Sessione ordinaria 2012
Seconda prova scritta

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

M334 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTROTECNICA E AUTOMAZIONE

Tema di: ELETTROTECNICA
(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del progetto "SIRIO")

Un sistema di sbarre alimenta, alla tensione V_1 = 6 kV e frequenza f = 50 Hz, 2 motori asincroni trifase.

Il primo motore presenta i seguenti valori nominali:

potenza 160 kW tensione 6 kV rendimento 0,94 $\cos\phi$ = 0,82

Il secondo motore, con 4 poli e $\cos\phi$ = 0,81, viene alimentato tramite un trasformatore trifase di potenza nominale 45 kVA e rapporto di trasformazione a vuoto 6000V/400V che eroga una corrente I = 50A.

Le prove eseguite, nelle condizioni di funzionamento, sul gruppo trasformatore-motore hanno dato i seguenti esiti:

Trasformatore	Prova a vuoto	P_0 % = 1,6 %	$\cos\phi_0 = 0,32$
	Prova in corto circuito	V_{CC} % = 5 %	$\cos\phi_{CC} = 0,48$
Motore	Prova a vuoto	P_0 = 1200 W e $\cos\phi_0 = 0,21$	
	Perdite meccaniche	P_m = 400W.	

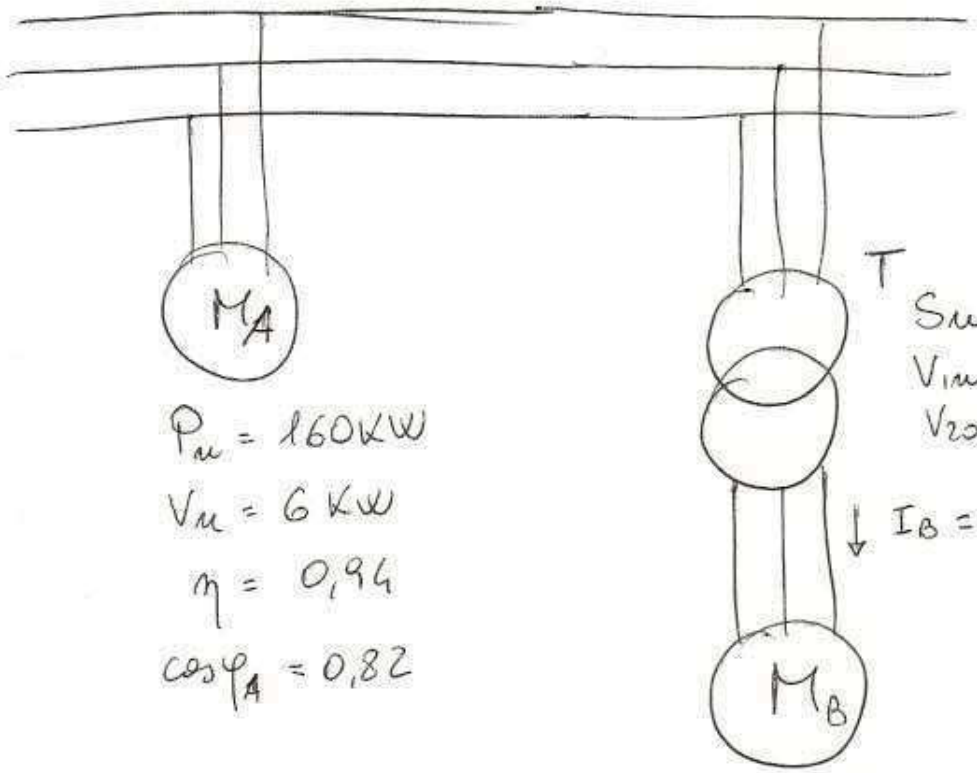
Il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive,

1. calcoli la potenza assorbita, il rendimento e la resistenza tra 2 morsetti statorici del motore alimentato dal trasformatore sapendo che la coppia resa vale 145 Nm e lo scorrimento è pari al 3%;
2. calcoli il rendimento totale del gruppo trasformatore-motore;
3. determini il fattore di potenza complessivo dell'impianto.

Inoltre, il candidato fatte le considerazioni che ritiene più opportune, descriva gli effetti prodotti da una riduzione del 10% della tensione di alimentazione dell'impianto.

