



JU TEHNIČKA ŠKOLA  
ZENICA

Školska godina: 2021/2022.

# MATURSKI RAD

Tema: *Pneumatski sistemi i simulacija u Fluidsimu*

**Mentor:** Anel Husaković, dipl. ing. el.

**Učenik:** Adi Kadušić

Zenica, 2021/22. Godine

## **SADRŽAJ:**

<b>I UVOD</b>	<b>5</b>
<b>II INSTALACIJA</b>	<b>6</b>
<b>III PNEUMATSKE KOMPONENTE</b>	<b>7</b>
3.1 IZVORI I ELEMENTI ZA PODEŠAVANJE ULAZA	7
3.1.1 IZVOR SABIJENOG ZRAKA	8
3.1.2 KOMPRESOR	8
3.1.3 JEDINICA ZA SERVIS ZRAKA	9
3.1.4 REZERVOAR ZRAČNOG PRITISKA	10
3.1.5 ZRAČNI FILTER	10
3.2 AKTUATORI	11
3.2.1 CILINDRI	12
3.2.2 ZRAČNI MOTOR	16
3.2.3 POLUROTAČIJSKI AKTUATOR	17
3.3 VENTILI	18
3.3.1 RAZVODNI VENTILI	19
3.3.2 VENTILI ZA KONTROLU PROTOKA	20
3.3.3 VENTILI ZA KONTROLU PRITISKA	22
3.4 PNEUMATSKI SENZORI I INDIKATORI	22
3.4.1 MANOMETAR	22
3.4.2 SENZOR PRITISKA	23
3.4.3 SENZOR PROTOKA	23
<b>IV ELEKTRIČNE KOMPONENTE</b>	<b>24</b>
4.1 IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE	24
4.1.1 GENERATOR FUNKCIJA	24
4.2 ELEKTRIČNI AKTUATORI	25
4.2.1 SOLENOID	25
4.2.2 DC MOTOR	25
4.3 ELEKTRIČNI SENZORI I INDIKATORI	26
4.3.1 ELEKTROPNEUMATSKI PRETVARAČ	26
4.3.2 ENKODER POMAKA	27
4.3.3 AMPERMETAR	27
4.3.4 VOLTMETAR	28
4.4 RELEJI	29
4.4.1 RELEJ SA KAŠNJENJEM UKLJUČIVANJA	30
4.4.2 RELEJI SA KAŠNJENJEM ISKLJUČIVANJA	31
4.4.3 ELEKTROMAGNETNI VENTIL	32

4.5 PREKIDAČI	32
4.5.1 BLIZINSKI PREKIDAČI	33
4.6 KONTROLERI	34
4.6.1 KOMPARATOR	35
4.6.2 PID KONTROLER	36
4.6.3 STATUS KONTROLER	37
<b>V SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA</b>	<b>39</b>
5.1 RELEJNI SISTEMI UPRAVLJANJA	39
5.1.1 PRVI PRIMJER	40
5.1.2 DRUGI PRIMJER	42
5.1.3 TREĆI PRIMJER	43
5.2 SISTEMI UPRAVLJANJA POMOĆU PLC-a	45
5.2.1 FUNCTION BLOCK DIAGRAM FUNKCIJE	46
5.2.2 PRVI PRIMJER	50
5.2.3 DRUGI PRIMJER	52
5.2.3 TREĆI PRIMJER	54
<b>VI LITERATURA</b>	<b>56</b>

# I UVOD

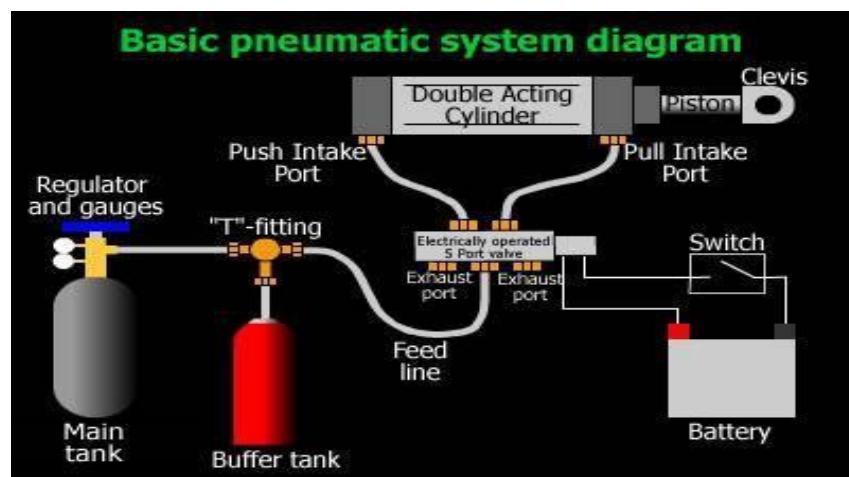
Tema maturskog rada je simulacija i proučavanje osobina pneumatskih sistema korištenjem programa Festo Fluidsim.

Pneumatika (prema grč. πνευματικός /pneumatikos/, "zračno") jeste naučna i tehnička disciplina koja proučava korištenje sabijenih plinova za obavljanje rada. Za razliku od hidraulike, koja koristi nestišljive tečnosti kao što su voda i ulje, pneumatika koristi zrak koji nema stalnu zapreminu. U većini industrijskih primjena pneumatike radni pritisak iznosi od 500 do 700 kPa, dok su u hidraulici uobičajeni tlakovi od 7 do 35 MPa, a iznimno i preko 70 MPa [1].

Prednosti pneumatike u odnosu na hidrauliku:

- Radni medij je lagan, pa ne opterećuje dovodne cijevi.
- Nema potrebe za povratnom cijevi jer se iskorišteni zrak može ispušтati u okolinu.
- Zrak je elastičan, pa ne postoji opasnost od hidrauličnih udara koji bi mogli oštetiti cijevi ili opremu.
- Kompresovani zrak ima potencijalnu energiju koja se može koristiti i kada kompresor nije u pogonu.

Pneumatski sistem je skup međusobno povezanih pneumatskih komponenti, čiji je zadatak da mehaničku energiju pretvoriti u pneumatsku energiju, a zatim tu energiju u odgovarajući rad. U opštem slučaju, pneumatski sistem sastoji se od kompresorske stanice, pripremne grupe za zrak, upravljačkih i izvršnih komponenti. Rad pneumatskog sistema sastoji se u tome što kompresor mehaničku energiju pretvara u pneumatsku energiju (sabijen vazduh), koji se dovodi izvršnim elementima koji pneumatsku energiju pretvaraju u rad.



Slika 1. Primjer pneumatskog sistema

## **II INSTALACIJA**

Festo Fluidsim nije open source program, tj. za korištenje programa moramo kupiti licencu. Instalacija je vrlo jednostavna i zasniva se na korištenju wizard programa (gdje određujemo gdje ćemo spremiti fluidsim itd.). Za rad fluidsim-a potrebna je internet konekcija (radi provjeravanja licence).

### III PNEUMATSKE KOMPONENTE

Pneumatske komponente možemo podijeliti na 4 osnovne grupe: izvori, aktuatori, ventili i senzori.

#### 3.1 IZVORI I ELEMENTI ZA PODEŠAVANJE ULAZA

Izvori su elementi pneumatskog sistema koji obezbjeđuju energiju neophodnu za rad sistema. Glavna karakteristika im je njihov radni pritisak. U programu Fluidsim razlikujemo sljedeće izvore: izvor sabijenog zraka, kompresor i podesivi kompresor.

Elementi za podešavanje ulaza su neophodni elementi svakog pneumatskog sistema. U programu Fluidsim razlikujemo sljedeće elemente za podešavanje: jedinica za servis zraka, rezervoar zračnog pritiska, zračni filter, manuelni odvodni filter, automatski odvodni filter, manuelni odvod, automatski odvod, podmazivač, hladnjak i sušač zraka.

