*

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**28 novembre 2014**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un trasformatore monofase è caratterizzato dai seguenti dati:

potenza nominale	P_n = 20 kVA	
tensioni nominali	V_{1n} = 8.0 kV	V_{2n} = 240 V
tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$ = 6.11 %	
perdite a vuoto	$p_{0\%}$ = 2.00 %	
resistenze bobine	R_1 = 20.0 Ω	R_2 = 16.56 mΩ

Il trasformatore alimenta a un carico ohmico-induttivo (fattore di potenza $\cos\varphi_e$=0.8) con gradi di carico di corrente e di potenza unitari.
Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare

- l'impedenza di carico $R_e + jX_e$;
- il valore esatto della tensione di alimentazione;
- il rendimento.

TEORIA

F.e.m. indotta in un conduttore di statore.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____

*

RISULTATI

Impedenza di carico $\dot{\mathbf{Z}}_e = R_e + jX_e = 2.30 + j1.73\ \Omega$

Tensione primaria $V_1 = 8371$ V

Rendimento $\eta = 0.959$

$I_{1n} = \frac{P_n}{V_{1n}} = 2.50$ A $\qquad I_{2n} = \frac{P_n}{V_{2n}} = 83.33$ A $\qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 33.33$

$\alpha = \alpha_P = 1 \quad \Rightarrow \quad I_2 = I_{2n} = 83.33$ A, $\quad P_a = P_n = 20$ kVA, $\quad V_2 = V_{2n} = 240$ V

$Z_e = \frac{V_2}{I_2} = 2.88\ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_e = Z_e \angle \varphi_e = 2.88 \angle 36.87° = R_e + jX_e = 2.30 + j1.73\ \Omega$

$R_{12} = R_2 \cdot K^2 = 18.40\ \Omega \qquad R' = R_1 + R_{12} = 38.40\ \Omega \qquad V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 488.8$ V

$Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} = 195.52\ \Omega \qquad X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 191.71\ \Omega$

$R_{1t} = R' + K^2 R_e = 2598\ \Omega \qquad X_{1t} = X' + K^2 X_e = 2112\ \Omega \qquad Z_{1t} = \sqrt{R_{1t}^2 + X_{1t}^2} = 3348\ \Omega$

$I_{12} = I_{1n} = 2.50$ A $\qquad V_1 = Z_{1t} I_{12} = 8371$ V

$P = P_a \cos\varphi_e = 16$ kW $\qquad P_{Cu} = R' I_{12}^2 = 240$ W $\qquad P_0 = \frac{p_{0\%} \cdot P_n}{100} = 400$ W

$v_1 = \frac{V_1}{V_{1n}} = 1.046 \qquad P_{Fe} = v_1^2 P_0 = 437$ W $\qquad \eta = \frac{P}{P + P_{Cu} + P_{Fe}} = 0.959$

**

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA				**28 novembre 2014**	
Cognome Nome: _____				Matricola: _____	
Energia |_|	Elettrotecnica |_|	Energetica |_|	Altro |_|	9 CFU |_|	6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un trasformatore monofase è caratterizzato dai seguenti dati:

potenza nominale	P_n = 25 kVA	
tensioni nominali	V_{1n} = 12.0 kV	V_{2n} = 200 V
tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$ = 5.46 %	
perdite a vuoto	$p_{0\%}$ = 1.06 %	
resistenze bobine	R_1 = 70.0 Ω	R_2 = 18.96 mΩ

Il trasformatore alimenta a un carico ohmico-induttivo (fattore di potenza $\cos\varphi_e$=0.894) con gradi di carico di corrente e di potenza unitari.
Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare

- l'impedenza di carico $R_e + jX_e$;
- il valore esatto della tensione di alimentazione;
- il rendimento.

TEORIA

F.e.m. indotta in un conduttore di statore.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____

RISULTATI

Impedenza di carico	$\dot{\mathbf{Z}}_e = R_e + jX_e = 1.43 + j0.72\ \Omega$
Tensione primaria	$V_1 = 12527$ V
Rendimento	$\eta = 0.962$

$I_{1n} = \frac{P_n}{V_{1n}} = 2.08$ A $\qquad I_{2n} = \frac{P_n}{V_{2n}} = 125.00$ A $\qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 60$

$\alpha = \alpha_P = 1 \qquad \Rightarrow \qquad I_2 = I_{2n} = 125.00$ A, $\quad P_a = P_n = 25$ kVA, $\quad V_2 = V_{2n} = 200$ V

