

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, februar 2023.

Ispit – II deo

Zadatak: Trofaznom asinhronom motoru mora se ograničiti polazna struja na vrednost 2,5 nominalne struje. Primenjuje se uređaj za fazno upravljanje (soft-starter), učestanost napona napajanja je stalna i nominalna.

- a) Odrediti vrednost sniženog napona napajanja pomoću koga se ostvaruje traženi uslov. Odrediti polazni moment u ovom slučaju.

Odgovor je na strani: _____ [1 poen]

- b) Za slučaj automatskog ograničenja polazne struje kontinualnom promenom napona, odrediti pri kojoj brzini se dostiže nominalni napon.

Odgovor je na strani: _____ [1 poen]

- c) Za slučaj da moment opterećenja ne zavisi od brzine ($m_m = \text{const.}$), odrediti najveću vrednost momenta opterećenja pri kojoj pogon može da startuje. Odrediti brzinu stacionarnog stanja pri tom opterećenju nakon završetka procesa zaletanja.

Odgovor je na strani: _____ [1 poen]

Podaci o motoru: Fazni napon 220V, nominalna brzina 1430o/min, induktivnosti rasipanja $\lambda_s = \lambda_r = 8,754$ mH, otpor rotora sveden na stator $R_r' = 2,5 \Omega$, otpor statora $R_s \approx 0$, $M \rightarrow \infty$, nominalna učestanost 50Hz. Zanimariti gubitke u gvožđu i elektromagnetne prelazne procese, zanemariti više harmonike napona i struje.

Teorijsko pitanje: Nacrtati i ukratko objasniti principijelnu šemu uređaja za fazno upravljanje (soft-startera) u pogonu sa asinhronim motorom. [1 poen]

Kako se može obezbediti bez-kontaktna promena smera obrtanja motora? [0,5 poena]

Koje su oblasti primene, prednosti i mane ovakvih uređaja? [0,5 poena]

Odgovor, šeme i obrazloženje je na strani: _____ [ukupno 2 poena]

$$\phi \equiv 2 \cdot \pi \text{ rad} \quad r_j \equiv 1 \quad \text{Definisanje jedinica.}$$

$$U_n := 220 \text{ V} \quad R_r := 2.5 \Omega \quad n_n := 1430 \frac{\text{O}}{\text{min}} \quad P := 2 \quad \text{Broj pari polova}$$

$$f := 50 \text{ Hz} \quad \omega_s := 2 \cdot \pi \cdot f \quad \omega_n := n_n = 149.749 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{MathCad konvertuje jedinice.}$$

$$\lambda_s := 8.754 \text{ mH} \quad \lambda_r := \lambda_s = 8.754 \times 10^{-3} \text{ H} \quad X_s := \omega_s \cdot \lambda_s = 2.75 \Omega$$

$$s_n := \frac{\omega_s - P \cdot \omega_n}{\omega_s} = 0.0467$$

$$I_n := \frac{U_n}{\frac{R_r}{s_n} + i \cdot \omega_s \cdot (\lambda_s + \lambda_r)} = (4.064 - 0.417i) \text{ A} \quad |I_n| = 4.085 \text{ A}$$

$$U_b := U_n \quad I_b := |I_n| \quad \omega_b := \omega_s$$

$$Z_b := \frac{U_b}{I_b} = 53.853 \Omega \quad L_b := \frac{Z_b}{\omega_b} = 0.171 \text{ H}$$

$$P_b := 3 \cdot U_b \cdot I_b = 2.696 \text{ kW} \quad M_b := P \cdot \frac{P_b}{\omega_b} = 17.165 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Normalizacija

$$\underline{R_r} := \frac{R_r}{Z_b} = 0.046 \quad \underline{\lambda_s} := \frac{\lambda_s}{L_b} = 0.051 \quad \underline{\lambda_r} := \frac{\lambda_r}{L_b} = 0.051 \quad \underline{\omega_s} := \frac{\omega_s}{\omega_b} = 1 \quad \underline{X_s} := \frac{X_s}{Z_b} = 0.0511$$

