MACCHINE ELETTRICHE	**18 gennaio 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 400$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V) presenta i seguenti dati:

Collegamento	Resistenze misurate ai morsetti		Corrente a vuoto	Perdite a vuoto
Dy11	primario	secondario	$i_{0\%} = 2.4\%$	$p_{0\%} = 0.6\%$
	$R_{AB} = 14.63\ \Omega$	$R_{ab} = 5.75$ mΩ		

Con primario alimentato alla tensione V_{1n}, viene collegato un carico che assorbe la potenza P_A =220 kW ad una tensione V_{2A} =384 V. In tali condizioni il trasformatore lavora con rendimento η_A =0.966.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato (collegamento a stella), determinare:

- i parametri R_0, X_0, R';
- l'impedenza di carico $\dot{Z}_{eA} = R_{eA} + jX_{eA}$
- la reattanza X';
- la corrente assorbita I_{1A} ed il fattore di potenza $cos\varphi_{1A}$.

TEORIA

1) Macchina asincrona trifase: potenza, coppia e caratteristica meccanica con s < 0.
2) Macchina sincrona trifase: rappresentazione vettoriale di forze magnetomotrici, corrente e f.e.m. a vuoto per un generico valore di γ.

RITIRATO |_| Firma _____

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

Dati

$P_n = 400\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $R_{AB} = 14.63\Omega$ $R_{ab} = 5.75\text{m}\Omega$

$p_{0\%} = 0.6$ $i_{0\%} = 2.4$ $P_A = 220\text{kW}$ $V_{2A} = 384V$ $\eta_A = 0.966$

Soluzione

Grandezze nominali

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50$ $I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 11.55A$ $I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 577.35A$

Resistenze

$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = 7.32\Omega$ $R_{12} = \frac{R_{ab}}{2} \cdot K^2 = 7.19\Omega$ $R' = R_1 + R_{12} = 14.5\Omega$

Corrente a vuoto e parametri ramo derivato

$P_0 = \frac{p_{0\%}}{100} \cdot P_n = 2400W$ $I_0 = \frac{i_{0\%}}{100} \cdot I_{1n} = 0.277A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.25$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 75.52°$

$I_a = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0.0693A$ $I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 0.27A$

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 166.667\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 43.033\text{k}\Omega$

Corrente ed impedenza di carico

$P_{epA} = \frac{P_A}{\eta_A} - P_A - P_0 = 5343.271W$ $I_{12A} = \sqrt{\frac{P_{epA}}{3\cdot R'}} = 11.082A$ $\alpha_A = \frac{I_{12A}}{I_{1n}} = 0.96$

$V_{12A} = K \cdot V_{2A} = 19200V$ $\cos\varphi_{eA} = \frac{P_A}{\sqrt{3}\cdot V_{12A}\cdot I_{12A}} = 0.597$ $\varphi_{eA} = \arccos(\cos\varphi_{eA}) = 53.35°$

$Z_{1eA} = \frac{V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 1000.3\Omega$ $R_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \cos\varphi_{eA} = 0.5971\text{k}\Omega$ $X_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \sin(\varphi_{eA}) = 0.803\text{k}\Omega$

$R_{eA} = \frac{R_{1eA}}{K^2} = 0.24\Omega$ $X_{eA} = \frac{X_{1eA}}{K^2} = 0.321\Omega$

Calcolo X'

$\Delta V_{12A} = \sqrt{3} \cdot I_{12A} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_{eA} + X' \cdot \sin\varphi_{eA})$ $\Delta V_{12A} = V_{1n} - V_{12A} = 800V$

$X' = \frac{\Delta V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}\cdot\sin(\varphi_{eA})} - \frac{R'}{\tan(\varphi_{eA})} = 41.16\Omega$

Corrente assorbita

$I_0 = I_0 \cdot \exp(-i \cdot \varphi_0) = (0.0693 - 0.2683 \cdot i)A$ $\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{X'+X_{1eA}}{R'+R_{1eA}}\right) = 54.06°$

