

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju

Miha the mighty
0036xxxxxx

IZVJEŠTAJ ZA 1. VJEŽBU

ELESUS

Zagreb, 2011./2012.

UVOD

Prva laboratorijska vježba se izvodi pomoću Matlab programskog okruženja. Dani modeli se simuliraju.

Prvi dio vježbe sastoji se od simulacije rada istosmjernog stroja uz promjenu parametara - napona armature (U_a [V]) i opterećenja (TI – torque load [Nm]).

Drugi dio vježbe odnosi se na asinkrone strojeve te njihovu simulaciju. Također, u ovom dijelu vježbe mijenjamo određene parametre asinkronog stroja – u ovom slučaju mijenjamo napon armature (U_a [V]), brzinu okretnog polja (ω_{okr} [rad/s]), otpor rotora (R_r [Ω]) i iznos bazne frekvencije (f_0 [Hz]).

U prvom i u drugom dijelu laboratorijske vježbe koristimo skraćenicu pu (engl. per unit). Kada govorimo o pu vrijednostima moramo imati na umu da radimo s vrijednostima koje su u linearnom odnosu s nazivnom vrijednosti (npr. $U_a = kU_n$ [V]).

SIMULACIJA RADA ISTOSMJERNOG STROJA

U a) dijelu vježbe potrebno je otvoriti model istosmjernog stroja te podesiti Simulink shemu da odgovara potrebama zadatka tj. brisanje bloka integratora, postavljanje ispravnog vektora napona (vektor sadrži nazivnu vrijednost od 240 V i pola nazivne vrijednosti), te postavljanje tereta od 0 Nm.

Općenito za istosmjerni stroj vrijedi diferencijalna jednačba

$$u_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + c_e \omega \quad (1)$$

gdje su u_a napon armature [V], i_a struja armature [A], R_a otpor armature [Ω], L_a induktivitet armature [H], c_e konstrukcijska konstanta [$\frac{Vs}{rad}$], te ω brzina motora [$\frac{rad}{s}$].

Uz pretpostavku stacionarnog stanja, diferencijalna jednačba prelazi u oblik

$$\omega = \frac{U_a - I_a R_a}{c_e} \quad (2)$$

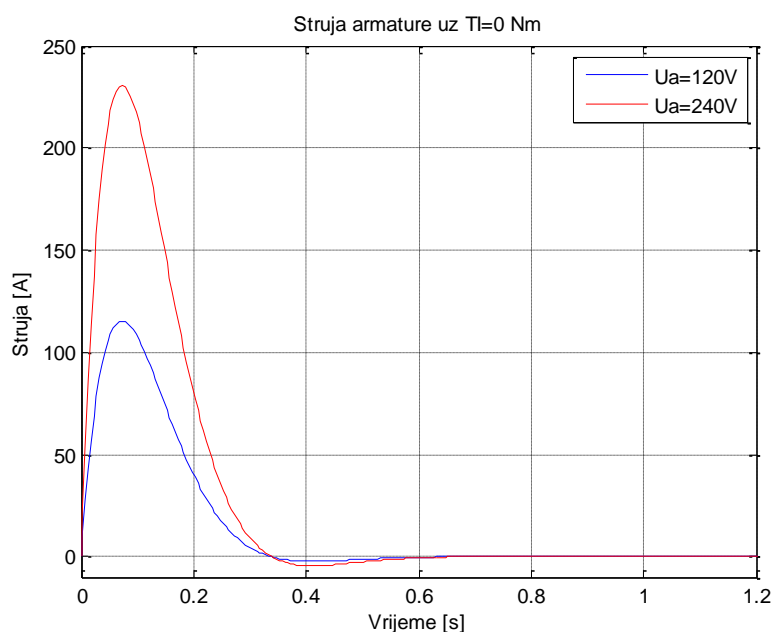
Moment motora M_m je definiran jednačbom

$$M_m = c_m I_a \quad (3)$$

gdje je c_m konstrukcijska konstanta [$\frac{Nm}{A}$].

Vježba a)

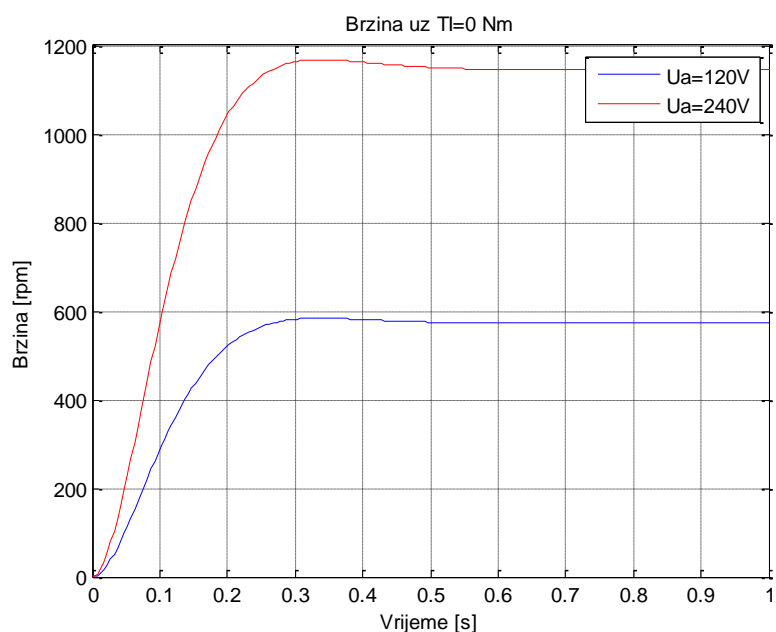
Slika 1 prikazuje vremensku ovisnost struje armature o naponu armature $U_a=120\text{ V}$ i 240 V .



