MACCHINE ELETTRICHE	**22 gennaio 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($V_{1n} = 6$ kV, $V_{2n} = 400$ V), alimentato alla tensione nominale, eroga una potenza attiva $P_{eA} = 40$ kW e reattiva $Q_{eA} = 30$ kVAR, assorbendo una corrente $I_{1A} = 5.42$ A. Il rendimento in tale condizione di carico vale $\eta_A = 97.5\%$.

Sapendo che, alimentato alla tensione nominale, il trasformatore assorbe a vuoto una corrente $I_0 = 0.68$ A ed una potenza attiva $P_0 = 400$ W, determinare:

- l'impedenza di ciascuna fase del carico (assumendo il collegamento a stella) $\dot{\boldsymbol{Z}}_{eA} = R_{eA} + j\,X_{eA}$;
- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R', X';
- la variazione **esatta** di tensione da vuoto a carico Δv_A espressa in valore relativo;

Supponendo poi che il trasformatore, sempre alimentato alla tensione nominale, alimenti un carico puramente resistivo con resistenza di una fase pari a $R_{eB} = Z_{eA}$, determinare i valori corrispondenti della variazione **esatta** di tensione da vuoto a carico Δv_B e del rendimento η_B.

TEORIA

1) Regolazione della velocità nella macchina asincrona con resistenze rotoriche addizionali e variazione del numero dei poli.

2) Diagramma di Potier.

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Soluzione

Potenza assorbita e fattore di potenza

$P_{1A} := \frac{P_{eA}}{\eta_A} = 41.03\ kW$ $\varphi_{1A} := \operatorname{acos}\left(\frac{P_{1A}}{\sqrt{3}\cdot I_{1A}\cdot V_{1n}}\right) = 43.25\ °$ $I_{1A} := I_{1A}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1A}} = (3.95 - 3.71\cdot i)\ A$

Corrente a vuoto (vettore)

$\varphi_0 := \operatorname{acos}\left(\frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0}\right) = 86.76\ °$ $I_0 := I_0\cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.04 - 0.68\cdot i)\ A$

Corrente secondaria riportata al primario (vettore)

$I_{12A} := I_{1A} - I_0 = (3.91 - 3.03\cdot i)\ A$ $\left|I_{12A}\right| = 4.95\ A$

Impedenza di carico

$X_{1eA} := \frac{Q_{eA}}{3\cdot\left(\left|I_{12A}\right|\right)^2} = 408.29\ \Omega$ $R_{1eA} := \frac{P_{eA}}{3\cdot\left(\left|I_{12A}\right|\right)^2} = 544.39\ \Omega$ $K := \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 15$

$Z_{1eA} := R_{1eA} + i\cdot X_{1eA} = (544.39 + 408.29\cdot i)\ \Omega$ $Z_{eA} := \frac{Z_{1eA}}{K^2} = (2.42 + 1.81\cdot i)\ \Omega$ $\varphi_{eA} := \operatorname{atan}\left(\frac{Q_{eA}}{P_{eA}}\right) = 36.87\ °$

Parametri del ramo derivato

$Z_0 := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\left|I_0\right|} = 5.0943\ k\Omega$ $R_0 := \frac{Z_0}{\cos(\varphi_0)} = 90\ k\Omega$ $X_0 := \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 5.1024\ k\Omega$

Impedenza di cortocircuito e parametri del ramo serie

$Z_{1cc} + Z_{1eA} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}}$ $Z_{1cc} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} - Z_{1eA} = (8.51 + 20.95\cdot i)\ \Omega$

$R' := \operatorname{re}(Z_{1cc}) = 8.51\ \Omega$ $X' := \operatorname{im}(Z_{1cc}) = 20.95\ \Omega$

Parametri del ramo serie (metodo alternativo)

$P_{epA} := P_{1A} - P_{eA} - P_0 = 625.64\ W$ $R' := \frac{P_{epA}}{3\cdot\left(\left|I_{12A}\right|\right)^2} = 8.51\ \Omega$ $Z_{12} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\left|I_{12A}\right|} = 699.96\ \Omega$

$\sqrt{\left(R' + R_{1e}\right)^2 + \left(X' + X_{1e}\right)^2} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = Z_{12}$ $X' := \sqrt{Z_{12}^2 - \left(R' + R_{1eA}\right)^2} - X_{1eA} = 20.95\ \Omega$

Variazione relativa di tensione da vuoto a carico

$P_{aA} := \sqrt{P_{eA}^2 + Q_{eA}^2} = 50\ kVA$ $\sqrt{3}\cdot V_{12A}\cdot\left|I_{12A}\right| = P_{aA}$ $V_{12A} := \frac{P_{aA}}{\sqrt{3}\cdot\left|I_{12A}\right|} = 5833.04\ V$

$\Delta v_A := \frac{V_{1n} - V_{12A}}{V_{1n}} = 2.78\ \%$

Variazione relativa di tensione da vuoto a carico (relazione approssimata)

$\Delta V'_{12A} := \sqrt{3}\cdot\left|I_{12A}\right|\cdot\left(R'\cdot\cos(\varphi_{eA}) + X'\cdot\sin(\varphi_{eA})\right) = 166.13\ V$ $\Delta v'_A := \frac{\Delta V'_{12A}}{V_{1n}} = 2.77\ \%$

Corrente secondaria al primario ed assorbita con impedenza puramente resistiva

$Z_{1eB} := |Z_{1eA}| = 680.49\ \Omega$

$$I_{12B} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot(Z_{1cc} + Z_{1eB})} = (5.02 - 0.15\cdot i)\ A$$

$I_{1B} := I_0 + I_{12B} = (5.06 - 0.83\cdot i)\ A$

Variazione relativa di tensione con impedenza puramente resistiva

$V_{12B} := \sqrt{3}\cdot Z_{1eB}\cdot|I_{12B}| = 5.9231\ kV$

$$\Delta v_B := \frac{V_{1n} - V_{12B}}{V_{1n}} = 1.28\ \%$$

Variazione relativa di tensione con impedenza puramente resistiva (approssimata)

