MACCHINE ELETTRICHE	**19 gennaio 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con $2p$=2 poli presenta i seguenti dati nominali:

Tensione V_{1n} = 400 V	Frequenza f = 50 Hz	Potenza P_n = 30 kW
Corrente I_n = 52 A	Fattore di potenza $\cos\varphi_n$ = 0.89	Velocità n_n = 2946 giri/min

Nella prova a vuoto il motore assorbe una corrente I_0 = **15.7 A** ed una potenza attiva P_0 = **860 W**. Il motore, alimentato alla tensione V' e ad una velocità n' = 2955 giri/min, sviluppa la potenza meccanica P'_m =23 kW.

Determinare
- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- la tensione di alimentazione V';
- la corrente assorbita I'_1, il corrispondente fattore di potenza $\cos\varphi'_1$ ed il rendimento η' del motore nelle condizioni di funzionamento a tensione V', potenza erogata P'_m e velocità nominale n'.

TEORIA

1) Macchina asincrona: determinazione dell'espressione della coppia elettromagnetica e tracciamento della caratteristica meccanica con individuazione dei punti notevoli.
2) Macchina sincrona a poli sporgenti: diagramma delle due reattanze.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$V_n = 400V, \quad f = 50\text{Hz}, \quad P_n = 30\text{kW}, \quad I_{1n} = 52.0A, \quad \cos\varphi_{1n} = 0.89, \quad \Omega_n = 2946\text{rpm} = 308.5s^{-1}$

$P'_m = 23.0\text{kW}, \quad \Omega' = 2955\text{rpm}, \quad I_0 = 15.7A, \quad P_0 = 860W, \quad p = 1$

Soluzione

Velocità sincrona e scorrimento

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 3000\text{rpm}, \quad s_n = \frac{\Omega_0 - \Omega_n}{\Omega_0} = 1.8\%$

Analisi dati prova a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_n \cdot I_0} = 0.08, \quad \varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 85.47°, \quad I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (1.24 - 15.65\cdot i)A$

$Z_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_0} = (1.16 + 14.66\cdot i)\Omega, \quad R_0 = \frac{|Z_0|}{\cos\varphi_0} = 186.05\Omega, \quad X_0 = \frac{|Z_0|}{\sin(\varphi_0)} = 14.76\Omega$

Analisi dati funzionamento nominale

$\varphi_{1n} = \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 27.13°, \quad I_{1n} = I_{1n} \cdot e^{-i\cdot\varphi_{1n}} = (46.28 - 23.71\cdot i)A$

$I_{12n} = I_{1n} - I_0 = (45.04 - 8.06\cdot i)A, \quad Z_{fn} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_{12n}} = (4.97 + 0.89\cdot i)\Omega = \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right) + X\cdot i$

$R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} = 4.97\Omega, \quad X = 0.89\Omega$

$P_{tn} = 3\cdot\frac{R_{12}}{s_n}\cdot {I_{12n}}^2, \quad P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot {I_{12n}}^2 \quad \Rightarrow \quad P_{tn} = \frac{P_n}{1-s_n} = 30.55\text{kW}$

$R_{12} = \frac{P_{tn}\cdot s_n}{3\cdot(|I_{12n}|)^2} = 87.56\text{m}\Omega, \quad R_1 = \text{Re}(Z_{fn}) - \frac{R_{12}}{s_n} = 104.11\text{m}\Omega$

Analisi dati funzionamento a P'$_m$

$s' = \frac{\Omega_0 - \Omega'}{\Omega_0} = 1.5\%, \quad P'_m = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s'}{s'}\cdot {I'_{12}}^2 \quad \Rightarrow \quad I'_{12} = \sqrt{\frac{P'_m\cdot s'}{3\cdot R_{12}\cdot(1-s')}} = 36.52A$

$I'_{12} = \frac{V'}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'}\right)^2 + X^2}} \Rightarrow V' = \sqrt{3}\cdot\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'}\right)^2 + X^2}\cdot I'_{12} = 379.96V$

$I'_{12} = \frac{V'}{\sqrt{3}\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'} + i\cdot X\right)} = (36.11 - 5.4\cdot i)A$

