



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

PID regulacija DC motora

PREDMET:
- PRAKTIKUM AUTOMATIKE -

Tim

Awad Abdullah, 18659

Hrustić Selma, 18872

Džananović Naila, 18826

Sarajevo, januar 2023.g.

Sažetak rada

Fokus ovog rada je kontrolisanje brzine DC motora. Upravljanje je realizovano korištenjem PID regulatora. Bilo je potrebno posvetiti pažnju identifikaciji sistema, a zatim i podesiti parametre regulatora. Sistem je identifikovan i zapisan u vidu prenosne funkcije. PID regulator posjeduje tri parametra koja su podešavana u okviru programskog okruženja Matlab. Nadalje je dobijena prenosna funkcija PID regulatora, koja je zatim diskretizirana. Nju je bilo potrebno implementirati u mikrokontroler, PIC16F1939. Sve je na kraju zaokruženo sa eksperimentom na stvarnom sistemu.

Abstract

The focus of this work is controlling the speed of a DC motor. Management is realized using a PID controller. It was necessary to pay attention to the identification of the system, and then to adjust the parameter of the regulator. The system is identified and written in the form of transfer functions. The PID controller has three parameters that are adjusted within the Matlab programming environment. Furthermore, the transfer function of the PID controller was obtained, which was then discretized. It needs to be implemented in a microcontroller, PIC16F1939. Everything is finally rounded off with an experiment on a real system.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.	Opis problema	1
2.	Teorijska podloga o PID regulaciji	3
2	Organizacija i realizacija vježbe	5
1.	Identifikacija sistema	5
2.	Odabir parametara PID regulatora	6
3.	Diskretizacije PID prenosne funkcije PID regulatora	10
4.	Odabir drajvera za pogonjenje motora	10
5.	Ugradnja dijela za indikaciju brzine	11
3	Ideje za mogući daljnji razvoj i unapređenje sistema	13
4	Zaključak	14

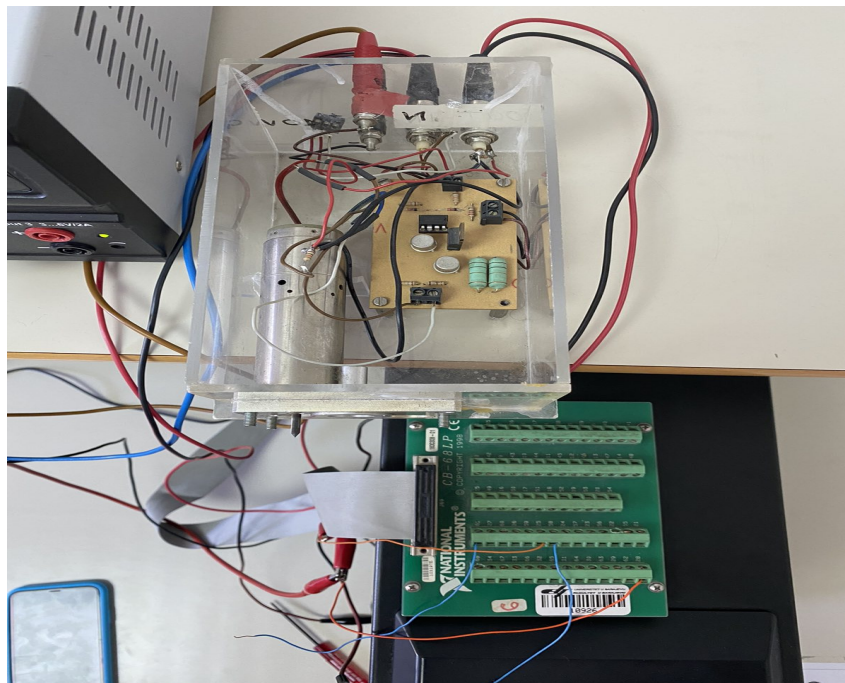
Poglavlje 1



Uvod

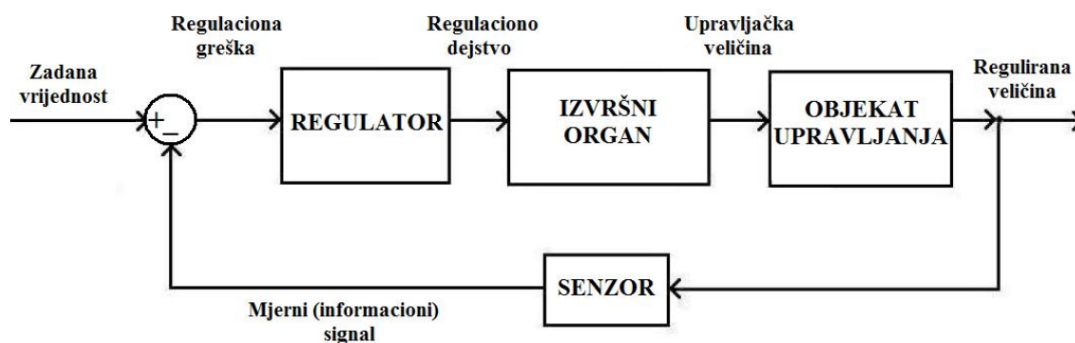
1. Opis problema

Predmet interesovanja ovog rada je regulacija brzine DC motora pomoću PID regulatora (slika 1.1).



