MACCHINE ELETTRICHE	**14 gennaio 2021**

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase ($P_n = 400$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 690$ V) si conoscono i seguenti parametri:

Perdite a vuoto	Corrente a vuoto	Tensione di cortocircuito
$p_0 = 0.6\%$	$i_0 = 2.5\%$	$v_{cc} = 4.7\%$

Tale trasformatore, alimentato alla tensione V_{1n}, ha il secondario collegato ad un carico puramente induttivo, lavorando con grado di carico $\alpha = 0.85$. Sapendo che la variazione di tensione da vuoto a carico risulta $\Delta v = 3.5\%$, si determinino:

- la tensione V_2 e la potenza Q erogata sul carico
- i parametri R_0, X_0, R'ed X' del circuito equivalente semplificato;
- la corrente erogata I_2', la corrente assorbita I_1' in modulo e fase ed il rendimento η' quando il trasformatore alimenta un carico di fattore di potenza $cos\varphi_e'$ =0.8 con la stessa tensione di uscita ($V_2' = V_2$).

MACCHINE ELETTRICHE	**14 gennaio 2021**

TEORIA

1) Caratteristica meccanica della macchina asincrona nel funzionamento da motore: ipotesi di partenza, definizione delle varie grandezze, espressione della coppia elettromagnetica, andamento per $0 < s \leq 1$ ed identificazione dei punti caratteristici in tale zona (avviamento, punto a coppia massima).

2) Diagramma polare della macchina sincrona a rotore liscio: ipotesi di partenza, definizione del diagramma per una generica condizione di carico (generatore sovraeccitato), identificazione delle varie condizioni a seconda del segno di P e Q, espressione della coppia elettromagnetica, zona di stabilità, luoghi dei punti al variare dell'angolo di carico con eccitazione costante.

RICHIESTA DI CORREZIONE PRIORITARIA (solo per laureandi)

*Va indicata nel foglio delle risposte **solo se vi è una scadenza imminente** per la sessione di laurea per cui si è presentata la domanda, specificando di quale sessione si tratta.*

MACCHINE ELETTRICHE	**02 febbraio 2021**

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) Funzionamento a vuoto di una macchina in corrente continua: schema di un avvolgimento a collettore a 12 cave/6 matasse, distribuzione delle f.e.m. delle matasse (percorso elettrico), vie interne, f.e.m. alle spazzole con piano di commutazione coincidente con il piano interpolare (no effetto spostamento delle spazzole).

THEORY

1) Single-phase transformer at load conditions: definition of the parameters and of primary and secondary currents, m.m.f. balance, rated currents, load factor and phasor diagram.

2) Open circuit operation of a direct current machine: winding scheme of 12 slots/6 coils commutator winding, e,m.f. coil distribution, parallel paths, expression of the resulting e.m.f. at the brushes, assuming the commutation plane is on the interpolar axis (effect of brush shifting is not considered).

NOTA (solo per laureandi)

Indicare nel foglio delle risposte la richiesta di una ***correzione prioritaria,*** *qualora vi sia una scadenza imminente per la sessione di laurea per cui si è presentata la domanda (specificare la sessione). Se si desidera che il voto sia verbalizzato senza attendere una settimana scrivere la seguente frase:* "**Io <nome> <cognome> n° di matricola <matricola> confermo sin d'ora di accettare il voto conseguito all'esame di Macchine Elettriche e pubblicato su Uniweb e chiedo cortesemente la verbalizzazione anticipata**" *e controfirmare*

MACCHINE ELETTRICHE	**02 febbraio 2021**

TEORIA

3) 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).

4) Funzionamento a vuoto di una macchina in corrente continua: schema di un avvolgimento a collettore a 12 cave/6 matasse, distribuzione delle f.e.m. delle matasse (percorso elettrico), vie interne, f.e.m. alle spazzole con piano di commutazione coincidente con il piano interpolare (no effetto spostamento delle spazzole).

NOTA (solo per laureandi)

Indicare nel foglio delle risposte la richiesta di una ***correzione prioritaria,*** *qualora vi sia una scadenza imminente per la sessione di laurea per cui si è presentata la domanda (specificare la sessione). Se si desidera che il voto sia verbalizzato senza attendere una settimana scrivere la seguente frase:* "**Io <nome> <cognome> n° di matricola <matricola> confermo sin d'ora di accettare il voto conseguito all'esame di Macchine Elettriche e pubblicato su Uniweb e chiedo cortesemente la verbalizzazione anticipata**" *e controfirmare*

MACCHINE ELETTRICHE	**02 febbraio 2021**

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con tensione e frequenza nominali rispettivamente $\boldsymbol{V_{1n} = 380\ \text{V}}$ e $\boldsymbol{f = 50\ \text{Hz}}$, durante la prova a vuoto a tensione $\boldsymbol{V_{1n}}$ assorbe la potenza $\boldsymbol{P_0 = 2.4\ \text{kW}}$ e la corrente $\boldsymbol{I_0 = 32.5\ \text{A}}$. La resistenza di una fase di statore con collegamento **a triangolo** risulta $\boldsymbol{R_{1\Delta} = 0.24\ \Omega}$. Inoltre, con riferimento al punto di lavoro a coppia massima, sono state rilevati la potenza meccanica sviluppata $\boldsymbol{P_M = 112.5\ \text{kW}}$ e la velocità corrispondente $\boldsymbol{n_M = 1235}$ **giri/min**.

