

Ime i prezime: _____, br. indeksa _____.

Ovaj list se predaje zajedno sa vežbankom!

Sve odgovore na postavljena pitanja upisati na naznačena mesta, a odgovarajuću analizu, obrazloženja odgovora i proračune dati u vežbankama. Svaki tačan odgovor mora biti i obrazložen.

Elektromotorni pogoni

Beograd, 16.3.2026.

I deo ispita

1. Zadatak: Indukt motora jednosmerne struje sa stalnom, nominalnom i nezavisnom pobudom se napaja iz izvora konstantnog i nominalnog napona. Ovaj motor pokreće pogon dizalice, čiji se moment opterećenja sastoji iz potencijalne komponente m_{mp} i reaktivne komponente m_{mr} .

a) Odrediti otpornost koju treba dodati u kolo indukta da bi se obezbedilo spuštanje tereta sa četvrtinom nominalne brzine pomoću protivstrujnog kočenja. Diskutovati koja varijanta protivstrujnog kočenja se koristi.

Odgovor je na strani: _____ [0,75 poena]

b) Grafički prikazati: prirodnu mehaničku karakteristiku motora, mehaničku karakteristiku dobijenu dodavanjem otpornosti određene pod a) i mehaničku karakteristiku opterećenja u $m - \omega$ ravni. Označiti ustaljena stanja pre početka prelaznog procesa (tačka A) i nakon njegovog završetka (tačka B). Označiti kretanje radne tačke tokom prelaznog procesa.

Odgovor je na strani: _____ [0,75 poena]

c) Izračunati vreme trajanja prelaznog procesa koji nastaje pri prelasku iz ustaljenog stanja pri dizanju u ustaljeno stanje pri spuštanju tereta dodavanjem otpornosti određene pod a).

Napomena: Zbog mogućih problema sa izračunavanjem vremena trajanja prelaznog procesa usvojiti toleranciju u izračunavanju u iznosu od $\Delta\omega = 0,95(\omega_A - \omega_B)$.

Odgovor je na strani: _____ [1 poen]

d) Pod pretpostavkom da se uslovi hlađenja ne menjaju značajno usled promene brzine, kako ovaj tip kočenja utiče na termičko opterećenje mašine? Za objašnjenje koristiti proračun Džulovih gubitaka u rotoru motora.

Odgovor je na strani: _____ [0,5 poena]

Podaci o motoru: 230V, 34A, 150rad/s, $R_a = 1,3\Omega$, $m_{mp} = 40\text{Nm}$, $m_{mr} = 4\text{Nm}$, $\Sigma J = 0,5\text{kgm}^2$, $T_a \approx 0\text{s}$

1. Teorijsko pitanje: Nabrojati i ukratko objasniti aktuatore u elektromotornim pogonima sa motorom za jednosmernu struju.

a) Nacrtati i ukratko objasniti strukturnu šemu i principijelnu šemu trofaznog tiristorskog mosta. Nacrtati familiju mehaničkih karakteristika motora za jednosmernu struju sa nezavisnom pobudom, koji se napaja iz trofaznog tiristorskog ispravljača i komentarisati u odnosu na familiju mehaničkih karakteristika kada se motor jednosmerne struje napaja iz monofaznog ispravljača. Napisati i objasniti funkciju prenosa trofaznog tiristorskog ispravljača.

Odgovor je na strani _____ [1 poen]

b) Ukratko objasniti ulogu čopera u elektromotornom pogonu sa motorom za jednosmernu struju, objasniti podelu na klase i predstaviti čoper funkcijom prenosa, uz kratko objašnjenje.

Odgovor je na strani _____ [1 poen]

$$\begin{aligned}
 U_{an} &:= 230\text{V} & I_{an} &:= 34\text{A} & R_a &:= 1.3\Omega & m_{mp} &:= 40\text{N}\cdot\text{m} & m_{mr} &:= 4\cdot\text{N}\cdot\text{m} \\
 \Sigma J &:= 0.5\text{kg}\cdot\text{m}^2 & \omega_n &:= 150\frac{\text{rad}}{\text{s}} & \text{Odatle je} & \Psi_{fn} &:= \frac{U_{an} - R_a \cdot I_{an}}{\omega_n} = 1.239\text{Wb} \\
 \text{Bazne vrednosti:} & M_b &:= \frac{U_{an} \cdot I_{an}}{\omega_n} & \Psi_b &:= \frac{U_{an}}{\omega_n} = 1.533\text{Wb} & R_b &:= \frac{U_{an}}{I_{an}} = 6.765\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Normalizacija:} & \psi_{fn} := \frac{\Psi_{fn}}{\Psi_b} = 0.808 & r_a &:= \frac{R_a}{R_b} = 0.192 & \text{Mehanička vremenska konstanta:} \\
 & & & & T_m &:= \Sigma J \cdot \frac{\omega_n}{M_b} = 1.439\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\text{Moment sile pri dizanju:} \quad m_1 := \frac{m_{mp} + m_{mr}}{M_b} = 0.844$$

$$\text{Moment sile pri spuštanju:} \quad m_2 := \frac{m_{mp} - m_{mr}}{M_b} = 0.691$$

a) Odrediti R_{ad} da se obezbedi spuštanje 1/4 nominalne brzine

Spuštanje dizalice se ostvaruje u IV kvadrantu. Kod protivstrujnog kočenja sa prevezivanjem krajeva je brzina u IV kvadrantu veća od nominalne po apsolutnoj vrednosti, pa se ne može ostvariti željena radna tačka ustaljenog stanja. Potrebno je koristiti protivstrujno kočenje bez prevezivanja (prvi način).

