

Ispitni rok

TEORIJA ELEKTRIČNIH STROJEVA I TRANSFORMATORA

10.02.2015.

(svaki zadatak 12 bodova)

1. U transformatorskoj stanici nalazi se 6 jednakih transformatora $S_n = 400 \text{ kVA}$, $U_{1n}/U_{2n} = 10500/400 \text{ V}$, $u_k = 5\%$, $P_0 = 2000 \text{ W}$, $\eta = 0,98$, Dz6 koji se prema potrebi mogu uključiti paralelno:
 - a) Koliko transformatora treba uključiti paralelno ako se transformira 900, 1200, 1500 kVA i ako želimo da pri svakom opterećenju grupa radi s najboljim faktorom korisnosti?
 - b) Nacrtajte fazorski dijagram (T-sHEMA transformatora) transformatora koji je opterećen teretom s faktorom snage jednakim 1. Označite sve fazore.
 - c) Nacrtajte shemu spoja transformatora Dz6 i pripadni dijagram napona.
2. Trofazni transformator 400 kVA, 10/0,4 kV, Dyn5, ima pri 75°C podatke: $P_k = 3767 \text{ W}$, $P_0 = 445 \text{ W}$, $u_k = 3,88\%$, $I_0 = 0,13\% I_n$ i pri 22°C : $R_{st1} = 2,19 \Omega$, $R_{st2} = 0,0023 \Omega$. Treba izračunati elemente nadomjesne sheme u % i nacrtati T nadomjesnu shemu za 75°C .
3. Stator općeg modela ima 8 istaknutih polova. Njegov se rotor vrti brzinom od 750 min^{-1} . Namotima rotora teku struje frekvencije 50 Hz. Odredite frekvencije statorskih struja pri kojima je moguća trajna elektromehanička pretvorba energije. Odredite za sve slučajeve o kojoj se vrsti stroja i pretvorbe radi. Za svaki kriterij skicom prikažite protjecanja koja stvaraju moment i napišite fizikalno objašnjenje.
4. Dijametalni svitak, kao dio trofaznog simetričnog dvoslojnog namota, smješten na obodu 4-polnog stroja sa stranicama na mjestima $x_1 = 0$, $x_2 = \tau_p$ protjecan izmjeničnom strujom $i(t) = 10\cos(\omega t) \text{ A}$ stvara u zračnom rasporu pulsirajuće protjecanje sinusne prostorne raspodjele amplitude 300 A.
 - a) Koliko je protjecanje na mjestu $x = \tau_p/4$ u trenutku kada je trenutna vrijednost struje 8 A?
 - b) Pod kojim kutom u električnim i geometrijskim stupnjevima u odnosu na os svitka će se nalaziti direktno okretno protjecanje svitka u trenutku kada je trenutna vrijednost struje 8 A?
 - c) Ako ovaj svitak pripada fazi V, kakvog iznosa i faznog pomaka trebaju biti struje kroz ostale 2 faze da bi se stvorilo simetrično trofazno okretno protjecanje?
 - d) Skicirajte razvijenu shemu faze V električnog stroja, ako ima 24 utora i 2 paralelne grane. Označite i početak faze W, ako faza U počinje u utoru br.1.
5. Sinkroni motor s trajnim magnetima na površini rotora nazivnih podataka 15 kW, 440 V, 60 Hz, 6 polova, $R_s = 0,05$, napaja se iz strujno reguliranog pretvarača napona i frekvencije. Ako se pri nazivnoj frekvenciji vektorom struje upravlja tako da je $I_{ds}' = 0 (\gamma = 0)$, a $I_s = I_{qs}' = 1$ uz napon na stezaljkama motora $U_s = 1$, onda faktor snage izmjerjen na stezaljkama motora iznosi 0,95.
 - a) Skicirajte vektorski dijagram za navedenu radnu točku i označite sve vektore.
 - b) Odredite parametre motora X_d i E i izračunajte elektromagnetski moment koji razvija motor za navedenu radnu točku.
 - c) Odredite napon statora U_s , amplitudu vektora struje I_s i faktor snage $\cos \phi$ u radnoj točki u kojoj motor razvija moment $M_{em} = 0,5 \text{ pu}$ na 90 % nazivne brzine vrtnje. Prepostavite da je $I_{ds}' = 0$.
 - d) Naponske i strjne granice za rad iznad nazivne brzine su jednake $U_s = 1,0 \text{ p.u.}$ i $I_s = 1,0 \text{ p.u.}$ Odredite najveći moment koji motor može ostvariti i odgovarajući kut γ pri brzini $\omega = 1,2$. Zanemarite statorski otpor u ovom dijelu zadatka.

$$\textcircled{1} \quad S_m = 400 \text{ kVA}$$

$$U_{1n}/U_{2n} = 10500/400V$$

$$\eta_e = 5\%$$

$$P_o = 2000 \text{ W}$$

$$\eta = 0.98$$

Dz6

a) a) DIO NE ZNAM RIJEŠITI I SLJEDEĆI
POSTUPAK JE MOŽDA POGREŠAN!!!

$$d = \frac{S}{n_{AV} \sum_{i=1}^m \frac{S_{ni}}{U_{xi}}} = \frac{S}{n S_m} \Rightarrow d S_m = \frac{S}{m} \rightarrow \begin{matrix} \text{broj transformatora} \\ n \text{ grupi} \end{matrix}$$

$$\eta = 1 - \frac{P_o + (d^2 P_{tm})}{d S_m \cos \varphi} = 1 - \frac{2 P_o}{(d S_m)^2} = 1 - \frac{2 P_{tm}}{S} \Rightarrow n = \frac{S}{2 P_o} (1 - \eta)$$

$$d_{max} = \sqrt{\frac{P_o}{P_{tm}}} \text{ da } \eta = 1_{max} \Rightarrow d^2 P_{tm} = P_o$$