Determinare:
- i parametri del circuito equivalente semplificato $\boldsymbol{R_0, X_0, R_1, R_{12}, X}$;
- la potenza nominale $\boldsymbol{P_n}$, data la velocità nominale $\boldsymbol{n_n = 1448}$ **giri/min**;
- i valori nominali della corrente assorbita $\boldsymbol{I_{1n}}$, del fattore di potenza $\boldsymbol{\cos\varphi_{1n}}$ e del rendimento $\boldsymbol{\eta_n}$;
- la corrente $\boldsymbol{I_{1aY}}$ assorbita all'avviamento con avvolgimenti collegati **a stella** anziché a triangolo.

EXERCISE

A 3-phase induction motor (rated voltage $\boldsymbol{V_{1n} = 380\ \text{V}}$ and frequency $\boldsymbol{f = 50\ \text{Hz}}$) absorbs the no-load power $\boldsymbol{P_0 = 2.4\ \text{kW}}$ and current $\boldsymbol{I_0 = 32.5\ \text{A}}$ when supplied at $\boldsymbol{V_{1n}}$. The stator winding is **delta-connected** and its phase resistance is $\boldsymbol{R_{1\Delta} = 0.24\ \Omega}$. Moreover, at the maximum torque operation, the output power and the corresponding speed are $\boldsymbol{P_M = 112.5\ \text{kW}}$ and $\boldsymbol{n_M = 1235}$ **rpm**, respectively.

Evaluate:
- the parameters $\boldsymbol{R_0, X_0, R_1, R_{12}, X}$ of the simplified electrical circuit;
- the rated power $\boldsymbol{P_n}$, given the rated speed $\boldsymbol{n_n = 1448}$ **rpm**;
- the rated values of the stator current $\boldsymbol{I_{1n}}$, of the power factor $\boldsymbol{\cos\varphi_{1n}}$ and of the efficiency $\boldsymbol{\eta_n}$;
- the stator current $\boldsymbol{I_{1aY}}$ at starting condition when the stator winding is **wye-connected**.

RITIRATO |_| Firma _____

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

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

Dati

$f = 50\text{Hz}$ $V_{1n} = 380V$ $I_0 = 32.5A$ $P_0 = 2400W$ $R_{1\Delta} = 0.24\Omega$

$n_n = 1448\text{rpm}$ $P_M = 112.5\text{kW}$ $n_M = 1235\text{rpm}$

Soluzione

Poli, velocità sincrona e scorrimento nominale

$p = 2$ $\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 157.08s^{-1}$ $n_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 1500\text{rpm}$ $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 3.467\%$

Parametri ramo derivato

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.112$ $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_0} = 6.75\Omega$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 83.56°$

$R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 60.17\Omega$ $X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 6.79\Omega$ $I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (3.65 - 32.29\cdot i)A$

Analisi punto a coppia massima

$R_1 = \frac{R_{1\Delta}}{3} = 0.08\Omega$ $s_M = \frac{n_0 - n_M}{n_0} = 17.67\%$ $\Omega_M = \frac{2\cdot\pi\cdot n_M}{60} = 129.33s^{-1}$

$C_M = \frac{P_M}{\Omega_M} = 869.9\text{Nm}$ $C_M = \frac{{V_{1n}}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot(R_1+Z)} \Rightarrow Z = \frac{{V_{1n}}^2}{2\cdot C_M\cdot\Omega_0} - R_1 = 0.448\Omega$

$Z = \sqrt{{R_1}^2 + X^2} \Longrightarrow X = \sqrt{Z^2 - {R_1}^2} = 0.441\Omega$ $R_{12} = s_M \cdot Z = 0.079\Omega$

verifica del calcolo dei parametri

$Z_{fM} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_M}\right)^2 + X^2} = 0.688\Omega$ $I_{12M} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{fM}} = 318.71A$ $C_M = \frac{3\cdot R_{12}\cdot {I_{12M}}^2}{s_M\cdot\Omega_0} = 869.9\text{Nm} \Rightarrow \text{OK}$

Analisi funzionamento nominale

$Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 2.406\Omega$ $I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{fn}} = 91.19A$ $P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1-s_n}{s_n}\cdot {I_{12n}}^2 = 55.03\text{kW}$

$\varphi_{12n} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 10.57°$ $I_{12n} = I_{12n}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12n}} = (89.64 - 16.72\cdot i)A$

$I_{1n} = I_{12n} + I_0 = (93.29 - 49.017\cdot i)A$ $|I_{1n}| = 105.38A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(-\arg(I_{1n})) = 0.885$

$P_{1n} = \sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot|I_{1n}|\cdot\cos\varphi_{1n} = 61.4\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_{1n}} = 89.6\%$

metodo alternativo di calcolo del rendimento

$P_{epn} = 3\cdot(R_1 + R_{12})\cdot|I_{12n}|^2 = 3.97\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_n + P_0 + P_{epn}} = 89.6\%$