$Z_e = \frac{V_2}{I_2} = 1.60\ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_e = Z_e \angle \varphi_e = 1.60 \angle 26.62° = R_e + jX_e = 1.43 + j0.72\ \Omega$

$R_{12} = R_2 \cdot K^2 = 68.26\ \Omega \qquad R' = R_1 + R_{12} = 138.26\ \Omega \qquad V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 655.2$ V

$Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} = 314.50\ \Omega \qquad X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 282.48\ \Omega$

$R_{1t} = R' + K^2 R_e = 5288\ \Omega \qquad X_{1t} = X' + K^2 X_e = 2863\ \Omega \qquad Z_{1t} = \sqrt{R_{1t}^2 + X_{1t}^2} = 6013\ \Omega$

$I_{12} = I_{1n} = 2.08$ A $\qquad V_1 = Z_{1t} I_{12} = 12527$ V

$P = P_a \cos\varphi_e = 22.35$ kW $\qquad P_{Cu} = R' I_{12}^2 = 600$ W $\qquad P_0 = \frac{p_{0\%} \cdot P_n}{100} = 265$ W

$v_1 = \frac{V_1}{V_{1n}} = 1.043 \qquad P_{Fe} = v_1^2 P_0 = 289$ W $\qquad \eta = \frac{P}{P + P_{Cu} + P_{Fe}} = 0.962$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**23 gennaio 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase ($2p$ = 4, f = 60 Hz, V_{1n} = 240 V) sviluppa a tensione nominale una coppia di avviamento e una coppia massima pari rispettivamente a C_a = 19.0 Nm e C_M = 52.2 Nm. Il funzionamento della macchina a tensione nominale è inoltre caratterizzato dai seguenti dati:

	A vuoto	*A rotore bloccato*
corrente assorbita	3.23 A	55.83 A
potenza assorbita	121 W	7024 W

Determinare:

- i parametri R_0, X_0, R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
- il rendimento nel funzionamento alla coppia massima.

TEORIA

Macchina sincrona a rotore liscio: diagramma polare.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____

RISULTATI

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 476 Ω	X_0 = 43 Ω	
Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 0.40 Ω	R_{12} = 0.43 Ω	X = 2.50 Ω
Rendimento	η_M = 0.709		

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1800 \text{ giri/min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 188.50 \text{ s}^{-1}$$

A vuoto

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_{1n} I_0} = 0.090 \qquad \bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 3.23 \angle -84.83° = 0.291 - j3.217 \text{ A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\,\bar{\mathbf{I}}_0} = 3.87 + j42.72 = Z_0 \angle \varphi_0 = 42.90 \angle 84.83° \ \Omega$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 476 \ \Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0} = 43 \ \Omega$$

A rotore bloccato

$$\cos\varphi_{1cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{1n} I_{1cc}} = 0.303 \qquad \bar{\mathbf{I}}_{1cc} = I_{1cc} \angle -\varphi_{1cc} = 55.83 \angle -72.38° = 16.90 - j53.21 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12cc} = \bar{\mathbf{I}}_{1cc} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 16.60 - j50.00 = I_{12cc} \angle -\varphi_{12cc} = 52.68 \angle -71.63° \text{ A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\,\bar{\mathbf{I}}_{12cc}} = 0.83 + j2.50 = Z_{1cc} \angle \varphi_{12cc} = 2.63 \angle 71.63° \ \Omega \qquad R = R_1 + R_{12} = 0.83 \ \Omega$$

$$X = 2.50 \ \Omega \qquad C_a = \frac{R_{12}}{\Omega_0} \frac{V_{1n}^2}{Z_{1cc}^2} \quad \Rightarrow \quad R_{12} = C_a \Omega_0 Z_{1cc}^2 / V_{1n}^2 = 0.43 \ \Omega$$

$$R_1 = R - R_{12} = 0.40 \ \Omega$$

Alla coppia massima

$$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 2.53 \ \Omega \qquad s_M = \frac{R_{12}}{Z} = 0.170 \qquad n_M = n_0(1 - s_M) = 1494 \text{ giri/min}$$

$$\Omega_M = \frac{2\pi n_M}{60} = 156.42 \text{ s}^{-1} \qquad P_m = C_M \Omega_M = 8165 \text{ W}$$

$$C_M = 3\frac{R_{12}}{s_M \Omega_0} I_{12M}^2 \quad \Rightarrow \quad I_{12M} = \sqrt{\frac{C_M s_M \Omega_0}{3R_{12}}} = 36.02 \text{ A}$$

$$P_{ep} = 3RI_{12M}^2 = 3227 \text{ W} \qquad P_p = P_{ep} + P_0 = 3348 \text{ W} \qquad \eta_M = \frac{P_m}{P_m + P_p} = 0.709$$