$I_{12A} = I_{12A} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12A}) = (6.5046 - 8.9723 \cdot i)A$

$I_{1A} = I_{12A} + I_0 = (6.57 - 9.24 \cdot i)A$ $|I_{1A}| = 11.34A$ $\cos\varphi_{1A} = \cos(\arg(I_{1A})) = 0.58$

Verifica potenza

$P_{1A} = \frac{P_A}{\eta_A} = 227.74\text{kW}$ $P'_{1A} = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_{1A}| \cdot \cos\varphi_{1A} = 227.73\text{kW}$ $\frac{P_{1A} - P'_{1A}}{P_{1A}} = 0.0076\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**5 febbraio 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase a rotore avvolto (avvolgimenti di statore e di rotore entrambi collegati a stella) alimentato a tensione e frequenza nominali V_{1n} = 400 V, f = 50 Hz, a vuoto assorbe la corrente I_0 = 11.7 A e la potenza P_0 = 1460 W. Il motore viene poi alimentato con la stessa tensione a rotore bloccato, avendo collegato in serie all'avvolgimento rotorico una terna di resistenze addizionali collegate a stella di valore doppio di quello di una fase di rotore. In tali condizioni si ottengono i seguenti risultati:

corrente assorbita I'_{1cc} = 282 A
potenza assorbita P'_{1cc} = 98.6 kW
coppia all'albero C'_{avv} = 240.5 Nm

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}, il fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$ ed il rendimento η_n nel funzionamento nominale, sapendo che la velocità nominale è n_n = 2950 giri/min (resistenze addizionali escluse);
- i rapporti C'_{avv}/C_{avv}, I'_{1cc}/I_{1cc} rispettivamente tra i valori di coppia e di corrente assorbita a rotore bloccato con e senza resistenze rotoriche addizionali a parità di tensione di alimentazione.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: variazione di tensione da vuoto a carico.
2) Espressione della f.e.m. indotta in un avvolgimento distribuito di tipo aperto sottoposto ad un'induzione variabile sinusoidalmente nel tempo.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

DATI

$V_{1n} = 400V$ $f = 50\text{Hz}$ $n_n = 2950\text{rpm}$ $P_0 = 1460W$ $I_0 = 11.7A$

$I'_{1cc} = 282A$ $P'_{1cc} = 98.6\text{kW}$ $C'_{avv} = 240.5Nm$

SOLUZIONE

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$p = 1$ $\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 314.16s^{-1}$ $n_0 = 3000\text{rpm}$

ANALISI A VUOTO

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.18$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 79.624°$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_0} = 19.738\Omega$

$X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 20.067\Omega$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 109.589\Omega$ $I_0 = I_0\cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (2.107 - 11.509\cdot i)A$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO CON RESISTENZE ADDIZIONALI

Corrente assorbita e di rotore

$\cos\varphi'_{1cc} = \frac{P'_{1cc}}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I'_{1cc}} = 0.505$ $\varphi'_{1cc} = \arccos(\cos\varphi'_{1cc}) = 59.69°$

$I'_{1cc} = I'_{1cc}\cdot\exp(-i\cdot\varphi'_{1cc}) = (142.317 - 243.454\cdot i)A$

$I'_{12cc} = I'_{1cc} - I_0 = (140.21 - 231.945\cdot i)A$

Resistenza di rotore

$C'_{avv} = \frac{P'_{tcc}}{\Omega_0} = \frac{3\cdot R'_{12}\cdot|I'_{12cc}|^2}{\Omega_0} \Longrightarrow R'_{12} = \frac{C'_{avv}\cdot\Omega_0}{3\cdot|I'_{12cc}|^2} = 0.343\Omega$ $R_{12} = \frac{R'_{12}}{3} = 0.114\Omega$

