

Zadatak: Asinhroni motor sa kaveznim rotorom napaja se iz frekventnog pretvarača sa naponskim inverterom. Primijenjena je U/f karakteristika bez kompenzacije pada napona na otporu statora na malim učestanostima. U oblasti učestanosti iznad nominalne, napon se održava na nominalnoj vrednosti. Moment opterećenja se može smatrati konstantnim i ima vrednost nominalnog momenta motora. Odgovoriti na sledeća pitanja:

- a) Kolika je preopteretljivost motora (odnos maksimalnog momenta motora i momenta u radnoj tački) u radu na nominalnoj učestanosti?

Odgovor: Preopteretljivost $\nu =$ _____ 1 poen

- b) Koja je najveća učestanost motora koja se može dozvoliti ukoliko se želi očuvati preopteretljivost od najmanje 1,5? Kolika je brzina pri toj učestanosti? Kolika je struja motora (statora)?

Maksimalna učestanost je _____ 0,5 poena

Brzina je _____ 0,5 poena

Struja je _____ 0,5 poena

- c) Na koju vrednost bi trebalo podesiti učestanost da se ostvari brzina od polovine nominalne vrednosti brzine motora?

Tražena učestanost je _____ 0,5 poena

Podaci: Nominalni fazni napon 220 V, nominalna brzina 1410 o/min, induktivnost rasipanja $\lambda_s = \lambda'_r = 0,0088$ H, otpor rotora sveden na stator $R'_r = 2,5 \Omega$, otpor statora $R_s \approx 0$, međuinduktivnost $M \rightarrow \infty$, nominalna učestanost 50 Hz. Gubici u gvožđu se mogu zanemariti.

Rešenje:

Iz datih podataka može se izračunati nominalna rotorska učestanost ($P = 2$, broj pari polova):

$$\omega_{rn} = \omega_{sn} - P \cdot \omega_n = 18,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (1)$$

Nominalna struja motora se izračunava iz datih podataka i ekvivalentne šeme po fazi (uz pretpostavljena zanemarenja):

$$I_{sn} = \frac{U_{sn}}{\sqrt{\left(R_r \frac{\omega_{sn}}{\omega_{rn}}\right)^2 + \left(\omega_{sn} \cdot (\lambda_s + \lambda'_r)\right)^2}} = 5,234 \text{ A} \quad (2)$$

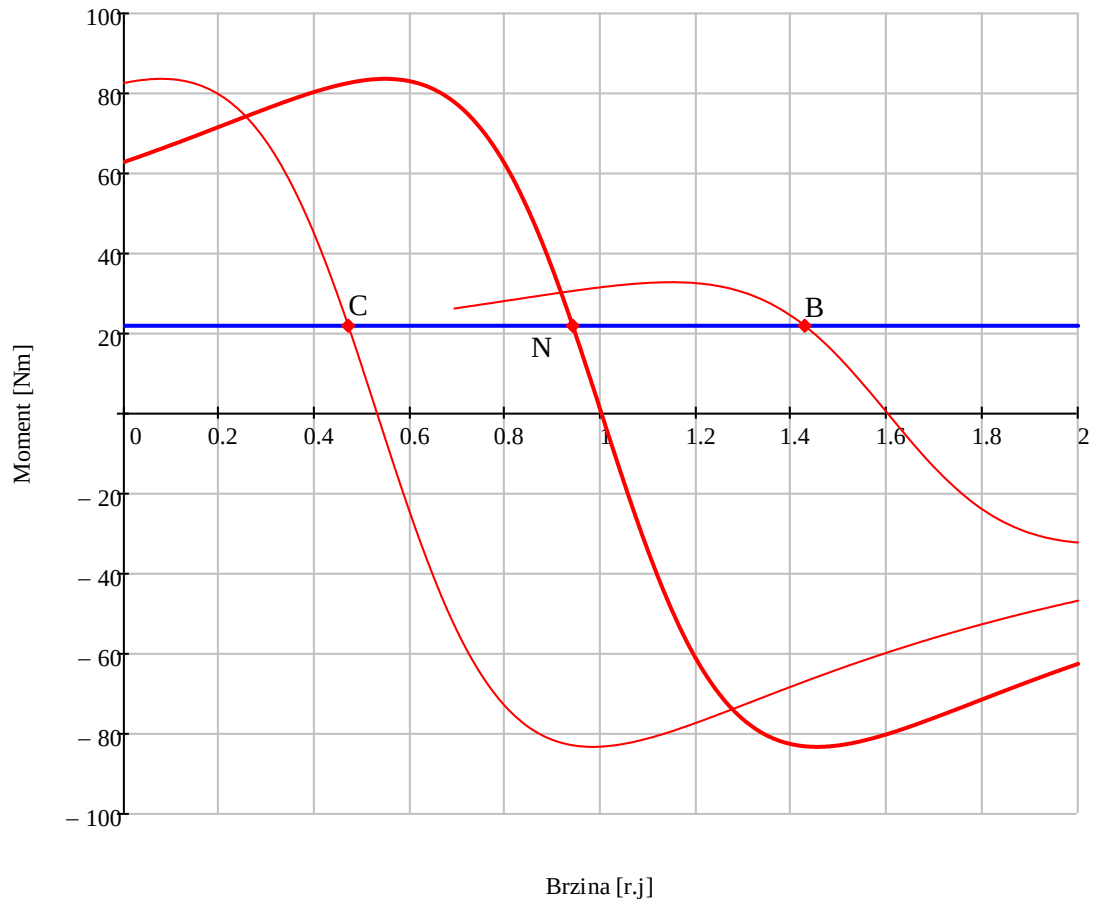
Nominalni moment, uz uvažavanje pretpostavljenih zanemarenja je:

$$M_{en} = 3 \cdot P \cdot \frac{R'_r}{\left(\frac{\omega_{rn}}{\omega_{sn}}\right)} \cdot |I_{rn}|^2 = 3 \cdot P \cdot \frac{R'_r}{\omega_{rn}} \cdot \omega_{sn} \cdot |I_{sn}|^2 = 21,8 \text{ Nm} \quad (3)$$

Kada se zanemari otpor statora, kao što je urađeno u ovom slučaju, i kada se napon i učestanost napajanja menjaju na uobičajeni način:

$$U_s(f_s) = \begin{cases} \frac{U_{sn}}{f_{sn}} \cdot f_s & f_s \leq f_{sn} \\ U_{sn} & f_s > f_{sn} \end{cases} \quad (4)$$

dobija se poznata familija mehaničkih karakteristika frekventno upravljalog asinhronog motora. Neke od karakteristika koje su važne za ovaj zadatak prikazane su na slici 1.



Slika 1. Statičke karakteristike asinhronog motora napajanog iz frekventnog pretvarača.
Statička karakteristika opterećenja (plavo).

Mehanička karakteristika motora pri napajanju nominalnom učestanošću na slici je označena debljom linijom, levo od ove karakteristike nalaze se karakteristike za učestanosti manje od nominalne, a desno za učestanosti veće od nominalne.

a) Pri napajanju nominalnom učestanošću i napon je nominalan, pa se prevalni moment izračunava prema (5):

$$M_p = \frac{3 \cdot P}{2} \cdot \left(\frac{U_{sn}}{\omega_{sn}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\lambda_s + \lambda'_r} = 83,59 \text{ Nm} \quad (5)$$

Preopteretljivost je tada:

$$\nu = \frac{M_{en}}{M_p} = 3,834 \quad (6)$$

b) Prema slici 1 očigledno je da je minimalna preopteretljivost pri opterećenju koje ne zavisi od brzine na karakteristici sa maksimalnom učestanošću. Kada je učestanost veća od nominalne učestanosti, napon je ograničen na nominalnu vrednost, zbog čega prevalni moment opada sa povećanjem učestanosti, prema izrazu (7):

$$M_p(\omega_s) = \frac{3 \cdot P}{2} \cdot \left(\frac{U_{sn}}{\omega_s} \right)^2 \cdot \frac{1}{\lambda_s + \lambda_r'} \quad (7)$$

Minimalna preopteretljivost od $\nu_{\min} = 1,5$ određuje maksimalnu sinhronu brzinu prema (8)

