

**UNIVERZITET U BIHAĆU**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**BIHAĆ**

# **AUTOMATSKO UPRAVLJANJE II**

**Laboratorijske/Auditorne vježbe**

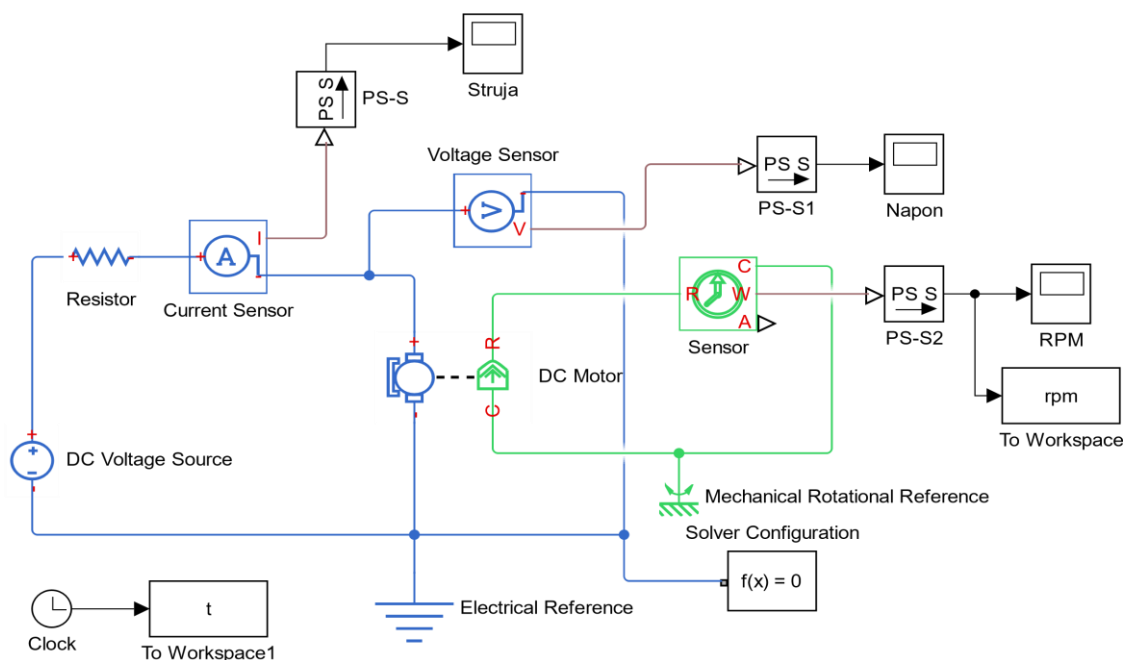
**ISTOSMJERNI MOTOR**  
**Električni model**  
**(Vježba 3)**

**mr. Amel Toroman, dipl. ing.el.**  
**Viši asistent**

## ELEKTRIČNI MODEL ISTOSMJERNOG MOTORA

Za prikaz modela koristiti će se *Simulink* iz programskog paketa *Matlab* i kroz detaljan opis odraditi i simulirati rad električnog motora koji će biti referenca za naredne simulacije. Sve komponente koje budu korištene u simulaciji bit će opisane i predstavljene.

### Upravljanje DC motorom promjenom otpora



Slika 1. Električni model istosmjernog motora (Promjenljivi otpor)