$I'_0 = \frac{V'}{V_n}\cdot I_0 = (1.18 - 14.87\cdot i)A, \quad I'_1 = I'_0 + I'_{12} = (37.29 - 20.27\cdot i)A, \quad |I'_1| = 42.45A$

$\cos\varphi'_1 = \cos(\arg(I'_1)) = 0.88, \quad P'_e = \sqrt{3}\cdot V'\cdot|I'_1|\cdot\cos\varphi'_1 = 24.54\text{kW}, \quad \eta' = \frac{P'_m}{P'_e} = 93.71\%$

Verifica potenza assorbita

$P' = P_0\cdot\left(\frac{V'}{V_n}\right)^2 + P'_m + 3\cdot(R_1 + R_{12})\cdot|I'_{12}|^2 = 24.54kW$

MACCHINE ELETTRICHE	**2 febbraio 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase ($P_n = 80$ kVA, $V_{1n} = 1$ kV, $V_{2n} = 400$ V, collegamento triangolo/stella) si conoscono i seguenti parametri:

Perdite in cortocircuito	Corrente a vuoto	Perdite a vuoto
$p_{cc\%} = 2.4$ %	$i_{0\%} = 4.5$ %	$p_{0\%} = 1.2$ %

Alimentato alla tensione nominale, eroga ad un carico collegato al secondario una potenza attiva P_e =60 kW e reattiva Q_e =40 kvar. In tale condizione le perdite totali negli avvolgimenti risultano 93% delle perdite in cortocircuito ($k_{ep} = P_{ep}/P_{cc}$=0.93).

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- l'impedenza di carico $R_e + jX_e$;
- i parametri del circuito equivalente R_0, X_0, R', X';
- la resistenza di bobina primaria R_{1b} e secondaria R_{2b}, sapendo che il rapporto tra le perdite negli avvolgimenti primari e secondari è k_{12} =1.2;
- la corrente assorbita I_1 ed il rendimento η.

TEORIA

1) Funzionamento a carico del trasformatore monofase: schema circuitale, relazioni fondamentali e diagramma vettoriale.
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

$P_n = 80\text{kVA}$, $V_{1n} = 1\text{kV}$, $V_{2n} = 400V$, $i_{0\%} = 4.5\%$, $p_{0\%} = 1.2\%$, $p_{cc} = 2.4\%$, $P_e = \ 60\ kW$

$Q_e = 40kvar$, $k_{ep} = 0.93$, $k_{12} = 1.2$

Soluzione

Grandezze nominali

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 2.5, \qquad I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 46.19A, \qquad I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 115.47A$

Parametri a vuoto

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 960W, \qquad I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 2.078A, \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.267$

$I_a = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0.554A, \quad I_\mu = \sqrt{{I_0}^2 - {I_a}^2} = 2.0A, \quad R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 1041.7\Omega, \quad X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 288.2\Omega$

Corrente e resistenza di fase

$k_{ep} = \frac{3\cdot R\prime\cdot {I_{12}}^2}{3\cdot R\prime\cdot {I_{1n}}^2}, \qquad I_{12} = I_{1n}\cdot\sqrt{k_{ep}} = 44.54A, \qquad P_{cc} = p_{cc}\cdot P_n = 1920W, \qquad R' = \frac{k_{ep}\cdot P_{cc}}{3\cdot {I_{12}}^2} = 0.3\Omega$

Tensione ed impedenza di carico

$P_a = \sqrt{{P_e}^2 + {Q_e}^2} = 72.111\text{kVA}, \qquad V_{12} = \frac{P_a}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 934.7V, \qquad Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 12.1\Omega$

$\varphi_e = \arctan\left(\frac{Q_e}{P_e}\right) = 33.69°, \qquad R_{1e} = Z_{1e}\cdot\cos(\varphi_e) = 10.08\Omega, \qquad X_{1e} = Z_{1e}\cdot\sin(\varphi_e) = 6.72\Omega$

$\cos(\varphi_e) = 0.832, \quad R_e = \frac{R_{1e}}{K^2} = 1.613\Omega, \qquad X_e = \frac{X_{1e}}{K^2} = 1.075\Omega$

