MACCHINE ELETTRICHE	**1 febbraio 2024**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con tensione e frequenza nominali rispettivamente $\boldsymbol{V_{1n} = 1200\ \text{V}}$ e $\boldsymbol{f = 50\ \text{Hz}}$, durante la prova a vuoto a tensione $\boldsymbol{V_{1n}}$ assorbe la potenza $\boldsymbol{P_0 = 5.2\ \text{kW}}$ e la corrente $\boldsymbol{I_0 = 18.2\ \text{A}}$. Sono state inoltre rilevati i valori della coppia massima $\boldsymbol{C_M = 6352\ \text{N·m}}$ e delle corrispondenti potenza elettrica $\boldsymbol{P_{eM} = 405\ \text{kW}}$ e corrente $\boldsymbol{I_{1M} = 485\ \text{A}}$ assorbite e della velocità $\boldsymbol{n_M = 916\ \text{giri/min}}$.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:
- il numero di poli $\boldsymbol{2p}$;
- i parametri del ramo derivato $\boldsymbol{R_0, X_0}$;
- i valori della potenza trasmessa $\boldsymbol{P_{tM}}$ e delle perdite $\boldsymbol{P_{pep1M}}$ e $\boldsymbol{P_{pep2M}}$ rispettivamente negli avvolgimenti di statore e di rotore corrispondenti al funzionamento a coppia massima;
- i parametri resistivi del ramo serie $\boldsymbol{R_1, R_{12}}$;
- il parametro reattivo del ramo serie $\boldsymbol{X}$;
- i valori nominali di potenza $\boldsymbol{P_n}$ e coppia $\boldsymbol{C_n}$, data la velocità nominale $\boldsymbol{n_n = 980\ \text{giri/min}}$;
- i valori nominali della corrente assorbita $\boldsymbol{I_{1n}}$, del fattore di potenza $\boldsymbol{\cos\varphi_{1n}}$ e del rendimento $\boldsymbol{\eta_n}$.

Nota*: il dato relativo a I_{1M} non è essenziale.*

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 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, influenza del fattore di potenza del carico (solo carico puramente induttivo e puramente capacitivo).

RITIRATO |_| Firma _____

SOLO LAUREANDI |_| Sessione _____ Chiedo la correzione prioritaria del compito, accettando il voto conseguito e chiedendo cortesemente la verbalizzazione anticipata

Firma _____

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

DATI

$V_{1n} := 1200\ V$ $f := 50\ Hz$ $P_0 := 5,2\ kW$ $I_0 := 18,2\ A$ $\Omega_M := 916\ rpm$ $C_M := 6352\ N\,m$ $P_{eM} := 725\ kW$

$I_{1M} := 485\ A$ $\Omega_n := 980\ rpm$ $\Omega_0 := 1000\ rpm$

SOLUZIONE

numero poli $p := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\Omega_0} = 3,000$

ANALISI A VUOTO

$R_0 := \frac{V_{1n}^2}{P_0} = 276,9\ \Omega$ $\varphi_0 := \operatorname{acos}\left(\frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0}\right) = 82,10\ °$ $X_0 := \frac{R_0}{\tan(\varphi_0)} = 38,43\ \Omega$

$I_0 := I_0 \cdot e^{-i \cdot \varphi_0} = (2,502 - 18,03 \cdot i)\ A$

ANALISI A COPPIA MASSIMA

scorrimento

$s_M := \frac{\Omega_0 - \Omega_M}{\Omega_0} = 8,400\ \%$

perdite ohmiche di statore con bilancio potenza

$P_{tM} := C_M \cdot \Omega_0 = 665,2\ kW$ $P_{pep1M} := P_{eM} - P_0 - P_{tM} = 54,62\ kW$

perdite ohmiche di rotore

$P_{pep2M} := s_M \cdot P_{tM} = 55,88\ kW$

METODO 1 (non richiede I_{1M})

relazioni tra perdite, coppia massima, scorrimento e parametri resistivi

$\frac{R_1}{R_{12}} = \frac{P_{pep1M}}{P_{pep2M}} \rightarrow R_1 = \frac{P_{pep1M}}{P_{pep2M}} \cdot R_{12}$

