

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" - Elettrotecnica)

Due trasformatori con le seguenti caratteristiche:

potenza nominale	tensione nominale primaria	tensione secondaria a vuoto	potenza di corto circuito	potenza a vuoto	$\cos\phi_{CC}$
120 kVA	20 kV	400 V	2,4 %	0,9 %	0,4
160 kVA	20 kV	400 V	2,2 %	0,8 %	0,4

sono collegati in parallelo per alimentare, alle loro tensione nominale di 380 V, i seguenti tre motori asincroni trifase a 4 poli:

numero motori	potenza nominale	rendimento	$\cos\phi$	coppia nominale
2	90 kW	0,94	0,86	581 Nm
1	30 kW	0,92	0,83	195 Nm

Il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive, calcoli:

1. la corrente erogata da ogni trasformatore e il rendimento complessivo del parallelo considerando che i motori lavorano nelle condizioni nominali;
2. lo scorrimento per ogni motore;

Inoltre, considerando che il motore di potenza 30 kW ha un rapporto di trasformazione tra statore e rotore di 1,3, che le perdite meccaniche sono pari a 750 W e che nella prova a vuoto il motore ha assorbito una potenza di 1800 W con $\cos\phi_0 = 0,25$, si determini:

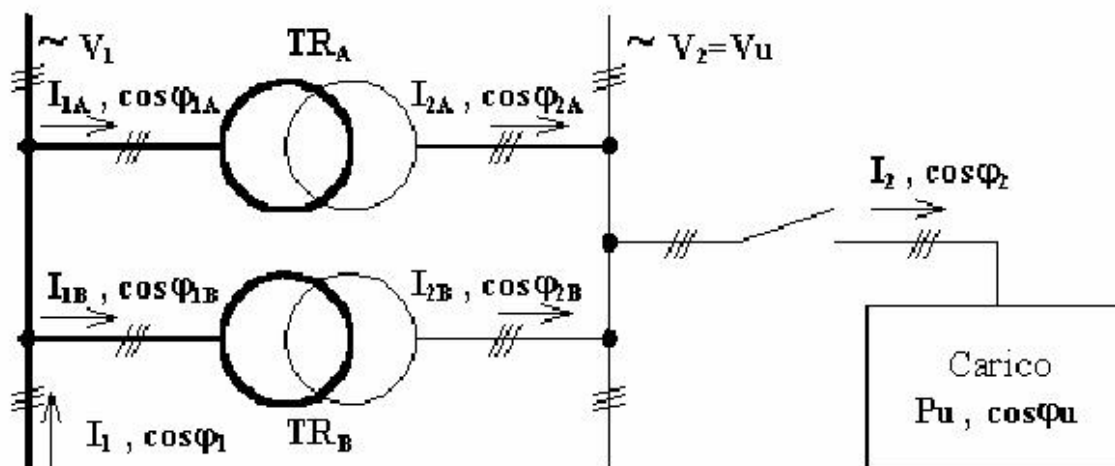
1. il rendimento nominale del motore;
2. il valore della resistenza del reostato da inserire su ciascuna fase del rotore per ottenere una riduzione del 10% della velocità del motore, con la stessa coppia applicata;

Infine, considerando che uno dei motori di potenza nominale 90 kW lavora in modo non continuativo, il candidato illustri le conseguenze sull'impianto, durante la fase di fermo, in particolare in riferimento al suo rendimento complessivo.

SOLUZIONE

Punto 1

Considerando lo schema unifilare dell'impianto come di seguito descritto :



Dai dati di targa del trasformatore forniti e considerando il funzionamento in parallelo si passa alla verifica delle condizioni del funzionamento in parallelo:

a) per soddisfare i prerequisiti del parallelo deve essere:

$$V_{1nB} = V_{1nA} = 20 \text{ [kV]}, f_{nB} = f_{nA} = 50 \text{ [Hz]}, \text{ gruppo Dy11}$$

b) per soddisfare il perfetto funzionamento a vuoto del parallelo deve essere:

$$V_{20nB} = V_{20nA} = 400 \text{ [V]}$$

c) per soddisfare il perfetto funzionamento a carico del parallelo deve essere:

$$\cos\varphi_{CCB} = \cos\varphi_{CCA} = 0,4$$

Da cui appare chiaro che le condizioni sono verificate.