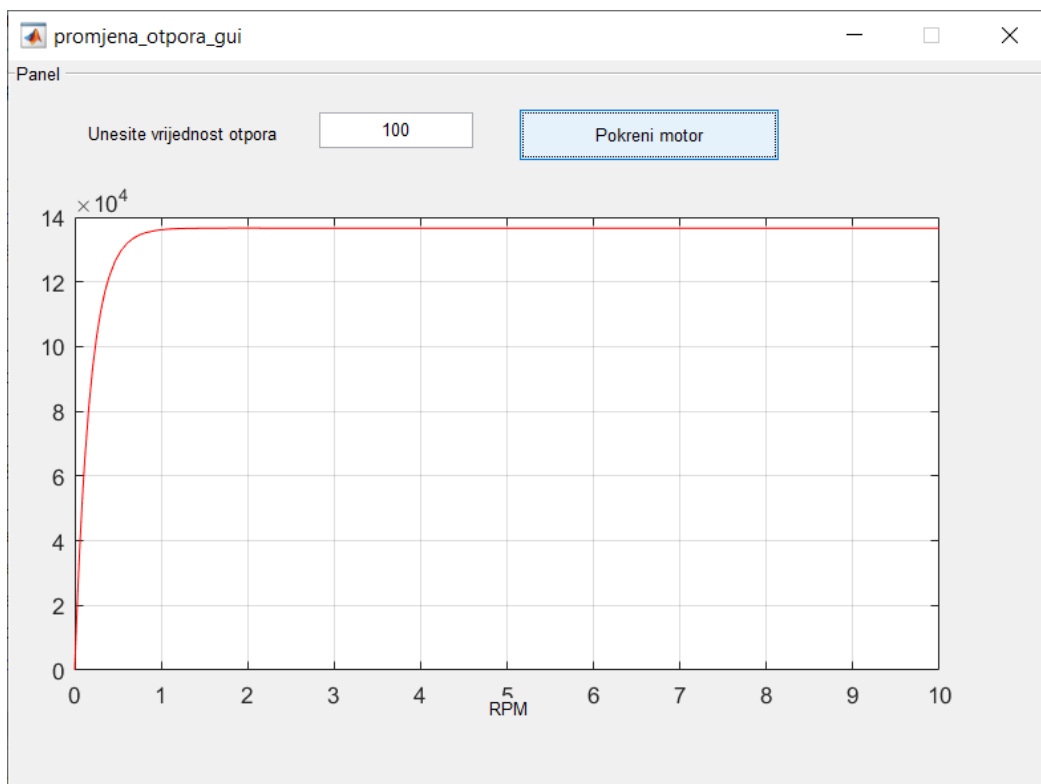
Na Slici 1 je prikazana šema istosmjernog motora sa električnim komponentama. U *Simulink Library* pod *Simscape* mogu se naći sve prikazane komponente.

Značajne stvari koje su potrebne za mjeriti, su *struja* koja pokreće motor zatim *brzina okretanja motora*, te *ugao zakretanja motora*.

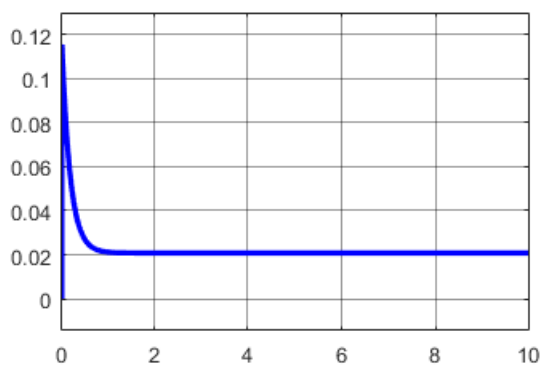
*Solver Configuration* omogućuje prikaz sklopa na *Scopu* pa je poželjno da koristi *Bodeov dijagram* za prikaz koji se regulira tako što se pod *Stimulation* odabira opcija *Model configuration*, te opcija pod *Solver ode15*.

Za mjerenje struje korišten je *Current sensor* koji je u suštini ampermetar i da bi signal bio prikazan potreban je *Converter* koji pretvara digitalni signal u analogni. *Translation spring* se ponaša u ovom slučaju kao teret motora tj. opterećenje koje motor pokreće u pomenutom slučaju. U nastavku će biti pokazane različite varijacije opterećenja na motor.

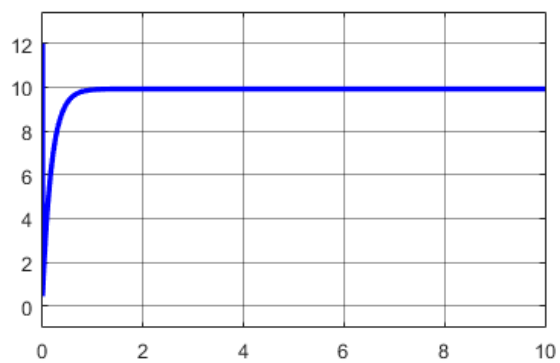
Na sljedećim slikama biti će prikazano ponašanje struje, napona i brzine okretanja motora u ovisnosti od opterećenja koje dovedemo na motor.



