MACCHINE ELETTRICHE	**2 febbraio 2023**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 200$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V), sottoposto alla prova a vuoto al secondario, assorbe una corrente ed una potenza pari a I_{20} =7.22 A e P_0 =1600 W.

Alimentando il primario alla tensione V_{1n} e collegando il secondario ad un carico con fattore di potenza $cos\varphi_e$ =0.85, il trasformatore assorbe la potenza P_1 =128.5 kW con fattore di potenza $cos\varphi_1$ =0.83. In tale condizione la variazione di tensione da vuoto a carico è $\Delta v_{\%} = 2.5\%$.

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

- i parametri del ramo derivato R_0, X_0;
- la tensione V_2 e l'impedenza di carico $\dot{Z}_e = R_e + jX_e$;
- i parametri del ramo longitudinale R', X';
- la tensione di cortocircuito in % $v_{cc\%}$ ed il rendimento η;
- la tensione sul carico V'_{12} ed il rendimento η' quando il trasformatore alimentato a V_{1n} è collegato ad un'impedenza di carico $\dot{Z}'_e = |\dot{Z}_e|$, cioè uguale in modulo a $\dot{Z}_e$ ma puramente resistiva.

TEORIA

1) Forza magnetomotrice prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto trifase: distribuzione a gradini della f.m.m. risultante in due istanti caratteristici con identificazione dei valori di picco, espressione del campo magnetico rotante relativo alla fondamentale, f.m.m. risultanti relative alle armoniche di ordine superiore.
2) Fenomeni legati al funzionamento a carico in un generatore sincrono: variazione di tensione, coppia frenante, reazione di indotto.

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

$P_n = 200\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $P_0 = 1600W$ $I_{20} = 7.22A$

$\cos\varphi_e = 0.85$ $P_1 = 128.5\text{kW}$ $\cos\varphi_1 = 0.83$ $\Delta v_{\%} = 2.5\%$

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

$I_0 = \frac{I_{20}}{K} = 0.144A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.32$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 71.35°$

$I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.046 - 0.137 \cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.046A$ $I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.137A$

$R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 250\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 84.4\text{k}\Omega$

Corrente, tensione ed impedenza di carico

$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot\cos\varphi_1} = 4.47A$ $\varphi_1 = \arccos(\cos\varphi_1) = 33.9°$ $I_1 = I_1 \cdot e^{-i\cdot\varphi_1} = (3.71 - 2.49 \cdot i)A$

$I_{12} = I_1 - I_0 = (3.663 - 2.356 \cdot i)A$ $|I_{12}| = 4.355A$

$\Delta V_{12} = \Delta v_{\%} \cdot V_{1n} = 500V$ $V_{12} = (V_{1n} - \Delta V_{12}) = 19500V$ $V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 390V$

$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot|I_{12}|} = 2584.86\Omega$ $Z_e = \frac{Z_{1n}}{K^2} = 1.03\Omega$ $R_{1e} = Z_{1e} \cdot \cos\varphi_e = 2197.13\Omega$

$X_{1e} = Z_{1e} \cdot \sqrt{1 - \cos{\varphi_e}^2} = 1361.66\Omega$ $R_e = \frac{R_{1e}}{K^2} = 0.879\Omega$ $X_e = \frac{X_{1e}}{K^2} = 0.5447\Omega$

Resistenza, reattanza e tensione di cortocircuito

$P_e = \sqrt{3} \cdot V_{12} \cdot |I_{12}| \cdot \cos\varphi_e = 125.04\text{kW}$ $P_{ep} = P_1 - P_0 - P_e = 1859.46W$

$R' = \frac{P_{ep}}{3\cdot|I_{12}|^2} = 32.67\Omega$ $Z_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot|I_{12}|} = 2651.14\Omega$ $X' = \sqrt{{Z_{12}}^2 - (R' + R_{1e})^2} - X_{1e} = 72.39\Omega$