[N:]

$$I_s(U_s, s) := \frac{U_s}{\frac{R_r}{s} + i \cdot \omega_s \cdot (\lambda_s + \lambda_r)} \quad I_r(U_s, s) := I_s(U_s, s) \quad M_e(U_s, s) := \frac{R_r}{s} \cdot \frac{1}{\omega_s} \cdot (|I_r(U_s, s)|)^2$$

$$\omega(s) := (1 - s) \omega_s$$

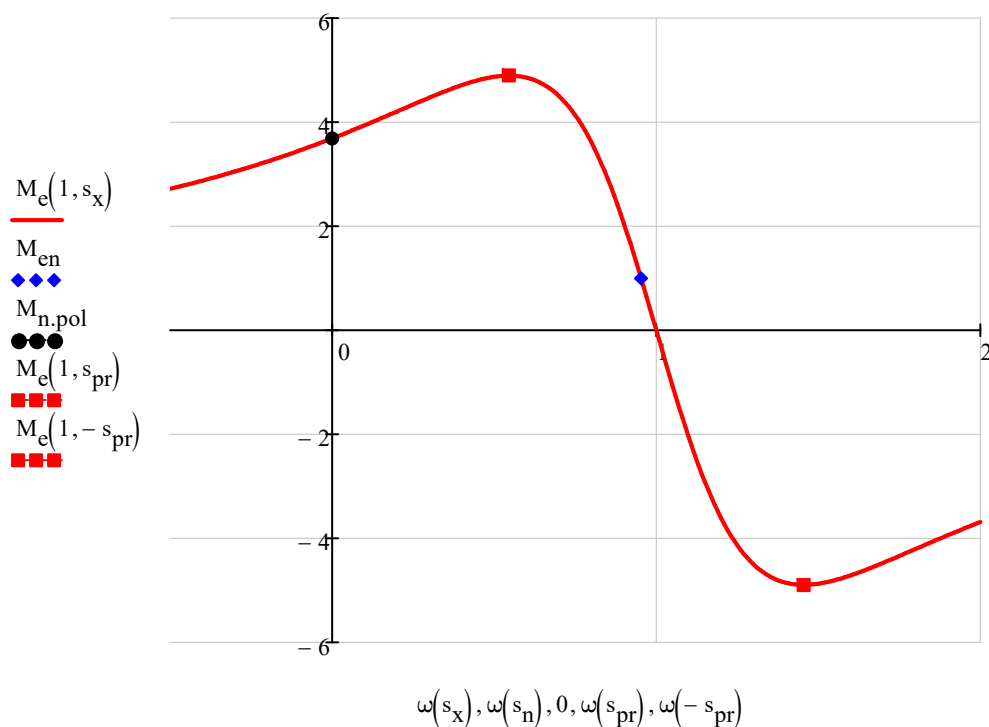
Nominalna karakteristika i karakteristične tačke.

$$M_{n.pol} := M_e(1, 1) = 3.688 \cdot r_j$$

$$M_{en} := M_e(1, s_n) = 0.995 \quad M_{en} \cdot M_b = 17.075 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$s_{pr} := \frac{R_r}{\omega_s \cdot (\lambda_s + \lambda_r)} = 0.455 \quad M_{n.pr} := M_e(1, s_{pr}) = 4.895$$

$$s_x := -1, -0.99..1.5$$



a) Odrediti vrednost sniženog napona napajanje pomoću koga se ostvaruje ograničenje polazne struje na vrednost 2,5 nominalne struje. Odrediti polazni moment pri tom naponu.