**Slika 2.** Pokretanje grafičkog okruženja (Broj okretaja motora) (GUI)

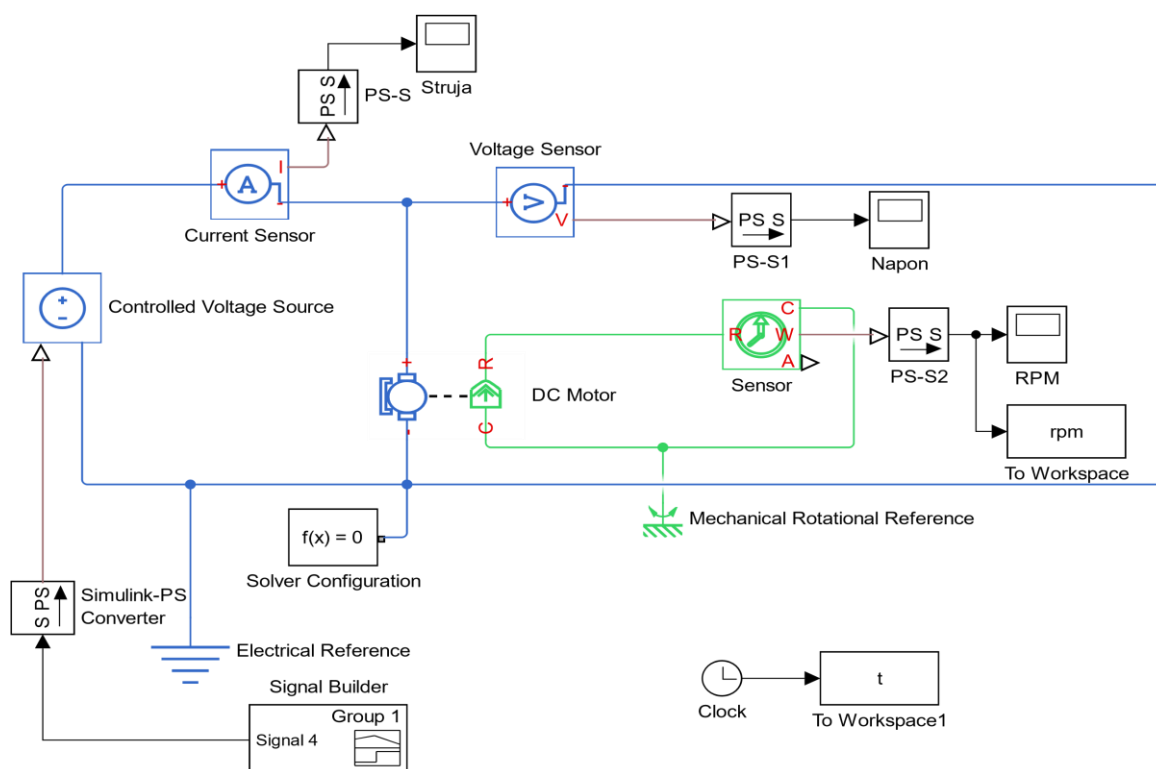


**Slika 3.** Iscrtavanje struje (Simulink)