$C_M = \frac{V_{1n}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot (R_1 + Z)}$, $s_M = \frac{R_{12}}{Z}$ $\rightarrow R_1 + \frac{R_{12}}{s_M} = \frac{V_{1n}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot C_M} \rightarrow \frac{P_{pep1M}}{P_{pep2M}} \cdot R_{12} + \frac{R_{12}}{s_M} = \frac{V_{1n}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot C_M}$

resistenza di rotore e di statore

$R_{12} := \frac{\frac{V_{1n}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot C_M}}{\frac{P_{pep1M}}{P_{pep2M}} + \frac{1}{s_M}} = 84,02\ m\Omega$ $R_1 := \frac{P_{pep1M}}{P_{pep2M}} \cdot R_{12} = 82,14\ m\Omega$

impedenza Z e reattanza

$Z := \frac{R_{12}}{s_M} = 1,000\ \Omega$ $X := \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 0,9969\ \Omega$

METODO 2 (richiede I_{1M})

determinazione dei fasori I_{1M} *e* I_{12M}

$cos\varphi_{1M} := \frac{P_{eM}}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_{1M}} = 0,7192$ $\varphi_{1M} := \operatorname{acos}(cos\varphi_{1M}) = 44,01\ °$

$I_{1M} := I_{1M} \cdot e^{-i \cdot \varphi_{1M}} = (348,8 - 337,0 \cdot i)\ A$ $I_{12M} := I_{1M} - I_0 = (346,3 - 318,9 \cdot i)\ A$

resistenza di rotore e di statore

$P_{pep2M} = 3 \cdot R_{12} \cdot |I_{12M}|^2$ $R_{12} := \frac{P_{pep2M}}{3 \cdot |I_{12M}|^2} = 84,02\ m\Omega$

$P_{pep1M} = 3 \cdot R_1 \cdot |I_{12M}|^2$ $R_1 := \frac{P_{pep1M}}{3 \cdot |I_{12M}|^2} = 82,14\ m\Omega$

impedenza Z e reattanza

$Z := \frac{R_{12}}{s_M} = 1{,}000\ \Omega$ $X := \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 0{,}9969\ \Omega$

FUNZIONAMENTO NOMINALE

scorrimento e corrente di rotore

$s_n := \frac{\Omega_0 - \Omega_n}{\Omega_0} = 2{,}000\ \%$ $I_{12n} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + i \cdot X \right)} = (153{,}4 - 35{,}71 \cdot i)\ A$ $\left| I_{12n} \right| = 157{,}5\ A$

$Z_{fn} := \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} \right)^2 + X^2} = 4{,}398\ \Omega$

coppia e potenza meccanica

$C_n := 3 \cdot \frac{R_{12}}{s_n} \cdot \frac{\left| I_{12n} \right|^2}{\Omega_0} = 2987\ N\,m$ $P_n := C_n \cdot \Omega_0 \cdot (1 - s_n) = 306{,}5\ kW$

corrente assorbita

$I_{1n} := I_0 + I_{12n} = (155{,}9 - 53{,}74 \cdot i)\ A$ $\left| I_{1n} \right| = 164{,}9\ A$ $cos\varphi_{1n} := \cos\left(\arg\left(I_{1n} \right) \right) = 0{,}9454$

rendimento

$P_{en} := \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot \left| I_{1n} \right| \cdot cos\varphi_{1n} = 324{,}1\ kW$ $\eta_n := \frac{P_n}{P_{en}} = 94{,}58\ \%$

oppure:

$P_{ep1n} := 3 \cdot R_1 \cdot \left| I_{12n} \right|^2 = 6{,}115\ kW$ $P_{ep2n} := 3 \cdot R_{12} \cdot \left| I_{12n} \right|^2 = 6{,}256\ kW$

$\eta_n := \frac{P_n}{P_{ep1n} + P_{ep2n} + P_0 + P_n} = 94{,}58\ \%$

MACCHINE ELETTRICHE	**20 febbraio 2024**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n =$ 400 kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V, collegamento Yy0) presenta resistenza di fase primaria R_1 =4.72 Ω e secondaria R_2 =1.92 mΩ.

