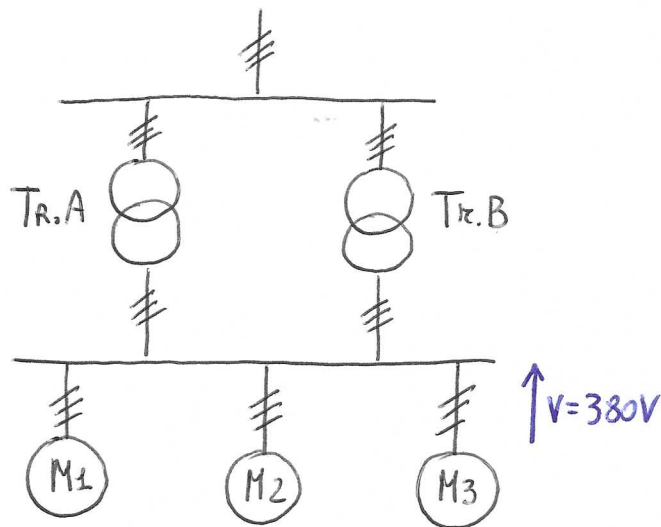


SCHEMA SEMPLIFICATO DELL'IMPIANTO:



DATI TARGA:

Tr.A) $S_{m_A} = 120 \text{ kVA}$; $V_{1m} = 20 \text{ kV}$; $V_{20m} = 400 \text{ V}$; $p_{cc_A} \% = 2,4\%$; $p_o \% = 0,9\%$; $\cos \varphi_{cc_A} = 0,4$

Tr.B) $S_{m_B} = 150 \text{ kVA}$; $V_{1m} = 20 \text{ kV}$; $V_{20m} = 400 \text{ V}$; $p_{cc_B} \% = 2,2\%$; $p_o \% = 0,8\%$; $\cos \varphi_{cc_B} = 0,4$

TENSIONE SUI CARICHI: $V = 380 \text{ V}$

DATI MOTORI:

$M_1 = M_2$ $P_m = 90 \text{ kW}$; $\eta_m = 0,94$; $\cos \varphi_m = 0,85$; $C_m = 581 \text{ Nm}$

M_3 $P_m = 30 \text{ kW}$; $\eta_m = 0,92$; $\cos \varphi_m = 0,83$; $C_m = 195 \text{ Nm}$

1ª PARTE)

DAI DATI DI TARGA DEI DUE TRASFORMATORI SI OSSERVA CHE LE CONDIZIONI DI PARALLELO PERFETTO SONO QUASI TUTTE RISPONTE, TRATTANDO LA CONDIZIONE SULLE $V_{cc} \%$. QUESTO DETERMINA CHE UN TRASFORMATORE SARÀ PIÙ CARICATO RISPETTO ALL'ALTRO (IN PROPORZIONE ALLA PROPRIA S_m)

CALCOLO I PARAMETRI DEI TRASFORMATORE:

$$\text{Tr. A)} \quad I_{1M_A} = \frac{S_{M_A}}{\sqrt{3} V_{1M}} = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 3,464 \text{ A}$$

$$I_{2M_A} = \frac{S_{M_A}}{\sqrt{3} V_{20M}} = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 173,2 \text{ A}$$

$$V_{cc\%}_A = \frac{P_{cc\%}_A}{\cos \phi_{cc_A}} = \frac{2,4}{0,4} = 6\%$$

$$P_{cc_A} = \frac{P_{cc\%}_A \cdot S_{M_A}}{100} = \frac{2,4 \cdot 120 \cdot 10^3}{100} = 2880 \text{ W}$$

$$P_{0_A} = \frac{P_{0A\%} \cdot S_{M_A}}{100} = \frac{0,9 \cdot 120 \cdot 10^3}{100} = 1080 \text{ W}$$

$$R_{2cc_A} = \frac{P_{cc_A}}{3 I_{2M_A}^2} = \frac{2880}{3 \cdot 173,2^2} \cong 32 \text{ m}\Omega$$

$$X_{2cc_A} = R_{2cc_A} \cdot \tan \phi_{cc_A} = 73,32 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{2cc_A} = 32 + j73,32 = 80 \angle 66,42 \text{ m}\Omega$$