Corrente avviamento

$Z_{fcc} = \sqrt{(R_1 + R_{12})^2 + X^2} = 0.469\Omega$ $\varphi_{12cc} = \arctan\left(\frac{X}{R_1 + R_{12}}\right) = 70.16°$ $I_{12cc} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{fcc}} = 467.74A$

$I_{12cc} = I_{12cc}\cdot e^{-i\cdot\varphi_{12cc}} = (158.77 - 439.97\cdot i)A$ $I_{1cc} = I_{12cc} + I_0 = (162.417 - 472.261\cdot i)A$

collegamento a triangolo: $I_{1a\Delta} = |I_{1cc}| = 499.41A$ *collegamento a stella:* $I_{1aY} = \frac{|I_{1cc}|}{3} = 166.47A$

MACCHINE ELETTRICHE	**17 febbraio 2021**

TEORIA

1) Regolazione della velocità di un motore asincrono trifase con variazione della frequenza e dell'ampiezza della tensione di alimentazione: finalità della variazione di frequenza, condizioni per un funzionamento regolare, espressione della corrente di rotore ed analisi nel caso di **riduzione della velocità.**

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

THEORY

1) Speed control of induction motors by simultaneous regulation of the supply frequency and voltage: purposes of the frequency regulation, condition for a regular operation, rotor current expression and analysis of the operation **below the rated speed.**

2) Vector diagram of d-q armature reactances of a salient pole synchronous machine: preliminary hypotheses, definition of the armature reaction mmf components and of the corresponding reactances, construction procedure of the vector diagram for a given load condition, voltage equation.

NOTA (solo per laureandi)

*Inviare una e-mail ai docenti mauro.andriollo@unipd.it e andrea.tortella@unipd.it in cui si richiede la **correzione prioritaria,** qualora vi sia una scadenza **imminente** per la sessione di laurea per cui si è presentata la domanda (specificare la sessione). Se si desidera che il voto sia verbalizzato senza attendere una settimana scrivere la seguente frase:* "**Io <nome> <cognome> n° di matricola <matricola> confermo sin d'ora di accettare il voto conseguito all'esame di Macchine Elettriche e pubblicato su Uniweb e chiedo cortesemente la verbalizzazione anticipata**"

MACCHINE ELETTRICHE	**17 febbraio 2021**

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase ($P_n = 160$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 400$ V, collegamento triangolo/stella) si conoscono i seguenti parametri:

Resistenza ai morsetti primari A e B	Resistenza ai morsetti secondari a e b	Corrente a vuoto	Perdite a vuoto
$R_{AB} = 26.2\ \Omega$	$R_{ab} = 17.8$ mΩ	$i_{0\%} = 2.5\ \%$	$p_{0\%} = 0.68\ \%$

Alimentando il primario alla tensione V_1 e collegando il secondario ad un carico con fattore di potenza $cos\varphi_e$ =0.84, il trasformatore assorbe la potenza P_1 =~~168 kW~~ **128 kW** e lavora con grado di carico α =0.9. In tale condizione le perdite totali risultano $P_p = 3584$ W.

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

- la tensione sul carico V_2;
- i parametri a vuoto R_0 e X_0;
- i parametri R', X' e la tensione di alimentazione V_1;
- la tensione corto circuito $v_{cc\%}$ in percentuale;
- la corrente assorbita I_1 ed il fattore di potenza $cos\varphi_1$.

EXERCISE

Some tests on a three-phase transformer ($P_n = 160$ kVA, $V_{1n} = 15$ kV, $V_{2n} = 400$ V, delta/wye connection) have provided the following data:

Primary resistance at the terminals A and B	Secondary resistance at the terminals a and b	No-load current	No-load losses
$R_{AB} = 26.2\ \Omega$	$R_{ab} = 17.8$ mΩ	$i_{0\%} = 2.5\ \%$	$p_{0\%} = 0.68\ \%$

At the supply voltage V_1 and load power factor $cos\varphi_e$ =0.84, the absorbed power is P_1 =168 kW with a load current factor α =0.9. In such condition, the overall losses are $P_p = 3584$ W.

With reference to the simplified equivalent circuit represented at the primary winding, determine:

- the load voltage V_2;
- the no-load parameters R_0 e X_0;
- the parameters R', X' and the supply voltage V_1;
- the per-cent short-circuit voltage $v_{cc\%}$;
- the input current I_1 and power factor $cos\varphi_1$.

