

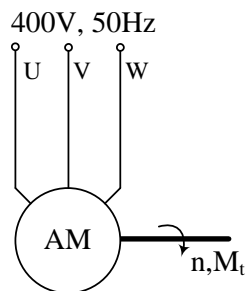
Auditorne vježbe, Asinkroni stroj, ak. god. 2013./2014.

1. Asinkroni motor ima slijedeće podatke: $P_n = 4 \text{ kW}$, $U_n = 400 \text{ V}$, $n_n = 1410 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $\frac{M_k}{M_n} = 2,5$.

Motor je opterećen potencijalnim momentom tereta iznosa $M_t = 10 \text{ Nm}$. Kojom brzinom motor pogoni teret uz priključen nazivni napon? Do kojeg iznosa se može smanjiti napon, a da motor još uvijek može pokrenuti teret? Nacrtati momentne karakteristike za slučaj priključenog nazivnog napona i za slučaj smanjenog napona.

Rješenje:

$$\begin{aligned} P_n &= 4 \text{ kW} \\ U_n &= 400 \text{ V} \\ n_n &= 1410 \text{ min}^{-1} \\ f_n &= 50 \text{ Hz} \\ \frac{M_k}{M_n} &= 2,5 \\ \frac{M_t}{M_n} &= 10 \text{ Nm} \\ n, U_{\min} &=? \end{aligned}$$



- Iz nazivnih podataka mogu se izračunati podaci:

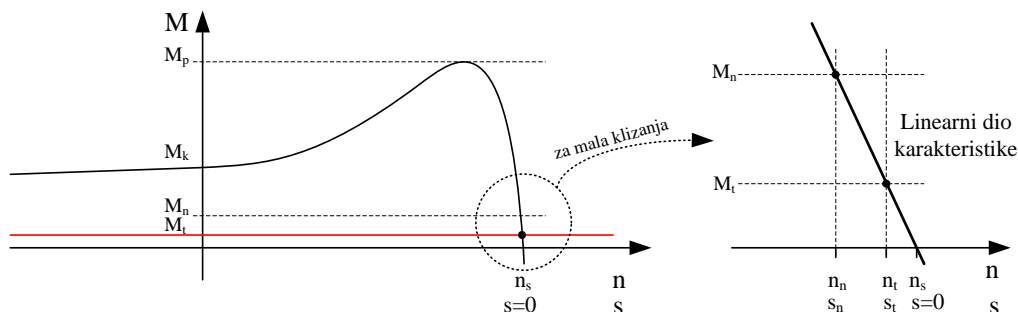
$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n}{\frac{2\pi n_n}{60}} = \frac{30P_n}{n_n\pi} = \frac{30 \cdot 4000}{1410\pi} = 27,1 \text{ Nm}, \text{ Budući da je nazivna brzina jednaka } 1410 \text{ min}^{-1} \text{ radi se}$$

o motoru koji ima dva para polova ($p = 2$).

$$n_s = \frac{60f_n}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06$$

- Sada se može nacrtati momentna karakteristika s označenim poznatim vrijednostima



Ukoliko je moment tereta manji od nazivnog momenta motora, $M_t < M_n$ tada motor radi na linearnom dijelu karakteristike prikazanom na slici. Računanje klizanja na linearnom dijelu karakteristike uvelike pojednostavljuje zadatak.

- Iz gornje slike može se primijetiti sličnost trokuta koja se koristi za izračun klizanja pri teretu manjem od nazivnog

$$\boxed{\frac{M_t}{s_t} = \frac{M_n}{s_n}}$$

Sada se može napisati i izraz za klizanje pri teretu od 10 Nm

$$s_t = s_n \frac{M_t}{M_n} = 0,06 \frac{10}{27,1} = 0,0221$$

brzina se može izraziti kao

$$s_t = \frac{n_s - n_t}{n_s} \Rightarrow n_t = n_s(1 - s_t) = 1500 \cdot (1 - 0,0221) = \boxed{1466,8 \text{ min}^{-1}}$$

- Da bi se motor mogao pokrenuti potezni moment pri sniženom naponu M_{kmin} mora biti veći od momenta tereta M_t .

