

СЕМИНАРСКИ РАД

Предмет: Дигитално управљање

Тема: Изградња и управљање лабораторијским
моделом плоче са вентилатором

СТУДЕНТ:
Ћировић Вукашин 47/2004

МЕНТОР:
Проф.др. Милан Матијевић

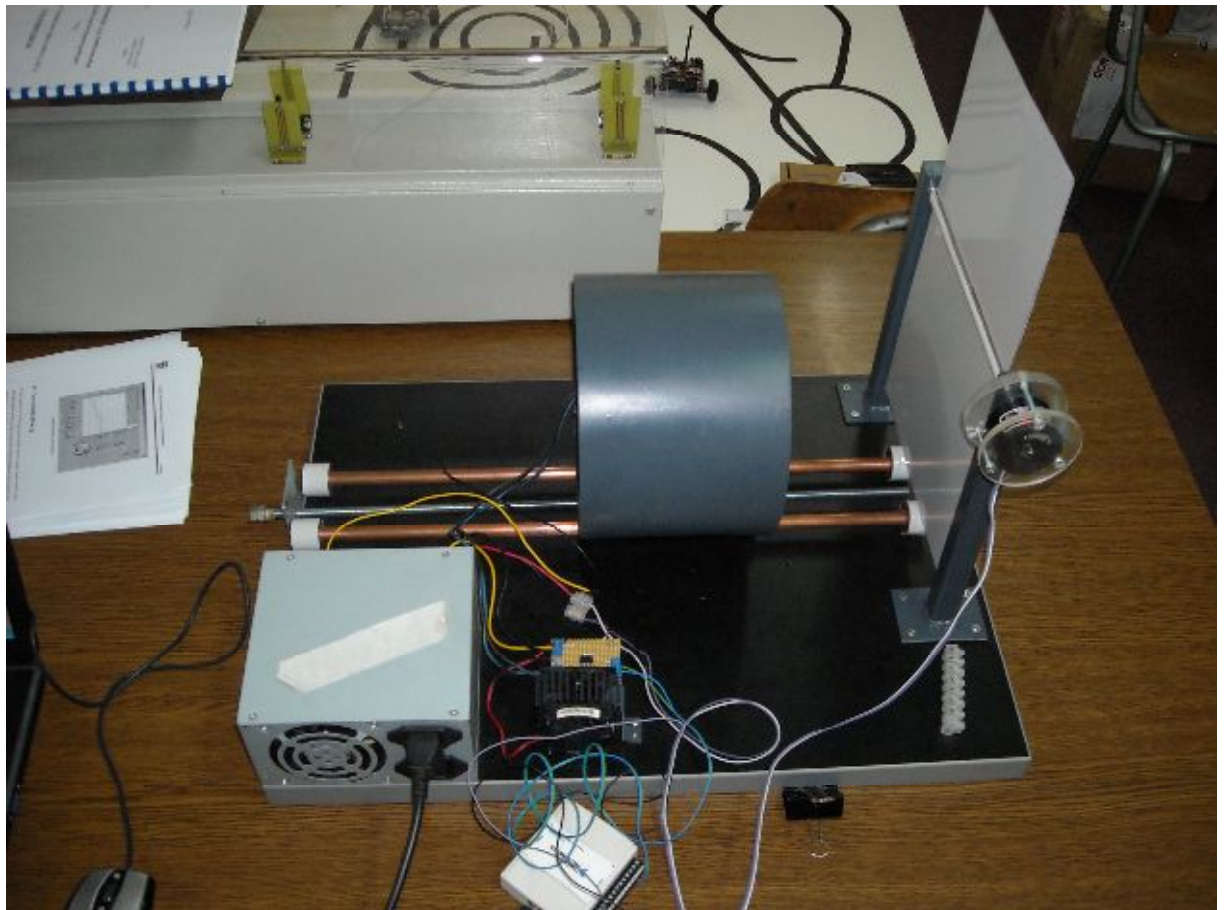
Крагујевац 2008.

САДРЖАЈ

Увод	3
Изградња	4
Управљање	12
Идентификација	12
Анализа објекта управљања	18
Подешавање параметара PID регулатора	22
Синтеза дигитлног PID регулатора	28
Реализација у програмском пакету LabView	31

Увод

Циљ овог семинарског рада је покушај повезивања више техничких дисциплина које би требало да карактеришу једног машинског инжењера будућности. Ту се пре свега мисли на пројектовање, конструисање, изградњу, контролу, повезивање и пуштање у рад. Поред горе наведених, овај семинарски рад укључује и низ других дисциплина као што су електроника, дигитална обрада сигнала, програмирање као неопходне за успешан завршетак овог посла.



Слика 1. Изглед апаратуре

Изградња

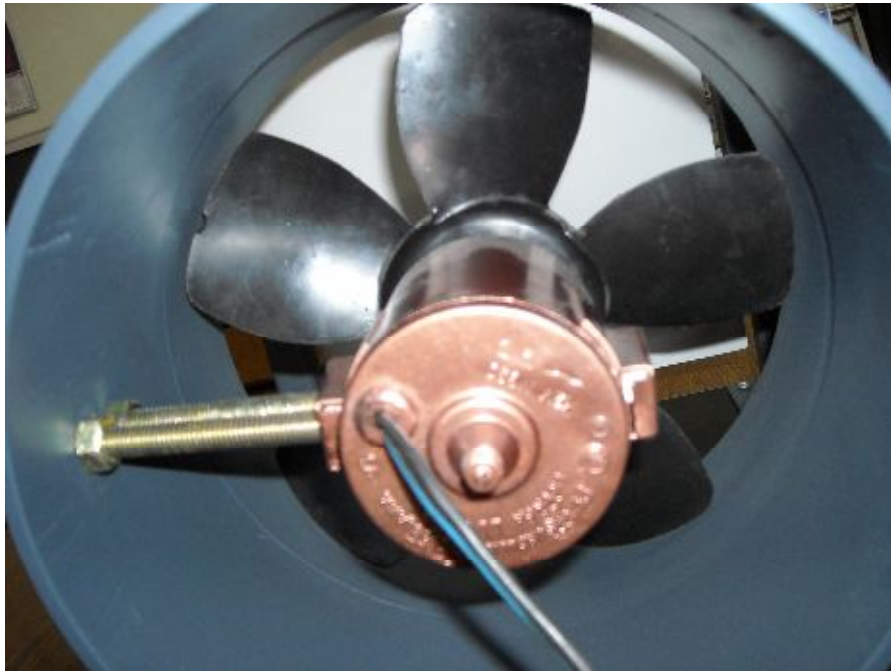
Овај рад осмишљен је пре свега као лабораторијска вежба за студенте смера Примењена механика и аутоматско управљање, на Машинском факултету у Крагујевцу, али и за све оне који су заинтересовани за упознавање са правилом повратне спреге, SISO системом (Single Input Single Output), у коме постоји само један мотор и један сензор, дигиталном обрадом сигнала итд.

Лабораторијска вежба има једноставан назив „*Вентилатор и плоча*“. Првобитна идеја била је да се управља позицијом плоче у односу на вертикалну раван (њеним закошењем за одређени угао). Током саме израде родиле су се нове идеје које су имплементирани у систем, али је основна конструкција остала иста. Састоји се од:

1. ДС мотора са пропелером
2. Поли-етиленске (ПЕ) цеви спољнег пречника 200mm (кућиште мотора)
3. Челичних стубића
4. Клизача направљених од бакарних цеви
5. Вођица кућишта мотора од поли-пропиленских (ПП) цеви
6. Осовине пречника 10mm.
7. Лежаја
8. Плоче од пертинакса
9. Навојног вретена са вођицом
10. Основне плоче од оплемењене иверице
11. Потенциометра
12. Напајања
13. Електронске кутије.

ДС Мотор

Мотор је стандардна компонента и као такав је без измена уграђен у систем. Мотор је једносмерни (12V, 50W), са пропелером на крају пречника 194mm. За кућиште мотор је причвршћен са 2 брезона пречника 8mm.



Слика 2. Мотор у кућишту

Кућиште мотора

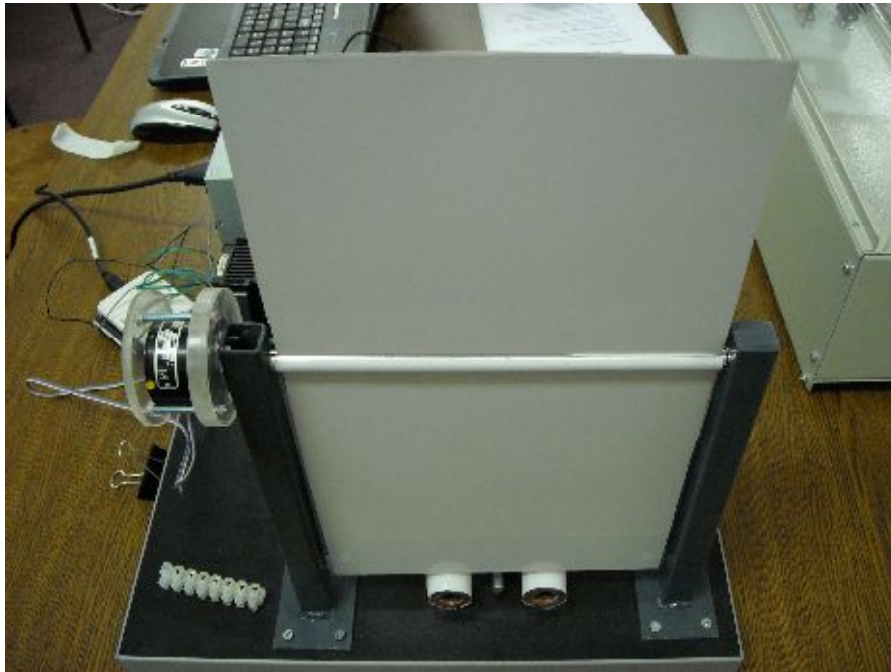
За изградњу кућишта мотора искоришћена је поли-етиленска цев спољнег пречника 200mm и дужине 144mm. Унутрашњи пречник цеви у основи је 194mm, тако да је била неопходна обрада унутрашњег зида цеви на меру од 198mm у пречнику. Поступак обраде састојао се у обради на стругу у 3 пролаза (2,1,1) до половине дужине цеви.



Слика 3. Кућиште мотора

Челични стубови

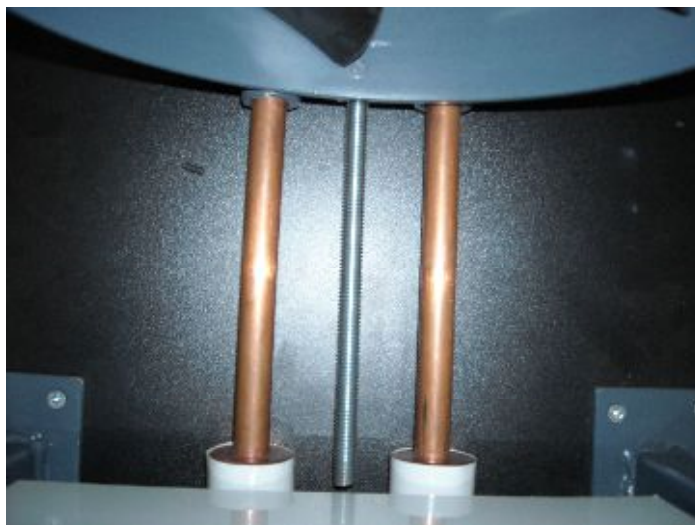
Носећи стубови израђени су од челичних профилисаних цеви 20x20mm висине 247mm, заварених на постоље од челичне плоче димензија 65x45mm дебљине 3mm. Тиме се добија да је укупна висина од основе 250mm. Оба стуба имају отвор пречника 10mm за пролаз осовине. Један стуб предвиђен је за лежај тако да је накнадно обрађен на меру лежаја од 13mm, у толеранцији 13H7.



Слика 4. Челични стубови

Клизачи

Клизачи су израђени од бакарних цеви пречника 12mm, дужине 495mm, са припадајућим држачима од поли-пропиленских цеви 25/12mm и дужине 20mm.



Слика 5. Клизачи

Вођица кућишта

4 вођице направљене су од поли-пропиленских цеви 25/12mm, дужине 25mm. За кућиште мотора причвршћени су епокси лепком.