MACCHINE ELETTRICHE	**28 gennaio 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Di un trasformatore trifase sono noti i seguenti dati:

potenza nominale	P_n	= 63 kVA		
tensioni nominali	V_{1n}	= 3 kV	V_{2n}	= 400 V
corrente e fattore di potenza a vuoto	I_0	= 0.485 A	$\cos\varphi_0$	= 0.158
tensione e fattore di potenza di corto circuito	V_{1cc}	= 105 V	$\cos\varphi_{cc}$	= 0.400

Il trasformatore, alimentato a tensione nominale, alimenta a sua volta un motore asincrono trifase che funziona nelle seguenti condizioni:

fattore di potenza	$\cos\varphi_m$	= 0.850
potenza meccanica erogata	P_m	= 45 kW
rendimento	η_m	= 0.886

Sapendo che nell'inserire il motore si è osservata una variazione di tensione da vuoto a carico pari al 2.83 %, determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato del trasformatore;
- la tensione di alimentazione del motore;
- la corrente assorbita dal motore;
- la corrente assorbita dal trasformatore;
- il rendimento del complesso trasformatore-motore.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: relazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento a vuoto.

2) Motore asincrono trifase: riduzione della velocità con variazione della frequenza e dell'ampiezza della tensione di alimentazione.

Solo per esame con modalità 2013-14

3) Motore a corrente continua con eccitazione indipendente: caratteristiche elettromeccaniche e meccanica.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 22.60 kΩ	X_0 = 3.62 kΩ
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 2.00 Ω	X' = 4.58 Ω
Tensione e corrente motore	V_2 = 389 V	I_2 = 88.76 A
Corrente assorbita trasformatore	I_1 = 12.16 A	
Rendimento	η = 0.865	

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = 12.12 \text{ A} \qquad I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{2n}} = 90.93 \text{ A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 7.5$$

Parametri circuito

$$P_0 = \sqrt{3}V_{1n}I_0 \cos\varphi_0 = 398 \text{ W}$$

$$R_0 = \frac{V_{1n}^2}{P_0} = 22.60 \text{ k}\Omega \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}I_0} = 3.57 \text{ k}\Omega \qquad X_0 = Z_0/\text{sen}\varphi_0 = 3.62 \text{ k}\Omega$$

$$P_{cc} = \sqrt{3}V_{1cc}I_{1n} \cos\varphi_{cc} = 882 \text{ W}$$

$$R' = \frac{P_{cc}}{3I_{1n}^2} = 2.00 \ \Omega \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}I_{1n}} = 5.00 \ \Omega \qquad X' = Z_{1cc}\text{sen}\varphi_{cc} = 4.59 \ \Omega$$

Tensione alimentazione motore – Corrente assorbita motore

$$P = \frac{P_m}{\eta_m} = 50790 \text{ W} \qquad P_a = \frac{P}{\cos\varphi_m} = 59753 \text{ VA}$$

$$\Delta V_2 = \frac{\Delta v_{\%} V_{2n}}{100} = 11.32 \text{ V} \qquad V_2 = V_{2n} - \Delta V_2 = 389 \text{ V} \qquad I_2 = \frac{P_a}{\sqrt{3}V_2} = 88.76 \text{ A}$$

Corrente erogata trasformatore = corrente assorbita motore

$$I_{12} = \frac{I_2}{K} = 11.83 \text{ A} \qquad Z_e = \frac{V_2}{\sqrt{3}I_2} = 2.53 \ \Omega \qquad R_e = Z_e \cos\varphi_m = 2.15 \ \Omega$$

$$R_e = Z_e\text{sen}\varphi_m = 1.33 \ \Omega \qquad \varphi_{12} = \tan^{-1}\frac{X' + K^2 X_e}{R' + K^2 R_e} = 32.90°$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = I_{12} \ \angle -\varphi_{12} = 11.83 \angle -32.90° = 9.94 - j6.443 \text{ A}$$

Corrente assorbita trasformatore

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \ \angle -\varphi_0 = 0.485 \angle -80.91° = 0.077 - j0.479 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = \bar{\mathbf{I}}_0 + \bar{\mathbf{I}}_{12} = 10.01 - j6.91 \text{ A} = I_1 \ \angle -\varphi_1 = 12.16 \angle -34.6° \text{ A}$$

Rendimento

$$P_e = \sqrt{3}V_{1n}I_1 \cos\varphi_1 = 52029 \text{ W} \qquad \eta_t = \frac{P}{P_e} = 0.976 \qquad \eta = \eta_t \cdot \eta_m \cdot = 0.865$$