$\Delta V'_{12B} := \sqrt{3}\cdot|I_{12B}|\cdot R' = 74.11\ V$

$$\Delta v'_B := \frac{\Delta V'_{12B}}{V_{1n}} = 1.24\ \%$$

Potenze attive erogata ed assorbita e rendimento con impedenza puramente resistiva

$P_{eB} := 3\cdot Z_{1eB}\cdot(|I_{12B}|)^2 = 51.556\ kW$

$P_{1B} := \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot re(I_{1B}) = 52.601\ kW$

$$\eta_B := \frac{P_{eB}}{P_{1B}} = 98.01\ \%$$

MACCHINE ELETTRICHE	**1 febbraio 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con le seguenti caratteristiche:

Tensione nominale V_{1n} = 240 V	Numero poli $2p$ = 4	Frequenza f = 60 Hz
Avvolgimenti di statore collegati a **triangolo**	Resistenza di una fase di statore $R_{1\Delta}$ = 1.2 Ω	

funziona in condizioni nominali alla velocità n_n=1737 giri/min, assorbendo una corrente I_{1n}=12.65 A. In fase di collaudo è stato sottoposto ad una serie di prove che hanno fornito i seguenti dati:

Tipo prova	*Grandezza*	*Valore*
A vuoto	Potenza assorbita	P_0 = 350 W
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	V_{1cc} = 120 V
	Potenza assorbita	P_{1cc} = 1.87 kW
	Coppia	C_{acc} = 4.9 Nm

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato (collegamento a stella) R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- il fattore di potenza della corrente assorbita ed il rendimento nel funzionamento nominale;
- i rapporti (coppia massima)/(coppia nominale) e (coppia di avviamento)/(coppia nominale), quando è alimentato alla tensione nominale.

TEORIA

1) Trasformatore a bobine concentriche: sollecitazioni elettrodinamiche
2) Generatore a corrente continua: f.e.m. a vuoto alle spazzole

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$V_{1n} = 240\ V$, $f = 60$ Hz , $2p = 4$, $n_n = 1737$ giri/min , $\mathrm{I}_{1n} = 12.65$ A , $R_{1\Delta} = 1.2\ \Omega$, $P_0 = 350\ W$

$V_{1cc} = 120\ V$, $C_{acc} = 4.9$ Nm , $P_{1cc} = 1.87$ kW

Soluzione

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$\Omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 188.5\ s^{-1}$ $n_0 = \frac{60\ f}{p} = 1800\ \frac{\text{giri}}{\text{min}}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 0.035$

$\Omega_n = (1 - s_n) \cdot \Omega_0 = 181.9\ s^{-1}$

Resistenza di una fase di statore a stella

$R_1 = \frac{R_{1\Delta}}{3} = 0.4\ \Omega$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO

Perdite negli avvolgimenti e potenza trasmessa

$P_{epcc} = P_{1cc} - P_0 \cdot \left(\frac{V_{1cc}}{V_{1n}}\right)^2 = 1782.5W$ $P_{tcc} = C_{acc} \cdot \Omega_0 = 923.63W$

Perdite di statore e corrente di rotore

$P_{ep1cc} = P_{epcc} - P_{tcc} = 858.87\ W$ $\mathrm{I}_{12cc} = \sqrt{\frac{P_{ep1cc}}{3 \cdot R_1}} = 26.75$ A

Resistenza di rotore e reattanza di dispersione

$R_{12} = \frac{P_{tcc}}{3 \cdot \mathrm{I}_{12cc}^{\ 2}} = 0.43\ \Omega$ $X = \sqrt{\frac{V_{1cc}^{\ 2}}{3 \cdot \mathrm{I}_{12cc}^{\ 2}} - (R_1 + R_{12})^2} = 2.45\ \Omega$

ANALISI IN CONDIZIONI NOMINALI

Impedenza di fase e corrente di rotore

$Z_{fn} = \sqrt{\left(\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2\right)} = 12.93\ \Omega$ $\mathrm{I}_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{fn}} = 10.72$ A

$\varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1}\right) = 10.94°$ $\mathrm{I}_{12n} = \mathrm{I}_{12n} \cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{i} \cdot \varphi_{12n}} = (10.53 - 2.03 \cdot \mathrm{i})$ A

Potenza erogata ed assorbita

$P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot \frac{1 - s_n}{s_n} \cdot (|\mathrm{I}_{12n}|)^2 = 4089.2\ W$ $P_{1n} = 3 \cdot \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right) \cdot (|\mathrm{I}_{12n}|)^2 + P_0 = 4725.4\ W$

Corrente assorbita

$\cos\varphi_{1n} = \frac{P_{1n}}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot \mathrm{I}_{1n}} = 0.9$ $\varphi_{1n} = \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 26.02°$

$\mathrm{I}_{1n} = \mathrm{I}_{1n} \cdot e^{-\mathrm{i} \cdot \varphi_{1n}} = (11.37 - 5.55 \cdot \mathrm{i})$ A

Corrente a vuoto e parametri

$\mathrm{I}_0 = \mathrm{I}_{1n} - \mathrm{I}_{12n} = (0.84 - 3.52 \cdot \mathrm{i})$ A $\varphi_0 = -\arg(\mathrm{I}_0) = 76.53°$

$R_0 = \frac{V_{1n}^{\ 2}}{P_0} = 164.57\ \Omega$ $X_0 = \frac{R_0}{\tan\varphi_0} = 39.42\ \Omega$

Rendimento e coppia nominale

$\eta_n = \frac{P_n}{P_{1n}} = 0.87$ $C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 22.48$ Nm

Coppia di avviamento a V_1=V_{1n}

$I_{12ccn} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R_1+R_{12})^2+X^2}} = 53.51$ A $C_{an} = \frac{3\cdot R_{12}\cdot I_{12ccn}{}^2}{\Omega_0} = 19.6$ Nm

Coppia massima a V_1=V_{1n}

$Z = \sqrt{R_1{}^2 + X^2} = 2.49\ \Omega$ $C_M = \frac{V_{1n}{}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot(R_1+Z)} = 52.95$ Nm

