

1. auditorne vježbe

13. listopada 2017.

Istosmjerni stroj

**Rekapitulacija gradiva vezanog uz istosmjerne strojeve*

1. zadatak

Istosmjerni motor s nezavisnom uzbudom ima sljedeće nazivne podatke: $P_n = 14 \text{ kW}$, $I_n = 75 \text{ A}$, $U_n = 220 \text{ V}$, $n_n = 1500 \text{ min}^{-1}$. Otpor armaturnog kruga iznosi $R_a = 0,2 \Omega$. Motor se napaja iz promjenjivog izvora napona, a moment trenja i ventilacije motora je **konstantan**. Odrediti:

- Brzinu vrtnje motora ukoliko se napaja nazivnim naponom i opterećen je teretom potencijalnog karaktera $M_t = 0,5 M_n$.
- Brzinu vrtnje motora ukoliko se napaja nazivnim naponom i opterećen je teretom potencijalnog karaktera $M_t = 0,75 M_n$.
- Brzinu vrtnje motora ukoliko se napaja naponom $U = 0,6 U_n$ i opterećen je teretom potencijalnog karaktera $M_t = 0,75 M_n$.

Napomena: Gubici trenja i ventilacije motora se **ne zanemaruju**.

Rješenje:

- $\omega = 161,68 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 1544 \text{ min}^{-1}$ ($I = 40.98 \text{ A}$)
- $\omega = 159,09 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 1519 \text{ min}^{-1}$ ($I = 57,99 \text{ A}$)
- $\omega = 91,91 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 878 \text{ min}^{-1}$ ($I = 57,99 \text{ A}$)

2. zadatak

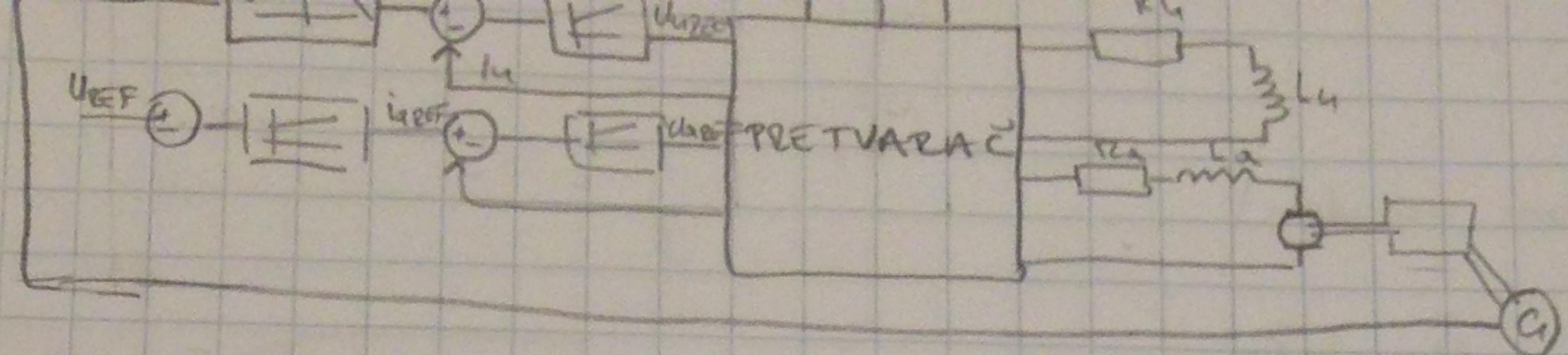
Dizalica je pogonjena nezavisno uzbudjenim istosmjernim motorom nazivnih podataka: $P_n = 28 \text{ kW}$, $I_n = 80 \text{ A}$, $U_n = 400 \text{ V}$, $n_n = 1000 \text{ min}^{-1}$. Otpor armaturnog kruga iznosi $R_a = 0,27 \Omega$. Odrediti:

- Kolika je brzina motora u trenutku prelaska na elektrodinamičko kočenje ako motor koči sa strujom $I = 0,9 I_n$, a opterećen je teretom $M_t = 0,7 M_n$? Koliki je otpornik dodan u armaturni krug motora?
- Ako se u armaturni krug motora priključi otpornik čiji je otpor $R_p = 13 \Omega$, u kojem režimu radi motor i kojom brzinom se vrti ako iz istosmjernog izvora uzima struju $I = 60 \text{ A}$? Koliki je tada moment na osovini, snaga uzeta iz mreže i snaga utrošena u otporima? Nacrtati n-M dijagram i označiti radnu točku.
- Pri generatorskom kočenju (bez predotpore) izmjerena je brzina vrtnje $n = -1100 \text{ min}^{-1}$. Kolika je struja motora? Nacrtati n-M dijagram i označiti radnu točku.

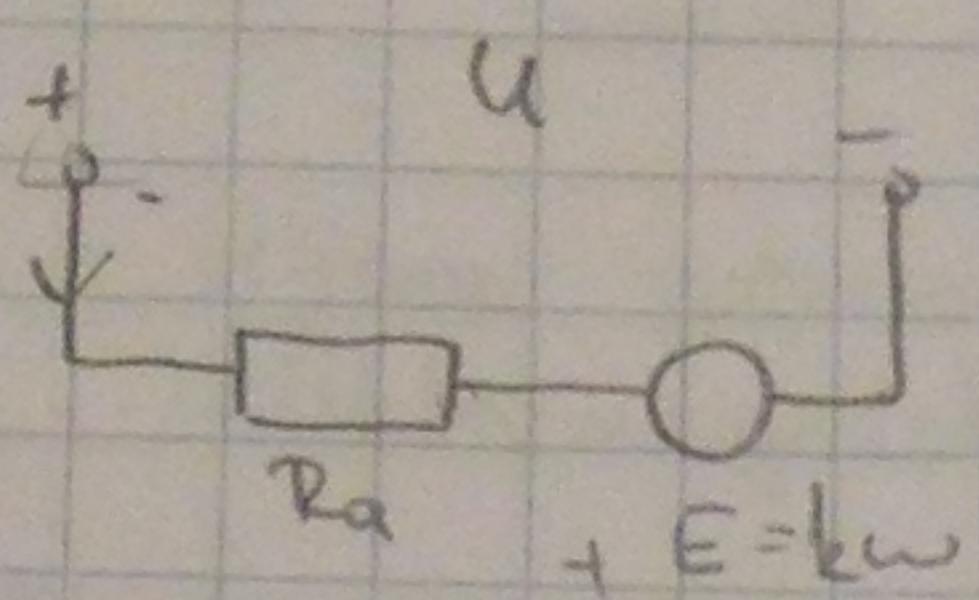
Napomena: Gubici trenja i ventilacije motora se **ne zanemaruju**.

Rješenje:

- $\omega = 106,48 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 1017 \text{ min}^{-1}$ ($I = 57,78 \text{ A}$), $R_p = 5,07 \Omega$
- Protustrujno kočenje ($\omega = -109,75 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx -1048 \text{ min}^{-1}$), $M_{os} = 238,02 \text{ Nm}$, $P_{mreza} = 24 \text{ kW}$, $P_g = 47,77 \text{ kW}$
- $I = 59,9 \text{ A}$



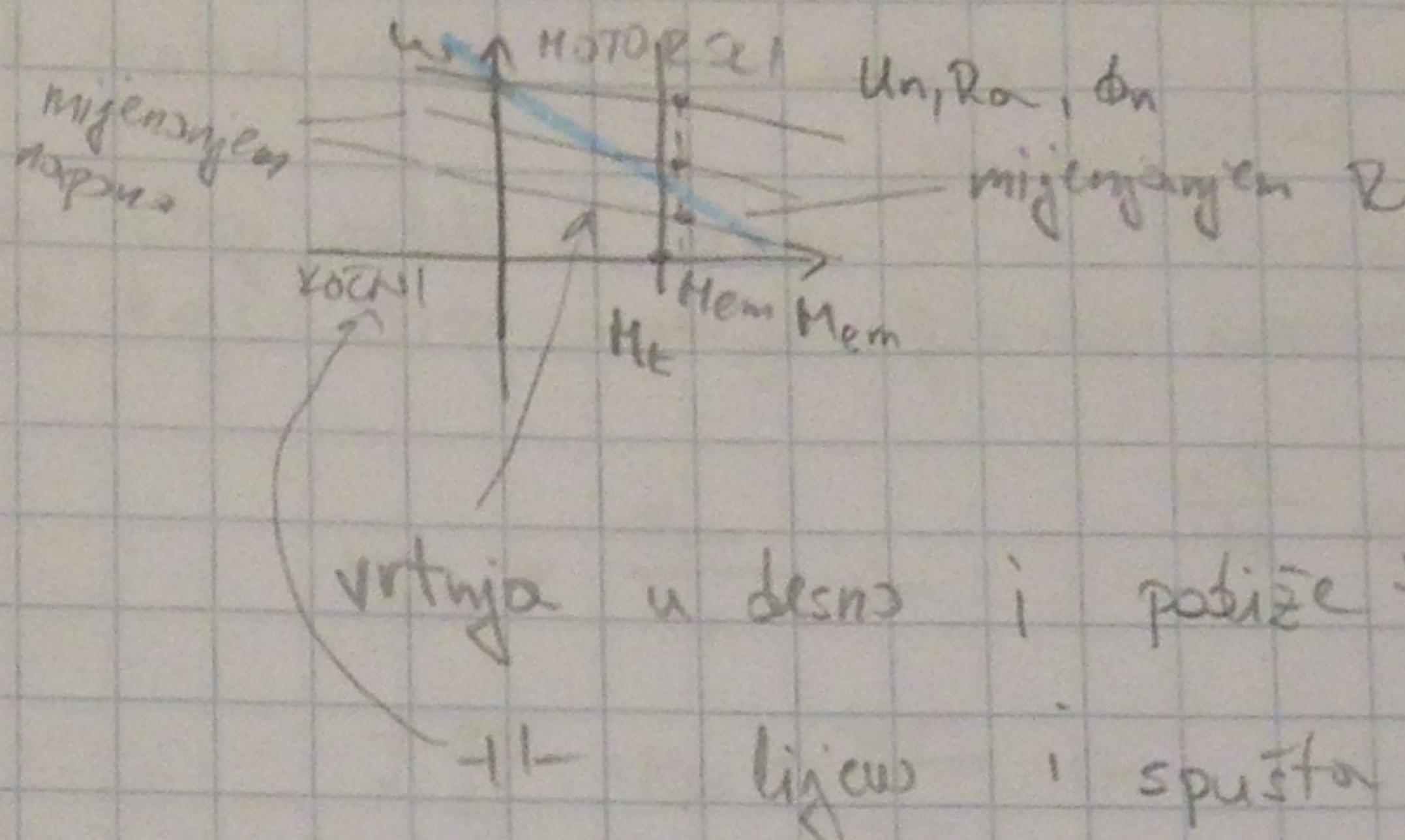
1. AUDITORNE



$$\omega = \frac{U - I \cdot R_a}{k_e}$$

$$M_{em} = C_m \cdot I$$

$$M_{em} = M_{tr,ven} + M_{os}$$



$$C_e = k_e \cdot \phi$$

$$C_m = k_m \cdot \phi$$

↳ nepravljivo

↳ uvek ih računamo iz nazivne točke, i onda ako se mijenja tok mijenjaju se i oni

$$\left. \begin{array}{l} \omega \rightarrow \text{rad/s} \\ N \rightarrow \text{Nm} \end{array} \right\} C_m = C_e$$

$$\left. \begin{array}{l} \omega \rightarrow \text{obr/min} \\ M \rightarrow \text{Nm} \end{array} \right\} \frac{C_e}{C_m} = \frac{2\pi}{60}$$

$$\textcircled{1} \quad P_n = 14 \text{ kW}$$

$$I_n = 75 \text{ A}$$

$$U_n = 220 \text{ V}$$

$$n_n = 1500 \text{ min}^{-1}$$

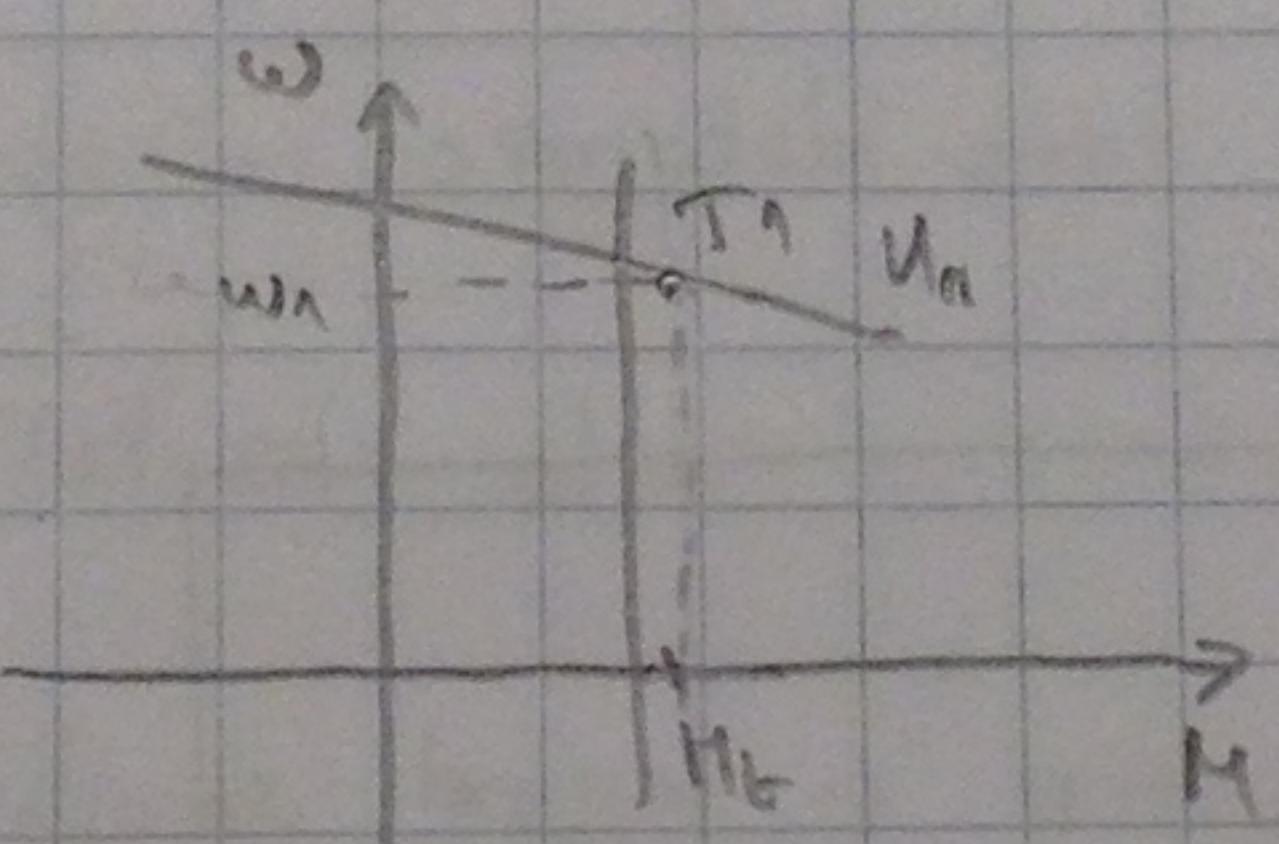
$$R_a = 0,2 \Omega$$

$$M_{tr,ven} = \text{konst.}$$

$$\text{a)} \quad U = U_n$$

$$M_t = 0,5 I_n$$

$$\omega = ?$$



$$\omega = \frac{U - I R_a}{C_e} = \frac{220 - 40,98 \cdot 0,2}{1,31} = 161,68 \text{ rad/s}$$

$$n \approx 1544 \text{ min}^{-1}$$

$$U_{cm} = C_m \cdot I = M_{tr,ven} + M_t$$

$$I = \frac{M_{tr,ven} + M_t}{C_m} = \frac{9,12 + 44,57}{1,31} = 40,98 \text{ A}$$