Slika 1.1: Objekat upravljanja u širem smislu

Pred projektante je postavljen problem koji se može jednostavno opisati blok dijagramom na slici ispod.



Slika 1.2: Prikaz blokovske strukture automatskog upravljanja

Treba realizovati upravljanje predstavljenim sistemom. Objekat našeg upravljanja u širem smislu, sastavljen je od linearnog pojačala, DC motora i tahogeneratora.

Prije svega moraju se identifikovati parametri sistema, tj. njegovo vremenska konstanta, kao i pojačanje. Poznata je informacija da je u pitanju statički objekat prvog reda, koji ima odgovarajuću prenosnu funkciju datu kao:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s} \quad (1.1)$$

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

K = Koeficijent pojačanja

T = Vremenska konstanta

τ = Vrijeme kašnjenja

Na osovini motora je vezan i tahogenerator, koji upravo predstavlja senzor u povratnoj grani. Preko njega će se dobijati informacije o trenutnoj brzini motora. Projektantima je unaprijed data relacija koja povezuje brzinu motora sa naponom koji se dobija na sa tahogeneratora. Tu postoji linearna veza napona i brzine data u jednačini ispod (1.2).

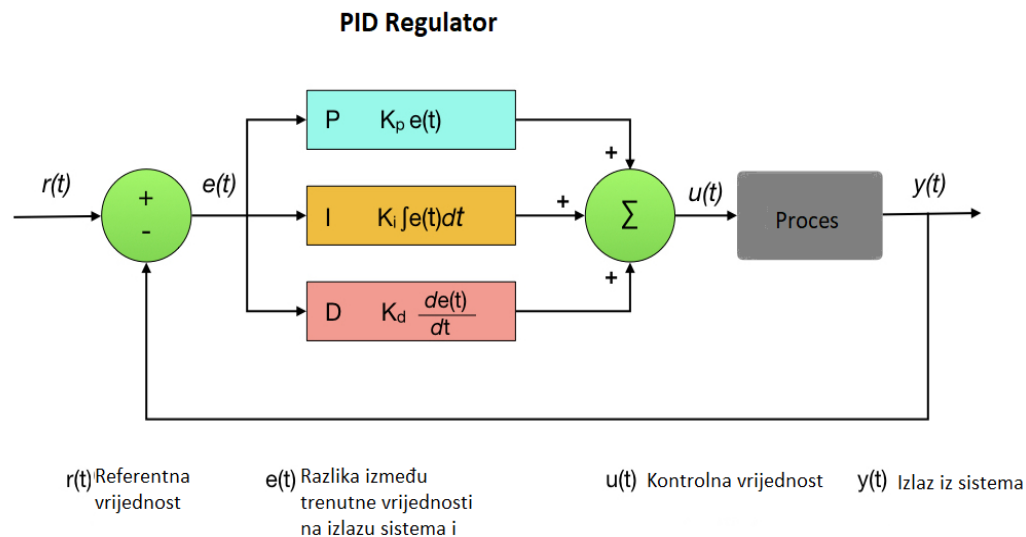
$$E = \frac{v}{60} \quad (1.2)$$

Poznato je da ovaj senzor ima veliku preciznost. Nadalje identifikacija sistema se vrši tako što mu se posmatra odziv na step signal. Sljedeći korak je odabir pogodnog programskog alata, te simulacija sistema. Nakon kvalitetne identifikacije sistema može se preći na projektovati PID regulator. Nije moguće pronaći najbolje rješenje, ali treba zadovoljiti ono što je bitno. Tu se treba naći kompromis između brzine odziva i visine prvog preskoka odziva. Na samom kraju sve će se primijeniti na stvarni sistem, gdje će biti vršeno automatsko upravljanje.

2. Teorijska podloga o PID regulaciji

Osovni zadatak regulatora je ispravljanje greške između izmjerene procesne varijable i željene zadane vrijednosti izračunavanjem razlike. Konkretno za ovaj regulator, kontrola procesa se vrši kroz tri parametra: proporcionalni (P), integralni (I) i derivativni (D) [?]. Potrebno je posebnu pažnju posvetiti izboru ovih parametara.

Većina industrijskih procesa koristi shemu PID regulatora za upravljanje procesima (slika 1.3).



