MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI 2	**14 gennaio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

Un grosso motore asincrono trifase presenta i seguenti dati nominali:

tensione $V_n = 690$ V
coppia $C_n = 2333$ Nm
rapporto coppia massima/coppia nominale $c_M = 3.27$

Sono inoltre noti i seguenti dati, relativi al funzionamento a vuoto e alla coppia massima:

		a vuoto	*alla coppia massima*
Tensione di alimentazione	[V]	V_n	V_n
Velocità di rotazione	[giri/min]	n_0 =1000	n_M = 928
Corrente assorbita	[A]	I_0 = 69	I_{1M} = 1034
Potenza attiva assorbita	[kW]	P_0 = 13.6	P_M = 868

Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

- i parametri R_0, X_0, R_1, R_{12}, X;
- la velocità e il rendimento nominali.

Valutazione esercizio	_____

RISULTATI

Parametri circuito equivalente	R_0 = 35.01 Ω	X_0 = 5.85 Ω	
	R_1= 19 mΩ	R_{12} = 20 mΩ	X = 278 mΩ
Velocità e rendimento	n_n = 989 giri/min	η_n = 92.80 %	

$\cos\varphi_0 = \dfrac{P_0}{\sqrt{3}V_n I_0} = 0.165$ $\quad \bar{\mathbf{I}}_0 = I_0\angle -\varphi_0 = 69.00\angle -80.51° = 11.38 - j68.05$ A

$Z_0 = \dfrac{V_n}{\sqrt{3}\, I_0} = 5.77\ \Omega$ $\quad R_0 = \dfrac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 35.01\ \Omega$ $\quad X_0 = \dfrac{Z_0}{\text{sen}\,\varphi_0} = 5.85\ \Omega$

$\cos\varphi_{1M} = \dfrac{P_M}{\sqrt{3}V_n I_{1M}} = 0.702$ $\quad \bar{\mathbf{I}}_{1M} = I_{1M}\angle -\varphi_{1M} = 1034\angle -45.38° = 726.29 - j735.97$ A

$\bar{\mathbf{I}}_{12M} = \bar{\mathbf{I}}_{1M} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 714.91 - j667.92 = I_{12M}\angle -\varphi_{12M} = 978.37\angle -43.05°$ A

$\bar{\mathbf{Z}}_{fM} = \dfrac{\bar{\mathbf{V}}_n/\sqrt{3}}{\bar{\mathbf{I}}_{12M}} = 298 + j278\ \text{m}\Omega$ $\quad R_M = 298\ \text{m}\Omega$ $\quad X = 278\ \text{m}\Omega$

$s_M = \dfrac{n_0 - n_M}{n_0} = 0.072$ $\quad \Omega_0 = \dfrac{2\pi n_0}{60} = 104.72\ \text{s}^{-1}$ $\quad C_M = c_M \cdot C_n = 7629$ Nm

$R_{12} = \dfrac{C_M \Omega_0 s_M}{3 I_{12M}^2} = 20\ \text{m}\Omega$ $\quad Z = \dfrac{R_{12}}{s_M} = 278\ \text{m}\Omega$ $\quad R_1 = R_M - Z = 19\ \text{m}\Omega$

$C_n = \dfrac{V_n^2}{\Omega_0\left(\dfrac{Z^2}{R_{12}} s_n + \dfrac{R_{12}}{s_n} + 2R_1\right)} \quad \Rightarrow \quad Z^2 s_n^2 + \left(2R_1 R_{12} - \dfrac{V_n^2 R_{12}}{C_n \Omega_0}\right) s_n + R_{12}^2 = 0 \quad s_n = 0.0107$

Usando l'espressione approssimata della coppia $C \cong \dfrac{V^2}{\Omega_0 R_{12}} s$, valida per piccoli valori dello scorrimento, si otterrebbe $C_n \cong \dfrac{V_n^2}{\Omega_0 R_{12}} s_n \quad \Rightarrow \quad s_n \cong \dfrac{C_n \Omega_0 R_{12}}{V_n^2} = 0.0103$ (approssimazione accettabile)

$n_n = n_0(1 - s_n) = 989$ giri/min $\quad \Omega_n = \dfrac{2\pi n_n}{60} = 103.60\ \text{s}^{-1}$

$P_n = C_n \Omega_n = 241.69$ kW $\quad Z_{fn} = \sqrt{\left(R_1 + \dfrac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 1908\ \text{m}\Omega$

$I_{12n} = \dfrac{V_n/\sqrt{3}}{Z_{fn}} = 208.75$ A $\quad P_{Fe} = P_0 = 13.6$ kW

$P_{Cu} = 3(R_1 + R_{12}) I_{12n}^2 = 5.15$ kW $\quad \eta_{\%} = \dfrac{P_n}{P_n + P_{Fe} + P_{Cu}} 100 = 92.80\,\%$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**7 febbraio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore trifase è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

potenza	P_n = 63 kVA
tensione primaria	V_{1n} = 3.0 kV
tensione secondaria	V_{2n} = 400 V
corrente a vuoto	$i_{0\%}$ = 4.00 %
perdite a vuoto	$p_{0\%}$ = 0.63 %
tensione di cortocircuito	$v_{cc\%}$ = 3.50 %
perdite di cortocircuito	$p_{cc\%}$ = 1.40 %

Il trasformatore funziona nelle seguenti condizioni:

- tensione V_1 di alimentazione pari al 96.2% della nominale;
- carico costituito da una terna di impedenze collegate a stella (R_e=5.0 Ω, cosφ_e=0.894 in ritardo).

Ricavare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

1) i parametri del circuito;
2) il grado di carico;
3) la tensione V_2 ai capi del carico;
4) la corrente I_1 assorbita dal trasformatore;
5) il rendimento.

ESERCIZIO N.2

Il funzionamento nominale di un motore asincrono trifase ($2p$ = 4, f = 50 Hz) è caratterizzato dai seguenti dati:

tensione di alimentazione	V_n = 380 V	
perdite a vuoto	P_0 = 2481 W	
perdite nel rame di statore	P_{ep1} = 2681 W	
corrente di rotore	I_{12} = 149.5 A	cosφ_{12}= 0.879
rendimento	η = 0.904	

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

1) i parametri R_1, R_{12}, X;
2) la coppia e la velocità nominali.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 22.68 kΩ	X_0 = 3.62 kΩ
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 2.00 Ω	X' = 4.58 Ω
Grado di carico e tensione sul carico	α = 0.432	V_2 = 380 V
Corrente assorbita	I_1 = 5.52 A	
Rendimento	η = 97.75 %	

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 40 mΩ	R_{12} = 50 mΩ	X = 0.7 Ω
Coppia nominale	C_n = 534 Nm		
Velocità nominale	n_n = 1440 giri/min		

ESERCIZIO N.1

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{1n}} = 12.12 \text{ A} \qquad K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 7.5 \qquad V_1 = v_1 \cdot V_{1n} = 2886 \text{ V}$$