Passiamo a calcolare il primo punto:

La corrente erogata TOTALE vale:

$$I_2 = \frac{P_{tot}}{1.73 V * \cos\varphi_{tot}} = 400,55 \text{ A}$$

Dove La potenza attiva per i due trasformatori vale:

$$P_{tot} = 2 * P_{matA} + P_{matB} = 224,10 \text{ kW}$$

$$P_{matA} = P_{nA} / \eta = 95,74 \text{ kW}$$

$$P_{matb} = P_{nB} / \eta = 32,61 \text{ kW}$$

La potenza reattiva per i due trasformatori vale:

$$Q_{tot} = 2 * Q_{matA} + Q_{matB} = 134,83 \text{ kVAR}$$

$$Q_{matA} = P_{matA} * \operatorname{tg} \varphi_A = 56,49 \text{ kVAR}$$

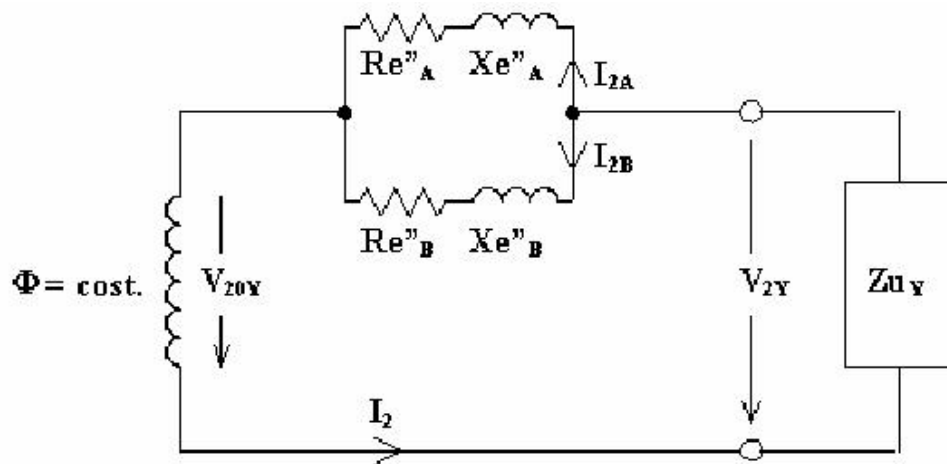
$$Q_{matB} = P_{matB} * \operatorname{tg} \varphi_b = 21,85 \text{ kVAR}$$

Quindi si ha uno sfasamento totale pari a:

$$\operatorname{tg} \varphi_{tot} = Q_{tot} / P_{tot} = 0,61$$

$$\cos \varphi_{tot} = \cos (\operatorname{tg}^{-1} Q_{tot} / P_{tot}) = 0,85$$

Da questi dati calcoliamo le correnti erogate dei due trasformatori applicando il partitore di corrente tra le impedenze di fase dei due trasformatori in parallelo come appare dal disegno riportato:



$$I_{2A} = I_{tot} * |z_B| / |z_A + z_B| = 163,2 \text{ A}$$

$$I_{2B} = I_{tot} * |z_A| / |z_A + z_B| = 237,4 \text{ A}$$

le impedenze valgono rispettivamente:

$$z_A = V_{ccA\%} * V_{20}^2 / 100 S_{nA} = 80 \text{ mmOhm}$$

$$z_B = V_{ccB\%} * V_{20}^2 / 100 S_{nB} = 55 \text{ mmOhm}$$

$$R_{eA} = P_{ccA} / 3I_{An}^2 = 32 \text{ mmOhm}$$

$$R_{eB} = P_{ccB} / 3I_{Bn}^2 = 22 \text{ mmOhm}$$

Dove le correnti nominali dei trasformatori sono:

$$I_{An} = 173,2 \text{ A} \quad e \quad I_{Bn} = 230,9 \text{ A}$$

$$P_{ccA} = P_{ccA\%} S_{nA} / 100 = 2,88 \text{ kW}$$

$$P_{ccB} = P_{ccB\%} S_{nA} / 100 = 3,52 \text{ kW}$$

$$X_{eA} = \sqrt{z_A^2 - R_{eA}^2} = 73,32 \text{ mmOhm}$$

$$X_{eB} = \sqrt{z_B^2 - R_{eB}^2} = 50,41 \text{ mmOhm}$$

Il rendimento complessivo del parallelo si calcola con la seguente formula:

$$\eta = \frac{P_{tot}}{P_{tot} + P_{feA} + P_{feB} + P_{jA} + P_{jB}} = 0,963$$

Dove:

le perdite nel ferro valgono:

$$P_{feA} = P_{0A} \% * S_{An} / 100 = 1080 \text{ W}$$

$$P_{feB} = P_{0B} \% * S_{Bn} / 100 = 1280 \text{ W}$$

E le perdite nel rame valgono:

$$P_{jA} = 3 R_{eA} I_{2A}^2 = 2,56 \text{ kW}$$

$$P_{jB} = 3 R_{eB} I_{2B}^2 = 3,72 \text{ kW}$$

Punto 2

Gli scorrimenti per i motori asincroni trifase sono rispettivamente, avendo ipotizzato una frequenza di 50 Hz di:

Primo motore :

$$s_1 = \frac{n_{s1} - n_{r1}}{n_{s1}} = 0,013$$

Secondo motore

$$s_2 = \frac{n_{s2} - n_{r2}}{n_{s2}} = 0,02$$

Dove :

$$n_{r1} = \frac{60 * P_1}{C_1 * 2 \pi} = 1480 \text{ rpm}$$

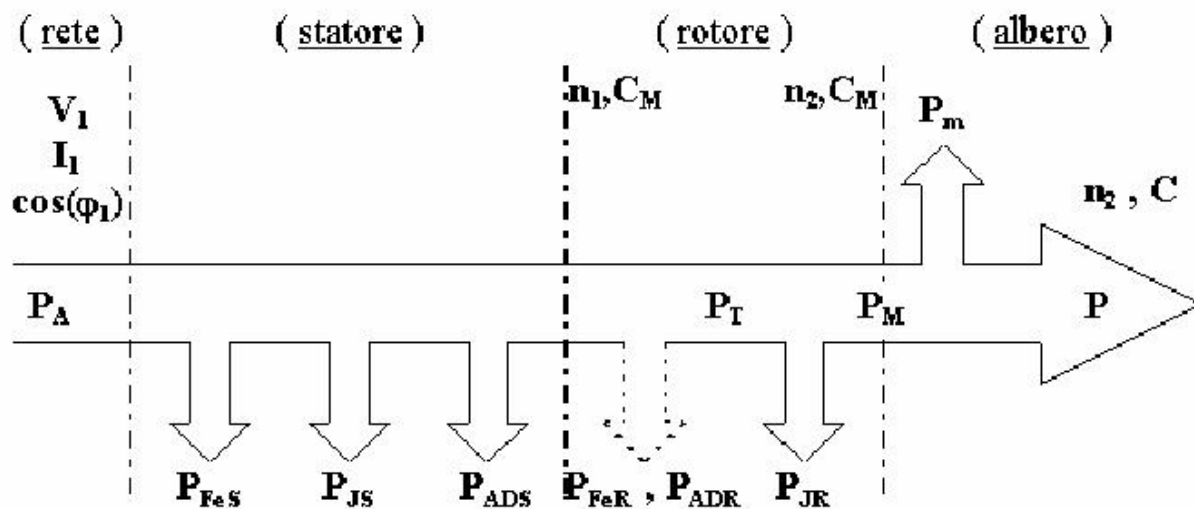
$$n_{r2} = \frac{60 * P_2}{C_2 * 2 \pi} = 1470 \text{ rpm}$$