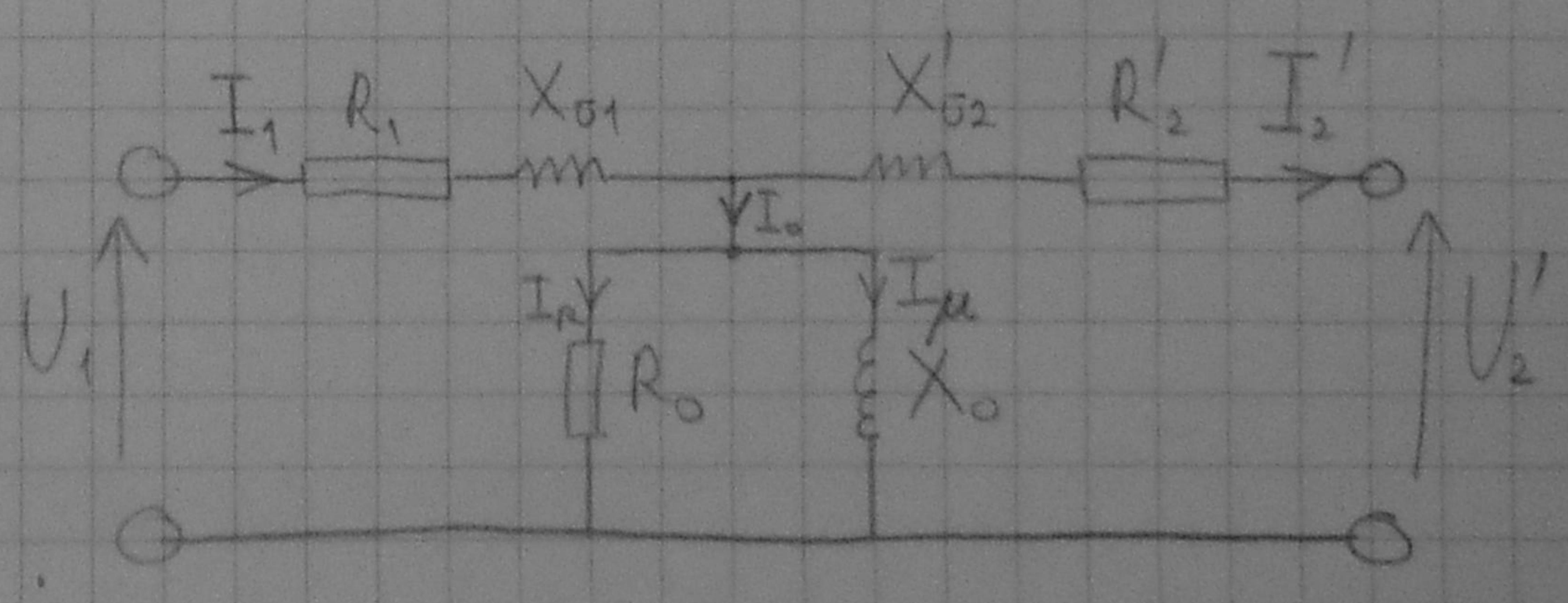
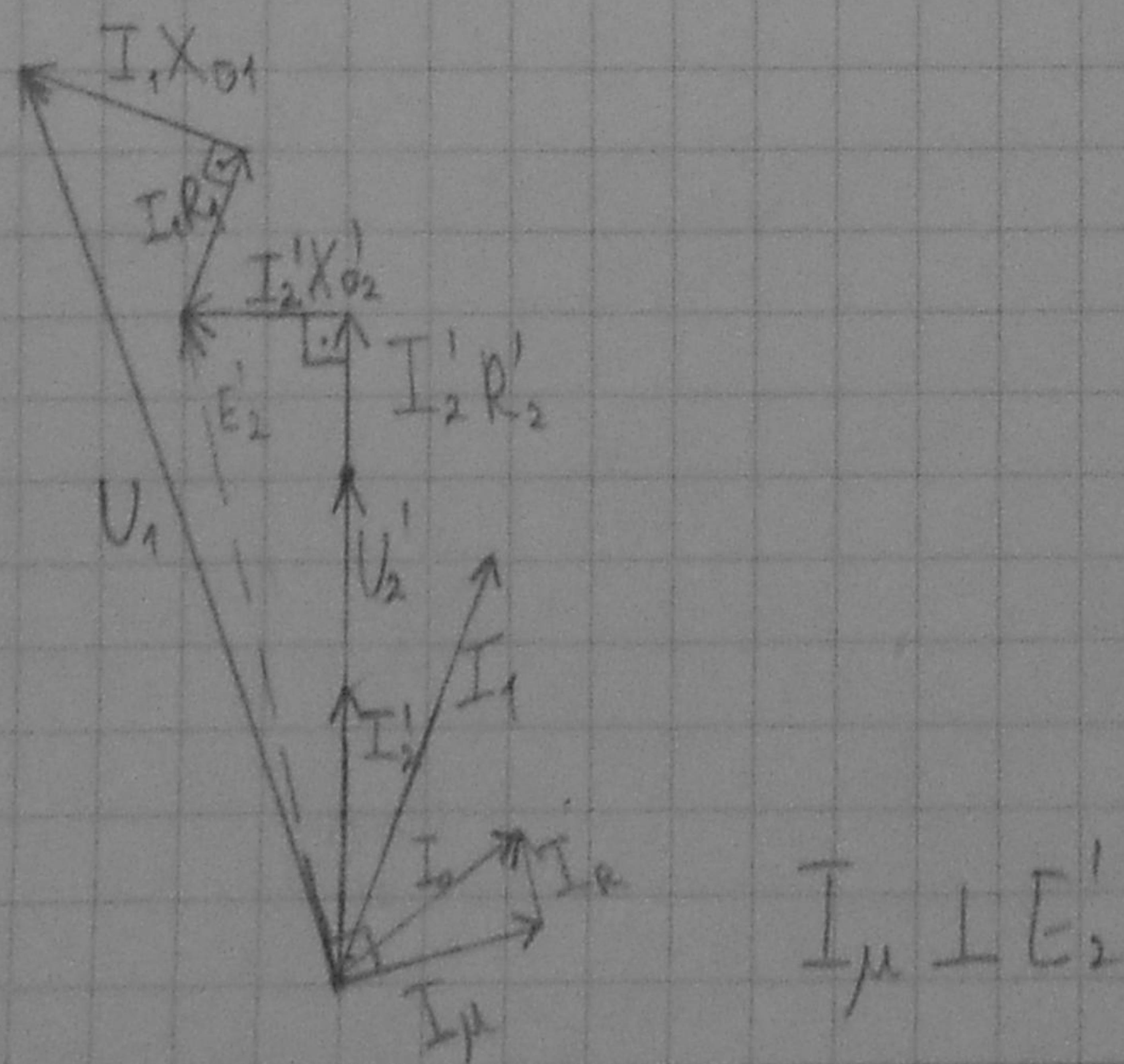
Za $\cos \varphi$ se name $\cos \varphi = 1$ jer pri takom opterećenju grupa mora raditi s najboljom korisnosti koja je moguća za $\cos \varphi = 1$