Impedenza a vuoto

$$I_{0n} = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.485 \text{ A} \qquad \cos\varphi_0 = \frac{p_{0\%}}{i_{0\%}} = 0.158 \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}I_{0n}} = 3.57 \text{ k}\Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_0 = Z_0 \angle\varphi_0 = 3.57 \angle 80.94° = 0.56 + j3.53 \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 22.68 \text{ k}\Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0} = 3.62 \text{ k}\Omega$$

Impedenza di corto circuito

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 105 \text{ V} \qquad \cos\varphi_{cc} = \frac{p_{cc\%}}{v_{cc\%}} = 0.400 \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3}I_{1n}} = 5.00 \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = Z_{1cc} \angle\varphi_{cc} = 5.00 \angle 66.42° = R' + jX' = 2.00 + j4.58 \ \Omega$$

Corrente e tensione secondarie, corrente primaria

$$X_e = R_e \cdot \tan(\varphi_e) = 2.50 \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = K^2(R_e + jX_e) = 281.25 + j140.96 = Z_{1e}\angle\varphi_e = 314.60 \angle 26.62° \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1tot} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} + \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = 283.25 + j145.54 \ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \frac{\overline{\mathbf{V}}_1}{\sqrt{3}\dot{\mathbf{Z}}_{1tot}} = 4.65 - j2.39 = I_{12}\angle -\varphi_{12} = 5.23\angle -27.20° \text{ A} \qquad \alpha = \frac{I_{12}}{I_{1n}} = 0.432$$

$$V_{12} = \sqrt{3}Z_{1e}I_{12} = 2851 \text{ V} \qquad V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 380 \text{ V}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = \frac{\overline{\mathbf{V}}_1}{\sqrt{3}\dot{\mathbf{Z}}_0} = 0.073 - j0.461 \text{ A} \qquad \bar{\mathbf{I}}_1 = \bar{\mathbf{I}}_{12} + \bar{\mathbf{I}}_0 = 4.73 - j2.85 = I_1\angle -\varphi_1 = 5.52\angle -31.10° \text{ A}$$

Rendimento η

$$P_e = \sqrt{3}\ V_1\, I_1 \cos\varphi_1 = 23630 \text{ W} \qquad P_0 = \frac{p_{0\%} \cdot P_n}{100} = 397 \text{ W} \qquad P_{cc} = \frac{p_{cc\%} \cdot P_n}{100} = 882 \text{ W}$$

$$P_p = v_1^2 P_0 + \alpha^2 P_{cc} = 532 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P_e - P_p}{P_e} = 0.978$$

ESERCIZIO N.2

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

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = I_{12}\angle -\varphi_{12} = 149.5 \angle -28.48° = 131.41 - j71.28 \text{ A} \qquad R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 \cdot I_{12}^2} = 0.04 \ \Omega$$

$$\overline{\mathbf{Z}}_f = \frac{\overline{\mathbf{V}}_n / \sqrt{3}}{\bar{\mathbf{I}}_{12}} = 1.29 + j0.7 \ \Omega \qquad R_f = 1.29 \ \Omega \qquad X = 0.7 \ \Omega$$

$$R_s = R_f - R_1 = 1.25 \ \Omega \qquad P_t = 3R_s I_{12}^2 = 83811 \text{ W} \qquad C_n = \frac{P_t}{\Omega_0} = 534 \text{ Nm}$$

$$P_e = P_t + P_{ep1} + P_0 = 88973 \text{ W} \qquad P_n = P_e \cdot \eta = 80431 \text{ W}$$

$$\Omega_n = \frac{P_n}{C_n} = 150.75 \text{ s}^{-1} \qquad n_n = \frac{60 \cdot \Omega_n}{2\pi} = 1440 \text{ giri/min} \qquad s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 0.04$$

$$R_{12} = R_s \cdot s_n = 0.05 \ \Omega$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**25 febbraio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore trifase è caratterizzato dai seguenti dati

corrente nominale primaria	I_{1n}	= 9.24 A
corrente nominale secondaria	I_{2n}	= 400 A
tensione di corto circuito	V_{1cc}	= 430 V
collegamento delle fasi primarie / secondarie	triangolo / stella	
resistenza misurata tra due morsetti primari	R_{AB}	= 9.41 Ω
resistenza misurata tra due morsetti secondari	R_{ab}	= 5.40 mΩ

La macchina è alimentata alla tensione V_1 = 10 kV.
Nel funzionamento a vuoto il trasformatore assorbe una corrente e una potenza attiva pari rispettivamente a 0.249 A e 756 W.
Nel funzionamento a carico il trasformatore alimenta una terna di impedenze collegate a stella alla tensione V_2 = 224.8 V (fattore di potenza $\cos\varphi_e$ = 0.868 in ritardo).
Determinare:

1) i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato, supposto collegato a stella;
2) la corrente erogata I_2 e l'impedenza di carico $R_e + jX_e$;
3) il rendimento η.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase a rotore avvolto, dotato di reostato esterno di avviamento collegato a stella, presenta i seguenti dati nominali:

potenza nominale	P_n = 110 kW	collegamento fasi	stella / stella
tensione nominale	V_{1n} = 380 V	corrente nominale	I_{1n} = 187.79 A
frequenza nominale	f = 50 Hz	fattore di potenza nominale	$\cos\varphi_{1n}$ = 0.956
coppie polari	p = 3	velocità nominale	n_n = 985 giri/min

La prova a vuoto a tensione nominale ha fornito i valori I_0 = 27.47 A e P_0 = 3.37 kW.
Determinare:

1) i parametri R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
2) la caratteristica meccanica a tensione nominale;
3) il valore che deve assumere la resistenza esterna R_{12a}, riferita allo statore, per ottenere la coppia massima all'avviamento.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza a vuoto	R_0 = 132.28 kΩ	X_0 = 23.55 kΩ	
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 9.76 Ω	X' = 25.03 Ω	
Corrente erogata	I_2 = 320.89 A		
Resistenza e reattanza di carico	R_e = 351 mΩ	X_e = 201 mΩ	
Rendimento	η = 97.87 %		

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 33 mΩ	R_{12} = 18 mΩ	X = 198 mΩ
Coppia avviamento e massima	C_a = 592 Nm	C_M = 2951 Nm	
Coppia nominale e per s=0.5	C_n = 1066 Nm	$C_{0.5}$ = 1127 Nm	
Resistenza secondaria esterna	R_{12a} = 182 mΩ		

