

Corso di Macchine e azionamenti elettrici
A.A. 2003-2004

Prova in itinere del 21 novembre 2003
Esercizio n. 1

Le caratteristiche nominali di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia sono le seguenti:
 $P_n = 7,46 \text{ kW}$; $V_n = 220 \text{ V}$, 50 Hz , N. poli 6, collegamento a stella

I parametri del circuito equivalente sono i seguenti:

$$R_s = 0,294 \Omega, \quad R_r' = 0,144 \Omega, \quad X_{ls} = 0,503 \Omega, \quad X_{lr}' = 0,209 \Omega, \quad X_m = 13,25 \Omega$$

Le perdite meccaniche per attrito e ventilazione si possono ritenere costanti e pari a 400 W .

Si calcolino:

- a) Si calcolino per un funzionamento della macchina a tensione e frequenza nominale allo scorrimento del 2% le seguenti grandezze: velocità di rotore, corrente assorbita dalla rete, fattore di potenza ($\cos \varphi$), coppia e potenza meccanica disponibili all'albero.
- b) Si calcolino la coppia e la corrente allo spunto.
- c) Si calcolino la coppia e la corrente allo spunto per una alimentazione con tensione di statore ridotta a metà del valore nominale.

Parte seconda

Il sistema di raffreddamento del motore dell'esercizio precedente viene migliorato in maniera tale che il suo coefficiente di scambio termico risulta raddoppiato, mentre la superficie di scambio termico è incrementata del 20% a parità delle altre condizioni.

- d) Si calcoli il nuovo valore della costante di tempo termica, che nella condizione precedente era pari a 70 minuti
- e) Si valuti l'incremento complessivo di perdite che il motore nella nuova situazione è in grado di sopportare senza danni per gli isolanti, rispetto alla situazione precedente
- f) Si valuti quale può essere un ragionevole incremento di potenza nominale della macchina nella nuova condizione.

Soluzione.

Velocità di rotore (in giri/min): $n_n = \frac{n_0}{(pp)}(1-s) = \frac{50 \cdot 60}{3}(1-0,02) = 980 \text{ giri/min} = 980 \frac{2\pi}{60} = 102,6 \text{ rad/s}$

a) L'impedenza equivalente allo scorrimento dato (circuito semplificato):

$$Z_{eq} = (R_s + \frac{R_r'}{s_n}) + j(X_{ls} + X_{lr}') = (0,294 + \frac{0,144}{0,02}) + j(0,503 + 0,209) = 7,494 + j0,712 = 7,53 \angle 5,43$$

Corrente assorbita dal rotore:

$$I_r' = V_f / Z_{eq} = \frac{127}{7,53 \angle 5,43} = 16,87 \angle -5,43^\circ = 16,79 - j1,6; I_0 = \frac{V_f}{jX_m} = \frac{127}{j13,25} = -j9,58 = 9,58 \angle -90^\circ$$

$$I_s = I_r' + I_0 = 16,79 - j1,6 - j9,58 = 16,79 - j11,18 = 20,17 \angle -33,66^\circ$$

$\cos(-32,4^\circ) = 0,84$ in ritardo

$$P_m = 3R_r' \left(\frac{1}{s} - 1\right) I_r'^2 = 3 \cdot 0,144 \cdot (49) \cdot 16,87^2 = 6024 \text{ W}; P_{disp} = P_m - P_{av} = 6024 - 400 = 5624 \text{ W}$$

b)

$$C_{disp} = \frac{P_{disp}}{\omega_m} = \frac{5624}{102,6} = 54,8 \text{ Nm}$$

Corrente allo spunto:

$$Z_{eqsp} = (R_s + \frac{R_r'}{1}) + j(X_{ls} + X_{lr}') = (0,294 + 0,144) + j(0,503 + 0,209) = 0,438 + j0,712 = 0,836 \angle 58,4$$

$$I_{r'sp} = \frac{V_f}{Z_{cc}} = \frac{127}{0,836 \angle 58,4^\circ} = 151,9 \angle -58,4$$

La coppia allo spunto. $C_{sp} = 3(pp) \frac{R_r'}{\omega} I_{r'sp}^2 = 3 \cdot 3 \cdot \frac{0,144}{314} 151,9^2 = 95,23 \text{ Nm}$

c) Corrente allo spunto a tensione ridotta:

$$I_{r'sp2} = \frac{V_f/2}{Z_{cc}} = \frac{127/2}{0,836 \angle 58,4^\circ} = 75,95 \angle -58,4$$

La coppia allo spunto a tensione ridotta. $C_{sp} = 3(pp) \frac{R_r'}{\omega} I_{r'sp}^2 = 3 \cdot 3 \cdot \frac{0,144}{314} 75,95^2 = 23,81 \text{ Nm}$

