

# **ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo:** ELETTROTECNICA E AUTOMAZIONE

**Tema di:** ELETTROTECNICA

(Testo valevole per i corsi di ordinamento, per i corsi sperimentali del Progetto “SIRIO”)

Una linea elettrica trifase, avente resistenza di  $3,2 \Omega$  e reattanza di  $6,0 \Omega$ , alimenta a  $400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$  un motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo da  $20 \text{ kW}$  a 6 poli.

Il motore presenta, a pieno carico, le seguenti caratteristiche:

- $\eta = 0,87$
- $\cos \varphi = 0,80$
- $s = 3 \%$

All'avviamento, a pieno carico, la corrente di spunto è pari a 5,8 volte la corrente nominale.

Per esigenze di servizio, il motore deve essere avviato con una coppia di spunto pari a  $100 \text{ Nm}$ .

Il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie, calcoli la coppia fornita a pieno carico e relazioni sulle condizioni di avviamento cui è sottoposto il motore. Individui e dimensioni il dispositivo che consente di soddisfare le condizioni richieste all'avviamento, giustificando la scelta operata, e determini il rendimento totale del sistema.

Inoltre il candidato, nell'ipotesi che il motore debba fornire la stessa coppia con una riduzione di velocità del  $10 \%$ , illustri il sistema di regolazione e ne effettui il dimensionamento di massima.

Infine, il candidato valuti la necessità di effettuare il rifasamento del sistema e motivi adeguatamente gli eventuali benefici che si ottengono in relazione al risparmio energetico.

---

Durata massima della prova: 6 ore.

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

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

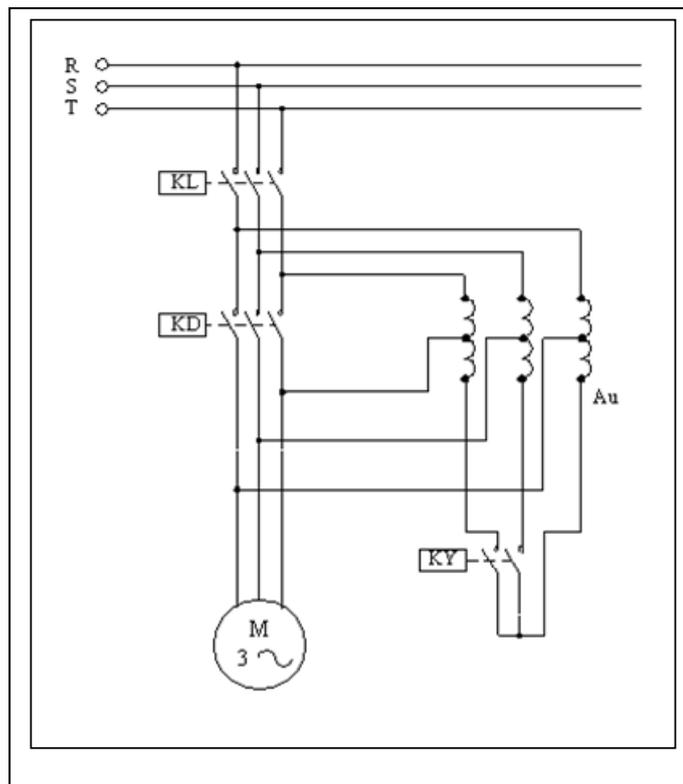
## CONSIDERAZIONI

Visti i dati di Impedenza della linea di alimentazione del MAT si desume che tale linea è quella del fornitore di energia elettrica, per cui nel rendimento del sistema non se ne terrà conto dato che la linea non alimenterà solo il MAT.

Inoltre si ipotizza di utilizzare un autotrasformatore a due prese, sia per l'avviamento, sia per la riduzione di velocità del 10% del MAT a coppia costante.

Dopo la fase di avviamento nel funzionamento a potenza nominale l'autotrasformatore viene disinserito come da figura allegata.

Autotrasformatore



## SOLUZIONE

### Determino la corrente assorbita

Devo per prima cosa calcolare la potenza elettrica assorbita dal MAT:

$$P_{a\ mat} = P_{r\ n} / \eta_n = 20000 / 0,87 = 22.727 \text{ [W]}$$

La corrente assorbita dal MAT a pieno carico vale:

$$I_{a\ mat} = P_{a\ mat} / 1,73 V_n \cos \varphi_n = 22727 / 1,73 * 400 * 0,80 = 41 \text{ [A]}$$

### Determino la coppia fornita a pieno carico

Mi serve la velocità del MAT a pieno carico:

$$n_1 = 60 * f_n / p = 60 * 50 / 3 = 1000 \text{ [rpm]}, \quad n_2 = n_1 (1 - s_n) = 1000 (1 - 0,03) = 970 \text{ [rpm]}$$