Calcolo reattanza: a) con espressione cdt approssimata

$\Delta V_{12} = V_{1n} - V_{12} = 65.3V, \qquad X'_a = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}\cdot\sin(\varphi_e)} - \frac{R\prime}{\tan(\varphi_e)} = 1.076\Omega$

Calcolo reattanza: b) con cdt effettiva

$Z_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 12.96\Omega, \qquad X' = \sqrt{{Z_{12}}^2 - (R' + R_{1e})^2} - X_{1e} = 1.042\Omega \qquad \frac{X\prime - X'_a}{X\prime} = -3.277\%$

Resistenza di bobina

$R' = R_1 + R_{12}, \qquad R' = k_{12}\cdot R_{12} + R_{12}, \qquad R_{12} = \frac{R\prime}{k_{12}+1} = 0.136\Omega, \qquad R_1 = k_{12}\cdot R_{12} = 0.164\Omega$

$R_{1b} = 3\cdot R_1 = 0.491\Omega, \qquad R_{2b} = \frac{R_{12}}{K^2} = 0.022\Omega$

Corrente assorbita e rendimento

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 74.53°, \qquad I_0 = I_0\cdot\exp(-i\cdot\varphi_0) = (0.554 - 2.003\cdot i)A$

$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{X\prime + X_{1e}}{R\prime + R_{1e}}\right) = 36.79°, \qquad I_{12} = I_{12}\cdot\exp(-i\cdot\varphi_{12}) = (35.672 - 26.674\cdot i)A$

$I_1 = I_{12} + I_0 = (36.226 - 28.677\cdot i)A, \quad |I_1| = 46.2A, \qquad \cos\varphi_1 = \cos(\arg(I_1)) = 0.784$

$P_{1a} = P_0 + P_e + 3\cdot R'\cdot|I_{12}|^2 = 62745.6W, \; P_1 = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_1|\cdot\cos\varphi_1 = 62745.6W, \; \eta = \frac{P_e}{P_1} = 0.956$

MACCHINE ELETTRICHE	**20 febbraio 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (tensione nominale V_{1n} = 220 V, frequenza f = 60 Hz, numero poli $2p$ = 4) è stato sottoposto alle prove a vuoto ed a rotore bloccato che hanno fornito i seguenti dati:

Tipo prova	*Grandezza*	*Valore*
A vuoto	Potenza assorbita	P_0 = 970 W
	Corrente assorbita	I_0 = 25.53 A
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	V_{1cc} = 60 V
	Potenza assorbita	P_{1cc} = 4.64 kW
	Corrente assorbita	I_{1cc} = 107.7 A
	Coppia	C_{acc} = 13.91 Nm

Sapendo che in condizioni nominali le perdite totali risultano P_{pn}=2412 W, determinare
- i parametri del circuito equivalente semplificato (collegamento a stella) R_0. X_0. R_1. R_{12}. X;
- i valori nominali della potenza P_n e della coppia C_n;
- i rapporti coppia di avviamento/coppia nominale C_a/C_n e coppia massima/coppia nominale C_M/C_n con tensione di alimentazione V_{1n};
- i valori nominali della corrente assorbita I_{1n} e del fattore di potenza $cos\varphi_{1n}$.

TEORIA

1) Autotrasformatore monofase.
2) Funzionamento a carico di un motore in corrente continua: effetti della reazione di indotto sulla distribuzione dell'induzione al traferro e sul flusso per polo.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

DATI

$2p = 4$ $f = 60\text{Hz}$ $V_{1n} = 220V$ $P_0 = 970\text{W}$ $\text{I}_0 = 25.53\text{A}$

$V_{1cc} = 60V$ $P_{1cc} = 4.64\text{kW}$ $\text{I}_{1cc} = 107.7\text{A}$ $C_{acc} = 13.91\text{Nm},$ $P_{pn} = 2412W$

SOLUZIONE

$n_0 = 60 \cdot \frac{f}{p} = 1800\text{rpm}$ $\Omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_0}{60} = 188.496s^{-1}$

- ***Analisi prova a vuoto***

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0.1$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 84.28°$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 49.9\Omega$ $X_0 = \frac{R_0}{\tan(\varphi_0)} = 5\Omega$