Resistenza di statore

$P'_{ep2cc} = 3\cdot R'_{12}\cdot|I'_{12cc}|^2 = 75.56\text{kW}$ $P'_{ep1cc} = P'_{1cc} - P_0 - P'_{ep2cc} = 21.585\text{kW}$

$P'_{ep1cc} = 3\cdot R_1\cdot|I'_{12cc}|^2 \Longrightarrow R_1 = \frac{P'_{ep1cc}}{3\cdot|I'_{12cc}|^2} = 0.0979\Omega$

Reattanza di dispersione

$Z'_{1cc} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot|I'_{12cc}|} = 0.852\Omega$ $X = \sqrt{{Z'_{1cc}}^2 - (R_1 + R'_{12})^2} = 0.729\Omega$

FUNZIONAMENTO IN CONDIZIONI NOMINALI

$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 1.667\%$ $Z_{fn} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + i\cdot X = (6.955 + 0.729\cdot i)\Omega$

$I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{fn}} = (32.84 - 3.44\cdot i)A$ $P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot|I_{12n}|^2 = 22.06\text{kW}$

$I_{1n} = I_0 + I_{12n} = (34.95 - 14.95\cdot i)A$ $|I_{1n}| = 38.02A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(I_{1n})) = 0.919$

$P_{en} = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot\text{Re}(I_{1n}) = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_{1n}|\cdot\cos\varphi_{1n} = 24.215\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_{en}} = 91.1\%$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO SENZA RESISTENZE ADDIZIONALI

rapporti tra coppie e correnti di avviamento con e senza resistenze rotoriche addizionali

$I_{12cc} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot(R_1 + R_{12} + i\cdot X)} = (84.98 - 291.97\cdot i)A$ $I_{1cc} = I_0 + I_{12cc} = (87.08 - 303.48\cdot i)A$

$C_{avv} = 3\cdot\frac{R_{12}}{\Omega_0}\cdot|I_{12cc}|^2 = 100.91\ Nm$ $\left|\frac{I'_{1cc}}{I_{1cc}}\right| = 0.893$ $\frac{C'_{avv}}{C_{avv}} = 2.383$

MACCHINE ELETTRICHE	**19 febbraio 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase ($P_n = 200$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V) si conoscono i seguenti parametri:

Fattore di potenza di c.c.	Corrente a vuoto	Perdite a vuoto
$cos\varphi_{cc} = 0.38$	$i_{0\%} = 2.5$ %	$p_{0\%} = 0.8$ %

Alimentando il primario alla tensione V_{1n} e collegando il secondario ad un carico con fattore di potenza $cos\varphi_e$ =0.866, il trasformatore lavora con grado di carico α =0.8, dando luogo ad una variazione di tensione da vuoto a carico $\Delta v_{\%} = 2.53\%$.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato riferito al primario, determinare:

- la tensione sul carico V_2 e l'impedenza di carico $\dot{Z}_e = R_e + jX_e$
- i parametri del circuito equivalente R_0, X_0, R', X';
- la tensione corto circuito $v_{cc\%}$ (in percentuale);
- la corrente assorbita I_1,il fattore di potenza $cos\varphi_1$ ed il rendimento η;
- il rendimento η' quando viene applicato al secondario un carico puramente ohmico $R'_e = Z_e$, con primario sempre alimentato alla tensione V_{1n}.

TEORIA

1) Generatore sincrono a rotore liscio in condizioni di saturazione: diagramma di Potier.
2) Macchina in 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

$P_n = 200\text{kVA}$, $V_{1n} = 20\text{kV}$, $V_{2n} = 400V$, $i_{0\%} = 2.5\%$, $p_{0\%} = 0.8\%$, $cos\varphi_{cc} = 0.38$

$cos\varphi_e = 0.866$, $\alpha = 0.8$, $\Delta v_{\%} = 2.53\%$

Soluzione

Grandezze nominali

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 5.774A$ $K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50$ $I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 288.675A$

