



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

PID regulacija brzine vrtnje DC motora

PREDMET:

- PRAKTIKUM AUTOMATIKE I INFORMATIKE -

Tim 1.1

Boračić Asija, 18954

Džananović Naila, 18826

Vladavić Salko, 18979

Sarajevo, juni 2022.g.

Sažetak rada

Rad obuhvata osnovne principe upravljanja korištenjem PID regulatora i daje teoretsku podlogu o samom regulatoru kao i o različitim načinima postavljanja parametara nekog PID regulatora. Na primjeru regulacije brzine vrtnje motora prikazan je pristup realizaciji upravljanja. Proveden je postupak identifikacije sistema u vidu prenosne funkcije. Izvršeno je postavljanje parametara PID regulatora u simulacionim uslovima, te simulacija regulacije. Na kraju je sproveden eksperiment rada regulacije s tako postavljenim parametrima te su izvedeni zaključci o upravljanju i radu sa PID regulatorom.

Abstract

This paper covers the basics of control principles with focus on PID control and also gives theoretical base on the controller itself, such as different approaches on setting PID parameters. Approach to creating control systems is demonstrated on the example of regulation of motor speed. System identification process had also been conducted. PID controller parameters were set using a Simulink model. In the end, the experiment with such set parameters was conducted and conclusions about control and working with PID controller were drawn.

Sadržaj

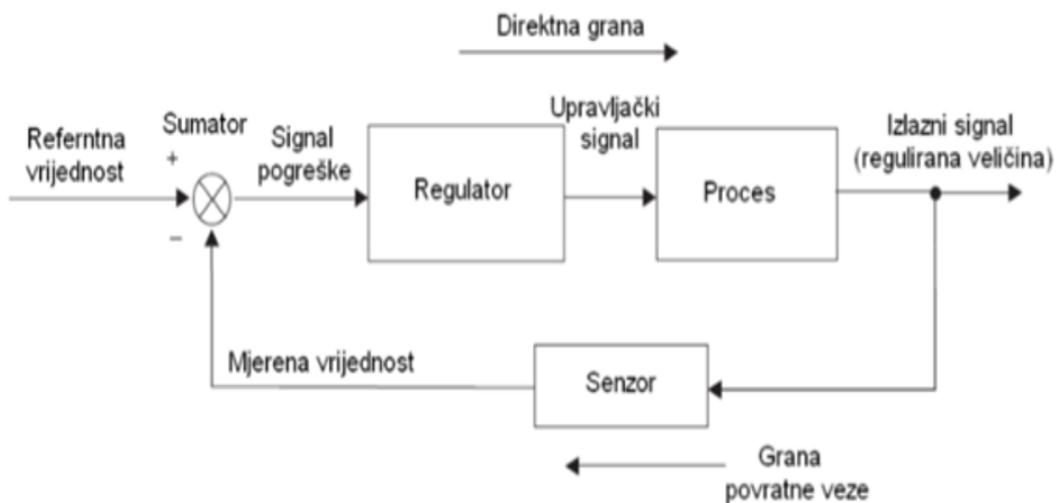
1 Uvod	1
1. Opis problema	1
2. Pregled literature vezane za opisani problem	2
2 Organizacija vježbe	3
1. Zadatak 1	3
2. Podešavanje po Ziegler-Nicholsu	10
2.1 Eksperiment u otvorenom krugu	10
2.2 Eksperiment u zatvorenom krugu	11
3. Podešavanje po Cohen-Coonu	12
4. Podešavanje po Chien-Hrones-Reswicku (CHR)	12
5. Podešavanje po IMC postupku	13
6. Zadatak 2	14
3 Realizacija vježbe	20
4 Obrada mjernih rezultata	22
5 Simulacijski rezultati	27
1. Postavka simulacije	27
2. Rezultati simulacije	29
3. Zaključak	31
6 Eksperimentalni rezultati	32
1. Postavka eksperimenta	32
2. Rezultati eksperimenta	33
3. Zaključak	35
7 Zaključak i diskusija	36

Poglavlje 1



Uvod

Pod pojmom automatizacija podrazumijeva se uvođenje mašina i uređaja u neki proces upravljanja. Ovo ima za cilj da se čitav proces upravljanja provodi sam od sebe bez neposrednog učešća čovjeka. Čovjekova uloga je minimizirana, i sastoji se samo od pokretanja, nadgledanja i zaustavljanja procesa [1]. Ovaj sistem se može predstaviti pomoću strukturne blok-šeme, kao što je prikazano na slici 1.1. Regulacija se vrši pomoću regulatora. On predstavlja najsloženiji element sistema automatske regulacije, koji pojačava i oblikuje signal greške, tako da se dobije željeno statičko i dinamičko ponašanje sistema. On generiše na svom izlazu signal $u(t)$ pomoću kojeg preko aktuatora djeluje na objekt upravljanja. Osnovni zahtjevi za regulaciju sistema su: stabilnost, tačnost i brzina odziva.

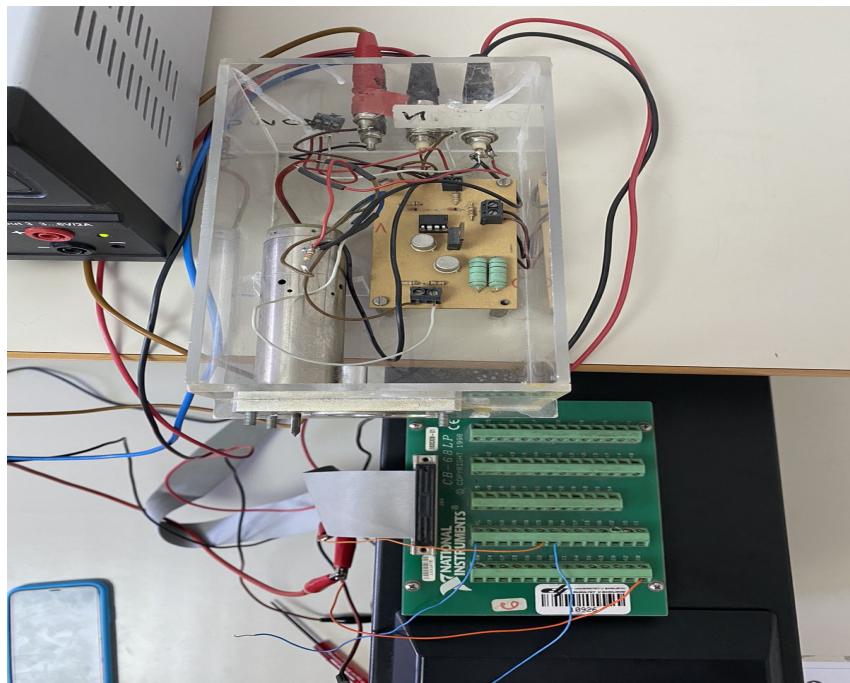


Slika 1.1: Shematski prikaz sistema regulacije sa povratnom spregom

1. Opis problema

Postavljen je zadatak regulacije brzine vrtnje motora uz pomoć PID regulatora (slika 1.2). Za razliku od prošlog projekta koji se ticao dvopolozajne regulacije, sada je u pitanju kompleksnija i preciznija izvedba automatskog upravljanja. Potrebno je razviti logiku i dobro projektovati sistem, da bi objekat upravljanja što bolje pratio zadatu referentnu vrijednost. Poznato

je da kvaliteta upravljanja itekako zavisi od kvalitete senzora koji se nalazi u povratnoj grani i daje očitanja trenutne brzine motora. Za ovu svrhu korišten je tahogenerator. On je fiksiran na osovinu elektromotora i koristi se za stalni nadzor brzine. On je pouzdan, izuzetno precizan i stabilan, te je za potrebe ovog rada uzet kao vjerodostojan bez dalnjih kalibracija. Prvi korak će biti upoznavanje sa objektom upravljanja. Potrebno je u laboratoriji dovodeći step na ulaz u motor analizirati njegov odziv. Ovime će se moći formirati prenosna funkcija koja opisuje sistem, kao i dobiti bolja predstava o kakvom je sistemu riječ. Bitno je saznati da li je inertan i osjetljiv sistem, te na osnovu toga provoditi daljnje radnje. Sljedeći korak je odabir pogodnog programskog alata, te simulacija sistema. Uz pretpostavku dobre identifikacije sistema, sada je moguće projektovati PID regulator. Ne postoji jednoznačno i idealno rješenje a ručnim podešavanjem i analiziranjem uticaja svake komponente regulatora moguće je postići optimalno. Kao i u svakom dosadašnjem projektu kruna svega je pristup eksperimentalnom dijelu tj. automatsko upravljanje na stvarnom sistemu. U slučaju da simulacijski parametri nisu odgovarajući bit će potrebne određene korekcije. Pri tome treba paziti da oni ne variraju enormno, te da se sistem ne dovede u nestabilno stanje koje za sobom može povući i njegov trajni kvar.



Slika 1.2: Prikaz motora koji predstavlja objekat upravljanja

2. Pregled literature vezane za opisani problem

U svrhu izrade ovog rada korištena su predavanja sa predmeta Praktikum automatike i informaticke, Linearni sistemi automatskog upravljanja Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu. Dodatno su doprinijeli i naučni radovi autora Bože Ilića ("Elementi automatizacije"), Čedomira Milosavljevića ("Teorija automatskog upravljanja") i Ante Gutelja ("Projektiranje i namještanje PID regulatora"). Koristan izvor informacija su bile i razne web stranice, koje su imale lijep pregled materije, kao i dosta slika i shema vezanih za PID regulaciju.

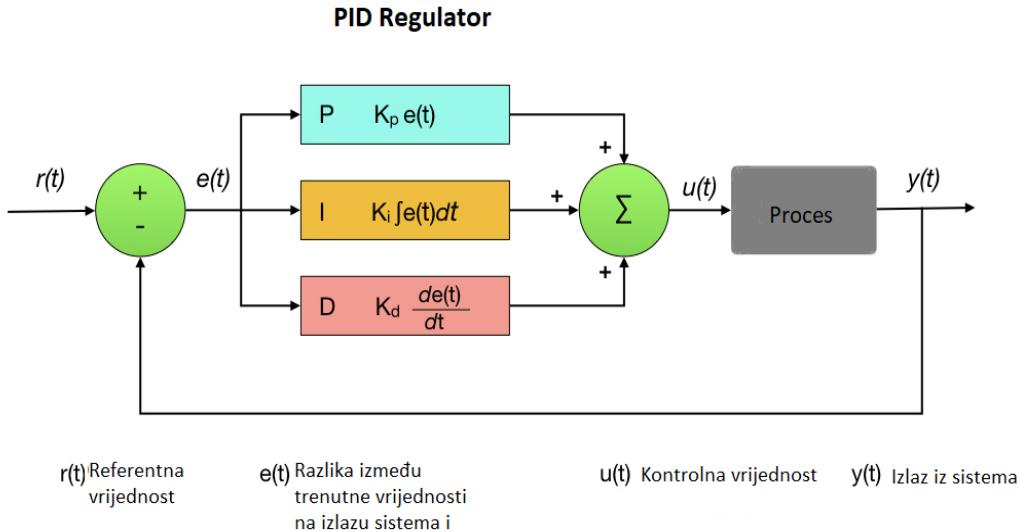
Poglavlje 2



Organizacija vježbe

1. Zadatak 1

Kontrole procesa potrebne su za projektovanje sigurnih i produktivnih postrojenja. Različite kontrole procesa koriste se za manipulaciju procesima, no najjednostavniji i često najučinkovitiji je PID regulator. Regulator pokušava ispraviti pogrešku između izmjerene procesne varijable i željene zadane vrijednosti izračunavanjem razlike, a zatim izvođenjem korektivnih radnji kako bi u skladu s tim prilagodio proces. PID regulator kontroliše proces kroz tri parametra: proporcionalni (P), integralni (I) i derivativni (D) [2]. Ovi se parametri mogu kvalitetno podešiti kako bi se prilagodio njihov uticaj na proces. Kratko će se napraviti paralela između ranije korištenog dvopozicionog regulatora i PID regulatora. PID regulatori omogućuju puno bolje prilagodbe u sistemu. Međutim prednost kontrolera za uključivanje/isključivanje je to da imaju jednostavan dizajn, izvođenje i povoljniju cijenu. Iako postoje neke prednosti, postoje veliki nedostaci korištenja sheme on/off kontrolera. Oni mogu stvarati buku kada određuju stabilnost, mogu dramatično premašiti/podići zadalu vrijednost i posjeduju komponente čije konstantno paljenje i gašenje uzrokuje brzo trošenje. Kako bi se omogućila mnogo bolja kontrola i fino podešavanje, većina industrijskih procesa koristi shemu PID regulatora (slika 5.5). Regulatori se razlikuju u načinu na koji povezuju ulaz (pogrešku) regulatora s izlazom regulatora (aktivacijski signal) [2].



Slika 2.1: Blokovska struktura sistema automatskog upravljanja sa PID regulatorom

Veza između izlaza i ulaza jednog PID regulatora je data relacijom:

$$x(t) = K_p \cdot [u(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t u(t) dt + T_d \cdot \frac{du(t)}{dt}] \quad (2.1)$$

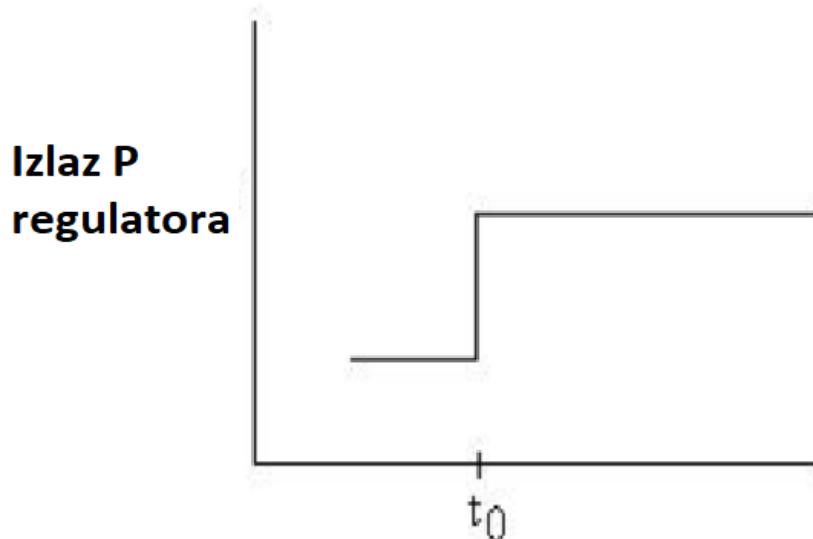
Gdje su parametri dati kao:

- K_p - koeficijent pojačanja (recipročna vrijednost ovog koeficijenta izražena u procentima se obično zove proporcionalno područje)
- T_i - integralna vremenska konstanta
- T_d - derivativna vremenska konstanta

Regulator koji posjeduje samo proporcionalno djelovanje je najjednostavniji. P-regulacija linearno povezuje izlaz regulatora (aktivacijski signal) s greškom. Ovo ponašanje P-kontrole matematički je ilustrovano izrazom [3]:

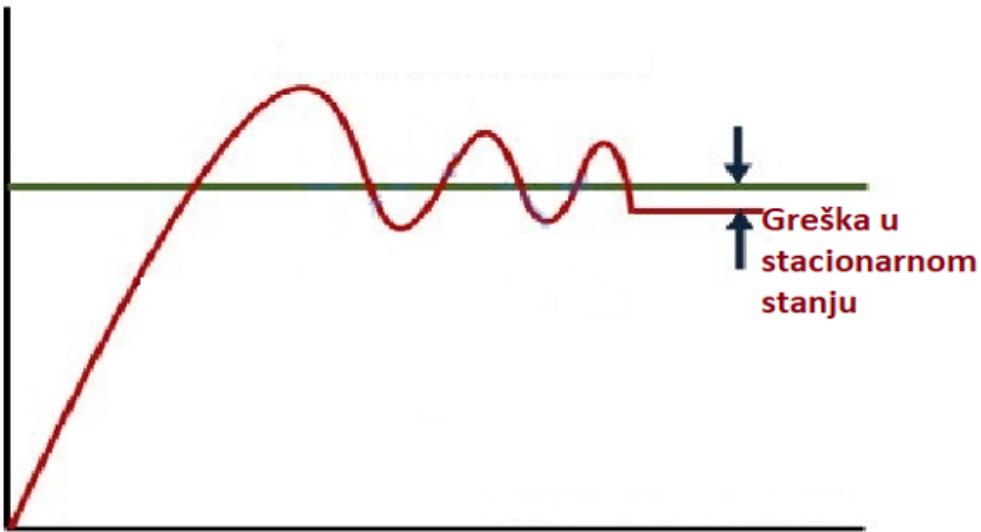
$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.2)$$

Parametri u relaciji 2.2 respektivno predstavljaju izlaz regulatora (u), pojačanje regulatora (K_p) i grešku (e). Kao što se može vidjeti iz gornje jednačine, P kontrola osigurava linearni odnos između pogreške sistema i izlaza regulatora. Regulator izračunava razliku između zadane vrijednosti i signala i šalje tu vrijednost algoritmu. Algoritam određuje radnju koju bi kontroler trebao poduzeti. Grafički prikaz izlaza P-regulatora za trenutni skok ulaza (signal greške e(t) u obliku jednačine odskočne funkcije) u trenutku t_0 prikazan je na slici ispod (slika 2.2). Preporučeno je da K_p bude veće od jedinice. Ako je vrijednost K_p veća od jedinice, tada će se pojačati signal pogreške, a samim tim lako i detektovati [4].