Durata massima della prova: 6 ore.
È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.
Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

$V_1 = 6\ KV$ $\quad f = 50\ Hz$



$P_u = 160\ KW$

$V_u = 6\ KW$

$\eta = 0,94$

$\cos\varphi_A = 0,82$

$S_{1u} = 45\ KVA$
$V_{1u} = 6000\ V$
$V_{20u} = 400\ V$

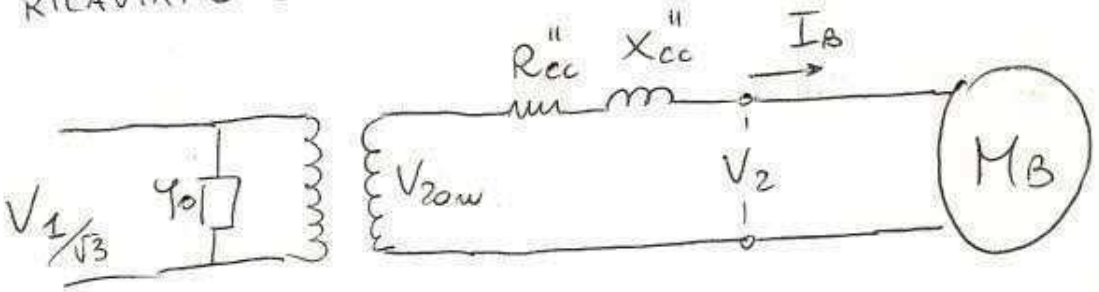
$P_{0\%} = 1,6\%$
$\cos\varphi_0 = 0,32$
$V_{cc\%} = 5\%$
$\cos\varphi_{cc} = 0,48$

$I_B = 50\ A$

4 poli
$\cos\varphi_B = 0,81$
$C_R = 145\ Nm$
$S\% = 3\%$

$P_0 = 1200\ W$ $\cos\varphi_0 = 0,11$
$P_{Cu} = P_{FV} = 400\ W$

RICAVIAMO LA TENSIONE V_2 AI CAPI DEL MOTORE MB:



$$P_{cc\%} = V_{cc\%} \cdot \cos\varphi_{cc} = 5 \cdot 0,48 = 2,4\%$$

$$P_{cc} = \frac{S_{1u} \cdot P_{cc\%}}{100} = \frac{45 \cdot 2,4}{100} = 1,08\ KW$$

$$I_{2u} = \frac{S_{1u}}{\sqrt{3}\, V_{20u}} = \frac{45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 65\ A$$

$$R''_{cc} = \frac{P_{cc}}{3\, I_{2u}^2} = \frac{1080}{3 \cdot 65^2} = 85,2\ m\Omega$$

$$X''_{cc} = R''_{cc} \, tg\varphi_{cc} = 85{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}83 = 156 \text{ m}\Omega$$

$$\varphi_{cc} = \arccos 0{,}48 = 61{,}3° \Rightarrow tg\varphi_{cc} = tg\, 61{,}3 = 1{,}83$$

$$\Delta V = \sqrt{3}\, I_B \cdot \left(R''_{cc} \cos\varphi_B + X''_{cc} \cdot \text{sen}\,\varphi_B \right) =$$

$$\varphi_B = \arccos 0{,}81 \Rightarrow 35{,}9° \Rightarrow \sin 35{,}9 = 0{,}586$$