$$1) S = 900 \Rightarrow n = \frac{900}{2 \cdot 2000} (1 - 0.98) = [4.5] = [5]$$

$$2) S = 1200 \Rightarrow n = [6]$$

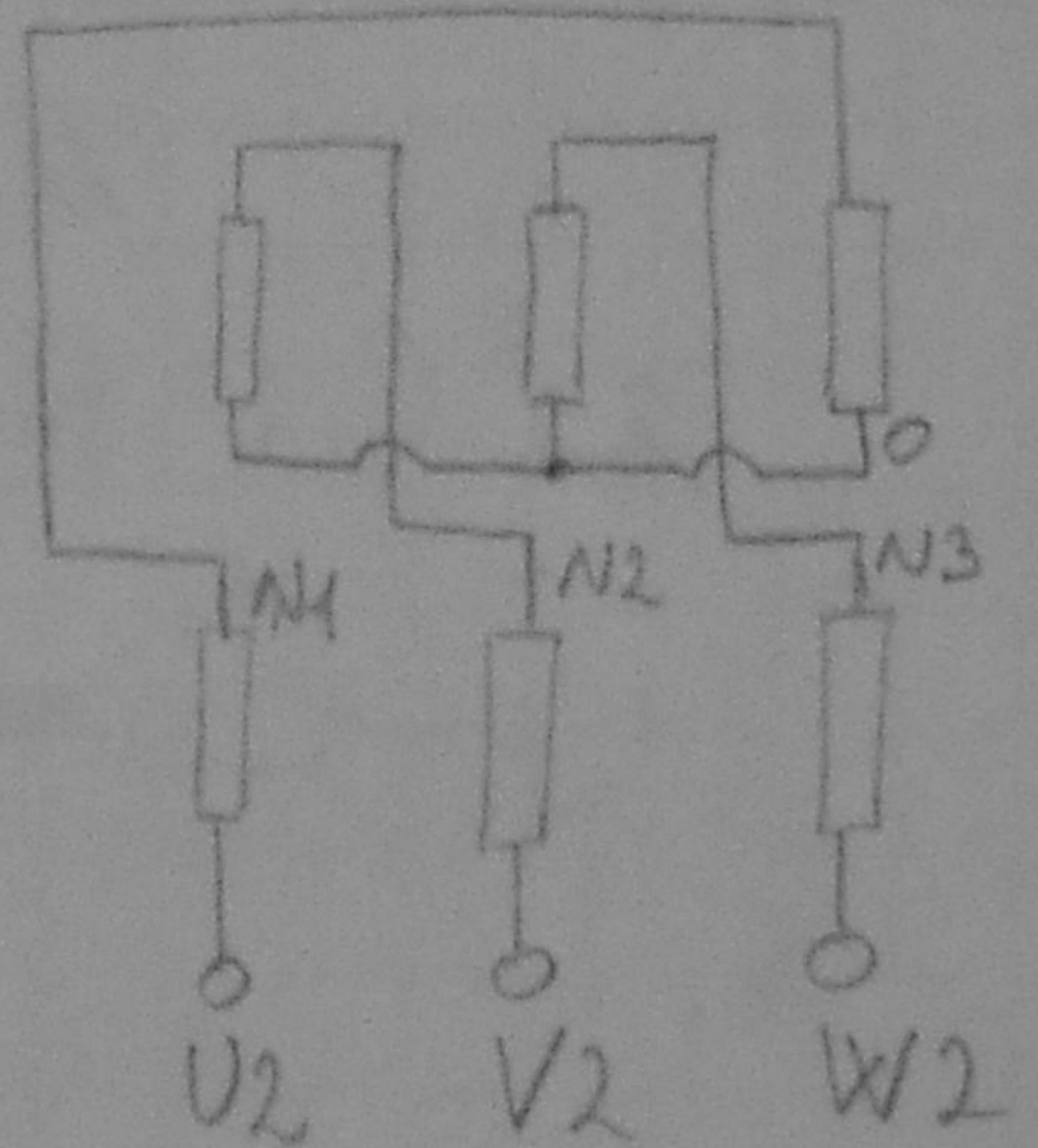
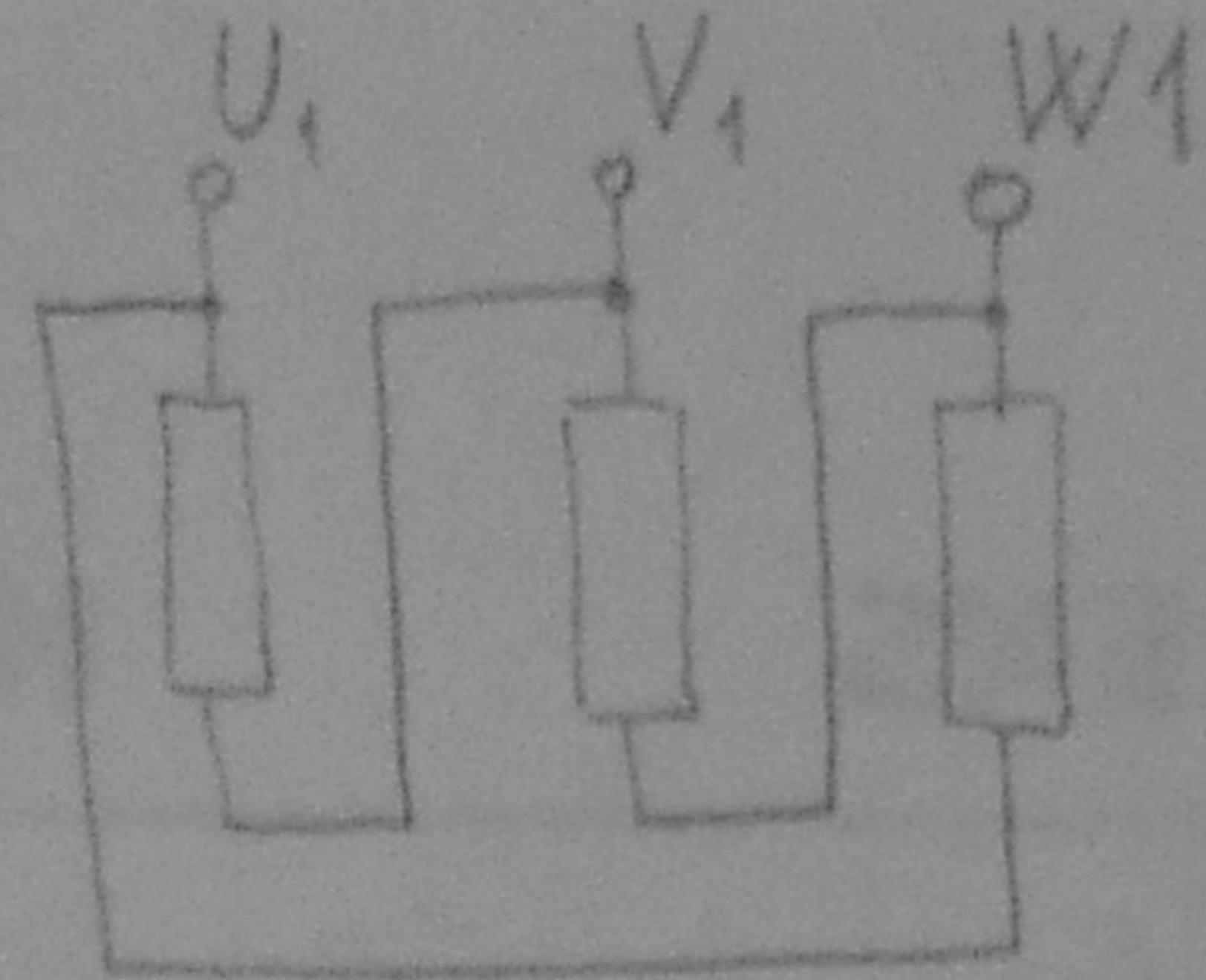
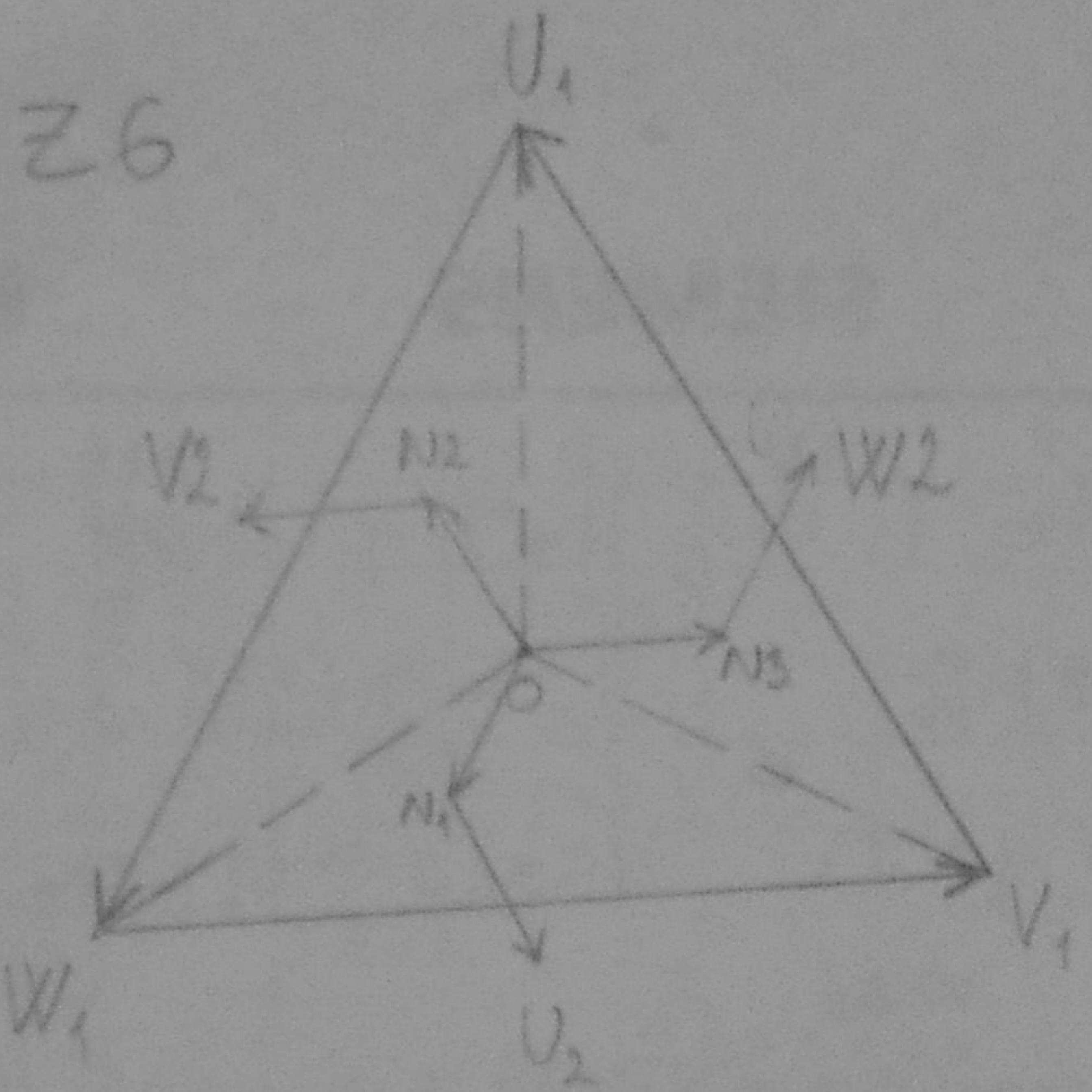
$$3) S = 1500 \Rightarrow n = 8 \rightarrow \text{zbirom da je } n_{max} = 6 \Rightarrow [n = 6]$$