Slika 1.3: Blokovska struktura sistema automatskog upravljanja sa PID regulatorom

Prisustvo ovih parametara u regulatoru omogućava dobijanje željenih performansi:

- stabilnost
- brz odziv sistema
- preciznost rada
- podešavanje prebačaja odziva

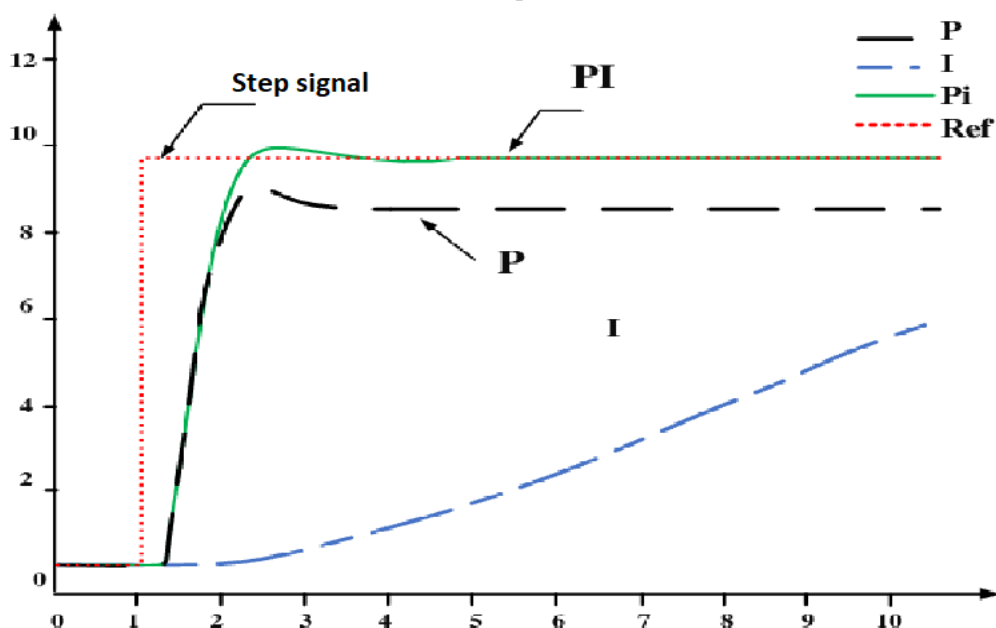
Veza između izlaza i ulaza jednog PID regulatora je data relacijom:

$$x(t) = K_p \cdot [u(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t u(t) dt + T_d \cdot \frac{du(t)}{dt}] \quad (1.3)$$

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

U nastavku će se kratko razmotriti za šta je zaslužan svaki od parametara. Na slici ispod (slika 1.4), mogu se uočiti odzivi sistema na step ulazni signal, za različite vrste regulatora.



Slika 1.4: P, I i PI regulator i njihovi odzivi

Proporcionalni regulator karakteriše dobra stabilnost. S druge strane, zbog njihovog prisustva dobijamo neka odstupanja u sistemu, tj. nakon djelovanja regulatora uvijek postoji razlika između željene i stvarne vrijednosti izlazne veličine. Zapravo ovim regulatorom nikada se ne dostiže stabilno stanje. Kada se u igru uključi i I komponenta, uspješno otklanja greška stacionarnog stanja. Nedostatak je taj što se sada povećava inernost sistema. Treba također biti oprezan, jer oni imaju tendenciju da učine sistem nestabilnim. D-kontroler ima osobinu da predviđanja buduće ponašanja greške. Poboljšava stabilnost sistema kompenzacijom faznog kašnjenja uzrokovanog I-kontrolerom. Povećanjem T_d povećava se i brzina odziva.