Slika 1. Ovisnost struje armature o step promjeni napona armature

Budući da je struja armature proporcionalna s momentom stroja, a zadani teret je jednak 0 Nm , iz jednadžbe (3) slijedi da je struja armature u stacionarnom stanju 0 A . Na početku postoji struja armature sve dok se prijelazna pojava ne istitra, a u stacionarnom stanju struja jednaka nuli.

Slika 2 pokazuje vremensku ovisnost brzine za napon armature $U_a=120\text{ V}$ i 240 V .



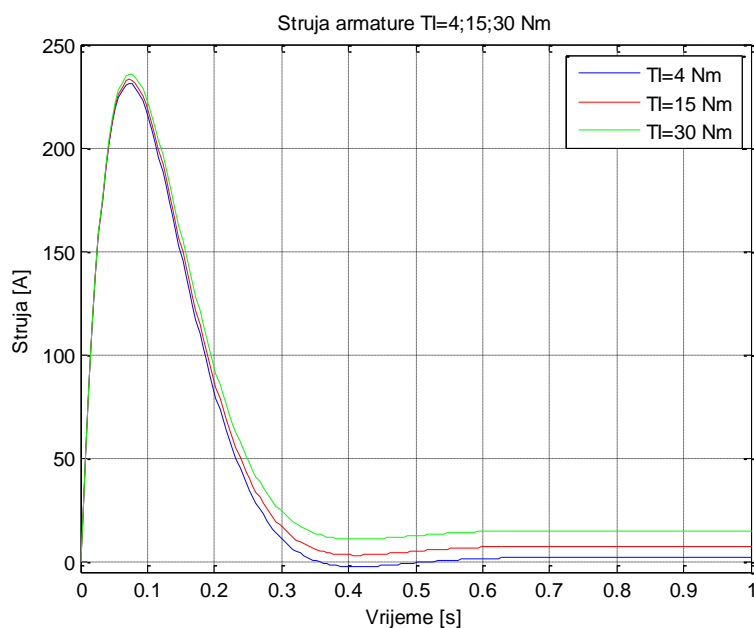
Slika 2. Ovisnost brzine o step promjeni napona armature

U ovom idealnom slučaju kada je struja armature jednaka nuli u stacionarnom stanju, brzina motora je proporcionalna naponu armature.

Vježba b)

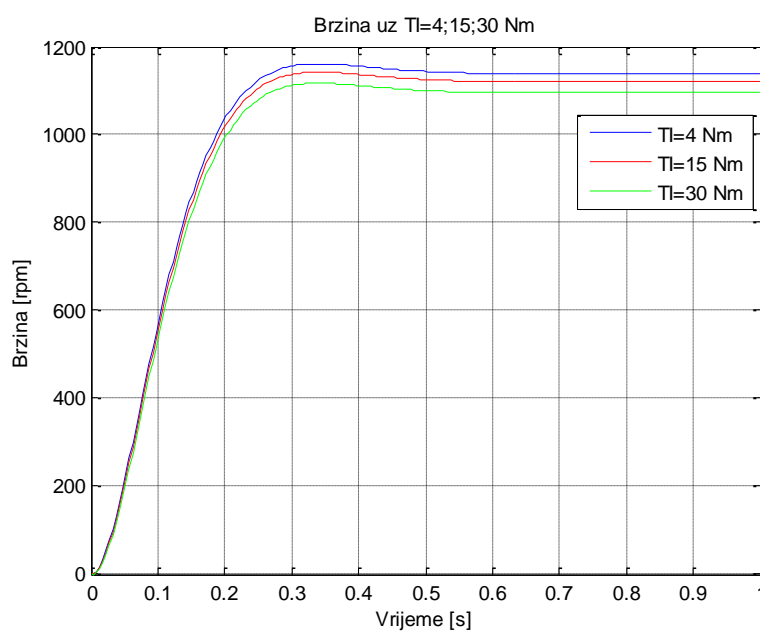
U b) dijelu zadatka napon vraćamo natrag na nazivnu vrijednost (240 V), dok kao teret stavljamo vektor zadanih vrijednosti (4 Nm, 15 Nm i 30 Nm).

Slika broj 3 prikazuje vremensku ovisnost struje armature za iznose tereta T_l od 4, 15 i 30 Nm.



Slika 3. Ovisnost struje o promjeni tereta

Iz relacije (3) vidimo da struja armature raste proporcionalno s porastom tereta.

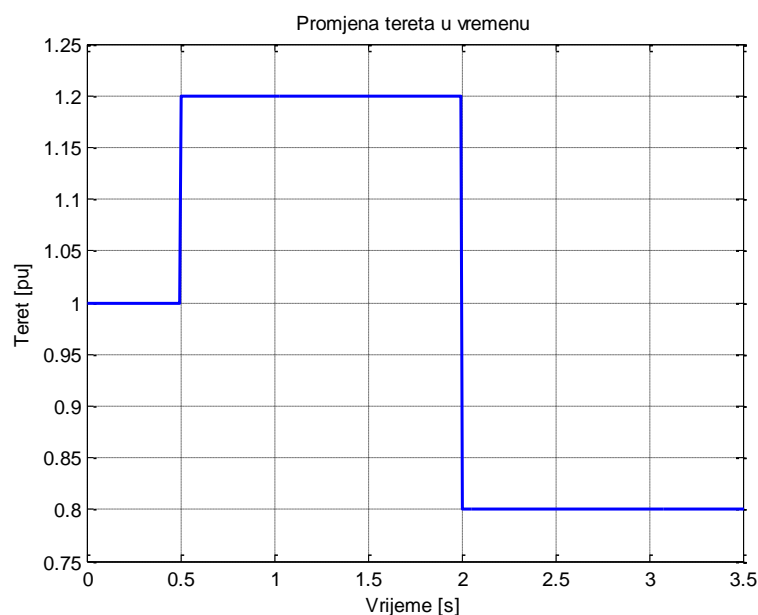


Slika 4. Ovisnost brzine o promjeni tereta

Iz jednadžbe (2), slijedi da uz konstantan napon armature i rastuću struju armature (za rastući teret), smanjuje se brzina vrtnje stroja.