b)



c)

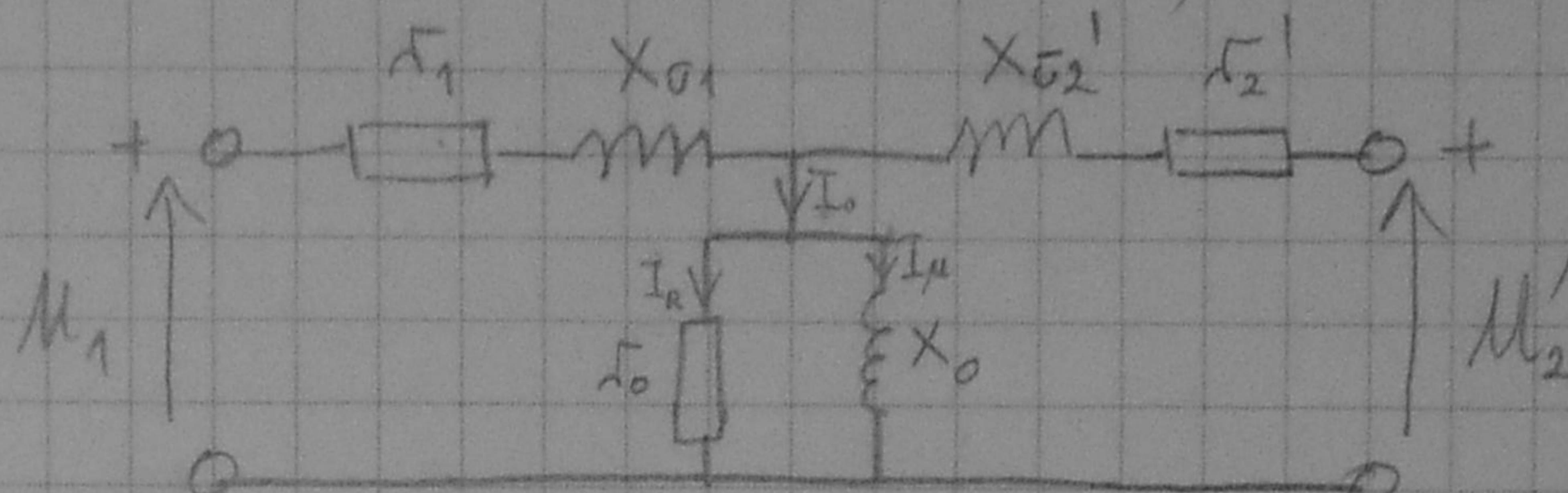
DZ6



2. $S_m = 400 \text{ kVA}$ $75^\circ\text{C}: P_k = 3767 \text{ W}, P_o = 445 \text{ W}$
 $U_{n1} = 10 \text{ kV}$ $M_k = 3.88\%, I_o = 0.13\% I_n$
 $U_{n2} = 400 \text{ V}$ $22^\circ\text{C}: R_{st1} = 2.19 \Omega, R_{st2} = 0.0023 \Omega$

