

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Примењена механика и аутоматско управљање
Предмет: Пројектовање система аутоматског управљања
Број индекса: 321/2011

Марко Т. Јуришевић

Пројектовање лабораторијског модела
система ваздушне левитације
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Милан Матијевић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: 27.09.2013.

Оцена: _____

Пројектовати лабораторијски модел система ваздушне левитације по узору на http://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/7/78/Dp_2004_kutil_michal.pdf и сличне, а који мапирају реалне системе попут система за бушење растреситих материјала и различитих система брзинских сервомеханизма. На располагању су сензори, актуатори, рачунарска, одговарајуће компоненте и одређена материјална подршка за реализацију овог захтевног задатка. Циљ је интеграција производа који ће имати сврху у инжењерској едукацији и у том смислу објашњење евентуалне градње и/или интеграције сваке од компоненти у системску целину. Изабрати одговарајућу софтверску и хардверску подршку (која је могућа у лабораторијском простору Ц85) и реализовати управљање које позиционира објекат ваздушне левитације. Демонстрирати знања и вештине стечене током студија израдом лабораторијског модела и демонстрацијом његових функционалности кроз одговарајући управљачки софтвер (који ће исто бити резултат овог рада – софтверска апликација за управљање, надзор, прикупљања и приказ података).

Препоручена литература:

- [1] М. Матијевић, Г. Јакуповић, Ј. Цар, *Рачунарски подржано мерење и управљање*, Машински факултет, Крагујевац, 2005.
- [2] Siemens AG, „TIA_V11_en-US”, 2011.
- [3] K. Michal, *Control of model using Internet*, Msc Thesis, CVUT Prag, 2004
- [4] R. Nguyen, S. Richter, *IfA Fachpraktikum - Experiment 2.7 : Air Ball*, Automatic Control Laboratory, ETH Zurich, 2013.
- [5] K. Schlacher, K. Rieger, *Regelung des Labormodells Air Levitated Ball mittels Linux Echtzeitsystem und einer Hardware von National Instruments*, Johannes Kepler Universit“ at Linz, 2009.

Крагујевац, 27.09.2013.

Ментор:

Др Милан Матијевић

Резиме рада:

У раду је представљен цео пројекат израде ситема ваздушне левитације, од почетне идеје, преко 3Д модела, израде реалног модела, и управљања процесом коришћењем Siemens-овог PLC уређаја ET200s, програмирање лествичастих дијаграма, до израде SCADA апликације и визуелизације процеса.

Кључне речи: Пројектовање, систем аутоматског управљања, PLC контролер, SCADA, 3Д моделирање

Summary of work:

This paper presents the development of the whole project an air levitation system, from the initial idea, through the 3D model, making the real model, and process control using Siemens' PLCs ET200S, ladder programming, the development of SCADA applications and process visualization.

Keywords:

Design, automatic control system, PLC controller, SCADA, 3D modeling

Садржај

1. Увод.....	5
2. Принцип пројектовања мехатроничких система	6
3. Пројектовање лабораторијског модела система ваздушне левитације.....	7
3.1. Моделирање компоненти	8
3.2. Израда лабораторијског модела.....	11
4. Електроника (Hardware)	15
4.1. Ласерски сензор HRTL 96b	15
4.2. Вентилатор као актуатор	17
4.2.1. Принцип рада мотора једносмерне струје	18
4.3. Електронско коло са интегрисаним LM494 колом	21
4.4. Програмабилни логички контролер Siemens ET200s	23
4.4.1. Аналогни улаз.....	24
4.4.2. Аналогни излаз.....	25
4.4.3. Модул за напајање	26
4.5. Камера за надгледање процеса	27
5. Принцип регулације.....	28
5.1. ПИД контролер	28
6. Програмирање контролера.....	31
7. SCADA систем и визуелизација процеса.....	37
7.1. SCADA	37
7.2. Креирање SCADA система.....	38
7.3. Аутоматски режим рада	40
7.4. Ручни режим рада	42
7.5. HMI.....	43
8. Закључак	46
Литература.....	47
Додатак	48

1. Увод

На самом почетку рада, желео бих да се захвалим свом ментору, професору Милану Матијевићу, за слободу коју ми је пружио током избора теме и израде самог дипломског рада. Захвалио бих се и Мини Васковић, Марку Милетићу и Ненаду Бабајићу на стручној и несебичној помоћи приликом реализације хардвера и софтвера неопходног за функционалност система, као и својој породици на разумевању и подршци коју су ми пружили за време израде дипломског рада као и за све време студирања.

Предмет овог дипломског рада је пројектовање система ваздушне левитације, повезивање са доступном лабораторијском опремом, програмирање и управљање системом у реалном времену.

Лабораторијски модел ваздушне левитације представља одличну основу за учење и разматрање различитих метода управљања осетљивим системом. Структура модела и његова повезаност са системом за надзор омогућава праћење промена које настају као последица промена параметара контролера. Дакле, са стране моделирања и управљања, систем ваздушне левитације има веома велики инжењерски и едукациони карактер, док му је комерцијална вредност незнатна, пре свега због неефикасног искоришћења кинетичке енергије кретања честица ваздуха.

Рад је организован тако да у целости описује процес стварања једног лабораторијског модела, од конструкције и повезивања компонената до софтверског праћења рада система. У раду ће бити презентован један део *Siemens*-ове опреме, начин повезивања контролера и сензора са системом ваздушне левитације, програмирање опреме, као и примена софтверских алата за програмирање и визуелизацију процеса. Биће објашњени концепти програмирања PLC-а (Programmable Logical Controller), као и концепти SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) система. У додатку ће бити дат и технички цртеж модела.

2. Принцип пројектовања мехатроничких система

Примарни циљ овог дипломског рада је био пројектовање и израда лабораторијског модела система ваздушне левитације. То је подразумевало израду скице, планирање свих елемената модела, начин њиховог уклапања и повезивања, обраду материјала, да би се добио употребљив модел, који је истовремено једноставан и практичан за коришћење. Израда модела је била подељена у неколико корака.

Први корак има задатак да дефинише опште функције готовог производа. У овој фази више решења је у оптицају, па је потребно изабрати најоптималније и најпрактичније решење. Идеје морају да покривају захтеве као што су, на првом месту функционалност, безбедност, практичност, али и да се уклапају у финансијска и временска ограничења.

Следећи корак је подела система на мање, у овом кораку независне, целине, са којима се може одвојено радити, да би се касније делови уклопили у једну компактну целину.

Трећи корак је дизајн система. Траже се стандардни склопови и делови, где год је то могуће, чиме убрзавамо процес израде модела. Такође, у овој фази развија се и план напајања, врши се избор одговарајућих сензора и актуатора, потребног софтвера, чиме се добија пројектна документација целе машине.

Пре саме физичке реализације модела, пожељно је изградити модел у неком од софтвера за моделирање (*CATIA*, *Autodesk Inventor*, итд.), који омогућавају сагледавање модела у целости, као и извршавање геометријске провере усвојених делова.

Последња фаза у хардверској реализацији је израда и склапање модела. У њој се израђују компоненте, које се касније склапају. Када се покаже расположивост довољно добрим компонентама приступа се склапању истих. Механички и електронски делови спајају се у физички модел система, на који се повезују сензори и актуатори, и када се споје све компоненте у целину као резултат се добија хардверски комплетан модел.

Из наведеног се види да је пројектовање мехатроничких система итеративан процес, тј. процес који се може у било ком тренутку вратити у претходну фазу ради усавршавања или измене неког од делова.

3. Пројектовање лабораторијског модела система ваздушне левитације

Сама идеја система ваздушне левитације није потпуно оригинална. Наиме, овакви модели већ постоје у свету, где их професори користе као едукацијске справе за студенте који увежбавају технике аутоматског управљања.

Као узор за овај модел, коришћено је неколико различитих модела који су присутни на Универзитетима у Чешкој. Њихови модели су веома једноставне израде, компактни су и практични за коришћење. На слици 1 могу се видети неки од модела који су били полазни примери за израду овог модела.

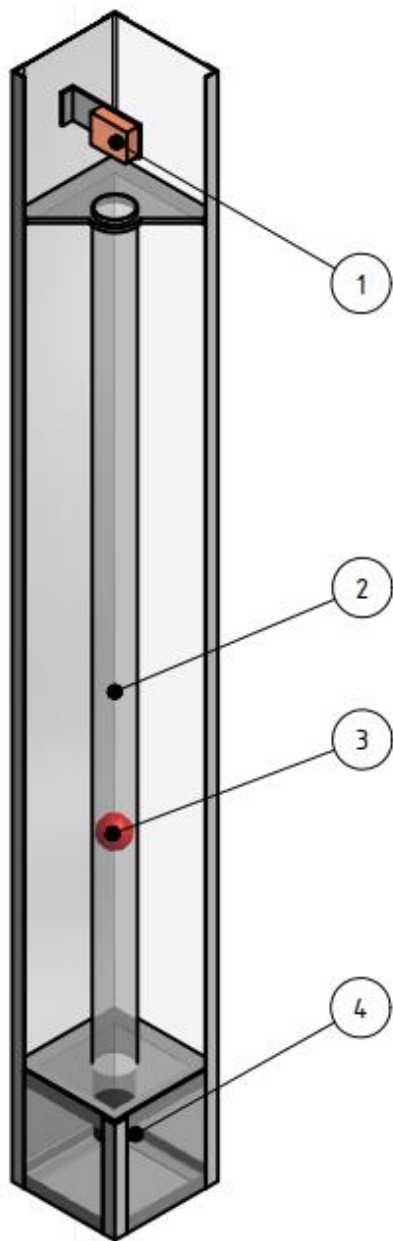


Слика 1. Постојећи модели система ваздушне левитације

Систем није копија неког од већ постојећих модела, већ је у складу са финансијским могућностима и постојећим лабораторијским компонентама остварена још једна интерпретација вазушне левитације.

Разматран је принцип рада ваздушне левитације и након описа система приступа се изради истог.

Слика 2 представља скицу лабораторијског модела који је направљен.



Слика 2. Макета модела:
1) сензор; 2) цев; 3) лоптица;
4) вентилатор

На врху макете се налази ласерски сензор, који омогућава повратну информацију о тренутној позицији лоптице у цеви. Напајање сензора се врши једносмерним напоном, у опсегу од 18-30 волти. Резолуција му је $<5\text{mm}$, док он на свом излазу даје напон у опсегу од 1-10 волти.

Следећи део макете је провидна, пластична (плексиглас) цев, дужине 2 метра и пречника 80мм, кроз коју се креће лоптица чија висина се контролише.

Лоптица чије се кретање кроз цев и положај контролишу, пластична је и пречника 78мм.

На дну макете, односно на доњем крају цеви, се налази аксијални вентилатор. Напајање мотора вентилатора је једносмерним напоном, у опсегу од 0-8 волти, при чему мотор максималну снагу постиже са 8 волти и максималном струјом од 4.9 ампера. Тежина мотора је 27 грама, а пречник је 40мм. Вентилатор ствара потисну силу, убацујући ваздух у цев, чиме се лоптица потискује ка врху цеви. Због високе вредности струје мотора, потребно је још употребити електронско коло, којим се регулише ограничавање те струје, као и смањење напона. Такође, додатна електроника омогућава избор режима рада модела између ручног (померањем клизача потенциометра) или аутоматског (коришћењем PLC-а или рачунара).

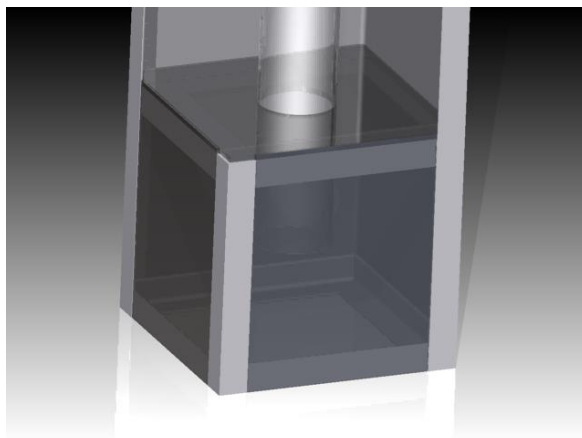
3.1. Моделирање компоненти

Моделирање представља израду 3Д модела реалног система. У овом случају се моделирање базирало на макети која је дата на претходној слици, имајући у виду материјале који су на располагању, и све елементе претходно представљене.

