



Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2194A

ANNO: 2017

A P P U N T I

STUDENTE: Milana Salvatore

**MATERIA: Temi d'esame - Esercizi Macchine Elettriche - Prof
Pellegrino Griva.pdf**

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

-MACCHINE ELETTRICHE -

ESERCIZI

	esercizio	difficolta'	parole chiave
Trasformatore	<u>1</u>	2	Trasformatore Trifase
	<u>2</u>	2	Trasformatore Trifase
	<u>3</u>	3	Trasformatore Parallelo
	<u>4</u>	3	Trasformatore Trifase
	<u>5</u>	3	Trasformatore Parallelo

	esercizio	difficolta'	parole chiave
Motore corrente continua	<u>1</u>	1	Motore Corrente Continua Eccitazione Separata
	<u>2</u>	3	Motore Corrente Continua Eccitazione Separata
	<u>3</u>	2	Motore Corrente Continua Eccitazione Separata
	<u>4</u>	3	Motore Corrente Continua Eccitazione Serie
	<u>5</u>	1	Motore Corrente Continua Eccitazione Serie
	<u>6</u>	2	Motore Corrente Continua Eccitazione Separata

	esercizio	difficolta'	parole chiave
Motore asincrono	<u>1</u>	1	Motore Asincrono Trifase
	<u>2</u>	1	Motore Asincrono Trifase
	<u>3</u>	2	Motore Asincrono Trifase
	<u>4</u>	3	Motore Asincrono Trifase
	<u>5</u>	3	Motore Asincrono Trifase
	<u>6</u>	3	Motore Asincrono Trifase

	esercizio	difficolta'	parole chiave
Circuiti Magnetici	<u>1</u>	1	Circuiti Magnetici Induttanza
	<u>2</u>	1	Circuiti Magnetici Fattore Potenza Induttanza
	<u>3</u>	2	Circuiti Magnetici Circuiti Regime Sinusoidale
	<u>4</u>	2	Circuiti Magnetici Circuiti Regime Sinusoidale
	<u>5</u>	2	Circuiti Magnetici Circuiti Regime Sinusoidale

-MACCHINE ELETTRICHE -

Trasformatore: esercizio n°1.1

Difficoltà: 2

Parole chiave: Trasformatore Trifase

P1795

Un trasformatore trifase con i seguenti dati di targa:

$$S_n = 100kVA$$

$$t = 10kV / 400V$$

$$V_{cc} \% = 4\%$$

$$\cos \varphi_{cc} = 0.35$$

alimenta, mediante una linea di induttanza trascurabile e resistenza pari a $0,1 \Omega$, un carico trifase equilibrato ad impedenza costante che presenta i seguenti dati di targa:

$$P_n = 60kW$$

$$V_n = 500V$$

$$\cos \varphi_c = 0.85 \text{ (induttivo)}$$

Trascurando i parametri a vuoto del trasformatore, calcolare:

- la tensione di alimentazione del carico;
- la corrente assorbita dal carico;
- il rendimento della linea;
- il rendimento del trasformatore;
- il rendimento complessivo dell'impianto.

-MACCHINE ELETTRICHE -

Una volta note le impedenze del circuito, supponendo che il trasformatore sia alimentato alla sua tensione nominale, si determina la tensione effettiva di alimentazione del carico (concatenata) attraverso un partitore di tensione, e da questa si ottiene poi la corrente effettiva assorbita:

$$V_U = \sqrt{3} \frac{|\bar{Z}_U|}{|\bar{Z}_{2cc} + R_L + \bar{Z}_U|} \frac{V_{20}}{\sqrt{3}} = \frac{3,542}{|0,022 + j0,060 + 0,1 + 3,011 + j1,866|} \cdot 400 =$$

$$= \frac{3,542}{|3,133 + j1,926|} \cdot 400 = \frac{3,542}{3,677} \cdot 400 = 385,3 \text{ V}$$

$$I_U = \frac{V_U}{\sqrt{3} Z_U} = \frac{385,3}{\sqrt{3} \cdot 3,542} = 62,8 \text{ A}$$

Nota la corrente del carico si possono calcolare la potenza da esso assorbita e le perdite in linea e nel trasformatore:

$$P_U = 3R_U I_U^2 = 3 \cdot 3,011 \cdot 62,8^2 = 35624 \text{ W}$$

$$P_L = 3R_L I_U^2 = 3 \cdot 0,1 \cdot 62,8^2 = 1183 \text{ W}$$

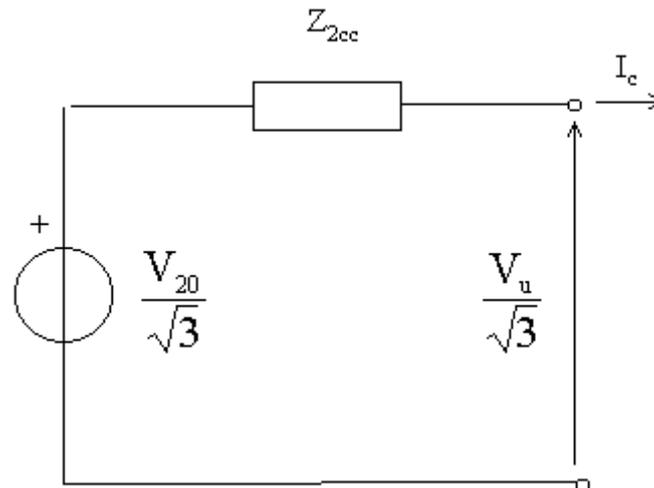
$$P_T = 3R_{2cc} I_U^2 = 3 \cdot 0,022 \cdot 62,8^2 = 260 \text{ W}$$

Una volta definite le potenze assorbite e perdute si possono infine determinare i rendimenti richiesti:

$$\eta_L = \frac{P_U}{P_U + P_L} = \frac{35624}{35624 + 1183} = 0,967$$

$$\eta_T = \frac{P_U + P_L}{P_U + P_L + P_T} = \frac{35624 + 1183}{35624 + 1183 + 260} = 0,993$$

$$\eta_{tot} = \frac{P_U}{P_U + P_L + P_T} = \frac{35624}{35624 + 1183 + 260} = 0,961$$

-MACCHINE ELETTRICHE -**SOLUZIONE**

In primo luogo determiniamo i parametri del circuito equivalente del trasformatore; dai dati di targa si calcolano la tensione e la potenza di corto circuito in condizioni nominali e la corrente nominale del trasformatore:

$$V_{2cc} = v_{cc} \% V_{20} = 0,025 \cdot 400 = 10 \text{ V}$$

$$P_{2cc} = P_{cc} \% A_n = 0,013 \cdot 100 \cdot 10^3 = 1300 \text{ W}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{20}} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144,3 \text{ A}$$

Si determinano quindi l'impedenza e la resistenza di corto circuito, e da queste la reattanza, riportate al secondario:

$$Z_{2cc} = \frac{V_{2cc}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 144,3} = 0,040 \text{ } \Omega$$

$$R_{2cc} = \frac{P_{2cc}}{3 I_{2n}^2} = \frac{1300}{3 \cdot 144,3^2} = 0,021 \text{ } \Omega$$

$$X_{2cc} = \sqrt{Z_{2cc}^2 - R_{2cc}^2} = \sqrt{0,040^2 - 0,021^2} = 0,034 \text{ } \Omega$$

$$\bar{Z}_{2cc} = 0,021 + j0,034 \text{ } \Omega$$

La corrente assorbita dal carico sarà ovviamente:

$$I_u = \frac{3}{4} I_{2n} = \frac{3}{4} \cdot 144,3 = 108,2 \text{ A}$$

Si può ora determinare la caduta di tensione (concatenata) che si verifica nelle condizioni di carico suddette e la tensione effettiva ai morsetti secondari (concatenata):

-MACCHINE ELETTRICHE -

Trasformatore: **esercizio n°1.4**

Difficoltà: 3

Parole chiave: Trasformatore Trifase

P1795

Dalla consultazione di alcuni cataloghi sono emerse tre possibilità di scelta per trasformatori trifasi per l'alimentazione di uno stabilimento. Lo stabilimento é assimilabile ad un carico con i seguenti dati di targa:

$$P_n = 150kW$$

$$V_{2n} = 380V$$

$$\cos\varphi_u = 0.85 \text{ (induttivo)}$$

I dati nominali dei tre trasformatori risultano:

T1

$$S_n = 200kVA$$

$$t = 15000 / 400V$$

$$V_{cc} \% = 4\%$$

$$\cos\varphi_{cc} = 0,35$$

T2

$$S_n = 210kVA$$

$$t = 15000 / 400V$$

$$V_{cc} \% = 4,5\%$$

$$\cos\varphi_{cc} = 0,45$$

T3

$$S_n = 220kVA$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$V_{2cc} = v_{cc} \% V_{20} = 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ V}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{20}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 288,7 \text{ A}$$

Si determina quindi l'impedenza di corto circuito, e da questa la resistenza e la reattanza riportate al secondario:

$$Z_{2cc} = \frac{V_{2cc}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 288,7} = 0,032 \text{ } \Omega$$

$$R_{2cc} = Z_{2cc} \cos \varphi_{cc} = 0,032 \cdot 0,35 = 0,011 \text{ } \Omega$$

$$X_{2cc} = \sqrt{Z_{2cc}^2 - R_{2cc}^2} = \sqrt{0,032^2 - 0,011^2} = 0,030 \text{ } \Omega$$

$$\bar{Z}_{2cc} = 0,011 + j0,030 \text{ } \Omega$$

Noti i dati di targa del carico che rappresenta lo stabilimento calcoliamo l'impedenza del suo circuito equivalente stella:

$$Z_u = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}} = \frac{V_{2n}^2}{\sqrt{3} V_{2n} I_{2n}} = \frac{V_{2n}^2 \cos \varphi_c}{P_n} = \frac{380^2 \cdot 0,85}{150 \cdot 10^3} = 0,818 \text{ } \Omega$$

$$\bar{Z}_u = Z_u (\cos \varphi_u + j \sin \varphi_u) = 0,818(0,850 + j0,527) = 0,695 + j0,431 \text{ } \Omega$$

Una volta note le impedenze del circuito, supponendo che il trasformatore sia alimentato alla sua tensione nominale, si può determinare la corrente assorbita dallo stabilimento:

$$\begin{aligned} I_u &= \frac{V_{20}}{\sqrt{3} |\bar{Z}_{2cc} + R_L + \bar{Z}_u|} = \frac{400}{\sqrt{3} |0,011 + j0,030 + 0,05 + 0,695 + j0,431|} = \\ &= \frac{400}{\sqrt{3} |0,756 + j0,461|} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,885} = 260,9 \text{ A} \end{aligned}$$