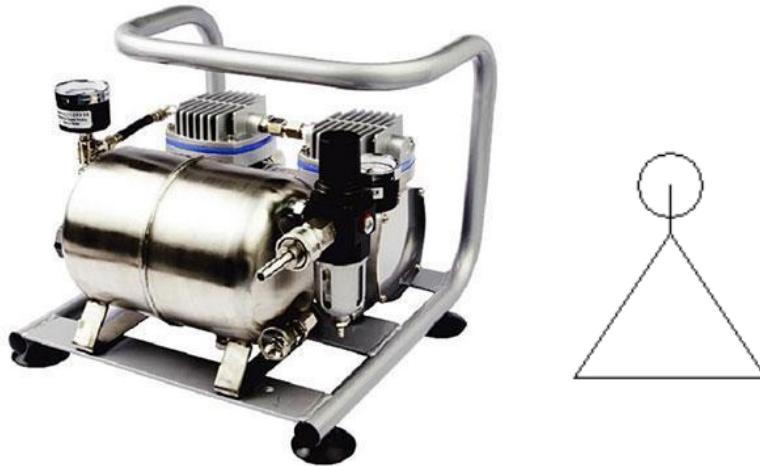
Izvore i elemente za podešavanje Fluidsim svrstava pod istu kategoriju koja se zove „supply elements“.

*Tabela 1*  
Simboli izvornih elemenata u Festo Fluidsim-u

Naziv elementa	Simbol
Izvor sabijenog zraka	
Kompresor	
Promjenljivi kompresor	
Jedinica za servis zraka	
Rezervoar zračnog pritiska	
Zračni filter	

### **3.1.1 IZVOR SABIJENOG ZRAKA**

Izvor sabijenog zraka je izvor kojeg karakteriše podesivost njegovog radnog pritiska (0-2 MPa) i brzine protoka (0-5000 l/min).



**Slika 2.** Izvor sabijenog zraka (engl. compressed air supply)

### **3.1.2 KOMPRESOR**

Zračni kompresor povećava pritisak ulaznog zraka tako što smanjuje njegovu zapreminu. Može raditi na pritisku od 0 pa do 2 MPa, te se max. brzina protoka kreće od 0-5000 l/min. Obični kompresor ne karakteriše podesivost radnog pritiska, za razliku od podesivog kompresora.



**Slika 3.** Kompresor (engl. compressor)



**Slika 4.** Podesivi kompresor (engl. variable compressor)

Korisne matematičke jednačine:

$$C_2 = C_1 \times \frac{p_2 + 14.7}{p_1 + 14.7}, \quad (1)$$

gdje je:

- $C_2$  potrebni protok pneumatskog sistema [ $\frac{l}{min}$ ],
- $C_1$  poznati protok na ulazu u kompresor [ $\frac{l}{min}$ ],
- $p_2$  željeni pritisak [pA],
- $p_1$  poznati pritisak [pA].

Primjer:

Podesivi kompresor pri ulaznom protoku od 320 [l/min] daje pritisak od 85 [Pa]. Potreban nam je pritisak od 125 [Pa]. Izračunati protok da bi obezbedijedili potrebni pritisak.

Uvrštavajući vrijednosti u jednačinu (1) dobijamo:

$$C_2 = 320 [l/min] \times \frac{125 [Pa] + 14.7}{85[Pa] + 14.7} = 448.39 [l/min]$$

### 3.1.3 JEDINICA ZA SERVIS ZRAKA

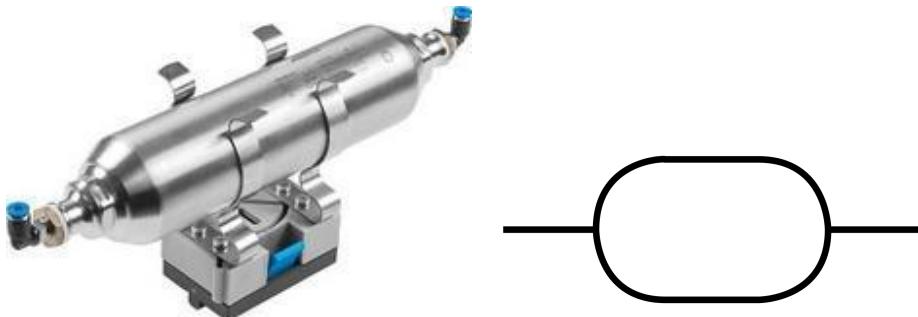
Jedinica za servis zraka se u pneumatskom sistemu obično nalazi odmah poslije kompresora. Funkcija ove jedinice je uklanjanje čestica prašine i vlage iz pneumatskog sistema. Jedinica za servis zraka se sastoji iz: filtera, regulatora pritiska i lubrikatora (lubrikator unosi kontrolisanu količinu ulja u sistem kompresovanog zraka kako bi smanjio trenje pokretnih komponenti). Može raditi na pritisku do 2 [MPa] i na protoku do 5000 [l/min].



**Slika 5.** Jedinica za servis zraka (engl. air service unit)

### 3.1.4 REZERVOAR ZRAČNOG PRITISKA

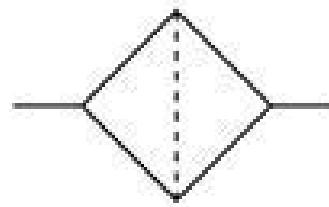
Rezervoari zračnog pritiska (pneumatski rezervoari) se koriste u onom pneumatskom sistemu u kojem je često potrebna kompenzacija pritiska zbog nestabilnosti koje se mogu desiti u sistemu. Maksimalna zapremina ovog rezervoara je 1000 [l].



**Slika 6.** Rezervoar zračnog pritiska (engl. air pressure reservoir)

### 3.1.5 ZRAČNI FILTER

Zračni filter je komponenta pneumatskog sistema sastavljena od vlaknastih (poroznih) materijala koja uklanja čvrste čestice poput prašine, polena, bakterija itd. U pneumatskom sistemu se postavlja obično poslije kompresora.



Slika 7. Zračni filter (engl. air filter)

## 3.2 AKTUATORI

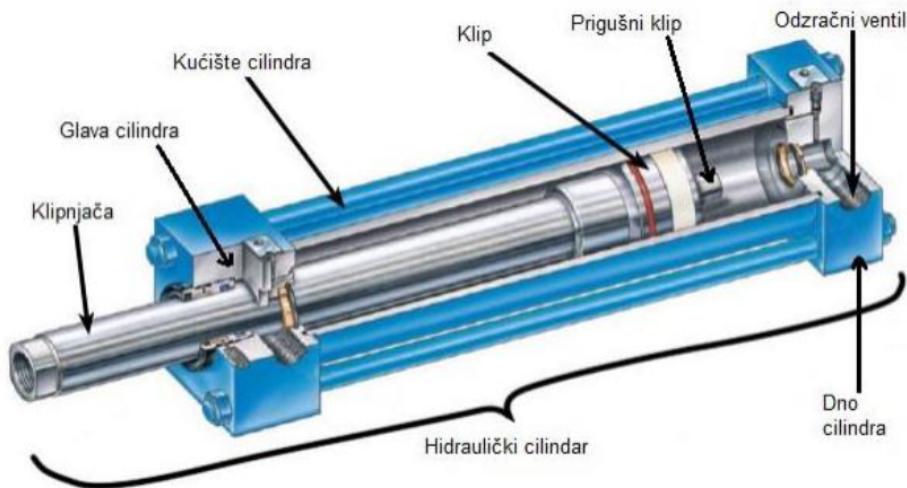
Aktuator je sprava kojom se na pobudu upravljačkog sistema pokretni dijelovi sistema dovode u željeni položaj, ostvaruje se njihovo kretanje ili razvija sila ili moment sile kojem ti dijelovi djeluju na okolinu. Predstavljaju izvršne organe pneumatskog sistema što znači da mogu vršiti mehanički rad. U Fluidsim-u aktuatore i objekte aktuacije povezujemo pomoću labela. Razlikujemo sljedeće pneumatske aktuatore: cilindre sa jednostrukim djelovanjem, cilindre sa dvostrukim djelovanjem, zračne motore i polurotacijske aktuatore.