Slika 2.2: Odziv P regulatora na trenutnu pobudu

U nastavku će se razmotriti neke prednosti proporcionalnog regulatora. Proporcionalni regulator je lako odabratи jer je potrebno ugoditi samo jedan parametar. Karakterиše ga dobra i stabilnost. Također, uz pomoć ovih kontrolera može se ubrzati spor odziv sistema. S druge strane, postoje i neki ozbiljni nedostaci ovih kontrolera. Zbog njihovog prisustva dobijamo neka odstupanja u sistemu, tj. nakon djelovanja regulatora uvijek postoji razlika između željene i stvarne vrijednosti izlazne veličine. Oni takođe povećavaju maksimalno prekoračenje sistema. Ovaj kontroler zahtijeva namještanje ili ručno resetiranje kada se koristi sam. To je zato što nikada ne dostiže stabilno stanje. Pruža stabilan rad, ali uvijek održava grešku stabilnog stanja (slika 2.3).



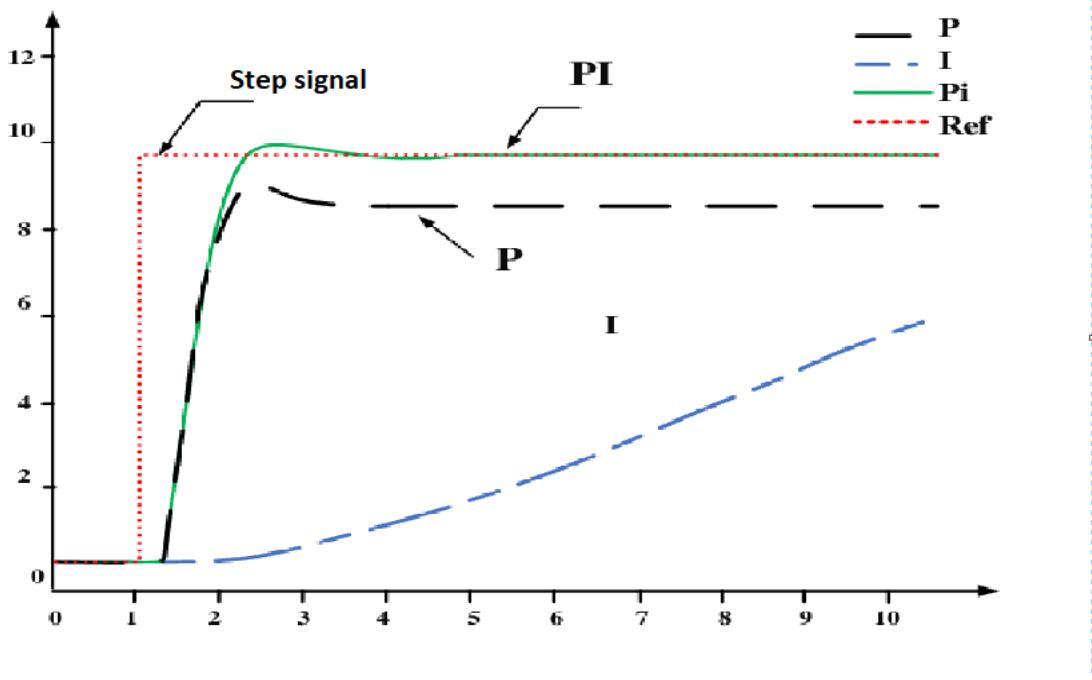
Slika 2.3: Problem sa upravljanjem kod korištenja proporcionalnog regulatora

Zbog ograničenja P-regulatora gdje uvijek postoji pomak između procesne varijable i zadane vrijednosti, potreban je I-regulator, koji obezbeđuje neophodnu akciju za eliminaciju greške stacionarnog stanja. Integrira grešku u određenom vremenskom periodu dok vrijednost greške ne dostigne nulu. Proporcionalno povezuje grešku $e(t)$ sa brzinom promjene upravljačke promjenjive $u(t)$. Ovo ponašanje I-kontrolera je matematički ilustrovano relacijom [3]:

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t u(t) dt \quad (2.3)$$

Parametri u relaciji 2.3 respektivno predstavljaju izlaz regulatora (u), integralno vrijeme (T_i) i grešku (e). U relaciji 2.3, integralno vrijeme je količina vremena koja je potrebna regulatoru da promijeni svoj izlaz za vrijednost jednaku grešci.

Mana ovog regulatora je što povećava inertnost sistema. Njime se uspješno otklanja greška stacionarnog stanja, ali sistem sporije djeluje na ulaze. U većini slučajeva, I regulator se koristi posebno tamo gdje nije potreban brzi odziv. Oni mogu vratiti kontroliranu varijablu na tačnu zadatu tačku nakon poremećaja, zbog čega su poznati kao reset regulatori. Međutim, imaju tendenciju da učine sistem nestabilnim jer sporo reaguju na proizvedenu grešku. Na slici ispod (slika 2.4), mogu se uočiti odzivi sistema na odskočni ulazni signal, za različite vrste regulatora.



Slika 2.4: P, I i PI regulator i njihovi odzivi

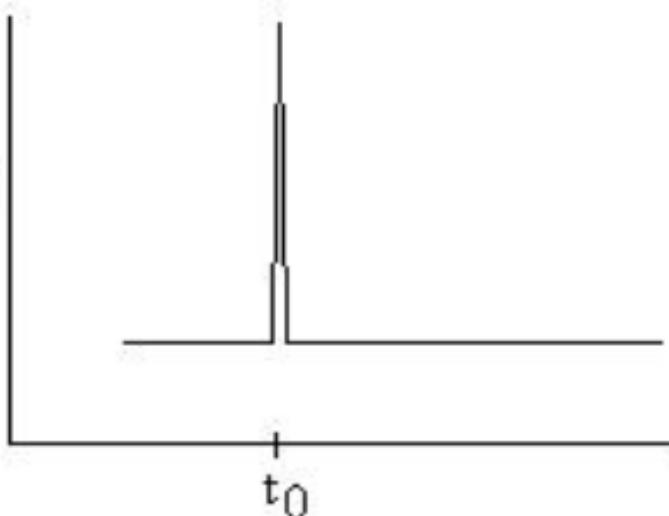
Interesantan je pojam 'Integral Windup'. Ovo predstavlja problem regulacije, a javlja se kad se greška integrira nekontrolisano. Dešava se kada se akumuliraju iznosi greške koji su previšani. Aktuator tada dobija signal maksimalne greške. Rezultat toga je nestabilan sistem. Rješenje se lako nalazi ako se integrator ograniči na vrijednost nakon koje se greška ne integriira.

Preostaje da se pojasni i treća komponenta. I-kontroler nema sposobnost predviđanja budućeg ponašanja pogreške, tako da normalno reaguje nakon promjene zadane vrijednosti. D-kontroler prevladava ovaj problem predviđanjem budućeg ponašanja greške. Poboljšava stabilnost sistema kompenzacijom faznog kašnjenja uzrokovanih I-kontrolerom. Povećanjem T_d povećava se i brzina odgovora [5]. Kao što i naziv sugerira u deriviranom regulatoru izlaz (koji se također naziva pokretački signal) izravno je proporcionalan derivaciji signala pogreške. Ovo ponašanje D-regulatora matematički se opisuje kao [3]:

$$u(t) = T_d \cdot \frac{du(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Parametri u relaciji 2.4 respektivno predstavljaju izlaz regulatora (u), derivativnu vremensku konstantu (T_d) i grešku (e). Derivativni regulator nikad se ne koristi samostalno, već ga treba koristiti u kombinaciji s drugim kontrolerima zbog nekoliko nedostataka. On nikada ne koriguje pogrešku stabilnog stanja, a dodatno proizvodi efekte zasićenja i također pojačava signale šuma proizvedene u sistemu.

Izlaz D regulatora



Slika 2.5: Odziv D regulatora na trenutnu pobudu

Kao što je prikazano u gornjoj jednačini 2.1, PID regulacija je kombinacija sve tri vrste upravljanja. PID kontrola se ne može koristiti u procesima u kojima ima puno buke, budući da bi buka ometala prediktivni aspekt. Međutim, PID kontrola se koristi kada proces mora biti precizan i imati jako brz odziv odziva. Neke od aplikacija uključuju kontrolu brzine motora, kontrolu temperature, kontrolu pritiska, kontrolu protoka, razinu tečnosti itd.

U industrijskim okruženjima nije praktično sprovoditi sva neophodna istraživanja, kao ni eksperimente za dobivanje detaljnog, preciznog matematičkog modela procesa. Ovo za posljedicu ima nemogućnost podešavanja parametara regulatora koristeći isključivo matematski aparat, već iziskuje i praktična mjerena parametara sistema. Postavlja se pitanje postojanja sistematskog postupka odabira vrijednosti parametara PID regulatora, imajući na umu maločas postavljena ograničenja. Značajan doprinos u ovom području su dali američki istraživači Zigler i Nikols, kao i ruski istraživač Rotač [6]. U stranicama koje slijede bit će dati neki od načina sistematskog biranja parametara PID regulatora. PID regulatori se često koriste za upravljanje statičkih objekata prvog reda, stoga će se u nastavku obraditi upotreba regulatora na ovoj klasi sistema. Statički objekat prvog reda se definiše kao sistem čija je prenosna funkcija data sa relacijom 2.5.

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s} \quad (2.5)$$

gdje je: $G(s)$ = Prenosna funkcija sistema

K = Koeficijent pojačanja

T = Vremenska konstanta

τ = Vrijeme kašnjenja

PID regulator se sa ovakvim sistemom vezuje u negativnu povratnu spregu. Negativna sprega mijenja prenosnu funkciju na osnovu obrazca datog jednačinom 2.6.

$$G_{ekv} = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \quad (2.6)$$

Kao posljedica ove činjenice, prenosna funkcija cijelog sistema da se predstaviti kao 2.7 (vrijeme kašnjenja je zanemareno)[7].

$$G_{ekv} = \frac{\frac{(K_p \cdot s + K_I + K_d \cdot s^2)K}{T + K_d \cdot K}}{s^2 + s \cdot \frac{1 + K_p \cdot K}{T + K_d \cdot K} + \frac{K_I \cdot K}{T + K_d \cdot K}} \quad (2.7)$$

gdje je: $G(s)$ = Prenosna funkcija sistema

K_p = Koeficijent pojačanja P komponente regulatora

K_I = Koeficijent pojačanja I komponente regulatora

K_d = Koeficijent pojačanja D komponente regulatora

Iz ovoga slijedi da je

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_I \cdot K}{\tau + K_d \cdot K}} \quad (2.8)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{1 + K_p \cdot K}{\sqrt{(\tau + K_d \cdot K)(K_I \cdot K)}} \quad (2.9)$$

gdje je: ξ = Faktor prigušenja

ω_n = Prirodna učestanost

Evidentno je da je promjenom parametara regulatora vrlo jednostavno upravljati odzivom cjelokupnog sistema. Primjer upravljanja manipulacijom varijabli regulatora jeste njihova promjena s ciljem smanjenja vremenske konstante sistema, maksimalnog prebačaja [7]. U poglavljiju 6. bit će opisan postupak tempiranja regulatora u svrhu regulacije konkretnog statičkog objekta prvog reda. Upotreba PID kontrolera na ovakve sisteme je poprilično zastupljena, tako da je poznavanje postupka odabira parametara od velike koristi. Kada se govori o podešavanju parametara PID regulatora moguće je izdvojiti nekoliko metoda.

- **Eksperimentalno podešavanje**

Veoma se često koristi i podrazumijeva ručno podešavanje parametara regulatora dok se ne postigne željeno ponašanje. Postupak se dominantno zasniva na subjektivnom osjećaju automatičara.

- **Podešavanje na temelju prethodno obavljenih simulacijskih eksperimenata**

U suštini princip dolaženja do vrijednosti parametara je isti kao za prethodno navedenu metodu, izuzev toga da se eksperiment ne vrši na stvarnom, fizičkom sistemu, već u simulacijskom okruženju.

- **Analitičko podešavanje**

Za upotrebu ovog načina potrebno je imati detaljan i precizan matematički model koji vjerodostojno opisuje dinamiku sistema. Ako je ovaj uslov zadovoljen, tada se upotrebljavaju neke od provjerenih postupaka sinteze iz područja algebarske teorije sistema u svrhu pronalaska parametara regulatora.

- **Automatsko podešavanje**

Noviji je način podešavanja i obavlja se u stvarnim uslovima rada sistema. Eksperiment s procesom u zatvorenom krugu obavlja se potpuno automatizirano i na temelju dobivenih parametara iz eksperimenta računaju se parametri regulatora koji se nakon toga automatski i postavljaju.

- **Samopodešavanje**

Jedan od složenijih načina stalnog podešavanja parametara regulatora tokom rada sistema. Ovo zahtjeva stručno znanje korisnika. Koristi se za vremenski promjenljive procese te se ubraja u adaptivno upravljanje.

Ovisno o režimu rada odabir parametara bi trebao da ima dvojak uticaj na sistem:

- brz odziv na promjenu referentne veličine sa što manjim prebačajem i vremenom smirivanja i
- brz oporavak od poremećaja što podrazumijeva brzi povratak na stacionarno stanje u kojem se sistem nalazio prije poremećaja [8].

Postupak podešavanja parametara regulatora je dosta mukotrpan, pogotovo ako projektant nema prijašnjeg iskustva sa ovim. Stoga vrijedi istaći neke metode podešavanja: Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien-Hrones-Reswick te podešavanje po IMC postupku [8].

