

# Upravljanje brzinom vrtnje hidrauličkog motora pomoću PLC-a

---

**Kekelj, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2011**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:520086>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

---

ZAVRŠNI RAD

---

*Student: Matija Kekelj*

*Zagreb, 2011.*

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

---

ZAVRŠNI RAD

---

*Voditelj rada:*

*Prof. dr. sc. Željko Šitum*

*Student: Matija Kekelj*

*Zagreb, 2011.*



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **MATIJA KEKELJ**

Mat. br.:0035172354

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE HIDRAULIČKOG MOTORA POMOĆU PLC-a**

Naslov rada na engleskom jeziku: **SPEED CONTROL OF A HYDRAULIC MOTOR USING PLC**

Opis zadatka:

Hidraulički sustavi imaju široku primjenu u različitim industrijskim postrojenjima i mobilnim sustavima zbog mogućnosti ostvarenja velikih snaga s relativno malim uređajima i elementima, uz velike brzine odziva i visoke točnosti upravljanja. Razvoj elektroničkih komponenti snažno je utjecao na nove mogućnosti primjene i različite pristupe upravljanja hidrauličkih sustava. Važna karakteristika upravljačkog algoritma pri tome je njegova primjenljivost u standardnom industrijskom okolišu. Budući da se hidraulički sustavi vrlo često primjenjuju u teškim radnim uvjetima, potrebno je imati upravljačke uređaje koji su robusni, brzi, pouzdani i prilagodljivi promjenljivim uvjetima rada. Programabilni logički kontroler (PLC) predstavlja klasični upravljački sustav u industriji zbog svoje modularne građe, mogućnosti programiranja, jednostavnog održavanja, otpornosti na nepovoljne utjecaje iz okoline i dr., što ga čini pogodnim za rješavanje različitih automatizacijskih zadataka.

U zadatku je potrebno:

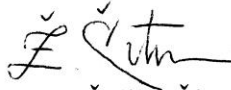
- Opisati način programiranja i rada PLC-a kao upravljačkog uređaja.
- Izraditi programe za primjenu PLC-a za regulaciju brzine vrtnje hidrauličkog motora.
- Dati tehnički opis razmatranog laboratorijskog modela elektrohidrauličkog sustava za regulaciju brzine vrtnje hidromotora.
- Razvijene upravljačke algoritme provjeriti eksperimentalno na laboratorijskom modelu.

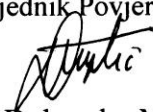
Zadatak zadan:  
18. studenog 2010.

Rok predaje rada:  
1. rok: 04. veljače 2011.  
2. rok: 05. srpnja 2011.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 09. – 11. veljače 2011.  
2. rok: 11. – 13. srpnja 2011.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Dubravko Majetić

## **IZJAVA**

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.*

*Zahvaljujem voditelju rada, profesoru dr. sc. Željku Šitumu, na podršci i usmjeravanju pri izradi ovoga završnog rada.*

## SADRŽAJ:

SAŽETAK.....	1
POPIS SLIKA .....	2
POPIS OZNAKA.....	3
1. PLC UREĐAJ .....	4
1.1 ARHITEKTURA PLC-A.....	5
1.2 MODULARNOST PLC-A .....	7
2. PROGRAMIRANJE PLC-A .....	10
2.1 CIKLUSI RADA.....	12
2.2 PROGRAM ZA PRIMJENU REGULACIJE BRZINE VRTNJE .....	13
3. ELEKTROHIDRAULIČKI POSTAV.....	20
4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI .....	32
5. ZAKLJUČAK.....	34
6. DODATAK - PREGLED UPRAVLJAČKOG PROGRAMA .....	35
7. LITERATURA.....	42

## Sažetak

U ovom radu će se obrađivati područje strojarske automatizacije, odnosno regulacija brzine vrtnje elektrohidrauličkog sustava primjenom PLC upravljačkog uređaja. Regulacijski sustav se sastoji od hidrauličkog motora - objekta regulacije, hidrauličkog servoventila – izvršnog člana u regulacijskom krugu, inkrementalnog enkodera - senzora u povratnoj petlji, te PLC uređaja - računala koji obrađuje ulazne podatke i kao regulator daje odgovarajući signal na servoventilu. Danas su takvi sustavi u širokoj upotrebi, jer se spajaju komponente hidraulike sa svojstvima velikih ostvarivih sila, brzina i ubrzanja, te elektronički uređaji za regulaciju koji osiguravaju visoku brzinu obrade signala i složenije oblike regulacije.

U radu će se opisati način rada i programiranja PLC-uređaja, dati osnovne karakteristike Siemensovog S7-200 CPU224 XP uređaja, pomoću kojega će se ostvarivati regulacija. Za laboratorijski elektrohidraulički sustav će se dati pregled svih komponentni i tehnički opis, kao i eksperimentalni rezultati izvedene regulacije i primjenjenih upravljačkih algoritama.

## Popis slika

Slika 1.1 Blokovski prikaz arhitekture PLC-a .....	7
Slika 1.2 Prikaz osnovne jedinice PLC-a i jedan eksterni modul za analogne ulaze/izlaze .....	8
Slika 1.3 Shematski prikaz modularnog PLC uređaja s mogućnosti spajanja različitih komponenti .....	8
Slika 1.4 Prikaz karakteristika S7-200 za različite procesore .....	9
Slika 2.1 Prikaz Ladder dijagrama i njegov utjecaj na rad PLC-a .....	11
Slika 2.2 Prikaz ciklusa rada S7-200 .....	12
Slika 2.3 Regulacijski krug kojim mora PLC uređaj upravljati .....	13
Slika 2.4 Adapter za komunikaciju sa S7-200 .....	14
Slika 2.5 Prikaz korsničkog sučelja aplikacije STEP7-microWIN .....	15
Slika 2.6 Integrirani alat „Instruction Wizard“ .....	16
Slika 2.7 Tablica ulaza, modova i vrsta brojača .....	16
Slika 2.8 Prikaz pozivanja podrutina HSC-a i PID reg. ....	17
Slika 2.9. Timer i jednostavno aktiviranje bitova M0.1 i M0.2 u vremenu ( $\Delta t=40ms$ ) .....	18
Slika 2.10 Očitavanje vrijednosti enkodera u trenucima određenim timerom .....	18
Slika 2.11 Prikaz razlike brojeva i filtriranje vrijednosti usporedbom sa 0 .....	19
Slika 3.1 Prikaz dijela hidrauličkog postava; hidraulički motor, inkrementalni enkoder i teretna pumpa	20
Slika 3.2 a) Izgled kompletnog postava u mobilnom postolju .....	21
Slika 3.2 b) Prikaz sheme elektrohidrauličkog postava .....	22
Slika 3.3 Frekvencijski pretvarač sa aktiviranim modom P702 .....	23
Slika 3.4 Prikaz elektromotora i crpke za napajanje .....	24
Slika 3.5. Prikaz servoventila koji se koristi za regulaciju .....	26
Slika 3.6 Tehnički crtež servoventila tvrtke Schneider .....	26
Slika 3.7 Prikaz karakteristike protoka na servoventilu i ulaznog signala u postocima .....	27
Slika 3.8. Prikaz „Gerotor“ motora .....	27
Slika 3.9 Prikaz radne karakteristike volumenske crpke .....	28
Slika 3.10 Prikaz rada inkrementalnog enkodera .....	29
Slika 3.11. Prikaz signala inkrementalnog enkodera .....	30
Slika 4.1 Prikaz grafa odziva na manji skok reference .....	33
Slika 4.2 Prikaz grafa odziva na veći skok reference .....	33



## *Popis oznaka*

$\omega_{REF}$ [°/s]	<i>Referentna brzina vrtnje</i>
$\omega_e$ [°/s]	<i>Regulacijska pogreška</i>
$\omega$ [°/s]	<i>Brzina vrtnje</i>
$V$ [m <sup>3</sup> ]	<i>Volumen hidromotora</i>
$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	<i>Protok</i>
$p$ [Pa]	<i>Tlak</i>
$\Delta t$ [s]	<i>Vremenski interval</i>
$N$	<i>Koeficijent povećanja rezolucije</i>
$K_P$	<i>Pojačanje proporcionalnog člana</i>
$T_I$ [min]	<i>Vremenska konstanta integracijskog člana</i>
$T_D$ [min]	<i>Vremenska konstanta derivacijskog člana</i>

## *1. PLC UREĐAJ*

Programibilni logički kontroler (PLC) je danas jedan od zastupljenijih uređaja za automatizaciju u različitim industrijskim postrojenjima. Glavni razlozi tome su: pouzdanost i brzina u teškim uvjetima rada, jednostavni priključci za ulazne i izlazne signale, modularnost građe za različite zadatke, te jednostavan i razumljiv način programiranja. Svaki PLC uređaj ima veći ili manji broj digitalnih ulaza/izlaza na koji se mogu spajati komponente regulacijskog kruga, a tu su najbitniji aktuatori i senzori. Pouzdanost uređaja je bitna u poduzećima, jer se najčešće regulacija odvija u okolinama koje nisu ugodne za rad, npr. okoline iznimno visokih ili niskih temperatura, u područjima elektromagnetskih smetnji ili mehaničkih vibracija, različite vlažnosti zraka i nečistoća u pogonu... Dok se uobičajena računala ne bi mogla koristiti u većini slučajeva, PLC jedinice su pouzdane (rade i po desetak godina bez problema), te sa svakim modelom dolaze i tehnički podaci koji upućuju unutar kojih vrijednosti vanjskih poremećaja uređaj radi ispravno ili unutar zanemarivo malih promjena. Zbog svog kompaktnog kućišta, uređaj se jednostavno montira na radno mjesto, priključi na napajanje i spreman je za korištenje. Za različite vrste regulacijskih uređaja mogu se nabaviti posebne modularne jedinice koje su prilagođene da uspostave jednostavnu komunikaciju između PLC-a i regulacijskog uređaja. Tako postoje moduli za analogne ulaze i izlaze, moduli za različite vrste senzora, korisnička sučelja za nadzor i upravljanje procesom automatizacije itd. Samo programiranje se vrši preko računala, u jednostavnom korisničkom okruženju, te se gotov program učitava (eng. download) u PLC i pušta u rad.

PLC je izumljen kao odgovor na potrebe američke automobilske i prerađivačke industrije. Programabilni logički kontroleri u početku su bili usvojeni od strane automobilske industrije kada je revizija softvera zamijenila ožičene upravljačke ploče prilikom promjene modela proizvodnje. Prije PLC-a, kontrola, sekvenciranje i sigurnost izvršavanja logike za proizvodnju automobila, bila je postignuta koristeći stotine ili tisuće releja te tajmera izvedenih rotacijom elektromotora. Proces održavanja takvih elemenata svake godine bio je dugotrajan i vrlo skup, kao i troškovi pri svakoj manjoj modifikaciji procesa, budući da su električari morali pojedinačno prespojiti svaki relej.

Prvi PLC uređaj je izrađen od strane „Bedford Associates“ , udruge kojoj je to bio 84. projekt, a koja je nakon uspješne prezentacije prototipa osnovala tvrtku sa proizvodnjom, prodajom i servisom prvog modela PLC-a nazvanog „Modicon“.

## *1.1 Arhitektura PLC-a*

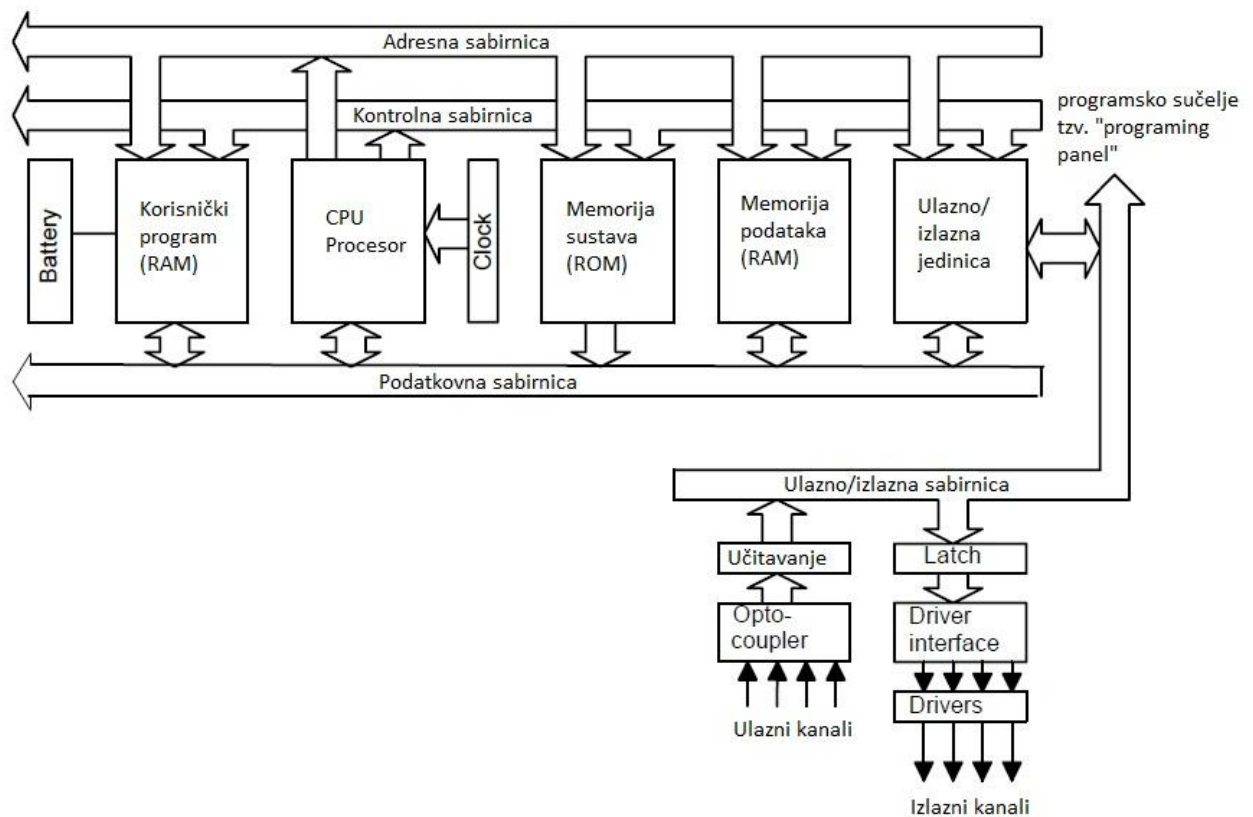
Slika 1.1 prikazuje blokovski kako PLC uređaj funkcionira. Glavna jedinica svakog PLC uređaja je procesor. Takt rada procesora je određen impulsima „clock-om“. U osnovi procesori imaju aritmetičku i logičku jedinicu (ALU), koja je odgovorna za manipulaciju i izvođenje aritmetičkih operacija zbrajanja i oduzimanja te logičkih operacija AND, OR, NOT i XOR. Također procesori imaju i memoriju, tzv. registre, koji se koriste za pohranjivanje informacija o izvođenju programa.