$I_0 = I_0 \cdot \exp(-i \cdot \varphi_0) = (2.55 - 25.4 \cdot i)A$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = (0.496 + 4.95 \cdot i)\Omega$ $|Z_0| = 4.975\Omega$

- ***Analisi prova a rotore bloccato***

$v_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 0.273$ $I_{0cc} = v_{1cc} \cdot I_0 = (0.69 - 6.93 \cdot i)A$ $P_{0cc} = {v_{1cc}}^2 \cdot P_0 = 72.15W$

$|I_{0cc}| = 6.963A$ $\cos\varphi_{1cc} = \frac{P_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1cc}} = 0.415$ $\varphi_{1cc} = \arccos(\cos\varphi_{1cc}) = 65.51°$

$I_{1cc} = I_{1cc} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{1cc}) = (44.65 - 98.01 \cdot i)A$ $I_{12cc} = I_{1cc} - I_{0cc} = (43.95 - 91.08 \cdot i)A$

$|I_{12cc}| = 101.13A$

$C_{acc} = \frac{3 \cdot R_{12} \cdot {I_{12cc}}^2}{\Omega_0}$ $R_{12} = \frac{C_{acc} \cdot \Omega_0}{3 \cdot (|I_{12cc}|)^2} = 0.085\Omega$ $P_{ep2cc} = 3 \cdot R_{12} \cdot |I_{12cc}|^2 = 2621.97W$

$P_{ep1cc} = P_{1cc} - P_{0cc} - P_{ep2cc} = 1945.88W$ $R_1 = \frac{P_{ep1cc}}{3 \cdot |I_{12cc}|^2} = 0.063\Omega$ $Z_{fcc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot |I_{12cc}|} = 0.343\Omega$

$X = \sqrt{{Z_{fcc}}^2 - (R_1 + R_{12})^2} = 0.308\Omega$ $\arctan\left(\frac{X}{R_1 + R_{12}}\right) = 64.24°$ $-\arg(I_{12cc}) = 64.24°$ (verifica)

- ***Potenza e coppia nominali***

$I_{12n} = \sqrt{\frac{P_{pn} - P_0}{3 \cdot (R_1 + R_{12})}} = 56.82A$ $Z_{fn} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{12n}} = 2.235\Omega$

$Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2}$ $s_n = \frac{R_{12}}{\sqrt{{Z_{fn}}^2 - X^2} - R_1} = 3.974\%$

$\Omega_n = \Omega_0 \cdot (1 - s_n) = 1728.48\text{rpm}$ $P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot \frac{1 - s_n}{s_n} \cdot {I_{12n}}^2 = 20\text{kW}$ $C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 110.51\text{Nm}$

- ***Coppia di avviamento e massima***

$C_a = \frac{C_{acc}}{{v_{1cc}}^2} = 187.01Nm$ $\frac{C_a}{C_n} = 1.69$

$Z = \sqrt{{R_1}^2 + X^2} = 0.315\Omega$ $C_M = \frac{{V_{1n}}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot (R_1 + Z)} = 339.32Nm$ $\frac{C_M}{C_n} = 3.07$

- ***Corrente e fattore di potenza***

$\varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 7.93°$ $I_{12n} = I_{12n} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12n}) = (56.28 - 7.84 \cdot i)A$

$I_{1n} = I_{12n} + I_0 = (58.82 - 33.24 \cdot i)A$ $|I_{1n}| = 67.57A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(I_{1n})) = 0.871$

$P_{1n} = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_{1n}| \cdot \cos\varphi_{1n} = 22.415\text{kW}$ $P_{1n1} = P_{pn} + P_n = 22.415\text{kW}$ (verifica)

MACCHINE ELETTRICHE	**20 giugno 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (tensione nominale V_{1n} = 400 V, frequenza f = 50 Hz, numero poli $2p$ = 4, collegamento a stella) presenta i seguenti dati nominali:

Potenza	Corrente assorbita	Fattore di potenza	Velocità nominale
$P_n = 35$ kW	$I_{1n} = 65$ A	$cos\varphi_{1n} = 0.879$	$n_n = 1430$ giri/min