<u>*Verifica*</u>: $\text{Re}\left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}}\right) - R_{1e} = 32.67\Omega$ $\text{Im}\left(\frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}}\right) - X_{1e} = 72.39\Omega$

$Z_{1cc} = \sqrt{{R'}^2 + {X'}^2} = 79.425\Omega$ $V_{1cc} = \sqrt{3} \cdot Z_{1cc} \cdot I_{1n} = 794.254V$ $v_{cc\%} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = 3.97\%$

Rendimento

$\eta = \frac{P_e}{P_1} = 97.31\%$ <u>*Verifica*</u>: $\eta = \frac{P_e}{P_e + P_{ep} + P_0} = 97.31\%$

Calcolo tensione e rendimento con $\dot{Z}'_{1e} = \left|\dot{Z}'_{1e}\right|$

$Z'_{12} = \sqrt{(Z_{1e} + R')^2 + {X'}^2} = 2618.54\Omega$ $I'_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z'_{12}} = 4.41A$ $Z'_{1e} = |Z_{1e}| = 2584.86\Omega$

$V'_{12} = \sqrt{3} \cdot Z'_{1e} \cdot I'_{12} = 19742.8V$

$P'_e = 3 \cdot Z'_{1e} \cdot {I'_{12}}^2 = 150.79\text{kW}$ $P'_{ep} = 3 \cdot R' \cdot {I'_{12}}^2 = 1906.05W$ $\eta' = \frac{P'_e}{P'_e + P'_{ep} + P_0} = 97.73\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**17 febbraio 2023**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (numero poli $2p$ = 6, collegamento fasi di statore **a triangolo**) in condizioni nominali (tensione V_{1n} = 400 V, frequenza f = 50 Hz) funziona ad una velocità n_n=973 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 = 26.9 A
	Potenza assorbita	P_0 = 3100 W
A rotore bloccato	Tensione di alimentazione	V_{1rb} = 70 V
	Coppia all'albero	C_{arb} = 18.5 Nm
	Potenza assorbita	P_{1rb} = 3760 W

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 $cos\varphi_{1n}$ 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) 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 (no dimostrazione), ampiezza componenti di f.m.m (fondamentale e armoniche).
2) F.e.m. a vuoto alle spazzole di una macchina in corrente continua: distribuzione delle f.e.m. nelle matasse di un avvolgimento a collettore a 12 cave/6 matasse con due vie interne (percorso elettrico e schema circuitale semplificato), f.e.m. in un conduttore, f.e.m. alle spazzole con piano di commutazione coincidente con il piano interpolare (no effetto spostamento delle spazzole, no caratteristica a vuoto).

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

$V_{1n} = 400V \quad f = 50\text{Hz} \quad p = 3 \quad n_n = 973\text{rpm} \quad R_{AB} = 140\text{m}\Omega$

$P_0 = 3100W \quad I_0 = 26.9A \quad V_{1rb} = 70V \quad C_{arb} = 18.5\text{Nm} \quad P_{1rb} = 3760W$

Soluzione

Velocità di sincronismo, scorrimento e velocità nominale

$\Omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 104.72s^{-1} \quad n_0 = \Omega_0 = 1000\text{rpm} \quad s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 2.7\%$

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

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = 0.166 \quad \varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 80.43° \quad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = 8.59\Omega$

$X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 8.71\Omega \quad R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 51.61\Omega \quad \bar{I}_0 = I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} = (4.47 - 26.53 \cdot i)A$

ANALISI A ROTORE BLOCCATO

Grandezze ramo derivato

$\alpha_{vrb} = \frac{V_{1rb}}{V_{1n}} = 0.175 \quad \bar{I}_{0rb} = \alpha_{vrb} \cdot \bar{I}_0 = (0.78 - 4.64 \cdot i)A \quad P_{0rb} = {\alpha_{vrb}}^2 \cdot P_0 = 94.94W$