$$\begin{aligned}
 \text{Pri spuštanju je moment opterećenja:} & m_{spu} := m_2 = 0.691 & u_{an} &:= 1 \\
 i_{spu} &:= \frac{m_{spu}}{\psi_{fn}} = 0.855 & \omega_{spu} &:= -0.25 \\
 u_{an} = (r_a + r_{ad}) \cdot i_{spu} + \omega_{spu} \cdot \psi_{fn} & r_{ad} &:= \frac{u_{an} - \omega_{spu} \cdot \psi_{fn}}{i_{spu}} - r_a = 1.214 \\
 & R_{ad} &:= r_{ad} \cdot R_b = 8.212\Omega
 \end{aligned}$$

b) Grafički prikaz

$$\begin{aligned}
 \text{Prirodna karakteristika:} & \omega_N(m_e) := \frac{u_{an}}{\psi_{fn}} - r_a \cdot \frac{m_e}{\psi_{fn}^2} \\
 \text{Karakteristika kočenja:} & \omega_K(m_e) := \frac{u_{an}}{\psi_{fn}} - (r_a + r_{ad}) \cdot \frac{m_e}{\psi_{fn}^2}
 \end{aligned}$$

Pre početka prelaznog procesa (tačka A):

$$m_A := \frac{m_{mp} + m_{mr}}{M_b} = 0.844$$

$$\omega_A := \omega_N(m_A) = 0.989$$

Skok na k-ku kočenja (tačka A1):

$$m_{A1} := \psi_{fn} \cdot \frac{(u_{an} - \omega_A \cdot \psi_{fn})}{r_a + r_{ad}} = 0.115$$

$$\omega_{A1} := \omega_K(m_{A1}) = 0.989$$

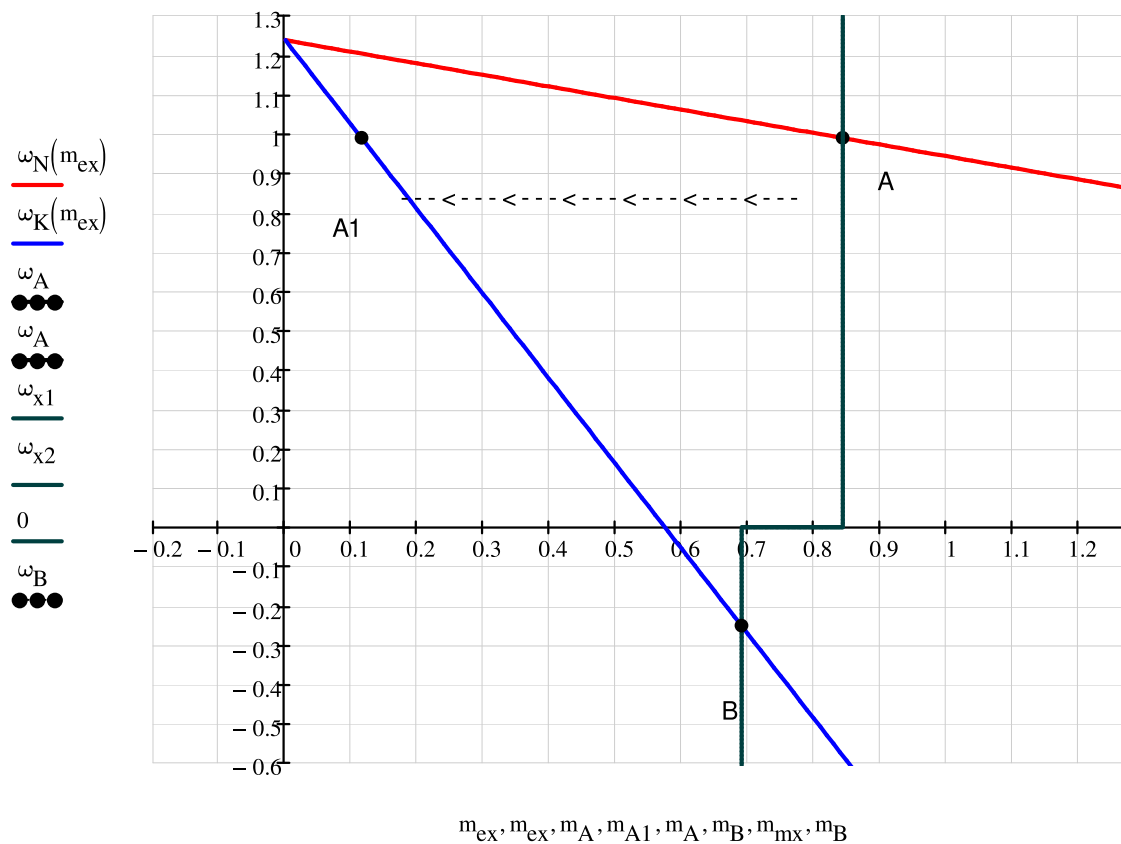
Ustaljena RT (tačka B):