Sabirnice se koriste kao putevi komunikacija unutar PLC uređaja. Informacija je prenošena u binarnom obliku stanja „0“ i „1“. Postoje 4 vrste sabirnica u PLC uređaju, a to su: adresna sabirnica, kontrolna sabirnica, podatkovna sabirnica i ulazno/izlazna sabirnica. Adresna sabirnica se koristi za adresiranje memorijskih lokacija. Svaka binarna riječ nalazi se u memoriji pod jedinstvenom adresom, a putem adresne sabirnice se pokazuje koju adresu treba pročitati ili upisati. Ako sabirnica ima osam linija, tada se pomoću nje može adresirati  $2^8=256$  adresa. Kontrolna sabirnica prenosi signal od strane mikroprocesora, npr. kako bi se prenijela informacija memorijskim dijelovima hoće li primiti podatak ili pročitati podatak. Također mogu se prenositi signali vremena, kako bi se sinkronizirale sve operacije. Podatkovna sabirnica prenosi vrijednosti koje se pohranjuju ili čitaju. Ulazno/izlazna sabirnica prenosi podatke koji će se slati na ulaze ili izlaze uređaja.

Postoji nekoliko memorijskih elemenata u PLC uređaju, to su: „Read only memory (ROM)“, koja ima trajne sadržaje za operacijske sustave i podatke koje koristi mikroprocesor, zatim „Random access memory (RAM)“ , za pohranu korisničkog programa, ali koristi se i za podatke u kojima se pohranjuju vrijednosti sa ulazno izlaznih uređaja, vrijednosti timera i countera itd. RAM memorija u PLC podržana je baterijom kako se po nestanku napona napajanja ne bi izgubili podaci. Još jedna memorija, koja nije u svim PLC uređajima, već kao dodatna (opcijaska)

memorija; „Erasable and programmable read only memory (EPROM)“, kao što sam naziv kaže, programibilna ROM memorija, ona služi samo za čitanje, i nije podložna gubicima memorije uslijed nestanka energije. RAM memorije su dostupne korisniku, i on u njih unosi i čita iz njih podatke, dok ROM memorija nikad ne mjenja svoje sadržaje osim kod posebnog slučaja EPROM memorije. Kapacitet pohranjivanja jedinica memorije određuje se brojem binarnih riječi koje se mogu pohraniti. Dakle, ako je veličina memorije 256 riječi, onda se može pohraniti  $256 \times 8 = 2048$  bitova, za korištenje 8-bitnih riječi, odnosno  $256 \times 16 = 4096$  bita, ako se 16-bitne riječi koriste.

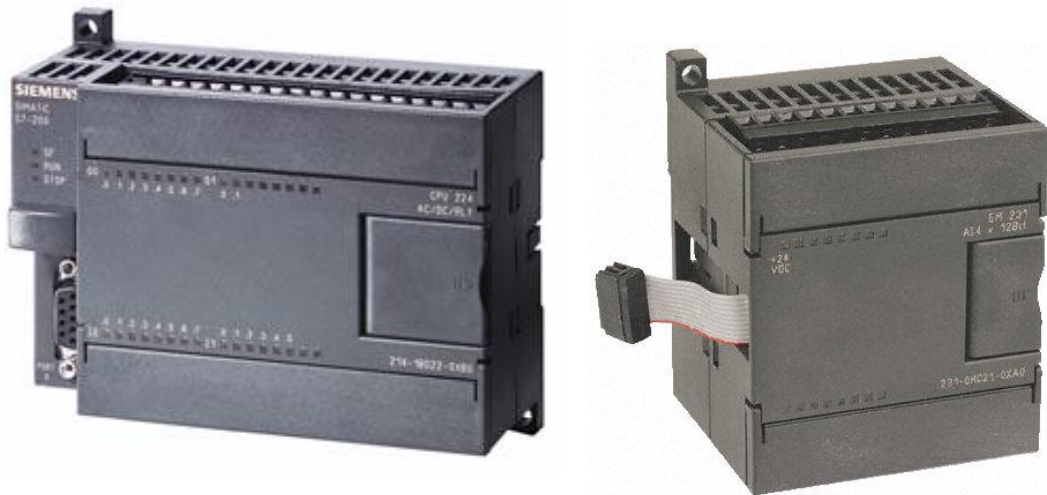
Ulazno/izlazna jedinica pruža komunikaciju između sustava i vanjskog svijeta, omogućujući spajanje senzora kroz ulazne kanale, odnosno motore i ventile (prekidače) kroz izlazne kanale. Također kroz ulaznu jedinicu se unose korisnički programi za izvršavanje regulacije ili upravljanja. Svaki ulaz i izlaz ima svoju jedinstvenu adresu koju mikroprocesor preko sabirnice čita u memoriju ili iz memorije van. Ulazno / izlazni kanali pružaju izolaciju i uvjetovanja funkcije signala, tako da se senzori i aktuatori često mogu izravno povezati s njima, bez potrebe za drugim strujnim krugovima. Električna izolacija od vanjskog svijeta je obično izvedena pomoću optičkih izolatora (pojam optički sprežnik također se često koristi, tzv. „Opto-coupler“). LED dioda daje impuls svjetlosti, te je taj puls otkriven od strane fototranzistora koji zatvara krug kao sklopka, te dovodi do impulsa napona u tom krugu. Razmak između LED diode i fototranzistora daje električnu izolaciju, ali još uvijek dopušta prijenos digitalnih signala iz jednog kruga u drugi krug. Treba pripaziti ipak na vrijednosti napona za pojedine ulaze u PLC. Tehnički podaci ukazuju koji se ulazi mogu koristiti za napone manje od uobičajenog raspona 20-30 V. Npr. postoji na S7-200 CPU224XP ulaz I0.3 (input 0.3) koji može primiti signale nešto veće od 4V. To je bilo posebno korisno kod spajanja inkrementalnog enkodera, jer njegova se očitavanja nisu mogla odrediti na nijednom ulazu osim tog.



Slika 1.1 Blokovski prikaz arhitekture PLC-a

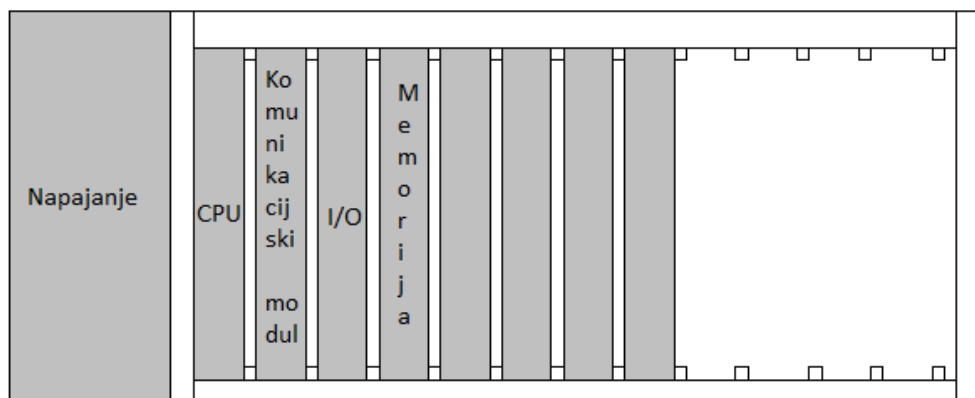
## 1.2 Modularnost PLC-a

Glavna prednost PLC uređaja nad ostalim upravljačkim komponentama (npr. računalo sa akvizicijskom karticom) je modularnost, odnosno mogućnost spajanja eksternih modula prilagođenih za određene zadatke, bez dodatnog programiranja i opreme za komunikaciju. Tako „single box“ PLC uređaji koji se sastoje od jedne upravljačke kutije i sadrže u njoj sve osnovne dijelove koji su potrebni za programiranje i izvršavanje naredbi imaju dodatni „port“ za priključivanje dodatnih „single box“ modula. Može se priključiti i više od jednog, jedan za drugim, do sedam njih kod Siemensovog S7-200 CPU224XP.



Slika 1.2. Prikaz osnovne jedinice PLC-a i jedan eksterni modul za analogne ulaze/izlaze

Kod druge, modularne vrste PLC-a, složenije arhitekture i namjenjene većim industrijskim postrojenjima, već postoji „stalak“ u koji se kao kocke ulažu ne samo ekstenzivni moduli, nego i osnovni dijelovi kao što su procesor, memorija, napajanje itd. Prednost ove druge je u tome što korisnik nije ograničen sa fiksnim karakteristikama već u početku, nego s obzirom na potrebe može modularno ugraditi odgovarajuće komponente (npr. modul sa velikim brojem digitalnih ulaza/izlaza), stvarajući PLC uređaj jedinstvenih mogućnosti.



Slika 1.3 Shematski prikaz modularnog PLC uređaja sa mogućnostima spajanja različitih komponenti

Napajanje za PLC uređaj je najveći i najteži dio. Za napajanje PLC-a S7-200 CPU224XP kojim se upravlja hidraulički sustav, koristi se izvor napajanja PS307 2A. Glavna karakteristika tog napajanja je da pretvara izmjenični napon 220 [V]/50 [Hz] u istosmjerni napon od 24 [V] maksimalne struje 2 [A].

Feature	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPsi	CPU 226
Physical size (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120.5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Program memory: with run mode edit without run mode edit	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Data memory	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memory backup	50 hours typical	50 hours typical	100 hours typical	100 hours typical	100 hours typical
Local on-board I/O Digital Analog	6 In/4 Out -	8 In/6 Out -	14 In/10 Out -	14 In/10 Out 2 In/1 Out	24 In/16 Out -
Expansion modules	0 modules	2 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>	7 modules <sup>1</sup>
High-speed counters Single phase  Two phase	4 at 30 kHz  2 at 20 kHz	4 at 30 kHz  2 at 20 kHz	6 at 30 kHz  4 at 20 kHz	4 at 30 kHz 2 at 200 kHz 3 at 20 kHz 1 at 100 kHz	6 at 30 kHz  4 at 20 kHz
Pulse outputs (DC)	2 at 20 kHz	2 at 20 kHz	2 at 20 kHz	2 at 100 kHz	2 at 20 kHz
Analog adjustments	1	1	2	2	2
Real-time clock	Cartridge	Cartridge	Built-in	Built-in	Built-in
Communications ports	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Floating-point math	Yes				
Digital I/O image size	256 (128 in, 128 out)				
Boolean execution speed	0.22 microseconds/instruction				

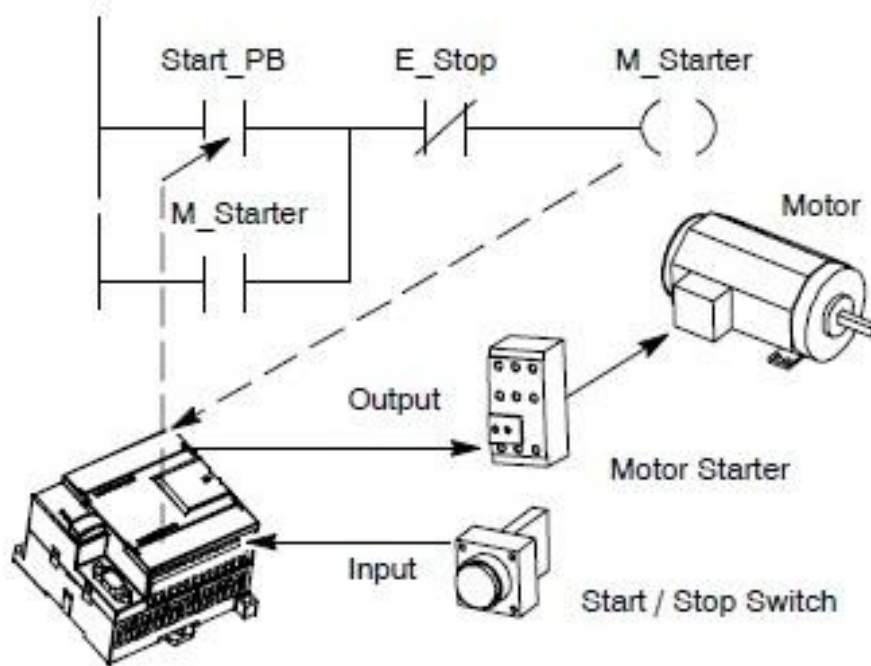
Slika 1.4 Prikaz karakteristika S7-200 za različite procesore

## *2. PROGRAMIRANJE PLC-a*

Programiranje PLC uređaja mogu biti ručni uređaji, desktop konzole ili računala. Tek kad je program dizajniran na uređaju za programiranje, spreman je za prijenos na memorijsku jedinicu PLC-a.