2. Podešavanje po Ziegler-Nicholsu

Korištenjem ove metode postići će se dizajniranje sistema koji je podešen za režim stabilizacije a ne za režim slijedenja referentne veličine [8]. To znači da regulatori mogu dobro otkloniti utjecaj poremećaja koji djeluju na sistem uslijed rada, ali da slabo prate promjene referentne veličine. Ovako podešeni regulatori se koriste u procesnoj industriji i služe za održavanje neke radne tačke. Dva eksperimenta koja pružaju uvid u svojstva procesa su:

- eksperiment u otvorenom krugu - snimanje prelazne karakteristike procesa
- eksperiment u zatvorenom krugu – dovođenje sistema u režim oscilacija (primjenljivo samo za sisteme drugog reda i višeg)

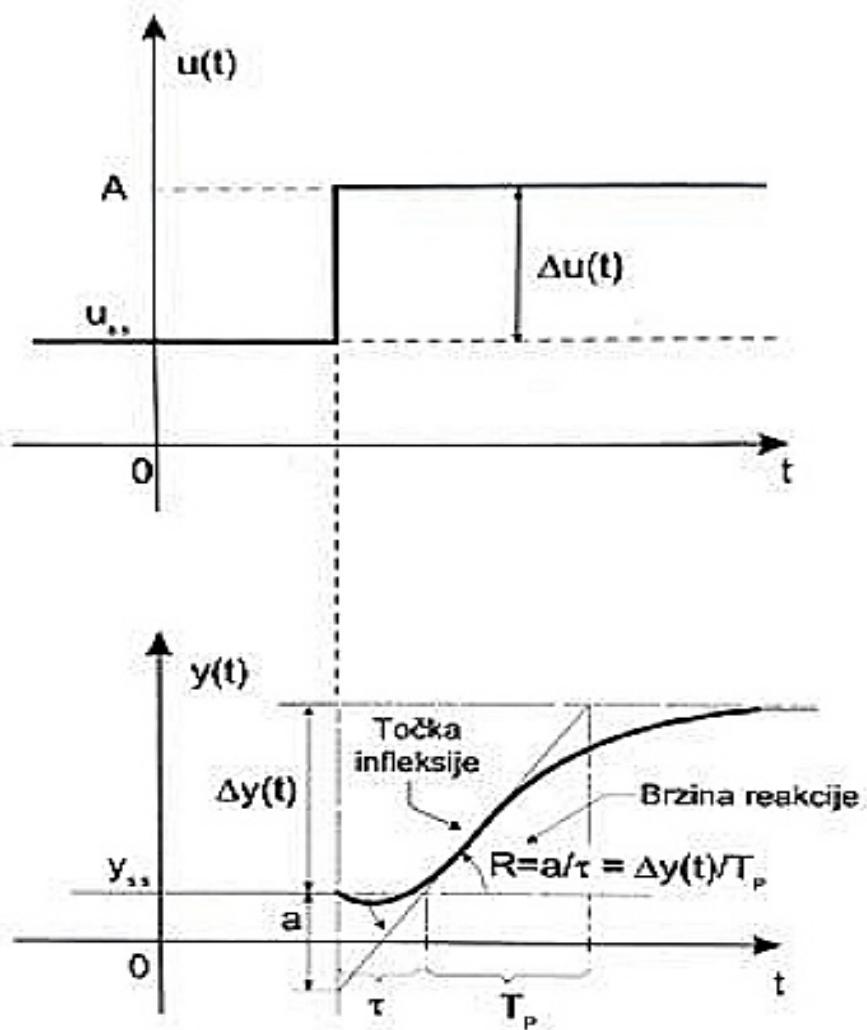
2.1 Eksperiment u otvorenom krugu

Dovođenjem skokovite promjene amplitude A, moguće je odrediti vremensku konstantu procesa, koeficijent statickog pojačanja, kao i kašnjenje procesa, što se može vidjeti na slici 2.6. Prethodno izloženi eksperiment neće raditi za:

- Sisteme čija prelazna funkcija nije monotona
- Procese sa astatizmom prvog reda
- Nestabilne procese

U tabeli 2.1 su navedene preporučene vrijednosti parametara, pri čemu se vodi računa da se ovaj metod odabira parametara koristi kod sistema za koje vrijedi 2.10:

$$0.1 < \frac{\tau}{T_p} < 1 \quad (2.10)$$



Slika 2.6: Eksperiment u otvorenom krugu – odziv na skokovitu pobudu [8]

Tabela 2.1: Preporuke parametara po Ziegler-Nicholsovom kriteriju- otvoren krug

Ziegler-Nicholsove preporuke A			
Tip regulatora	K	T_i	T_d
P	$1/a$	/	/
PI	$0.9/a$	3τ	/
PID_{par}	$1.2/a$	2τ	$\tau/2$
PID_{ser}	$0.6/a$	τ	τ

2.2 Eksperiment u zatvorenem krugu

Posmatrani sistem se zatvori jediničnom povratnom spregom i dalje se vrši eksperiment određivanja ključnih parametara. Eksperiment je provediv i za nestabilne i za stabilne procese. Komponente regulatora I i D se odspaje i uz pomoć P komponente nastoji se zaoscirirati sistem. Nakon uspostavljanja oscilacija konstantne amplitude, određuje se period oscilacija T_u i kritično pojačanje regulatora K_u (pojačanje regulatora koje je izazvalo oscilacije sa konstantnom

amplitudom). U tabeli 2.2 mogu se vidjeti preporučene vrijednosti parametara za odgovarajuće tipove regulatora.

Tabela 2.2: Preporuke parametara po Ziegler-Nicholsovom kriteriju - zatvoreni krug

Ziegler-Nicholsove preporuke A			
Tip regulatora	K	Ti	Td
P	$0.5K_u$	/	/
PI	$0.45K_u$	$0.833T_u$	/
PID _{par}	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$
PID _{ser}	$0.6K_u$	$6/T_u$	$1/T_u$

Kriterij za korištenje ovog modusa je dat sa 2.11.

$$2 < \gamma < 20 \quad (2.11)$$

gdje je: $\gamma = K_p \cdot K_u = \text{Proizvod pojačanja}$

3. Podešavanje po Cohen-Coonu

Za slučaje kod kojih vrijedi $\frac{\tau}{T_p} > 1$ koristi se ovaj metod. Tabela je data u nastavku:

Tabela 2.3: Preporuke po Cohen-Coonu

Ziegler-Nicholsove preporuke A			
Tip regulatora	K	Ti	Td
P	$\frac{1}{K_p}(0.35 + \frac{1}{\mu})$	/	/
PI	$\frac{1}{K_p}(0.083 + \frac{0.9}{\mu})$	$\frac{3.3+0.31\mu}{1+2.2\mu}\tau$	/
PID _{par}	$\frac{1}{K_p}(0.16 + \frac{1.24}{\mu})$	/	$\frac{0.27-0.088\mu}{1+0.13\mu}\tau$
PID _{ser}	$\frac{1}{K_p}(0.25 + \frac{1.35}{\mu})$	$\frac{2.5+0.46\mu}{1+0.61\mu}\tau$	$\frac{0.37}{1+0.19\mu}\tau$

4. Podešavanje po Chien-Hrones-Reswicku (CHR)

U procesnoj industriji parametri se nerijetko podešavaju po CHR-ovima preporukama [8]. Ono što je specifično za ovu metodu jeste da, pored što ona predlaže parametre regulatora, ona također nudi i način izbora regulatora koji se može koristiti. U tabeli 2.4 se vide preporuke za izbor tipa regulatora, dok se u 2.5 i 2.6 vide preporuke za sistem kod kojeg je prelazna karakteristika zatvorenog kruga aperiodska i sistem kod kojeg je prelazna karakteristika oscilatorna sa prebačajem od 20%, respektivno.

Tabela 2.4: CHR preporuke za izbor tipa regulatora

Tip regulatora	$R = \frac{T_t}{\tau} = \frac{1}{\mu}$
P	$R > 10$
PI	$7.5 < R < 10$
PID_{par}	$3 < R < 7.5$
Višeg reda	$R < 3$

Tabela 2.5: CHR preporuke za aperiodski odziv

CHR preporuke za aperiodski odziv			
Tip regulatora	K	T _i	T _d
P	$0.3R/K_p$	/	/
PI	$0.35R/K_p$	$1.2T_p$	/
PID_{par}	$0.6R/K_p$	T_p	0.5τ

Tabela 2.6: CHR preporuke za 20%-tno nadvišenje

CHR preporuke za 20%-tno nadvišenje			
Tip regulatora	K	T _i	T _d
P	$0.7R/K_p$	/	/
PI	$0.6R/K_p$	T_p	/
PID_{par}	$0.95R/K_p$	$1.35T_p$	0.47τ

5. Podešavanje po IMC postupku

Podešavanje regulatora koristeći ovu metodu ovisi samo od željene vremenske konstante zatvorenog sistema upravljanja T_z . Prvo se eksperimentom u otvorenom krugu odrede parametri K_p , T_p i τ , a zatim se projektira IMC regulator koji se može interpretirati kao PID regulator sa parametrima koji se dobivaju iz relacija 2.12, 2.13 i 2.14.

$$K = \frac{2T_p + \tau}{2K_1 p(T_z + \tau)} \quad (2.12)$$

$$T_i = T_p + \frac{\tau}{2} \quad (2.13)$$

$$K = \frac{\tau T_p}{\tau + 2T_p} \quad (2.14)$$

Ovaj metod se koristi kada je zadovoljen uslov 2.15.

$$\frac{T_z}{\tau} > 0.25 \quad (2.15)$$

Prethodno navedeni postupci su podrazumijevani kao alati za podešavanje parametara analognog PID regulatora. Za podešavanje digitalnog PID regulatora se koriste više-manje isti postupci. Postoje i neke od metoda koje su namjenjene za podešavanje digitalnih PID regulatora, od kojih se ističe Dahlinov i Takahashi postupak [8]. Budući da je već naveden adekvatan broj metoda, posljednje dvije metode neće biti opisane u sklopu ovog rada.

6. Zadatak 2

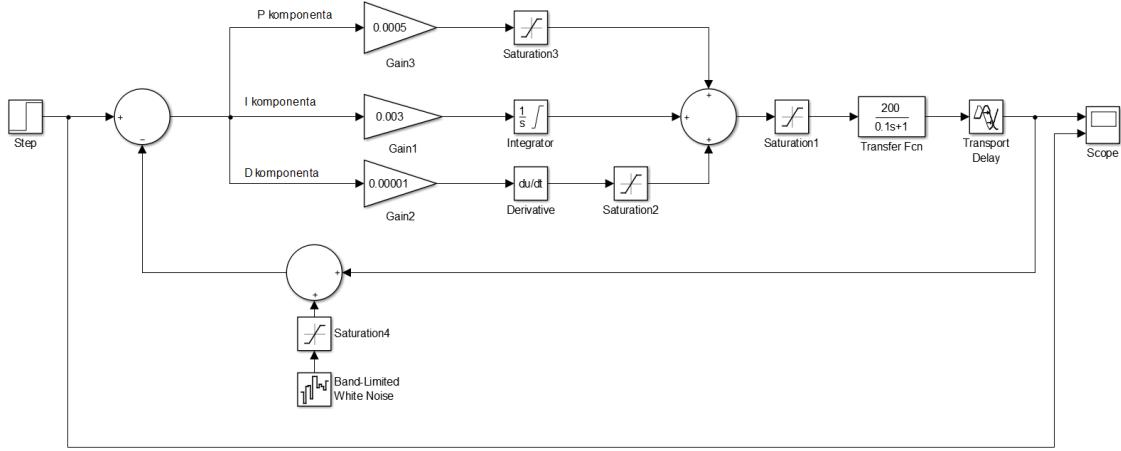
Za objekat prvog reda određen prenosnom funkcijom oblika

$$G(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s} \quad (2.16)$$

Konkretnе vrijednosti svakog od parametara dodijeljenje ovome timu uvrštene u relaciju daju sljedeću prenosnu funkciju:

$$G(s) = \frac{200}{0.1 \cdot s + 1} \cdot e^{-0.4 \cdot s} \quad (2.17)$$

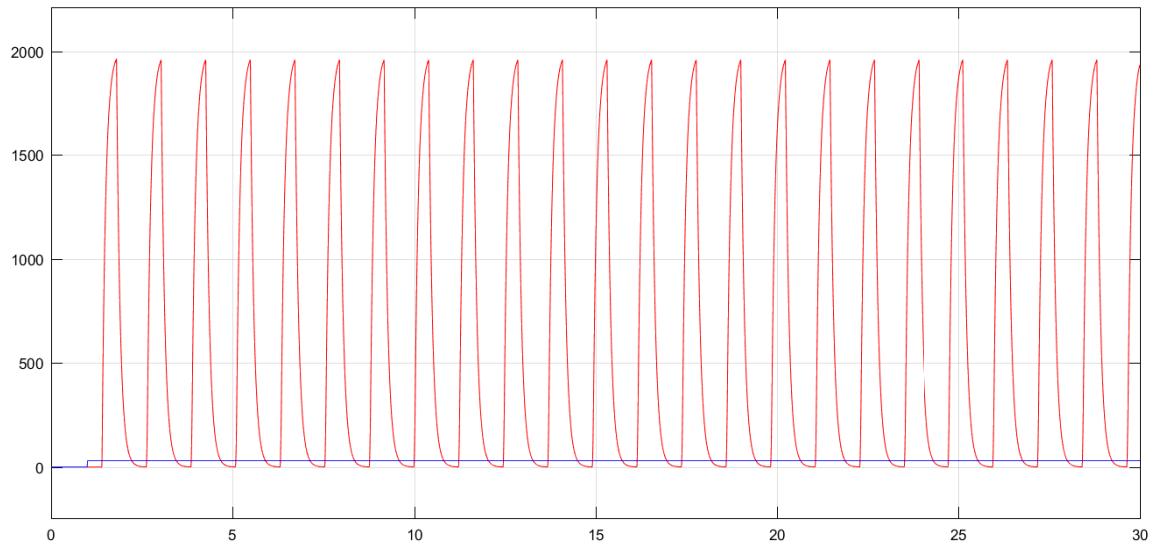
Za prenosnu funkciju opisanu relacijom 4.5 potrebno je podesiti parametre PID regulatora kroz simulaciju u softverskom alatu MATLAB. Kod modeliranja je dodatno potrebno dodati šum u povratnu granu sa iznosom vrijednosti u rasponu od 0 do 0.5 (zadato postavkom zadaće). Podešenje parametara PID regulatora vršeno je postepeno, prvo P pa I i na kraju D komponenta, što će se moći primijetiti po odzivima. Prikaz Simulink modela dat je samo za finalnu postavku gdje su uključena sva tri parametra i prikazan je na slici 2.7, ali će niz dijagrama prikazati uskcesivno podešavanje parametara. Na ulaz sistema dovodi se step funkcija, u granu s povratnom vezom dodan je šum da simulira realni šum senzora koji se uvijek pojavljuje pri očitavanjima, te su korišteni blokovi saturacije postavljeni na gornju granicu u vrijednosti 10, kako potreban napon za regulaciju nikada ne bi prešao vrijednost napajanja sistema.



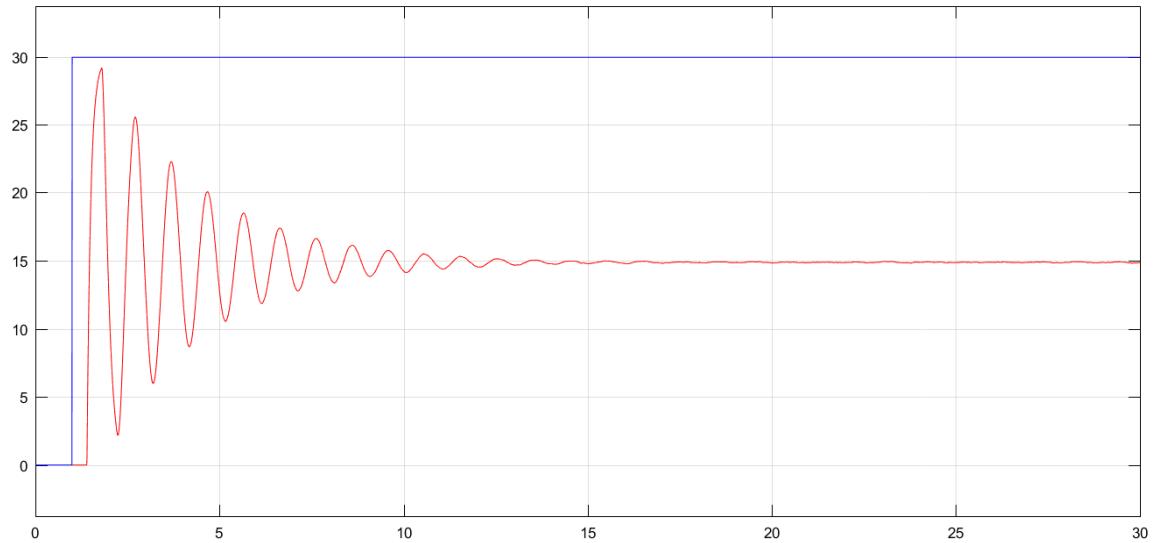
Slika 2.7: Simulink model korišten za postavljanje parametara PID regulatora

Za određivanje prvo parametra K_p P komponente PID regulatora potrebno je razmisiliti o vrijednosti greške koja se može tolerisati pri regulaciji kao i o maksimalnom naponu napajanja sistema. Kako je u pitanju motor, pretpostaviti ćemo da radi sa naponom u opsegu od 0 V do 10 V (budući da su na raspolaganju dva sistema motora sa različitim naponima napajanja, sve do dolaska u laboratoriju ne može se sigurno tvrditi da li je na ubuduće korištenom sistemu tačno taj napon, ali s ovim odabirom neće se pogriješiti), te da je greška od 1 Hz ona koja je prihvatljiva. Stoga proizvod našeg odabranog K_p i greške mora biti manji ili jednak maksimalnoj vrijednosti napona, tj. 10 V, iz čega slijedi da je gornja granica K_p jednaka broju 10. Kako je praksa da se uzima otprilike 10 % vrijednosti gornje granice, prvo je ispitati odziv sa parametrom $K_p = 1$, što prikazuje slika 2.8. Sa slike je lako uočiti da je odziv nepoželjnog oblika i višestruko veće vrijednosti amplitude, te je intuitivno pokušati smanjiti parametar. To je i urađeno, i to 200 puta,

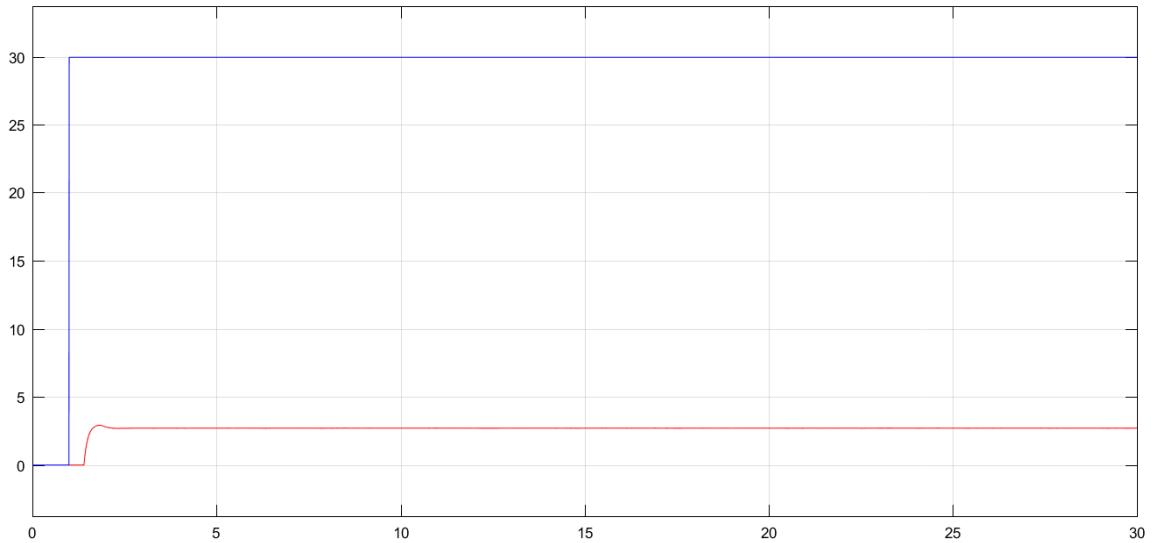
kako je vrijednost K u zadatoj prenosnoj funkciji upravo 200. Za tu vrijednost parametra K_p dobijen je odziv prikazan na slici 2.9, gdje se vidi da je odziv oscilatornog oblika na početku, a oscilacije se kasnije prigušuju. Zbog toga je isprobana 10 puta manja vrijednost parametra K_p i odziv ilustruje slika 2.10. Na njoj je već u pitanju bolji oblik odziva, a manju amplitudu će nadomjestiti sljedeće podešavanje I parametra regulatora.