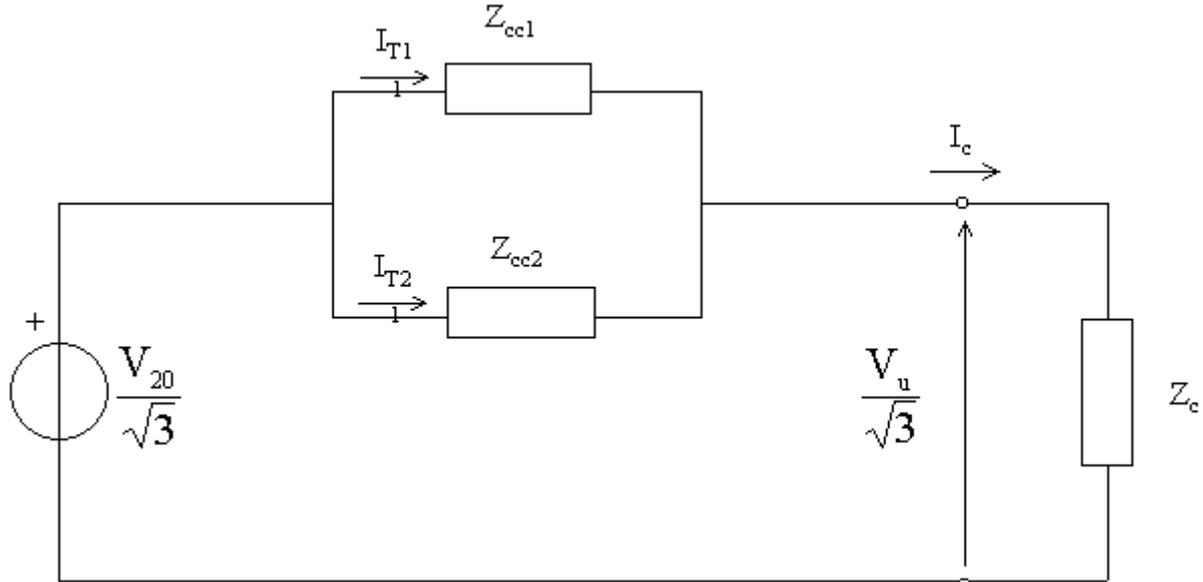
Per quanto riguarda la corrente di corto circuito a fondo cavo si ottiene ponendo in corto circuito i suoi morsetti terminali nel circuito monofase equivalente:

$$\begin{aligned} I_{cc} &= \frac{V_{20}}{\sqrt{3} |\bar{Z}_{2cc} + R_L|} = \frac{400}{\sqrt{3} |0,011 + j0,030 + 0,05|} = \frac{400}{\sqrt{3} |0,061 + j0,030|} = \\ &= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,068} = 3,40 \text{ kA} \end{aligned}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

Tutti i valori richiesti si intendono in modulo.

SOLUZIONE



I due trasformatori in parallelo hanno il medesimo rapporto di trasformazione, pertanto possono essere rappresentati con il circuito equivalente monofase in figura di cui determiniamo in primo luogo le impedenze di cortocircuito Z_{cc1} e Z_{cc2} ; dai dati di targa si calcolano le tensioni di cortocircuito e le correnti nominali:

$$V_{cc} = v_{cc} \% V_{20} = \begin{cases} T1: 0,042 \cdot 400 = 16,8 \text{ V} \\ T2: 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ V} \end{cases}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{20}} = \begin{cases} T1: \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144,3 \text{ A} \\ T2: \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 173,2 \text{ A} \end{cases}$$

Si determina quindi l'impedenza di cortocircuito, e da questa la resistenza e la reattanza riportate al secondario:

-MACCHINE ELETTRICHE -

Nota la corrente del carico si possono calcolare le correnti erogate dai due trasformatori tramite un partitore di corrente tra le impedenze di cortocircuito (che hanno la stessa fase):

$$I_{T1} = \frac{Z_{2cc2}}{\overline{Z_{2cc1}} + \overline{Z_{2cc2}}} I_u = \frac{Z_{2cc2}}{Z_{2cc1} + Z_{2cc2}} I_c = \frac{0,053}{0,067 + 0,053} 296,1 = 130,8 A$$

$$I_{T2} = \frac{Z_{2cc1}}{\overline{Z_{2cc1}} + \overline{Z_{2cc2}}} I_u = \frac{0,067}{0,067 + 0,053} 296,1 = 165,3 A$$

La corrente di cortocircuito trifase franco ai capi del carico si ottiene ponendo in cortocircuito i morsetti secondari del circuito monofase equivalente dei due trasformatori in parallelo; si ottiene pertanto che:

$$I_{cc} = \frac{V_{20}}{\sqrt{3} Z_{ccee q}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,03} = 7,70 kA$$

Trasformatore: esercizio n°1.5**Difficoltà: 3****Parole chiave: Trasformatore Trifase Parallelo****P1795**

Uno stabilimento vuole ampliare la potenza erogabile a 500kVA inserendo in parallelo ad un trasformatore già esistente un secondo trasformatore. Il trasformatore esistente presenta i seguenti dati di targa:

- $S_n = 250 kVA$
- $t = 15000 / 400 V$
- $v_{cc} \% = 4 \%$
- $\cos \varphi_{cc} = 0,35$
- gruppo 5.

Dai cataloghi disponibili sono emerse le seguenti possibilità:

-MACCHINE ELETTRICHE -

Per eseguire la scelta del trasformatore idoneo al parallelo procediamo per esclusione:

- la nuova macchina dovrà avere una potenza non inferiore a 250 kVA in modo da poter far fronte al carico previsto di 500 kVA unitamente al trasformatore esistente, il che porta ad escludere l'installazione di una macchina del tipo T1 che ha una potenza insufficiente;
- il trasformatore esistente appartiene al gruppo 5, al quale dovrà appartenere anche la macchina da connettere in parallelo, si escludono pertanto i tipi T3 e T6 che sono caratterizzati da gruppi differenti;
- il rapporto di trasformazione della nuova macchina dovrà essere il più possibile prossimo a quello del trasformatore esistente al fine di minimizzare la corrente di circolazione, per cui il tipo T2 non è adatto al parallelo in quanto presenta una tensione nominale secondaria troppo elevata;
- tra le due tipologie di macchina restanti è da preferire quella T5 in quanto, oltre che avere una tensione nominale secondaria più vicina a quella del trasformatore esistente, presenta una tensione di corto circuito più elevata, il che comporta un contributo minore alla corrente di corto circuito.

I due trasformatori in parallelo (che distingueremo di seguito con le lettere A per l'esistente e B per il nuovo) possono essere rappresentati con il circuito equivalente monofase in figura, di cui determiniamo in primo luogo le impedenze di cortocircuito Z_{ccA} e Z_{ccB} ; dai dati di targa si calcolano le tensioni di cortocircuito e le correnti nominali:

$$V_{cc} = v_{cc} \% V_{20} = \begin{cases} T1: 0,042 \cdot 400 = 16,8 \text{ V} \\ T2: 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ V} \end{cases}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} V_{20}} = \begin{cases} T1: \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144,3 \text{ A} \\ T2: \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 173,2 \text{ A} \end{cases}$$

Si determinano quindi le impedenze di cortocircuito, e da questa le resistenze e le reattanze riportate al secondario:

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$I_{ccAB} \cong \frac{V_{20A}}{\sqrt{3} \frac{Z_{2ccA} Z_{2ccB}}{Z_{2ccA} + Z_{2ccB}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \frac{0,026 \cdot 0,027}{0,026 + 0,027}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,013} = 17,76 \text{ kA}$$

Motore Corrente Continua: esercizio n°3.1

Difficoltà: 1

Parole chiave: Motore Corrente Continua Eccitazione Separata

P1795

Un motore a corrente continua ad eccitazione separata avente potenza nominale 10kW aziona un argano alla velocità di 600 rpm mentre è alimentato a 110V ed assorbe una corrente di 60A con un rendimento pari a 0.75. La resistenza di indotto (o armatura) vale 0.1Ω . Trascurando le perdite per eccitazione, calcolare:

- la potenza erogata dal motore ;
- le perdite joule di armatura;
- la somma delle perdite meccaniche e nel ferro;
- la tensione di alimentazione necessaria per raddoppiare la velocità del motore quando la corrente assorbita è di 50A.

SOLUZIONE

- Conoscendo il rendimento $\eta = 0.75$, possiamo calcolare la potenza erogata dalla macchina a partire da quella elettrica assorbita :

$$P_u = \eta P_{ass} = \eta VI = 0.75 \cdot 110 \cdot 60 = 4950W$$

- Le perdite Joule di armatura sono

$$P_{Ja} = R_a I_a^2 = 0.1 \cdot 60^2 = 360W$$

- La potenza assorbita dal motore è data dalla somma :

$$P_i = P_u + P_{Ja} + P_m + P_{fe}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

- a. Conoscendo il rendimento $\eta = 0.75$, possiamo calcolare la potenza erogata dalla macchina a partire da quella elettrica assorbita :

$$P_u = \eta P_{ass} = \eta VI = 0.75 \cdot 110 \cdot 60 = 4950W$$

- b. Le perdite Joule di armatura sono

$$P_{Ja} = R_a I_a^2 = 0.1 \cdot 60^2 = 360W$$

- c. La potenza assorbita dal motore è data dalla somma :

$$P_i = P_u + P_{Ja} + P_m + P_{fe}$$

da cui

$$P_m + P_{fe} = P_i - P_u - P_{Ja} = 1290W$$

Nella ipotesi di eccitazione costante

$$E = k\phi\Omega$$

$$E' = k\phi\Omega'$$

ma poiché

$$\Omega' = 2\Omega \quad \Rightarrow \quad E' = 2E$$

con

$$E = V - R_a I_a = 110 - 0.1 \cdot 60 = 104V$$

allora

$$V' = R_a I_a + E' = 0.1 \cdot 50 + 208 = 213V$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

- d. il valore della resistenza necessario per poter frenare con una corrente massima pari a I_{avv} se il motore funzionava precedentemente con tensione e corrente nominali.