Bilancio potenza e corrente di rotore

$P_{trb} = P_{ep2rb} = C_{arb} \cdot \Omega_0 = 1937.3W \quad P_{ep1rb} = P_{1rb} - P_{0rb} - P_{trb} = 1727.7W \quad I_{12rb} = \sqrt{\frac{P_{ep1rb}}{3 \cdot R_1}} = 90.7A$

Resistenza di rotore e reattanza

$R_{12} = \frac{P_{trb}}{3 \cdot |I_{12rb}|^2} = 78.5m\Omega \quad Z_{1cc} = \frac{V_{1rb}}{\sqrt{3} \cdot |I_{12rb}|} = 0.427\Omega \quad X = \sqrt{{Z_{1cc}}^2 - (R_1 + R_{12})^2} = 0.4\Omega$

ANALISI IN CONDIZIONI NOMINALI

Potenza nominale

$Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 3.01\Omega \quad \varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 8.03°$

$I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{fn}} = 76.81A \quad P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot {I_{12n}}^2 \cdot \left(\frac{1 - s_n}{s_n}\right) = 50.067\text{kW}$

Corrente e fattore di potenza nominali

$\bar{I}_{12n} = I_{12n} \cdot e^{-j \cdot \varphi_{12n}} = (76.06 - 10.73 \cdot i)A \quad \bar{I}_{1n} = \bar{I}_{12n} + \bar{I}_0 = (80.53 - 37.26 \cdot i)A$

$|\bar{I}_{1n}| = 88.73A \quad \cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(\bar{I}_{1n})) = 0.908$

ANALISI AVVIAMENTO A STELLA

Coppia e corrente avviamento a tensione nominale con coll. Δ

$C_{a\Delta} = \frac{C_{acc}}{{\alpha_{vrb}}^2} = 604.08\text{Nm} \quad I_{a\Delta} = \frac{|I_{1rb}|}{\alpha_{vrb}} = 544.83A$

Coppia e corrente rotore a tensione nominale con coll. Y

$C_{aY} = \frac{C_{a\Delta}}{3} = 201.36\text{Nm} \quad I_{aY} = \frac{|I_{a\Delta}|}{3} = 181.61A$

MACCHINE ELETTRICHE	**3 luglio 2023**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un motore asincrono trifase (potenza nominale P_n=75 kW, numero poli $2p$ = 6, collegamento fasi di statore **a stella**, frequenza nominale f=50 Hz) si conoscono i seguenti dati:

- resistenza tra due morsetti di statore R_{ab} = 0.2 Ω
- perdite negli avvolgimenti P_{ep} = 3382 W
- reattanza di corto circuito X = 1.5 Ω
- corrente nominale I_{1n} = 73.28 A con fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$ = 0.915
- corrente a vuoto I_0 = 12.3 A con fattore di potenza $\cos\varphi_0$ = 0.12.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato ed alle condizioni nominali, si determinino nell'ordine:

- la corrente rotorica riportata allo statore I_{12n} ed il corrispondente fattore di potenza $\cos\varphi_{12n}$;
- le resistenze di statore R_1 e di rotore riportata allo statore R_{12};
- la potenza trasmessa al rotore P_{tn};
- lo scorrimento s_n e la velocità n_n;
- la tensione di alimentazione V_{1n};
- il rendimento η_n;

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) Diagramma delle due reattanze di una macchina sincrona a poli sporgenti: ipotesi iniziali per il tracciamento, definizione delle componenti della f.m.m. di reazione di indotto e delle reattanze corrispondenti, procedimento di costruzione del diagramma vettoriale in condizioni di carico note, equazione della tensione.

