

ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITET – ELETTRATECNICA ED ELETTRONICA
ARTICOLAZIONE ELETTRATECNICA

Tema di: ELETTRATECNICA ED ELETTRONICA

ESEMPIO DI PROVA

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

Un motore asincrono trifase a 6 poli ha una tensione di targa di 400 V con frequenza 50 Hz. Il motore ha le fasi statoriche collegate a stella e la resistenza di una fase dello statore è uguale a $0,27 \Omega$.

Due wattmetri, posizionati in base all'inserzione Aron e inseriti sulla linea di alimentazione del motore funzionante a pieno carico con i suoi dati di targa, misurano una potenza di 8,2 kW e di 15 kW rispettivamente.

Mediante prove di collaudo si è potuto stabilire che il motore, funzionante a vuoto con tensione e frequenza nominali, assorbe dalla linea di alimentazione una potenza di 1,1 kW con una corrente di 13,5 A.

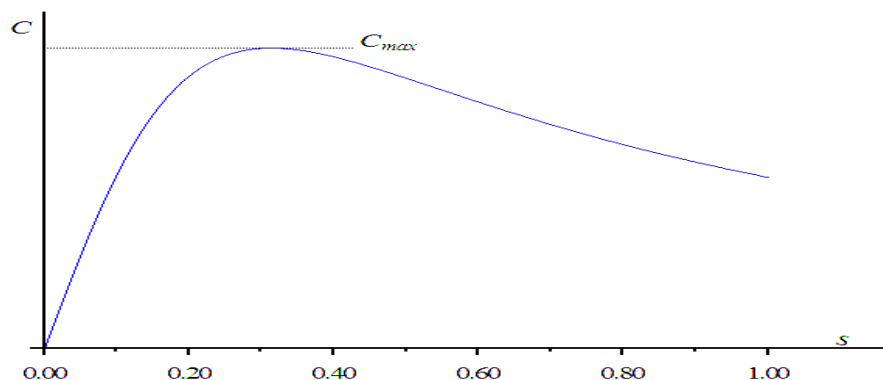
Il motore, funzionante a pieno carico in condizioni nominali, ha una velocità di 960 giri/min e le perdite meccaniche sono $1/3$ delle perdite a vuoto.

Il candidato, dopo aver fatto le ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie, calcoli:

- la corrente assorbita dal motore funzionante a pieno carico coi suoi dati di targa;
- la potenza nominale del motore;
- il rendimento convenzionale del motore;
- la coppia sviluppata dal motore.

SECONDA PARTE

1. Un alternatore trifase, connesso a stella, alimenta con una terna simmetrica di tensioni di linea di 400 V, 50 Hz una linea elettrica trifase a tre fili che assorbe una corrente di 76 A con $\cos \varphi = 0,9$. Nota la resistenza e la reattanza interna del generatore $R_f = 0,15 \Omega$, $X_f = 0,8 \Omega$, il candidato calcoli la f.e.m. indotta del generatore e la variazione di tensione da vuoto a carico del generatore.
2. Il candidato illustri i metodi che possono essere utilizzati per regolare la velocità di un motore asincrono trifase.
3. Il candidato spieghi in quale caso la reazione d'indotto in un alternatore ha effetto smagnetizzante.
4. Il candidato, dopo aver discusso in merito al significato della caratteristica meccanica di un motore asincrono trifase, indichi quali informazioni si possono dedurre dal grafico riportato:



SVOLGIMENTO PRIMA PARTE

1. Corrente assorbita

Per il calcolo della corrente assorbita si fa riferimento alle potenze, attiva e reattiva, assorbite dal motore e calcolabili dalle indicazioni dei due wattmetri dell'inserzione Aron, trattandosi di un carico trifase equilibrato.

Indicando con $A = 15$ kW l'indicazione del wattmetro maggiore e con $B = 8,2$ kW quella del wattmetro minore, si ottiene:

$$P_a = A + B = 15 + 8,2 = 23,2 \text{ kW}$$

$$Q_a = \sqrt{3}(A - B) = \sqrt{3}(15 - 8,2) = 11,8 \text{ kvar}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_a}{S_a} = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + Q_a^2}} = \frac{23,2}{\sqrt{23,2^2 + 11,8^2}} = 0,891$$

$$I_1 = \frac{P_a}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi_1} = \frac{23\,200}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,891} = 37,6 \text{ A}$$

Tutti i valori calcolati si riferiscono, in base alle indicazioni del testo, al funzionamento in condizioni nominali.

2. Potenza nominale

La potenza nominale del motore è la potenza resa nel funzionamento col carico nominale. Per il suo calcolo occorre sottrarre dalla potenza attiva assorbita tutte le potenze perse in condizioni nominali, che sono le stesse condizioni a cui si riferiscono i dati del problema.