SOLUZIONE

a)

Conoscendo la potenza e la velocità erogate in condizioni nominali si ottiene la coppia

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{1600 \cdot 10^3}{990 \frac{2\pi}{60}} = 15433 Nm$$

oppure

$$E_n = V_n - R_a I_n = 1883V$$

da cui (considerando nulla la coppia di attrito)

$$T_n = \frac{E_n I_n}{\omega_n} = 15436 Nm$$

b)

La relazione di proporzionalità tra I_e e I_a fa sì che il motore si comporti come se avesse l'eccitazione in serie all'indotto. Allora la coppia è proporzionale al quadrato della corrente di indotto, infatti

$$\phi = k' \cdot I_e$$

ma

$$I_e = k'' \cdot I_a$$

da cui

$$\phi = k' \cdot k'' \cdot I_a$$

e così la forza contro elettromotrice

$$E = k \cdot \phi \cdot \omega = k k' k'' \cdot \omega \cdot I_a = k_T \cdot \omega \cdot I_a$$

la tensione di armatura

-MACCHINE ELETTRICHE -

da cui possiamo dimensionare la resistenza di frenatura necessaria a soddisfare la specifica

$$R_f = \frac{E_n}{I_s} - R_a = \frac{1883}{1100} - 0.138 = 1.574 \Omega$$

Motore Corrente Continua: esercizio n°3.4

Difficoltà: 3

Parole chiave: Motore Corrente Continua Eccitazione Serie

P1795

Un locomotore che deve essere alimentato alla tensione di 3000 V, è equipaggiato con 12 motori in corrente continua ad eccitazione serie con i seguenti dati di targa:

$$P_n = 300kW$$

$$V_n = 1000V$$

$$I_n = 350A$$

$$R_a = 0.15\Omega$$

$$R_e = 0.25\Omega$$

velocità nominale = 1000 rpm

Sapendo che all'avviamento tutti i motori vengono collegati in serie, calcolare:

- a. la resistenza del reostato di avviamento affinché la corrente assorbita allo spunto risulti limitata a 500 A;
- b. la velocità dei motori quando, escluso il reostato di avviamento, la corrente assorbita è pari alla corrente nominale.

Per ottenere la massima velocità del locomotore i motori vengono collegati in modo da formare 4 paralleli di tre motori in serie.

In queste condizioni calcolare:

- c. la velocità dei motori quando, essendo ancora inserito in serie al sistema così formato il reostato precedentemente calcolato, i motori assorbono la corrente nominale

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\omega = \frac{E}{k \cdot I_n} = 13.394 \text{ rad / s}$$

$$n = \omega \frac{2\pi}{60} = 127.9 \text{ rpm}$$

c)

Dal circuito equivalente facendo il bilancio di tensioni alla maglia

$$V_s = 4 I_n R_s + 3(R_a + R_e) I_n + 3E$$

da cui

$$E = \frac{V_s}{3} - \frac{4}{3} R_a I_n - (R_a + R_e) I_n = 300V$$

e allora la velocità

$$\omega = \frac{E}{k \cdot I_n} = 36.534 \text{ rad / s}$$

$$n = \omega \frac{2\pi}{60} = 348.8 \text{ rpm}$$

d)

Funzionamento a $P_n = \text{cost.}$ di un motore ($V = V_n$)

La costante k e la resistenza di eccitazione si dimezzano

$$k' = \frac{k_1}{2} \quad R'_e = \frac{1}{2} R_e = 0.125\Omega$$

Considerando che

$$P_n \text{ cost} \Rightarrow P_{ass} \cong \text{cost} \Rightarrow I = \text{cost} = I_n$$

Si può scrivere che

-MACCHINE ELETTRICHE -

Allo spunto la forza elettromotrice E è nulla poiché il rotore è fermo. Sulle tre resistenze in serie presenti nel circuito di indotto è applicata la tensione nominale e circola la corrente di avviamento I_s

$$V_s = (R_a + R_e + R_s) \cdot I_s \quad \Rightarrow \quad R_a + R_e + R_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{1000}{400} = 2.5\Omega$$

da cui

$$R_a + R_e = 2.5 - 2.2 = 0.3 \quad e \quad R_a = R_e = 0.15\Omega$$

Ricordando che la coppia è proporzionale al quadrato della corrente, dai dati allo avviamento possiamo calcolare la costante k_E

$$T_s = k_E \cdot I_s^2 \quad \Rightarrow \quad k_E = \frac{T_s}{I_s^2} = \frac{7000}{400^2} = 0.04375 \text{ M}$$

b)

Dalla coppia nominale possiamo calcolare la corrente nominale

$$T_n = k_E \cdot I_n^2 \quad \Rightarrow \quad I_n = \sqrt{\frac{T_n}{k_E}} = \sqrt{\frac{3600}{0.04375}} = 286.85 \text{ A}$$

la

$$E_n = V_n - (R_e + R_a) \cdot I_n = 913.9 \text{ V}$$

e quindi la velocità di rotazione della macchina

$$\omega = \frac{E_n}{k_E \cdot I_n} = 72.826 \text{ rad / s} = 695.4 \text{ giri / min}$$

c)

Nella nuova condizione di funzionamento la velocità vale

$$\omega' = 1.1 \cdot \omega = 80.108 \text{ rad / s}$$

e la coppia

-MACCHINE ELETTRICHE -

e. la tensione di eccitazione

affinché la potenza elettrica erogata risulti pari a 600kW.

SOLUZIONE

a)

La potenza assorbita vale

$$P_i = V_n I_n = 1200 \cdot 500 = 600kW$$

mentre le perdite Joule di armatura sono

$$P_{Ja} = R_a I_a^2 = 0.35 \cdot 500^2 = 87.5kW$$

Per cui la potenza meccanica risulta

$$P_m = P_i - P_{Ja} = 600 - 87.5 = 512.5kW$$

e la coppia

$$T_n = \frac{P_m}{\omega} = \frac{512500}{\frac{2\pi}{60} 1600} = 3058Nm$$

b)

Per il calcolo del rendimento occorre tenere conto anche delle perdite di eccitazione

$$P_e = V_{ecc} I_e = \frac{V_{ecc}^2}{R_e} = \frac{180^2}{3} = 10800W$$

Il rendimento vale quindi

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_{Ja} + P_e} = \frac{512500}{512500 + 87500 + 10800} = 0.839$$

c)

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$T = \frac{EI''}{\omega} = \frac{1375 \cdot 500}{\frac{2\pi}{60} 1600} = 4103 Nm$$

e)

La tensione di eccitazione si calcola infine nel seguente modo

$$k_T'' = \frac{T}{I''} = \frac{4103}{500} = 8.2 \frac{Nm}{A}$$

$$V_e'' = V_e \frac{8.2}{6.1} = 180 \cdot \frac{8.2}{6.1} = 242V$$

Motore Asincrono Trifase: esercizio n°2.1

Difficoltà: 1

Parole chiave: Motore Asincrono Trifase

P1795

Un motore asincrono trifase a 4 poli con collegamento delle fasi a stella presenta i seguenti dati di targa:

$$V_n = 380V, I_n = 31A, P_n = 15kW, n = 1460 \text{ giri / min}$$

Nella prova a rotore bloccato, con corrente nominale, si è rilevato

$$V_{cc} = 74.82V, P_{cc} = 1960W, \cos \varphi_{cc} = 0.488$$

Nella prova a vuoto, effettuata alla tensione nominale, si è rilevato

$$P_0 = 630W, \cos \varphi_0 = 0.067, P_m = 260W, I_0 = 14.3A$$

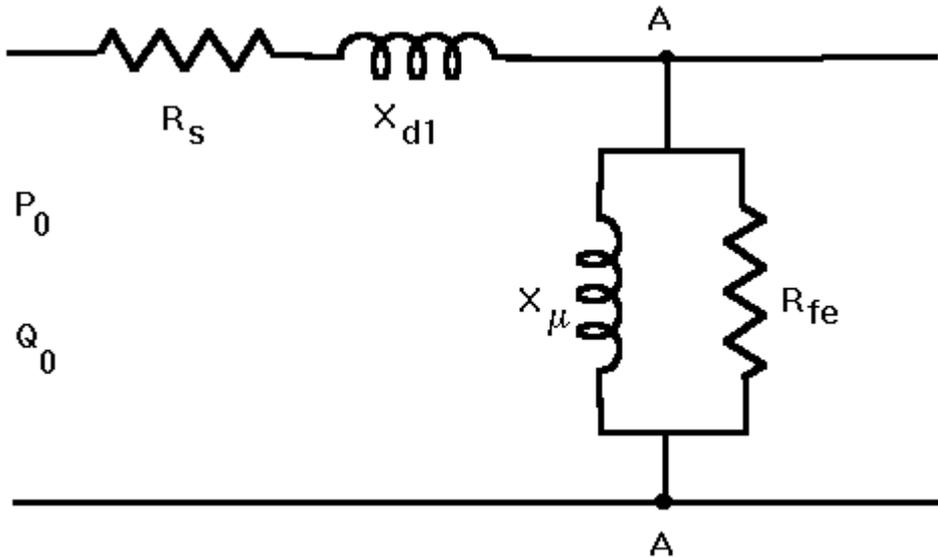
La resistenza statorica di una singola fase è pari a 0.238Ω .

Calcolare:

- i parametri del circuito equivalente, considerando le cadute di tensione di statore nella prova a vuoto ed imponendo $X_{d1} = X_{d2}$ (trascurare nella prova di corto circuito i parametri di magnetizzazione R_{fe} e X_{μ});
- la coppia nominale del motore;

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$X_d = \frac{Q_{cc}}{6 \cdot I_n^2} = \frac{3506}{6 \cdot 31^2} = 0.608\Omega$$



I dati della prova a vuoto possono essere utilizzati per calcolare i parametri di magnetizzazione R_o e X_μ . Nella prova a vuoto la macchina ruota ad una velocità coincidente quasi a quella di sincronismo. La potenza P_o assorbita in queste condizioni di funzionamento, nella ipotesi di trascurare le perdite per effetto joule nel rotore è

$$P_o = P_m + P_{fe} + P_{j1} = 630W$$

cioè somma della potenza meccanica P_m , della potenza persa nel ferro P_{fe} e della potenza persa per effetto joule negli avvolgimenti di statore P_{j1} .