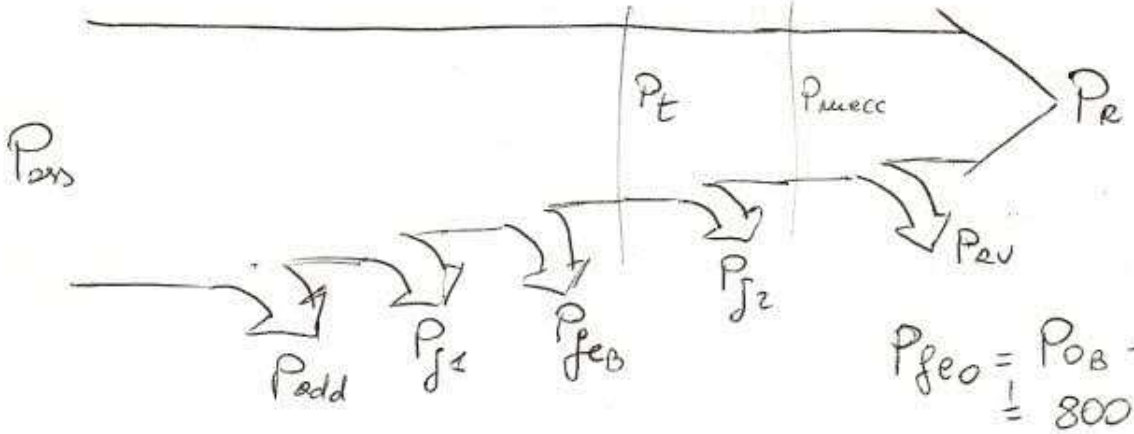
$$= \sqrt{3} \cdot 50 \cdot (0{,}0852 \cdot 0{,}81 + 0{,}156 \cdot 0{,}586) = 13{,}9 \text{ V}$$

$$V_2 = V_{20m} - \Delta V = 400 - 13{,}9 = 386{,}1 \simeq 386 \text{ V}$$

LA POTENZA ASSORBITA DAL MOTORE M_B è:

$$P_{ass} = \sqrt{3}\, V_2 \cdot I_B \cdot \cos\varphi_B = \sqrt{3} \cdot 386 \cdot 50 \cdot 0{,}81 = 27{,}1 \text{ kW}$$

CONSIDERO I FLUSSI ENERGETICI DEL MOTORE



$$P_{feo} = P_{oB} - P_{dv} = 1200 - 400 = 800 \text{ W}$$

$$P_{add} = 0{,}005 \cdot P_{ass} = 0{,}005 \cdot 27100 = 135 \text{ W}$$

$$P_{feB} = P_{feo_B} \cdot \left(\frac{V_2}{V_{1n}} \right)^2 = \frac{800}{\cancel{1200}} \left(\frac{386}{400} \right)^2 = \frac{745}{\cancel{1120}} \text{ W}$$

nell'ipotesi che V_{1n} motore B sia 400 V

$P_{dv} = 400$ W ← la ipotizziamo invariata.

4 poli $\Rightarrow$ $2p = 4 \Rightarrow p = 2$

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ giri/min}$$

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{2\pi}{60} = 1500 \cdot \frac{2\pi}{60} = 157 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) = 157 \cdot (1 - 0{,}03) = 152 \text{ rad/s}$$

$$P_r = C_r \cdot \omega = 145 \cdot 152 = 22040 \simeq 22 \text{ kW}$$

TROVO IL RENDIMENTO

$$\eta = \frac{P_r}{P_{ass}} = \frac{22}{27{,}1} = 0{,}812 \Rightarrow \eta\% = 81{,}2\%$$

$$P_{mecc} = P_r + P_{ad} = 22000 + 400 = 22{,}4 \text{ kW}$$

$$P_t = \frac{P_{mecc}}{1 - s} = \frac{22400}{1 - 0{,}03} = 23{,}1 \text{ kW}$$

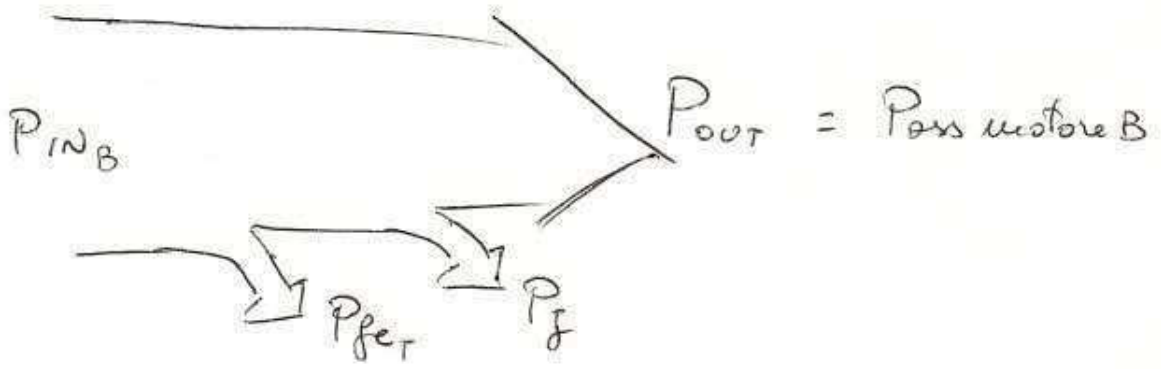
$$P_{J1} = P_{ass} - P_{add} - P_{fe_B} - P_t = 27100 - 135 - \cancel{1420}\ 745 - 23100 =$$