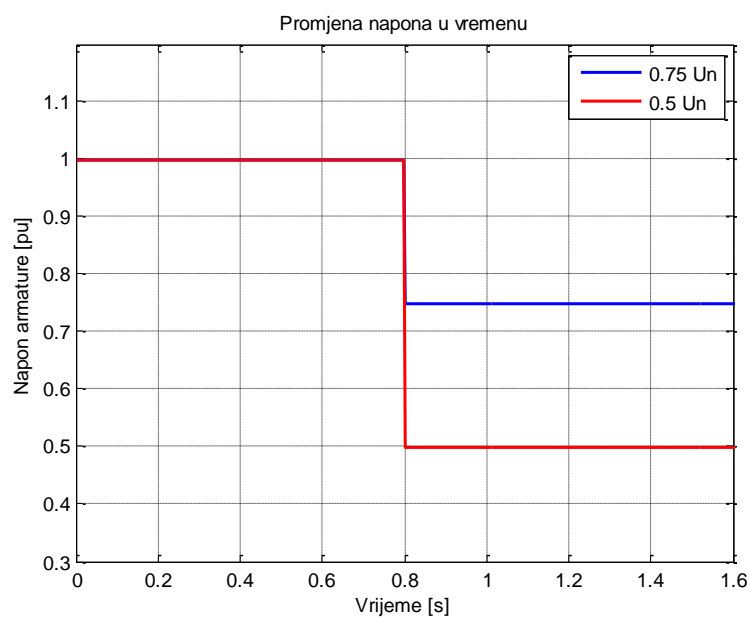
Vježba c)

O ovom dijelu vježbe otvaramo drugi model i mijenjamo ga tako da skokovite promjene tereta se dogode u točno određenim trenutcima (slika 5). To postizemo dodavanjem sumatora i dva step bloka. U ovom podzadatku za izražavanje vrijednosti momenata koristi se pu oznaka.



Slika 5. Promjena tereta kroz vrijeme

Promjena tereta iz početnog nazivnog tereta (M_n) na $1.2 M_n$ u $t = 0.5$ s i na $0.8 M_n$ u $t = 2$ s.



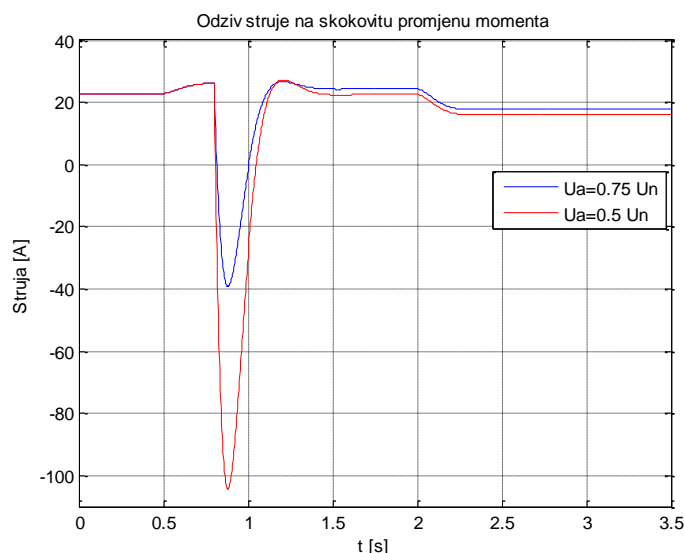
Slika 6. Promjena napona u vremenu

Promjena napona armature prikazana je slikom 6. U trenutku $t = 0.8$ s, napon je promijenjen s nazivnog napona U_n , na $0.75 U_n$ odnosno $0.5 U_n$.

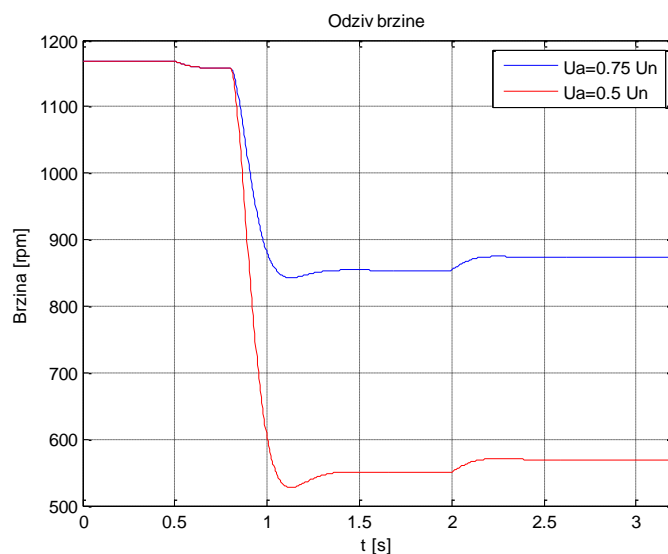
Slike 7 i 8 prikazuju odziv struje armature i brzine stroja, respektivno, na promjenu tereta prikazanu na slici 5 i promjenu napona prikazanu na slici 6.