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

$p := 3$ $f := 50\text{Hz}$ $P_n := 75\text{kW}$

$R_{ab} := 200\text{m}\Omega$ $P_{ep} := 3382\text{W}$ $X := 1.5\Omega$

$I_{1n} := 73.28A$ $\cos\varphi_{1n} := 0.915$

$I_0 := 12.3A$ $\cos\varphi_0 := 0.12$

SOLUZIONE

$n_0 := \frac{60 \cdot f}{p} = 1000$ giri/min

$\varphi_0 := \arccos(\cos\varphi_0) = 83.11°$ $I_0 := I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} = (1.476 - 12.21 \cdot i)\text{A}$

$\varphi_{1n} := \arccos(\cos\varphi_{1n}) = 23.79°$ $I_{1n} := I_{1n} \cdot e^{-j \cdot \varphi_{1n}} = (67.05 - 29.75 \cdot i)\text{A}$

- *corrente di rotore riportata allo statore*

$I_{12n} := I_{1n} - I_0 = (65.58 - 17.35 \cdot i)\text{A}$ $|I_{12n}| = 67.83\text{A}$ $\cos(\arg(I_{12n})) = 0.967$

- *resistenze di statore e di rotore riportata allo statore*

$R_1 := \frac{R_{ab}}{2} = 100\text{m}\Omega$ $R_{12} := \frac{P_{ep}}{3 \cdot |I_{12n}|^2} - R_1 = 145\text{m}\Omega$

- *potenza trasmessa*

$P_{ep2n} := 3 \cdot R_{12} \cdot |I_{12n}|^2 = 2002\text{W}$ $P_{tn} := P_n + P_{ep2n} = 77\text{ kW}$

- *scorrimento e velocità*

$s_n := \frac{P_{ep2n}}{P_{tn}} = 2.599\%$ $n_n := n_0 \cdot (1 - s_n) = 974$ giri/min

- *tensione di alimentazione*

$Z_{fn} := \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 5.873\Omega$ $V_{1n} := \sqrt{3} \cdot Z_{fn} \cdot |I_{12n}| = 690\text{V}$

- *rendimento*

$P_{en} := \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_{1n}| \cdot \cos\varphi_{1n} = 80140\text{W}$ $\eta_n := \frac{P_n}{P_{en}} = 93.59\%$

SOLUZIONE ALTERNATIVA

- *scorrimento*

$\tan\varphi_{12n} = \frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}} \Rightarrow s_n = \frac{R_{12}}{\frac{X}{\tan(\varphi_{12n})} - R_1} = 2.604\%$

- *tensione di alimentazione*

$Z_{fn} := \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 5.863\Omega$ $V_{1n} := \sqrt{3} \cdot Z_{fn} \cdot |I_{12n}| = 688.9\text{V}$

- *verifica della potenza meccanica erogata*

$P_n = 3R_{12}\frac{1 - s_n}{s_n}|I_{12n}|^2 = 74.86\text{kW}$

$P_{en} := \sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot |I_{1n}| \cdot \cos\varphi_{1n} = 80000\text{W}$ $\eta_n := \frac{P_n}{P_{en}} = 93.57\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**01 settembre 2023**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 400$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V) nella prova a vuoto assorbe una corrente ed una potenza attiva pari a $i_{0\%} = 2.4\%$ e $p_{0\%} = 0.6\%$. Con primario alimentato alla tensione V_{1n}, viene collegato un carico con fattore di potenza $cos\varphi_{eA}$ =0.86 che assorbe la potenza P_{eA} =320 kW producendo una variazione di tensione da vuoto a carico Δv_A =2.34%. In tali condizioni il trasformatore assorbe una potenza attiva pari a P_{1A} =324 kW.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

- i parametri R_0, X_0;
- l'impedenza di carico $\dot{Z}_{eA} = R_{eA} + jX_{eA}$
- la resistenza R' e la reattanza X';
- la tensione e le perdite di cortocircuito $v_{cc\%}$ e $p_{cc\%}$;
- la corrente assorbita I_{1A} ed il fattore di potenza $cos\varphi_{1A}$;
- l'impedenza di carico Z_{eB} che deve essere collegata affinché il trasformatore, sempre alimentato alla tensione V_{1n}, lavori con grado di carico α_B=0.8. Si assuma che il fattore di potenza del carico rimanga invariato ($cos\varphi_{eB} = cos\varphi_{eA}$).