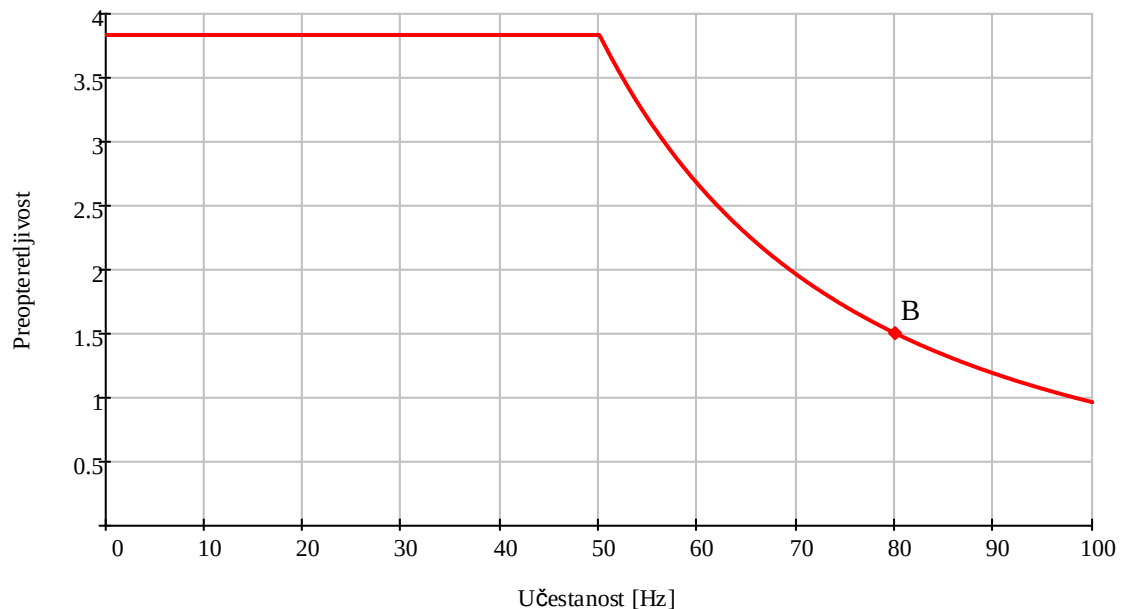
$$\nu_{\min} = \frac{M_p(\omega_{s \max})}{M_m} = \frac{M_p(\omega_{s \max})}{M_{en}}, \quad (8)$$

odakle se dobija:

$$\omega_{s \max} = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot P \cdot U_{sn}^2 \cdot \frac{1}{\lambda_s + \lambda_r'} \cdot \frac{1}{\nu_{\min} \cdot M_m}} = 502,277 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (9)$$

Maksimalna učestanost je $f_{s \max} = 79,94$ Hz.

Za učestanosti manje ili jednake od nominalne učestanosti motora, prevalni moment ostaje konstantan, ukoliko se održava odnos napona i učestanosti prema izrazu (4). Zavisnost preopteretljivosti od učestanosti pod uslovima definisanim u zadatku, prikazana je na slici 2. Tačka koja odgovara maksimalnoj učestanoj pri kojoj se ima minimalna dozvoljena preopteretljivost, određena u delu zadatka pod (b) je označena na slici 2. Označena tačka na slici 2 ne predstavlja radnu tačku pogona.



Slika 2. Zavisnost preopteretljivosti od učestanosti kod asinhronog motora napajanog iz frekventnog pretvarača. Moment opterećenja je jednak nominalnom momentu motora.

Pri maksimalnoj učestanoj (sinhronoj brzini) radna tačka (označena sa B na slici 1) se dobija u preseku statičke karakteristike motora i momenta opterećenja, rešavanjem jednakosti (10) po učestanoj u rotoru, ω_r :

$$3 \cdot P \cdot \left(\frac{U_{sn}}{\omega_{s \max}} \right)^2 \cdot \frac{R_r' \cdot \omega_r}{(R_r')^2 + \omega_r^2 \cdot (\lambda_s + \lambda_r')^2} = M_m. \quad (10)$$

Učestanost u rotoru se dobija rešavanjem kvadratne jednačine (10), potrebno je izabrati manje rešenje,

$$\omega_{rB} = 54,257 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (11)$$

Brzina motora se dobija prema

$$\omega_B = \frac{\omega_{s \max} - \omega_{rB}}{P} = 224,01 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 2139,14 \frac{\text{°}}{\text{min}}, \quad (12)$$

a struja prema

$$I_{sB} = \frac{U_{sn}}{\sqrt{\left(R_r' \frac{\omega_{s \max}}{\omega_{rB}} \right)^2 + \left(\omega_{s \max} \cdot (\lambda_s + \lambda_r') \right)^2}} = 8,88 \text{ A} \quad (13)$$

c) Pri učestanostima manjim od nominalne, uz uslove pretpostavljene u zadatku, statička karakteristika se translatorno pomera, tako da se sa promenom učestanosti ne menja prevalni moment, niti učestanost u rotoru za opterećenje koje ne zavisi od brzine.

$$\omega_{rC} = \omega_{rn} = 18,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (14)$$

Sada se može odrediti potrebna sinhrona brzina, odnosno učestanost da bi se dobila zahtevana brzina:

$$\omega_{sC} = P \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \omega_n \right) + \omega_{rC} = 166,504 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \rightarrow f_C = 26,5 \text{ Hz}. \quad (15)$$

Mehanička karakteristika koja odgovara učestanosti 26,5 Hz i proporcionalno smanjenom naponu napajanja, prema (4), prikazana je na slici 1, sa odgovarajućom radnom tačkom u preseku statičke karakteristike motora i opterećenja (tačka C na slici 1).