

ESERCIZI ASINCRONO

Esercizio 1

Sia dato un motore asincrono caratterizzato dai seguenti dati:

$$P_n = 5.5 \text{ kW}$$

$$V_n = 400 \text{ V}$$

$$I_n = 11.4 \text{ A}$$

$$\cos\phi_n = 0.8$$

$$R_s = 0.91 \text{ } \Omega$$

Risultati della prova a vuoto:

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

$$I_o = 6.4 \text{ A}$$

Risultati della prova di corto circuito:

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

$$V_{cc} = 75 \text{ V}$$

Si calcolino i parametri del circuito equivalente della macchina trascurando le perdite per attrito e ventilazione.

Iniziamo con il calcolo dei parametri trasversali che si possono ottenere dai risultati della prova a vuoto sincrono. L'impedenza Z_o è data da $Z_o = V_n / (\sqrt{3} \cdot I_o) = 36.1 \text{ } \Omega$. Per il calcolo delle perdite nel ferro bisogna togliere il contributo di perdite per effetto joule e si ottiene quindi $P_{fe} = P_o - 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 = 378.17 \text{ W}$ da cui $R_{fe} = V_n^2 / P_{fe} = 423.07 \text{ } \Omega$, il fattore di potenza è pari a $\cos\phi_o = P_{fe} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_o) = 0.0853$. La potenza reattiva è pari a $Q_{fe} = P_{fe} \cdot \tan\phi_o = 4417.9 \text{ var}$, la reattanza di magnetizzazione è pari a $X_m = V_n^2 / Q_{fe} = 36.21 \text{ } \Omega$. Si osservi che poiché la corrente assorbita a vuoto nella macchina asincrona è rilevante non si può trascurare il contributo di perdite per effetto Joule (che vanno come il quadrato della corrente), mentre si può trascurare il contributo relativo alla c.d.t.

Per quello che riguarda i parametri longitudinali si considera la prova di corto circuito e poiché $P_{cc} = 3 \cdot (R_s + R_r) \cdot I_n^2$, si ottiene $R_r = (P_{cc} - 3 \cdot R_s \cdot I_n^2) / (3 \cdot I_n^2) = 0.929 \text{ } \Omega$. Il fattore di potenza è pari a $\cos\phi_{cc} = P_{cc} / (\sqrt{3} \cdot V_{cc} \cdot I_n) = 0.4842$ quindi la potenza reattiva è pari a $Q_{cc} = P_{cc} \cdot \tan\phi_{cc} = 1.295 \text{ kVAR}$ da cui si ricava $X_{cc} = 3.323 \text{ } \Omega$.

Esercizio 2

Sia dato un motore asincrono caratterizzato dai seguenti dati:

$$P_n = 7 \text{ kW}$$

$$V_n = 380 \text{ V}$$

$$I_n = 15.2 \text{ A}$$

$$\cos\phi_n = 0.897$$

$$R_s = 0.5 \text{ } \Omega$$

Numero di coppie polari $p=2$

Frequenza nominale $f_n = 50 \text{ Hz}$

Velocità nominale $N_n = 1440 \text{ RPM}$

Risultati della prova a vuoto:

$$P_o = 1332 \text{ W}$$

$$I_o = 36\%$$

Velocità della prova a vuoto $\omega_{ro} = 156.2 \text{ rad/s}$

Risultati della prova di corto circuito:

$P_{cc} = 755 \text{ W}$

$V_{cc} = 61 \text{ V}$

Si considerino gli attriti proporzionali alla velocità secondo la legge $T_{att} = B \cdot \omega_r$ (da da determinarsi dai dati). Determinare:

1 i parametri del circuito equivalente

2 il rendimento nominale e la coppia nominale

3 lo scorrimento nominale,

4 la corrente all'avviamento e la coppia all'avviamento ipotizzando di alimentare la macchina a tensione nominale

5 la velocità, la coppia, la corrente assorbita e il rendimento quando il motore muove un carico pari a 30 Nm, ipotizzando di alimentare la macchina a tensione nominale (si consideri la caratteristica meccanica approssimata della macchina asincrona).

