



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 $V_1 = 6 \text{ kV}$ e frequenza $f = 50 \text{ Hz}$, 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 $I = 50\text{A}$.

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	$P_0 = 1200 \text{ W}$ e $\cos\phi_0 = 0,21$	
	Perdite meccaniche	$P_m = 400\text{W}$.	

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.

SOLUZIONE

Punto 1

Potenza assorbita motore 2

Corrente assorbita dal secondo motore = I_2

$$P_{\text{assM2}} = 1.73 \cdot V \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 1.73 \cdot 400 \cdot 50 \cdot 0.81 = 28 \text{ kW}$$

Potenza resa all'albero del motore 2

n_1 = velocità di sincronismo = $(60 \cdot 50) / 2 = 1500 \text{ rpm}$

s = scorrimento

n_2 = numero giri motore 2

$$n_2 = n_1 \cdot (1-s) = 1455 \text{ rpm}$$

$$P_{r2} = C_r \cdot 2 \pi \cdot n_2 / 60 = 22.1 \text{ kW}$$

Rendimento motore 2

$$\eta_{M2} = P_{r2} / P_{\text{assM2}} = 0.79$$

Resistenza tra due morsetti statorici con motore in funzione

$$P_o = P_{fe} + P_m + P_{st}$$

Dove: P_o = perdite a vuoto, P_{fe} = perdite nel ferro, P_{st} = perdite nel rame statoriche a vuoto,

P_m = perdite meccaniche

Trascurando le P_{st} , visto che siamo a vuoto, si ricavano le perdite nel ferro

$$P_{fe} = P_o - P_m = 800 \text{ W}$$

I_o = corrente a vuoto

$$I_o = 1200 / (1.73 \cdot 400 \cdot 0.21) = 8.25 \text{ A}$$

Effettuando la differenza vettoriale della corrente assorbita dal motore ($I_2 = 50 \text{ A}$) e quella a vuoto

I_o si ottiene la corrente primaria \dot{I}_2 ($i \cos \varphi$ e $i \sin \varphi$ sono noti o ricavabili dalle formule trigonometriche inverse), per cui si ha:

$$\dot{I}_2 = 44.2 \text{ A}$$

Considerando il circuito equivalente statorico semplificato la resistenza di fase statorica la si può vedere come somma della resistenza rotorica (R_1) e della resistenza rotorica equivalente riportata allo statore ($R'2 / s$)

$$P_t = \text{potenza trasmessa} = (P_{r2} + P_m) / (1-s) = 23.2 \text{ kW}$$

$$R'2 / s = P_t / 3 (\dot{I}_2)^2 = 3.95 \Omega$$

$$P_{\text{add}} = \text{Perdite addizionali} = 0.005 \cdot P_{\text{assM2}} = 140 \text{ W}$$

$$P_{\text{jrot}} = P_{\text{assM2}} - P_t - P_{fe} - P_{\text{add}} = 3860 \text{ W}$$

$$R1 = P_{jrot}/3(I_2)^2 = 0.51 \Omega$$

$$R_{statorica} = R1 + R'2 /s = 4.46 \Omega = \text{resistenza di fase statorica}$$

La resistenza vista tra due morsetti cambia se si considerano le fasi statoriche collegate a stella

$$(R_{statoricaY} = 2 R_{statorica}) \text{ oppure collegate a triangolo } (R_{statorica\Delta} = (2/3) * R_{statorica})$$

Punto 2

Perdite trasformatore a vuoto P_{otr}

$$P_{OTR} = P_{OTR}\% * S_n / 100 = 720 \text{ W}$$

$$P_{cc}\% = V_{cc}\% * \cos \varphi_{cc} = 2.4 \%$$

$$P_{ccn} = P_{cc}\% * S_n / 100 = 1080 \text{ W perdite nel rame nominali}$$

$$I_{2n} = S_n / (1.73 * 400) = 65 \text{ A}$$

$$P_{cc} = P_{ccn} (I_2 / I_{2n})^2 = 1080 (50 / 65)^2 = 639 \text{ W} = \text{perdite di funzionamento nel rame}$$

$$\eta_{TR} = P_{assM2} / (P_{assM2} + P_{cc} + P_{OTR}) = 0.95$$

$$\eta_{TOTALE} = \eta_{TR} * \eta_{M2} = 0.95 * 0.79 = 0.75$$

Punto 3

$$Q_{M1} = (P_{n1} / \eta_{M1}) * \tan \varphi_1 = 118.8 \text{ kVar}$$

$$Q_{M2} = P_{assM2} * \tan \varphi_2 = 20.27 \text{ kVar}$$

$$Q_{OTR} = P_{OTR} * \tan \varphi_0 = 2132 \text{ Var}$$

$$Q_{JTR} = P_{cc} * \tan \varphi_{CC} = 1168 \text{ Var} = \text{potenza reattiva legata alle induttanze di dispersione}$$

$$Q_{TOTALE} = Q_{M1} + Q_{M2} + Q_{OTR} + Q_{JTR} = 142.4 \text{ kVar}$$

$$P_{TOTALE} = P_{assM1} + P_{assM2} + P_{cc} + P_{OTR} = (170.2 + 28 + 0.639 + 0.720) \text{ kW} = 199.6 \text{ kW}$$

$$\tan \varphi_{TOTALE} = Q_{TOTALE} / P_{TOTALE} = 0.713 \rightarrow \cos \varphi_{TOTALE} = 0.81$$

Considerazioni finali

Le considerazioni riguardano il motore alimentato a 400 V ma sono estendibili anche all'altro motore. Supponendo che la frequenza e la coppia resistente restino inalterate, al diminuire della tensione del 10% la coppia diminuisce del 19% come risulta dai calcoli seguenti.

$$C_{ridotta} = C_{piena} (V_{ridotta} / V_{nom})^2 = 117.45 \text{ Nm}$$

$$\Delta C = 27.55 \text{ Nm} \rightarrow \Delta C\% = 19\%$$

La riduzione di coppia comporta anche una riduzione della velocità e quindi un aumento dello scorrimento con conseguente aumento delle correnti rotoriche e statoriche. Un ulteriore effetto è