NB: LA I_{2cc} DEL TRASFORMATORE Tr. A VALE:

$$I_{2cc} = \frac{I_{2M_A}}{V_{cc\%}_A} \cdot 100 \cong 2,887 \text{ KA} \quad \text{OPPURE:} \quad I_{2cc} = \frac{V_{20M}}{\sqrt{3} Z_{2cc_A}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 80 \cdot 10^{-3}} = 2,887 \text{ KA}$$

NB: NON VENGOLO CALCOLATI I PARAMETRI R_{0A} e X_{0A} IN QUANTO NON UTILI NELLA SOLUZIONE DEL PROBLEMA. (IDEM PER IL Tr. B)

Tr. B)

$$I_{1mB} = \frac{S_{mB}}{\sqrt{3}V_{1m}} = \frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 4,619 \text{ A} ; \quad I_{2mB} = \frac{S_{mB}}{\sqrt{3}V_{2m}} = \frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 230,9 \text{ A}$$

$$V_{cc\%}_B = \frac{P_{cc\%}_B}{\cos \phi_{ccB}} = \frac{2,2}{0,4} = 5,5\% \Rightarrow V_{cc\%}_B < V_{cc\%}_A$$

$$P_{ccB} = \frac{P_{cc\%}_B \cdot S_{mB}}{100} = \frac{2,2 \cdot 160 \cdot 10^3}{100} = 3520 \text{ W}$$

$$P_{0B} = \frac{P_{0\%}_B \cdot S_{mB}}{100} = \frac{0,8 \cdot 160 \cdot 10^3}{100} = 1280 \text{ W}$$

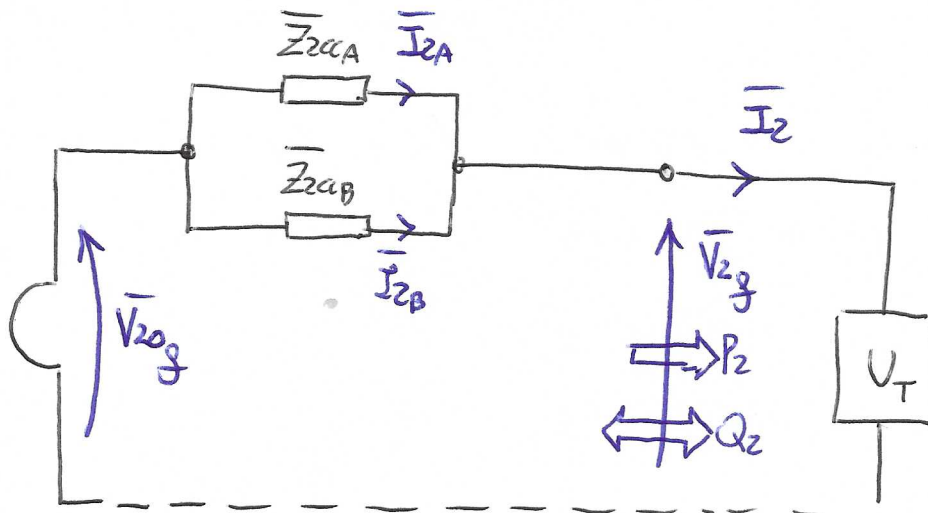
$$R_{zccB} = \frac{P_{ccB}}{3I_{2mB}^2} = \frac{3520}{3 \cdot 230,9^2} \approx 22 \text{ m}\Omega ; \quad X_{zccB} = R_{zccB} \cdot \tan \phi_{ccB} \approx 50,43 \text{ m}\Omega$$