$$= \cancel{2745}\ 3120 \text{ W} \simeq \cancel{2750 \text{ W}}$$

TROVO LA RESISTENZA TRA DUE MORSETTI STATORICI.

$$R_{ss} = \frac{2}{3} \frac{P_{J1}}{I_B^2} = \frac{2}{3} \frac{\cancel{2750}\ 3120}{50^2} = \cancel{733}\ 832 \text{ m}\Omega$$

2012 (4) CONSIDERO I FLUSSI ENERGETICI DEL TRASFORMATORE



$$P_J = 3\, R''_{cc} \cdot I_B^2 = 3 \cdot 0{,}0852 \cdot 50^2 = 639\ W$$

$$P_{fe_T} = P_{0_T} = \frac{S_N \cdot P_{0\%}}{100} = \frac{45000 \cdot 1{,}6}{100} = 720\ W$$

$$P_{IN_B} = P_{OUT} + P_J + P_{fe} = 27100 + 639 + 720 = 28459 \simeq$$

$$\simeq 28500 \simeq 28{,}5\ KW$$

RENDIMENTO DEL GRUPPO TRASFORMATORE/MOTORE:

$$\eta = \frac{P_R}{P_{IN_B}} = \frac{22}{28{,}5} = 0{,}772 \quad \Rightarrow \quad \eta\% = 77{,}2\%$$

CONSIDERO LE POTENZE REATTIVE DEL GRUPPO TRASFORMATORE/MOTORE

$$Q_{MOT\,B} = P_{ass} \cdot tg\,\varphi_B = 27{,}1 \cdot tg\,35{,}9 = 19{,}6\ KVAR$$

$$Q_{disp.\,TRASF.} = P_J \cdot tg\,\varphi_{cc} = 639 \cdot 1{,}83 = 1170\ VAR$$

$$Q_{\mu\ TRASF} = P_{fe} \cdot tg\,\varphi_0 = 720 \cdot 2{,}96 = 2130\ VAR$$

$$\varphi_0 = \arccos 0{,}32 = 71{,}3° \qquad tg\,\varphi_0 = tg\,71{,}3 = 2{,}96$$

$$Q_{TRASF+MOTB} = Q_{MOTB} + Q_{disp\ TRASF} + Q_{\mu\ TRASF} =$$

$$= 19600 + 1170 + 2130 = 22,9\ KVAR$$

CONSIDERO IL MOTORE A

$$P_{IN\,A} = \frac{P_u}{\eta \cdot K_u} = \frac{160.000}{0,94} =$$

$$= 170,2\,KW$$

nell'ipotesi d'un fattore di utilizzazione $K_u = 1$, cioè che il motore lavori a pieno carico e in condizioni nominali.

$$Q_{MOT\,A} = P_{IN\,A} \cdot tg\,\varphi_A = 170,2 \cdot 0,698 = 118,8\ KVAR$$

$$\varphi_2 = arccos\ 0,82 = 34,9° \Rightarrow tg\,\varphi_A = tg\,34,9 = 0,698$$

CONSIDERO IL COMPLESSIVO DELL'IMPIANTO:

$$P_{TOT} = P_{IN\,A} + P_{IN} = 170,2 + 28,5 = 198,7\ KW$$

$$Q_{TOT} = Q_{MOT_A} + Q_{TRASF+MOTB} = 118,8 + 22,9 = 141,7\ KVAR$$

$$tg\,\phi_{TOT} = \frac{Q_{TOT}}{P_{TOT}} = \frac{141,7}{198,7} = 0,713 \Rightarrow \phi_{TOT} = 35,5°$$

FATTORE DI POTENZA COMPLESSIVO:

$$\cos\phi_{TOT} = \cos 35,5 = 0,814$$