Vidimo da povećanje tereta prati povećanje struje armature u $t = 0.5$ s. U $t = 0.8$ s, smanjenje napona uzrokuje trenutni (prijelazni) pad struje, a u $t = 2$ s smanjenje tereta uzrokuje pad struje armature. Povećanje tereta smanjuje brzinu vrtnje, a smanjenje tereta povećava istu.

Iz jednadžbe 2 slijedi da padom napona armature u $t = 0.8$ pada brzina vrtnje stroja. Padom napona armature također trenutno pada i struja armature dok se ne smanji brzina vrtnje stroja, tj. protuelektromotorna sila, nakon čega bi se struja armature trebala vratiti na istu vrijednost. No, simulacija to ne pokazuje, što znači da postoji neka greška u modelu.



Slika 7. Ovisnost struje o skokovitoj promjeni tereta i napona



Slika 8. Ovisnost brzine vrtnje o skokovitoj promjeni tereta i napona

SIMULACIJA RADA ASINKRONOG STROJA

U drugom dijelu laboratorijske vježbe simuliramo model asinkronog stroja. Prikazati ćemo momentne karakteristike uz promjenu napona armature, brzinu okretnog polja, otpora rotora. Također će biti prikazano $U/f = \text{konst.}$ upravljanje asinkronog stroja.

Navedimo prvo jednadžbe koje opisuju rad asinkronog stroja.

Klizanje se definira kao

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \quad (4)$$

gdje je ω_s sinkrona brzina asinkronog stroja $[\frac{rad}{s}]$, a ω trenutna brzina stroja $[\frac{rad}{s}]$.

Jednadžba za inducirani napon rotora glasi

$$E_2 = s \cdot E_{20} \quad (5)$$

gdje je E_2 napon induciran u namotu rotora [V] i E_{20} napon induciran u namotu rotora pri brzini jednakoj 0 [V].

Uz gore navedene relacije vrijedi još i iduća relacija za potezne i prekretno momente

$$M_p \sim \left(\frac{U}{f}\right)^2 \quad (6)$$

gdje je M_p prekretni (potezni) moment [Nm], f frekvencija [Hz] i U napon napajanja statora [V].

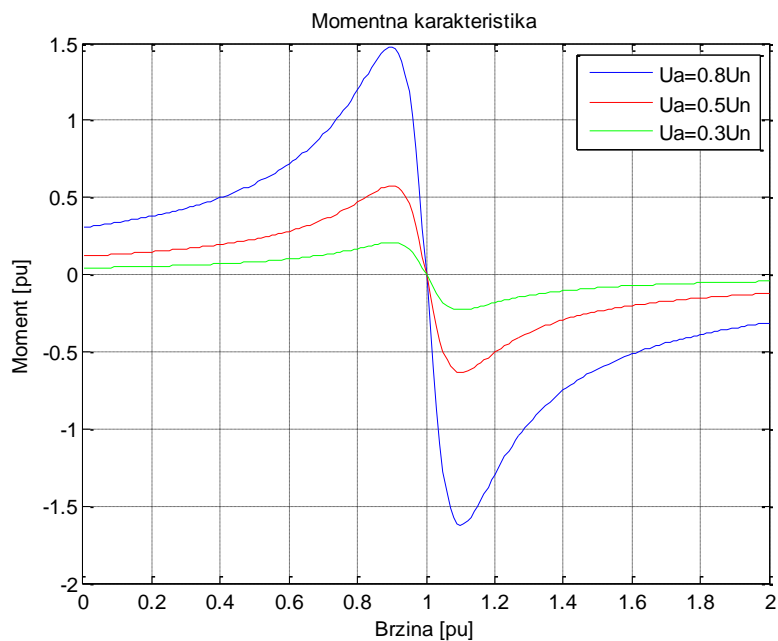
Jednadžba koja povezuje prekretno klizanje i otpor rotora je

$$s_p = \frac{R_r}{\omega_s L_{\sigma 2}} \quad (7)$$

gdje je R_r otpor rotora [Ω] i $L_{\sigma 2}$ induktivitet rotora [H].

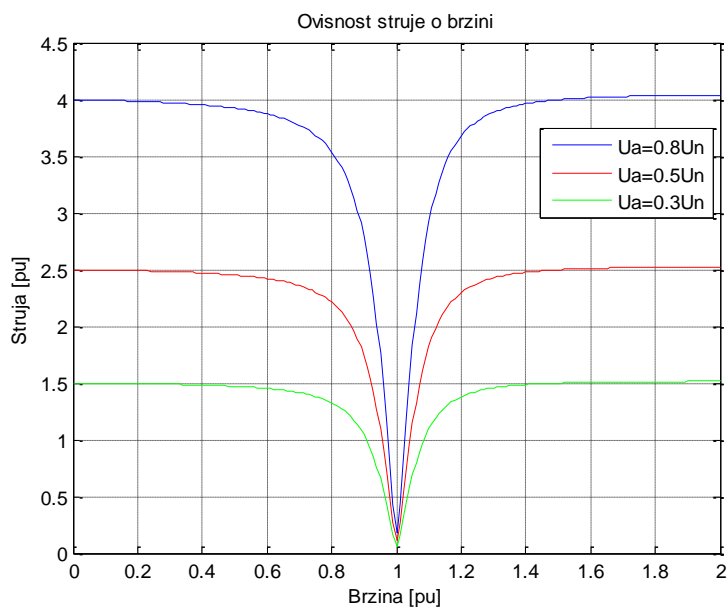
Vježba d)

U ovom dijelu vježbe prvo mijenjamo napon armature (slika 9). Povećavanjem napona armature od 0.3 do 0.8 U_n , povećava se i momentna karakteristika, time i potezni i prekretni moment (izraz 6).