Ručni uređaji za programiranje obično sadrže dovoljno memorije da bi uređaj sačuvao program, dok se prenosi iz jednog mjesta na drugo. Desktop konzole obično imaju vizualni prikaz jedinice, s eventualnom tipkovnicom i zaslonom na kojem se može pratiti proces rada PLC-a. Osobna računala najbolje su konfigurirana za izradu programa. Neki PLC uređaji zahtijevaju samo da računala imaju odgovarajući softver, dok drugi zahtijevaju posebnu komunikacijsku karticu za komunikaciju s njime. Glavna prednost korištenja računala je da se program može pohraniti na tvrdom disku ili drugim prijenosnim medijima. Danas se programiranje PLC-a najčešće provodi preko računala u jednom od tri PLC programska jezika: LAD (Ladder Diagram – kontaktni dijagram), STL (Statement List) i FBD (Function Block Diagram). Sve tri metode programiranja imaju svoje prednosti i nedostatke te su podjednako prihvaćene među inženjerima. Ladder dijagram je danas široko rasprostranjen među inženjerima zbog jednostavnosti i razumljivosti, bez potrebe za poznavanjem mnogo programskih sintaksi. To je bio ujedno i prvi način programiranja, razvijen kako bi bio što sličniji planu ožičenja i releja koji su se prije PLC-a koristili. Time su u ono vrijeme smanjili vrijeme obuke tehničara da savladaju programiranje uređaja. Primjer jednostavnog relejnog upravljanja motorom putem ladder dijagrama prikazan je na slici 2.1. Pritiskom na tipku za start motora, normalno otvoren kontakt se zatvara te signal aktivira izlaz M\_Starter, koji se preko digitalnog signala šalje na starter motora. Paralelni normalno otvoren kontakt ispod Start\_PB koristi se za samoodržavanje. Budući da tipka za start motora nije stalno pritisnuta, na ovaj način motor zadržava rad do trenutka kada normalno zatvoreni kontakt ne postane aktivan i prekine njegov rad.





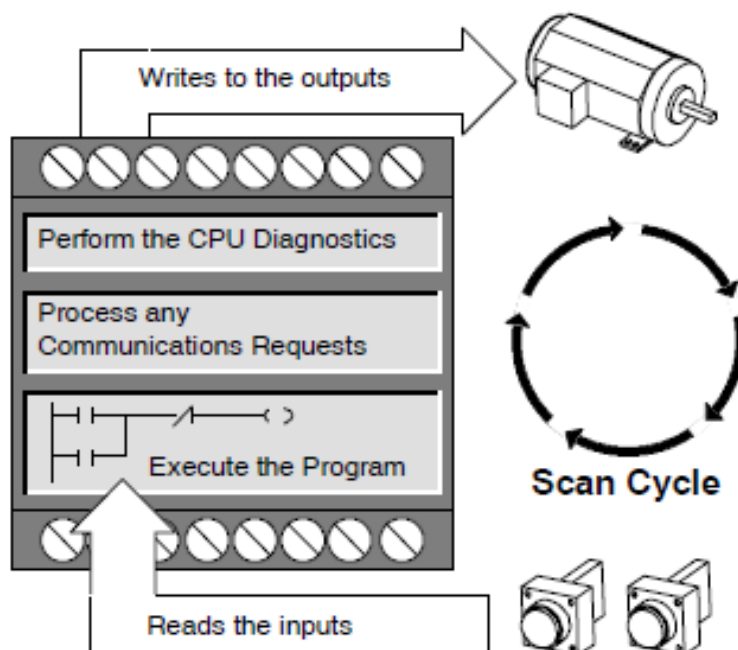
*Slika 2.1 Prikaz Ladder dijagrama i njegov utjecaj na rad PLC-a*

Kod programiranja pomoću funkcijskih blokova ulazi, izlazi i naredbe su predstavljene blokovima, tako da se programiranje PLC-a svodi na povezivanje blokova. Na ulaz bloka dovode se uvjeti koji se ispituju (ulazi u PLC ili izlaz iz prethodnog bloka). U skladu s funkcijom koju predstavlja na izlazu iz bloka generira se izlazni signal.

Statement list programiranje je programski jezik koji omogućava programerima da služeći se jednostavnim naredbama na nivou assemblera opisuju operacije koje treba izvršiti PLC da bi upravljao procesom (kao i kod programiranja u assembleru svaki redak programskog kod-a predstavlja jednu naredbu za procesor).

## 2.1 Ciklusi rada PLC-a

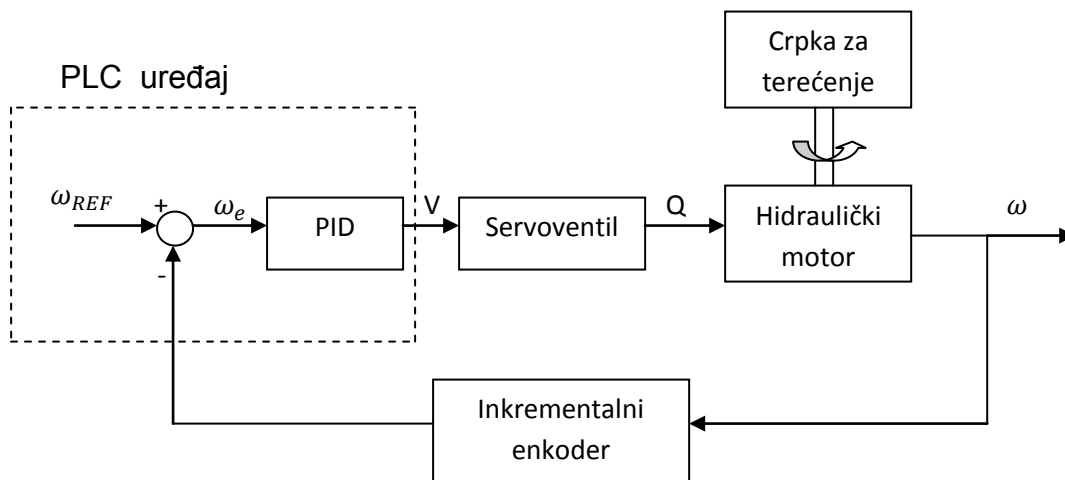
PLC kontinuirano prolazi kroz svoj program i ažurira ga u skladu s ulaznim signalima. Svaka takva petlja je nazvana jednim ciklusom. PLC može raditi na način da svaki ulaz ispituje te njegov utjecaj na program određuje i odgovarajuće izlazne promjene. Ovaj način rada se zove *kontinuirano ažuriranje*. Uz stalno ažuriranje, tu je vrijeme provedeno na ispitivanje svakog ulaza, a uz nekoliko stotina ulaznih/ izlaznih točaka to vrijeme može postati relativno dugo. Da bi se omogućilo brže izvršenje programa, određeno područje RAM memorije se koristi kao međumemorija između kontrolne logike i ulazno / izlazne jedinice. Svaki ulaz / izlaz ima adresu u memoriji. Na početku svakog ciklusa programa CPU skenira sve ulaze i kopira njihov status u ulazno / izlazne adrese u RAM-u. Kad program radi, pohranjene ulazne podatke čita prema potrebi iz RAM memorije i logičke operacije nad njime se provode. Rezultati signala se pohranjuju u rezerviranom ulazno / izlaznom dijelu RAM-a. Na kraju svakog ciklusa programa svi izlazi se prenose iz RAM-a na odgovarajuće izlazne kanale. Izlazi tada zadržavaju svoj status do sljedećeg ažuriranja. Ovaj način rada se naziva *masivno I/O kopiranje* i na taj način radi S7-200.



Slika 2.2 Prikaz ciklusa rada S7-200

## 2.2 Program za primjenu PLC-a pri regulaciji brzine vrtnje

PLC uređaj mora biti isprogramiran da prima i obrađuje signale sa senzora, s obzirom na referentnu vrijednost izračunava pogrešku te preko softverskog PID regulatora šalje odgovarajući naponski signal na servoventil. Kako bi se takav program izradio, potreban je softverski paket kompatibilan sa modelom PLC-a. Za Siemens S7-200 to je STEP7-Micro/WIN aplikacija. STEP 7-Micro/WIN može raditi na osobnom računalu ili na Siemensovim uređajima za programiranje, kao što je PG 760. Računalo ili uređaj za programiranje treba ispuniti minimalne zahtjeve; odgovarajući operativni sustav i 350 MB slobodnog mjesta na hard disku. S obzirom na današnja računala, može se reći da je gotovo svako računalo sposobno za programiranje PLC-a.



Slika 2.3 Regulacijski krug kojim mora PLC uređaj upravljati

Za spajanje računala i PLC-a S7-200 CPU224XP potreban je adapter koji na jednom kraju dolazi na jedan od ulaza (Port 0 ili Port 1), a na računalo se spaja preko USB porta. Za komunikaciju odabran je PPI protokol tvrtke Siemens za spajanje SIMATIC 7 komponentni sa računalima. Terminal koji koristi PPI protokol provodi se razmjenjujući poruke point-to-point pomoću asinkronih serijskih veza. Maksimalan broj bajtova za razmjenu je 218 (109 riječi).



*Slika 2.4 Adapter za komunikaciju sa S7-200*

Za početak, potrebno je upoznati se sa korisničkim sučeljem STEP7-Micro/WIN. Sučelje je organizirano u 3 područja, s lijeve na desnu stranu. Prvo je područje „View“ unutar kojega se odabire prikaz na glavnom ekranu. To može biti

„Program Block“ - za konstruiranje Ladder dijagrama i izradu programa

„Symbol Table“ - tablica simbola i njihove adrese, olakšava snalaženje u programu

„Status Chart“ - prikaz stanja varijabli u vremenu za izvršavanje programa na PLC-u

„Data Block“ - specifični podaci, npr. za PID regulator, „downloadaju“ se u PLC

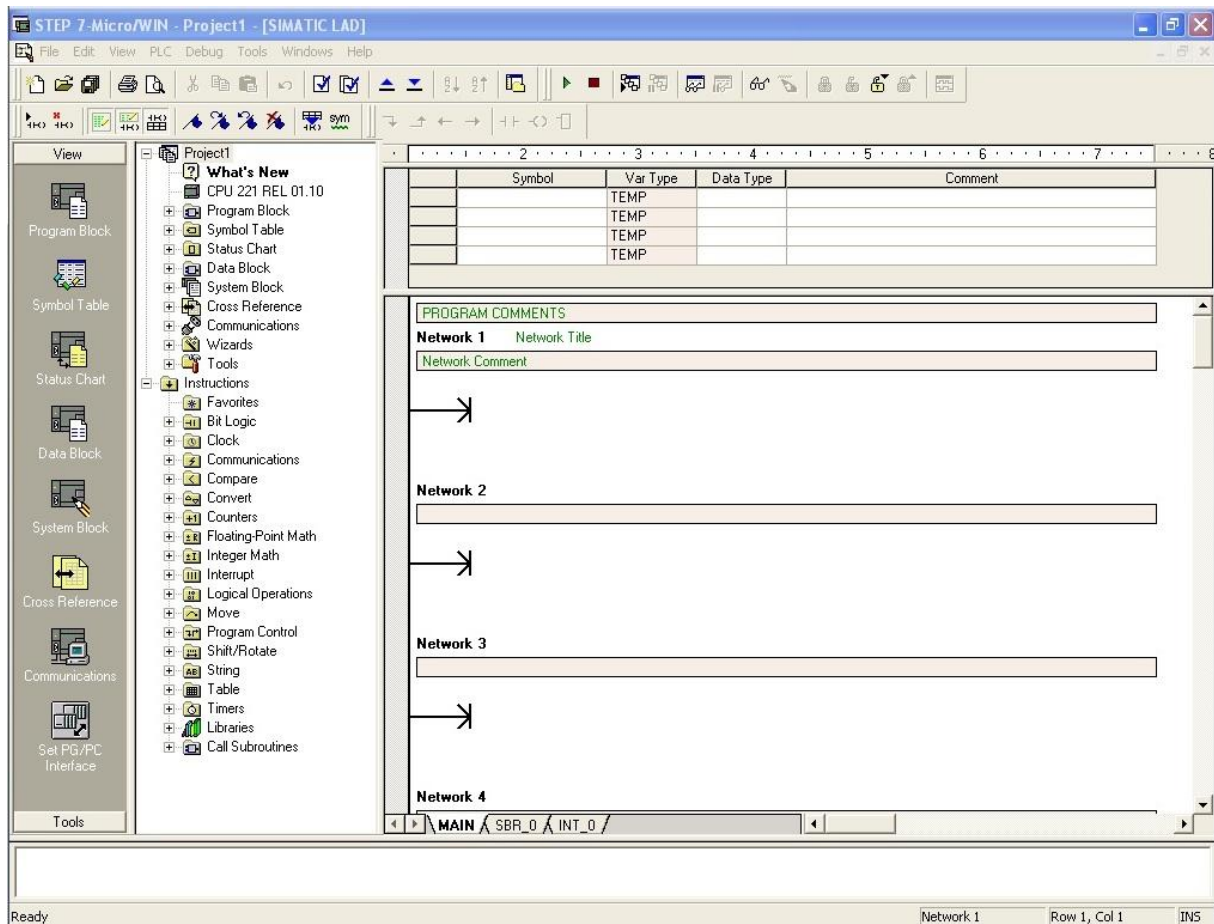
„System Block“ - daje svojevrsna svojstva za komunikaciju, podešenje filtra ulaza i sl.

„Cross reference“-daje pregled varijabli s blokovima, lokacijama i njihovim funkcijama

„Communications“ - odabir vrste komunikacije, i ostalih postavki povezivanja

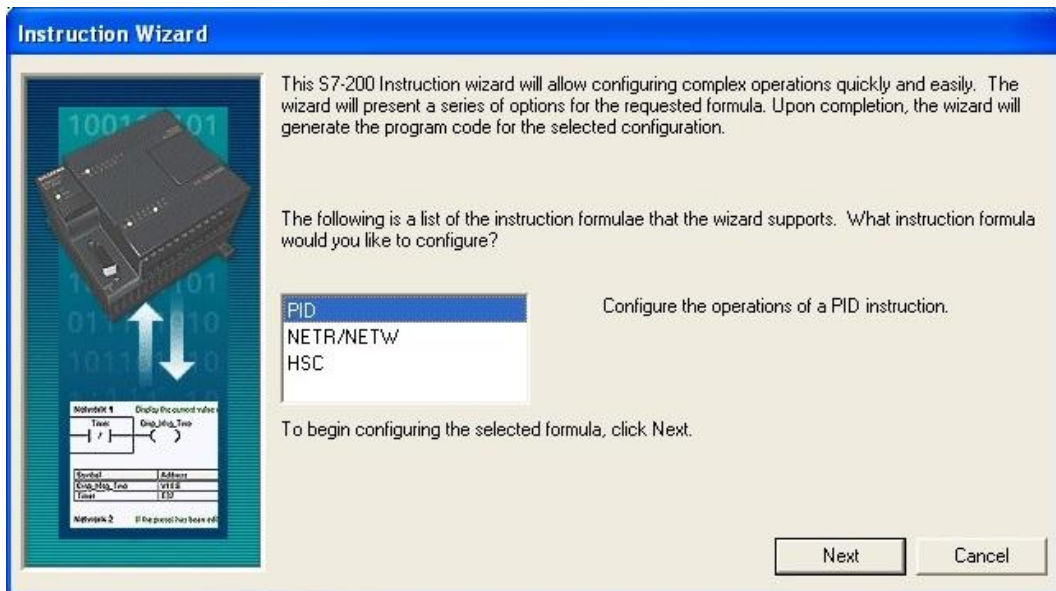
„Set PG/PC interface“ - Odabir protokola (MPI,PPI ...)

