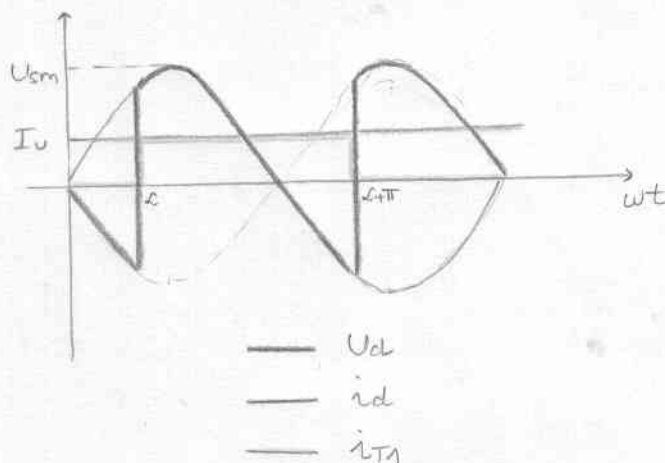
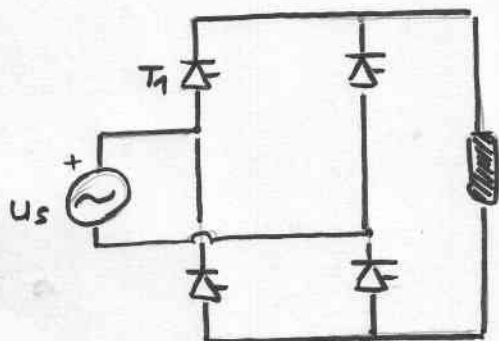


Zadatak 1. Na natpisnoj pločici istosmjernog stroja s nezavisnom uzбудom piše $U_u = 100 \text{ [V]}$ i $I_u = 1 \text{ [A]}$. Za napajanje uzbudnog kruga odabran je punoupravljivi usmjerivač u jednofaznom mosnom spoju spojen izravno na mrežni napon efektivne vrijednosti $U_{SEF} = 220 \text{ [V]}$. Izračunajte kut upravljanja usmjerivača α potreban za osiguravanja uzbudne struje I_u . Za izračunati kut ucrtajte na predviđeno mjesto valne oblike napona i struje uzbudnog kruga istosmjernog stroja, te valni oblik struje jednog od tiristora! Izračunajte srednju i efektivnu vrijednost struje tiristora I_{TSR} i I_{TEF} !



$$U_u = 100 \text{ V} \quad U_{set} = 220 \text{ V}$$

$$I_u = 1 \text{ A}$$

$$u_s = U_{sm} \sin(\omega t)$$

$$U_s = U_{set} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

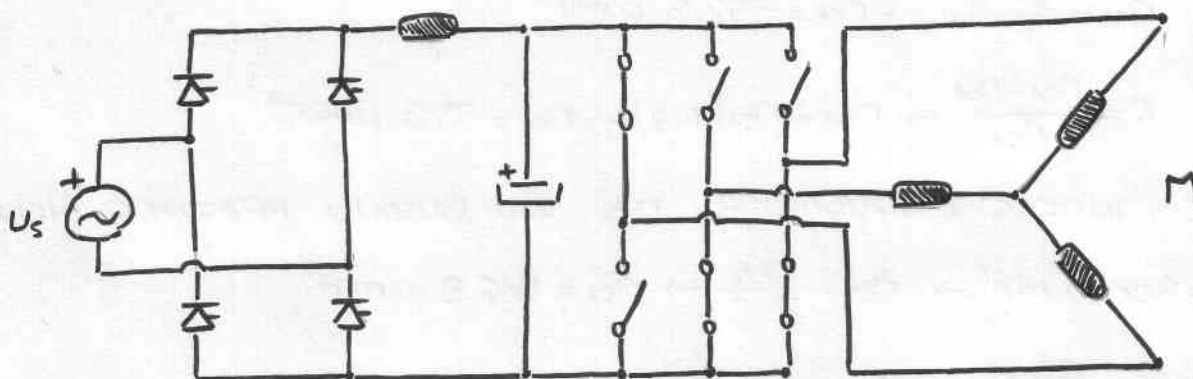
$$U_u = U_{dSR} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_{sm} \sin(\omega t) d(\omega t)$$