$$\omega_n = \frac{n_n \pi}{30} = 1500 \frac{\pi}{30} = 157,07 \text{ rad/s}$$

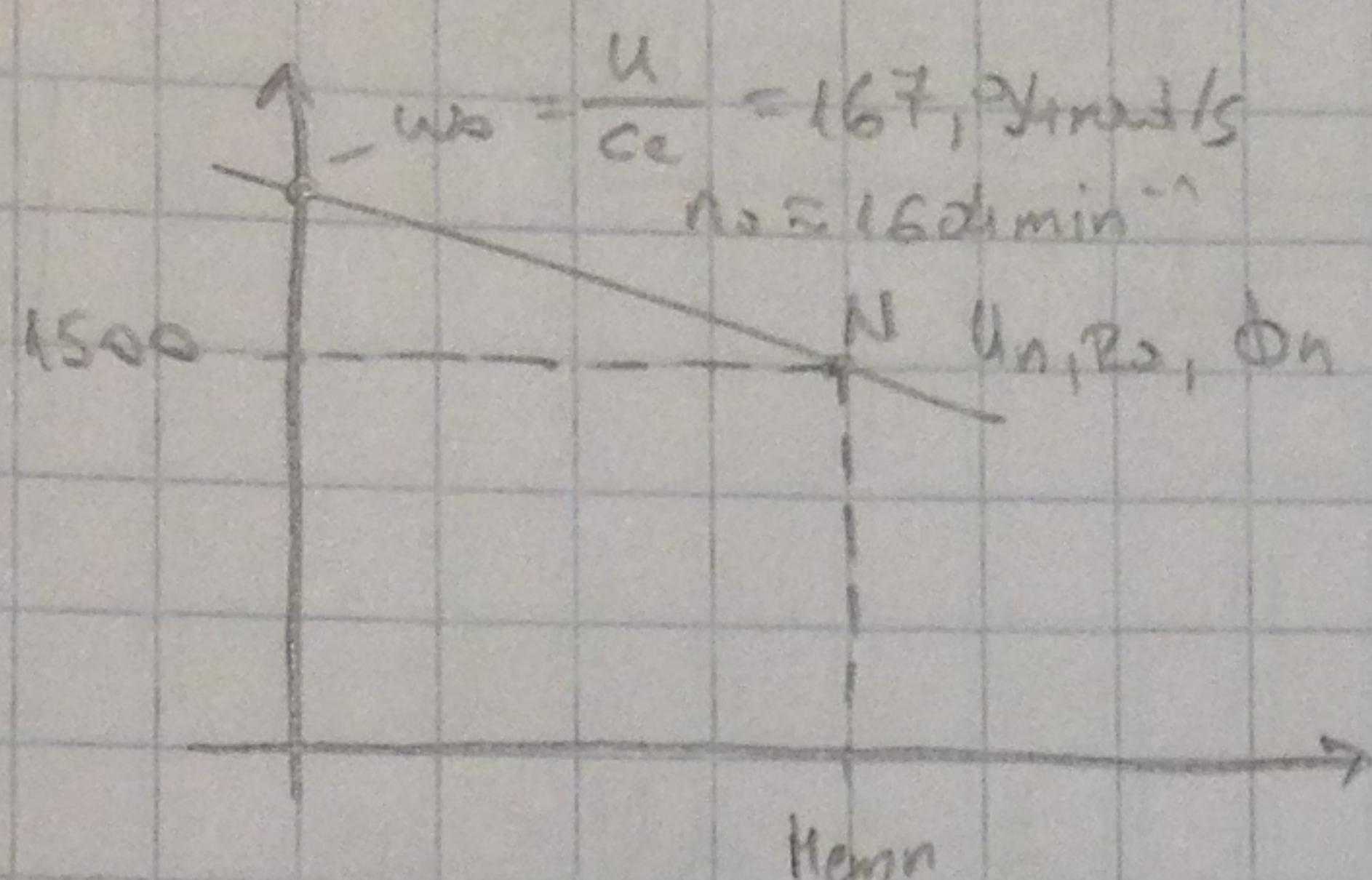
$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{14000}{157,07} = 89,13 \text{ Nm}$$

$$M_{em} = C_m \cdot l_n = 1,31 \cdot 75 = 98,25 \text{ Nm}$$

$$\underline{C_e} = \frac{U_n \cdot l_n \cdot R_2}{w_n} = \frac{220 - 75 \cdot 0,12}{157,07} = 1,31 = \underline{C_m}$$

$$M_{tr,ven} = M_{em} - M_n = 91,12 \text{ Nm}$$

$$M_t = 0,5 M_n = 44,57 \text{ Nm}$$



b) $M_t = 0,75 M_n = 66,85 \text{ Nm}$

$$I = \frac{M_{tr,ven} + M_t}{C_m} = 57,99 \text{ A}$$

$$\omega = \frac{U - I \cdot R_2}{C_e} = \frac{220 - 57,99}{1,31} = 159,09 \text{ rad/s}$$

$$n_2 \approx 1513 \text{ min}^{-1}$$

c) $U = 0,6 U_n$

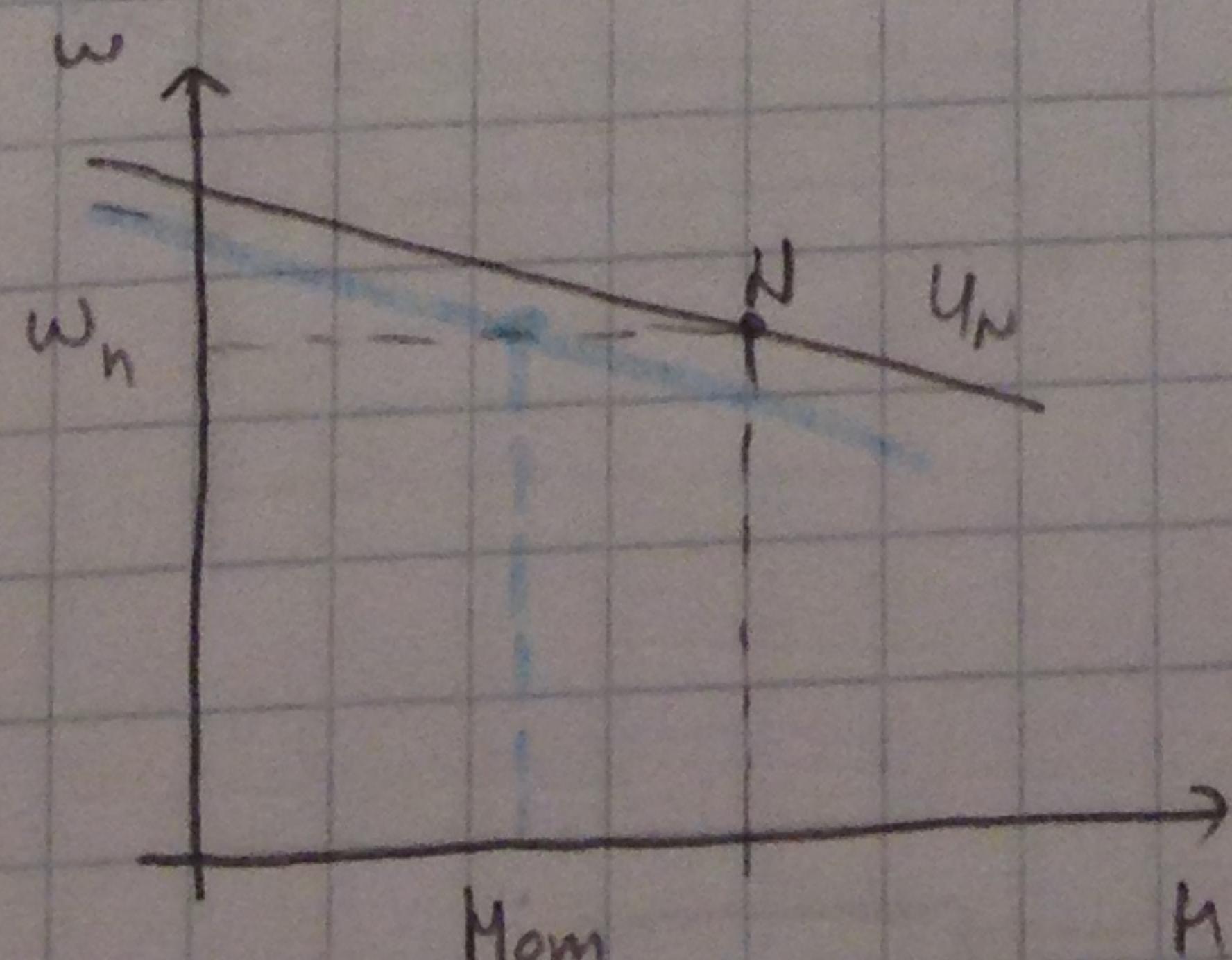
$$M_t = 0,75 M_n$$

$$\omega = ?$$

$I = 57,99 \text{ A} \rightarrow$ nismo mijenjali moment i tako pa stroj je ostao isti

$$\omega = \frac{132 - 57,99 \cdot 0,6^2}{1,31} = 31,91 \text{ rad/s}$$

$$n_3 \approx 878 \text{ min}^{-1}$$



$$(2) P_n = 28 \text{ kW}$$

$$I_n = 80 \text{ A}$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$n = 1000 \text{ min}^{-1}$$

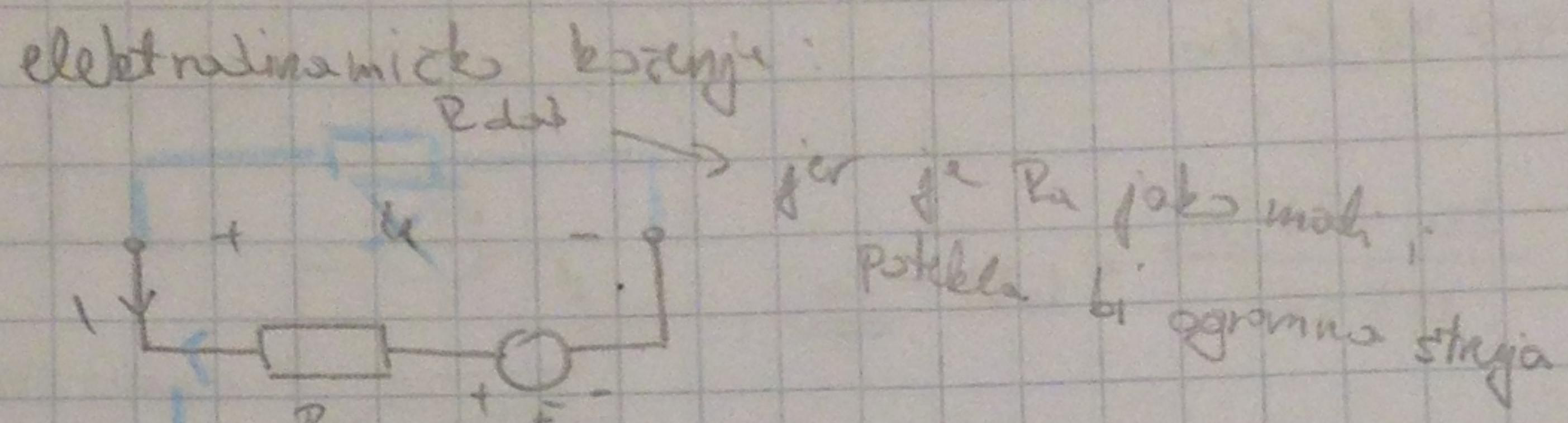
$$R_a = 0,27 \Omega$$

$$\text{a) } I_{\text{koz}} = 0,9 I_n$$

$$M_t = 0,7 M_n$$

$$R_{\text{dod}} = ?$$

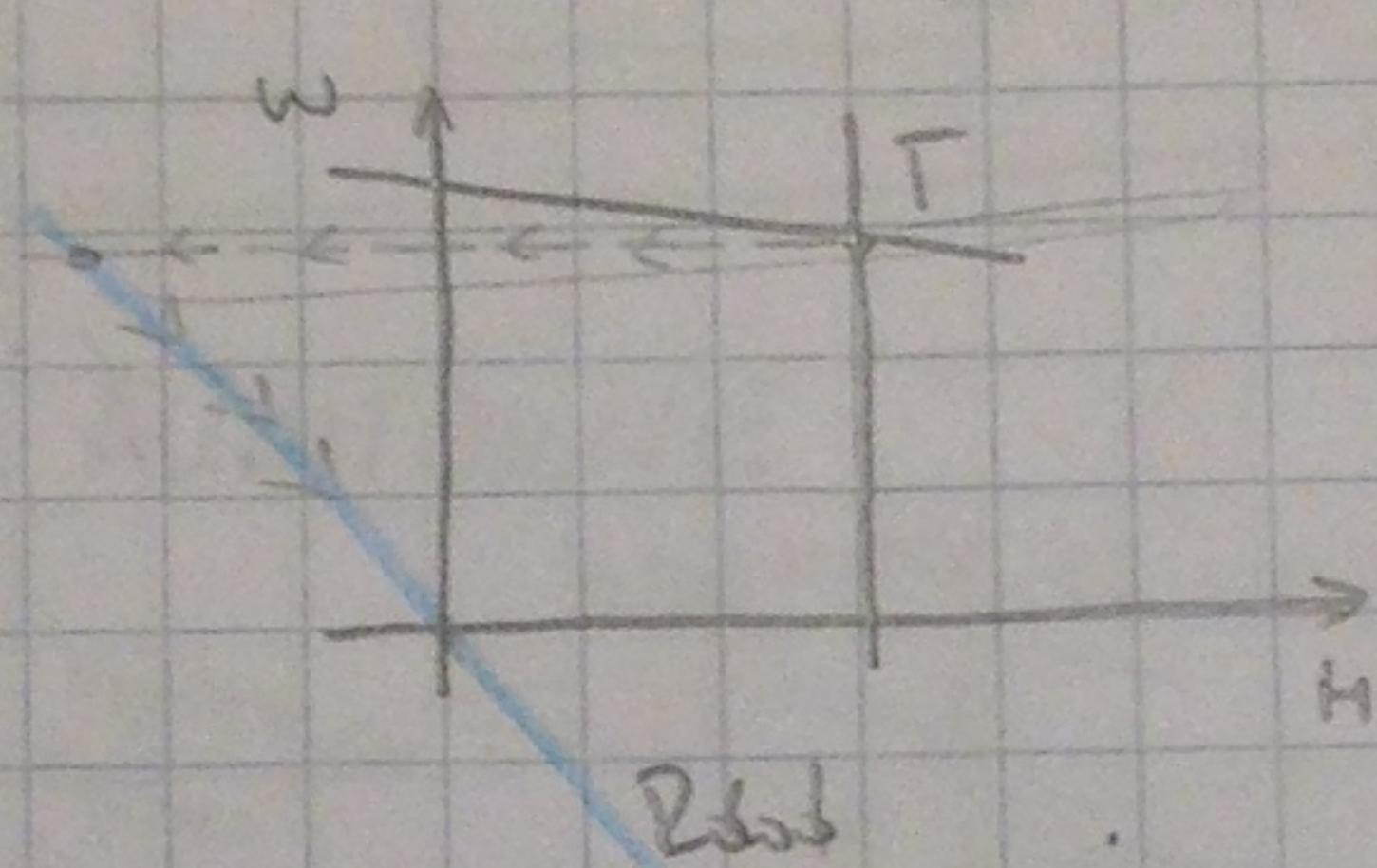
$$\omega = ?$$



für die P_n fiktiv machen

Potokola bei egramma struja

brzina pri prekidanju kočenja = brzini prije kočenja



$$\omega_n = \frac{n n \pi}{30} = 104,72 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 267,38 \text{ Nm}$$

$$c_e = \frac{U - I R_a}{\omega_n} = 3,61$$

$$M_{\text{triven}} = M_{\text{em}} - M_n = 21,42 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{em}} = c_m \cdot I_n = 3,61 \cdot 80 = 288,8 \text{ Nm}$$

Todesa T :

$$I_T = \frac{M_t + M_{\text{triven}}}{c_m} = 57,78 \text{ A} \rightarrow \text{neposredna prije}$$

$$\omega = \frac{U - I \cdot R_a}{c_e} = \frac{400 - 57,78 \cdot 0,2}{3,61} = 106,48 \text{ rad/s}$$

$\omega \approx 1017 \text{ min}^{-1}$

armaturni kružnik

$$U = c_e \omega + I (R_a + R_{\text{dod}})$$

$$R_{\text{dod}} = \frac{-c_e \omega}{I_{\text{koz}}} - R_a = \frac{-3,61 \cdot 106,48}{-72} - 0,2 = 5,07 \Omega$$

2. auditorne vježbe

20. listopada 2017.

Istosmjerni stroj

1. zadatak

Istosmjerni nezavisno uzbuđeni motor s nazivnim podacima: $P_n = 32 \text{ kW}$, $I_n = 80 \text{ A}$, $U_n = 440 \text{ V}$, $n_n = 1000 \text{ min}^{-1}$, $R_a = 0,32 \Omega$ pokreće teret s momentnom karakteristikom koja se mijenja po krivulji $M_t = kn^2$. Pri nazivnoj brzini vrtnje motor je opterećen nazivnim momentom.

- Koliko bi trebao iznositi napon armature da motor pogoni teret brzinom $n = 800 \text{ min}^{-1}$?
- Ako se magnetski tok motora smanji za 5%, a motor se napaja naponom $U = 220 \text{ V}$, kojom brzinom će se motor vrtiti uz navedeni teret? Kolika će biti struja motora?

Napomena: Gubici trenja i ventilacije motora se **ne zanemaruju**.