Rapporti di coppia

$\frac{C_{an}}{C_n} = 0.87$ $\frac{C_M}{C_n} = 2.36$

MACCHINE ELETTRICHE	**24 febbraio 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase con collegamento Dyn11 sono note le seguenti caratteristiche:

Potenza nominale	$P_n = 60\ kVA$	
Tensione nominale primaria e secondaria	$V_{1n} = 1\ kV$	$V_{2n} = 400\ V$
Potenza e corrente a vuoto	$P_0 = 970\ W$	$I_0 = 3.5\ A$
Resistenze di una fase primaria e secondaria	$R_{1\Delta} = 0.47\ \Omega$	$R_{2y} = 23\ m\Omega$

Il trasformatore, alimentato alla tensione nominale e caricato al secondario con tre impedenze uguali collegate a stella di valore $\dot{\boldsymbol{Z}}_e = 2.871\ \Omega\angle 31.79°$, funziona con grado di carico $\alpha = 0.9$. Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare

- la resistenza e la reattanza di cortocircuito R' e X';
- i valori relativi di variazione di tensione, tensione di corto circuito e caduta di tensione interna;
- la corrente assorbita in modulo e fase;
- il rendimento.

TEORIA

1) Forza magnetomotrice prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto trifase.

2) Circuito equivalente di una fase della macchina asincrona: definizione e significato dei parametri e passaggio al circuito equivalente semplificato.

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati d'ingresso

$P_n = 60\text{kVA}$ $V_{1n} = 1\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $P_0 = 970W$ $\text{I}_0 = 3{,}5\text{A}$

$R_{1\Delta} = 0{,}47\Omega$ $R_{2y} = 0{,}023\Omega$ $\alpha = 0{,}9$ $Z_e = 2{,}871\Omega$ $\varphi_e = 31{,}79°$

Soluzione

Rapporto di trasformazione e corrente nominale

$k = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 2{,}5$ $\text{I}_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{(3)}\cdot V_{1n}} = 34{,}641\text{A}$ $\frac{17{,}9464\Omega}{k^2} = 2{,}8714\Omega$

Resistenza di cortocircuito

$\frac{R_{1\Delta}}{3} = 0{,}1567\Omega$ $R_{12} = k^2 \cdot R_{2y} = 0{,}14\Omega$ $\text{R}' = \frac{R_{1\Delta}}{3} + R_{12} = 0{,}3\Omega$

Corrente erogata, tensione ai morsetti e impedenza di carico riportate al primario

$\text{I}_{12} = \alpha \cdot \text{I}_{1n} = 31{,}18\text{A}$ $Z_{1e} = k^2 \cdot Z_e = 17{,}9438\Omega$ $V_{12} = \sqrt{(3)} \cdot Z_{1e} \cdot \text{I}_{12} = 968{,}9625V$

$R_{1e} = Z_{1e} \cdot \cos(\varphi_e) = 15{,}2519\Omega$ $X_{1e} = Z_{1e} \cdot \sin(\varphi_e) = 9{,}4529\Omega$

Variazione di tensione relativa da vuoto a carico

$$\Delta\text{v}_{12} = \frac{V_{1n} - V_{12}}{V_{1n}} = 3{,}1038\%$$

Impedenza totale, reattanza ed impedenza di corto circuito

$$Z_{1t} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot \text{I}_{12}} = 18{,}52\Omega$$

$$Z_{1t} = \sqrt{(\text{R}' + R_{1e})^2 + (\text{X}' + X_{1e})^2} \qquad (\text{X}' + X_{1e}) = \sqrt{{Z_{1t}}^2 - (\text{R}' + R_{1e})^2}$$

$$\text{X}' = \sqrt{({Z_{1t}}^2 - (\text{R}' + R_{1e})^2)} - X_{1e} = 0{,}6\Omega \quad Z_{1cc} = \text{R}' + \text{i} \cdot \text{X}' = (0{,}3004 + 0{,}6 \cdot \text{i})\Omega$$

$$Z_{1t} = (\text{R}' + R_{1e}) + \text{i} \cdot (\text{X}' + X_{1e}) = (15{,}5523 + 10{,}0529 \cdot \text{i})\Omega$$

Tensione di corto circuito e caduta di tensione interna

$v_{cc} = \frac{\sqrt{3}\cdot|Z_{1cc}|\cdot\text{I}_{1n}}{V_{1n}} = 4{,}026\%$ $\Delta\text{v}_{Z1cc} = \frac{\sqrt{3}\cdot|Z_{1cc}|\cdot\text{I}_{12}}{V_{1n}} = 3{,}6234\%$

Corrente di carico (fasore)

$\varphi_{1t} = \arg(Z_{1t}) = 32{,}88°$ $\text{I}_{12} = \text{I}_{12} \cdot \text{e}^{-\text{i}\cdot\varphi_{1t}} = (26{,}18 - 16{,}92 \cdot \text{i})\text{A}$

Corrente a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot \text{I}_0} = 0{,}16$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 80{,}79°$ $\text{I}_0 = \text{I}_0 \cdot \text{e}^{-\text{i}\cdot\varphi_0} = (0{,}56 - 3{,}45 \cdot \text{i})\text{A}$

Corrente e potenza assorbita

$\text{I}_1 = \text{I}_{12} + \text{I}_0 = (26{,}74 - 20{,}38 \cdot \text{i})\text{A}$ $\text{I}_1 = |\text{I}_1| = 33{,}62\text{A}$ $\varphi_1 = -\arg(\text{I}_1) = 37{,}31°$

$P_1 = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |\text{I}_1| \cdot \cos(\varphi_1) = 46{,}32\text{kW}$

Rendimento

$P_e = 3 \cdot R_{1e} \cdot (|\text{I}_{12}|)^2 = 44474{,}58\text{W}$ $\eta = \frac{P_e}{P_1} = 96{,}01\%$