Si conoscono inoltre la resistenza di una fase di statore R_1=138.1 mΩ e la potenza assorbita nella prova a vuoto P_0=1580 W.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:
- i parametri R_{12}. X del ramo serie;
- la corrente I_0 assorbita a vuoto;
- i parametri R_0. X_0 del ramo derivato;
- il rendimento η_n in condizioni nominali;
- il rendimento η_{rid} con scorrimento pari al 25% del valore nominale;

TEORIA

1) Trasformatore monofase: calcolo della reattanza a vuoto in sede di progetto.
2) Macchina sincrona a rotore liscio: diagramma di Behn-Eschenburg.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

DATI

$V_n = 400V$ $f = 50\text{Hz}$ $p = 2$ $P_n = 35\text{kW}$ $I_{1n} = 65A$ $\cos\varphi_{1n} = 0.879$ $n_n = 1430\text{rpm}$

$P_0 = 1580W$ $R_1 = 138.1\text{m}\Omega$

Velocità di sincronismo e scorrimento nominale

$n_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 1500\text{rpm}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 4.667\%$ $\Omega_0 = 2\cdot\pi\cdot\frac{n_0}{60} = 157.08s^{-1}$

Parametri ramo serie

$P_{ep12n} = s_n \cdot P_{tn}$ $P_{ep12n} = \frac{s_n}{1-s_n}\cdot P_n = 1.71\text{kW}$ $P_{epn} = \sqrt{3}\cdot V_n \cdot I_{1n}\cdot\cos\varphi_{1n} - P_n - P_0 = 3.0\text{kW}$

$P_{ep1n} = P_{epn} - P_{ep12n} = 1.291\text{kW}$ $I_{12n} = \sqrt{\frac{P_{ep1n}}{3\cdot R_1}} = 55.82A$

$\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2}\cdot I_{12n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}}$ $R_{12} = \frac{P_{ep12n}}{3\cdot {I_{12n}}^2} = 183.3\text{m}\Omega$ $X = \sqrt{\frac{{V_n}^2}{3\cdot {I_{12n}}^2} - \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2} = 0.767\Omega$

Correnti in modulo e fase

$\varphi_{1n} = \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 28.48°$ $\varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 10.68°$

$I_{12n} = I_{12n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12n}} = (54.85 - 10.35\cdot i)A$ $I_{1n} = I_{1n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1n}} = (57.14 - 30.99\cdot i)A$

$I_0 = I_{1n} - I_{12n} = (2.28 - 20.64\cdot i)A$ $|I_0| = 20.77A$

Parametri ramo derivato

$R_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot\text{Re}(I_0)} = 101.266\Omega$ $X_0 = \left|\frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot\text{Im}(I_0)}\right| = 11.186\Omega$

Rendimento in condizioni nominali

$\eta_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot|I_{1n}|\cdot\cos\varphi_{1n}} = 88.42\%$

Rendimento al 25% dello scorrimento nominale

$s_{rid} = 25\%\cdot s_n = 1.167\%$ $I_{12rid} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_{rid}}\right)^2 + X^2}} = 14.56A$

$P_{mrid} = 3\cdot R_{12}\cdot {I_{12rid}}^2\cdot\frac{(1-s_{rid})}{s_{rid}} = 9.87\text{kW}$ $P_{eprid} = 3\cdot(R_1 + R_{12})\cdot {I_{12rid}}^2 = 204.27W$

$\eta_{rid} = \frac{P_{mrid}}{P_{mrid} + P_0 + P_{eprid}} = 84.69\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**28 agosto 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 250\ kVA$, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 400\ V$), alimentato alla tensione nominale, lavora con grado di carico $\alpha_A = 92\%$ alimentando un carico ohmico-induttivo con fattore di potenza $\cos\varphi_{eA} = 0.81$ erogando una potenza attiva pari a $P_{eA} = 180\ kW$.

Alimentando con il medesimo grado di carico $\alpha_B = \alpha_A = 92\%$ un carico puramente induttivo eroga una potenza reattiva $Q_{eB} = 220.6\ kVAr$.