$$U_u = \frac{2}{\pi} U_{sm} \cos \alpha \rightarrow \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\pi U_u}{2 \sqrt{2} U_{set}} \right) \rightarrow \alpha = 59.68^\circ \rightarrow \alpha \approx \underline{\underline{60^\circ}}$$

$$i_{TSR} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_u d(\omega t) = \frac{I_u}{2} \rightarrow i_{TSR} = \underline{\underline{0.5 \text{ A}}}$$

$$i_{TEF} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_u^2 d(\omega t)} = I_u \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow i_{TEF} = \underline{\underline{0.707 \text{ A}}}$$

Zadatak 2. Asinkroni motor predviđen je za priključak na trofaznu izmjeničnu mrežu efektivne vrijednosti faznog/linijskog napona $220/380$ [V], frekvencije 50 [Hz]. Motor je spojen u zvijezda spoju. Pri spoju na mrežu postiže brzinu vrtnje u praznom hodu $n_0 = 1420$ [o min⁻¹]. Isti se motor mora spojiti na pretvarački sustav koji se sastoji od jednofaznog ispravljača u mosnom spoju priključenog na izmjeničnu mrežu napona efektivne vrijednosti 220 [V], istosmjernog međukruga i trofaznog izmjenjivača sa sinusnom modulacijom širine impulsa (PWM). Motor se upravlja uz održavanje konstantnog odnosa U/f . Koju brzinu vrtnje u praznom hodu n_{01} može postići taj motor ukoliko je amplitudni indeks modulacije $m_a = 1$. Koja je u tom slučaju frekvencija izlaznog napona izmjenjivača f_{a2} ? Izračunajte potrebni amplitudni indeks modulacije m_{a2} i izlaznu frekvenciju f_{a2} za postizanje brzine vrtnje u praznom hodu $n_{02} = 300$ [o min⁻¹]. Skicirajte valni oblik izlaznog linijskog napona izmjenjivača (za proizvoljan m_a).



$$220/380 \text{ V}, f_0 = 50 \text{ Hz}, L = 0, U_{\text{set}} = 220 \text{ V}, m_{a1} = 1$$

$n_0 = 1420 \text{ o min}^{-1}$ - BRZINA PRAZNOG HODA DOK JE A.M. SPOTEN NA MREŽU

$$n = \frac{60}{p} f$$

$$n_{s0} = \frac{60}{p} f_0$$

$p=1$	$n_{s0} = 3000 \text{ o min}^{-1}$
$p=2$	$n_{s0} = 1500 \text{ o min}^{-1}$
$p=3$	$n_{s0} = 1000 \text{ o min}^{-1}$

$$n_0 = \frac{60}{p} f_{r0}$$

f_{r0} - FREKVENCIJA ROTORSKIH STRUJA

$$f_{r0} = 47.33 \text{ Hz}$$

$$s = \frac{f_0 - f_{r0}}{f_0} = \frac{n_s - n_0}{n_s} \rightarrow s = 0.053$$

$$U_{dsr} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi U_{sm} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} U_{sm} \rightarrow U_{dsr} = 198 \text{ V}$$

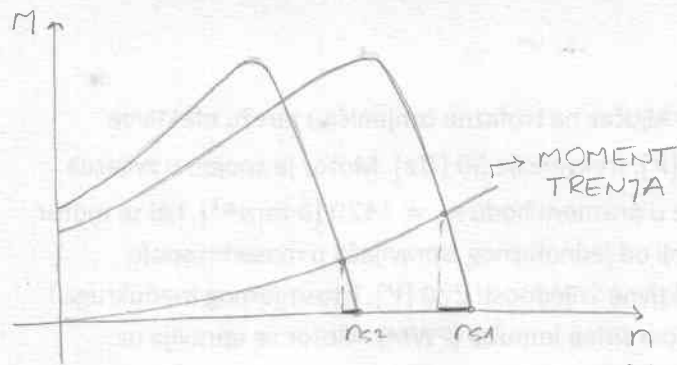
$$U_{lm} - \text{LINIJSKI NAPON, AMPLITUDA} \rightarrow U_{lm} = U_{dsr} \cdot m_a = 198 \text{ V}$$

$$U_{\text{set}} = U_{lm} \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow U_{\text{set}} = 140 \text{ V}$$

$$\frac{U_{\text{set}}}{f_L} = \frac{U_0}{f_0} \rightarrow f_L = 18.42 \text{ Hz}$$