MACCHINE ELETTRICHE	**25 febbraio 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase e un motore asincrono trifase sono caratterizzati dai seguenti dati:

Trasformatore

tensioni nominali	V_{1n}	= 1000 V	V_{2n}	= 400 V
tensione e fattore di potenza di corto circuito	$v_{cc\%}$	= 6.0 %	$\cos\varphi_{cc}$	= 0.400

Motore: parametri del circuito equivalente semplificato

resistenza e reattanza a vuoto	R_0	= 68.76 Ω	X_0	= 6.78 Ω
resistenze di statore e di rotore	R_1	= 80 mΩ	R_{12}	= 80 mΩ

Il trasformatore alimenta il motore nelle seguenti condizioni di funzionamento:

tensione di alimentazione del trasformatore	V_1	= 989 V
grado di carico del trasformatore	α	= 0.802
corrente assorbita dal motore	I_m	= 92.60 A
fattore di potenza del motore	$\cos\varphi_m$	= 0.876

Determinare:

- la tensione di alimentazione del motore;
- lo scorrimento e il rendimento del motore.

TEORIA

1) F.m.m. prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto percorso da corrente continua. Coefficiente di avvolgimento.

2) Generatore sincrono trifase: diagramma di Behn-Eshemburg.

Solo per esame con modalità 2013-14

3) Generatore a corrente continua: commutazione (cause, effetti, rimedi).

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Tensione alimentazione motore	V_m = 380 V
Scorrimento	s = 3.0 %
Rendimento motore	η = 0.905

Trasformatore

$$v_{1\%} = \frac{V_1}{V_{1n}} 100 = 98.90\% \qquad \Delta v_{\%} = \alpha v_{cc\%} (\cos\varphi_{cc} \cos\varphi_m + \text{sen}\varphi_{cc} \,\text{sen}\varphi_m) = 3.83\%$$

$$v_{2\%} = v_{1\%} - \Delta v_{\%} = 95.07\ \% \qquad V_2 = \frac{v_{2\%} V_{2n}}{100} = 380.3\ \text{V}$$

In alternativa

$$V_{21} = \frac{V_1}{V_{1n}} V_{2n} = 395.6\ \text{V} \qquad V_{2cc} = \frac{v_{cc\%} V_{2n}}{100} = 24\ \text{V} \qquad I_{2n} = \frac{I_m}{\alpha} = 115.46\ \text{A}$$

$$Z_{2cc} = \frac{V_{2cc}}{\sqrt{3} I_{2n}} = 0.120\ \Omega \qquad R'' = Z_{2cc} \cos\varphi_{cc} = 0.048\ \Omega \qquad X'' = Z_{2cc} \text{sen}\varphi_{cc} = 0.110\ \Omega$$

$$\Delta V_2 = \sqrt{3} I_m (R'' \cos\varphi_m + X'' \text{sen}\varphi_m) = 15.3\ \text{V} \qquad V_2 = V_{21} - \Delta V_2 = 380.3\ \text{V}$$

Motore

$$V_m = V_2 = 380.3\ \text{V} \qquad \bar{\mathbf{I}}_m = I_m \angle -\varphi_m = 92.60 \angle -28.84° = 81.12 - j44.66\ \text{A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = \frac{R_0 \cdot jX_0}{R_0 + jX_0} = 0.66 + j6.72\ \ \Omega \qquad \bar{\mathbf{I}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_m}{\sqrt{3}\,\dot{\mathbf{Z}}_0} = 3.19 - j32.39\ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_m - \bar{\mathbf{I}}_0 = 77.92 - j12.27\ \text{A} = I_{12} \angle -\varphi_{12} = 78.89 \angle -8.95°\ \text{A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1f} = \frac{\bar{\mathbf{V}}_m}{\sqrt{3}\,\bar{\mathbf{I}}_{12}} = R_s + jX = 2.75 + j0.43\ \ \Omega \qquad s = \frac{R_{12}}{R_s - R_1} = 0.03$$

$$P_m = 3R_{12} \frac{1-s}{s} I_{12}^2 = 48348\ \text{W} \qquad P_e = \sqrt{3} V_m I_m \cos\varphi_m = 53439\ \text{W}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} = 0.905$$

MACCHINE ELETTRICHE	**17 giugno 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Il funzionamento in condizioni nominali di un motore asincrono trifase è caratterizzato da:

- potenza assorbita dalla rete 47253 W con fattore di potenza 0.960
- potenza trasmessa al rotore 45877 W
- potenza erogata al carico 44501 W

Sapendo che la macchina produce alla tensione nominale V_{1n} = 440 V una coppia massima pari a C_M = 1014 Nm, determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato (R_1, R_{12}, X);
- la velocità nominale;
- la coppia di avviamento a tensione nominale;
- la tensione di alimentazione necessaria per eseguire la prova a rotore bloccato a corrente nominale.

