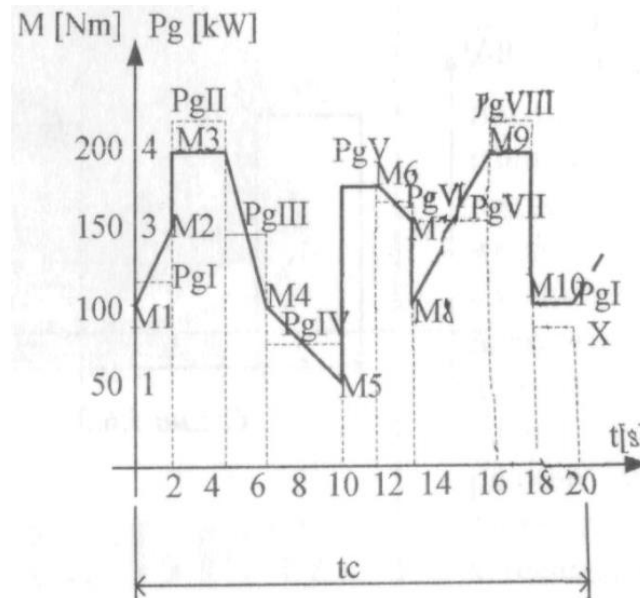


Zadatak 1: Idealni ciklus jednog elektromotornog pogona uz konstantnu brzinu okretanja od 1000 o/min, izgleda kao na slici 1. Podaci o motoru: trofazni kavezni asinhroni motor 380 V, 35 A, 16 kW, 975 ob/min, $\cos\varphi = 0,84$, $P_{Cu}/P_{Fe} = 2,5$.

Odrediti metodom srednje vrednosti gubitaka da li je motor za ovaj pogon preopterećen ili nije.

Koliko će prosečno biti zagrejan motor ako se uz nominalni teret zagreje 74°C a zagrevanje je približno proporcionalno ukupnim gubicima? Mehanički gubici motora iznose 200 W.



Slika 1.

Rešenje:

Stepen iskorišćenja asinhronog motora je:

$$\eta = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n I_n \cos\varphi_n} = \frac{16 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 35 \cdot 0,84} = 0,827$$

Ukupni nominalni gubici iznose:

$$P_{gn} = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot P_n = \left(\frac{1}{0,827} - 1\right) \cdot 16 = 3,35 \text{ kW}$$

$$P'_{gn} = P_{gn} - P_{meh} = 3,35 - 0,2 = 3,15 \text{ kW} = Q_n$$

pri čemu su pojedinačni gubici u gvožđu i bakru iz postavke zadatka:

$$P'_{gn} = P_{Cun} - P_{Fe} = 3,5P_{Fe}$$

$$P_{Fe} = \frac{P'_{gn}}{3,5} = \frac{3,15}{3,5} = 0,9 \text{ kW}$$

$$P_{Cun} = 2,5P_{Fe} = 2,5 \cdot 0,9 = 2,25 \text{ kW}$$

Karakteristiku $M = f(t)$ koja je prikazana na slici 1, treba predstaviti pomoću karakteristike $P_g = f(t)$.

$$P_1 = \frac{M_1 \cdot n}{9,55} = \frac{100 \cdot 975}{9,55} = 10,21 \text{ kW}$$

$$\frac{P_1}{P_n} = \frac{10,21}{16} = 0,638$$

$$P_{g1} = 0,638^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fe} = 0,638^2 \cdot 2,25 + 0,9 = 1,817 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{M_2 \cdot n}{9,55} = \frac{150 \cdot 975}{9,55} = 15,32 \text{ kW}$$

$$\frac{P_2}{P_n} = \frac{15,31}{16} = 0,957$$

$$P_{g2} = 0,957^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fe} = 0,957^2 \cdot 2,25 + 0,9 = 2,962 \text{ kW}$$

$$P_{gsr} = \frac{P_{g1} + P_{g2}}{2} = \frac{1,817 + 2,962}{2} = 2,389 \text{ kW}$$

$$P_{gI} = 2,389 \text{ kW} = Q_I$$

$$P_3 = \frac{M_3 \cdot n}{9,55} = \frac{200 \cdot 975}{9,55} = 20,42 \text{ kW}$$