За 3Д моделирање је коришћен софтвер *Autodesk Inventor*, и на сликама 3 и 4 дати су изгледи добијеног модела.



Слика 3. 3Д изглед конструкције

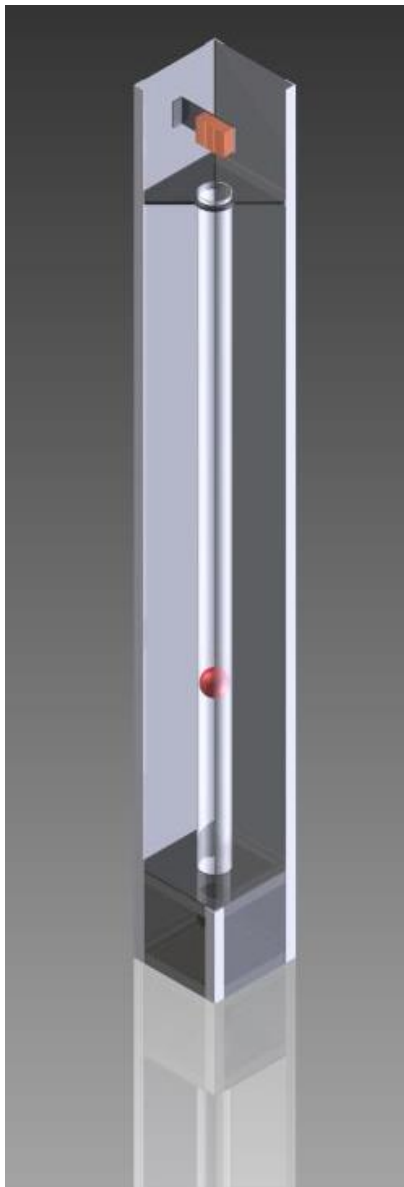


Слика 4. Приказ постоља модела

За основу конструкције су коришћени челични L профили, димензија 30x30x3мм, дужине 2400мм. Омотач конструкције је израђен од лима, дебљине 0.5мм, који је савијен у L профил, чије су странице 25x25мм. Лим је са унутрашње стране пластифициран. Метална кутија, која представља носач је, такође, направљена од L профила, димензија 30x30x3мм, чија је дужина 25цм. На крајевима профила изрезани су делови под углом од 45 степени, ради лакшег склапања и лепшег визуелног ефекта. Странице кутије су направљене од плексигласа, различитих дебљина.

Наиме, горња страна кутије, кроз коју пролази пластича цев је од плексигласа дебљине 6мм, и та дебљина је стављена зато што та страна кутије носи саму цев. Бочне стране кутије су од плексигласа дебљине 4мм.

У кутији се налази електронско коло, као и актуатор у виду једносмерног мотора. Додавањем осталих делова (цев, мотор, сензор) 3Д модел добија изглед реалног модела који ће бити израђен. На сликама 5 и 6 представљен је 3Д приказ целог модела, као и основа.



Слика 5. 3Д модел система



Слика 6. Основа модела

3.2. Израда лабораторијског модела

Након што су сви елементи модела измоделирани и направљен склоп, приступа се изради делова и склапању у крајњу целину.

L профили су достављени у потребним дужинама од по 2400мм. Међутим делови су необрађени, па је осим бушења отвора за шrafoве било потребно профиле обрадити шмирглањем и фарбањем. Изглед профила пре и након обраде је дат на следећим сликама.



Слика 7. Изглед необрађеног профила



Слика 8. Изглед обрађеног профила

Након обраде профила и бушења отвора за шrafoве, саставља се кутија. Димензије кутије су 25x25x25cm, а коришћени су исти L профил 30x30x3mm. Крајеви елемената за ивице кутије засецани су са обе стране за угао од 45 степени, због уклапања. Сечење је вршено брусилцом, у радионици при Центру за примењену аутоматику.

Изгледи горњег и доњег дела кутије дати су на слици 9. Такође је била потребна обрада профила и бушење отвора за шrafoве, као и за профиле који сачињавају носећу конструкцију.



Слика 9. Изглед доње и горње странице кутије

Након обраде ивица за кутију, избушен је лим за потребе везивања на конструкцију. Осим бушења отвора, није било потребе ни за каквом даљом обрадом, јер је лим стигао већ обрађен. Лим је спајан са профилима помоћу М4 и М6 шrafoва са наврткама. Спајањем лима за конструкцију, као и спајањем ивица кутије, добијен је изглед конструкције дат на сликама 10 и 11.



Слика 10. Изглед конструкције



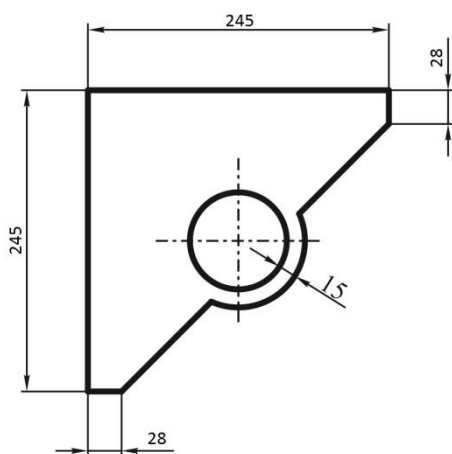
Слика 11. Изглед кутије

Остало је још да се на ивице кутије ушрафе странице од плексигласа. На горњој страни кутије се налази страница од плексигласа, на чијој се средини налази отвор кроз који пролази цев, а која уједно и држи правац цеви. При врху конструкције се налази држач за сензор, чији је изглед дат на слици 12.



Слика 12. Држач сензора

Горњи крај цеви пролази кроз плочу од плексигласа, која је изрезана у облику троугла, са једном страном заобљеном тако да прати облик цеви. Модел за резање плоче од плексигласа је одрађен у програмском пакету Corel Draw, чија се скица може видети на слици 13(а), а сам модел на слици 13(б).



Слика 13(а). Модел за држач плоче



Слика 13(б). Изглед модела

Плоча је израђена од плексигласа дебљине 10мм и наслања се на држаче који су постављени при врху конструкције, и могу се видети на слици 10.

Тиме је завршена израда основне конструкције и крајњи изглед је дат на слици 14.

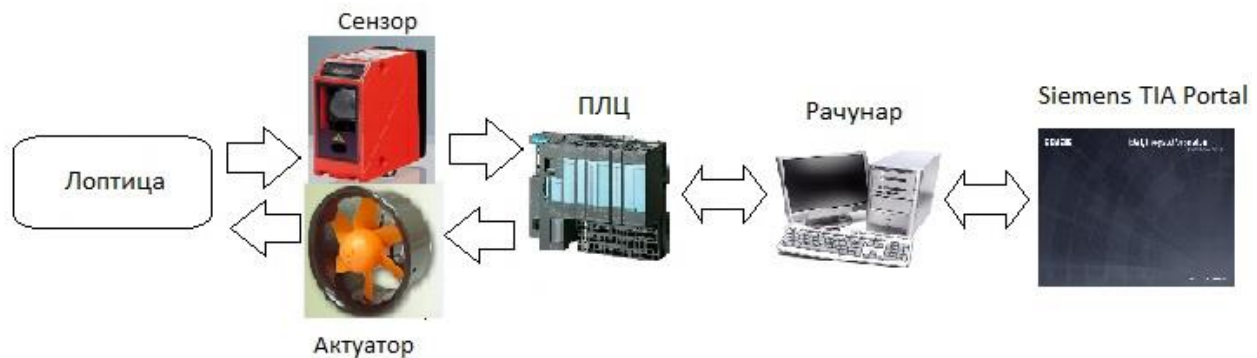


Слика 14. Коначан изглед конструкције

4. Електроника (Hardware)

Апаратура која омогућава управљање вертикалном позицијом лоптице се састоји од три целине и то: физичког окружења лоптице (цеви), PLC -а (управљачког интерфејса) и електронике као спреге између њих. Структура целокупног система дата је на слици 15.

- Физичко окружење представља цев у којој се лоптица креће, и то је окружење на које корисник може да утиче и из ког се добијају одређене информације које су од користи за управљање позицијом. Левитацију лоптице омогућава сила потиска коју ствара ваздушно струјање, за чији настанак је коришћен једносмерни мотор, док се помоћу сензора добија информација о тренутном положају лоптице.
- Контрола се врши коришћењем Siemens ET200S PLC контролера, а управљачки интерфејс је реализован помоћу специјализованог софтвера *Siemens TIA Portal V11*.
- Веза између ове две целине је електронско коло за ограничавање напона, ласерски мерач позиције и неопходна напајања.



Слика 15. Структура система управљања

4.1. Ласерски сензор HRTL 96b

У раду је коришћен ласерски мерач позиције, *HRTL 96b*, фирме *Leuze electronic*. Ласерски мерач позиције омогућава добијање повратне информације о тренутној позицији лоптице у цеви. Изглед ласерског мерача позиције дат је на следећој слици, а уз то и карактеристике сензора добијене од стране произвођача.



- Ласерски скенер са великим опсегом детекције за универзалне потребе (видљива црвена светлост)
- Време пропагације светлости чини мерење могућим под тешким условима (светло, осветљеност мете)
- Веома једноставне операције
- Временска заштита онемогућава нежељене промене логичких стања прекидача
- Аутоматска резерва и хистерезис омогућавају поуздано обављање прекидачких функција
- Прекидачка акција независна од правца кретања
- Оптималан за задатке позиционирања и поуздану детекцију објеката

Слика 16. Ласерски сензор

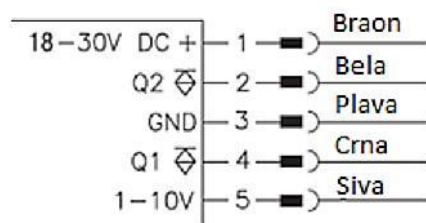
Спецификације сензора могу се видети у табели 1:

Димензије	30x90x70мм
Напон напајања	18...30V DC
Фреквенција читавања	100Hz
Време одзива	<5мс
Радна температура	-30 °C ...+50 °C
Резолуција	<5мм
Поновљивост	<1мм
Опсег мерења	100 – 5000мм

Табела 1. Спецификације ласерског сензора

Ласер поседује два прекидача који се могу подесити да се активирају при одређеним вредностима нивоа које сензор региструје (нпр. могу се користити у апликацијама за давање сигнала, или обавештења за крајњи положај).

На следећој слици је приказан начин повезивања ласера.



Слика 17. Шема повезивања ласерског сензора

4.2. Вентилатор као актуатор

Као актуатор у моделу ваздушне левитације је коришћен аксијални вентилатор, *EDF 40*, кога покреће једносмерни мотор, чији ће принцип рада бити описан у овом поглављу. Карактеристике вентилатора су дате у табели 2, док су у табели 3 дате техничке карактеристике мотора:

Тежина	27 грама
Унутрашњи пречник	40 мм
Ротор	EDF-1630 x 6

Табела 2. Карактеристике вентилатора

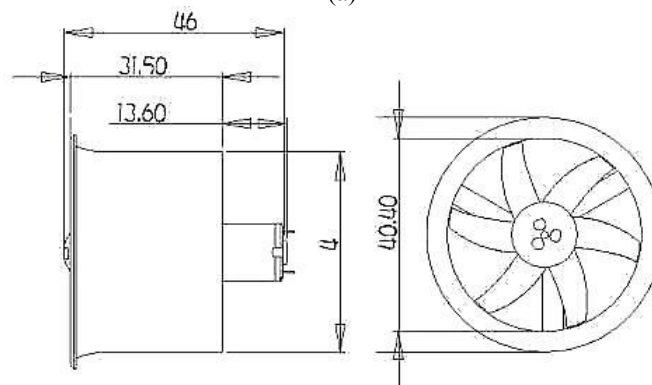
Ротор	Напон (V)	Струја (A)	Снага (W)	Ефикасност (g/W)
EDF-1630 x 6	6	3.1	18.60	2.85
EDF-1630 x 6	7.2	3.9	28.08	2.53

Табела 3. Техничке карактеристике мотора

На слици 18(а) је приказан изглед вентилатора, а на слици 18(б) његова скица.