Rješenje:

- $U = 348,2 \text{ V}$ ($I = 52,2 \text{ A}$, $M_t = 195,5 \text{ Nm}$)
- $\omega = 56,27 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 537 \text{ min}^{-1}$, $I = 26,4 \text{ A}$ ($M_t = 88,2 \text{ Nm}$)

2. AUDITORNE

nastavak na 2. zad

$$P_n = 28 \text{ kW}$$

$$I_n = 80 \text{ A}$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$\eta_n = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$R_a = 0,27 \Omega$$

$$c_e = 3,61 = c_m$$

$$M_{t,ven} = 21,42 \text{ Nm}$$

b) $R_p = 13 \Omega$

u kojem režimu radi motor?

$$n = ?$$

$$I = 60 \text{ A}$$

$$M_{os}, P_{mres}, P_g = ?$$

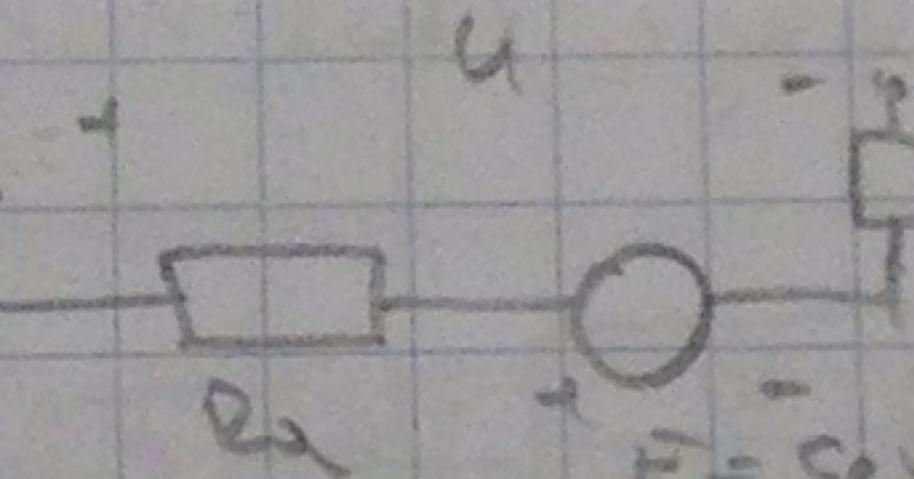
$$U = I(R_a + R_{load}) + c_e w$$

$$I(R_a + R_{load}) = 60 \cdot (0,27 + 13) = 796,2 \text{ V} \rightarrow \text{REŽIM PROTUSTROJNOG KREĆENJA}$$

(pri naponu već od U_n - trazi se i napon mreže i napon osovine)

$$w = \frac{U - I(R_a + R_{load})}{c_e} = \frac{400 - 60 \cdot 13,2}{3,61} = -109,75 \text{ rad/s}$$

$$\approx -1048 \text{ min}^{-1}$$



$$-E + \rightarrow \text{bez } w \text{ promjeni smjer}$$

$$I = \frac{U - E}{R_a + R_{load}} = w k, E \downarrow$$

$$P_{mres} = U I = 24 \text{ kW}$$

$$P_g = I^2(R_a + R_{load}) = 47,77 \text{ kW} \rightarrow \text{dis energije dolazi s osovine}$$

$$M_{os} = M_{em} + M_{t,ven} = 238,02 \text{ Nm}$$

$$M_{em} = c_m I = 216, \text{ Nm}$$

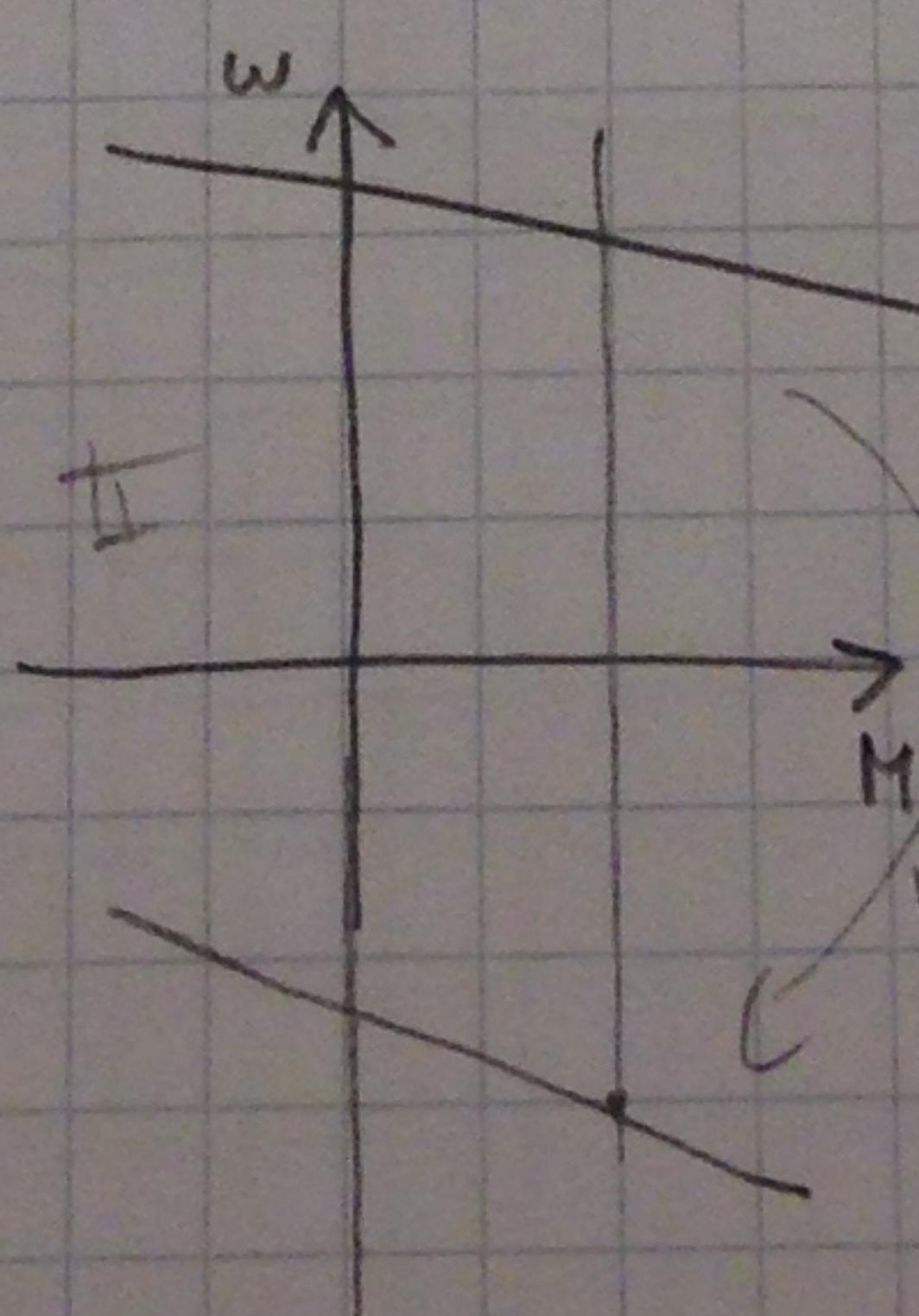
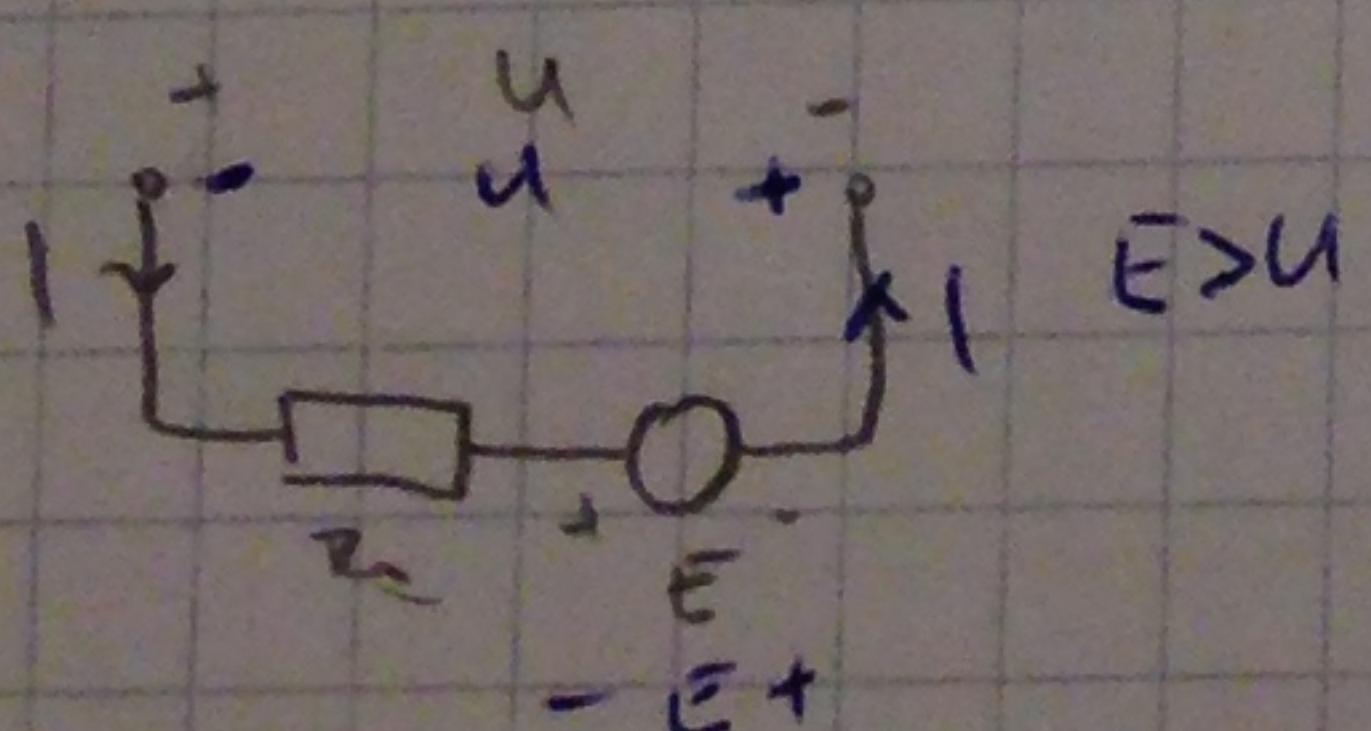
$$P_{meh} = M_{os} \cdot w = 26 \text{ kW}$$

c) generatorsko kretanje

$$w = -1100 \text{ min}^{-1}$$

$$I = ?$$

$$I = \frac{U - c_e w}{R_a} = \frac{-400 + 405,84}{0,27} = 58,7 \text{ A}$$



moramo prestikati dolje radju točku
jer ne može raditi u II kvadrantu (dizalica)

20.10.

$$\textcircled{1} \quad P_n = 32 \text{ kW}$$

$$I_n = 80 \text{ A}$$

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

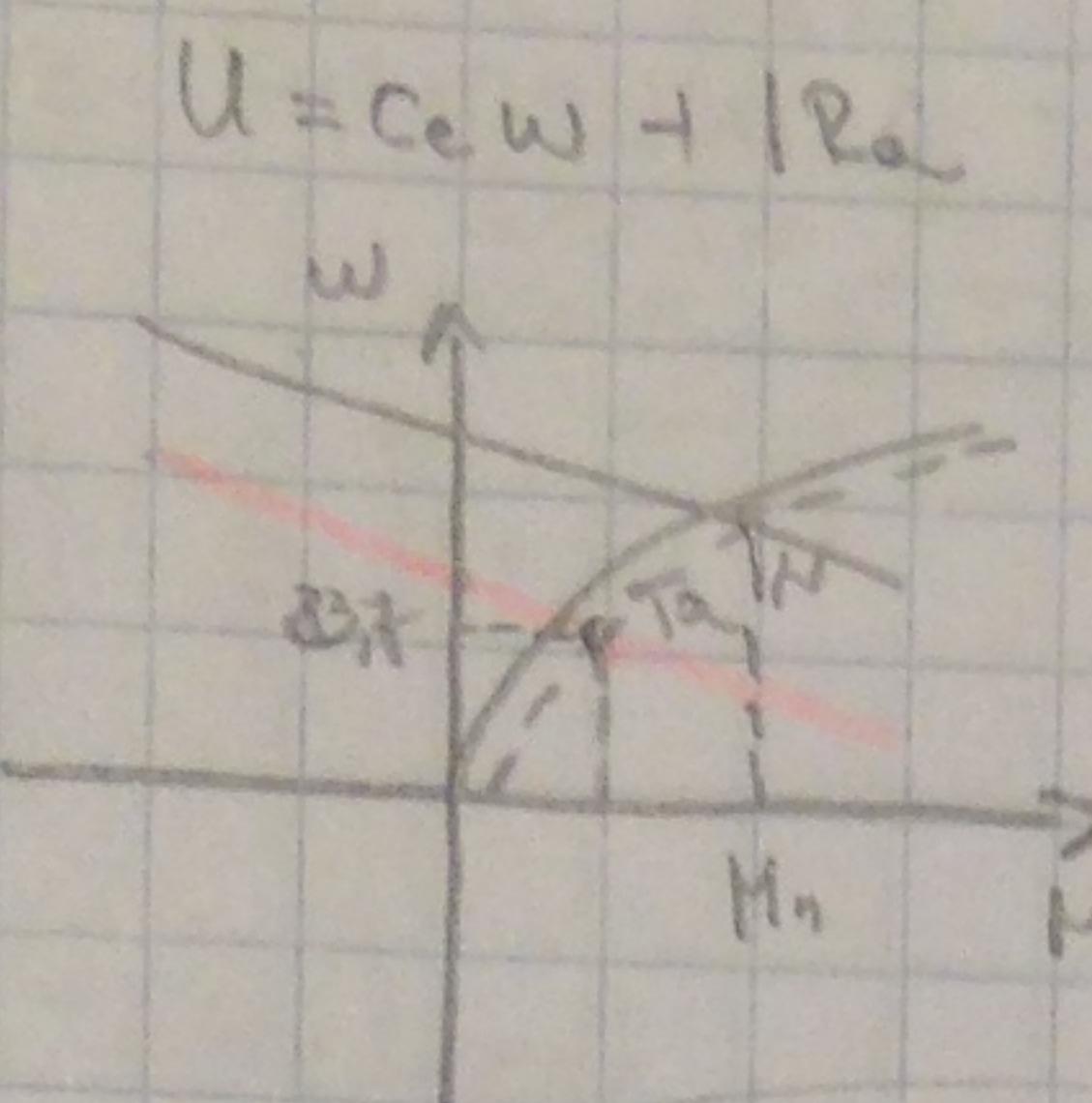
$$n_n = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$R_a = 0,32 \Omega$$

$$M_t = k \cdot n^2$$

$$\text{a) } U = ?$$

$$n = 800 \text{ min}^{-1}$$



$$\omega_n = \frac{n_n T}{30} = 104,72 \text{ rad/s}$$

$$\text{na osnovi } M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 305,58 \text{ Nm} \rightarrow \text{to uvećak računamo}$$

$$M_{\text{emn}} = c_m \cdot I_n = 3,957 \cdot 80 = 316,56 \text{ Nm}$$

$$c_e = \frac{U_n - I_n \cdot R_a}{\omega_n} = 3,957 = c_m$$

$$M_{\text{tren}} = M_{\text{emn}} - M_n = 10,98 \text{ Nm}$$

$$M_t = k \cdot n^2$$

$$M_n = k \cdot n_n^2 \Rightarrow k = \frac{M_n}{n_n^2} = 3,0558 \cdot 10^{-4}$$

$$M_t = k \cdot n^2 = 3,0558 \cdot 10^{-4} \cdot 800^2 = 195,57 \text{ Nm}$$

$$I = \frac{M_t + M_{\text{tren}}}{c_m} = 52,2 \text{ A}$$

$$\omega = \frac{2\pi f}{30} = 83,78 \text{ rad/s}$$

$$U = c_e \omega + I R_a = \boxed{348,2 \text{ V}}$$

b) mijenja se magnetski tok

$$\phi' = 0,95 \phi_n \Rightarrow c'_e = 0,95 c_e = 3,769 = c'_m$$

$$\frac{U = 220 \text{ V}}{\omega = ?}$$

$$\omega = \frac{U - I \cdot R_a}{c'_m}$$

$$I = \frac{M_t + M_{\text{tren}}}{c'_m} = \frac{k \cdot n^2 + M_{\text{tren}}}{c'_m} = \frac{k \frac{30^2}{\pi^2} \cdot \omega^2 + M_{\text{tren}}}{c'_m}$$

$$\omega = \frac{U - \left[k \frac{30^2}{\pi^2} \omega^2 + M_{\text{tren}} \right] \frac{R_a}{c'_m}}{c'_m}$$

$$k \cdot \frac{30^2}{\pi^2} \omega^2 + \frac{c'_m}{R_a} \omega - \frac{U}{R_a} \text{ cm} - M_{\text{tren}} = 0$$

$$\boxed{\omega_1 = 56,27 \text{ rad/s}} \quad n \approx 542 \text{ min}^{-1}$$

$$\omega_2 = -164,87 \text{ rad/s}$$

c) $I_n = ? \quad M_t = k \cdot n^2 = 89,77 \text{ Nm}$

$$I = \frac{M_t + M_{\text{tren}}}{c_m} = \boxed{26,8 \text{ A}}$$

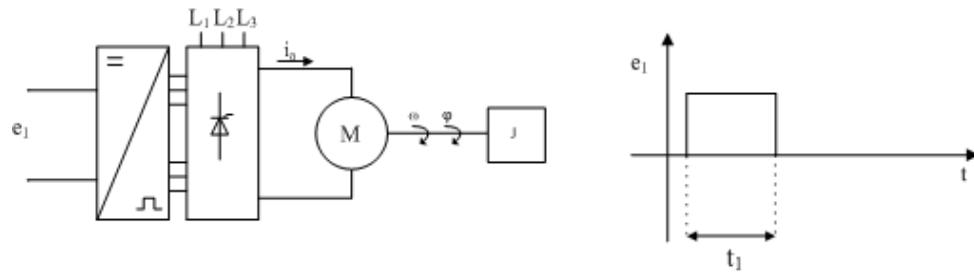
3. auditorne vježbe

31. listopada 2017.