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 =0.9, dando luogo ad una variazione di tensione da vuoto a carico $\Delta v_{\%} = 2.7\%$. In questa stessa condizione di carico, la corrente e la potenza assorbita risultano rispettivamente I_1 =10.7 A e $P_1 = 308$ kW.

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 R' e X';
- i parametri del circuito equivalente R_0 e X_0;
- la tensione e le perdite di corto circuito $v_{cc\%}$ e $p_{cc\%}$;
- il rendimento η quando il trasformatore alimenta <u>la stessa impedenza</u> con grado di carico in corrente uguale al grado di carico in potenza.

TEORIA

1) Espressione della f.e.m. indotta in un avvolgimento monofase di tipo aperto costituito da più conduttori collegati in serie e sottoposti ad un'induzione variabile sinusoidalmente nel tempo: schema dell'avvolgimento con $q = 2$, rappresentazione vettoriale delle f.e.m. nei conduttori, coefficienti di avvolgimento e di raccorciamento per la fondamentale e per le armoniche (solo formule, no dimostrazione).
2) Fenomeni legati al funzionamento a carico in un generatore sincrono: variazione di tensione, coppia frenante, posizioni relative di f.m.m. di eccitazione e di reazione di indotto, sfasamento tra f.e.m. a vuoto e corrente.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$P_n = 400\text{kVA}$, $V_{1n} = 20\text{kV}$, $V_{2n} = 400V$, $R_1 = 4.72\Omega$, $R_2 = 1.92\ \text{m}\Omega$, $\cos\varphi_e = 0.866$, $\alpha = 0.9$, $\Delta v_{\%} = 2.7\%$, $I_1 = 10.7A$, $P_1 = 308\text{kW}$

Soluzione

Grandezze nominali

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

Corrente, tensione ed impedenza di carico

$I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 10.39\text{A}$ $\Delta V_{12} = \Delta v_{\%} \cdot V_{1n} = 540V$ $V_{12} = (V_{1n} - \Delta V_{12}) = 19460V$

$V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 389.2V$ $Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 1081{,}11\Omega$

$\varphi_e = \arccos(\cos\varphi_e) = 30°$ $\sin\varphi_e = \sin(\varphi_e) = 0.5$

$R_{1e} = Z_{1e} \cdot \cos\varphi_e = 936.24\Omega$ $X_{1e} = Z_{1e} \cdot \sin\varphi_e = 540.6\Omega$

$R_e = \frac{R_{1e}}{K^2} = 0.37\Omega$ $X_e = \frac{X_{1e}}{K^2} = 0.22\Omega$

Resistenza, reattanza, tensione e perdite di cortocircuito

$R' = R_1 + K^2 \cdot R_2 = 9.52\Omega$ $\Delta V_{12} = \sqrt{3} \cdot I_{12} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_e + X' \cdot \sin\varphi_e)$

$Z_{\Delta 12} = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 30\Omega$ $X' = \frac{Z_{\Delta 12}}{\sin\varphi_e} - \frac{R'}{\tan(\varphi_e)} = 43.51\Omega$ $Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 44.54\Omega$

$V_{1cc} = \sqrt{3} \cdot Z_{1cc} \cdot I_{1n} = 890.74V$ $v_{cc} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 4.45\%$

$P_{1cc} = 3 \cdot R' \cdot {I_{1n}}^2 = 3808W$ $p_{cc} = \frac{P_{1cc}}{P_n} = 0.952\%$

Correnti assorbite

$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{X\prime + X_{1e}}{R\prime + R_{1e}}\right) = 31.7°$ $I_{12} = I_{12} \cdot e^{-i\cdot\varphi_{12}} = (8.842 - 5.461 \cdot i)A$

$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_1} = 0.831$ $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1) = 33.8°$ $I_1 = I_1 \cdot e^{-i\cdot\varphi_1} = (8.891 - 5.953 \cdot i)A$

$I_0 = I_1 - I_{12} = (0.049 - 0.492 \cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.049A$ $I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.492\text{A}$

Parametri e perdite a vuoto

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 234.27\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 23.47\text{k}\Omega$ $P_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{R_0} = 1707.42W$