(а)

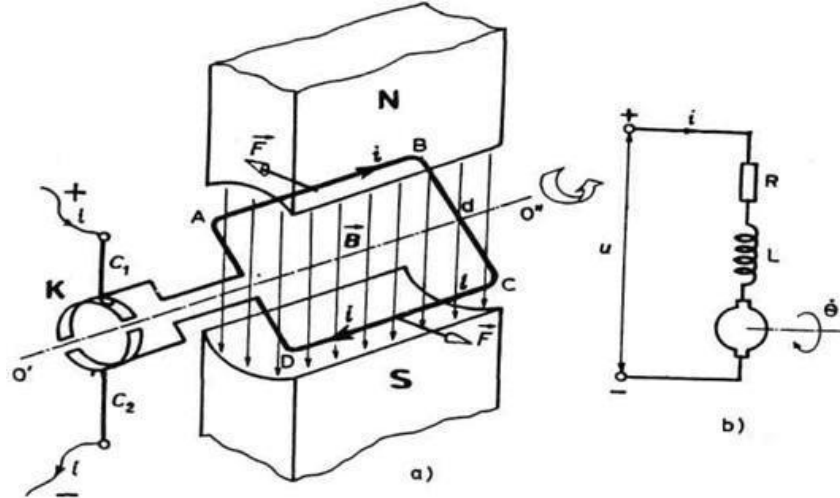


(б)

Слика 18. а) Изглед вентилатора; б) Скица вентилатора

4.2.1. Принцип рада мотора једносмерне струје

Да би се објаснио принцип рада мотора једносмерне струје са сталним магнетом и извео математички модел употребљен је поједностављен модел приказан на слици 19.



Слика 19. Модел мотора једносмерне струје

Посматрајући проводну правоугаону контуру кроз коју протиче струја i , а која се налази у магнетном пољу индукције B , може се писати једначина за Лоренцове силе које делују на делове проводне контуре AB и CD:

$$F = ilB \quad (1)$$

где је l дужина делова AB односно BC. Ове две силе изазивају спрег сила момента:

$$M = Fd \cos \theta = ilBd \cos \theta \quad (2)$$

Овај момент изазива обртање контуре око осе O'O''. Може се видети да је пропорционалан струји која протиче кроз проводник. Да би се одржао увек исти смер струје у горњем и доњем делу оквира, тј. да се не би променио када део BC дође горе, користи се комутатор K. Проводници C_1 и C_2 који се наслањају на комутатор називају се четкице. Описано обртање контуре у магнетном пољу индуковаће електромоторну силу на крајевима проводника. Интензитет електромоторне силе биће:

$$e = L \frac{d\phi}{dt} = L \frac{d}{dt} BS \sin \theta = LBS \cos \theta \dot{\theta} \quad (3)$$

а по смеру је таква да тежи поништавању струје због чега се и назива контраелектромоторна сила. Из израза (3) видимо да је контраелектромоторна сила пропорционална брзини обртања $\dot{\theta}$.

Сада можемо замислити више међусобно спојених проводних контура које формирају ротор мотора. Стални магнет са постољем образује статор мотора. Укупни момент који ће изазвати обртање ротора и даље је пропорционалан струји кроз статор: $M = C_M i$. C_M је такозвана константа момента, чија се вредност за одређени мотор узима из каталога произвођача. Контраелектромоторна сила је и даље пропорционална брзини обртања $\dot{\theta}$ тј. $e = C_E \dot{\theta}$. C_E је такозвана константа електромоторне силе. Може се доказати да су, у случају изражавања у СИ систему, ове константе бројно једнаке. При томе је C_M изражено у јединицама N/A, а C_E у јединицама $V / \frac{rad}{s}$.

Посматрајмо сада динамичку равнотежу ротора. Моменту M супротстављају се инерцијалне силе ротора моментом $M_I = I\ddot{\theta}$, где је I момент инерције ротора, а $\ddot{\theta}$ угаоно убрзање. Такође, супротстављају се момент вискозног трења $M_T = B\dot{\theta}$, где је B коефицијент трења, $\dot{\theta}$ угаона брзина ротора и коначно супротставља се момент P_M називамо излазни момент мотора. Величине I и B налазе се у каталозима произвођача мотора. Динамичка равнотежа је сада дата изразом:

$$M = M_I + M_T + P_M \quad (4)$$

одакле следи:

$$I\ddot{\theta} = C_M i - B\dot{\theta} - P_M \quad (5)$$

Сада посматрајмо електричну шему мотора приказану на слици 19(б).

Прикључени напон u савлађује контраелектромоторну силу e , електроотпорну e_R и контраелектромоторну силу самоиндукције e_L .

e_R је електроотпорна сила термичке отпорности намотаја ротора и износи $e_R = Ri$, где је R отпорност, а i струја кроз намотаје. Контраелектромоторна сила самоиндукције је једнака $e_L = L \frac{di}{dt}$, где је L индуктивност. Бројни подаци за величине R и L се узимају из каталога. Сада је равнотежа кола одређена изразом:

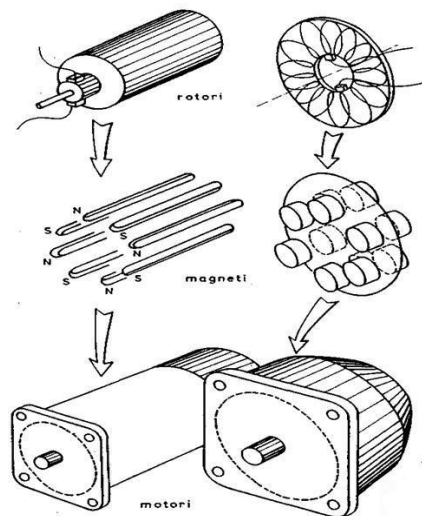
$$u = e + e_R + e_L \quad (6)$$

тј.

$$u = C_E \dot{\theta} + L \frac{di}{dt} + Ri \quad (7)$$

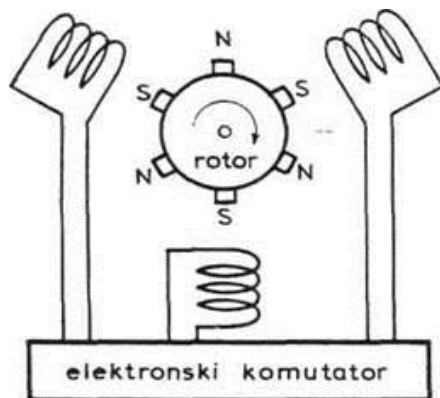
Изрази 6 и 7 представљају математички модел мотора.

Осмотримо сада на неке различитости у конструкцијама постојећих мотора. Прво што треба рећи је да се ротори срећу у два основна облика: цилиндричном и плочастом. Слика 20 приказује облик ротора са методом комутације, начин постављања парова сталних магнета и спољашњи изглед мотора. Очигледно је да плочасти ротор омогућава краћу, али ширу форму мотора.



Слика 20. Различити облици ротора и мотора

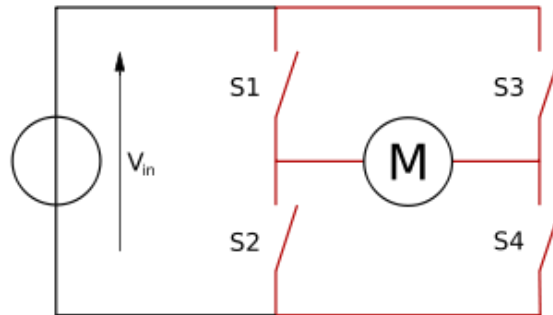
Могуће је и заменити улоге ротора и статора. Тада се на ротору налазе парови сталних магнета, а на статору намотаји кроз које протиче струја. Шема је приказана на слици 21. Очигледно тада не постоји комутатор са четкицама па се измена смера струје у намотајима обезбеђује посебним електронским системом. Зато говоримо о електронској комутацији и електронском комутатору. Овакве моторе без четкица често називамо и енглеским термином брашлес (Brushless) мотори. Електронска комутација омогућава моторима знатно веће радне брзине, избегнут је проблем трошења четкица, као и варничења. Треба рећи да оваква комутација није једноставна. Учестаност промене смера струје мора бити усклађена са брзином обртања мотора.



Слика 21. Мотор без четкица

4.3. Електронско коло са интегрисаним LM494 колом

С обзиром да мотор једносмерне струје који се користи за покретање вентилатора, као што је већ напоменуто, даје максималну струју од 4.9А, при максималном напону од 8V, потребно је некако ограничити струју и напон кроз коло, а истовремено добити одговарајући напонски ниво за покретање мотора. То је остварено електронским колом које садржи два интегрисана кола. Једно је L6230, које представља Х-мост. Х-мост је коло које омогућава промену смера обртања мотора једносмерне струје. Назив Х-мост потиче од самог изгледа моста, који се може видети на слици 22.



Слика 22. Шематски приказ Х-моста

Када су прекидачи S_1 и S_4 затворени, а S_2 и S_3 отворени, позитиван напон ће бити прикључен на крајеве мотора. Отварањем прекидача S_1 и S_4 , а затварањем S_2 и S_3 добија се инверзни напон, који покреће мотор. Према шеми се закључује да, уколико се истовремено затворе S_1 и S_2 , долази до кратког споја, а исто се дешава и ако се истовремено затворе S_3 и S_4 .

Осим за промену смера обртања мотора, Х-мост се може користити и за кочење мотора, при реализацији наглог заустављања, као и за пуштање мотора да се заустави под дејством инерције. У следећој табели могу се видети све комбинације прекидача и акције до којих доводе.

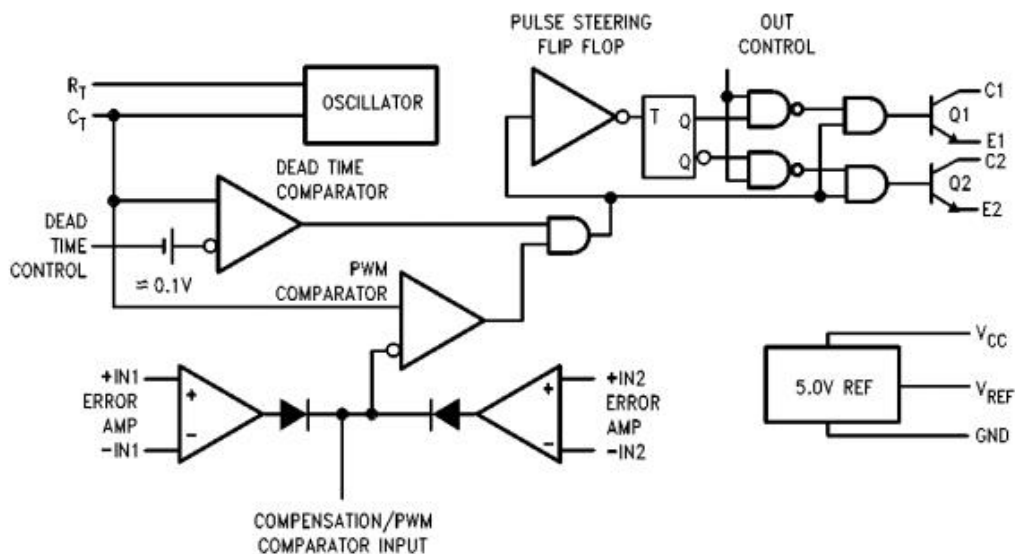
S1	S2	S3	S4	Резултат
1	0	0	1	Мотор се обрће у десно
0	1	1	0	Мотор се обрће у лево
0	0	0	0	Мотор је у празном ходу
0	1	0	1	Кочење мотора
1	0	1	0	Кочење мотора
1	1	0	0	Кратак спој
0	0	1	1	Кратак спој
1	1	1	1	Кратак спој

Табела 4. Комбинације прекидача код Х-моста

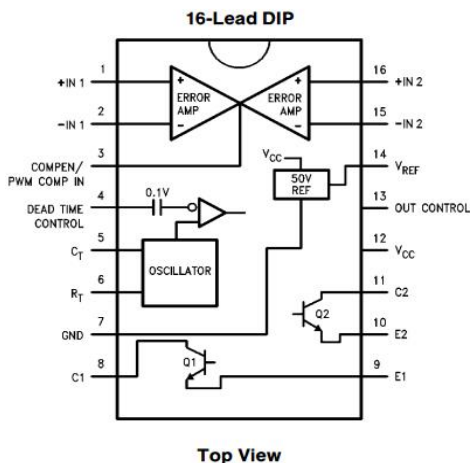
Друго интегрисано коло је LM494. То је монолитно интегрисано коло које укључује све елементе потребне за генерисање PWM (Pulse-Width Modulation) сигнала. Коло може да ради на фреквенцијама између 1kHz и 300 kHz, са излазним напонем до 40V. Блок дијаграм кола је приказан на слици 23, док су на слици 24(а) и 24(б) дати дијаграм повезивања и физички изглед кола, респективно.

