

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:

- 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 ($\cos \phi$), coppia e potenza meccanica disponibili all'albero.
- Si calcolino la coppia e la corrente allo spunto.
- Si calcolino la coppia e la corrente allo spunto per una alimentazione con tensione di statore ridotta a metà del valore nominale.

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:

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

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

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

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

- b)

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

Corrente allo spunto:

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

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

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

- c) Corrente allo spunto a tensione ridotta:

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

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

$$\text{O pi\`u semplicemente: } C \propto V_s^2 \Rightarrow V_{s2} = \frac{1}{2} V_{s1}; \quad C_2 = \frac{1}{4} C_1$$

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:

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

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

- d) 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).

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

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

Dalla prova a rotore bloccato:

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

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

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

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

Ripartendo equamente le reattanze:

$$X_1 = X_2' = 0,625 \Omega$$

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

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

Corrente assorbita dal rotore:

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

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

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

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

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

h) 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:

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

Corso di Macchine e azionamenti elettrici
A.A. 2005-2006

Prova in itinere del 18 novembre 2005
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 1458 giri/min , collegamento Y

I parametri del circuito equivalente per fase sono:
 $R_1 = R_2' = 0,92 \Omega$, $X_1 = X_2' = 0,59 \Omega$; $X_m = 36 \Omega$

Si assumano trascurabili le perdite nel ferro, e pari a 200 W le perdite per attrito e ventilazione P_{AV} .
i) Si calcoli il rendimento a velocità nominale

Si considerino i seguenti valori di tensione: $V_1 = V_n$; $V_3 = 0,75 V_n$, frequenza costante pari al valore di rete. Per ciascuno di essi, e assumendo trascurabili le perdite nel ferro, e pari a 200 W le perdite per attrito e ventilazione P_{AV} , si calcoli, per una velocità di 1400 giri/min :

j) la corrente assorbita, il fattore di potenza ($\cos \varphi$) ai morsetti di ingresso, la coppia sviluppata e il rendimento.

Soluzione.

Esercizio n. 1

Si fa riferimento ai circuiti semplificati.

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

Scorrimento nominale: $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} = \frac{1500 - 1458}{1500} = 0,028$

i) Calcolo della corrente rotorica:
$$I_2' = \frac{V_{nf}}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right) + j(X_1 + X_2')} = \frac{231}{33,78 + j1,18} = 6,83 \angle -2^\circ$$

Calcolo della potenza meccanica sviluppata e della potenza utile, dedotte le perdite per attrito e ventilazione:

$$P_{utile} = P_m - P_{AV} = 3R_2' \left(\frac{1}{s} - 1 \right) I_2'^2 - P_{AV} = 3 \cdot 0,92 \cdot \left(\frac{1}{0,028} - 1 \right) \cdot 6,83^2 - 200 = 4270 \text{ W}$$

Calcolo del rendimento:

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{entrante}} = \frac{P_{utile}}{P_m + 3(R_1 + R_2')I_2'^2} = \frac{4270}{4470 + 256} = 0,904$$

b) Scorrimento a 1400 giri/min : $s_1 = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0,067$

b1) $V_{1f} = V_{nf} = 231 \text{ V}$ calcolo la corrente rotorica con il nuovo valore di scorrimento s_1 :

$$I_2' = \frac{231}{14,65 + j1,18} = \frac{231}{14,70 \angle 4,6^\circ} = 15,71 \angle -4,6^\circ$$

Calcolo della corrente magnetizzante I_m :

$$I_m = \frac{V_{1f}}{jX_m} = \frac{231}{j36} = 6,42 \angle -90^\circ$$

Corrente totale assorbita: $I_1 = I_m + I_2' = 17,44 \angle -26^\circ$

Fattore di potenza: $\cos(-26^\circ) = 0,899$ in ritardo

Calcolo della potenza meccanica e della potenza utile:

$$P_{utile1} = P_{m1} - P_{AV} = 3R_2 \cdot \left(\frac{1}{s_1} - 1 \right) I_2^2 - P_{AV} = 3 \cdot 0,92 \cdot \left(\frac{1}{0,067} - 1 \right) \cdot 15,71^2 - 200 = 9486 - 200 = 9286 \text{ W}$$

Calcolo del rendimento: $\eta = \frac{P_{utile}}{P_{entrante}} = \frac{9286}{9486 + 1362} = 0,856$

Calcolo della coppia disponibile: $C_{e1} = \frac{P_{utile}}{\omega_m} = \frac{9286}{1400 \frac{2\pi}{60}} = 63,3 \text{ Nm}$

b2) $V_{3f} = 0,75 \cdot V_{nf} = 173 \text{ V}$

Assumendo l'ipotesi di linearità del circuito si deduce brevemente:

Corrente totale assorbita: $I_{13} = 0,75 \cdot I_1 = 13,14 \angle -26^\circ$

Fattore di potenza: $\cos(-26^\circ) = 0,899$ in ritardo

Calcolo della potenza meccanica e della potenza utile:

$$P_{utile3} = P_{m3} - P_{AV} = 3R_2 \cdot \left(\frac{1}{s_1} - 1 \right) \cdot 0,75^2 \cdot I_2^2 - P_{AV} = 5336 - 200 = 5136 \text{ W}$$

Calcolo del rendimento: $\eta_3 = \frac{P_{utile}}{P_{entrante}} = \frac{5136}{5336 + 769} = 0,841$

Calcolo della coppia disponibile: $C_{e3} = C_{e1} \cdot (0,75)^2 = 35,6 \text{ Nm}$