CALCOLO CON FORMULA APPROSSIMATA DELLA VARIAZIONE DI TENSIONE

Impedenza totale, reattanza ed impedenza di corto circuito

$\Delta V_{12} = V_{1n} - V_{12} = 31{,}0375V \qquad \Delta V_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot (R' \cdot \cos(\varphi_e) + X' \cdot \sin(\varphi_e))$

$X' \cdot \sin(\varphi_e) = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3} \cdot I_{12}} - R' \cdot \cos(\varphi_e) \quad X' = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3} \cdot |I_{12}|} / \sin(\varphi_e) = 0{,}6063\Omega$

$Z_{1cc} = R' + i \cdot X' = (0{,}3004 + 0{,}6063 \cdot i)\Omega$

$Z_{1t} = (R' + R_{1e}) + i \cdot (X' + X_{1e}) = (15{,}5523 + 10{,}0592 \cdot i)\Omega$

Variazione di tensione relativa da vuoto a carico

$$\Delta v_{12} = \frac{V_{1n} - V_{12}}{V_{1n}} = 3{,}1038\%$$

Tensione di corto circuito e caduta di tensione interna

$v_{cc} = \frac{\sqrt{(3)} \cdot |Z_{1cc}| \cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4{,}06\% \quad \Delta v_{Z1cc} = \frac{\sqrt{(3)} \cdot |Z_{1cc}| \cdot |I_{12}|}{V_{1n}} = 3{,}654\%$

Corrente di carico (fasore)

$\varphi_{1t} = \arg(Z_{1t}) = 32{,}89° \qquad I_{12} = |I_{12}| \cdot e^{-i \cdot \varphi_{1t}} = (26{,}18 - 16{,}93 \cdot i)A$

Corrente a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_0|} = 0{,}16 \quad \varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 80{,}79° \quad I_0 = |I_0| \cdot e^{-i \cdot \varphi_0} = (0{,}56 - 3{,}45 \cdot i)A$

Corrente e potenza assorbita

$I_1 = I_{12} + I_0 = (26{,}74 - 20{,}39 \cdot i)A \qquad I_1 = |I_1| = 33{,}62A \quad \varphi_1 = -\arg(I_1) = 37{,}32°$

$P_1 = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_1| \cdot \cos(\varphi_1) = 4631kW$

Rendimento

$P_e = 3 \cdot R_{1e} \cdot (|I_{12}|)^2 = 44474{,}58W \qquad \eta = \frac{P_e}{P_1} = 96{,}03\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**30 giugno 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con le seguenti caratteristiche:

Tensione nominale V_{1n} = 380 V	Numero poli $2p$ = 4	Frequenza f = 50 Hz
Corrente a vuoto I_0 = 30 A	Perdite a vuoto P_0 = 1.8 kW	

funziona in condizioni nominali alla velocità n_n=1455 giri/min. Quando il motore, alimentato alla tensione nominale, produce la coppia massima, si ottengono i seguenti dati:

Grandezza	*Valore*	*Grandezza*	*Valore*
Potenza meccanica	P_M = 115 kW	Corrente assorbita	I_{1M} = 340 A
Velocità	n_M = 1250 giri/min	Fattore di potenza	$\cos\varphi_{1M}$ = 0,74

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- la corrente assorbita I_1 ed il rendimento η nel funzionamento nominale;
- la coppia C' sviluppata alla velocità n_n se la tensione di alimentazione diventa $V'_1 = 0.9 \cdot V_{1n}$.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: calcolo della reattanza di dispersione di un trasformatore a bobine concentriche
2) Macchina sincrona trifase a rotore liscio in parallelo alla rete: funzionamento in modalità sopra- e sotto-eccitata senza scambio di potenza attiva

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$V_{1n} = 380\ V, f = 50\ \text{Hz}, p = 2\ , n_n = 1455\ \text{giri/min}\ , P_0 = 1800\ W, \text{I}_0 = 30\ \text{A}, P_M = 115\ \text{kW}$

$\text{I}_{1M} = 340\ \text{A}, \cos\varphi_{1M} = 0.74, n_M = 1250\ \text{giri/min}\ , \alpha = V_1'/V_{1n} = 0.9$

Soluzione

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 157.08\ s^{-1}\quad n_0 = 1500\ \text{giri/min}\quad s_n = 1 - \frac{n_n}{n_0} = 3\%\quad \Omega_n = (1 - s_n)\cdot\Omega_0 = 1455\text{giri/min}$

Parametri a vuoto

$R_0 = \frac{V_{1n}{}^2}{P_0} = 80.22\Omega\quad \text{I}_a = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot R_0} = 2.73\text{A}\quad \text{I}_\mu = \sqrt{\text{I}_0{}^2 - \text{I}_a{}^2} = 29.88\text{A}\quad X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot \text{I}_\mu} = 7.34\Omega$

$\varphi_0 = \arctan\left(\frac{R_0}{X_0}\right) = 84.77°\quad \bar{I}_0 = \text{I}_0\cdot e^{(-i\cdot\varphi_0)} = (2.735 - 29.875\cdot i)\ \text{A}$

CALCOLO DEI PARAMETRI

Funzionamento a coppia massima

$s_M = 1 - \frac{n_M}{n_0} = 16.67\%\quad \varphi_{1M} = \cos^{-1}(\cos\varphi_{1M}) = 42.27°\quad \bar{\text{I}}_{1M} = \text{I}_{1M}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1M}} = (251.6 - 228.7\cdot i)\text{A}$

$\bar{\text{I}}_{12M} = \bar{\text{I}}_{1M} - \bar{\text{I}}_0 = (248.87 - 198.81\cdot i)\text{A}\quad \text{I}_{12M} = 318.53\text{A}\quad \Omega_M = 130.9 s^{-1}\quad C_M = \frac{P_M}{\Omega_M} = 878.53\text{Nm}$

Resistenza di rotore e impedenza

$R_{12} = \frac{C_M\cdot s_M\cdot\Omega_0}{3\cdot \text{I}_{12M}{}^2} = 0.076\Omega\quad Z = \frac{R_{12}}{s_M} = 0.453\Omega$