 P_{losses}

$$\alpha = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} = 2.5$$



$$b = \frac{235 + 75}{235 + 22} = \frac{235 + 75}{235 + 22} = 1.20623$$

$$U_b = U_{n1} = 10000 \text{ V} \quad I_{m1} = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_n} = 23.094 \text{ A}$$

$$Z_b = \frac{U_n^2}{S_m} = 250 \Omega$$

$$R_o = \frac{(U_n/\sqrt{3})^2}{P_o/3} = \frac{10000^2}{445} = 224719.1 \Omega$$

$$r_o = \frac{R_o}{Z_b} \cdot 100\% = 89887.64\%$$

$$I_R = \frac{U_n}{\sqrt{3}R_o} = 0.0257 \text{ A}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_R^2} = 0.0155 \text{ A}$$

$$X_o = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_\mu} = 372024.94$$

$$x_o = \frac{X_o}{Z_b} = 148809.98\%$$

$$R_1 = \frac{1}{2} R_{st1} = 1.095 \Omega$$

$$R'_{2,75} = \frac{1}{2} R_{st2} \cdot \alpha^2 = 0.71875 \Omega$$

$$X_{o1} = X_{o2} = \frac{X_o}{Z_b} = 1.8834\%$$

$$P_k = P_{cu} + P_{cool}$$

$$P_{cool} = P_k - 3 \cdot I_{m1}^2 \cdot b \cdot (R_1 + R'_{2,75})$$

$$P_{cool} = 3767 - 3 \cdot 23.094^2 \cdot 1.20623 \cdot 1.81375$$

$$P_{cool} = 266.52 \text{ W}$$

$$R_{cool} = \frac{(P_{cool}/3)}{I_{m1}^2} = 0.1666 \Omega$$

$$R'_{2,75} = R'_{2,75} \cdot b + \frac{1}{b} R_{cool} = 1.0051 \Omega$$

$$\xi_{1,75} = \frac{R_1 \cdot b}{Z_b} = 0.5283\%$$

$$\xi'_{2,75} = \frac{R'_{2,75}}{Z_b} = 0.402\%$$

$$U_R = I_{m1}(R_{ilb} + R'_{2,75}) = 23.094 \cdot 2.326 \\ = 53.715 \text{ V}$$

$$U_o = \sqrt{\left(\frac{U_R}{\sqrt{3}}\right)^2 - U_b^2} = \sqrt{224^2 - 53.715^2} = 217.48 \text{ V}$$