Sapendo che i valori percentuali della corrente e della potenza assorbite a vuoto sono rispettivamente $i_{0\%} = 6.1\%$ e $p_{0\%} = 1.45\%$, determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R', X';
- i valori % della caduta di tensione interna Δv_{ZccA} e Δv_{ZccB};
- le parti reale ed immaginaria della corrente assorbita $\bar{I}_{1A}$ e $\bar{I}_{1B}$ ed il rendimento η_A e η_B.

TEORIA

1) Forza magnetomotrice prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto in continua o monofase a passo intero.
2) Considerazioni sul circuito equivalente di una fase di un motore asincrono trifase con rotore di tipo avvolto in corto circuito.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$P_n = 250\text{kVA}$ $V_{1n} = 15\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $p_0 = 1.45\%$ $i_0 = 6.1\%$

$P_{eA} = 180\text{kW}$ $\alpha_A = 0.92$ $\cos\varphi_{eA} = 0.811$

$Q_{eB} = 220.6\text{kVAr}$ $\alpha_B = 0.92$ $\cos\varphi_{eB} = 0$

Soluzione

Dati nominali

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 9.62A$ $k = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 37.5$ $I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{2n}} = 360.84A$

Dati prova a vuoto

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 3625W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.59A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.24$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 76.25°$ $Z'_{cc} = v_{cc} \cdot \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}} \cdot e^{i\cdot\varphi_{cc}} = (13.38 + 39.98 \cdot i)\Omega$

$I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.14 - 0.57 \cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.14A$ $I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.57A$

$X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 15.19\text{k}\Omega$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 62.07\text{k}\Omega$

Corrente erogata, tensione in uscita e impedenza di fase del carico nel caso A

$\varphi_{eA} = \arccos(\cos\varphi_{eA}) = 0.62$ $I_{2A} = \alpha_A \cdot I_{2n} = 331.98A$ $I_{12A} = I_{2A}/k = 8.85A$

$P_{eA} = \sqrt{3} \cdot V_{12A} \cdot I_{12A} \cdot \cos\varphi_{eA} \Rightarrow V_{2A} = \frac{P_{eA}}{\sqrt{3}\cdot I_{2A}\cdot\cos\varphi_{eA}} = 386V$

$Z_{eA} = \frac{V_{2A}}{\sqrt{3}\cdot I_{2A}} \cdot e^{i\cdot\varphi_{eA}} = (0.54 + 0.39 \cdot i)\Omega$ $R_{eA} = \text{Re}(Z_{eA}) = 0.54\Omega$ $X_{eA} = \text{Im}(Z_{eA}) = 0.39\Omega$

Corrente erogata, tensione in uscita e impedenza di fase del carico nel caso B

$I_{2B} = \alpha_B \cdot I_{2n} = 331.98A$ $Q_{eB} = \sqrt{3} \cdot V_{2B} \cdot I_{2B} \cdot \cos\varphi_{eA} \Rightarrow V_{2B} = \frac{Q_{eB}}{\sqrt{3}\cdot I_{2B}} = 383.65V$

$Z_{eB} = i \cdot \frac{V_{2B}}{\sqrt{3}\cdot I_{2B}} = 0.67 \cdot i\Omega$ $R_{eB} = \text{Re}(Z_{eB}) = 0$ $X_{eB} = \text{Im}(Z_{eB}) = 0.67\Omega$

Parametro X'

$V_{12B} = V_{1n} - \sqrt{3} \cdot \text{X}' \cdot I_{12B} \Rightarrow \text{X}' = \frac{V_{1n} - k\cdot V_{2B}}{\sqrt{3}\cdot\frac{I_{2B}}{k}} = 39.98\Omega$

Parametro R'

$V_{12A} = V_{1n} - \sqrt{3} \cdot I_{12A} \cdot \left(\text{R}' \cdot \cos\varphi_{eA} + \text{X}' \cdot \sin(\varphi_{eA})\right) \Rightarrow \text{R}' = \frac{\frac{V_{1n} - k\cdot V_{2A}}{\sqrt{3}\cdot\frac{I_{2A}}{k}} - \text{X}\prime\cdot\sin(\varphi_{eA})}{\cos\varphi_{eA}} = 13.39\Omega$