Slika 2.8: Odziv za $K_p = 1$, $K_i = 0$ i $K_d = 0$

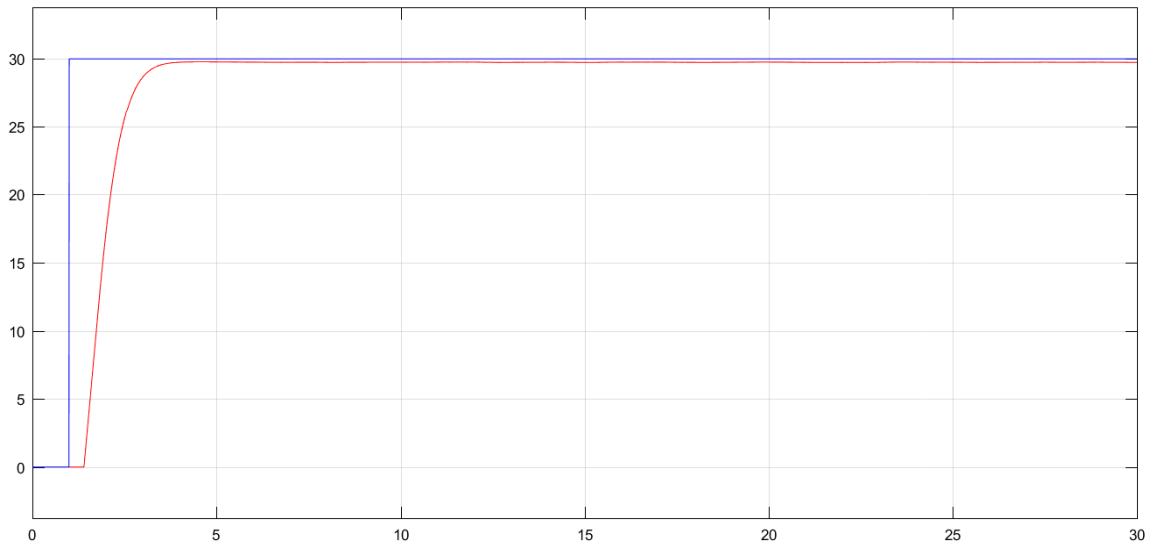


Slika 2.9: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0$ i $K_d = 0$

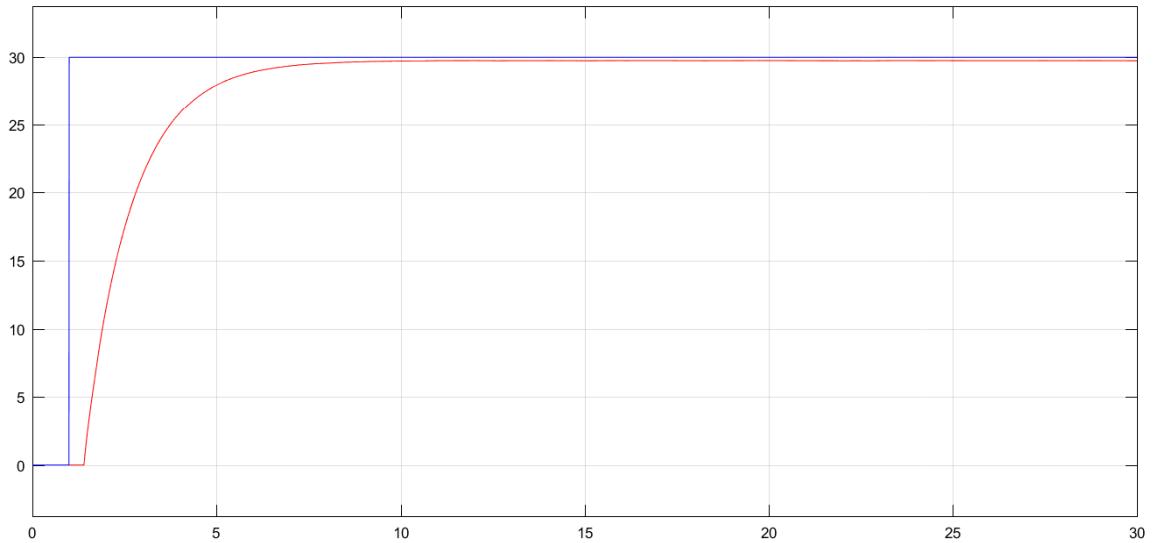


Slika 2.10: Odziv za $K_p = 0.0005$, $K_i = 0$ i $K_d = 0$

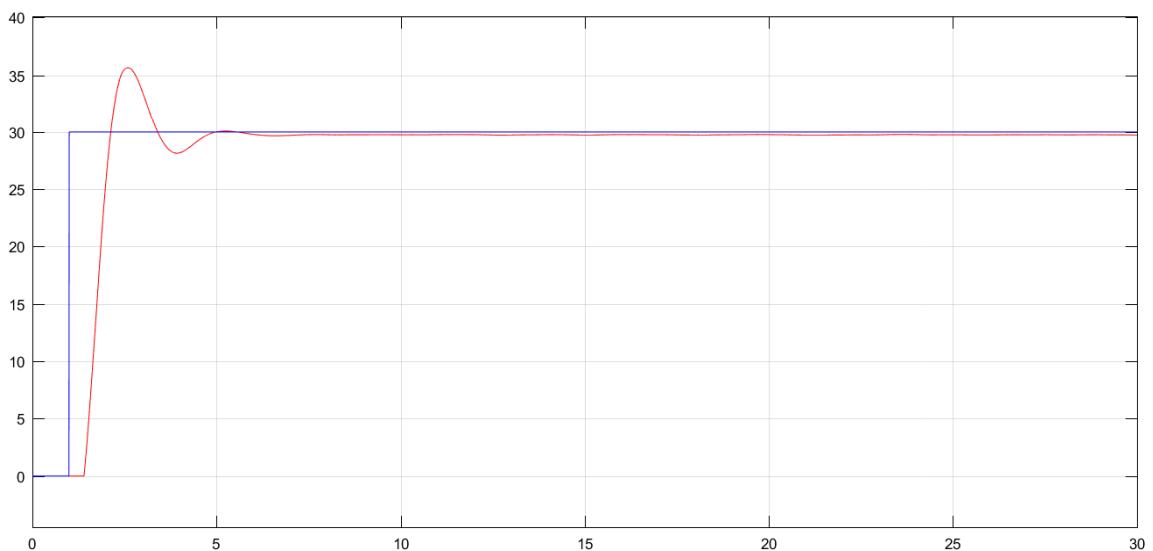
Za prvi pokušaj postavljanja parametra K_i uzeta je 10 puta veća vrijednost od parametra K_p , odnosno 0.05. Odziv za te dvije vrijednosti prikazan je na slici 2.11. Iako izgleda zadovoljavajuće i dostiže stacionarno stanje uz grešku manju od one koja je određena kao gornja vrijednost, isprobano je još nekoliko parametara da bi se donio zaključak na osnovu poređenja. Za vrijednost 0.03 primijeti se da je odziv nešto sporiji (slika 2.12) dok za vrijednosti veće od 0.05 (npr. 0.08) postoji preskok koji ne odgovara (prikazuje slika 2.13).



Slika 2.11: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.05$ i $K_d = 0$

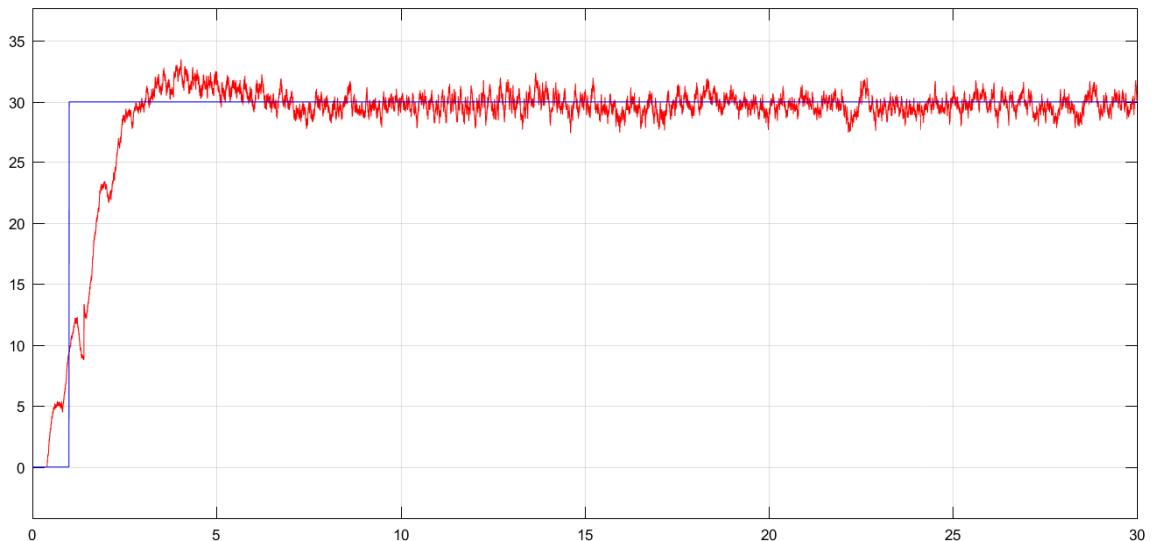


Slika 2.12: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.03$ i $K_d = 0$

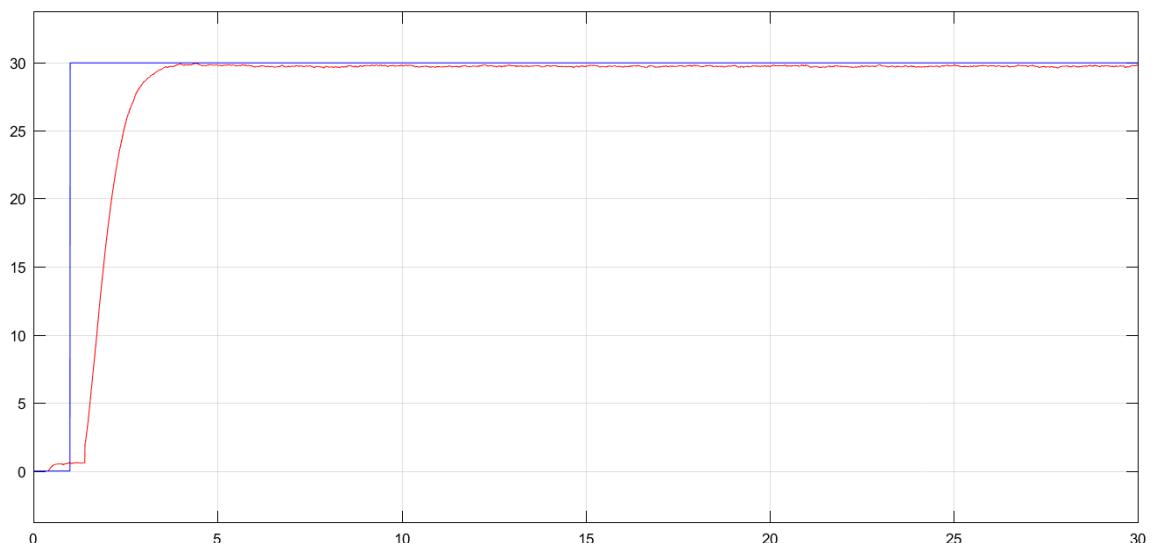


Slika 2.13: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.08$ i $K_d = 0$

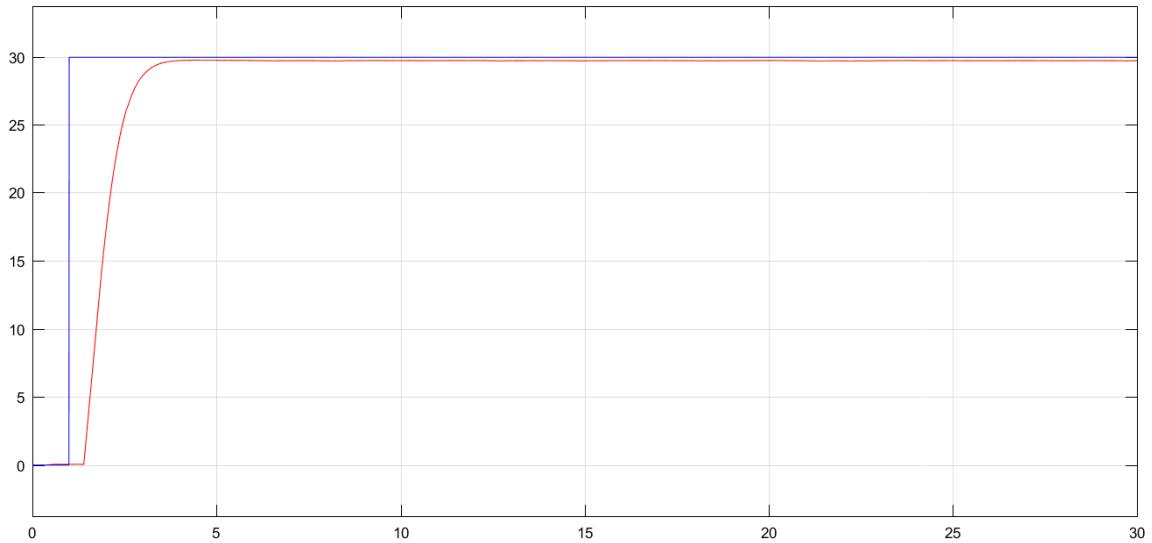
Posljednji parametar koji se dodaje regulatoru je K_d parametar D komponente. Prvi izbor je bio parametar deset puta manji od vrijednosti K_i komponente, odziva prikazanog na slici 2.14. Vidljivo je da je to loš odabir zbog velike vrijednosti šuma koja je neprihvatljiva. Za deset puta manje vrijednosti pri odzivu je prisutan šum, što ilustruje slika 2.15. Uzimanjem deset puta manje vrijednosti postignut je odziv bez šuma, kao što se vidi na slici 2.16.