ESERCIZIO N.1

$$K = \frac{I_{2n}}{I_{1n}} = 43.29$$

$$R_0 = \frac{V_1^2}{P_{Fe}} = 132.28 \ \text{k}\Omega \qquad Z_0 = \frac{V_1}{\sqrt{3} I_0} = 23.19 \ \text{k}\Omega \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_{Fe}}{\sqrt{3} V_1 I_0} = 0.175$$

$$X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\,\varphi_0} = 23.55 \ \text{k}\Omega$$

$$R_{1b} = \frac{3}{2} R_{AB} = 14.11 \ \Omega \qquad R_1 = \frac{1}{3} R_{1b} = 4.70 \ \Omega \qquad R_2 = R_{2b} = \frac{1}{2} R_{ab} = 2.70 \ \text{m}\Omega$$

$$R_{12} = K^2 R_2 = 5.06 \ \Omega \qquad R' = R_1 + R_{12} = 9.76 \ \Omega$$

$$Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} I_{1n}} = 26.87 \ \Omega \qquad X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 25.03 \ \Omega$$

$$V_{12} = K V_2 = 9732 \ \text{V} \qquad \Delta V_{12} = V_1 - V_{12} = 268 \ \text{V}$$

$$I_{12} \cong \frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\left(R'\cos\varphi_e + X'\text{sen}\,\varphi_e\right)} = 7.41 \ \text{A} \qquad I_2 = K\, I_{12} = 320.89 \ \text{A}$$

$$Z_e = \frac{V_2}{\sqrt{3} I_2} = 404 \ \text{m}\Omega \qquad R_e = Z_e \cdot \cos\varphi_e = 351 \ \text{m}\Omega \qquad X_e = Z_e \cdot \text{sen}\,\varphi_e = 201 \ \text{m}\Omega$$

$$P = \sqrt{3}\, V_2\, I_2 \cos\varphi_e = 108.45 \ \text{kW} \qquad P_{Cu} = 3R' I_{12}^2 = 1610 \ \text{W}$$

$$P_p = P_{Fe} + P_{Cu} = 2366 \ \text{W} \qquad \eta = \frac{P}{P + P_p} = 0.979$$

ESERCIZIO N.2

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 1000 \ \text{giri/min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 104.72 \ \text{s}^{-1} \qquad s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = 0.015$$

$$\Omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = 103.15 \ \text{s}^{-1}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{1n} = I_{1n} \angle -\varphi_{1n} = 187.79 \angle -17.06° = 179.53 - j55.09 \ \text{A} \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_{1n} I_0} = 0.186$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 27.47 \angle -79.26° = 5.12 - j26.99 \ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12n} = \bar{\mathbf{I}}_{1n} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 174.41 - j28.10 = I_{12n} \angle -\varphi_{12n} = 176.66 \angle -9.15° \ \text{A}$$

$$\bar{\mathbf{Z}}_{fn} = \frac{\bar{\mathbf{V}}_{1n} / \sqrt{3}}{\bar{\mathbf{I}}_{12n}} = 1.226 + j0.198 \ \Omega \qquad R_{fn} = 1.226 \ \Omega \qquad X = 0.198 \ \Omega$$

$$P_{en} = \sqrt{3}\, V_{1n}\, I_{1n} \cos\varphi_{1n} = 118161 \ \text{W} \qquad P_{ep} = P_{en} - P_0 - P_n = 4791 \ \text{W}$$

$$R = \frac{P_{ep}}{3 \cdot I_{12n}^2} = 0.051 \ \Omega \qquad R_{sn} = R_{fn} - R = 1.175 \ \Omega \qquad R_{12} = \frac{s_n \cdot R_{sn}}{1 - s_n} = 0.018 \ \Omega$$

$$R_1 = R - R_{12} = 0.033 \ \Omega \qquad Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 0.200 \ \Omega$$

Caratteristica meccanica

$$s = 1 \quad \rightarrow \quad C = C_a = \frac{R_{12}}{\Omega_0} \frac{V_{1n}^2}{R^2 + X^2} = 592 \ \text{Nm}$$

$s = 0.5 \quad \rightarrow \quad C = \frac{2R_{12}}{\Omega_0} \frac{V_{1n}^2}{(R_1 + 2R_{12})^2 + X^2} = 1127 \text{ Nm}$

$s = s_M = \frac{R_{12}}{Z} = 0.089 \quad \rightarrow \quad C = C_M = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 (R_1 + Z)} = 2951 \text{ Nm}$

$s = s_n = 0.015 \quad \rightarrow \quad C = C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 1066 \text{ Nm}$

$s = 0 \quad \rightarrow \quad C = 0$

Reostato esterno

$s_M = \frac{R_{12} + R_{12a}}{Z} = 1 \quad \rightarrow \quad R_{12a} = Z - R_{12} = 0.182 \ \Omega$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**22 giugno 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore trifase Dyn11 è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

potenza	P_n	= 200 kVA
tensione primaria	V_{1n}	= 20 kV
tensione secondaria	V_{2n}	= 400 V
corrente a vuoto	$i_{0\%}$	= 2.50 %
tensione di cortocircuito	$v_{cc\%}$	= 4.00 %

Il trasformatore è alimentato alla tensione nominale.
Quando la macchina eroga la corrente nominale le perdite totali sono pari a P_{pA} = 2501 W; quando invece eroga una corrente pari al 70 % della nominale le perdite totali si riducono a P_{pB} = 1481 W.
Determinare:

1) il rapporto di trasformazione e il rapporto spire;
2) le correnti circolanti nelle bobine in corrispondenza alle correnti nominali;
3) i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato, supposto collegato a stella;
4) il rendimento η_B, sapendo che il fattore di potenza del carico è pari a $\cos\varphi_e = 0.737$ in ritardo.

ESERCIZIO N.2

Il funzionamento di un motore asincrono trifase è caratterizzato dai seguenti dati:

tensione di alimentazione	V_1	= 380 V
fattore di potenza	$\cos\varphi_1$	= 0.984
potenza trasmessa al rotore	P_t	= 12597 W
potenza erogata	P_m	= 12038 W
rendimento	$\eta_{\%}$	= 94.34 %
coppia massima alla tensione V_1	C_M	= 215.9 Nm

Determinare, trascurando la corrente a vuoto:

- i parametri R_1, R_{12}, X del circuito equivalente semplificato;
- la velocità di funzionamento e la coppia prodotta;
- la corrente di corto circuito e la coppia di avviamento.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Rapporto di trasformazione e rapporto spire	$K = 50$	$n = 86.6$	
Correnti nelle bobine	$I_{1b} = 3.33$ A	$I_{2b} = 288.68$ A	
Resistenza e reattanza a vuoto	$R_0 = 798.40$ kΩ	$X_0 = 80.40$ kΩ	
Resistenza e reattanza di corto circuito	$R' = 20.00$ Ω	$X' = 77.46$ Ω	
Rendimento	$\eta_B = 0.986$		

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza di corto circuito	$R_1 = 0.14$ Ω	$R_{12} = 0.48$ Ω	$X = 1.98$ Ω
Velocità e coppia	$n = 1433$ giri/min	$C = 80.2$ Nm	
Corrente corto e coppia avviamento	$I_{1cc} = 105.5$ A	$C_a = 102.1$ Nm	

ESERCIZIO N.1

$$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50 \qquad n = \frac{E_{1b}}{E_{2b}} = \frac{V_{1n}}{V_{2n}/\sqrt{3}} = K \cdot \sqrt{3} = 86.6$$