La potenza reattiva assorbita dalla macchina nel funzionamento a vuoto è

$$Q_o = P_o \cdot \text{tg}\varphi_o = 9382VAr$$

Sapendo che la potenza attiva e reattiva assorbita dagli avvolgimenti di statore valgono rispettivamente

$$P_{j1} = 3 \cdot R_s \cdot I_o^2 = 146W$$

$$Q_{j1} = 3 \cdot X_{d1} \cdot I_o^2 = 373VAr$$

si calcolano le potenze assorbite dal bipolo a valle dei punti AA

$$P_{AA} = P_o - P_{j1} = 484W$$

$$Q_{AA} = Q_o - Q_{j1} = 9009VAr$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$I_s = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_s} = 157.5 A$$

dove

$$Z_s = \sqrt{(R_s + R'_2)^2 + (2X)^2} = 1393 \Omega$$

All' avviamento la potenza al traferro P_T è uguale alla potenza P_{j2} dissipata per effetto joule nel rotore

$$P_T = 3 \cdot R'_2 \cdot I_s^2 = 3 \cdot 0.442 \cdot 157.5^2 = 32893 W$$

Conoscendo la velocità di sincronismo

$$\Omega_o = \frac{n_o}{60} \cdot 2\pi = \frac{1500}{30} \cdot \pi = 157.08 \text{ rad / s}$$

si ottiene la coppia di avviamento

$$T_s = \frac{P_T}{\Omega_o} = \frac{32893}{157.08} = 209 \text{ Nm}$$

d)

La velocità del campo magnetico rotante è proporzionale alla frequenza secondo la relazione

$$n_o = \frac{60 \cdot f}{p}$$

così a 20 Hz ruoterà a

$$(n_o)_{20} = (n_o)_{50} \cdot \frac{20}{50} = 1500 \cdot \frac{20}{50} = 600 \text{ giri / min}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$X_d = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 2.527\Omega$$

La coppia può essere calcolata con la formula

$$T = \frac{1}{\Omega_0} \cdot \frac{V^2 \cdot R_2' / s}{(R_s + R_2' / s)^2 + X_d^2} = 79.5 Nm$$

dove compaiono i parametri calcolati in precedenza, la tensione di alimentazione V, lo scorrimento s e la velocità di sincronismo ω_0 . La coppia è funzione dello scorrimento, parametro adimensionale compreso fra 0 e 1. Per s=1 si ottiene la coppia allo spunto (avviamento).

$$\Omega_0 = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi \cdot f}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157.08 \text{ rad / s}$$

b)

Lo scorrimento per cui si ha la coppia massima è dato dalla relazione

$$s_{Tmax} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_s^2 + X_d^2}} = 0.281$$

c)

Per s = s_{Tmax} si calcola la coppia massima

$$T_{max} = \frac{1}{\Omega_0} \cdot \frac{V^2 \cdot R_2' / s_{Tmax}}{(R_s + R_2' / s_{Tmax})^2 + X_d^2} = 136.7 Nm$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

Trascurando le perdite nel ferro e meccaniche ed inoltre la corrente di magnetizzazione

allo spunto, calcolare i seguenti parametri :

- c. la reattanza di magnetizzazione X_{μ} ;
- d. la resistenza di corto circuito R_{cc} ;
- e. la reattanza di cortocircuito X_{cc} ;
- f. la resistenza di statore R_s e la resistenza di rotore R_2'

SOLUZIONE

a)

Lo scorrimento nominale consente di calcolare la velocità di rotazione in queste condizioni di funzionamento

$$\Omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157 \text{ rad / s}$$

$$\omega_n = (1 - s_n) \cdot \Omega_0 = 15185 \text{ rad / s}$$

quindi la coppia

$$T_n = \frac{P_m}{\omega_n} = 49.39 \text{ Nm}$$

b)

La velocità di rotazione del campo magnetico rotante è proporzionale alla frequenza di alimentazione. Per ottenere una velocità pari a 2500 rpm occorre una

$$f' = \frac{n_0'}{n_0} \cdot f = \frac{2500}{1500} \cdot 50 = 83.33 \text{ Hz}$$

c)

Dal circuito monofase equivalente

$$Z_0 = X_0 = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot I_0} = 33.7 \Omega$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\begin{cases} T_s = 2.5 \cdot T_n = 123.48 Nm \\ I_s = 7.2 \cdot I_n = 1116 A \end{cases}$$

e

$$T_s = \frac{P_{is}}{\Omega_0} = \frac{3 \cdot R_r \cdot I_s^2}{\Omega_0}$$

da cui

$$R_2' = \frac{T_s \cdot \Omega_0}{3 \cdot I_s^2} = 0.52 \Omega$$

Inoltre dal circuito della figura precedente

$$P_n' = 3 \cdot (R_s + R_2' / s_n) \cdot I_n'^2$$

e ci consente di calcolare

$$R_s = \frac{P_n'}{3 \cdot I_n'^2} - \frac{R_2'}{s_n} = 0.48 \Omega$$

Motore Asincrono Trifase: esercizio n°2.4

Difficoltà: 3

Parole chiave: Motore Asincrono Trifase

P1795

Un compressore alternativo presenta i seguenti dati nominali :

$$P = 10 \text{ kW}$$

$$\text{velocità} = 1460 \text{ rpm}$$

$$\text{Coppia di avviamento} = 230 \text{ Nm}$$

Sono a disposizione i seguenti tre motori :

$$A. \quad P_n = 15 \text{ kW} \quad V_n = 380 / 220 \text{ V} \quad I_n = 31.5 \text{ A} \quad 4 \text{ poli}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$Q_{cc} = P_{cc} \operatorname{tg} \varphi_{cc} = \begin{cases} (A) = 4048 \text{VAR} \\ (C) = 3506 \text{VAR} \end{cases}$$

$$X_d = \frac{Q_{cc}}{3I_n^2} = \begin{cases} (A) = 1.36 \Omega \\ (C) = 1.216 \Omega \end{cases}$$

e così la corrente assorbita dalle macchine all'avviamento

$$I_s = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_s + R_2')^2 + X_d^2}} = \begin{cases} (A) = 138.8 \text{A} \\ (C) = 157.5 \text{A} \end{cases}$$

$$\omega_0 = 157 \text{rad} / \text{s}$$

è la velocità del campo magnetico rotante

Quindi la coppia di avviamento

$$T_s = \frac{3 \cdot R_2' \cdot I_s^2}{\omega_0} = \begin{cases} (A) = 245 \text{Nm} \\ (C) = 209 \text{Nm} \end{cases}$$

Dai risultati solo il motore A ha una coppia sufficiente

-

b)

Alla velocità di 1450 rpm lo scorrimento vale

$$s_{1450} = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.0333$$

dove $n_0 = 1500$ rpm è la velocità di sincronismo

Dal circuito monofase equivalente si calcola la corrente assorbita

$$I = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_s + R_2' / s)^2 + X_d^2}} = 10.9 \text{A}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

I motori A e B soddisfano la specifica sulla velocità di rotazione, ma per essere utilizzati devono rispettare la sovraccaricabilità richiesta. Per valutarla si devono calcolare i parametri del circuito equivalente delle due macchine

Dalla potenza attiva di corto circuito si calcola la resistenza del rotore

$$R_{cc} = R_s + R_2'$$

$$P_{cc} = 3 \cdot (R_s + R_2') \cdot I_n^2$$

$$R_{cc} = R_s + R_2' = \frac{P_{cc}}{3I_n^2} = \begin{cases} A) = 1.461\Omega \\ B) = 1.626\Omega \end{cases}$$

$$R_r' = \begin{cases} A) = R_{cc} - 0.802 = 0.659\Omega \\ B) = R_{cc} - 0.802 = 0.824\Omega \end{cases}$$

e dalla potenza reattiva la reattanza del circuito monofase equivalente

$$Q_{cc} = P_{cc} \operatorname{tg} \varphi_{cc} = \begin{cases} A) = 2493 \text{VAR} \\ B) = 4613 \text{VAR} \end{cases}$$

$$X_d = \frac{Q_{cc}}{3I_n^2} = \begin{cases} A) = 2.565\Omega \\ B) = 4.746\Omega \end{cases}$$

Con la potenza meccanica nominale si determina la coppia

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n}{n_n \frac{2\pi}{60}} = \begin{cases} A) = 49.39 \text{ Nm} \\ B) = 49.39 \text{ Nm} \end{cases}$$

Dallo scorrimento

$$s_{T_{max}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_s^2 + X_d^2}} = \begin{cases} A) = 0.2452 \\ B) = 0.1712 \end{cases}$$

la coppia massima

$$T_{max} = \frac{3p}{2\pi f} \cdot \frac{V_n^2}{(R_s + R_r' / s_{T_{max}})^2 + X_d^2} \cdot \frac{R_2'}{s_{T_{max}}} = \begin{cases} A) = 131.72 \text{ Nm} \\ B) = 81.85 \text{ Nm} \end{cases}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = 0.94$$

Motore Asincrono Trifase: esercizio n°2.6**Difficoltà: 3****Parole chiave: Motore Asincrono Trifase****P1795**

Durante la prova a carico nominale, un motore asincrono trifase a 6 poli alimentato a 380V assorbe una potenza di 23.2kW con $\cos\varphi$ pari a 0.88 ed una velocità di 960 rpm. Dalle prove di collaudo si è misurata una potenza assorbita a vuoto di 1.1kW ed una corrente di 13.5A. La resistenza di fase è pari a 0.27Ω mentre le perdite meccaniche risultano un terzo delle perdite a vuoto.

Dai dati forniti determinare:

- la corrente assorbita a pieno carico;
- la potenza erogata dal motore durante la prova;
- il rendimento del motore durante la prova;
- la coppia erogata dal motore durante la prova;
- la coppia erogata a vuoto trascurando lo scorrimento a vuoto.

SOLUZIONE

a)

Nel funzionamento a pieno carico, cioè in condizioni nominali la macchina assorbe la potenza elettrica indicata. Essa può essere espressa facendo riferimento al circuito monofase equivalente nella forma

$$P_m = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi$$

da cui

$$I_n = \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = 40A$$

La potenza meccanica erogata dal motore o potenza utile è pari a quella elettrica assorbita al netto delle perdite che si verificano nella macchina. P_{j1} e P_{j2} sono le potenze dissipate per effetto joule

-MACCHINE ELETTRICHE -

d)

La coppia nominale

$$T_n = \frac{60 \cdot P_m}{2\pi n} = 198 Nm$$

d)

Nel funzionamento a vuoto il motore deve erogare una coppia per vincere la coppia di attrito e allora

$$T_{attrito} = \frac{60 \cdot P_{attrito}}{2\pi n_0} = 3.5 Nm$$

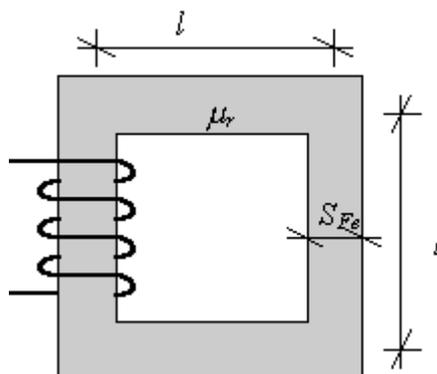
dove $P_{attrito}$ è data dalla differenza tra la potenza a vuoto e la potenza persa nel ferro.

Campi magnetici: esercizio 1

Difficoltà: 1

Parole chiave: Circuiti magnetici, Induttanza

(*1790 - del 03/07/1997)



Il circuito in figura è caratterizzato dai seguenti dati:

$$l=2 \text{ cm}$$

$$S_{Fe}=25 \text{ mm}^2$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$R = \frac{4l}{\mu_r \mu_0 S_{Fe}} = 425000 H^{-1}$$

il numero di spire si ottiene dalla relazione:

$$L = \frac{N^2}{R}$$

da cui:

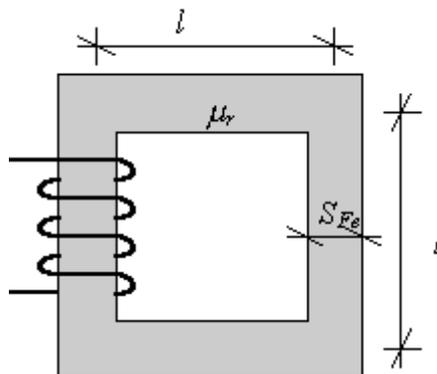
$$N = \sqrt{L R} = 1071$$

Campi magnetici: esercizio 2

Difficoltà: 1

Parole chiave: Circuiti magnetici, Fattore di potenza, Induttanza.