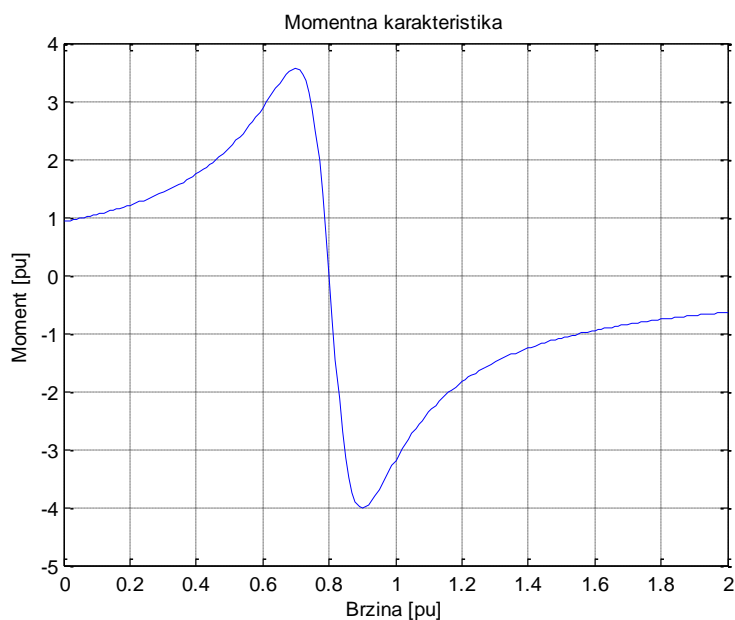
Slika 9. Momentna karakteristika uz promjenu napona armature

Slika 10 pokazuje ovisnost struje stroja o brzini za napone od 0.3 do 0.8 U_n . Povećanje napona armature linearno povećava struju struju rotora ($I_r \sim E_{20}$).

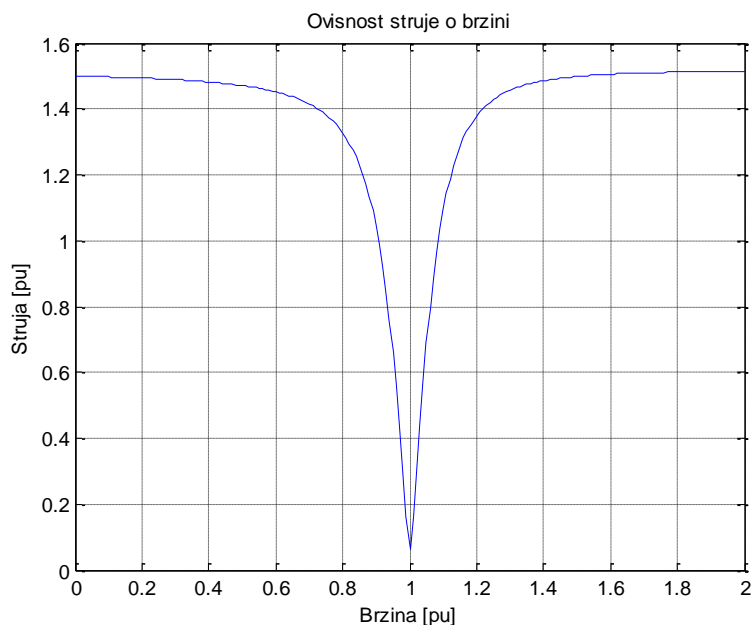


Slika 10. Ovisnost struje o brzini uz promjeni napona armature

Druga promjena je smanjenje brzine okretnog polja na $0.8 \omega_s$, dok je napon armature jednak U_n (slike 11 i 12). Kako su brzina okretnog polja i frekvencija povezane linearnom relacijom $\omega_s = 2\pi f$, iz izraza (6) se vidi da smanjenjem brzine povećavamo prekretni moment. Isto tako iz izraza (7) slijedi da se smanjenjem sinkrone brine povećava klizanje. Za klizanje vrijedi $s = 1 - \omega$ [pu], dakle pomak momentne karakteristike u lijevo znači povećanje klizanja.