$$\bar{Z}_{zccB} = 22 + j50,43 = 55 \angle 66,42 \text{ m}\Omega$$

NB: LA I_{zccB} DEL TRASFORMATORE B VALE:

$$I_{zccB} = \frac{I_{2mB}}{V_{cc\%}_B} \cdot 100 = 4,198 \text{ KA} \quad \text{OPPURE:} \quad I_{zccB} = \frac{V_{2m}}{\sqrt{3} Z_{zccB}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 55 \cdot 10^{-3}} = 4,198 \text{ KA}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE "SOLO CON IL SECONDARIO" DEL TRASFORMATORE IN PARALLELO



NB: SE SI VERIFICASSE UN C.T.O.-C.T.O AL SECONDARIO DEI TRASFORMATORI SI OTTENEREBBE:

$$I_{2cc} = I_{2ccA} + I_{2ccB} \approx 7,085 \text{ kA} \quad (\text{SOMMA I MODULI PERCHÉ } P_{CCA} = P_{CCB})$$

$$\left(\text{OPPURE, CALCOLO } \bar{I}_T = \bar{I}_{2ccA} // \bar{I}_{2ccB} \quad \text{e} \quad I_{2cc} = \frac{V_{20M}}{\sqrt{3} Z_T} \right)$$

APPLICANDO BOUCHENOT E DETERMINO LE POTENZE TOTALI P_2 E Q_2 ENDOATE RAI TRASFORMAZORI:

$$M_1 \text{ e } M_2) \quad P_a = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{90}{0,94} \approx 95,74 \text{ kW} \quad \Rightarrow \begin{cases} P_{a_{1-2}} = 2 \cdot P_a \approx 191,5 \text{ kW} \\ Q_{a_{1-2}} = P_{a_{1-2}} \cdot \tan \varphi_{1-2} = 113,6 \text{ kVAR} \end{cases}$$

$$\cos \varphi_{1-2} = 0,86_R \rightarrow \tan \varphi_{1-2} = 0,993$$

$$M_3) \quad P_{a_3} = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{30}{0,92} \approx 32,61 \text{ kW} \quad \Rightarrow Q_{a_3} = P_{a_3} \cdot \tan \varphi_3 = 21,91 \text{ kVAR.}$$

$$\cos \varphi_3 = 0,83_R \rightarrow \tan \varphi_3 = 0,672$$

$$P_2 = P_{a_{1-2}} + P_{a_3} = 224,1 \text{ kW}$$

$$Q_2 = Q_{a_{1-2}} + Q_{a_3} = 135,5 \text{ kVAR.}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = 261,9 \text{ kVA} \quad \Rightarrow \text{SAPENDO CHE LA TENSIONE SUI CARICHI VALE:}$$

$$V_2 = 380 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} V_2} = \frac{261,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 397,9 \text{ A.}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{224,1}{261,9} \approx 0,856_R$$

PER DETERMINARE LA CORRENTE ERROATA DA CIASCUN TRASFORMATORE
 APPLICO LA REGOLA DEL PARTITORE DI CORRENTE. ANDREBBE SCRITTA IN
 FORMA VETORIALE; ESSENDO $\varphi_{CCA} = \varphi_{CCB}$ I_{2A} e I_{2B} SONO IN FASE
 E LA SOMMA VETORIALE COINCIDE CON LA SOMMA DEI MODULI.

