MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**25 gennaio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Dal diagramma circolare a tensione nominale di un motore asincrono trifase (V_{1n} = 380 V, $2p$ = 4, f = 50 Hz) sono stati ricavati i seguenti dati:

scorrimento	0	1
corrente assorbita	8.50 A	84.40 A
potenza assorbita	820 W	25405 W
coppia	-	68.34 Nm

Determinare:

- i parametri del circuito equivalente semplificato (R_0, X_0, R_1, R_{12}, X);
- il rendimento nominale, sapendo che la velocità nominale è pari a 1420 giri/min.

TEORIA

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

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

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO

Resistenza e reattanza a vuoto	$R_0 = 176\ \Omega$	$X_0 = 26\ \Omega$	
Resistenze e reattanza di corto circuito	$R_1 = 0.791\ \Omega$	$R_{12} = 0.613\ \Omega$	$X = 2.505\ \Omega$
Rendimento	$\eta_n = 0.826$		

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1500 \text{ giri/ min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 157.08 \text{ s}^{-1}$$

s=0

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_{1n} I_0} = 0.147 \qquad \bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 8.50 \angle -81.57° = 1.246 - j8.408 \text{ A}$$

$$Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\, I_0} = 25.811\ \Omega \qquad R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 176\ \Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\,\varphi_0} = 26\ \Omega$$

s=1

$$\cos\varphi_{1cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{1n} I_{1cc}} = 0.457 \qquad \bar{\mathbf{I}}_{1cc} = I_{1cc} \angle -\varphi_{1cc} = 84.40 \angle -62.78° = 38.60 - j75.06 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12cc} = \bar{\mathbf{I}}_{1cc} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 37.35 - j66.65 = I_{12cc} \angle -\varphi_{12cc} = 76.40 \angle -60.73° \text{ A}$$

$$P_{ep2} = P_t = C_a \Omega_0 = 10735 \text{ W} \qquad R_{12} = \frac{P_{ep2}}{3 I_{12cc}^2} = 0.613\ \Omega$$

$$P_{ep1} = P_{cc} - P_0 - P_{ep2} = 13850 \text{ W} \qquad R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 I_{12cc}^2} = 0.791\ \Omega \qquad R = R_1 + R_{12} = 1.404\ \Omega$$

$$Z_{1cc} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\, I_{12cc}} = 2.872\ \Omega \qquad X = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R^2} = 2.505\ \Omega$$

In condizioni nominali

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 0.0533 \qquad Z_{1n} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 12.538\ \Omega \qquad I_{12n} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}\, Z_{1n}} = 17.50 \text{ A}$$

$$P_n = 3 R_{12} \frac{1 - s_n}{s_n} I_{12n}^2 = 9995 \text{ W} \qquad P_{ep} = 3 R I_{12n}^2 = 1290 \text{ W} \qquad P_p = P_{ep} + P_0 = 2110 \text{ W}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + P_p} = 0.826$$

MACCHINE ELETTRICHE - ESERCIZI	**29 gennaio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Elettrotecnica |_| Energetica |_| Elettrica V.O. |_|	6 / 7 CFU |_| 9 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Il funzionamento di un trasformatore monofase è caratterizzato dai seguenti valori:

A vuoto	tensione di alimentazione	V_{10} = 6 kV	
	corrente e potenza assorbita	I_0 = 0.258 A	P_0 = 340 W
A carico	tensione di alimentazione	V_1 = 5.5 kV	
	corrente assorbita	I_1 = 6.807 A	$\cos\varphi_1$ = 0.583 in ritardo

Sapendo che a carico la macchina funziona con rendimento del 96.28 % e con caduta di tensione interna pari al 3.45 % della tensione di alimentazione, determinare:

- i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato;
- la tensione V_{12} nel funzionamento a carico.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase a rotore avvolto (V_{1n} = 380 V, f = 50 Hz, $2p$ = 4) è stato sottoposto a tre prove ottenendo i seguenti risultati:

Prova a vuoto a tensione nominale	potenza assorbita	P_0 = 1599 W
Prova a rotore bloccato a tensione ridotta	corrente di rotore	I_{12cc} = 49.00 A
	perdite nel rame	P_{ep} = 2010 W
Prova a carico a tensione nominale	velocità	n = 1455 giri/min
	perdite nel rame di statore	P_{ep1} = 870 W
	perdite nel rame di rotore	P_{ep2} = 863 W

Determinare:

- i parametri R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
- la coppia e il rendimento nel funzionamento a carico.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____
	Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 105.88 kΩ	X_0 = 23.84 kΩ	
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 12.11 Ω	X' = 26.12 Ω	
Tensione secondaria	V_{12} = 5314 V		

ESERCIZIO N.2

Coppia e rendimento	C = 183 Nm	η = 0.893	
Resistenze e reattanza	R_1 = 140 mΩ	R_{12} = 139 mΩ	X = 691 mΩ

ESERCIZIO N.1

A vuoto

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{V_{10}\cdot I_0} = 0.220 \qquad \bar{\mathbf{I}}_0 = I_0\ \angle -\varphi_0 = 0.258\angle -77.31° = 0.057 - j0.252\ \text{A}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{10}}{\bar{\mathbf{I}}_0} = 5.11 + j22.69 = 23.26\angle 77.31°\ \text{k}\Omega$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 105.88\ \text{k}\Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0} = 23.84\ \text{k}\Omega$$

A carico

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1\ \angle -\varphi_1 = 6.807\angle -54.35° = 3.967 - j5.531\ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = \frac{\bar{\mathbf{V}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_0} = 0.052 - j0.231 = 0.237\angle -77.31°\ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 3.915 - j5.301 = 6.590\angle -53.55°\ \text{A}$$

$$P = V_1 I_1 \cos\varphi_1 = 21820\ \text{W} \qquad P_{Fe} = \left(\frac{V_1}{V_{10}}\right)^2 P_0 = 286\ \text{W} \qquad P_{Cu} = P(1-\eta) - P_{Fe} = 526\ \text{W}$$

$$R' = \frac{P_{Cu}}{I_{12}^2} = 12.11\ \Omega \qquad \Delta V_{1Zcc} = \frac{\Delta v_{1Zcc\%}}{100} V_1 = 189.75\ \text{V} \qquad Z_{1cc} = \frac{\Delta V_{1Zcc}}{I_{12}} = 28.79\ \Omega$$

$$X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 26.12\ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = 12.11 + j26.12 = 28.79\angle 65.12°\ \Omega$$

$$\Delta\bar{\mathbf{V}}_{1Zcc} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}\cdot\bar{\mathbf{I}}_{12} = 185.89 + j38.07 = 189.75\angle 11.58°\ \text{V}$$

$$\bar{\mathbf{V}}_{12} = \bar{\mathbf{V}}_1 - \Delta\bar{\mathbf{V}}_{1Zcc} = 5314.11 - j38.07 = 5314.25\angle -0.41°\ \text{V}$$

ESERCIZIO N.2

$$n_0 = \frac{60 f}{p} = 1500\ \text{giri/min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 157.08\ \text{s}^{-1}$$

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} = 152.37\ \text{s}^{-1} \qquad s = \frac{n_0 - n}{n_0} = 0.03$$

Coppia e rendimento

$$C = 3\frac{R_{12}}{s\Omega_0} I_{12}^2, \quad P_{ep2} = 3R_{12}I_{12}^2 \qquad \Rightarrow \qquad C = \frac{P_{ep2}}{s\Omega_0} = 183\ \text{Nm}$$

$$P_m = C\cdot\Omega = 27904\ \text{W} \qquad P_p = P_0 + P_{ep1} + P_{ep2} = 3332\ \text{W}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_p} = 0.893$$