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = 5.77 \text{ A} \qquad I_{1b} = \frac{I_{1n}}{\sqrt{3}} = 3.33 \text{ A} \qquad I_{2b} = I_{1b} \cdot n = I_{2n} = 288.67 \text{ A}$$

$$\begin{cases} P_{pA} = P_0 + P_{cc} \\ P_{pB} = P_0 + \alpha_B^2 P_{cc} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_{cc} = \dfrac{P_{pA} - P_{pB}}{1 - \alpha_B^2} = 2000 \text{ W} \\ P_0 = P_{pA} - P_{cc} = 501 \text{ W} \end{cases}$$

$$I_0 = \frac{i_{0\%} \cdot I_{1n}}{100} = 0.144 \text{ A} \qquad Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_0} = 80.00 \text{ k}\Omega \qquad \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_{1n} I_0} = 0.100$$

$$R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 798.4 \text{ k}\Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0} = 80.40 \text{ k}\Omega$$

$$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 800 \text{ V} \qquad Z_{1cc} = \frac{V_{1cc}}{\sqrt{3} I_{1n}} = 80.00 \ \Omega \qquad \cos\varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} V_{1cc} I_{1n}} = 0.250$$

$$R' = Z_{1cc} \cos\varphi_{cc} = 20.00 \ \Omega \qquad X' = Z_{1cc} \text{sen}\varphi_{cc} = 77.46 \ \Omega$$

$$I_{12} = \alpha_B \, I_{1n} = 4.04 \text{ A} \qquad \Delta V_{12} \cong \sqrt{3} \, I_{12} \left(R' \cos\varphi_e + X' \text{sen}\varphi_e \right) = 470 \text{ V}$$

$$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 19530 \text{ V} \qquad P = \sqrt{3} \ V_{12} \ I_{12} \cos\varphi_e = 100.76 \text{ kW} \qquad \eta = \frac{P}{P + P_{pB}} = 0.986$$

ESERCIZIO N.2

$$P_e = \frac{P_m}{\eta} = 12760 \text{ W} \qquad I_1 = \frac{P_e}{\sqrt{3} \ V_1 \cos\varphi_1} = 19.70 \text{ A} \qquad P_{ep1} = P_e - P_t = 163 \text{ W}$$

$$R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 \cdot I_1^2} = 0.140 \ \Omega \qquad P_{ep2} = P_t - P_m = 559 \text{ W} \qquad R_{12} = \frac{P_{ep2}}{3 \cdot I_1^2} = 0.480 \ \Omega$$

$$X = \frac{V_1}{\sqrt{3} \cdot I_1} \text{sen}\varphi_1 = 1.98 \ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 1.99 \ \Omega \qquad \Omega_0 = \frac{V_1^2}{2 \cdot C_M (R_1 + Z)} = 157.08 \text{ s}^{-1} \qquad s = \frac{P_{ep2}}{P_t} = 0.0444$$

$$\Omega = \Omega_0 (1 - s) = 150.10 \text{ s}^{-1} \qquad n = \frac{60 \cdot \Omega}{2\pi} = 1433 \text{ giri/ min} \qquad C = \frac{P_t}{\Omega_0} = \frac{P_m}{\Omega} = 80.2 \text{ Nm}$$

$$Z_{1cc} = \sqrt{(R_1 + R_{12})^2 + X^2} = 2.08 \ \Omega \qquad I_{1cc} = \frac{V_1}{\sqrt{3} \ Z_{1cc}} = 105.5 \text{ A}$$

$$C_a = \frac{3 R_{12} I_{1cc}^2}{\Omega_0} = 102.1 \text{ Nm}$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**20 luglio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore trifase Dyn11 è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

potenza	P_n	= 6.3 kVA
tensione primaria	V_{1n}	= 1000 V
tensione secondaria	V_{2n}	= 400 V
perdite a vuoto	$p_{0\%}$	= 1.9 %

La misura delle resistenze degli avvolgimenti ha inoltre fornito i seguenti risultati:

resistenza tra due morsetti primari	R_{AB} = 6 Ω
resistenza tra due morsetti secondari	R_{ab} = 1.072 Ω

Il trasformatore, connesso a un carico puramente resistivo, funzione con grado di carico $\alpha = I_2/I_{2n} = 0.847$, tensione secondaria $V_2 = V_{2n}$ e caduta di tensione interna $\Delta V_{Z2cc} = 23.7$ V.
Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato supposto collegato a stella:

1) la resistenza e la reattanza di corto circuito;
2) la tensione di alimentazione del trasformatore;
3) il rendimento.

ESERCIZIO N.2

Il funzionamento di un motore asincrono trifase ($2p = 2$, $f = 50$ Hz) è caratterizzato dai seguenti dati:

potenza erogata	$P_m = 5.0$ kW	
velocità	$n = 2865$ giri/min	
corrente di rotore	$I_{12} = 8.6$ A	
perdite rame statore	$P_{ep1} = 309$ W	
corrente assorbita al sincronismo	$I_0 = 2.82$ A	$\cos\varphi_0 = 0.169$
corrente assorbita a rotore bloccato	$I_{1cc} = 40.19$ A	$\cos\varphi_{1cc} = 0.402$

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, determinare:

1) la tensione di alimentazione del motore;
2) il rendimento;
3) la coppia di avviamento e la coppia massima.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 6.35 Ω	X' = 9.11 Ω
Tensione di alimentazione	V_1 = 1035 V	
Rendimento	η = 0.945	

ESERCIZIO N.2

Tensione di alimentazione	V_1 = 380 V	
Rendimento	η = 0.853	
Coppia avviamento e massima	C_a = 14.2 Nm	C_M = 33.4 Nm

ESERCIZIO N.1

$$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 2.5 \qquad I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = 3.64 \text{ A} \qquad I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_{2n}} = 9.09 \text{ A}$$

$$R_{1b} = \frac{3}{2} R_{AB} = 9 \ \Omega \qquad R_{2b} = \frac{R_{ab}}{2} = 0.536 \ \Omega \qquad R' = \frac{R_{1b}}{3} + K^2 R_{2b} = 6.35 \ \Omega$$

$$I_{12} = \alpha I_{1n} = 3.08 \text{ A} \qquad \Delta V_{Z1cc} = \Delta V_{Z2cc} \cdot K = 59.25 \text{ V} \qquad Z_{1cc} = \frac{\Delta V_{Z1cc}}{\sqrt{3} I_{12}} = 11.10 \ \Omega$$

$$X' = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R'^2} = 9.11 \ \Omega \qquad \Delta V_{12} \cong \sqrt{3} R' I_{12} = 34 \text{ V} \qquad V_1 = V_{1n} + \Delta V_{12} = 1034 \text{ V}$$

Calcolo esatto $\qquad R_{1e} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_{12}} = 187.40 \ \Omega \qquad R_{1t} = R_{1e} + R' = 193.75 \ \Omega$

$$Z_{1t} = \sqrt{R_{1t}^2 + X'^2} = 193.97 \ \Omega \qquad V_1 = \sqrt{3} Z_{1t} I_{12} = 1035 \text{ V}$$

$$P_0 = \frac{p_{0\%} \cdot P_n}{100} = 120 \text{ W} \qquad P_{Fe} = \left(\frac{V_1}{V_{1n}} \right)^2 P_0 = 128 \text{ W} \qquad P_{Cu} = 3R' I_{12}^2 = 181 \text{ W}$$

$$P = P_a = \sqrt{3} \ V_{1n} I_{12} = 5336 \text{ W} \qquad \eta = \frac{P}{P + P_{Fe} + P_{Cu}} = 0.945$$