$$M_k = 2,5M_n = 2,5 * 27,1 = 67,75 \text{ Nm}$$

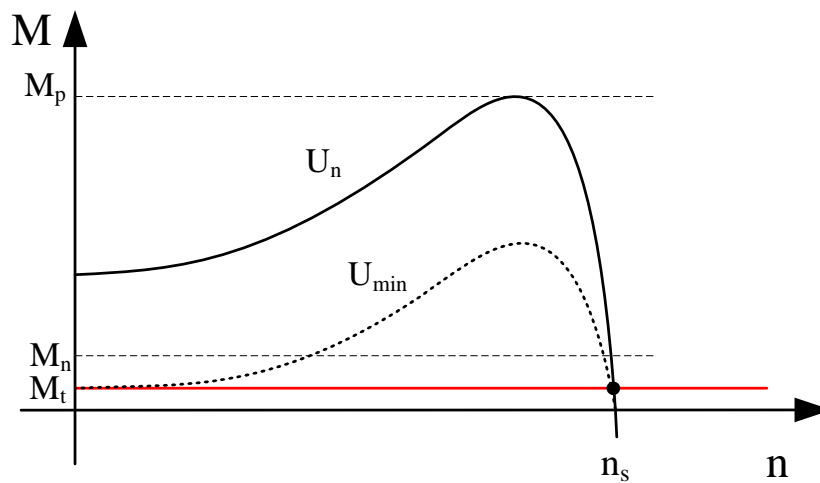
Kod asinkronog motora moment je proporcionalan kvadratu napona! Zbog toga vrijedi

$$\frac{M_k}{M_{kmin}} = \left(\frac{U_n}{U_{min}} \right)^2$$

Sada se minimalni napon može napisati kao

$$U_{min} = U_n \sqrt{\frac{M_{kmin}}{M_k}} = 400 \sqrt{\frac{10}{67,255}} = \boxed{153,7 \text{ V}}$$

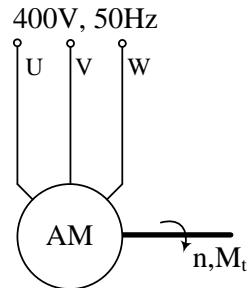
- Slika prikazuje momentnu karakteristiku za nazivni napon i momentnu karakteristiku za sniženi napon.



2. Trofazni asinkroni motor podataka $P_n = 100 \text{ kW}$, $U_n = 400 \text{ V}$, $n_n = 970 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$ diže teret brzinom $v_t = 1,2 \text{ m/s}$ koja odgovara brzini vrtnje motora 983 min^{-1} (Radna točka **A**). Kolikom brzinom motor spušta isti teret u generatorskom režimu rada, pod pretpostavkom da je na čvrstoj mreži (neregulirani pogon - radna točka **B**). Odrediti frekvenciju napona napajanja motora iz frekvencijskog pretvarača (za $U/f=\text{konst.}$) ako motor generatoski koči brzinom 500 min^{-1} (Radna točka **C**). Nacrtati momentne karakteristike asinkronog motora i naznačiti radne točke A, B i C.

Rješenje:

$$\begin{aligned} P_n &= 100 \text{ kW} \\ U_n &= 400 \text{ V} \\ n_n &= 970 \text{ min}^{-1} \\ f_n &= 50 \text{ Hz} \\ v_t &= 1,2 \text{ m/s} \\ n_t &= 983 \text{ min}^{-1} \\ n_{tB}, f_C &=? \end{aligned}$$



- Iz nazivnih podataka i zadane radne točke A mogu se izračunati podaci:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n}{\frac{2\pi n_n}{60}} = \frac{30P_n}{n_n\pi} = \frac{30 \cdot 100000}{970\pi} = 984,5 \text{ Nm},$$

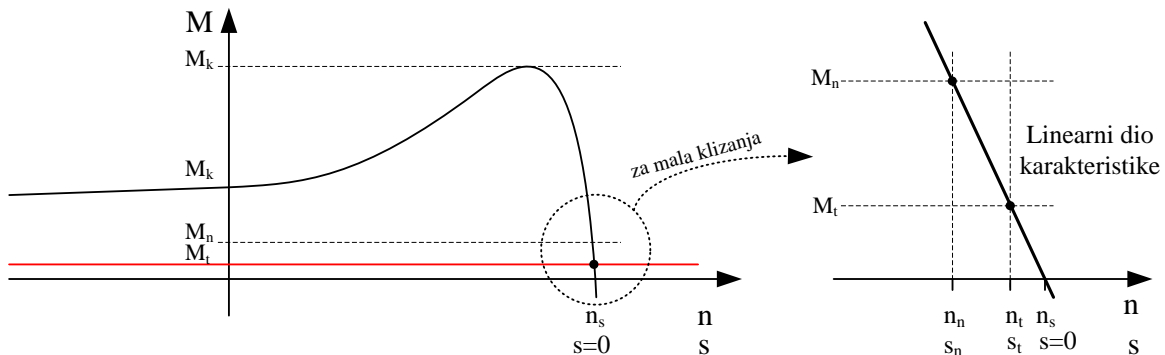
Budući da je nazivna brzina jednaka 970 min^{-1} radi se o motoru koji ima tri para polova ($p = 3$).

