SOLUZIONE DEL TEMA D'ESAME DEL 2016. 1^PARTE

DATI:

MAT 6 POLI (AVV. A λ) $V_{1n} = 400V$ - 50Hz

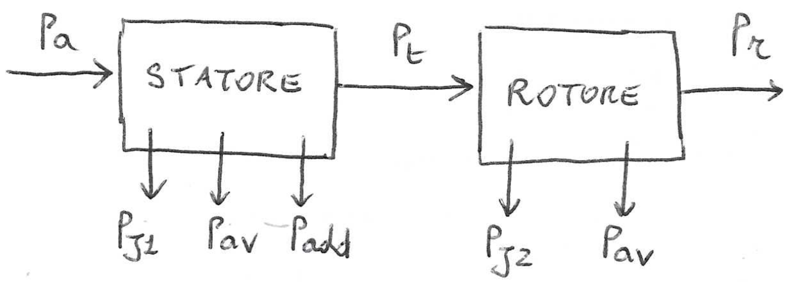
A PIENO CARICO: $I_1 = 35A$; $\cos\varphi_1 = 0{,}9_R$; $n_2 = 970\ g/1'$

PROVA A VUOTO: $I_0 = 10A$; $\cos\varphi_0 = 0{,}15_R$

$P_{av} = 300W$; $R_1 = 0{,}15\Omega$;

CORRENTE ALL'AVVIAMENTO DIRETTO: $I_a = 5{,}8 \cdot I_1$

1) DETERMINARE η E LA COPPIA RESA C_r.



$P_0 = \sqrt{3}\, V_1\, I_0 \cos\varphi_0 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10 \cdot 0{,}15 = 1039W$

$P_{J10} = 3R_1 I_0^2 = 45W$ $\qquad P_0 = P_{J10} + P_g + P_{av}$

Posso calcolare $P_g = P_0 - P_{J10} - P_{av} = 694W$

$P_a = \sqrt{3}\, V_1\, I_1 \cos\varphi_1 = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 35 \cdot 0{,}9 = 21824W$

$P_{J1} = 3R_1 I_1^2 = 551W$

$P_{add} = \frac{0{,}5}{100} \cdot P_a = 109W$

QUINDI LA POTENZA TRASMESSA VALE:

$$P_t = P_a - (P_{J1} + P_g + P_{add}) = 20'470W$$

CALCOLO LO SCORRIMENTO, VISTO CHE CONOSCO n_2:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 0{,}03 \qquad \text{dove: } n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = 1000 \, g/1'$$

$$P_{J2} = s \cdot P_t = 614W$$

$$P_M = (1-s) \cdot P_t = 19'856W$$

CALCOLO LA POTENZA RESA: $P_r = P_t - (P_{J2} + P_{av}) = 19'556W$

A QUESTO PUNTO, POSSO CALCOLARE IL RENDIMENTO E TUTTE LE COPPIE.

$$\boxed{\eta = \frac{P_r}{P_a} = 0{,}896.}$$

COPPIA RESA

$$\boxed{C_r = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_r}{n_2} = 192{,}5\,Nm}$$