*Tabela 2*  
Simboli aktuatora u Festo Fluidsim-u

Naziv elementa	Simbol
Cilindar sa jednostrukim djelovanjem (engl. Single acting cylinder)	
Cilindar sa dvostrukim djelovanjem (engl. Double acting cylinder)	
Zračni motor (engl. Air morit)	
Polurotacijski aktuator (engl. Semi-rotary actuator)	

### 3.2.1 CILINDRI

Pneumatski cilindri ili zračni cilindri su relativno jednostavne mehaničke sprave koje koriste energiju sabijenog zraka i pretvaraju je u linearno kretanje. Najčešći dizajn cilindra sastoji se od cilindra zatvorenog na oba kraja, sa zatvaračem (poklopcem) na jednom kraju i glavi na drugom kraju (prednji zatvarač sa otvorom za klipnjaču).



Slika 8. Presjek cilindra

Analizirajmo cilindar sa prethodne slike.

Cilindar sadrži klip na koji je pričvršćena klipnjača (štap klipa). Klipnjača se može kretati prema vani (lijevo na slici) ili prema unutrašnjosti cilindra posredstvom sabijenog zraka (desno na slici).

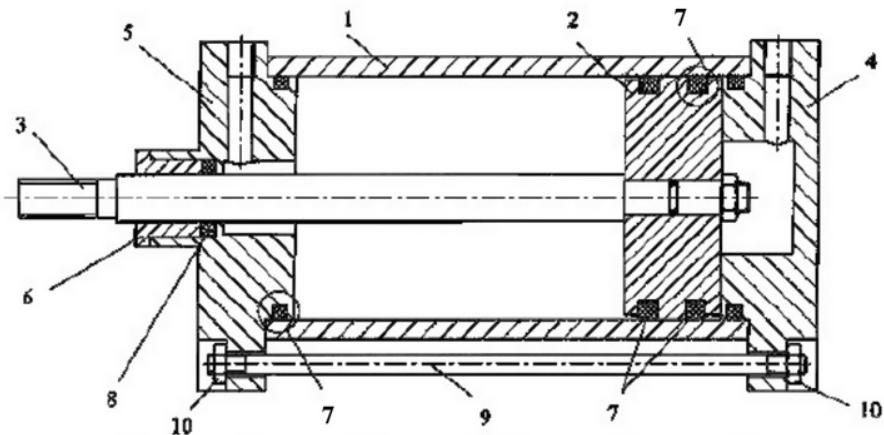
Postoje dvije glavne vrste cilindra: cilindar sa jednostrukim djelovanjem i cilindar sa dvostrukim djelovanjem.

Brzina klipa obično je 1-2 m/s (maksimalno do 10 m/s), hod (rastojanje koju prelazi klip u cilindru klipnog motora kretajući se za vrijeme radnog takta između svojih krajnjih tačaka): do 2,5 m (maksimalno do 12 m – za cilindre bez klipnjače), promjer cilindra: do 500 mm, sila: do 30 kN. Koeficijent korisnog djelovanja obično se kreće u granicama  $\eta = 70\text{-}90\%$ . Brte obično podnose temperaturu od  $-20$  do  $200$  °C. Klip klipnjača i košuljica su obično čelični, a za košuljicu se poneki puta koriste aluminij ili bronza.

Cilindri sa jednostrukim djelovanjem imaju samo 1 ulaz koji se obični nalazi na kraju cilindra. Drugi kraj cilindra ispušta zrak u okolinu. Dovodenjem pritiska na ulaz cilindra sa jednostrukim djelovanjem postižemo izduženje klipa i klipnjače. Cilindri sa jednostrukim djelovanjem obično

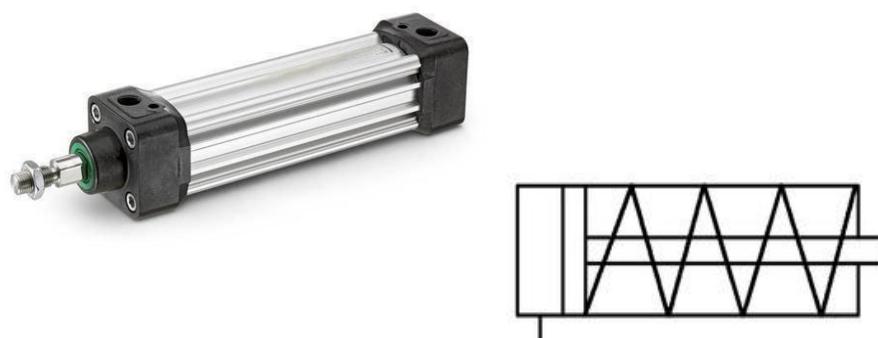
koriste gravitaciju, mehaničko kretanje ili povratno oprugu za vraćanje klipa i klipnjače na početni položaj.

Cilindre sa dvostrukim djelovanjem karakterišu 2 ulaza od kojih jedan isteže klip cilindra, a drugi ga vraća na početni položaj pa se zato zove i dvoradni cilindar.

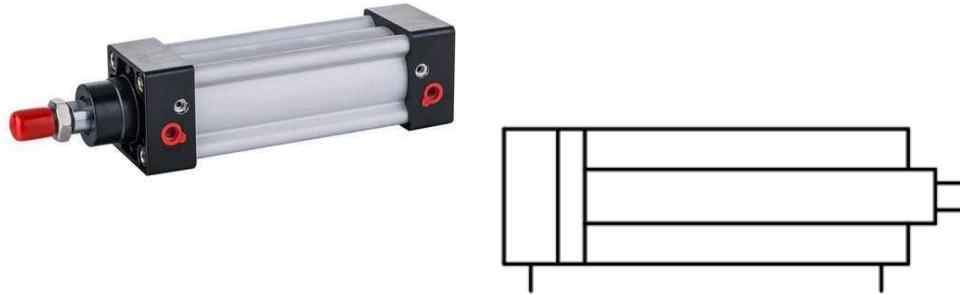


Sl. 4.1 Dvoradni klipni cilindar [6]: 1 – cilindar, 2 – klip, 3 – klipnja ča, 4 – prednji poklopac, 5 – stražnji poklopac, 6 – očnica, 7-8 – brtve, 9 – šipka, 10 - matica

**Slika 9.** Presjek cilindra sa dvostrukim djelovanjem (dvoradni cilindar)



**Slika 10.** Cilindar sa jednostrukim djelovanjem (engl. single acting cylinder)



**Slika 11.** Cilindar sa dvostrukim djelovanjem (engl. double acting cylinder)

Korisne matematičke jednačine:

$$F = A \cdot p - F_c \quad (2)$$

$$q = A \cdot v \quad (3)$$

$$v = v_R - v_C \quad (4)$$

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

$$F_c = (x - x_E) \cdot K_p \cdot v \text{ ako je } x > x_E, v > 0$$

$$F_c = (x - x_R) \cdot K_p \cdot v \text{ ako je } x > x_R, v < 0 \quad (6)$$

$F_c = 0$ , u ostalim slučajevima

$$x_E = S - x_0 \quad (7)$$

$$x_R = -x_0 \quad (8)$$

gdje je:

*Tabela 3*  
Mjerne veličine pri radu sa cilindrima

Oznaka	Značenje	Mjerne jedinice
$F$	Sila koju proizvodi cilindar	N
$v$	Brzina klipa cilindra	$\frac{m}{s}$
$v_R, v_C$	Apsolutne brzine klipa cilindra i kućišta, respektivno	$\frac{m}{s}$
$A$	Površina klipa	$m^2$
$p$	Pritisak na ulazu u cilindar	Pa
$q$	Protok na ulazu u cilindar	$\frac{m^3}{s}$
$x$	Pozicija klipa	m
$x_0$	Početna razdaljina između klipa i prednjeg poklopca	m
$F_c$	Sila prisilnog zaustavljanja	N
$x_E$	Razdaljina potrebna klipu da se potpuno izduži, relativna početnom položaju	m
$x_R$	Razdaljina potrebna klipu da se potpuno sabije, relativna početnom položaju	m
$K_p$	Koeficijent penetracije (prodiranja)	$\frac{Ns}{m^2}$
$S$	Maksimalni hod klipa cilindra	m

Primjer:

Izračunati silu koju proizvodi cilindar ako je kućište stacionarno, brzina klipa cilindra iznosi 50 [m/s], površina klipa cilindra iznosi  $0.2 [m^2]$ , pritisak na ulazu u cilindar iznosi 10 [MPa], maksimalni hod cilindra je 0.5 [m], početna razdaljina klipa i prednjeg poklopca je 0.4 [m], a koeficijent prodiranja 100.