Слика 6. Вођица кућишта

Осовина

Материјал осовине је прохром, пречника 10mm. На једном крају осовина је обрађена за унутрашњу меру лежаја (4mm) а са друге стране направљен је отвор пречника 3mm са унутрашњим навојем за везу са потенциометром. Због постизања жељене равнотеже, осовину је било неопходно обрадити просецањем кроз средину у ширини од 1.5mm, за провлачење плоче.



Слика 7. Осовина

Лежај

Лежај је стандардна компонента, тако да је уграђен без додатне обраде. У питању је куглични лежај серије 624 (према каталогу SKF-а) следећих карактеристика:

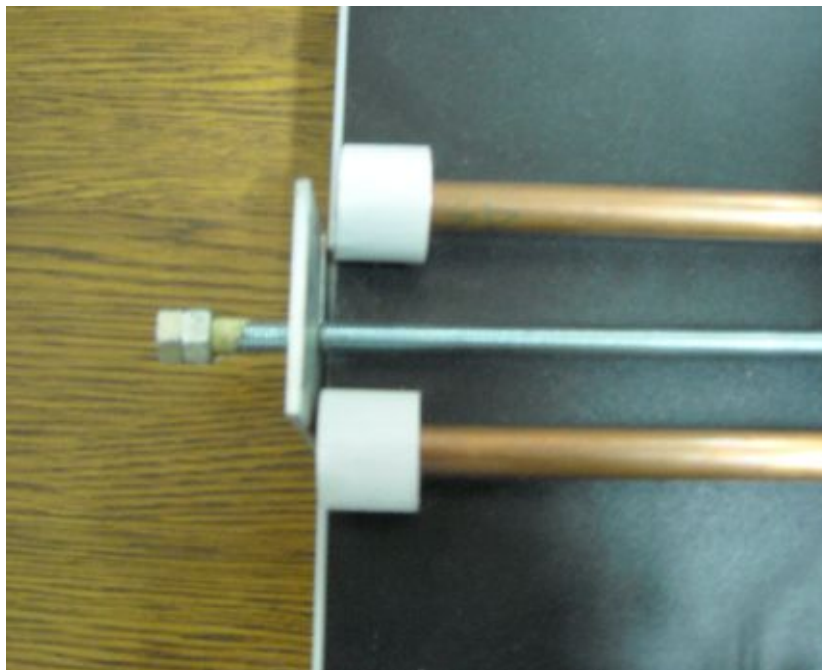
- Унутрашњи пречник 4mm
- Спољни пречник 13mm
- Ширина лежаја 5mm
- Статичка моћ ношења 305 N
- Динамичка моћ ношења 975 N

Плоча

Материјал плоче је пертинакс, димензије 200x350mm, дебљине 1mm са 2 отвора за причвршћивање на осовину.

Навојно вретено

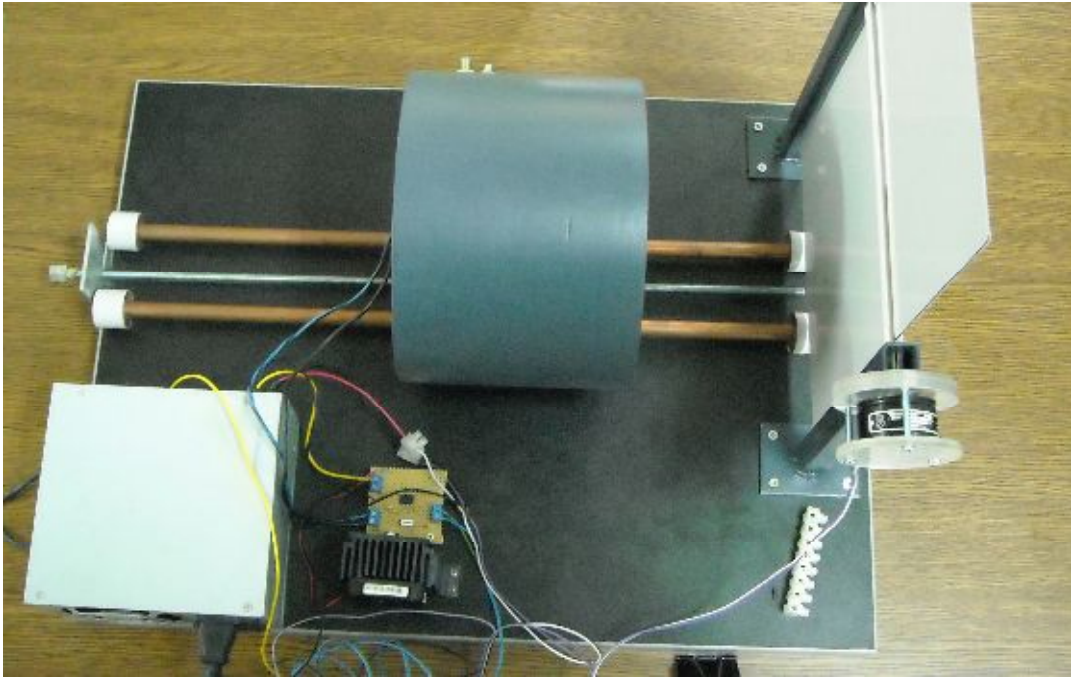
Улога навојног вретена је да мотор са кућиштем приближи/одаљи од плоче и на тај начин директно утиче на динамику система. Навојно вретено је пречника 8mm, са навојем M8x1mm. Дужина навојног вретена је 530mm, максимално могуће померање је 460mm, а препоручује се да ход буде до 420mm. Са доње стране кућишта мотора налазе се 2 вођице навојног вретена ДИМЕНЗИЈЕ. Један крај вретена је слободан, а други је причвршћен металном плочицом 50x70mm.



Слика 8. Навојно вретено

Основна плоча

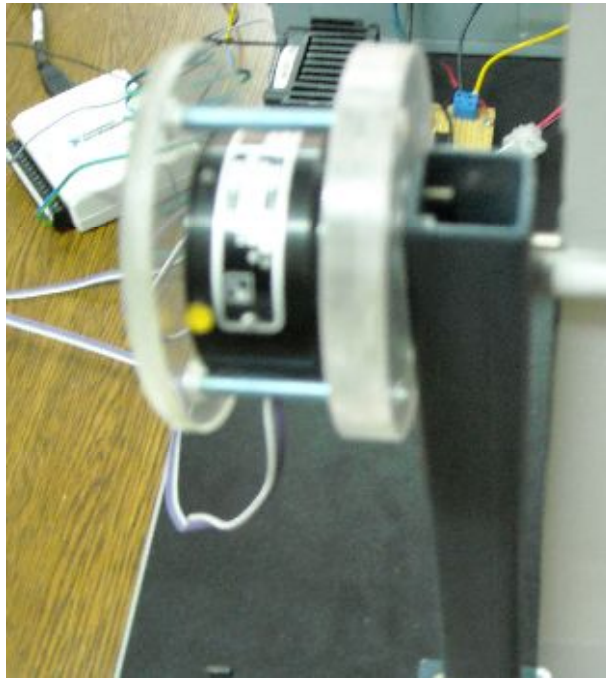
Комплетна вежба постављена је на основну плочу, димензија 600x400mm, од оплемењене иверице дебљине 28mm, са ABS кант траком. На плочи су израђени отвори за везивање стубова, држача вођица, везивање напајања и причвршћивање фиксног дела навојног вретена.



Слика 9. Основна плоча са елементима

Потенциометар

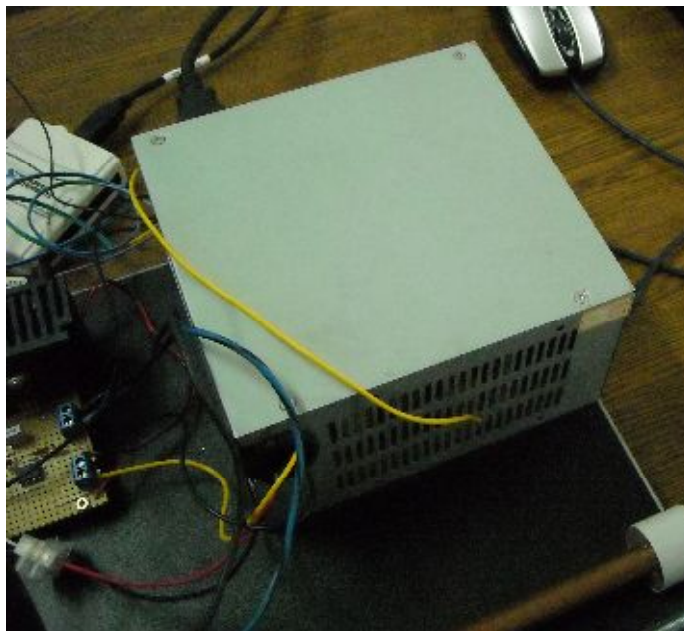
Ово је стандардна компонента. Ради се о слободно обртном потенциометру, са могућношћу мерења угла у распону од 0 до 165 степени у оба смера окретања. Потенциометар на једном свом крају има осовину са навојем пречника 3mm који је искоришћен за везу са осовином. Са друге стране потенциометар поседује аналогни угломер којим је могуће директно прочитати, у овом случају, вредност угла отклона плоче у односу на вертикалну раван.



Слика 10. Потенциометар

Напајање

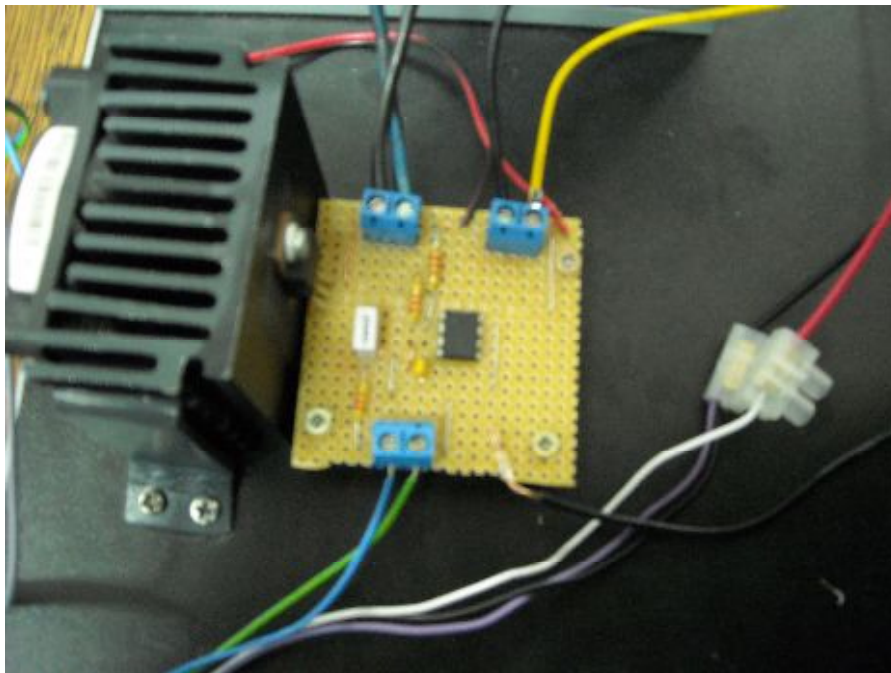
За изградњу овог лабораторијског модела коришћено је стандардно рачунарско напајање снаге 400W, димензија 140x150mm са одређеним изменама. Као прво, уклоњен је вишак извода различитих напонских нивоа, а остављен само један извод од +12V (због потребе мотора за струјом од 4.5A) и један извод +5V за потребе AD/DA картице. Друга измена састоји се у преспајању унутар кутије за напајање тако да је цео систем могуће активирати укључењем прекидача са спољне стране напајања.