COPPIA TRASMESSA
COPPIA MECCANICA

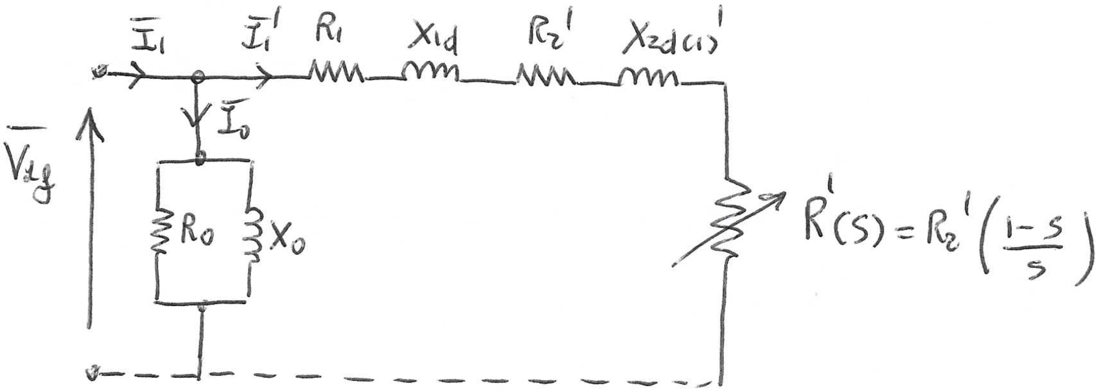
$$\boxed{C_t = C_M = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_t}{n_1} = 195{,}5\,Nm}$$

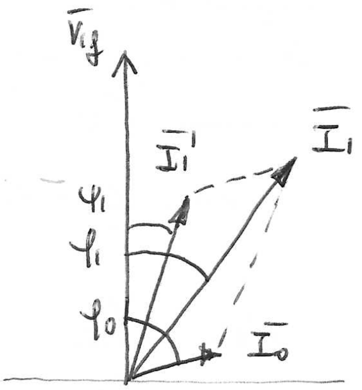
CONSIDERANDO CHE ALLA FINE DEL PROBLEMA VIENE RICHIESTO IL DIMENSIONAMENTO DI UN DISPOSITIVO DI AVVIAMENTO, CALCOLO ANCHE R_2' E LA COPPIA DI AVVIAMENTO DIRETTO C_a.

SO CHE: $I_1 = 35A$; $\cos\varphi_1 = 0,9$; $\varphi_1 = 25,84°$

$I_0 = 10A$; $\cos\varphi_0 = 0,15$; $\varphi_0 = 81,37°$

CIRCUITO EQUIVALENTE





$\bar{I}_1 = 35\,\angle 64,16° = 15,26 + j\,31,5\ A$

$\bar{I}_0 = 10\,\angle 8,63° = 9,887 + j\,1,5\ A$

$\bar{I}_1' = \bar{I}_1 - \bar{I}_0 = 5,373 + j\,30 = 30,48\,\angle 79,85°\ A$

$I_1' = 30,48$

$\psi_1 = 90° - 79,85° = 10,15°$

ESSENDO: $P_{J2} = 3 R_2 I_2^2$ OPPURE

$P_{J2} = 3 R_2' I_1'^2 \Rightarrow \boxed{R_2' = \frac{P_{J2}}{3 I_1'^2} = 0,22\Omega}$

NB: NEL TESTO NON VIENE FORNITO IL VALORE DI K_0, PER CUI NON POSSO RISALIRE AL VALORE DI R_2 e I_2.

(TRA L'ALTRO I_2 NON È RICHIESTA)

SE PERÒ SI VOLESSE ASSUMERE PER K_0 UN VALORE PLAUSIBILE (.... IL CANDIDATO, FATTE LE EVENTUALI IPOTESI AGGIUNTIVE....)

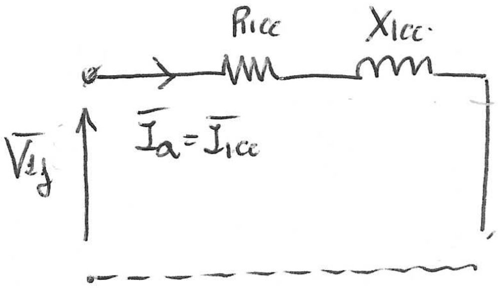
SI POTREBBE CALCOLARE ANCHE R_2 e I_2.

es. SE IPOTIZZO: $K_0 = 1,4 \Rightarrow R_2 = \frac{R_2'}{K_0^2} = \frac{0,22}{1,4^2} = 0,112\,\Omega$

$$I_2 = K_0 \cdot I_1' = 42,67\,A$$

INOLTRE, SAPENDO CHE: $I_a = 5,8 \cdot I_1 = 5,8 \cdot 35 = 203\,A$ SI PUÒ CALCOLARE LA Z_{1cc}. INFATTI:

CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MAT ALL'AVVIAMENTO:

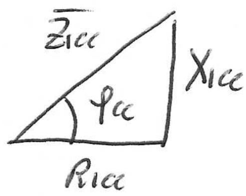


$$R_{1cc} = R_1 + R_2'$$

$$X_{1cc} = X_{1d} + X_{1d(2)}'$$

$$Z_{1cc} = \frac{V_{1f}}{I_a} = \frac{V_1}{\sqrt{3}\,I_a} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 203} \cong 1,138\,\Omega$$

CONOSCO R_1, HO CALCOLATO R_2' QUINDI:



$$R_{1cc} = R_1 + R_2' = 0,15 + 0,22 = 0,37\,\Omega$$

QUINDI POSSO CALCOLARE IL $\cos\varphi_{cc} = \frac{R_{1cc}}{Z_{1cc}} = \frac{0,37}{1,138} = 0,325$

$$X_{1cc} = R_{1cc} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{cc} = 1,076\,\Omega$$

A QUESTO PUNTO POSSO CALCOLARE LA COPPIA DI AVVIAMENTO C_a.

CON LA FORMULA: (PER LA C_a DEVO USARE LA IIª FORMULA DELLA COPPIA)

$$C_a = \frac{3}{2\pi}\cdot\frac{p}{f_1}\cdot V_{1f}^2\cdot\left(\frac{R_2'}{\underbrace{R_{1cc}^2+X_{1cc}^2}_{Z_{1cc}^2}}\right) = \frac{3}{2\pi}\cdot\frac{3}{50}\cdot\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2\cdot\frac{0,22}{1,138^2}$$

$$\boxed{C_a = 259,6\ Nm}$$

OPPURE: SI PUÒ CALCOLARE CON IL BILANCIO DELLE POTENZE ALL'AVVIAMENTO.

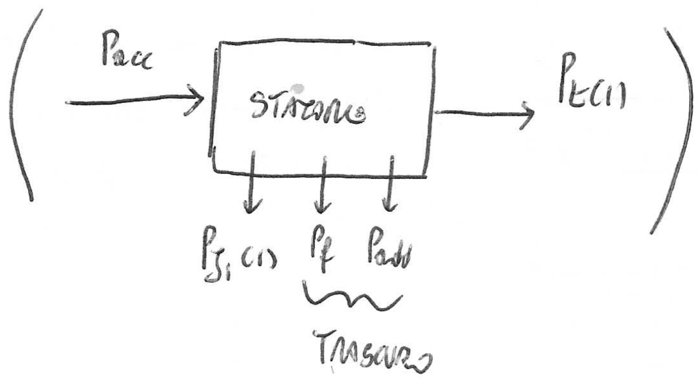
SE TRASCURO SIA P_f CHE P_{add} TROVIAMO LO STESSO RISULTATO DELLA FORMULA DELLA COPPIA.

$$P_{acc} = \sqrt{3}\ V_1\ I_a \cos\varphi_{cc} = \sqrt{3}\cdot 400\cdot 203\cdot 0,325 = 45709\ W$$