Slijedeće polje je na neki način knjižnica funkcija i operacija koje se mogu provoditi na glavnom sučelju. Otvaraju se podizbornici pritiskom na „+“ kao „tree“ mod pregleda. Jednostavnim prijenosom bloka u polje ili dvostrukom klikom, postavljamo ladder dijagrame u odgovarajuće mreže ( „Network“, radi lakše strukture programiranja i orijentiranja u većim programima). Slika sučelja je prikazana na slici 2.5.



Slika 2.5 Prikaz korsničkog sučelja aplikacije STEP7-MicroWIN

Za početak, potrebno je izraditi brzi brojač impulsa za ulaz inkrementalnog enkodera u PLC. To je postignuto odabirom integrirane funkcije u programu „HSC“ (High speed counter). Otvara se preko „Tools -> Instruction Wizard -> HSC“ te se dalje prati postupak odabira postavki countera. S7-200 nudi nekoliko vrsta HSC brojača, za svaku vrstu po 3 moda, te je za svaku vrstu i mod određen ulaz na koji se spajaju odgovarajući izlazi iz inkrementalnog enkodera ili sličnog uređaja, to su „clock“, „reset“, „start“, „start“. Tablica modova i vrste brojača, nalazi se na slici 2.7.



Slika 2.6 Integrirani alat „Instruction Wizard“

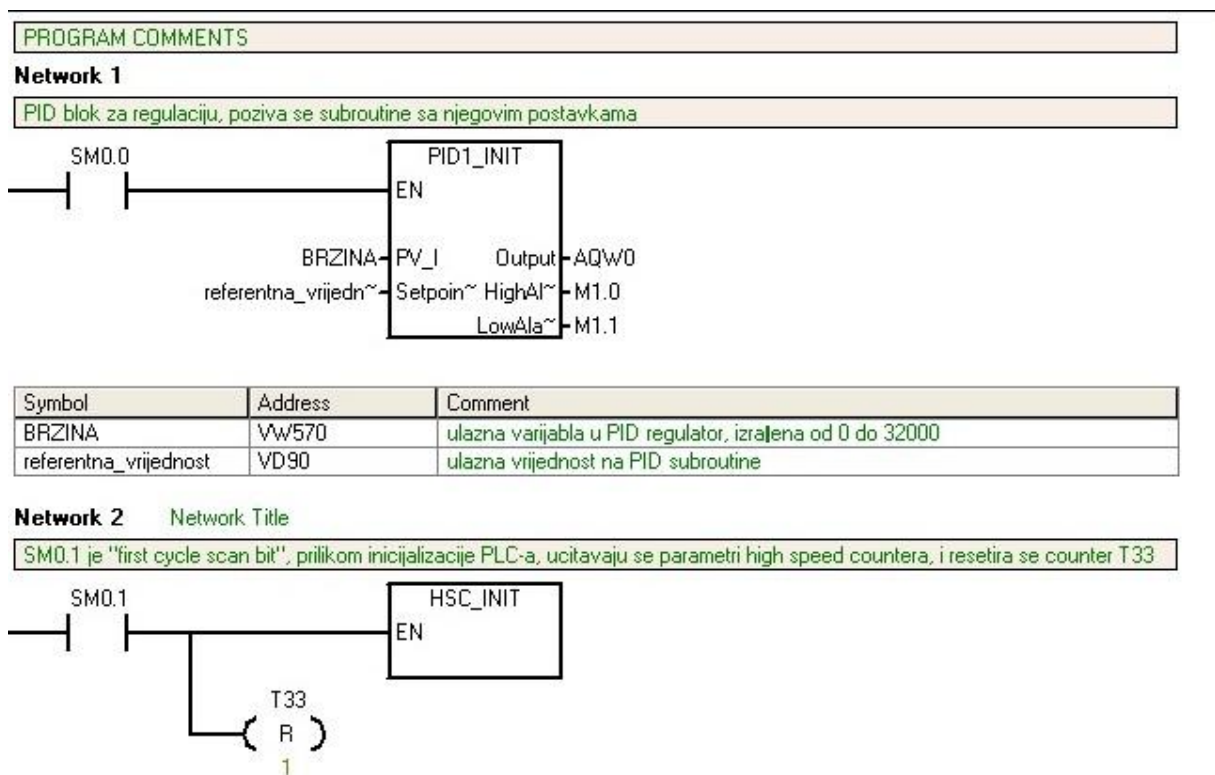
Mode	Description	Inputs				
		HSC0	I0.0	I0.1	I0.2	
		HSC1	I0.6	I0.7	I1.0	I1.1
		HSC2	I1.2	I1.3	I1.4	I1.5
		HSC3	I0.1			
		HSC4	I0.3	I0.4	I0.5	
		HSC5	I0.4			
0	Single-phase counter with internal direction control	Clock				
1		Clock		Reset		
2		Clock		Reset	Start	
3	Single-phase counter with external direction control	Clock	Direction			
4		Clock	Direction	Reset		
5		Clock	Direction	Reset	Start	
6	Two-phase counter with 2 clock inputs	Clock Up	Clock Down			
7		Clock Up	Clock Down	Reset		
8		Clock Up	Clock Down	Reset	Start	
9	A/B phase quadrature counter	Clock A	Clock B			
10		Clock A	Clock B	Reset		
11		Clock A	Clock B	Reset	Start	
12	Only HSC0 and HSC3 support mode12. HSC0 counts the number of pulses going out of Q0.0. HSC3 counts the number of pulses going out of Q0.1.					

Slika 2.7 Tablica ulaza, modova i vrsta brojača

Po tehničkim specifikacijama S7-200 CPU224 XP, input koji detektira ulaze veće od 4V je I0.3. Budući da inkrementalni enkoder daje takve impulse, trebalo je odrediti brojač HSC4, budući da on ima svoj ulaz za „clock“ na 3. bitu ulaza. Odbran je mod „0“, jer imamo signal učetverostručene rezolucije, smjer vrtnje je uvijek isti

zbog hidrauličkog motora dok resetiranje određujemo kada brojač dostigne vrijednost  $4 \cdot N$ , pa je mod „0“ dovoljan.

Na sličan način je riješen i PID regulator, ponovno preko „Instruction Wizard“, slijede se uputstva sa postavkama petlji, skaliranja ulaznih i izlaznih vrijednosti. Obje funkcije naprave podrutinu glavnog programa, koju korisnik ručno povezuje sa glavnim programom. Tu su važni bitovi specijalne memorije SM0.0 i SM0.1 . Prvi je uvijek u stanju „1“, dok je drugi u stanju „1“ samo tijekom inicijalizacije, a na dalje u „0“. Pozivanje podrutine u glavnom programu za PID regulator i HSC prikazano je na slici 2.8.



Slika 2.8 Prikaz pozivanja podrutina HSC-a i PID regulatora

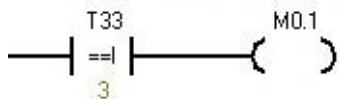
Kako bi mogli pridjeliti brojevima impulsa i vrijeme, potrebno je izraditi timer. Korišten je Timer T33 koji broji osnovnom jedinicom od 10 milisekundi, a resetira se sam nazad na nula kada M0.4 postane „1“ (u trenutku  $T33 = 10 \text{ ms}$ ). U trenutku  $t = 30 \text{ ms}$  i  $t = 70 \text{ ms}$  aktiviraju se bitovi izlaza M0.1 i M0.2, a u tom trenutku se čitaju brojevi impulsa sa inkrementalnog enkodera i spremaju u memoriju.

Timer, resetira se kada se aktivira M0.4



**Network 6**

Zadavanje vremena okidanja izlaza M0.1 i M0.2 za citanje impulsa sa enkodera

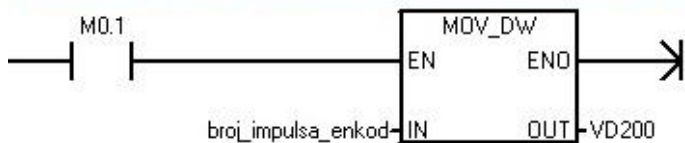


**Network 7**



Slika 2.9. Timer i jednostavno aktiviranje bitova M0.1 i M0.2 u vremenu ( $\Delta t=40\text{ms}$ )

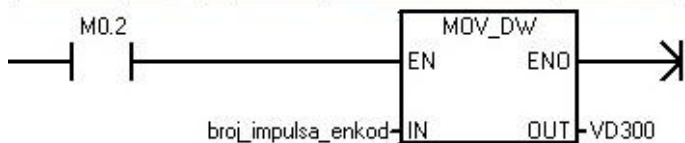
Uzorkovanje citanja vrijednosti impulsa u trenutku aktiviranja bita M0.1 preko timera



Symbol	Address	Comment
broj_impulsa_enkod	HC4	vrijednost high speed countera

**Network 4**

Uzorkovanje citanja vrijednosti impulsa u trenutku aktiviranja bita M0.2 preko timera

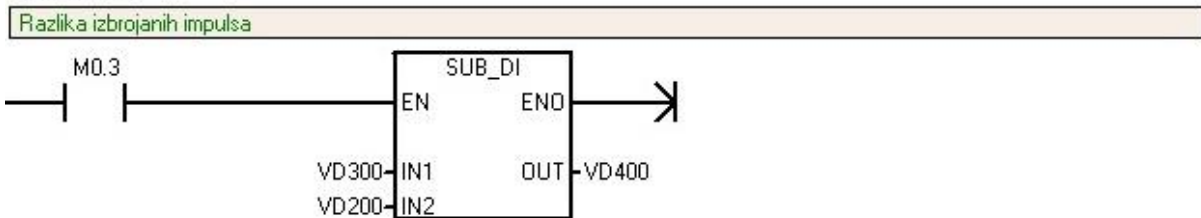


Slika 2.10 Očitanje vrijednosti enkodera u trenucima određenim timerom



Te vrijednosti se dovode u funkciju razlike, kako bi se dobila promjena impulsa u promjeni vremena  $t$ . Naravno, kako ide vrijednost brojača od 0 do 4096, dogode se povremeni slučajevi kada je vrijednost impulsa u tih 40 ms pala sa 4096 na 0. Funkcijom oduzimanja dobivaju se veliki negativni brojevi budući da oduzimamo mali broj oko nule sa brojevima oko 4096. Stoga jednostavnom usporedbom razlike impulsa sa nulom određujemo hoćemo li i taj broj pohraniti ili ne. Na neki način filtriramo te vrijednosti. Taj proces je prikazan na slici 2.11.

#### Network 10



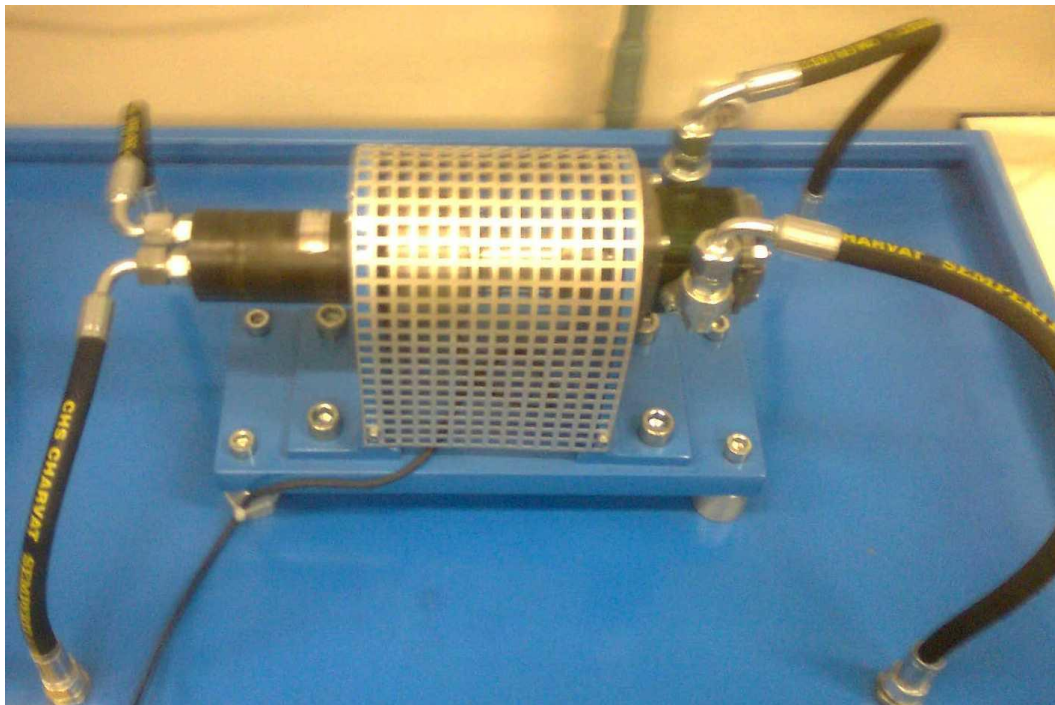
#### Network 11



Slika 2.11 Prikaz razlike brojeva i filtriranje vrijednosti usporedbom sa 0

Time smo dobili broj impulsa po vremenu sa inkrementalnog enkodera, iz kojeg vučemo van brzinu vrtnje i transformiramo u odgovarajući oblik. Ostatak programa se sastoji od konverzija vrsta podataka (Byte -> Integer -> Double Integer -> Real) i operacija množenja i dijeljenja konstanti kako bi se dobile vrijednosti u formatima koji su potrebni za PID regulaciju. Izlazna varijabla je analogni signal u obliku napona od 0 do 10V, koji se interpretira u rang od 0 do 32000, a šalje se na analogni izlaz AQW0. Iako servoventil prima signal od -10V do 10V, naših 0-10 V sa PLC-a odgovara otvaranju protoka u smjeru koji je nama jedino i potreban; od servoventila prema motoru.