Resistenza di statore e reattanza di dispersione

$C_M = \frac{V_{1n}{}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot(R_1+Z)} \Rightarrow R_1 = \frac{V_{1n}{}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot C_M} - Z = 0.07\Omega\quad X = \sqrt{Z^2 - R_1{}^2} = 0.448\Omega$

ANALISI IN CONDIZIONI NOMINALI

Correnti di rotore e di statore

$\text{I}_{12} = \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2}} = 83.512\text{A}\quad \varphi_{12} = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R_1}\right) = 9.82°\quad \bar{\text{I}}_{12} = \text{I}_{12}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12}} = (82.29 - 14.24\cdot i)\text{A}$

$\bar{\text{I}}_1 = \bar{\text{I}}_0 + \bar{\text{I}}_{12} = (85.02 - 44.12\cdot i)\text{A}\quad \text{I}_1 = 95.79\text{A}\quad \cos\varphi_1 = \cos(\arg(\bar{\text{I}}_1)) = 0.888$

Potenza e rendimento

$P_1 = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot \text{I}_1\cdot\cos\varphi_1 = 55961.1W\quad P_n = \frac{3\cdot R_{12}\cdot(1-s_n)}{s_n}\cdot \text{I}_{12}{}^2 = 51120W\quad \eta = \frac{P_n}{P_1} = 91.35\%$

Coppia a tensione ridotta

$C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 335.5\text{Nm}\quad C' = \alpha^2\cdot C_n = 271.76\text{Nm}$

MACCHINE ELETTRICHE	**19 luglio 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase ($2p$ = 2, f = 50 Hz, V_{1n}=380 V, collegamento fasi di statore a stella) presenta le seguenti caratteristiche nominali:

Potenza P_n = 4 kW	Velocità n_n =2897 giri/min	Rendimento η = 0.868

Da una prova volt-amperometrica tra i morsetti A e B di due fasi di statore, si è misurata una resistenza R_{AB}=2.7 Ω. Inoltre, sempre alimentato alla tensione $V_{1n,}$ fornisce i seguenti dati:

funzionamento a vuoto	*funzionamento a coppia massima*	
Potenza assorbita P_0 = 321 W	Corrente assorbita I_{1M} = 27.81 A	Fattore di potenza $\cos\varphi_{1M}$ =0.74
	Rapporto coppia max/coppia nom. $\rho_M=C_M/C_n$=2.5	

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- i parametri R_1, R_{12}, X, R_0 ed X_0;
- la corrente assorbita I_{1n} ed il fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$ nel funzionamento nominale.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: relazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento a carico
2) Macchina sincrona trifase: f.e.m. indotta a vuoto in una fase di statore

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$2p = 2$	$f = 50$ Hz	V_{1n}=380 V	$P_n = 4$ kW	n_n=2897 giri/min $\eta = 0.868$
R_{AB}=2.7 Ω	$P_0 = 321$ W			
$I_{1M} = 27.81$ A	$\cos\varphi_{1M} = 0.74$	$\rho_M = C_M/C_n = 2.5$		

Soluzione

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 314{,}16 s^{-1} = 3000\text{rpm}$ $\Omega_n = n_n = 303{,}37 s^{-1}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 3{,}43\%$

Coppia nominale e massima

$C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 13{,}19\text{Nm}$ $C_M = \rho_M \cdot C_n = 32{,}96\text{Nm}$

Resistenza di statore e reattanza

$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = 1{,}35\Omega$ $C_M = \frac{V_{1n}{}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot(R_1+Z)}$ $Z = \frac{V_{1n}{}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot C_M} - R_1 = 5{,}62\Omega$ $X = \sqrt{Z^2 - R_1{}^2} = 5{,}46\Omega$

Analisi in condizioni nominali

$P_{1n} = \frac{P_n}{\eta} = 4{,}61\text{Kw}$ $P_{ep} = P_{1n} - P_0 - P_n = 287{,}29W$ $P_{ep2} = P_n \cdot \frac{s_n}{1-s_n} = 142{,}22W$

$P_{ep1} = P_{ep} - P_{ep2} = 145{,}08W$ $I_{12n} = \sqrt{\frac{P_{ep1}}{3\cdot R_1}} = 5{,}99A$ $R_{12} = \frac{P_{ep2}}{3\cdot I_{12n}{}^2} = 1{,}32\Omega$

oppure: $P_{tn} = C_n\Omega_0 = \frac{P_n}{(1-s_n)} = 4{,}14\text{Kw}$ da cui: $P_{ep2} = P_{tn} - P_n = 142{,}22W$ e poi come sopra...

o anche: $P_{ep1} = P_{1n} - P_0 - P_{tn} = 145{,}08W$ e così via ...

Analisi a coppia massima

$s_M = \frac{R_{12}}{Z} = 0{,}24$ $\boldsymbol{I}_{12\text{M}} = \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{\left(R_1+\frac{R_{12}}{s_M}\right)+i\cdot X} = (19{,}51 - 15{,}27\cdot i)A$ $\varphi_{12\text{M}} = \arctan\left(\frac{X}{R_1+\frac{R_{12}}{s_M}}\right) = 38{,}05°$

$\varphi_{1M} = \arccos(\cos\varphi_{1\text{M}}) = 42{,}27°$ $\boldsymbol{I}_{1M} = I_{1M}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1M}} = (20{,}58 - 18{,}71\cdot i)A$

altro modo di calcolare I_{12M}: $I_{12M} = \sqrt{\frac{C_M\cdot\Omega_0\cdot s_M}{3\cdot R_{12}}} = 24{,}78A$ $\varphi_{12\text{M}} = \arctan\left(\frac{X}{R_1+\frac{R_{12}}{s_M}}\right) = 38{,}05°$ $\boldsymbol{I}_{12M} = I_{12M}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12M}} = (19{,}51 - 15{,}27\cdot i)A$