$$P_{J1(1)} = 3 R_1 I_a^2 = 3\cdot 0,15\cdot 203^2 = 18544\ W$$

$$P_{t(1)} \cong P_{acc} - P_{J1(1)} = 27165\ W$$

$$C_a = C_{t(1)} = \frac{60}{2\pi}\cdot\frac{P_{t(1)}}{n_1} \cong 259,4\ Nm$$ ok



2^PARTE

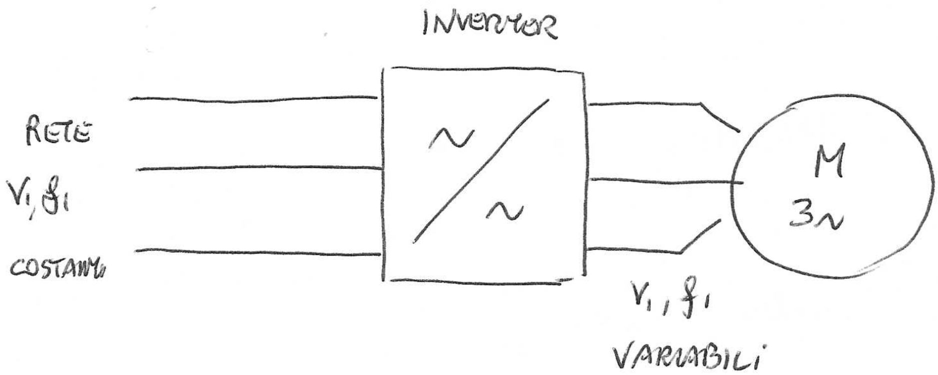
2) DEFINIRE UN SISTEMA DI REGOLAZIONE IN GRADO DI RIDURRE DEL 10% LA VELOCITA' DEL MOTORE A PIENO CARICO.

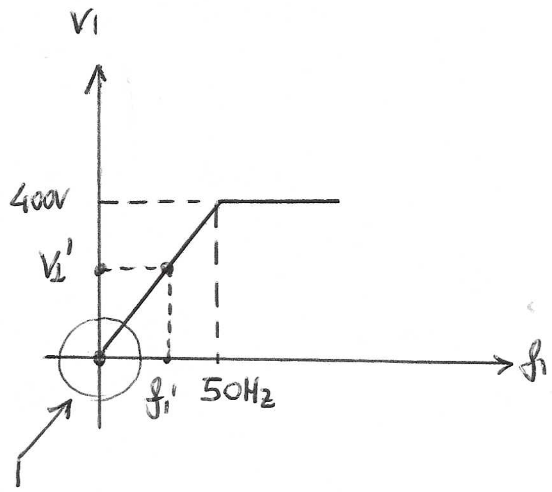
VI PROPONGO DUE SOLUZIONI:

a) IMPIEGO DI UN INVERTER SCALARE
(LA SOLUZIONE MIGLIORE PER QUESTO TIPO DI PROBLEMA)

b) IMPIEGO DI UN REOSTATO SUL ROTORE
(TECNICA IN DISUSO, CHE RICHIEDE L'IPOTESI DI MAT A ROTORE AVVOLTO OVVIAMENTE E L'IPOTESI DI UN VALORE PER K_0, AD ESEMPIO $K_0 = 1{,}4$)

a) INVERTER SCALARE



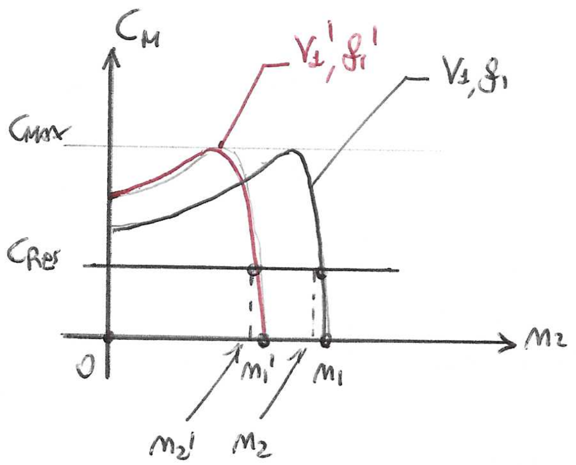


IPOTIZZIAMO INVERTER "IDEALE"
(NELLA REALTA' SAPPIAMO CHE PER $f_1 < 10Hz$, $V_1 \cong 40V$ FISSI)

