MACCHINE ELETTRICHE	**14 gennaio 2022**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (**$2p = 4$ poli**) con tensione $\boldsymbol{V_{1n} = 690\ V}$ e frequenza $\boldsymbol{f = 50\ Hz}$ nominali, è stato sottoposto ad una serie di prove che hanno fornito i seguenti dati:

- misura di resistenza tra due morsetti dell'avvolgimento di statore $\boldsymbol{R_{AB} = 0.44\ \Omega}$;
- prova a vuoto: corrente assorbita $\boldsymbol{I_0 = 19.2\ A}$, potenza attiva assorbita $\boldsymbol{P_0 = 2.1\ kW}$;
- prova a rotore bloccato con tensione di alimentazione ridotta $\boldsymbol{V_{cc} = 165\ V}$: corrente assorbita $\boldsymbol{I_{1cc} = 69.2\ A}$, potenza attiva assorbita $\boldsymbol{P_{acc} = 5.6\ kW}$;
- funzionamento in condizioni nominali: corrente assorbita $\boldsymbol{I_{1n} = 39.11\ A}$, potenza elettrica attiva assorbita $\boldsymbol{P_{en} = 38.32\ kW}$.

Determinare
- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R_1, R_{12} e X;
- valori nominali di velocità, potenza e rendimento n_n P_n e η_n.

TEORIA

1) Regolazione della velocità di un motore asincrono trifase con variazione della frequenza e dell'ampiezza della tensione di alimentazione: relazione frequenza/velocità, condizioni per un funzionamento regolare, relazione per scorrimento e tensione in base all'espressione approssimata della corrente di rotore, analisi per incremento della velocità al di sopra del valore nominale con identificazione di due zone di funzionamento.
2) Diagramma vettoriale di una macchina a rotore liscio con circuito magnetico saturo (diagramma di Potier): ipotesi iniziali (caratteristica di magnetizzazione, condizioni di carico, parametri circuitali), obiettivi di calcolo, procedura di tracciamento del diagramma, variazione di tensione da vuoto a carico e angolo di coppia.

RITIRATO |_| Firma _____

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

DATI D'INGRESSO

$V_n := 690\text{V}$ $f := 50\text{Hz}$ $p := 2$ $I_0 := 19.2i$ $P_0 := 2100\text{W}$ $R_{AB} := 0.44\Omega$
$V_{cc} := 165\text{V}$ $I_{1cc} := 69.2\text{A}$ $P_{acc} := 5.6\text{kW}$ $P_{en} := 38.32\text{kW}$ $I_{1n} := 39.11\text{A}$

SOLUZIONE

○ *Fattore di potenza a vuoto*

$\cos\varphi_0 := \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_0} = 0.09152$

○ *Sfasamento*

$\varphi_0 := \arccos(\cos\varphi_0) = 84.75°$

○ *Corrente a vuoto (fasore)*

$I_0 := I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (1.757 - 19.12\cdot i)\text{A}$

○ *Impedenza a vuoto*

$Z_0 := \frac{V_n}{\left(\sqrt{3}\cdot|I_0|\right)} = 20.75\Omega$

○ *Componente reattiva*

$X_0 := \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 20.84\Omega$

○ *Componente resistiva*

$R_0 := \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 226.7\Omega$

○ *Velocità sincrona*

$\Omega_0 := \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 1500\text{rpm}$

○ *Resistenza di una fase di statore*

$R_1 := \frac{R_{AB}}{2} = 0.2200\Omega$

– ***Analisi a rotore bloccato e determinazione parametri R_{12} e X***

○ *Fattore di potenza*

$\cos\varphi_{1cc} := \frac{P_{acc}}{\sqrt{3}\cdot V_{cc}\cdot I_{1cc}} = 0.2832$

○ *sfasamento*

$\varphi_{1cc} := \arccos(\cos\varphi_{1cc}) = 73.55°$

○ *Corrente assorbita a rotore bloccato*

$I_{1cc} := I_{1cc} \cdot e^{-i\cdot\varphi_{1cc}} = (19.59 - 66.37\cdot i)\text{A}$