$$n_s = \frac{60f_n}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03$$

$$s_t = \frac{n_s - n_t}{n_s} = \frac{1000 - 983}{1000} = 0,017$$

- Sada se može nacrtati momentna karakteristika s označenim poznatim vrijednostima



Kao i u prethodnom zadatku vrijedi da ukoliko je klizanje manje od nazivnog klizanja, $s_t < s_n$ tada motor radi na linearnom dijelu karakteristike prikazanom na slici. Računanje momenta na linearnom dijelu karakteristike uvelike pojednostavljuje zadatak.

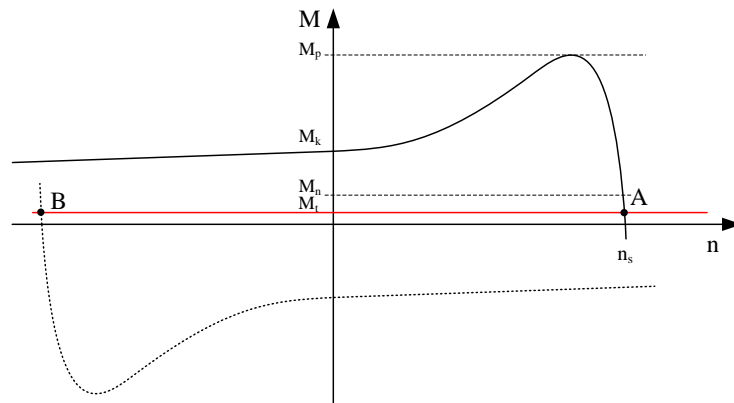
- Iz gornje slike možemo primijetiti sličnost trokuta koja se koristi za izračun klizanja pri teretu manjem od nazivnog

$$\frac{M_t}{s_t} = \frac{M_n}{s_n}$$

Sada se može napisati i izraz za moment pri klizanju $s_t = 0,017$

$$M_t = M_n \frac{s_t}{s_n} = 984,5 \frac{0,017}{0,03} = 557,9 \text{ Nm}$$

- Prilikom spuštanja tereta brzina je negativna. Kod trofaznog asinkronog motora smjer vrtnje se mijenja zamjenom dviju faza napajanja. Prilikom zamjene faza motora dobije se karakteristika prikazana na slici ispod (isprekidana).



- U generatorskom režimu rada brzina vrtnje motora veća je od sinkrone brzine što znači da je klizanje negativno. U ovom slučaju klizanje se može izračunati prema

$$\frac{M_{tB}}{-s_{tB}} = \frac{M_n}{s_n} \Rightarrow s_{tB} = -s_n \frac{M_{tB}}{M_n} = 0,03 \frac{557,9}{984,5} = -0,017$$

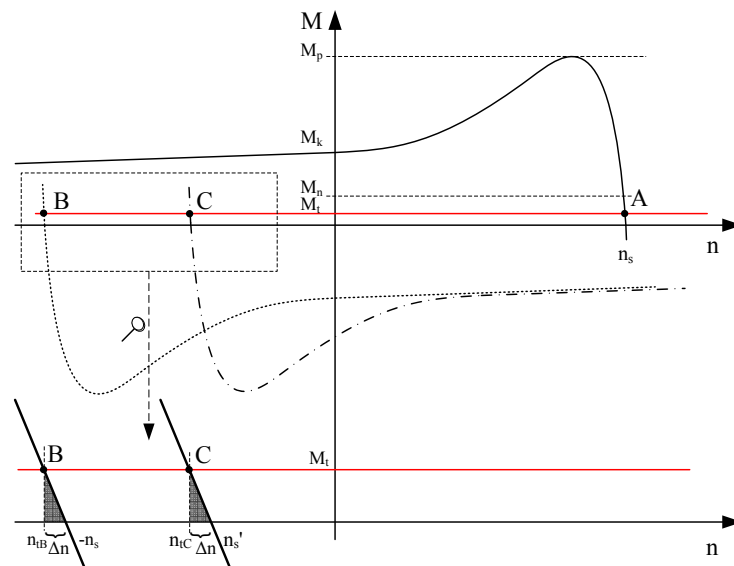
Uz poznato klizanje brzina vrtnje prilikom spuštanja tereta iznosi

$$n_{tB} = n_s(1 - s_{tB}) = -1000 \cdot (1 - (-0,017)) = \boxed{-1017 \text{ min}^{-1}}$$

Brzina tereta prilikom spuštanja tada iznosi

$$v_{tB} = v_t \frac{n_{tB}}{n_t} = 1,2 \frac{-1017}{983} = \boxed{1,242 \text{ m/s}}$$

- Ukoliko se motor upravlja zakonom $U/f = \text{konst.}$, tada se momentna karakteristika mijenja prema slici (točka-crta-točka).