$$I_{pol} := 2.5 r_j \quad I_{pol} \cdot I_b = 10.213 \text{ A}$$

$$U_{sAx} := 1 \quad \text{Početni podatak za numerički postupak.}$$

$$\text{Given} \quad |I_s(U_{sAx}, 1)| = I_{pol}$$

$$U_{sA} := \text{Find}(U_{sAx}) = 0.28$$

$$U_{sA} \cdot U_b = 61.705 \text{ V}$$

Analički, rešava se jednakost:

$$\frac{U_{sA}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{1}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2}} = I_{pol}$$

$$I_{pol} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_r}{1}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2} = 0.28 \cdot r_j$$

$$|I_s(U_{sA}, 1)| = 2.5 \cdot r_j$$

$$|I_s(U_{sA}, 1)| \cdot I_b = 10.213 \text{ A}$$

Provera rešenja

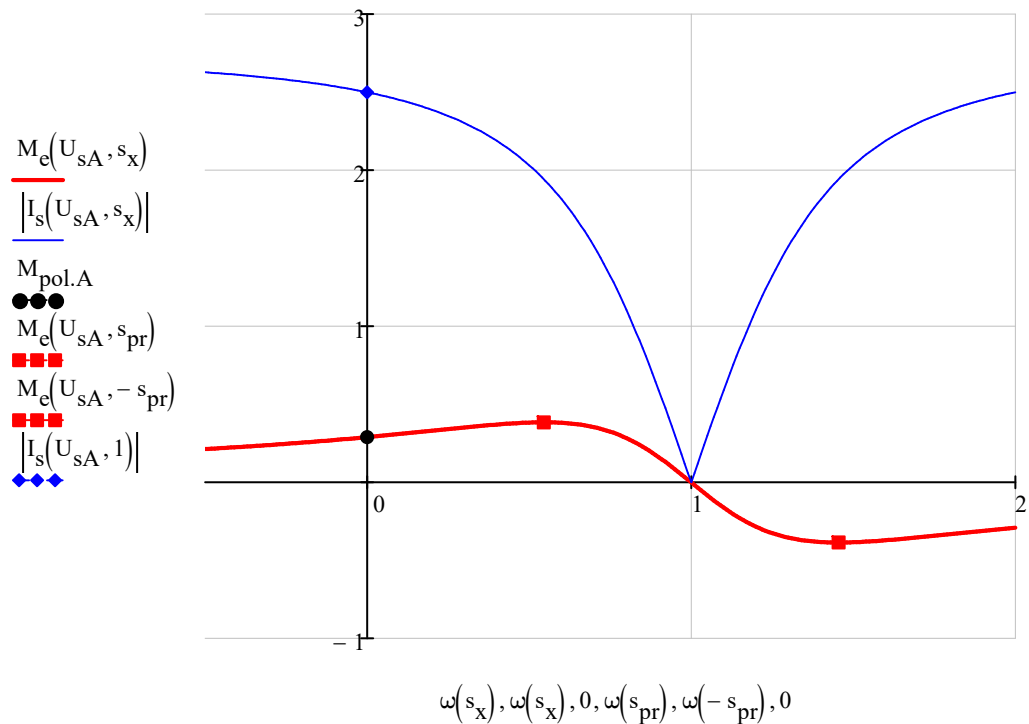
$$M_{pol.A} := M_e(U_{sA}, 1) = 0.29 \cdot r_j$$

$$M_e(U_{sA}, 1) \cdot M_b = 4.98 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{pr} := \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{sA}^2}{\omega_s \cdot (\lambda_s + \lambda_r)} = 0.385$$

$$M_e(U_{sA}, s_{pr}) = 0.385$$

$$M_e(U_{sA}, s_{pr}) \cdot M_b = 6.61 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$



b) Za slučaj automatskog ograničenja polazne struje kontinualnom promenom napona, odrediti pri kojoj brzini se dostiže nominalni napon.

$s_{Bx} := 0.1$ Početni pogodak za numerički postupak. Ne treba izabrati početnu vrednost 0, da izbegnemo deljenje sa 0.