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

Dati

$P_n = 160\text{kVA}$ $V_{1n} = 15\text{kV}$ $V_{2n} = 400V$ $p_0 = 0.68\%$ $i_0 = 2.5\%$ $R_{AB} = 26.2\Omega$

$R_{ab} = 17.8\text{m}\Omega$ $\cos\varphi_e = 0.84$ $\alpha = 0.9$ $P_p = 3584W$ $P_1 = 128\text{kW}$

Soluzione

Dati nominali e prova a vuoto

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 6.158A$ $K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 37.5$ $\varphi_e = \arccos(\cos\varphi_e) = 32.86°$

$P_0 = p_0 \cdot P_n = 1088W$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.154A$ $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0} = 0.272$

$\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 74.22°$ $I_0 = I_0 \cdot e^{-i\cdot\varphi_0} = (0.042 - 0.148\cdot i)A$ $I_a = \text{Re}(I_0) = 0.042A$

$I_\mu = -\text{Im}(I_0) = 0.148A$ $R_0 = \frac{{V_{1n}}^2}{P_0} = 206.8\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 58.45\text{k}\Omega$

Corrente, potenza e tensione sul carico

$I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 5.54A$ $P_e = P_1 - P_p = 124.42\text{kW}$ $V_{12} = \frac{P_e}{\sqrt{3}\cdot I_{12}\cdot\cos\varphi_e} = 15428.7V$ $V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 411.4V$

Resistenza di fase e tensione di alimentazione

$R_1 = \frac{R_{AB}}{2} = 13.1\Omega$ $R_2 = \frac{R_{ab}}{2} = 0.0089\Omega$ $R_{12} = K^2 \cdot R_2 = 12.52\Omega$ $\text{R}' = R_1 + R_{12} = 25.62\Omega$

$P_1 = P_e + 3\cdot \text{R}'\cdot {I_{12}}^2 + {v_1}^2\cdot P_0$ $v_1 = \sqrt{\frac{P_1 - 3\cdot \text{R}'\cdot {I_{12}}^2 - P_e}{P_0}} = 1.06$ $V_1 = v_1 \cdot V_{1n} = 15905.1V$

Calcolo reattanza con espressione approssimata

$V_1 - V_{12} = \sqrt{3}\cdot I_{12}\cdot(\text{R}'\cdot\cos\varphi_e + \text{X}'_a\cdot\sin\varphi_e)$ $\text{X}'_a = \frac{V_1 - V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}\cdot\sin(\varphi_e)} - \frac{\text{R}'}{\tan(\varphi_e)} = 51.83\Omega$

Calcolo reattanza con espressione esatta

$Z_{12} = \frac{V_1}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 1656.78\Omega$ $Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 1607.14\Omega$ $R_{1e} = Z_{1e}\cdot\cos(\varphi_e) = 1350\Omega$

$X_{1e} = Z_{1e}\cdot\sin(\varphi_e) = 872.01\Omega$ ${Z_{12}}^2 = (\text{R}' + R_{1e})^2 + (\text{X}' + X_{1e})^2$

$\text{X}' = \sqrt{{Z_{12}}^2 - (\text{R}' + R_{1e})^2} - X_{1e} = 51.36\Omega$ $\frac{\text{X}' - \text{X}'_a}{\text{X}'} = -0.9\%$

Tensione di c.c.

$Z_{1cc} = \sqrt{\text{R}'^2 + \text{X}'^2} = 57.39\Omega$ $v_{cc\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot Z_{1cc}\cdot I_{1n}}{V_{1n}} = 4.08\%$

Corrente assorbita e fattore di potenza

$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{X_{1e} + \text{X}'}{R_{1e} + \text{R}'}\right) = 33.87°$ $I_{12} = I_{12}\cdot\exp(-i\cdot\varphi_{12}) = (4.6 - 3.09\cdot i)A$

$I'_0 = v_1 \cdot I_0 = (0.044 - 0.157\cdot i)A$ $I_1 = I'_0 + I_{12} = (4.65 - 3.25\cdot i)A$

$|I_1| = 5.67A$ $\cos(-\arg(I_1)) = 0.82$ $\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}\cdot V_1\cdot|I_1|} = 0.82$

MACCHINE ELETTRICHE	**28 giugno 2021**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un motore asincrono trifase (tensione nominale V_{1n} = 400 V, frequenza f = 50 Hz, 2 poli, velocità nominale n_n=2947 giri/min, collegamento a TRIANGOLO) sono noti i seguenti dati:

Tipo di prova	*Grandezza*	*Valore*
Misura volt-amperometrica	Resistenza di una singola fase	R_f = 0.312 Ω
Prova a vuoto	Potenza assorbita	P_0 = 750 W
	Corrente assorbita	I_0 = 10.3 A

Inoltre, durante l'avviamento **CON COLLEGAMENTO A STELLA**, il motore, alimentato alla tensione nominale V_{1n}, assorbe la corrente $I_{1avv\mathrm{Y}}$ = 89.1 A e la potenza attiva $P_{e,avv\mathrm{Y}}$ = 12.6 kW (***Suggerimento****: considerare come variano impedenze, correnti e potenze nel collegamento a stella rispetto al collegamento a triangolo*).

Determinare
- i parametri R_0, X_0, R_1, R_{12} e X del circuito equivalente semplificato **RIPORTATO AL COLLEGAMENTO A STELLA** (con riferimento al funzionamento **NOMINALE**, quando l'avvolgimento è in effetti collegato **A TRIANGOLO**);
- la potenza e la coppia nominali P_n e C_n;
- i valori nominali di corrente assorbita I_{1n}, fattore di potenza $cos\varphi_{1n}$ e rendimento η_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) 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.