Parametri a vuoto

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 1600W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.144A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.32$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 71.34°$ $I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.046 - 0.137\cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.046A$

$I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.137A$ $R_0 = \frac{V_{1n}{}^2}{P_0} = 250\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 84.44\text{k}\Omega$

Corrente, potenza e tensione sul carico

$I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 4.62A$ $\Delta V_{12} = \Delta v_{\%} \cdot V_{1n} = 506V$ $V_{12} = (V_{1n} - \Delta V_{12}) = 19494V$

$V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 389.88V$

$\varphi_e = \arccos(\cos\varphi_e) = 30°$ $\sin\varphi_e = \sin(\varphi_e) = 0.5$ $Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 2436.75\Omega$

$R_{1e} = Z_{1e} \cdot \cos\varphi_e = 2110.23\Omega$ $X_{1e} = Z_{1e} \cdot \sin\varphi_e = 1218.48\Omega$

$R_e = \frac{R_{1e}}{K^2} = 0.844\Omega$ $X_e = \frac{X_{1e}}{K^2} = 0.487\Omega$

Resistenza di fase e tensione di alimentazione

$\varphi_{cc} = \arccos(\cos\varphi_{cc}) = 67.67°$ $\tan\varphi_{cc} = \tan(\varphi_{cc}) = 2.434$

$\Delta V_{12} = \sqrt{3}\cdot I_{12}\cdot(R'\cdot\cos\varphi_e + X'\cdot\sin\varphi_e)$ $\frac{X'}{R'} = \tan\varphi_{cc}$ $\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = (R'\cdot\cos\varphi_e + R'\cdot\sin\varphi_e\cdot\tan\varphi_{cc})$

$Z_{\Delta 12} = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 63.25\Omega$ $R' = \frac{Z_{\Delta 12}}{\cos\varphi_e + \sin\varphi_e\cdot\tan\varphi_{cc}} = 30.36\Omega$ $X' = R'\cdot\tan\varphi_{cc} = 73.91\Omega$

$Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 79.9\Omega$ $V_{1cc} = \sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n} = 799V$ $v_{cc} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 4\%$

Corrente assorbita e rendimento

$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{X'+X_{1e}}{R'+R_{1e}}\right) = 31.12°$ $I_{12} = I_{12}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12}} = (3.954 - 2.387\cdot i)A$

$I_1 = I_0 + I_{12} = (4 - 2.524\cdot i)A$ $|I_1| = 4.73A$ $\cos\varphi_1 = \cos(\arg(I_1)) = 0.846$

$P_1 = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_1|\cdot\cos\varphi_1 = 138.57\text{kW}$ $P_e = 3\cdot R_{1e}\cdot|I_{12}|^2 = 135.05\text{kW}$ $\eta = \frac{P_e}{P_1} = 97.46\%$

Calcolo rendimento con R_{1e}=Z_e

$R'_{1e} = Z_{1e} = 2436.75\Omega$ $I'_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R'+R'_{1e})^2 + X'^2}} = 4.678A$

$P'_{ep} = 3\cdot R'\cdot|I'_{12}|^2 = 1994\text{W}$ $P'_e = 3\cdot R'_{1e}\cdot|I'_{12}|^2 = 160\text{kW}$ $\eta' = \frac{P'_e}{P'_e + P_0 + P'_{ep}} = 97.8\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**9 luglio 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase ($2p$ = 4, f = 50 Hz, V_{1n}=380 V) presenta le seguenti caratteristiche nominali:

Potenza P_n = 12 kW	Velocità n_n =1433 giri/min
Potenza assorbita P_{1n} = 13.55 kW	Corrente assorbita I_{1n} = 22.5 A

La prova a vuoto, eseguita alla tensione V'_1= 400 V, ha fornito i seguenti dati:

Corrente assorbita I'_0 = 5.9 A	Potenza assorbita P'_0 = 697 W

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- i parametri R_0, X_0, R_{12}, R_1 ed X;
- i rapporti C_a/C_n (coppia di avviamento)/(coppia nominale) e C_M/C_n (coppia di massima)/(coppia nominale).