La coppia erogata a pieno carico vale:

$$C_{r\ n} = P_{r\ n} / \Omega_2 = P_{r\ n} * 60 / 2 \pi * n_2 = 20000 * 60 / 2 \pi * 970 = 197 \text{ [Nm]}$$

### Determino la tensione di alimentazione all'avviamento

Considerando che la coppia del motore dipende dal quadrato della tensione applicata si ha:

$$C_{avv'} / C_{avv\ n} = V'^2 / V_n^2 \quad \text{sostituendo i valori si ha } 100 / 197 = V'^2 / 400$$

$$\text{da cui si ricava } V' = 400 \sqrt{100/197} = 285 \text{ [V]}$$

### Determino la corrente assorbita all'avviamento con l'autotrasformatore inserito

Considero che la corrente all'avviamento si può ritenere direttamente proporzionale alla tensione applicata (questo se si assume costante l'impedenza del motore) e che la corrente di avviamento con applicata la tensione nominale vale  $I_{avv\ n} = 5,8 * I_{a\ mat} = 5,8 * 41 = 237,8 \text{ [A]}$ :

quindi si ha:

$$I_{avv'} / I_{avv\ n} = V' / V_n \quad \text{sostituendo i valori si ha } I_{avv'} / 237,8 = 285 / 400$$

$$\text{da cui si ricava } I_{avv'} = 169,4 \text{ [A]}$$

Naturalmente l'autotrasformatore assorbirà dalla rete di alimentazione a 400 V una corrente  $I_{aat}$  più piccola. Se si ipotizza ideale l'autotrasformatore, la corrente da esso assorbita si calcola tenendo conto del rapporto di trasformazione:

$$K = V_1/V_2 = 400 / 285 = 1,4 \quad \text{e si ricava una } I_{aat} = I_{avv}^*/K = 169,5 / 1,4 = 121 \text{ [A]}$$

#### Determino la potenza dell'autotrasformatore

La sua potenza nominale deve essere scelta tenendo conto del servizio di durata limitata che esso dovrà assolvere. Un criterio comunemente adottato è quello di applicare un coefficiente riduttivo rispetto alla potenza richiesta all'avviamento del MAT pari a **0,3**. Risulta perciò:

$$S_{at} = 0,3 * 1,73 * V' * I_{avv}^* = 0,3 * 1,73 * 285 * 169,4 = 25057 \text{ [VA]}$$

In base a questo valore si sceglie il più prossimo che è  **$S_{nat} = 25$  [kVA]**.

#### Determino il rendimento totale del sistema

In questo caso si deve tener conto del prodotto dei rendimenti del motore e dell'autotrasformatore, non si considera quello della linea per le considerazioni fatte all'inizio:

- rendimento motore: 0,87
- rendimento dell'autotrasformatore : supponiamo pari a 0,9
- rendimento globale  $0,87 * 0,9 = 0,78$

#### Determino la tensione con una riduzione della velocità del 10 %

La velocità ridotta del 10 % è pari a:

$$n_{2r} = 970 \text{ [rpm]} - (0,10 * 970) = 873 \text{ [rpm]}$$

$$\text{da cui } s = (n_1 - n_{2r}) / n_1 = (1000 - 873) / 1000 = 0,127$$

$$\text{da cui si calcola la } V_{ridotta} \quad V_r = \sqrt{(S_n/S_r) * V_n} = 194,4 \text{ [V]}$$

Quindi non avendo altre variazioni previste utilizzeremo una seconda presa sull'autotrasformatore con il valore della tensione ridotta calcolata.

La scelta dell'autotrasformatore in fase di avviamento rimane valida anche in queste condizioni, perché in questo caso la potenza apparente del MAT non è superiore a quella dell'autotrasformatore.

### Determino il rifasamento

Avendo un  $\cos \varphi$  del motore pari a 0,80 e supponendo un  $\cos \varphi$  dell'autotrasformatore pari a 0,85 si ottiene un  $\cos \varphi$  totale pari a 0,82.

Per cui si deve inserire un rifasatore che porti il  $\cos \varphi$  totale a 0,9 con una potenza reattiva pari a:

$$Q_c = P_a (\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi_r) = 8,9 \text{ [Kvar]}$$

I benefici che si traggono sono evidenti, infatti rifasando la corrente assorbita dal gruppo motore + autotrasformatore è:

$$I_{at} = P_{at} / 1,73 V_n \cos \varphi_r = 43930 / 1,73 * 400 * 0,90 = 70,53 \text{ [A]}$$

mentre senza rifasamento era  $I_{at} = 77 \text{ [A]}$ , ciò comporta una minore perdita di potenza attiva e minore c.d.t. di linea e inoltre un costo minore da parte dell'utente che non dovrà pagare l'energia reattiva.

### Possibili soluzioni alternative

Si poteva scegliere come sistema di regolazione del MAT un variatore di tensione statico a tensione regolabile e frequenza costante, oppure un inverter a tensione e frequenza regolabili.