$\text{Z}'_{cc} = \text{R}' + i \cdot \text{X}' = (13.39 + 39.98 \cdot i)\Omega$

Caduta di tensione interna

$\Delta\text{v}_{\text{Zcc}A} = \Delta\text{v}_{\text{Zcc}B} = \frac{\sqrt{3}Z'_{cc}I_{12A}}{V_{1n}} = \frac{\sqrt{3}Z'_{cc}I_{2A}/k}{V_{1n}} = 4.31\%$

Corrente assorbita al primario e rendimento nei casi A e B

$\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{\text{X}\prime + k^2\cdot X_{eA}}{\text{R}\prime + k^2\cdot R_{eA}}\right) = 37.25°$ $I_{12A} = \frac{I_{2A}}{k} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12A}) = (7.05 - 5.36 \cdot i)A$

$I_{1A} = I_0 + I_{12A} = (7.19 - 5.93 \cdot i)A$ $\eta_A = \frac{P_{eA}}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot\text{Re}(I_{1A})} = 96.4\%$

$\varphi_{12B} = \arctan\left(\frac{\text{X}\prime + k^2\cdot X_{eB}}{\text{R}\prime + k^2\cdot R_{eB}}\right) = 89.22°$ $I_{12B} = \frac{I_{2B}}{k} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12B}) = (0.12 - 8.85 \cdot i)A$

$I_{1B} = I_0 + I_{12B} = (0.26 - 9.42 \cdot i)A$ $\eta_B = 0$

MACCHINE ELETTRICHE	**21 settembre 2018**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (numero poli $2p = 6$, collegamento fasi di statore **a triangolo**) presenta i seguenti dati nominali:

Tensione nominale $V_{1n} = 380$ V	Frequenza $f = 50$ Hz	Velocità n_n=962 giri/min

In fase di collaudo è stato sottoposto ad una serie di prove che hanno fornito i seguenti dati:

Tipo prova	*Grandezza*	*Valore*
Volt-amperometrica	Resistenza tra due morsetti *A* e *B*	$R_{AB} = 140$ mΩ
A vuoto	Corrente assorbita	$I_0 = 24.9$ A
	Potenza assorbita	$P_0 = 3280$ W
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	$V_{1cc} = 60$ V
	Corrente assorbita	$I_{1cc} = 85$ A
	Potenza assorbita	$P_{1cc} = 3035$ W

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato (collegamento a stella) R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- la potenza P_n, la corrente assorbita I_{1n} ed il fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$ nel funzionamento nominale;
- la coppia C_{aY} e la corrente assorbita I_{aY} all'avviamento con motore alimentato alla tensione V_{1n} e con fasi di statore collegate **a stella**.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: rappresentazione di principio, definizione delle varie grandezze elettromagnetiche, schema circuitale, equazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento a vuoto.
2) Macchina sincrona trifase a rotore liscio in parallelo alla rete: circuito equivalente e diagrammi vettoriali con macchina sopra e sotto-eccitata e coppia motrice applicata all'albero.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$V_{1n} = 380V \quad f = 50\text{Hz} \quad p = 3 \quad n_n = 962\text{rpm} \quad R_{AB} = 140\text{m}\Omega$

$P_0 = 3280W \quad I_0 = 24.9A \quad V_{1cc} = 60V \quad I_{1cc} = 85A \quad P_{1cc} = 3035W$

Soluzione

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

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

Resistenza di una fase di statore a stella

$R_{AB} = \frac{2}{3} \cdot R_{1\Delta} \quad R_{1\Delta} = 3 \cdot R_1 \quad R_1 = \frac{1}{2} \cdot R_{AB} = 70\text{m}\Omega \quad R_{1\Delta} = 3 \cdot R_1 = 0.21\Omega$

ANALISI A VUOTO

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0.2 \quad \varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 78.455° \quad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = 8.811\Omega$

$X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 8.993\Omega \quad R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 44.024\Omega \quad I_0 = I_0 \cdot \exp(-i \cdot \varphi_0) = (4.983 - 24.396 \cdot i)A$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO

Corrente assorbita, a vuoto e di rotore

$\cos\varphi_{1cc} = \frac{P_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1cc}} = 0.343 \quad \varphi_{1cc} = \arccos(\cos\varphi_{1cc}) = 69.9° \quad \alpha_{vcc} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 0.158$