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.
2) Caratteristiche di un motore in corrente continua ad eccitazione indipendente: schema elettrico del motore, equazioni della tensione e della coppia, velocità a vuoto e coppia di avviamento, caratteristiche elettromeccaniche $n(I)$, $C(I)$ e meccanica $C(n)$

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

$P_n = 400\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $p_0 = 0.6\%$ $i_0 = 2.4\%$

$\cos\varphi_{eA} = 0.86$ $\Delta v_A = 2.34\%$ $P_{eA} = 320\text{kW}$ $P_{1A} = 324\text{kW}$ $\alpha_B = 0.8$

SOLUZIONE

Valori nominali

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

Prova a vuoto

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 2400W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.28A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.25$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 75.52°$

$I_a = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 0.07A$ $I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 0.27A$ $\underline{I}_0 = I_0 \cdot \exp(-i \cdot \varphi_0) = (0.069 - 0.268 \cdot i)A$

$R_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_a} = 166.67\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 43.03\text{k}\Omega$

Grandezze carico

$V_{12A} = V_{1n} \cdot (1 - \Delta v_A) = 19532V$ $I_{12A} = \frac{P_{eA}}{\sqrt{3}\cdot V_{12A}\cdot\cos\varphi_{eA}} = 11A$ $\sin\varphi_{eA} = \sqrt{1 - \cos\varphi_{eA}^2} = 0.51$

$Z_{1eA} = \frac{V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 1025.3\Omega$ $R_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \cos\varphi_{eA} = 881.74\Omega$ $X_{1eA} = Z_{1eA} \cdot \sin\varphi_{eA} = 523.2\Omega$

$\underline{Z}_{eA} = \frac{(R_{1eA} + i\cdot X_{1eA})}{K^2} = (0.353 + 0.209 \cdot i)\Omega$ $|\underline{Z}_{eA}| = 0.41\Omega$ $\alpha_A = \frac{I_{12A}}{I_{1n}} = 0.953$

Ramo longitudinale

$P_{epA} = P_{1A} - P_0 - P_{eA} = 1600W$ $R' = \frac{P_{epA}}{3\cdot I_{12A}^2} = 4.41\Omega$ $Z_{12A} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 1049.85\Omega$

$X' = \sqrt{Z_{12A}^2 - (R' + R_{1eA})^2} - X_{1eA} = 39.76\Omega$ $X'_a = \frac{V_{1n} - V_{12A}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}\cdot\sin\varphi_{eA}} - R' \cdot \frac{\cos\varphi_{eA}}{\sin\varphi_{eA}} = 40.71\Omega$ (approssimata)

Grandezze cortocircuito

$Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 40\Omega$ $v_{cc\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4\%$ $p_{cc\%} = \frac{3\cdot R'\cdot I_{1n}^2}{P_n} = 0.441\%$

Corrente assorbita e fattore di potenza

$\varphi_{12A} = \arctan\left(\frac{X' + X_{1eA}}{R' + R_{1eA}}\right) = 32.43°$ $\underline{I}_{12A} = I_{12A} \cdot \exp(-i \cdot \varphi_{12A}) = (9.28 - 5.9 \cdot i)A$

$\underline{I}_{1A} = \underline{I}_{12A} + \underline{I}_0 = (9.353 - 6.166 \cdot i)A$ $|\underline{I}_{1A}| = 11.2A$ $\cos\varphi_{1A} = \cos(\arg(\underline{I}_{1A})) = 0.835$

Condizione di carico B

$I_{12B} = \alpha_B \cdot I_{1n} = 9.24A$ $\cos\varphi_{eB} = \cos\varphi_{eA} = 0.86$ $\sin\varphi_{eB} = \sin\varphi_{eA} = 0.51$ $\varphi_{eB} = \arccos(\cos\varphi_{eB}) = 30.7°$