Si trascuri la corrente a vuoto.

TEORIA

1) Funzionamento in parallelo dei trasformatori.

2) Generatore sincrono trifase: diagramma di Potier.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Parametri circuito equivalente	R_1= 0.110 Ω	R_{12} = 0.110 Ω	X = 1.10 Ω
Velocità nominale	n_n = 727 giri/min		
Coppia di avviamento	C_a = 215 Nm		
Tensione alimentazione a rotore bloccato	V_{1cc} = 125.6 V		

$$I_{1n} = \frac{P_{en}}{\sqrt{3}\, V_{1n} \cos\varphi_{1n}} = 64.59 \text{ A} \qquad P_{ep1} = P_{en} - P_{tn} = 1376 \text{ W} \qquad R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 \cdot I_{1n}^2} = 0.110 \ \Omega$$

$$P_{ep2} = P_{tn} - P_n = 1376 \text{ W} \qquad R_{12} = \frac{P_{ep2}}{3 \cdot I_{1n}^2} = 0.110 \ \Omega \qquad X = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{1n}} \text{sen}\varphi_{1n} = 1.101 \ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 1.107 \ \Omega \qquad \Omega_0 = \frac{V_{1n}^2}{2 \cdot C_M (R_1 + Z)} = 78.5 \text{ s}^{-1} \qquad s_n = \frac{P_{ep2}}{P_{tn}} = 0.03$$

$$\Omega_n = \Omega_0 (1 - s_n) = 76.1 \text{ s}^{-1} \qquad n_n = \frac{60 \cdot \Omega}{2\pi} = 727 \text{ giri/ min}$$

$$Z_{1cc} = \sqrt{(R_1 + R_{12})^2 + X^2} = 1.123 \ \Omega \qquad I_{1cc} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\ Z_{1cc}} = 226.2 \text{ A}$$

$$C_a = \frac{3 R_{12} I_{1cc}^2}{\Omega_0} = 215 \text{ Nm} \qquad V_{1cc} = \sqrt{3}\ Z_{1cc} I_{1n} = 125.6 \text{ V}$$

MACCHINE ELETTRICHE				**22 luglio 2015**	
Cognome Nome: _____				Matricola: _____	
Energia |_|	Elettrotecnica |_|	Energetica |_|	Altro |_|	9 CFU |_|	7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un trasformatore trifase è caratterizzato dai seguenti dati:

potenza nominale	$P_n = 250$ kVA	
tensioni nominali	$V_{1n} = 15$ kV	$V_{2n} = 0.4$ kV
tensione e fattore di potenza di corto circuito	$v_{cc\%} = 4.20$ %	$\cos\varphi_{cc} = 0.417$
corrente e fattore di potenza a vuoto	$i_{0\%} = 3.20$ %	$\cos\varphi_0 = 0.234$

Il trasformatore è alimentato a tensione nominale. Al momento dell'inserzione del carico (fattore di potenza 0.75 in ritardo) la tensione secondaria è diminuita del 2.146 % rispetto al funzionamento a vuoto.
Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

- il grado di carico in termini di corrente e di potenza;
- la potenza attiva erogata;
- la corrente assorbita in modulo e fase;
- il rendimento percentuale.

TEORIA

1) Motore asincrono trifase: tracciamento del diagramma circolare in sede di progetto e di collaudo.
2) Motore a corrente continua con eccitazione serie: caratteristiche elettromeccaniche e meccanica.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Gradi di carico	$\alpha = 0.559 \qquad \alpha_P = 0.547$
Potenza attiva erogata	$P = 102576$ W
Corrente assorbita	$\bar{\mathbf{I}}_1 = 5.64 \angle -43.73°$ A
Rendimento	$\eta_{\%} = 96.95$ %

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = 9.62 \text{ A} \qquad I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.308 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 0.308 \angle -76.47° = 0.072 - j0.299 \text{ A}$$