Corrente e parametri a vuoto

$\boldsymbol{I}_0 = \boldsymbol{I}_{1M} - \boldsymbol{I}_{12M} = (1{,}07 - 3{,}43\cdot i)A$ $|\boldsymbol{I}_0| = 3{,}59A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_0|} = 0{,}14$

$Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot|\boldsymbol{I}_0|} = 61{,}04\Omega$ $R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 449{,}84\Omega$ $X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\arccos(\cos\varphi_0))} = 61{,}61\Omega$

Corrente assorbita in condizioni nominali

$\varphi_{12\text{n}} = \arctan\left(\frac{X}{R_1+\frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 7{,}79°$ $\boldsymbol{I}_{12n} = I_{12n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12n}} = (5{,}93 - 0{,}81\cdot i)A$

$\boldsymbol{I}_{1\text{n}} = \boldsymbol{I}_{12\text{n}} + \boldsymbol{I}_0 = (7 - 4{,}24\cdot i)A$ $|\boldsymbol{I}_{1n}| = 8{,}18A$ $\varphi_{1\text{n}} = -\arg(\boldsymbol{I}_{1n}) = 31{,}23°$

MACCHINE ELETTRICHE	**29 agosto 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 160$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV), alimentato alla tensione nominale, eroga una potenza apparente $P_{aA} = 100$ kVA ad un carico avente fattore di potenza $cos\varphi_A = 0.8$. In tale condizione la variazione di tensione da vuoto a carico risulta Δv_A=2.4% ed il rendimento $\eta_A = 97.2\%$.

Sapendo che i valori percentuali della corrente e della potenza assorbite a vuoto sono rispettivamente $i_{0\%} = 2.7\%$ e $p_{0\%} = 0.68\%$, determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R', X';
- la caduta di tensione interna $\Delta v_{ZccA\%}$ e di corto circuito $v_{cc\%}$ in percentuale;
- la corrente assorbita I_{1A} ed il fattore di potenza $cos\varphi_{1A}$.

Supponendo poi che l'impedenza del carico rimanga invariata, si determini:

- il valore della tensione di alimentazione V_{1B} richiesto perché il trasformatore lavori con un grado di carico $\alpha_B = 0.66$;
- il valore di rendimento η_B corrispondente a tale condizione di esercizio.

TEORIA

1) Potenze e coppia della macchina asincrona trifase: considerazioni nel funzionamento per s<0 e per s>1.
2) Generatore a corrente continua: effetti della reazione di indotto sulla distribuzione dell'induzione al traferro e sul flusso.

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$P_n = 160\text{kVA}$ $V_{1n} = 15\text{kV}$ $p_0 = 0.68\%$ $i_0 = 2.7\%$

$P_{aA} = 100\text{kVA}$ $\cos\varphi_A = 0.8$ $\eta_A = 97.2\%$ $\Delta v_A = 2.4\%$ $\alpha_B = 0.66$

Soluzione

Funzionamento nominale

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 6.158A$ $P_0 = p_0 \cdot P_n = 1088W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.166A$

Parametri a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.252$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 75.413°$

$I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.042 - 0.161\cdot i)A$ $I_a = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot R_0} = 0.042A$ $I_\mu = \sqrt{(|I_0|)^2 - {I_a}^2} = 0.161A$

$X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 53.82\text{k}\Omega$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 206.8\text{k}\Omega$

Funzionamento a carico (A)

$P_A = P_{aA}\cdot\cos\varphi_A = 80\text{kW}$ $\sin\varphi_A = \sqrt{1-\cos{\varphi_A}^2} = 0.6$ $\Delta V_{12A} = \Delta v_A \cdot V_{1n} = 360V$

$V_{12A} = V_{1n} - \Delta V_{12A} = 14640V$ $I_{12A} = \frac{P_{aA}}{\sqrt{3}\cdot V_{12A}} = 3.944A$ $\alpha_A = \frac{I_{12A}}{I_{1n}} = 0.64$

$P_{1A} = \frac{P_A}{\eta_A} = 82.305\text{kW}$ $P_{epA} = P_{1A} - P_0 - P_A = 1216.53W$

Calcolo parametri

$R' = \frac{P_{epA}}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 26.074\Omega$ $X' = \frac{\Delta V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}\cdot\sin\varphi_A} - R'\cdot\frac{\cos\varphi_A}{\sin\varphi_A} = 53.075\Omega$

Cadute di tensione

$Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 59.13\Omega$ $v_{cc\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4.205\%$ $\Delta v_{ZccA\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{12A}}{V_{1n}} = 2.693\%$

Parametri del carico

$R_{1A} = \frac{P_A}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 1714.64\Omega$ $X_{1A} = \frac{P_{aA}\cdot\sin\varphi_A}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 1285.98\Omega$ $\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{X\prime + X_{1A}}{R\prime + R_{1A}}\right) = 37.57\text{deg}$

Corrente assorbita

$I_{12A} = I_{12A}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12A}} = (3.126 - 2.405\cdot i)A$ $I_{1A} = I_{12A} + I_0 = (3.168 - 2.565\cdot i)A$ $\cos\varphi_{1A} = 0.777$

Funzionamento a carico (B)

$\rho_{AB} = \frac{\alpha_B}{\alpha_A} = 1.031$ rapporto tra correnti erogate nel caso B ed A

Trattandosi di un carico lineare, la tensione di alimentazione deve variare proporzionalmente alla corrente e quindi:

$V_{1B} = \rho_{AB}\cdot V_{1n} = 15459.84V$ tensione di alimentazione nel caso B

$v_{1B} = \rho_{AB} = 1.031$ " " " " " " (valore relativo)

$v_{2B} = v_{1B} = 1.031$ tensione sul carico nel caso B (valore relativo; si applichi il principio del partitore di tensione)

$P_B = v_{1B}\cdot\rho_{AB}\cdot P_A = 84.98\text{kW}$ potenza attiva erogata nel caso B

$\eta_B = \frac{P_B}{P_B + {\rho_{AB}}^2\cdot P_{epA} + {v_{1B}}^2\cdot P_0} = 97.2\%$ rendimento nel caso B