Slika 2.14: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.05$ i $K_d = 0.005$



Slika 2.15: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.03$ i $K_d = 0.0001$

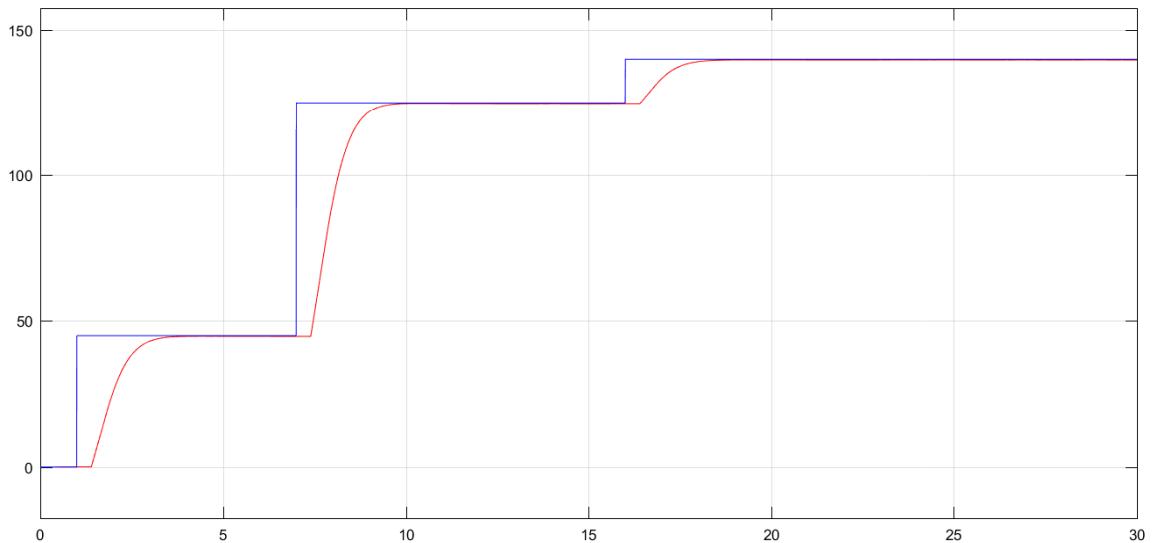


Slika 2.16: Odziv za $K_p = 0.005$, $K_i = 0.08$ i $K_d = 0.00001$

Finalne vrijednosti parametara PID regulatora su:

$$\begin{aligned} K_p &= 0.0005 \\ K_i &= 0.005 \\ K_d &= 0.00001 \end{aligned} \tag{2.18}$$

Da bi se još ispitalo da li će ovako postavljeni parametri vjerodostojno pratiti ulaz sistema, testiran je slučaj slanja step funkcije različitih amplituda i početka djelovanja i dobijen odziv kao na slici 2.17, što pokazuje da su parametri dobro odabrani.



Slika 2.17: Odziv sistema na tri step funkcije

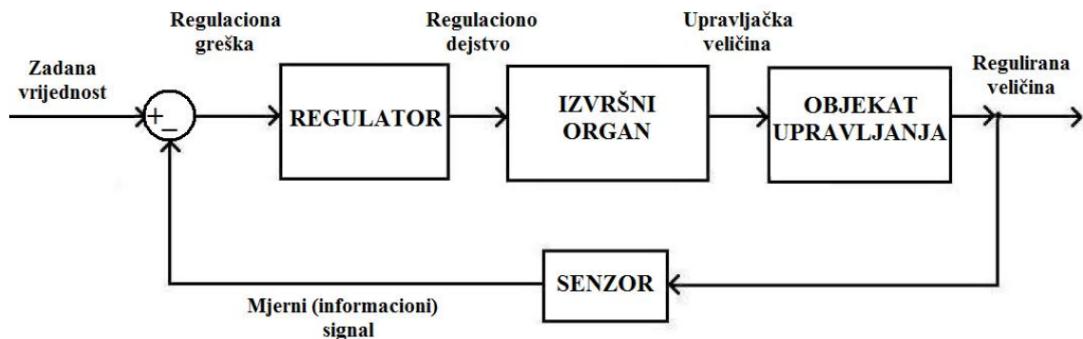
Poglavlje 3



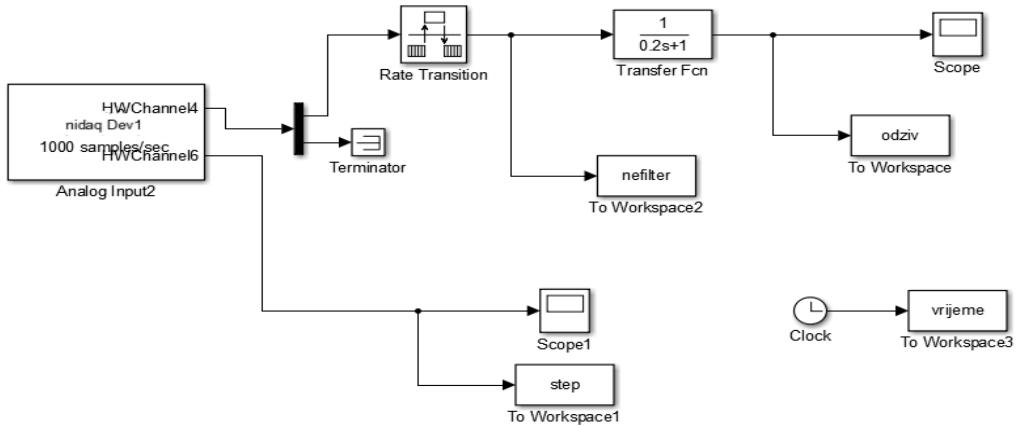
Realizacija vježbe

Da bi se uspješno moglo upravljati sistemom, njegove osobine moraju biti poznate tj. sistem se mora identificirati. Sistem koji se razmatra za projektni zadatak i kojim treba upravljati sastavljen je od linearog pojačala, DC motora i tahogeneratora. Sistem je moguće prikazati blok dijagramom datim na slici 3.1. Senzor u sistemu upravljanja pomoću kojeg dobijamo informaciju o trenutnoj brzini je tahogenerator spojen na osovinu DC motora. Relacija 3.1 daje vezu između brzine motora i napona. Snimljen je odziv sistema na step amplitude 10V uz korištenje akvizicijske kartice NI 6024 i jednostavnog simulacionog modela kreiranog u Simulinku prikazanom na slici 3.2.

$$E = \frac{v}{60} \quad (3.1)$$

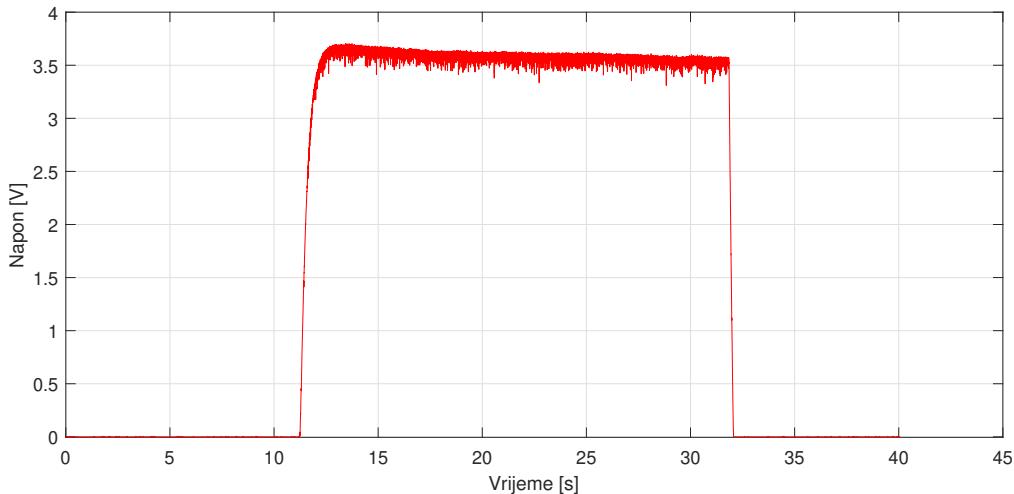


Slika 3.1: Blok dijagram upravljanja DC motorom [9]



Slika 3.2: Simulink model korišten za snimanje odziva

Model kreiran u Simulinku radi sa dva kanala akvizicijske NI kartice. Sa jednog se snima step signal amplitude 10V, a sa drugog odziv sistema na takav step. Pored standarnih blokova kao što su blok za grafički prikaz snimljenog odziva (engl. *Scope*) i blok za slanje podataka u MATLAB prostor za rad (engl. *To Workspace*) korišten je i filter predstavljen blokom prenosne funkcije (engl. *Transfer Function*) te blokovi terminadora (engl. *Terminator*) i blok stope tranzicije (engl. *Rate Transition*). Blok terminadora korišten je za zatvaranje izlaza koji se dalje ne veže na druge elemente, kako se ne bi javljalo upozorenje o grešci, dok je blok tranzicije tu da pomogne u prenosu podataka s izlaza bloka, koji radi jednom brzinom, do ulaza drugog bloka koji radi drugom brzinom. Snimljeni odziv motora prikazan je na slici 3.3.



Slika 3.3: Odziv sistema sa DC motorom

Daljnji koraci obrade mjernih rezultata podrazumijevati će proračun konstanti koje opisuju sistem u vidu prenosne funkcije.

Poglavlje 4



Obrada mjernih rezultata

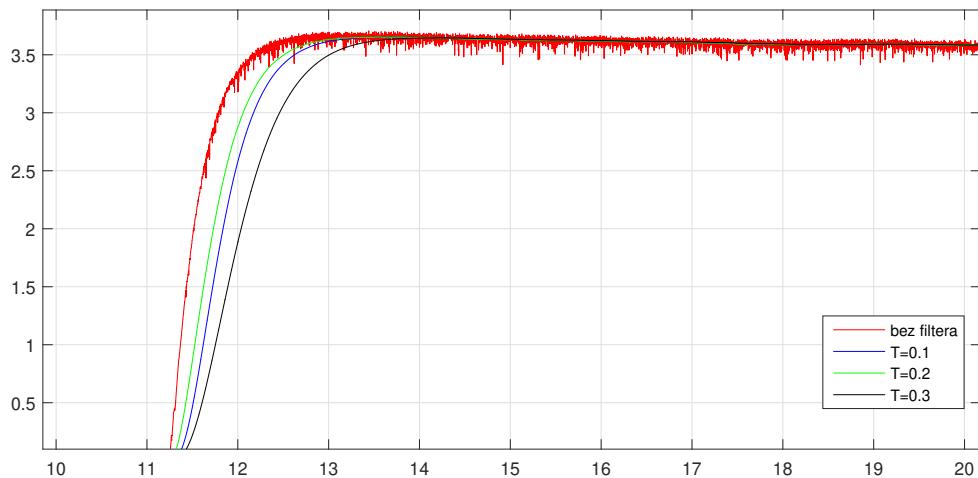
Sistem DC motora opisuje prenosna funkcija oblika datog relacijom 2.16. Sve nepoznate koeficijente potrebno je odrediti obradom podataka dobivenih na laboratorijskoj vježbi. Prvi korak u obradi svih informacija je filtriranje signala zbog šuma koji je prisutan. Filter je simuliran u vidu prenosne funkcije kroz alat Simulink vrlo jednostavnim modelom, koji se sastoji od par blokova:

- blok koji podatke iz radnog prostora dovodi u Simulink (engl. *From Workspace*),
- blok prenosne funkcije koji simulira filter (engl. *Transfer Function*),
- blok koji filtrirane podatke spremi u radni prostor (engl. *To Workspace*).

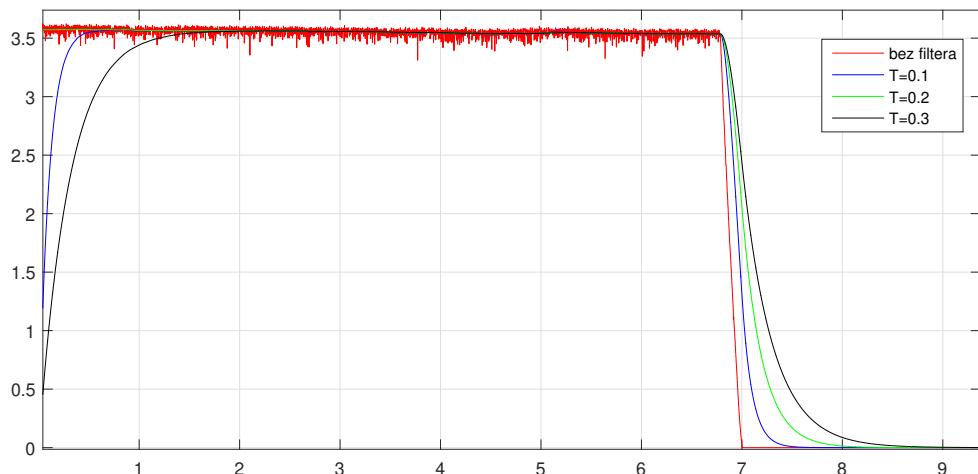
Oblik prenosne funkcije filtera prikazan je relacijom 4.1. Obzirom na snimljeni signal, uporediti će se djelovanje tri različita filtera, $T_1 = 0.1$, $T_2 = 0.2$ i $T_3 = 0.3$.

$$G(s) = \frac{1}{Ts + 1} \quad (4.1)$$

Kako bi se filter što adekvatnije odredio, snimljeni odziv je podijeljen u dva dijela: ulazni(paljenje motora) prikazan na slici 4.1 i silazni(gašenje motora) na slici 4.2. Sa slika se da primijetiti da su u stacionarnom stanju djelovanja sva tri filtera podudarna, te da u oba slučaja zeleni filter naj-približnije prati karakteristiku odziva (u drugom slučaju je zapravo on i jedini koji prati odziv od samoga početka), tako da je $T=0.2$ odabrana vrijednost za filtriranje podataka.

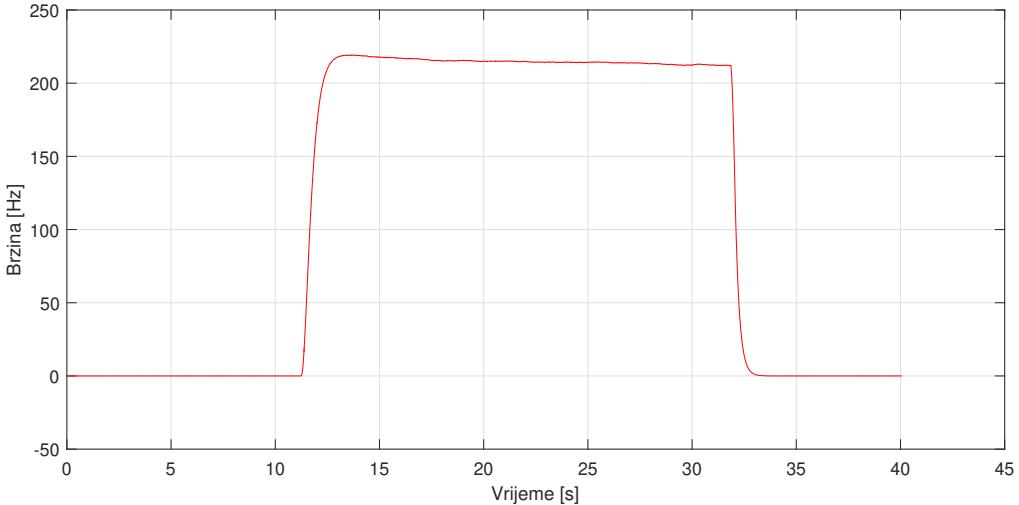


Slika 4.1: Djelovanje filtera uzlazno



Slika 4.2: Djelovanje filtera silazno

Za dobivanje vrijednosti brzine dovoljno je samo pomnožiti snimljeni odziv sa 60. Tako filtriran odziv sada ima oblik prikazan na slici 4.3 i bit će korišten nadalje za određivanje prenosne funkcije cijelog sistema. Kako je odziv step funkcije poprilično čistog oblika nema potrebe za njegovim filtriranjem.