$I_{1cc} = I_{1cc} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{1cc}) = (29.2 - 79.83 \cdot i)A \quad I_{0cc} = \alpha_{vcc} \cdot I_0 = (0.79 - 3.85 \cdot i)A$

$I_{12cc} = I_{1cc} - I_{0cc} = (28.42 - 75.97 \cdot i)A$

Resistenza di rotore

$P_{ep1cc} = 3 \cdot R_1 \cdot |I_{12cc}|^2 = 1381.7W \quad P_{0cc} = {\alpha_{vcc}}^2 \cdot P_0 = 81.77W$

$P_{ep2cc} = P_{1cc} - P_{ep1cc} - P_{0cc} = 1571.53W$

$R_{12} = \frac{P_{ep2cc}}{3 \cdot |I_{12cc}|^2} = 0.08\Omega \quad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot |I_{12cc}|} = 0.427\Omega \quad X = \sqrt{{Z_{1cc}}^2 - (R_1 + R_{12})^2} = 0.4\Omega$

ANALISI IN CONDIZIONI NOMINALI

Potenza nominale

$Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 2.202\Omega \quad \varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 10.467°$

$I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{fn}} = 99.64A \quad P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot {I_{12n}}^2 \cdot \left(\frac{1 - s_n}{s_n}\right) = 60034.2W$

Corrente e fattore di potenza nominali

$I_{12n} = I_{12n} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12n}) = (97.98 - 18.1 \cdot i)A \quad I_{1n} = I_{12n} + I_0 = (102.97 - 42.5 \cdot i)A$

$|I_{1n}| = 111.39A \quad \cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(I_{1n})) = 0.924$

ANALISI AVVIAMENTO A STELLA

Coppia a tensione ridotta e nominale con coll. Δ

$C_{acc} = \frac{3 \cdot R_{12} \cdot |I_{12cc}|^2}{\Omega_0} = 15.\text{Nm} \quad C_{a\Delta} = \frac{C_{acc}}{{\alpha_{vcc}}^2} = 601.95\text{Nm}$

Corrente a tensione nominale coll. Δ

$$I_{a\Delta} = \frac{|I_{1cc}|}{\alpha_{vcc}} = 538.333A$$

Coppia e corrente rotore a tensione nominale con coll. Y

$$C_{aY} = \frac{C_{a\Delta}}{3} = 200.65\text{Nm} \qquad I_{aY} = \frac{|I_{a\Delta}|}{3} = 179.44A$$

APPROCCIO ALTERNATIVO

$\mathrm{Z}_f(s) = R_1 + \frac{R_{12}}{s} + i \cdot X$ impedenza del ramo serie con collegamento a Δ

$\mathrm{Z}_{eq}(s) = \frac{1}{\frac{1}{Z_0 \cdot e^{i \cdot \varphi_0}} + \frac{1}{\mathrm{Z}_f(s)}}$ impedenza Z0//Zf con collegamento a Δ

$\mathrm{Z}_{fYa} = 3 \cdot \mathrm{Z}_f(1) = 0.449 + 1.2i$ impedenza del ramo serie all'avviamento con collegamento a Y

$\mathrm{Z}_{eqYa} = 3 \cdot \mathrm{Z}_{eq}(1) = 0.42 + 1.148i$ impedenza Z0//Zf all'avviamento con collegamento a Y

$R_{12Y} = 3 \cdot R_{12} = 0.239\Omega$ resistenza rotorica riportata a statore con collegamento a Y

$\mathrm{I}_{12aY} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot |\mathrm{Z}_{fYa}|} = 171.24A$ corrente di rotore all'avviamento con collegamento a Y

$\mathrm{C}_{aY} = 3 \cdot \frac{R_{12Y}}{s \cdot \Omega_0} \cdot \mathrm{I}_{12Ya}{}^2 = 200.65\text{Nm}$ coppia assorbita all'avviamento con collegamento a Y

$\mathrm{I}_{aY} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot |\mathrm{Z}_{eqYa}|} = 179.44A$ corrente assorbita all'avviamento con collegamento a Y