$$X_5 = \frac{1}{2} \frac{U_o}{I_{m1}} = 4.7085 \Omega$$

$$(3) P = 4 \rightarrow f_m = \frac{Pn}{60} = 50 \text{ Hz}$$

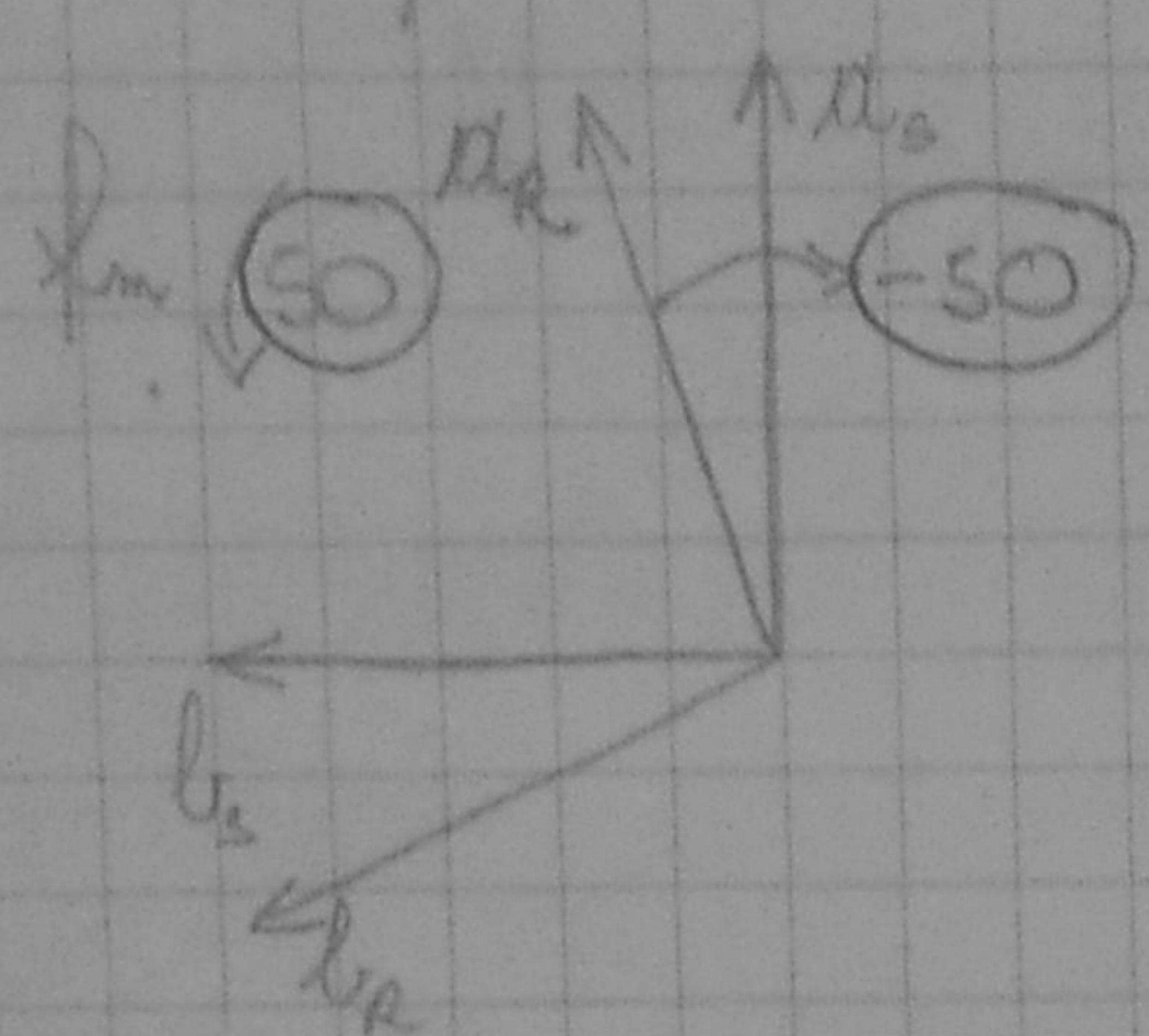
$$n_r = 750 \text{ min}^{-1}$$

$$f_A^R = f_B^R = 50 \text{ Hz}$$

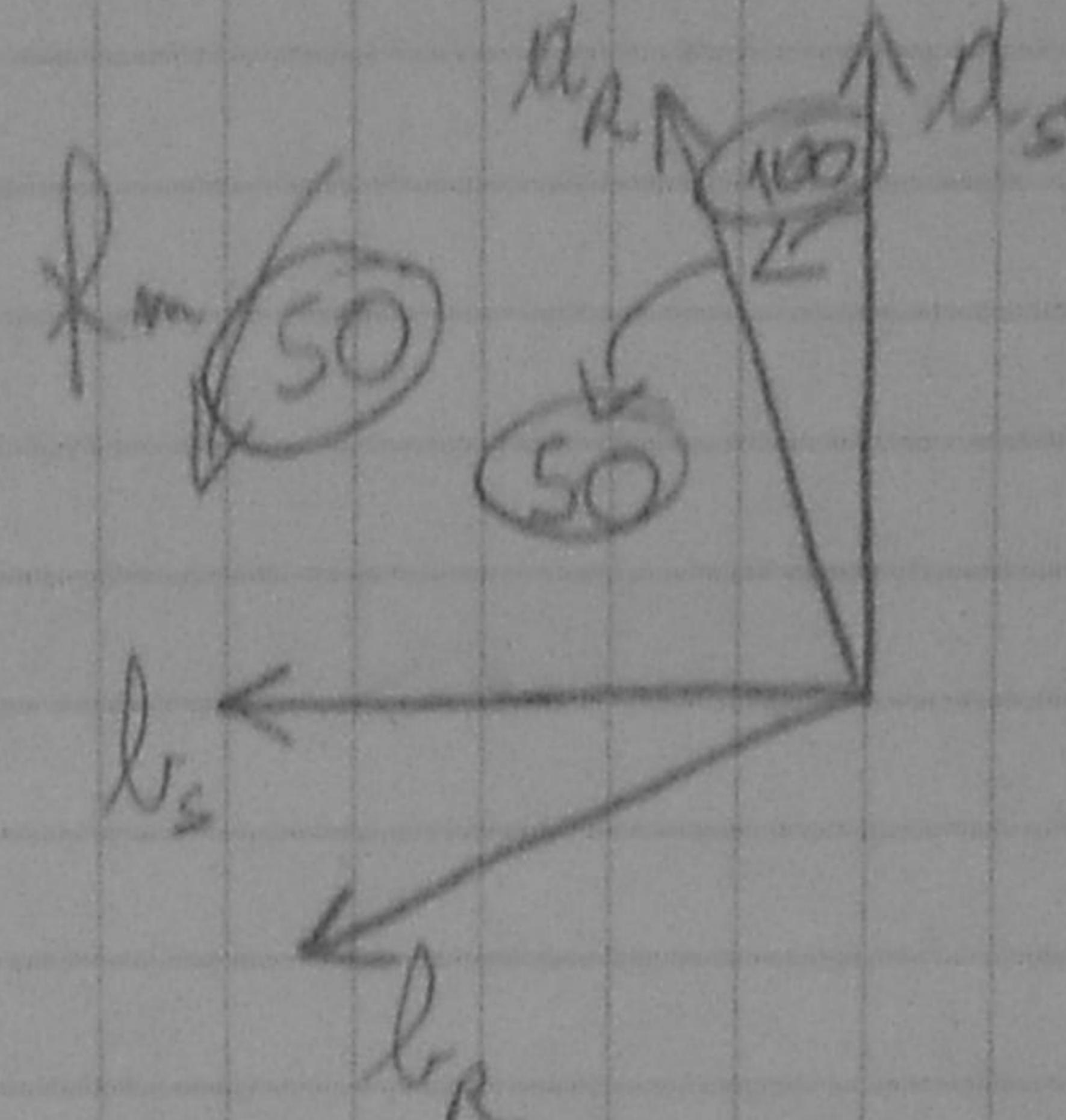
\rightarrow mehanička brzina rotora

$$a) f^s = \pm f^R \pm f_m = \pm 50 \pm 50$$

$$f^s = 0 \text{ Hz}$$



$$f^s = 100 \text{ Hz}$$



- statom tice istosmjerna struja, a rotom izmjenicna
- ISTOSMJERNI STROJ

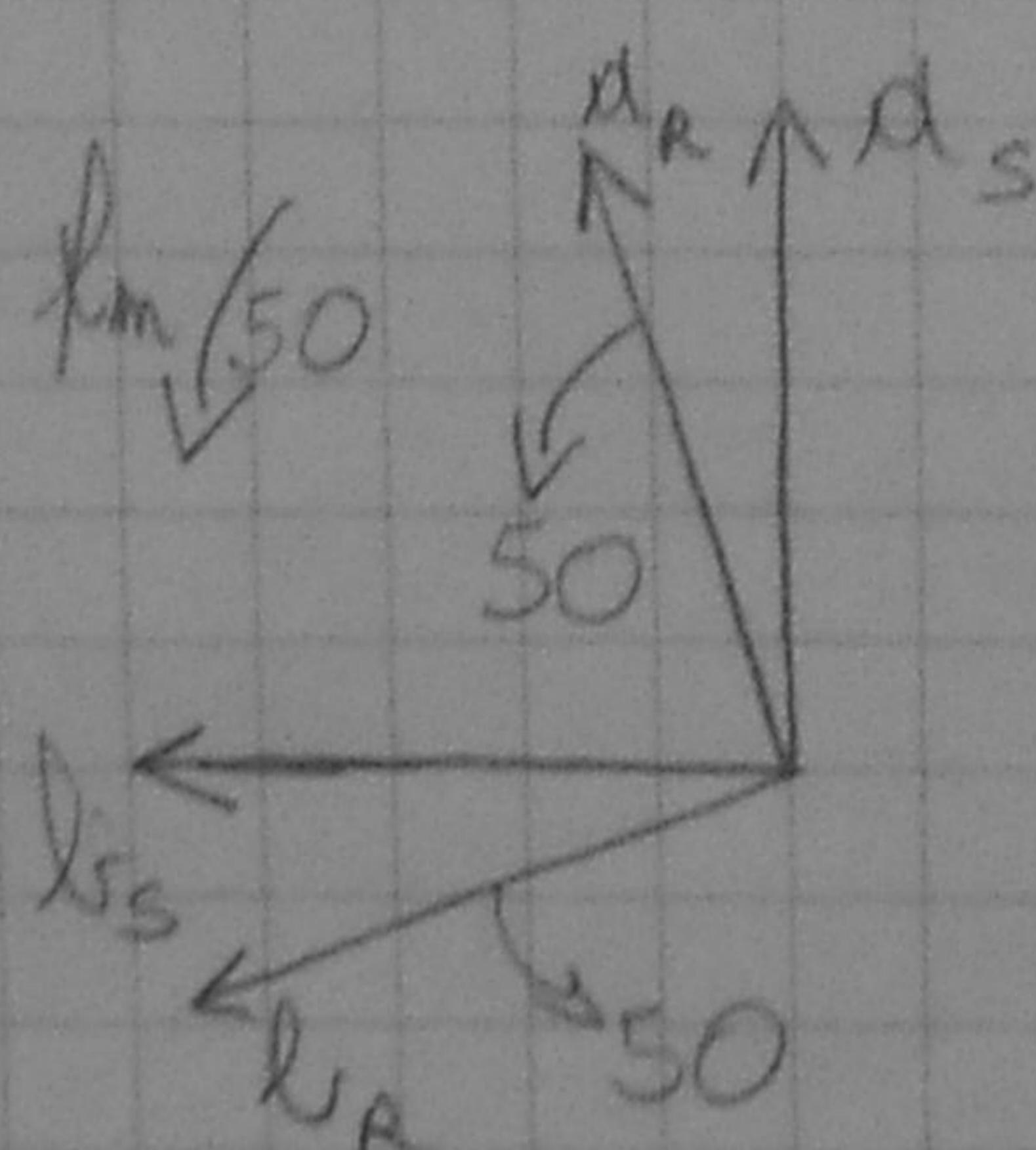
$$s = \frac{f^s - f_m}{f_s} = \frac{100 - 50}{100} = 0.5$$

\rightarrow asinkroni stroj u motornom režimu rada

$$b) f_A^R = f_m \quad \text{i/ili} \quad f_B^R = f_m$$

- uvjet radovoljno

- SINKRONI RELUKTANTNI MOMENT



- statom koji imaju istaknute polove ne tice struja

$$c) f_A^R = \pm f_B^R \pm 2f_m \rightarrow \text{nije moguce radovoljiti ovaj uvjet jer je } f_A^R = f_B^R$$

\rightarrow može kad se ovdje uvjet može radovoljiti, radi se o RELUKTANTNOM MOMENTU