Dai dati della prova a vuoto si ricava la somma delle perdite nel ferro e meccaniche, sottraendo a P_0 la perdita joule statorica a vuoto P_{j10} , per il calcolo della quale si fa riferimento al valore della resistenza di fase statorica indicata nel testo, supposta già riportata alla temperatura convenzionale di regime. In teoria si dovrebbe considerare la resistenza alla temperatura della prova a vuoto; dato però il ridotto valore di P_{j10} l'approssimazione è accettabile.

Si ottiene:

$$P_f + P_{av} = P_0 - P_{j10} = P_0 - 3 R_1 I_0^2 = 1100 - 3 \times 0,27 \times 13,5^2 = 952 \text{ W}$$

Dai dati del testo si ricava il valore delle perdite meccaniche: $P_{av} = P_0/3 = 1100/3 = 367 \text{ W}$

Per differenza si ottiene il valore delle perdite nel ferro: $P_f = 952 - 367 = 585 \text{ W}$

Le perdite joule statoriche sono data da: $P_{j1} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,27 \times 37,6^2 = 1145 \text{ W}$

Le perdite joule rotoriche si calcolano con la relazione $P_{j2} = s P_t$, dopo aver preventivamente calcolato i valori dello scorrimento e della potenza trasmessa.

Essendo $n_0 = 60$ f/p $= 60 \times 50/3 = 1000$ giri/min e supponendo trascurabili le perdite addizionali, si ottiene:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04 \text{ (4\%)}$$

$$P_t = P_a - P_f - P_{j1} - P_{add} = 23\,200 - 585 - 1145 - 0 = 21\,470 \text{ W}$$

$$P_{j2} = s P_t = 0,04 \times 21\,470 = 859 \text{ W}$$

La potenza resa nominale è quindi data da:

$$P_n = P_r = P_t - P_{j2} - P_{av} = 21\,470 - 859 - 367 = 20\,244 \text{ W}$$

3. Rendimento convenzionale

Il rendimento convenzionale di una macchina elettrica si ricava, in generale, misurando una potenza (resa o assorbita) e ricavando le potenze perse dalle prove convenzionali (misura della resistenza degli avvolgimenti, prova a vuoto, prova in cortocircuito).

Nel caso in esame la potenza misurata è quella assorbita, per cui il rendimento convenzionale è dato da:

$$\eta = \frac{P_a - P_p}{P_a} = \frac{P_a - (P_f + P_{j1} + P_{j2} + P_{av})}{P_a} = \frac{23\,200 - (585 + 1145 + 859 + 367)}{23\,200} = 0,873$$

4. Coppia sviluppata

Per coppia sviluppata dal motore si può intendere la **coppia elettromagnetica** (o coppia trasmessa da statore a rotore), data da:

$$C_t = \frac{P_t}{\omega_0} = \frac{60 P_t}{2 \pi n_0} = \frac{60 \times 21\,470}{2 \times \pi \times 1000} = 205 \text{ Nm}$$

Se si vuole, invece, calcolare la **coppia resa** si ottiene il valore:

$$C_r = \frac{P_r}{\omega} = \frac{60 P_r}{2 \pi n} = \frac{60 \times 20\,244}{2 \times \pi \times 960} = 201,4 \text{ Nm}$$

ovviamente minore del precedente.

SVOLGIMENTO SECONDA PARTE

Quesito 1

Il valore $V = 400 \text{ V}$ si può intendere come il valore nominale della tensione concatenata statorica a carico, il cui valore di fase è: $V_f = V/\sqrt{3} = 400/\sqrt{3} = 231 \text{ V}$.

Considerando il circuito equivalente di Behn-Eschemburg avente come parametri di fase quelli riportati nel testo (la reattanza X_f va considerata come reattanza sincrona, somma di quella di dispersione più quella di reazione), la tensione di fase indotta a vuoto è data da:

$$E_0 = V_{0f} = \sqrt{(V_f \cos \varphi + R_f I)^2 + (V_f \sin \varphi + X_f I)^2} \\ = \sqrt{(231 \times 0,9 + 0,15 \times 76)^2 + (231 \times 0,436 + 0,8 \times 76)^2} = 272,4 \text{ V}$$

Il valore concatenato della tensione a vuoto è dato da: $V_0 = \sqrt{3} V_{0f} = \sqrt{3} \times 272,4 = 471,8 \text{ V}$.

La variazione di tensione percentuale da vuoto a carico, riferita alla tensione nominale di 400 V , è uguale a :

$$\Delta V\% = 100 \frac{V_0 - V_n}{V_n} = 100 \frac{471,8 - 400}{400} \cong 18\%$$

Quesito 2

I metodi che possono essere utilizzati per regolare la velocità di un motore asincrono trifase sono vari e sono ampiamente illustrati nei testi normalmente in uso per la materia di Elettrotecnica ed elettronica. In questa sede ci si limiterà a fornire le indicazioni generali per articolare la risposta al quesito.

Nel caso di motori a gabbia il metodo di regolazione più efficace è quello di alimentare il motore con tensione e frequenza variabili, usando un inverter. Nel caso di alimentazione da una rete in corrente alternata trifase, a monte dell'inverter va messo un raddrizzatore, mentre se la rete è in corrente continua (come succede, per esempio, nelle metropolitane) l'inverter può essere collegato direttamente alla rete.