$$\frac{P_3}{P_n} = \frac{20,42}{16} = 1,276$$

$$P_{g3} = 1,276^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fe} = 1,276^2 \cdot 2,25 + 0,9 = 4,556 \text{ kW}$$

$$P_{gII} = 4,556 \text{ kW} = Q_{II}$$

$$P_{g4} = P_{g1} = 1,817 \text{ kW}$$

$$P_{gsr} = \frac{P_{g3} + P_{g4}}{2} = \frac{4,556 + 1,817}{2} = 3,191 \text{ kW}$$

$$P_{gIII} = 3,191 \text{ kW} = Q_{III}$$

$$P_5 = \frac{M_5 \cdot n}{9,55} = \frac{50 \cdot 975}{9,55} = 5,11 \text{ kW}$$

$$\frac{P_5}{P_n} = \frac{5,11}{16} = 0,319$$

$$P_{g5} = 0,319^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fe} = 0,319^2 \cdot 2,25 + 0,9 = 1,129 \text{ kW}$$

$$P_{gsr} = \frac{P_{g4} + P_{g5}}{2} = \frac{1,817 + 1,129}{2} = 1,473 \text{ kW}$$

$$P_{gIV} = 1,473 \text{ kW} = Q_{IV}$$

$$P_6 = \frac{M_6 \cdot n}{9,55} = \frac{175 \cdot 975}{9,55} = 17,87 \text{ kW}$$

$$\frac{P_6}{P_n} = \frac{17,87}{16} = 1,117$$

$$P_{g6} = 1,117^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fe} = 1,117^2 \cdot 2,25 + 0,9 = 3,707 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned}
P_{gV} &= 3,707 \text{ kW} = Q_V \\
P_{g7} &= P_{g2} = 2,962 \text{ kW} \\
P_{gsr} &= \frac{P_{g6} + P_{g7}}{2} = \frac{3,707 + 2,962}{2} = 3,334 \text{ kW} \\
P_{gVI} &= 3,334 \text{ kW} = Q_{VI} \\
P_{gVII} &= P_{gIII} = 3,191 \text{ kW} = Q_{VII} \\
P_{gVIII} &= P_{gII} = 4,556 \text{ kW} = Q_{VIII} \\
P_{g10} &= P_{g1} = 1,817 \text{ kW} \\
P_{gIX} &= 1,817 \text{ kW} = Q_{IX}
\end{aligned}$$

Na taj način su određeni gubici $P_g(t)$, odnosno $Q(t)$ nastalih zbog tih gubitaka. Za razmatrani režim rada elektromotornog pogona pretpostavlja se takvo opterećenje pri kojem bi gubici u motoru imali trajno srednju vrednost P_{gsr} a ona bi se pretvarala u toplotu srednjeg iznosa Q_{sr} prema:

$$\begin{aligned}
Q_{sr} &= \frac{Q_I t_1 + Q_{II} t_2 + Q_{III} t_3 + Q_{IV} t_4 + Q_V t_5 + Q_{VI} t_6 + Q_{VII} t_7 + Q_{VIII} t_8 + Q_{IX} t_9}{t_c} = \\
&= \frac{Q_I t_1 + Q_{II} t_2 + Q_{III} t_3 + Q_{IV} t_4 + Q_V t_5 + Q_{VI} t_6 + Q_{VII} t_7 + Q_{VIII} t_8 + Q_{IX} t_9}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9} \\
Q_{sr} &= \frac{2,389 \cdot 2 + 4,556 \cdot 3 + 3,191 \cdot 1 + 1,473 \cdot 4 + 3,707 \cdot 2 + 3,334 \cdot 1 + 3,191 \cdot 3 + 4,556 \cdot 2 + 1,817 \cdot 2}{2 + 3 + 1 + 4 + 2 + 1 + 3 + 2 + 2} = \\
&= \frac{60,596}{20} = 3,03 \text{ kW}
\end{aligned}$$

$$Q_{sr} < P'_{gn}, \quad \Theta_{msr} = \Theta_n \frac{Q_{sr}}{Q_n} = 74 \cdot \frac{3,03}{3,15} = 71,18^\circ \text{C}$$

Pošto je vrednost srednjih gubitaka manja od vrednosti nominalnih gubitaka ($Q_n > Q_{sr}$) motor je sposoban da savlada zadato opterećenje, pri čemu dostiže nadtemperaturu manju od dozvoljene.