ESERCIZIO N.2

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = 3000 \text{ giri/ min} \qquad \Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 314.16 \text{ s}^{-1} \qquad s = \frac{n_0 - n}{n_0} = 0.045$$

$$R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 \cdot I_{12}^2} = 1.39 \ \Omega \qquad R_{12} = \frac{s \cdot P_m}{3(1-s) I_{12}^2} = 1.06 \ \Omega \qquad R = R_1 + R_{12} = 2.45 \ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{1cc} = I_{1cc} \angle -\varphi_{1cc} = 40.19 \angle -66.30° = 16.16 - j36.80 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 2.82 \angle -80.27° = 0.48 - j2.78 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12cc} = \bar{\mathbf{I}}_{1cc} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 15.68 - j34.02 = I_{12cc} \angle -\varphi_{12cc} = 37.46 \angle -65.26° \text{ A}$$

$$Z_{1cc} = \frac{R}{\cos \varphi_{12cc}} = 5.86 \ \Omega \qquad X = \sqrt{Z_{1cc}^2 - R^2} = 5.33 \ \Omega \qquad V_1 = \sqrt{3} \ Z_{1cc} I_{12cc} = 380 \text{ V}$$

$$P_{ep2} = 3R_{12} I_{12}^2 = 236 \text{ W} \qquad P_0 = \sqrt{3} \ V_1 I_0 \cos \varphi_0 = 314 \text{ W} \qquad P_p = P_{ep1} + P_{ep2} + P_0 = 859 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_p} = 0.853$$

$$C_a = \frac{3R_{12} I_{1cc}^2}{\Omega_0} = 14.23 \text{ Nm} \qquad Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 5.50 \ \Omega \qquad C_M = \frac{V_1^2}{2\Omega_0 (R_1 + Z)} = 33.40 \text{ Nm}$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**25 agosto 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Gli avvolgimenti di un trasformatore monofase (11 / 0.22 kV, 50 Hz) sono caratterizzati dai seguenti valori:

resistenza	$R_1 = 19.965\ \Omega$	$R_2 = 7.986\ \text{m}\Omega$
induttanza di dispersione	$L_1 = 143.5$ mH	$L_2 = 0.057$ mH

Sapendo che la tensione di corto circuito è pari a $v_{cc\%} = 3.26$ %, determinare le perdite di corto circuito percentuali.

La macchina funziona con carichi il cui fattore di potenza è pari a $\cos\varphi_e = 0.707$ in ritardo.
Quando il trasformatore impone in uscita la tensione nominale, esso funziona con grado di carico unitario. Determinare la tensione di alimentazione V_1 e il rendimento percentuale.
Quando invece il trasformatore è alimentato a tensione nominale, esso funziona con grado di carico $\alpha = 0.834$. Determinare la tensione V_2 ai capi del carico, il grado di carico di potenza e il rendimento percentuale.

NB: Trascurare la corrente a vuoto.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

potenza	$P_n = 4$ kW
tensione	$V_{1n} = 240$ V
fattore di potenza	$\cos\varphi_{1n} = 0.982$
rendimento	$\eta_n = 93.60$ %
potenza / potenza trasmessa al rotore	$P_n / P_{tn} = 96.53$ %

Sapendo che la macchina a tensione nominale produce una coppia massima pari a $C_M = 52.23$ Nm e trascurando la corrente a vuoto, determinare:

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

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza e reattanza di corto circuito	$R' = 39.93\ \Omega$	$X' = 90.16\ \Omega$	
Perdite di corto circuito	$p_{cc\%} = 1.32\ \%$		
Tensione primaria e rendimento	$V_1 = 11335$ V	$\eta_{\%} = 98.17\ \%$	
Tensione secondaria, grado di carico e rendimento	$V_2 = 214$ V	$a_P = 0.813$	$\eta_{\%} = 98.43\ \%$

ESERCIZIO N.2

Parametri circuito equivalente	$R_1 = 0.395\ \Omega$	$R_{12} = 0.437\ \Omega$	$X = 2.50\ \Omega$
Velocità nominale	$n_n = 1737$ giri/min		
Tensione alimentazione a rotore bloccato	$V_{1cc} = 48$ V		

ESERCIZIO N.1

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 50$ $\quad R_{12} = K^2 R_2 = 19.965\ \Omega$ $\quad R' = R_1 + R_{12} = 39.93\ \Omega$

$X_1 = 2\pi f \cdot L_1 = 45.082\ \Omega$ $\quad X_2 = 2\pi f \cdot L_2 = 0.018\ \Omega$ $\quad X_{12} = K^2 X_2 = 45.082\ \Omega$

$X' = X_1 + X_{12} = 90.164\ \Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = R' + jX' = 39.93 + j90.164 = Z_{1cc} \angle \varphi_{cc} = 98.61 \angle 66.11°\ \Omega$

$V_{1cc} = \frac{v_{cc\%} \cdot V_{1n}}{100} = 358.6\ \text{V}$ $\quad I_{1n} = \frac{V_{cc}}{Z_{1cc}} = 3.64\ \text{A}$ $\quad P_n = V_{1n} I_{1n} = 40\ \text{kVA}$

$P_{cc} = R' I_{1n}^2 = 528\ \text{W}$ $\quad p_{cc\%} = \frac{P_{cc}}{P_n} 100 = 1.32\ \%$

1)

$I_1 = I_{1n} = 3.64\,\text{A}$ $\quad Z_{1e} = \frac{V_{1n}}{I_1} = 3.025\ \text{k}\Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_{1e} = Z_{1e} \angle \varphi_e = 3.025 \angle 45° = 2.139 + j2.139\ \text{k}\Omega$

$\dot{\mathbf{Z}}_t = \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} + \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = 2.178 + j2.229 = Z_t \angle \varphi_t = 3.117 \angle 45.66°\ \text{k}\Omega$ $\quad V_1 = Z_t \cdot I_1 = 11335\ \text{V}$

$P = V_{1n} I_1 \cos\varphi_e = 28281\ \text{W}$ $\quad P_e = P + P_{cc} = 28810\ \text{W}$ $\quad \eta = \frac{P}{P_e} = 98.17\,\%$

2)

$I_1 = \alpha \cdot I_{1n} = 3.03\,\text{A}$ $\quad \Delta V_{12} \cong I_1 (R' \cos\varphi_e + X' \text{sen}\varphi_e) = 279\ \text{V}$

$V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 10721\ \text{V}$ $\quad V_2 = \frac{V_{12}}{K} = 214\ \text{V}$ $\quad v_2 = \frac{V_2}{V_{2n}} = 0.975$

$\alpha_P = \alpha \cdot v_2 = 0.813$ $\quad P = V_{12} I_1 \cos\varphi_e = 22988\ \text{W}$ $\quad P_{Cu} = R' \cdot I_1^2 = 367\ \text{W}$