PWM сигнал, као што сам назив каже, је квадратни талас у коме се бира колико дуго сигнал остаје на логички високом, а колико на логички ниском нивоу. Сигнал који се шаље на мотор, у зависности од дужине трајања позитивног импулса окреће мотор брже или спорије. Ширина пулса одређује количину снаге која долази у мотор, што заузврат одређује колико брзо ће мотор радити. Кратак, односно узак импулс ће изазвати спорије окретање мотора, док ће шири импулс довести до тога да мотор ради брже. При максималној брзини, импулси су скоро састављени, тако да се на мотор шаље константан напон.

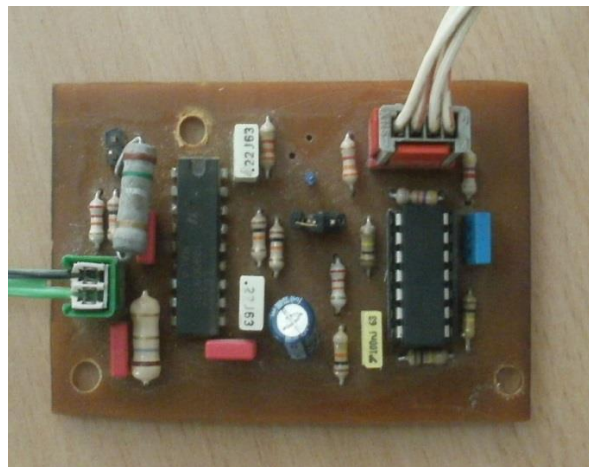
Са електронским колом је постигнуто да се управља напонем које се шаље на мотор. Управљањем напонем, мења се и струја у колу, а тиме и снага која се шаље на мотор. Максимални напон који се овако може произвести је 2.4 волта, док је струја ограничена на вредност од око 0.42 ампера.



Слика 23. Блок дијаграм кола LM494



Слика 24(а). Дијаграм повезивања кола LM494



Слика 24(б). Физички изглед кола

4.4. Програмабилни логички контролер Siemens ET200s

Програмабилни логички контролери (PLC) су широко распрострањени у индустријској аутоматизацији и једни од најчешће коришћених уређаја. Основи разлог за то је тај што су PLC уређаји квалитетне израде, робусни су и отпорни на утицаје околине који се могу јавити у постројењима. Могуће је разноврсно повезивање са спољним јединицама, као што је персонални рачунар, могуће је приступати са удаљених локација преко интернета, и разне врсте визуелизације као и праћење процеса и прикупљање података.

У раду је коришћен PLC компаније Siemens, са ознаком ET200s. То је процесорска јединица, која има могућност спајања са више улазно-излазних уређаја. Спајање модула са јединицом се врши помоћу бус (bus) конектора, чиме је омогућено једноставно додавања и скидање модула. Поред процесорске јединице, а с обзиром на врсту сигнала са којом се ради, најпре је било потребно направити потребну конфигурацију контролера. Да би напајали сензор, потребан је модул који представља извор напајања. Да би читали аналогни напон који се добија са сензора, и који представља тренутни положај, односно висину лоптице, потребан је модул који представља аналогни улаз. Напон који се шаље на мотор, и који служи као управљачки сигнал, је такође аналогни, па је потребан модул који представља аналогни излаз.

У овом случају се користе следећи модули као надоградња на сам контролер:

-(6ES7134-4FB01-0AB0), као аналогни улаз

-(6ES7135-4FB01-0AB0), као аналогни излаз

-(6ES7138-4CB11-0AB0), као напајање за ласерски сензор.

Напајање мотора је вршено спољним (екстерним) напајањем, из разлога што је излазна вредност струје PLC -а ограничена на 100mA, док је за мотор потребна већа вредност струје.

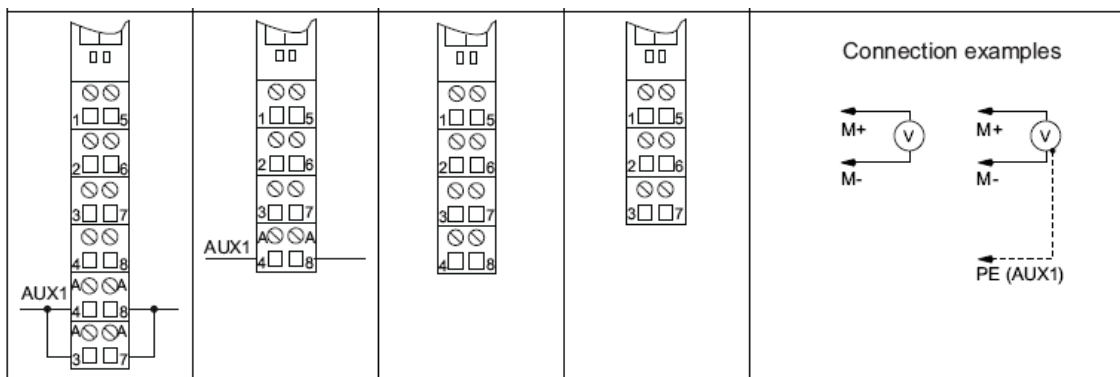
4.4.1. Аналогни улаз

Прво што се може запазити из упутства су опште карактеристике и распоред портова (терминала). Из овога се може видети да уређај има два улазна порта, што значи да се може накатити укупно два сензора на њега. Улазни опсег модула је $\pm 10V$, у резолуцији од 13 бита. Нама занимљивије је ожичење модула. У следећој табели је дат распоред портова (терминала).

Terminal assignment for 2AI U ST (6ES7134-4FB01-0AB0)				
Terminal	Assignment	Terminal	Assignment	Notes
1	M ₀ +	5	M ₁ +	- M_n+: Input signal "+", channel n - M_n-: Input signal "-", channel n - n.c.: Not connected (max. 30 V DC can be connected) - AUX1: Protective-conductor terminal or potential bus (freely usable up to 230 VAC)
2	M ₀ -	6	M ₁ -	
3	n.c.*	7	n.c.*	
4	n.c.	8	n.c.	
A4	AUX1	A8	AUX1	
A3	AUX1	A7	AUX1	

Табела 5. Табела распореда улаза

Коришћењем ове табеле се може закључити како је потребно повезати сензоре, а за сваки случај проказана је следећа слика на којој је приказан распоред портова, као и пример ожичења.



Слика 25. Пример ожичења

Са дате шеме се може видети да се сигнал са сензора доводи на улазе 1 и 2, а да су улази 2 и 4 кратко спојени. Овај спој није направљен унутар модула већ се он мора извести ручно.

4.4.2. Аналогни излаз

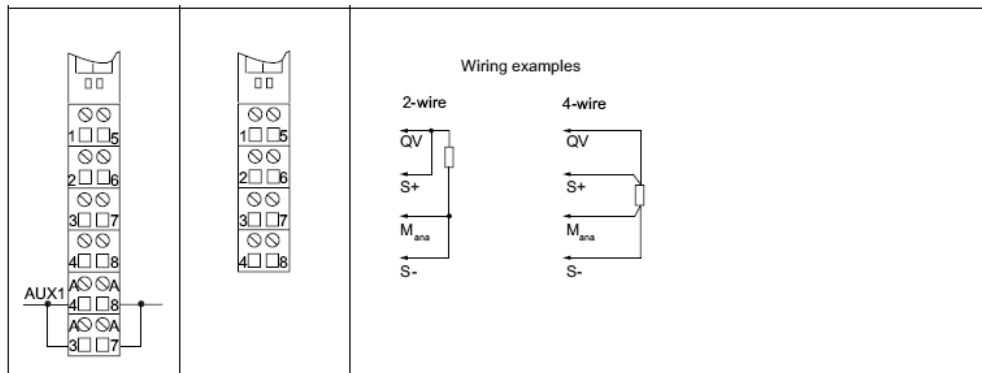
У упутству добијеном од произвођача, дате су карактеристике самог модула. Основна и најбитнија карактеристика је излазни опсег. Управљачки сигнал који се шаље на електронско коло се креће у опсегу од 3 до 7V. Излазни опсег модула је $\pm 10V$, и с обзиром да коло ради са 3-7 V, ово ће бити довољно. Међутим много битнију ставку представља колику струју може да издржи. У спецификацији можемо наћи да је то 100 mA. То је струја која је довољна да напаја електронско коло, на чијем се излазу добија довољна струја да покрене сам мотор.

Распоред портова је дат у следећој табели:

Terminal assignment for 2AO U ST (6ES7135-4FB01-0AB0)				
Terminal	Assignment	Terminal	Assignment	Notes
1	QV ₀	5	QV ₁	- QV_n: Analog output voltage, Channel n - S_{n+}: Tracer line positive, Channel n - S_{n-}: Tracer line negative, Channel n - M_{ana}: Ground of the module - AUX1: Protective-conductor terminal or potential bus (freely usable up to 230 VAC)
2	S ₀₊	6	S ₁₊	
3	M _{ana}	7	M _{ana}	
4	S ₀₋	8	S ₁₋	
A4	AUX1	A8	AUX1	
A3	AUX1	A7	AUX1	

Табела 6. Распоред портова на АО модулу

Из табеле се може видети да су корисни улази 1 и 4. На слици 26 се може видети пример ожичења АО модула.



Слика 26. Пример ожичења

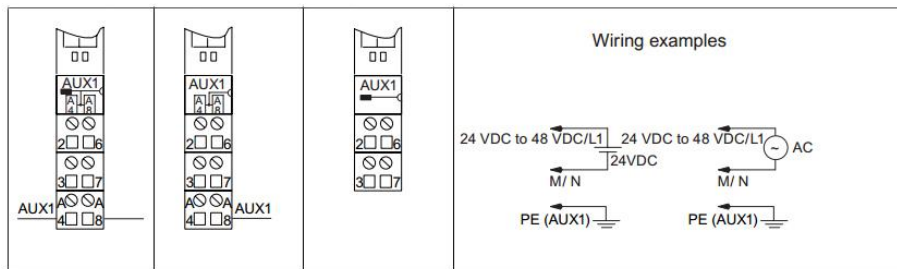
Како се види са слике, излази 1 и 4 представљају излазе уређаја, и као код аналогног улаза може се видети да неки портови морају бити кратко спојени. У овом случају су то 1 и 2, као и 3 и 4. Ни овде спој није остварен унутар модула, већ је потребно извести ово ручно.

4.4.3. Модул за напајање

Модул за напајање сензора, коришћен у раду, по спецификацији, омогућује излазни једносмерни напон у опсегу од 24 до 48V, као и наизменични напон у распону од 24 до 230V. Пошто је за напајање ласерског сензора потребан једносмеран напон у опсегу од 18 до 30V, закључује се да је посотјећи модул довољан, и да нема потребе за неким додатним напајањем. У табели 5 је приказан распоред пинова на модулу, док је на слици 27 приказано ожичење модула.

Terminal assignment PM-E DC24..48V/AC24..230V (6ES7138-4CB11-0AB0)					
Terminal	Assignment	Terminal	Assignment	Notes	
2	L+/L1	6	L+/L1	- L+/L1: Rated load voltage 24 VDC to 48 VDC - M: Chassis ground - N: Neutral conductor - AUX1: Protective-conductor terminal or potential bus (freely usable up to 230 VAC)	
3	M/ N	7	M/ N		
A4	AUX1	A8	AUX1		

Табела 7. Распоред портова модула



Слика 27. Ожичење модула

На слици 28 се види како изгледа комплетан систем, где су модули повезани са контролером.



Слика 28. Комплетан систем коришћен у раду

4.5. Камера за надгледање процеса

За надгледање процеса је коришћена IP (Internet protocol) камера. Модел камере је *Zavio F210A*, и то је дигитална камера, која се углавном користи за надзор. Ова камера садржи, поред сензора за пријем светлосних сигнала, мрежни модул који омогућава слање и примање података преко рачунарске мреже и интернета. Максимална резолуција камере је 640x480 пиксела, има уграђен микрофон, угао видиљивости је 53°, и сасвим је довољна за потребе пројекта. Изглед камере је дат на слици испод.