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

$\Omega_n = 2947\text{rpm} = 308.609 s^{-1}$ $V_n = 400V$ $f = 50\text{Hz}$ $p = 1$

$R_f = 312.0\text{m}\Omega$ $I_0 = 10.3A$ $P_0 = 750W$

$I_{1avvY} = 89.1A$ $P_{e,avvY} = 12.6\text{kW}$

SOLUZIONE

Calcolo dei parametri del circuito equivalente

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 3000\text{rpm}$ $R_0 = \frac{{V_n}^2}{P_0} = 213.333\Omega$ $\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_0}\right) = 83.967°$

$I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 10.243A$ $X_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_\mu} = 22.546\Omega$ $\bar{I}_0 = I_0 \cdot e^{-j\cdot\varphi_0} = (1.083 - j\cdot 10.243)A$

$\varphi_{1cc} = \arccos\left(\frac{P_{e,avvY}}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_{1avvY}}\right) = 78.222°$ $\bar{I}_{1avv} = I_{1avv}\cdot e^{-j\cdot\varphi_{1cc}} = (18.187 - j\cdot 87.224)A$

- con collegamento a STELLA la corrente è 1/3 di quella che sarebbe assorbita nel collegamento a TRIANGOLO a parità di altre condizioni

$$\bar{I}_{1avvY} = \frac{1}{3}\cdot\left(\frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot\dot{Z}_{12cc}} + \bar{I}_0\right) \Rightarrow \dot{Z}_{12cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot(3\cdot\bar{I}_{1avvY} - \bar{I}_0)} = (0.187 + j\cdot 0.879)\Omega$$

$R_1 = \frac{R_f}{3} = 104\text{m}\Omega$ $\dot{Z}_{12cc} = (R_1 + R_{12}) + j\cdot X \Rightarrow R_{12} = \text{Re}(\dot{Z}_{12cc}) - R_1 = 82.904\text{m}\Omega$

$X = \text{Im}(\dot{Z}_{12cc}) = 878.755\text{m}\Omega$

Calcolo delle grandezze nel punto di lavoro nominale

$s_n = \frac{\Omega_0 - \Omega_n}{\Omega_0} = 1.7667\%$ $\bar{I}_{12n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + j\cdot X\right)} = (46.582 - j\cdot 8.534)A$

$P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\left(\frac{1-s_n}{s_n}\right)\cdot\text{Re}(\bar{I}_{12n})^2 = 30.009\text{kW}$ $C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 97.238Nm$

$\bar{I}_{1n} = \bar{I}_{12n} + \bar{I}_0 = (47.665 - j\cdot 18.777)A$ $|\bar{I}_{1n}| = 51.23A$

$\varphi_{1n} = -\arg(\bar{I}_{1n}) = 21.501°$ $\cos(\varphi_{1n}) = 0.93$

$P_{en} = \sqrt{3}\cdot V_n\cdot\text{Re}(\bar{I}_{1n}) = 33.023\text{kW}$ $\eta_n = \frac{P_n}{P_{en}} = 90.871\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**27 agosto 2021**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase ($P_n = 315$ kVA, $V_{1n} = 20$ kV) ha una corrente a vuoto espressa in termini relativi pari a $i_{0\%} = 1.235\%$ e perdite a vuoto P_0 =652 W.

Alimentando il primario alla tensione V_{1n} e collegando al secondario un carico **puramente induttivo** che assorbe una potenza reattiva $Q = 291$ kVAr, si ha una variazione di tensione da vuoto a carico $\Delta v_{\%}$ =3.95% ed il trasformatore assorbe dall'alimentazione la potenza attiva P_a =3741 W.

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

- i parametri del circuito equivalente R_0 e X_0;
- i parametri R' e X';
- valore efficace e fattore di potenza della corrente assorbita al primario I_1;
- rendimento η' quando il trasformatore, sempre alimentato alla tensione V_{1n}, è collegato ad un carico **puramente resistivo** avente <u>la stessa impedenza</u> del caso precedente; si confronti il valore del rendimento con quello del caso precedente.

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 _____

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

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

Dati:

$P_n = 315\text{kVA}$ $V_{1n} = 20\text{kV}$ $P_0 = 652W$ $P_a = 3741W$ $\Delta v = 3.95\%$

$Q = 291\text{kVAr}$ $i_0 = 1.235\%$

Soluzione

$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}} = 9.093A$ $I_0 = i_0 \cdot I_{1n} = 0.112A$ $\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_0}\right) = 80.352°$

$I_0 = I_0 \cdot e^{-j\cdot\varphi_0} = (0.019 - 0.111\cdot i)A$

parametri del ramo derivato

$R_0 = \frac{V_{1n}{}^2}{P_0} = 613.497\text{k}\Omega$ $X_0 = \frac{R_0}{\tan(\varphi_0)} = 104.296\text{k}\Omega$ <== ATTENZIONE: PARALLELO!!!