$$\vec{I}_{2A} = \vec{I}_2 \cdot \frac{\vec{Z}_{2CCB}}{\vec{Z}_{2CCA} + \vec{Z}_{2CCB}} \Leftrightarrow I_{2A} = I_2 \cdot \frac{Z_{2CCB}}{Z_{2CCA} + Z_{2CCB}}$$

$$I_{2A} = 397,9 \cdot \frac{55}{80 + 55} = 162,1A$$

$$I_{2A} = 162,1A \quad (< I_{2MA} \text{ OK})$$

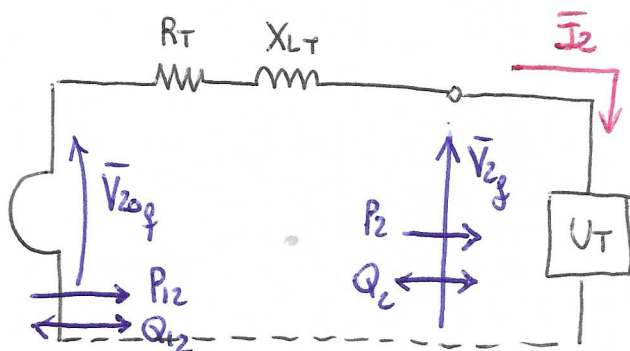
$$I_{2B} = I_2 - I_{2A} = 397,9 - 162,1 = 235,8A$$

$$I_{2B} = 235,8A \quad (> I_{2MB} \text{ DI POCO})$$

QUINDI IL TRASFORMATORE 'B' È IN LEGGERO SOVRACCARICO

NB: IL TRASFORMATORE CON LA $V_{CC} \%$ MINORE È SEMPRE PIÙ CARICATO
 RISPETTO AGLI ALTRI TRASFORMATORI IN PARALLELO, IN PROPORZIONE
 ALLA PROPRIA S_n .

CONOSCENDO LA TENSIONE SECONDARIA $V_2 = 380V$, VERIFICO QUALE SIA LA
 TENSIONE CON CUI SONO STATI ALIMENTATI IN MT I TRASFORMATORI V_1 .



CALCOLO LA Z_T :

$$\bar{Z}_T = \bar{Z}_{ZCA} // \bar{Z}_{ZCB} = 32,59 \angle 66,42^\circ \approx 13,04 + j 29,87 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 13,04 \text{ m}\Omega$$

$$X_{LT} = 29,87 \text{ m}\Omega$$

$$P_{12} = P_2 + P_{cuT} = P_2 + 3 R_T \cdot I_2^2 = 224,1 \cdot 10^3 + 3 \cdot 13,04 \cdot 10^{-3} \cdot 397,9^2 \approx 230,3 \text{ kW}$$

$$Q_{12} = Q_2 + Q_{XT} = Q_2 + 3 X_{LT} \cdot I_2^2 = 135,5 \cdot 10^3 + 3 \cdot 29,87 \cdot 10^{-3} \cdot 397,9^2 = 149,7 \text{ kVAR}$$

$$S_{12} = \sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2} \approx 274,7 \text{ KVA} \quad \Rightarrow \quad V_{20} = \frac{S_{12}}{\sqrt{3} I_2} = \frac{274,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 397,9} \approx 398,6 \text{ V}$$

$$V_{20} = 398,6 \text{ V} \quad (\text{\textcircled{e}} \text{ MOLTO VICINO AI } 400 \text{ V DELLE } V_{20N})$$

$$\hookrightarrow V_1 = K_0 \cdot V_{20} = 50 \cdot 398,6 = 19930 \text{ V} = 19,93 \text{ kV}$$

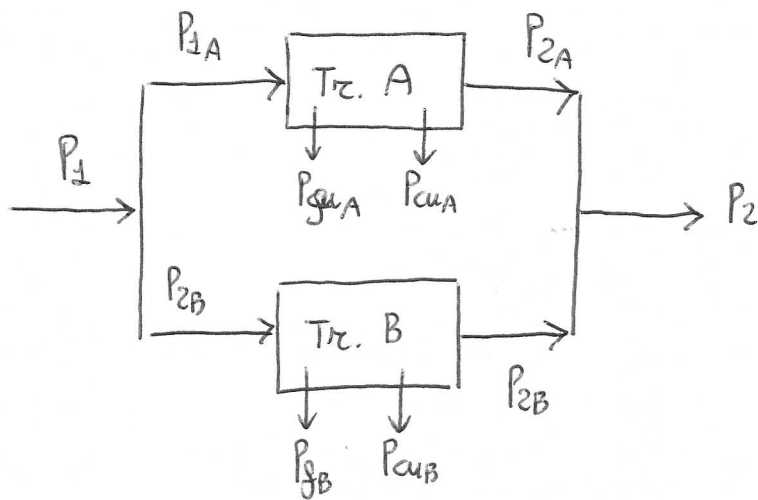
NB: LE PERDITE NEL FERRO DEI TRASFORMATORI, SONO STATE RICAVATE CON LE LORO TENSIONI NOMINALI ($V_{1N} = 20 \text{ kV}$)