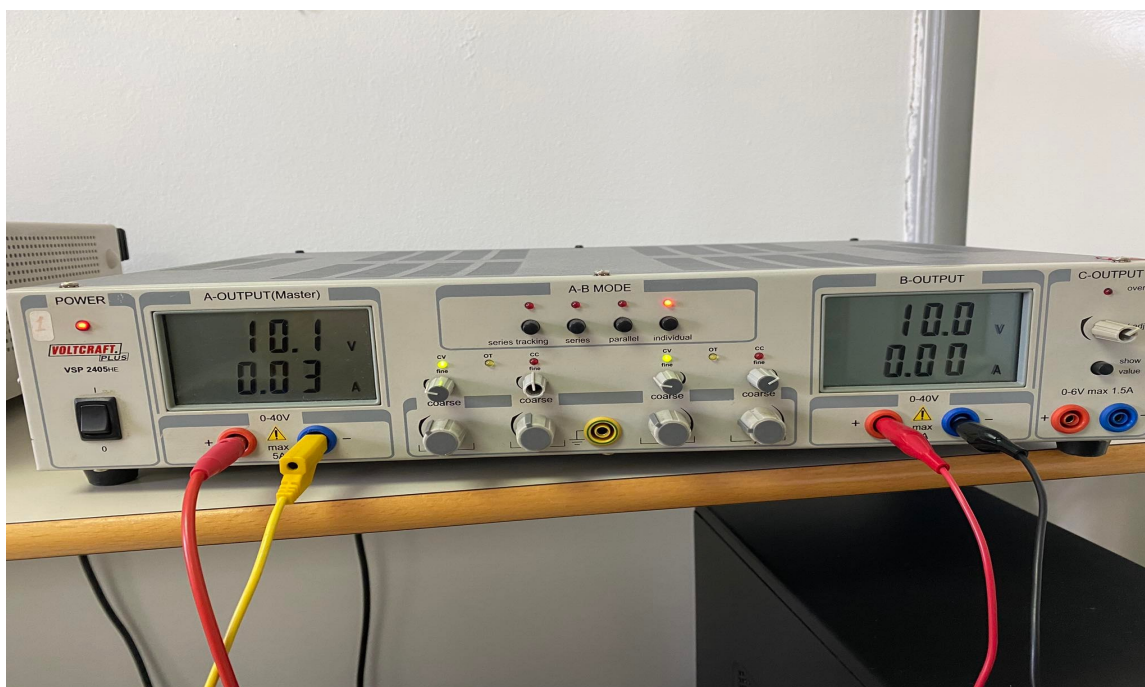
Poglavlje 2



Organizacija i realizacija vježbe

1. Identifikacija sistema

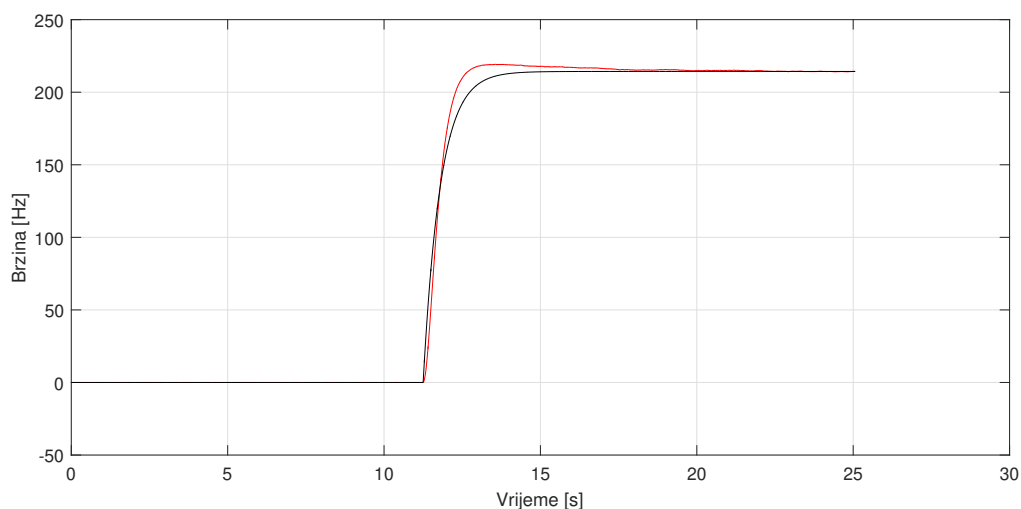
Objekat upravljanja je DC motor. Na ulaz sistema moguće je dovoditi napon u rasponu od 0 V do 10 V. Iz razloga što je na osovini motora vezan tahogenerator, on je opterećen. Zbog toga postoji stalni moment tereta koji otežava vrtnju. U dokumentaciji koja dolazi sa motorom istaknuto je da je opseg napona od 0-3 [V] nedovoljan za pokretanje motora. Međutim dolaskom u laboratoriju i provođenjem vlastitih eksperimenata i identifikacija, ustanovilo se da je mrtva zona motora ipak od 0-5 [V]. Također u cilju projektiranja je bilo i saznati kolika je to struja koju motor povlači za svoj rad kad razvije maksimalnu brzinu. To je uspješno identifikovano tako što se na njegov ulaz sa naponske jedinice doveo napon u iznosu od 10 V. Zatim je jednostavno očitana vrijednost struje. Ona pri maksimalnoj brzini iznosi 30 mA, što će reći da nije riječ o motoru velike snage. To se može vidjeti na slici ispod (Slika 2.1).



Slika 2.1: Struja koju DC motor povlači pri maksimalnoj brzini

Provedena je uspješna identifikacija sistema i dobijena odgovarajuća prenosna funkcija $G(s)$ koja je opisana relacijom 2.1 kao:

$$G(s) = \frac{16.2}{0.1s + 1} \cdot e^{-0.01 \cdot s} \quad (2.1)$$



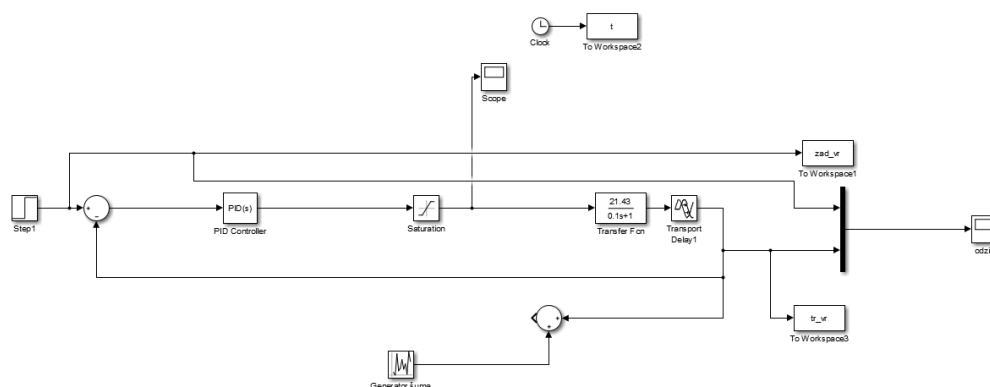
Slika 2.2: Identifikacija sistema

potrebno je simulirati rad DC motora kroz Simulink paket u okviru Matlaba. Za uspješno upravljanje ovako identificiranim sistemom treba odrediti optimalne parametre PID regulatora.