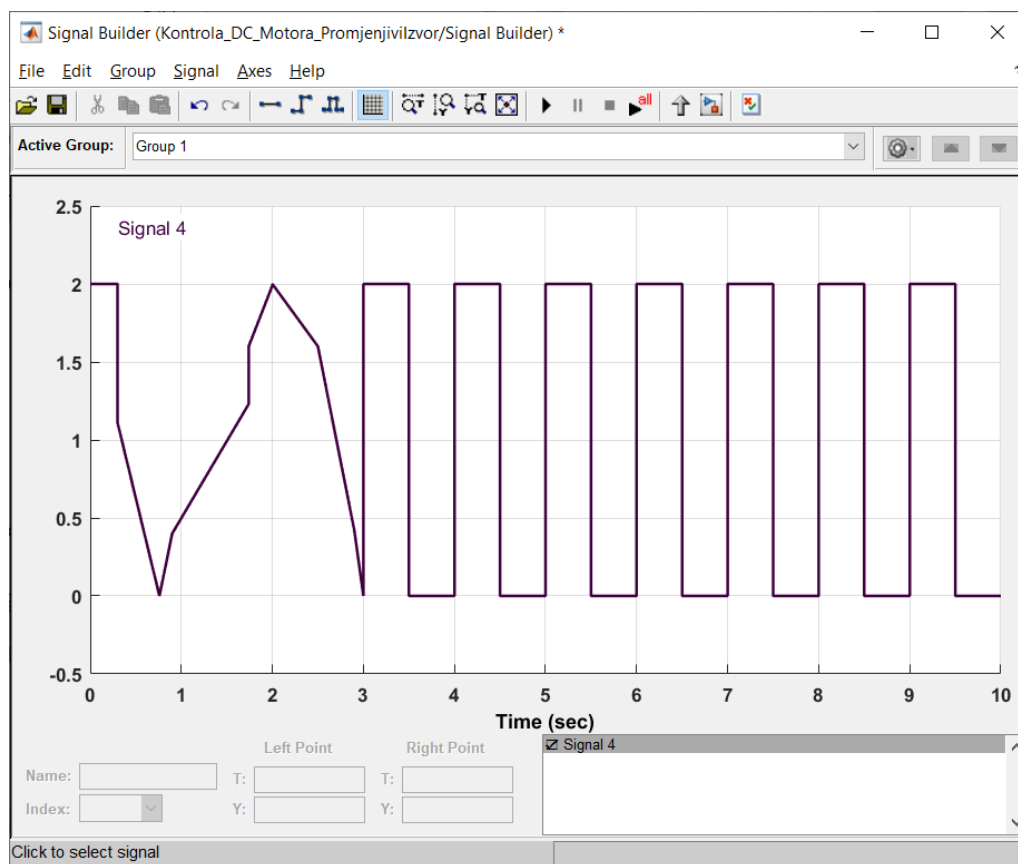


**Slika 4.** Iscrtavanje napona (Simulink)

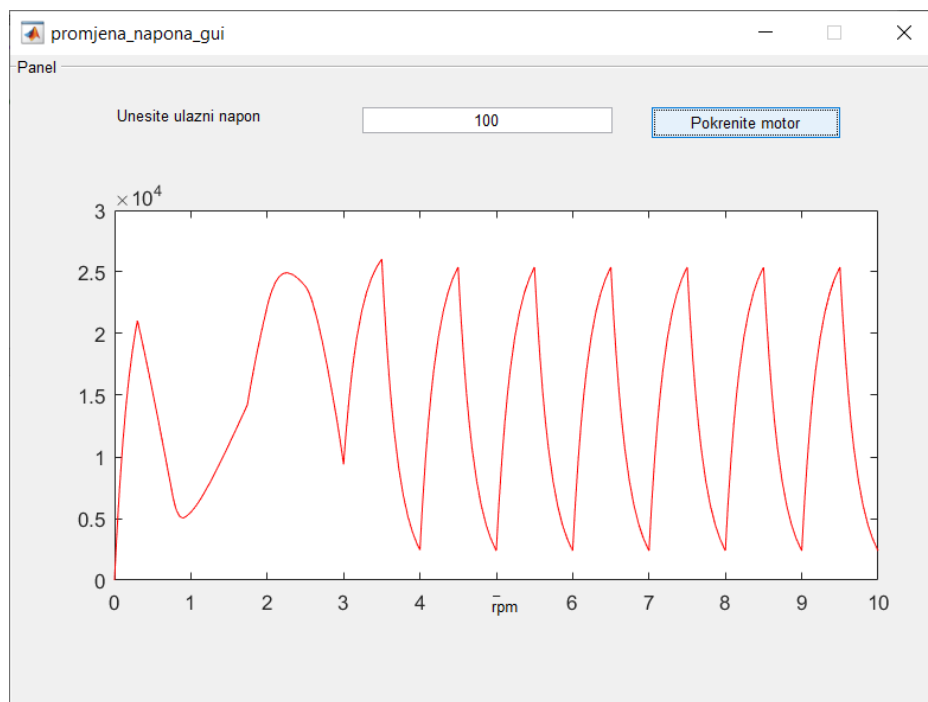
## Upravljanje DC motorom promjenom *napona*



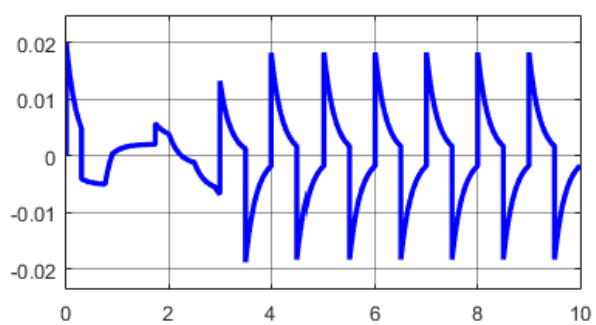
*Slika 5. Električni model istosmjernog motora (Promjenljivi izvor)*



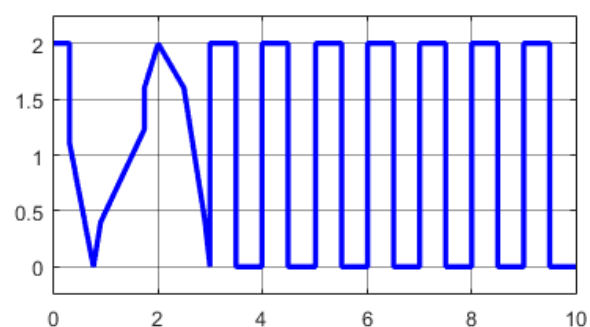
*Slika 6. Ulazni naponski signal (Signal Builder)*



**Slika 7.** Pokretanje grafičkog okruženja (Broj okretaja motora) (GUI)



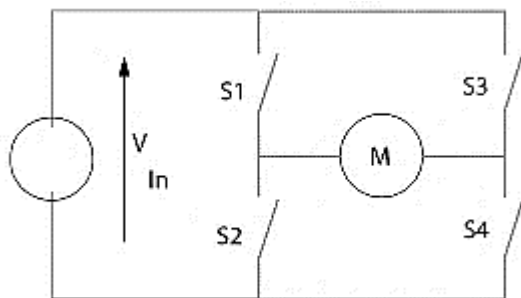
**Slika 8.** Iscrtavanje struje (Simulink)



**Slika 9.** Iscrtavanje napona (Simulink)

## Upravljanje istosmjernim motorom korištenjem *H-mosta*

Na sljedećem modelu je prikazan motor kontroliran sa *H-mostom*. *H-most* je električno kolo koje služi za regulisanje smjera kretanja istosmjerne struje kroz motor. Najčešću primjenu ima u robotici i ostalim aplikacijama gdje je potrebno upravljati nečim što se pomjera u jednom pravcu, a u suprotnim smjerovima. Sastoji se od četiri prekidača, motora između njih i strujnog izvora. Struja teče u jednom smjeru kada se zatvore prekidači *S1* i *S4*, a *S2* i *S3* otvoreni, a u suprotnom smjeru kada su *S2* i *S3* zatvoreni, a *S1* i *S4* otvoreni. Šema *H-mosta* je prikazana na *Slici 10*.



*Slika 10. Šema H-mosta*

**H-most** radi u prekidačkom režimu rada što znači da će i valni oblik napona na armaturi motora biti isprekidan. Željeni iznos napona na izlazu pretvarača zadaje se preko ulaznog (referentnog) signala PWM sklopa, koji upravlja okidanjem pojedinih tranzistora u *H-mostu* (srednja vrijednost napona na izlazu pretvarača je proporcionalna ulaznom naponu PWM sklopa).

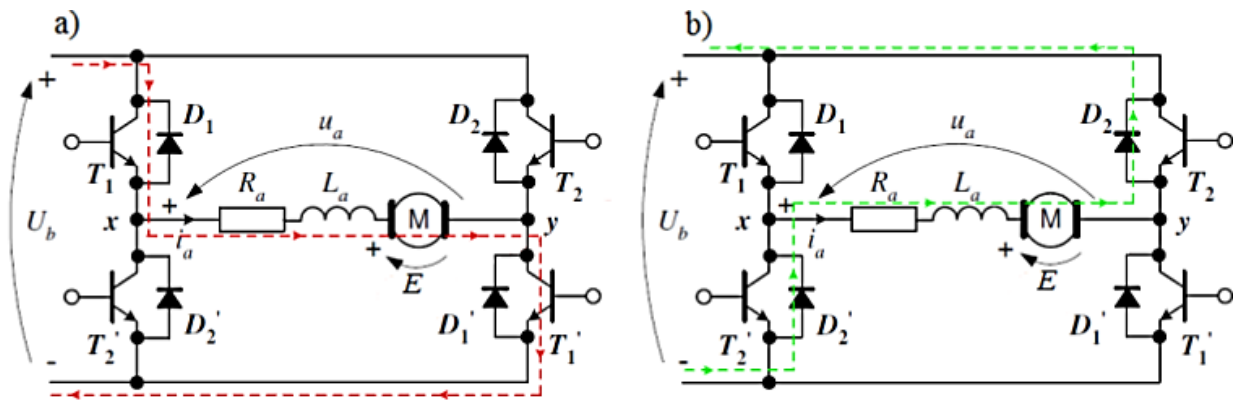
**H-most** se napaja iz istosmjernog izvora napona. Koji se pak most napaja iz mrežnog ispravljača, te tada ispravljač na svom izlazu mora imati kondenzator visokog kapaciteta u svrhu izgladivanja napona istosmjernog međukruga.

