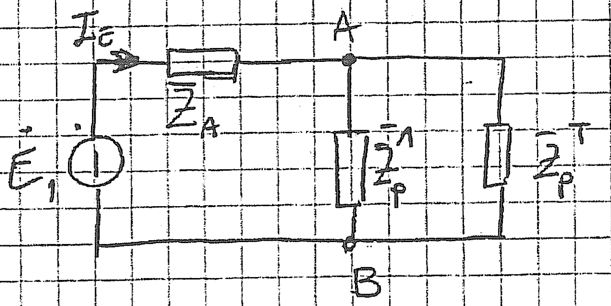


VERS.

PROW.

$$\bar{Z}_p^T = \frac{\bar{Z}_m^T(\bar{Z}_{1cc}^T + m^2\bar{Z}_B)}{\bar{Z}_m^T + \bar{Z}_{1cc}^T + m^2\bar{Z}_B} = 7.26 + j4.65\ \Omega$$

$$\bar{Z}_p^A = \frac{\bar{Z}_m^A(\bar{Z}_{1cc}^A + k^2 R_c)}{\bar{Z}_m^A + \bar{Z}_{1cc}^A + k^2 R_c} = 4.05 + j\,3.49\ \Omega$$



$$\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{Z}_p^A\,\bar{Z}_p^T}{\bar{Z}_p^A + \bar{Z}_p^T} = 3.15 + j3.49\ \Omega$$

$$\dot{I}_E = \frac{\dot{E}_1}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_{eq}} = 8.1 + j2.01\ A; \quad \dot{V}_{AB} = \bar{Z}_{eq}\dot{I}_E = 18.5 + j34.6\ V$$

$$\bar{S}_E = 3\,\dot{E}_1\cdot\dot{I}_E^* = 1910.9 + j1981.5\ VA \quad P_E = 1910.9\ W$$

$$Q_E = 1981.5\ VAR$$

$$P_{fe}^T = 3\,G_m^T\,V_{AB}^2 = 39.57\ W$$

$$P_{fe}^A = 3\,G_m^A\,V_{AB}^2 = 8.67\ W$$