$\frac{U_0}{f_0}$ - EFEKTIVNA VRT. LINIJSKOG NAPONA MREŽE
 f_L - FREKV. LINIJSKOG NAPONA

U/f - MOMENTNA KARAKTERISTIKA



- APSOLUTNO KLIZANJE: RAZLIČITO
- RELATIVNO KLIZANJE: KONSTANTNO

n_{s1} - SINKRONA BRZINA VRTNJE KOD FREKVENCIE $f_L = 18.42 \text{ Hz}$

$$n_{s1} = \frac{60}{p} f_L \rightarrow n_{s1} = 552.6 \text{ o min}^{-1}$$

$$s = \frac{n_{s1} - n_{o1}}{n_{s1}} \rightarrow n_{o1} = n_{s1}(1-s) \rightarrow n_{o1} = 523 \text{ o min}^{-1}$$

- TRAŽIMO INDEKS MODULACIJE m_a ZA BRZINU PRAZNOG HODA

$$n_{o2} = 300 \text{ o min}^{-1} \rightarrow n_{s2} = \frac{n_{o2}}{1-s} \rightarrow n_{s2} = 316.9 \text{ o min}^{-1}$$

$$n_{s2} = \frac{60}{p} f_L \rightarrow f_L = \underline{\underline{10.56 \text{ Hz}}}$$

$$\frac{U_{et}}{f_L} = \frac{U_o}{f_o} \rightarrow U_{et} = 80.256 \text{ V}$$

$$U_{lm} = U_{et} \cdot \sqrt{2} \rightarrow U_{lm} = 113.5 \text{ V}$$

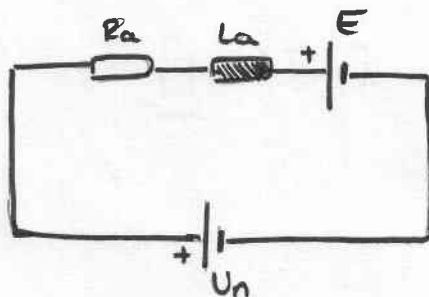
$$U_{lm} = m_a U_{dsr} \rightarrow m_a = \underline{\underline{0.573}}$$

FALI SLIKA ???

Zadatak 3. Istosmjerni motor s podacima 5 [kW] , 220 [V] , 28 [A] , $1500 \text{ [o min}^{-1}]$, $R_a = 1 \text{ [\Omega]}$ pogoni dizalicu. Armaturni krug stroja napaja se iz istosmjernog PWM pretvarača u jednofaznom mosnom spoju napajanog iz istosmjernog izvora $U_B = 300 \text{ [V]}$. Dizalica spušta teret od 30 [Nm] , a primjenjuje se generatorsko kočenje. Teret se spušta brzinom od $n = -600 \text{ [o min}^{-1}]$. Potrebno je izračunati srednju vrijednost izlaznog napona PWM pretvarača U_0 i za to potreban faktor opterećenja D , ukoliko se koristi bipolarna modulacija. Skicirajte izračunati valni oblik napona i struje armature istosmjernog stroja (U_a, I_a) te karakteristiku $n = f(I_a(M_t))$ za opisani slučaj generatorskog kočenja. Označite radnu točku stroja!