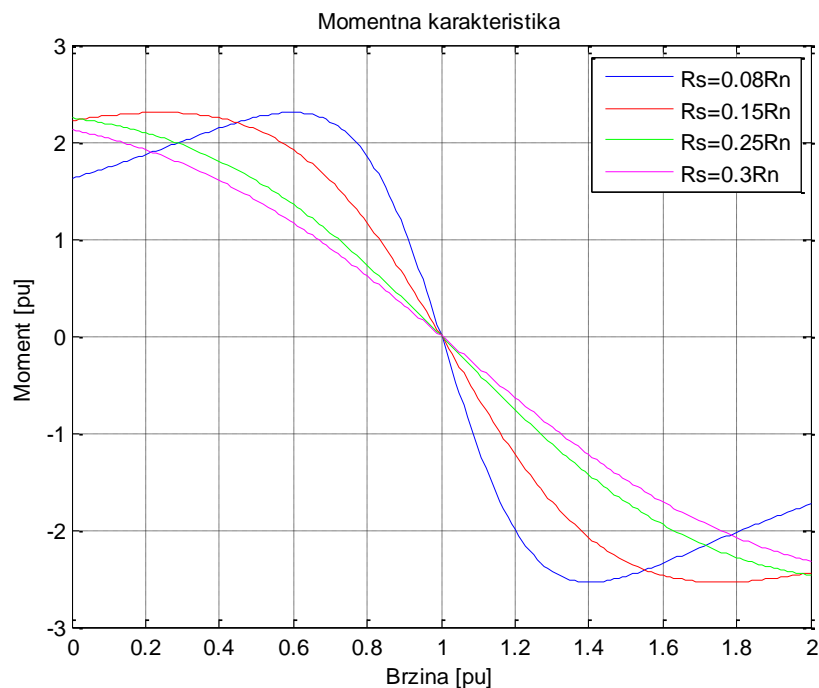


Slika 11. Momentna karakteristika za $w=0.8ws$

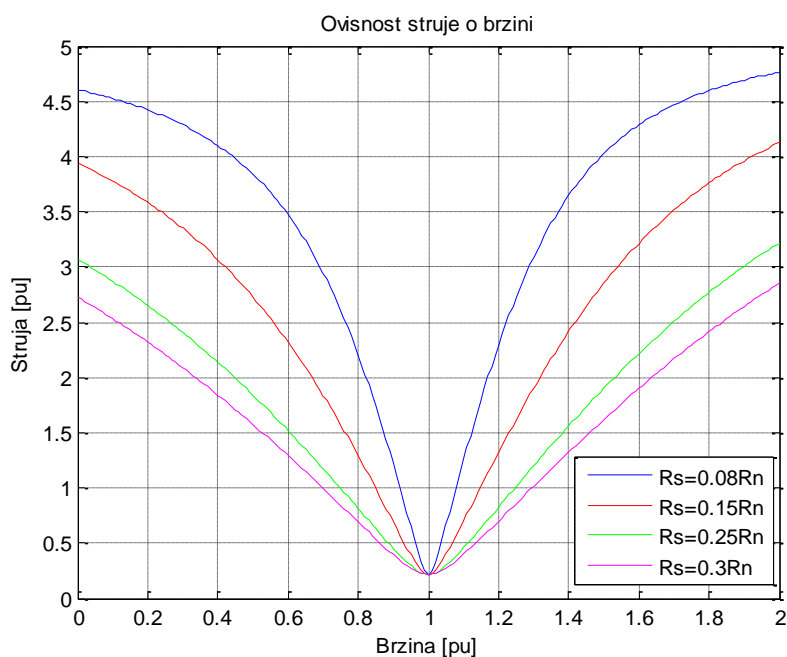


Slika 12. Ovisnost struje o brzini za $w= 0.8ws$

Zadnje, mijenjamo otpor rotora. Povećanjem otpora rotora povećavamo iznos prekretnog klizanja što se eksplicitno vidi iz relacije (7) (slika 13).



Slika 13. Momentna karakteristika uz promjenu otpora rotora



Slika 14. Ovisnost struje o brzini uz promjenu otpora rotora

Povećanjem otpora rotora smanjuje se struja rotora ($I_r \sim 1/R_s$) (slika 14).

Vježba e)

Zadnji dio laboratorijske vježbe odnosi se na $U/f = \text{konst.}$ upravljanje stroja. U vježbi smo mijenjali baznu frekvenciju (f_0 [Hz]).

Asinkroni stroj pri projektiranju napravljen je da radi na određenom nazivnom naponu i pri osnovnoj baznoj frekvenciji. Cilj ovog načina upravljanja je držanje omjera U/f konstantnim. Ako smanjimo frekvenciju na manju od osnovne, momentna karakteristika se pomiče na manje brzine (u lijevo). Taj dio karakteristike nazivamo područje konstantnog momenta. Pri povećanju frekvencije iznad osnovne ne možemo ispuniti uvjet da U/f bude konstanta jer bi time napon morao biti veći od nazivnog. Zbog napona koji ostaje nepromijenjen, dolazi do smanjenja magnetskog toka. To područje rada nazivamo područje konstantne snage.