Si osservi che, essendo: $P_B = {\rho_{\mathrm{AB}}}^2 \cdot P_A \qquad v_{1\mathrm{B}} = \rho_{\mathrm{AB}}$

e quindi:

$$\eta_B = \frac{{\rho_{\mathrm{AB}}}^2 \cdot P_A}{{\rho_{\mathrm{AB}}}^2 \cdot P_A + {\rho_{\mathrm{AB}}}^2 \cdot P_{\mathrm{epA}} + {v_{1\mathrm{B}}}^2 \cdot P_0} = \frac{P_A}{P_A + P_{\mathrm{epA}} + P_0} = \eta_A$$

MACCHINE ELETTRICHE	**21 settembre 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase a rotore avvolto ($2p$ = 6, f = 50 Hz, V_{1n}=380 V) presenta le seguenti caratteristiche nominali:

Potenza P_n = 60 kW	Velocità n_n =961.8 giri/min
Corrente assorbita I_{1n} = 112.1 A	Fattore di potenza $cos\varphi_{1n}$ = 0.92

Alimentato alla tensione $V_{1n,}$ fornisce i seguenti dati:

funzionamento a vuoto	*funzionamento a rotore bloccato*
Corrente assorbita I_0 = 26.2 A	Corrente assorbita I_{1a} = 537 A
Potenza assorbita P_0 = 3315 W	Potenza assorbita P_{1a} = 123 kW

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- i parametri R_1, R_{12}, X, R_0 ed X_0;
- i rapporti C_a/C_n (coppia di avviamento)/(coppia nominale) e C_M/C_n (coppia di massima)/(coppia nominale)
- la resistenza addizionale R_{12a} riportata allo statore da inserire attraverso gli anelli rotorici per ottenere la coppia massima alla velocità n'_M=500 giri/min.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: funzionamento in parallelo.
2) Macchina sincrona a poli sporgenti: definizione delle grandezze e costruzione del diagramma delle due reattanze.

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$P_n = 60\ \text{kW}$ $V_{1n} = 380\ V$ $f = 50\ \text{Hz}$ $p = 3$ $I_{1n} = 112.1\ \text{A}$ $\cos\varphi_{1n} = 0.92$

$n_n = 962\ \text{rpm}$ $I_0 = 26.3\text{A}$ $P_0 = 3315W$ $I_{1a} = 537\text{A}$ $P_a = 123\text{kW}$

Soluzione

Velocità di sincronismo e scorrimento

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 104.72s^{-1}$ $n_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 1000\text{rpm}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} = 3.8\%$

Parametri ramo derivato

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{(3)}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.192$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 78.96°$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{(3)}\cdot I_0} = 8.34\Omega$

$R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 43.56\Omega$ $X_0 = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0} = 8.5\Omega$ $I_0 = I_0\cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (5.04 - 25.81\cdot i)\text{A}$

Corrente di rotore riportata allo statore nel punto nominale

$\varphi_{1n} = \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 23.07°$ $I_{1n} = I_{1n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1n}} = (103.13 - 43.93\cdot i)\text{A}$

$I_{12n} = I_{1n} - I_0 = (98.1 - 18.12\cdot i)\text{A}$ $|I_{12n}| = 99.76\text{A}$ $\varphi_{12n} = -\arg(I_{12n}) = 10.47°$

Corrente di rotore riportata allo statore all'avviamento

$\varphi_{1a} = \arccos\left(\frac{P_a}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_{1a}}\right) = 69.63°$ $I_{1a} = I_{1a}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1a}} = (186.88 - 503.43\cdot i)\text{A}$

$I_{12a} = I_{1a} - I_0 = (181.84 - 477.62\cdot i)\text{A}$ $|I_{12a}| = 511.07\text{A}$ $\varphi_{12a} = -\arg(I_{12a}) = 69.16°$

Parametri X, R_1, R_{12}

$Z_{fa} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12a}} = (0.153 + 0.40\cdot i)\Omega$ $R' = \text{Re}(Z_{fa}) = 0.153\Omega$ $X = \text{Im}(Z_{fa}) = 0.4\Omega$

$R_{12} = \frac{P_n}{3\cdot|I_{12n}|^2}\cdot\frac{s_n}{1-s_n} = 79.39\text{m}\Omega$ $R_1 = R' - R_{12} = 73.35\text{m}\Omega$

oppure

$Z_{fn} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12n}} = (2.16 + 0.4\cdot i)\Omega$ $R_1 = \text{Re}(Z_{fn}) - \frac{R_{12}}{s_n} = 73.5\text{m}\Omega$ $X = \text{Im}(Z_{fn}) = 0.4\Omega$

Rapporti C_a/C_n e C_M/C_n

$C_n = \frac{P_n}{n_n} = 595.59\text{Nm}$ $C_a = \frac{3\cdot R_{12}\cdot|I_{12a}|^2}{\Omega_0} = 594.04\text{Nm}$ $\frac{C_a}{C_n} = 0.997$

$Z = \sqrt{({R_1}^2 + X^2)} = 0.406\Omega$ $C_M = \frac{{V_{1n}}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot(R_1+Z)} = 1437.21\text{Nm}$ $\frac{C_M}{C_n} = 2.413$

Resistenza addizionale riportata allo statore

$n'_M = 500\text{rpm}$ $s'_M = \frac{n_0 - n'_M}{n_0} = 50\%$ $s'_M = \frac{R_{12}+R_{12a}}{Z}$ $R_{12a} = s'_M\cdot Z - R_{12} = 0.124\Omega$

MACCHINE ELETTRICHE	**15 dicembre 2016**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

La prova a vuoto di un trasformatore trifase ($P_n = 50$ kVA, $V_{1n} = 6$ kV, $V_{2n} = 220$ V, $f = 50$ Hz) viene effettuata alimentando il secondario con tensione V_{2n}; in tali condizioni, la corrente e la potenza assorbite sono rispettivamente $I_{20} = 5.9$ A e $P_0 = 390$ W

Alimentando il primario del trasformatore alla tensione V_{1n} e collegando al secondario una terna di resistenze di valore R_e =1.635 Ω (collegamento a stella), il grado di carico risulta essere $\alpha_A = 0.58$ (condizione di carico *A*). Successivamente, sempre con alimentazione a tensione nominale, alla terna di resistenze viene aggiunta al secondario una terna di condensatori (sempre con collegamento a stella) di capacità C_e =730 μF; la corrente circolante nelle resistenze risulta ora I_{2BR} =76.9 A (condizione di carico *B*).