NAPUTAK: Nacrtajte nadomjesnu shemu motora spojenog na pretvarač pazeći na polaritet veličina.

$$\begin{aligned} P_n &= 5 \text{ kW} \\ U_n &= 220 \text{ V} \\ I_n &= 28 \text{ A} \\ n_n &= 1500 \text{ o min}^{-1} \\ R_a &= 1 \text{ }\Omega \\ U_B &= 300 \text{ V} \\ M_t &= 30 \text{ Nm} \end{aligned}$$



$n_t = -600 \text{ o min}^{-1}$, • GENERATORSKO KOČENJE:

$$E - U = iR_a + L_a \frac{di}{dt} \rightarrow \text{PAD NAPONA NA ČETKICAMA}$$

$$E = iR_a + U = k_e \omega$$

• MOTORSKI NAČIN RADA:

$$U - E = iR_a + L_a \frac{di}{dt}$$

$$E = U - iR_a = k_e \omega, \quad \omega = \frac{n\pi}{30} = 50\pi \text{ s}^{-1}$$

$$\hookrightarrow k_e = \frac{220 - 28 \cdot 1}{50\pi} \rightarrow k_e = 1.22 \text{ Vs/rad}$$

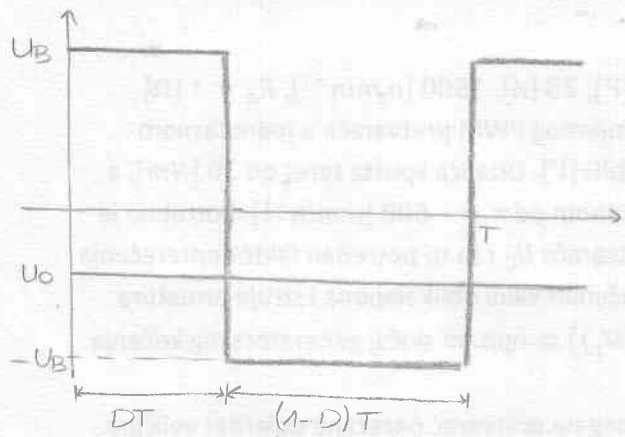
NAKON ŠTO SMO IZ POZNATIH PODATAKA MOTORSKOG NAČINA RADA IZRAČUNALI KONSTANTU k_e , "VRAĆAMO SE" U GENERATORSKI REŽIM RADA

$$E = k_e \omega, \quad \omega = \frac{n\pi}{30} = 20\pi \text{ s}^{-1}$$

$$U = E - iR_a, \quad i = \frac{M_t}{k_e}$$

$$|U| = k_e \omega - \frac{M_t}{k_e} R_a \rightarrow |U| = 52.06 \text{ V} \rightarrow U = -52.06 \text{ V}$$

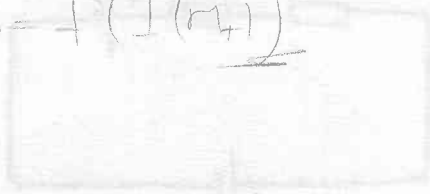
• BIPOLARNA PWM MODULACIJA



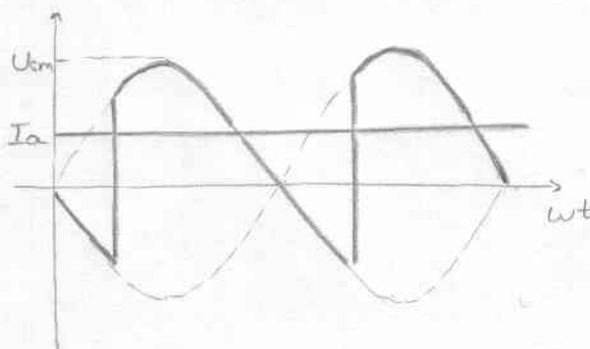
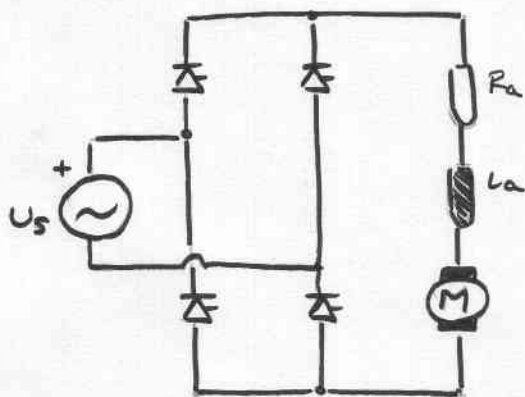
$$U_0 = \frac{U_B D T - U_B (1-D) T}{T}$$