(*1790 - del 15/07/1997)



Il circuito in figura è caratterizzato dai seguenti dati:

$$l=2 \text{ cm}$$

$$S_{Fe}=25 \text{ mm}^2$$

$$N=600$$

Sul medesimo circuito vengono effettuate due misure che forniscono i seguenti risultati:

$$\text{misura DC: } V_{DC}=18 \text{ V, } P_{DC}=648 \text{ mW}$$

$$\text{misura AC: } V_{AC}=24 \text{ V, } P_{AC}=298 \text{ mW, } (f=50 \text{ Hz})$$

Determinare:

1) la resistenza ohmica della bobina;

-MACCHINE ELETTRICHE -

da cui si ottiene il valore della permeabilità relativa:

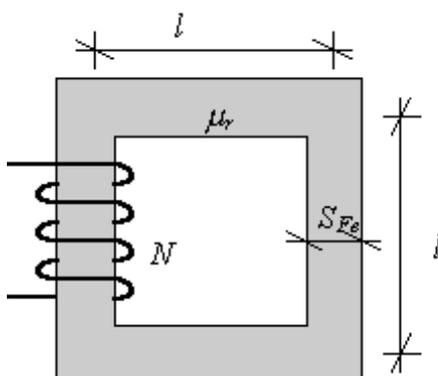
$$\mu_r = \frac{4l}{R \cdot \mu_0 \cdot S_{Fe}} = 19100$$

Campi magnetici: esercizio 3

Difficoltà: 2

Parole chiave: Circuiti magnetici, Circuiti in regime sinusoidale.

(*1790 - del 01/09/1997)



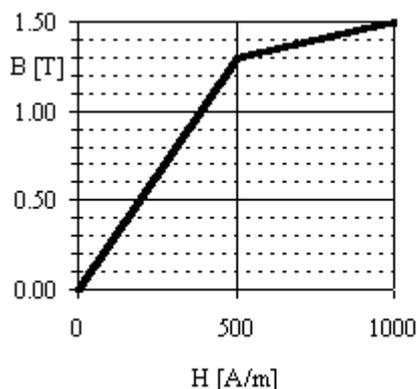
Il circuito magnetico rappresentato in figura è caratterizzato dai seguenti dati:

$$l=5 \text{ cm}$$

$$S_{Fe}=760 \text{ mm}^2$$

$$N=1000$$

Esso è realizzato con il materiale la cui caratteristica B-H non lineare è riportata nella figura seguente:



Determinare:

-MACCHINE ELETTRICHE -

mentre la reattanza è:

$$X = \omega L = 3140 \Omega$$

Il valore efficace della corrente assorbita è perciò pari a:

$$I = \frac{E}{X} = 70 \text{ mA}$$

punto 3)

La potenza reattiva è data da:

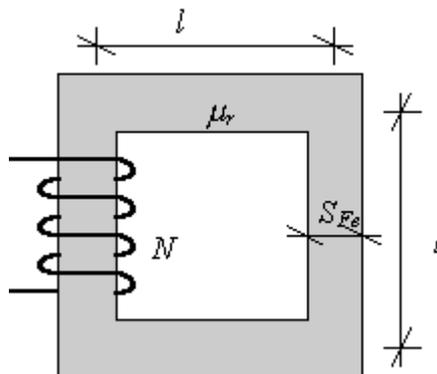
$$Q = XI^2 = 15.4 \text{ VAR}$$

Campi magnetici: esercizio 4

Difficoltà: 2

Parole chiave: Circuiti magnetici, Circuiti in regime sinusoidale.

(*1790 - del 15/09/1997)



Il circuito magnetico rappresentato in figura è caratterizzato dai seguenti dati:

$$l=5 \text{ cm}$$

$$N=1000$$

Esso è realizzato con il materiale la cui caratteristica B-H, non lineare, è riportata nella figura seguente:

-MACCHINE ELETTRICHE -

In queste condizioni l'induzione non deve superare il valore $B=1.3 \text{ T}$, perciò si ha:

$$(S_{Fe})_{min} = \frac{\Phi_{Max}}{B} = 761 \text{ mm}^2$$

punto 3)

La riluttanza del circuito magnetico è:

$$R = \frac{l_{Fe}}{\mu S_{Fe}} = 10^5 \text{ H}^{-1}$$

L'induttanza del dipolo è perciò data dalla relazione:

$$L = \frac{N^2}{R} = 10 \text{ H}$$

quindi:

$$X = \omega L = 3140 \text{ } \Omega$$

Il valore efficace della corrente assorbita è perciò pari a:

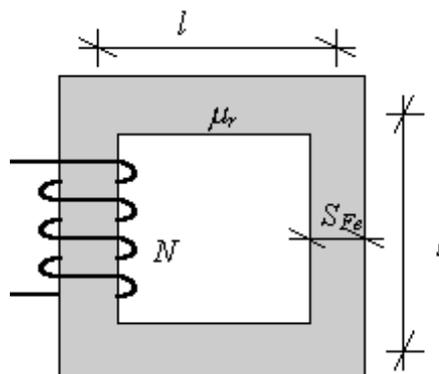
$$I = \frac{E}{X} = 70 \text{ mA}$$

Campi magnetici: esercizio 5

Difficoltà: 2

Parole chiave: Circuiti magnetici, Circuiti in regime sinusoidale

(*1790 - del 15/10/1997)



Il circuito magnetico riportato nella figura è caratterizzato dai seguenti dati:

-MACCHINE ELETTRICHE -

La massima tensione applicabile al componente è data da

$$E_{Max} = \omega \cdot N \cdot \Phi_{Max} = \omega \cdot N \cdot B_{Max} \cdot S_{Fe} = 204 \text{ V}$$

mentre il corrispondente valore efficace è:

$$E = \frac{E_{Max}}{\sqrt{2}} = 144 \text{ V}$$

Inoltre, l'induttanza del componente è data da:

$$L = \frac{N^2}{R} = 6.5 \text{ H}$$

mentre la corrispondente reattanza vale:

$$X = \omega L = 2041 \Omega$$

Il valore della resistenza da mettere in serie al componente si ottiene imponendo che la caduta di tensione ai capi dell'induttore sia pari a quella massima ammissibile. Tenendo conto che:

$$E = 220 \frac{X}{\sqrt{R_s^2 + X^2}}$$

si ricava:

Sistemi Trifase: es. n° 1

Difficoltà : 1

Parole chiave: Boucherot, Rifasamento, Linea

Note: *1790 , 23-1-1997

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$I_T = \frac{P_T}{\sqrt{3}V \cos \varphi_T} = 17.11 \text{ A}$$

d) l'impedenza di linea è:

$$Z_l = z_l \cdot l = 0.444 + j0.053 \ \Omega$$

le potenze attiva e reattiva della linea sono:

$$P_l = 3 \cdot R_l \cdot I_T^2 = 390.5 \text{ W}, \quad Q_l = 3 \cdot X_l \cdot I_T^2 = 292.7 \text{ VAr}$$

la tensione in partenza può essere calcolata mediante il teorema di Boucherot:

$$P_p = P_T + P_l = 11390 \text{ kW}, \quad Q_p = Q_T + Q_l = 2.714 \text{ VAr}$$

$$V_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot I_T \cdot \cos(\text{tg}^{-1} \frac{Q_T}{P_T})} = 393.2 \text{ V}$$

e) il rendimento di trasmissione si può ottenere conoscendo la potenza in partenza alla linea:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_p} = 0.965$$

Sistemi Trifase: n° 2

Difficoltà: 1

Parole chiave: Squilibrato, Neutro

Note: *1790 / 18-6-1997

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\overline{I}'_1 = \frac{E_1 - \overline{V}_{O'O}}{R_1} = \frac{231 - 104.4 + j180}{1} = 126.5 + j180 \Rightarrow I'_1 = 220A$$

$$\overline{I}'_2 = \frac{E_2 - \overline{V}_{O'O}}{R_2} = \frac{-115.5 - j200 - 104.4 + j180}{1} = -219.9 - j20 \Rightarrow I'_2 = 220A$$

$$\overline{I}'_3 = \frac{E_3 - \overline{V}_{O'O}}{R_3} = \frac{-115.5 + j200 - 104.4 + j180}{10} = -21.9 - j3.8 \Rightarrow I'_3 = 4.4A$$

c) Potenza assorbita dalle tre resistenze con T chiuso.

$$P_{R1} = P_{R2} = R_1 \cdot I_1^2 = R_2 \cdot I_2^2 = 1 \cdot 231^2 = 53361W \quad ; \quad P_{R3} = R_3 \cdot I_3^2 = 10 \cdot 231^2 = 5336W$$

Potenza assorbita dalle tre resistenze con T aperto

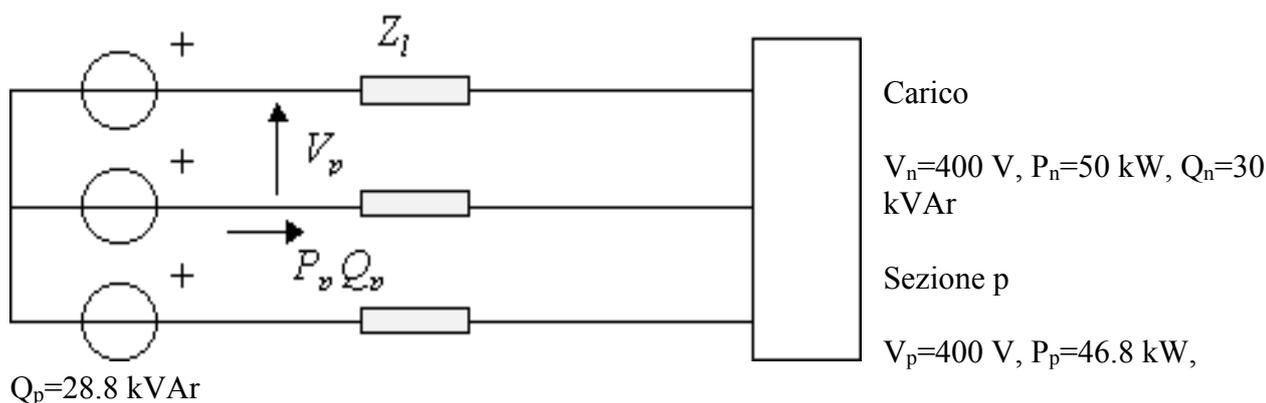
$$P_{R1} = P_{R2} = R_1 \cdot I_1'^2 = R_2 \cdot I_2'^2 = 1 \cdot 220^2 = 48400W \quad ; \quad P_{R3} = R_3 \cdot I_3'^2 = 10 \cdot 4.4^2 = 1936W$$

Sistemi Trifase: n°3

Difficoltà: 1

Parole chiave: Boucherot, Linea.