Funzionamento con $\alpha' = \alpha'_p$

$\alpha' = \alpha'_p \Rightarrow V'_{12} = V_{1n}$ $I'_{12} = \frac{V'_{12}}{\sqrt{3}\cdot|Z_{1e}|} = 9A$ $Z'_{12} = \sqrt{(R' + R_{1e})^2 + (X' + X_{1e})^2} = 1111.6\Omega$

$V'_1 = \sqrt{3} \cdot Z'_{12} \cdot I'_{12} = 20564\text{V}$

$P'_0 = \left(\frac{V'_1}{V_{1n}}\right)^2 \cdot P_0 = 1805.08\text{W}$ $P'_{ep} = 3 \cdot R' \cdot |I'_{12}|^2 = 3.26\text{kW}$

$P'_e = 3 \cdot R_{1e} \cdot |I'_{12}|^2 = 320.41\text{kW}$ $\eta' = \frac{P'_e}{P\prime_e + P'_0 + P'_{ep}} = 98.44\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**2 luglio 2024**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (numero poli $2p$ = 4, collegamento fasi di statore **a triangolo**) presenta i seguenti dati nominali:

Tensione nominale V_{1n} = 690 V	Frequenza f = 50 Hz	Velocità n_n=1470 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	Corrente assorbita	I_0 = 20.0 A
	Potenza assorbita	P_0 = 3600 W
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	V_{1cc} = 111 V
	Corrente assorbita	I_{1cc} = 109 A
	Potenza assorbita	P_{1cc} = 5500 W
	Coppia all'albero	C_{acc} = 19.0 Nm

Con riferimento al circuito equivalente semplificato (collegamento a stella), determinare:
- i parametri del ramo derivato R_0 e X_0;
- i parametri R_1, R_{12} e X;
- la potenza P_n, la corrente assorbita I_{1n} ed il fattore di potenza cosφ_{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) 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) Forza magnetomotrice prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto trifase: espressione del campo magnetico rotante relativo alla fondamentale a partire dalle espressioni delle f.m.m. delle singole fasi, velocità di rotazione, ampiezze e velocità delle f.m.m. risultanti relative alle armoniche di ordine superiore.

RITIRATO |_| Firma _____

SOLO LAUREANDI |_| Sessione _____ Chiedo la correzione prioritaria del compito, accettando il voto conseguito e chiedendo cortesemente la verbalizzazione anticipata

Firma _____

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

SOLUZIONE

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$\Omega_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 157,1\ s^{-1}$ $n_0 := \Omega_0 = 1500\ rpm$ $s_n := \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 2,000\ \%$

ANALISI A VUOTO

$cos\varphi_0 := \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0,1506$ $\varphi_0 := acos\left(cos\varphi_0\right) = 81,34\ °$ $Z_0 := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = 19,92\ \Omega$

$X_0 := \frac{Z_0}{\sin\left(\varphi_0\right)} = 20,15\ \Omega$ $R_0 := \frac{V_{1n}^{\ 2}}{P_0} = 132,2\ \Omega$ $I_0 := I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} = (3,012 - 19,77 \cdot i)\ A$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO

corrente e perdite a vuoto a tensione ridotta

$\alpha_{vcc} := \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 0,1609$ $I_{0cc} := \alpha_{vcc} \cdot I_0 = (0,4846 - 3,181 \cdot i)\ A$ $P_{0cc} := \alpha_{vcc}^{\ 2} \cdot P_0 = 93,16\ W$

bilancio potenza e corrente di rotore

$P_{tcc} := C_{acc} \cdot \Omega_0 = 2985\ W$ $P_{ep1cc} := P_{1cc} - P_{0cc} - P_{tcc} = 2422\ W$

$cos\varphi_{1cc} := \frac{P_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1cc}} = 0,2625$ $\varphi_{1cc} := acos\left(cos\varphi_{1cc}\right) = 74,78\ °$

$I_{1cc} := I_{1cc} \cdot e^{-j \cdot \varphi_{1cc}} = (28,61 - 105,2 \cdot i)\ A$ $I_{12cc} := I_{1cc} - I_{0cc} = (28,12 - 102,0 \cdot i)\ A$