O più semplicemente: $C \propto V_s^2 \Rightarrow V_{s2} = \frac{1}{2} V_{s1}; C_2 = \frac{1}{4} C_1$

Parte seconda

d) La costante di tempo con raffreddamento migliorato

$$\tau_1 = R_{T1} C_1 = \frac{1}{S_T \alpha_T} C_1 \Rightarrow \tau_2 = R_{T2} C_1 = \frac{1}{(S_T \cdot 1,2)(2 \cdot \alpha_T)} C_1 = \frac{\tau_1}{1,2 \cdot 2} = \frac{70}{2,4} = 29 \text{ min}$$

e) Rimane costante la temperatura di regime, le perdite ammesse sono inversamente proporzionali alla resistenza termica:

$$g_{REG} = P_1 R_{T1} = P_2 R_{T2} \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{R_{T1}}{R_{T2}} = P_1 \cdot 2,4$$

f) Nelle ipotesi semplificative viste a lezione la potenza nominale varia proporzionalmente alla corrente (a parità di tensione nominale), mentre le perdite sono proporzionali al quadrato della corrente: l'incremento di potenza

è proporzionale alla radice dell'incremento delle perdite: $P_{N2} = P_{N1} \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} = \sqrt{2,4} P_{N1} = 1,55 P_{N1}$

Corso di Macchine e azionamenti elettrici
A.A. 2004-2005

Prova in itinere del 19 novembre 2004
Esercizio n. 1

I dati di targa di un motore asincrono trifase con rotore a gabbia sono i seguenti:
 $V_n = 400 \text{ V}$, 50 Hz , $(pp)=2$, velocità nominale 1455 giri/min , collegamento Y

Da una misura di resistenza eseguita in laboratorio si è ricavato il seguente valore della resistenza di una fase dello statore:

$$R_1 = 0,91 \ \Omega$$

La prova a vuoto ha dato i seguenti risultati:

$$V_0 = V_n$$

$$P_0 = 490 \text{ W}$$

$$I_0 = 6,4 \text{ A}$$

La prova a rotore bloccato (a corrente vicina a quella nominale) ha dato i seguenti risultati:

$$V_{rb} = 43,3 \text{ V}$$

$$P_{rb} = 717 \text{ W}$$

$$I_{rb} = 12 \text{ A}$$

Le perdite meccaniche per attrito e ventilazione si possono ritenere costanti e pari 100 W .

Si calcolino utilizzando i dati disponibili:

- g) I parametri del circuito equivalente semplificato, riferito allo statore.
- h) Si calcoli alle condizioni nominali la corrente assorbita dalla rete
- i) Si calcoli la coppia sviluppata alle condizioni nominali di funzionamento.
- j) Si calcolino la corrente e la coppia allo spunto.
- k) Si calcolino la corrente e la coppia allo spunto qualora la tensione applicata sia ridotta al 50% del valore nominale.

Esercizio n. 2

Un trasformatore elettrico di potenza ha i seguenti dati utili ai fini della valutazione del suo comportamento termico:

Potenza nominale(per servizio continuativo): $A_n=315 \text{ kVA}$

Costante di tempo termica: $\tau=90 \text{ min}$

Classe dei materiali isolanti: Classe A ($T_{max} = 105^\circ\text{C}$)

Temperatura ambiente: 40°C

Il trasformatore deve lavorare in cicli della durata massima di 1 ora, seguiti da un periodo di riposo di 8 ore.

- a) definire il tipo di servizio impiegato dal trasformatore
- b) valutare in termini relativi l'incremento possibile di perdite per questo tipo di servizio rispetto a quelle previste per un funzionamento continuativo
- c) si stimi l'incremento possibile di potenza nominale nelle stesse condizioni, specificando le ipotesi o semplificazioni utilizzate.

Soluzione.

Esercizio n.1

Tensione di fase (collegamento a stella): $V_{nf} = V_n / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = 231$

Velocità di sincronismo: $\omega_0 = \frac{2\pi f}{(pp)} = \frac{314}{2} = 157 [\text{rad/s}] = 157 \frac{60}{2\pi} = 1500 [\text{giri/min}]$

Scorrimento nominale: $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03$

g) dalla prova a vuoto si può procedere trascurando oppure tenendo conto della resistenza di statore nota, ai fini della determinazione della potenza dissipata nel ferro. Il risultato non cambia sensibilmente ai fini della valutazione complessiva delle prestazioni. Nel seguito il calcolo è eseguito in modo semplificato (trascurando R_1 e X_1).

$$P_{0f} = \frac{P_0 - P_{av}}{3} = 130 \text{ W}; \quad I_{0f} = I_0 = 6,4 \text{ A}$$

$$R_0 = \frac{V_{0f}^2}{P_{0f}} = 410 \text{ } \Omega; \quad I_{0R} = V_{0f} / R_0 = 0,563; \quad I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} = 6,375 \text{ A}; \quad X_0 = \frac{V_{0f}}{I_{0X}} = 36,24$$