Note: (*1790 / 3-7-1997)



Con i dati in figura determinare:

- 1) l'impedenza del carico;
- 2) l'impedenza di linea;

-MACCHINE ELETTRICHE -

4) la tensione sul carico;

il fattore di potenza è quello nominale perciò:

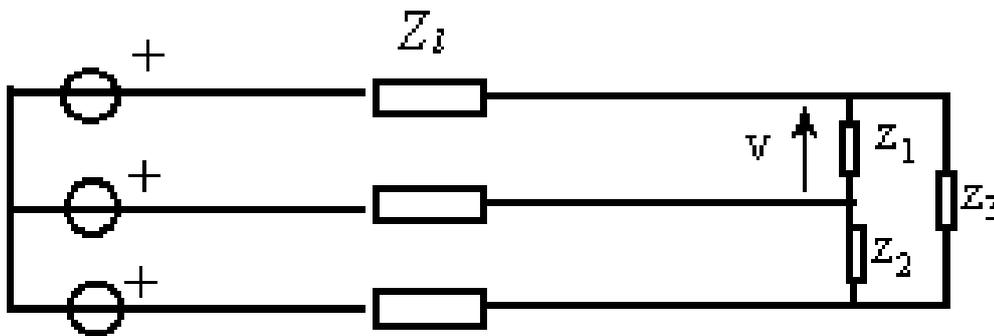
$$V = \frac{P}{\sqrt{3} I_p \cos \varphi} = 376V$$

Sistemi Trifase: es n°4

Difficoltà: 2

Parole chiave: Boucherot, Squilibrato, Linea

Note: *1790 / 7-2-1997



$Z_1=Z_2=Z_3=39\Omega$,
 $\cos \varphi =0.9$,
 $V=380V$

$Z_1=100+j100 \text{ m}\Omega$

Dato il circuito in figura,
 determinare:

a) la corrente nell'impedenza Z_1 in modulo e fase (E_1 ai capi del carico come riferimento di fase);

b) la corrente di linea 1 in modulo;

c) la tensione in partenza in modulo;

trascurando l'effetto della linea, determinare:

d) la corrente nella linea 3 in caso di apertura della impedenza della fase 1 (Z_1).

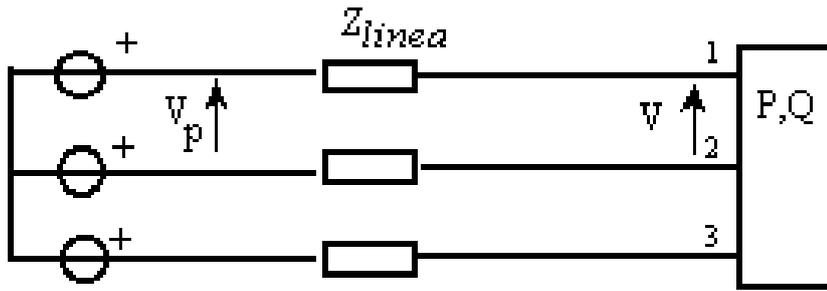
SOLUZIONE

a) la corrente nell'impedenza Z_1 in modulo e fase (E_1 come riferimento di fase);

la corrente in modulo nell'impedenza della fase 1 si può ottenere come:

$$I_{f1} = \frac{V}{Z_1} = \frac{380}{39} = 9.74 \text{ A}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -



$P=100 \text{ kW}$, $Q=70 \text{ kVAr}$, $V=380 \text{ V}$

$Z_{\text{linea}}=100+j100 \text{ m}\Omega$

Dato il circuito in figura e considerando il carico trifase equilibrato collegato a triangolo,

determinare:

- a) il valore della corrente di linea;
- b) il valore della corrente di fase del carico;
- c) il valore dell'impedenza di fase del carico;
- d) il valore della tensione V_p .

Considerando che l'impedenza della fase 2 (collegata tra i morsetti 2 e 3) vada in corto circuito, determinare:

- e) la corrente nella linea 3.

SOLUZIONE

- a) il valore della corrente di linea;

dai dati del carico si ricava che:

$$\cos \varphi = \cos \left(\text{tg}^{-1} \frac{Q}{P} \right) = 0.819 \Rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \varphi} = 185 \text{ A}$$

- b) il valore della corrente di fase del carico;

la corrente di fase si può ricavare considerando che:

$$I_{\text{fase}} = \frac{I}{\sqrt{3}} = 107 \text{ A}$$

- c) il valore dell'impedenza di fase del carico;

nota la corrente di fase è possibile ricavare il valore dell'impedenza di fase come:

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\bar{V}_{20} = \frac{\frac{\bar{E}_1}{\bar{Z}_{linea} + \bar{Z}/2} + \frac{\bar{E}_2}{\bar{Z}_{linea}} + \frac{\bar{E}_3}{\bar{Z}_{linea}}}{\frac{1}{\bar{Z}_{linea} + \bar{Z}/2} + \frac{1}{\bar{Z}_{linea}} + \frac{1}{\bar{Z}_{linea}}} = 98.3e^{-j178} \text{ V}$$

nota la differenza di potenziale tra i centri stella è possibile ricavare la corrente nella linea 3 come:

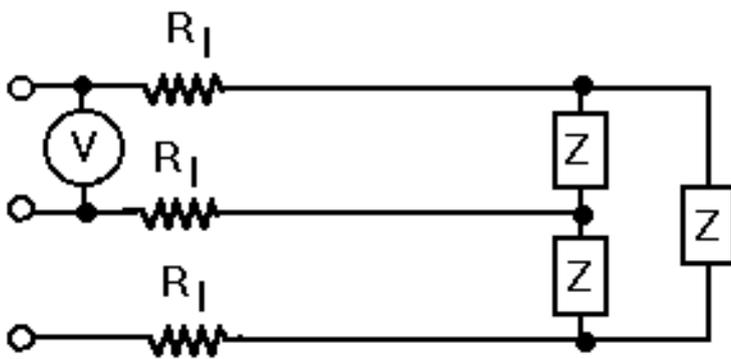
$$|\bar{I}_3| = \left| \frac{\bar{E}_3 - \bar{V}_{20}}{\bar{Z}_{linea}} \right| = 1336 \text{ A}$$

Sistemi Trifase: es. n° 6

Difficoltà: 2

Parole chiave: Linea, Boucherot, Rifasamento

Note: B1790/11-5-1996



Una terna simmetrica e destrorsa di tensioni ($V = 380 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$) è applicata ad una linea schematizzata da un resistore ideale $R_l = 20 \text{ m}\Omega$. La linea alimenta un carico equilibrato ohmico-induttivo.

La potenza persa in linea per effetto Joule è $P_l = 20 \text{ kW}$.

Il fattore di potenza ai morsetti di ingresso della linea (lato alimentazione) è $\cos \varphi_i = 0.78$.

- a) Calcolare l'impedenza del carico (a triangolo).
- b) Quale è la tensione sul carico e quale è il suo sfasamento rispetto alla tensione di alimentazione ?

Ai morsetti del carico vengono disposte, in parallelo al carico, tre capacità a stella del valore $C=2.8\text{mF}$; la tensione di alimentazione è mantenuta costante.

- c) Calcolare i nuovi valori della tensione sul carico e della potenza persa in linea.

SOLUZIONE

-MACCHINE ELETTRICHE -

Riportando a stella i parametri del carico ($R_{su} = R_u/3 = 0.276 \Omega$; $X_{su} = X_u/3 = 0.238 \Omega$),
l'impedenza equivalente è data dal parallelo dell'impedenza di carico con la reattanza capacitiva:

$$\begin{aligned}\overline{Z}_e &= \frac{(-jX_c)(R_{su} + jX_{su})}{R_{su} + j(X_{su} - X_c)} = -j \frac{1137}{0.884} (0.276 + j0.238)(0.276 + j0.899) = \\ &= j1.2856(-0.1378 + j0.3138) = 0.4034 + j0.1772\Omega\end{aligned}$$

L'impedenza totale è allora:

$$\overline{Z}_t = \overline{Z}_e + R_l = 0.4234 + j0.1772\Omega \quad ; \quad Z_t = 0.4590\Omega$$

La nuova corrente di linea diviene:

$$I' = V_u / (Z_t \sqrt{3}) = 478.0A$$

La potenza persa in linea è data da:

$$P' = 3R_l I'^2 = 13.71kW$$

Il modulo dell'impedenza Z_e è $Z_e = 0.4406 \Omega$. Pertanto la nuova tensione sul carico è:

$$V'_u = \sqrt{3} Z_e I' = 364.8V$$

N.B. La tensione sul carico è poco diversa da quella che si misura in assenza di capacità. Infatti il minor valore della caduta sulla linea (proporzionale al valore della corrente) è compensato dal fatto che questa caduta (in fase con la corrente) ha una più piccola differenza di fase rispetto alla tensione di alimentazione.

Sistemi Trifase: es. n°7

Difficoltà: 1

Parole chiave: Boucherot, Rifasamento

Note: * 1790 / 1-9-1997

-MACCHINE ELETTRICHE -

b) Nella configurazione 2 la potenza attiva e reattiva dei carichi è $P_2=20$ kW, $Q_2=22.14$ kVAr il fattore di potenza risultante è perciò di:

$$\cos \varphi_2 = \cos \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{Q_2}{P_2} \right) = 0.670$$

è quindi richiesta una potenza reattiva di rifasamento pari a:

$$Q_c = P_2 \left(\operatorname{tg}(\cos^{-1} 0.9) - \operatorname{tg} \varphi_2 \right) = -12.45 \text{ kVAr}$$

il valore di capacità è quindi dato da:

$$C_{\Delta} = \frac{|Q_c|}{3\omega V^2} = 82.6 \mu\text{F}$$

c) In queste condizioni la potenza reattiva complessiva vale:

$$Q' = Q_1 + Q_c = -7.61 \text{ kVAr} \Rightarrow \cos \varphi' = \cos \left(\operatorname{tg}^{-1} \frac{Q'}{P_1} \right) = 0.969$$

anche se in valore assoluto questo valore rientra nei limiti imposti dall'ente distributore il fattore di potenza è capacitivo e quindi non accettabile.