Parametri del ramo serie

$R_{12} := \frac{P_{tcc}}{3 \cdot \left|I_{12cc}\right|^2} = 88,87\ m\Omega$ $R_1 := \frac{P_{ep1cc}}{3 \cdot \left|I_{12cc}\right|^2} = 72,13\ m\Omega$ $Z_{fcc} := \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot \left|I_{12cc}\right|} = 0,6057\ \Omega$

$X := \sqrt{Z_{fcc}^{\ 2} - \left(R_1 + R_{12}\right)^2} = 0,5839\ \Omega$

ANALISI IN CONDIZIONI NOMINALI

Potenza nominale

$Z_{fn} := \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 4,553\ \Omega$ $\varphi_{12n} := atan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 7,368\ °$

$I_{12n} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{fn}} = 87,49\ A$ $P_n := 3 \cdot R_{12} \cdot I_{12n}^{\ 2} \cdot \left(\frac{1 - s_n}{s_n}\right) = 100,0\ kW$

Corrente nominale e rendimento

$I_{12n} := I_{12n} \cdot e^{-j \cdot \varphi_{12n}} = (86,77 - 11,22 \cdot i)\ A$ $I_{1n} := I_{12n} + I_0 = (89,78 - 30,99 \cdot i)\ A$

$\left|I_{1n}\right| = 94,98\ A$ $cos\varphi_{1n} := \cos\left(arg\left(I_{1n}\right)\right) = 0,9453$ $P_{1n} := \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot \left|I_{1n}\right| \cdot cos\varphi_{1n} = 107,3\ kW$

$P_{epn} := 3 \cdot \left(R_1 + R_{12}\right) \cdot \left|I_{12n}\right|^2 = 3697\ W$

$\eta_n := \frac{P_n}{P_{1n}} = 93,20\ \%$ $\eta'_n := \frac{P_n}{P_n + P_{epn} + P_0} = 93,20\ \%$ Verifica

ANALISI AVVIAMENTO A STELLA

Coppia e corrente avviamento a tensione nominale con coll. Δ

$I_{a\Delta} := \frac{\left|I_{1cc}\right|}{\alpha_{vcc}} = 677,6\ A$ $C_{a\Delta} := \frac{C_{acc}}{\alpha_{vcc}^{\ 2}} = 734,2\ Nm$

Coppia e corrente rotore a tensione nominale con coll. Y

$C_{aY} := \frac{C_{a\Delta}}{3} = 244,7\ Nm$ $I_{aY} := \frac{\left|I_{a\Delta}\right|}{3} = 225,9\ A$

MACCHINE ELETTRICHE	**3 settembre 2024**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un motore asincrono trifase a rotore avvolto si conoscono le seguenti caratteristiche:

- tensione nominale: $V_{1n} =$ 400 V
- potenza nominale: $P_n =$ 60 kW
- velocità nominale: $n_n =$ 1445 giri/min
- corrente assorbita nominale: $I_{1n} =$ 106.5 A
- fattore di potenza nominale: $\cos\varphi_{1n} =$ 0.92
- numero di poli: $2p =$ 4
- frequenza nominale: $f =$ 50 Hz
- corrente a vuoto: $I_0 =$ 25 A
- potenza assorbita a vuoto: $P_0 =$ 3315 W

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- i parametri R_0, X_0, R_1, R_{12} e X;
- i rapporti coppia di avviamento/coppia nominale e coppia massima/coppia nominale;
- volendo ottenere la coppia massima all'avviamento inserendo delle resistenze addizionali in serie alle fasi di rotore, il rapporto tra il valore di tali resistenze e quello delle fasi rotoriche, supponendo che sia gli avvolgimenti che le resistenze addizionali siano collegati a stella;
- la velocità a cui si ottiene la coppia massima con le resistenze addizionali collegate a triangolo.