$v_2 = 1 - \Delta v = 96.05\%$ $V_{12} = v_2 \cdot V_{1n} = 19.21\text{kV}$

parametri del ramo serie: calcolo di R'

$X_{1e} = \frac{V_{12}{}^2}{Q} = 1.2681\text{k}\Omega$ $I_{12} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3}\cdot X_{1e}} = 8.746A$ $P_{ep} = P_a - P_0 = 3089W$ $R' = \frac{P_{ep}}{3\cdot I_{12}{}^2} = 13.461\Omega$

FORMULA ESATTA

calcolo di X'

$v_2 = \frac{X_{1e}}{\sqrt{R'^2+(X'+X_{1e})^2}} \Rightarrow R'^2 + (X' + X_{1e})^2 = \left(\frac{X_{1e}}{v_2}\right)^2 \Rightarrow (X' + X_{1e})^2 = \left(\frac{X_{1e}}{v_2}\right)^2 - R'^2 \Rightarrow$

$X' = \sqrt{\left(\frac{X_{1e}}{v_2}\right)^2 - R'^2} - X_{1e} = 52.082\Omega$

calcolo di I_1

$Z_{1t} = R' + j\cdot(X' + X_{1e}) = (13.461 + 1320.206\cdot i)\Omega$ $I_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{1t}} = (0.089 - 8.745\cdot i)A$

$I_1 = I_0 + I_{12} = (0.108 - 8.856\cdot i)A$ $|I_1| = 8.857A$ $\cos\varphi_1 = \cos(\arg(I_1)) = 0.012$

funzionamento con carico puramente resistivo

$R_{1e} = X_{1e} = 1268.124\Omega$ $Z'_{1t} = (R' + R_{1e}) + j\cdot X' = (1281.585 + 52.082\cdot i)\Omega$

$v'_2 = \frac{R_{1e}}{|Z'_{1t}|} = 98.868\%$ $\Delta v' = 1 - v'_2 = 1.132\%$ $V'_{12} = v'_2 \cdot V_{1n} = 19773.606V$

$P = \frac{V'_{12}{}^2}{R_{1e}} = 308.326\text{kW}$ $I'_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z'_{1t}} = (8.995 - 0.366\cdot i)A$

$P'_{ep} = 3\cdot R'\cdot|I'_{12}|^2 = 3272.917W$

$\eta' = \frac{P}{P+P_0+P'_{ep}} = 98.743\%$ oppure $I'_1 = I_0 + I'_{12} = (9.014 - 0.476\cdot i)A$ $\eta' = \frac{P}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot\text{Re}(I'_1)} = 98.743\%$

FORMULA APPROSSIMATA

calcolo di X'

$\Delta V_{12} = \sqrt{3}\cdot(R'\cdot I_{12}\cdot\cos\varphi_e + X'\cdot I_{12}\cdot\sin\varphi_e), \sin\varphi_e = 1, \cos\varphi_e = 0 \Rightarrow$ $X' = \frac{\Delta v\cdot V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot I_{12}} = 52.151\Omega$

calcolo di I_1

$Z_{1t} = R' + j\cdot(X' + X_{1e}) = (13.46 + 1320.275\cdot i)\Omega$ $I_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{1t}} = (0.089 - 8.745\cdot i)A$

$I_1 = I_0 + I_{12} = (0.108 - 8.856\cdot i)A$ $|I_1| = 8.856A$ $\cos\varphi_1 = \cos(\arg(I_1)) = 0.012$

funzionamento con carico puramente resistivo

$R_{1e} = X_{1e} = 1268.124\Omega$ $\quad Z'_{1t} = (R' + R_{1e}) + j \cdot X' = (1281.584 + 52.151 \cdot i)\Omega$

$v'_2 = \frac{R_{1e}}{|Z'_{1t}|} = 98.868\%$ $\quad \Delta v' = 1 - v'_2 = 1.132\%$ $\quad V'_{12} = v'_2 \cdot V_{1n} = 19773.578V$

$P = \frac{V'^2_{12}}{R_{1e}} = 308.325\text{kW}$ $\quad I'_{12} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot Z'_{1t}} = (8.995 - 0.366 \cdot i)A$

$I'_1 = I_0 + I'_{12} = (9.014 - 0.477 \cdot i)A$ $\quad |I'_1| = 9.026A$ $\quad \cos\varphi'_1 = \cos(\arg(I'_1)) = 0.999$

$P'_{ep} = 3 \cdot R' \cdot |I'_{12}|^2 = 3272.671W$

$\eta' = \frac{P}{P + P_0 + P'_{ep}} = 98.743\%$ oppure $\eta' = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot \text{Re}(I'_1)} = 98.743\%$

MACCHINE ELETTRICHE	**16 settembre 2021**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Di un motore asincrono trifase ($\boldsymbol{2p = 4}$ **poli**, scorrimento nominale $\boldsymbol{s_n = 3\%}$) alimentato a tensione $\boldsymbol{V_{1n} = 380}$ **V** e frequenza $\boldsymbol{f = 50}$ **Hz** nominali, sono noti i dati relativi ai seguenti punti di lavoro:

- prova a vuoto: corrente assorbita $\boldsymbol{I_0 = 32.5}$ **A**, potenza attiva assorbita $\boldsymbol{P_0 = 2.1}$ **kW**;
- punto di lavoro a **coppia massima**: velocità $\boldsymbol{n_M = 1226}$ **giri/min**, corrente e potenza attiva assorbite, rispettivamente, $\boldsymbol{I_{1M} = 350}$ **A** e $\boldsymbol{P_{aM} = 167.2}$ **kW**, coppia $\boldsymbol{C_M = 888.33}$ **N·m**.