CON $\begin{cases} V_1 = 400V \\ f_1 = 50Hz \end{cases}$

$$\boxed{\frac{V_1}{f_1} = \frac{400}{50} = 8.}$$

QUINDI: $\boxed{V_1 = 8 \cdot f_1}$



$$\begin{cases} V_1 = 400V \\ f_1 = 50Hz \end{cases}$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \; ; \quad n_2 = n_1(1-s)$$

$$n_1' = \frac{60 f_1'}{p} \; ; \quad n_2' = n_1'(1-s')$$

$\boxed{1^a \text{SOLUZIONE:}}$ LAVORO SUBITO CON LA FREQUENZA VISTO CHE $f_1 \rightarrow n_1 \rightarrow n_2$.

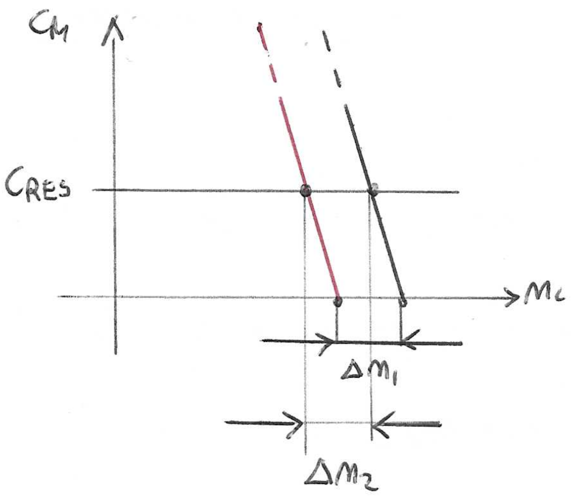
RIDUZIONE DEL 10% VUOL DIRE: $\boxed{f_1'} = 0{,}9 \cdot f_1 = \boxed{45Hz}$.

QUINDI; ESSENDO : $\boxed{V_1'} = 8 \cdot f_1' = 8 \cdot 45 = \boxed{360V}$

Con $f_1' = 45Hz$ HO: $n_1' = \frac{60 \cdot f_1'}{p} = 900 \, g/1'$

PERTANTO: $\Delta n_1 = n_1 - n_1' = 1000 - 900 = 100 \, g/1'$

IPOTIZZANDO LINEARI I TRATTI DELLA CARATTERISTICA MECCANICA E CIRCA PARALLELI, POSSIAMO IPOTIZZARE CHE:



$$\Delta n_2 = \Delta n_1 = 100 \, g/1'$$

$$\Delta n_2 = n_2 - n_2'$$

QUINDI: $n_2' = n_2 - \Delta n_2$

$$\boxed{n_2'} = 970 - 100 = \boxed{870 \, g/1'}$$

$$s' = \frac{n_1' - n_2'}{n_1'} = \frac{900 - 870}{900} = 0{,}0333$$

QUESTA È IN GENERE LA SOLUZIONE RICHIESTA. PERÒ SE UNO VERIFICA IL $\Delta n_2\%$ SCOPRE CHE: $\Delta n_2\% = \frac{n_2 - n_2'}{n_2} = 10{,}3\%$

SE VICEVERSA SI VOLESSE GARANTIRE ESATTAMENTE LA VARIAZIONE DEL 10% RICHIESTA SU M_2, SI POTREBBE OPERARE IN MODO SIMILE, OVVERO:

2^ SOLUZIONE

SI PARTE IMPONENDO LA RIDUZIONE DEL 10% SU M_2:

$$M_2' = 0{,}9 \cdot M_2 = 0{,}9 \cdot 970 = 873 \, g/1' \qquad (\text{ANZICHÉ } 870)$$

$$\Delta M_2 = M_2 - M_2' = 970 - 873 = 97 \, g/1' \qquad (\text{PRIMA ERA } 100)$$

$$\downarrow$$

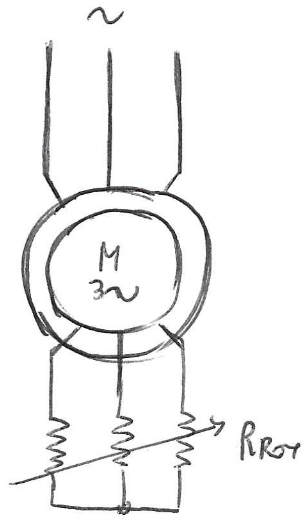
SI IMPONE: $\Delta M_I = \Delta M_2 = 97 \longrightarrow M_1' = M_1 - \Delta M_1 = 903 \, g/1$ (PRIMA ERA 900)

NOTO M_1', RICAVO $\boxed{f_1'} = \dfrac{M_1' \cdot p}{60} = \dfrac{903 \cdot 3}{60} = \boxed{45{,}15\,Hz}$ (PRIMA ERA 45Hz)

DA CUI: $\boxed{V_1'} = 8 \cdot f_1' = \boxed{361{,}2\,V}$ (PRIMA ERA 360V)

b) MAT A ROTORE AVVOLTO CON REOSTATO R_{ROT}

IPOTIZZIAMO UN $K_0 = 1{,}4$. IN TALE CASO ABBIAMO GIA' VISTO CHE: $R_2' = 0{,}22\,\Omega \longrightarrow R_2 = \frac{R_2'}{K_0^2} = 0{,}112\,\Omega.$



ABBIAMO GIA' DISCUSSO DELLA "LINEARIZZAZIONE" DEL TRATTO STABILE DELLA C. M.

(UTILIZZIAMO LA I^ FORMULA DELLA COPPIA)

$$C_M \triangleq K \cdot \frac{s}{R_2} = K \cdot \frac{s'}{(R_2 + R_{ROT})}$$

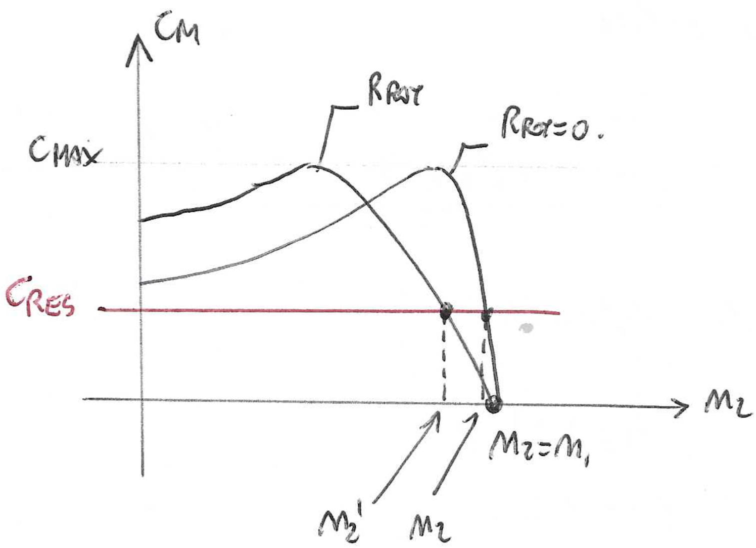
$$\Downarrow$$

$$R_{ROT} = R_2 \left(\frac{s'}{s} - 1 \right)$$

$$n_2' = 0{,}9 \cdot n_2 = 873 \text{ g/1'}$$

QUINDI: $s' = \frac{n_1 - n_2'}{n_1} = \frac{1000 - 873}{1000} = 0{,}127$

(QUI LA f_1 NON CAMBIA, QUINDI n_1 È 1000 g/1')