È necessario che il candidato sottolinei, nella trattazione, i seguenti punti:

- variazione della velocità di sincronismo e della velocità di rotazione, a parità di scorrimento, al variare della frequenza;
- legame tra la tensione, la frequenza e il flusso magnetico;
- andamento delle caratteristiche tensione-frequenza e flusso-frequenza per le regolazioni a flusso costante per frequenza inferiore a quella nominale e a tensione costante per le frequenze superiori;
- spostamento della caratteristica meccanica del motore per le diverse frequenze e variazione della velocità di rotazione in funzione della coppia resistente del carico.

Per completare la risposta, visto che la traccia parla di “metodi”, si potranno poi illustrare i due seguenti sistemi, mettendone in evidenza caratteristiche e limiti:

- uso del reostato rotorico per i motori con rotore avvolto;
- variazione del numero dei poli dell'avvolgimento statorico per ottenere motori con due o tre velocità.

Quesito 3

La reazione d'indotto ha effetto totalmente smagnetizzante quando l'alternatore è collegato a un carico puramente induttivo, come si vede dal diagramma vettoriale di **figura 1**, disegnato ritenendo valida l'ipotesi semplificativa di poter separare l'effetto delle correnti indotte statoriche da quello della corrente di eccitazione.

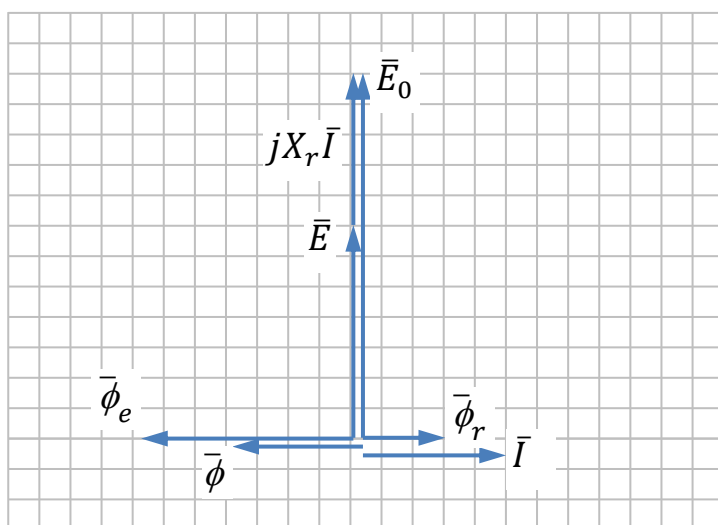


Figura 1 Reazione d'indotto: caso del circuito puramente induttivo.

Il flusso di reazione $\bar{\phi}_r$, in fase con la corrente \bar{I} , risulta in opposizione rispetto al flusso di eccitazione $\bar{\phi}_e$, per cui il flusso totale a carico $\bar{\phi}$ è minore di quello a vuoto e nel passaggio da vuoto a carico si riduce la tensione da vuoto a carico ($E < E_0$).

Nei casi intermedi l'effetto della reazione d'indotto non è così netta. Per esempio, con un carico RL la reazione d'indotto avrà un minor effetto smagnetizzante rispetto al caso di carico induttivo.

Quesito 4

Per rispondere a questo quesito si deve, in primo luogo, discutere sul significato della caratteristica meccanica di un m.a.t., mettendo in evidenza almeno i seguenti punti:

- la caratteristica meccanica è il grafico della coppia sviluppata dal motore in funzione dello scorrimento;

- può anche essere rappresentato mettendo in ascisse la velocità di rotazione n (si produrrà il grafico relativo);
- sulla caratteristica si possono individuare i seguenti valori di coppia e velocità: coppia massima, coppia di avviamento (per $s = 1$), coppia nominale (per $s = s_n$), velocità nominale, velocità di sincronismo (per $C = 0$), velocità di coppia massima (in corrispondenza dello scorrimento critico);
- la caratteristica è divisa in due tratti: funzionamento meccanicamente stabile (per scorrimento da 0 a quello critico) e meccanicamente instabile (per s maggiore di quello critico);
- intersecando la caratteristica meccanica con quella della coppia resistente del carico, si determina il punto di lavoro del motore (coppia e velocità).

Nel grafico di figura, tenendo conto che l'asse delle coppie non è quotato, si possono dedurre solo le seguenti informazioni:

- scorrimento critico $s_{cr} = 0,3$, per cui la velocità critica, di coppia massima, è: $n_{cr} = n_0(1 - s_{cr}) = 0,7 n_0$;
- il funzionamento del motore sarà meccanicamente stabile per velocità comprese tra $0,7 n_0$ ed n_0 ;
- dal rapporto tra le ordinate dei punti per $s = 1$ ed $s = s_{cr} = 0,3$ si trova il valore del rapporto C_a / C_{max} tra la coppia di avviamento e quella massima.