Determinare
- i parametri del ramo derivato del circuito equivalente semplificato R_0, X_0;
- modulo I_{12M} e fattore di potenza $\cos\varphi_{12M}$ della corrente rotorica $\boldsymbol{I_{12M}}$ riportata allo statore;
- i parametri R_1, R_{12} e X del ramo serie del circuito equivalente semplificato;
- valori nominali del modulo della corrente assorbita I_{1n} e del fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$;
- potenza e rendimento nominali P_n e η_n.

TEORIA

1) Determinazione sperimentale dei parametri del circuito equivalente del trasformatore monofase: modalità e accorgimenti per lo svolgimento delle prove, approssimazioni adottate e descrizione dell'elaborazione dei risultati.
2) 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.

RITIRATO |_| Firma _____

Firma _____

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

DATI D'INGRESSO

$V_n = 380V$ $f = 50\text{Hz}$ $p = 2$ $s_n = 3\%$ $I_0 = 32.5A$ $P_0 = 2100W$

$I_{1\text{M}} = 350A$ $P_{\text{aM}} = 167.2\text{kW}$ $n_M = 1226\text{rpm}$ $C_M = 888.33\ Nm$

SOLUZIONE

- *Parametri del ramo derivato*

$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_0} = 0.098$ $\varphi_0 = \arccos(\cos\varphi_0) = 84.366°$

$Z_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot|I_0|} = 6.751\Omega$ $X_0 = \frac{Z_0}{\sin(\varphi_0)} = 6.783\Omega$ $R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 68.762\Omega$

- *Corrente rotorica I_{12M}*

$\Omega_0 = \frac{2\cdot\pi\cdot f}{p} = 157.08s^{-1}$ $\Omega_M = n_M = 128.386s^{-1}$ $s_M = \frac{\Omega_0-\Omega_M}{\Omega_0} = 18.267\%$

$\cos\varphi_{1\text{M}} = \frac{P_{\text{aM}}}{\sqrt{3}\cdot V_n\cdot I_{1\text{M}}} = 0.726$ $\varphi_{1\text{M}} = \arccos(\cos\varphi_{1\text{M}}) = 43.464°$

$I_{12\text{M}} = I_{1\text{M}}\cdot e^{-j\cdot\varphi_{1\text{M}}} - I_0\cdot e^{-j\cdot\varphi_0} = (250.843 - j\cdot 208.42)A$

$|I_{12\text{M}}| = 326.1A$ $\cos\varphi_{12\text{M}} = \cos\left(\arg(I_{12\text{M}})\right) = 0.7692$

CONTINUAZIONE CON PROCEDIMENTO "SEMPLIFICATO"

- *Parametri del ramo serie R_1,R_{12},X*

$Z_{\text{tM}} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_{12\text{M}}} = (0.517 + 0.43\cdot i)\Omega$ $Z_{\text{tM}} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_M} + j\cdot X \Rightarrow Z_{\text{tM}} = R_1 + Z + j\cdot X \Rightarrow$

$X = \text{Im}(Z_{\text{tM}}) = 0.43\Omega$, $C_M = \frac{3\cdot\frac{R_{12}}{s_M}\cdot|I_{12\text{M}}|^2}{\Omega_0} \Rightarrow R_{12} = \frac{C_M\cdot\Omega_0\cdot s_M}{3\cdot(|I_{12\text{M}}|)^2} = 0.08\Omega$

$R_1 = \text{Re}(Z_{\text{tM}}) - \frac{R_{12}}{s_M} = 0.08\Omega$ $s_M = \frac{R_{12}}{Z} \Rightarrow R_{12} = s_M\cdot Z = 0.08\Omega$

- *Funzionamento a scorrimento nominale: corrente assorbita I_{1n}, fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$, potenza P_n, rendimento η_n*

$Z_{\text{tn}} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + j\cdot X = (2.743 + 0.43\cdot i)\Omega$ $I_{12\text{n}} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot Z_{\text{tn}}} = (78.069 - 12.237\cdot i)A$

$I_{1\text{n}} = I_0\cdot e^{-j\cdot\varphi_0} + I_{12\text{n}} = (81.26 - 44.58\cdot i)A$ $|I_{1\text{n}}| = 92.69A$ $\cos\varphi_{1\text{n}} = \cos\left(\arg(I_{1\text{n}})\right) = 0.8767$

$P_n = 3\cdot R_{12}\cdot\left(\frac{1-s_n}{s_n}\right)\cdot|I_{12\text{n}}|^2 = 48.387\text{kW}$

$P_{\text{an}} = \sqrt{3}\cdot V_n\cdot|I_{1\text{n}}|\cdot\cos\varphi_{1\text{n}} = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{\text{an}} = \sqrt{3}\cdot V_n\cdot\text{Re}(I_{1\text{n}}) = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{\text{an}} = P_n + 3\cdot(R_1 + R_{12})\cdot(|I_{12\text{n}}|)^2 + P_0 = 53.48\text{kW}$