(4)

$$p = 2$$

$$x_1 = 0, x_2 = \frac{c_p}{2} \Rightarrow k = \frac{1}{c_p} = 1$$

$$\Theta_m = 300 \text{ A}$$

$$i(t) = 10 \cos(\omega t)$$

a) $i(t_1) = 8 \text{ A}, x = \frac{c_p}{4}$

$$\Theta_A(t, x) = \Theta_m \sin\left(\frac{\pi}{c_p} x\right) \cos(\omega t) = \frac{1}{2} \Theta_m \sin(\delta_{EL}) \cos(\omega t)$$

$$i(t_1) = 8 \text{ A} = 10 \cos(\omega t) \Rightarrow \cos(\omega t) = \frac{8}{10}$$

$$\Theta_A(t_1, \frac{c_p}{4}) = 300 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{c_p} \cdot \frac{c_p}{4}\right) \cdot \frac{8}{10} = 300 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{8}{10} = 169.71$$

b) $\Theta_A(t_1, x_1) = \frac{1}{2} \Theta_m \sin(\delta_{EL} - \omega t) + \frac{1}{2} \Theta_m \sin(\delta_{EL} + \omega t)$

$$\sin(\delta_{EL1} - \omega t) = 1$$

$$8 = 10 \cos(\omega t)$$

$$\delta_{EL1} = 90^\circ + \omega t$$

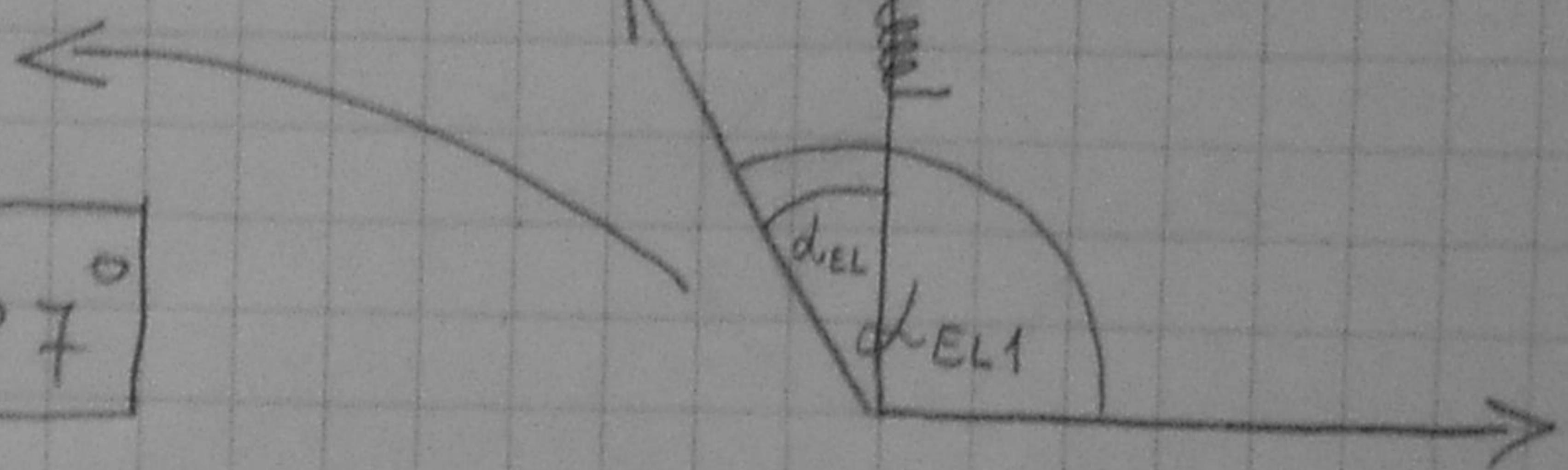
$$\omega t = \arccos\left(\frac{8}{10}\right)$$

$$\omega t = 36.87^\circ$$

↑ trazi se kut prema pri
viteku, a ne putna x.