Razlika između stvarne i sinkrone brzine vrtnje je konstantna ukoliko je teret konstantan.

$$\Delta n = |n_{tB} - n_s| = |-1017 - (-1000)| = 17 \text{ min}^{-1}$$

Brzina spuštanja n_{tC} iznosi 500 min^{-1}

$$n'_s = n_{tC} + \Delta n = -500 + 17 = -483 \text{ min}^{-1}$$

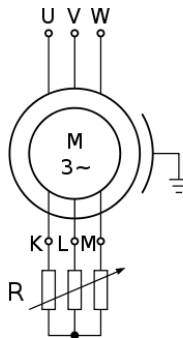
$$n'_s = \frac{60f_C}{p} \Rightarrow f_C = \frac{n'_s p}{60} = \frac{483 \cdot 3}{60} = \boxed{-24,15 \text{ Hz}}$$

3. Trofazni asinkroni kliznokolutni motor podataka $P_n = 15 \text{ kW}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $n_n = 1460 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $I_{2n} = 30 \text{ A}$, $E_{20l} = 300 \text{ V}$ (linijski napon mjeren na kliznim kolutima), $\frac{M_{pr}}{M_n} = 2,6$ vrti se brzinom $n = 1470 \text{ min}^{-1}$.

- S kolikim je momentom opterećen motor?
- Koliki otpor je potrebno priključiti u rotorski krug da potezni moment bude jednak nazivnom ($M_k = M_n$)?

Rješenje:

$$\begin{aligned} P_n &= 15 \text{ kW} \\ U_n &= 380 \text{ V} \\ n_n &= 1460 \text{ min}^{-1} \\ f_n &= 50 \text{ Hz} \\ I_{2n} &= 30 \text{ A} \\ E_{20} &= 300 \text{ V} \\ \frac{M_{pr}}{M_n} &= 2,6 \\ n &= 1470 \text{ min}^{-1} \\ M_t, R &=? \end{aligned}$$



- Iz nazivnih podataka i zadane radne točke mogu se izračunati podaci:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{P_n}{\frac{2\pi n_n}{60}} = \frac{30 P_n}{n_n \pi} = \frac{30 \cdot 15000}{1460 \pi} = 98,1 \text{ Nm},$$

Budući da je nazivna brzina jednaka 1460 min^{-1} radi se o motoru koji ima dva para polova ($p = 2$).

$$n_s = \frac{60 f_n}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

Nazivno klizanje tada iznosi

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0,0267$$

Klizanje u radnoj točki iznosi

$$s_t = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,0200$$

- U linearnom dijelu za dvije radne točke vrijedi

$$\frac{M_1}{s_1} = \frac{M_2}{s_2}$$

Sada se može izračunati moment tereta u radnoj točki

$$M_t = M_n \frac{s_t}{s_n} = \boxed{73,5 \text{ Nm}}$$

- Uz pretpostavku da je $X_{\sigma 2} \ll R_2$ (ispunjeno za mala klizanja), moguće je izračunati otpor rotorskog kruga iz nazivnih podataka motora

$$R_2 = s_n \cdot \frac{E_{20}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{I_{2n}} = \frac{0,0267 \cdot 300}{\sqrt{3} \cdot 30} = 0,154 \Omega$$

- Ukoliko se izjednače izrazi za momente izraženi pomoću Klossove jednadžbe za dva različita iznosa otpora uz jednak moment

$$\frac{R_{2ukupno1}}{s_1} = \frac{R_{2ukupno2}}{s_2}, \text{ uz } M_1 = M_2$$

Za navedenu radnu točku uz $s_2 = 1$ (brzina je nula) vrijedi

$$R_{2ukupno2} = R_2 \frac{s_2}{s_n} = 0,154 \frac{1}{0,0267} = 5,77 \Omega$$

Otpor R kojeg je potrebno dodati sada iznosi $R = R_{2ukupno2} - R_2 = 5,77 - 0,154 = \boxed{5,614 \Omega}$

- Slika prikazuje momentnu karakteristiku s otporom R dodanim u seriju s otporom rotora.