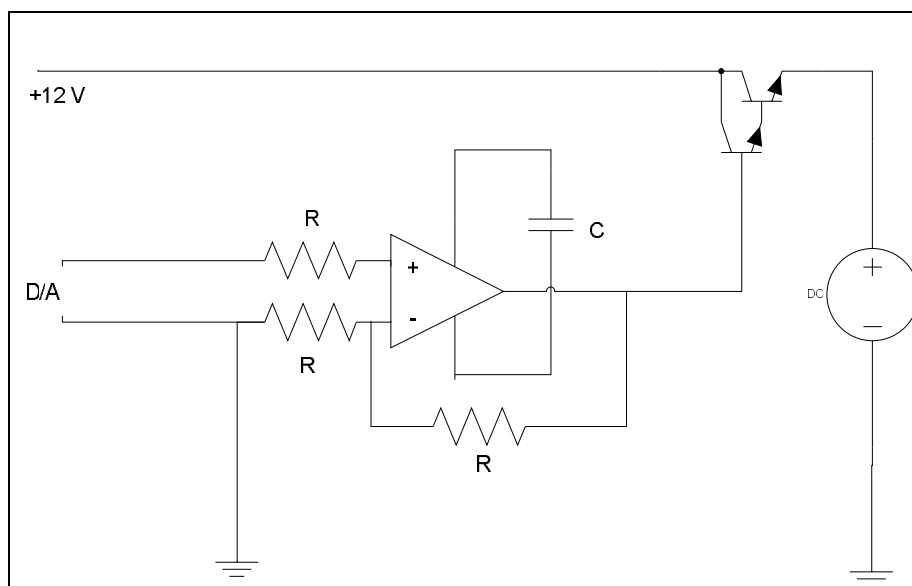
Слика 11. Напајање

Електронске компоненте

За управљање мотором једносмерне струје, за ову прилику, било је неопходно израдити појачавач снаге. Цео проблем је у томе, што се управљање обавља преко A/D D/A картице USB 6009 фирме National instruments. Картица на свом дигитално-аналогном излазу даје напон од максимално 5 волти и струју до 100mA. Дакле, потребно је направити појачавач снаге, који ће излазни напон са картице 0-5 волти, превести на напон од 0-12 волти и при томе ће дати струју од око 2.5 ампера.



Слика 12. Појачавач



Слика 13. Шема везивања кола појачавача

Компоненте које су коришћене у колу су следеће:

Отпорници номиналне отпорности $2.2\text{ k}\Omega$

Керамички кондензатор капацитивности $100\text{ nF} / 50\text{V}$

Коло операционог појачавача *LM 2904* (у додатку је дата шема овог кола)

Дарлингтонов транзистор *BDW 93C* (у додатку су дате карактеристике транзистора)

Због дисипације снаге на транзистору неопходно је уградити хладњак са или без вентилатора. У овом случају хладњак поседује и вентилатор.

Управљање

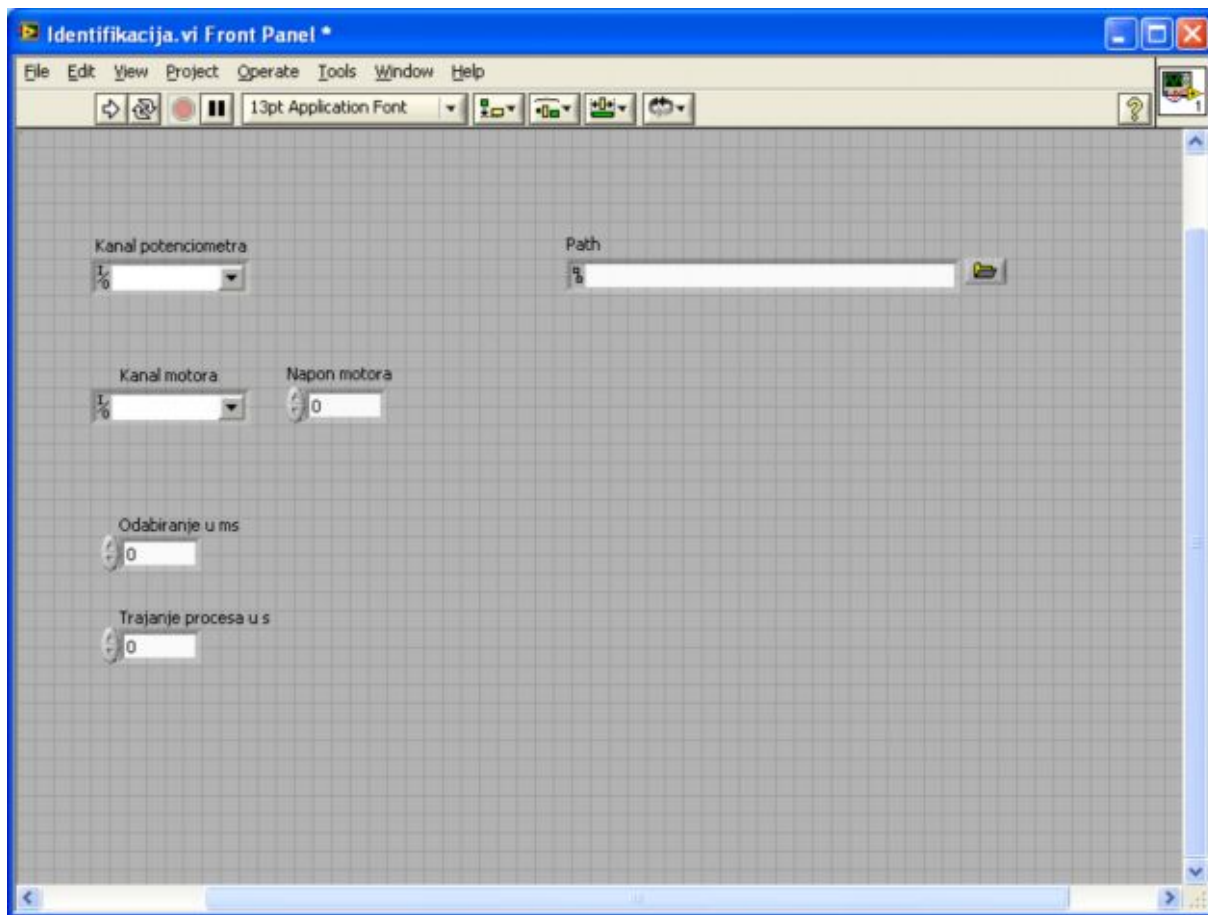
Пошто је у основи ово студентска вежба, систем је осмишљен тако да је управљање могуће извршити на више начина. Основни програмски пакет који је уосталом и коришћен за баждарење система и идентификацију у фази израде је LabView (верзија 8.0) фирме National Instruments. Такође управљање је могуће реализовати помоћу софтверског пакета Matlab, док би трећи начин који овде није обухваћен, могао бити управљање помоћу софтвера развијеног у неком од развојних окружења (Visual Studio)тј. програмским језицима C# или C++. Као што је горе напоменуто, овде ће бити описани начини управљања помоћу LabView-а и Matlab-а.

Идентификација система

Идентификација објекта управљања, или система управљања подразумева решавање проблема изградње математичког модела базирано на разматрањима података из система. Први начин моделирања подразумева писање, за овај случај, динамичких једначина кретања, примну Лапласове трансформације и формирање модела објекта управљања. За овај систем једначина је тривијална и овде није изведена већ је написана у крајњем облику $W_{ou} = \frac{1}{Js^2 + bs + 1}$, на основу које се закључује да је систем другог реда. Други начин моделирања заснован је на експериментисању. Улазни и излазни подаци се снимају и на основу тих података конституише се модел система. Овај начин се назива моделирање. У основи постоје 2 начина моделирања. Први подразумева снимање улазних сигнала у нормалном режиму рада система, помоћу кога се долази до модела система у реалном времену. Овај облик идентификације се назива on-line идентификација. Са друге стране, експериментално добијене резултате је могуће регистровати и сачувати, па касније обрадити, ван времена реалног рада. То је off-line идентификација. У овом случају коришћена је off-line идентификација. У случају да је

структура модела позната (а то је овај слућај) идентификација се своди на одређивање параметара система и такав облик назива се параметарска идентификација.

За снимање карактеристика овог процеса у програмском пакету LabView 8.0 направљен је интерфејс на коме се налазе канали за комуникацију, напон мотора, трајање процеса у секундама и одабирање сигнала у милисекундама.



Слика 14. LabView интерфејс за идентификацију

Идентификација система одрађена је напон мотора од 5 волти. Карактеристика понашања система снимљена је 5 пута са трајањем од 30 секунди и периодом одабирања 10 милисекунди. Резултати су касније прилагођени улазном формату пакета Matlab у коме је извршена параметарска идентификација.

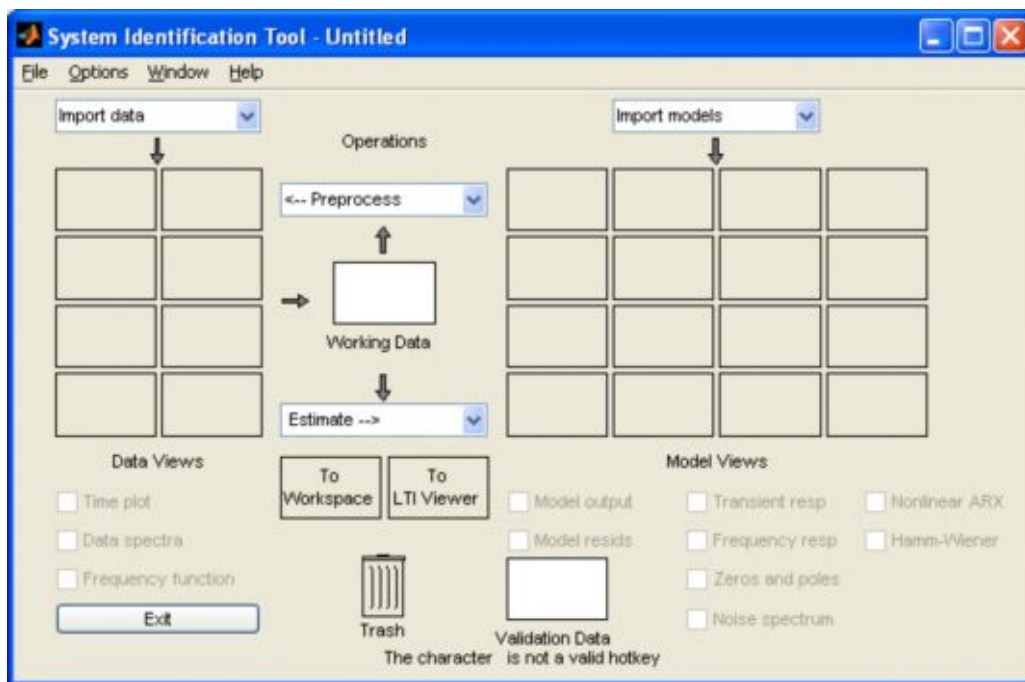
Као што је речено, за идентификацију објекта управљања коришћен је Ident Toolbox у оквиру програмског пакета Matlab2007b. Он се покреће тако што се у радном прозору откуца ident. Пре самог покретања, потребно је учитати податке у радни простор Матлаб-а. Фајлови који чувају податке из експериментна су у ознаци Test1.m до Test5.m. У радном простору Матлаб-а треба написати следеће:

load Test1.m

ulaz=Test1(:,3)

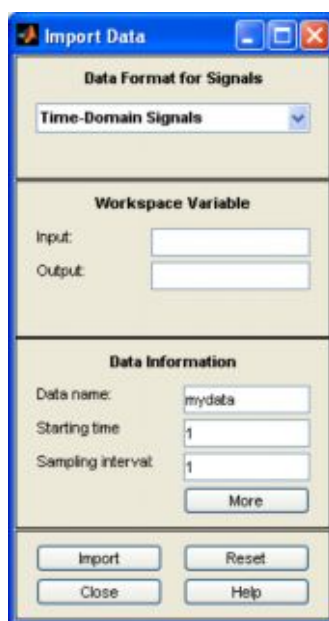
ilzlaz=Test1(:,2)

Подаци у овим фајловима сачувани су тако да се улаз тј. напон налази у трећој колони, а излаз односно угао у другој колони. Сада се може покренути Ident toolbox.