2. Odabir parametara PID regulatora

Nakon detekcije parametara objekta upravljanja, prelazi se na projektovanje PID regulatora. Nije dobro odmah preći na stvarni sistem, te tako pokušavati odabrati najbolje parametre. Tada bi se nehotice mogao izazvati neki od trajnih kvarova sistema. Iz ovog razloga sve će biti izvršeno kroz neki od programskih alata. Izabrano je da to bude alat Simulink (slika 2.6), koji se sastoji od sljedećih blokova:

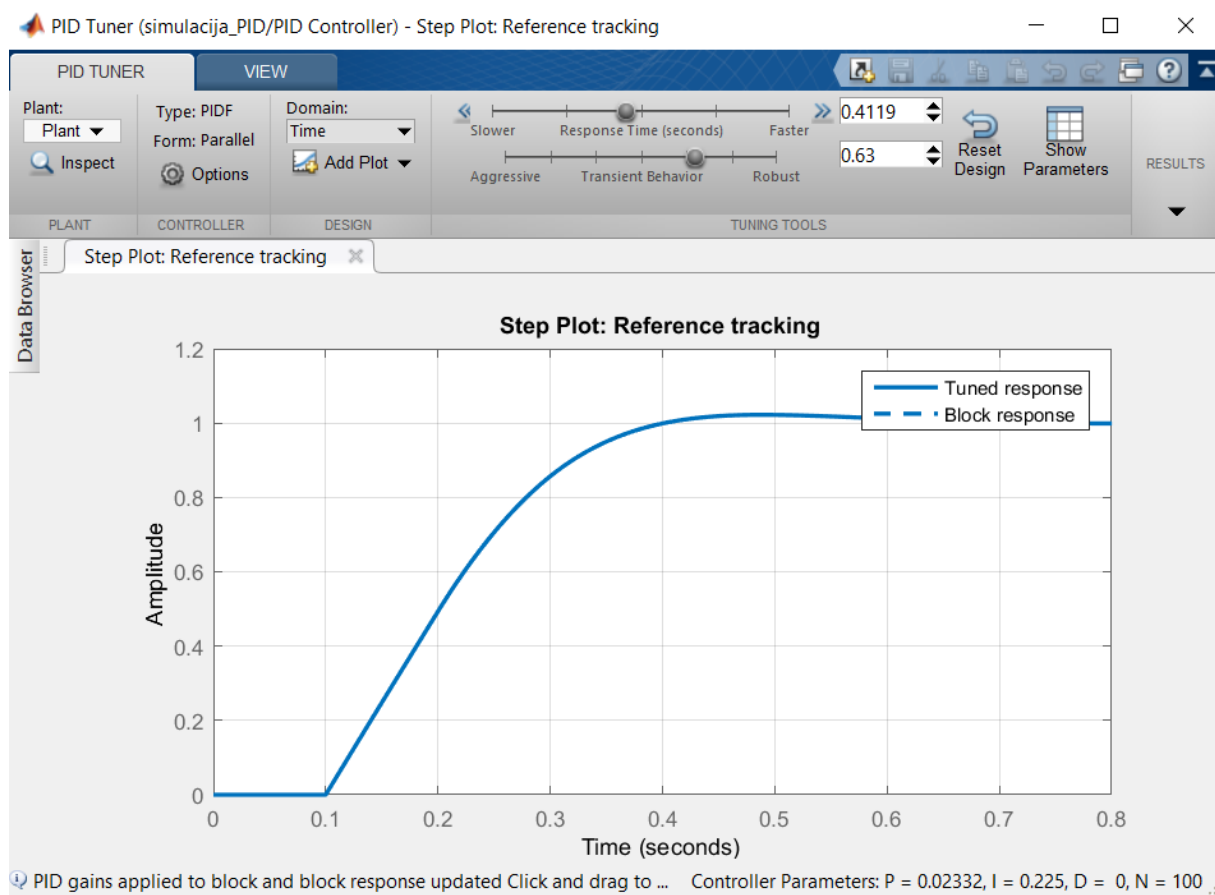
- step signal kojim se zadaje referentna vrijednost brzine u Hz,
- PID Controller blok za tuniranje parametara regulatora,
- blok prenosne funkcije kojim se simulira sistem,
- blok koji simulira šum (engl. Uniform Random Number),
- blok zasićenja kojim se ograničavaju gornja i donja vrijednost napona kako bi ostale u željenim granicama (engl. Saturation),
- blok kojim se podešava kašnjenje sistema (engl. Transport Delay),
- blok koji filtrirane podatke sprema u radni prostor (engl. To Workspace).