Слика 29. ИП камера

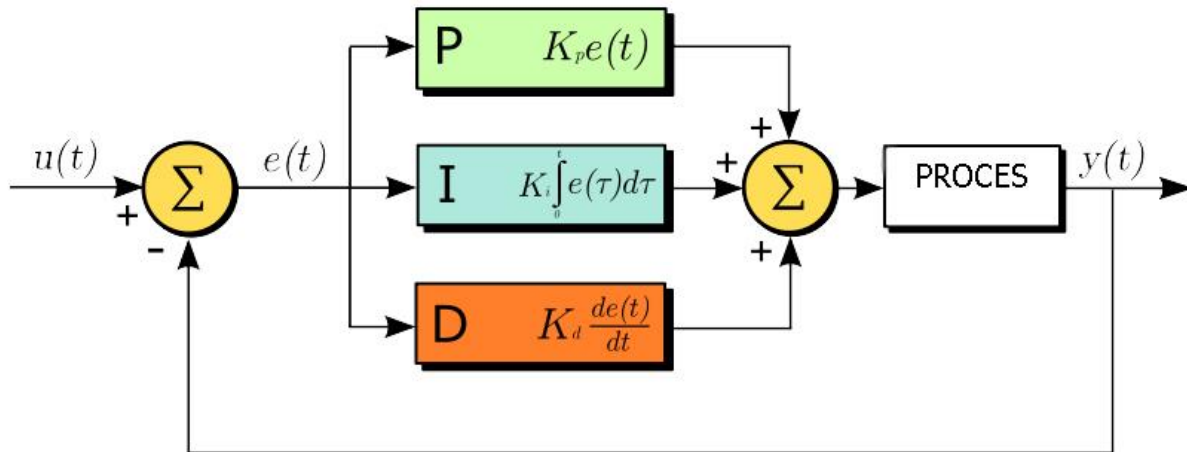
5. Принцип регулације

Да би било омогућено управљање неким реалним процесом и системом, потребно је познавати саму природу процеса, и имати на уму одеђени алгоритам којим је могуће постићи унапред дефинисане захтеве, као што су брзина одзива система, грешка у стационарном стању, прескок, време успона и смирења итд.

Сваки систем аутоматског управљања се одликује оређеним законима, који се називају закони управљања. Закон управљања представља математичку зависност на основу које управљачки уређај обрађује релевантне сигнале (информације) и генерише одговарајућа управљачка дејства. Најчешћа форма оваквих управљачких уређаја се назива регулатор или контролер.

5.1. ПИД контролер

Процењује се да више од 90% коришћених регулатора у индустрији чине регулатори ПИД типа. Главни разлог за њихову популарност је релативно једноставна структура ових контролера, која лако може бити схваћена и имплементирана у пракси. Некада могу бити примењени у ситуацијама када математички модел објекта унапред није познат, и према томе, аналитичке методе пројектовања контролера није могуће спровести. ПИД закони управљања дозвољавају релативно лако подешавање параметара контролера и после његове инсталације унутар система аутоматског управљања. У дугој историји коришћења ПИД закона управљања, предложене су бројне модификације, проширења и правила подешавања параметара различитих форми ПИД алгоритама управљања. Са својим придруженим функцијама (прелаз између мануелног и аутоматског мода, *antiwindup*, итд.) они су интегрисани као производ на тржишту, спреман за имплементацију у систем управљања. ПИД контролери су, и данас, у практичним апликацијама прихватљивији него неконвенционални контролери који имплементирају сложеније законе управљања, изузев ако су евидентно недовољни да испуне задате спецификације. На слици 30 можемо видети блок дијаграм ПИД контролера.



Слика 30. Блок дијаграм ПИД контролера

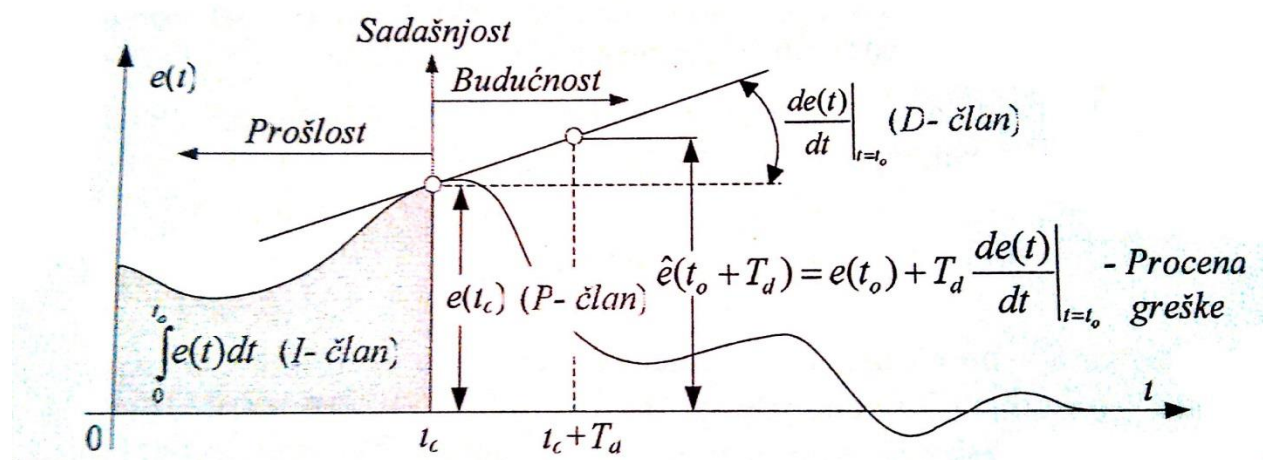
Функционисање ПИД контролера је једноставно за разумевање. Контролер посматра тренутне вредности грешке, интеграл грешке у временском интервалу и брзину промене грешке да би се утврдило колико треба исправке применити. Контролер исправља грешку, све док се промена не види у информацијама које добијамо из повратне спреге. У зависности од брзине ажурирања грешке, корекција грешке мора бити брза, и, на пример, имамо да се код аналогних повратних спрега величина грешке ажурира сваких 10 милисекунди.

ПИД контролер у свом идеализованом облику може бити представљен релацијом 8:

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \quad (8)$$

са параметрима K – појачање, T_i – временска константа интегралног дејства и T_d – временска константа диференцијалног дејства. Ради се о трокомпонентном закону управљања који обухвата П-, И- и Д- дејство. Пропорционално дејство (П- члан) прилагођава излаз из регулатора величини грешке у садашњем (текућем) тренутку времена. Запазимо да П- регулатор генерише управљање ($u(t) = Ke(t)$) само када постоји грешка $e(t)$. Лако се да показати да се повећањем појачања K , повећава брзина одзива и тачност рада система у стационарном стању, али смањује резерва стабилности. Интегрално дејство (И- члан) генерише управљање $u(t)$ на основу познавања сигнала грешке из претходног (прошлог) временског периода ($e(\tau), 0 \leq \tau \leq t$). Уколико је у тренутку t сигнал грешке нула ($e(t) = 0$), то не значи да ће и управљање произведено интегралним дејством бити нула.

И- дејство доприноси елиминацији грешке стационарног стања, и типично се користи ради повећања тачности рада система у стаціонарном стању. Интензитет интегралног дејства се подешава константом T_i , а његов прекомерни утицај у управљању може водити дестабилизацији система, или смањењу степена релативне стабилности (појава осцилаторности у одзиву, итд.). И- дејство повећава инертност управљачке контуре и деградира динамичке перформансе одзива система. У комбинацији са П- дејством (ради повећања брзине реаговања система) чини ПИ- регулатор. П и ПИ регулатори припадају фамилији ПИД алгоритама управљања, и у пракси се често користе. Диференцијално дејство (Д- члан) генерише управљање на основу будућег тренда сигнала грешке. Д- дејство повећава брзину и резерву стабилности система, али и осетљивост система на дејство високофреквенцијских сигнала (мерни шум, нпр.). Утицај диференцијалног дејства се подешава константом T_d . Повећањем временске константе T_d , повећава се утицај диференцијалног одзива ПИД алгорита, те се у већој мери могу потиснути осцилације у временском одзиву система (као последица повећања резерве стабилности). На слици 31 видимо генерисање ПИД управљања у почетном тренутку t_0 .



Слика 31. Генерисање П-, И-, Д- управљања у тренутку t_0

6. Програмирање контролера

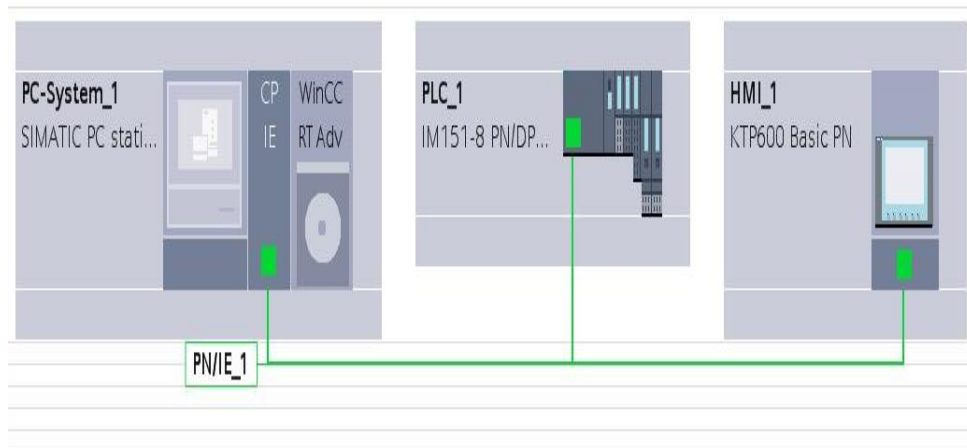
Тотално Интегрисана Аутоматизација (Totally Integrated Automation) -TIA је нова генерација инжењерског софтвера за индустријску аутоматизацију. Први је индустријски софтвер са „једним инжењерским окружењем“ за све задатке аутоматизације. То значи да уједињује све софтверске алате потребне за аутоматизацију у само једном развојном окружењу.

TIA је софтвер који омогућује програмирање PLC-а, HMI-а, конфигурацију мреже, подешавање параметара, online мониторинг и многе друге функције потребне за брзо и ефикасно решавање захтева аутоматизације. TIA пружа алате за управљање и конфигурирање свих уређаја у одређеном пројекту као што су PLC и HMI уређаји. Пружа кориснику прилагођено окружење за развој, уређивање и праћење логике потребне за управљање апликацијом.

Након стартовања програма, потребно је додати све уређаје који се користе у пројекту. Као што је раније наглашено, од уређаја постоји контролна јединица, модул за напајање, аналогни улаз и аналогни излаз. Изглед конфигурације је приказан на слици 32, где су поменути уређаји приказани. Потребно је да се уређаји налазе у оквиру исте подмреже (subnet). Такође, контролер има своју ИП адресу, преко које се повезујемо са њим.



Слика 32. Изглед конфигурације



Слика 33. Повезивање уређаја у оквиру исте подмреже

Пошто су уређаји успешно повезани, приступа се програмирању контролера. Програмирање се може вршити на два начина: програмирање у лествичастом (LAD, скраћено од Ladder), или програмирање у структурном језику (STL, скраћено од Statement List). У раду је коришћен лествичасти дијаграм.

LAD едитор представља програм као графички приказ сличан електричним шемама. Ледер програм емулира ток електричне струје од извора напајања, кроз низ улазних логичких услова, који на крају резултирају стањима излаза.

Да би почели са програмирањем мора се знати шта је све потребно за реализацију програма. Како је у раду коришћен ПИД контролер, чију је математичка основа дата раније, довољно је да се то примени у самом програму. Међутим, најпре је потребно дефинисати променљиве и типове променљивих.