Istosmjerni stroj

1. zadatak

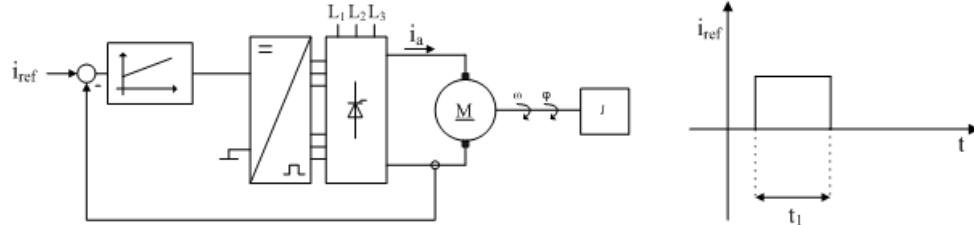
Ako se ulazni napon upravljačkog sustava mijenja prema referentnom signalu e_1 prikazanom na slici 1, kvalitativno skicirati vremenske odzive struje armature $i_a(t)$, brzine vrtnje $\omega(t)$ i kuta zakreta $\varphi(t)$ neopterećenog motora uz pretpostavku da je $T_a \ll T_m \ll t_1$. Uzbuda motora je konstantna, a moment trenja i ventilacije se **ne zanemaruju**.



Slika 1: Upravljački sustav i referentna vrijednost napona

2. zadatak

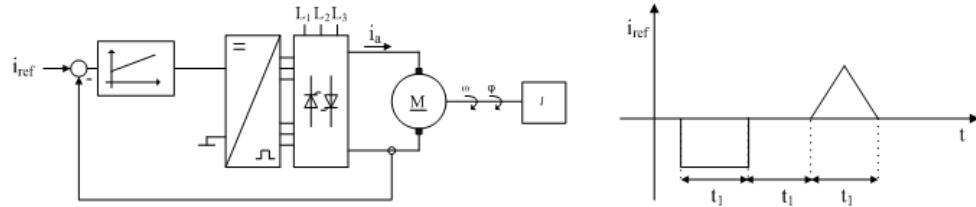
Ako se referentna vrijednost struje mijenja prema signalu i_{ref} prikazanom na slici 2, kvalitativno skicirati vremenske odzive struje armature $i_a(t)$, brzine vrtnje $\omega(t)$ i kuta zakreta $\varphi(t)$ neopterećenog motora uz pretpostavku da je $T_a \ll T_m \ll t_1$. Uzbuda motora je konstantna, a moment trenja i ventilacije se **ne zanemaruje**.



Slika 2: Upravljački sustav i referentna vrijednost struje

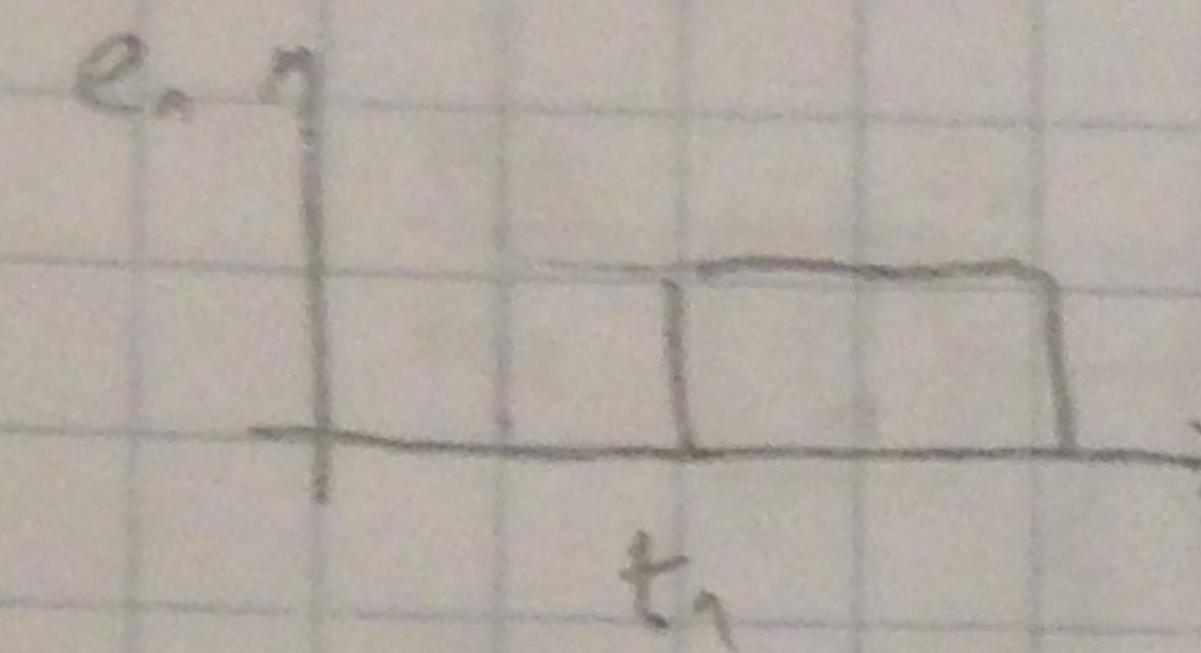
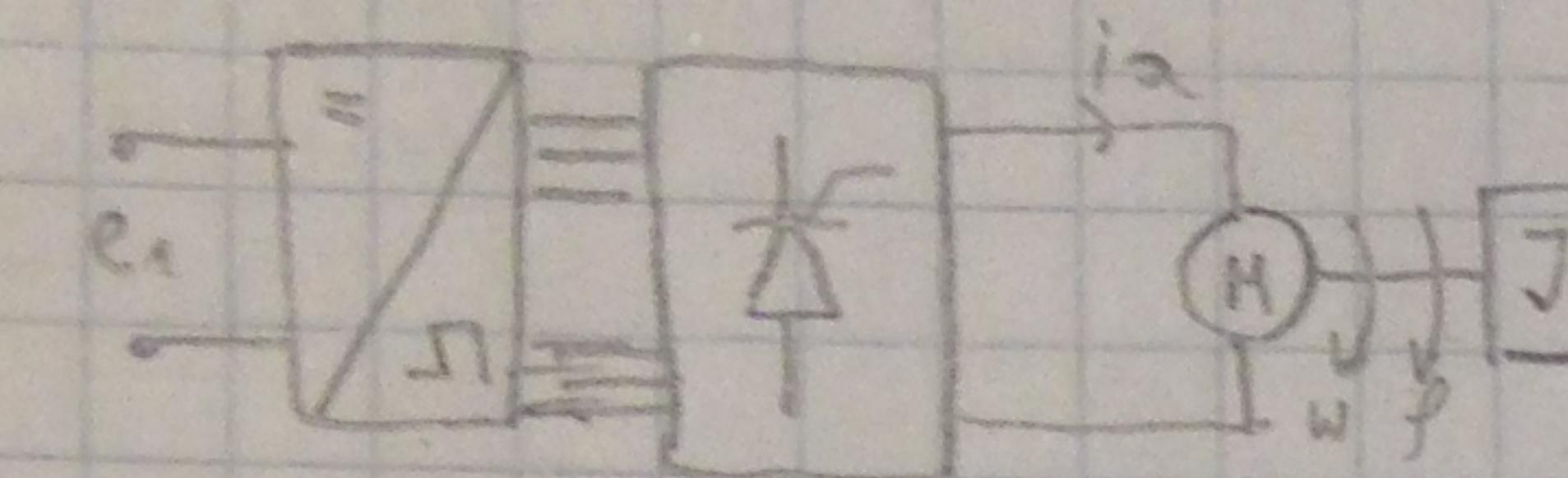
3. zadatak

Ako se referentna vrijednost struje mijenja prema signalu i_{ref} prikazanom na slici 3, kvalitativno skicirati vremenske odzive struje armature $i_a(t)$, brzine vrtnje $\omega(t)$ i kuta zakreta $\varphi(t)$ neopterećenog motora uz pretpostavku da je $T_a \ll T_m \ll t_1$. Uzbuda motora je konstantna, a moment trenja i ventilacije se **ne zanemaruje**.



Slika 3: Upravljački sustav i referentna vrijednost struje

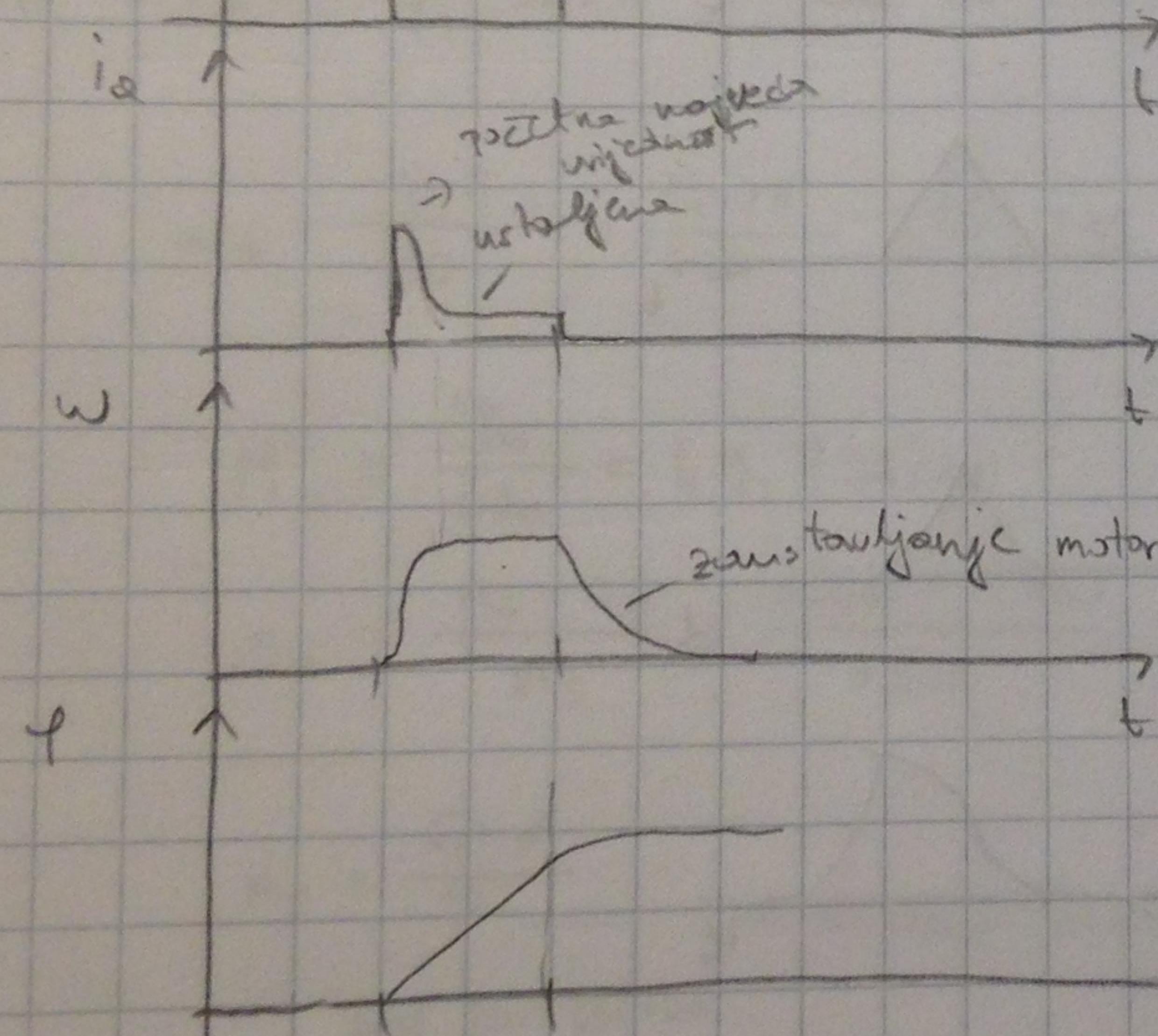
3. AUDITORNE



$t_1 < t < t_2 \rightarrow$ prijelazna pojava će završiti u intervalu t_2

da imamo i drugi antiparalelni spojeni tristor, onda bi mogla stvariti tedi u obe smjene, aako može samo u jednom

B)



zamotljajnicu motora po inerciji

$$w = \frac{U - I R_a}{C_e} \approx k U$$

$$M_u = M_m - M_t = J \frac{dw}{dt} \approx k I$$

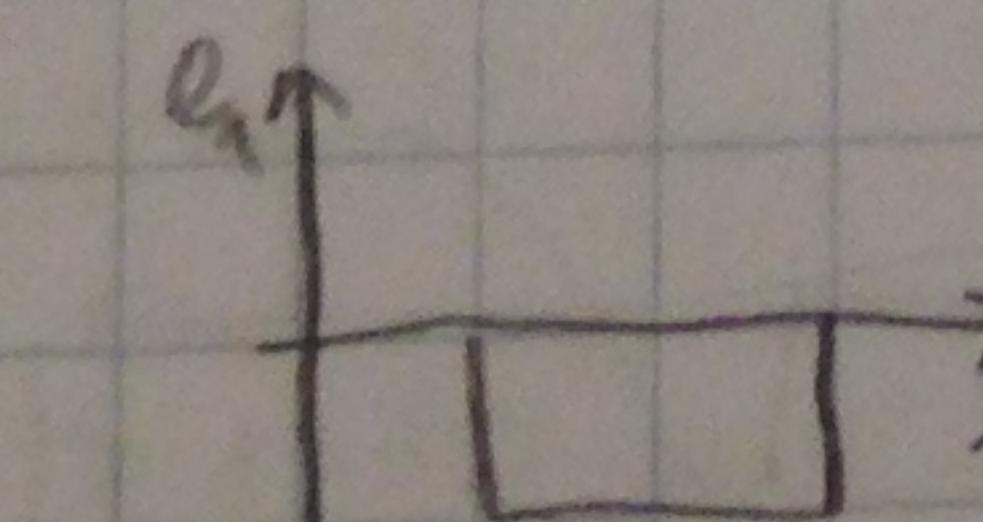
stvar je derivacija
brzine

dakle god je brzina u istom smjeru, kada raste, kad brzina promjeni smjer, kada pada