$$P_{fA}^1 = P_{f_m} \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1N}} \right)^2 \quad \Rightarrow \quad P_{fA}^1 = 1080 \cdot \left(\frac{19,93}{20} \right)^2 = 1072 \text{ W}$$

$$P_{fB}^1 = 1280 \cdot \left(\frac{19,93}{20} \right)^2 = 1271 \text{ W}$$

LA DIFFERENZA È VERAMENTE MINIMA. PERVENNDO NELLA SOLUZIONE NON SI È TENUTO CONTO DI QUESTO PROBLEMA.

CALCOLO DEL RENDIMENTO COMPLESSIVO:



$$P_{gA} \cong P_{oA} = 1080 \text{ W}$$

$$P_{cuA} = 3 R_{accA} \cdot I_{2A}^2 = 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 162,1^2 \cong 2523 \text{ W}$$

$$P_{2A} = \sqrt{3} V_2 I_{2A} \cos \varphi_A$$

dove: $\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_{\Sigma} = 0,856_R$ PERCHÉ

i vettori \vec{I}_{2A} , \vec{I}_{2B} e \vec{I}_2 SONO IN FASE

(essendo $\varphi_{cA} = \varphi_{cB}$)

$$P_{2A} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 162,1 \cdot 0,856 \cong ~~90,82 \text{ kW}~~ 91,33 \text{ kW}$$

$$P_{gB} \cong P_{oB} = 1280 \text{ W}$$

$$P_{cuB} = 3 R_{accB} \cdot I_{2B}^2 = 3 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 235,8^2 \cong 3670 \text{ W}$$

$$P_{2B} = \sqrt{3} V_2 I_{2B} \cos \varphi_B = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 235,8 \cdot 0,856 \cong 132,8 \text{ kW}$$

$$P_{1A} = P_{2A} + P_{gA} + P_{cuA} \cong 94,93 \text{ kW}$$

$$P_{1B} = P_{2B} + P_{gB} + P_{cuB} \cong 137,8 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_{1A} + P_{1B} \cong 232,7 \text{ kW}$$

CALCOLO I SINGOLI RENDIMENTI e il RENDIMENTO COMPLESSIVO:

$$\eta_{TA} = \frac{P_{2A}}{P_{1A}} = \frac{81,33}{84,93} = 0,9620 \quad (96,2\%)$$

$$\eta_{TB} = \frac{P_{2B}}{P_{1B}} = \frac{132,8}{137,8} = 0,9637 \quad (96,37\%)$$

$$\eta_{TOT} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{224,1}{232,7} = 0,9630 \quad (96,3\%)$$

CALCOLO LO SCORRIMENTO DEI MOTORI : _____

M_1 e M_2 SAPENDO CHE: $C_m = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_m}{M_2}$

$$M_{2_{1-2}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_{m_{1-2}}}{C_{m_{1-2}}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{90 \cdot 10^3}{581} \approx 1479 \text{ g/d}$$

M_3

$$M_{2_3} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_{m_3}}{C_{m_3}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{195} \approx 1469 \text{ g/d}$$

$$M_1 = \frac{60 \cdot P_1}{P} = 1500 \text{ g/d}$$

M_1 e M_2

$$S_{1-2} = \frac{M_1 - M_{2_{1-2}}}{M_1} = \frac{1500 - 1479}{1500} = 0,014 \quad (1,4\%)$$