Slika 2.3: Shema simulacije spojena u Simulink-u

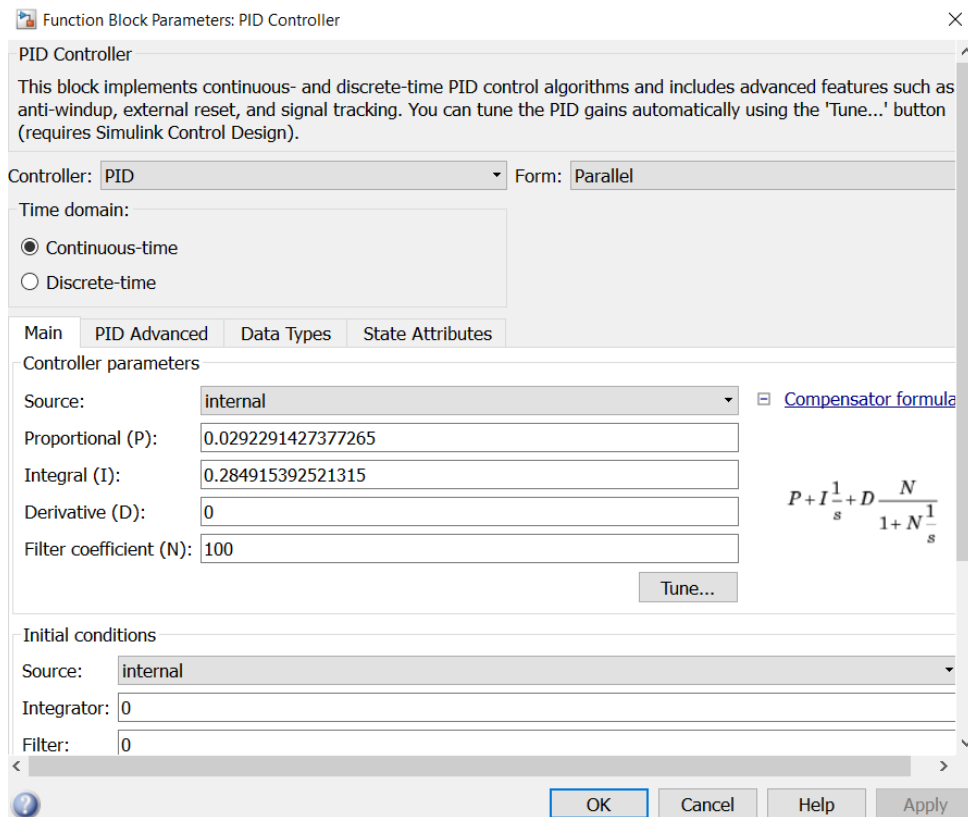
Identifikovano je da je za ulazni napon od 10 V, motor razvije maksimalnu brzinu od 214.3 Hz. Moguće je zadavati vrijednosti brzine do maksimalne.

PID regulator će se podešavati za dovedeni ulazni step signal amplitude 100, koji zapravo predstavlja zadatu brzinu. Na slici ispod prikazano je kako su se podešavali parametri PID-a (Slika 2.4).



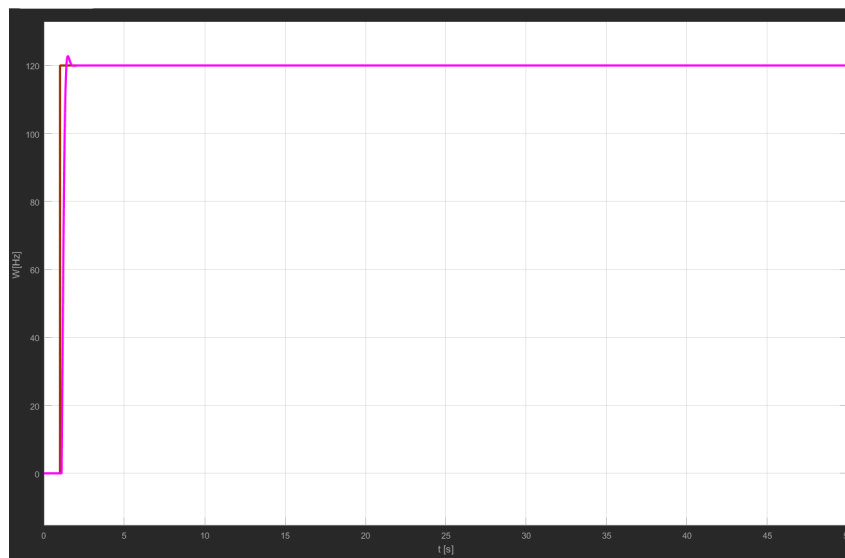
Slika 2.4: Tune-iranje parametara PID regulatora

Na slici se vidi da je odziv sistema zadovoljavajući. Odziv je dovoljno brz, a također nema velikih preskoka. Očitani parametri su prikazani na slici ispod (Slika 2.5).



Slika 2.5: Iznosi svake od komponente PID regulatora

Vidi se da zapravo nije potrebno da ima D komponenta, da bi odziv bio odgovarajući.



Slika 2.6: Odziv DC motora reguliranog PID regulatorom

3. Diskretizacije PID prenosne funkcije PID regulatora

Iz razloga što će naš regulator biti realizovan u mikrokontroleru, potrebno je njegovu prenosnu funkciju diskretizovati. Zatim će se dobiti diferentna jednačina koju će biti lahko implementirati i učitati na razvojno okruženje.