kada je w konst., φ linearno raste

kada nema w, kada se ne mijenja

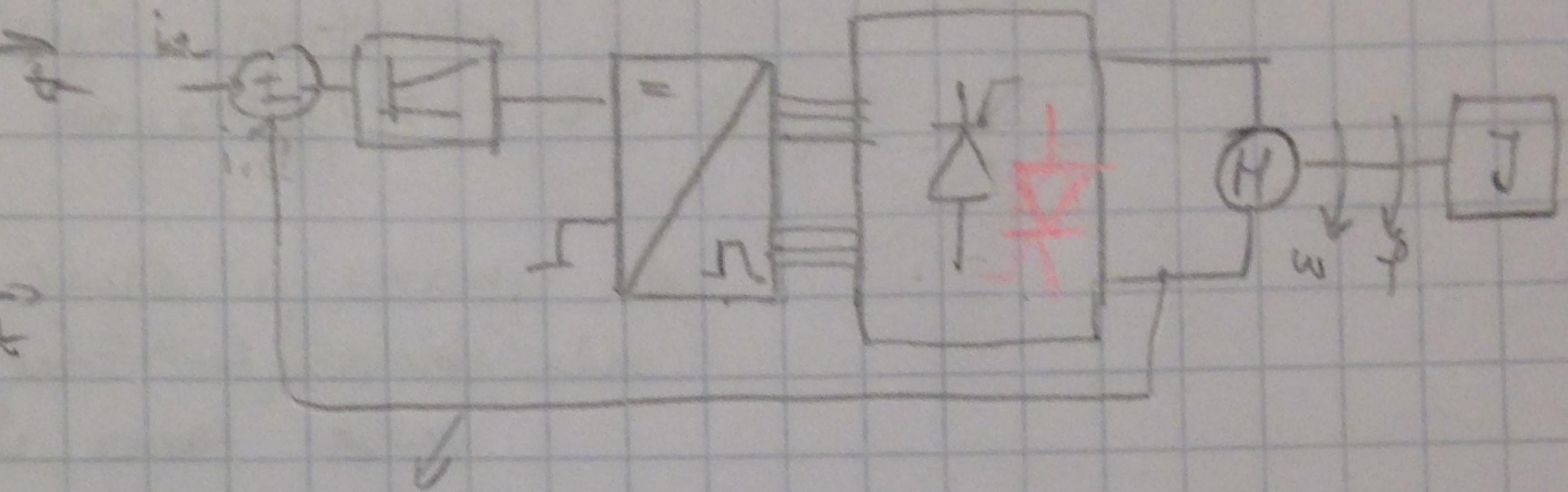
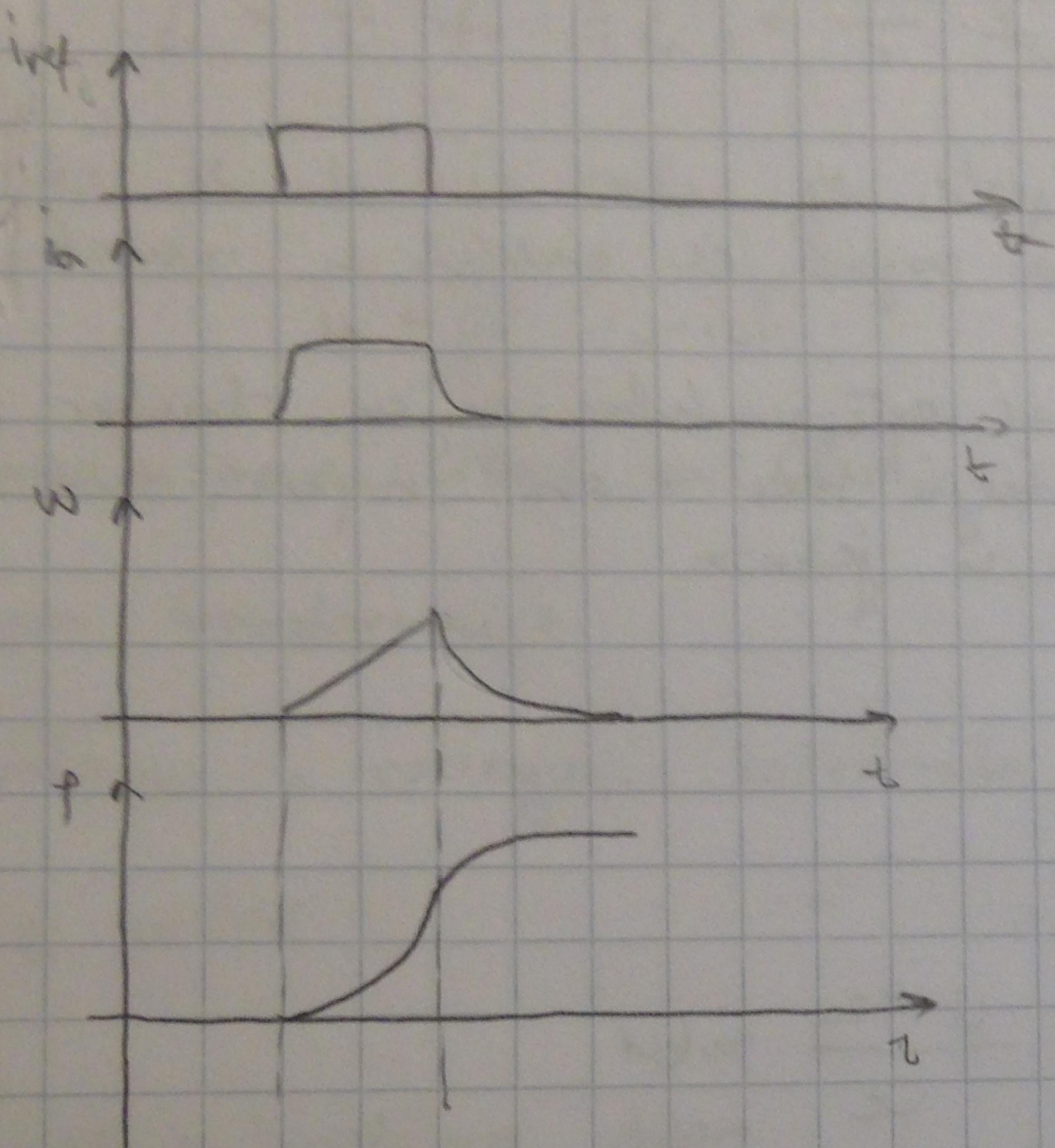
da je e_a bio



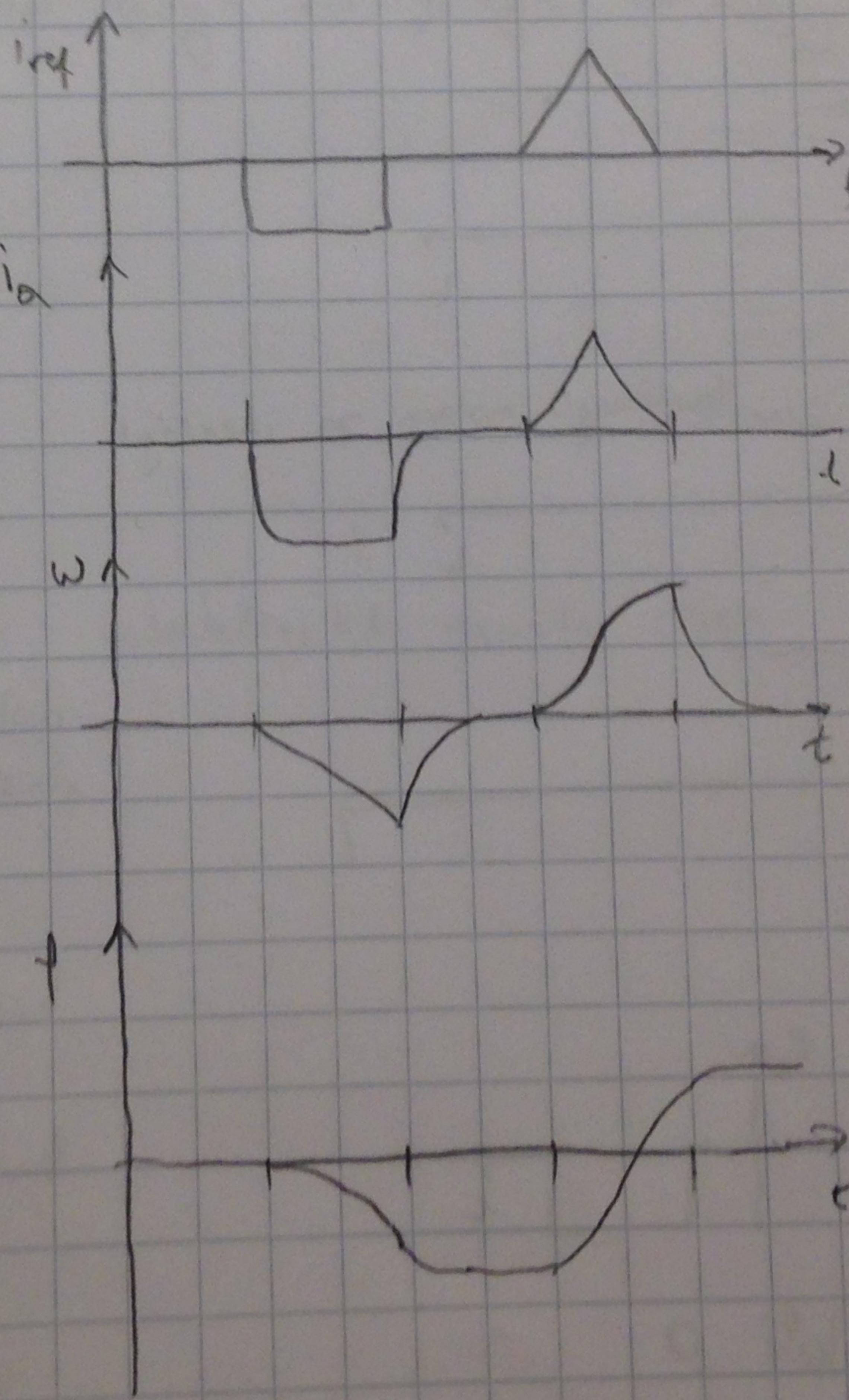
svi grafici bi bili 0

$$\omega = \frac{df}{dt}$$

3.



4) ista skica, samo su svi 2 triistora maste (rozo)



4. auditorne vježbe

2. studenog 2017.

Asinkroni stroj

**Rekapitulacija gradiva vezanog uz asinkrone strojeve*

1. zadatak

Asinkroni motor ima sljedeće nazivne podatke: $P_n = 7.5 \text{ kW}$, $U_n = 400 \text{ V}$, $I_n = 15 \text{ A}$, $n_n = 1440 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $\cos\varphi = 0.83$ i priključen je na mrežu ($400 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$). Potrebno je::

- Izračunati brzinu vrtnje motora ako se optereti teretom potencijalnog karaktera $M_t = 0.5 M_n$.
- Odrediti moment tereta kojim bi se motor trebao opteretiti da bi se vrtio brzinom $n = 1480 \text{ min}^{-1}$.
- Na istom grafu nacrtati momentne karakteristike motora i tereta za navedene slučajeve te na njima označiti karakteristične točke (prekretni moment i klizanje, sinkronu brzinu i radnu točku).

2. zadatak

Asinkroni motor nazivnih podataka: $U_n = 400 \text{ V}$, $P_n = 5 \text{ kW}$, $n_n = 700 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $M_{pr}/M_n = 3$, skalarno je upravljan U/f metodom u otvorenoj petlji. Motor je opterećen teretom potencijalnog karaktera $M_t = 40 \text{ Nm}$. Gubici trenja i ventilacije motora se zanemaruju.

- Odrediti zadanu (referentnu) frekvenciju uz koju bi brzina vrtnje motora bila $n = 500 \text{ min}^{-1}$.
- Odrediti prekretni moment pri referentnoj frekvenciji $f_{ref} = 70 \text{ Hz}$.
- Odrediti referentnu frekvenciju uz koju bi prekretni moment bio jednak dvostrukom momentu tereta.
- Na istom grafu nacrtati momentne karakteristike motora i tereta za navedene slučajeve te na njima označiti karakteristične točke (prekretni moment i klizanje, sinkronu brzinu i radnu točku).

Rješenja:

1. a) $n_{t1} = 1470 \text{ min}^{-1}$
b) $M_{t2} = 16.579 \text{ Nm}$
2. a) $f = 35.15 \text{ Hz}$
b) $M_{pr} = 104.38 \text{ Nm}$
c) $f = 80 \text{ Hz}$

4. AUDITORNE

A SINKRONI STROJEVI

$$\textcircled{1} \quad P_n = 7,5 \text{ kW}$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

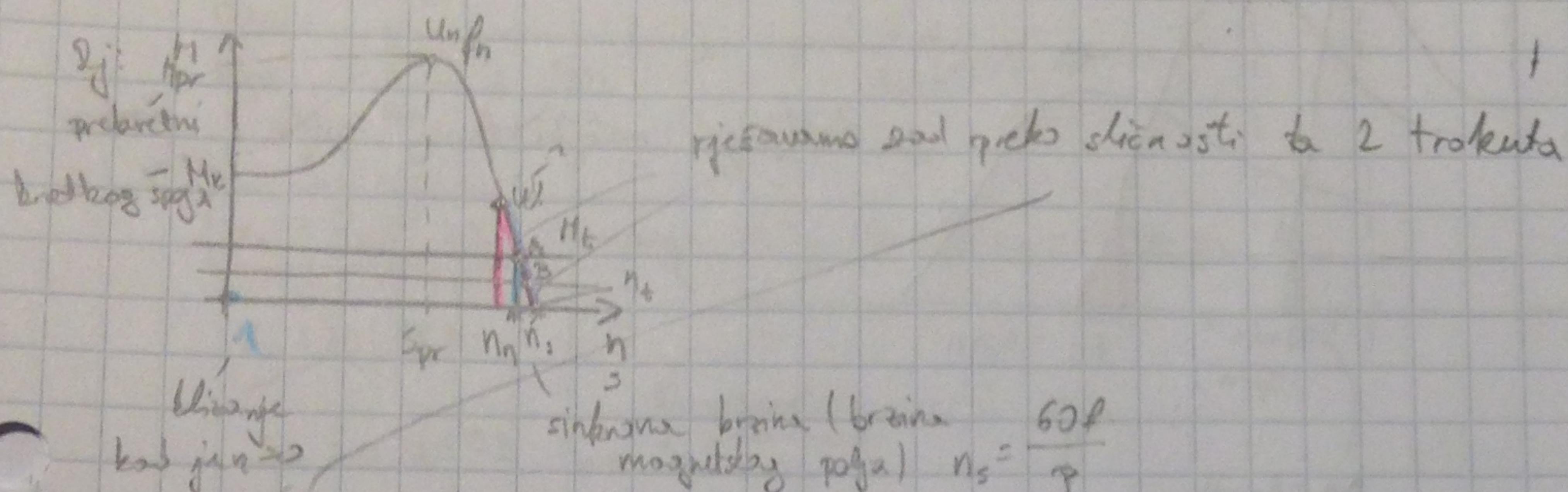
$$I_n = 15 \text{ A}$$

$$n_n = 1440 \text{ min}^{-1}$$

$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$U = 100 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

a) $M_t = 0,5 M_n$



$$\frac{M_n}{M_t} = \frac{n_s - n_n}{n_s - n_t}$$

blizanke
broj jaza \rightarrow
 $S = \frac{n_s - n}{n_s}$ - brzina rotora

$$\frac{M_n}{M_t} = \frac{s_n}{s_t} = \frac{\frac{n_s - n_n}{n_s}}{\frac{n_s - n_t}{n_s}}$$

$$\frac{M_n}{M_t} = \frac{s_n}{s_t}$$

$$s_t = \frac{(M_t)}{M_n} \cdot s_n$$

$$w_n = \frac{n_n \pi}{30} = \frac{1440 \pi}{30} = 150,736 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{P_n}{w_n} = 49,736 \text{ Nm}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \rightarrow 4\%$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

broj paripolova

probavimo uvrštavati 1, 2, 3 da k ne dobije zadržljavajući postotak

s_n mora biti ispod 10%, veliki motori mogu ispod 1%, mali oko 5-6%

$$s_t = 0,5 \cdot 0,04 = 0,02$$

$$n_t = n_s (1 - s_t) = 1470 \text{ min}^{-1}$$

b)

$$n = 1480 \text{ min}^{-1}$$

 $H = ?$

$$S_{tb} = \frac{n_s - n_b}{n_s} = \frac{1500 - 1480}{1500}$$

$$S_{tb} = 0,0133$$

$$\frac{M_n}{S_n} = \frac{M_{tb}}{S_{tb}} \Rightarrow M_{tb} = 16,579 \text{ Nm}$$