TEORIA

1) Autotrasformatore monofase: similitudini e differenze costruttive rispetto al trasformatore, ipotesi di lavoro, relazioni tra tensioni, fmm e correnti, potenza scambiata tra primario e secondario, potenza di dimensionamento e relazione tra di esse, vantaggi e svantaggi dell'autotrasformatore rispetto al trasformatore corrispondente, considerazioni sull'autotrasformatore elevatore.
2) Diagramma polare della macchina sincrona a rotore liscio: ipotesi, diagramma vettoriale con identificazione dei vari elementi, informazioni che possono essere tratte da tale diagramma, identificazione delle varie zone di funzionamento, influenza della corrente di eccitazione, stabilità, potenza reattiva.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati iniziali

$f := 50\ \text{Hz}$ $p := 2$ $P_n := 12\ \text{kW}$ $V_{1n} := 380\ \text{V}$ $I_{1n} := 22,5\ \text{A}$ $n_n := 1433\ \text{rpm}$

$P_{1n} := 13550\ \text{W}$ $V'_1 := 400\ \text{V}$ $I'_0 := 5,9\ \text{A}$ $P'_0 := 697\ \text{W}$

Velocità sincrona e scorrimento nominale

$\Omega_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 157,0796\ \text{s}^{-1}$ $n_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 1500\ \text{rpm}$ $s_n := \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 4,4667\ \%$

Parametri ramo derivato e riporto alla V1n

$\cos\varphi_0 := \frac{P'_0}{\sqrt{3} \cdot V'_1 \cdot I'_0} = 0,171$ $\varphi_0 := \text{acos}\left(\cos\varphi_0\right) = 80,182\ \text{deg}$ $Z_0 := \frac{V'_1}{\sqrt{3} \cdot I'_0} = 39,14\ \Omega$

$R_0 := \frac{V'^2_1}{P'_0} = 229,56\ \Omega$ $X_0 := \frac{Z_0}{\sin\left(\varphi_0\right)} = 39,72\ \Omega$ $I'_0 := I'_0 \cdot \mathbf{e}^{-i \cdot \varphi_0} = (1,01 - 5,81 \cdot i)\ \text{A}$

$v_1 := \frac{V'_1}{V_{1n}} = 1,053$ $I_0 := \frac{I'_0}{v_1} = (0,956 - 5,523 \cdot i)\ \text{A}$ $P_0 := \frac{P'_0}{v_1^2} = 629,043\ \text{W}$ $\left|I_0\right| = 5,605\ \text{A}$

Analisi punto nominale

$\cos\varphi_{1n} := \frac{P_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{1n} \cdot V_{1n}} = 0,91$ $\varphi_{1n} := \text{acos}\left(\cos\varphi_{1n}\right) = 23,8\ °$

$I_{1n} := I_{1n} \cdot \mathbf{e}^{-i \cdot \varphi_{1n}} = (20,59 - 9,08 \cdot i)\ \text{A}$ $I_{12n} := I_{1n} - I_0 = (19,63 - 3,56 \cdot i)\ \text{A}$ $\left|I_{12n}\right| = 19,95\ \text{A}$

Parametri R12,R1,X

$R_{12} := \frac{s_n}{1 - s_n} \cdot \frac{P_n}{3 \cdot \left|I_{12n}\right|^2} = 0,47\ \Omega$ $Z_{fn} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{12n}} = (10,82 + 1,96 \cdot i)\ \Omega$

$R_1 := Re\left(Z_{fn}\right) - \frac{R_{12}}{s_n} = 0,3\ \Omega$ $X := Im\left(Z_{fn}\right) = 1,96\ \Omega$ $Z := \sqrt{R_1^2 + X^2} = 1,98\ \Omega$