TEORIA

1) Determinazione sperimentale dei parametri del circuito equivalente del trasformatore monofase: descrizione della modalità con cui vengono effettuate le prove e delle grandezze misurate, ipotesi semplificative, procedimento per il calcolo dei parametri.
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 _____

SOLO LAUREANDI |_| Sessione _____ Chiedo la correzione prioritaria del compito, accettando il voto conseguito e chiedendo cortesemente la verbalizzazione anticipata

Firma _____

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

- ***Dati iniziali***

$P_n = 60\text{kW}$ $V_{1n} = 400\text{V}$ $f = 50\text{Hz}$ $p = 2$ $I_{1n} = 106.5A$

$n_n = 1445\text{rpm}$ $\Omega_n = 151.32\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ $\cos\varphi_{1n} = 0.92$ $I_0 = 25\text{A}$ $P_0 = 3315\text{W}$

SOLUZIONE

- ***Velocità sincrona e scorrimento nominale***

$\Omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 157.08\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ $n_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 1500\text{rpm}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 3.67\%$

- ***Parametri ramo derivato***

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0.191$ $\varphi_0 = \cos^{-1}(\cos\varphi_0) = 78.966°$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = 9.24\Omega$

$R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 48.27\Omega$ $X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 9.41\Omega$ $\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} = (4.78 - j \cdot 24.54)\text{A}$

- ***Corrente di rotore riportata allo statore nel punto nominale***

$\varphi_{1n} = \cos^{-1}(\cos\varphi_{1n}) = 23.07°$ $\bar{\mathbf{I}}_{1n} = I_{1n} \cdot e^{-j \cdot \varphi_{1n}} = (97.98 - j \cdot 41.74)\text{A}$

$\bar{\mathbf{I}}_{12n} = \bar{\mathbf{I}}_{1n} - \bar{\mathbf{I}}_0 = (93.2 - j \cdot 17.2)\text{A}$ $|\bar{\mathbf{I}}_{12n}| = 94.77\text{A}$ $\varphi_{12n} = -\arg(\bar{\mathbf{I}}_{12n}) = 10.46°$

- ***Parametri X, R_1, R_{12}***

$\dot{\mathbf{Z}}_{fn} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot \bar{\mathbf{I}}_{12n}} = \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right) + jX = (2.4 + j \cdot 0.44)\Omega$ $C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 396.5\text{Nm} = \frac{3 R_{12} |\bar{\mathbf{I}}_{12n}|^2}{\Omega_0}$

$R_{12} = \frac{C_n}{3 \cdot |\bar{\mathbf{I}}_{12n}|^2} \cdot s_n \cdot \Omega_0 = 84.76\text{m}\Omega$ $R_1 = \text{Re}(\dot{\mathbf{Z}}_{fn}) - \frac{R_{12}}{s_n} = 84.76\text{m}\Omega$ $X = \text{Im}(\dot{\mathbf{Z}}_{fn}) = 0.44\Omega$

- ***Rapporti C_a/C_n e C_M/C_n***

$C_a = \frac{R_{12} \cdot {V_{1n}}^2}{\Omega_0 \cdot ((R_1 + R_{12})^2 + X^2)} = 384.8\text{Nm}$ $Z = \sqrt{{R_1}^2 + X^2} = 0.45\Omega$ $C_M = \frac{{V_{1n}}^2}{2 \cdot \Omega_0 \cdot (R_1 + Z)} = 951.74\text{Nm}$

$\frac{C_a}{C_n} = 0.97$ $\frac{C_M}{C_n} = 2.40$

- ***Rapporto tra resistenza addizionale e resistenza rotorica per avere C_M all'avviamento***

$s'_M = \frac{R_{12} + R_{12a}}{Z} = 1$ $R_{12a} = s'_M \cdot Z - R_{12} = 0.366\Omega$ $\frac{R_{12a}}{R_{12}} = 4.31$

- ***Velocità corrispondente alla coppia massima con resistenze addizionali collegate a triangolo***

$R_{12a\Delta} = \frac{R_{12a}}{3} = 0.122\Omega$ $s'_{M\Delta} = \frac{R_{12} + R_{12a\Delta}}{Z} = 45.88\%$ $n'_{M\Delta} = n_0 \cdot (1 - s'_{M\Delta}) = 811.8\text{rpm}$

MACCHINE ELETTRICHE	**16 settembre 2024**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 630$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V) presenta i seguenti dati:

- corrente a vuoto $i_0 = 2.6\%$
- perdite a vuoto $p_0 = 0.4\%$
- tensione di corto circuito $v_{cc} = 4.1\%$
- perdite di corto circuito $p_{cc} = 1.1\%$

Alimentato alla tensione V_1 e collegato ad un carico con un fattore di potenza $\cos\varphi_e = 0.852$, il trasformatore funziona con un grado di carico $\alpha = 75\%$ ed una tensione al secondario $V_2 = 395$ V.