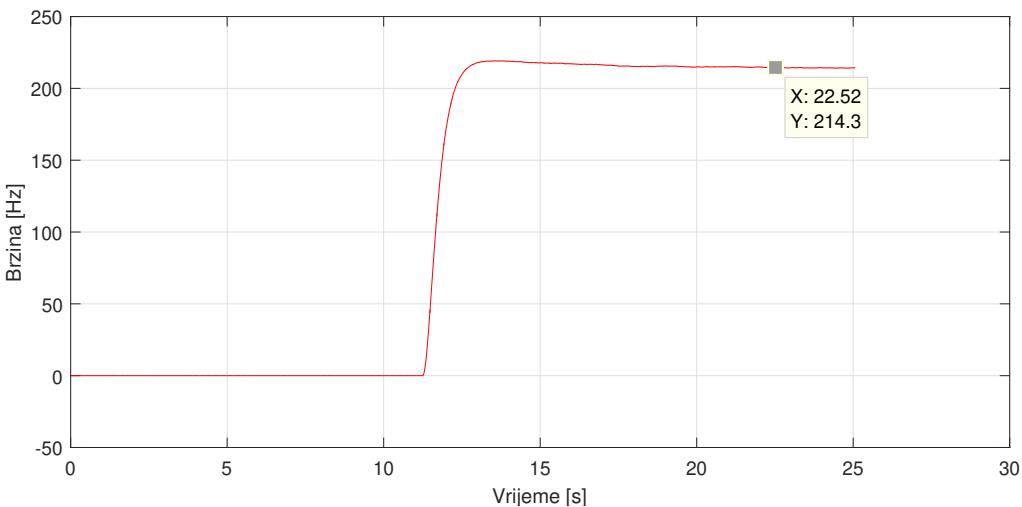
Slika 4.3: Odziv sistema, filtriran i sa vrijednostima brzine

Prvi korak u identifikaciji sistema je očitavanje stacionarnog stanja u koje sistem dolazi. Kako je vidljivo na slici 4.4, za ovaj sistem ta je vrijednost 214.3 Hz. Budući da smo identifikaciju radili na stepu amplitude 10, vrijednost parametra K prenosne funkcije bit će 10 puta manja odnosno iznosiće 21.43. Za očitavanje vrijednosti parametra T, potrebno nam je vrijeme u trenutku kada se dostiže 63% stacionarnog stanja, tj.

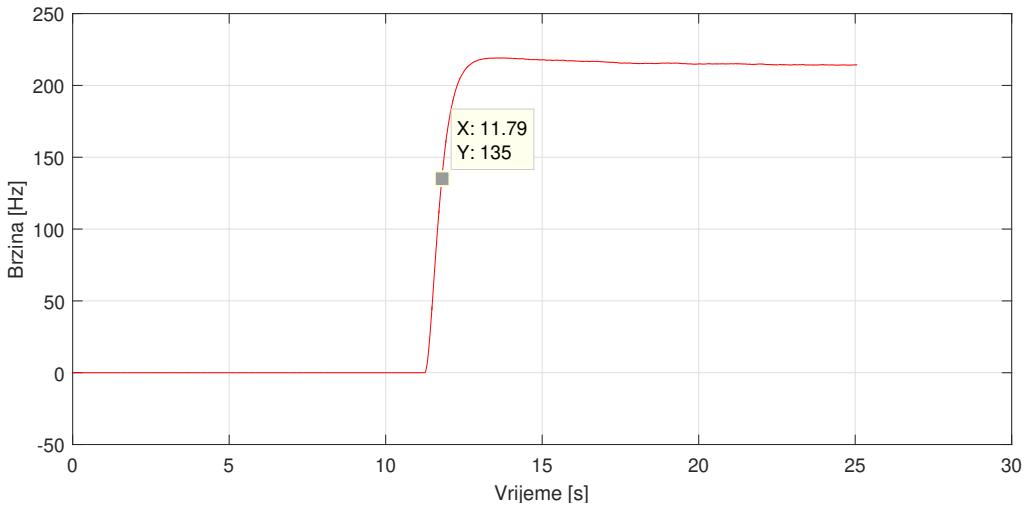
$$x = 0.63 \cdot 214.3 = 135 \text{ Hz} \quad (4.2)$$

Sa slike 4.5 očitava se vrijeme od 11.79 sekunde, koje će nam poslužiti pri određivanju vrijednosti parametra T u prenosnoj funkciji sistema. Drugo vrijeme potrebno za određivanje ovog parametra može se očitati sa slike 4.6 i iznosi 11.24 sekunde, odnosno to je trenutak u kojem je počelo djelovanje stepa. Traženo T onda iznosi:

$$T = 11.79 - 11.24 = 0.55 \text{ s} \quad (4.3)$$



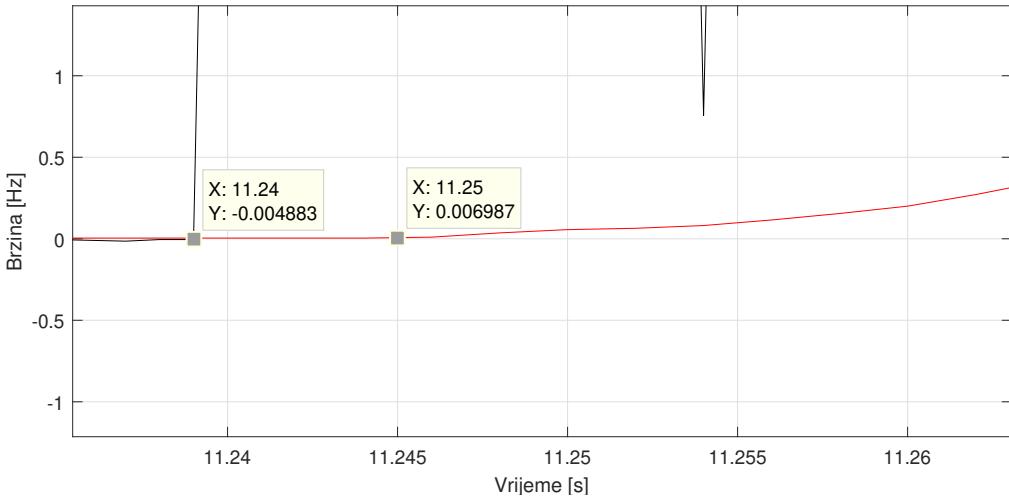
Slika 4.4: Očitavanje vrijednosti stacionarnog stanja



Slika 4.5: Očitavanje vrijednosti T

Treći parametar, jedini koji nedostaje da bi prenosna funkcija sistema bila potpuno određena je parametar τ . Jednostavnim očitavanjem sa slike 4.6 dobije se da je:

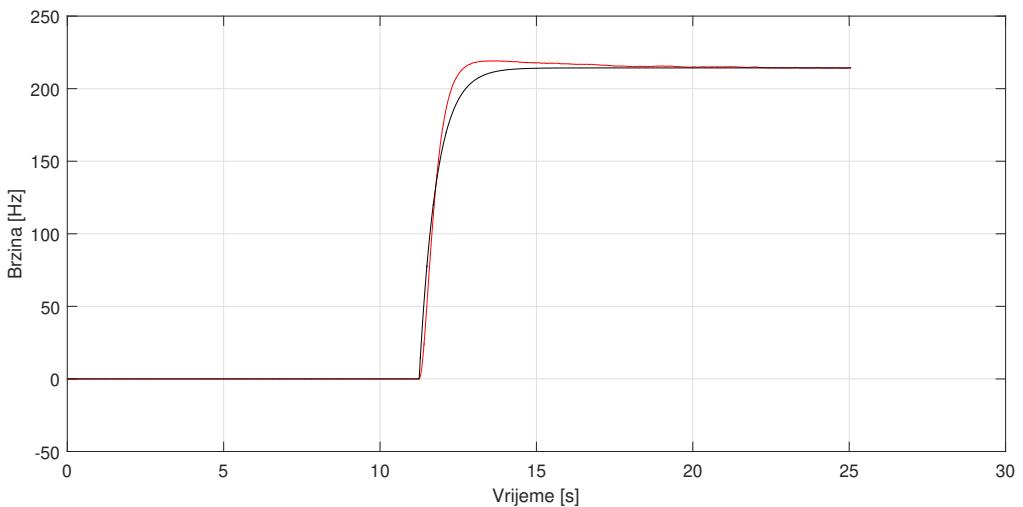
$$\tau = 11.25 - 11.24 = 0.01 \quad (4.4)$$



Slika 4.6: Određivanje kašnjenja

Konačno, prenosna funkcija sistema data je relacijom 4.5. Kako bi se provjerilo da li je prenosna funkcija ispravno određena, uporediti će se snimljeni odziv sistema sa simuliranim odzivom stepa na prenosnu funkciju opisanu relacijom 4.5. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 4.7. Primjetna su manja vremenska odstupanja kao i preskok, tako da se smatra da je ovo zadovoljavajuća tačnost.

$$G(s) = \frac{21.43}{0.55s + 1} \cdot e^{-0.01 \cdot s} \quad (4.5)$$



Slika 4.7: Provjera identifikacije sistema

Kako je pri gašenju motora novo stacionarno stanje jednako nuli, nema smisla određivati prenosnu funkciju odvojeno za taj slučaj.

Poglavlje 5



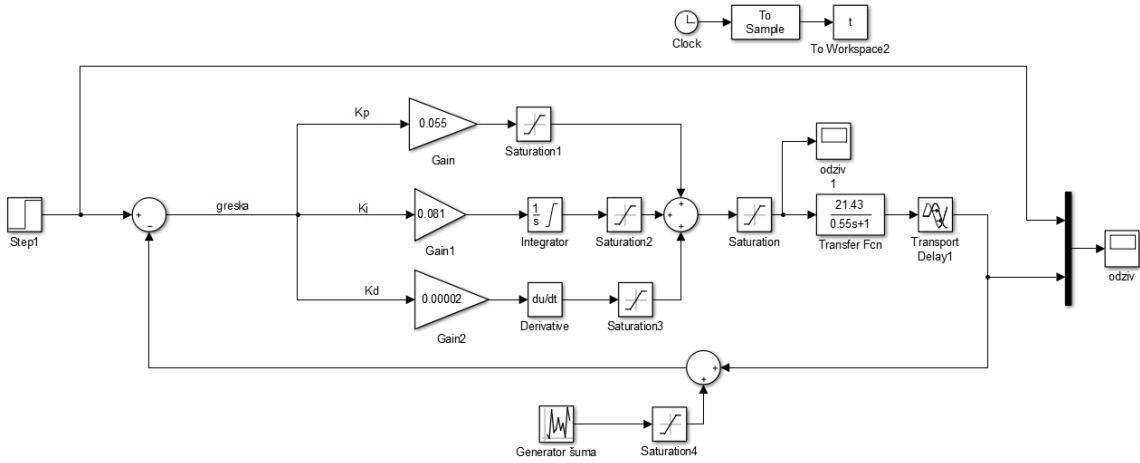
Simulacijski rezultati

Nakon što je upoznat objekat upravljanja, te nakon što su sprovedeni svi potrebni koraci da se detektuju njegovi parametri može se pristupiti simuliranju istog u nekom od programskih alata. Uz pretpostavku da je ovo korektno izvršeno može se projektovati dobar PID regulator. S obzirom da je veličina upravljanja brzina motora nezahvalno bi bilo podešavati ovaj regulator na pravom sistemu, jer bi tada eventualni preskoci i šumovi mogli dovesti do kvara sistema.

1. Postavka simulacije

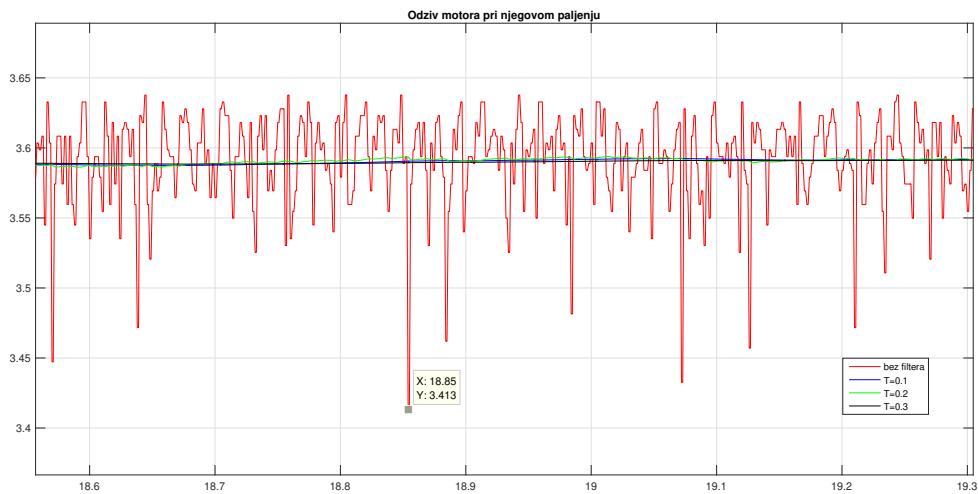
Sistem upravljanja motorom je simuliran kroz alat Simulink (slika 5.1), koji se sastoji od sljedećih blokova:

- step signal kojim se zadaje referentna vrijednost brzine,
- paralelna veza množača (engl. Gain), integratora (engl. Integrator) i diferencijatora (engl. Derivative) čiji se parametri podešavaju preko vlastitih množača,
- blok prenosne funkcije kojim se simulira sistem,
- blok koji simulira šum (engl. Uniform Random Number),
- blok zasićenja kojim se ograničavaju gornja i donja vrijednost napona kako bi ostale u željenim granicama (engl. Saturation),
- blok kojim se podešava kašnjenje sistema (engl. Transport Delay),
- blok koji filtrirane podatke spremi u radni prostor (engl. To Workspace).



Slika 5.1: Shema simulacije spojena u Simulink-u

Motor koji predstavlja objekt upravljanja može da razvija brzine u opsegu od 0 Hz do 214.3 Hz, kako je to prethodno uočeno posmatranjem odziva sistema. Stoga će se na ulazu zadavati vrijednosti ovog raspona. Prvobitni zaključci i podešavanja će biti sprovedena kada je referentna vrijednost na sredini (110 Hz), ali je neophodno osigurati i kasnije provjeriti ispravnost odziva i pri manjim i većim iznosima brzine. Mora se voditi računa i o naponu koji se šalje na motor, gdje je neophodno da je on u opsegu 0 V - 10 V. Ovo je omogućeno podešavanjima u 'Saturation' bloku. Bitno je istaći i to da se pri analiziranju odziva motora ranije uočilo da signal nije gladak, te se morala sprovesti čitava analiza i u konačnici odabrati najbolji filter. Razne sonde, kao i nepravilnost određenih elemenata sistema imaju za posljedicu unos šumova. Ako bi se projektovao PID regulator uz zanemarenje ove činjenice vrlo vjerovatno izabrani parametri ne bi bili ni približno zadovoljavajući. Zato je u shemi korišten generator šuma. Procjena vrijednosti šuma donijeta je iz ranije snimljenih odziva sistema (vidjeti sliku 5.2).



Slika 5.2: Šum detektovan iz odziva sistema

Kao što se može vidjeti u drugom poglavlju rada, postoji mnoštvo metoda za određivanje parametara PID regulatora. U nastavku će biti sprovedeno ručno podešavanje u simulacijskom

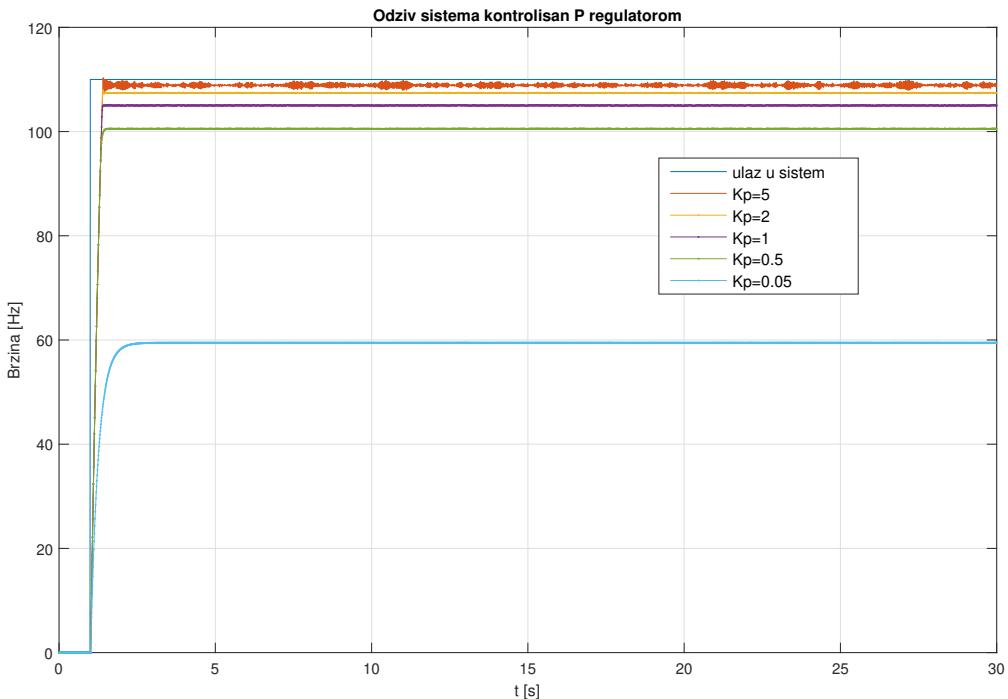
okruženju. Prvo će biti pogodno određena K_p komponenta, a zatim K_i i K_d.