### 3. ELEKTROHIDRAULIČKI POSTAV



*Slika 3.1 Prikaz dijela hidrauličkog postava; hidraulički motor, inkrementalni enkoder i teretna pumpa*

Svrha ovog laboratorijskog postava je uspostaviti regulaciju hidrauličkog sustava putem elektroničke upravljačke jedinice ( u ovom slučaju PLC-a). Kako bi se razumjela regulacija, potrebno je objasniti međusobnu povezanost elemenata i njihovo djelovanje. Hidraulički motor u ovisnosti o protoku kroz njega daje brzinu vrtnje na osovinu. U praksi, ta osovina može pokretati neki pogon ili alat, a da pritom bude važno zadržati konstantu brzinu vrtnje bez obzira na opterećenje. To je ujedno i zadatak regulacije, a kao simulacija opterećenja služi crpka za terećenje sa druge strane osovine. Crpka mijenja svoj protok s obzirom na promjenu tlaka koju uzrokuje proporcionalni tlačni ventil iza nje. S druge strane, kako bi hidraulički motor zadržao konstantnu brzinu vrtnje, potrebno je mijenjati protok kroz njega, a to se čini servoventilom.

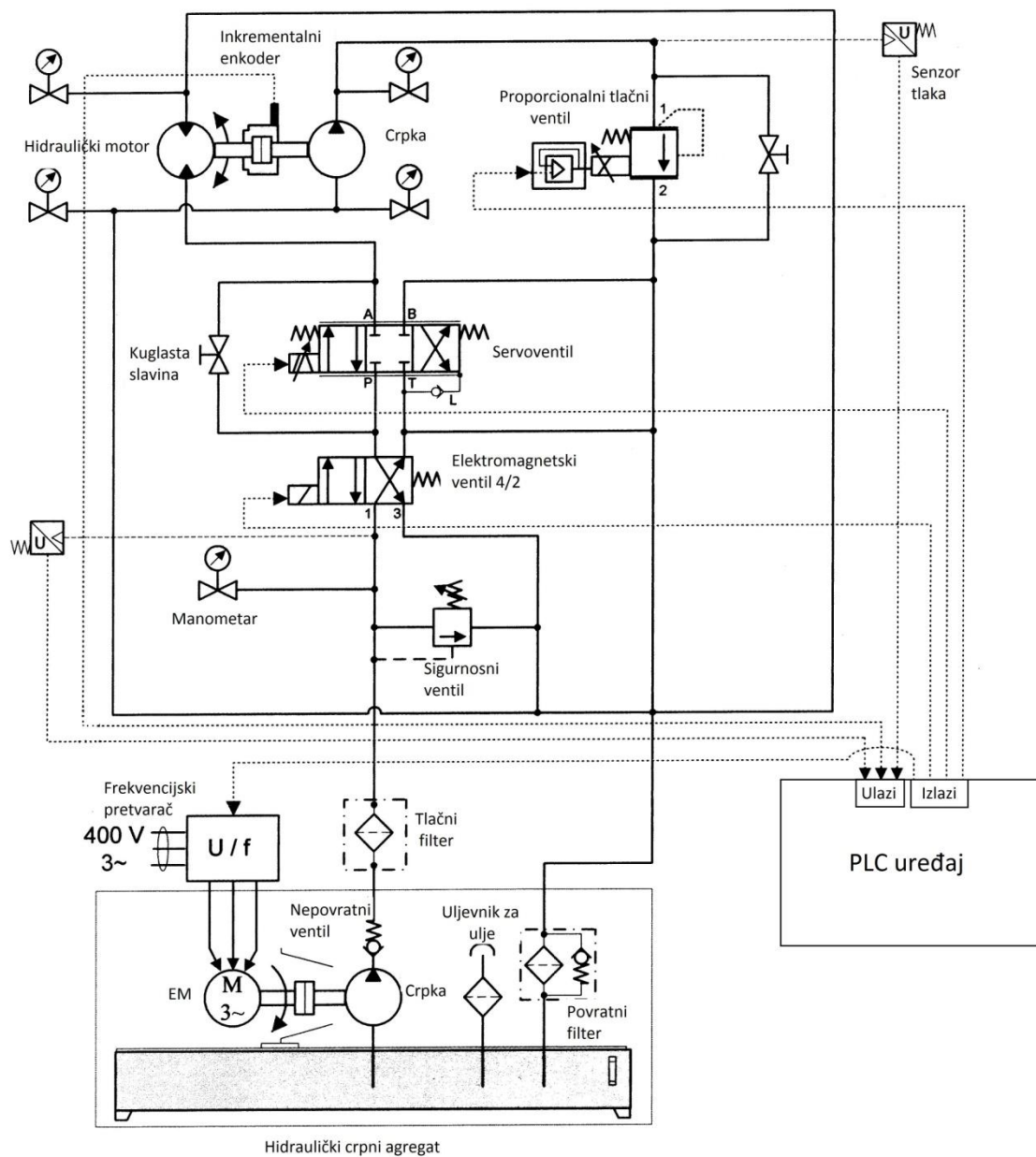
Senzor brzine je inkrementalni enkoder, dok se senzori tlaka koriste kako bi se dobio uvid u tlak napajanja (iza napojne crpke) i tlak opterećenja (iza crpke terećenja). Crpka napajanja daje konstantan protok, koji je određen brzinom vrtnje elektromotora stalnim taktom od 50Hz ( takt daje frekvencijski pretvarač). Nadzor svih varijabli i regulacija se obavlja u PLC-u tipa S7-200 CPU224XP.

Laboratorijski elektrohidraulički postav prikazan na slikama 3.2 a) i 3.2 b), na kojem se izvršava regulacija, sastoji se od slijedećih komponenata:

- Hidraulički crpni agregat
- Sigurnosni ventil
- Elektromagnetski ventil 4/2
- Servoventil
- Hidraulički motor
- Crpka za terećenje
- Proporcionalni tlačni ventil
- Senzori
- Ostalo (kuglaste slavine, manometri, cjevovodi, radni fluid)
- PLC uređaj



*Slika 3.2 a) Izgled kompletnog postava u mobilnom postolju*



Slika 3.2 b) Shematski prikaz elektrohidrauličkog postava

Hidraulički crpni agregat sastoji se od spremnika fluida, crpke za napajanje, uljevnika za ulje, tlačnog filtera i povratnog filtera za pročišćavanje fluida. Agregati još mogu sadržavati i grijače / hladnjake fluida, sigurnosne ventile i mjerne uređaje. Spremnik fluida mora biti dovoljno velikog volumena da pokriva potrebe napajanja cijelog cjevovoda hidrauličkog postava, te mora zadovoljiti kriterije smirivanja fluida, slegnuća nečistoća, hlađenja radnog fluida (ili grijanja radi potrebne viskoznosti).

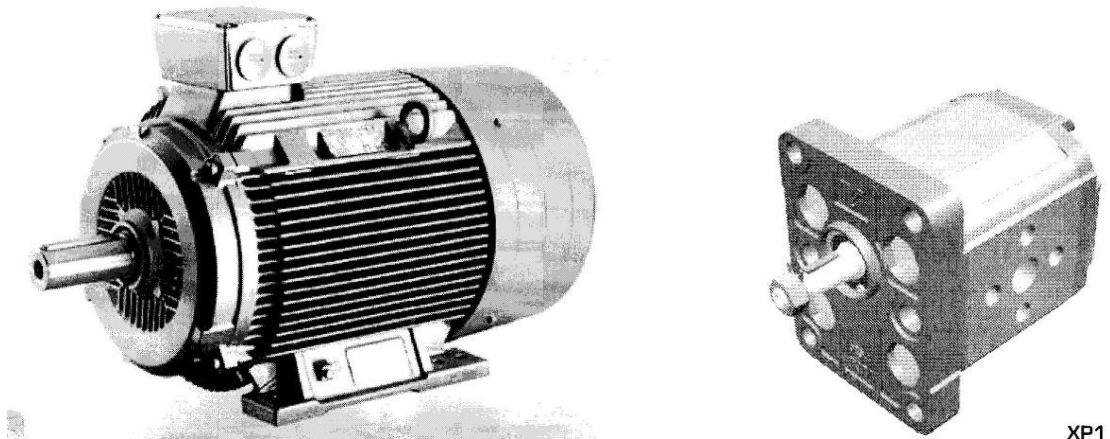


Što je veća površina spremnika, to je brže hlađenje fluida. Ako to nije dovoljno ugrađuju se hladnjaci, uglavnom su to vodeni hladnjaci.

Crpki za napajanje se izvana dovodi mehanička energija (rad elektromotora) te se ona transformira u energiju radnog fluida. Crpke se obično dijele u dvije osnovne kategorije: volumenske crpke (volumetričke) i dinamičke crpke (turbopumpe). Volumenske pumpe transportiraju fluid (ostvaruju povećanje tlaka i protok) putem smanjenja volumena komora u pumpi, a koriste se za relativno male protoke uz relativno velike visine dobave. Crpka na laboratorijskom postavu je volumenska zupčasta, proizvođača VIVOIL i specifičnog volumena  $2.6 \text{ cm}^3/\text{okr}$ . Elektromotor je kavezni asinkroni, proizvođača Siemens, snage 2.2 kW. Takt rada elektromotora daje frekvencijski pretvarač, također proizvođača Siemens. Frekvencijski pretvarač može raditi na mnogo „modova“, sa različitim dijagramima davanjem frekvencije ( npr. povećavanje frekvencije u vremenu po „rampi“). Budući da se regulacija odvija preko servoventila, treba nam konstantan protok na pumpi. Mod rada „P702 10“ daje konstantnu frekvenciju od 50Hz, pa stoga mora biti podešen prije rada na tom modu. Nakon odabira moda rada, dovoljan je jedan digitalni signal za držanje frekvencije (za razliku od promjenjive frekv. kada treba dodatno 2 analogna signala za promjenu frekvencije). Elektromotor je povezan sa crpkom preko spojke.



Slika 3.3 Frekvencijski pretvarač sa aktiviranim modom P702



Slika 3.4 Prikaz elektromotora i crpke za napajanje

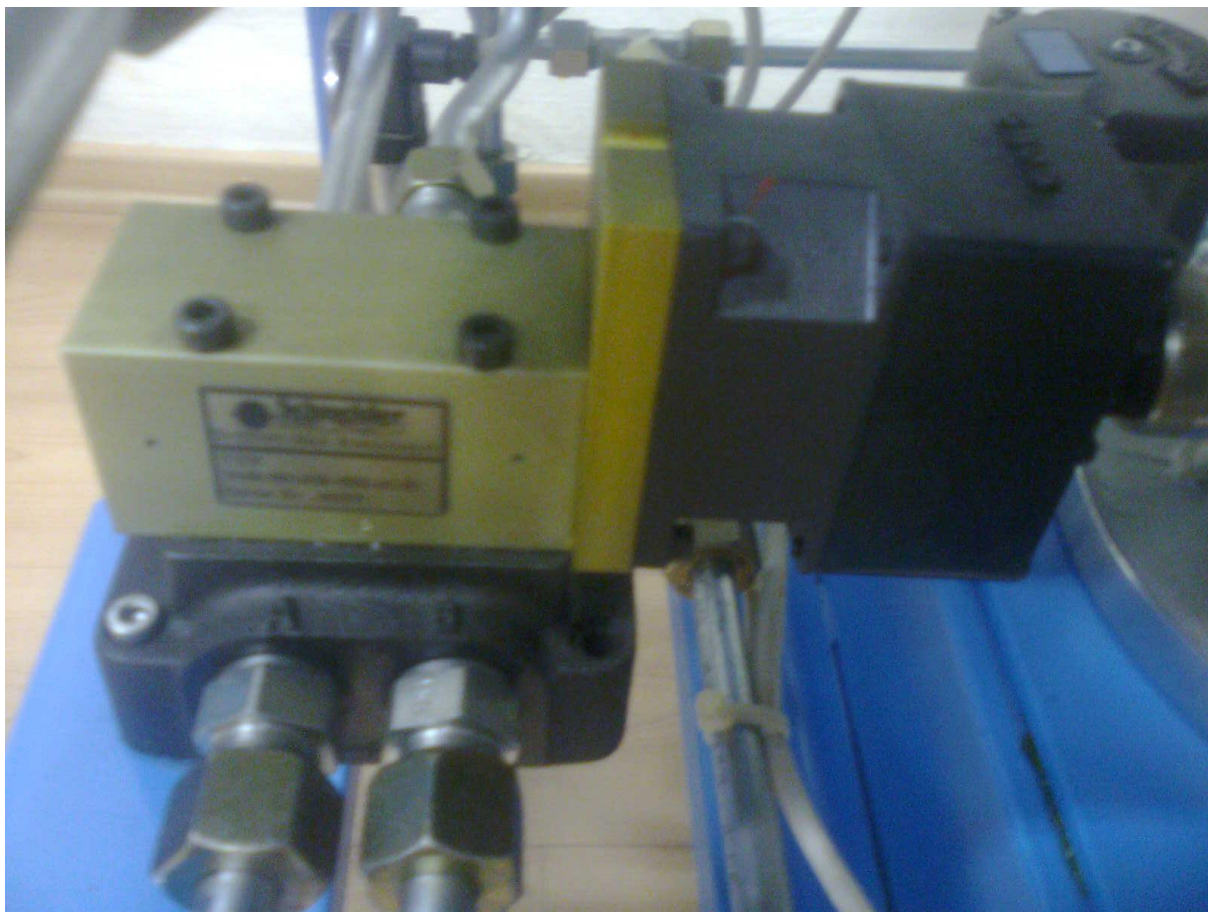
Uljevnik za ulje služi za nadopunu razine radnog ulja u spremniku. Iza njega se nalazi i filter koji spriječava unos prljavštine prilikom nalijevanja novog ulja u spremnik. Općenito, zadatak filtera je da razinu prljavštine ulja smanji na dozvoljenu vrijednost. Time se hidraulički elementi štite od prekomjernog habanja i povećava se pouzdanost rada hidrauličkog sustava. Vrijednost finoće filtriranja (apsolutna finoća filtriranja) odgovara promjeru najveće čestice u obliku kugle koja može proći kroz filter. Nečistoće se u sustavu mogu naći zbog trošenja, otkidanja čestica u elementima samog hidrauličkog sustava ili zbog lošeg brtvljenja (npr. kod cilindara). Posljedice krutih čestica u hidrauličkom ulju mogu uzrokovati istjecanje ulja kod brtvi, blokiranje kliznih elemenata, promjene karakteristika regulacijskih ventila i ukupno smanjiti njihov vijek trajanja. Kod laboratorijskog hidrauličkog sustava koristi se povratni filter kako bi se pri svakom strujanju fluida pročistio radi preventive prije samog ulaska u spremnik. Tlačni filter se nalazi iza pumpe, a ispred servoventila budući da su servoventili iznimno osjetljivi na nečistoće i zahtjevaju visok indeks filtracije. U postavu je korišten tlačni filter tvrtke „Lifco hydraulics“.