Izračunajmo prvo razdaljinu potrebnu klipu da se potpuno izduži relativnu početnom položaju, te razdaljinu potrebnu klipu da se potpuno sabije relativnu početnom položaju prema jednačinama (7) i (8) respektivno. Dobijamo sljedeće:

$$x_E = 0.5[m] - 0.4[m] = 0.1[m] \quad (9)$$

$$x_R = -0.4[m] \quad (10)$$

Pošto je  $x_0 > x_E$  slijedi da je:

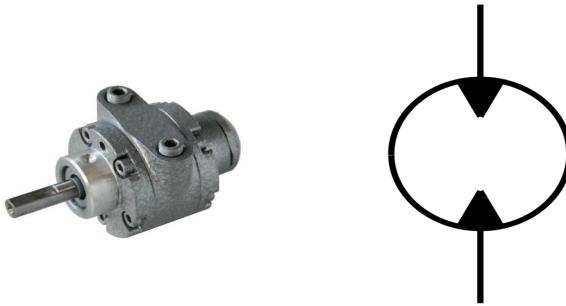
$$Fc = (0.4[m] - 0.1[m]) \cdot 100 \left[ \frac{Ns}{m^2} \right] \cdot 50 \left[ \frac{m}{s} \right] = 15 [kN] \quad (11)$$

Prema jednačini (2) dobijamo:

$$F = 0.2 [m^2] \cdot 10^7 [Pa] - 15[kN] = 1985 [kN] \quad (12)$$

### 3.2.2 ZRAČNI MOTOR

Pneumatski ili zračni motori su rotacijski izvršni elementi kojima se ostvaruje kontinuirano kružno kretanje osovine motora. U odnosu na kompresore u motorima se vrši suprotno pretvaranje energije (pretvaranje energije pritiska zraka u mehanički rad). Konstrukcija motora i kompresora je slična, a ponekad identična, tada se ista sprava može koristiti kao motor i kompresor. Kod nekih konstrukcija motora je smjer obrtanja proizvoljan, a promjena smjera se postiže promjenom priključka za sabijeni zrak.



Slika 12. Zračni motor (engl. pneumatic motor)

Korisne matematičke jednačine:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (13)$$

$$M = I \omega, \quad (14)$$

gdje je:

- E - kinetička energija

- M - moment sile
- I - moment inercije
- $\omega$  - ugaona brzina.

### 3.2.3 POLUROTACIJSKI AKTUATOR

Polurotacijski aktuator je aktuator sličan pneumatskom motoru. Razlika u odnosu na pneumatski motor je to što polurotacijski aktuator ima hod 0 - 180° za razliku od pneumatskog motora koji se koristi za kontinualno okretanje. Koriste se za okretanje komponenti, aktivaciju ventila i za mehaničko upravljanje u sistemu. Obično se sastoje od dva cilindra sa jednostrukim djelovanjem i konvertora linearnog kretanja u rotaciono kretanje.



**Slika 13.** Polurotacijski aktuator (engl. semi-rotary actuator)

Korisne matematičke jednačine:

$$i = \frac{2\pi\varphi_{max}}{s_{max} \cdot 360^\circ}, \quad (15)$$

$$F = i \cdot \tau = p \cdot A - F_{tr}, \quad (16)$$

gdje je:

- $i$  - odnos prijenosa [ $\frac{1}{m}$ ]
- $\varphi_{max}$  - maksimalni ugao rotacije [°]
- $s_{max}$  - maksimalni hod [m]
- $F$  - sila klipa [N]
- $\tau$  - moment sile osovine [Nm]
- $p$  - pritisak [Pa]
- $A$  - površina [ $m^2$ ]
- $F_{tr}$  - sila trenja [N].

Primjer: Izračunati silu klipa polurotacijskog aktuatora ako je maksimalni ugao rotacije  $140^\circ$ , maksimalni hod 0.2 [m], te moment sile osovine 100 [Nm].

Prema jednačini (15) slijedi:

$$i = \frac{2\pi \cdot 140^\circ}{0.2 [m] \cdot 360^\circ} = 12.22 \left[\frac{1}{m}\right]. \quad (17)$$

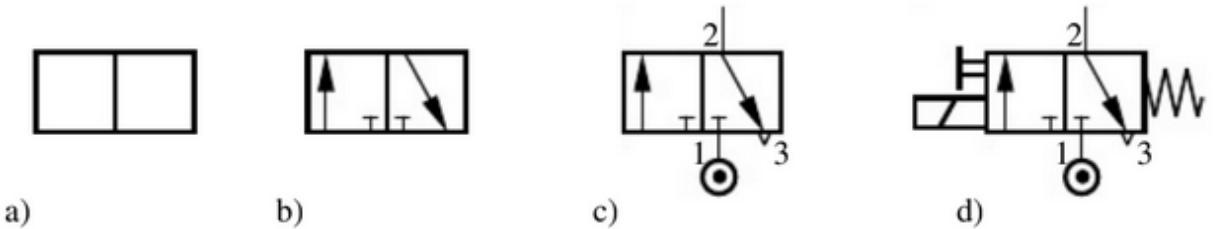
Zatim iz jednačine (16) imamo:

$$F = i \cdot \tau = 12.22 \left[\frac{1}{m}\right] \cdot 100 [Nm] = 1222 [N]. \quad (18)$$

### 3.3 VENTILI

Ventili u pneumatici predstavljaju pneumatske upravljačke elemente. To su uređaji za regulacije i usmjeravanje radnog medija. Moguće funkcije ventila uključuju: propuštanje, zaustavljanje i promjenu smjera medija; regulaciju protoka i pritiska. U pneumatskom upravljanju ventili prenose energiju i/ili informaciju.

U pneumatskim shemama koriste se simboli ventila koji prikazuju njihovu funkciju (ne konstrukciju). Ventil se prikazuje kvadratnim simbolima – broj kvadrata odgovara broju mogućih razvodnih položaja danog ventila (a). Strelice ucrtane u polja (kvadrate) prikazuju razvodne putove i smjer protoka medija (b). Zatvoren put označava se poprečnom crtom unutar polja (tj. strelicama na simbolima). Dovodni i odvodni priključci ucrtavaju se na polju nultog (mirnog) položaja (položaj koji ventil zauzima kad na njega ne djeluje upravljački signal) ili na polju polaznog položaja, ako ventil nema nultog položaja (c). Dovodne priključke označavamo slovima P ili R, a odvodne priključke slovima A, B ili C. Način aktiviranja označava se sa strane (d) – u ovom slučaju oprugom i kombinirano: elektromagnetom ili ručno.



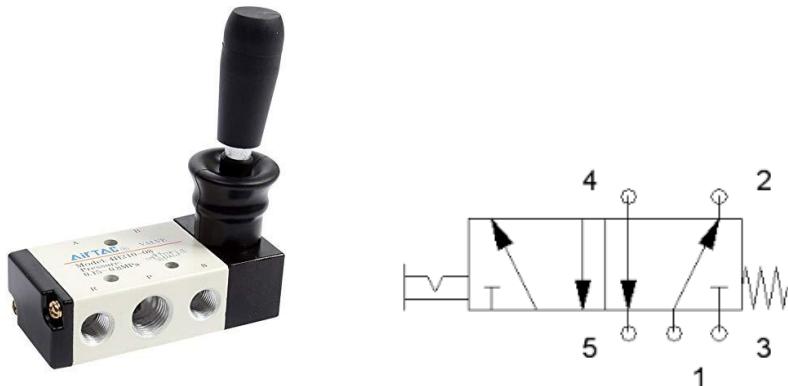
**Slika 14.** Značenje simbola ventila

### 3.3.1 RAZVODNI VENTILI

Razvodni ventili usmjeravaju tok radnog medija propuštanjem, zatvaranjem ili promjenom smjera toka. Razvodni ventili se razlikuju po tipu, veličini, načinu aktiviranja, dužini trajanja signala i konstrukciji.