$\eta_n = \frac{P_n}{P_{\text{an}}} = 90.47\%$

CONTINUAZIONE CON PROCEDIMENTO che non usa il dato relativo a C_M

- *Parametri del ramo serie R_1,R_{12},X*

$Z_{\text{tM}} = \frac{V_n}{\sqrt{3}\cdot I_{12\text{M}}} = (0.517 + 0.43\cdot i)\Omega$ $Z_{\text{tm}} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_M} + j\cdot X \Rightarrow Z_{\text{tm}} = R_1 + Z + j\cdot X \Rightarrow$

$X = \text{Im}(Z_{\text{tM}}) = 0.43\Omega$ $R_1 + Z = \text{Re}(Z_{1\text{M}}) = 0.517\Omega$ $C_M = \frac{{V_n}^2}{2\cdot\Omega_0\cdot\text{Re}(Z_{\text{tM}})} = 888.331\text{Nm}$ $C_M = \frac{3\cdot\frac{R_{12}}{s_M}\cdot|I_{12\text{M}}|^2}{\Omega_0} \Rightarrow$

$C_M = \frac{3\cdot Z\cdot|I_{12\text{M}}|^2}{\Omega_0} \Rightarrow Z = \frac{C_M\cdot\Omega_0}{3\cdot|I_{12\text{M}}|^2} = 0.437\Omega$ $R_1 = \text{Re}(Z_{\text{tM}}) - Z = 0.08\Omega$ $s_M = \frac{R_{12}}{Z} \Rightarrow R_{12} = s_M\cdot Z = 0.08\Omega$

- *Funzionamento a scorrimento nominale: corrente assorbita I_{1n}, fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$, potenza P_n, rendimento η_n*

$Z_{tn} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + j \cdot X = (2.743 + 0.43 \cdot i)\Omega$ $I_{12n} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{tn}} = (78.069 - 12.237 \cdot i)A$

$I_{1n} = I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} + I_{12n} = (81.26 - 44.58 \cdot i)A$ $|I_{1n}| = 92.69A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(I_{1n})) = 0.8767$

$P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot \left(\frac{1-s_n}{s_n}\right) \cdot |I_{12n}|^2 = 48.386\text{kW}$

$P_{an} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot |I_{1n}| \cdot \cos\varphi_{1n} = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{an} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \text{Re}(I_{1n}) = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{an} = P_n + 3 \cdot (R_1 + R_{12}) \cdot (|I_{12n}|)^2 + P_0 = 53.48\text{kW}$

$\eta_n = \frac{P_n}{P_{an}} = 90.47\%$

CONTINUAZIONE CON ALTRO PROCEDIMENTO che non usa il dato relativo a C_M

- *Parametri del ramo serie R_1,R_{12},X*

$Z_{tM} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot I_{12M}} = (0.517 + 0.43 \cdot i)\Omega$ $Z_{tM} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_M} + j \cdot X \Rightarrow Z_{tM} = R_1 + Z + j \cdot X \Rightarrow$

$X = \text{Im}(Z_{tM}) = 0.43\Omega$, $R_1 + Z = \text{Re}(Z_{1M})$ $Z = \text{Re}(Z_{tM}) - R_1 \Rightarrow Z^2 = (\text{Re}(Z_{tM}) - R_1)^2 \Rightarrow$

${R_1}^2 + X^2 = \text{Re}(Z_{tM})^2 + {R_1}^2 - 2 \cdot \text{Re}(Z_{tM}) \cdot R_1 \Rightarrow R_1 = \frac{\text{Re}(Z_{tM})^2 - X^2}{2 \cdot \text{Re}(Z_{tM})} = 0.08\Omega$ $s_M = \frac{R_{12}}{Z}$, $Z = \sqrt{{R_1}^2 + X^2} = 0.4373\Omega \Rightarrow$ $R_{12} = s_M \cdot Z = 0.08\Omega$

- *Funzionamento a scorrimento nominale: corrente assorbita I_{1n}, fattore di potenza $\cos\varphi_{1n}$, potenza P_n, rendimento η_n*

$Z_{tn} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} + j \cdot X = (2.743 + 0.43 \cdot i)\Omega$ $I_{12n} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{tn}} = (78.069 - 12.237 \cdot i)A$

$I_{1n} = I_0 \cdot e^{-j \cdot \varphi_0} + I_{12n} = (81.26 - 44.58 \cdot i)A$ $|I_{1n}| = 92.69A$ $\cos\varphi_{1n} = \cos(\arg(I_{1n})) = 0.8767$

$P_n = 3 \cdot R_{12} \cdot \left(\frac{1-s_n}{s_n}\right) \cdot |I_{12n}|^2 = 48.386\text{kW}$

$P_{an} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot |I_{1n}| \cdot \cos\varphi_{1n} = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{an} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \text{Re}(I_{1n}) = 53.48\text{kW}$, oppure $P_{an} = P_n + 3 \cdot (R_1 + R_{12}) \cdot (|I_{12n}|)^2 + P_0 = 53.48\text{kW}$

$\eta_n = \frac{P_n}{P_{an}} = 90.47\%$