Слика 16. Интерфејс Ident Toolbox-а

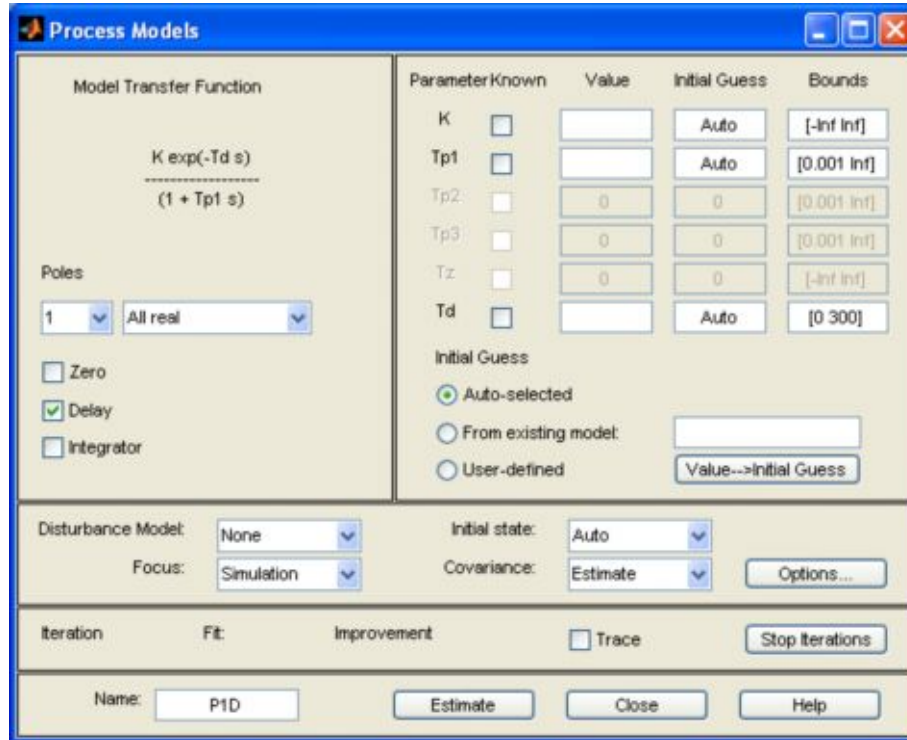
У горњем левом углу налази се падајући мени за избор улазних података. У њему се бира тип улазних података. То могу бити подаци у временском или фреквенцијском домену или објекти типа податка. Треба изабрати временски домен (Time domain data).



Слика 17. Простор за унос параметара идентификације

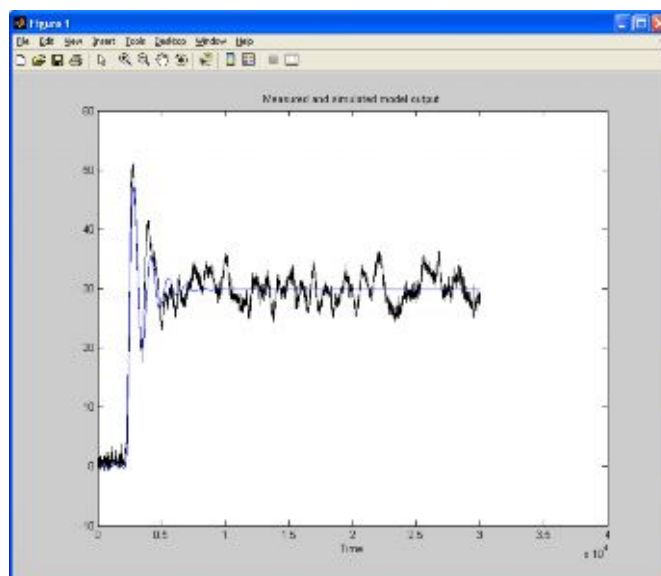
Након тога се отвара прозор у који треба унети улазни и излазни вектор (ulaz, izlaz), и период одабирања (Sampling interval=0.01s).

Након тога у пољу Estimate изабрати Process models након чега се отвара следећи прозор:



Слика 18. Панел за избор типа процесног модела

У овом прозору потребно је изабрати тип модела, облик полова, и додатне параметре као што су транспортно кашњење, пол у нули, или нула функције преноса у нули. Овај процес естимиран је као систем 2. реда без кашњења са имагинарним половима (undamped).



Слика 19. Резултат добијен идентификацијом у поређењу са реалним моделом

Резултати добијени естимацијом свих резултата добијених у процесу идентификације дати су у следећој табели. Облик преносне функције је $\frac{K}{1 + 2 * Zeta * Tw s + (Tw s)^2}$

K	Tw	Zeta
6.7019	0.21121	0.19216
6.7335	0.22864	0.21517
6.7249	0.19033	0.20901
6.7438	0.19371	0.23426
6.76564	0.197	0.22704

На основу ових резултата, осредњавањем добијени су параметри система

$$K = 6.7339$$

$$Tw = 0.204178$$

$$Zeta = 0.215528$$

Сада преносна функција објекта управљања има облик:

$$W = \frac{6.7339}{0.041689s^2 + 0.088012s + 1}$$

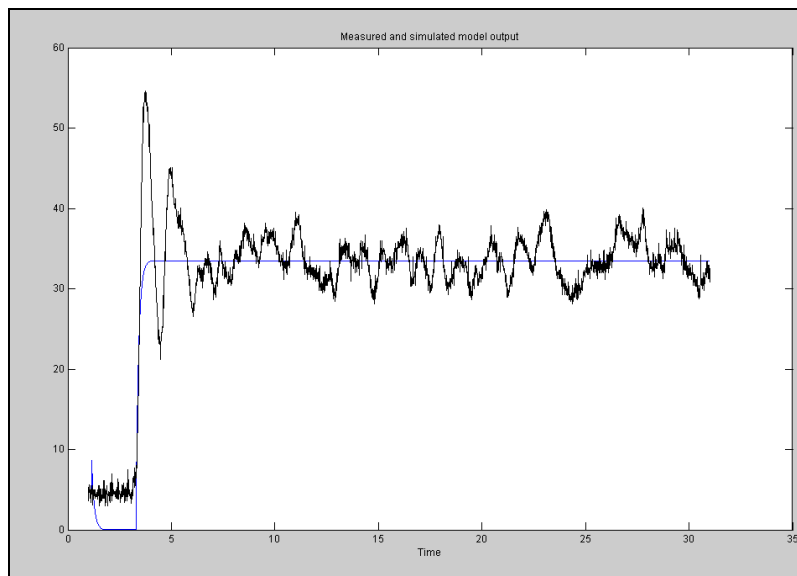
Полови ове функције преноса су:

$$s_1 = -1.0556 + 4.7826i; \quad s_2 = -1.0556 - 4.7826i$$

Сада, када је модел објекта управљања идентификован и формирана преносна функција, можемо се позабавити анализом система у континуалном и дискретном домену помоћу софтверског пакета Матлаб.

У циљу илустровања колико идентификација може утицати на формирање закона управљања и синтезу регулатора, објекат управљања биће идентификован и као систем првог реда са кашњењем. Ово није у складу са претходно изложеном материјом, али је у пракси понекад изводљиво. Уосталом, постоји читав низ закона по којима је могуће извршити синтезу контролера, а и инжењерима управљања је лакше да оперишу са системом што нижег реда.

Поступак идентификације система првог реда исти је као и малопре спроведени, с тим што је код избора модела потребно подесити да број полова буде 1, пол је реалан (другачије не може ни да буде) и потребно је укључити кашњење (Delay).



Слика 20. Резултат добијен идентификацијом у поређењу са реалним моделом. Са графика се јасно види да се апроксимацијом објекта управљања функцијом првог реда губи на карактеристикама прелазног процеса, у односу на случај када је систем идентификован функцијом другог реда. То је компромисно решење у циљу лакше синтезе контролера.

Резултати добијени идентификацијом дати су у следећој табели.

K	T_o	τ_m
6.7004	0.12157	0.14971
6.7227	0.093732	0.16835
6.7059	0.073399	0.18961
6.7312	0.076569	0.18704
6.7585	0.098614	0.17382

На основу ових резултата осредњавањем вредности добијени су параметри функције преноса:

$$K = 6.72374$$

$$T_o = 0.092777$$

$$\tau_m = 0.173706$$

Функција преноса је облика $W(s) = \frac{Ke^{-\tau_m s}}{T_o s + 1}$

Анализа објекта управљања

Анализа ће овде бити изложена како за континуални модел тако и за његов дискретни еквивалент.

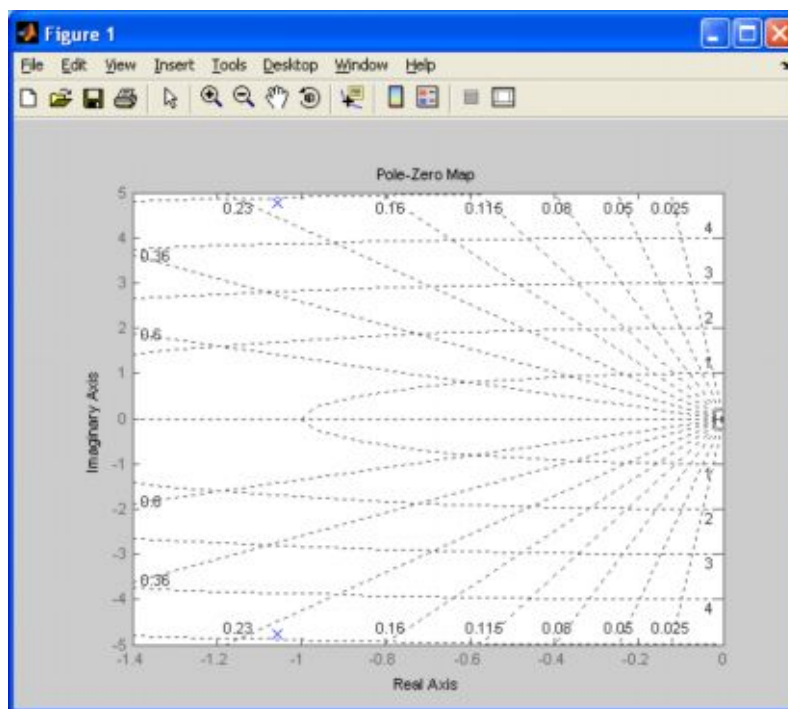
Да би било могуће анализирати систем, прво треба направити преносну функцију у Матлабу. То ради следећи део кода:

```
K=6.7339;
Tw=0.204178;
Zeta=0.215528;
num=[K];
den=[Tw^2 2*Zeta*Tw 1];
W=tf(num,den)
```

За дискретизацију функције преноса, потребно је правилно изабрати периоду одабирања. На основу Шенонове¹ теореме, према којој учестаност одабирања мора бити минимално 2 пута већа од највеће кружне учестаности сигнала, тј. $\Omega \geq 2\omega_0$, потребно је нацртати положај нула и полова функције континуалног преноса, и одредити највећу кружну учестаност. То се обавља из Матлаб-а следећом командом:

```
pzmap(W);
grid
```

након чега се добија график као на слици испод.



Слика 21. Распоред полова и нула за систем другог реда

¹ Claude E. Shannon

Са овог графика могуће је очитати највећу кружну учестаност која износи око 5 rad/s .

Тиме би учестаност одабирања требало да буде фреквенцијом од 10 rad/s , а како је

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T \leq \frac{2\pi}{\Omega} \text{ односно } T \leq 0.6 \text{ s}.$$

Други начин израчунавања периоде одабирања је преко препоручене формуле $T\omega_1 \approx 0.15 - 0.5$, где је $\omega_1 = 5.96 \text{ rad/s}$ пресечна учестаност континуалног дела система, што даје периоду одабирања $T \approx 0.02 \text{ s}$. Из разлога бољег снимања карактеристика периода одабирања је смањена на $T = 0.01 \text{ s}$, без битнијих последица по квалитет дигиталног система.

Сада је могуће извршити дискретизацију функције преноса помоћи следеће наредбе:

$$w_d = c2d(w, T_o, 'zoh')$$

при чему су:

W- преносна функција у континуалном домену

To- периода одабирања

'zoh'- Zero Order Hold (Коло задршке нултог реда на улазу)

Преносна функција у дискретном облику изгледа овако:

$$W(z) = \frac{0.008018z + 0.007962}{z^2 - 1.977z + 0.9791}$$

Следећа битна ствар при анализи система јесте провера контролабилности и опсервабилности. То се најлакше ради матричним рачуном уз примену Матлаб-а. То је могуће остварити једино ако се модел преведе у простор стања. Модел се из континуалног домена у простор стања преводи следећом наредбом:

$$[A1, B1, C1, D1] = ssdata(W);$$

где су A1, B1, C1, D1 матрице простора стања модела.

За проверу контролабилности потребно је и довољно да матрица контролабилности и матрица A1 имају исти ранг. Матрица контролабилности рачуна се на следећи начин:

$$Co = ctrb(A1, B1);$$

Провера указује да је систем контролабилан.

За опсервабилност је слична прича. Потребно је израчунати матрицу опсервабилности и упоредити је са рангом матрице A1.

$$Ob = obsv(A1, C1);$$

Провером рангова утврђује се да је систем опсервабилан.

Што се тиче дискретног система овде ће бити показано како се анализира стабилност дискретних система применом Jury-евог критеријума и како се одређује критично појачање на основу метода ГМК. Контролабилност и опсервабилност дискретних

система углавном је задовољена ако су континуални еквиваленти контролабилни и опсервабилни, мада то није увек случај. За овај пример, то је могуће проверити слично као и за континуални систем.

Функција преноса у дискретном домену гласи: $W(z) = \frac{0.008018z + 0.007962}{z^2 - 1.977z + 0.9791}$

Један од најчешће коришћених критеријума за анализу стабилности дискретних система је Југу-ев критеријум. Карактеристична једначина функције дискретног преноса је $f(z) = z^2 - 1.977z + 0.9791$.

За преносну функцију другог реда Југу-ева матрица изгледа овако:

$$\begin{vmatrix} 0.9791 & -1.977 & 1 \end{vmatrix}$$

Критеријуми су дефинисани следећим релацијама:

$$f(1) > 0 \quad \text{Овај критеријум је задовољен}$$

$$f(-1) > 0 \quad \text{Овај критеријум је задовољен}$$

$$|0.9791| < 1 \quad \text{Овај критеријум је задовољен}$$

Може се закључити да је дискретни систем на основу Југу-евог критеријума стабилан.

Критично појачање дискретног система могуће је одредити аналитичким путем, или коришћењем методе ГМК и програмског пакета Матлаб.

Аналитички, потребно је увести појачање K (чисто пропорционално дејство) у систем са повратном спрегом и направити функцију повратног преноса. Карактеристични полином функције повратног преноса је:

$$f(z) = z^2 + (0.008018K - 1.977)z + 0.007962K + 0.9791$$

Сада је потребно на основу Југу-евог критеријума одредити појачање K при коме је дати систем гранично стабилан.

$$\begin{vmatrix} 0.007962K + 0.9791 & 0.008018K - 1.977 & 1 \end{vmatrix}$$

Критеријуми су дефинисани следећим релацијама:

$$f(1) > 0 \quad \text{Овај критеријум је задовољен}$$

$$f(-1) > 0 \quad \text{Овај критеријум је задовољен}$$

$$|0.007962K + 0.9791| < 1 \quad \text{У овом случају гранична стабилност се постиже кад је}$$

$$|0.007962K + 0.9791| = 1$$

Овај услов је испуњен када је $K = K_{gr} = 2.625$

За одређивање T_{gr} потребно је у карактеристичној једначини заменити $K = K_{gr}$, а затим увести смену $z = e^{j\theta}$ или када се то примени на конкретном примеру постаје:

$$\sin(2\theta) - 1.95583 \sin(\theta) = 0$$

Решење ове једначине даје угао под којим ГМК сече јединични круг у Z равни., а то је

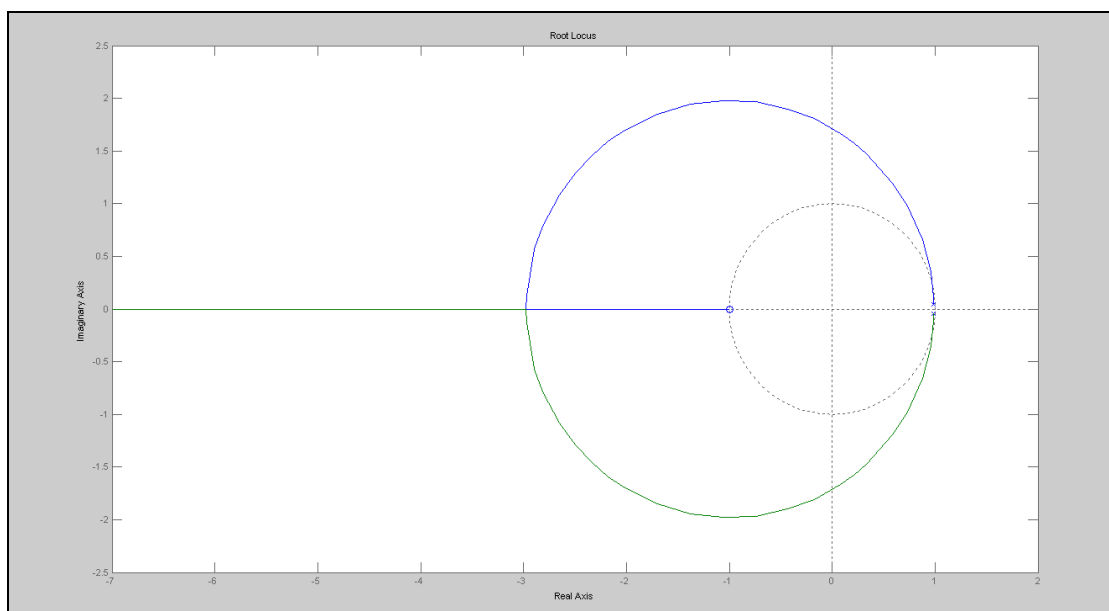
$$\theta_{gr} = 12.064^\circ . \text{ Даље је } \omega_{gr} = \frac{\theta_{gr} \pi}{180} \cdot \frac{1}{T} = 21.19 \text{ rad} / s . \text{ На основу овога добија се}$$

$$T_{gr} = \frac{2\pi}{\omega_{gr}} = 0.296s$$

Исти овај поступак могуће је спровести помоћу Матлаб-а командом

`rlocus(W_d)`

где је W_d функција дискретног преноса.

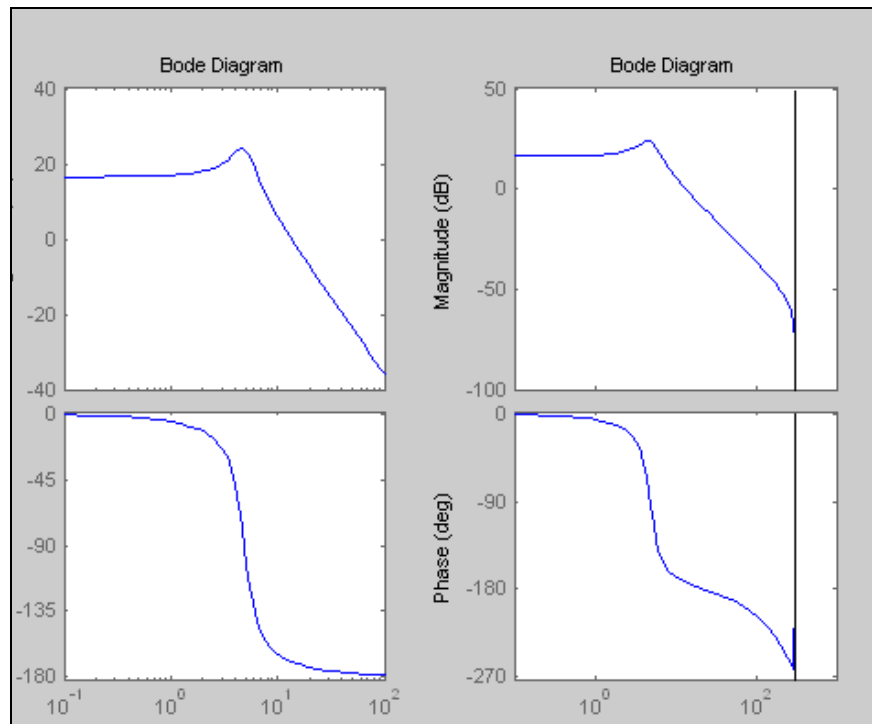


Слика 22. Метода ГМК дискретног система

Са графика је могуће прочитати $K_{kr} = 2.64$, $\omega_{kr} = 21.2 \text{ rad} / s$. Одавде је $T_{gr} = \frac{2\pi}{\omega_{gr}} = 0.296s$

На крају ове анализе од интереса би било упоредити карактеристике континуалног и дискретног система другог реда у фреквенцијском домену. За то је потребно нацртати Бодеве дијаграме за оба система.

`bode(W)`
`dbode(W_d, To)`

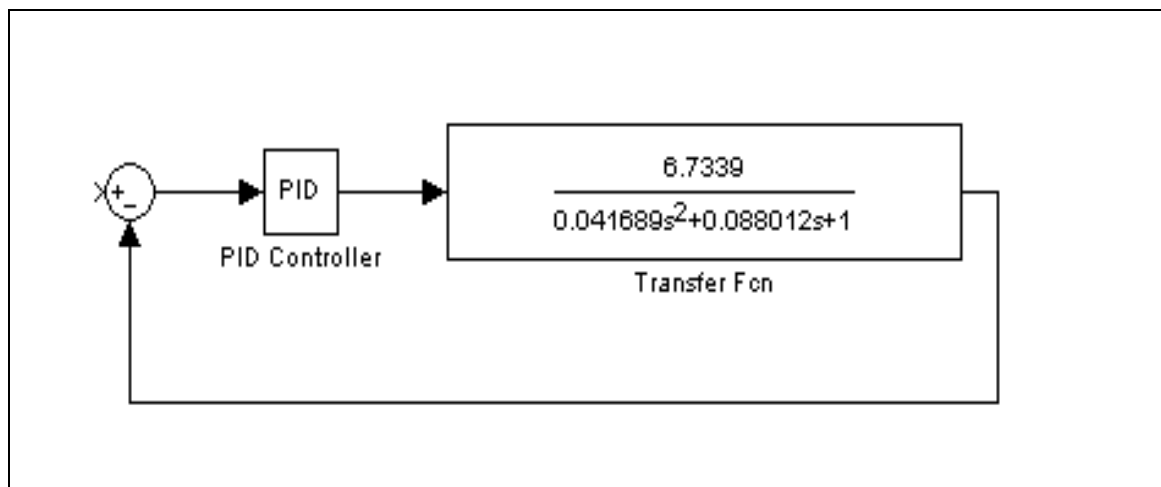


Слика 23. Бодеови дијаграми за континуални (лево) и дискретни систем (десно)

Подешавање параметара PID регулатора

За подешавање параметара регулатора постоји велики број метода. Једна од најлакше применљивих је метода подешавања полова.

1. Метода подешавања полова. За ову примену ове методе потребно је израчунати функцију спрегнутог преноса PID регулатора и објекта управљања са затвореном повратном спрегом.



Слика 24. Шема PID контролера у спреси са објектом управљања

Преносна функција PID контролера дата је изразом $K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$.

Када се систем реши по повратној спрези добија се једначина 3. реда облика:

$$W_s = \frac{6..7339K_D s^2 + 6..7339K_p s + 6..7339K_I}{0.041689s^3 + (6..7339K_D + 0.088012)s^2 + (6..7339K_p + 1)s + 6..7339K_I}$$

Сада је потребно задати жељене половине функције преноса W_s . У овом случају жељени полови су -4, -5, -6. За ове вредности могуће је добити коефицијенте полинома 3. реда на следећи начин:

$$s = [-4 \quad -5 \quad -6]$$

$$A = \text{poly}(s)$$

Одређивање појачања контролера своди се на изједначавање полинома који представља карактеристичну једначину преносне функције W_s и полинома са жељеним местом полова.

$$0.041689s^3 + (6..7339K_D + 0.088012)s^2 + (6..7339K_p + 1)s + 6..7339K_I = s^3 + 15s^2 + 74s + 120$$

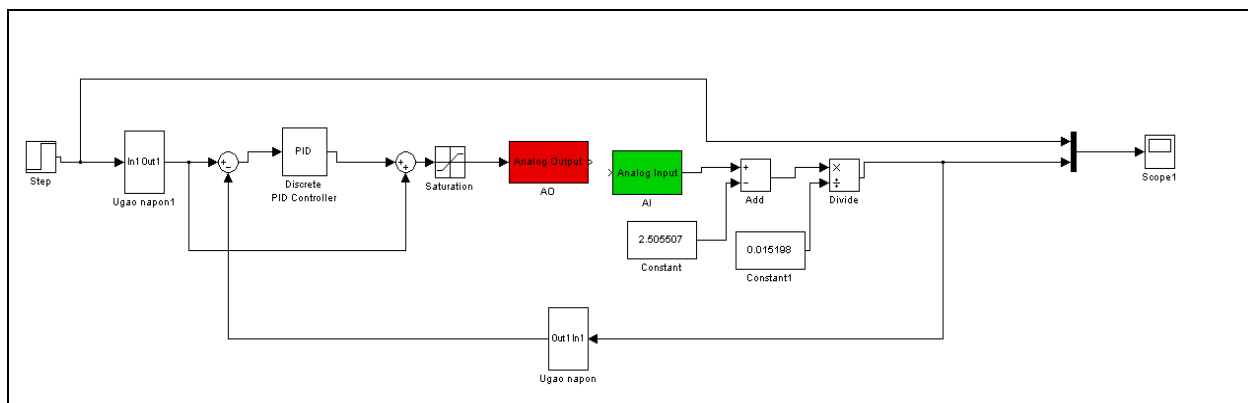
На основу ове једначине појачања су:

$$K_p = 0.3096$$

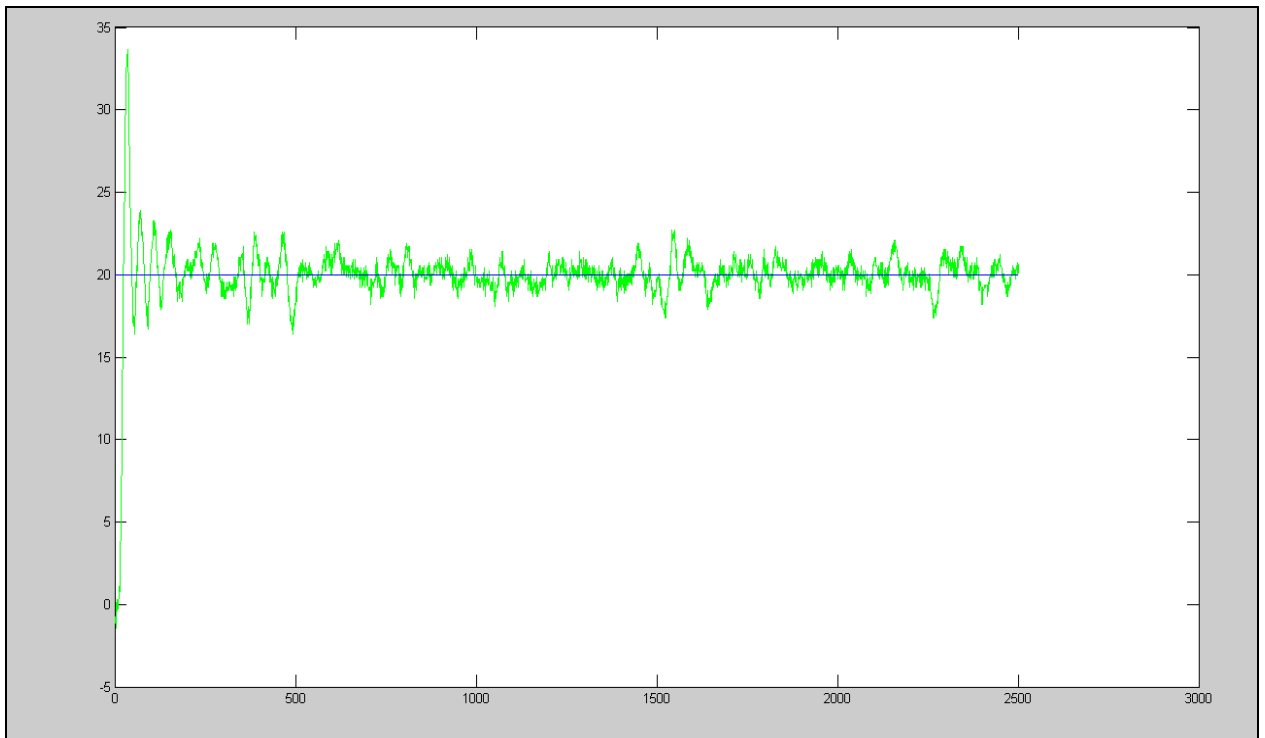
$$K_I = 0.7429$$

$$K_D = 0.0798$$

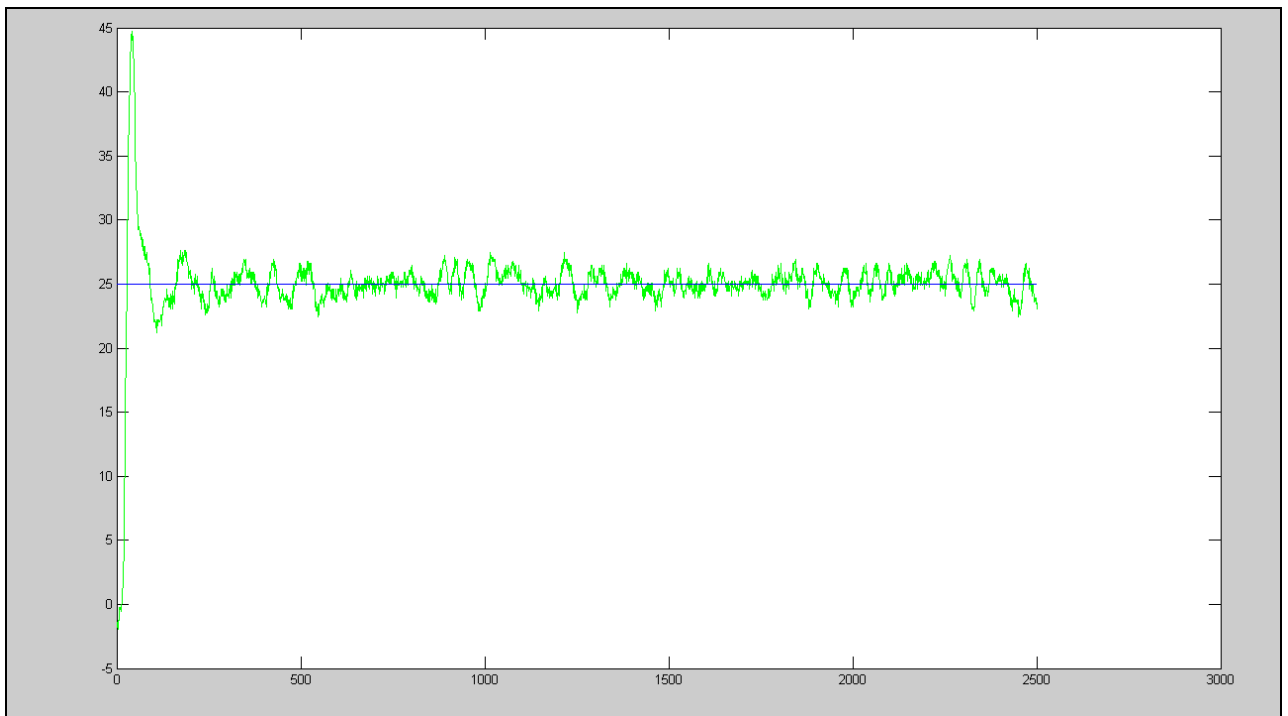
Резултат рада овако подешеног контролера проверен је у Матлаб-у следећом блоком шемом:



Слика 25. Реализација управљања у програмском пакету Матлаб

Резултати рада:

Слика 26. Задата вредност је угао од 20 степени.



Слика 27. Задата вредност је угао од 30 степени.

Са графика се види да систем поседује осцилаторност, исту ону која је занемарена приликом идентификације, али да је подешавањем регулатора, осциловање система сведено на $\pm 3^\circ$ од номиналне вредности.

Систем првог реда са кашњењем

За систем првог реда са кашњењем параметри регулатора су подешавани на основу индекса перформанси.

Први коришћени критеријум је метода ISE (Integral Square Error) коју су дефинисали Atherton и Zhuang из 1993. године дат у [3]. Правила за подешавање важе ако је

$$1.1 \leq \frac{\tau_m}{T_0} \leq 2$$

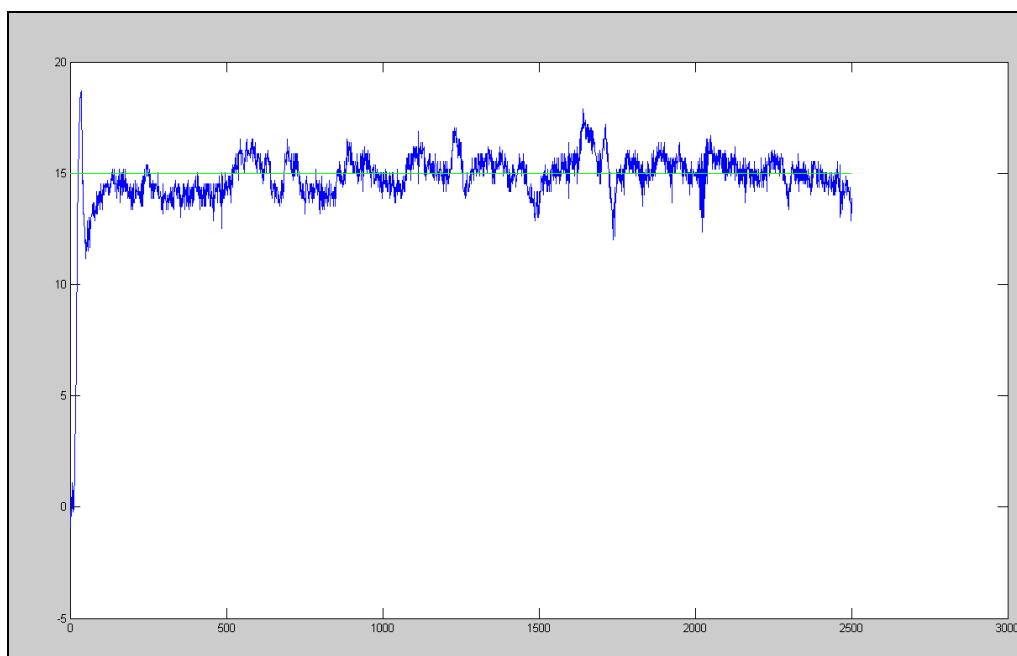
$$K_P = \frac{1.524}{K} \left(\frac{T_0}{\tau_m} \right)^{0.735} = 0.1429$$

$$T_i = \frac{T_0}{1.13} \left(\frac{\tau_m}{T_0} \right)^{0.641} = 0.1227$$

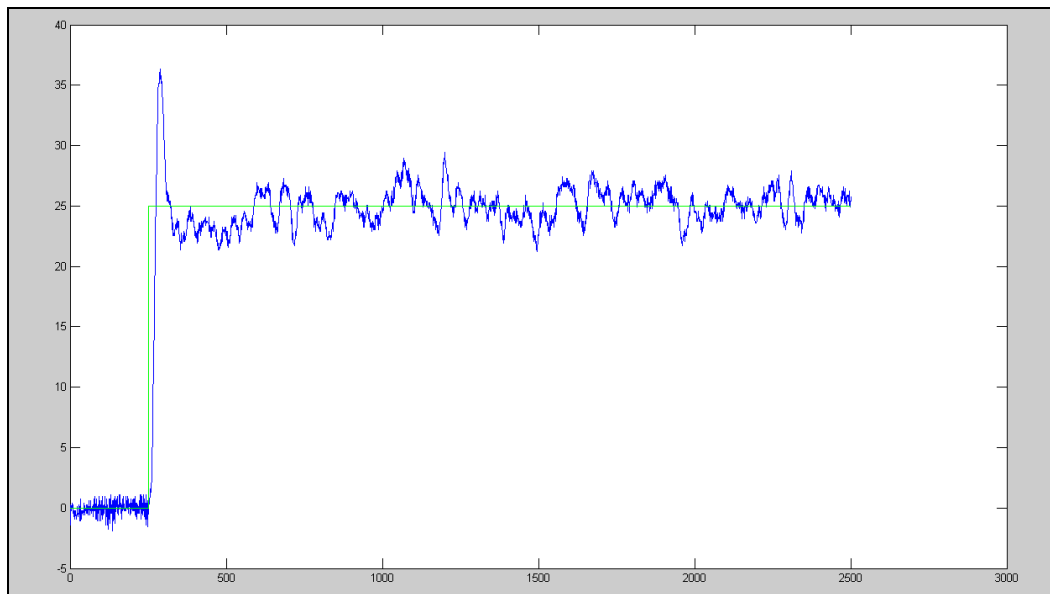
$$T_d = 0.552 T_0 \left(\frac{\tau_m}{T_0} \right) = 0.0873$$

Међутим, ова подешавања нису дала добре резултате, па је извршена корекција интегралног дејства и то тако што је T_i повећано на 0.3427.

Резултат дејства регулатора са овим параметрима дат је на следећој страни.



Слика 28. Задата вредност је угао од 15 степени



Слика 29. Задата вредност је угао од 25 степени

Други критеријум је критеријум Vranica и осталих из 2002. године дат у [3]. Правила за

подешавање важе ако је $1.1 \leq \frac{\tau_m}{T_0} \leq 2$

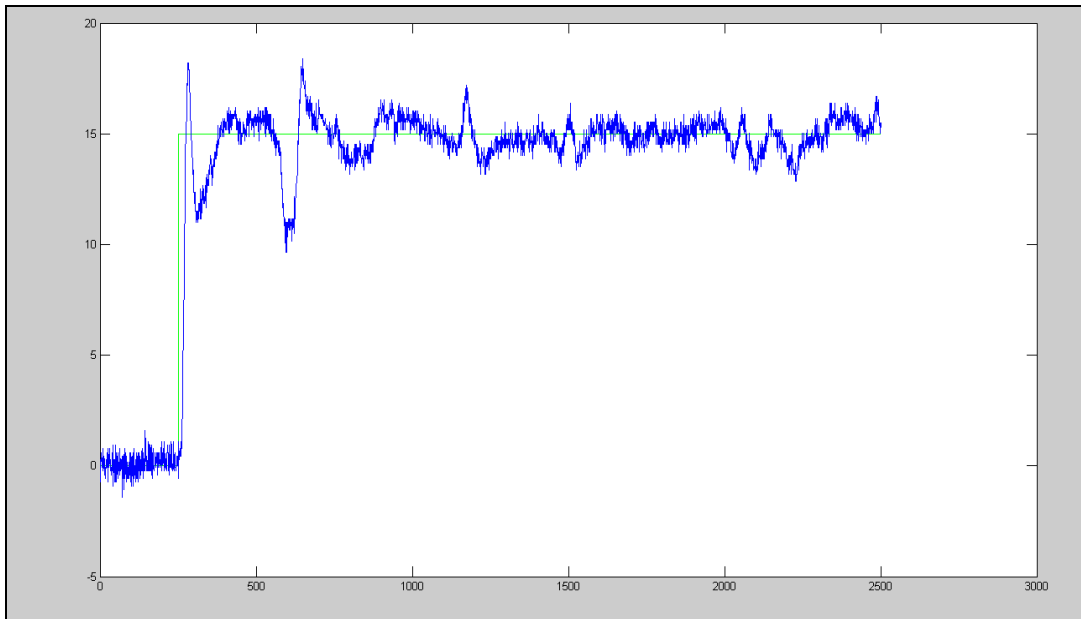
$$K_p = \frac{1}{K} \left(0.338 + 0.623 \frac{T_0}{\tau_m} \right) = 0.098$$

$$T_i = 1.228 \tau_m \left(\frac{\tau_m}{T_0} \right)^{-0.48} = 0.1579$$

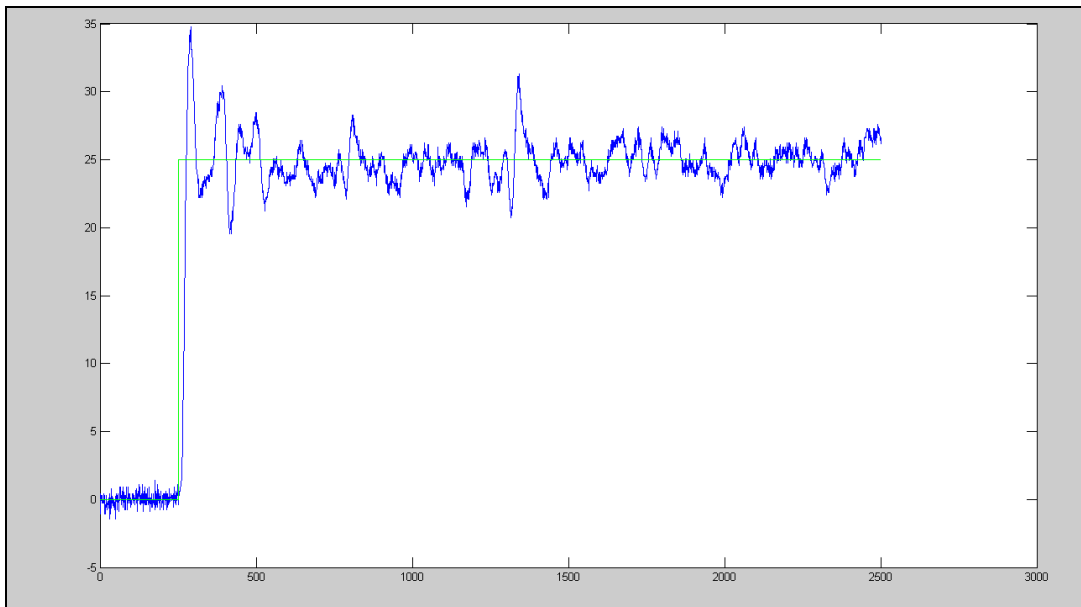
$$T_d = 0.231 \tau_m \left(\frac{\tau_m}{T_0} \right)^{-0.12} = 0.0372$$

Као и у првом случају и овде није било довољно интегрално појачање, већ је извршено додатно подешавање тако што је T_i повећано на 0.3579.

Резултат дејства регулатора са овим параметрима дат је на следећој страни.



. Слика 30. Задата вредност је угао од 15 степени



Слика 31. Задата вредност је угао од 25 степени

Са претходне четири слике јасно се може уочити да је апроксимација објекта управљања системом првог реда са кашњењем лоша са аспекта функционисања система управљања, док је са аспекта синтезе контролера веома повољна. Далеко бољи резултат се постиже релативно једноставном методом подешавања полова али за систем другог реда са имагинарним половима. Према томе, закључак је да овај систем не би требало идентификовати системом првог реда са кашњењем баш из разлога адекватног одзива управљане величине.

Синтеза дигиталног PID регулатора

За синтезу дигиталног регулатора користиће се Dahlin-ов алгоритам. Пошто он важи за систем другог реда са кашњењем, то је неопходно прво идентификовати објекат управљања као функцију другог реда са кашњењем. Тај процес је исти као и за претходна два, па овде неће бити објашњаван.

Резултати идентификације дати за функцију облика $W(s) = \frac{K_p e^{-\tau_d s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$ су

$$K_p = 6.7006$$

$$T_1 = 0.094612$$

$$T_2 = 0.09466$$

$$\tau_d = 0.079563$$

Формулација дигиталног PID регулатора за објекат управљања дефинисан функцијом $W(s)$ према Dahlin-у дата је следећом формулом:

$$G_c = K \left(1 + \frac{T/T_i}{1 - z^{-1}} + \frac{T_d}{T} (1 - z^{-1}) \right)$$

при чему се константе K , $\frac{T}{T_i}$, $\frac{T_d}{T}$ рачунају према следећим формулама:

$$K = \frac{\left(e^{\frac{T}{T_1}} + e^{\frac{T}{T_2}} - 2 \right) (1 - e^{-\lambda T})}{K_p \left(e^{\frac{T}{T_1}} - 1 \right) \left(e^{\frac{T}{T_2}} - 1 \right) (1 + n(1 - e^{-\lambda T}))}$$

$$\frac{T}{T_i} = \frac{\left(e^{\frac{T}{T_1}} - 1 \right) \left(e^{\frac{T}{T_2}} - 1 \right)}{\left(e^{\frac{T}{T_1}} + e^{\frac{T}{T_2}} - 2 \right)}$$

$$\frac{T_d}{T} = \frac{1}{\left(e^{\frac{T}{T_1}} + e^{\frac{T}{T_2}} - 2 \right)}$$

где су: T - периода одабирања; $1/\lambda$ - временска константа. У сваком случају мора бити испуњен услов $nT \geq \tau_d$.

На основу свега наведеног за $\lambda = 0.9$, $n = 8$ параметри регулатора су:

$$K = 0.0224; \frac{T}{T_i} = 0.0557; \frac{T_d}{T} = 4.4862$$

За израчунавање појачања коришћен је програм написан у Матлаб-у.

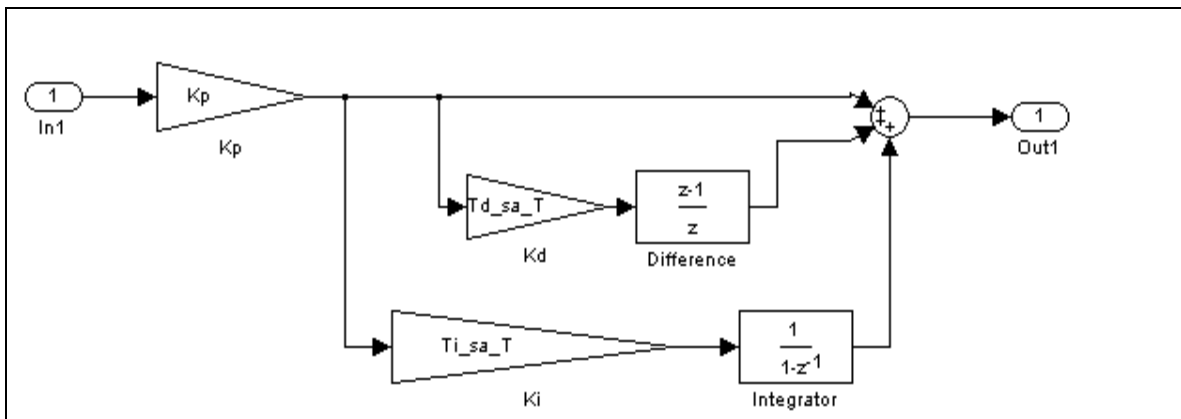
```
%Dahlinov algoritam
clc
clear all
K=6.7006;
Tp1=0.094612;
Tp2=0.09466;
Td=0.079563;
To=0.01;
;
%Lambda=0.9
lambda=0.9;
Kp=( (exp(To/Tp1)+exp(To/Tp2)-2)*(1-exp(-lambda*To)))/(K*(exp(To/Tp1)-1)*(exp(To/Tp2)-1)*(1+n*(1-exp(-lambda*To))))
Td_sa_T=1/(exp(To/Tp1)+exp(To/Tp2)-2)
Ti_sa_T=((exp(To/Tp1)-1)*(exp(To/Tp2)-1))/((exp(To/Tp1)+exp(To/Tp2)-2))
```

Листинг Матлаб кода за израчунавање појачања

Међутим, због квалитетнијег понашања систем у стационарном стању потребно је

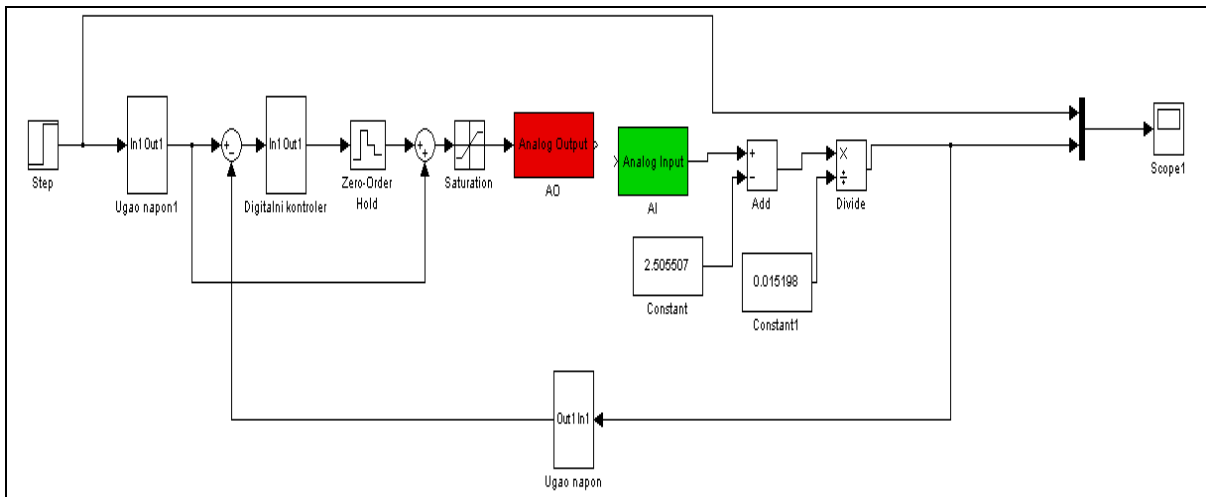
преподесити овако добијене параметре и то само $\frac{T}{T_i} = 0.1357$.

Имплементација алгоритма управљања извршена је у Матлаб-у блок шемом направљеном у Симулинк-у.



Слика 32. Реализација дигиталног PID контролера по Dahlin-овом алгоритму

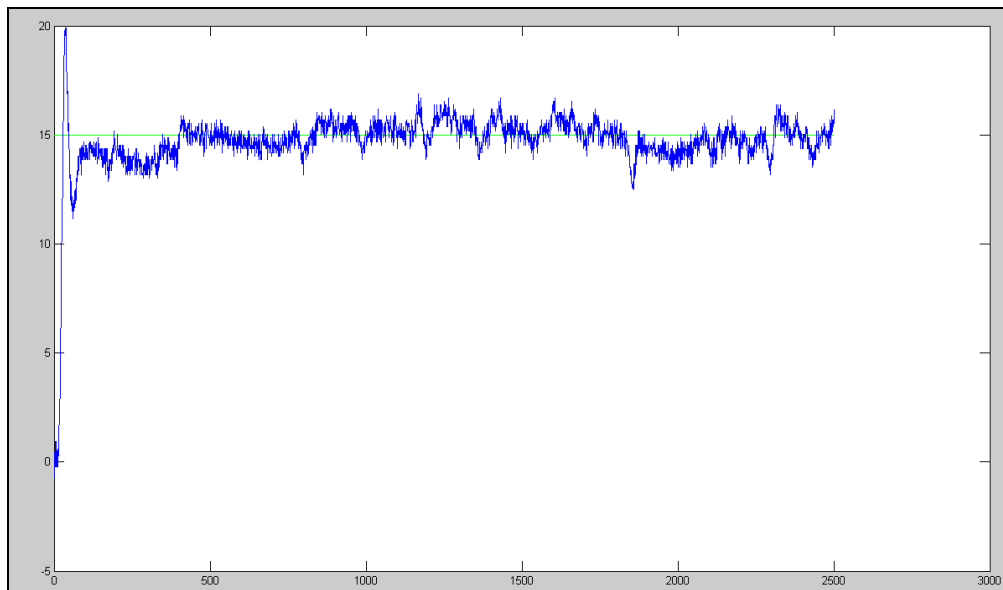
Комплетна управљачка шема изгледа овако:



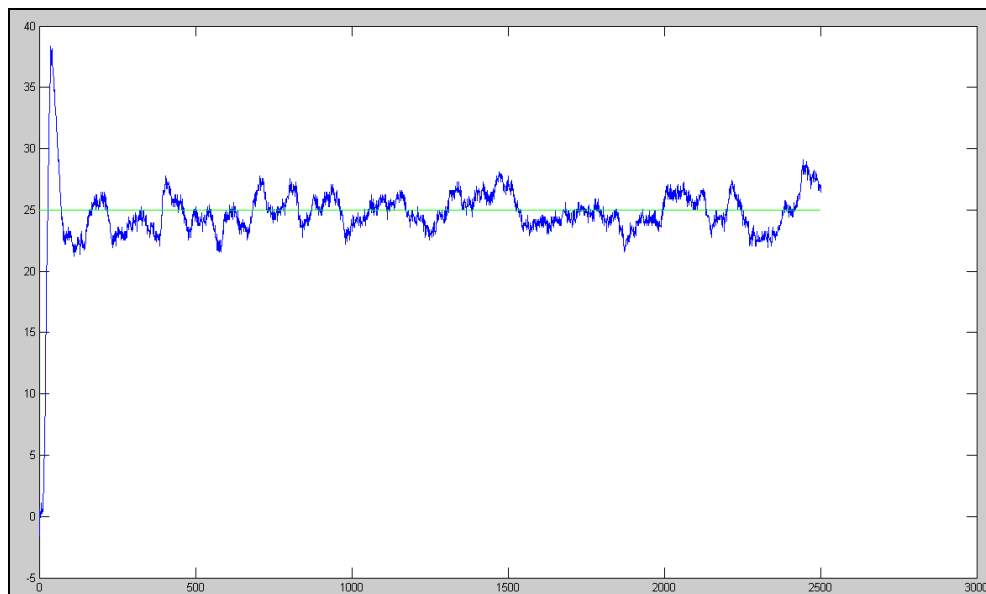
Слика 33. Реализација управљања дигиталним регулатором у програмском пакету

Матлаб

Резултати управљања када се као регулатор користи Dahlin-ов алгоритам.



Слика 34. Задат је угао од 15 степени



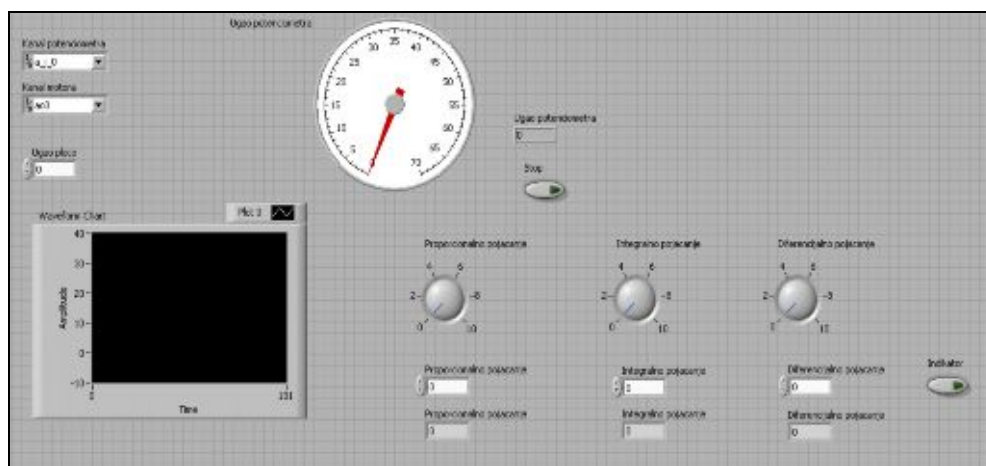
Слика 35. Задат је угао од 25 степени

Реализација управљања у програмском пакету

LabView

За реализацију управљања направљен је графички интерфејс у програмском пакету LabView 8.5.

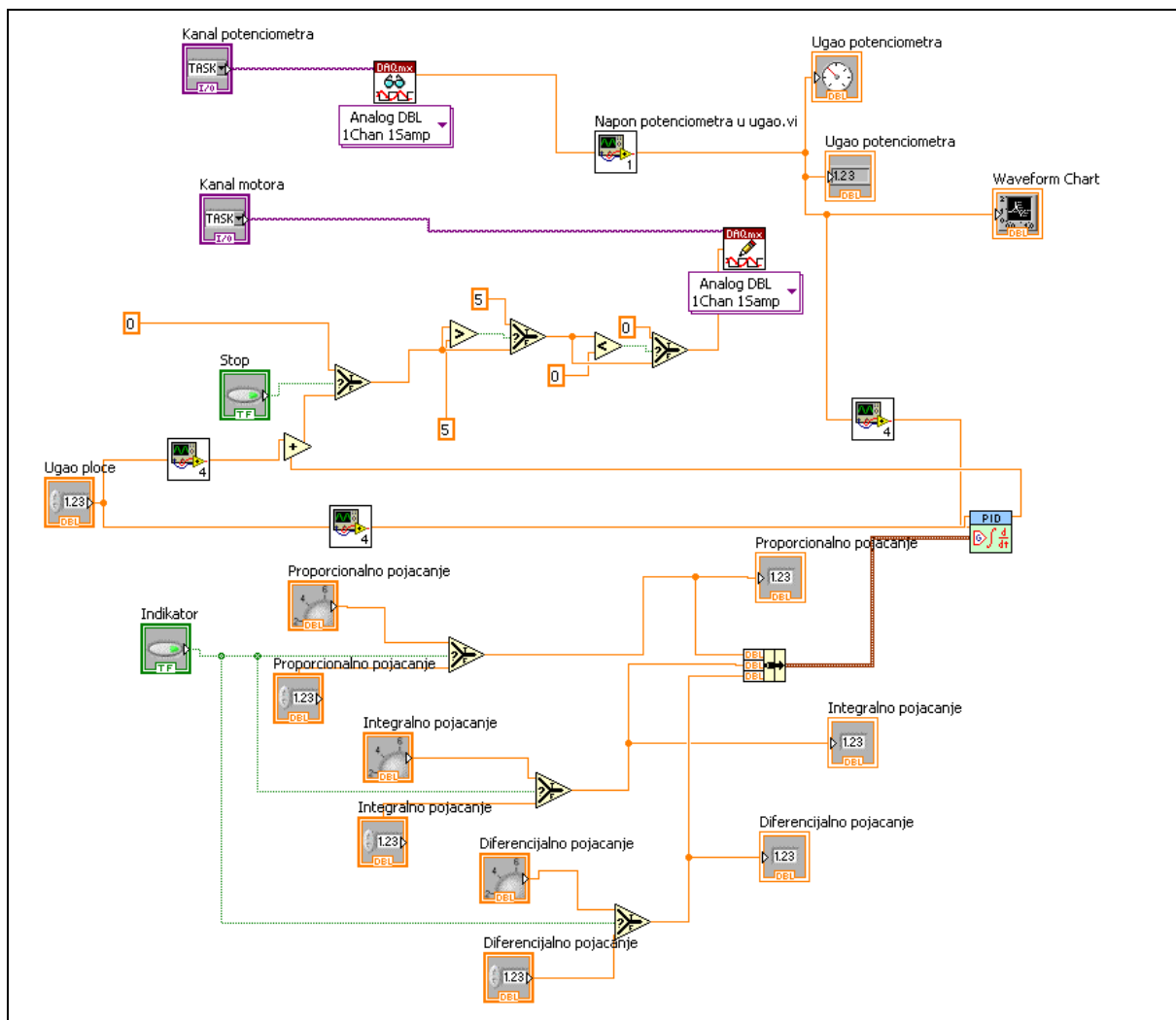
Програмски пакет LabView има 2 основна дела: Front Panel и Block Diagram. У Front Panel-у дефинише се спољашњи изглед интерфејса (дат на слици испод).



Слика 36. Интерфејс за управљање у програму LabView 8.5

За овај пример потребно је креирати 2 канала, за потенциометар и за мотор. Такође треба дефинисати и контролу за дефинисање жељеног угла плоче. Угао потенциометра дат је у облику казаљке и дигиталне вредности. Ради безбедног искључења процеса постоји дугме СТОП које зауставља процес и држи га закоченим све док је дугме

укључено. У доњем делу интерфејса постоје 3 контроле за дефинисање појачања регулатора као и индикатори који показују колика је тренутна вредност сваког појачања. Могуће је укључити опцију за коришћење ротационог или инкременталног индикатора. За праћење резултата користи се прозор у коме се црта промена излазне величине, тј. угла у функцији времена. Дијаграм ради у реалном времену. Кључни део LabView-а је део који се налази „иза“ панела, односно Block Diagram. У њему се дефинише функционисање самог програма и врше се сва неопходна повезивања и додатна подешавања.



Слика 37. Блок дијаграм у програму LabView.

РЕФЕРЕНЦЕ:

- [1] М. Матијевић, Г. Јакуповић, Ј. Цар, *Рачунарски подржано мерење и управљање*, Машински факултет Универзитета у Крагујевцу, 2005.
- [2] Милић Р. Стојић, *Дигитални системи управљања*, Електротехнички факултет Београд, 1998.
- [3] Aidan O`Dwyer , *Handbook of PI and PID Controller tuning rules 1*, Imperial College Press, 2006.
- [4] Ж. Ђуровић, Б. Ковачевић, *Дигитални сигнали и системи: Преглед теорије и задаци*, Академска мисао Београд, 2000.
- [5] Драган В. Лазић, Милан Р. Ристановић , *Увод у Матлаб* , Машински факултет Универзитета у Београду, 2005.