Per il calcolo dei parametri trasversali (R_{fe} - X_m) si considera i dati della prova a vuoto. Si ottiene $P_{fe} = P_o - 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 - P_{att}$, dove P_{att} sono le perdite per attrito e ventilazione pari a $P_{att} = B \cdot \omega_o^2$. Per il calcolo di B si considera il bilancio di potenze nelle condizioni nominali, in particolare si ha $\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos \phi_n = P_n + P_{fe} + P_{cc} + B \omega_n^2$. Mettendo questa equazione a sistema con la precedente ovvero $P_{fe} = P_o - 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 - P_{att}$ si ottengono due equazioni in due incognite (B e P_{fe}), si ottiene $B = (P_o - 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 - \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos \phi_n + P_n + P_{cc}) / (\omega_o - \omega_n) = 0.041 \text{ Nms}$ dove $\omega_n = n_n \cdot 2 \cdot \pi / 60 = 150.79 \text{ rad/s}$ e $I_o = i_o\% / 100 \cdot I_n = 5.472 \text{ A}$. Da cui si ottiene $P_{fe} = 283.92 \text{ W}$ e quindi $R_o = V_n^2 / P_{fe} = 508.58 \ \Omega$. Q_{fe} risulta pari a $Q_{fe} = P_{fe} \cdot \tan \phi_{fe} = 3.590 \text{ kVAR}$, dove $\cos \phi_{fe} = Q_{fe} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_o) = 0.0788$, da cui si ricava $X_m = V_n^2 / Q_{fe} = 40.22 \ \Omega$.

Per il calcolo dei parametri serie si considera il risultato della prova in corto circuito e si ottiene $R_r = (P_{cc} - 3 \cdot R_s \cdot I_n^2) / (3 \cdot I_n^2) = 0.5893 \ \Omega$. Il fattore di potenza è pari a $\cos \phi_{cc} = P_{cc} / (\sqrt{3} \cdot V_{cc} \cdot I_n) = 0.4701$ quindi la potenza reattiva è pari a $Q_{cc} = P_{cc} \cdot \tan \phi_{cc} = 1.417 \text{ kVAR}$ da cui si ricava $X_{cc} = 2.045 \ \Omega$.

2. Il rendimento nominale è dato dal rapporto tra la potenza resa e la potenza assorbita in condizioni nominali, ovvero $\eta_{nom} = P_n / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos \phi_n) = 0.78$, la coppia nominale può essere ricavata dalla potenza nominale e si ottiene $T_n = P_n / \omega_n = 46.42 \text{ Nm}$.

3. Lo scorrimento nominale è dato da $s_n = (\omega - \omega_n \cdot p) / \omega = 0.04$ dove $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_n$.

4. La corrente all'avviamento è quella che si ottiene dal circuito equivalente di fase ponendo $s=1$ (ovvero velocità nulla), si ottiene $I_{avv} = (V_n / (\sqrt{3})) / (\sqrt{(R_s + R_r)^2 + X_{cc}^2}) = 94.68 \text{ A}$ e la coppia di avviamento è data da $T_{avv} = 3 \cdot (R_r \cdot p / \omega) \cdot ((V_n / (\sqrt{3}))^2) / ((R_s + R_r)^2 + X_{cc}^2) = 100.90 \text{ Nm}$

5. Per risolvere questo punto basta porre l'espressione della coppia uguale alla coppia di carico (i 30 Nm più la coppia di attrito proporzionale alla velocità) e da questa ricavare lo scorrimento. Si può risolvere tale punto ipotizzando di essere nel tratto lineare della caratteristica meccanica (come specificato nel testo). In tal caso la caratteristica può essere approssimata con la seguente espressione: $T(x) = K \cdot x$, dove $K = V_n^2 \cdot p / (\omega \cdot R_r)$. Si ottiene quindi $x = (30 + B \cdot \omega / p) / (K + B \cdot \omega / p) = 0.0233$. Per il calcolo della corrente assorbita si ricava prima la corrente rotorica data da $I_r = (V_n / (\sqrt{3})) / (\sqrt{(R_r / x + R_s)^2 + X_{cc}^2})$, per ricavare la corrente assorbita si applica Boucherot, ottenendo $P_{ass} = P_{fe} + 3 \cdot (R_s + R_r / x) \cdot I_r^2$, $Q_{ass} = Q_{fe} + 3 \cdot X_{cc} \cdot I_r^2$, e quindi $I_s = \sqrt{(P_{ass}^2 + Q_{ass}^2)} / (\sqrt{3} \cdot V_n) = 10.78 \text{ A}$. Il rendimento è dato dal rapporto tra potenza resa e potenza assorbita: $\eta = 30 \cdot \Omega_m / P_{ass} = 0.755$ (dove $\Omega_m = (\omega / p) \cdot (1 - x)$).