Kod je bilo potrebno realizirati za je priložen ispod:

Program 2.1: Diskretizacija G(s)

```
1
2 s = tf('s'); %transfer function od s
3 P_r_pid = 0.0292291427377265 %P komponenta
4 I_r_pid = 0.284915392521315 %I komponenta
5 D_r_pid = 0; %D komponenta
6 N_pid = 100; %Filter koeficijent
7 G_pid = P_r_pid + I_r_pid/s + D_r_pid*N_pid/(1+N_pid/s);
8 Gd_pid = c2d(G_pid, 0.001, 'zoh')
```

Nakon pokretanja koda, dobijena je prenosna funkcija G(z) kao na slici ispod.

```
>> Diskretizacija_PIDa

Gd_pid =

    0.02332 z - 0.0231
    -----
           z - 1

Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Slika 2.7: Dobijena diskretna prenosna funkcija regulatora

4. Odabir drajvera za pogonjenje motora

Iz razloga što je za ovaj motor potrebno na ulaz dovoditi napon u opsegu od 0 V do 10 V, a što sa mikrokontrolera se može postići napon od 0V do 5 V, potrebno je izvršiti određene manipulacije signala. U razmatranje su uzeti izbor nekog od driver-a u sklopu gotovog chipa, koji nisu bili na raspolaganju. Zatim je pokušana realizacija sa jednim pnp tranzistorom. Kao najsretnije rješenje odabrana je realizacija sa dva npn bipolarna tranzistora koji će raditi u dvije oblasti: zasićenju i zakočenju. Ovime će naponski signal biti dva puta invertovan i pojačan. Slika koja prikazuje ovakvo povezivanje prikazana je ispod.

5. Ugradnja dijela za indikaciju brzine

Potrebno je voditi računa o iznosu maksimalne struje koja može proteći kroz pin mikrokontrolera. Ovaj mikrokontroler, za razliku od drugih, daje nešto veći raspon sa gornjom granicom od $I_m=25\text{mA}$.

Potrebno je odabrati otpor koji ne dopušta veću struju od ove. Također, poznato je da tranzistori kada vode rade u zasićenju, a napon između emitera i baze iznosi 0.7V . Dalje se također mora biti ispunjen i uslov zasićenja za tranzistor:

$$I_B \cdot \beta > I_C \quad (2.2)$$

Može se opisati i sljedeća kontura, koja povezuje bazni otpor i baznu struju:

$$R_B = \frac{U - U_{EB}}{I_B} \quad (2.3)$$

Ako se razmotri najgori slučaj, tj. kad svaki dio segmenta svijetli, dobije se $I_{Cmax} = 7 * I_d = 70\text{mA}$. Tada se iz prve relacije može dobiti da je granični slučaj za struju baze (usvojeno da strujno pojačanje tranzistora iznosi 50):

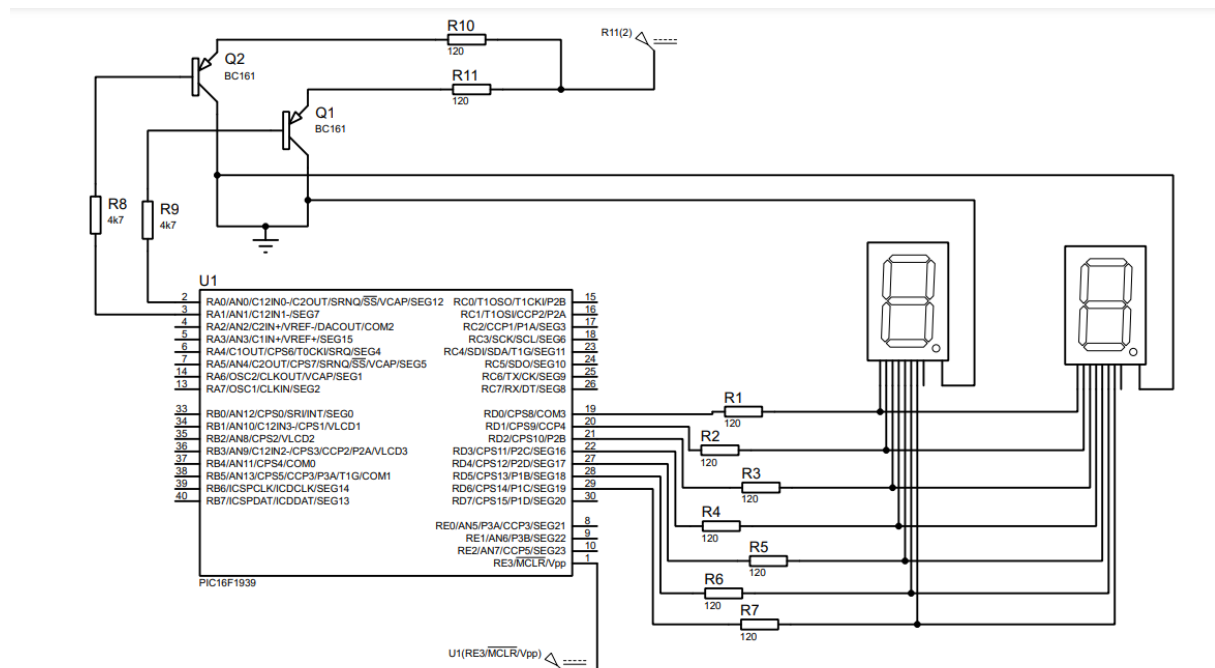
$$I_{Bmin} = \frac{I_{Cmax}}{\beta} = \frac{70}{50} = 1.4\text{mA} \quad (2.4)$$

$$R_{Bmax} = \frac{5\text{V} - 0.7}{1.4\text{mA}} = 3.07\text{k}\Omega \quad (2.5)$$

Ako se usvoji da je pad napona na diodi približno $U_d=2\text{V}$ slijedi jednakost:

$$R_{min} = \frac{U - U_d}{I_d} = 300\Omega \quad (2.6)$$

Konačno spaja se shema kao što je to prikazano na slici ispod.



Slika 2.8: Simulacija led dioda koje prikazuju trenutnu brzinu

Neophodno je na samom početku koda deklarirati i inicijalizirati niz. Izabran je da bude tipa char, gdje je zauzeta znatno manja memorija u odnosu na opciju da se koristi tip int. Ovi brojevi su vezani za ispis cifre na sedmosegmentni displej. Te će zatim biti slane na LATD iz razloga što su za taj port vezana oba sedmosegmentna displeja. Cifra koja se treba ispisati upravo odgovara indeksu broja u nizu.