Dalla prova a rotore bloccato:

$$V_{ccf} = V_{cc} / \sqrt{3} = 25 \text{ V}; \quad P_{ccf} = P_{cc} / 3 = 239 \text{ W}; \quad R_{cc} = P_{ccf} / I_{cc}^2 = 1,66 \text{ } \Omega; \quad Z_{cc} = V_{ccf} / I_{cc} = 2,08 \text{ } \Omega$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 1,25 \text{ } \Omega$$

Le resistenze possono essere ripartite in base al dato di resistenza misurata:

$$R_1 = 0,91 \text{ } \Omega; \quad R_2 = R_{cc} - R_1 = 1,66 - 0,91 = 0,75 \text{ } \Omega$$

Ripartendo equamente le reattanze:

$$X_1 = X_2' = 0,625 \text{ } \Omega$$

h) L'impedenza equivalente allo scorrimento nominale (circuito semplificato):

$$Z_{eqcc} = (R_1 + \frac{R_2'}{s_n}) + j(X_1 + X_2') = (0,91 + \frac{0,75}{0,03}) + j1,25 = 25,91 + j1,25 = 25,94 \angle 2,76^\circ$$

Corrente assorbita dal rotore:

$$I_2' = V_f / Z_{eqcc} = \frac{231}{25,94 \angle 2,76} = 8,9 \angle -2,76^\circ = 8,89 - j0,43; \quad I_0 = 0,563 - j6,37 = 6,39 \angle -84,9^\circ$$

$$I_1 = I_2' + I_0 = 8,89 - j0,43 + 0,563 - j6,37 = 9,453 - j6,8 = 11,64 \angle -35,7^\circ$$

$$\cos(-35,7^\circ) = 0,81 \text{ in ritardo}$$

i) La coppia: $C_e = 3(pp) \frac{R_2'}{\omega s_n} I_2'^2 = 3 \cdot 2 \cdot \frac{0,75}{314 \cdot 0,03} 8,9^2 = 37,84 \text{ Nm}$

j) Corrente allo spunto: $I_2'_{sp} = \frac{V_f}{Z_{cc}} = \frac{231}{1,66 + j1,25} = \frac{231}{2,08 \angle 36,9^\circ} = 111 \angle -36,9 = 88,76 - j66,65$

$$I_1 = I_2'_{sp} + I_0 = 88,76 - j66,65 + 0,563 - j6,37 = 89,213 - j73,17 = 115,4 \angle -39,4^\circ$$

La coppia allo spunto. $C_{sp} = 3(pp) \frac{R_2'}{\omega} I_2'_{sp}{}^2 = 3 \cdot 2 \cdot \frac{0,75}{314} 111^2 = 177 \text{ Nm}$

k) La corrente allo spunto per tensione dimezzata (il circuito è lineare):

$$I_2'_{sp,V/2} = \frac{V_f / 2}{Z_{cc}} = \frac{I_2'_{sp}}{2} = 44,38 - j33,32 = 55,5 \angle -36,9$$

$$I_{1,V/2} = I_2'_{sp,V/2} + I_0 / 2 = I_1 / 2 = 44,66 - j36,51 = 57,7 \angle -39,3^\circ$$

La coppia allo spunto è proporzionale al quadrato della tensione, pertanto:

$$C_{sp,V/2} = \frac{C_{sp}}{4} = 44,25 \text{ Nm}$$

Esercizio n.2

- a) Il tipo di servizio è di durata limitata in quanto la durata di funzionamento della macchina è inferiore alla costante di tempo termica, mentre il periodo di riposo è superiore a 5 costanti di tempo termiche;
- b) L'incremento ammissibile delle perdite, tali che la macchina non superi la temperatura massima ammessa è deducibile dalla formula seguente, funzione del rapporto fra le perdite per servizio di durata limitata e quelle in servizio continuativo. Tale rapporto è appunto l'incognita, mentre sono note la massima temperatura raggiungibile e il tempo di funzionamento (1 ora):

$$\theta' = \theta_{\max} \frac{P'}{P} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\theta_{\max} = \theta_{\max} \frac{P'}{P} (1 - e^{-\frac{\bar{t}}{\tau}}) = \theta_{\max} \frac{P'}{P} (1 - e^{-\frac{60}{90}})$$

$$\frac{P}{P'} = (1 - e^{-\frac{60}{90}}) = 0,487 \Rightarrow P' = 2,05P$$

Ovvero le perdite della massima possono diventare circa doppie con il servizio indicato

- c) In assenza di altre informazioni e nell'ipotesi di attribuire le perdite esclusivamente ai conduttori, la Potenza nominale può aumentare di un fattore pari circa a $\sqrt{2}$