$U/f = \text{konst}$ upravljanje proizilazi iz sljedećih izraza

$$n_s = \frac{60f_0(1-s)}{p} \quad (8)$$

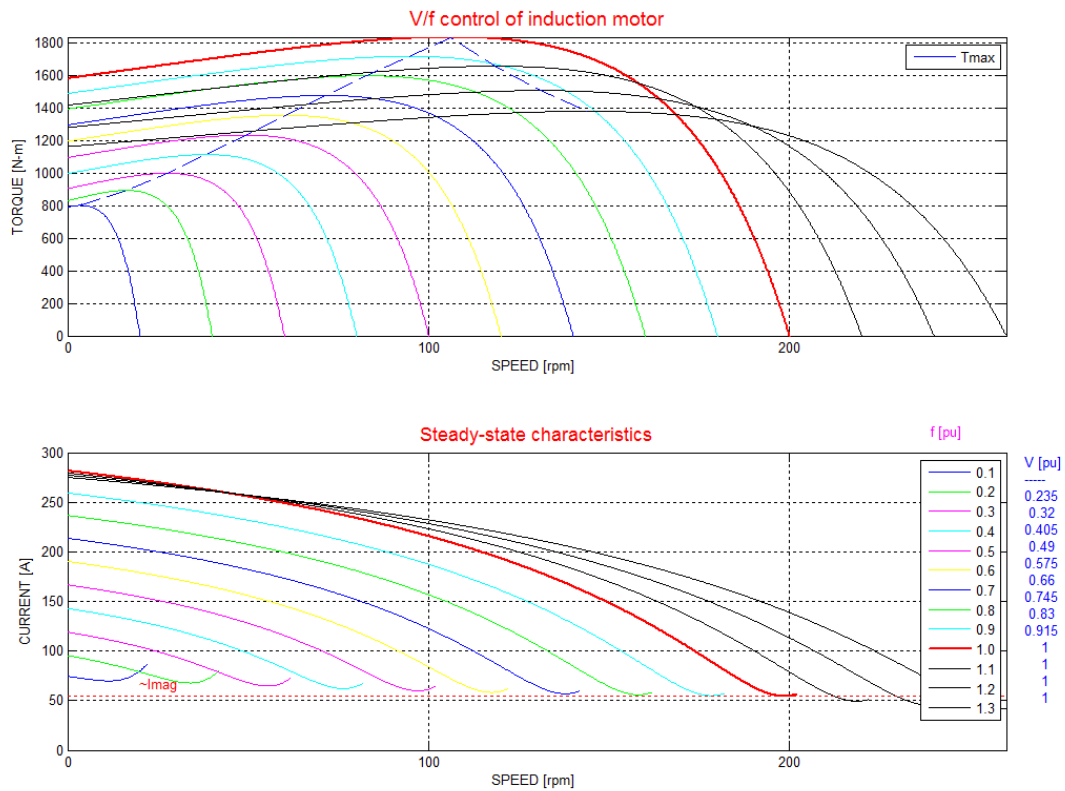
$$\Phi = Bs \quad (9)$$

gdje je n_s sinkrona brzina [$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$], p broj polova, Φ magnetski tok [Wb] i B gustoća magnetskog toka [T].

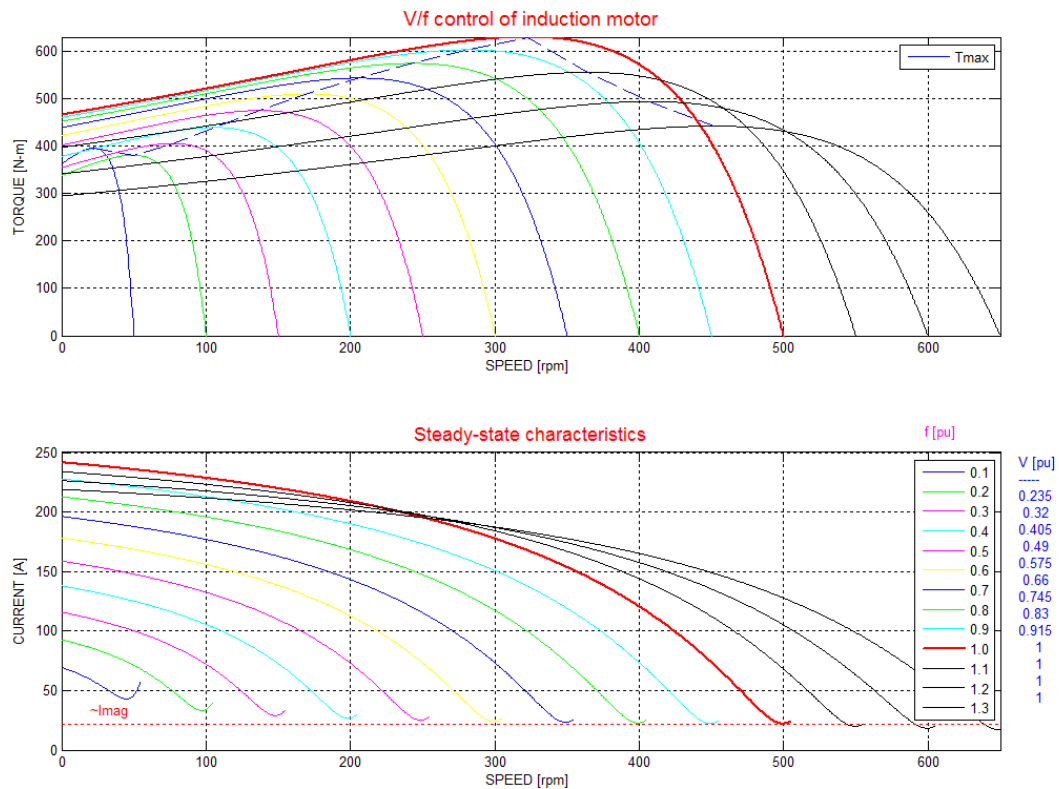
Budući je klizanje ovisno o sinkronoj brzini, proizlazi da je magnetski tok ovisan o baznoj frekvenciji.

$$U = k f_0 \Phi \quad (10)$$

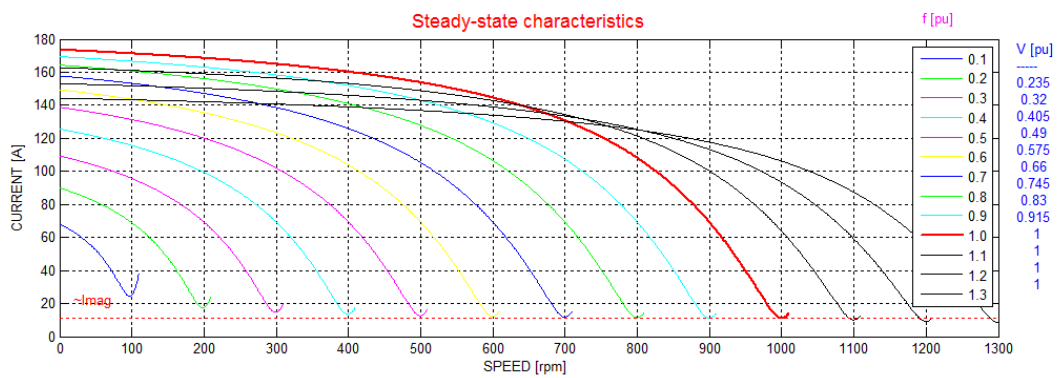
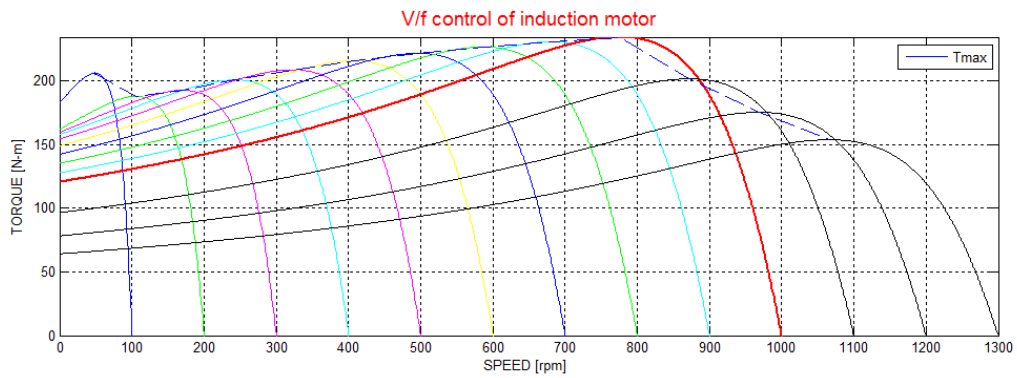
Obrazložimo sad zašto koristimo $U/f = \text{konst.}$ oblik upravljanja. Da bi napon ostao konstantan pri smanjenju osnovne frekvencije morali bi povećati Φ , a time i B , što je nije poželjno zbog zasićenja magnetskog kruga i zbog povećanja struje, a to loše utječe na asinkroni stroj. S druge, strane ako povećamo osnovnu frekvenciju, moramo smanjiti Φ i time moment, a to nam također nije u cilju. Radi toga, kao očit izbor, ostaje nam da U/f mora biti konstanta.



