

Stabilizacija fizičkog klatna

Cilj ovog projekta je stabilizacija oscilujućeg fizičkog klatna odgovarajućim pomeranjem njegove tačke oslonca. Povratna informacija o položaju klatna se dobija pomoću Wii kontrolera.

Aparatura

Fizičko klatno je gravitaciono klatno, dakle bilo koje kruto telo koje može da osciluje oko horizontalne ose pod uticajem gravitacione sile. Cilj ovog rada je da se prilikom izvođenja klatna iz ravnotežnog položaja pokreće i DC motor tako da što pre stabilizuje oscilacije istog.

Komponente korišćene za rešavanje ovog problema su: DC motor (u ovom slučaju RS-385SH-2270), rotor, kaiš, vođica, klatno (sve su ovo delovi štampača), EasyPIC4, Wii controler, protoboard, osciloskop, sonde, krokodilke, IR diode, šotkeove diode, kondenzatori (100 mF), otpornici (512 i 10 Ω), licnaste žice, lemilica, izolir traka, klješta, a od softvera MikroC, Visual Studio (C#), Matlab.

DC motor spada u rotacione električne mašine kod kojih se vrši pretvaranje električne u mehaničku energiju rotacionog kretanja. Pripada dvopobudnom sistemu, jer ima dva namota, statorski i rotorski. Napaja se jednosmernim naponom. U zavisnosti od smera kretanja struje kroz DC motor, motor okreće zupčanik u odgovarajućem smeru. Dobre karakteristike DC motora su: mala cena, velika pouzdanost i lako upravljanje.

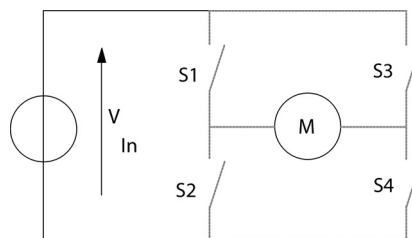
H-most je električno kolo koje služi za regulisanje smera kretanja jednosmerne struje kroz motor. Najčešću primenu ima u robotici i ostalim aplikacijama gde je potrebno upravljati nečim što se pomera u jednom pravcu, a u suprotnim smerovima. Sastoji se od četiri prekidača, motora između njih i strujnog

izvora. Struja teče u jednom smeru kada su zatvoreni prekidači S1 i S4, a S2 i S3 otvoreni, a u suprotnom smeru kada su S2 i S3 otvoreni, a S1 i S4 zatvoreni. Šema H-mosta je prikazana na slici 1.

EasyPIC4 je razvojna ploča za PIC mikrokontroler. Namena mikrokontrolera je upravljanje uređajima i procesima. Razlika između mikrokontrolera i mikriprocesora je u tome što su mikrokontroleri optimizovani u pravcu upravljanja procesima u stvarnom vremenu, imaju nisku cenu i malu potrošnju

Wii je nintendova konzola za igranje video igrice. Sadrži akcelerometar (uređaj koji meri ubrzanje) i uređaj koji određuje položaj izvora IR svetlosti

Na zupčaniku se nalazi kaiš koji je na drugoj strani pričvršćen za isti takav zupčanik. Taj zupčanik može slobodno da rotira oko svoje centralne ose. Kada se motor pokrene on okreće zupčanik a samim tim i kaiš na njemu. Na kaišu se nalazi vođica za koju je privezano fizičko klatno pa se na taj način isto i pokreće. Štampač je rastavljen na delove. Ceo sistem je predstavljen na slici 2.



Slika 1. H-most

Figure 1. H-bridge

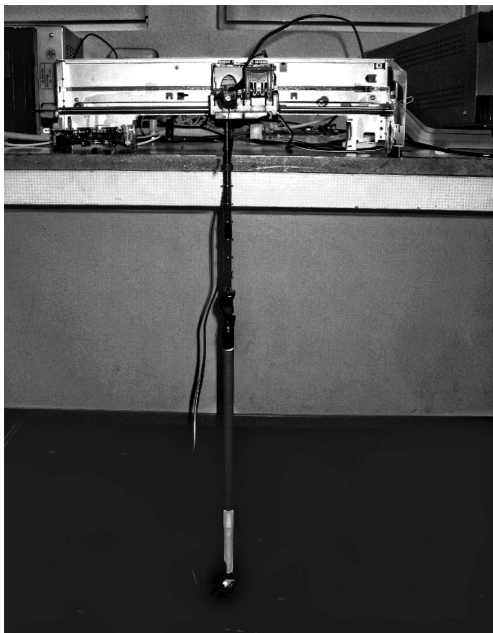
Petar Nobilo (1991), Beograd, Braće Baruh 6/9, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

Aleksandar Danilović (1993), Valjevo. Vojvode Mišića 39, učenik 1. razreda Valjevske gimnazije

MENTORI:

Darko Todorović, Elektronski fakultet, Niš

Đorđe Nijemčević, Microsoft Development Center Serbia, Beograd



Slika 2. Sistem fizičkog klatna

Figure 2. Physical pendulum system

Klatno se učvrsti za vodiču. Na gornjem i donjem kraju klatna se prikače IR diode. Dakle, cilj postaje izjednačavanje x-koordinata ove dve diode. Potom se na protoboardu sastavlja kolo za H-most, prikazano na slici 3.

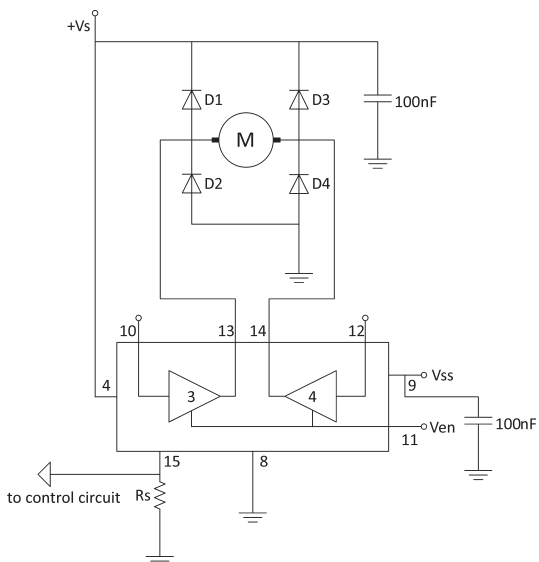
Na V_s je doveden jednosmerni napon od 12V. Računar i EasyPIC4 su povezani preko USB kabela. EasyPIC4 je povezan sa H-mostom kao na slici 4. Izlazni portovi na EasyPIC-u su RC1 za PWM2 i RC2 za PWM1. Takođe su sva uzemljenja koja se vide na slici dovedena na GND (uzemljenje) koje je na protoboard dovedeno sa EasyPIC-a. Pinovi 9 i 11 su spojeni sa VCC-om na EasyPIC4-u.

Takođe su povezani računar i EasyPIC4 i preko serijskog RS232 porta. Pri ovom povezivanju treba biti pažljiv da ne bi pregorele neke komponente kola. Šema kompletnog sistema data je na slici 4.

Metod rada

Motorima se upravlja pomoću IŠM (impulso širinska modulacija).

Pwm (pulse-width modulation) ili na srpskom impulsno širinska modulacija je funkcija za regulisanje jačine signala koji se šalje motoru (maksimalna je 100% odnosno duty ratio u mikroC-u je 255). Time se zapravo reguliše brzina okretaja motora. To je funkcija koja određeno vreme šalje puni signal, a posle toga određeno vreme šalje minimalan signal čiji je duty ratio (slika 5).



Slika 3.

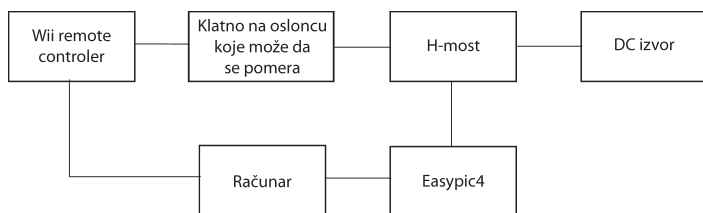
Konkretna implementacija H-mosta

D1, D2, D3, D4 – Šotkeove diode; pravugaonikom je označen H-most; 12, 10 su izlazni pinovi za PWM

Figure 3.

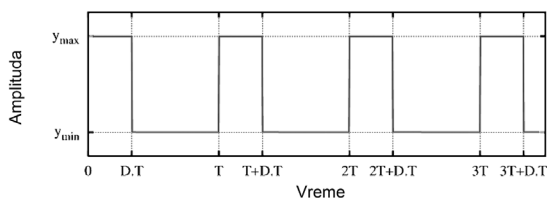
Implementation of H-bridge

D1, D2, D3, D4 – Schottky diodes; the rectangle marks the H-bridge; 12, 10 are output pins for PWM



Slika 4. Šema sistema

Figure 4. System scheme



Slika 5. Signal kojim se reguliše brzina okretanja motora

Figure 5. Motor speed regulating signal

Duty ratio predstavlja procentualnu jačinu PWM signala, tj. brzinu kojom će motor da se kreće.

Logika za stabilizaciju sistema realizovana je u obliku PID kontrolera.

PID kontroler je kontrolni sistem za upravljanje. P kontroler ima proporcionalno dejstvo, I kontroler ima integralno dejstvo, a D kontroler diferencijalno dejstvo. U PID kontroleru su sadržane tri vrednosti proporcionalna, integralna i derivatna vrednost. Proporcionalna vrednost određuje reakciju na trenutnu grešku, integralna, reakciju na sumu prošlih grešaka, a derivatna, reakciju na stopu po kojoj se greška menja. PID algoritam:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}(t)$$

Povećavanjem K_p , funkcija ima veći nagib, više oscilacija i veći premašaj zadate vrednosti. Povećavanjem K_i , funkcija ima takođe veći nagib, ali brže se eliminišu greške u ravnoteži, i vreme umirivanja oscilacija i premašaj zadate vrednosti se povećava. Povećavanjem K_d smanjuje se broj oscilacija, i kraće je vreme umirivanja.

Sistem je stabilizovan uz pomoć PID kontrolera, odnosno samo P kontrolera. Urađena je simulacija PID kontrolera u Matlabu da bi se videla efikasnost tog postupka. Princip na kojem se ovo zasniva jeste da motor u zavisnosti od blizine trenutnog i traženog položaja reguliše brzinu kojom se klatno pomera ulevo ili udesno.

Napisan je kod u MikroC-u za slanje PWM-a. Potrebna su dva PWM signala. Jedan pokreće motor

u jednom smeru, a drugi u drugom smeru. PWM se očitava na osciloskopu da bi se proverilo da li je kod uredno. Takođe je veoma bitno da se nikada ne šalju oba PWM-a istovremeno na H-most jer H-most može da prepriži

Napisan je kod koji na pritisak tastera na EasyPIC-u pokreće motor ulevo ili udesno, a na pritisak druga dva tastera brže ili sporije.

Napisan je kod koji na pritisak dugmeta na tastaturi iz HyperTerminala zadaje komande gde da motor pokreće klatno.

Ova komunikacija između računara i EasyPIC-a se odvija preko serijskog porta. Napisan je kod u mikroC-u koji na dolazak char simbola 'a' ('d') sa serijskog porta skreće ulevo (udesno), a na dolazak sledećeg simbola daje jačinu PWM-a koji reguliše brzinu kojom se motor kreće (svaki simbol ima svoj ASCII kod i on zapravo predstavlja tu brzinu).

Napisan je kod u C#-u za određivanje pozicija IR dioda. C# dobija te informacije od Wiia. Zatim je napisan kod koji u zavisnosti od razlike x-koordinata dioda šalje signal EasyPIC-u kojom brzinom i na koju stranu da pokrene motor. Pravljen je P upravljanje motorom odnosno proporcionalno upravljanje što znači da je formula za brzinu motora: duty ratio = $k \cdot \Delta x + n$. Ovi koeficijenti se podešavaju testiranjem. Ali, pre toga je pronađen najmanji duty ratio koji treba da bude da bi se vođica uopšte pokrenula zbog sile trenja koja deluje na nju. To je urađeno na sledeći način: pošto je odgovarajući kod spušten na EasyPIC u hyper terminalu se direktno upisuju ASCII kodovi. Testiranjem je utvrđen najmanji duty ratio.

Pošto je to odrađeno napisan je program u C# koji po datoj formuli obradi podatke primljene od Wii-a i pošalje odgovarajuće komande preko serijskog porta EasyPIC-u. Na EasyPIC-u je već odgovarajući kod spušten i on sada dobijen signal obradi i upravlja motorom.

Prvi problem koji se javlja prilikom ovakvog upravljanja jeste početna greška, tj. razlika između x-koordinata ove dve IR diode nije 0. Ovo je ispravljeno tako što se prilikom prvog očitavanja programski ta greška ispravlja. Zbog toga što je sistem nesavršen usled prevelikog „cimanja“, klatno se pomera još više i zbog toga se pronalazi najmanja vrednost razlike koordinata po x-osi na koje sistem treba da reaguje.

Potom se, zarad bolje stabilizacije fizičkog klatna, radi PD kontrola. Duti ratio sada postaje:

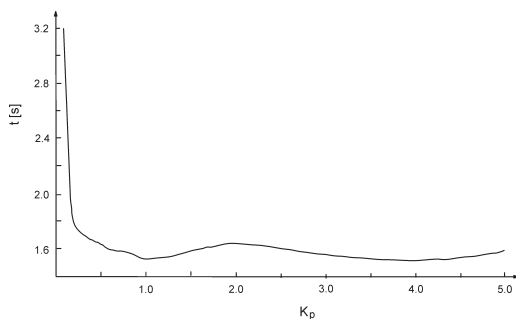
$$k \cdot \Delta x + n + K_d \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t},$$

gde je Δx razlika koordinata dve diode po x-osi, a Δt interval za koji se izmeri razlika Δx , tj. vreme između dva uzastopna slanja podataka, koje šalje wii, a prima računar.

Merenje se odvija na sledeći način: kanap se veže za klatno i otkloni uvek za istu dužinu (Δx), odnosno isti ugao (α), i potom se pusti da osciluje. Protoklo vreme se meri štopericom.

Rezultati testiranja

Sa grafika zavisnosti vremena stabilizacije od proporcijalnog tj. diferencijalnog koeficijenta se uočava da je za male vrednosti koeficijenta veliko



Slika 6. P kontrola

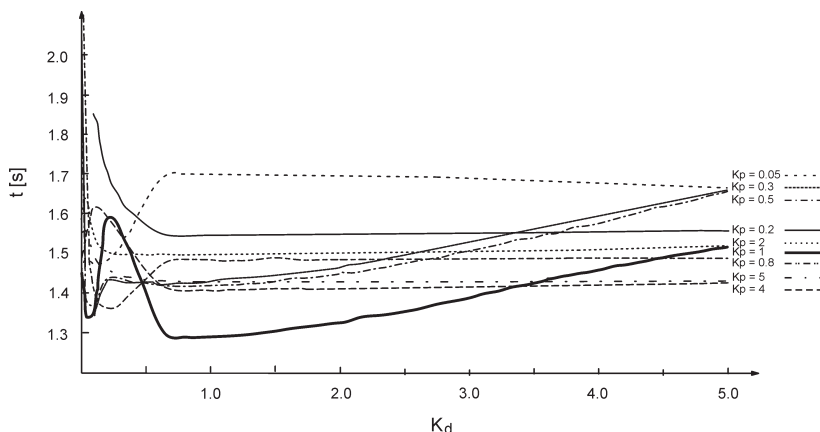
Slika 6, P controle

vreme zaustavljanja, a takođe se može uočiti da posle određene vrednosti za K_d dolazi do zasićenja funkcije. Funkcija je na jednom intervalu monotono opadajuća, a zatim postaje monotono rastuća. Tačka u kojoj funkcija menja monotonost predstavlja minimum funkcije, odnosno za K_d te tačke vreme smirivanja je najmanje. Nakon toga funkcija postaje konstanta, tj. dolazi do zasićenja funkcije. Takođe se može uočiti da je PD kontrola najbolja za $K_p = 0.05$, a najbolja za $K_p = 1$, pri čemu je vreme stabilizacije 1.29 s, a $K_d = 0.696$.

Za P kontrolu je najmanje vreme stabilizacije iznosi 1.53 s za $K_p = 4$.

Ovo se može videti na graficima (slike 6 i 7).

Parametri pri testiranju: dužina klatna 555 mm; udaljenost tačke otklona od tačke oslonca $l_1 = 120$ mm, veličina otklona $\Delta x = 115$ mm, što daje početni



Slika 7. PD kontrola

Figure 7. PD controle

ugao odklona $\alpha = 73^\circ 24'$; klatno osciluje 27.23 sekundi bez uključivanja bilo koje kontrole.

Zaključak

Ceo sistem daje odlične rezultate i klatno se stabilizuje u kratkom vremenskom roku. Merenjem je pokazano da je PD kontrola bolja od P kontrole. Projekat balansirajućeg fizičkog klatna može biti uvod u ozbiljnija istraživanja i projekte, kao što je održavanje ravnoteže robota koji se kreće na dve noge.

Petar Nobilo and Aleksandar Danilović

Stabilization of Physical Pendulum

The aim of this project is to stabilize a physical pendulum by moving its fulcrum. Return information about the position of the pendulum is obtained with a Wii controller. 