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 630 \text{ V} \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}\, I_{1n}} = 37.80\ \Omega$$

$$R' = Z_{1cc} \cos\varphi_{cc} = 15.76\ \Omega \qquad X' = R' \tan\varphi_{cc} = 34.36\ \Omega$$

$$\Delta V_{12} = \frac{\Delta v_{\%} \cdot V_{1n}}{100} = 321.9 \text{ V} \qquad I_{12} = \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\,(R' \cos\varphi_e + X' \operatorname{sen}\varphi_e)} = 5.38 \text{ A}$$

$$\alpha = \frac{I_{12}}{I_{1n}} = 0.559 \qquad v_2 = 1 - \frac{\Delta v_{\%}}{100} = 0.9785$$

$$\alpha_P = v_2 \alpha = 0.547 \qquad P = \alpha_P P_n \cos\varphi_e = 102576 \text{ W}$$

$$R_{1e} = \frac{P}{3I_{12}^2} = 1181\ \Omega \qquad X_{1e} = R_{1e} \tan\varphi_e = 1042\ \Omega$$

$$\varphi_{12} = \arctan\frac{X_{1e} + X'}{R_{1e} + R'} = 41.96° \qquad \bar{\mathbf{I}}_{12} = I_{12} \angle -\varphi_{12} = 5.38 \angle -41.96° = 4.00 - j3.60 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = \bar{\mathbf{I}}_0 + \bar{\mathbf{I}}_{12} = 4.07 - j3.90 = I_1 \angle -\varphi_1 = 5.64 \angle -43.73° \text{ A}$$

$$P_e = \sqrt{3}\, V_{1n} I_1 \cos\varphi_1 = 105807 \text{ W} \qquad \eta_{\%} = \frac{P}{P_e} 100 = 96.95 \text{ \%}$$

MACCHINE ELETTRICHE	**26 agosto 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase (6 poli / 50 Hz) presenta i seguenti dati:

tensione nominale V_{1n} = 380 V
corrente nominale I_{1n} = 14.51 A $\cos\varphi_{1n}$ = 0.780
velocità nominale n_n = 950 giri/min

Sapendo che:

- la coppia massima a tensione nominale è pari a 143 Nm ed è prodotta alla velocità di 727.4 giri/min
- le perdite nel rame di statore sono il 20% più grandi di quelle nel rame di rotore

determinare:

- la corrente a vuoto, in modulo e fase;
- la potenza nominale;
- il rendimento nominale.

TEORIA

1) Trasformatore monofase: corrente magnetizzante e armoniche componenti, calcolo della reattanza a vuoto.

2) Generatore sincrono trifase: diagramma delle due reattanze.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Corrente a vuoto	$I_0 = 7.50$ A	$\varphi_1 = -81.26°$
Potenza e rendimento	$P_n = 6$ kW	$\eta_n = 0.806$

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1000 \text{ giri/ min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 104.72 \text{ s}^{-1}$$

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 0.05 \qquad s_M = \frac{n_0 - n_M}{n_0} = 0.2726$$

$$K_{ep} = \frac{P_{ep1}}{P_{ep2}} = \frac{R_1}{R_{12}} = 1.2 \qquad s_M = \frac{R_{12}}{Z} = \frac{R_1}{K_{ep} Z}$$

$$C_M = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 Z\left(1 + \frac{R_1}{Z}\right)} \Rightarrow C_M = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 Z\left(1 + K_{ep} s_M\right)} \qquad Z = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 C_M \left(1 + K_{ep} s_M\right)} = 3.633\ \Omega$$

$$R_1 = K_{ep} s_M Z = 1.188\ \Omega \qquad R_{12} = \frac{R_1}{K_{ep}} = 0.990\ \Omega \qquad X = \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 3.433\ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{1n} = I_{1n}\ \angle -\varphi_{1n} = 14.51 \angle -38.64° = 11.32 - j9.08 \text{ A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{fn} = \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right) + jX = 20.995 + j3.433\ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12n} = \frac{\overline{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\dot{\mathbf{Z}}_{fn}} = 10.18 - j1.66 = I_{12n}\ \angle -\varphi_{12n} = 10.313 \angle -9.29° \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = \bar{\mathbf{I}}_{1n} - \bar{\mathbf{I}}_{12n} = 1.140 - j7.416 = I_0\ \angle -\varphi_0 = 7.500 \angle -81.26° \text{ A}$$

$$P_n = 3R_{12}\frac{1 - s_n}{s_n} I_{12n}^2 = = 6.00 \text{ kW} \qquad P_{en} = \sqrt{3} V_{1n} I_{1n} \cos\varphi_{1n} = 7.45 \text{ kW}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_{en}} = 0.806$$

MACCHINE ELETTRICHE	**16 settembre 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Le condizioni di funzionamento di un trasformatore monofase sono caratterizzate dai seguenti dati:

tensione di alimentazione	10 kV	
corrente assorbita dalla rete	8.5 A	
ritardo della corrente rispetto alla tensione	39.12°	
rendimento	97.22 %	
caduta di tensione interna	3.72 %	rispetto alla tensione di alimentazione

Sapendo che nel funzionamento a vuoto alla tensione di 11 kV la macchina assorbe una corrente e una potenza pari rispettivamente a 0.33 A e 726 W, determinare:

1) i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato;
2) la tensione secondaria riferita al primario e il suo sfasamento rispetto alla tensione di alimentazione.