Parametri circuito equivalente

$$\frac{P_{ep1}}{P_{ep2}} = \frac{3R_1 I_{12}^2}{3R_{12}I_{12}^2} = \frac{R_1}{R_{12}} = 1.008 \qquad \Rightarrow \qquad R_1 = 1.008\cdot R_{12}$$

$$P_{ep} = 3(R_1 + R_{12})I_{12cc}^2 \qquad \Rightarrow \qquad R_1 + R_{12} = \frac{P_{ep}}{3I_{12cc}^2} = 0.279$$

$$R_1 = 0.140\,\Omega \qquad R_{12} = 0.139\ \Omega$$

$$I_{12} = \sqrt{\frac{P_{ep2}}{3R_{12}}} = 45.50\ \text{A} \qquad Z_{1f} = \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{I_{12}} = 4.822\ \Omega \qquad X = \sqrt{Z_{1f}^2 - \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s}\right)^2} = 0.691\ \Omega$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**5 febbraio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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

2) Generatore sincrono trifase: posizione relativa tra f.m.m. di eccitazione e f.m.m. di reazione di indotto.

3) Motore a corrente continua con eccitazione indipendente: schema di principio, equazioni di funzionamento, espressione della coppia.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**20 febbraio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Di un trasformatore trifase sono noti i seguenti dati:

potenza nominale	P_n = 160 kVA
tensione primaria nominale	V_{1n} = 20 kV
tensione secondaria nominale	V_{2n} = 400 V
perdite a vuoto	P_0 = 896 W
potenza reattiva a vuoto	Q_0 = 3897 VAR
perdite in corto circuito	P_{cc} = 1821 W

La macchina è alimentata alla tensione nominale e funziona con rendimento del 98.30 %, erogando una potenza apparente pari a 131.775 kVA con fattore di potenza 0.956 in ritardo.
Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

1) la corrente a vuoto $i_{0\%}$;
2) la corrente e la tensione sul carico;
3) la tensione di corto circuito $v_{cc\%}$.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase ($2p$ = 4, f = 50 Hz, collegamento fasi statore a stella) viene avviato senza alcun carico all'albero applicando ai morsetti la tensione nominale V_{1n} = 380 V.
Quando la macchina durante l'avviamento raggiunge la velocità n' = 1126 giri/min, essa assorbe la massima potenza elettrica attiva P' = 107464 W.
Alla fine dell'avviamento la macchina assorbe la potenza attiva P'' = 1599 W e la corrente I'' = 12.495 A.
Sapendo che la resistenza di una fase di statore è pari a R_1 = 0.140 Ω, determinare:

- i parametri R_0, X_0, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
- la corrente assorbita quando la macchina assorbe la massima potenza elettrica attiva;
- la potenza nominale, sapendo che la velocità nominale è pari a 1455 giri/min.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Corrente a vuoto	$i_{0\%}$ = 2.50 %	
Corrente e tensione sul carico	I_2 = 193.80 A	V_2 = 393 V
Tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$= 4.01 %	

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza a vuoto	R_0 = 90.3 Ω	X_0 = 17.9 Ω
Resistenze e reattanza di corto circuito	R_{12} = 0.135 Ω	X = 0.682 Ω
Corrente assorbita	I' = 237.96 A	
Potenza nominale	P_n = 28.63 kW	

ESERCIZIO N.1

$$I_{1n}=\frac{P_n}{\sqrt{3}V_{1n}}=4.62\ \text{A} \qquad K=\frac{V_{1n}}{V_{2n}}=50$$

$$S_0=\sqrt{P_0^2+Q_0^2}=3999\ \text{VA} \qquad I_0=\frac{S_0}{\sqrt{3}V_{1n}}=0.115\ \text{A} \qquad i_{0\%}=\frac{I_0}{I_{1n}}100=2.50\ \%$$

$$R'=\frac{P_{cc}}{3I_{1n}^2}=28.45\ \Omega \qquad P=S\cdot\cos\varphi_e=125977\ \text{W} \qquad P_p=P\frac{1-\eta}{\eta}=2179\ \text{W}$$

$$P_{ep}=P_p-P_0=1282\ \text{W} \qquad \alpha=\sqrt{\frac{P_{ep}}{P_{cc}}}=0.839 \qquad I_{12}=\alpha\cdot I_{1n}=3.88\ \text{A}$$

$$I_2=I_{12}\cdot K=193.80\ \text{A} \qquad V_{12}=\frac{S}{\sqrt{3}I_{12}}=19628\ \text{V} \qquad V_2=\frac{V_{12}}{K}=393\ \text{V}$$

$$\Delta V_{12}=V_{1n}-V_{12}=372\ \text{V} \qquad X'=\frac{\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}I_{12}}-R'\cos\varphi_e}{\operatorname{sen}\varphi_e}=96.06\ \Omega$$

$$Z_{1cc}=\sqrt{R'^2+X'^2}=100.18\ \Omega \qquad V_{1cc}=\sqrt{3}Z_{1cc}I_{1n}=801\ \text{V} \qquad v_{cc\%}=\frac{V_{1cc}}{V_{1n}}100=4.01\ \%$$

ESERCIZIO N.2

$$\Omega_0=\frac{2\pi f}{p}=157.08\ \text{s}^{-1}$$

A vuoto

$$P_0=P'' \qquad I_0=I'' \qquad \cos\varphi_0=\frac{P_0}{\sqrt{3}V_{1n}I_0}=0.194 \qquad Z_0=\frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{I_0}=17.56\ \Omega$$

$$R_0=\frac{Z_0}{\cos\varphi_0}=90.31\ \Omega \qquad R_0=\frac{Z_0}{\operatorname{sen}\varphi_0}=17.90\ \Omega$$

Alla massima potenza elettrica

$$s=\frac{\Omega_0-\frac{2\pi n'}{60}}{\Omega_0}=0.2493 \qquad P_{12}=P'-P_0=105865\ \text{W}$$

Figura pag.398: $\varphi_{12}=45° \quad\Rightarrow\quad \cos\varphi_{12}=\frac{\sqrt{2}}{2} \qquad I_{12}=\frac{P_{12}}{\sqrt{3}V_{1n}\cos\varphi_{12}}=227.46\ \text{A}$

$$R_s=R_1+\frac{R_{12}}{s}=\frac{P_{12}}{3I_{12}^2}=0.682\ \Omega \qquad \varphi_{12}=45°\quad\Rightarrow\quad X=R_s=0.682\ \Omega$$

$$R_{12}=s(R_s-R_1)=0.135\ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0=I_0(\cos\varphi_0-j\sin\varphi_0)=2.43-j12.26\ \text{A} \qquad \bar{\mathbf{I}}_{12}=I_{12}(\cos\varphi_{12}-j\sin\varphi_{12})=160.85-j160.85\ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_1=\bar{\mathbf{I}}_{12}+\bar{\mathbf{I}}_0=163.28-j173.10=237.96\angle-46.67°\ \text{A}$$

In condizioni nominali

$$\Omega_n=\frac{2\pi n_n}{60}=152.37\ s^{-1} \qquad s_n=\frac{\Omega_0-\Omega_n}{\Omega_0}=0.030$$

$$Z_{1fn}=\sqrt{\left(R_1+\frac{R_{12}}{s_n}\right)^2+X^2}=4.694\ \Omega \qquad I_{12n}=\frac{V_1/\sqrt{3}}{Z_{1fn}}=46.73\ \text{A}$$

$$C_n=3\frac{R_{12}}{s_n\Omega_0}I_{12n}^2=188\ \text{Nm} \qquad P_n=C_n\cdot\Omega_n=28631\ \text{W}$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**27 febbraio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Trasformatore monofase: caduta di tensione interna e variazione di tensione da vuoto a carico.