M_3

$$S_3 = \frac{M_1 - M_{2(3)}}{M_1} = \frac{1500 - 1469}{1500} \approx 0,0207 \quad (2,07\%)$$

DATI SPECIFICI DEL MOTORE M3 :

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

$$K_o = 1,3$$

$$\eta_m = 0,92$$

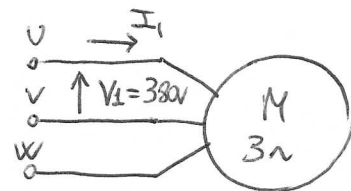
$$P_{av} = 750 \text{ W}$$

$$\cos \varphi_m = 0,83$$

$$P_o = 1800 \text{ W}, \cos \varphi_o = 0,25$$

$$C_m = 185 \text{ Nm}$$

$$V_1 = V_m = 380 \text{ V}$$



NB:

IL TESTO CHIEDE DI DETERMINARE IL RENDIMENTO DEL MOTORE, MA È UN DATO DEL PROBLEMA.

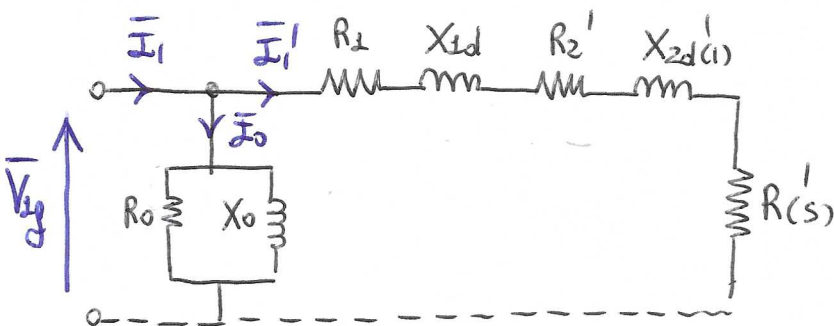
$$P_a = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{30}{0,92} = 32,61 \text{ kW}$$

$$I_{1m} = \frac{P_a}{\sqrt{3} V_m \cos \varphi_m} = \frac{32,61 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83} = 59,68 \text{ A}$$

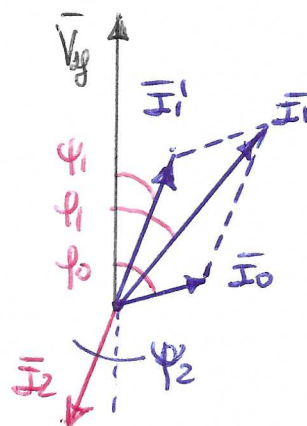
A VOCE:

$$I_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} V_m \cos \varphi_o} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,25} = 10,94 \text{ A}$$

PER DETERMINARE I_2 e R_2 UTILIZZO IL SEGUENTE CIRCUITO EQUIVALENTE:



CIRCUITO EQUIVALENTE DI UNA FASE DEL MAT.



$$I_{1m} = 59,68 \text{ A e } \cos \varphi_m = 0,83$$

$$I_o = 10,94 \text{ A e } \cos \varphi_o = 0,25$$

$$\bar{I}_{1m} = 59,68 \angle 90^\circ - \varphi_m = 59,68 \angle 56,1^\circ = 33,28 + j 49,54 \text{ A}$$

$$\bar{I}_o = 10,94 \angle 90^\circ - \varphi_o = 10,94 \angle 14,48^\circ = 10,59 + j 2,735 \text{ A}$$