$$m_B := \frac{m_{mp} - m_{mr}}{M_b} = 0.691$$

$$\omega_B := \omega_K(m_B) = -0.25$$

Ovo smo ranije usvojili kao ω_{spu} i m_{spu}

$$m_{ex} := 0, 0.01 \dots 2 \quad \omega_{x1} := 0, 0.01 \dots 1.3 \quad \omega_{x2} := -1.2, -1.19 \dots 0 \quad m_{mx} := 0.691, 0.692 \dots 0.844$$



c) Vreme trajanja prelaznog procesa se izračunava iz sledećih segmenata:

Prelazak sa prirodne k-ke na k-ku kočenja: $t_{AdoA1} := 0s$ jer je $T_a=0s$

Promena brzine od ω_0 do $\omega=0$ se odvija sa momentom opterećenja $m_A=0.844r_j$ i momentom mašine

$$m_K(\omega) := \psi_{fn} \cdot \frac{u_{an} - \omega \cdot \psi_{fn}}{r_a + r_{ad}}$$

$$T_m \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_K(\omega) - m_A$$

$$t := T_m \cdot \int_{\omega_A}^0 \frac{1}{\frac{u_{an} \cdot \psi_{fn}}{r_a + r_{ad}} - m_A - \omega \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}}} d\omega$$

$$\omega_1 := \omega_A \quad \omega_2 := 0$$

Rešenje integrala:
$$t_1 := -T_m \cdot \frac{r_a + r_{ad}}{\psi_{fn}^2} \cdot \ln \left[\frac{\omega_2 \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}} - \left(\frac{\psi_{fn} \cdot u_{an}}{r_a + r_{ad}} - m_1 \right)}{\omega_1 \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}} - \left(\frac{\psi_{fn} \cdot u_{an}}{r_a + r_{ad}} - m_1 \right)} \right]$$

$$t_1 = 3.083 s$$

Kada se pređe u režim spuštanja, moment opterećenja se menja (potencijalna komponenta teži da spušta teret, ali se reaktivna sada suprotstavlja spuštanju) u $m_B=36Nm$. Zavisnost momenta mašine od brzine (mehanička karakteristika) ostaje ista.

$$T_m \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_K(\omega) - m_B$$

$$TOL := (\omega_A - \omega_B) \cdot 0.05 \quad \text{pa je} \quad \omega_3 := \omega_B + TOL$$

ili:

$$\omega_3 := \omega_A - 0.95 \cdot (\omega_A - \omega_B)$$

$$t := T_m \cdot \int_0^{\omega_3} \frac{1}{\frac{u_{an} \cdot \psi_{fn}}{r_a + r_{ad}} - m_B - \omega \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}}} d\omega \quad t = 4.324 s$$

$$\omega_1 := 0$$

$$\omega_2 := \omega_3$$

Rešenje integrala:

$$t_2 := -T_m \cdot \frac{r_a + r_{ad}}{\psi_{fn}^2} \cdot \ln \left[\frac{\omega_2 \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}} - \left(\frac{\psi_{fn} \cdot u_{an}}{r_a + r_{ad}} - m_2 \right)}{\omega_1 \cdot \frac{\psi_{fn}^2}{r_a + r_{ad}} - \left(\frac{\psi_{fn} \cdot u_{an}}{r_a + r_{ad}} - m_2 \right)} \right]$$

$$t_2 = 4.324 \text{ s}$$

$$t_{uk} := t_1 + t_2 = 7.407 \text{ s}$$

d) Džulovi gubici na rotorskom namotaju učestvuju u zagrevanju mašine. Otpornost u kolu rotora se menja, ali sama otpornost rotorskog namotaja ne. Gubici su onda:

$$P_{\gamma A} := R_a \cdot \left(\frac{m_{mp} + m_{mr}}{\Psi_{fn}} \right)^2 = 1.64 \times 10^3 \cdot \text{W}$$

$$P_{\gamma B} := R_a \cdot \left(\frac{m_{mp} - m_{mr}}{\Psi_{fn}} \right)^2 = 1.098 \times 10^3 \text{ W}$$

Pri spuštanju su gubici na rotorskom namotaju manji nego pri dizanju, što znači da prelazak u režim spuštanja tereta protivstrujnim kočenjem termički rasterećuje motor, pod pretpostavkom da se uslovi hlađenja ne menjaju značajno usled promene brzine.