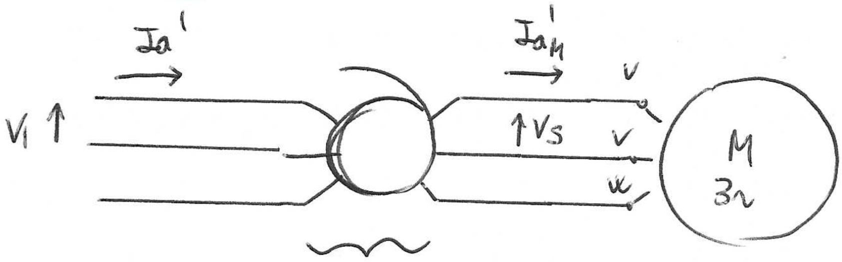
$$R_{ROT} = 0{,}112 \cdot \left(\frac{0{,}127}{0{,}03} - 1 \right) = 0{,}362\,\Omega$$

$$\boxed{R_{ROT} = 0{,}362\,\Omega}$$

ANCHE PER L'ULTIMA RICHIESTA DEL TEMA D'ESAME, VI PROPONGO DIVERSE SOLUZIONI

— DOBBIAMO AVVIARE IL MAT SAPENDO CHE: $C_{res} = 78,5\ Nm.$

$\boxed{\text{1^ SOLUZIONE}}$ AVVIAMENTO CON AUTOTRASFORMATORE



$K_{AT} = ?$

$S_n = ?$

SAPPIAMO CHE:

$I_a = 203 A$

E ABBIAMO GIÀ CALCOLATO NELLA 1^ PARTE DEL PROBLEMA:

$C_a = 259,6\ Nm.$

PER AVVIARE IL MAT DOVRÒ IMPORRE: $C_a' > C_{res}$

SCELGO: $C_a' = 100\ Nm$

ESSENDO: $C_a' = \alpha \cdot C_a \Rightarrow \alpha = \frac{C_a'}{C_a} = \frac{100}{259,6} = 0,385$

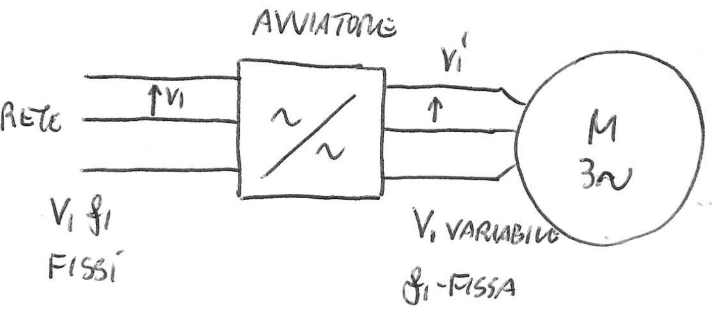
SAPPIAMO INOLTRE CHE: $K_{AT} = \sqrt{\frac{1}{\alpha}} = 1,61$

QUINDI: $\boxed{V_s} = \frac{V_1}{K_{AT}} = \boxed{248,3V}$ e $\boxed{I_a' = \alpha I_a = 78,16 A}$ $(I_a' \doteq 2,23 I_1)$

$S_p = \sqrt{3}\, V_1 \cdot I_a' = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 78,16 = 54,15\ kVA$

SCELGO UN AUTOTRASFORMATORE DA: $\begin{cases} S_n = 25\ kVA \\ V_{1n} = 400V \\ V_{20n} = 248,3V \end{cases}$

2^ SOLUZIONE — AVVIATORE ELETTRONICO



L'AVVIATORE MODIFICA SOLO V_1.