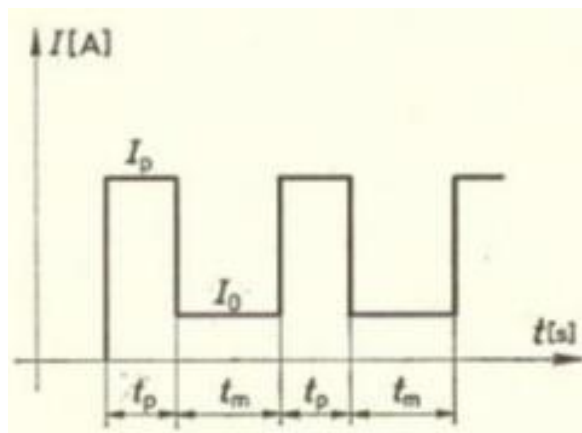
Zadatak 2: Za pokretanje nekog elektromotornog pogona upotrebljen je asinhroni trofazni motor od 50 kW, 380 V, 95 A i 980 o/min koji ima struju praznog hoda od 30 A. Kolikom se strujom motor može opteretiti u trajnom radu sa intermitentnim opterećenjem pri intermitenciji od 40%?

Rešenje:

Zadana je intermitencija:

$$ED\% = 40\% = 100 \cdot \varepsilon = 100 \cdot \frac{t_p}{t_p + t_m}$$

Vremenski raspored struje daje slika 2, pri čemu je I_p tražena vrednost.



Slika 2.

Iz metode ekvivalentne struje sledi:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{I_p^2 \cdot t_p + I_0^2 \cdot t_m}{t_p + t_m}} = \sqrt{\frac{I_p^2 \cdot \varepsilon + I_0^2 (1 - \varepsilon)}{\varepsilon + (1 - \varepsilon)}}$$

$$= \sqrt{I_p^2 \cdot \varepsilon + I_0^2 (1 - \varepsilon)} \leq I_{nom}$$

Motor se neće pregrijati ako je trajno opterećen ekvivalentnom strujom čija vrednost ne premašuje vrednost nominalne struje. Ako se pretpostavi da je $I_e = I_n = 95$ A, sledi da je:

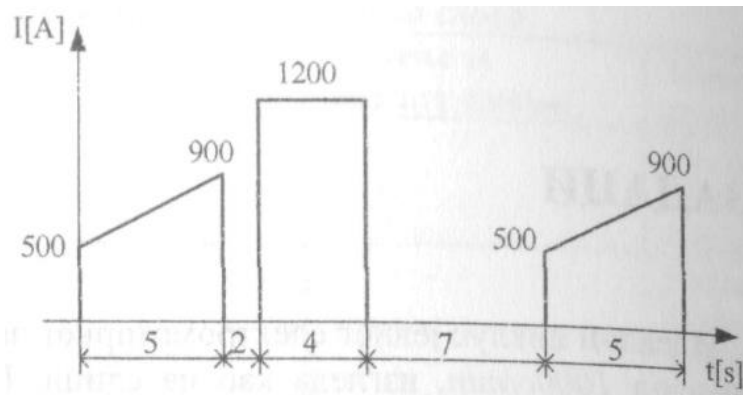
$$I_e^2 = I_p^2 \cdot \varepsilon + I_0^2 \cdot (1 - \varepsilon) \leq I_n^2 \Rightarrow$$

$$I_p \leq \sqrt{\frac{I_n^2 - I_0^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{95^2 - 30^2 \cdot (1 - 0,4)}{0,4}} = 145,645 \text{ A}$$

Strujno preopterećenje za vreme udaraca iznosi:

$$p \leq \frac{I_p}{I_n} = \frac{145,645}{95} = 1,533$$

Zadatak 3: U elektromotornom pogonu sa jednosmernim motorom ciklus strujnog opterećenja ima oblik prikazan na slici 3 i pri tome se zagreva do dopuštene granice. Odrediti približnu snagu motora u trajnom radu pri konstantnom naponu mreže 600 V. Motor ima prinudnu ventilaciju, pretpostaviti da motor ima koeficijent koristog dejstva $\eta = 0,9$.