Esercizio 3

Sia dato un motore asincrono caratterizzato dai seguenti dati:

$$P_n = 15 \text{ kW}$$

$$V_n = 380 \text{ V}$$

$$\cos\phi_n = 0.82$$

$$R_s = 0.2 \ \Omega$$

Numero di coppie polari $p=2$

Frequenza nominale $f_n=50 \text{ Hz}$

Risultati della prova a vuoto:

$$P_o = 1000 \text{ W}$$

$$I_o = 13.8 \text{ A}$$

Risultati della prova di corto circuito:

$$P_{cc} = 1390 \text{ W}$$

$$V_{cc} = 104 \text{ V}$$

Si trascurino le perdite per attrito e ventilazione

Si considerino gli attriti proporzionali alla velocità secondo la legge $T_{att} = B \cdot \omega_r$ (da da determinarsi dai dati). Determinare:

1 i parametri del circuito equivalente

2 il rendimento nominale la velocità nominale e lo scorrimento nominale

3 la velocità, la coppia, la corrente assorbita e il rendimento quando il motore muove un carico pari a 50 Nm, ipotizzando di alimentare la macchina a tensione nominale (si consideri la caratteristica meccanica linearizzata).

Per il calcolo dei parametri trasversali ($R_{fe}-X_m$) si considera i dati della prova a vuoto. Si ottiene $P_{fe} = P_o - 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 = 885.73 \text{ W}$. Da cui $R_o = V_n^2 / P_{fe} = 163.02 \ \Omega$. Q_{fe} risulta pari a $Q_{fe} = P_{fe} \cdot \tan\phi_{fe} = 9.039 \text{ kVAR}$, dove $\cos\phi_{fe} = Q_{fe} / (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_o) = 0.0975$, da cui si ricava $X_m = V_n^2 / Q_{fe} = 15.97 \ \Omega$.

Per il calcolo dei parametri serie si considera il risultato della prova in corto circuito ed è necessario calcolare la corrente nominale. Tale corrente si ottiene dal bilancio di potenze $P_n + P_{cc} + P_{fe} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos\phi_n$, da cui si ricava $I_n = 32 \text{ A}$. Si ottiene $R_r = (P_{cc} - 3 \cdot R_s \cdot I_n^2) / (3 \cdot I_n^2) = 0.2522 \ \Omega$. Il fattore di potenza è pari a $\cos\phi_{cc} = P_{cc} / (\sqrt{3} \cdot V_{cc} \cdot I_n) = 0.2411$ quindi la potenza reattiva è pari a $Q_{cc} = P_{cc} \cdot \tan\phi_{cc} = 5.59 \text{ kVAR}$ da cui si ricava $X_{cc} = 1.82 \ \Omega$.

2. Il rendimento nominale è dato dal rapporto tra la potenza resa e la potenza assorbita in condizioni nominali, ovvero $\eta_{222} = P_n / (P_n + P_{cc} + P_{fe}) = 0.868$, la coppia nominale e la velocità nominale si ottiene uguagliando la potenza nominale al prodotto di coppia per velocità, si ottiene $3 \cdot ((R_r/s) \cdot p / \omega) \cdot ((V_n / (\sqrt{3}))^2) / ((R_s + R_r/s)^2 + X_{cc}^2) \cdot (1-s) \cdot \omega / p = P_n$, si ottiene quindi $s_n = 0.0295$ da cui si ricava la velocità nominale $\omega_{rn} = (1-s_n) \cdot \omega / p = 152.44 \text{ rad/s}$.

3. Per risolvere questo punto basta porre l'espressione della coppia uguale alla coppia di carico (i 50 Nm) e da questa ricavare lo scorrimento. Tale equazione è la seguente: $K \cdot x = 50$, dove $K = V_n^2 \cdot p / (\omega \cdot R_r)$. Risolvendo si $x = 0.014$. Utilizzando il valore appena trovato si trova $\omega_r = (1-s_n) \cdot \omega / p = 154.85 \text{ rad/s}$. Per il calcolo della corrente assorbita si ricava prima la corrente rotorica data da $I_r = V_n / (\sqrt{3}) / (\sqrt{(R_r/s_n)^2 + R_s^2 + X_{cc}^2}) = 12.13 \text{ A}$, per ricavare la corrente assorbita si applica Boucherot, ottenendo $P_{ass} = P_{fe} + 3 \cdot (R_s + R_r/s_n) \cdot I_r^2 = 8.82 \text{ kW}$, $Q_{ass} = Q_{fe} + 3 \cdot X_{cc} \cdot I_r^2 = 9.84 \text{ kVAR}$, e quindi $I_s = \sqrt{(P_{ass} + Q_{ass})} / (\sqrt{3} \cdot V_n) = 20.08 \text{ A}$. Il rendimento è dato dal rapporto tra potenza resa e potenza assorbita: $\eta = 50 \cdot \omega_r / P_{ass} = 0.8771$.