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato riferiti al primario R_0, X_0, R', X';
- la tensione corto circuito $v_{cc\%}$ in percentuale;
- la corrente assorbita, il fattore di potenza ed il rendimento nelle due condizioni di carico (rispettivamente I_{1A} e I_{1B}, $cos\varphi_{1A}$ e $cos\varphi_{1B}$, η_A e η_B).

TEORIA

1) Circuito equivalente semplificato della macchina asincrona: determinazione dei parametri in sede di collaudo.
2) Macchina sincrona a rotore liscio: diagramma polare.

RITIRATO |_| Firma _____

CORREZIONE PRIORITARIA (solo laureandi) |_| Sessione di laurea _____

Valutazione esercizio	1)_____
Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

Dati

$P_n = 50\text{kVA}$, $V_{1n} = 6\text{kV}$, $V_{2n} = 220V$, $f = 50\text{Hz}$, $I_{20} = 5.9\text{A}$, $P_0 = 390W$, $\alpha_A = 0.58$

$R_e = 1.635\Omega$, $C_e = 0.73\text{mF}$, $I_{2BR} = 76.9\text{A}$

Soluzione

Grandezze nominali

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 4.81\text{A}$, $k = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 27.27$, $I_{2n} = k \cdot I_{1n} = 131.22\text{A}$

Parametri a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{2n}\cdot I_{20}} = 0.173$, $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 80.01°$, $i_{0\%} = \frac{I_{20}}{I_{2n}} = 4.5\%$, $p_{0\%} = \frac{P_0}{P_n} = 0.78\%$

$Z_{20} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3}\cdot I_{20}} = 21.53\Omega$, $R_{20} = \frac{Z_{20}}{\cos\varphi_0} = 124.1\Omega$, $X_{20} = \frac{Z_{20}}{\sin\varphi_0} = 21.86\Omega$

$R_0 = k^2 \cdot R_{20} = 92.308\text{k}\Omega$, $X_0 = k^2 \cdot X_{20} = 16.259\text{k}\Omega$

Condizione di carico A

$I_{2A} = \alpha_A \cdot I_{2n} = 76.11\text{A}$, $V_{2A} = \sqrt{3} \cdot R_e \cdot I_{2A} = 215.52V$, $R'' = \frac{V_{2n} - V_{2A}}{\sqrt{3} I_{2A}} = 0.034\Omega$

Condizione di carico B

$X_c = -\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C_e} = -4.36\Omega$, $V_{2B} = \sqrt{3} \cdot R_e \cdot I_{2BR} = 217.773V$, $I_{2BC} = \frac{V_{2B}}{\sqrt{3}\cdot|X_c|} = 28.83\text{A}$

$I_{2B} = \sqrt{(I_{2BR}{}^2 + I_{2BC}{}^2)} = 82.128\text{A}$, $\varphi_{eB} = \arctan\left(\frac{R_e}{X_c}\right) = -20.55°$, $\alpha_B = \frac{I_{2B}}{I_{2n}} = 0.626$

$X'' = \frac{V_{2n} - V_{2B}}{\sqrt{3} I_{2B}\, sin\varphi_{eB}} - \frac{R''}{tan\varphi_{eB}} = 0.046\Omega$

Parametri R′ e X′ e tensione di c.c.

$R' = k^2 \cdot R'' = 25.26\Omega$ $X' = k^2 \cdot X'' = 34.22\Omega$

$Z_{1cc} = \sqrt{(R'^2 + X'^2)} = 42.53\Omega$ $v_{cc\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 5.91\%$

Correnti al primario (condizione A)

$\varphi_{12A} = \arctan(\frac{X''}{R''+R_e}) = 1.579°$, $I_{12A} = \frac{I_{2A}}{k} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12A}) = (2.789 - 0.077 \cdot i)\text{A}$

$I_0 = \frac{I_{20}}{k} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_0) = (0.038 - 0.213 \cdot i)\text{A}$, $I_{1A} = I_0 + I_{12A} = (2.827 - 0.29 \cdot i)\text{A}$, $|I_{1A}| = 2.842\text{A}$

Fattore di potenza e rendimento (condizione A)

$\cos\varphi_{1A} = \cos(\arg(I_{1A})) = 0.995$ $\eta_A = \frac{\sqrt{3}\cdot V_{2A}\cdot I_{2A}}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_{1A}|\cdot\cos\varphi_{1A}} = 0.967$

Impedenza equivalente serie (condizione B)

$Z_{eB} = \frac{V_{2B}}{\sqrt{3}\cdot I_{2B}} = 1.531\Omega$, $R_{eB} = Z_{eB} \cdot \cos(\varphi_{eB}) = 1.433\Omega$, $X_{eB} = Z_{eB} \cdot \sin(\varphi_{eB}) = -0.537\Omega$

Correnti al primario (condizione B)

$\varphi_{12B} = \arctan\left(\frac{X''+X_{eB}}{R''+R_{eB}}\right) = -18.52°$, $I_{12B} = \frac{I_{2B}}{k} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12B}) = (2.855 + 0.956 \cdot i)\text{A}$, $|I_{12B}| = 3.01\text{A}$

$I_{1B} = I_0 + I_{12B} = (2.893 + 0.743 \cdot i)A$, $|I_{1B}| = 2.987A$

Fattore di potenza e rendimento (condizione B)

$\cos\varphi_{1B} = \cos(\arg(I_{1B})) = 0.969$ *in anticipo*

$\eta_B = \frac{\sqrt{3}V_{2B}I_{2BR}}{\sqrt{3}V_{1n}\ cos\varphi_{1B}} = 0.964$