TEORIA

1) F.m.m. prodotta da un avvolgimento concentrato percorso da corrente continua.

2) Macchina asincrona trifase: determinazione della caratteristica meccanica nel funzionamento come motore.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 166.6 kΩ	X_0 = 34.0 kΩ
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 18.0 Ω	X' = 41.2 Ω
Tensione secondaria	V_{12} = 9675 V	φ_{12} = −1.05°

A vuoto

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_{Fev}}{V_{1v}\cdot I_{0v}} = 0.200 \qquad \bar{\mathbf{I}}_{0v} = I_{0v}\angle -\varphi_0 = 0.33\angle -78.46° = 0.066 - j0.323 \text{ A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{1v}}{\bar{\mathbf{I}}_{0v}} = 6.67 + j32.66 = 33.33\angle 78.46° \text{ kΩ}$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 166.67 \text{ kΩ} \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\,\varphi_0} = 34.02 \text{ kΩ}$$

A carico

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1\angle -\varphi_1 = 8.5\angle -39.12° = 6.595 - j5.363 \text{ A} \qquad \bar{\mathbf{I}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_0} = 0.060 - j0.294 = 0.300\angle -78.46° \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 6.535 - j5.069 = 8.27\angle -37.80° \text{ A}$$

$$P = V_1 I_1 \cos\varphi_1 = 65945 \text{ W} \qquad P_{Fe} = \left(\frac{V_1}{V_{1v}}\right)^2 P_{Fev} = 600 \text{ W} \qquad P_{Cu} = P(1-\eta) - P_{Fe} = 1233 \text{ W}$$

$$R' = \frac{P_{Cu}}{I_{12}^2} = 18.03 \text{ Ω} \qquad \Delta V_{1Zcc} = \frac{\Delta v_{1Zcc\%}}{100} V_1 = 372 \text{ V} \qquad Z_{1cc} = \frac{\Delta V_{1Zcc}}{I_{12}} = 44.98 \text{ Ω}$$

$$X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 41.21 \text{ Ω} \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = 18.03 + j41.21 = 44.98\angle 66.37° \text{ Ω}$$

$$\Delta\bar{\mathbf{V}}_{1Zcc} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}\cdot\bar{\mathbf{I}}_{12} = 326{,}72 + j177.87 = 372\angle 28.57° \text{ V}$$

$$\bar{\mathbf{V}}_{12} = \bar{\mathbf{V}}_1 - \Delta\bar{\mathbf{V}}_{1Zcc} = 9673 - j177.87 = 9675\angle -1.05° \text{ V}$$

MACCHINE ELETTRICHE	**18 dicembre 2015**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____

ESERCIZIO

Un motore asincrono trifase con le seguenti caratteristiche:

tensione nominale	V_{1n} = 380 V	Numero poli	$2p$ = 4
scorrimento nominale	s_n = 2.6%	Frequenza	f = 50 Hz

è stato sottoposto ad una prova a vuoto a tensione nominale e ad una prova a rotore bloccato a tensione ridotta V_{1cc} = 80 V che ha fornito i seguenti dati:

Prova a vuoto		*Prova a rotore bloccato*	
corrente assorbita	I_0 = 11.2 A	corrente assorbita	I_{1cc} = 43.2 A
potenza assorbita	P_0 = 1.5 kW	potenza assorbita	P_{1cc} = 1.8 kW

Inoltre, alimentato a tensione nominale e trascinato alla velocità n_R=2930 giri/min nella stessa direzione del campo rotante, non assorbe né eroga potenza elettrica.

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato R_0, X_0, R_{12}, X;
- i valori nominali della coppia e della corrente assorbita;
- il rendimento nel funzionamento nominale.

TEORIA

1) Autotrasformatore monofase.

2) Fenomeni legati al funzionamento a carico in un generatore sincrono.