Rapporti Ca/Cn e CM/Cn

$C_n := \frac{P_n}{n_n} = 79,97\ \text{Nm}$ $I_{12a} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(R_1 + R_{12}\right)^2 + X^2}} = 104,167\ \text{A}$ $C_a := \frac{3 \cdot R_{12} \cdot I_{12a}^2}{\Omega_0} = 97,37\ \text{Nm}$

$C_M := \frac{V_{1n}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot \left(R_1 + Z\right)} = 201,22\ \text{Nm}$ $\frac{C_M}{C_n} = 2,52$ $\frac{C_a}{C_n} = 1,22$

MACCHINE ELETTRICHE	**26 agosto 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase ($P_n = 315$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V) si conoscono i seguenti parametri:

Prova a vuoto con alimentazione da secondario a V_{2n}		Perdite in c.c.
Perdite a vuoto	Corrente a vuoto	
$P_0 = 1.95$ kW	$I_{20} = 16$ A	$P_{cc} = 4.2$ kW

Alimentando il primario alla tensione V_{1n} e collegando il secondario ad un carico che assorbe una potenza attiva $P = 182$ kW ed una potenza reattiva $Q = 218$ kVAr, il rendimento risulta $\eta = 97\%$.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato riferito al primario, determinare:

- i parametri del ramo derivato R_0, X_0 e la resistenza del ramo serie R' del circuito equivalente;
- la corrente assorbita dal carico I_2 e la tensione al secondario V_2;
- la reattanza del ramo serie X' del circuito equivalente;
- la tensione corto circuito $v_{cc\%}$ in percentuale;
- il modulo della corrente assorbita I_1 ed il corrispondente fattore di potenza $\cos\varphi_1$

TEORIA

1) Diagramma di Behn-Eschenburg di una macchina sincrona a rotore liscio: ipotesi iniziali per il tracciamento, caratteristica a vuoto, relazioni tra fmm e fem, reattanza di reazione e sincrona, impedenza sincrona, circuito equivalente.
2) Effetti della reazione di indotto sulla distribuzione dell'induzione al traferro e sul flusso per polo nel funzionamento a carico di un motore in corrente continua: ipotesi sulle condizioni di esercizio, tracciamento delle figure relative agli andamenti delle fmm degli avvolgimenti coinvolti e delle distribuzioni dell'induzione e descrizione degli effetti sulla base delle figure tracciate.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$P_n = 315\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $P_0 = 1.95\text{kW}$ $P_{cc} = 4.2\text{kW}$

$I_{20} = 16A$ $\eta = 97.0\%$ $P = 182\text{kW}$ $Q = 218\text{kVAr}$

Soluzione

Grandezze nominali

$I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{2n}} = 454.66A$ $K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50$ $I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 9.09A$

Potenza apparente erogata e fattore di potenza

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 283.99\text{kVA}$ $\cos\varphi_e = \frac{P}{S} = 0.64$ $\sin\varphi_e = \sqrt{1 - \cos\varphi_e{}^2} = 0.77$

Parametri del ramo derivato e valore complesso della corrente a vuoto

$R_0 = \frac{V_{1n}{}^2}{P_0} = 205.13\text{k}\Omega$ $I_0 = \frac{I_{20}}{K} = 0.32A$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_0} = 36.08\text{k}\Omega$

$X_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z_0{}^2} - \frac{1}{R_0{}^2}}} = 36.66\text{k}\Omega$ $I_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{j\cdot X_0}\right) = (0.06 - 0.32\cdot i)A$

Resistenza del ramo serie, corrente erogata e tensione sul carico

$R' = \frac{P_{cc}}{3\cdot I_{1n}{}^2} = 16.9312\Omega$ $P_p = \frac{P}{\eta} - P = 5628.87W$ $P_{ep} = P_p - P_0 = 3678.87W$

$\alpha = \sqrt{\frac{P_{ep}}{P_{cc}}} = 93.59\%$ $I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 8.51A$