$$n_{s1} = n_{s2} = \frac{60 * f}{P} = 1500 \text{ rpm}$$

Passiamo adesso a svolgere la seconda parte della traccia comprende i seguenti punti:

Punto 1 (*)

Per il calcolo del rendimento e considerando il diagramma di flusso delle potenze si ha:



$$\eta = \frac{P}{P_A} = 0,82$$

DOVE

P è la potenza nominale del motore già menzionata in precedenza e assegnata nel testo con:

$$P_nB = 30 \text{ kW}$$

Mentre la potenza assorbita è pari a:

$$P_A = P_{fes} + P_{js} + P_{ad} + P_{jr} + P_{mec} + P = 36,66 \text{ kW}$$

avendo trascurato le P_{fer}

Quindi dai calcoli si ha:

$$P_{fes} = P_o - P_{mec} = 1800 \text{ W} - 750 \text{ W (valori assegnati)} = 1050 \text{ W}$$

$$P_{js} = 3 R_s I_s^2 = 2,6 \text{ kW}$$

Dove

$$I_s = P_{matB} / \sqrt{3} V \cos\phi = 59,7 \text{ A}$$

e per la R_s ipotizziamo un valore di 0,25 [Ω]

$$P_{ad} = 5\% \text{ di } P_A = 1,63 \text{ kW}$$

$$P_{jr} = P_M * s_n / (1 - s_n) = 627,55 \text{ W}$$

Dove

$$P_M = P_{matB} + P_{mec} = 30,75 \text{ kW}$$

Le

Perdite meccaniche

P_{mec} sono note

$$P = 30 \text{ kW (assegnata)}$$

Punto 2

Considerando lo scorrimento nominale già calcolato determiniamo la Resistenza come:

$$R_2 = P_{jr} / (3 I_{2r}^2) = 0,046 \text{ Ohm}$$

Dove

$$P_{jr} = P_M * s_2 / (1 - s_2) = 627,55 \text{ W}$$

Dove :

$$P_M = P_{matB} + P_{mec} = 30,75 \text{ kW}$$

Le Perdite meccaniche

P_{mec} sono note e pari a 750 W

$$I_{2r} = I_{sr} * m = 67,59 \text{ A con } m = 1,3 \text{ (assegnato)}$$

Dove la corrente di reazione statorica è pari a:

$$I_{sr} = |I_s - I_o| = 52 \text{ A}$$

Dove

Date le condizioni nominali

$$I_s = P_{matB} / \sqrt{3} V \cos\varphi = 59,7 \text{ A}$$

e

$$I_o = P_o / \sqrt{3} V \cos\varphi_0 = 10,93 \text{ A}$$

Per ottenere una riduzione del 10% applicando la stessa coppia si deve utilizzare una Resistenza aggiuntiva pari a:

$$R_{ag} = 0,225$$

Ricavata dalla seguente formula:

$$R_2/s_2 = (R_2 + R_{ag})/s'$$

Dove

$$s' = (n_0 - nr_2) / n_0 = 0,118$$

e

$$n_0 = 1500 \text{ , } nr'_2 = nr_2 - 10\% nr_2 = 1323 \text{ rpm}$$

Infine nelle condizione in cui uno dei motori si arresta si ha una riduzione complessiva del carico pari al 43% e si avrà come conseguenza una diminuzione della potenza erogata dei trasformatori di pari entità, che li porta a funzionare a meno del 60 % della potenza nominale, con un abbassamento del rendimento complessivo.