$\eta = \frac{P}{P + P_{Cu}} = 98.43\%$

ESERCIZIO N.2

$P_{en} = \frac{P_n}{\eta_n} = 4274\,\text{W}$ $\quad P_{tn} = \frac{P_n}{0.9653} = 4144\ \text{W}$ $\quad I_{1n} = \frac{P_{en}}{\sqrt{3} V_{1n} \cos\varphi_{1n}} = 10.47\,\text{A}$

$P_{ep1} = P_{en} - P_{tn} = 130\ \text{W}$ $\quad R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 \cdot I_{1n}^2} = 0.395\ \Omega$ $\quad P_{ep2} = P_{tn} - P_n = 144\ \text{W}$

$R_{12} = \frac{P_{ep2}}{3 \cdot I_{1n}^2} = 0.437\ \Omega$ $\quad s_n = \frac{P_{ep2}}{P_{tn}} = 0.0347$ $\quad X = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_{1n}} \text{sen}\varphi_{1n} = 2.50\ \Omega$

$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 2.53\ \Omega$ $\quad \Omega_0 = \frac{V_{1n}^2}{2 C_M (R_1 + Z)} = 188.50\ \text{s}^{-1}$

$\Omega_n = \Omega_0 (1 - s_n) = 181.95\ \text{s}^{-1}$ $\quad n_n = \frac{60\,\Omega_n}{2\pi} = 1737\ \text{giri/min}$ $\quad R = R_1 + R_{12} = 0.83\ \Omega$

$Z_{1cc} = \sqrt{R^2 + X^2} = 2.63\ \Omega$ $\quad V_{1n} = \sqrt{3}\ Z_{1cc} I_{1n} = 48\ \text{V}$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**14 settembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Un trasformatore monofase con dati nominali:

potenza	P_n = 50 kVA	
tensioni	V_{1n} = 380 V	V_{2n} = 1500 V
perdite a vuoto	P_0 = 450 W	
perdite in corto circuito	P_{cc} = 1263 W	

funziona nelle seguenti condizioni:

tensione di alimentazione	$V_1 = V_{1n}$
rendimento	$\eta_{\%}$ = 95.945 %
potenza apparente erogata	P_a = 41281 VA
fattore di potenza del carico	$cos\varphi_e$ = 0.8 in ritardo

Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato:

1) i parametri R_0 e R';
2) la corrente e la tensione secondarie;
3) 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:

potenza nominale	P_n = 140 kW
resistenza misurata tra due morsetti di statore	R_{ab} = 52 mΩ
resistenza di corto circuito	R = 53 mΩ
reattanza di corto circuito	X = 185 mΩ

In condizioni nominali il motore assorbe una corrente pari a 185.14 A con fattore di potenza 0.934; alimentato a tensione nominale ma senza carico meccanico connesso all'albero, il motore assorbe invece una corrente pari a 48.54 A con fattore di potenza 0.132.
Determinare velocità, coppia, tensione e rendimento nominali.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Resistenza a vuoto e di corto circuito	R_0 = 321 Ω	R' = 73 mΩ
Corrente e tensione nel carico	I_2 = 28.85 A	V_2 = 1431 V
Tensione di corto circuito	$v_{cc\%}$= 6.0 %	

ESERCIZIO N.2

Velocità e coppia nominali	n_n = 1476 giri/min	C_n = 906 Nm
Tensione nominale	V_n = 500 V	
Rendimento nominale	η_n = 0.933	

ESERCIZIO N.1

$$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 0.253 \qquad I_{1n} = \frac{P_n}{V_{1n}} = 131.58 \text{ A} \qquad R_0 = \frac{V_{1n}^2}{P_0} = 321\ \Omega$$

$$R' = \frac{P_{cc}}{I_{1n}^2} = 73 \text{ m}\Omega \qquad P_u = P_a \cos\varphi_e = 33025 \text{ W} \qquad P = \frac{P_u}{\eta} = 34421 \text{ W}$$

$$P_p = P - P_u = 1396 \text{ W} \qquad P_{Cu} = P_p - P_{Fe} = 946 \text{ W} \qquad \alpha = \sqrt{\frac{P_{Cu}}{P_{cc}}} = 0.865$$

$$I_{12} = \alpha \cdot I_{1n} = 113.86 \text{ A} \qquad I_2 = K \cdot I_{12} = 28.85 \text{ A} \qquad V_2 = \frac{P_a}{I_2} = 1431 \text{ V}$$

$$R_{1e} = \frac{P_u}{I_{12}^2} = 2.547\ \Omega \qquad X_{1e} = R_{1e} \tan\varphi_e = 1.911\ \Omega \qquad Z_{1cce} = \frac{V_{1n}}{I_{12}} = 3.337\ \Omega$$

$$R_{1cce} = R' + R_{1e} = 2.620\ \Omega \qquad X_{1cce} = \sqrt{Z_{1cce}^2 - R_{1cce}^2} = 2.067\ \Omega$$

$$X' = X_{1cce} - X_{1e} = 0.156\ \Omega \qquad Z_{1cc} = \sqrt{R'^2 + X'^2} = 0.173\ \Omega$$

$$V_{1cc} = Z_{1cc} \cdot I_{1n} = 22.7 \text{ V} \qquad v_{cc\%} = \frac{V_{1cc}}{V_{1n}} 100 = 6.0\ \%$$

ESERCIZIO N.2

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

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0\ \angle -\varphi_0 = 48.54 \angle -82.41° = 6.41 - j48.12 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{1n} = I_{1n}\ \angle -\varphi_{1n} = 185.14 \angle -20.93° = 172.92 - j66.15 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12n} = \bar{\mathbf{I}}_{1n} - \bar{\mathbf{I}}_0 = 166.51 - j18.03 = 167.49 \angle -6.18° \text{ A} \qquad R_1 = \frac{R_{ab}}{2} = 26 \text{ m}\Omega$$

$$R_{12} = R - R_1 = 27 \text{ m}\Omega \qquad P_{ep2} = 3R_{12}I_{12n}^2 = 2272 \text{ W} \qquad P_t = P_n + P_{ep2} = 142272 \text{ W}$$

$$s_n = \frac{P_{ep2}}{P_t} = 0.016 \qquad n_n = n_0(1 - s_n) = 1476 \text{ giri/min} \qquad \Omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = 154.57\ s^{-1}$$

$$C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 906 \text{ Nm} \qquad Z_f = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_{12}}{s_n}\right)^2 + X^2} = 1.727\ \Omega$$

$$V_{1n} = \sqrt{3} \cdot Z_f \cdot I_{12n} = 500 \text{ V}$$

$$P_e = \sqrt{3} V_{1n} I_{1n} \cos\varphi_{1n} = 150011 \text{ W} \qquad \eta_n = \frac{P_n}{P_e} = 0.933$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**25 novembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Nella prova a vuoto su di un trasformatore trifase (V_{1n} = 1 kV; V_{2n} = 693 V), eseguita lato secondario, è stata misurato un assorbimento di corrente pari a I_{20} = 1.0 A con fattore di potenza $\cos\varphi_0 = 0.200$.
Successivamente la macchina, alimentata al primario a tensione nominale, è stata fatta funzionare a carico riscontrando:

- un assorbimento di corrente I_1 = 16.43 A con fattore di potenza $\cos\varphi_1 = 0.679$ in ritardo;
- una diminuzione $\Delta v_{\%}$ 3.05 % della tensione secondaria rispetto a vuoto;
- un rendimento η = 0.973.