Sigurnosni ventil se nalazi ispred elektromagnetskog ventila 4/2 kao osiguranje da ne bi došlo do prevelikih iznosa tlaka koji bi mogli naštetiti sustavu, npr. prilikom naglog zaustavljanja radnog fluida u cjevovodima. Koristan je i kao zaštita u slučaju da je EM ventil aktiviran, a nema signala na servoventilu, kada bi tlak drastično narastao.

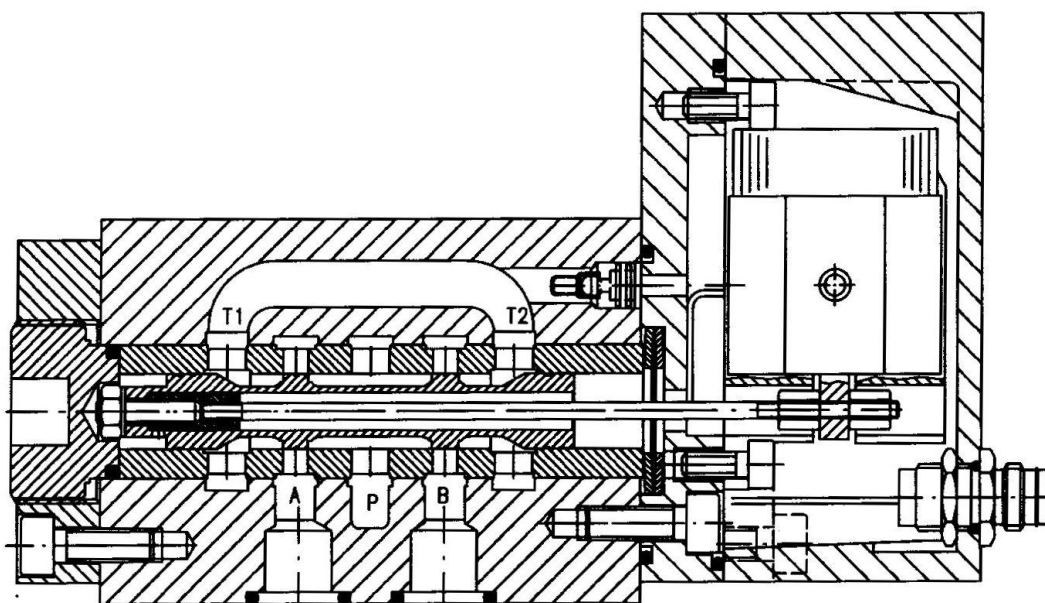
Ventil je promjenjivog podešavajućeg tlaka, te u slučajevima tlaka u sustavu većeg od podešenog iznosa tlaka, radni fluid preusmjerava nazad u spremnik.

Elektromagnetski ventil 4/2 ima četiri priključka i 2 položaja, kako sama oznaka i govori. Aktivira se putem digitalnog signala sa upravljačke jedinice, kada propušta ulje prema servoventilu, a u početni položaj se vraća nakon prestanka djelovanja signala putem sile opruge. U početnom položaju preusmjerava radni fluid nazad u spremnik. Ventil ugrađen u laboratorijski sustav je marke proizvođača Atos (Italija).

Servoventil je važan element ovog hidrauličkog postava jer se preko njega regulira protok radnog fluida prema hidrauličkom motoru, tako mijenjajući brzinu vrtnje osovine motora. Protok se regulira analognim signalom napona iznosa od -10V do 10 V. Kada nema signala, ventil je zatvoren i nema protoka, dok za pozitivni napon otvara protok prema hidrauličkom motoru. Karakteristika između signala i protoka servoventila je nelinearna, kako se može vidjeti na slici 3.7. Proizvođač servoventila na hidrauličkom postavu je Schneider, a maksimalni protok koji se može ostvariti je 5 litara/min pri razlici tlakova od 70 bara. Razlika radnih tlakova je u rasponu od 10 do 315 bara. Na slici 3.6 prikazan je tehnički crtež servoventila iz kojeg se može proučiti način rada. Dakle, dok nema signala, klip stoji u neutralnom položaju zatvarajući priključke i tada nema protoka kroz priključke. Pomakom klipa u lijevu stranu, otvara se prolaz fluida između priključaka A i P te priključaka B i T. Obrnuto, pomakom klipa u desnu stranu, radni fluid počinje teći između priključaka P i B, te A i T. Pomak klipa određuje elektromotor koji daje odgovarajući zakret navoja po kojem se zakret pretvara u linearni hod klipa.

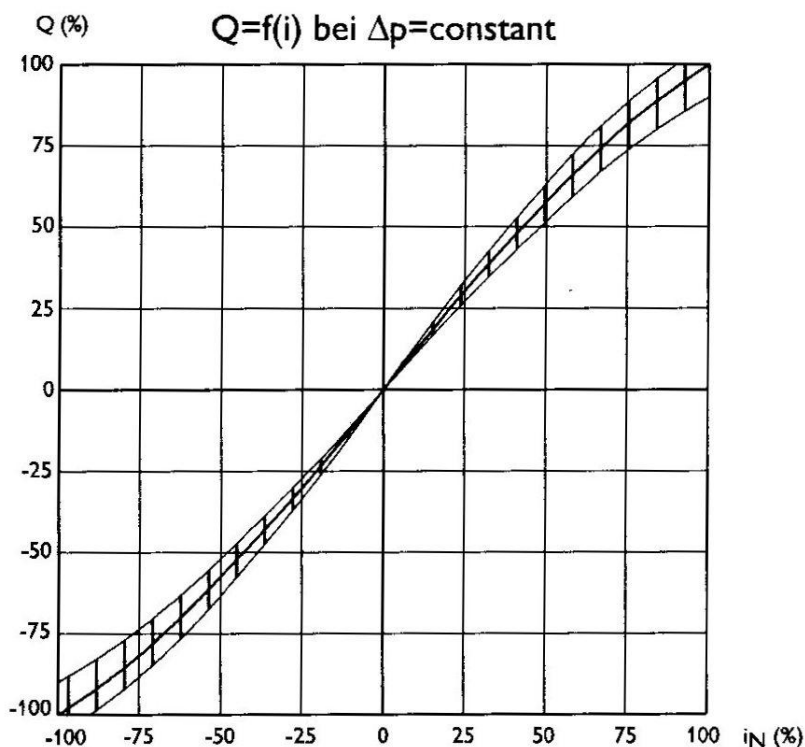


Slika 3.5. Prikaz servoventila koji se koristi za regulaciju



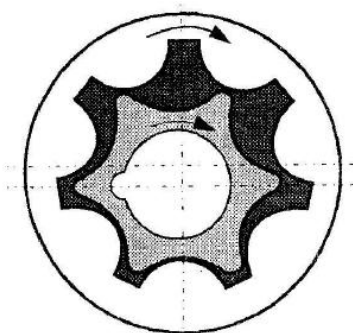
Slika 3.6 Tehnički crtež servoventila tvrtke Schneider





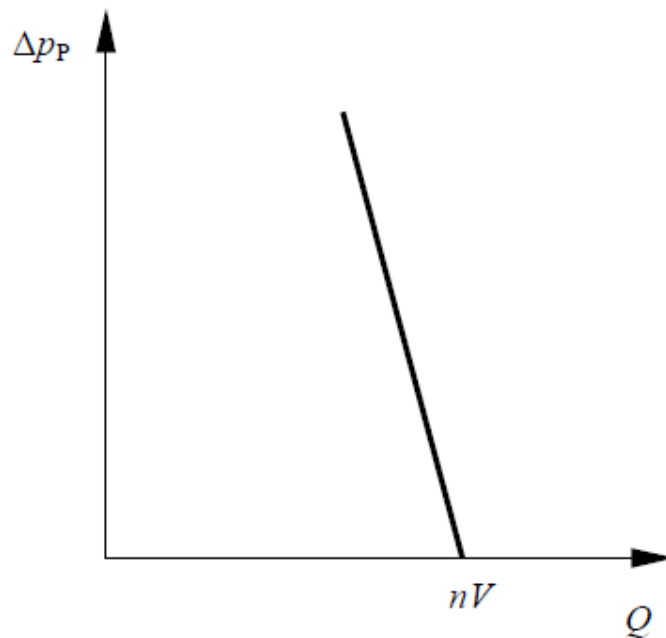
Slika 3.7 Prikaz karakteristike protoka na servoventilu i ulaznog signala u postocima

Hidraulički motor tvrtke „M+S Hydraulic“ koji se nalazi na postavu, je zupčasti, prstasti motor. Prstasti motori imaju poseban oblik zuba (trochoidna krivulja) koji osigurava istovremeno brtvljenje svih zuba. Unutrašnji zupčanik (rotora) uvijek ima jedan zub manje nego stator. Po izvedbi postoje dvije verzije, a motor korišten u ovom postavu je „Gerotor“ motor. Gerotor motor ima ekscentrično postavljen unutrašnji zupčanik i puno manji volumen punjenja. Oba zupčanika rotiraju oko fiksnih, ekscentričnih osi. Predviđen je za veliku brzinu vrtnje uz nešto manji radni moment. Specifični protok motora (eng. „motor displacement“) iznosi  $8.2 \text{ cm}^3/\text{okr}$ , a odnosi se na volumen koji je potreban da bi se osovina motora zakrenula za jedan puni okretaj.



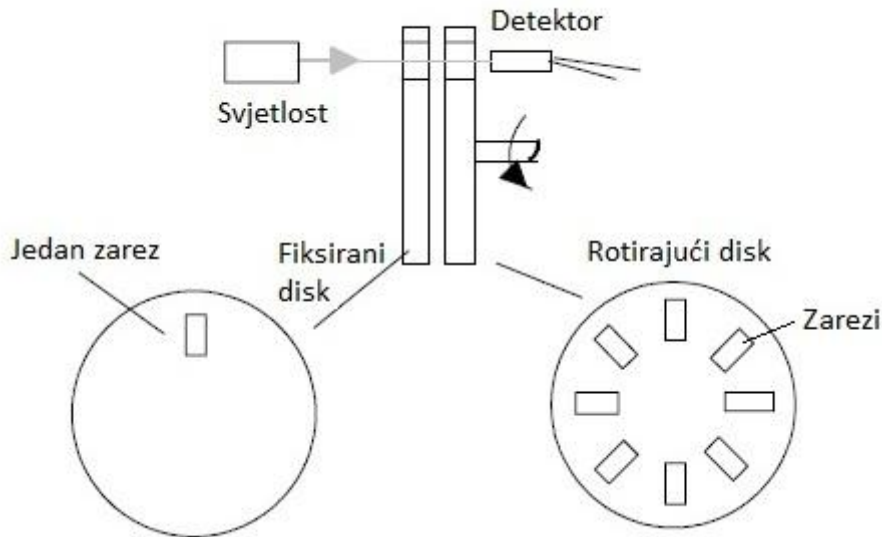
Slika 3.8. Prikaz „Gerotor“ motora

Proporcionalni tlačni ventil koristi se za promjenu tlaka kako bi crpka za terećenje imala promjenjiv protok, a time bi se ostvario promjenjiv teret na strani hidrauličkog motora. Povećanjem tlaka, smanjuje se iznos protoka koji pumpa može ostvariti, vidljivo na slici 3.9. U postavu je ugrađen proporcionalni tlačni ventil tvrtke „Atos“. Na njega se dovodi analogni signal od 0 do 10 V koji odgovara promjeni tlaka od 6 do 210 bara. Karakteristika promjene tlaka sa signalom je proporcionalna.



Slika 3.9 Prikaz radne karakteristike volumenske crpke

Senzori koji se koriste u regulaciji su inkrementalni enkoder i senzori tlakova napajanja i terećenja. Senzori tlaka napajanja i opterećenja daju analogne naponske signale, dok inkrementalni enkoder daje digitalni signal. Jedini senzor u povratnoj grani regulacije brzine vrtnje je inkrementalni enkoder, stoga je bitno da mjerenje bude precizno sa što manjim pogreškama. Inkrementalni enkoder se sastoji od kružnog diska sa zarezima koji se rotira zajedno sa osovinom čija se brzina vrtnje mjeri. Disk rotira između optičkih parova koji daju impulse kada svjetlost prođe kroz zarez diska.