Tip razvodnog ventila određen je brojem priključaka i razvodnih položaja, npr. 3/2 razvodni ventil sa 3 priključka i dva razvodna položaja.

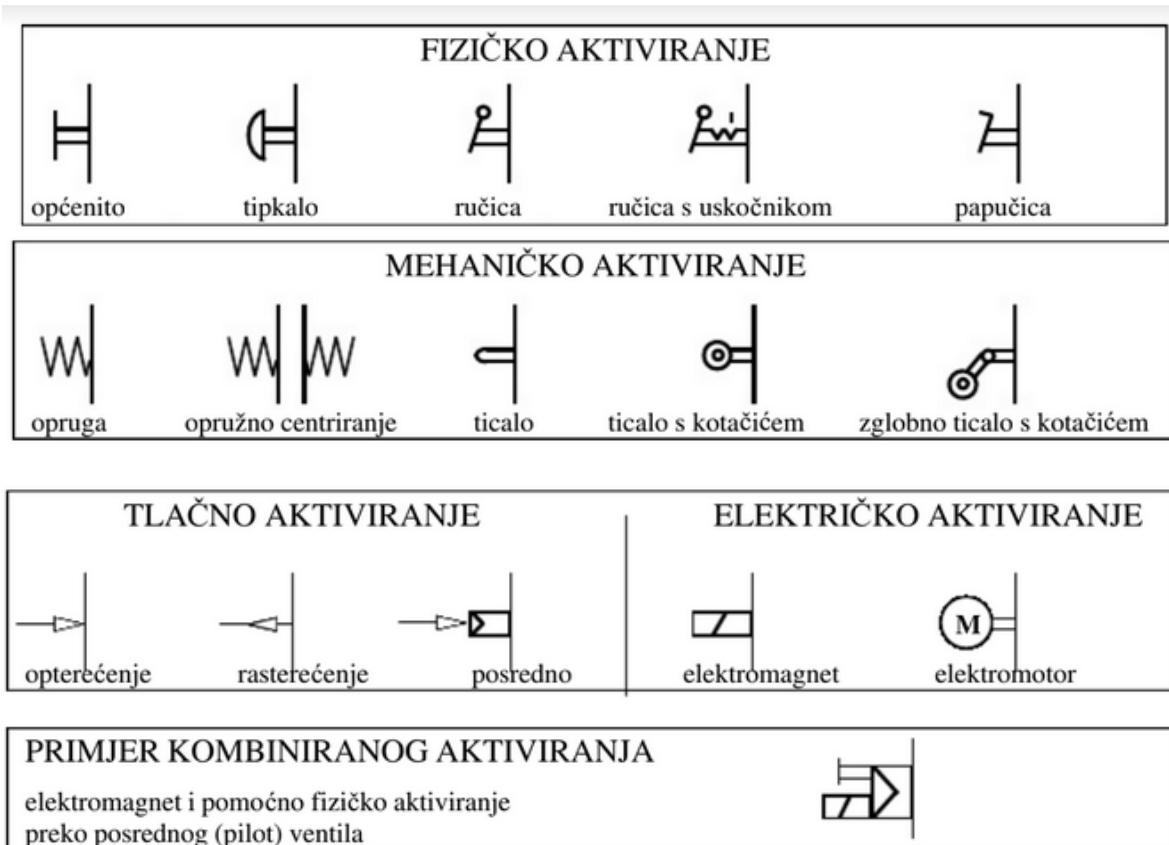
Aktiviranje razvodnih ventila može biti posredno i neposredno. Mogući načini aktiviranja razvodnog ventila su fizičko, mehaničko, pomoću pritiska, električno i kombinovano.



**Slika 15.** 5/2 razvodni ventil (engl. 5/2 configurable directional valve)

Analizirajmo ventil sa prethodne slike. Imamo 2 razvodna položaja koja propuštaju u oba smjera. U početnom položaju priključci 1 i 2 se ponašaju kao normally closed kontakt, a priključci 1 i 4

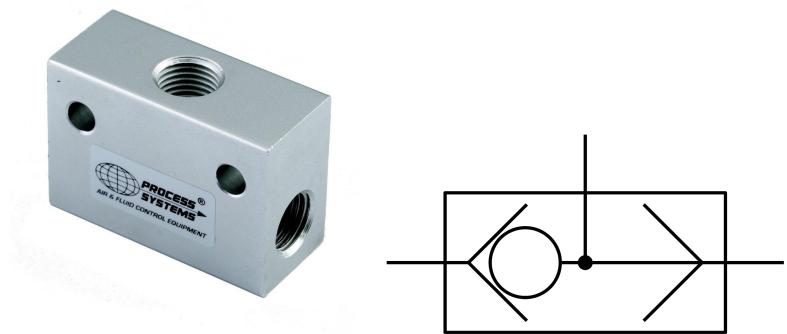
kao normally open kontakt. Također, priključci 5 i 4 su u prvom razvodnom položaju spojeni, dok u drugom razvodnom položaju priključak 5 nije vezan ni sa čim. Za priljučke 3 i 2 vrijedi suprotna situacija. Oni nisu spojeni u prvom razvodnom položaju, a jesu u drugom.



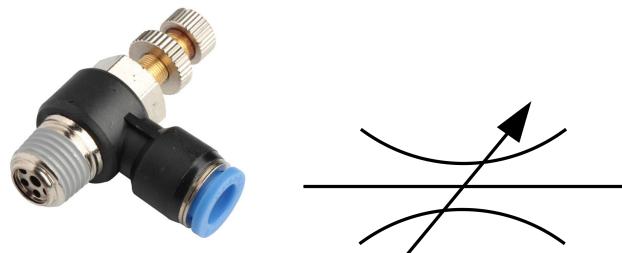
Slika 16. Načini aktiviranja razvodnih ventila

### 3.3.2 VENTILI ZA KONTROLU PROTOKA

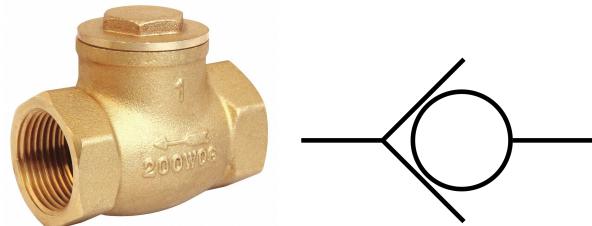
Protočni ventili djeluju na protok radnog fluida, a posredno i druge veličine koje zavise od protoka odnosno brzine fluida. Koriste se prigušeni (prigušuju u oba smjera) i jednosmjerne prigušeni (prigušuju u jednom smjeru) ventili za kontrolnu protoku. Primjeri ovakih ventila su throttle ventil, shuttle ventil, mlaznica, kontrolni ventili itd.



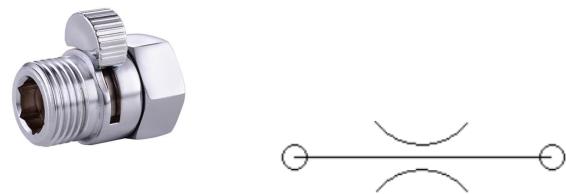
Slika 17. Shuttle ventil (engl. Shuttle valve)



Slika 18. Throttle ventil (engl. Throttle valve)



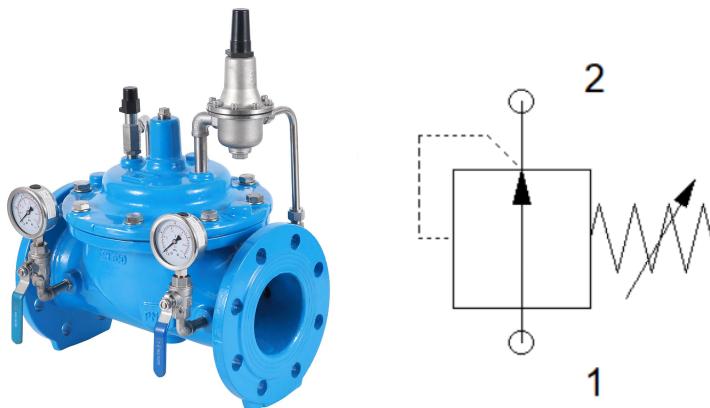
Slika 19. Kontrolni ventil (engl. Control valve)



Slika 20. Mlaznica (engl. nozzle)

### 3.3.3 VENTILI ZA KONTROLU PRITISKA

Ventili za kontrolu pritiska koriste se za regulaciju pritiska radnog fluida, kao i za niz drugih funkcija baziranih na pritisku. Ventili za kontrolu pritiska se dijele na regulatore pritiska, sigurnosne ventile i proslijedne ventile.