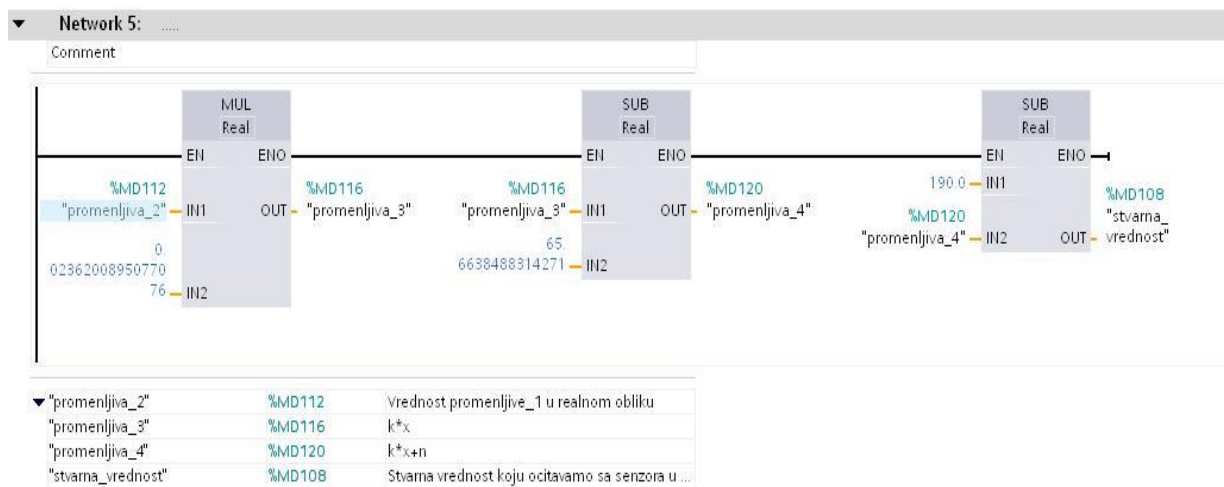
Променљиве се дефинишу у оквиру табеле за дефинисање променљивих (Default tag table). Свакој од променљивих је потребно доделити тип и адресу којој припада. Тако се променљивој која представља напон који се шаље на мотор дати реални (Real) тип променљиве и додељује јој се адреса која се налази у опсегу адреса аналогног излаза контролера. Иста аналогија важи за било који улаз или излаз, било да су они дигитални или аналогни. Разлика је у томе што су излази обележени са Q, а улази са I. Све остале међувредности које се користе у програму ће имати меморијске локације. Изглед табеле са променљивима је дата на слици 34.

Default tag table						
	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...
1	Senzor_napon	DInt	%MD102		☒	☒
2	promenljiva_1	DInt	%MD104		☒	☒
3	stvama_vrednost	Real	%MD108		☒	☒
4	promenljiva_2	Real	%MD112		☒	☒
5	promenljiva_3	Real	%MD116		☒	☒
6	promenljiva_4	Real	%MD120		☒	☒
7	pom	DWord	%MD130		☒	☒
8	p2	Int	%MW116		☒	☒
9	pom1	DWord	%MD118		☒	☒
10	napon_motor	Real	%QD108		☒	☒
11	zeljena	Real	%MD200		☒	☒
12	greska	Real	%MD204		☒	☒
13	F_dejstvo	Real	%MD212		☒	☒
14	p3	DWord	%MD216		☒	☒
15	p3_shift	DWord	%MD220		☒	☒
16	upravljanje_P	Real	%MD228		☒	☒
17	I_dejstvo	Real	%MD232		☒	☒
18	D_dejstvo	Real	%MD236		☒	☒
19	pom_suma	Real	%MD240		☒	☒
20	I_suma	Real	%MD244		☒	☒
21	I_pomocna	Real	%MD248		☒	☒
22	upravljanje_I	Real	%MD252		☒	☒

Слика 34. Изглед табеле са променљивима

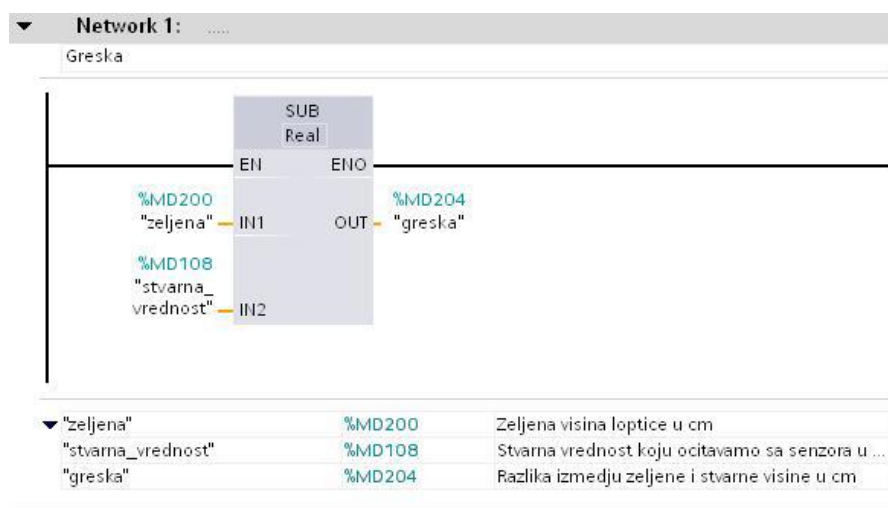
Пошто је направљена табелу са променљивима, приступа се креирању програма. По потреби се у међувремену додају потребне променљиве.

Најпре је било потребно направити подпрограма који ће скалирати вредност са ласерског сензора. Сензор даје на свом излазу аналогни сигнал, у овом случају напон, чију је вредност потребно претворити у висину, тј. центиметре. Подпрограма ради тако што чита вредност напона, и с обзиром да се зна да је у почетном положају лоптице, напон који се добија са сензора највећи, а да у случају када је лоптица на максималној висини добија се најнижи напон са сензора, потребно је ту вредност од 1 до 10V скалирати на опсег од 1 до 200 центиметара. Потребно је било и конвертовати неке вредности из реалних у целобројне, и ставити ограничења у случају да лоптица добије превелики напон и изађе из опсега који смо скалирали. Део подпрограма који врши скалирање је приказан на слици испод.

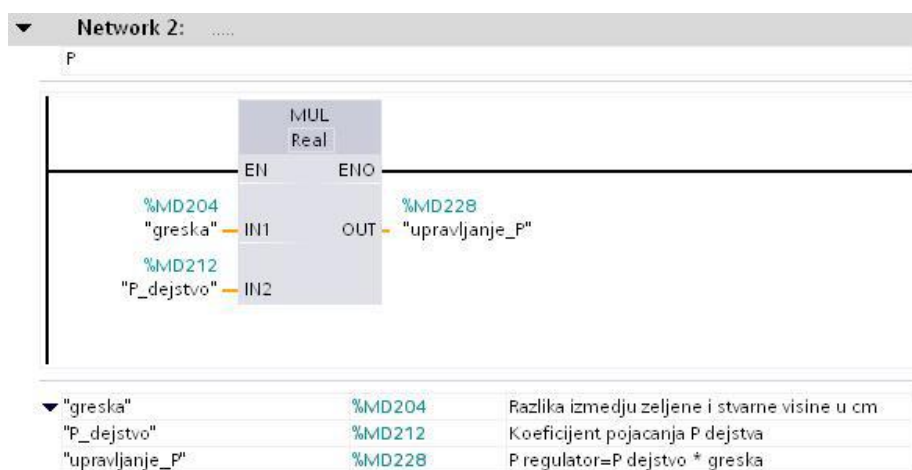


Слика 35. Део подпрограма за скалирање

Сада када се може мерити тренутна позиција, може се приступити следећем подпрограму, а то је пројектовање ПИД контролера, са чијег излаза се шаље напон на мотор. Као што је раније показано, ПИД контролер се састоји од три дела, П-, И- и Д- дејства. П- дејство је најлакше за реализацију, јер је само потребно да се вредност грешке помножи са појачањем, које представља појачање П дела. Грешка се добија тако што се од жељене вредности одузима тренутна вредност, и мрежа за израчунавање грешке је дата на слици 36, док је мрежа која представља П- дејство дата на слици 37.



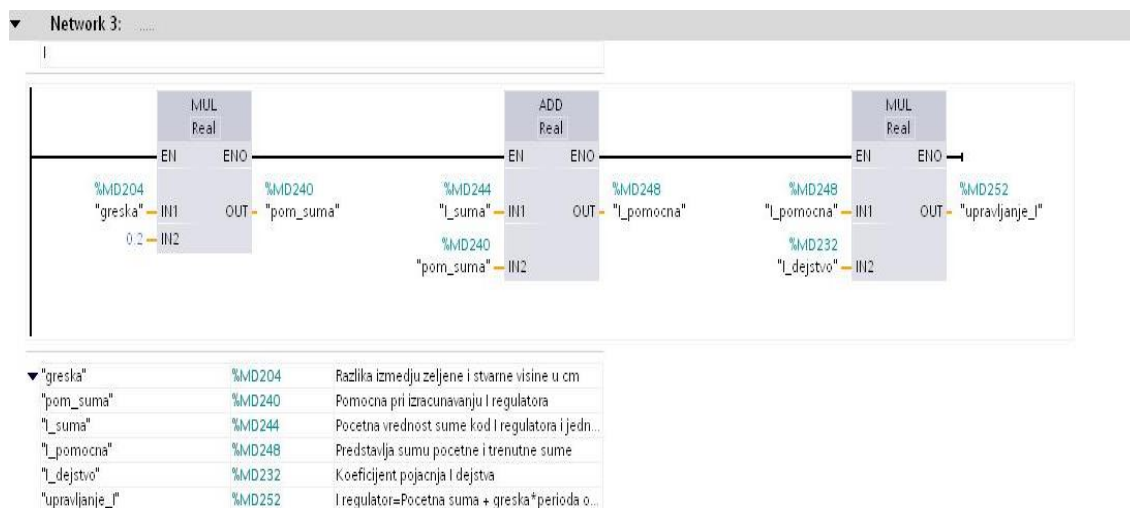
Слика 36. Израчунавање грешке



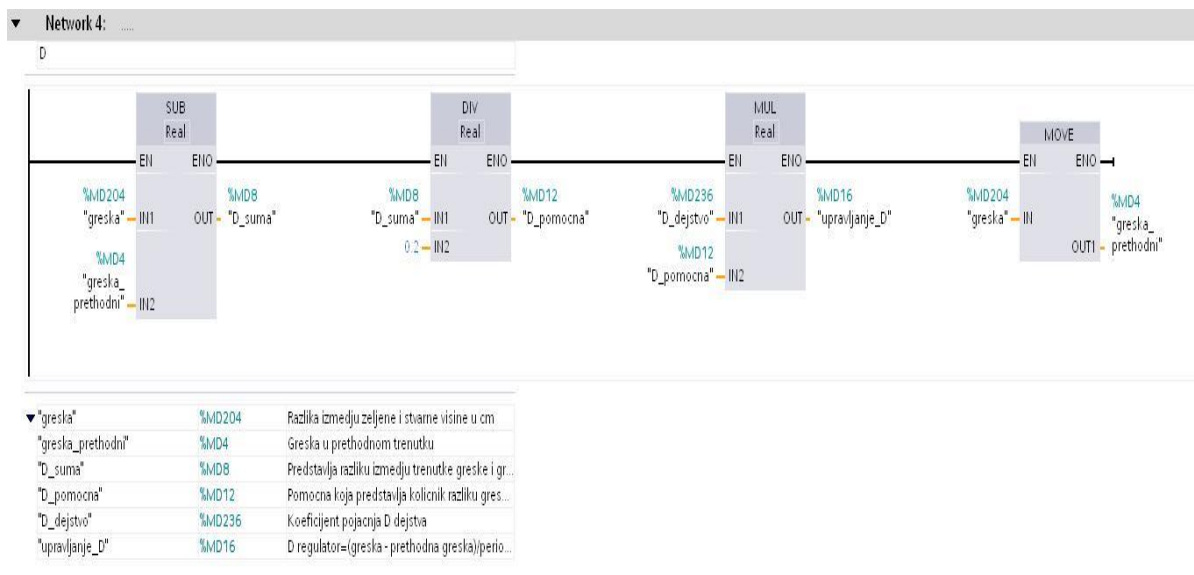
Слика 37. П дејство

Следеће што треба урадити је израчунавање И- и Д- дејства. И- дејство представља суму грешака у времену, која се множи са коефицијентом интегралног дејства, чиме добијамо И контролер. У комбинацији са П контролером, добијамо ПИИ управљање.

Д- дејство се добија одузимањем грешке у претходном тренуку од тренутне вредности грешке, па се добијена вредност множи са коефицијентом диференцијалног дејства. Диференцијално дејство предвиђа понашање система и на тај начин побољшава време смирења и стабилност система. На сликама 38 и 39 је дата реализација И- и Д- дејства.



Слика 38. И дејство



Слика 39. Д дејство

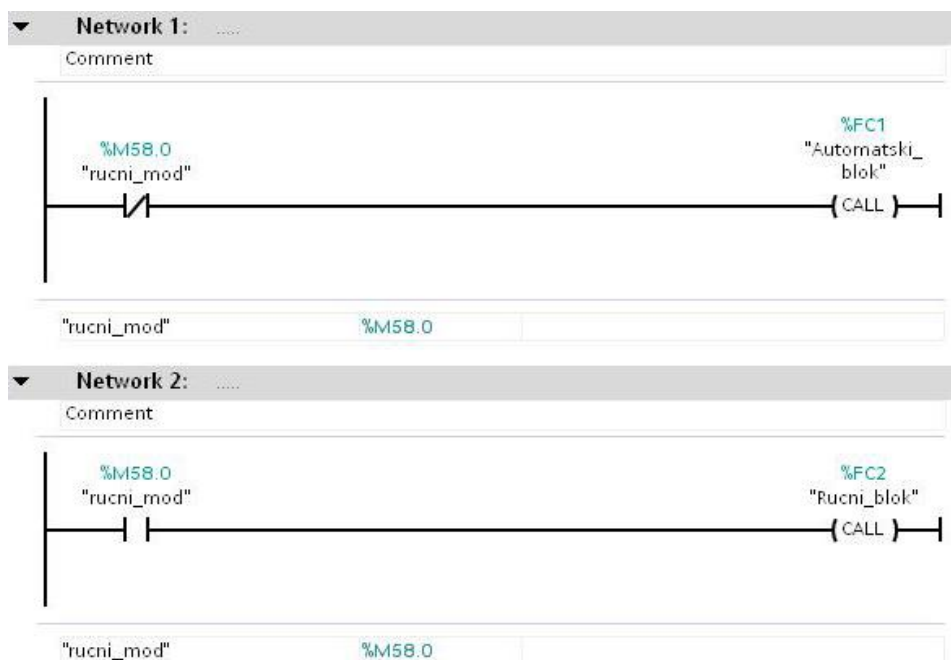
Сва ова три дејства скупа чине ПИД контролер, чији се излаз скалира на опсег који је потребан за мотор, и преко управљачке променљиве се шаље напон, који зависи од грешке система, на мотор. И овде је потребно поставити ограничења, у случају да је грешка сувише велика, тако да заштитимо мотор и сам систем од прекомерног напона. Потребно је напоменути да се израчунавање параметара ПИД контролера врши у функционалном

блоку, који има најбржи одзив, тако да имамо и највећу периоду одабирања. Коришћени функционални блок има одзив од 100 милисекунди.

Завршавањем подпрограма за ПИД контролер, врши се враћање се у главни део програма, где постоје две мреже. Наиме, пошто систем може да ради у два режима, ручном и аутоматском, потребно је разграничити кад ради у ком режиму. Могуће је приступити у једном тренутку само једној врсти управљања.

Аутоматски режим омогућава унос жељене висине, и остављена је могућност да студенти сами подешавају параметре ПИД контролера, јер могу визуелно да прате одзив система у односу на промену параметре.

Ручни режим рада омогућава контролу напона који се шаље на мотор. Могуће је очитати тренутну висину, али не постоји никаква контрола што се тиче жељене висине. Мрежа за активацију аутоматског или ручног режима је дата на слици 40.



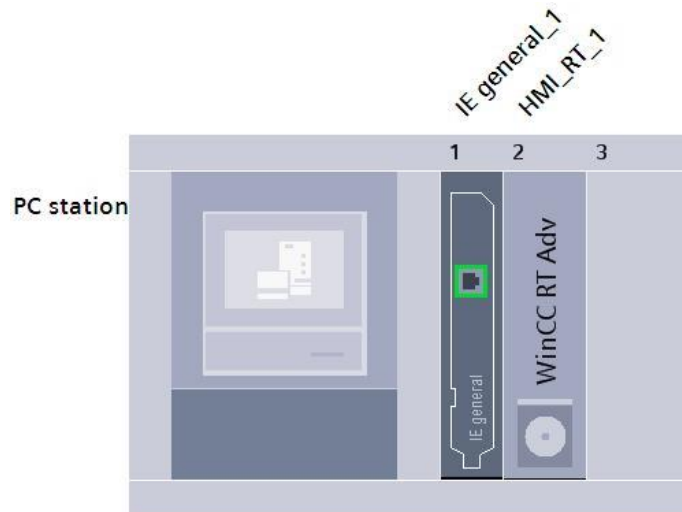
Слика 40. Избор аутоматског/ручног режима рада

Подпрограми за ручно и аутоматско управљање су смештени у функционалне блокове који се из главног дела програма позивају помоћу команде Call.

Овим је програмирање PLC контролера завршено, остало је да визуелно прикажемо цео процес управљања, за шта ће се користити SCADA (енгл. Supervisory Control and Data Acquisition) систем.

7.2. Креирање SCADA система

Да би се направила и користила SCADA систем потребно је убацити одређене уређаје пре самог креирања SCADA-е. У пројекат је потребно укључити једну рачунарску станицу (PC station), модул за комуникацију са станицом, и то је етернет модул, као и модул који представља HMI уређај. Приказ уређаја је дат на слици 42.



Слика 42. Приказ уређаја за креирање SCADA система

Након додавања уређаја је потребно исте повезати са већ постојећим PLC контролером. Повезивање се врши тако што у исту подмрежу у којој је PLC убацимо и рачунарску станицу. Додаће се још и један HMI уређај, који ће се такође користити у раду. HMI уређај се на потпуно исти начин повезује са остатком уређаја. Изглед повезаних уређаја можемо видети на слици 43.



Слика 43. Повезани уређаји

Пошто се изврши повезивање свих уређаје, може се приступити визуелизацији процеса. То се ради тако што се најпре дода потребан број екрана, на којима се прате промене у сиситему. Могуће је додати онолики број екрана колико је потребно. Позадина свих ових екрана је програм који је претходно направљен. На њима се може само читавати, или се могу мењати одређене вредности. И они не служе за креирање управљачког програма, већ само за визуелизацију управљања. Упрошћено, сви објекти који су креирани на екрану су у ствари повезани са PLC тагом, из неког од програма које су претходно направљени. Променом вредности на екрану, у ствари се мења вредност тим таговима. Логика програма се не дотиче. Могуће је екранима доделити разне објекте и неки од њих су: тастер, клизач, поље за ручни унос, график, поље за читавање вредности и други.

Додавањем сваког од ових објеката отвара се прозор са својствима (properties) тог објекта. У оквиру овог прозора се врше потребна подешавања везана за њега. Нека од тих подешавања су нпр. која променљива је повезана са тим објектом, нека акција повезана са активирањем тог објекта итд. Ово се све подешава у зависности од тога шта се жели од тог објекта. Све променљиве које се користе у овој фази припадају меморијским локацијама.

Резултат свих ових операција је SCADA апликација, којом се може једноставно и ефектно управљати представљеним процесом. По стартовању апликације добија се могућност да се одабере мод управљања процесом. Почетни екран је приказан на слици 44.



Слика 44. Почетни екран SCADA система

Може се по називу модова закључити који мод је за коју врсту управљања, али ће бити објашњен начин функционисања.

7.3. Аутоматски режим рада

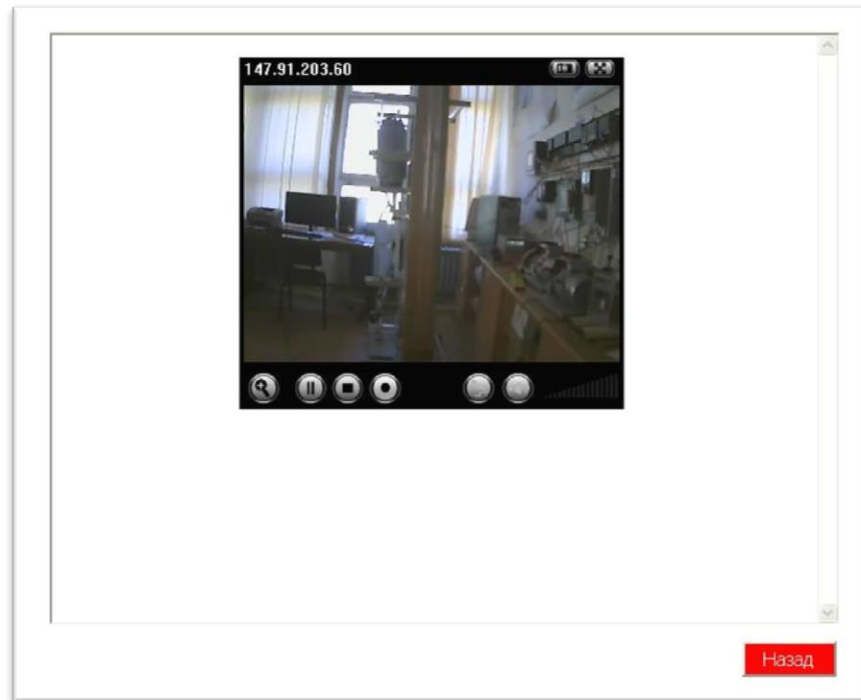
Уколико се корисник одлучи за аутоматски режим рада, отвара му се екран приказан у наставку.



Слика 45. Аутоматски мод

Као што је већ наглашено, у аутоматском моду се задаје жељени ниво, и постоји могућност подешавања параметара ПИД контролера. Екране је могуће организовати по жељи, али је битно да се прикажу све релевантне информације везане за процес управљања. У централном делу екрана се види дијаграм, на коме се у току рада исцртавају упоредо графици стварне и жељене вредности. Графици се исцртавају у реалном времену. На графику се може видети и какав је одзив система, приликом промене улазних параметара. Даље се може видети скала, на којој се може пратити колики се напон шаље на мотор, и та вредност је скалирана у опсегу од 0 до 1. Постоје и три поља за унос параметара контролера.

Такође, на екрану је постављена анимација ваздушног лифта, где се види лоптица која се креће кроз цев, пратећи реалну промену висине лоптице. У доњем десном углу се могу видети два тастера. Један од њих је тастер за повратак на почетни екран, а други је тастер за активирање екрана у коме се налази камера, поменути на почетку рада. Активацијом тог тастера, отвара се следећи прозор.



Слика 46. Прозор камере

У овом прозору се приказује оно што камера види. На основу IP адресе камере је могуће, дакле, преко интернета, чак и са неке удаљене локације приступити систему и надгледати процес. На овај начин се могу организовати и веб лабораторије, где би студенти из својих домова могли да решавају лабораторијске вежбе, и да чувају резултате на својим персоналним рачунарима. Наравно, и овај процес се одвија у реалном времену.

На дну екрана стоји тастер за повратак на претходно активирани екран.

7.4. Ручни режим рада

Види се на почетном екрану да постоји тастер за активирање ручног режима рада. Притиском на тастер се отвара екран као на слици 47.

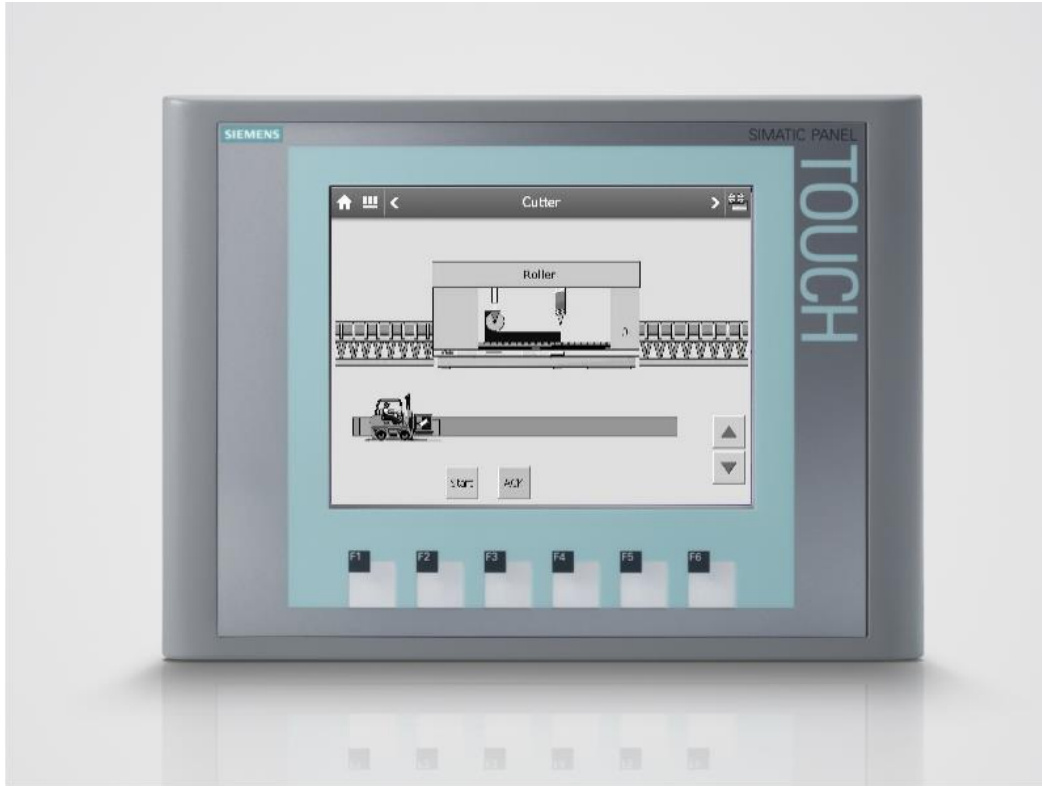


Слика 47. Ручни мод

У оквиру овог екрана постоји мање опција и могућности него у оквиру аутоматског мода. Као што се може видети, и даље је ту дијаграм, међутим, овога пута показује само тренутни ниво лоптице, јер није остављена могућност да се управља жељеним нивоом. Десно од дијаграма се налази клизач, којим се ручно шаље напон на мотор. Клизач је скалиран од 0 до 100% вредности излазног напона. Такође је ту тастер за активацију прозора са камером, као и тастер за повратак на почетни екран.