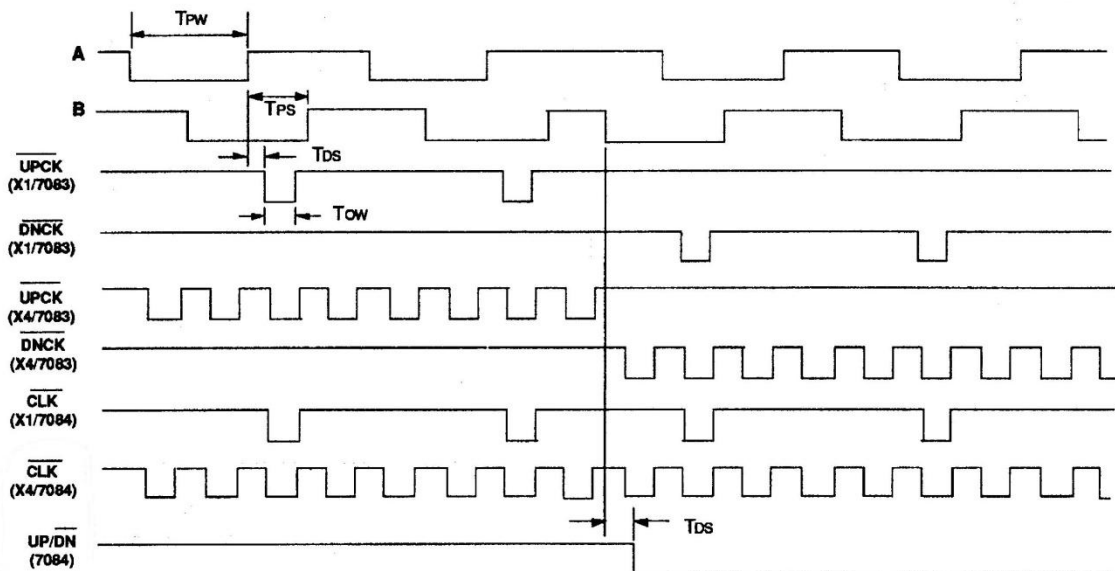
Slika 3.10 Prikaz rada inkrementalnog enkodera

Princip mjerenja brzine vrtnje se zasniva na jednadžbi :

$$\omega = \frac{360^\circ}{N * \text{broj zarezova}} * \frac{\text{broj impulsa}}{\Delta t} \quad [^\circ/s] \quad (3.1)$$

( $N * \text{broj zarezova} = \text{rezolucija ink. enk.}$ )

Za  $N=4$  vrijedi izraz učetverostručenja rezolucije, dok za  $N=1$  znači da nema učetverostručenja. Rezolucija je bitna kod enkodera, jer određuje koliko impulsa možemo dobiti po jednom okretaju diska, pa stoga povećava i preciznost mjerenja. Kod inkrementalnog enkodera koji koristimo na postavu postoje dva signala, to su signali A i B. Oni su međusobno pomaknuti na disku, tako da se usporedbom ta dva signala može odrediti smjer vrtnje. Budući da se u ovom slučaju koristi na hidrauličkom motoru koji se zakreće uvijek u istom smjeru, taj odnos između dva impulsa u signalima A i B nam nije bitan. Koristimo učetverostručenje rezolucije tako da se dobiva novi signal CLK (X4) koji mijenja stanje „0“ i „1“ pri svakoj promjeni signala A ili B. Signal UP/DN daje vrijednost „1“ ili „0“ za vrtnju u jednom ili drugom smjeru. Određivanje brzine vrtnje izračunavati će se po jednadžbi (3.1) u PLC-u putem „countera“.



Slika 3.11. Prikaz signala inkrementalnog enkodera

Kuglaste slavine koriste za pojedine „bypass-ove“ hidrauličkih elemenata, budući da se laboratorijski postav može regulirati i drugim metodama, kao što je regulacija promjenom frekvencije na frekvencijskom pretvaraču. Tada nam servoventil nije potreban, pa ga preko kuglaste slavine možemo zaobići. Također, kuglastom slavinom možemo zaobići proporcionalni tlačni ventil, kako bi se isključilo opterećenje motora preko crpke.

Manometar je spojen u hidraulički krug, te kroz njega prolazi ulje iz sustava. On u sebi ima tzv. Bourdonovu cijev koja uslijed deformacije preko određenog mehaničkog prijenosnika okreće kazaljku pokazivača. Prednji dio manometra najčešće je ispunjen glicerinom koji eliminira titranje kazaljke. Iako imamo senzore tlakova u istim granama, sa strane regulacije korisni su za usporedbu točnosti mjerenja senzora tlaka (provjeru ispravnosti mjerenja prilikom regulacije).

Izbor odgovarajućeg radnog fluida ima bitan utjecaj na ispravno funkcioniranje, trajnost, pouzdanost i ekonomičnost hidrauličkog sustava. Izbor fluida utječe i na izbor hidrauličkih elemenata (filtri, ventili, brtve...) koji se projektiraju za određenu vrstu fluida. Tako servoventil koji koristimo u ovom regulacijskom postavu određuje optimalne vrijednosti filtracije, viskoznosti i standarda fluida. Zbog servoventila su potrebne jako fine filtracije ulja (manje od klasa 4 i 5 po NAS 1638 normi, što

odgovara česticama nečistoće veličine 2-3  $\mu\text{m}$ ), pa preko zahtjeva na filter utječemo na odabir fluida. Hidraulički motor ima pak drugačije zahtjeve na viskoznost fluida od servoventila, pa je optimalna viskoznost fluida za hidraulički motor za red veličine manji od onog koji propisuje servoventil. Iz toga možemo zaključiti da je odabir radnog fluida iznimno ovisan o hidrauličkim elementima koje koristimo.

Cjevovodi također utječu na cjelokupni hidraulički sustav, budući da se promjerom, oblikom cijevi određuje ponašanje fluida pri različitim brzinama strujanja, a tako i gubitci energije koja se pretvara u toplinsku energiju. Ta toplina zagrijava radni fluid i mijenja mu viskozitet, što može uzrokovati probleme kod brtvljenja i mijenja karakteristike hidrauličkih elemenata.

## 4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Eksperimentalni rezultati su dobiveni preko „PID Tune Control Panel“ sučelja. Iako „Autotuning“ opcija nije korištena, nego su parametri PID regulatora unošeni ručno, iz tog sučelja se može pratiti odziv funkcije na zadanu referencu, pa se mogu dobiti neki grafovi (rezultati). Parametri PID regulatora su dobiveni metodom pokušaja i pogrešaka, a to smijemo buduću da je sustav zaštićen od prevelikih sila i tlakova, a ni referentni signal ne možemo poslati veći od 10V (koliko je i vrijednost servoventila za maksimalni protok), pa nema opasnosti po uređaje. Parametri su:

$$K_P = 0.5$$

$$T_I = 0.01 \quad [min]$$

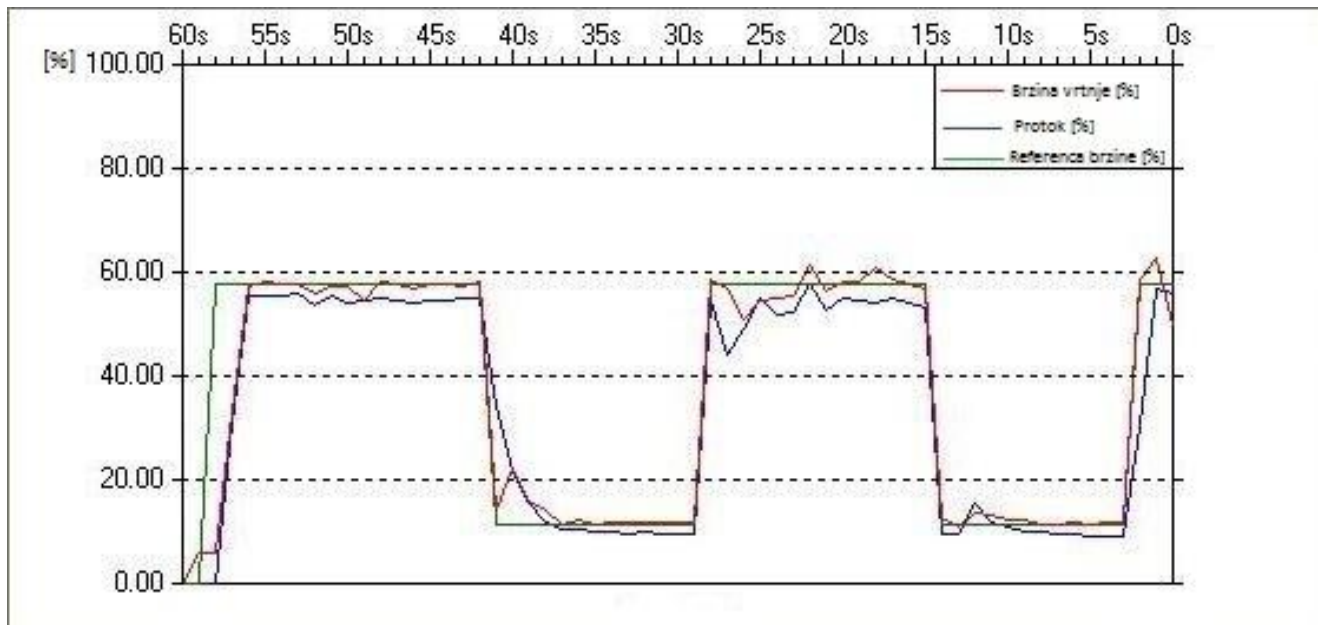
$$T_D = 0 \quad [min]$$

Prijenosna funkcija regulatora je:

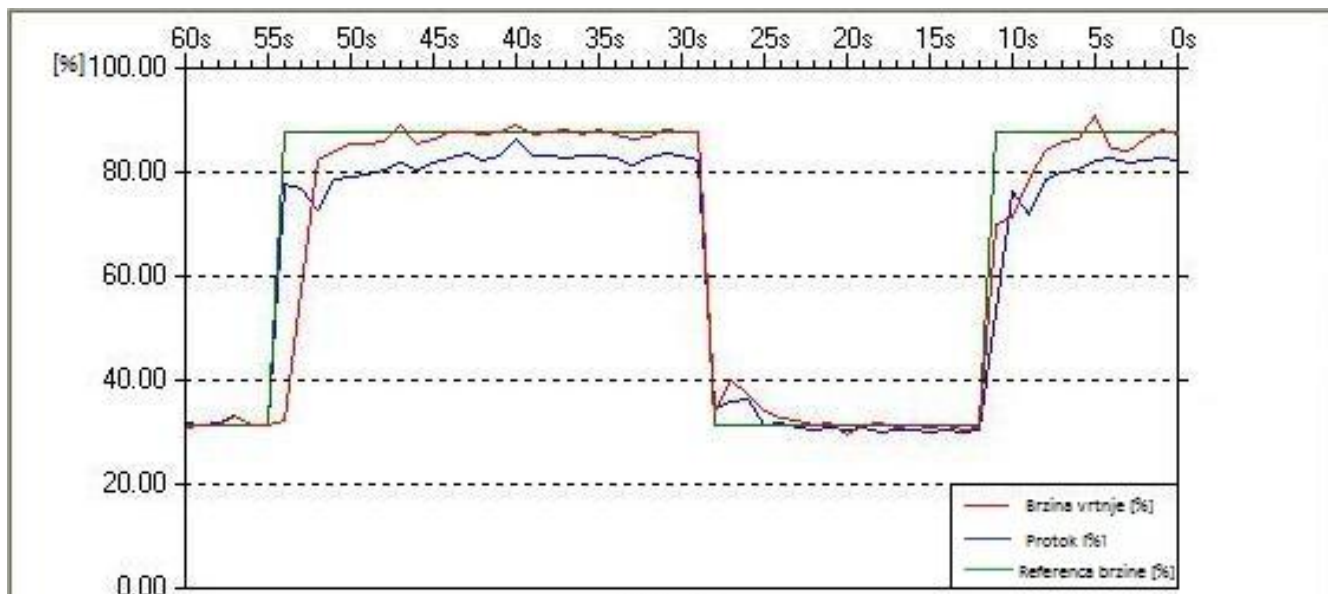
$$G_R = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I * s} \right)$$

Odnosno, regulator je PI tipa, jer je vremenska konstanta derivacijskog člana jednaka „0“. Općenito, sustav se ponaša na slijedeći način. Proporcionalno pojačanje regulatora utječe na oscilatornost sustava, pa prevelike vrijednosti čine sustav nestabilnim. Integracijsko djelovanje usporava sustav, ali mu daje bolju točnost. Ipak, prevelike vrijednosti vremenske konstante integratora više usporavaju sustav nego što mu pomažu da dostigne stacionarnu točnost. Stoga valja integracijsko djelovanje tražiti u malim vrijednostima, po malim koracima. Derivacijsko djelovanje značajno ubrzava sustav, ali čini ga izrazito nestabilnim. Čak i za najmanje vrijednosti derivacijskog člana, sustav je suviše nestabilan.

Na slikama 4.1 i 4.2 prikazani su rezultati odziva funkcija za dva različita skoka referenci (manji skok, odnosno veći skok reference). Može se vidjeti kako PI regulator sa ovako podešenim parametrima omogućava praćenje referentne brzine, bez velikih nadvišenja. Problem u prikazu tih slika je u rezoluciji čitanja točki, nažalost, krivulje su dosta oštre, a to je zbog uzorkovanja točki, „sample time“ se ne može smanjiti ispod 1s, a to čini prilično grubu sliku. Također dio oscilacija je zbog očitavanja brzine sa inkrementalnog enkodera. Naime, koliko god mi malo vrijeme čitanja uzoraka odredili, uvijek će postojati oscilacije u očitanjima, a to se vidi kada se ta očitavanja nađu na ulazu u regulator.



Slika 4.1 Prikaz grafa odziva na manji skok reference



Slika 4.2 Prikaz grafa odziva na veći skok reference

## 5. ZAKLJUČAK

Iz rezultata koji su prikazani, može se zaključiti da PLC uređaj kao regulator sustava na primjeru elektrohidrauličkog postava omogućava zadovoljavajuću regulaciju procesa, prati referencu sa podešenim PI regulatorom, uspješno obrađuje signal sa inkrementalnog enkodera kako bi regulacija bila prihvatljiva. No ne treba zaboraviti da je PLC prvobitno zamišljen kao industrijska upravljačka jedinica, bez velikih mogućnosti za pohranu kvalitetnih procesnih podataka. Uz dodatne software se mogu eventualno dobiti bolji podaci, koji bi se u računalu, u nekom programskom paketu (npr. Matlab) upotrijebili za izradu grafova. No to nije prvotna ideja PLC-a. Nakon što se ovako provede izrada PI (D) regulatora, i pokrene na sustavu koji mora obavljati neki zadatak, nisu potrebna on-line iscrtavanja grafova, već da uređaj pouzdano izvršava svoj zadatak .