Sistemi Trifase

Difficoltà: 1

Parole chiave: Linea, Boucherot, Rifasamento

Esercizio n°8 (* 1790 / 15-9-1997)

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$I = \frac{P_{tot}}{\sqrt{3}V \cos \varphi_{tot}} = 64A$$

la caduta massima ammissibile è pari a 16 V, utilizzando la formula della caduta di tensione industriale si ottiene:

$$\Delta V = \sqrt{3}R_l I \cos \varphi_{tot} = \sqrt{3}\rho \frac{l}{S} I \cos \varphi_{tot} \Rightarrow S = \frac{\sqrt{3}\rho l I \cos \varphi_{tot}}{\Delta V} = 12.5mm^2$$

c) Corrente di corto circuito a fine linea. La resistenza della linea è pari a:

$$R_l = \rho \frac{l}{S} = 0.16\Omega$$

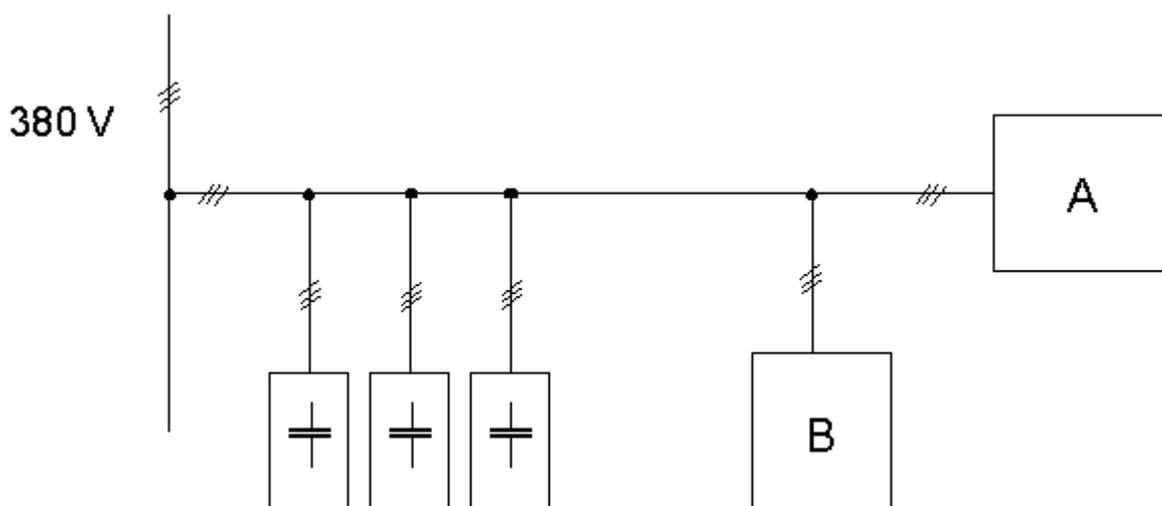
la corrente do corto circuito a fine linea è perciò data da:

$$I_{cc} = \frac{V / \sqrt{3}}{R_l} = 1443A$$

Sistemi Trifase: es. n°11

Difficoltà: 2

Parole chiave: Rifasamento, Boucherot



Lo schema unifilare in figura rappresenta una linea trifase da 380V concatenati che alimenta due carichi equilibrati A e B. A monte dei carichi è disposto un gruppo di rifasamento costituito da tre

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$\operatorname{tg}\varphi_{A'} = \frac{Q_{A'}}{P_A} = \frac{5716}{25000} = 0.229 \quad ; \quad \cos\varphi_{A'} = 0.97 \text{ (accettabile)}$$

- Inserzione di tre batterie di condensatori:

$$Q_{A'''} = Q_A + 3Q_C = 22048 - 3 \cdot 8166 < 0 \Rightarrow \sin\varphi_{A'''} < 0 \text{ (non accett)}$$

Con il solo carico A ai fini del rifasamento vanno inserite due batterie di condensatori.

- b. Inserzione di entrambi i carichi A e B. Risulta:

$$P_{AB} = P_A + P_B = P_A + 3 \cdot \frac{V^2}{R_B} = 25000 + 3 \cdot \frac{380^2}{16} = 52075 \text{ W}$$

$$Q_{AB} = Q_A = 22048 \text{ VAr}$$

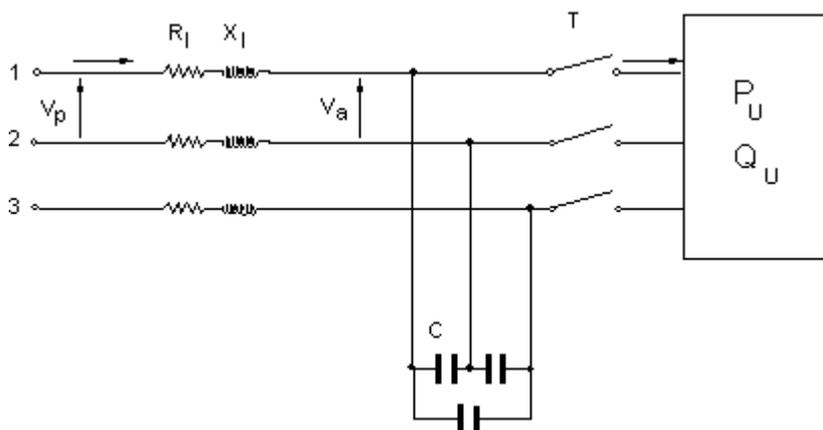
$$\operatorname{tg}\varphi_{AB} = \frac{Q_{AB}}{P_{AB}} = \frac{22048}{52075} = 0.423 \quad ; \quad \cos\varphi_{AB} = 0.92$$

Il fattore di potenza è già adeguato. Non occorre rifasamento. In questo caso nessuna batteria di condensatori va inserita.

c)

-MACCHINE ELETTRICHE -

Parole chiave: Linea, Boucherot, Rifasamento



Una linea trifase alimenta un carico trifase equilibrato che assorbe una potenza attiva di 100 kW ed una potenza reattiva di 150 kVAr (interruttore tripolare T chiuso). La tensione concatenata di alimentazione del carico V_a vale 5kV, mentre la resistenza R_l della linea è di 3 Ω e la reattanza X_l di 6 Ω . Calcolare:

- a) il valore della capacità C dei condensatori collegati a triangolo per rifasare il carico a $\cos\varphi_d=0.9$;
- b) il valore della tensione concatenata di partenza V_p senza rifasamento;
- c) il valore della tensione concatenata di partenza V_p con rifasamento.

Nell'ipotesi di considerare di qui in poi costante la tensione V_p calcolata al punto c) ed aperto l'interruttore T determinare:

- d) la tensione concatenata V_a ;
- e) la potenza attiva e reattiva entrante ai morsetti di ingresso della linea.

Tutti i valori di tensione sono richiesti in modulo.

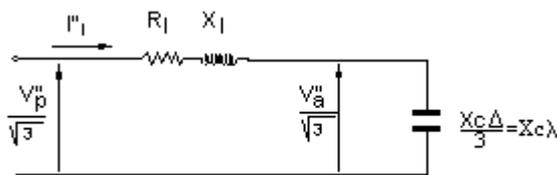
SOLUZIONE

a) La potenza reattiva capacitiva, necessaria al rifasamento a $\cos\varphi_d=0.9$ del carico è:

$$Q_R = P_c(tg\varphi_d - tg\varphi_u) = P_u \cdot \left[tg(\arccos 0.9) - \frac{Q_u}{P_u} \right] =$$

$$= 100 \cdot 10^3 [0.484 - 1.5] = -101.6 \text{ kVAr}$$

-MACCHINE ELETTRICHE -



L'ipotesi è di tensione alla partenza della linea pari a quella calcolata al punto precedente:

$$V''_p = V'_p = 5118V$$

La reattanza capacitiva di ogni condensatore equivalente della batteria con connessione a stella è pari a:

$$x_{c\lambda} = \frac{x_{c\Delta}}{3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{\omega C_{\Delta}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4.3 \cdot 10^{-6}} = 246.87\Omega$$

L'impedenza totale del sistema monofase equivalente è pari a:

$$\bar{Z}_t = \bar{Z}_l - jX_{c\lambda} = 3 + j6 - j246.87 = 3 - j240.87\Omega \quad ; \quad |\bar{Z}_t| = Z_t = 240.89$$

Considerando la partizione della tensione sulla capacità abbiamo (regola del partitore):

$$V_{a''} = \frac{|-jX_{c\lambda}|}{|\bar{Z}_l - jX_{c\lambda}|} V''_p = \frac{|-j246.87|}{|3 + j6 - j246.87|} 5118 = 5245V$$

Si nota l'Effetto Ferranti, ovvero l'effetto dato da un carico di natura capacitiva che determina una tensione di arrivo di modulo più elevato rispetto a quella di partenza.

Il modulo della nuova corrente di linea risulta essere:

$$I'' = \frac{V_{p''}}{\sqrt{3} \cdot Z_t} = \frac{5118}{\sqrt{3} \cdot 240.89} = 12.267A$$

Le nuove potenze all'ingresso della linea risultano essere:

$$P_p'' = 3 \cdot R_l \cdot I''^2 = 3 \cdot 3 \cdot 12.267^2 = 1354W$$

$$Q_p'' = 3 \cdot (X_l - X_{c\lambda}) \cdot I''^2 = 3 \cdot (-240.87) \cdot 12.267^2 = -108.738kVar$$

Transitori: esercizio 1

Difficoltà: 2

Parole chiave: Transitori, Potenza elettrica

-MACCHINE ELETTRICHE -

- a. Il generatore eroga una potenza pari a metà della potenza massima nell'istante t^* in cui la corrente nella maglia si dimezza rispetto al valore massimo; per determinare l'istante t^* occorre risolvere l'equazione esponenziale:

$$\frac{I_{max}}{2} = I_{max} e^{-\frac{t^*}{RC}}$$

da cui:

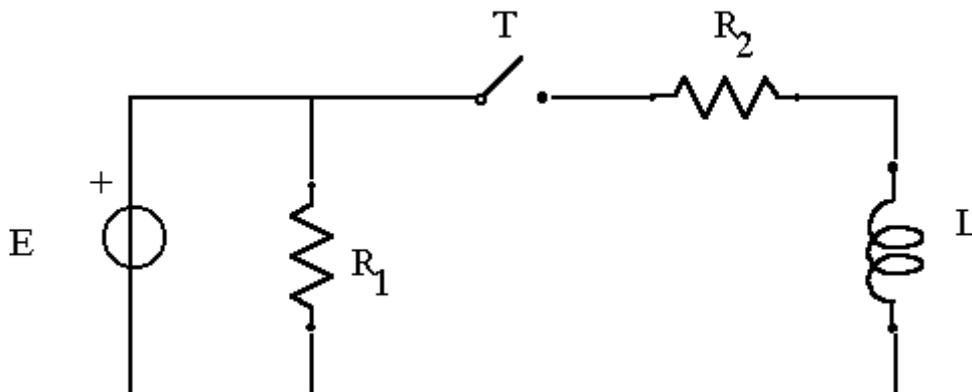
$$t^* = -RC \ln(0.5) = 6.9 \text{ ms}$$

Transitori: esercizio 2

Difficoltà: 2

Parole chiave: Transitori, Potenza elettrica

(*1790 - del 07/02/1997)



Dato il circuito in figura, con i seguenti valori dei parametri:

$R_1=10 \Omega$

$R_2=10 \Omega$

$L=0.5 \text{ H}$

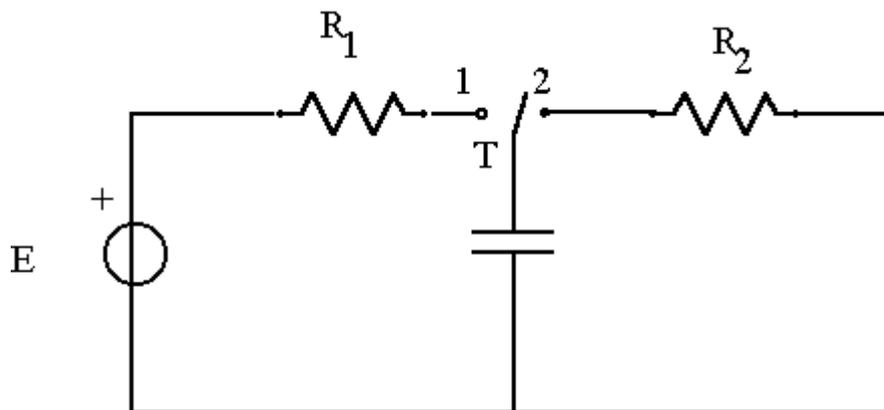
$E=12 \text{ V}$

Determinare:

- a. la corrente erogata dal generatore con il tasto T aperto;
- b. la corrente erogata dal generatore a regime con il tasto T chiuso;
- c. l'andamento della potenza erogata dal generatore durante il transitorio;

A regime, supponendo che all'atto dell'apertura del tasto la corrente si annulli in 1 ms con legge lineare, determinare:

-MACCHINE ELETTRICHE -



Il circuito in figura è caratterizzato dai seguenti valori dei parametri:

$$C=50 \mu F$$

$$E=12 V$$

Il commutatore T si trova in posizione 1 mentre il condensatore è inizialmente scarico.

Determinare:

- a) il valore di resistenza R_1 in modo che il generatore eroghi una potenza massima di 5 W durante il transitorio di carica;**
- b) il tempo necessario affinché il condensatore raggiunga il 95% della sua tensione di regime;**
- c) l'energia immagazzinata nel condensatore nelle condizioni del punto b.**

In queste condizioni, portando T in posizione 2, determinare:

- d) il valore di resistenza R_2 in modo da trasferire il 96% dell'energia del condensatore alla resistenza in 1 ms.**

SOLUZIONE

a) Il valore massimo della potenza richiesta al generatore si ha all'inizio del transitorio quando il condensatore, scarico, si comporta come un corto circuito. In queste condizioni la potenza erogata dal generatore vale:

$$P_g = \frac{E^2}{R_1}$$

da cui:

$$R_1 = \frac{E^2}{P_g} = 28.8 \Omega$$

-MACCHINE ELETTRICHE -

$$0.2 \cdot v_0 = v_0 e^{-\frac{0.001}{R_2 C}}$$

che risolta fornisce:

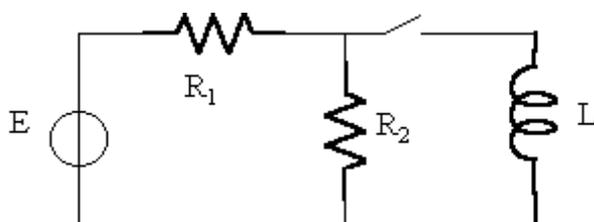
$$R_2 = \frac{0.001}{C \cdot \ln(5)} = 12.43 \Omega$$

Transitori: esercizio 4

Difficoltà: 2

Parole chiave: Transitori, Potenza elettrica

(*1790 - del 18/06/1997)



Dato il circuito in figura caratterizzato dai seguenti valori dei parametri:

$E=24 \text{ V}$

$R_1=1 \Omega$

$R_2=1 \Omega$

Determinare:

- a. il valore di L affinché, a regime, l'energia immagazzinata nell'induttore sia pari a 1 J;
- b. l'andamento della corrente in R_2 ;
- c. la potenza massima erogata dal generatore durante il transitorio.

SOLUZIONE

a) La corrente a regime nell'induttore vale:

$$I_{\infty} = \frac{E}{R_1} = 24 \text{ A}$$

il valore di induttanza per ottenere un'energia immagazzinata di 1 J si ricava da:

-MACCHINE ELETTRICHE -

Il circuito magnetico in figura ha le seguenti caratteristiche:

Sezione (comune a tutti i rami): $S = 5 \text{ cm}^2$

Riluttanza ramo a sinistra (colonna + 2 gioghi): $R_1 = 500000 \text{ H}^{-1}$

Riluttanza colonna centrale: $R_2 = 200000 \text{ H}^{-1}$

Riluttanza parte in ferro del ramo a destra (nucleo mobile + due gioghi): $R_3 = 300000 \text{ H}^{-1}$

Spessore traferro: $t = 0.5 \text{ mm}$

La bobina A, composta di $N_A = 500$ spire, è alimentata alla tensione di 90 V, 50 Hz. La bobina B, composta di $N_B = 600$ spire, è lasciata a vuoto. Le resistenze di entrambe le bobine possono essere trascurate.

- Calcolare la corrente nella bobina A, la tensione indotta sulla bobina B e la forza di attrazione agente sul nucleo mobile.**
- Determinare le auto e mutue induttanze delle bobine e il coefficiente di accoppiamento.**
- Per quale valore del traferro l'autoinduttanza della bobina A è uguale alla mutua induttanza con la bobina B ?**

SOLUZIONE

- a. La riluttanza del traferro e quella dell'intero ramo di destra valgono:

$$R_t = \frac{2t}{\mu_0 S} = 1591500 \text{ H}^{-1}, \quad R_{e3} = R_t + R_3 = 1891500 \text{ H}^{-1}$$

La riluttanza equivalente vista dalla bobina A è allora:

$$R_e = R_1 + \frac{R_{e3} R_2}{R_{e3} + R_2} = 681000 \text{ H}^{-1}$$

Considerando trascurabile il valore della resistenza della bobina A, la tensione ai suoi morsetti coincide con la derivata del flusso concatenato, da cui:

$$\varphi_A = \frac{V_A}{2\pi f N_A} = 0.573 \text{ mWb}$$

$$I_A = \frac{R_e \varphi_A}{N_A} = 0.78 \text{ A}$$

Il flusso e la fem indotta nella bobina B si ottengono attraverso le relazioni:

-MACCHINE ELETTRICHE -

La riluttanza del traferro e il nuovo valore del traferro sono allora:

$$R_t' = R_{\theta 3} - R_3 = 700000 \text{ H}^{-1}$$

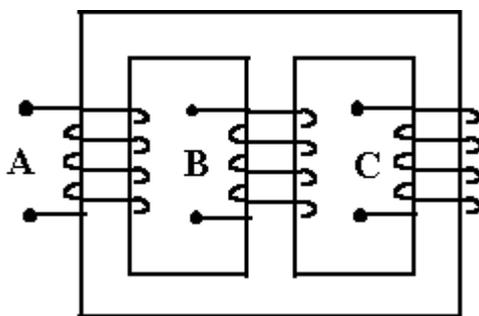
$$t' = \mu_0 S R_t' / 2 = 0.219 \text{ mm}$$

Campi magnetici: esercizio 2

Difficoltà: 2

Parole chiave: Campi magnetici, Induttanza, Circuiti in regime sinusoidale.

(B1790 - del 11/10/1997)



Un circuito magnetico è composto da tre rami (A, B, C) che hanno la stessa sezione di passaggio ($S = 9 \text{ cm}^2$) e i seguenti valori della riluttanza:

$$R_A = R_C = 700000 \text{ H}^{-1} \text{ (colonna + gioghi)}$$

$$R_B = 300000 \text{ H}^{-1} \text{ (colonna centrale).}$$

Sulle colonne sono avvolte tre bobine uguali; ciascuna è composta di 200 spire e presenta una resistenza $R = 20 \Omega$. Le bobine B e C sono aperte, mentre la bobina A è alimentata in regime sinusoidale a 50 Hz.

Sapendo che la tensione indotta sulla bobina C è $V_C = 20 \text{ V}$,

- a) calcolare la tensione indotta sulla bobina B ed il più elevato valore di induzione (nello spazio e nel tempo) che si rileva nel circuito magnetico.**
- b) Determinare la tensione di alimentazione della bobina A e la potenza persa per effetto Joule.**
- c) Calcolare le mutue induttanze L_{AB} , L_{AC} , L_{BC} .**

SOLUZIONE

- a. Poiché la bobina C è aperta, la tensione ai suoi morsetti è soltanto una forza elettromotrice indotta, da cui si ricava il valore del flusso attraverso il ramo C:

-MACCHINE ELETTRICHE -

Per calcolare L_{BC} si supponga di alimentare la sola bobina B; tenuto conto delle caratteristiche geometriche del circuito magnetico, il flusso che attraversa la bobina B si ripartisce in modo uguale tra il ramo A e il ramo C. Ne segue pertanto che:

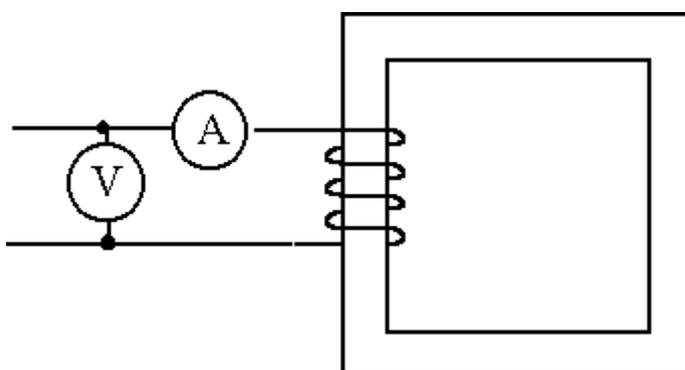
$$L_{BC} = L_{BA} = L_{AB} = 30.77mH$$

Campi magnetici: esercizio 3

Difficoltà: 2

Parole chiave: Campi magnetici, Induttanza

(B1790 - del 21/07/1997)



Una bobina è avvolta su di un nucleo di ferro di forma quadrata. Ciascun lato del nucleo ha una sezione $S = 25 \text{ mm}^2$ ed una lunghezza media $l = 3 \text{ cm}$. La permeabilità relativa del ferro è $\mu_r = 2000$.

La bobina è sottoposta alle seguenti misure:

I Alimentazione in regime stazionario

$$V' = 15 \text{ V } I' = 20.0 \text{ mA}$$

II Alimentazione in regime sinusoidale 50 Hz

$$V'' = 24 \text{ V } I'' = 30.0 \text{ mA}$$

- a) **Determinare l'induttanza della bobina ed il numero di spire da cui è composta.**
- b. **Calcolare i valori di picco di induzione nel nucleo con entrambe le alimentazioni.**
- c. **Portando la frequenza a 60 Hz, per quale valore di tensione di alimentazione si ottiene lo stesso valore di picco di induzione relativo alla misura II ?**

SOLUZIONE

- a. Il valore della resistenza si ricava dalla misura in regime stazionario: