

TEHNIKE UPRAVLJANJA U MEHATRONICI

## **5. laboratorijska vježba**

Priprema i upute za rad na vježbi

# 1. Uvod

Iako je implementacija kontinuiranih regulatora moguća u praksi, otkako je digitalna revolucija uzela maha, dogodio se nagli procvat diskretnih (digitalnih) sustava upravljanja. Računala nam omogućavaju znatno jeftiniju i jednostavniju implementaciju regulatora, što smanjuje vrijeme i trošak razvoja pa nije neobično da je to preferirana praksa. Međutim, to znači da u tom slučaju analiza sustava s kontinuiranim regulatorom nije sasvim ispravna. Također nije moguće samo prepisati parametre kontinuiranog regulatora u računalo i nadati se da će sve biti u redu. Potrebno je projektirati diskretni regulator, a u ovoj ćete vježbi naučiti kako.

## 1.1. Cilj vježbe

Cilj ove vježbe je upoznavanje s procesom projektiranja i implementacije diskretnih regulatora sa zanemarenim i uključenim utjecajem diskretizacije. Veličina koju ćete regulirati jest brzina vrtnje istosmjernog motora s konstantnom i nezavisnom uzbudom.

## 2. Rad na vježbi

### 2.1. Model rotacijskog modula

Projektiranje regulatora izvest će se na primjeru upravljanja brzinom vrtnje rotacijskog modula. Za potrebe ove vježbe, modul je dovoljno opisati prijenosnom funkcijom prvog reda:

$$\frac{\omega(s)}{U_a(s)} \approx \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

Parametri sustava dani su u Tablici 2.1, a  $U_n$  označava maksimalni i minimalni dozvoljeni napon.

**Tablica 2.1:** Parametri rotacijskog modula i regulatora u kontinuiranoj domeni.

$K$	$\tau$	$U_n$ [V]	$P$	$I$	$D$	$N$
1.033	0.157	$\pm 12$	1	10	0.02	10

### 2.2. Implementacija regulatora u kontinuiranoj domeni

Prvi korak koji je potrebno napraviti u ovoj vježbi je implementirati kontinuirani PID regulator koji će služiti za evaluaciju kvalitete ponašanja diskretnih regulatora. Budući da je sam postupak projektiranja već odrađen kroz prethodne laboratorijske vježbe, ovdje ga nije potrebno raditi, već samo implementirati regulator (sa zasićenjem) koristeći parametre zadane u Tablici 2.1. Dani parametri odgovaraju prijenosnoj funkciji:

$$G_{PID}(s) = P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + \frac{N}{s}} \quad (2.2)$$

### 2.3. Projektiranje regulatora u diskretnoj domeni

Diskretni regulatori imaju jedan parametar više od kontinuiranih, a to je vrijeme diskretizacije  $T_s$ . Nedostatak diskretnih regulatora je nedostupnost informacija o obrađivanim signalima između trenutaka uzimanja uzoraka. Zbog toga digitalni sustav upravljanja dobiven diskretizacijom kontinuiranog sustava upravljanja najčešće ima lošije dinamičko vladanje. Međutim, digitalni sustavi omogućuju nam raznovrsnije načine obrađivanja signala, što ih čini superiornijima kontinuiranim sustavima. Postoji više različitih metoda projektiranja regulatora u diskretnoj domeni. Tri najčešće korištena pristupa su:

1. sinteza u kontinuiranom području uz zanemaren utjecaj diskretizacije

2. sinteza u kontinuiranom području uz uključen utjecaj diskretizacije
3. sinteza u diskretnom području

U ovoj se vježbi postupak broj 3 ne obrađuje, već je naglasak na sintezi regulatora u kontinuiranom području nakon čega se regulator diskretizira nekim od postupaka diskretizacije.

### 2.3.1. Odabir vremena uzorkovanja

U izboru vremena uzorkovanja uglavnom se oslanjamo na razna iskustvena pravila. Jedna od najčešćih metoda jest korištenje frekvencijskog pojasa zatvorenog regulacijskog kruga kao indikator iznosa  $T_s$ . Prema Nyquist–Shannonovu teoremu, kružna frekvencija uzorkovanja  $\omega_s$  zatvorenog kruga upravljanja pojasa  $\omega_b$  treba iznositi  $\omega_s \geq 2\omega_b$ .

U praksi ta frekvencija treba biti znatno veća te se preporučuje koristiti:

$$10\omega_b \leq \omega_s \leq 40\omega_b. \quad (2.3)$$

Ipak, korisno je provjeriti koje je najveće vrijeme uzorkovanja uz koje sustav zadovoljava svim traženim specifikacijama jer to u konačnici može smanjiti opterećenje digitalnog računala na kojemu je regulator implementiran.

- Odredite frekvencijski pojas zatvorenog regulacijskog kruga  $\omega_b$  i vrijeme uzorkovanja  $T_s$  takvo da vrijedi  $\omega_s = 40\omega_b$ . Preporučuje se korištenje funkcija `tf(...)` i `bandwidth(...)` u MATLAB-u.<sup>1</sup>

$$\omega_b = \underline{\hspace{2cm}} \quad T_s = \underline{\hspace{2cm}}$$

### 2.3.2. Sinteza uz zanemaren utjecaj diskretizacije

Najjednostavniji postupak sinteze digitalnog regulatora je direktna diskretizacija prethodno razvijenog kontinuiranog regulatora (EMUL1 metoda).

- Diskretizirajte kontinuirani regulator koristeći Tustinovu metodu diskretizacije i prethodno dobiveno vrijeme uzorkovanja  $T_s$ . Preporučuje se korištenje funkcije `c2d(...)` u MATLAB-u.
- U Simulinku implementirajte dvije upravljačke petlje: jednu s kontinuiranim, a drugu s diskretnim PID regulatorom<sup>2</sup> i usporedite njihove odzive (odzivi neka budu na jednom grafu kako bi se bolje vidjele razlike). **Ne zaboravite uključiti zasićenje izlaza diskretnog regulatora.** Komentirajte sličnosti i razlike:

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Sada odaberite vrijeme uzorkovanja 5 do 10 puta veće od prethodnog<sup>3</sup> i diskretizirajte

<sup>1</sup> Potrebno je instalirati [Control System Toolbox](#).

<sup>2</sup> Za diskretni regulator preporučeno je koristiti `tfdata` funkciju u MATLAB-u i `Discrete Transfer Fcn` blok u Simulinku.

<sup>3</sup> Do odabira prevelikog vremena uzorkovanja može doći npr. korištenjem vrlo jednostavnog modela sustava, tj. zanemarivanjem brže dinamike.

regulator koristeći to vrijeme:

$T_s =$  \_\_\_\_\_  $G_{rd} =$  \_\_\_\_\_

- Simulirajte ponovo odzive upravljačkih petlji s kontinuiranim i diskretnim regulatorom. Kakav je sada utjecaj diskretnog regulatora?

Odgovor: \_\_\_\_\_

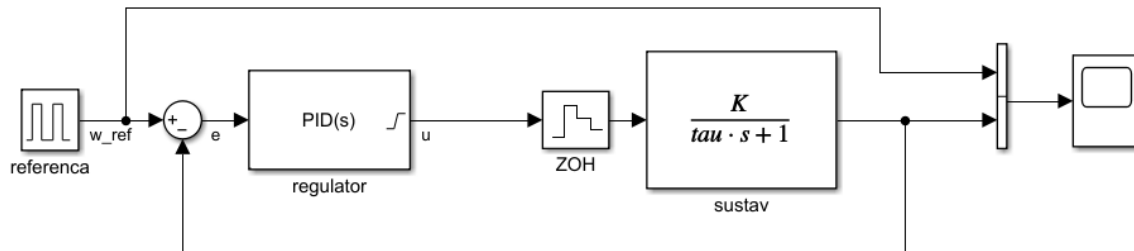
- Provjerite rezultate ovog dijela vježbe koristeći MATLAB grader.

### 2.3.3. Sinteza uz uključen utjecaj diskretizacije

U slučajevima kada prethodno korištena metoda sinteze ne daje zadovoljavajuće rezultate, potrebno je promijeniti pristup i uključiti utjecaj diskretizacije u postupak projektiranja regulatora (EMUL2 metoda). To se radi tako da se kašnjenje uzrokovano diskretizacijom doda u model procesa prije sinteze regulatora u kontinuiranom području. Ako se koristi neka od analitičkih metoda, kašnjenje je moguće opisati  $PT1$  članom, dok je za eksperimentalne metode bolje opisati ga direktno kao ZOH član:

$$G_{ZOH} = \frac{1 - e^{-T_s s}}{s}, \quad G_{PT1} = \frac{1}{1 + \frac{T_s s}{2}}, \quad G_{PT1} \approx G_{ZOH}. \quad (2.4)$$

Spomenuto proširenje sustava pomoću ZOH bloka u Simulinku prikazano je na Slici 2.1.



**Slika 2.1:** Zatvoreni krug upravljanja s dodanim diskretizacijskim kašnjenjem

- Projektirajte novi PID regulator u kontinuiranoj domeni koji će osigurati da ponašanje sustava s uključenim kašnjenjem bude što sličnije odzivu originalnog kontinuiranog sustava. Vrijeme diskretizacije neka bude jednako većem od vremena diskretizacije u prethodnom zadatku.

$P =$  \_\_\_\_\_  $I =$  \_\_\_\_\_  
 $D =$  \_\_\_\_\_  $N =$  \_\_\_\_\_

- Diskretizirajte novi kontinuirani regulator.
- Simulirajte odzive upravljačkih petlji s **originalnim** kontinuiranim i diskretnim regulatorom iz prethodnog koraka i usporedite ih.

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Provjerite rezultate ovog dijela vježbe koristeći MATLAB grader.

### 3. Pitanja

Nakon vježbe potrebno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Zašto koristimo diskretne regulatore kad znamo da kontinuirani općenito rezultiraju boljim ponašanjem sustava?

Odgovor: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Nabrojite metode projektiranja diskretnih regulatora.

Odgovor: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Na temelju čega određujemo vrijeme uzorkovanja?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Što je potrebno napraviti prije sinteze regulatora u diskretnom području?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Iz perspektive dizajna proizvoda, koje je optimalno vrijeme uzorkovanja uz određene hardverske komponente? Uz pretpostavku da je slabiji mikroprocesor ujedno i jeftiniji.

Odgovor: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- Koji su potencijalni problemi prilikom korištenja vrlo visoke frekvencije uzorkovanja?

Odgovor: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_