7.5. HMI

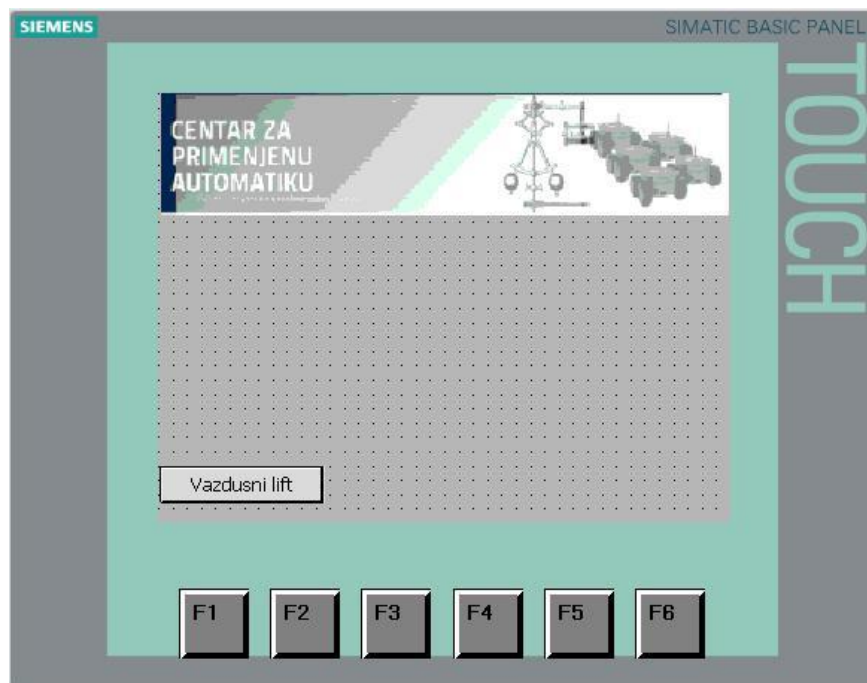
Један од коришћених уређаја у раду је и HMI (Human machine interface). Изглед уређаја је приказан на слици 48.



Слика 48. Изглед HMI уређаја

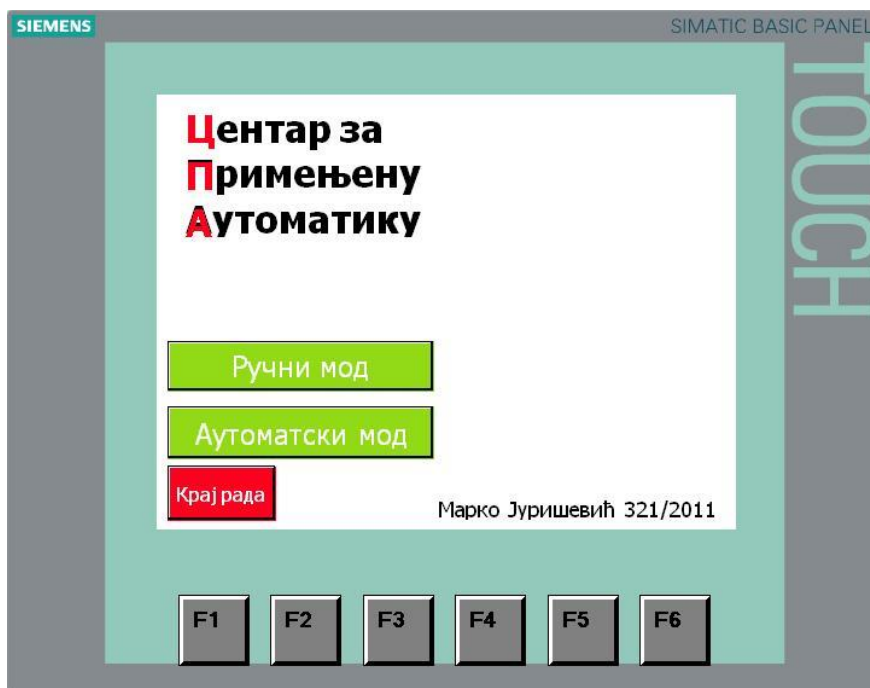
Уређај поседује екран осетљив на додир, величине 5.7“, резолуције 320x240 пиксела. Такође поседује шест тастера којима се могу доделити жељене функције. Има 512 KB меморије, а повезивање се остварује помоћу RS 485 / RS 422 или RJ 45 Ethernet конектора.

Принцип програмирања је исти као и за SCADA-у с тим што се у овом случају ограничава приказ димензијама екрана, тако да се о томе мора водити рачуна. Суштински ништа није мењано, само је додат још један екран. Пошто је могуће имати више програма, направљен је почетни екран на коме ће корисник изабрати жељени систем, и то је у овом случају Ваздушни лифт. Приказ почетног екрана је дат на слици 49.



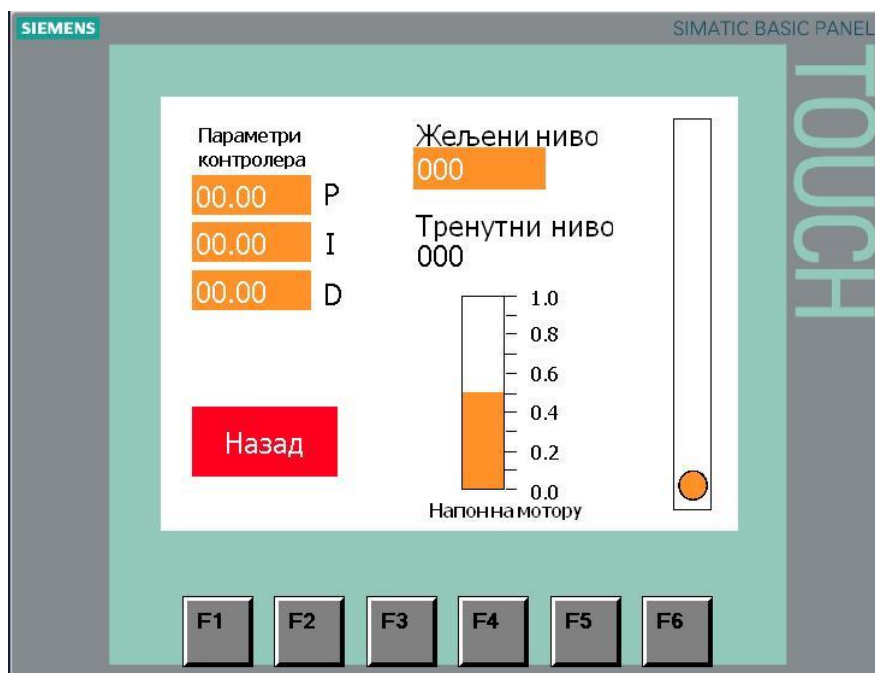
Слика 49. Почетни екран

Избором жељеног програма отвара се екран, приказан на слици 50, који садржи три тастера. Један је за аутоматски режим рада, други је за ручни режим, док трећи тастер активира почетни екран.



Слика 50. Екран жељеног програма

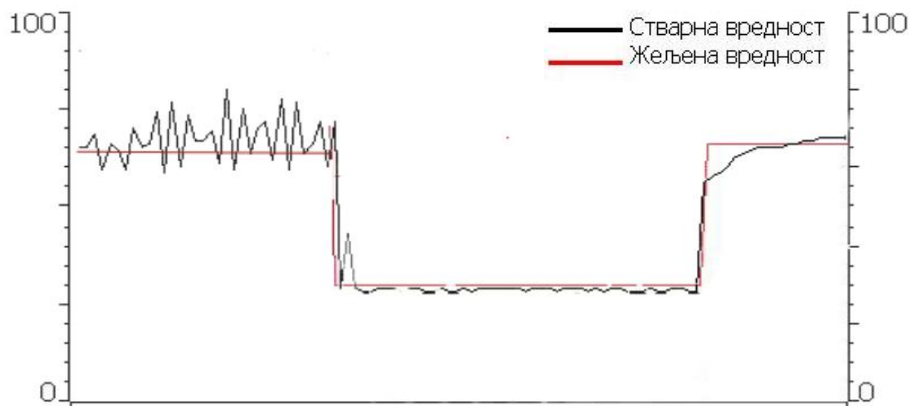
Преко HMI уређаја је омогућено само аутоматско управљање, које се активира додиром тастера за аутоматско управљање након чега се отвара екран, сличан оном који постоји у SCADA-и. Наравно, аналогија рада је потпуно иста.



Слика 51. Екран аутоматског мода

Овим је завршено програмирање HMI уређаја, и уколико постоји програм на PLC-у може се независно од рачунара контролисати процес.

На следећој слици се може видети одзив система за задату жељену висину, која је мењана у току времена. У зависности од параметара контролера праћење жељене висине може бити мање или више тачно. Могуће је подешавањем контролера добити стабилан систем, са различитим степеном осциловања или чак увести систем у нестабилност.



Слика 52. Одзив система

8. Закључак

У раду је приказано пројектовање целог система аутоматског управљања, од идеје, макете, моделирања, израде самог модела, до програмирања PLC уређаја и SCADA апликације. Објашњен је и поступак пројектовања једног мехатроничког система, од самог почетка, до финалног производа.

Такође је приказано како се помоћу PLC контролера може управљати одређеним процесом, и како се све то може визуелно приказати и надзирати. У раду је дат један алгоритам управљања, и остављено је доста простора по питању побољшавања управљања, или имплементације неког другог алгоритма.

ПИД контролер коришћен у раду је потпуно ручно направљен и није коришћен системски дефинисан контролер, који је добијен од стране Siemens-a.

Цео систем је у потпуности направљен и развијен на у Центру за примењену аутоматику, на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, и потпуно је репрезентативан пример управљања системом ваздушне левитације. Могуће је осмислити и организовати лабораторијске вежбе у оквиру неког од предмета који се изучавају на смеру за аутоматско управљање, где би студенти пројектовали своје алгоритме управљања и могли да их тестирају на реалном систему.

Било је потребно доста знања из разних области које су се изучавале током студирања да би пројекат био успешно реализован, као и умеће које се не стиче током школовања, а то је снаћи се у датом тренутку, вештине комуникације и најважније бити упоран и истрајан у решавању проблема.

Литература

- [1] М. Матијевић, Г. Јакуповић, Ј. Цар, *Рачунарски подржано мерење и управљање*, Машински факултет, Крагујевац, 2005.
- [2] М. Зарић, *Пројектовање SCADA система за оцену енергетске ефикасности управљања нивоа течности*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2012.
- [3] Siemens AG, „TIA_V11_en-US”, 2011.
- [4] С. Радојевић, *Управљање нивоом воде у два резервоара*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.
- [5] В. Поткоњак, *Роботика*, Научна књига, Београд, 1989.

Додатак

У оквиру додатка се налази технички цртеж и позиције делова у систему ваздушне левитације.