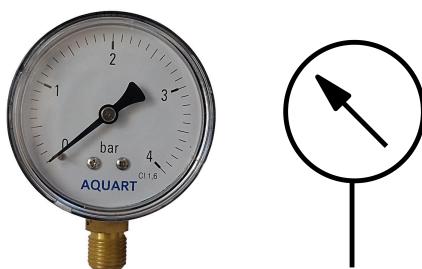
Slika 21. Ventil regulator pritiska (engl. pressure regulator valve)

### 3.4 PNEUMATSKI SENZORI I INDIKATORI

Pneumatski senzori se koriste tamo gdje je potrebno odrediti pritisak ili protok u određenom dijelu sistema. Indikatori pritiska ili protoka su naprave koje mjereni pritisak ili protok prikazuju na određenoj skali, dok senzori pritiska ili protoka pretvaraju mjerenu veličinu (pritisak ili protok) u izlazni električni signal. Senzore možemo podijeliti na analogue i digitalne.

#### 3.4.1 MANOMETAR

Manometar je mjerni instrument koji prikazuje razliku pritiska nekog medija (plina ili tečnosti) i referentnog pritiska (obično atmosferskog). Uobičajene konstrukcije su staklena cijev oblika slova U ispunjena živom ili vodom (U-manometar) te različiti elastični elementi koji mijenjaju oblik (Bourdonova cijev, mijeh, membrana).

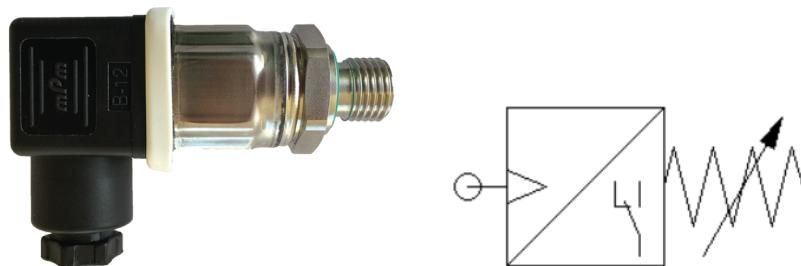


Slika 22. Manometar (engl. manometer)

### 3.4.2 SENZOR PRITISKA

Senzor pritiska je senzor koji pretvara ulazni mehanički pritisak fluida u izlazni električni signal. Sastoje se iz elementa osjetljivog na pritisak (membrana, kapsula, mijeh, Burdonova cijev) i elektroničkih komponenti koje pretvaraju promjene pritiska u električni signal tj. transducera. Transducer je svaki uređaj koji pretvara neki oblik energije (npr. sila, pritisak, ubrzanje) u čitljivi električni signal. Transduceri se dijeli na aktivne (ne zahtijevaju vanjski izvor energije) i pasivne (zahtijevaju vanjski izvor energije).

Prema načinu mjerjenja pritiska senzore pritiska dijelimo na senzore diferencijalnog pritiska i senzore apsolutnog pritiska.



Slika 23. Senzor pritiska (engl. pressure sensor)

### 3.4.3 SENZOR PROTOKA

Senzor protoka je senzor koji pretvara ulazni protok fluida u izlazni električni signal. Postoji mnogo različitih vrsti senzora protoka, a uopšteno se dijele na senzore protoka zapremine i senzore protoka mase, te na kontaktne i beskontaktne senzore.



Slika 24. Senzor protoka (engl. flow meter)

## IV ELEKTRIČNE KOMPONENTE

Električne komponente su sastavni dio elektropneumatskog sistema. U Fluidsim ih dijelimo u 6 osnovnih grupa: izvore, aktuatori, mjerne instrumente i senzore, releje, prekidače i kontrolere.

### 4.1 IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE

U programu Festo Fluidsim kao izvore električne energije koristimo istosmjerni izvor vrijednosti 24 [V] sa odgovarajućim ground (masa) priključkom, te generator funkcija i programabilni generator funkcija.



Slika 25. Baterija 24V i simboli kontakta (engl. Battery 24 [V])

#### 4.1.1 GENERATOR FUNKCIJA

Generator funkcija je elektronski instrument koji je u stanju da proizvodi izlazne napone raznih oblika. Svi generatori funkcija u sebi imaju oscilator kao izvor signala. Minimalne kontrole signal generatora su za promjenu amplitude i frekvencije izlaznog signala. Većina uređaja ima čitav niz dodatnih funkcija.



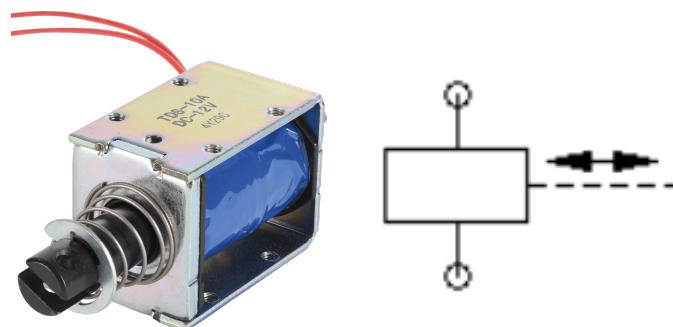
Slika 26. Generator funkcija (engl. Function generator)

## 4.2 ELEKTRIČNI AKTUATORI

Električni aktuatori su vrsta izvršnih organa koji pretvaraju električnu energiju u mehaničko kretanje. U Fluidsim-u razlikujemo sljedeće električne aktuatore: DC motore (istosmjerne motore) i solenoide. U Fluidsim-u aktuatore i objekte aktuacije povezujemo pomoću labela.

### 4.2.1 SOLENOID

Solenoid je uređaj koji se sastoji od provodne žice namotane na kućište i pokretnog klipa (armature) unutar kućišta. Kada električna struja proteče provodnicima solenoida u prostoru oko provodnika stvara se magnetno polje koje pokreće armaturu. Prema smjeru kretanja armature razlikujemo push i pull solenoide. Kod push solenoida djelovanjem indukovanih magnetnih polja armatura izlazi iz kućišta, dok kod pull solenoida djelovanjem magnetnog polja armatura ulazi u kućište.



Slika 27. Solenoid (engl. Solenoid)

### 4.2.2 DC MOTOR

Motori istosmjerne struje (DC motori) su električne mašine koje pretvaraju istosmjernu struju električne energije u mehaničku energiju. Dobijena mehanička energija je u obliku rotacionog kretanja. Motori istosmjerne struje mogu biti sa četkicama (brushed DC motor) i bez četkica (brushless DC motor). U Fluidsim-u moguće je podešavati moment sile i brzinu okretanja DC motora.