2) Generatore sincrono trifase: diagramma delle due reattanze.

3) Caratteristica meccanica della macchina asincrona trifase.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**20 giugno 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Il funzionamento di un trasformatore monofase è caratterizzato dai seguenti dati:

tensione di alimentazione	$V_1 = 350$ V	
corrente assorbita	$I_1 = 27.19$ A	$\cos \varphi_1 = 0.765$ in ritardo
rendimento	$\eta_{\%} = 96.36$ %	
caduta di tensione interna	$\Delta v_{Zcc\%} = 4.15\%$	rispetto alla tensione di alimentazione

Sapendo che in una prova a vuoto erano stati misurati i seguenti valori:

tensione primaria di alimentazione	$V_{10} = 380$ V
corrente assorbita	$I_0 = 1.20$ A
potenza assorbita	$P_0 = 100$ W

determinare:

1) i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato;
2) l'impedenza di carico $\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = R_{1e} + jX_{1e}$.

ESERCIZIO N.2

Un generatore asincrono trifase ($2p = 4$) è collegato a una rete trifase di potenza infinita con tensione $V_1 = 380$ V e frequenza $f = 50$ Hz. Le condizioni di funzionamento sono le seguenti:

velocità	n	= 1545 giri/min
corrente erogata	I_1	= 49.72 A
potenza meccanica assorbita	P_m	= 34.37 kW
rendimento	$\eta_{\%}$	= 94.07 %

Determinare:

1) i parametri R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
2) la coppia massima e la relativa velocità;
3) la massima velocità alla quale la macchina può funzionare come generatore.

Si trascuri la corrente a vuoto.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza a vuoto	$R_0 = 1444\ \Omega$	$X_0 = 325\ \Omega$
Resistenza e reattanza di corto circuito	$R' = 0.26\ \Omega$	$X' = 0.49\ \Omega$
Impedenza di carico	$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = R_{1e} + jX_{1e} = 10.13 + j7.81$	

ESERCIZIO N.2

Parametri circuito equivalente	$R_1 = 0.140\ \Omega$	$R_{12} = 0.135\ \Omega$	$X = 0.682\ \Omega$
Coppia massima e velocità	$C'_M = -827$ Nm	$n'_M = 1791$ giri/min	
Velocità generatore → freno	$n_R = 2948$ giri/min		

ESERCIZIO N.1

A vuoto

$\cos\varphi_0 = \dfrac{P_0}{V_{10}\cdot I_0} = 0.219$ $\qquad$ $\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0\ \angle -\varphi_0 = 1.20\angle -77.33° = 0.263 - j1.171$ A

$\dot{\mathbf{Z}}_0 = \dfrac{\overline{\mathbf{V}}_{10}}{\bar{\mathbf{I}}_0} = 69.44 + j308.96 = 316.67\angle 77.33°\ \Omega$

$R_0 = \dfrac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 1444\ \Omega$ $\qquad$ $X_0 = \dfrac{Z_0}{\operatorname{sen}\varphi_0} = 325\ \Omega$

A carico

$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1\ \angle -\varphi_1 = 27.19\angle -40.06° = 20.81 - j17.50$ A

$\bar{\mathbf{I}}_0 = \dfrac{\overline{\mathbf{V}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_0} = 0.242 - j1.078 = 1.105\angle -77.33°$ A

$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 20.57 - j16.42 = 26.32\angle -38.60°$ A

$P = V_1 I_1 \cos\varphi_1 = 7284$ W $\qquad$ $P_{Fe} = \left(\dfrac{V_1}{V_{10}}\right)^2 P_0 = 85$ W $\qquad$ $P_{Cu} = P(1-\eta) - P_{Fe} = 180$ W

$R' = \dfrac{P_{Cu}}{I_{12}^2} = 0.260\ \Omega$ $\qquad$ $\Delta V_{1Zcc} = \dfrac{\Delta v_{1Zcc\%}}{100} V_1 = 14.52$ V $\qquad$ $Z_{1cc} = \dfrac{\Delta V_{1Zcc}}{I_{12}} = 0.552\ \Omega$

$X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 0.487\ \Omega$ $\qquad$ $\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = 0.260 + j0.487 = 0.552\angle 61.86°\ \Omega$

$\Delta\overline{\mathbf{V}}_{1Zcc} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}\cdot\bar{\mathbf{I}}_{12} = 13.34 + j5.74 = 14.52\angle 23.26°$ V

$\overline{\mathbf{V}}_{12} = \overline{\mathbf{V}}_1 - \Delta\overline{\mathbf{V}}_{1Zcc} = 336.76 - j5.74 = 336.70\angle -0.98°$ V

$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = \dfrac{\overline{\mathbf{V}}_{12}}{\bar{\mathbf{I}}_{12}} = 10.132 + j7.810 = 12.793\angle 37.63°\ \Omega$

ESERCIZIO N.2

$n_0 = \dfrac{60\,f}{p} = 1500$ giri / min $\qquad$ $\Omega_0 = \dfrac{2\pi n_0}{60} = 157.08$ s^{-1} $\qquad$ $I_{12} = I_1 = 49.72$ A

Convenzione del motore

$s = \dfrac{n_0 - n}{n_0} = -0.03$ $\qquad$ $P_m = -34.37$ kW $\qquad$ $P_e = \eta\cdot P_m = -32.33$ kW

$P_m = 3R_{12}\dfrac{1-s}{s} I_{12}^2 = \dfrac{1-s}{s}\cdot P_{ep2}$ $\quad\Rightarrow\quad$ $P_{ep2} = \dfrac{P_m}{\dfrac{1-s}{s}} = 1001$ W $\qquad$ $R_{12} = \dfrac{P_{ep2}}{3I_{12}^2} = 0.135\ \Omega$

$P_{ep} = P_e - P_m = 2038$ W $\qquad$ $P_{ep1} = P_{ep} - P_{ep2} = 1037$ kW $\qquad$ $R_1 = \dfrac{P_{ep1}}{3I_{12}^2} = 0.140\ \Omega$

$Z_{1f}^2 = \dfrac{V_1^2}{3I_{12}^2} = 19.471\ \Omega^2$ $\qquad$ $X = \sqrt{Z_{1f}^2 - \left(R_1 + \dfrac{R_{12}}{s}\right)^2} = 0.682\ \Omega$

$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 0.696\ \Omega$ $\qquad$ $C'_M = -\dfrac{V_1^2}{2\Omega_0(Z - R_1)} = -827$ Nm $\qquad$ $s'_M = -\dfrac{R_{12}}{Z} = -0.194$

$n'_M = n_0(1 - s'_M) = 1791$ giri/ min $\qquad$ $s_R = -\dfrac{R_{12}}{R_1} = -0.965$ $\qquad$ $n_R = n_0(1 - s_R) = 2948$ giri/ min

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**27 giugno 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Trasformatore monofase: relazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento in corto circuito. Tensione di corto circuito.

2) Diagramma circolare di una macchina asincrona trifase: individuazione della coppia e delle potenze in due punti di funzionamento, uno come motore e uno come generatore.