$I_2 = \alpha \cdot I_{2n} = 425.52A$ $V_2 = \frac{S}{\sqrt{3}\cdot I_2} = 385.31V$

Calcolo reattanza

$\Delta v = \frac{V_{2n} - V_2}{V_{2n}} = 3.67\%$ $\Delta V_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e)$ $\Delta V_{12} = \Delta v \cdot V_{1n} = 734.34V$

$X' = \frac{\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3} \cdot I_{12}} - R' \cdot \cos\varphi_e}{\sin\varphi_e} = 50.762\Omega$

Tensione di c.c.

$Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 53.51\Omega$ $v_{cc} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4.21\%$

Corrente assorbita e fattore di potenza

$\varphi_e = \arccos(\cos\varphi_e) = 50.14°$ $Z_{1e} = \frac{K\cdot V_2}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} \cdot e^{j\cdot\varphi_e} = (837.62 + 1003.3\cdot i)\Omega$

$Z_s = R' + j \cdot X' + Z_{1e} = (854.55 + 1054.06\cdot i)\Omega$ $I_1 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_s} + I_0 = (5.42 - 6.93\cdot i)A$

$|I_1| = 8.79A$ $\varphi_1 = -\arg(I_1) = 51.98°$ $\cos(\varphi_1) = 0.616$

MACCHINE ELETTRICHE	**13 settembre 2019**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Dalle prove a vuoto ed a rotore bloccato di un motore asincrono trifase (tensione nominale V_{1n} = 690 V, frequenza f = 50 Hz, 4 poli) sono stati ricavati i seguenti dati:

Tipo prova	*Grandezza*	*Valore*
A vuoto	Potenza assorbita	P_0 = 1070 W
	Corrente assorbita	I_0 = 7.8 A
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	V_{1RB} = 191 V
	Potenza assorbita	P_{1RB} = 3640 W
	Corrente assorbita	I_{1RB} = 44.3 A
	Coppia	C_{aRB} = 9.8 Nm

Sapendo che in condizioni nominali le perdite totali risultano P_{pn}=2495 W, determinare
- i parametri del circuito equivalente semplificato (collegamento a stella) R_0. X_0. R_1. R_{12}. X;
- i valori nominali di velocità n_n, potenza P_n e 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 di corrente assorbita I_{1n}, fattore di potenza $cos\varphi_{1n}$ e rendimento η_n.

TEORIA

1) Determinazione sperimentale dei parametri del circuito equivalente del trasformatore monofase.
2) Fenomeni legati al funzionamento a carico in un generatore sincrono: variazione di tensione, coppia frenante, reazione di indotto.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

DATI

$f = 50\text{Hz}$ $V_{1n} = 690\text{V}$ $p = 2$ $P_0 = 1070\text{W}$ $I_0 = 7.8\text{A}$

$V_{1RB} = 191\text{V}$ $P_{1RB} = 3.64\text{kW}$ $I_{1RB} = 44.3\text{A}$ $C_{aRB} = 9.8\text{Nm}$ $P_{pn} = 2495\text{W}$

SOLUZIONE

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

Analisi prova a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0.115 \Rightarrow \varphi_0 = 83.409°$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 444.95\Omega$ $X_0 = \frac{R_0}{\tan(\varphi_0)} = 51.41\Omega$

$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \cdot e^{-i \cdot \varphi_0} = (0.9 - 7.75 \cdot i)\text{A}$ $\dot{\boldsymbol{Z}}_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = (5.862 + 50.736 \cdot i)\Omega$ $|\ \dot{\boldsymbol{Z}}_0\ | = 51.073\Omega$

Analisi prova a rotore bloccato

$P_{0RB} = \left(\frac{V_{1RB}}{V_{1n}}\right)^2 \cdot P_0 = 81.99\text{W}$ $\bar{\mathbf{I}}_{0RB} = v_{1RB} \cdot I_0 = (0.25 - 2.14 \cdot i)\text{A}$ $|\ \bar{\mathbf{I}}_{0RB}\ | = 2.159\text{A}$