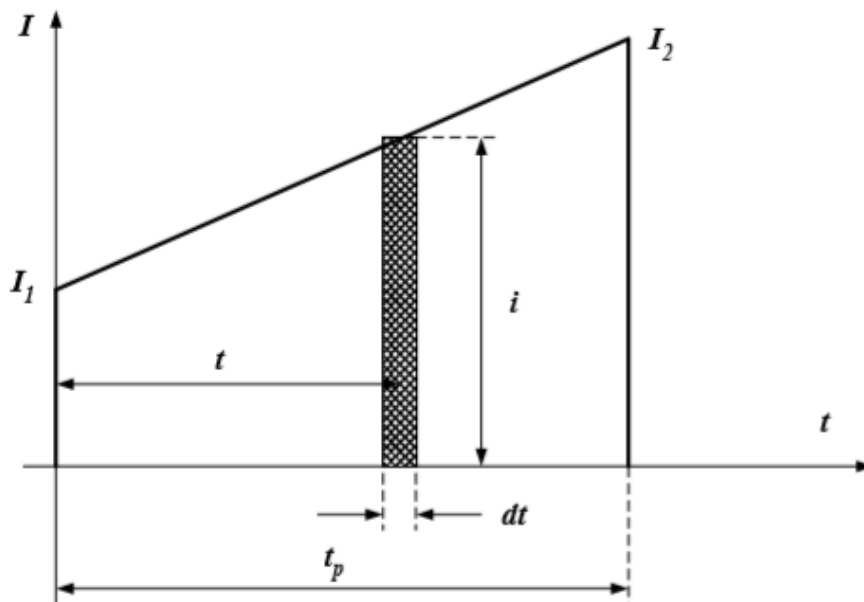


Slika 3.

Rešenje:

Ekvivalentna struja na kosom segmentu dijagrama nalazi se, izračunavanjem efektivne vrednosti struje:

$$I_e^2 \cdot t_p = \int_0^{t_p} i^2 \cdot dt \Rightarrow I_e = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \int_0^{t_p} i^2 \cdot dt}$$



Struja na kosom segmentu se može predstaviti relacijom:

$$i = I_1 + \frac{I_2 - I_1}{t_p} \cdot t$$

pa prethodni integral ima formu:

$$\int_0^{t_p} \left(I_1 + \frac{I_2 - I_1}{t_p} \cdot t \right)^2 \cdot dt$$

Integral se rešava smenom:

$$u = I_1 + \frac{I_2 - I_1}{t_p} \cdot t \Rightarrow du = \frac{I_2 - I_1}{t_p} \cdot dt \Rightarrow dt = \frac{t_p}{I_2 - I_1} \cdot du \Rightarrow u(0) = I_1 \Rightarrow u(t_p) = I_2$$

$$\begin{aligned} \int_0^{t_p} \left(I_1 + \frac{I_2 - I_1}{t_p} \cdot t \right)^2 \cdot dt &= \int_{I_1}^{I_2} u^2 \cdot \frac{t_p}{I_2 - I_1} \cdot du = \frac{t_p}{I_2 - I_1} \cdot \frac{u^3}{3} \Big|_{I_1}^{I_2} \\ &= \frac{1}{3} \cdot \frac{t_p}{I_2 - I_1} \cdot (I_2^3 - I_1^3) = \frac{1}{3} \cdot \frac{t_p}{I_2 - I_1} \cdot (I_2 - I_1) \cdot (I_2^2 + I_2 \cdot I_1 + I_1^2) \\ &= \frac{t_p}{3} (I_1^2 + I_1 \cdot I_2 + I_2^2) \end{aligned}$$

Sama efektivna vrednost struje na kosom segmentu iznosi:

$$\begin{aligned} I_e &= \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \frac{t_p}{3} \cdot (I_1^2 + I_1 \cdot I_2 + I_2^2)} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (I_1^2 + I_1 \cdot I_2 + I_2^2)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (500^2 + 500 \cdot 900 + 900^2)} = 709,46 \text{ A} \end{aligned}$$