Given $|I_s(1, s_{Bx})| = I_{pol}$ $s_B := \text{Find}(s_{Bx}) = 0.12$

$$\omega_B := (1 - s_B)\omega_s = 0.88$$

$$\omega_B \cdot \omega_b = 276.449 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_B \cdot \frac{\omega_b}{P} = 138.224 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Analitički, rešava se jednakost koja ima dva rešenja zbog kvadratne prirode:

$$\frac{1}{\left(\frac{R_r}{s_{Bx}}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2} = I_{pol}^2$$

$$s_{Bx} = \left[\frac{R_r}{\sqrt{\frac{1}{I_{pol}^2} - \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2}} \right]$$

$$\frac{R_r}{\sqrt{\frac{1}{I_{pol}^2} - \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2}} = 0.12$$

c) Za slučaj da moment opterećenja ne zavisi od brzine, odrediti najveću vrednost tog momenta pri kojoj pogon može da startuje. Odrediti brzinu stacionarnog stanja u tom slučaju.

$$M_m := M_{pol.A} = 0.29 \cdot r_j$$

$$M_m \cdot M_b = 4.98 \cdot N \cdot m$$

$$s_{CX} := 0.1 \quad \text{Početni podatak za numerički postupak.}$$

$$\text{Given} \quad M_e(1, s_{CX}) = M_m \quad s_C := \text{Find}(s_{CX}) = 0.0135$$

$$\omega_C := (1 - s_C) \cdot \omega_s = 0.987$$

$$\omega_C \cdot \frac{\omega_b}{P} = 154.962 \cdot \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\omega_C \cdot \frac{\omega_b}{P} = 1479.779 \cdot \frac{\text{o}}{\text{min}}$$

Analitički, rešava se jednakost koja ima dva rešenja zbog kvadratne prirode:

$$\frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{R_r}{s_{CX}} \cdot \frac{U_s^2}{\left(\frac{R_r}{s_{CX}}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2} = M_m$$

$$\left(\frac{R_r}{s_{CX}}\right)^2 - \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{U_s^2}{M_m} \cdot \left(\frac{R_r}{s_{CX}}\right) + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2 = 0$$

$$b := -\frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{U_s^2}{M_m} = -3.447$$

$$c := \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2 = 0.01$$

$$x := \frac{R_r}{s_{CX}}$$

$$x^2 + b \cdot x + c = 0$$

Rešenja kvadratne jednačine su:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} -\frac{b}{2} + \frac{\sqrt{b^2 - 4 \cdot c}}{2} \\ -\frac{b}{2} - \frac{\sqrt{b^2 - 4 \cdot c}}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.444 \\ 3.029 \times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

$$s_{CX1} := \frac{R_r}{x_1} = 0.0135$$

Usvajamo

$$s_{CX2} := \frac{R_r}{x_2} = 15.324 \quad \text{Odbacujemo}$$

d) Dijagrami promene momenta, struje i napona motora u toku polaska sa ograničenom strujom

$$m_e(s) := \begin{cases} \left[\frac{R_r}{s} \cdot \frac{1}{\omega_s} \cdot (I_{pol})^2 \right] & \text{if } s > s_B \\ \left[\frac{R_r}{s} \cdot \frac{1}{\omega_s} \cdot (|I_r(1, s)|)^2 \right] & \text{if } s \leq s_B \end{cases}$$

$$i_s(s) := \begin{cases} I_{pol} & \text{if } s > s_B \\ |I_s(1, s)| & \text{if } s \leq s_B \end{cases}$$

$$u_s(s) := \begin{cases} I_{pol} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r)^2} & \text{if } s > s_B \\ 1 & \text{if } s \leq s_B \end{cases}$$

$$s_y := 1, 0.999..s_C$$

Promena brzine u opsegu od nule do brzine ustaljenog stanja (izraz za klizanje)