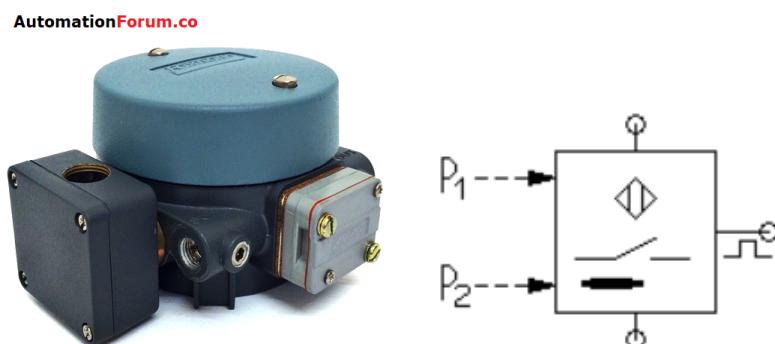
Slika 28. Motor istosmjerne struje (engl. Direct current motor)

## 4.3 ELEKTRIČNI SENZORI I INDIKATORI

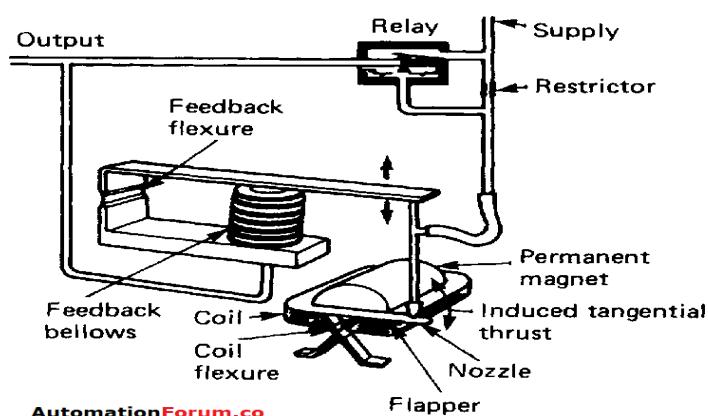
Električni senzor je uređaj koji promjenu mjerene fizičke veličine najčešće neelektrične (temperature, pritiska, vibracija, nivoa, sile, brzine itd.) pretvara u promjenu električne fizičke veličine (otpornosti, kapacitivnosti, induktivnosti, nadelektrisanja itd.). Električni senzor ostvaruje vezu između realnog svijeta sa jedna i električnih uređaja sa druge strane. Zadatak senzora je da da što tačniju informaciju o mjerenoj fizičkoj veličini. Senzori ne treba da budu osjetljivi na spoljašnje uticaje iz okruženja. U programu Fluidsim razlikujemo sljedeće električne senzore: voltmetar, ampermetar, elektropneumatski pretvarač i enkoder pomaka.

### 4.3.1 ELEKTROPNEUMATSKI PRETVARAČ

Elektropneumatski pretvarač (pneumatic to electric converter) je uređaj koji obezbjeduje spregu između električnog i pneumatskog dijela elektropneumatskog sistema. On može da pretvara električnu struju u proporcionalni zračni pritisak ili da pomoću električne struje kontroliše ventil kroz koji kompresovani zrak prolazi na putu do aktuatora.



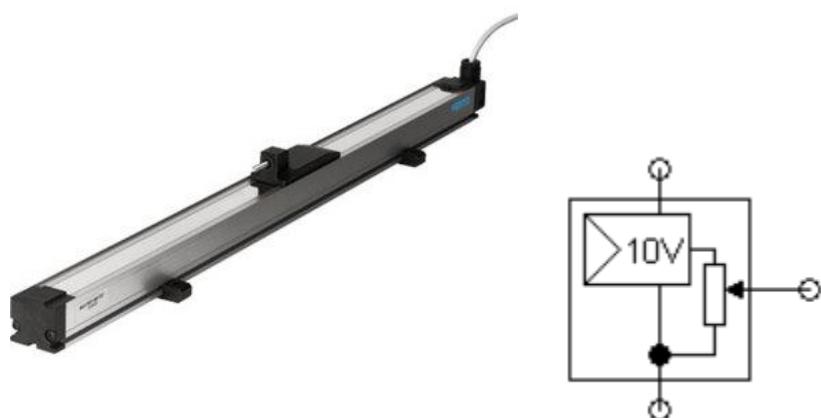
Slika 29. Elektropneumatski pretvarač (engl. Pneumatic to electric converter ili Electropneumatic converter)



Slika 30. Konstrukcija elektropneumatskog pretvarača

### 4.3.2 ENKODER POMAKA

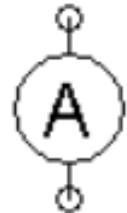
Enkoder pomaka je klizni potenciometar sa uzdužnim kontaktom. Na svom izlazu daje naponski signal proporcionalan poziciji klizača na kontaktu. Vrijednost napona na izlazu može biti od -10 [V] do 10 [V], te korisnik može odabrati uži naponski opseg (npr. od 0 [V] do 2 [V]). Enkoder pomaka u Fluidsim-u koristimo kao senzor pozicije klipnjače jednoradnog i dvoradnog cilindra. Minimalna vrijednost napona napajanja enkodera pomaka je 13 [V].



Slika 31. Enkoder pomaka (engl. Displacement encoder)

### 4.3.3 AMPERMETAR

Ampermetar je mjerni instrument namijenjen mjerenuju jakosti električne struje u električkim krugovima. Postoje razne izvedbe ampermetara: galvanometar s pomičnim magnetom, ampermetar s mekim željezom, galvanometar (ampermetar) sa zakretnim svitkom, ampermetar u elektrodinamskoj izvedbi, ampermetar s vrućom žicom, digitalni ampermetar, ampermetar sa strujnim transformatorom i ampermetar s Hallovim senzorom. Ampermetar se veže serijski u granu električnog kruga čiju struju želimo da mjerimo.



**Slika 32.** Ampermetar (engl. Ampermètre)

#### 4.3.4 VOLTMETAR

Voltmetar je mjerni instrument kojim se mjeri električni napon. Većina voltmetara u stvari mjeri električnu struju koja ovisi o mјerenom naponu i unutarnjem otporu instrumenta. Kako bi se smanjio utjecaj na mјereni krug nastoji se da taj otpor bude što veći i navodi se bilo kao stalna vrijednost, npr.  $1 \text{ M}\Omega$ , bilo kao vrijednost koja ovisi o mјernom području, npr.  $20 \text{ [k}\Omega/\text{V]}$ . Voltmetar vežemo paralelno elementu električnog kruga na čijim krajevima želimo izmjeriti napon.

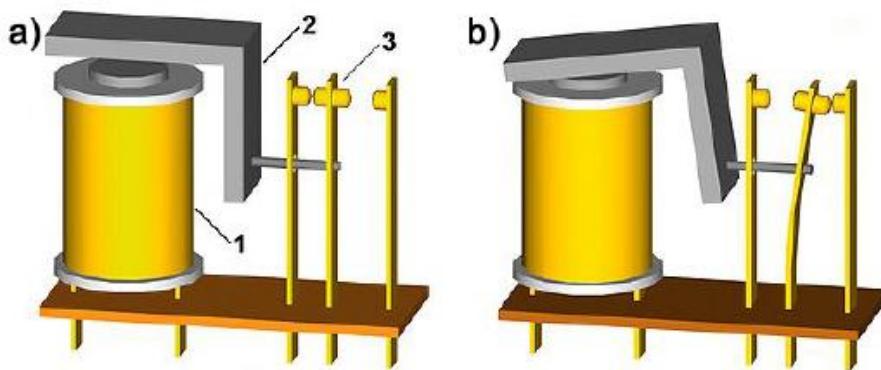


**Slika 33.** Voltmetar (engl. Voltmeter)

## 4.4 RELEJI

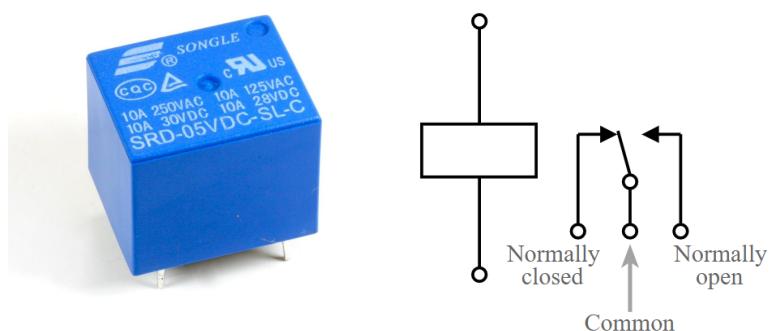
Relej je naprava koja se koristi za uspostavljanje ili prekidanje električnog kola pomoću elektromagneta koji otvara i zatvara strujne kontakte. Elektromagnet se obično sastoји od mnogobrojnih namotaja bakrene žice na željeznom jezgru. Kada struja teče kroz žicu (upravljačko kolo), oko elektromagneta se stvara magnetno polje koje privlači željeznu kotvu. Kotva nosi na sebi električne kontakte, koji onda otvaraju ili zatvaraju sekundarno strujno kolo (strujni krug).