$\cos\varphi_{1RB} = \frac{P_{1RB}}{\sqrt{3} \cdot V_{1RB} \cdot I_{1RB}} = 0.248$ $\varphi_{1RB} = \arccos(\cos\varphi_{1RB}) = 75.62°$

$\bar{\mathbf{I}}_{1RB} = I_{1RB} \cdot e^{-i \cdot \varphi_{1RB}} = (11 - 42.91 \cdot i)\text{A}$ $\bar{\mathbf{I}}_{12RB} = \bar{\mathbf{I}}_{1RB} - \bar{\mathbf{I}}_{0RB} = (10.76 - 40.77 \cdot i)\text{A}$

$|\ \bar{\mathbf{I}}_{12RB}\ | = 42.16A$

$C_{aRB} = \frac{3 \cdot R_{12} \cdot |\bar{\mathbf{I}}_{12RB}|^2}{\Omega_0} \Rightarrow R_{12} = \frac{C_{aRB} \cdot \Omega_0}{3 \cdot |\bar{\mathbf{I}}_{12RB}|^2} = 0.289\Omega$ $P_{ep2RB} = 3 \cdot R_{12} \cdot |\ \bar{\mathbf{I}}_{12RB}\ |^2 = 1539.38\text{W}$

$P_{ep1RB} = P_{1RB} - P_{0RB} - P_{ep2RB} = 2018.63\text{W}$ $R_1 = \frac{P_{ep1RB}}{3 \cdot |\bar{\mathbf{I}}_{12RB}|^2} = 0.379\Omega$

$Z_{fRB} = \frac{V_{1RB}}{\sqrt{3} \cdot |\bar{\mathbf{I}}_{12RB}|} = 2.615\Omega$ $X = \sqrt{{Z_{fRB}}^2 - (R_1 + R_{12})^2} = 2.529\Omega$

Velocità, potenza e coppia nominali

$I_{12n} = \sqrt{\frac{P_{pn} - P_0}{3 \cdot (R_1 + R_{12})}} = 26.68\text{A}$ $Z_{fn} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{12n}} = 14.93\Omega$

$Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} \Rightarrow s_n = \frac{R_{12}}{\sqrt{{Z_{fn}}^2 - X^2} - R_1} = 2.014\%$ $\Omega_n = \Omega_0 \cdot (1 - s_n) = 1469.8\text{rpm}$

$P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot \frac{1 - s_n}{s_n} \cdot {I_{12n}}^2 = 30\text{kW}$ $C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 194.93\text{Nm}$

Rapporti coppia di avviamento e massima rispetto alla nominale

$C_a = \frac{C_{aRB}}{{v_{1RB}}^2} = 127.9Nm$ $\frac{C_a}{C_n} = 0.66$

$Z = \sqrt{{R_1}^2 + X^2} = 2.557\Omega$ $C_M = \frac{{V_{1n}}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot (R_1 + Z)} = 516.229Nm$ $\frac{C_M}{C_n} = 2.648$

Corrente assorbita e rendimento

$\varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 9.75°$ $\bar{\mathbf{I}}_{12n} = I_{12n} \cdot e^{-i \cdot \varphi_{12n}} = (26.3 - 4.52 \cdot i)A$

$\bar{\mathbf{I}}_{1n} = \bar{\mathbf{I}}_{12n} + \bar{\mathbf{I}}_0 = (27.19 - 12.27 \cdot i)A$ $|\ \bar{\boldsymbol{I}}_{1n}\ | = 29.83A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(\bar{\mathbf{I}}_{1n})) = 0.912$

$P_{1n} = \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |\ \bar{\mathbf{I}}_{1n}\ | \cdot \cos\varphi_{1n} = P_{pn} + P_n = 32.5\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_{1n}} = 92.32\%$