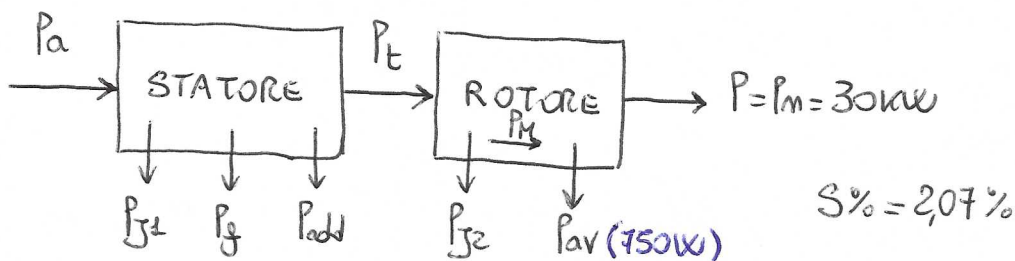
$$\bar{I}_1' = \bar{I}_1 - \bar{I}_o = 22,7 + j 46,81 = 52,02 \angle 64,13^\circ \text{ A}$$

QUINDI:

$$I_1' = 52,02 \text{ A}$$

$$I_2 = K_0 \cdot I_1' = 1,3 \cdot 52,02 = 67,63 \text{ A}$$

BIANCIO POTENTE NEL FUNZIONAMENTO CON CARICO NOMINALE:



Potenza Meccanica : $P_M = P + P_{av} = 30750 \text{ W}$

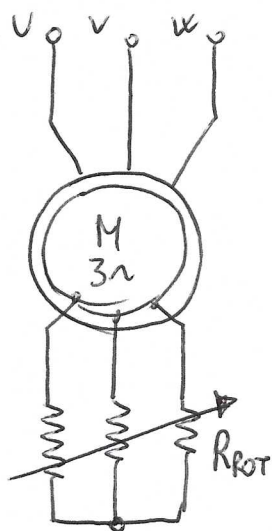
$$P_M = P_t \cdot (1-s) \Rightarrow P_t = \frac{P_M}{1-s} = \frac{30750}{1-0,0207} = 31400 \text{ W}$$

$$P_{j2} = s \cdot P_t = 0,0207 \cdot 31400 \approx 650 \text{ W}$$

SAPENDO CHE:

$$P_{j2} = 3 R_2 I_2^2 \Rightarrow R_2 = \frac{P_{j2}}{3 I_2^2} = \frac{650}{3 \cdot 67,63^2} = 47,37 \text{ m}\Omega$$

RIDUZIONE DEL 10% DELLA VELOCITA' MEDIANTE "REOSTATO SUL ROTORE"
A PARITA' DI COPPIA.

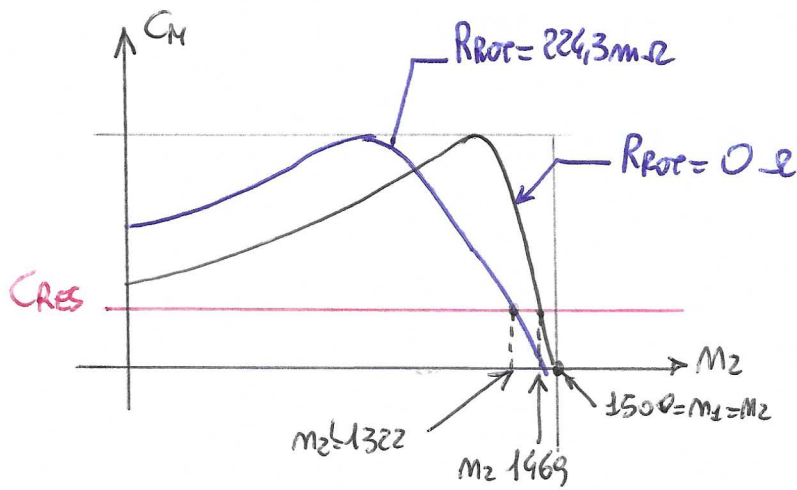


$$M_2' = 0,9 \cdot M_2 = 0,9 \cdot 1469 = 1322 \text{ g/s}$$

$$s' = \frac{M_1 - M_2'}{M_1} = \frac{1500 - 1322}{1500} \approx 0,1187 \text{ (11,87\%)}$$