2. Rezultati simulacije

P regulator direktno pojačava grešku. Jasno je da kada ona ima neki nenulti iznos regulacija će nalagati motoru da ubrzava ili usporava. Za grešku jednaku nuli on nalaže da se upravljanje zadržava. K_p komponentu treba ograničiti. Može se zaključiti da za velik iznos ovoga parametra čitav sistem upravljanja liči na dvopolozajnu regulaciju. Sa ovim regulatorom može se doći u okolini željene vrijednosti. Ograničenje se jasno vidi iz relacije 5.1.

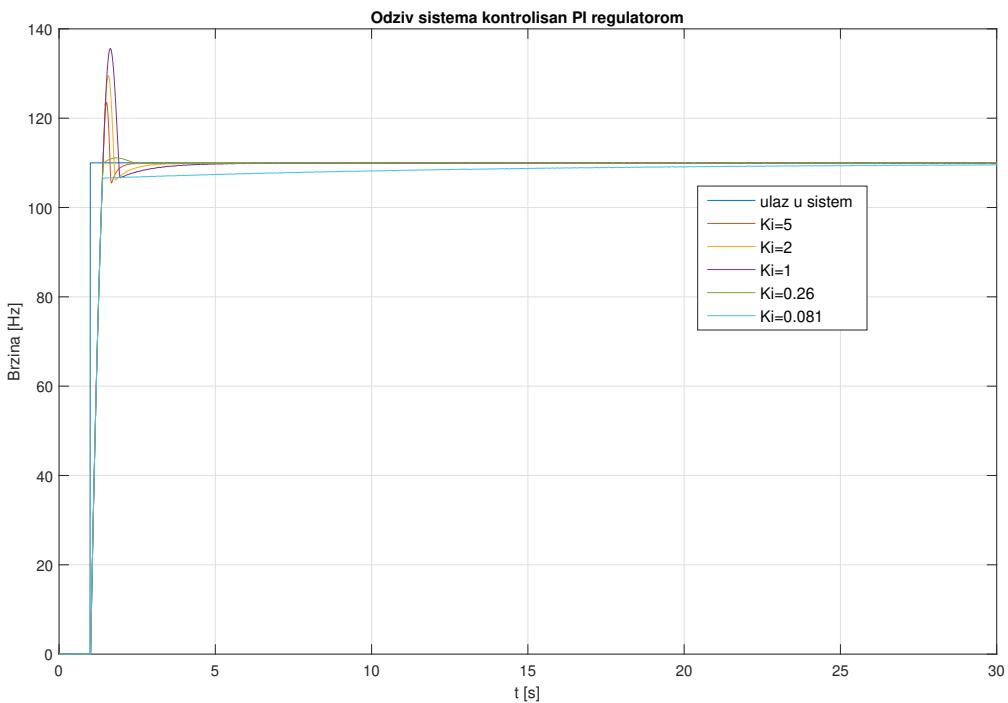
$$K_p e < 10 \quad (5.1)$$

Za potrebe ovog sistema uzeto je da greška e koja se toleriše iznosi 1 Hz. Sada je K_p ograničeno sa 10. Uobičajeno je da se postavi strožiji uslov, te uzme 10% ove vrijednosti. Parametri su varirani i snimani odzivi (slika 5.3) .



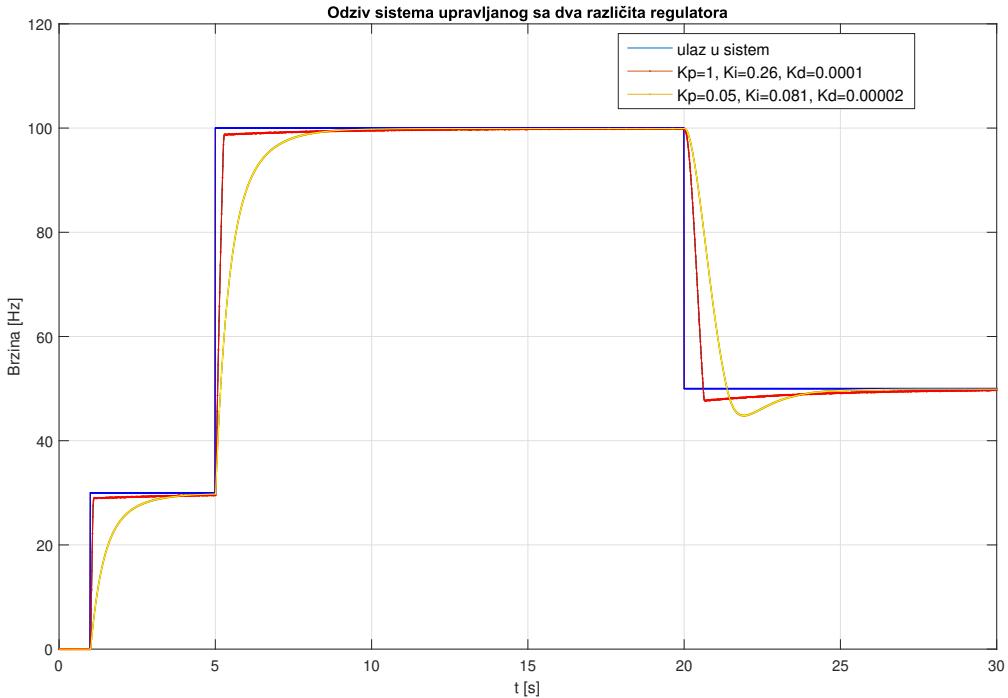
Slika 5.3: Određivanje K_p komponente regulatora

Sa slike se može uočiti da za prevelike iznose K_p sistem blago osciluje, ali je jako blizu referentne vrijednosti. Što se više smanjuje vrijednost parametra to je kriva odziva glađa, ali i veća greška stacionarnog stanja. Dalje je potrebno u razmatranje uzeti i K_i komponentu. Ona je također varirana i dobiveni su sljedeći odzivi (vidjeti sliku 5.4).



Slika 5.4: Određivanje Ki komponente regulatora

Može se zaključiti da veliki iznosi ovog parametra dovode do sve većeg prvog preskoka. Time se narušava stabilnost sistema. Posljednja dva parametra se mogu procijeniti kao zadovoljavajuća. Dalje je potrebno obratiti pažnju i na vrijednost Kd. Poznato je da ovaj dio regulatora djeluje čim se pojavi i najmanja promjena na ulazu. Samim tim on bi mogao dovesti do lošeg odziva i prigušiti P i I regulator, pa bi se ponovo pojavilo ponašanje slično dvopolozajnoj regulaciji. Zato se za ovaj parametar uzima uvijek najniža vrijednost. U simulaciji su odabrane vrijednosti od $Kd=0.0001$ i $Kd=0.00002$. Obje su odgovarajuće i ne unose pretjeranu promjenu u odziv sistema. Konačno, nakon sve ove diskusije uspješno su sklopljena dva regulatora. Imaju različite parametre i koriste se u različitim situacijama (zavisi od postavljenih zahtjeva i osjetljivosti samog sistema). Na slici 5.5 se može vidjeti referentna vrijednost brzine, kao i dva odziva.



Slika 5.5: Usporedba odziva dva različita PID regulatora

3. Zaključak

Jasno je da je prvi odziv dosta brži, kao i da mu je donji podbačaj manji. Unatoč ovome, kada se odziv dovoljno približi vidljive su male oscilacije, dok je kod drugog odziva u pitanju glatka kriva. Ovo je bio dovoljan razlog da se za eksperimentalne svrhe koriste parametri koji opisuju drugu krivu. Te vrijednosti su:

$$\begin{aligned} K_p &= 0.05 \\ K_i &= 0.081 \\ K_d &= 0.00002 \end{aligned} \tag{5.2}$$

Ovime je postignuta veća sigurnost da neće doći do neželjenih efekata na pravom sistemu, izabran je prioritet stabilnosti i sigurnosti ispred brzine samog odziva.

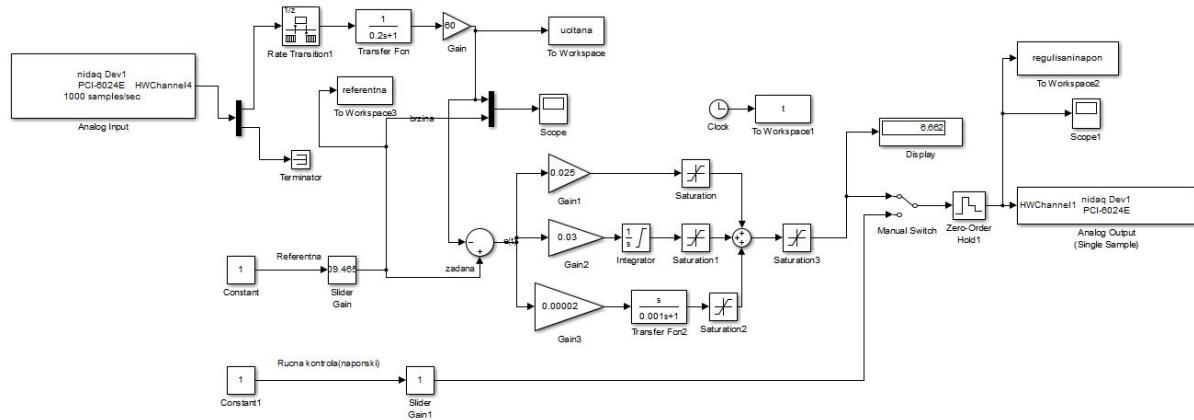
Poglavlje 6



Eksperimentalni rezultati

1. Postavka eksperimenta

Nakon uspješno izvedene simulacije i odabira odgovarajućih parametara PID regulatora pristupa se eksperimentalnoj provjeri ispravnosti rada kreiranog sistema. Ovo će se uraditi na konkretnom modelu motora uz pomoć napojne jedinice i NI akvizicione kartice. Napon napajanja motora je dat sa 12 V. Motor se kontroliše upravljačkim signalom u rasponu od 0 do 10 V, pri čemu treba imati na umu da zbog opterećenja motora, za njegovo pokretanje potrebno je minimalno 5 V. Upravljački signal se dovodi preko akvizicijske kartice, a detekcija trenutne brzine motora je omogućena tahogeneratorom i njegovim izlaznim naponom. Taj napon će se registrirati opet preko akvizicione kartice (napon biva pomnožen sa 60 i postaje brzina obrtanja u Hz). Zadatak eksperimenta jeste upravljanje brzinom obrtanja motora uz pomoć PID regulatora. U svrhu ovoga realizovana je blok struktura u Simulink-u prikazana na slici 6.1.



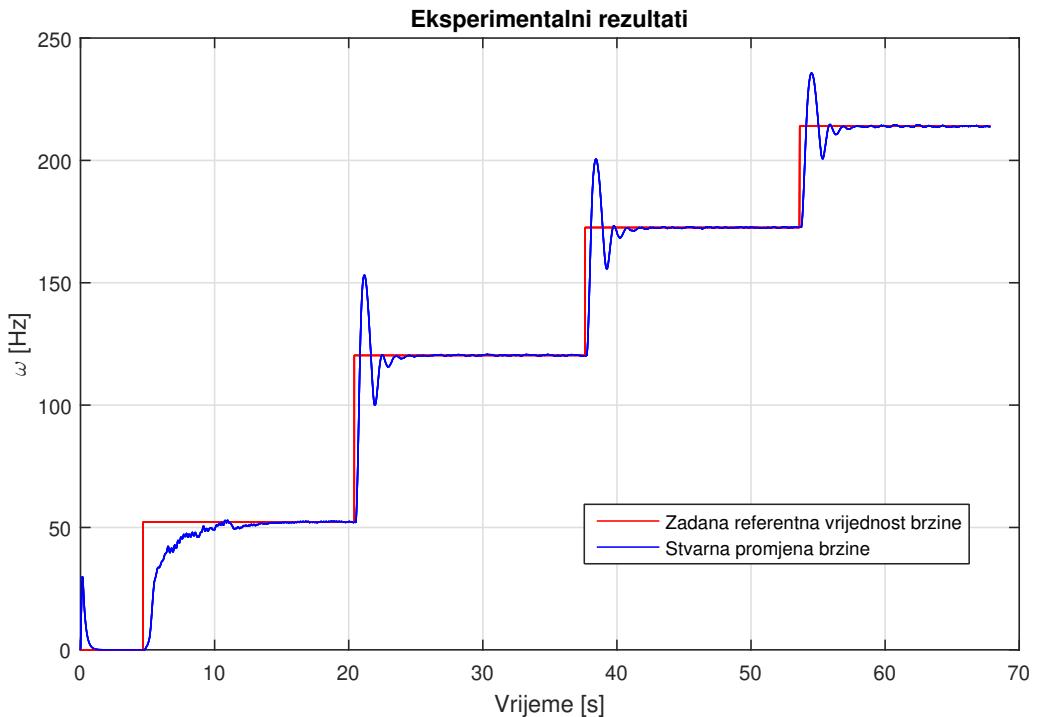
Slika 6.1: Blok struktura za eksperimentalnu potvrdu rada sistema realizovana u Simulink-u

Princip rada sheme je vrlo jednostavan. Preko NI kartice se preuzima trenutna vrijednost napona na izlazu tahogeneratora i pretvara se u brzinu. Ovaj signal se oduzima od zadate vrijednosti brzine vrtnje i takav impuls se šalje PID regulatoru. PID regulator se ponaša u skladu sa postavljenim parametrima i daje napon na svom izlazu. Ovaj napon kartica šalje motoru i na taj način se ostvaruje zatvoreni sistem automatskog upravljanja brzine rada motora. Shema nudi i opciju slanja odabrane vrijednosti napona na izlaz kartice, ukoliko neka primjena to iziskuje. Potreba

korištenja filtera pri mjerenu naponu je već ranije objašnjena (smanjenje šumova). Umjesto idealnog diferencijatora koristi se blok realnog diferencijatora.

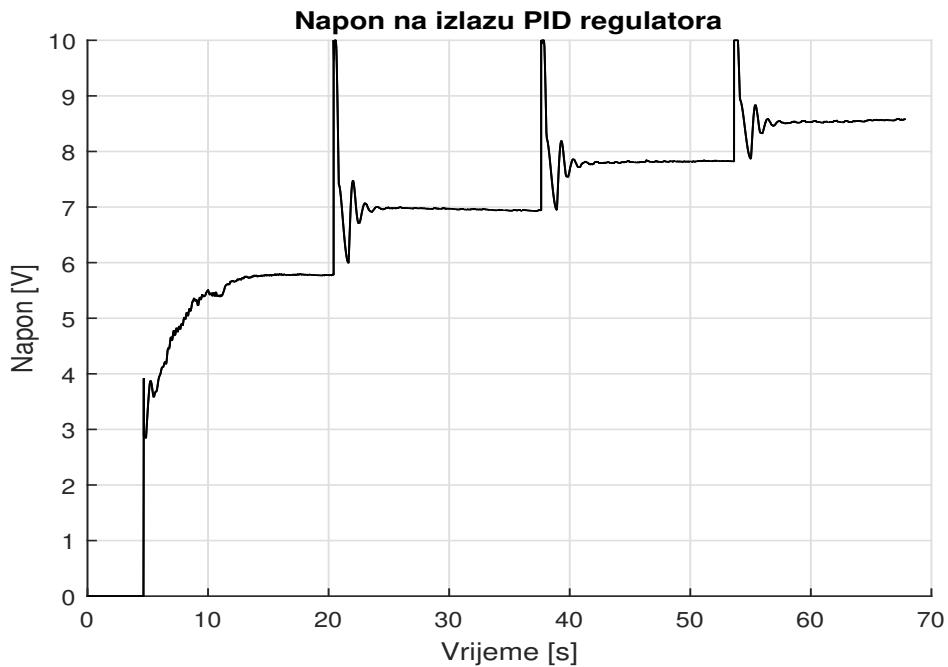
2. Rezultati eksperimenta

Prvi pokušaj upravljanja brzinom je urađen uz pomoć PID-a projektovanog kod kuće za potrebe simulacije. Taj pokušaj je dat slikom 6.2.