Ukupna ekvivalentna struja motora za ciklus iznosi:

$$\begin{aligned} I_{emot} &= \sqrt{\frac{\sum_i I_i^2 \cdot t_i}{\sum_i t_i}} = \sqrt{\frac{I_e^2 \cdot t_1 + I_3^2 \cdot t_3 + I_e^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} \\ &= \sqrt{\frac{709,46^2 \cdot 5 + 1200^2 \cdot 4 + 709,46^2 \cdot 5}{5 + 2 + 4 + 7 + 5}} = \sqrt{\frac{10793334,92}{23}} = 685,04 \text{ A} \end{aligned}$$

Ulazna snaga iz mreže je:

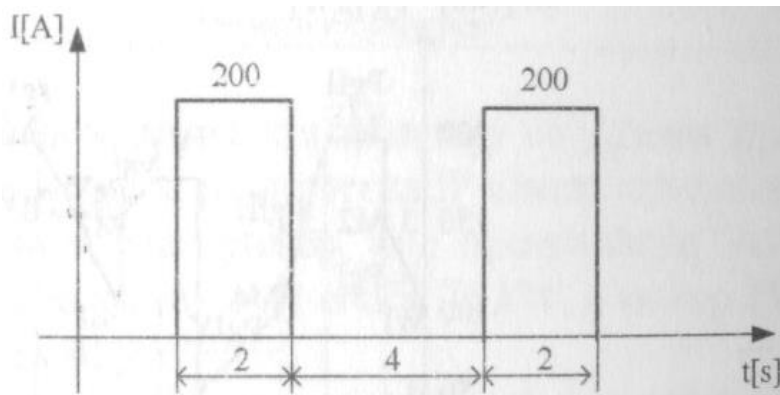
$$P_{ul} = U \cdot I_{emot} = 600 \cdot 685,04 = 411024 \text{ W} \approx 411 \text{ kW}$$

Uz pretpostavljeni koeficijent korisnog dejstva, potrebna snaga motora je:

$$P_{emot} = U \cdot I_{emot} \cdot \eta = 600 \cdot 685,04 \cdot 0,9 = 369921,6 \text{ W} \approx 370 \text{ kW}$$

Zadatak 4: Za elektromotorni pogon uz strujno opterećenje kao na slici 4 odrediti nominalnu snagu asinhronog motora za napon mreže 380 V, $\cos\varphi = 0,85$ i to za slučajeve:

- trajnog rada sa intermitentnim opterećenjem uz zanemarenje struje praznog hoda;
- intermitentni rad ($\beta = 0,3$)



Slika 4.

Rešenje:

- Iz metode ekvivalentne struje se dobija:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{I_p^2 \cdot t_p + I_0^2 \cdot t_m}{t_p + t_m}} = \sqrt{\frac{I_p^2 \cdot t_p}{t_p + t_m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{200^2 \cdot 2}{2 + 4}} = \sqrt{\frac{80000}{6}} = 115,47 \text{ A}$$

odakle sledi da je nominalna snaga asinhronog motora pri trajnom radu sa intermitentnim opterećenjem:

$$P_{en} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_e \cdot \cos\varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 115,47 \cdot 0,85 = 64600 \text{ W} = 64,6 \text{ kW}$$

- Iz postavke zadatka faktor β tokom mirovanja iznosi 0,3, pa je ekvivalentna struja :

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum_i I_i^2 \cdot t_i}{\sum_j \alpha \cdot t_j + \sum_k t_k + \sum_l \beta \cdot t_l}} = \sqrt{\frac{\sum_i I_i^2 \cdot t_i}{\sum_k t_k + \sum_l \beta \cdot t_l}} =$$

$$= \sqrt{\frac{200^2 \cdot 2}{2 + 0,3 \cdot 4}} = \sqrt{\frac{80000}{3,2}} = 158,11 \text{ A}$$

odakle sledi da je nominalna snaga asinhronog motora:

$$P_{en} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_e \cdot \cos\varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 158,11 \cdot 0,85 = 88457 \text{ W} = 88,5 \text{ kW}$$