(2) $U_n = 400V$

$$P_n = 5kW$$

$$n_n = 700 \text{ min}^{-1}$$

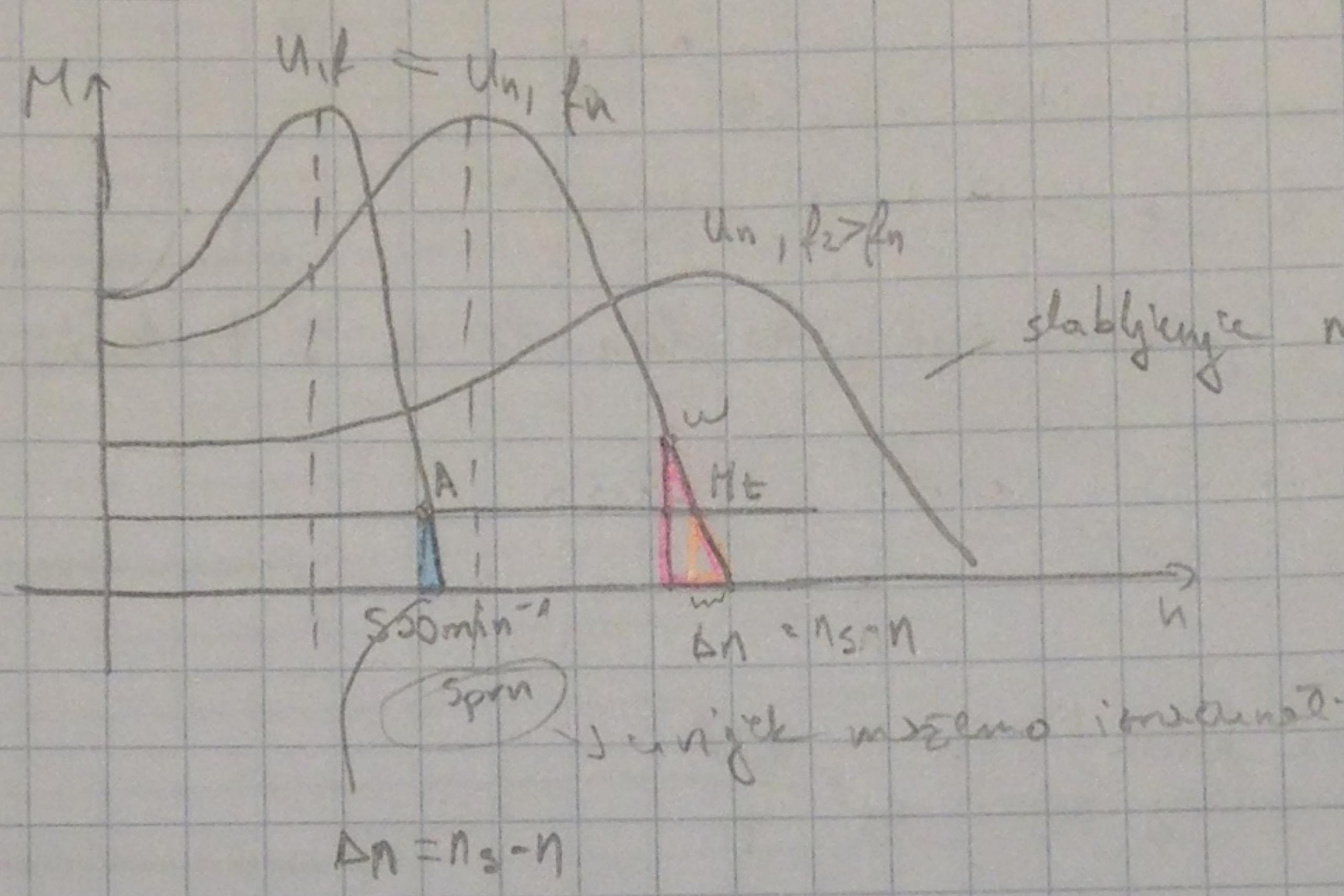
$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$M_{pr} | H_n = 3$$

$$M_t = 40 \text{ Nm}$$

a) $n = 500 \text{ min}^{-1}$

$$freq = ?$$



$$\frac{M}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{S_{pr}}{s} + \frac{s}{S_{pr}}}$$

s bliznjem se može rebiti samo ako smo na istoj karakteristici

$$\left[\frac{S_{prn}}{S_{prA}} = \frac{f_A}{f_n} \right] \Rightarrow S_{prA} = \frac{f_A}{f_n} S_{prn}$$

$$S_A = \frac{n_s - (n=500)}{n_s} = \frac{\frac{60f}{P} - 500}{\frac{60f}{Q}}$$

$$w_n = \frac{m\pi}{30} = 73,3 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{M_n}{w_n} = 68,2 \text{ Nm}$$

$$S_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = 0,067 \Rightarrow 6,7\%$$

$$M_{pr} = 3 \cdot M_n = 204,6 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{S_{pr}}{S_n} + \frac{S_n}{S_{pr}}} \quad | \quad x = \frac{S_n}{S_{pr}}$$

$$x^2 - 2 \frac{M_{pr}}{M_n} + 1 = 0$$

$$x = \frac{M_{pr}}{M_n} - \sqrt{\left(\frac{M_{pr}}{M_n}\right)^2 - 1}$$

$$x_1 = 0,1716$$

→ razvimo bliznje
može biti manje
od prekrteg

$$x_2 = 5,8284$$

$$S_{prn} = \frac{s_n}{x} = 0,39$$

$$S_{prA} = \frac{f_n}{f_A} S_{prn}$$

$$S_{prA} = \frac{50}{f_A} \cdot 0,39 = \frac{19,55}{f_A}$$

jed. 2a 2. karakteristika (goye je tocka A)

$$\frac{M_{tA}}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{S_{prA}}{S_{prn}} + \frac{S_{SA}}{S_{prA}}} \quad x = \frac{S_{SA}}{S_{prA}}$$

$$x_1 = 0,0093 \rightarrow \text{manje od prekretne bliznje}$$

$$x_2 = 12,127$$

$$S_{SA} = 0,0093 \cdot S_{prA} = \frac{n_s - 500}{n_s}$$

$$0,0093 \cdot \frac{19,55}{f} = \frac{\frac{60f}{P} - 500}{\frac{50f}{P}} \Rightarrow f = 35,15 \text{ Hz}$$

2. način rješavanja: preko sličnih troušetra

$$\frac{M_n}{M_{pr}} = \frac{\Delta n_n}{\Delta n_{tA}} = \frac{n_s - n_n}{n_{SA} - n_{tA}} \underset{500}{\cancel{}}$$

$$\Delta n_A = \Delta n_n \cdot \frac{M_{tA}}{M_n}$$

$$\Delta n = 23,32 = 23 \text{ min}^{-1}$$

→ ne može se tako da smisli na sirkone brine, desna kemička

$$n_{SA} = \Delta n + 500$$

$$n_{SA} = 523 \text{ min}^{-1}$$

$$f = \frac{f_{n_{SA}}}{60} = 35,26 \text{ Hz}$$

$$\text{b)} \frac{f = 70 \text{ Hz}}{M_{pr} = ?} \quad M_{pr} = M_{prn} \left(\frac{\frac{U_n}{f}}{\frac{U_n}{f_n}} \right)^2 = M_{prn} \cdot \left(\frac{50}{70} \right)^2 = 104,38 \text{ Nm}$$

$$\text{c)} \frac{M_{pr} = 2M_t = 80 \text{ Nm}}{f = ?}$$

$$f = \sqrt{\frac{f_n}{\frac{M_{pr}}{M_{prn}}}} = \sqrt{\frac{50}{\frac{80}{204,38}}} = 80 \text{ Hz}$$

5. auditorne vježbe

9. studenog 2017.

Asinkroni stroj

1. zadatak

Asinkroni motor nazivnih podataka: $U_n = 400 \text{ V}$, $P_n = 5 \text{ kW}$, $n_n = 1430 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $M_{pr}/M_n = 3$, skalarno je upravljan U/f metodom u otvorenoj petlji. Motor pokreće centrifugalni ventilator čija je momentna karakteristika dana izrazom $M_t = k \cdot n^2$. Gubici trenja i ventilacije motora se zanemaruju. Pri nazivnoj frekvenciji motor je opterećen nazivnim momentom.

- Odrediti zadanu (referentnu) frekvenciju uz koju bi brzina vrtnje motora bila $n = 1100 \text{ min}^{-1}$. Koliki je moment tereta pri novoj referentnoj frekvenciji? Kolika bi bila brzina vrtnje motora pri novoj referentnoj frekvenciji kada bi motor bio upravljan U/f metodom u zatvorenoj petlji?
- Smije li motor spojen na navedeni ventilator trajno raditi uz zadanu referentnu frekvenciju $f = 60 \text{ Hz}$? Obrazloži!
- Na istom grafu nacrtati momentne karakteristike motora i tereta za navedene slučajev te na njima označiti karakteristične točke (prekretni moment i klizanje, sinkronu brzinu i radnu točku).

Rješenja:

- a) $f = 38,02 \text{ Hz}$, $M_t = 19,76 \text{ Nm}$, $n = 1141 \text{ min}^{-1}$
b) Ne, jer je u tom slučaju moment tereta veći od nazivnog momenta motora.

6. auditorne

① ΔM

$$U_n = 400V$$

$$P_n = 5kW$$

$$n_n = 1430 \text{ min}^{-1}$$

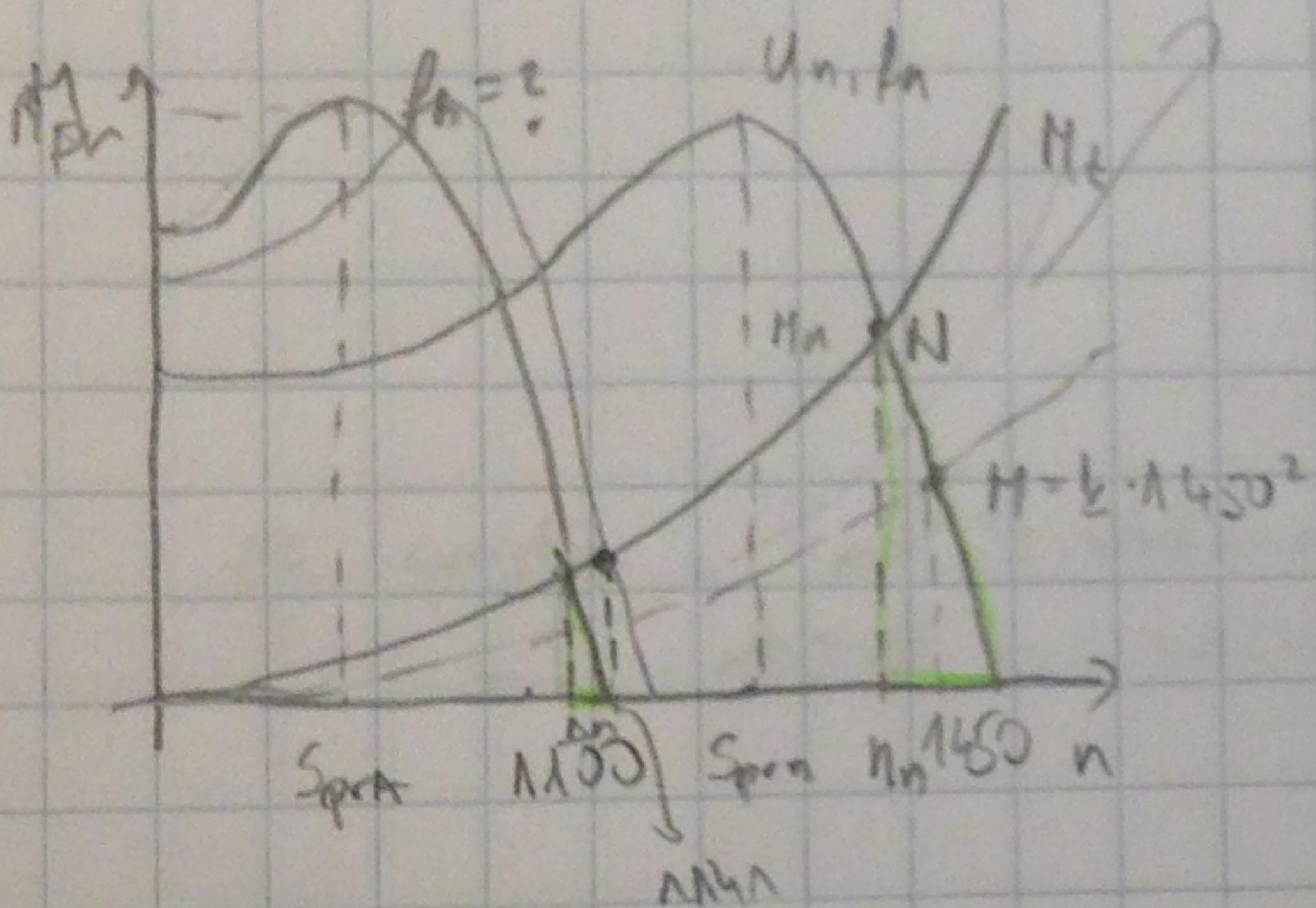
$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$M_{pr}/H_n = 3$$

sekundarno upravljanje u otvorenoj petljii

$$H_t = k \cdot n^2$$

a) $n = 1000 \text{ min}^{-1}$



$$\omega_n = \frac{n_n \pi}{30} = 149,75 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{5000}{149,75} = 33,39 \text{ Nm}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = 0,046 \Rightarrow 4,66\%$$

$$M_{pr} = 3 \cdot M_n = 100,17 \text{ Nm}$$

$$k = \frac{M_t = M_n}{n_n^2} = \frac{33,39}{1430^2} = 1,632 \cdot 10^{-5}$$

2. način preko dijeljenih trošenja, pariti je da se razlikuju kriteriji za trošak, pa možemo stavljati D_n , a ne s

(ako je $n = 1450 \text{ min}^{-1}$ onda M_t nije M_n)

$$M_{tA} = b \cdot n_A^2 = 1,632 \cdot 10^{-5} \cdot 1450^2 = 19,76 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_{prn}} = \frac{2}{\frac{s_n}{S_{prn}} + \frac{S_{prn}}{s_n}} ; \quad x = \frac{s_n}{S_{prn}}$$

$$x = 0,1716$$

$$S_{prn} = \frac{s_n}{x} = 0,272 \Rightarrow 27,2\%$$

$$S_{prA} = S_{prn} \cdot \frac{f_n}{f_A} = 0,272 \cdot \frac{50}{f_A} = \frac{13,5}{f_A}$$

$$\frac{M_{tA}}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{S_{tA}}{S_{prA}} + \frac{S_{prA}}{S_{tA}}} ; \quad x = \frac{S_{tA}}{S_{prA}}$$

$$x = 0,1 \quad \frac{13,5}{f_A} = \frac{S_{tA}}{S_{prA}}$$

$$S_{tA} = X \cdot S_{prA} = \frac{n_{SA} - 1100}{n_{SA}} \Rightarrow f_A = 38,02 \text{ Hz}$$

2. način:

$$\frac{M_n}{\Delta n_n} = \frac{M_{EA}}{\Delta n_{EA}}$$

$$\Delta n_n = n_s - n_n$$

$$\Delta n_{EA} = n_{SA} - n_{TA}$$

$$\frac{33,32}{70} = \frac{19,176}{\Delta n_{EA}}$$

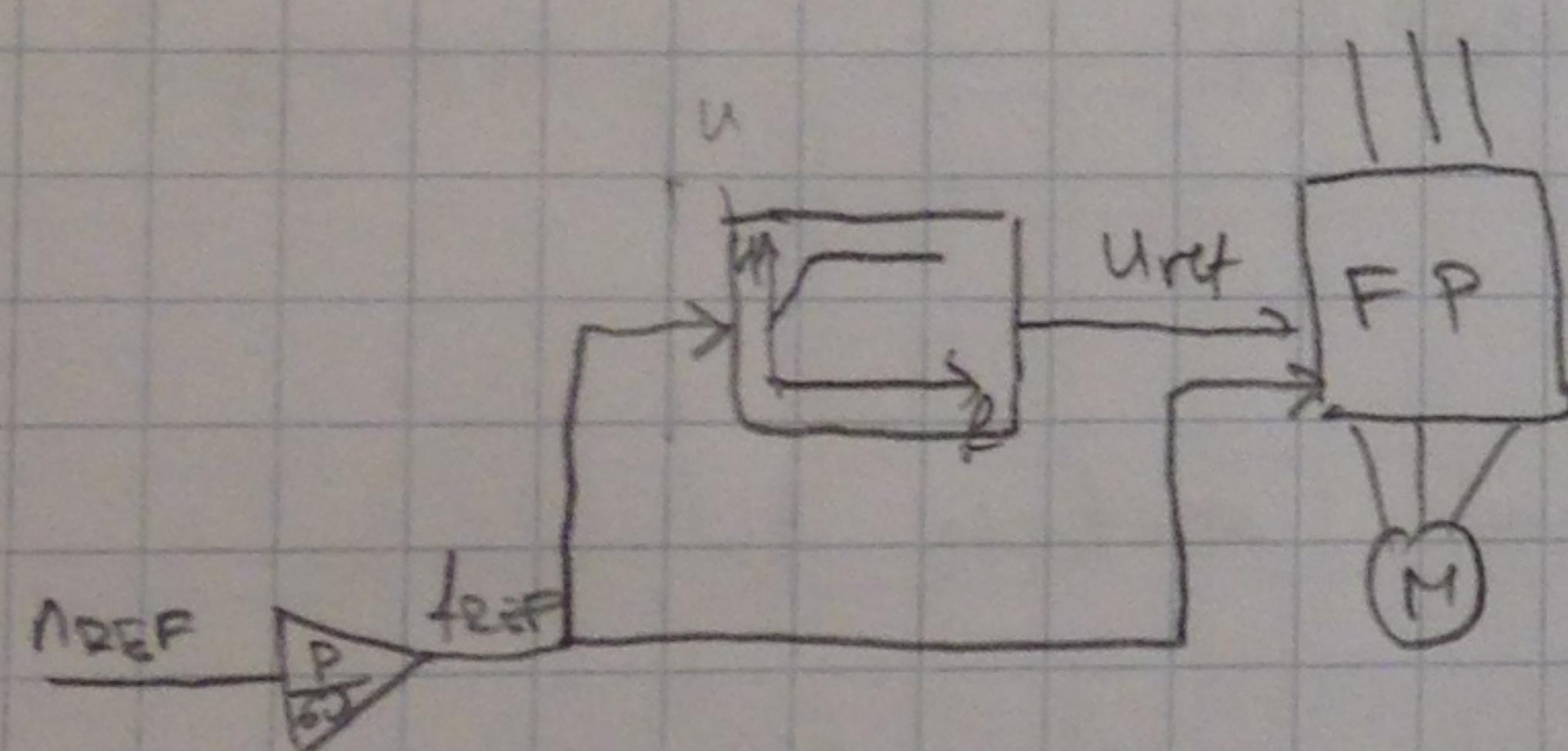
$$\Delta n_{EA} = 44,42 \approx 44 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{SA} = 1100 + 44 = 1144 \text{ min}^{-1}$$

$$f_A = \frac{P \cdot n_{SA}}{60} = \frac{2 \cdot 1144}{60} \approx 38,03 \text{ Hz}$$