$$U_0 = U_B (2D - 1) \rightarrow D = 0.413$$

FALI SLIKA $n = f(I(n))$



Zadatak 4. Za istosmjerni stroj s nezavisnom uzbudom potrebno je osigurati struju uzbude $I_u = 5$ [A] pomoću sklopa učinske elektronike koji se priključuje na izmjeničnu mrežu. Smjer struje uzbude nije potrebno mijenjati, ali se njen iznos prema potrebi mora moći mijenjati. Predložite shemu sklopa kojom se ostvaruju traženi zahtjevi. Odabrani sklop priključuje se na mrežu preko transformatora, tako da je efektivna vrijednost napona sekundara $U_{SEF} = 50$ [V], pri frekvenciji $f = 50$ [Hz]. Izračunajte iznos upravljačke veličine sklopa potrebnu za zadanu struju uzbude, uz pretpostavku idealnog učinskog sklopa i mreže. Pokušajte procijeniti valovitost uzbude (od vrha do vrha) pri maksimalnom mogućem naponu učinskog sklopa. Skicirajte valne oblike napona uzbude U_u i struje uzbude I_u za traženu struju uzbude $I_u = 5$ [A]. Poznati su podaci uzbudnog namota istosmjernog stroja: $R_u = 4$ [Ω], $L_u = 200$ [mH].



$$I_v = \frac{U_v}{R_a} \rightarrow U_v = U_{dsr} = \frac{1}{\pi} \int_L^{\pi+L} U_{sm} \sin(wt) d(wt) \rightarrow \frac{2U_{sm}}{\pi} \cos L = I_v R_a$$

$$U_{set} = 50 \text{ V}, U_{sm} = U_{set} \sqrt{2}$$

$$L = \cos^{-1} \left(\frac{I_v R_a \pi}{2U_{sm}} \right)$$

$$L = 63.62^\circ$$

MAKSIMALNI MOGUĆI NAPON UČINSKOG SKLOPA: $L=0$

γ - VALOVITOST $\rightarrow \gamma = \frac{\Delta I}{I_v}$, ΔI - OSNOVNI HARMONIK STRUJE

ZA $L=0$ - PARNA FUNKCIJA NAPONA $\rightarrow b_n=0$

\rightarrow OSNOVNI HARMONIK: $n=2$

$$U_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, b_n=0 \rightarrow U_n = |a_n|$$

$$a_n = \frac{2U_{sm}}{\pi} \left(\frac{\cos[(n+1)L]}{n+1} - \frac{\cos[(n-1)L]}{n-1} \right), \text{ ZA } n=2 \rightarrow a_2 = -\frac{4}{3\pi} U_{sm}$$

$$U_2 = \frac{4}{3\pi} U_{sm} \rightarrow U_2 = 30 \text{ V}$$

IMPEDANCIJA VIŠIH HARMONIKA: $Z_n = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}$

$$Z_2 = 125.73 \Omega$$

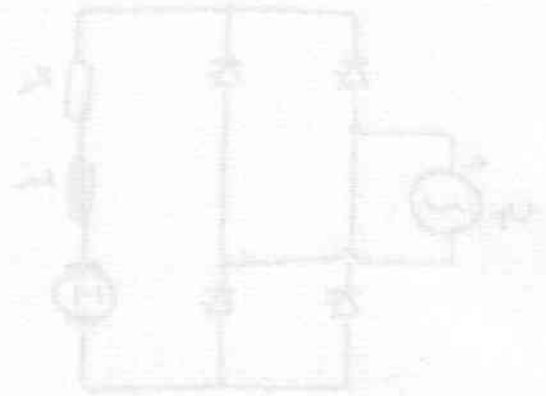
$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2} \rightarrow I_2 = 0.2386 - \text{AMPLITUDA OSNOVNOG HARMONIKA STRUJE}$$

$$U_{dSR} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{sm} \sin(\omega t) d(\omega t) \rightarrow U_{dSR} = \frac{2}{\pi} U_{sm} \rightarrow U_{dSR} = 45 \text{ V}$$