Na temelju dobivenih rezultata regulacije hidrauličkog motora po povratnoj petlji brzine mogu se izvesti zaključci s obzirom na primjenu ovakvog sustava. Nakon što smo prikazali da PLC uspješno obrađuje regulaciju takvog sustava, možemo reći da bi takav postav odrađivao različite zadatke u primjeni kod različitih industrijskih sustava, kao što su: alatni strojevi, dizalice, pokretne trake itd.

PLC sustavi će još dugo vremena biti u upotrebi, što zbog inertnosti promjena u pogonima koji rade dugo godina i drže do pouzdanosti rada u težim uvjetima, a što zbog jednostavnosti programiranja i komuniciranja sa drugim uređajima (senzorima) preko modula. No ipak, i ti sustavi se razvijaju, i to prema proširenju mogućnosti uređaja. Danas postoje i tzv. „PAC“ kontroleri (eng. „Programmable automation controllers) kakav je npr. upravljački uređaj NI CompactRIO. Najkraće rečeno, PAC je upravljački uređaj koji je po izgledu sličan tradicionalnom PLC-u, ali ima značajke i mogućnosti koje su ranije tipično povezivane uz računalno upravljane sustave.



## 6. DODATAK- pregled upravljačkog programa

### Network 1

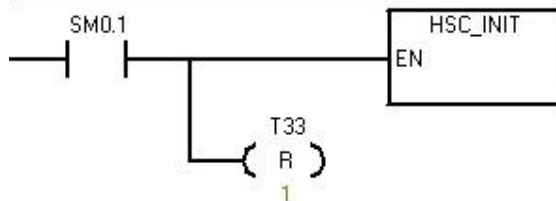
PID blok za regulaciju, poziva se subroutine sa njegovim postavkama



Symbol	Address	Comment
BRZINA	Vw570	ulazna varijabla u PID regulator, izrađena od 0 do 32000
referentna_vrijednost	VD90	ulazna vrijednost na PID subroutine

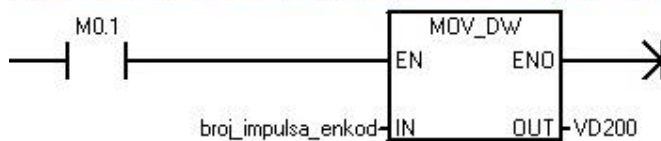
### Network 2 Network Title

SM0.1 je "first cycle scan bit", prilikom inicijalizacije PLC-a, učitavaju se parametri high speed counter, i resetira se counter T33



### Network 3

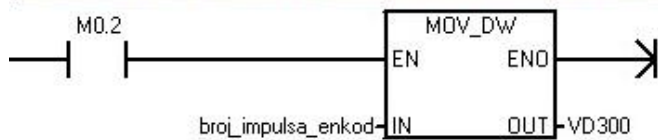
Uzorkovanje citanja vrijednosti impulsa u trenutku aktiviranja bita M0.1 preko timera



Symbol	Address	Comment
broj_impulsa_ekod	HC4	vrijednost high speed countera

#### Network 4

Uzorkovanje citanja vrijednosti impulsa u trenutku aktiviranja bita M0.2 preko timera



Symbol	Address	Comment
broj_impulsa_ekod	HC4	vrijednost high speed countera

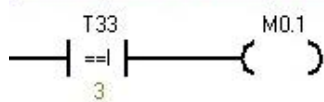
#### Network 5

Timer, resetira se kada se aktivira M0.4

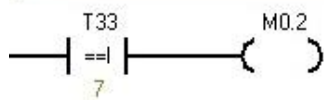


#### Network 6

Zadavanje vremena okidanja izlaza M0.1 i M0.2 za citanje impulsa sa enkodera

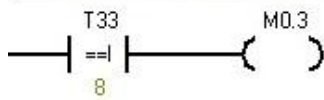


#### Network 7



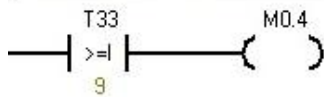
### Network 8

Davanje takta za operaciju razlike između 2 impulsa



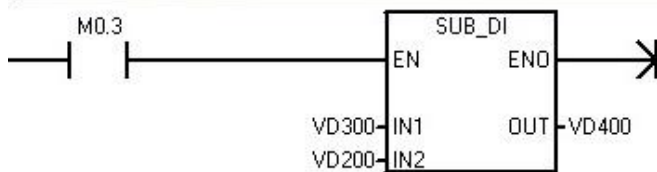
### Network 9

nakon 90 ms resetiraj timer T33 na "0"



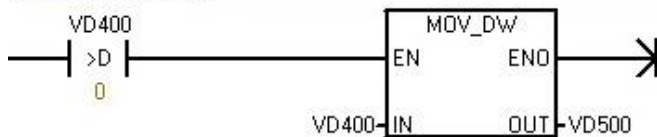
### Network 10

Razlika izbrojanih impulsa

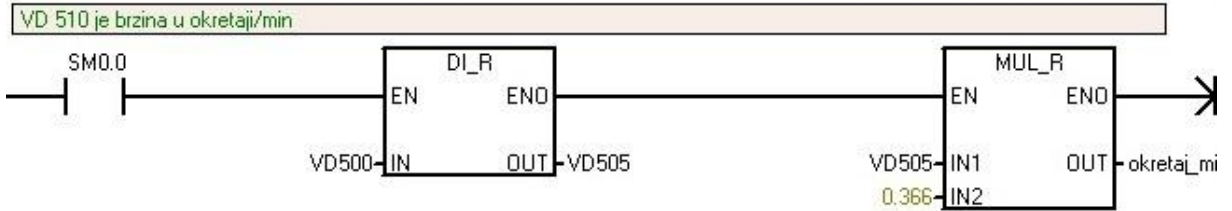


### Network 11

Sve pozitivne vrijednosti spremaju se u VD500, time se filtriraju peakovi u slučajevima kada se između 2 mjerenja okrene enkoder za novi krug



### Network 12



Symbol	Address	Comment
okretaj_min	VD510	brzina izrazena u okretajima po minuti

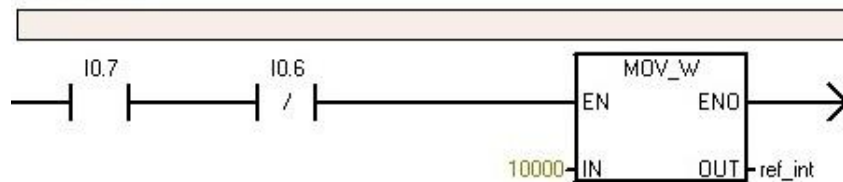
### Network 13

Za prekidače na adresama ulaza I0.6 i I0.7 , izvrsava se promijena signala za referencu brzine



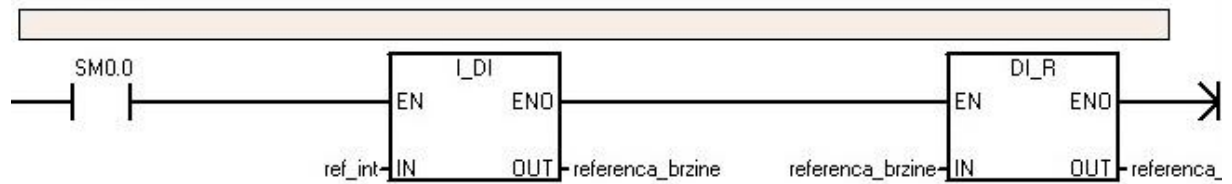
Symbol	Address	Comment
ref_int	VW0	integer koji sadrzi referentnu vrijednost brzine koju reguliramo

### Network 14



Symbol	Address	Comment
ref_int	VW0	integer koji sadrzi referentnu vrijednost brzine koju reguliramo

### Network 15



Symbol	Address	Comment
ref_int	VW0	integer koji sadrzi referentnu vrijednost brzine koju reguliramo
referenca_brzine	VD40	medjkorak pri konverziji u podatak tipa "real"

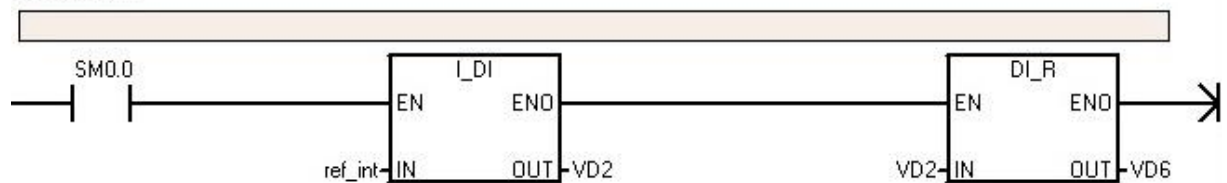
### Network 16

referencirana brzina radi setpointa u PID bloku VD90 u postocima



Symbol	Address	Comment
referenca_brzine	VD40	medjukorak pri konverziji u podatak tipa "real"
referentna_vrijednost	VD90	ulazna vrijednost na PID subroutine

### Network 17



**Network 18**

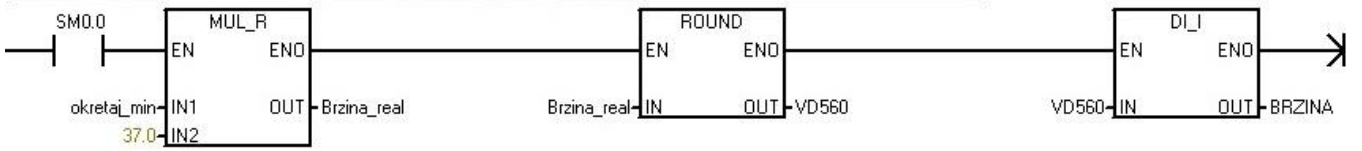
VD15 je izlazna velicina u litrama u minuti



Symbol	Address	Comment
protok_korz_servovent	VD15	

**Network 19**

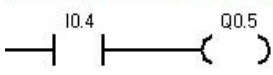
Konverzija vrijednosti brzine u razmaku od 0 do 100% brzine u polje vrijednosti od 0 do 32000



Symbol	Address	Comment
BRZINA	Vw570	ulazna varijabla u PID regulator, izrađena od 0 do 32000
Brzina_real	VD520	Realni broj brzine, služi za medjukorka
okretaj_min	VD510	brzina izražena u okretajima po minuti

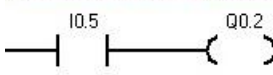
**Network 20**

Aktiviranje elektromagneta 4/2 u položaj propustanja protoka prema servoventilu

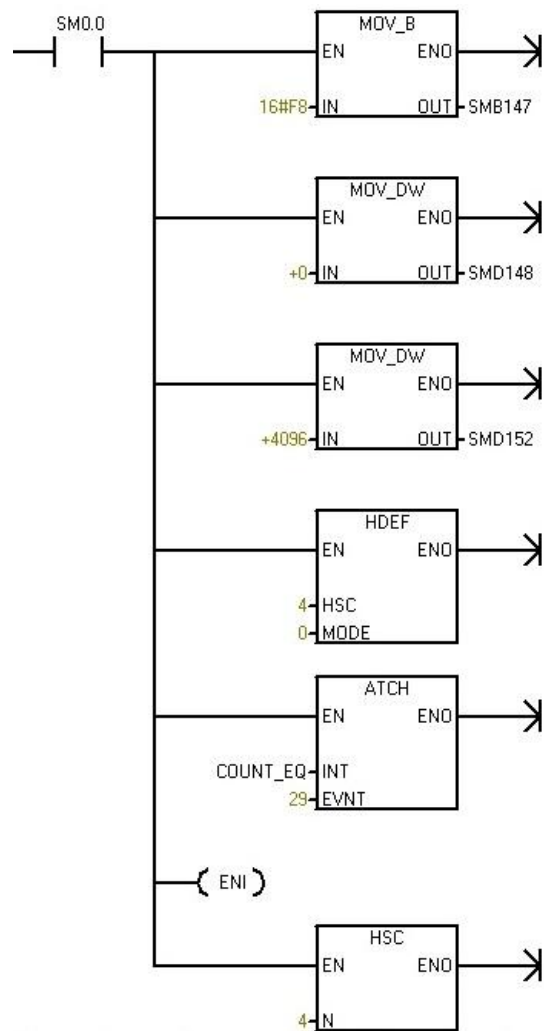


**Network 21**

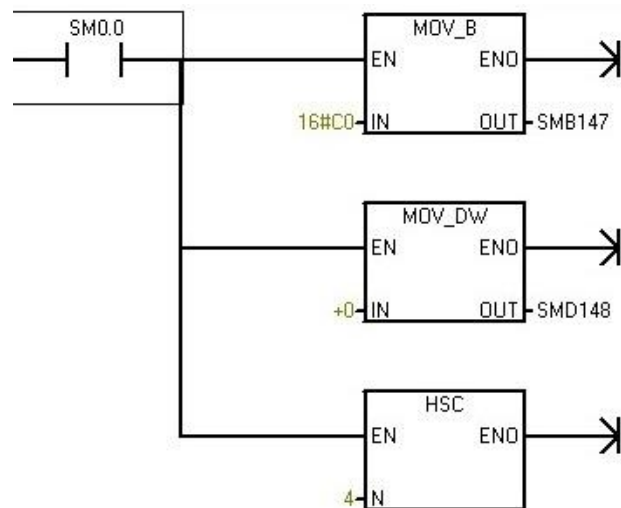
Aktiviranje frekvencijskog pretvaraca



### Podrutina HSC:



### Interrupt „Count\_EQ“:



## 7. LITERATURA

- [1] Siemens, „S7-200 Programmable Controller System Manual“, 08/2008
- [2] Bolton W. : „Programmable Logic Controllers“, Elsevier Newnes, Oxford, 2006
- [3] Pavković D.: Predavanja iz kolegija „Mikroprocesorsko upravljanje“, FSB, Zagreb
- [4] Cheng-Ching Y.: „Autotuning of PID Controllers“, Springer, London, 2006
- [5] R. Korbar: „Pneumatika i hidraulika“, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2007.
- [6] J. Petrić: Predavanja iz kolegija „Pneumatika i hidraulika“, FSB, Zagreb