SI PUO' DIMOSTRARE CHE: (LINEARIZZANDO LA CARATTERISTICA MECCANICA DEL MAT)

$$R_{rot} = R_2 \cdot \left(\frac{s'}{s} - 1 \right) = 47,37 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,1187}{0,0207} - 1 \right) \approx 224,3 \text{ m}\Omega$$



ULTIMA PARTE : UN MOTORE DA 30KW LAVORA IN MODO NON CONTINUATIVO. QUANDO È SPENCO CAMBIANO LE POTENZE EROGATE DAI TRASFORMATORI.

M_1 : SPENCO.

$$M_2 : P_m = 30 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad P_{a_2} = 35,74 \text{ kW}$$

$$Q_{a_2} = 56,81 \text{ kVAR}$$

$$M_3 : P_m = 30 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad P_{a_3} = 32,61 \text{ kW}$$

$$Q_{a_3} = 21,31 \text{ kVAR}$$

$$P_2 = P_{a_2} + P_{a_3} \approx 127,4 \text{ kW}$$

$$Q_2 = Q_{a_2} + Q_{a_3} = 78,72 \text{ kVAR}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} \approx 149,8 \text{ kVA}$$

IPOTIZIO, PER SEMPLIFICARE I CALCOLI, CHE LA TENSIONE SUI CARICHI V_2 RESTI PARO A 380V. QUINDI.

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot V_2} = \frac{149,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 227,6 \text{ A}$$

VALUTO LE CORRENTI I_{2A} e I_{2B} : (RICORDO CHE $f_{CA} = f_{CB} \dots$)

$$I_{2A} = I_2 \cdot \frac{Z_{2CB}}{Z_{2CA} + Z_{2CB}} = 227,6 \cdot \frac{55}{80 + 55} \approx 92,73 \text{ A} \quad (< I_{2MA})$$

$$I_{2B} = I_2 - I_{2A} \approx 134,9 \text{ A} \quad (< I_{2MB})$$

VALUTO LE NUOVE PERDITE NEL RAME:

$$P_{CuA} = 3 R_{2CA} \cdot I_{2A}^2 = 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 92,73^2 = 825,5 \text{ W}$$

$$P_{CuB} = 3 R_{2CB} \cdot I_{2B}^2 = 3 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 134,9^2 = 1201 \text{ W}$$

CONSIDERO LE STESSA PERDITE NEL FERRO, QUINDI:

$$P_1 = P_2 + P_{CuA} + P_{CuB} + P_{gA} + P_{gB} = 127,4 \cdot 10^3 + 825,5 + 1201 + 1080 + 1280 =$$

$$P_1 \approx 131,8 \text{ kW}$$

$$\eta_{TOT} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{127,4}{131,8} = 0,9666 \quad (96,66\%)$$

IL RENDIMENTO COMPLESSIVO È MIGLIORATO RISPETTO AL PRECEDENTE.

CASO (TUTTI I MOTORI IN FUNZIONE).

SI PUÒ INFATTI VERIFICARE CHE, IN QUESTO CASO, ENTRAMBI I TRASFORMATORI LAVORANO VICINO ALLE CONDIZIONI DI MASSIMO RENDIMENTO.

$$(P_{MAX} \Rightarrow P_{Cu}^* = P_g \Rightarrow 3 R_{2cc} I_2^{*2} = P_g \Rightarrow I_2^* = \sqrt{\frac{P_g}{3 R_{2cc}}}$$

$$I_{2A}^* = \sqrt{\frac{1080}{3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}} \approx \underline{106,1 \text{ A}} ; \quad I_{2B}^* = \sqrt{\frac{1280}{3 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}} \approx \underline{139,3 \text{ A}}$$