3) Motore a corrente continua con eccitazione indipendente dotato di avvolgimenti compensatori: caratteristiche elettromeccaniche e meccanica.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

MACCHINE ELETTRICHE - ESERCIZI	**17 luglio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Elettrotecnica |_| Energetica |_| Elettrica V.O. |_|	6 / 7 CFU |_| 9 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

I parametri dei circuito equivalente semplificato riferito al secondario di un trasformatore trifase (P_n = 15 kVA, V_{2n} = 2.5 kV) sono i seguenti:

resistenza e reattanza a vuoto	R_{20} = 34.72 kΩ	X_{20} = 10.92 kΩ
resistenza e reattanza di corto circuito	R'' = 11.11 Ω	X'' = 22.39 Ω

Determinare $i_{0\%}$, $v_{cc\%}$ e i fattori di potenza a vuoto e di corto circuito.
Le condizioni di funzionamento della macchina sono caratterizzate dai seguenti dati:

tensione sul carico	$V_2 = V_{2n}$
potenza erogata al carico	S = 13619 VA
fattore di potenza del carico	$\cos\varphi_e$ = 0.850 in ritardo

Determinare il grado di carico e il rendimento.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase a rotore avvolto con dati:

tensione nominale	V_{1n} = 380 V
frequenza	f = 50 Hz
coppie polari	p = 3
velocità nominale	n_n = 975.6 giri/min
perdite a vuoto a tensione nominale	P_0 = 2063 W
corrente a vuoto a tensione nominale	I_0 = 14.96 A

è alimentato alla tensione nominale.
Inizialmente la macchina, con rotore in corto circuito, funziona con coppia C'_M = 1947 Nm pari a quella massima.
Successivamente viene inserita una resistenza rotorica addizionale pari a quella di una fase di rotore e il funzionamento del motore alla coppia massima è ora caratterizzato dai seguenti dati:

corrente assorbita	I''_{1M} = 484.54 A
fattore di potenza della corrente	$\cos\varphi''_{1M}$ = 0.751
velocità	n''_M = 802.8 giri/min

Determinare:

- i parametri R_0, X_0, R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
- la velocità n'_M e la corrente assorbita I'_{1M} con rotore in corto circuito;
- il rendimento η' alla velocità nominale con rotore in corto circuito;
- il rendimento η'' alla velocità nominale con la resistenza addizionale inserita.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Corrente a vuoto e fattore di potenza a vuoto	$i_{0\%}$ = 4.00 %	$\cos\varphi_0$ = 0.300
Tensione di corto circuito e fattore di potenza di corto circuito	$v_{cc\%}$ = 6.00 %	$\cos\varphi_{cc}$ = 0.444
Grado di carico e rendimento	α = 0.908	η = 0.956

ESERCIZIO N.2

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 70 Ω	X_0 = 15 Ω	
Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 50 mΩ	R_{12} = 30 mΩ	X = 300 mΩ
velocità e corrente con rotore in corto circuito	n'_M = 901.4 giri/min	I'_{1M} = 484.54 A	
Rendimento	η' = 0.920	η" = 0.923	

ESERCIZIO N.1

$$I_{2n}=\frac{P_n}{\sqrt{3}V_{2n}}=3.464\ \text{A} \qquad I_{2a}=\frac{V_{2n}}{\sqrt{3}R_{20}}=0.042\ \text{A} \qquad I_{2\mu}=\frac{V_{2n}}{\sqrt{3}X_{20}}=0.132\ \text{A}$$

$$I_{20}=\sqrt{I_{2a}^2+I_{2\mu}^2}=0.139\ \text{A} \qquad i_{0\%}=\frac{I_{20}}{I_{2n}}100=4.00\ \% \qquad \cos\varphi_0=\frac{I_{2a}}{I_{20}}=0.300$$

$$\mathrm{Z}_{2cc}=\sqrt{R''^2+jX''^2}=24.99\ \Omega \qquad V_{2cc}=\sqrt{3}Z_{2cc}I_{2n}=150\ \text{V} \qquad v_{cc\%}==\frac{V_{2cc}}{V_{2n}}100=6.00\ \%$$

$$\cos\varphi_{cc}=\frac{R''}{Z_{2cc}}=0.444$$

Funzionamento a carico

$$I_2=\frac{S}{\sqrt{3}\,V_2}=3.145\ \text{A} \qquad a=\frac{I_2}{I_{2n}}=0.908 \qquad \Delta V_{21}=\sqrt{3}\,I_2\left(R''\cos\varphi_e+X''\text{sen}\varphi_e\right)=116\ \text{V}$$

$$V_{21}=V_2+\Delta V_{21}=2616\ \text{V}$$

Soluzione esatta

$$\dot{\mathbf{Z}}_e=\frac{V_2}{\sqrt{3}I_2}\angle\varphi_e=459\angle 31.79°=390+j242\ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{2cc}=R''+jX''=11.11+j22.39\ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{2tot}=\dot{\mathbf{Z}}_{2cc}+\dot{\mathbf{Z}}_e=401+j264=481\angle 33.36°\ \Omega \qquad V_{21}=\sqrt{3}Z_{2tot}I_2=2617\ \text{V}$$

$$P=S\cdot\cos\varphi_e=11576\ \text{W} \qquad P_0=3R_{20}I_{2a}^2=180\ \text{W} \qquad P_{Fe}=\left(\frac{V_{21}}{V_{2n}}\right)^2P_0=197\ \text{W}$$

$$P_{Cu}=3R''I_2^2=330\ \text{W} \qquad \eta=\frac{P}{P+P_{Fe}+P_{Cu}}=0.956$$

ESERCIZIO N.2

$$n_0=\frac{60\,f}{p}=1000\ \text{giri/min} \qquad \Omega_0=\frac{2\pi n_0}{60}=104.72\ \text{s}^{-1} \qquad s_n=\frac{n_0-n_n}{n_0}=0.024$$

A vuoto

$$\cos\varphi_0=\frac{P_0}{\sqrt{3}V_{1n}I_0}=0.210 \qquad Z_0=\frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{I_0}=14.665\ \Omega \qquad R_0=\frac{Z_0}{\cos\varphi_0}=70\ \Omega$$

$$X_0=\frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0}=15\ \Omega$$

Alla coppia massima con $2R_{12}$

$$\bar{\mathbf{I}}''_{1M}=I''_{1M}\ \angle-\varphi''_{1M}=484.54\angle-41.32°=363.89-j319.94\ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0=I_0\ \angle-\varphi_0=14.960\angle-77.91°=3.134-j14.628\,\text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}''_{12M}=\bar{\mathbf{I}}''_{1M}-\bar{\mathbf{I}}_0=360.76-j305.31=472.61\angle-40.24°\,\text{A}$$

$$C''_M=C'_M \qquad s''_M=\frac{n_0-n''_M}{n_0}=0.197$$

$$C''_M=3\frac{2\cdot R_{12}}{s''_M\,\Omega_0}I''^2_{12M}, \quad s''_M=\frac{2\cdot R_{12}}{Z} \quad\Rightarrow\quad Z=\frac{C''_M\,\Omega_0}{3I''^2_{12M}}=0.304\ \Omega$$

$$C''_M=\frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0(R_1+Z)} \quad\Rightarrow\quad R_1=\frac{V_{1n}^2}{C''_M\,2\Omega_0}-Z=0.050\ \Omega \qquad X=\sqrt{Z^2-R_1^2}=0.300\ \Omega$$

$$R_{12} = \frac{s''_M \, Z}{2} = 0.030 \ \Omega$$

Alla coppia massima con R_{12}

$$s'_M = \frac{R_{12}}{Z} = 0.099 \qquad n'_M = n_0(1 - s'_M) = 901.4 \text{ giri/min}$$