Determinare i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato riferito al primario.

TEORIA

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

2) Funzionamento in parallelo dei trasformatori.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO

Resistenza e reattanza a vuoto e di corto circuito	R_0 = 4.17 kΩ	X_0 = 0.85 kΩ
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 0.374 Ω	X' = 1.191 Ω

$$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 1.443 \qquad P_0 = \sqrt{3} V_{2n} I_{20} \cos\varphi_0 = 240 \text{ W} \qquad I_0 = \frac{I_{20}}{K} = 0.693 \text{ A}$$

$$Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_0} = 833 \ \Omega \qquad R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 4166 \ \Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0} = 850 \ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 0.693 \angle -78.46° = 0.139 - j0.679 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1 \angle -\varphi_1 = 16.428 \angle -47.23° = 11.155 - j12.060 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 11.016 - j11.381 = I_{12} \angle -\varphi_{12} = 15.839 \angle -45.93° \text{ A}$$

$$P_i = \sqrt{3} V_{1n} I_1 \cos\varphi_1 = 19320 \text{ W} \qquad P = P_i \cdot \eta = 18799 \text{ W}$$

$$\Delta V_{12} = \frac{\Delta v_{\%}}{100} V_{1n} = 30.5 \text{ V} \qquad V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 969.5 \text{ V}$$

$$P_a = \sqrt{3} V_{12} I_{12} = 26598 \text{ VA} \qquad \cos\varphi_e = \frac{P}{P_a} = 0.707$$

Soluzione approx

$$P_{Fe} = P_0 = 240 \text{ W} \qquad P_{Cu} = P_i - P - P_{Fe} = 282 \text{ W} \qquad R' = \frac{P_{Cu}}{3 I_{12}^2} = 0.374 \ \Omega$$

$$X' \cong \frac{\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\, I_{12}} - R' \cos\varphi_e}{\text{sen}\varphi_e} = 1.198 \ \Omega$$

Soluzione esatta

$$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3} I_{12}} = 35.338 \ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = Z_{1e} \angle\varphi_e = 35.338 \angle 45.00° = 24.976 + j25.000 \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cce} = \frac{\dot{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\, \bar{\mathbf{I}}_{12}} = 25.350 + j26.191 \ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cce} - \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = R' + jX' = 0.374 + j1.191 \ \Omega$$

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI	**16 dicembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO N.1

Le prove eseguite su di un trasformatore trifase di dati nominali:

potenza	P_n	= 100	kVA
tensione primaria	V_{1n}	= 10	kV
tensione secondaria	V_{2n}	= 400	V

hanno consentito di ricavare i seguenti dati:

Prova a vuoto al secondario	I_{20}	= 3.03	A	$\cos\varphi_0$	= 0.210
Prova in corto circuito al primario	V_{1cc}	= 380	V	$\cos\varphi_{cc}$	= 0.316

Il trasformatore, alimentato alla tensione nominale, viene utilizzato per movimentare un motore asincrono trifase.
A inserzione avvenuta, si osserva che:

- la tensione secondaria del trasformatore diminuisce dell'1.55 %;
- il motore lavora con fattore di potenza pari a 0.918;
- il motore eroga 50 kW con rendimento del 91.41 %.

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, valutare:

1) l'impedenza di corto circuito del trasformatore;
2) la corrente assorbita dal motore;
3) il rendimento del complesso trasformatore-motore.

ESERCIZIO N.2

Un motore asincrono trifase (4 poli, 50 Hz) funziona in condizioni nominali, caratterizzate dai seguenti valori:

tensione di alimentazione	V_{1n} = 380 V	
corrente di rotore	I_{12} = 116.2 A	$\cos\varphi_{12}$ = 0.964
perdite a vuoto	P_0 = 1200 W	
perdite nel rame di statore	P_{ep1} = 1418 W	
rendimento	η = 0.938	

Con riferimento al circuito equivalente semplificato, ricavare:

1) i parametri R_1, R_{12}, X ;
2) la caratteristica meccanica, valutandone almeno i punti caratteristici corrispondenti a coppia nominale, coppia massima e coppia di avviamento.

Valutazione esercizi	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO N.1

Impedenza di corto	R' = 12 Ω	X' = 36 Ω
Tensione sul motore	V_2 = 394 V	
Corrente assorbita dal motore	I_2 = 87.36 A	
Potenza attiva assorbita dal trasformatore	P_t = 55.58 kW	
Rendimento complesso trasformatore-motore	η = 0.9	

ESERCIZIO N.2

Resistenze e reattanza di corto circuito	R_1 = 35 mΩ	R_{12} = 50 mΩ	X = 502 mΩ
Scorrimento e coppia nominale	s_n= 2.80 %	C_n = 460 Nm	
Scorrimento e coppia massima	s_M = 9.95 %	C_M = 854 Nm	
Coppia avviamento		C_a = 177 Nm	

ESERCIZIO N.1

$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 25$ $\quad I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} V_{1n}} = 5.77 \text{ A}$ $\quad I_{2n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} V_{2n}} = 144.34 \text{ A}$

$P_0 = \sqrt{3} V_{2n} I_{20} \cos\varphi_0 = 441 \text{ W}$ $\quad P_{cc} = \sqrt{3} V_{1cc} I_{1n} \cos\varphi_{cc} = 1201 \text{ W}$ $\quad R' = \frac{P_{cc}}{3 I_{1n}^2} = 12 \ \Omega$

$X' = R' \tan\varphi_{cc} = 36 \ \Omega$ $\quad P_e = \frac{P_m}{\eta_m} = 54699 \text{ W}$ $\quad P_a = \frac{P_e}{\cos\varphi_e} = 59585 \text{ VA}$

$\Delta V_{21} = \frac{\Delta v_{\%}}{100} V_{2n} = 6.2 \text{ V}$ $\quad V_2 = V_{2n} - \Delta V_{21} = 393.8 \text{ V}$ $\quad I_2 = \frac{P_a}{\sqrt{3} V_2} = 87.36 \text{ A}$

$P_{Cu} = P_{cc} \left(\frac{I_2}{I_{2n}} \right)^2 = 440 \text{ W}$ $\quad P = P_e + P_{Cu} + P_0 = 55579 \text{ W}$ $\quad \eta_t = \frac{P_m}{P} = 0.900$

ESERCIZIO N.2

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

$\bar{\mathbf{I}}_{12} = I_{12} \angle -\varphi_{12} = 116.20 \angle -15.42° = 112..02 - j30.90 \text{ A}$

$\dot{\mathbf{Z}}_{1f} = \frac{\overline{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\, \bar{\mathbf{I}}_{12}} = 1.820 + j0.502 = 1.888 \angle 15.42° \ \Omega$ $\quad R_{1f} = R_1 + \frac{R_{12}}{s_n} = R_1 + R_s = 1.820 \ \Omega$