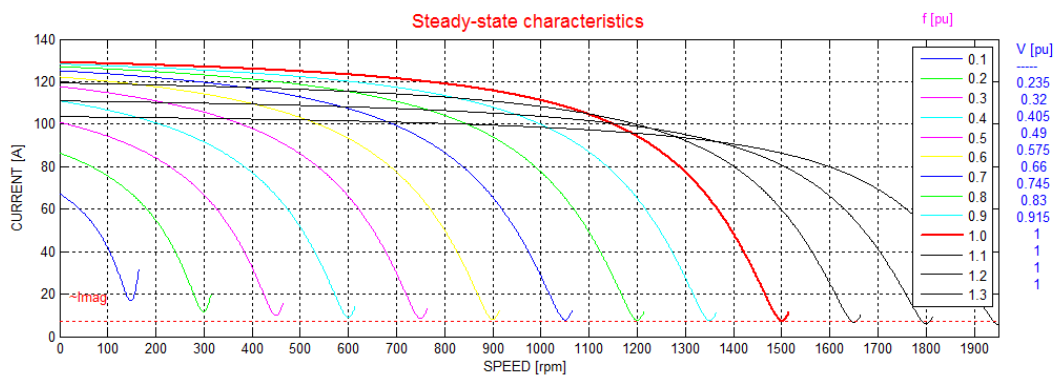
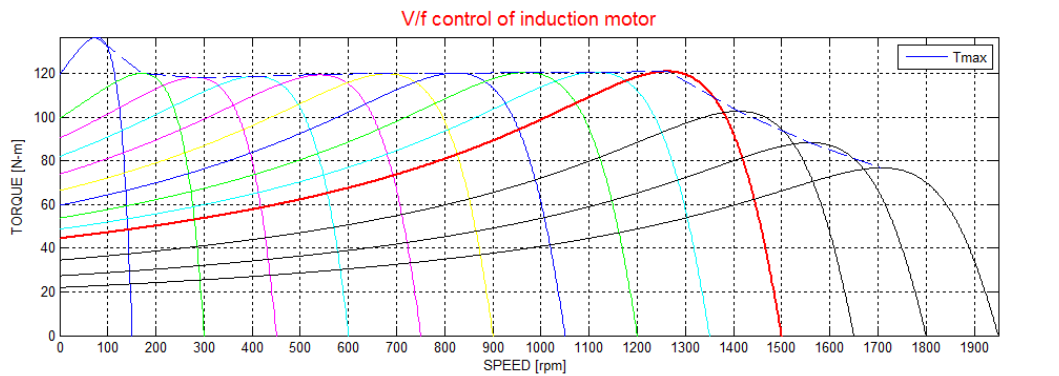
Slika 15. U/f upravljanje strojem uz $f_0=10$ Hz



Slika 16. U/f upravljanje strojem uz $f_0=25$ Hz



Slika 17. U/f upravljanje strojem uz $f_0=50$ Hz



Slika 18. U/f upravljanje strojem uz $f_0=75$ Hz

Iz simulacija prikazanih na slikama 15 do 18 za različite iznose osnovnih (baznih) frekvencija vidimo da se naša teoretska pretpostavka o konstantnim momentima ne poklapa sa simulacijom. Zapravo, samo za osnovnu frekvenciju od 75 Hz javlja se da je prekretni moment konstanta u području konstantnog momenta. Objašnjenje leži u tome što je asinkroni stroj nelinearan. Matematički opis (model) samog stroja je moguć samo uz određena zanemarenja. Male osnovne frekvencije povlače potrebu malog napona kojeg je teško ostvariti u praksi.

Zbog svega gore izrečenoga za male osnovne frekvencije ne dobivamo istu karakteristiku kao i za $f_0 = 75$ Hz koja je najbliža teoretskom modelu.

ZAKLJUČAK

Kroz cijelu laboratorijsku vježbu dobiveni odzivi se slažu sa teorijskim pretpostavkama za oba stroja. Jedino u slučaju slike 7 dolazi do odstupanja od teorije gdje se struja motora promijenila s naponom armature iako je teret ostao isti.