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

- i parametri R_0, X_0, R', X';
- l'impedenza di carico equivalente riportata al primario $\dot{Z}_{1e} = R_{1e} + jX_{1e}$;
- la tensione di alimentazione V_1 del trasformatore (**N.B.**: non è detto che sia pari a V_{1n});
- la corrente assorbita I_1 ed il fattore di potenza $\cos\varphi_1$;
- il rendimento η del trasformatore in questa condizione di carico.

TEORIA

1) 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 (è richiesto il diagramma vettoriale, non è richiesta la dimostrazione), ampiezza delle componenti di f.m.m (fondamentale e armoniche).
2) 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 ed analisi delle caratteristiche di funzionamento nel caso di **riduzione della velocità** al di sotto del valore nominale (**$\alpha \leq 1$**).

RITIRATO |_| Firma _____

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

DATI D'INGRESSO

$P_n = 630\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $p_0 = 0.4\%$ $i_0 = 2.6\%$

$v_{cc} = 4.1\%$ $p_{cc} = 1.1\%$ $V_2 = 395V$ $\cos\varphi_e = 0.852$ $\alpha = 75\%$

SOLUZIONE

Valori nominali

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50.00$ $I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 18.19A$ $I_{2n} = K \cdot I_{1n} = 909.3A$

Parametri ramo derivato

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 2520W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.4728A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.1538$

$\varphi_0 = \cos^{-1}(\cos\varphi_0) = 81.15°$ $I_0 = I_0 \cdot e^{-j\varphi_0} = (0.07275 - j0.4672)A$

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\text{Re}(I_0)} = 158.7\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{-\sqrt{3}\cdot\text{Im}(I_0)} = 24.71\text{k}\Omega$

Parametri ramo serie

$P_{cc} = p_{cc} \cdot P_n = 6930W$ $V_{1cc} = v_{cc} \cdot V_{1n} = 820V$ $Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}\cdot I_{1n}} = 26.03\Omega$

$\varphi_{cc} = \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{\sqrt{3}\cdot V_{1cc}\cdot I_{1n}}\right) = 74.44°$ $R' = Z_{1cc} \cdot \cos(\varphi_{cc}) = 6.984\Omega$ $X' = Z_{1cc} \cdot \sin(\varphi_{cc}) = 25.08\Omega$

Impedenza di carico riportata al primario

$I_2 = \alpha \cdot I_{2n} = 682.0A$ $I_{12} = \frac{I_2}{K} = 13.64A$ $V_{12} = K \cdot V_2 = 19750V$

$\varphi_e = \cos^{-1}(\cos\varphi_e) = 31.57°$ $Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} \cdot e^{j\varphi_e} = (712.3 + j437.7)\Omega$

$R_{1e} = \text{Re}(Z_{1e}) = 712.3\Omega$ $X_{1e} = \text{Im}(Z_{1e}) = 437.7\Omega$

Tensione di alimentazione

$Z_{1t} = Z_{1e} + (R' + jX') = (719.2 + j462.7)\Omega$ $|Z_{1t}| = 855.24\Omega$ $V_1 = \sqrt{3} \cdot |Z_{1t}| \cdot I_{12} = 20210V$

Corrente assorbita

$\varphi_{12} = \arg(Z_{1t}) = 32.76°$ $I_{12} = I_{12} \cdot e^{-j\cdot\varphi_{12}} = (11.47 - j7.380)A$

$I'_0 = I_0 \cdot \frac{V_1}{V_{1n}} = (0.07349 - j0.4720)A$ $I_1 = I'_0 + I_{12} = (11.54 - j7.852)A$

$|I_1| = 13.96A$ $\varphi_1 = -\arg(I_1) = 34.2226°$ $\cos\varphi_1 = \cos(\varphi_1) = 0.8269$

Rendimento

$$\eta = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{12} \cdot |I_{12}| \cdot \cos\varphi_e}{\sqrt{3} \cdot V_1 \cdot |I_1| \cdot \cos\varphi_1} = 98.40\%$$