Slika 6.2: Očitani odziv za prvo bitno odabrane vrijednosti koeficijenata PID-a ($K_p = 0.05$ $K_i = 0.081$ $K_d = 0.00002$)

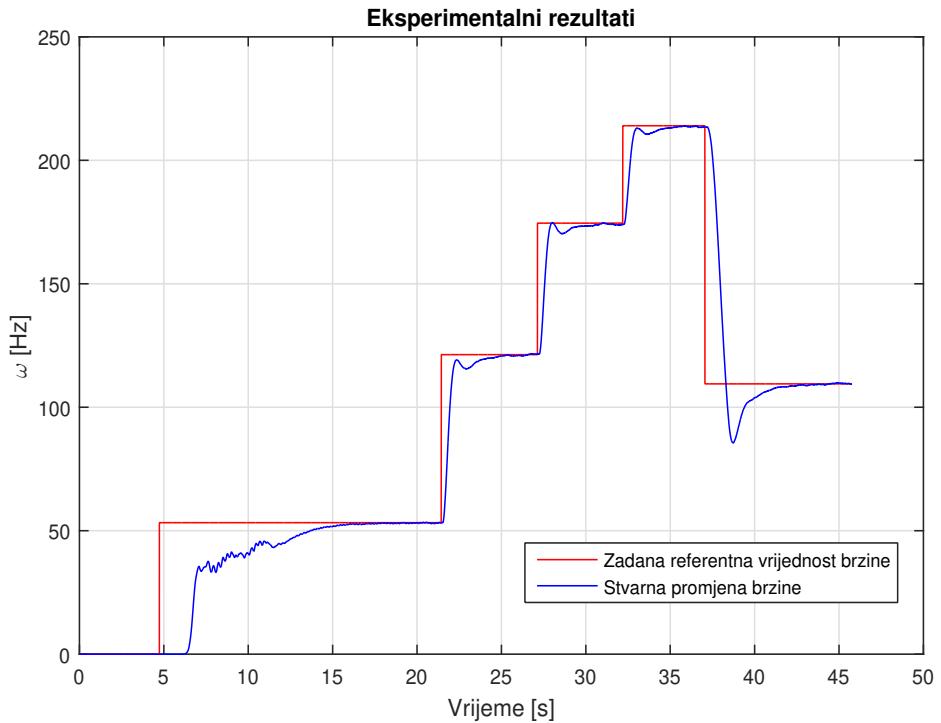
Prilikom snimanja i isprobavanja različitih referentnih vrijednosti primijećeno je da je odziv odličan za više-manje svaki slučaj pri prvom postavljanju vrijednosti brzine. Međutim kada je početna brzina različita od nule, svaka njena promjena ka većoj vrijednosti će izazvati značajne oscilacije, koje ne traju dugo, ali mogu biti problematične u određenim aplikacijama. Početni skok brzine je nastao zbog prethodnog stanja motora (prije snimanja ovog pokušaja motor se kretao nekom brzinom, pa kada se ta brzina promjenila na nulu, motor je kaskao za njom), tako da to ne predstavlja problematičnu tačku pri regulaciji. Pri eksperimentu isprobano je i smanjenje brzine koje posjeduje pobačaje, ali nažalost zbog previda autora, ti slučajevi nisu snimljeni. Zbog sticanja kompletne slike o ponašanju sistema tokom vremena, data je i promjena napona koju je slao PID regulator na svoj izlaz u zavisnosti do vremena slikom 6.3. Budući da ovi rezultati imaju prebačaj pristupa se pronalasku nekih boljih postavki regulatora. Ovo je urađenom jednostavnom metodom pokušaj i greška opservacijom izlaznog odziva.



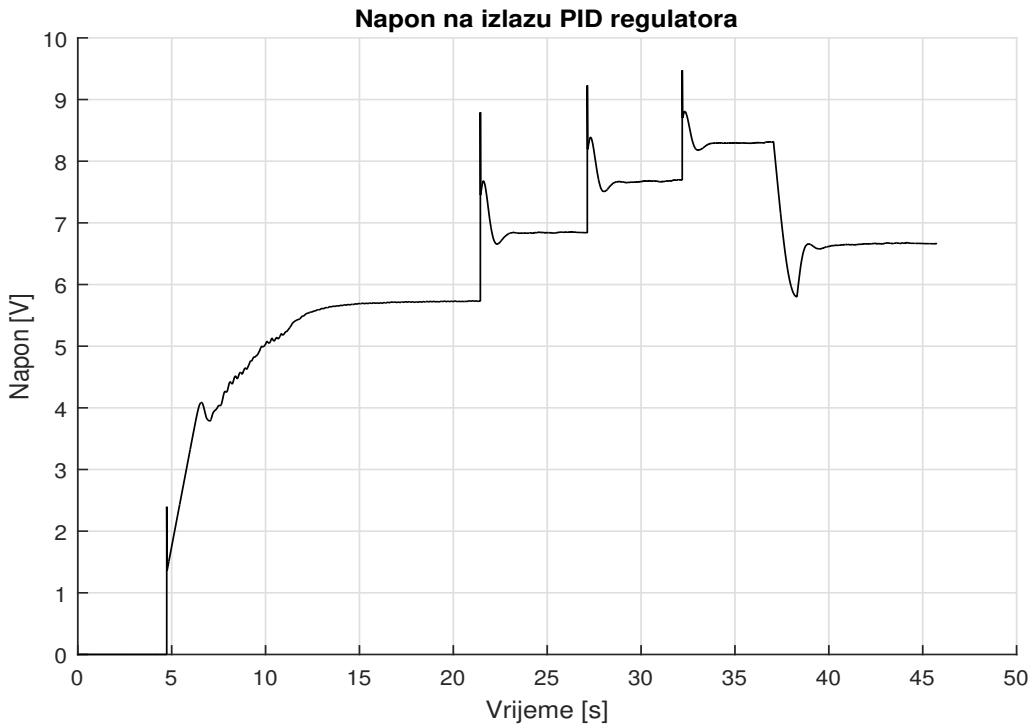
Slika 6.3: Promjena napona na izlazu PID regulatora u zavisnosti od vremena

Na slici 6.4 se vidi da je promjena parametara dala bolje rezultate i da se odziv značajno poboljšao, dok slika 6.5 pokazuje promjenu napona na izlazu regulatora koja je ovaj put u zadovoljavajućem opsegu, bez ikakvih prebačaja. Parametri nakon korekcije iznose:

$$K_p = 0.025 \quad K_i = 0.03 \quad K_d = 0.00002 \quad (6.1)$$



Slika 6.4: Očitani odziv za promijenjene parametre PID-a ($K_p = 0.025 \quad K_i = 0.03 \quad K_d = 0.00002$)



Slika 6.5: Promjena napona na izlazu PID regulatora u zavisnosti od vremena

3. Zaključak

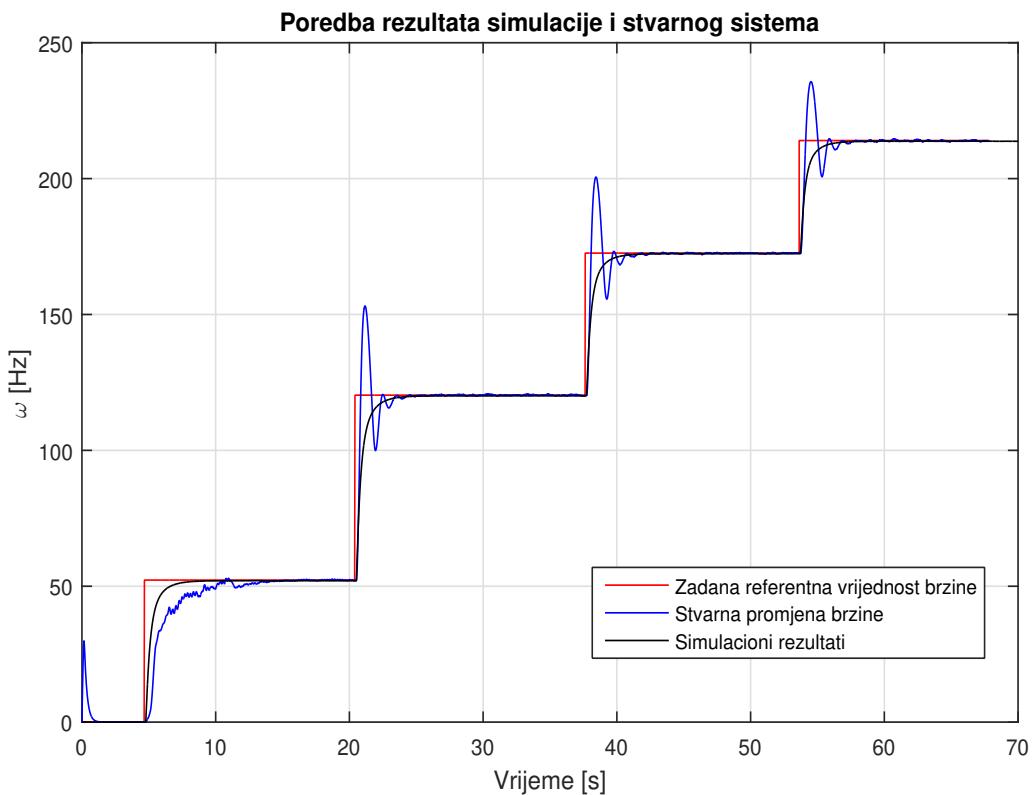
Prvobitna vrijednost koeficijenata PID regulatora dobivena uz pomoć simulacije nije davala zadovoljavajuće rezultate. O mogućim razlozima će se diskutovati u poglavljiju 7. Unatoč tome prvi pokušaj nije bio potpuni promašaj zbog toga što je PID efikasno održavao referentnu brzinu (jedini problem su zapravo prebačaji pri zadavanju brzine). Drugim pokušajem je otklonjen prethodno navedeni problem, no uzrokovao je novi. Problem se manifestuje kao sporiji odziv za početni trenutak, odnosno pokretanje motora sa nulte vrijednosti brzine ka nekoj novozadanoj je značajno sporije u odnosu na prvi odziv. Treba se naglasiti da je zamjena brzine promjene stanja (i to samo početnog) za drastično veću stabilnost vrijeđan kompromis.

Poglavlje 7

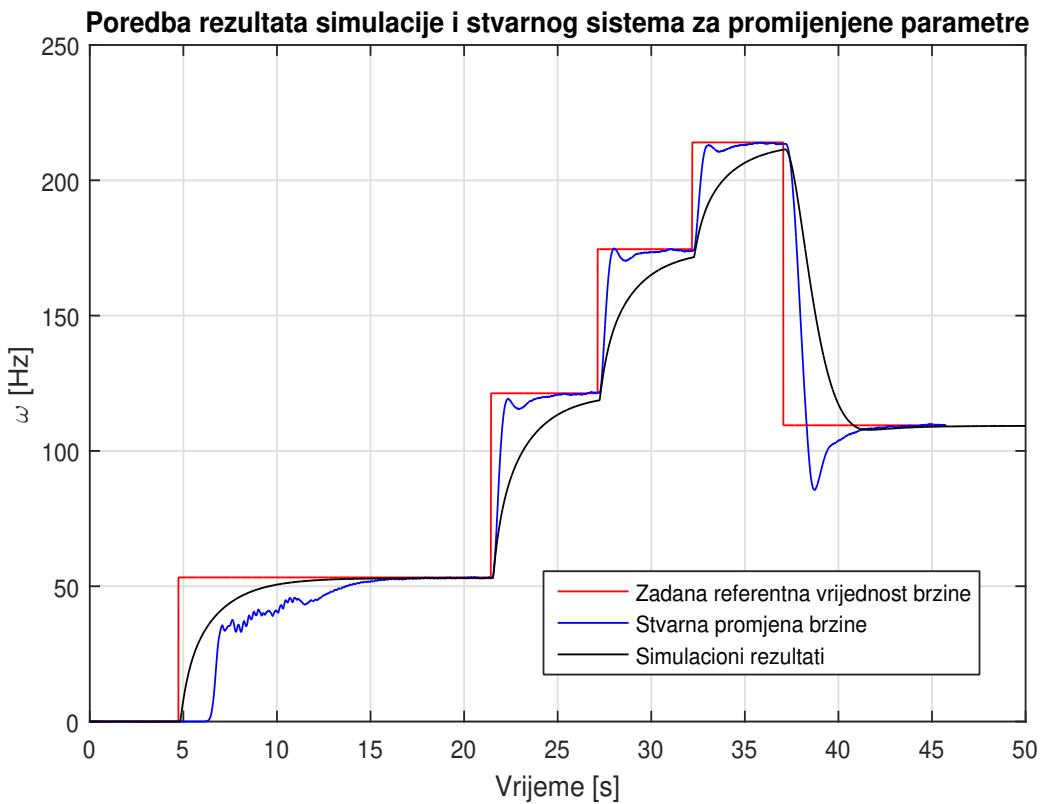


Zaključak i diskusija

Postavljeni zadatak automatske regulacije brzine vrtnje motora je uspješno izvršen. Za ovu proceduru obavezno je kvalitetno podešavanje PID regulatora, te identifikacija parametara sistema. Identifikacija sistema je zadovoljavajuće tačna kao što je to prikazano slikom 4.7. Drugim riječima proces identifikacije sistema je uspješno izvršen, iako se uvažava da uvijek postoji prostora za popravke. U konkretnom slučaju aproksimirana funkcija ima jedan kratak period gdje ne prati stvarni odziv, a to je mjesto prebačaja odziva. Iz ovoga slijedi da je možda bilo bolje ponašanje motora aproksimirati sa prenosnom funkcijom drugog reda koja ima veći koeficijent prigušenja. Ono što treba imati na umu jeste da bolja aproksimacija odziva znači bolja ideja o ponašanju sistema, kao i bolje podešavanje parametara PID-a u simulacionom okruženju. Usljed nesavršenstva aproksimacije, kao i zbog drugih nepredviđenih uslova prvi pokušaj regulacije brzine nije bio idealan. Naime pri prebacivanju brzine prisutne su značajne oscilacije, koje doduše traju veoma kratko. Ovakva implementacija PID-a u određenim situacijama je sasvim zadovoljavajuća, no u drugim bi mogla dovesti do većih problema o čemu se treba voditi računa. Sa namjerom dobivanja boljeg odziva sistema izvršena je rekalibracija PID regulatora koja je značajno poboljšala ponašanje motora. Uz novopostavljene parametre, više nije bilo preskoka, ali se sistem dosta sporije palio. Nakon pokretanja motora sa nulte tačke, njegovo praćenje promjene brzine je bilo ispod 5 sekundi. Prepostavka je da se ovaj odziv mogao dodatno ubrzati, ali zbog vremenskog ograničenja to nije urađeno. Na slici 7.1 uočava se odstupanje simulacionog odziva i stvarnog u periodu prelaza sa jedne brzine na drugu u smislu da su na stvarnom sistemu oscilacija dosta izražene. Ipak se može reći da je simulacija dala poprilično dobru ideju o ponašanju odziva, pogotovo kada bi se zanemarili oscilatori dijelovi. Sa druge strane nakon korigovanja parametara, stvarni odziv je drastično popravljen, dok je simulacioni manje nego adekvatan (slika 7.2). Ovo je sasvim moguće produkt nesavršene identifikacije sistema, pogrešne postavke šuma simulacije i sl.



Slika 7.1: Poređenje rezultata simulacije i eksperimenta za parametre PID-a podešene preko simulacije



Slika 7.2: Poređenje rezultata simulacije i eksperimenta za promijenjene parametre



Literatura

- [1] Božo Ilić, *Elementi automatizacije*, Visoka tehnička škola strukovnih studija Novi Sad, 2019. godina
- [2] *What is a PID Controller, Their Types and How does it Work?*, <https://www.electricaltechnology.org/2015/10/what-is-pid-controller-how-it-works.html>, pristup 28.5.2022.
- [3] *P, I, D, PI, PD, and PID control*, pristup 28.5.2022. [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)/09%3A_Proportional-Integral-Derivative_\(PID\)_Control/9.02%3A_P%2C_I%2C_D%2C_PI%2C_PD%2C_and_PID_control](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/09%3A_Proportional-Integral-Derivative_(PID)_Control/9.02%3A_P%2C_I%2C_D%2C_PI%2C_PD%2C_and_PID_control)
- [4] *Types of Controllers | Proportional Integral and Derivative Controllers*, <https://www.electrical4u.com/types-of-controllers-proportional-integral-derivative-controllers/>, pristup 28.5.2022.
- [5] *What is a PID control action?* <https://automationforum.co/what-is-a-pid-control-action/>, pristup 28.5.2022.
- [6] Čedomir Milosavljević, *Teorija automatskog upravljanja*, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, 2007. godina
- [7] *PID CONTROL* https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/12/MapleDocument_12/PID%20Control.pdf, pristup 1.6.2022.
- [8] Ante Gutelj *ZAVRŠNI RAD: Projektiranje i namještanje PID regulatora*, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE, 2020. godina
- [9] Nedim Osmić, *Predavanja na predmetu: Praktikum automatike i informatike*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, akademska 2021/22 god.