Da bi mogli očitati napon, potrebno je očitanu vrijednost pomnožiti sa 5 (opseg A/D konvertora) i podijeliti sa 255 (ADRESH osmobarbitni registar). Zatim je potrebno izdvojiti cifru jedinica i cifru desetica. Sve vrijednosti u izrazu su tipa cijelih brojeva, pa će se nakon ovog postupka dobiti cifra desetica.

Izvršava se cjelobrojno dijeljenje, a ostatak se odbacuje. Cifra jedinica se dobije tako što se oduzme od ukupnog iznosa cjelobrojni, a zatim pomnoži sa 10. Ispisivanje dobijenih cifara na dva sedmosegmentna displeja se vrši multipleksiranjem, tj. iste izlaze porta D koristimo za oba displeja. Svaki displej se napaja iz drugog porta. Potrebno je da se aktivira jedan displej, na njega ispiše odgovarajuća cifra. Ljudsko oko je tromo, ne registruje brze promjene. Dovoljno je ovo stanje zadržati oko 20ms, nakon toga se taj displej gasi, a pali se drugi displej. To stanje se također zadrži oko 20ms. Čovjek ne primijeti ove brze promjene, i dobije se dojam da oba displeja svijetle istovremeno, dajući kompletan decimalan broj.

Poglavlje 3



Ideje za mogući daljnji razvoj i unapređenje sistema

Vodilo se računa pri realizaciji samog koda da bude što efikasniji. Korištena su dva prekida, te je minimalan dio koda realizovan u main petlji. Nedostatak koda je to što ima previše dijeljenja, nakon čega se dobiju realni brojevi. Poznato je da ovaj mikrokontroler nema modul za float vrijednosti, pa se te linije koda izvršavaju duže od ostalih. Moguće bi bilo napraviti neke lookup tabele koje predstavljaju nizove. Tada bi se vrijednostima pristupalo preko indeksa, te ne bi bilo potrebe za dodatnim konverzijama.

Poglavlje 4



Zaključak

Ovaj rad je u mnogo čemu bio izazovan i unaprijedio dosta vještina projektanata. Samom problemu je bilo potrebno pristupiti sistematično, te testirati dio po dio. Prvi izazov je bio pravilno identifikovati parametre sistema. Ovo je jednostavno izvršeno dovođenjem napona od 10 V na ulaz motora, a zatim očitavanjem napona na tahogeneratoru. Određena je prenosna funkcija sistema, a zatim napravljena simulacija u programskom okruženju MATLAB. Doveden je i blok koji imitira šum koji bi se pojavio u realnom svijetu. Parametri PID-a su određeni uz pomoć bloka za podešavanje parametara. Potom je izvršena diskretizacija gotovim funkcijama u MATLAB-u. Nju je nadalje bilo potrebno implementirati u mikrokontroler. Iz razloga što je za realizaciju regulacije bilo potrebno vršiti dvije A/D konverzije naizmjenično, a i generisati signal PWM-a javljala se poteškoća u usklađivanju ovih vremena. Pronađeno je kompromisno rješenje, za koje sve radi ispravno. Na kraju je uspješno sve povezano i sistem se upravlja u zatvorenom. To podrazumijeva da postoji senzor (tahogenerator), sa kojeg se može doći do trenutne brzine vrtnje motora. Također moguće je i zadati željenu brzinu vrtnje, koja se unutar mikrokontrolera oduzima i kao greška ulazi u regulator (predstavljen diferentnom jednačinom). Zadavajući vrijednost, postignuta je zadovoljavajuća brzina odziva sistema.