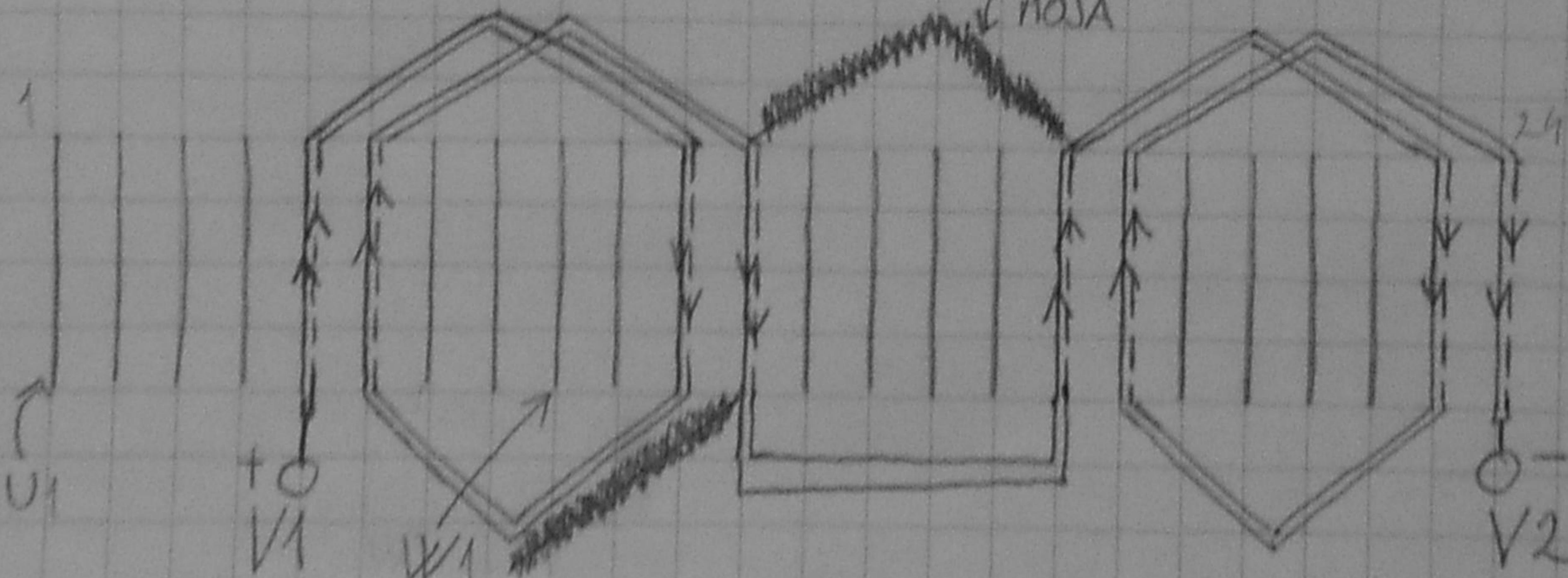
→ OS SVITRA A

$$\hookrightarrow \delta_{EL} = \delta_{EL1} - 90^\circ = 36.87^\circ$$

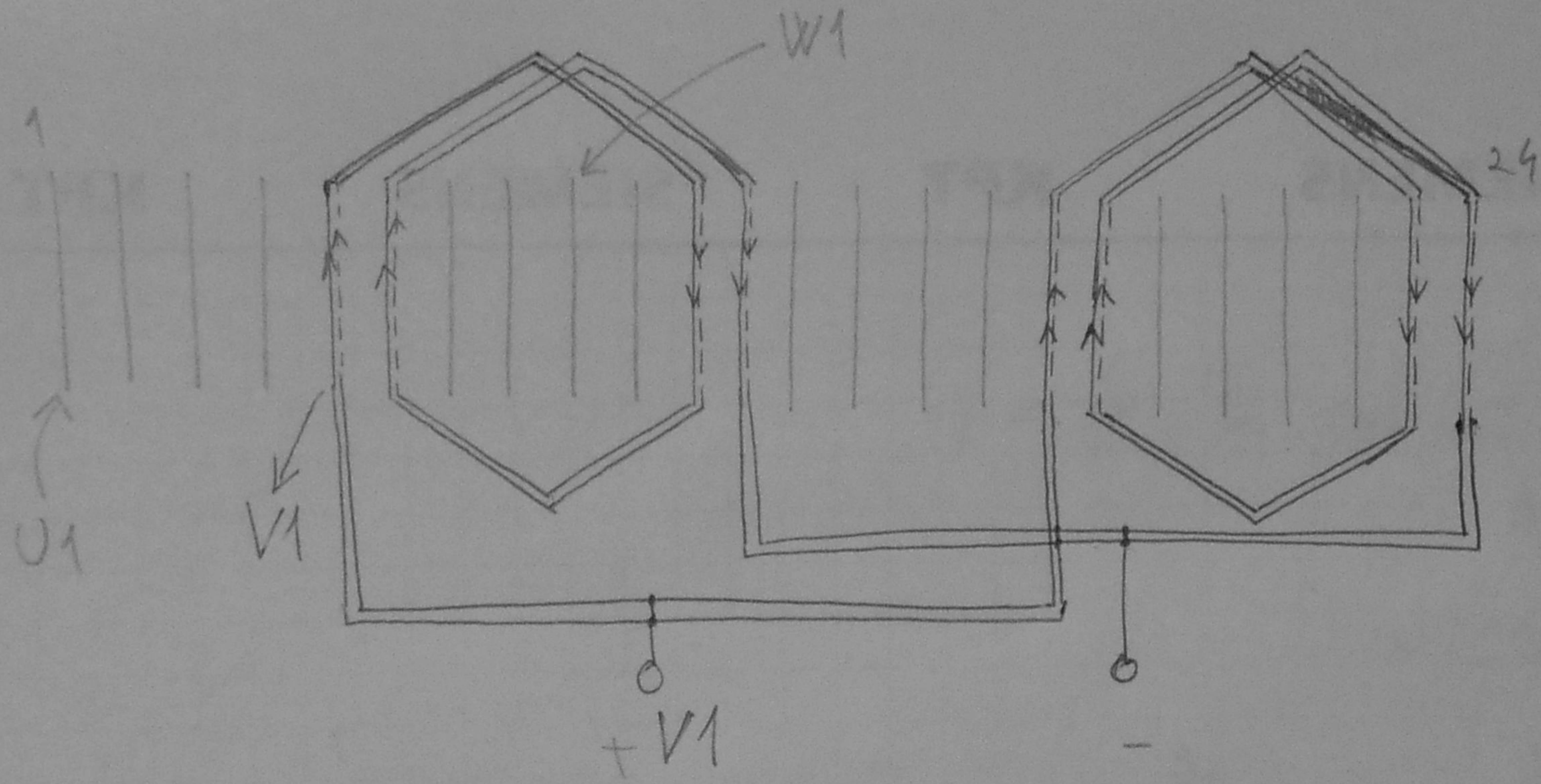


c) $i_v = 10 \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}), i_v = 10 \cos(\omega t), i_w = 10 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$

d)



→ MISLIM DA
JE OVAJ CRTEŽ
TOČAN



→ iini mi se da som na testu rješio svako i da je bitno, a rada ipak mislim da je točom prvi ctež jer se svako složju 4 paralelne grane

(5)

$$\rho = 15 \text{ kW}$$

$$U = 440 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$\rho = 3$$

$$R_s = 0.05$$

$$\cos \varphi = 0.95$$

$$I_s = 1$$

a)

$$b) \cos \varphi = \frac{E_o + I_s R_s}{U_s} \Rightarrow E_o = U_s \cos \varphi - I_s R_s$$

$$= 1 \cdot 0.95 - 1 \cdot 0.05 = \boxed{0.9}$$

$$\sin \varphi = \frac{I_s X_2}{U_s} \Rightarrow X_2 = \frac{U_s \sin \varphi}{I_s} = \frac{U_s \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{I_s}$$

$$= \sqrt{1 - 0.95^2} = \boxed{0.31225}$$

$$M_{em} = E_o I_s = \boxed{0.9}$$

$$X_d = X_2 \Leftrightarrow SPM$$

c) $M_{em} = 0.5, \omega r = 0.9$

$$M_{em} = (\omega r E_o) I_s \Rightarrow I_s = \frac{M_{em}}{(\omega r E_o)} = \frac{0.5}{0.9 \cdot 0.9} = \boxed{0.6173}$$

$$U_s = \sqrt{[(\omega r E_o) + I_s R_s]^2 + [I_s (\omega r X_2)]^2} =$$

$$= \sqrt{(0.9 \cdot 0.9 + 0.6173 \cdot 0.05)^2 + (0.6173 \cdot 0.9 \cdot 0.31225)^2}$$

$$= \boxed{0.8586}$$

$$\cos \varphi = \frac{(\omega r E_o) + I_s R_s}{U_s} = \frac{0.9 \cdot 0.9 + 0.6173 \cdot 0.05}{0.8586} = \boxed{0.979}$$

$$d) L_d = L_2$$

$$\left(I_{ds} + \frac{U_{md}}{L_d} \right)^2 + I_{gs}^2 = \left(\frac{U_{s, \max}}{w X_2} \right)^2$$

$$\left(I_{ds} + \frac{E_o}{X_2} \right)^2 + 1 - I_{ds}^2 = \left(\frac{U_{s, \max}}{w X_2} \right)^2$$

$$2 \frac{E_o}{X_2} I_{ds} + \left(\frac{E_o}{X_2} \right)^2 + 1 = \left(\frac{U_{s, \max}}{w X_2} \right)^2$$

$$5.7646 I_{ds} + 9.3077 = 7.1225$$

$$\boxed{\begin{aligned} I_{ds} &= -0.379 \\ I_{gs} &= \sqrt{I_s^2 - I_{ds}^2} = 0.9254 \end{aligned}}$$

$$\cos \varphi = \frac{I_{gs}}{I_s} \Rightarrow \varphi = \arccos \left(\frac{I_{gs}}{I_s} \right) = \boxed{-22.27^\circ}$$

$$M_{em} = (\omega E_o) I_{gs} = \boxed{0.999432}$$

$$\begin{aligned} I_{gs}^2 &= I_s^2 - I_{ds}^2 \\ &= 1 - I_{ds}^2 \end{aligned}$$

$$w = 1.2$$

$$U_{s, \max} = 1$$

$$I_{s, \max} = 1$$