Soluzione approssimata

$\Delta V_{12B} = \sqrt{3} \cdot (R' \cdot \cos\varphi_{eB} + X' \cdot \sin\varphi_{eB}) \cdot I_{12B} = 385.3V$ $V_{12B} = V_{1n} - \Delta V_{12B} = 19614.7V$

$Z_{12B} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12B}} = 1250\Omega$ $Z_{eB} = \frac{1}{K^2} \cdot \frac{V_{12B}}{\sqrt{3}\cdot I_{12B}} = 0.49\Omega$

Soluzione non approssimata

$Z_{12B}^2 = (R' + R_{1eB})^2 + (X' + R_{1eB} \cdot \tan\varphi_{eB})^2 \Rightarrow \quad (1 + \tan\varphi_{eB}^2) \cdot R_{1eB}^2 + 2 \cdot (R' + X' \cdot \tan\varphi_{eB}) \cdot R_{1eB} - \left(Z_{12B}^2 - Z_{1cc}^2\right) = 0$

$$R_{1eB} = \frac{-(R' + X' \cdot \tan\varphi_{eB}) + \sqrt{(R' + X' \cdot \tan\varphi_{eB})^2 + \left(Z_{12B}^2 - Z_{1cc}^2\right) \cdot (1 + \tan\varphi_{eB}^2)}}{1 + \tan\varphi_{eB}^2} = 1053.94\Omega$$

$X_{1eB} = R_{1eB} \cdot \tan(\varphi_{eB}) = 625.371\Omega$ $Z_{eB} = \frac{\sqrt{R_{1eB}^2 + X_{1eB}^2}}{K^2} = 0.49\Omega$

MACCHINE ELETTRICHE	**20 settembre 2023**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

La prova a vuoto di un trasformatore trifase ($P_n = 315$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV, $V_{2n} = 400$ V, $f = 50$ Hz) viene effettuata alimentando il secondario con tensione V_{2n}; in tali condizioni, la corrente e la potenza assorbite sono rispettivamente $I_{20} = 5.8$ A e $P_0 = 820$ W.

Alimentando il primario del trasformatore alla tensione V_{1n}, si collega al secondario:

- ***condizione di carico A***: una terna di condensatori di capacità C_e =1080 μF collegati a stella; in tale condizione, il trasformatore assorbe una potenza attiva $P_{eA} = 985$ W ed eroga al carico una potenza reattiva $Q_A = -55$ kVAr.
- ***condizione di carico B***: una terna addizionale di resistenze (sempre collegate a stella) di valore $R_e = 0.73\ \Omega$, **senza scollegare i condensatori** (in pratica, vengono aggiunte le resistenze in parallelo ai condensatori).

Determinare:

- i parametri del ramo derivato del circuito equivalente semplificato riferiti al primario R_0, X_0;
- la tensione ai morsetti del secondario V_{2A} e la corrente erogata I_{2A} nella condizione ***A***;
- i parametri del ramo serie del circuito equivalente semplificato riferiti al primario R', X';
- la corrente erogata I_{2B}, la tensione sul carico V_{2B} ed il rendimento η_B nella condizione ***B***.

TEORIA

1) Circuito equivalente di una fase della macchina asincrona
   - Definizione, significato e considerazioni sui valori dei parametri;
   - rappresentazione nel funzionamento a vuoto, in cortocircuito e in condizioni generiche;
   - passaggio al circuito equivalente semplificato: rappresentazione e considerazioni che permettono di adottare tale circuito.
2) 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.