$$I_v = \frac{U_{dSR}}{R_a} \rightarrow I_v = 11.25 \text{ A}$$

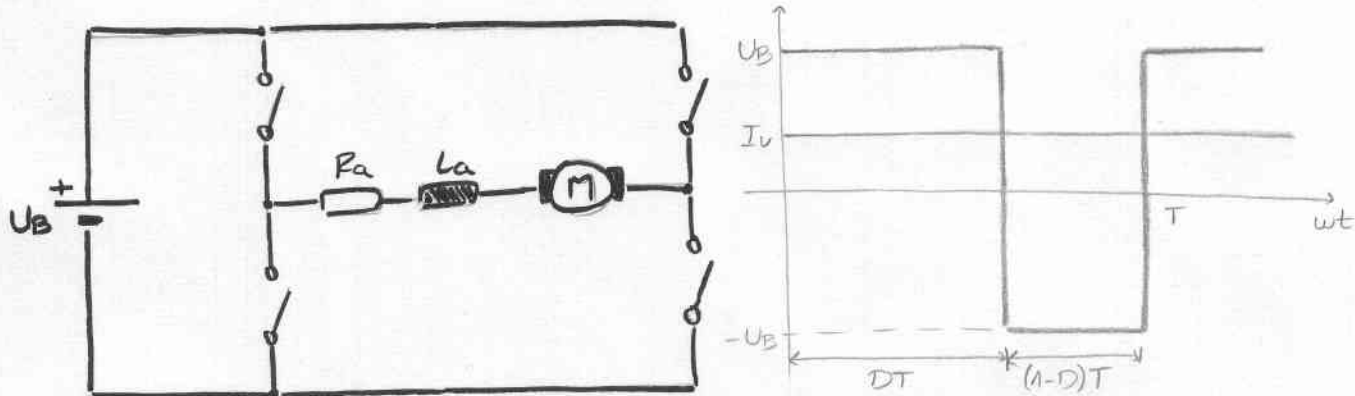
OD VRHA DO VRHA

$$\gamma = \frac{2 \cdot I_2}{I_v} \rightarrow \gamma = 4.24\%$$



Zadatak 5. Za istosmjerni stroj s nezavisnom uzbudom namijenjen za servo primjene, potrebno je osigurati najbržu moguću promjenu nazivne struje armature u opsegu $\pm I_{aN}$, pomoću odgovarajućeg učinskog pretvarača koji se spaja na izvor istosmjernog napona $U_B = 100$ [V]. Predložite shemu pretvarača kojom se ostvaruje traženo. Izračunajte vrijednost upravljačke veličine pretvarača za maksimalnu pozitivnu i negativnu brzinu vrtnje pri nazivnom opterećenju. Odaberite sami odgovarajući način upravljanja. Izračunajte minimalnu potrebnu radnu frekvenciju pretvarača da nazivna struja armature bude valovitosti (od vrha do vrha) 1% u najgorem slučaju. Skicirajte valne oblike napona armature U_a i struje armature I_a pri nazivnim uvjetima. Poznati su podaci istosmjernog stroja:

Nazivni napon:	$U_{aN} = 70$ [V]
Nazivna struja:	$I_{aN} = 125$ [A]
Nazivna brzina vrtnje:	$n_N = 1000$ [o min ⁻¹]
Armaturni otpor	$R_a = 0,05$ [Ω]
Induktivite armaturnog namota:	$L_a = 0,02$ [H]



(1) $I_{aN} > 0, U_{aN} > 0$

$$U_{aN} = \frac{U_B D T - U_B (1-D) T}{T} = U_B (2D - 1) \rightarrow D = \underline{\underline{0.85}}$$

(2) $I_{aN} < 0, U_{aN} < 0$

$$U_{aN} = U_B (2D - 1) \rightarrow D = \underline{\underline{0.15}}$$

γ -VALOVITOST $\Delta I = \left(\frac{2U_B}{R}\right) \left(\frac{T}{\tau}\right) D(1-D), \tau = \frac{L}{R}, \Delta I = \sigma \cdot I_{aN}$

$$T = \frac{1}{1020} \text{ s} \rightarrow f = \underline{\underline{1020 \text{ Hz}}}$$