ABBIAMO GIÀ DISCUSSO CHE:

$$C_a' = \alpha^2 \cdot C_a$$

$$I_a' = \alpha \cdot I_a$$

INOLTRE SAPPIAMO CHE $C_a \propto V_1^2$ QUINDI: $C_a = k\, V_1^2$

$C_a' = k\, V_1'^2$

$$\frac{C_a'}{C_a} = \frac{\cancel{k}\, V_1'^2}{\cancel{k}\, V_1^2} = \left(\frac{V_1'}{V_1}\right)^2 \qquad V_1' = V_1 \cdot \sqrt{\frac{C_a'}{C_a}}$$

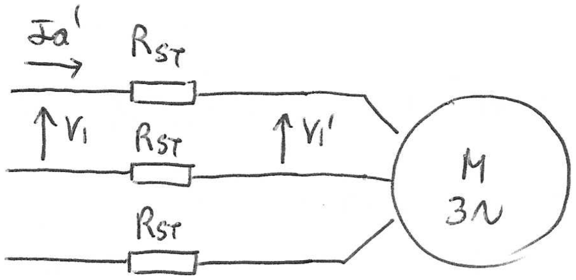
$$\boxed{V_1' =} \; 400 \cdot \sqrt{\frac{100}{259{,}6}} = \boxed{248{,}3\,V}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_a'}{C_a}} \cong 0{,}621 \qquad \boxed{I_a' =} \; \alpha \cdot I_a = 0{,}621 \cdot 203 \cong \boxed{126\,A}$$

$$(I_a' = 3{,}6 \cdot I_1)$$

PERTANTO, RISPETTO ALL'AVVIAMENTO CON AUTOTRASFORMATORE, A PARITÀ DI COPPIA C_a' VOLUTA, E QUINDI A PARITÀ DI $V_1' = V_S$, ABBIAMO UNA MINORE RIDUZIONE DELLA CORRENTE ALL'AVVIAMENTO.

3ª SOLUZIONE — AVVIAMENTO CON IMPEDENZE STATORICHE



$\overline{Z}_{ST} = R_{ST}$ (USO SOLO RESISTENZE)

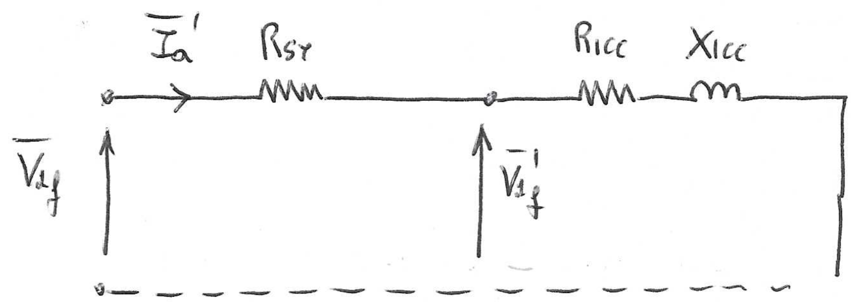
SAPENDO CHE: $C_a' = \alpha^2 \cdot C_a$

$I_a' = \alpha \cdot C_a$

$\alpha = \sqrt{\dfrac{C_a'}{C_a}} = \sqrt{\dfrac{100}{259{,}6}} = 0{,}621$; $\boxed{V_1' =} V_1 \cdot \sqrt{\dfrac{C_a'}{C_a}} = \boxed{248{,}3\,V}$

$(V_1' = \alpha \cdot V_1)$

$\boxed{I_a' =} \alpha \cdot I_a = \boxed{126\,A}$ AVVIAMENTO COME PRIMA



$Z_{TOT} = \dfrac{V_1}{\sqrt{3} \cdot I_a'} = \dfrac{400}{\sqrt{3} \cdot 126}$

$Z_{TOT} \cong 1{,}833\,\Omega$

$\overline{Z}_{TOT} = (R_{ST} + R_{1cc}) + j\,X_{1cc}$ dove $\left.\begin{array}{l} R_{1cc} = 0{,}37\,\Omega \\ X_{1cc} = 1{,}076\,\Omega \end{array}\right\}$ CALCOLATI NELLA 1ª PARTE

$1{,}833^2 = (R_{ST} + 0{,}37)^2 + 1{,}076^2$

$\Downarrow$

$\boxed{R_{ST} = 1{,}114\,\Omega}$