

*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca***M334 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

## CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo:** ELETTRATECNICA E AUTOMAZIONE**Tema di:** ELETTRATECNICA**(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del progetto “SIRIO”)**

Un motore asincrono trifase a 6 poli, collegato a stella, è alimentato alla tensione di 400 V con frequenza 50 Hz.

Durante il funzionamento a pieno carico sono state misurate le seguenti grandezze:

- corrente assorbita dalla linea  $I_1 = 35$  A;
- fattore di potenza  $\cos\varphi_1 = 0,9$ ;
- velocità di rotazione dell'albero motore  $n = 970$  giri/min.

Dalla prova a vuoto, effettuata a tensione e frequenza nominali, si sono ottenuti i seguenti dati:

- corrente assorbita dalla linea  $I_0 = 10$  A;
- fattore di potenza  $\cos\varphi_0 = 0,15$ .

Inoltre si sa che:

- a. le perdite meccaniche sono  $P_m = 300$  W;
- b. la resistenza di una fase statorica, alla temperatura di regime, è  $R_1 = 0,15$   $\Omega$ ;
- c. il rapporto tra la corrente allo spunto, a pieno carico, e la corrente nominale è pari a 5,8.

Il candidato, fatte le eventuali ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. determini il rendimento del motore e la coppia sviluppata nel funzionamento normale a pieno carico;
2. descriva, nell'ipotesi che il motore debba ridurre la velocità a pieno carico del 10%, il sistema di regolazione e ne effettui il dimensionamento.

Infine, nell'ipotesi che il motore si debba avviare con una coppia resistente di 78,5 Nm, il candidato indichi le condizioni per avere un corretto avviamento del motore, limitando la corrente allo spunto, e individui e dimensioni il dispositivo in grado di consentire tale corretto avviamento.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana. Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

**Tema di: ELETTRATECNICA**

### RISPOSTA AL 1° QUESITO:

Essendo nota la corrente assorbita dalla linea, la tensione di alimentazione ed il fattore di potenza  $\cos\phi$  posso determinare la potenza assorbita dal motore:

$$P_a = 1,732 \cdot 400 \cdot 35 \cdot 0,9 = 21.823 [W]$$

Dal dato della resistenza di una fase statorica, alla temperatura di regime, posso ricavare la potenza persa per effetto Joule  $P_{j1}$ :

$$P_{j1} = 3 \cdot 0,15 \cdot 352 = 551,25 [W]$$

Dalle misure derivanti dalla prova a vuoto determino la potenza assorbita a vuoto dal motore:

$$P_o = 1,732 \cdot 400 \cdot 10 \cdot 0,15 = 1.039,2 [W]$$

Quindi determino le perdite nel ferro come differenza fra la potenza assorbita a vuoto e le perdite meccaniche, trascurando le perdite per effetto joule a vuoto, in quanto si presume venga effettuata alla temperatura ambiente per cui la resistenza dell'avvolgimento statorico risulterà minore rispetto al dato fornito di 0,15 .

$$P_{fe} = P_o - P_m = 1.039,2 - 300 = 739,2 [W]$$

Adesso possiamo procedere al calcolo della potenza trasmessa dallo statore al rotore ed al calcolo delle perdite per effetto Joule nel rotore, delle perdite addizionali e dello scorrimento s:

$$P_{add} = 0,5\% P_a = \frac{0,5}{100} \cdot 21.823 = 109,11 [W]$$

$$P_t = P_1 - (P_{fe} + P_{j1} + P_{add}) = 20.423,44 [W]$$

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1} = \frac{(1000 - 970)}{1000} = 0,03$$

dove 
$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 [rpm]$$

$$P_{j2} = s \cdot P_t = 0,03 \cdot 20.423,44 = 612,7 [W]$$

Per calcolare il rendimento si procede alla determinazione della

potenza persa e di quella resa:

$$P_p = P_{j1} + P_{fe} + P_{add} + P_{j2} + P_m = 2.312,26 [W]$$

$$P_r = P_1 - P_p = 19.510,74 [W]$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_l} = 0,894$$

$$C_r = \frac{P_r}{\omega} = \frac{19.510,74}{101,53} = 192,167 \text{ [Nm]}$$

$$\text{Dove: } \omega = \frac{2\pi p}{60} = 101,53 \text{ [rad/s]}$$

RISPOSTA AL 2° QUESITO:

Viene richiesto il sistema di regolazione e il suo dimensionamento al fine di ridurre la velocità del motore a pieno carico del 10%.

a) Regolando il sistema mediante la variazione della sola tensione adottando, per es., un autotrasformatore si ottiene:

Calcolo la velocità ridotta e lo scorrimento relativo:

$$n' = n - 0,1 \cdot n = 970 - 0,1 \cdot 970 = 873 \text{ [rpm]}$$

$$s' = \frac{(n_1 - n)}{n_1} = \frac{(1000 - 873)}{1000} = 0,127$$

Considerando rettilineo il primo tratto della caratteristica meccanica, a parità di coppia lo scorrimento è inversamente proporzionale al quadrato della tensione applicata. Si calcola in tal modo la tensione da applicare:

$$\frac{V'_2}{V_n}$$

$$2 = \frac{s}{s'} \quad \text{da cui } V' = V_n \cdot \frac{s}{2s'} = 194,4 \text{ [V]}$$

Si nota che la tensione applicata dovrà essere meno della metà di quella nominale. Si otterrà una coppia massima uguale ad 1/4 di quella ottenibile a tensione nominale.

Mediamente considerando che il motore in esame, con applicata la tensione nominale ha una coppia massima pari a 2,5 volte quella nominale. Si deduce che la regolazione proposta non è in grado di assicurare al motore l'erogazione della coppia a pieno carico quando è alimentato alla tensione ridotta di 194,4 [V].

b) Si procede adesso a considerare l'adozione del sistema di regolazione con la variazione di frequenza e tensione all'unisono, per es., con un inverter trifase ad onda sinusoidale.

Ipotizzo un tipo di motore con rotore a gabbia di scoiattolo.

Con la regolazione di velocità a coppia costante mediante variazione di tensione e frequenza con il loro rapporto costante, la caratteristica meccanica si modifica trasladando rigidamente verso sinistra al diminuire della frequenza. Può dirsi che la differenza tra la velocità del campo rotante e la velocità del rotore è, a parità di coppia, costante al variare della frequenza. Questa differenza  $\Delta n$  è calcolabile in funzione della frequenza di 50 [Hz]:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = 1000 - 970 = 30 \text{ [Hz]}$$

Siccome la regolazione richiede una velocità ridotta pari a  $n' = 873$  [rpm], la velocità  $n_1'$  che dovrà avere il campo rotante alla nuova frequenza varrà:

$$n_1' = n' + \Delta n = 873 + 30 = 903 \text{ [rpm]}$$

Essendo  $p=3$  le coppie di poli, la frequenza  $f_1'$  alla quale dovrà essere alimentato il motore varrà:

$$f_1' = \frac{(n_1' \cdot p)}{60} = 45,15 \text{ [Hz]}$$

La tensione  $V'$  alla quale alimentare il motore dovrà variare in misura proporzionale alla variazione di frequenza (solo così si mantiene costante il flusso per polo):

$$V'/V_n = f_1'/f_n \text{ da cui } V' = V_n \cdot (f_1'/f_n) = 361,2 \text{ [V]}$$

$$\frac{V'}{V_n} = \frac{f_1'}{f_n} / \text{da cui} \quad V' = V_n \cdot \left( \frac{f_1'}{f_n} \right) = 361,2 \text{ [V]}$$

Valore compatibile nell'ottica delle considerazioni illustrate al punto a).

### RISPOSTA AL 3° QUESITO:

Il tema richiede che l'avviamento avvenga con una coppia resistente pari a  $C_r' = 78,5 \text{ N}\cdot\text{m}$ , Prendo in considerazione l'uso di un autotrasformatore trifase. Tale macchina, interposta tra la linea ed il motore, alimentato alla tensione  $V_n=400 \text{ V}$  fornirà al motore la tensione di avviamento ridotta  $V'$  che permetterà di realizzare il valore di

$$C_r' = 78,5 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Si determina subito il valore di corrente di spunto a pieno carico:

$$I_{\text{avv}} = 5,8 \cdot I_1 = 203 \text{ [A]}$$

Visto che la coppia varia col quadrato della tensione, si ottiene:

$$\frac{C_r'}{C_r} = \frac{V_2'}{V_n}$$

$$\text{da cui } V' = V_n \cdot \left( \frac{C_r'}{2C_r} \right) = 255,65 \text{ [V]}$$

Si può calcolare anche il rapporto di trasformazione dell'autotrasformatore:

$$K = \frac{V_n}{V'} = 1,56$$

Visto che la corrente assorbita dal motore all'avviamento varia proporzionalmente alla tensione applicata, la nuova corrente di avviamento  $I'_{avv}$  sarà:

$$I'_{avv} = I_{avv} \cdot (V'/V_n) = 129,7 \text{ [A]}$$

Attilio Zuccarello