$X = 502 \text{ m}\Omega$ $\quad R_1 = \frac{P_{ep1}}{3 I_{12}^2} = 35 \text{ m}\Omega$ $\quad R_s = R_{1f} - R_1 = 1.785 \ \Omega$

$P_t = 3 R_s I_{12}^2 = 72309 \text{ W}$ $\quad P_e = P_0 + P_{ep1} + P_t = 74927 \text{ W}$ $\quad P_n = \eta \cdot P_e = 70282 \text{ W}$

$s_n = \frac{P_t - P_n}{P_t} = 2.80 \ \%$ $\quad R_{12} = s_n \cdot R_s = 50 \text{ m}\Omega$

$n_n = n_0 (1 - s_n) = 1458 \text{ giri/ min}$ $\quad \Omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} = 152.68 \text{ s}^{-1}$ $\quad C_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 460 \text{ Nm}$

$Z = \sqrt{R_1^2 + X^2} = 503 \text{ m}\Omega$ $\quad s_M = \frac{R_{12}}{Z} = 9.95 \ \%$ $\quad C_M = \frac{V_{1n}^2}{2\Omega_0 (R_1 + Z)} = 854 \text{ Nm}$

$C_a = \frac{R_{12}}{\Omega_0} \frac{V_{1n}^2}{(R_1 + R_{12})^2 + X^2} = 177 \text{ Nm}$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**14 febbraio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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

2) Generatore sincrono trifase: andamenti della f.m.m. di eccitazione e dell'induzione nel funzionamento a vuoto di una macchina anisotropa.

3) Macchina asincrona trifase a rotore avvolto: funzionamento con circuiti rotorici in corto circuito e rotore in movimento; circuito equivalente.

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

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**4 marzo 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Motore asincrono trifase: tracciamento del diagramma circolare in sede di progetto e di collaudo.

2) Macchina sincrona trifase: funzionamento come generatore in parallelo alla rete.

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

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

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**29 giugno 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Convertitore elettromeccanico a un avvolgimento: equazioni elettrica e meccanica.

2) Trasformatore monofase: calcolo della reattanza di dispersione di un trasformatore a bobine concentriche.

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

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

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**27 luglio 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) Generatore sincrono trifase: f.e.m. indotta a vuoto in un conduttore di statore.

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

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

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

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**1 settembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

1) F.m.m. prodotta da un avvolgimento distribuito di tipo aperto alimentato in continua. Coefficiente di avvolgimento.

2) Macchina sincrona trifase: funzionamento come motore in parallelo alla rete.

3) Motore asincrono trifase con rotore a doppia gabbia.

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

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**21 settembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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

2) Generatore sincrono trifase: diagrammi di Potier e di Behn-Eshemburg. Reattanza sincrona.

3) Macchina asincrona trifase: diagramma circolare.

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

MACCHINE ELETTRICHE – ESERCIZI / TEORIA	**25 novembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

ESERCIZIO

Nella prova a vuoto su di un trasformatore trifase (V_{1n} = 1 kV; V_{2n} = 693 V), eseguita lato secondario, è stata misurato un assorbimento di corrente pari a I_{20} = 1.0 A con fattore di potenza $\cos\varphi_0 = 0.200$.
Successivamente la macchina, alimentata al primario a tensione nominale, è stata fatta funzionare a carico riscontrando:

- un assorbimento di corrente I_1 = 16.43 A con fattore di potenza $\cos\varphi_1 = 0.679$ in ritardo;
- una diminuzione $\Delta v_{\%}$ 3.05 % della tensione secondaria rispetto a vuoto;
- un rendimento η = 0.973.

Determinare i parametri R_0, X_0, R', X' del circuito equivalente semplificato riferito al primario.

TEORIA

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

2) Funzionamento in parallelo dei trasformatori.

Valutazione esercizio	1)_____

Valutazione teoria	1)_____ 2)_____ Totale_____

RISULTATI

ESERCIZIO

Resistenza e reattanza a vuoto e di corto circuito	R_0 = 4.17 kΩ	X_0 = 0.85 kΩ
Resistenza e reattanza di corto circuito	R' = 0.374 Ω	X' = 1.191 Ω

$$K = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = 1.443 \qquad P_0 = \sqrt{3} V_{2n} I_{20} \cos\varphi_0 = 240 \text{ W} \qquad I_0 = \frac{I_{20}}{K} = 0.693 \text{ A}$$

$$Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} I_0} = 833 \ \Omega \qquad R_0 = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} = 4166 \ \Omega \qquad X_0 = \frac{Z_0}{\text{sen}\varphi_0} = 850 \ \Omega$$

$$\bar{\mathbf{I}}_0 = I_0 \angle -\varphi_0 = 0.693 \angle -78.46° = 0.139 - j0.679 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_1 = I_1 \angle -\varphi_1 = 16.428 \angle -47.23° = 11.155 - j12.060 \text{ A}$$

$$\bar{\mathbf{I}}_{12} = \bar{\mathbf{I}}_1 - \bar{\mathbf{I}}_0 = 11.016 - j11.381 = I_{12} \angle -\varphi_{12} = 15.839 \angle -45.93° \text{ A}$$

$$P_i = \sqrt{3} V_{1n} I_1 \cos\varphi_1 = 19320 \text{ W} \qquad P = P_i \cdot \eta = 18799 \text{ W}$$

$$\Delta V_{12} = \frac{\Delta v_{\%}}{100} V_{1n} = 30.5 \text{ V} \qquad V_{12} = V_{1n} - \Delta V_{12} = 969.5 \text{ V}$$

$$P_a = \sqrt{3} V_{12} I_{12} = 26598 \text{ VA} \qquad \cos\varphi_e = \frac{P}{P_a} = 0.707$$

Soluzione approx

$$P_{Fe} = P_0 = 240 \text{ W} \qquad P_{Cu} = P_i - P - P_{Fe} = 282 \text{ W} \qquad R' = \frac{P_{Cu}}{3 I_{12}^2} = 0.374 \ \Omega$$

$$X' \cong \frac{\frac{\Delta V_{12}}{\sqrt{3}\, I_{12}} - R' \cos\varphi_e}{\text{sen}\varphi_e} = 1.198 \ \Omega$$

Soluzione esatta

$$Z_{1e} = \frac{V_{12}}{\sqrt{3} I_{12}} = 35.338 \ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = Z_{1e} \angle\varphi_e = 35.338 \angle 45.00° = 24.976 + j25.000 \ \Omega$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cce} = \frac{\dot{\mathbf{V}}_{1n}}{\sqrt{3}\, \bar{\mathbf{I}}_{12}} = 25.350 + j26.191 \ \Omega \qquad \dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = \dot{\mathbf{Z}}_{1cce} - \dot{\mathbf{Z}}_{1e} = R' + jX' = 0.374 + j1.191 \ \Omega$$

MACCHINE ELETTRICHE – TEORIA	**16 dicembre 2011**
Cognome Nome: _____	Matricola: _____
Energia |_| Elettrotecnica |_| Energetica |_| Altro |_|	9 CFU |_| 6 / 7 CFU |_|

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

2) Generatore sincrono trifase: diagramma di Blondel.

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

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