### Princip rada *H-mosta* (pretpostavlja se da su sve diode i tranzistori idealni):

Uključivanjem tranzistora  $T_1$  i  $T_1'$ , između tačaka x i y (armatura motora) dovodi se pozitivni napon istosmjernog međukruga ( $U_{xy} = + U_b$ ), dok se uključivanjem tranzistora  $T_2$  i  $T_2'$ , dovodi negativni napon istosmjernog međukruga ( $U_{xy} = - U_b$ ).

Na *Slici 17* (je objašnjen rad tranzistorskog *H-mosta*, i to:

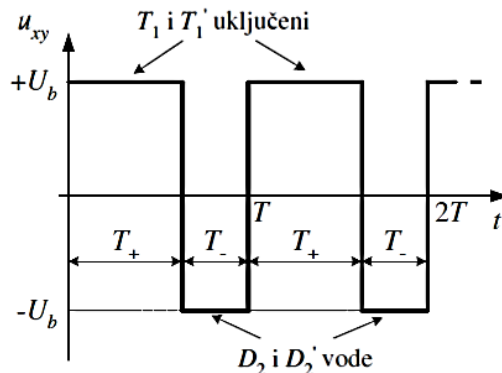
- Uključivanje tranzistora za rad u 1. kvadrantu.
- Isključivanje tranzistora i uključivanje komplementarnih dioda za rad u 1. kvadrantu.



Slika 11. Objašnjenje rada tranzistorskog H-mosta

Isključivanjem jednog para tranzistora (npr.  $T_1$  i  $T_1'$ ), došlo bi do prekidanja strujnog kruga, što može biti vrlo nepovoljno jer se u strujnom krugu nalazi zavojnica (induktivitet armature  $L_a$ ). Da protunapon ne bi oštetio tranzistore, tranzistorima se dodaju protuparalelno spojene diode. Pri isključivanju para tranzistora  $T_1$  i  $T_1'$ , provest će diode  $D_2$  i  $D_2'$  protuparalelno spojene drugom paru tranzistora  $T_2$  i  $T_2'$  (onim koji prije nije bio uključen). Te diode biti će propusno polarizirane zadani smjer struje armature (te će omogućiti nastavak toka struje), spajajući pritom armaturu na napon suprotnog polariteta.

Zbog prekidačkog rada pretvarača napon na izlazu (napon armature) je pravokutnog oblika, kako je prikazano na Slici 18. Ovaj valni oblik opisuju tri parametra: amplituda (koja je jednaka naponu istosmjernog međukruga  $U_b$ ), frekvencija  $f_{ch}$  (odnosno period  $T=1/f_{ch}$ ) i tzv. Faktor popunjenosti  $d$  (engl. duty cycle).



Slika 12. Valni oblik napona armature za rad u 1. kvadrantu i periodi uključenosti dioda i tranzistora

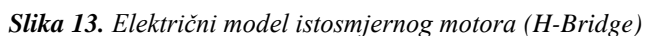
Faktor popunjenosti  $d$  se definira na sljedeći način:

$$d = \frac{T_+}{T} = \frac{T_+}{T_+ + T_-} = 1 - \frac{T_-}{T_+ + T_-} \quad \Leftrightarrow \quad T_+ = dT, \quad T_- = (1 - d)T \quad (1)$$