Alla coppia massima l'impedenza di fase non dipende dallo scorrimento; quindi:

$$I'_{12M} = I''_{12M} \quad \Rightarrow \quad I'_{1M} = I''_{1M}$$

Rendimento con R_{12} (rendimento nominale)

$$Z_{1fn} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 1.314 \ \Omega \qquad I_{12n} = \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{Z_{1fn}} = 166.95 \text{ A}$$

$$P_n = 3R_{12}\frac{1 - s_n}{s_n} I_{12n}^2 = 100301 \text{ W} \qquad P_{epn} = 3(R_1 + R_{12}) I_{12n}^2 = 6676 \text{ W}$$

$$P_{pn} = P_0 + P_{epn} = 8739 \text{ W} \qquad \eta_n = \frac{P_n}{P_n + P_{pn}} = 0.920$$

Rendimento con $2R_{12}$

$$Z_{1f} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{2R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 2.527 \ \Omega \qquad I_{12} = \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{Z_{1f}} = 86.82 \text{ A}$$

$$P_m = 3R_{12}\frac{1 - s_n}{s_n} I_{12}^2 = 54257 \text{ W} \qquad P_{ep} = 3(R_1 + R_{12}) I_{12}^2 = 2484 \text{ W}$$

$$P_p = P_0 + P_{ep} = 4547 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P_m}{P_m + P_p} = 0.923$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**24 luglio 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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

2) Motori asincroni trifase con rotore a gabbia speciale.

3) Reazione di indotto della macchina in corrente continua: f.m.m. prodotta dall'avvolgimento a collettore.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**26 agosto 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

In condizioni nominali il valore massimo del flusso utile nelle colonne di un trasformatore trifase (P_n = 450 kVA, f = 50 Hz) è pari a Φ_M = 27.72 mWb.
Sapendo che per ciascuna bobina primaria e secondaria valgono i seguenti dati:

	Primaria	*Secondaria*
numero di spire	N_1 = 1625	N_2 = 39
resistenza	R_{1b} = 4.444 Ω	R_{2b} = 4.480 mΩ
valore efficace del flusso disperso concatenato con ciascuna spira alla corrente nominale	Φ_{1d} = 0.123 mWb	Φ_{2d} = 0.385 mWb

valutare:

- la tensione e la corrente nominali delle bobine primarie;
- la tensione e la corrente nominali delle bobine secondarie;
- le perdite di corto circuito percentuali;
- la tensione di corto circuito percentuale.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase (f = 50 Hz, 2p = 4, statore collegato a stella) presenta i seguenti dati:

resistenza misurata tra due morsetti di statore R_{ab} = 80 mΩ
impedenza di corto circuito Z_{cc} = 410 mΩ $\cos\varphi_{cc}$ = 0.220

Con riferimento alle seguenti condizioni di funzionamento:

	A vuoto	*A carico*
tensione di alimentazione	V_1	V_1
corrente assorbita	16.44 A	171.37 A
fattore di potenza	0.229	0.927
potenza erogata	-	95 kW

determinare velocità, coppia, tensione e rendimento nel funzionamento a carico.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Tensione e corrente nominali bobine primarie	E_{1b} = 10 kV	I_{1b} = 15.0 A
Tensione e corrente nominali bobine secondarie	E_{2b} = 240 V	I_{2b} = 625.0 A
Perdite e tensione di corto circuito	$p_{cc\%}$ = 1.83 %	$v_{cc\%}$ = 3.18 %

ESERCIZIO N.2

Velocità	n = 1440 giri/min
Coppia	C = 630 Nm
Tensione	V_1 = 380 V
Rendimento	η = 0.908

ESERCIZIO N.1

$n = \frac{N_1}{N_2} = 41.667$ $\quad E_{1b} = 4.44\, f\, \Phi_M\, N_1 = 10$ kV $\quad E_{2b} = \frac{E_{1b}}{n} = 240$ V

$P_{nm} = \frac{P_n}{3} = 150$ kVA $\quad I_{1b} = \frac{P_{nm}}{E_{1b}} = 15$ A $\quad I_{2b} = I_{1b} \cdot n = 625$ A

$R_{1cc} = R_{1b} + n^2 R_{2b} = 12.222\ \Omega$ $\quad P_{ccm} = R_{1cc} I_{1b}^2 = R_{1b} I_{1b}^2 + R_{2b} I_{2b}^2 = 2750$ W

$p_{cc\%} = \frac{P_{ccm}}{P_{nm}} 100 = 1.83$ %

$L_{1b} = \frac{N_1 \Phi_{1d}}{I_{1b}} = 13.325$ mH $\quad X_{1b} = 2\pi\, f\, L_{1b} = 4.186\ \Omega$

$L_{2b} = \frac{N_2 \Phi_{2d}}{I_{2b}} = 0.024$ mH $\quad X_{2b} = 2\pi\, f\, L_{2b} = 7.547$ mΩ

$X_{1cc} = X_{1b} + n^2 X_{2b} = 17.289\ \Omega$ $\quad Z_{1cc} = \sqrt{R_{1cc}^2 + X_{1cc}^2} = 21.173\ \Omega$

$\cos\varphi_{cc} = \frac{R_{1cc}}{Z_{1cc}} = 0.577$ $\quad v_{cc\%} = \frac{p_{cc\%}}{\cos\varphi_{cc}} = 3.18$ %

ESERCIZIO N.2

$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1500$ giri/ min $\quad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 157.08\ s^{-1}$

$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0\ \angle -\varphi_0 = 16.44 \angle -76.76° = 3.76 - j16.00$ A

$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1\ \angle -\varphi_1 = 171.37 \angle -22.03° = 158.86 - j64.27$ A

$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 155.09 - j48.27 = 162.43 \angle -17.29°$ A $\quad R_1 = \frac{R_{ab}}{2} = 40$ mΩ

$R = Z_{cc} \cdot \cos\varphi_{cc} = 90$ mΩ $\quad X = \sqrt{Z_{cc}^2 - R^2} = 400$ mΩ

$R_{12} = R - R_1 = 50$ mΩ $\quad P_{ep2} = 3 R_{12} I_{12}^2 = 3974$ W $\quad P_t = P_m + P_{ep2} = 98974$ W

$s = \frac{P_{ep2}}{P_t} = 0.04$ $\quad n = n_0 (1 - s) = 1440$ giri/ min $\quad \Omega = \frac{2\pi n}{60} = 150.77\ s^{-1}$

$C = \frac{P_m}{\Omega} = 630$ Nm $\quad Z_f = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s}\right)^2 + X^2} = 1.351\ \Omega$

$V_1 = \sqrt{3} \cdot Z_f \cdot I_{12} = 380$ V

$P_e = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos\varphi_1 = 104581$ W $\quad \eta = \frac{P_m}{P_e} = 0.908$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**2 settembre 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Convertitori elettromeccanici: principio di conservazione dell'energia.

2) Trasformatore trifase Dy11: schema di collegamento, diagramma vettoriale tra le tensioni primarie e secondarie e corrispondente relazione di fase, relazione tra rapporto di trasformazione e rapporto spire.