RITIRATO |_| Firma _____

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____

RISULTATI ESERCIZIO

Dati d'ingresso

$V_{1n} := 380\ V$ $\quad s_n := 2.6\ \%$ $\quad p := 2$ $\quad f := 50\ Hz$

$I_{0m} := 11.2\ A$ $\quad P_0 := 1.5\ kW$

$V_{1cc} := 80\ V$ $\quad I_{1ccm} := 43.2\ A$ $\quad P_{1cc} := 1.8\ kW$ $\quad n_R := 2930\ rpm$

Soluzione

Velocità sincrona

$$\omega_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = 157.0796\ s^{-1} \qquad n_0 := 1500\ rpm$$

Fattore di potenza ed impedenza a vuoto

$$\cos\varphi_0 := \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_{0m}} = 0.203 \qquad \varphi_0 := \operatorname{acos}\left(\cos\varphi_0\right) = 78.259\ deg \qquad Z_0 := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{0m}} = 19.59\ \Omega$$

Resistenza e reattanza a vuoto

$$R_0 := \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 96.27\ \Omega \qquad X_0 := \frac{Z_0}{\sin\left(\varphi_0\right)} = 20.01\ \Omega$$

Corrente a vuoto a V1n e V1cc

$$I_0 := I_{0m} \cdot \exp\left(-i \cdot \varphi_0\right) = \left(2.279 - 10.966 \cdot i\right) A \qquad I_{0cc} := I_0 \cdot \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} = \left(0.48 - 2.309 \cdot i\right) A$$

Fattore di potenza e corrente a rotore bloccato

$$\cos\varphi_{1cc} := \frac{P_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1cc} \cdot I_{1ccm}} = 0.3007 \qquad \varphi_{1cc} := \operatorname{acos}\left(\cos\varphi_{1cc}\right) = 72.5002\ deg$$

$$I_{1cc} := I_{1ccm} \cdot \exp\left(-i \cdot \varphi_{1cc}\right) = \left(12.99 - 41.201 \cdot i\right) A$$

$$I_{12cc} := I_{1cc} - I_{0cc} = \left(12.511 - 38.892 \cdot i\right) A \qquad I_{12ccm} := \left|I_{12cc}\right| = 40.85\ A$$

Perdite negli avvolgimenti e resistenza totale Rt=R1+R12

$$P_{0cc} := \left(\frac{V_{1cc}}{V_{1n}}\right)^2 \cdot P_0 = 66.48\ W \qquad P_{epcc} := P_{1cc} - P_{0cc} = 1733.52\ W \qquad R_t := \frac{P_{epcc}}{3 \cdot I_{12ccm}^2} = 0.35\ \Omega$$

Reattanza di dispersione

$$X := \sqrt{\left(\frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} \cdot I_{12ccm}}\right)^2 - R_t^2} = 1.08\ \Omega$$

Resistenze R1 e R12

$$s_R := \frac{n_0 - n_R}{n_0} = -0.9533 \qquad R_{12} = \left(-s_R\right) \cdot R_1 \qquad R_t = R_1 \cdot \left(1 - s_R\right)$$

$$R_1 := \frac{R_t}{1 - s_R} = 0.18\ \Omega$$

$$R_{12} := R_t - R_1 = 0.17\ \Omega$$

Impedenza di fase e correnti in condizioni nominali

$$Z_{fn} := \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 6.76\ \Omega \qquad \varphi_{12n} := \operatorname{atan}\left(\frac{X}{R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}}\right) = 9.1581\ deg \qquad I_{12nm} := \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\cdot Z_{fn}} =$$

$$I_{12n} := I_{12nm}\cdot \exp\left(-i\cdot\varphi_{12n}\right) = (32.03 - 5.16\cdot i)\ A \qquad I_{1n} := I_{12n} + I_0 = (34.31 - 16.13\cdot i)\ A$$

$$I_{1nm} := \left|I_{1n}\right| = 37.91\ A \qquad \varphi_{1n} := \arg\left(\frac{I_{1n}}{1\ A}\right) = -25.1786\ deg$$

Velocità, potenza e coppia nominali

$$n_n := n_0\cdot\left(1 - s_n\right) = 1461\ rpm \qquad P_n := 3\cdot R_{12}\cdot\frac{1 - s_n}{s_n}\cdot I_{12nm}^{\ 2} = 19989.1\ W$$

$$\Omega_n := \Omega_0\cdot\left(1 - s_n\right) = 152.9956\ s^{-1} \qquad C_n := \frac{P_n}{\Omega_n} = 130.65\ Nm$$

Rendimento

$$\eta := \frac{P_n}{\sqrt{3}\cdot V_{1n}\cdot I_{1nm}\cdot\cos\left(\varphi_{1n}\right)} = 0.8852$$