○ *Corrente a vuoto (rot. bloccato)*

$I_{0cc} := \frac{V_{cc}}{V_n}\cdot I_0 = (0.4202 - 4.572\cdot i)\text{A}$

○ *Perdite a vuoto (rot. bloccato)*

$P_{0cc} := \left(\frac{V_{cc}}{V_n}\right)^2\cdot P_0 = 120.1\text{W}$

○ *Corrente nel ramo serie (rot. bloccato)*

$I_{12cc} := I_{1cc} - I_{0cc} = (19.17 - 61.80\cdot i)\text{A}$

○ *Potenza trasmessa = perdite rotoriche a rotore bloccato*

$P_{tcc} := P_{acc} - P_{0cc} - 3\cdot R_1\cdot|I_{12cc}|^2 = 2717\text{W}$

○ *Resistenza di rotore*

$R_{12} := \frac{P_{tcc}}{3\cdot|I_{12cc}|^2} = 0.2163\Omega$

○ *Impedenza ramo serie a rotore bloccato*

$Z_{1cc} := \frac{V_{cc}}{\sqrt{3}\cdot I_{12cc}} = (0.4363 + 1.406\cdot i)\Omega$

○ *Resistenza rotorica (alt.)*

$R_{12} := \text{Re}(Z_{1cc}) - R_1 = 0.2163\Omega$

○ *Reattanza di dispersione*

$X := \text{Im}(Z_{1cc}) = 1.406\Omega$

– ***Analisi in condizioni nominali***

○ *Fattore di potenza*

$\cos\varphi_{1n} := \frac{P_{en}}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_{1n}} = 0.8198$

○ *sfasamento*

$\varphi_{1n} := \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 34.93°$

○ *Corrente assorbita (fasore)*

$I_{1n} := I_{1n} \cdot e^{-i\cdot\varphi_{1n}} = (32.06 - 22.39\cdot i)\text{A}$

○ *Corrente nel ramo serie*

$I_{12n} := I_{1n} - I_0 = (30.31 - 3.275\cdot i)\text{A}$

○ *Impedenza del ramo serie*

$Z_{1fn} := \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_{12n}} = (12.99 + 1.404\cdot i)\Omega$

○ *Resistenza del ramo serie*

$\text{Re}\left(Z_{1fn}\right) = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}$

○ *Scorrimento*

$s_n := \frac{R_{12}}{\text{Re}(Z_{1fn}) - R_1} = 1.694\%$

○ *Velocità*

$\Omega_n := \Omega_0\cdot(1 - s_n) = 1475\text{rpm}$

○ *Potenza meccanica*

$P_n := 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot|I_{12n}|^2 = 35.00\text{kW}$

○ *Rendimento*

$\eta_n := \frac{P_n}{P_{en}} = 91.35\%$

– ***Analisi in condizioni nominali (con bilancio potenza)***

○ *Potenza reattiva assorbita*

$Q_{en} := P_{en}\cdot\tan(\varphi_{1n}) = 26763.67\text{W}$

○ *Potenza reattiva a vuoto*

$Q_0 := P_0\cdot\tan(\varphi_0) = 22849.91\text{W}$

○ *Corrente ramo serie*

$I_{12n} := \sqrt{\frac{Q_{en} - Q_0}{3\cdot X}} = 30.459\text{A}$

○ *Potenza attiva ramo serie*

$3\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)\cdot {I_{12n}}^2 = P_{en} - P_0$

○ *Resistenza del ramo serie*

$R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} = \frac{P_{en} - P_0}{3\cdot {I_{12n}}^2} = 13.014\Omega$

○ *Scorrimento*

$s_n := \frac{R_{12}}{\frac{P_{en} - P_0}{3\cdot {I_{12n}}^2} - R_1} = 1.691\%$

○ *Velocità*

$\Omega_n := \Omega_0\cdot(1 - s_n) = 1475\text{rpm}$

○ *Potenza meccanica*

$P_n := 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot|I_{12n}|^2 = 35.01\text{kW}$

○ *Rendimento*

$\eta_n := \frac{P_n}{P_{en}} = 91.35\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**4 febbraio 2022**
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 $\alpha_A = 0.8$ alimentando una terne di impedenze uguali $\dot{Z}_{e\Delta A} = 2.11 + j\ 1.05\ \Omega$ connesse a triangolo. In questa condizione di carico il trasformatore assorbe una potenza attiva $P_A = 180\ kW$.

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';
- la variazione di tensione da vuoto a carico $\Delta v_{12A\%}$, la caduta di tensione interna $\Delta v_{ZccA\%}$ e la tensione di corto circuito $v_{cc\%}$ in percentuale;
- la corrente assorbita I_{1A} ed il fattore di potenza $cos\varphi_{1A}$.

Supponendo poi che, a parità di fattore di potenza del carico ($cos\varphi_{eA} = cos\varphi_{eB}$), il grado di carico diventi $\alpha_B = 1$, si determini:

- il nuovo valore del modulo dell'impedenza del carico $Z_{e\Delta B}$;
- il rendimento η_B corrispondente a tale condizione di esercizio.

TEORIA

1) Variazione di tensione da vuoto a carico in un trasformatore monofase: diagramma vettoriale per una generica condizione di carico, calcolo dell'espressione approssimata, effetti della variazione del fattore di potenza del carico, espressione in termini relativi.
2) F.m.m. prodotta da un avvolgimento distribuito monofase (q > 1): rappresentazione rettificata dell'avvolgimento, andamento delle f.m.m. delle singole bobine e risultante, coefficiente di avvolgimento (non è richiesta la dimostrazione), ampiezza delle componenti di f.m.m (fondamentale e armoniche).

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

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

$P_A = 180\text{kW}$ $\alpha_A = 0.8$ $\dot{Z}_{e\Delta A} = 2.1 + j\,1.05$ $\alpha_B = 1$

Soluzione

Funzionamento nominale

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

Dati prova a vuoto

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 3625W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.59A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.238$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 76.25°$

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

$X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 15.189\text{k}\Omega$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 62.069\text{k}\Omega$

Parametri del carico al primario

$R_{1eA} = k^2 \cdot \frac{\text{Re}(Z_{e\Delta A})}{3} = 989.1\Omega$ $X_{1eA} = k^2 \cdot \frac{\text{Im}(Z_{e\Delta A})}{3} = 492.2\Omega$ $Z_{1eA} = \sqrt{{R_{1eA}}^2 + {X_{1eA}}^2} = 1104.76\Omega$

Bilancio potenza attiva

$I_{12A} = \alpha_A \cdot I_{1n} = 7.698A$ $P_{eA} = 3 \cdot R_{1eA} \cdot {I_{12A}}^2 = 175.833\text{kW}$ $P_{epA} = P_A - P_{eA} - P_0 = 541.667W$

CALCOLO ESATTO

Parametri R' e X'

$\text{R}' = \frac{P_{epA}}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 3.047\Omega$ $Z_{12A} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 1125\Omega$ $\text{X}' = \sqrt{{Z_{12A}}^2 - (R_{1eA} + \text{R}')^2} - X_{1eA} = 38.231\Omega$

Corrente assorbita al primario

$\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{\text{X}' + X_{1eA}}{\text{R}' + R_{1eA}}\right) = 28.131°$ $I_{12A} = I_{12A} \cdot \exp(-i\cdot\varphi_{12A}) = (6.789 - 3.629\cdot i)A$

$I_{1A} = I_0 + I_{12A} = (6.928 - 4.2\cdot i)A$ $\cos\varphi_{1A} = \frac{P_A}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot |I_{1A}|} = 0.855$ $|I_{1A}| = 8.102A$

Variazione di tensione da vuoto a carico, tensione di cortocircuito e cdt interna

$V_{12A} = \sqrt{3}\cdot Z_{1eA}\cdot |I_{12A}| = 14730.124V$ $\Delta\text{v}_{12A} = \frac{V_{1n} - V_{12A}}{V_{1n}} = 1.8\%$ $Z_{1cc} = \sqrt{\text{R}'^2 + \text{X}'^2} = 38.352\Omega$

$v_{cc} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4.26\%$ $\Delta\text{v}_{ZccA} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot |I_{12A}|}{V_{1n}} = 3.41\%$

Tensione sul carico con α_B=1

$\varphi_e = \arctan\left(\frac{X_{1eA}}{R_{1eA}}\right) = 26.456°$ $\Delta\text{V}_{12B} = \sqrt{3}\cdot I_{1n}\cdot(\text{R}'\cdot\cos\varphi_e + \text{X}'\cdot\sin\varphi_e) = 329.34V$

$\Delta\text{v}_{12B} = \frac{\Delta\text{V}_{12B}}{V_{1n}} = 2.196\%$ $V_{12B} = V_{1n} - \Delta\text{V}_{12B} = 14670.66V$

Impedenza e rendimento con α_B=1

$Z_{1eB} = \frac{V_{12B}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}} = 880.24\Omega$ $Z_{e\Delta B} = 3\cdot\frac{Z_{1eB}}{k^2} = 1.878\Omega$ $R_{1eB} = Z_{1eB}\cdot\cos\varphi_e = 788.056\Omega$

$P_{eB} = 3 \cdot R_{1eB} \cdot {I_{1n}}^2 = 218.904\text{kW}$ $\eta_B = \frac{P_{eB}}{P_{eB}+P_0+3\cdot R\prime\cdot {I_{1n}}^2} = 98\%$

CALCOLO CON FORMULA APPROSSIMATA DELLA VARIAZIONE DI TENSIONE

Bilancio potenza attiva

$I_{12A} = \alpha_A \cdot I_{1n} = 7.698A$ $P_{eA} = 3 \cdot R_{1eA} \cdot {I_{12A}}^2 = 175.833\text{kW}$ $P_{epA} = P_A - P_{eA} - P_0 = 541.667W$

Variazione di tensione da vuoto a carico

$\Delta V_{12A} = V_{1n} - \sqrt{3} \cdot Z_{1eA} \cdot \alpha_A \cdot I_{1n} = 269.88V$

Parametri R' e X'

$R' = \frac{P_{epA}}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 3.047\Omega$ $\Delta V_{12A} = \sqrt{3} \cdot I_{1n} \cdot \alpha_A \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e)$

$X' = \frac{\Delta V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}\cdot \alpha_A \cdot \sin\varphi_e} - \frac{R\prime}{\tan\varphi_e} = 39.31\Omega$

Corrente assorbita al primario

$\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{X'+X_{1eA}}{R'+R_{1eA}}\right) = 28.179°$ $I_{12A} = I_{12A} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12A}) = (6.786 - 3.635 \cdot i)A$

$I_{1A} = I_0 + I_{12A} = (6.925 - 4.205 \cdot i)A$ $\cos\varphi_{1A} = \frac{P_A}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot |I_{1A}|} = 0.855$

Variazione di tensione da vuoto a carico, tensione di cortocircuito e cdt interna

$V_{12A} = \sqrt{3} \cdot Z_{1eA} \cdot |I_{12A}| = 14730.124V$ $\Delta v_{12A} = \frac{\Delta V_{12A}}{V_{1n}} = 1.8\%$ $Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 39.427\Omega$

$v_{cc} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4.38\%$ $\Delta v_{ZccA} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot |I_{12A}|}{V_{1n}} = 3.51\%$

Tensione sul carico con α_B=1

$\varphi_e = \arctan\left(\frac{X_{1eA}}{R_{1eA}}\right) = 26.456°$ $\Delta V_{12B} = \sqrt{3} \cdot I_{1n} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e) = 337.345V$

$\Delta v_{12B} = \frac{\Delta V_{12B}}{V_{1n}} = 2.249\%$ $V_{12B} = V_{1n} - \Delta V_{12B} = 14662.655V$

Impedenza e rendimento con α_B=1

$Z_{1eB} = \frac{V_{12B}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}} = 879.759\Omega$ $Z_{e\Delta B} = 3 \cdot \frac{Z_{1eB}}{k^2} = 1.877\Omega$ $R_{1eB} = Z_{1eB} \cdot \cos\varphi_e = 787.626\Omega$

$P_{eB} = 3 \cdot R_{1eB} \cdot {I_{1n}}^2 = 218.785\text{kW}$ $\eta_B = \frac{P_{eB}}{P_{eB}+P_0+3\cdot R'\cdot {I_{1n}}^2} = 98\%$

CALCOLO ESATTO IMPEDENZA Z_{1eb}

$\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R\prime+Z_{1eB}\cdot\cos\varphi_e)^2+(X\prime+Z_{1eB}\cdot\sin\varphi_e)^2}} = I_{1n}$ $(R' + Z_{1eB} \cdot \cos\varphi_e)^2 + (X' + Z_{1eB} \cdot \sin\varphi_e)^2 = \left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}}\right)^2$

${Z_{1eB}}^2 + 2 \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e) \cdot Z_{1eB} - \left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}}\right)^2 + R'^2 + X'^2 = 0$ $R'^2 + X'^2 = {Z_{1cc}}^2$

Unica soluzione accettabile (> 0)

$Z_{1eB} = -(R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e) + \sqrt{(R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e)^2 + \left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}}\right)^2 - {Z_{1cc}}^2} = 879.64\Omega$

MACCHINE ELETTRICHE	**28 giugno 2022**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase presenta i seguenti dati nominali:

Tensione $V_{1n} = 400$ V	Frequenza $f = 50$ Hz	Velocità $n_n = 2912$ giri/min

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	$P_0 = 3.0$ kW
	Corrente assorbita	$I_0 = 26.4$ A
Punto di lavoro a **coppia massima con tensione ridotta**	Tensione di alimentazione	$V_1 = 250$ V
	Potenza assorbita	$P'_{eM} = 148.3$ kW
	Corrente assorbita	$I'_{1M} = 468.3$ A
	Velocità di rotazione	$\Omega_M = 2544.4$ giri/min
	Coppia	$C'_M = 420.4$ Nm

Determinare
- i parametri del circuito equivalente semplificato (collegamento a stella) R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- il numero di poli $2p$;
- i valori nominali di coppia C_n e potenza P_n;
- i valori nominali della corrente assorbita I_{1n}, del fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$ e del rendimento η_n.

TEORIA

1) Funzionamento a carico del trasformatore monofase: definizione dei parametri e delle correnti del circuito primario e secondario, bilancio delle f.m.m., correnti nominali, grado di carico e diagramma vettoriale.
2) Diagramma vettoriale della macchina sincrona a poli sporgenti (diagramma di Blondel): costruzione preliminare supponendo di conoscere $\overline{\boldsymbol{E}}_0$, $\overline{\boldsymbol{I}}$ e γ, individuazione dei segmenti K_dM_i, K_qM_i e costruzione finale a partire da $\overline{\boldsymbol{V}}/\sqrt{3}$, $\overline{\boldsymbol{I}}$ e φ.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

DATI

$f = 50\text{Hz}$ $V_{1n} = 400V$ $\Omega_n = 2912\text{rpm}$ $P_0 = 3\text{kW}$ $I_0 = 26.4A$

$V_1 = 250V$ $C'_M = 420.4\text{Nm}$ $I'_{1M} = 468.3A$ $P'_{eM} = 148.3\text{kW}$ $\Omega_M = 2544.4\ \text{giri/min}$

Analisi prova a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.164$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 80.56°$ $I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (4.33 - 26.04\cdot i)A$

Parametri ramo derivato

$R_0 = \frac{V_{1n}^2}{P_0} = 53.333\Omega$ $X_0 = \frac{R_0}{\tan(\varphi_0)} = 8.868\Omega$

Analisi relativa al punto a coppia massima e parametri del ramo serie

$\varphi_{1M} = \arccos\left(\frac{P'_{eM}}{\sqrt{3}\cdot V_1\cdot I'_{1M}}\right) = 43°$ $I'_{1M} = I'_{1M}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1M}} = (342.48 - 319.39\cdot i)A$

$I'_0 = \frac{V_1}{V_{1n}}\cdot I_0 = (2.71 - 16.28\cdot i)A$ $I'_{12M} = I'_{1M} - I'_0 = (339.78 - 303.11\cdot i)A$

$|I'_{12M}| = 455.33A$ $C'_M = 3\cdot\frac{R_{12}}{s_M\cdot\Omega_0}\cdot|I'_{12M}|^2$

$2p = 2$ $\Omega_0 = 3000\text{rpm}$ $\Omega_M = \Omega_0(1 - s_M)$ $s_M = \frac{\Omega_0 - \Omega_M}{\Omega_0} = 15.187\%$

$R_{12} = \frac{C'_M\cdot\Omega_0\cdot s_M}{3\cdot|I'_{12M}|^2} = 32.25\text{m}\Omega$ $s_M = \frac{R_{12}}{Z}$ $Z = \frac{R_{12}}{s_M} = 212.34\text{m}\Omega$

$P'_0 = \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2\cdot P_0 = 1171.88W$ $P'_{eM} = P'_0 + 3\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_M}\right)\cdot|I'_{12M}|^2$

$P'_{eM} = P'_0 + 3\cdot(R_1 + Z)\cdot|I'_{12M}|^2$ $R_1 + Z = \frac{P'_{eM} - P'_0}{3\cdot|I'_{12M}|^2}$ $R_1 = \frac{P'_{eM} - P'_0}{3\cdot|I'_{12M}|^2} - Z = 24.21\text{m}\Omega$

$X = \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 210.96\text{m}\Omega$

Verifica corrente tramite impedenza di fase

$Z_{fM} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_M}\right)^2 + X^2} = 0.317\Omega$ $I''_{12M} = \frac{V_1}{\sqrt{3}\cdot Z_{fM}} = 455.39A$

Coppia e potenza nominali

$s_n = \frac{\Omega_0 - \Omega_n}{\Omega_0} = 2.933\%$ $C_n = \frac{V_{1n}^2}{\Omega_0\cdot Z\cdot\left(\frac{R_{12}}{Z\cdot s_n} + \frac{Z\cdot s_n}{R_{12}} + 2\cdot\frac{R_1}{Z}\right)} = 428.42\text{Nm}$ $P_n = C_n\cdot\Omega_n = 130.64\text{kW}$

Corrente assorbita, fattore di potenza e rendimento in condizioni nominali

$I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + i\cdot X\right)} = (198.544 - 37.278\cdot i)A$ $I_{1n} = I_0 + I_{12n} = (202.87 - 63.32\cdot i)A$

$\cos\varphi_{1n} = \frac{\text{Re}(I_{1n})}{|I_{1n}|} = 0.955$ $|I_{12n}| = 202.01A$ $|I_{1n}| = 212.53A$

$P_{en} = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_{1n}|\cdot\cos\varphi_{1n} = 140.56\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_{en}} = 92.95\%$

Verifica valore coppia allo scorrimento nominale

$3\cdot\frac{R_{12}}{s_n\cdot\Omega_0}\cdot|I_{12n}|^2 = 428.42\text{Nm}$

MACCHINE ELETTRICHE	**30 agosto 2022**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 630$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 690$ V) presenta i seguenti dati:

Collegamento	Resistenze misurate ai morsetti		Corrente a vuoto	Perdite a vuoto
Dy11	primario	secondario	$i_{0\%} = 2.6\%$	$p_{0\%} = 0.4\%$
	$R_{AB} = 3.9\ \Omega$	$R_{ab} = 7.5$ mΩ		

Con primario alimentato alla tensione V_{1n}, viene collegato un carico che assorbe la potenza P_A =360 kW ad una tensione V_{2A} =670 V. In tali condizioni il trasformatore assorbe una potenza attiva pari a P_{1A} =367.0 kW.

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 $cos\varphi_{1A}$;
- il rendimento η_B quando al trasformatore viene collegato un carico puramente ohmico $R_{eB} = |\dot{Z}_{eA}|$.

TEORIA

1) Regolazione della velocità di un motore asincrono con variazione del numero di poli e dell'ampiezza della tensione di alimentazione: schema di principio, variazione della caratteristica di coppia, applicazioni e limitazioni.
2) Diagramma polare della macchina sincrona a rotore liscio: ipotesi, diagramma vettoriale, espressioni di potenza attiva, reattiva e coppia in funzione dell'angolo di carico, stabilità, influenza della corrente di eccitazione e della coppia esterna, zone di funzionamento.

RITIRATO |_| Firma _____

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

DATI

$P_n = 630\text{kVA}$ $V_{1n} = 15\text{kV}$ $V_{2n} = 690V$ $R_{AB} = 3.9\Omega$ $R_{ab} = 7.5\text{m}\Omega$

$p_0 = 0.4\%$ $i_0 = 2.6\%$ $P_A = 360\text{kW}$ $V_{2A} = 670V$ $P_{1A} = 367.0\text{kW}$

Valori nominali

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 21.74$ $I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 24.25A$ $I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 527.15A$

Parametri ramo derivato

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 2520W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.63A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.15$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 81.15°$ $I_a = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0.1A$ $I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 0.62A$

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 89.29\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 13.9\text{k}\Omega$

Resistenze

$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = 1.95\Omega$ $R_{12} = \frac{R_{ab}}{2}\cdot K^2 = 1.77\Omega$ $\text{R}' = R_1 + R_{12} = 3.72\Omega$

Corrente ed impedenza di carico

$P_{epA} = P_{1A} - P_A - P_0 = 4480W$ $I_{12A} = \sqrt{\frac{P_{epA}}{3\cdot \text{R}'}} = 20.03A$ $V_{12A} = K \cdot V_{2A} = 14565.22V$

$\cos\varphi_{eA} = \frac{P_A}{\sqrt{3}\cdot V_{12A}\cdot I_{12A}} = 0.71$ $\varphi_{eA} = \arccos(\cos\varphi_{eA}) = 44.57°$ $Z_{1eA} = \frac{V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 419.83\Omega$

$R_{1eA} = Z_{1eA}\cdot\cos\varphi_{eA} = 299.11\Omega$ $X_{1eA} = Z_{1eA}\cdot\sin\varphi_{eA} = 294.61\Omega$

$R_{eA} = \frac{R_{1eA}}{K^2} = 0.63\Omega$ $X_{eA} = \frac{X_{1eA}}{K^2} = 0.62\Omega$

Reattanza X' (formula approssimata)

$\Delta V_{12A} = \sqrt{3}\cdot I_{12A}\cdot(\text{R}'\cdot\cos\varphi_{eA} + \text{X}'\cdot\sin\varphi_{eA})$ $\Delta V_{12A} = V_{1n} - V_{12A} = 434.78V$

$\text{X}' = \frac{\Delta V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}\cdot\sin(\varphi_{eA})} - \frac{\text{R}'}{\tan(\varphi_{eA})} = 14.08\Omega$

Reattanza X' (formula esatta)

$\text{X}' = \sqrt{\left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}}\right)^2 - (\text{R}' + R_{1eA})^2} - X_{1eA} = 13.99\Omega$

Corrente assorbita

$I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.1 - 0.62\cdot i)A$ $\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{\text{X}'+X_{1eA}}{\text{R}'+R_{1eA}}\right) = 45.55°$

$I_{12A} = I_{12A}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12A}} = (14.03 - 14.3\cdot i)A$ $I_{1A} = I_{12A} + I_0 = (14.12 - 14.92\cdot i)A$

$|I_{1A}| = 20.55A$ $\cos\varphi_{1A} = \cos(\arg(I_{1A})) = 0.69$

Verifica potenza

$\text{P}'_{1A} = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_{1A}|\cdot\cos\varphi_{1A} = 366.95\text{kW}$ $\frac{P_{1A} - \text{P}'_{1A}}{P_{1A}} = 0.015\%$

Corrente con carico B

$R_{1eB} = Z_{1eA} = 419.83\Omega$ $I_{12B} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(\text{R}'+R_{1eB})^2 + \text{X}'^2}} = 20.44A$ $P_B = 3\cdot R_{1eB}\cdot {I_{12B}}^2 = 525.97\text{kW}$

$P_{epB} = 3\cdot\text{R}'\cdot {I_{12B}}^2 = 4.66\text{kW}$ $\eta_B = \frac{P_B}{P_B + P_0 + P_{epB}} = 98.65\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**23 settembre 2022**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con $2p$=4 poli presenta i seguenti dati nominali:

Tensione V_{1n} = 400 V	Frequenza f = 50 Hz	Potenza P_n = 50 kW
Corrente I_n = 85 A	Fattore di potenza $cos\varphi_n$ = 0.9	Velocità n_n = 1470 giri/min

Nella prova a vuoto il motore assorbe una corrente I_0 = 16.7 A ed una potenza attiva P_0 = 1260 W. Il motore, alimentato alla tensione V' e ad una velocità n' = 1480 giri/min, sviluppa la potenza meccanica P'_m =28 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) Autotrasformatore monofase: similitudini e differenze costruttive rispetto al trasformatore, ipotesi di lavoro, relazioni tra tensioni, f.m.m. 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) Caratteristiche di un motore in corrente continua ad eccitazione serie con tensione di alimentazione costante: schema elettrico del motore, equazioni della tensione e della coppia, legame flusso-corrente, caratteristiche elettromeccaniche $n(I)$, $C(I)$ e meccanica $C(n)$

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$V_n = 400V$ $f = 50\text{Hz}$ $P_n = 50\text{kW}$ $I_{1n} = 85.0A$ $\cos\varphi_{1n} = 0.9$ $\Omega_n = 1470\text{rpm} = 153.94s^{-1}$

$P'_m = 28.0\text{kW}$ $\Omega' = 1480\text{rpm}$ $I_0 = 16.5A$ $P_0 = 1260W$ $p = 2$

Soluzione

Velocità sincrona e scorrimento

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 1500\text{rpm},$ $s_n = \frac{\Omega_0 - \Omega_n}{\Omega_0} = 2\%$

Analisi dati prova a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_0} = 0.11$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 83.75°$ $I_0 = I_0\cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (1.82 - 16.6\cdot i)A$

$Z_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_0} = (1.51 + 13.75\cdot i)\Omega$ $R_0 = \frac{|Z_0|}{\cos\varphi_0} = 126.98\Omega$ $X_0 = \frac{|Z_0|}{\sin(\varphi_0)} = 13.91\Omega$

Analisi dati funzionamento nominale

$\varphi_{1n} = \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 25.84°$ $I_{1n} = I_{1n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{1n}} = (76.5 - 37.05\cdot i)A$

$I_{12n} = I_{1n} - I_0 = (74.68 - 20.45\cdot i)A$ $Z_{fn} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_{12n}} = (2.88 + 0.79\cdot i)\Omega = \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right) + X\cdot i$

$R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} = \text{Re}(Z_{fn}) = 2.88\Omega\,,$ $X = \text{Im}(Z_{fn}) = 0.79\Omega$

$P_{tn} = 3\cdot\frac{R_{12}}{s_n}\cdot {I_{12n}}^2,$ $P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot {I_{12n}}^2$ $\Rightarrow$ $P_{tn} = \frac{P_n}{1-s_n} = 51.02\text{kW}$

$R_{12} = \frac{P_{tn}\cdot s_n}{3\cdot(|I_{12n}|)^2} = 56.73\text{m}\Omega,$ $R_1 = \text{Re}(Z_{fn}) - \frac{R_{12}}{s_n} = 40.05\text{m}\Omega$

Analisi dati funzionamento a P'_m

$s' = \frac{\Omega_0 - \Omega'}{\Omega_0} = 1.33\%,$ $P'_m = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s'}{s'}\cdot {I'_{12}}^2$ $\Rightarrow$ $I'_{12} = \sqrt{\frac{P'_m\cdot s'}{3\cdot R_{12}\cdot(1-s')}} = 47.15A$

$I'_{12} = \frac{V'}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'}\right)^2 + X^2}}$ $\Rightarrow$ $V' = \sqrt{3}\cdot\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'}\right)^2 + X^2}\cdot I'_{12} = 356.61V$

$I'_{12} = \frac{V'}{\sqrt{3}\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s'} + i\cdot X\right)} = (46.38 - 8.51\cdot i)A$

$I'_0 = \frac{V'}{V_n}\cdot I_0 = (1.62 - 14.8\cdot i)A,$ $I'_1 = I'_0 + I'_{12} = (48 - 23.31\cdot i)A,$ $|I'_1| = 53.36A$

$\cos\varphi'_1 = \cos(\arg(I'_1)) = 0.9,$ $P'_e = \sqrt{3}\cdot V'\cdot|I'_1|\cdot\cos\varphi'_1 = 29.65\text{kW},$ $\eta' = \frac{P'}{P'_e} = 94.44\%$

Verifica potenza assorbita

$P' = P_0\cdot\left(\frac{V'}{V_n}\right)^2 + P'_m + 3\cdot(R_1 + R_{12})\cdot|I'_{12}|^2 = 29.646kW$