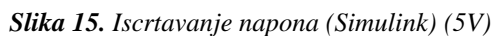
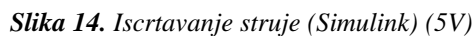
Srednja vrijednost (DC vrijednost) pravokutnog valnog oblika napona armature računa ovako:

$$U_{sr} = \int_0^T u_{xy}(t) dt = \frac{U_b T_+ - U_b (T - T_+)}{T} = 2U_b \frac{T_+}{T} - U_b = (2d - 1)U_b \quad (2)$$

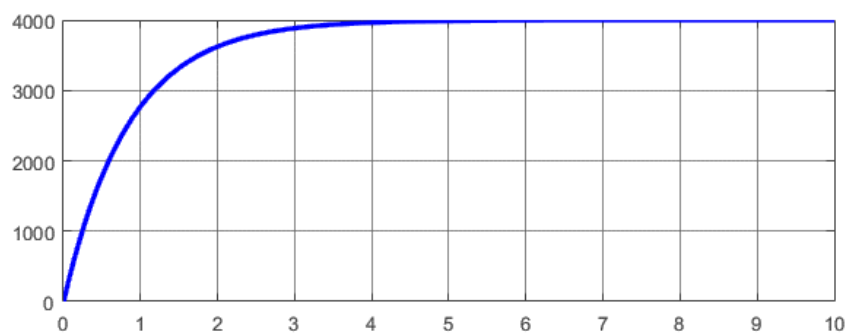
Prije nego se počne sa simulacijom potrebno je navesti karakteristike pomenutog DC motora. Ako se pretpostavi da DC motor proizvodi 10 W mehaničke snage pri 2500 obrtaja u minuti, a brzina bez opterećenja iznosi 4000 obrtaja u minuti kada je priključen na napon od 12V.



Ako se na ulaz za kao izvor napajanja dovede napon od 5 V dobiva se:

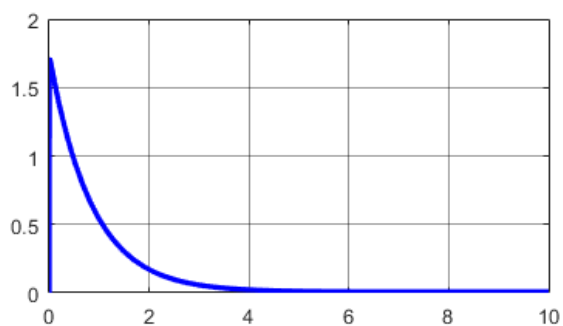




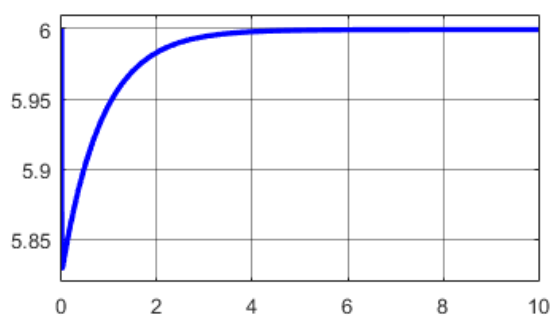


**Slika 16.** Iscrtavanje broja okretaja motora (Simulink) (5V)

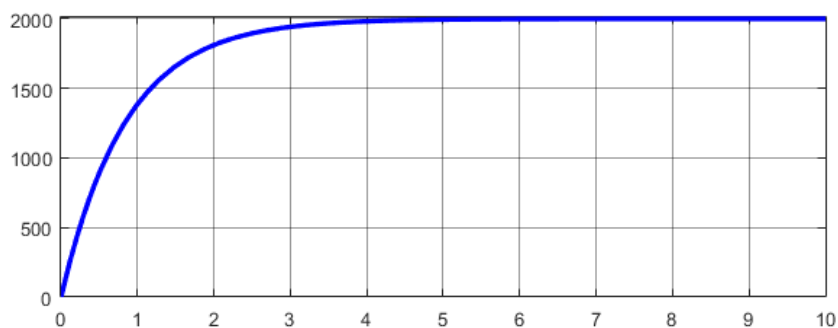
Najslabiji učinak motora će biti ako se dovede na ulaz 2.5 V što je minimalna vrijednost pomenutog H-mosta.



**Slika 17.** Iscrtavanje struje (Simulink) (2.5V)



**Slika 18.** Iscrtavanje napona (Simulink) (2.5V)



**Slika 19.** Iscrtavanje broja okretaja motora (Simulink) (2.5V)