RITIRATO |_| Firma _____

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

DATI

$P_n := 315\text{kVA}$, $V_{1n} := 20\text{kV}$, $V_{2n} := 400\text{V}$, $f := 50\text{Hz}$, $I_{20} := 5.8\text{A}$, $P_0 := 820\text{W}$

$C_e := 1080\mu\text{F}$, $P_{eA} := 985\text{W}$, $Q_A := -55\text{kVA}$ $R_e := 0.73\Omega$

SOLUZIONE

Grandezze nominali

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

Parametri a vuoto

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{2n}\cdot I_{20}} = 0.20406$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 78.225°$ $Z_{20} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3}\cdot I_{20}} = 39.817\Omega$

$R_{20} = \frac{Z_{20}}{\cos\varphi_0} = 195.12\Omega$ $X_{20} = \frac{Z_{20}}{\sin(\varphi_0)} = 40.673\Omega$ $\bar{I}_0 = \frac{I_{20}}{k}\cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.023671 - 0.11356\cdot i)A$

$R_0 = k^2 \cdot R_{20} = 487.80\text{k}\Omega$ $X_0 = k^2 \cdot X_{20} = 101.68\text{k}\Omega$

Tensione e corrente sul carico

$X_C = -\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C_e} = -2.9473\Omega$ $X_{1C} = k^2 \cdot X_C = -7368.3\Omega$ $Q_A = \frac{{V_{2A}}^2}{X_C}$ $V_{2A} = \sqrt{Q_A \cdot X_C} = 402.62V$

$I_{2A} = \frac{V_{2A}}{\sqrt{3}\cdot|X_C|} = 78.869A$ $V_{12A} := k \cdot V_{2A} = 20131\text{V}$ $I_{12A} := \frac{I_{2A}}{k} = 1.5774\text{A}$

Calcolo dei parametri del ramo serie

$P_{eA} = P_0 + 3\cdot R'\cdot {I_{12A}}^2$ $R' := \frac{P_{eA}-P_0}{3\cdot {I_{12A}}^2} = 22.105\Omega$

- *da espr. semplificata* $\Delta V_{12} = \sqrt{3}(R' I_{12}\cos\varphi_e + X' I_{12}\sin\varphi_e)$, $(\cos\varphi_e = 0, \cdot\ \sin\varphi_e = -1)$

$-\sqrt{3}\cdot X'\cdot I_{12A} = V_{1n} - V_{12A}$ $X' := \frac{V_{12A}-V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12A}} = 47.934\Omega$

- *calcolo esatto (partitore di tensione)*

$\frac{|X_{1C}|}{\sqrt{R'^2+(X_{1C}+X')^2}} = \frac{V_{12A}}{V_{1n}}$ $R'^2 + (X_{1C}+X')^2 = \left(\frac{V_{1n}}{V_{12A}}\cdot X_{1C}\right)^2$

$X' := \pm\sqrt{\left(\frac{V_{1n}}{V_{12A}}\cdot X_{1C}\right)^2 - R'^2} - X_{1C} = \begin{cases} 14689\Omega \Leftarrow \text{non accettabile } (X' > |X_{1C}|) \\ 47.968\Omega \end{cases}$ $X' := 47.968\Omega$

- *inserimento di carico resistivo addizionale*

$\dot{Z}_e := \frac{1}{\frac{1}{R_e}+\frac{1}{j\cdot X_C}} = (0.68781 - j\cdot 0.17036)\Omega$ $\dot{Z}_{1e} := k^2\cdot\dot{Z}_e = (1719.5 - j\cdot 425.89)\Omega$

$\dot{Z}_s := R' + j\cdot X' + \dot{Z}_{1e} = (1741.6 - j\cdot 377.93)\Omega$ $\bar{I}_{12B} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot\dot{Z}_s} = (6.3319 + j\cdot 1.3740)\text{A}$

$\bar{I}_{2B} := k\cdot\bar{I}_{12B} = (316.59 + j\cdot 68.700)\text{A}$ $|\bar{I}_{2B}| = 323.96\text{A}$ $V_{2B} := \sqrt{3}\cdot|Z_e|\cdot|\bar{I}_{2B}| = 397.60\text{V}$

$P_B := \frac{{V_{2B}}^2}{R_e} = 216.56\text{kW}$ $P_{eB} := \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot\text{Re}(\bar{I}_{12B}) + P_0 = 220.16\text{kW}$ $\eta_B := \frac{P_B}{P_{eB}} = 98.363\%$