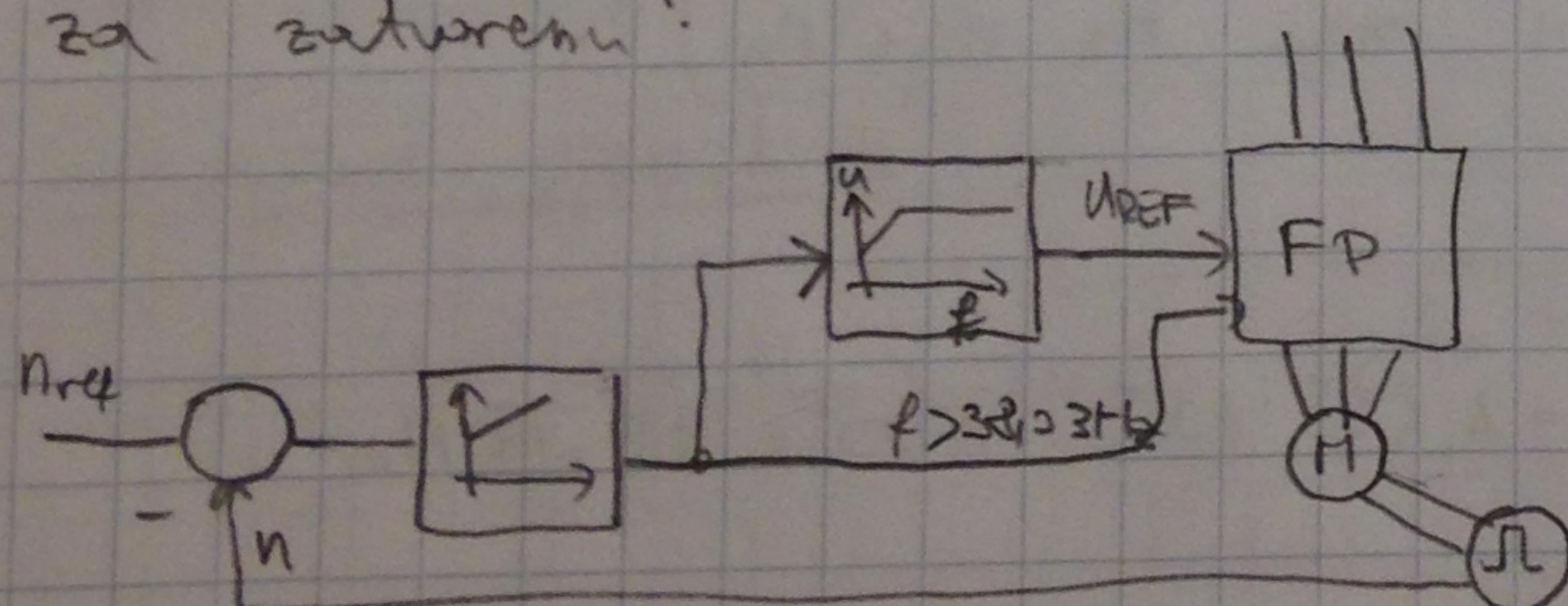
Kolika bi bila brzina vrtnje motora pri novoj ref. frek kada bi motor bio ugrađen u IF metodom u zatvorenog polja

za otvoren:



- zadajemo brzinu kojom ćemo se vrtiti.

za zatvoren:



- zadajemo karakteristiku i vrtilos se brzinom ovise o tome

Brzina vrtnje će biti 1141 min^{-1}

Smijemo li zadati veću $f = 60$

$M_t > M_n$ što nije dozvoljeno za trajni rad pa ne smijemo

6. auditorne vježbe

17. studenog 2016.

Vektorsko upravljanje

**Rekapitulacija gradiva vezanog uz prostorne vektore i transformacije*

1. zadatak

Vektorski upravljan asinkroni motor se napaja naponom nazivne frekvencije $f = 50 \text{ Hz}$ i vrati konstantnom brzinom vrtnje $n = 2910 \text{ min}^{-1}$. Stroj je nazivno opterećen, a struja motora iznosi $I = 20 \text{ A}$. Struje statora odredene su izrazima:

$$\begin{aligned}i_{sa} &= I_m \sin(\omega t) \\i_{sb} &= I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\i_{sc} &= I_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)\end{aligned}$$

U trenutku $t = 0,0014 \text{ s}$ estimirani položaj vektora toka rotora iznosi $\rho = \frac{2\pi}{3}$.

- a) Odrediti vrijednosti faznih struja statora, α i β , te d i q komponenti vektora struje statora u trenutku $t = 0,014 \text{ s}$.
- b) Nacrtati troosni abc , dvoosne $\alpha\beta$ i dq koordinantne sustave te označiti komponente rezultantne struje u pojedinim sustavima.
- c) Kolike bi bile struje i_{sd} i i_{sq} u stacionarnom stanju ako se teret smanji za 50%, a referentna brzina vrtnje motora ostane nepromijenjena?
- d) Kolike bi bile struje i_{sd} i i_{sq} kada bi stroj bio neopterećen? Skicirati vremenski odziv struja i_{sd} i i_{sq} u slučaju rasterećenja motora u trenutku $t = 5 \text{ s}$.

Rješenja:

1. a) $i_{sa} = -26,90 \text{ A}$, $i_{sb} = 21,02 \text{ A}$, $i_{sc} = 5,88 \text{ A}$
 $i_{s\alpha} = -26,90 \text{ A}$, $i_{s\beta} = 8,74 \text{ A}$
 $i_{sd} = 21,02 \text{ A}$, $i_{sq} = 18,93 \text{ A}$
- b)
- c) $i_{sd} = 21,02 \text{ A}$, $i_{sq} = 9,465 \text{ A}$
- d) $i_{sd} = 21,02 \text{ A}$, $i_{sq} = 0 \text{ A}$

B/AUDITORNE 2017/18-6/7

VEKTORSKO TRANSFORMACIJE

①

$$f = 50 \text{ Hz} \quad n = 2910, \text{ MAZIVNO OPTEREGEN (H_n)}$$

$$2\pi f = 2$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$\dot{i}_{sa} = I_m \sin(\omega t)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{sa} \\ \dot{i}_{sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_{sc} \end{bmatrix}$$

$$-2\pi/3 \rightarrow \dot{i}_{sc}$$

1 NOČA VÍŠKA TIP FELBER
-4π/3 → i_{sc}

$$t = e_{120}^1 1 \text{ s} \rightarrow \text{VEKTOR A TONI ROTORA} \quad p = 2\pi/3$$

(ESTIMIRANI POLOŽAJ)

od i_{sa}, i_{sc} → d₁₃, d₄₂ ; t = 0.0145

$$\dot{i}_{sa} = 22.2 \text{ A} \quad -19\sqrt{2} \quad \dot{i}_{sc} = 14.89\sqrt{2} \quad \dot{i}_{sc} = 4.11\sqrt{2}$$

$$I_m = \sqrt{2} \cdot 20 \text{ A}!$$

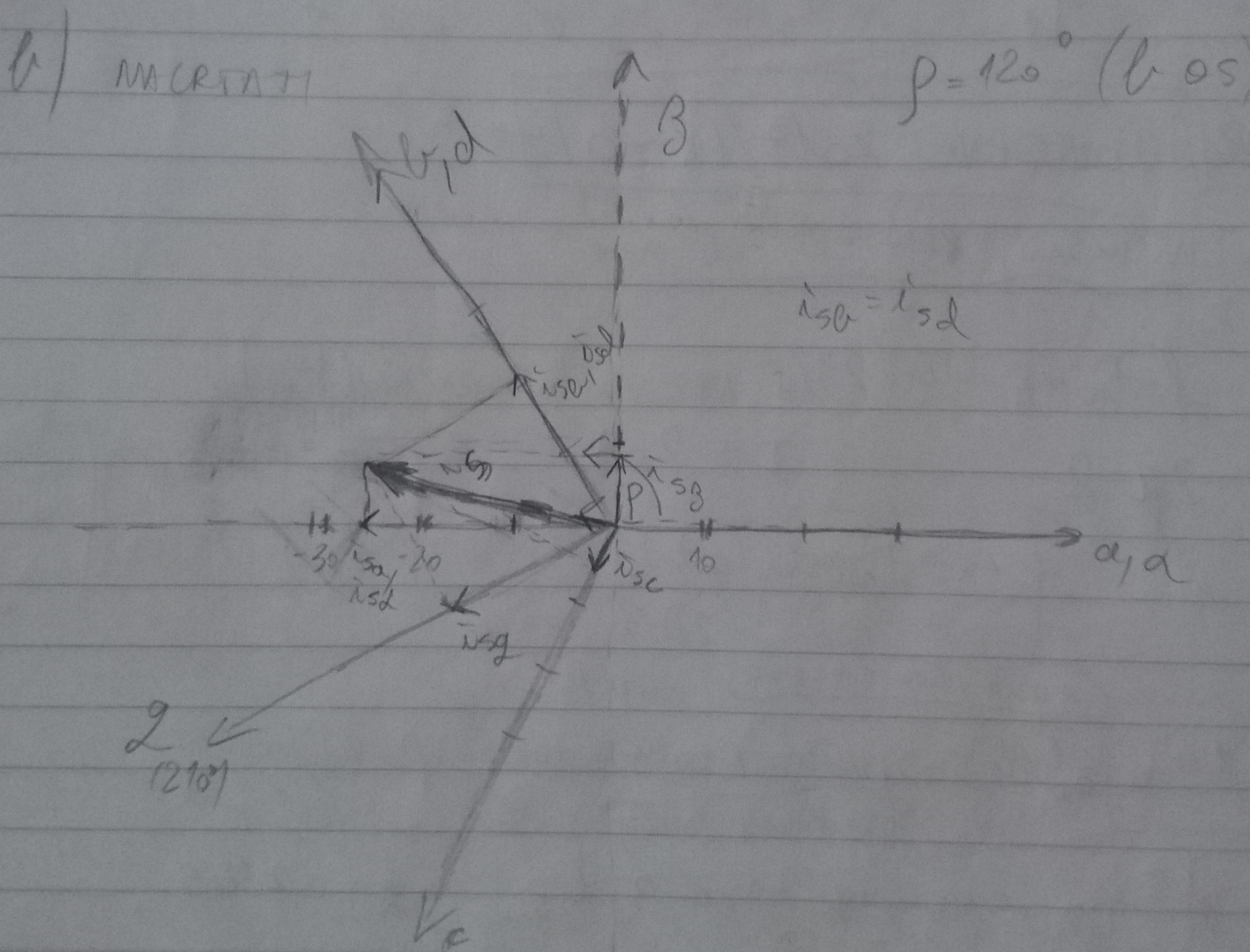
$$\dot{i}_{sd} = \dot{i}_{sa} = -19\sqrt{2} \text{ A} \quad \dot{i}_{sb} = \frac{\dot{i}_{sa}}{\sqrt{3}} - \frac{\dot{i}_{sc}}{\sqrt{3}} = 8.8 \text{ A}$$

$$\theta = ?$$

$$\theta = \rho / \tan \beta \quad \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \rho & \sin \rho \\ -\sin \rho & \cos \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sg} \end{bmatrix}$$

$$i_{sd} = \cos \rho \cdot i_{sd} + \sin \rho \cdot i_{sg} = 21.06 \text{ A}$$

$$i_{sg} = \cos \rho \cdot i_{sg} + i_{sd} \cdot \sin \rho = 18.87 \text{ A}$$



c) $i_{sd}, i_{sg} = ? \rightarrow M_t = 0.5 \text{ Mn}, M_{\text{REF}} = \text{kant} ((50 \text{ A}))$

$$i_{sg} \sim M \quad (M = \frac{3}{2} \pi \frac{L_m}{4\pi} i_{sg} J_{\text{RD}})$$

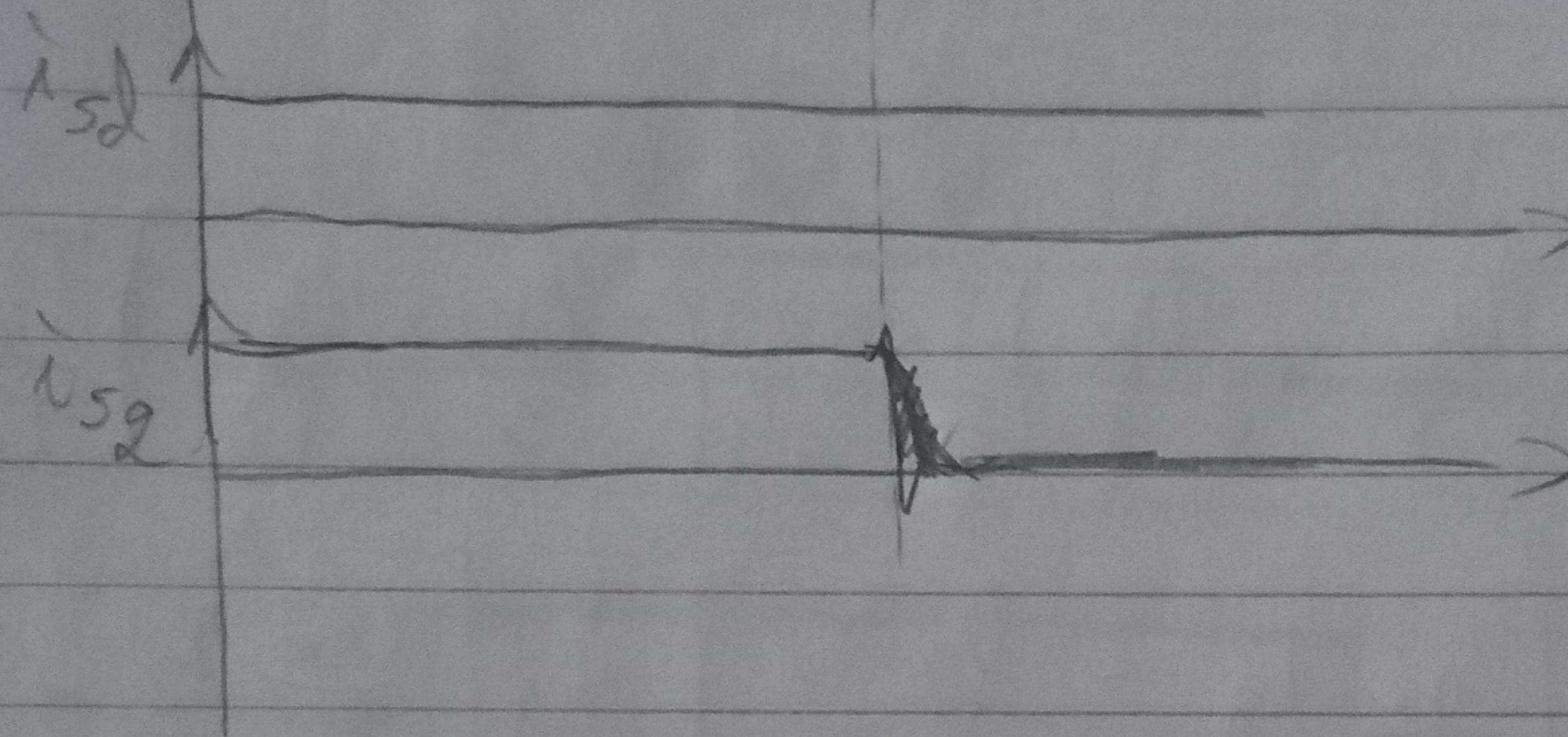
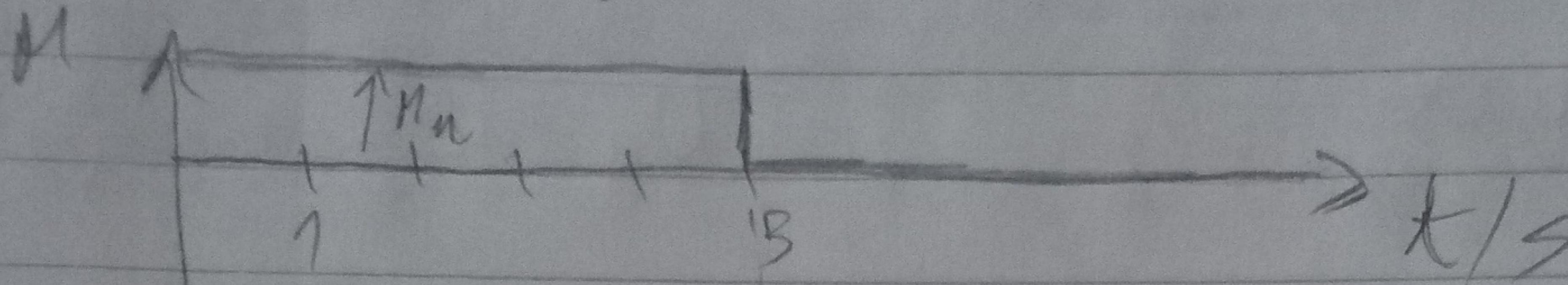
liming value

$$i_{sg} = 0.5 i_{sg} = 9.43 \text{ A}$$

$$i_{sd} = i_{sd} = 21.06 \text{ A} \quad (i_{sd} \text{ si ne myenja})$$

d) $i_{sd}'' = i_{sd} = 21.6 \text{ V}$

$$i_{sg}'' = i_{sg} \cdot \phi = \phi A \quad (i_{sg} \text{ UPRAVYA MOMENTOM})$$



7. auditorne vježbe

17. studenog 2017.