3) Macchina sincrona a rotore liscio: diagramma polare.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**13 settembre 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

I parametri degli avvolgimenti di un trasformatore monofase con tensione di corto circuito pari al 5.6 % sono i seguenti:

resistenza e reattanza di dispersione del primario	$R_1 = 130$ mΩ	$X_1 = 650$ mΩ
resistenza e reattanza di dispersione del secondario	$R_2 = 7$ mΩ	$X_2 = 35$ mΩ

La macchina opera nelle seguenti condizioni di funzionamento:

Condizioni di funzionamento 1	tensione sul carico	$V_2 = V_{2n} = 250$ V
	grado di carico	$\alpha = 1.0$
	fattore di potenza del carico	$\cos\varphi_e = 0.800$ in ritardo
Condizioni di funzionamento 2	tensione di alimentazione	$V_1 = V_{1n} = 1100$ V
	grado di carico	$\alpha = 0.716$
	fattore di potenza del carico	$\cos\varphi_e = 0.882$ in ritardo

Determinare, trascurando la corrente a vuoto:

- il valore esatto della tensione di alimentazione e il rendimento percentuale nelle condizioni 1;
- la tensione sul carico, il grado di carico riferito alla potenza e il rendimento percentuale nelle condizioni 2.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase ($2p = 4$, $f = 50$ Hz) presenta i seguenti dati nominali:

tensione	V_{1n}	= 380 V
scorrimento	s_n	= 3.85 %
corrente	I_{1n}	= 13.987 A
fattore di potenza	$\cos\varphi_{1n}$	= 0.610

Alimentato a tensione nominale, il motore è in grado di sviluppare una coppia massima di 81.52 Nm alla velocità di 1176.6 giri/min.
Sapendo che le perdite nel rame di rotore sono uguali a quelle nel rame di statore, determinare:

1) la corrente a vuoto, in modulo e fase;
2) la tensione di alimentazione necessaria per movimentare il carico nominale alla velocità di 1430 giri/min;
3) il rendimento nelle condizioni di funzionamento di cui al punto precedente.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 266 mΩ	X' = 1.328 Ω
1 - Tensione primaria	V_1 = 1147 V	
Rendimento	$\eta_{\%}$ = 98.65 %	
2 - Tensione secondaria	V_2 = 244 V	
Grado di carico potenza	a_P = 0.698	
Rendimento	$\eta_{\%}$ = 99.09 %	

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 1.00 Ω	R_{12} = 1.00 Ω	X = 4.53 Ω
Corrente a vuoto	I_0 = 9.78 A	φ_0 = – 86.35 °	
Tensione e rendimento	V_1 =350 V	η = 0.854	

ESERCIZIO N.1

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 4.4$ $\quad R_{12} = K^2 R_2 = 0.136\ \Omega$ $\quad R' = R_1 + R_{12} = 0.266\ \Omega$

$X_{12} = K^2 X_2 = 0.678\ \Omega$ $\quad X' = X_1 + X_{12} = 1.328\ \Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = R' + jX' = 0.266 + j1.328 = Z_{1cc} \angle \varphi_{cc} = 1.354 \angle 78.69°\ \Omega$

$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 61.6\ \text{V}$ $\quad I_{1n} = \frac{V_{cc}}{Z_{1cc}} = 45.50\ \text{A}$

1)

$I_1 = \alpha \cdot I_{1n} = 45.50\,\text{A}$ $\quad Z_{1e} = \frac{V_{1n}}{I_1} = 24.18\ \Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = Z_{1e} \angle \varphi_e = 24.18 \angle 36.87° = 19.34 + j14.51\ \Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_t = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} + \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = 19.61 + j15.83 = Z_t \angle \varphi_t = 25.20 \angle 38.92°\ \text{k}\Omega$ $\quad V_1 = Z_t \cdot I_1 = 1147\ \text{V}$

$P_e = V_1 I_1 \cos\varphi_t = 40588\ \text{W}$ $\quad P = V_{1n} I_1 \cos\varphi_e = 40039\ \text{W}$ $\quad \eta_{\%} = \frac{P}{P_e} 100 = 98.65\%$

2)

$I_1 = \alpha \cdot I_{1n} = 32.57\,\text{A}$ $\quad \Delta V_{12} \cong I_1 (R' \cos\varphi_e + X' \text{sen}\varphi_e) = 28\ \text{V}$

$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 1072\ \text{V}$ $\quad V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 244\ \text{V}$ $\quad v_2 = \frac{V_2}{V_{2n}} = 0.975$

$\alpha_P = \alpha \cdot v_2 = 0.698$ $\quad P = V_{12} I_1 \cos\varphi_e = 30801\ \text{W}$ $\quad P_{ep} = R' \cdot I_1^2 = 282\ \text{W}$

$\eta_{\%} = \frac{P}{P + P_{ep}} 100 = 99.09\%$

ESERCIZIO N.2

$\Omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = 157.08\ \text{s}^{-1}$ $\quad \Omega_M = \frac{2\pi n_M}{60} = 123.21\ \text{s}^{-1}$ $\quad s_M = \frac{\Omega_0 - \Omega_M}{\Omega_0} = 0.2156$

$R_1 = R_{12} \quad \Rightarrow \quad s_M = \frac{R_{12}}{Z} = \frac{R_1}{Z}$ $\quad Z = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 C_M (1 + s_M)} = 4.64\ \Omega$

$R_1 = R_{12} = Z \cdot s_M = 1.00\ \Omega$ $\quad X = \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 4.53\ \Omega$

$\bar{\mathbf{I}}_{1n} = I_{1n} (\cos\varphi_{1n} - j\text{sen}\varphi_{1n}) = 8.53 - j11.08\ \text{A}$ $\quad \bar{\mathbf{Z}}_{1fn} = \left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} \right) + jX = 26.97 + j4.53\ \Omega$

$\bar{\mathbf{I}}_{12n} = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{1n} / \sqrt{3}}{\bar{\mathbf{Z}}_{1fn}} = 7.91 - j1.33 = I_{12n} \angle -\varphi_{12n} = 8.02 \angle -9.53°\ \text{A}$

$\bar{\mathbf{I}}_0 = \bar{\mathbf{I}}_{1n} - \bar{\mathbf{I}}_{12n} = 0.62 - j9.76 = I_0 \angle -\varphi_0 = 9.78 \angle -86.35°\ \text{A}$

$C_n = 3 \frac{R_{12}}{s_n \Omega_0} I_{12n}^2 = 31.92\ \text{Nm}$ $\quad \Omega = \frac{2\pi n}{60} = 149.75\ \text{s}^{-1}$ $\quad s = \frac{\Omega_0 - \Omega}{\Omega_0} = 0.0467$

$Z_{1f} = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s} \right)^2 + X^2} = 22.88\ \Omega$ $\quad V_1 = \sqrt{\frac{C_n \cdot s \cdot \Omega_0 \cdot Z_{1f}^2}{R_{12}}} = 350\ \text{V}$

$$P_m = C_n \cdot \Omega = 4779 \text{ W} \qquad I_{12} = \frac{V_1 / \sqrt{3}}{Z_{1f}} = 8.83 \text{ A} \qquad P_{ep} = 3(R_1 + R_{12}) I_{12}^2 = 468 \text{ W}$$

$$P_0 = \sqrt{3} V_{1n} I_0 \cos\varphi_0 = 409 \text{ W} \qquad P_p = P_{ep} + \left(\frac{V_1}{V_{1n}} \right)^2 P_0 = 815 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P_m}{P_m + P_p} = 0.854$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**20 settembre 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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 Potier.

3) Motore asincrono trifase: tracciamento del diagramma circolare in sede di collaudo.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____

*

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**2 dicembre 2013**
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	= 150 kVA		
tensioni nominali	V_{1n}	= 10 kV	V_{2n}	= 240 V
corrente a vuoto	$i_{0\%}$	= 6.37 %		
potenza attiva assorbita nella prova a vuoto	P_0	= 2100 W		
tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$	= 3.17 %		
potenza attiva assorbita nella prova in corto circuito	P_{cc}	= 2745 W		

Alimentando il trasformatore a tensione nominale, l'impedenza di carico è tale da assorbire la corrente nominale con fattore di potenza $\cos\varphi_e$ = 0.8 in ritardo. Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

- le impedenze a vuoto e in corto circuito;
- la tensione sul carico;
- la potenza attiva assorbita dal carico.

Successivamente la macchina viene alimentata in modo da imporre alla stessa impedenza di carico la tensione secondaria nominale. Determinare:

- la corrente erogata in modulo e fase;
- il modulo della caduta interna;
- il rendimento.

Infine il trasformatore, assieme a due altre unità uguali, viene utilizzato per realizzare una trasformazione trifase triangolo/stella. Valutare:

- la potenza, le tensioni e le correnti nominali della trasformazione trifase;
- le impedenze a vuoto e in corto circuito del circuito equivalente semplificato riferito ad una fase supponendo che il circuito sia collegato a stella.

TEORIA

1) F.m.m. prodotta da un avvolgimento concentrato percorso da corrente continua.
2) Trasformatore monofase: relazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento a vuoto.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____ Totale_____

*

RISULTATI

ESERCIZIO

Impedenza a vuoto	$\dot{\mathbf{Z}}_0 = 2.30 + j10.21\ \text{k}\Omega$
Impedenza di corto circuito	$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = R' + jX' = 12.20 + j17.26\ \Omega$
Tensione secondaria	$V_2 = 233\ \text{V}$
Potenza attiva erogata	$P = 116380\ \text{W}$
Corrente secondaria	$\bar{\mathbf{I}}_2 = I_2 \angle -\varphi_{12} = 644 \angle -37.43°\ \text{A}$
Caduta interna	$\Delta V_{Z1cc} = 327\ \text{V}$
Rendimento	$\eta = 0.960$
Grandezze nominali trifase	$3P_n = 450\ \text{kVA}$
	$V_{1n} = 10\ \text{kV}$ $\quad \sqrt{3}\,V_{2n} = 416\ \text{V}$
	$\sqrt{3}\,I_{1n} = 26\ \text{A}$ $\quad I_{2n} = 625\ \text{V}$
Impedenza a vuoto e in corto circuito	$\dot{\mathbf{Z}}_0 / 3$ $\quad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} / 3$

a)

$$I_{1n} = \frac{P_n}{V_{1n}} = 15.00\ \text{A} \qquad I_{2n} = \frac{P_n}{V_{2n}} = 625\ \text{A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 41.67$$

$$I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.956\ \text{A} \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{I_0} = 10.47\ \text{k}\Omega \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{V_{1n} I_0} = 0.220$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = Z_0 \cos\varphi_0 + jZ_0 \text{sen}\varphi_0 = 2.30 + j10.21\ \text{k}\Omega$$

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 317\ \text{V} \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} = 21.13\ \Omega \qquad \cos\varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{1cc} I_{1n}} = 0.577$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = Z_{1cc} \cos\varphi_{cc} + jZ_{cc} \text{sen}\varphi_{cc} = R' + jX' = 12.20 + j17.26\ \Omega$$

$$I_{12} = I_{1n} = 15.00\ \text{A} \qquad \Delta V_{12} \cong I_{12}(R' \cos\varphi_e + X' \text{sen}\varphi_e) = 302\ \text{V}$$

$$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 9698\ \text{V} \qquad V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 233\,\text{V} \qquad P = V_{12} I_{12} \cos\varphi_e = 116380\ \text{W}$$

$$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{I_{12}} = 646.55\ \Omega \qquad R_{1e} = Z_{1e} \cos\varphi_e = 517.24\ \Omega \qquad X_{1e} = Z_{1e} \text{sen}\varphi_e = 387.93\ \Omega$$

b)

$$V_{12} = V_{1n} = 10000\ \text{V} \qquad I_{12} = \frac{V_{12}}{Z_{1e}} = 15.47\ \text{A} \qquad I_2 = K V_{12} = 644\,\text{A}$$

$$\varphi_2 = \varphi_{12} = \tan^{-1} \frac{X_{1e} + X'}{R_{1e} + R'} = 37.43° \qquad \Delta V_{Z1cc} = Z_{1cc} I_{12} = 327\ \text{V} \qquad P = R_{1e} I_{12}^2 = 123733\ \text{W}$$

$$\alpha = \frac{I_{12}}{I_{1n}} = 1.031 \qquad v_1 = \alpha = 1.031 \qquad \eta = \frac{P}{P + v_1^2 P_0 + \alpha^2 P_{cc}} = 0.960$$

**

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**2 dicembre 2013**
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	= 12 kVA		
tensioni nominali	V_{1n}	= 3 kV	V_{2n}	= 380 V
corrente a vuoto	$i_{0\%}$	= 4.80 %		
potenza attiva assorbita nella prova a vuoto	P_0	= 144.0 W		
tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$	= 3.46 %		
potenza attiva assorbita nella prova in corto circuito	P_{cc}	= 241.8 W		

Alimentando il trasformatore a tensione nominale, l'impedenza di carico è tale da assorbire la corrente nominale con fattore di potenza $\cos\varphi_e = 0.903$ in ritardo. Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

- le impedenze a vuoto e in corto circuito;
- la tensione sul carico;
- la potenza attiva assorbita dal carico.

Successivamente la macchina viene alimentata in modo da imporre alla stessa impedenza di carico la tensione secondaria nominale. Determinare:

- la corrente erogata in modulo e fase;
- il modulo della caduta interna;
- il rendimento.

Infine il trasformatore, assieme a due altre unità uguali, viene utilizzato per realizzare una trasformazione trifase triangolo/stella. Valutare:

- la potenza, le tensioni e le correnti nominali della trasformazione trifase;
- le impedenze a vuoto e in corto circuito del circuito equivalente semplificato riferito ad una fase supponendo che il circuito sia collegato a stella.

TEORIA

1) F.m.m. prodotta da un avvolgimento concentrato percorso da corrente continua.
2) Trasformatore monofase: relazioni fondamentali e diagramma vettoriale nel funzionamento a vuoto.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO

Impedenza a vuoto	$\dot{\mathbf{Z}}_0 = 3.91 + j15.13\ \text{k}\Omega$
Impedenza di corto circuito	$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = R' + jX' = 15.11 + j21.10\ \Omega$
Tensione secondaria	$V_2 = 368\ \text{V}$
Potenza attiva erogata	$P = 10508\ \text{W}$
Corrente secondaria	$\bar{\mathbf{I}}_2 = I_2 \angle -\varphi_2 = 32.57 \angle -26.40°\ \text{A}$
Caduta interna	$\Delta V_{Z1cc} = 107\ \text{V}$
Rendimento	$\eta = 0.965$
Grandezze nominali trifase	$3P_n = 36\ \text{kVA}$
	$V_{1n} = 3\ \text{kV}$ $\quad \sqrt{3}\,V_{2n} = 658\ \text{V}$
	$\sqrt{3}\,I_{1n} = 6.93\ \text{A}$ $\quad I_{2n} = 31.58\ \text{V}$
Impedenza a vuoto e in corto circuito	$\dot{\mathbf{Z}}_0 / 3$ $\quad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} / 3$

a)

$$I_{1n} = \frac{P_n}{V_{1n}} = 4.00\ \text{A} \qquad I_{2n} = \frac{P_n}{V_{2n}} = 31.58\ \text{A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 7.89$$

$$I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.192\ \text{A} \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{I_0} = 15.63\ \text{k}\Omega \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{V_{1n} I_0} = 0.250$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = Z_0 \cos\varphi_0 + jZ_0 \text{sen}\varphi_0 = 3.91 + j15.13\ \text{k}\Omega$$

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 103.8\ \text{V} \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} = 25.95\ \Omega \qquad \cos\varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{1cc} I_{1n}} = 0.582$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = Z_{1cc} \cos\varphi_{cc} + jZ_{cc} \text{sen}\varphi_{cc} = R' + jX' = 15.11 + j21.10\ \Omega$$

$$I_{12} = I_{1n} = 4.00\ \text{A} \qquad \Delta V_{12} \cong I_{12}(R' \cos\varphi_e + X' \text{sen}\varphi_e) = 91\ \text{V}$$

$$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 2909\ \text{V} \qquad V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 368\,\text{V} \qquad P = V_{12} I_{12} \cos\varphi_e = 10508\ \text{W}$$

$$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{I_{12}} = 727.29\ \Omega \qquad R_{1e} = Z_{1e} \cos\varphi_e = 656.74\ \Omega \qquad X_{1e} = Z_{1e} \text{sen}\varphi_e = 312.47\ \Omega$$

b)

$$V_{12} = V_{1n} = 3000\ \text{V} \qquad I_{12} = \frac{V_{12}}{Z_{1e}} = 4.12\ \text{A} \qquad I_2 = K V_{12} = 32.57\,\text{A}$$

$$\varphi_2 = \varphi_{12} = \tan^{-1} \frac{X_{1e} + X'}{R_{1e} + R'} = 26.40° \qquad \Delta V_{Z1cc} = Z_{1cc} I_{12} = 107\ \text{V} \qquad P = R_{1e} I_{12}^2 = 11174\ \text{W}$$

$$\alpha = \frac{I_{12}}{I_{1n}} = 1.031 \qquad v_1 = \alpha = 1.031 \qquad \eta = \frac{P}{P + v_1^2 P_0 + \alpha^2 P_{cc}} = 0.965$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**20 dicembre 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore trifase Dyn11 è caratterizzato dai seguenti dati:

potenza nominale	P_n	= 125 kVA		
tensioni nominali	V_{1n}	= 10 kV	V_{2n}	= 400 V
corrente e fattore di potenza a vuoto	$i_{0\%}$	= 4.16 %	$\cos\varphi_0$	= 0.221
resistenza di una bobina primaria e secondaria	R_{1b}	= 19.10 Ω	R_{2b}	= 13.5 mΩ

Il trasformatore è alimentato in modo da erogare la corrente nominale a un carico trifase equilibrato collegato a stella di impedenza $R_e + j\,X_e = 1.095 + j\ 0.600\ \Omega$.
Sapendo che nell'inserire il carico la tensione secondaria è diminuita di 14 V, determinare:

1) i parametri del circuito equivalente semplificato riferito a una fase del primario, supposto collegato a stella;
1) la tensione di corto circuito;
2) il rendimento nelle condizioni di carico specificate.

ESERCIZIO N.2

Il funzionamento di un motore asincrono trifase (4 poli, 60 Hz) è caratterizzato dai seguenti valori:

Funzionamento	*a vuoto*		*alla coppia massima*	
tensione di alimentazione	V_1		V_1	
scorrimento			s_M	= 27.43 %
coppia			C_M	= 351 Nm
corrente assorbita	I_0	= 11.66 A	I_{1M}	= 278.64 A
fattore di potenza	$\cos\varphi_0$	= 0.136	$\cos\varphi_{1M}$	= 0.759

Sapendo che la resistenza di una fase di statore collegata a stella è pari a 63 mΩ, determinare:

1) i parametri del circuito equivalente semplificato;
2) la tensione di alimentazione;
3) il rendimento nel funzionamento alla coppia massima.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____
	Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 87.02 kΩ	X_0 = 19.72 kΩ
Impedenza di corto circuito	R' = 14.80 Ω	X' = 31.08 Ω
Tensione di corto circuito	V_{1cc} = 430 V	
Rendimento	η = 0.968	

ESERCIZIO N.2

Resistenza secondaria e reattanza di corto circuito	R_{12} = 83 mΩ	X = 0.296 Ω
Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 80 Ω	X_0 = 11 Ω
Tensione di alimentazione	V_1 = 220 V	
Rendimento	η_M = 0.596	

ESERCIZIO N.1

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}\,V_{1n}} = 7.22 \text{ A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 25 \qquad I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.300 \text{ A}$$

$$Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_0} = 19.23 \text{ k}\Omega \qquad R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 87.02 \text{ k}\Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\,\varphi_0} = 19.72 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{R_{1b}}{3} = 6.37 \ \Omega \qquad R_2 = R_{2b} = 13.5 \text{ m}\Omega \qquad R' = R_1 + R_{12} = R_1 + K^2 R_2 = 14.80 \ \Omega$$

$$I_{12} = I_{1n} = 7.22 \text{ A} \qquad \Delta V_{12} = K \cdot \Delta V_2 = 350 \text{ V} \qquad \varphi_e = \tan^{-1}\frac{X_e}{R_e} = 28.72°$$

$$X' = \frac{\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\,I_{12}} - R'\cos\varphi_e}{\text{sen}\,\varphi_e} = 31.08 \ \Omega \qquad Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 34.43 \ \Omega \qquad V_{1cc} = \sqrt{3}\,Z_{1cc} I_{1n} = 430 \text{ V}$$

$$Z_{1e} = K^2\sqrt{R_e^2 + X_e^2} = 780.38 \ \Omega \qquad V_{12} = \sqrt{3}\,Z_{1e} I_{12} = 9755 \text{ V} \qquad P = \sqrt{3}\,V_{12} I_{12}\cos\varphi_e = 106934 \text{ W}$$

$$V_1 = V_{12} + \Delta V_{12} = 10104 \text{ V} \qquad P_0 = \frac{i_{0\%} \cdot \cos\varphi_0 \cdot P_n}{100} = 1149 \text{ W} \qquad P_{Fe} = \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2 P_0 = 1173 \text{ W}$$

$$P_{Cu} = 3\ R' I_{12}^2 = 2313 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P}{P + P_{Fe} + P_{Cu}} = 0.968$$

ESERCIZIO N.2

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1800 \text{ giri/ min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 188.5 \text{ s}^{-1}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \ \angle -\varphi_0 = 11.66 \angle -82.18° = 1.59 - j11.55 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{1M} = I_{1M} \ \angle -\varphi_{1M} = 278.64 \angle -40.62° = 211.49 - j181.42 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12M} = \bar{\mathbf{I}}_{1M} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 209.90 - j169.87 = 270.03 \angle -38.98° = \text{ A}$$

$$R_1 = 0.063 \ \Omega \qquad R_{12} = \frac{C_M s_M \Omega_0}{3 I_{12M}^2} = 0.083 \ \Omega \qquad Z = \frac{R_{12}}{s_M} = 0.302 \ \Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R_1^2} = 0.296 \ \Omega \qquad V_1 = \sqrt{C_M \cdot 2\Omega_0 (R_1 + Z)} = 220 \text{ V}$$

$$Z_0 = \frac{V_1}{\sqrt{3}\,I_0} = 10.89 \ \Omega \qquad R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 80 \ \Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0} = 11 \ \Omega$$

$$P_{eM} = \sqrt{3} V_1 I_{1M}\cos\varphi_{1M} = 80554 \text{ W} \qquad P_{mM} = C_M \Omega_0 (1 - s_M) = 48014 \text{ W}$$

$$\eta_M = \frac{P_{mM}}{P_{eM}} = 0.596$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**20 dicembre 2013**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Funzionamento in parallelo dei trasformatori.

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

3) Motore a corrente continua con eccitazione serie: schema di principio, equazioni di funzionamento, espressione della coppia.

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____
	3)_____ Totale_____