Vektorsko upravljanje

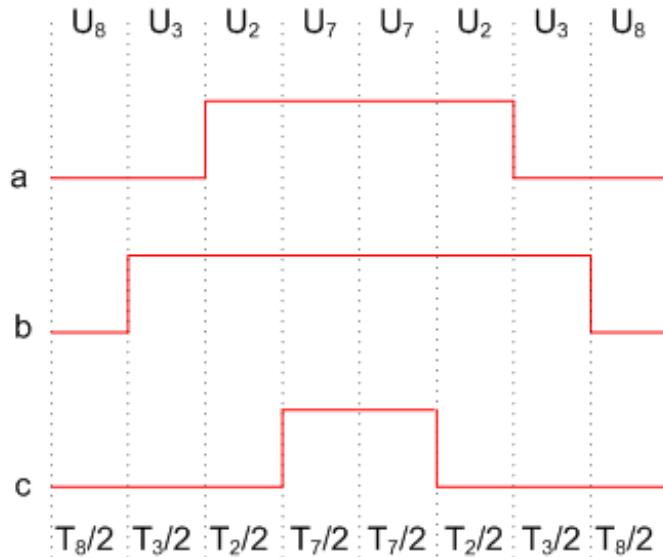
1. zadatak

Asinkroni stroj je vektorski upravljan pri čemu se za upravljanje sklopkama pretvarača koristi vektorska modulacija širine impulsa. U trenutku t izmjerene su trenutne vrijednosti faznih napona statora: $u_{sa} = -97,55 \text{ V}$, $u_{sb} = 221,68 \text{ V}$, $u_{sc} = -124,13 \text{ V}$. Napon istosmjernog međukruga iznosi $U_{dc} = 600 \text{ V}$. Potrebno je:

- Odrediti α i β komponente referentnog vektora napona statora u trenutku t . U kojem sektoru se nalazi referentni vektor napona U_{ref} ?
- Izračunati vrijeme trajanja aktivnih i nul vektora unutar intervala $T_s = 200 \mu\text{s}$.
- Skicirati izmjenjivač i na njemu označiti sklopke te nacrtati valne oblike upravljačkih signala za navedeni slučaj. Koliko vremena unutar intervala $T_s = 200 \mu\text{s}$ vodi pojedina sklopka?

Rješenja:

- a) $u_{s\alpha} = -97,55 \text{ V}$, $u_{s\beta} = 199,65 \text{ V}$, $\alpha = 116,04^\circ \Rightarrow I.\text{sektor}$
- b) $T_2 = 8,89 \mu\text{s}$, $T_3 = 106,41 \mu\text{s}$, $T_7 = T_8 = 42,35 \mu\text{s}$
- c) $t_a = 51,24 \mu\text{s}$, $t_b = 157,65 \mu\text{s}$, $t_c = 42,35 \mu\text{s}$



Slika 1: Valni oblici upravljačkih signala

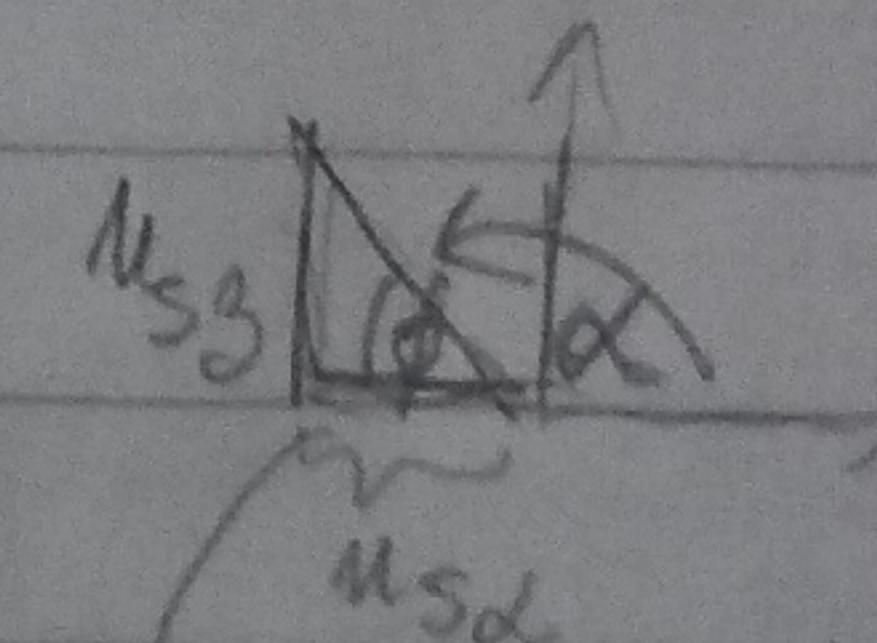
AUDITORNE - 2017/18 - 7/7

(1) VENTO RSEN (PWM) $\rightarrow u_{sa} = -97.55V, u_{sb} = 221.68V$
 $U_{DC} = 600V \quad u_{sc} = -124.13V$

d) ~~WYSZCZYGOSCI~~ u_{dREF}, u_{bREF} = ? (STATOR)
 kof. SENSOR?

$$u_{sd} = u_{sa} = -97.55V$$

$$u_{sb} = \frac{u_{sc}}{\sqrt{3}} = \frac{u_{sc}}{\sqrt{3}} = 199.68V$$



$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{u_{sb}}{u_{sd}}\right) = -63.36^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - \phi = 116.64^\circ$$

$$116.64^\circ \in (60^\circ, 120^\circ) \Rightarrow I. SENSOR$$

$$b) T_{\text{dauer}} \text{ & } v_0 \circ, T_S = 200 \mu s$$

$$\text{I. Sektor} \Rightarrow T_2 \text{ & } T_3 \quad | \quad U_{\text{REF}} = U_2 \frac{T_2}{T_S} + U_3 \frac{T_3}{T_S}$$

~~Stromrichtung~~ SALABATHO: $U_2 = U_d + jU_B = \frac{U_{DC}}{3} + j\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}}$

$$U_3 = -\frac{U_{DC}}{3} + j\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{\text{REF}} = \left(\frac{U_{DC}}{3} + j\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \right) \frac{T_2}{T_S} + \left(-\frac{U_{DC}}{3} + j\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \right) \frac{T_3}{T_S}$$

$$U_d + jU_B = \left[\frac{U_{DC}}{3} \frac{T_2}{T_S} - \frac{U_{DC}}{3} \frac{T_3}{T_S} \right] + j \left[\frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \frac{T_2}{T_S} + \frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \frac{T_3}{T_S} \right]$$

$$1) U_d = \frac{U_{DC}}{3} \frac{T_2}{T_S} - \frac{U_{DC}}{3} \frac{T_3}{T_S}$$

$$2) U_B = \frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \frac{T_2}{T_S} + \frac{U_{DC}}{\sqrt{3}} \frac{T_3}{T_S}$$

$$T_2 - T_3 = -99.55$$

$$1.73 T_2 + 1.73 T_3 = 199.65$$

$$T_2 = T_3 - 99.55$$

$$T_3 = \frac{199.65}{1.73} - T_2$$

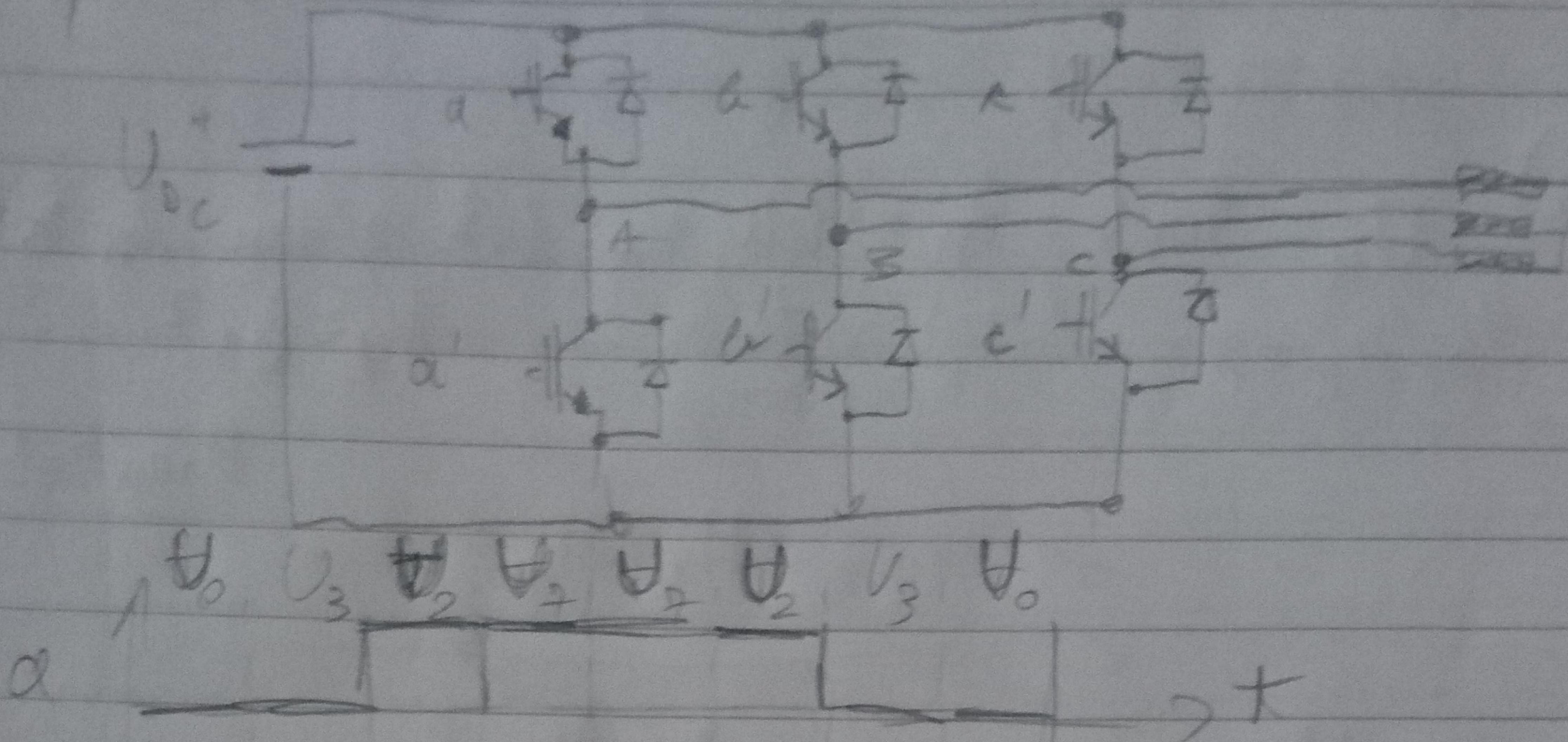
$$T_2 = 8.93 \mu s$$

$$T_3 = 106.48 \mu s$$

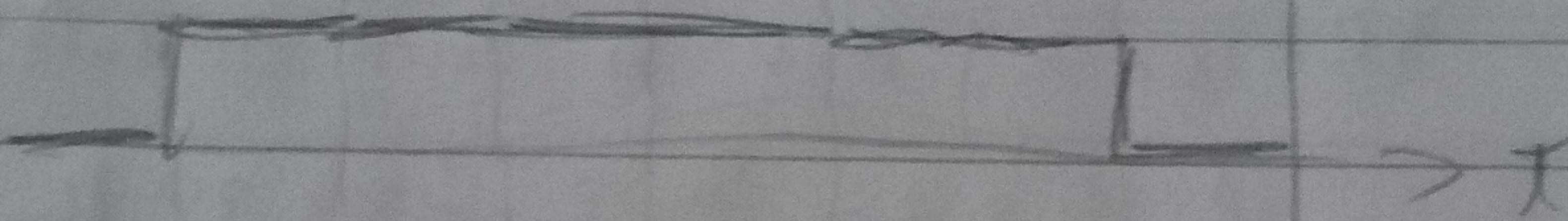
$$T_9 - T_8 = \frac{84.6 \mu s}{2} = 42.3 \mu s$$

$$T_9 - T_8 = T_S - T_1 - T_2 = 84.6 \mu s$$

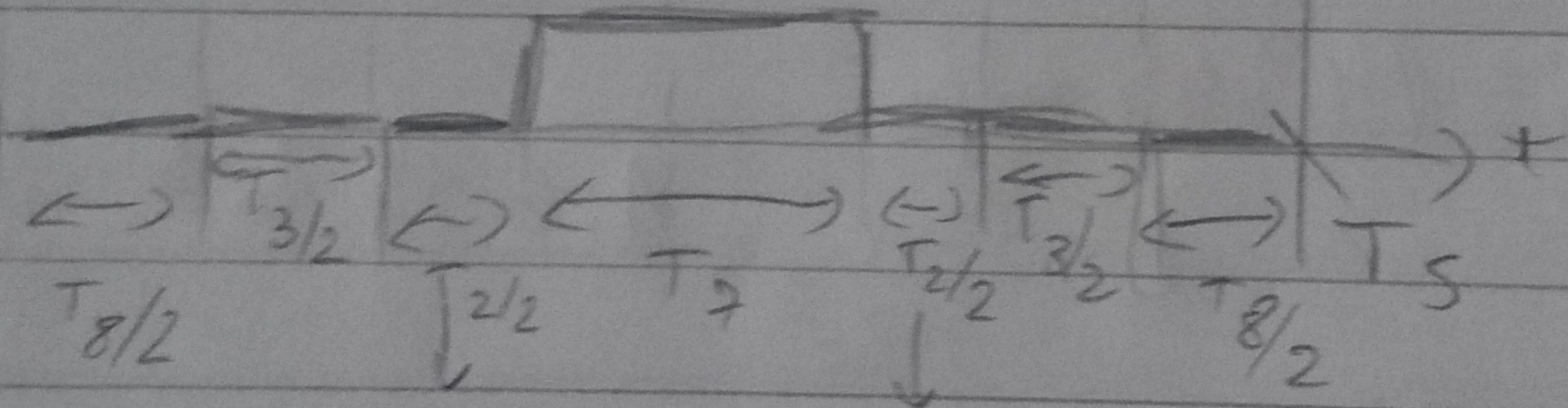
c)



b) 1



c) 1



DVOĐE JE ON, JI S VIŠE

"ON" STANJA - V_2

$$\textcircled{a} \rightarrow T_2 + T_7$$

$$\bar{T}_d = 51.23 \mu s$$

$$\bar{T}_d' = T_5 - \bar{T}_d = 148.77 \mu s$$

$$\textcircled{b} \rightarrow T_8 = T_5 - T_8 = 157.7 \mu s$$

$$\bar{T}_{d'} = T_5 - T_{d'} = 42.3 \mu s$$

$$T_E = T_2 = 42.3 \mu s$$

$$\bar{T}_d'' = T_5 - T_C = 152.3 \mu s$$