Kada se prekine struja kroz elektromagnet, elektromagnet više ne privlači željeznu kotvu, i ona se vraća u početni položaj, obično uz pomoć opruge. Postoje normally open (normalno otvoreni), normally closed (normalno zatvoreni) i releji koji imaju i normally open i normally closed kontakte.

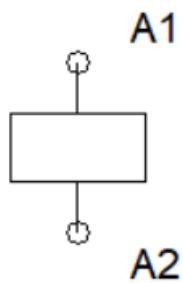


Slika 34. Konstrukcija releja

Na slici 34a, relej je isključen. Kontakti bliže elektromagnetu (žuti cilindar) su zatvoreni (normalno zatvoren kontakt – NC) a kontakti dalje od elektromagneta su otvoreni (normalno otvoren kontakt – NO). Na slici 34b, relej je uključen. Elektromagnetsko polje privlači kotvu koja pomjera srednji kontakt koji sad uspostavlja vezu sa desnim a prekida vezu sa lijevim.



Slika 35. Relej i simbol releja u praksi (engl. Relay)

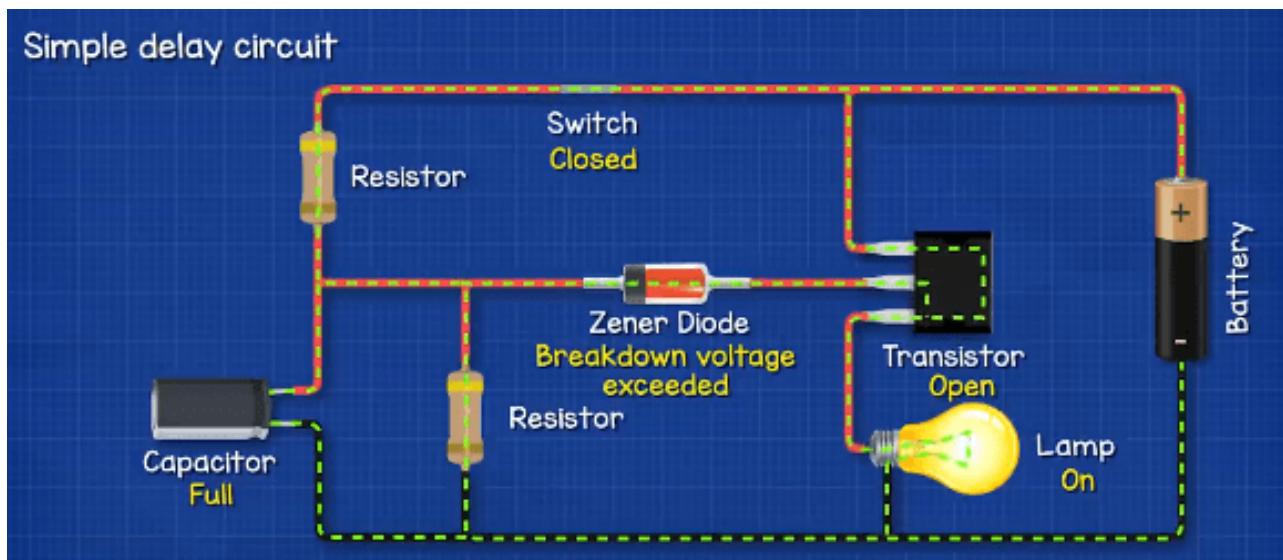


**Slika 36.** Simbol releja u Fluidsim-u

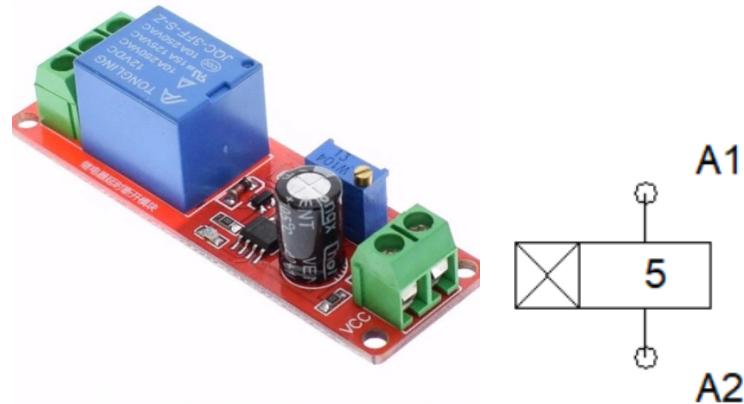
U Fluidsim-u radne i upravljačke krugove releja povezujemo labelima, te u kategoriju releji spadaju: relaj, relaj sa kašnjenjem uključivanja, relaj sa kašnjenjem isključivanja i elektromagnetski ventil.

#### 4.4.1 RELEJ SA KAŠNJENJEM UKLJUČIVANJA

Razlika releja sa kašnjenjem uključivanja u odnosu na obični relaj je postojanje elektroničkog timer-a (uglavnom konstruisanog od kondenzatora, otpornika, tranzistora i diodi). Kod ovakvih releja uspostavljanjem protoka struje kroz radni krug, kroz upravljački krug će proteći struja tek nakon nekog vremena u zavisnosti od postavke timer-a.



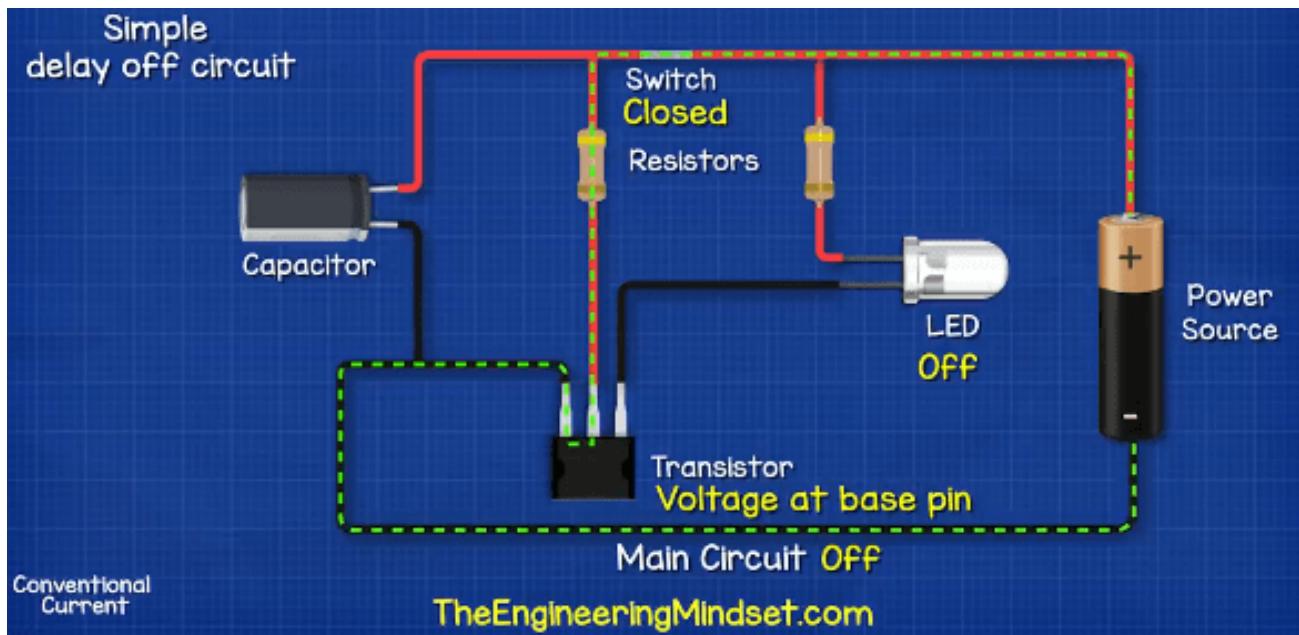
**Slika 37.** Timer kašnjenja uključivanja (engl. Switch-on delay timer)



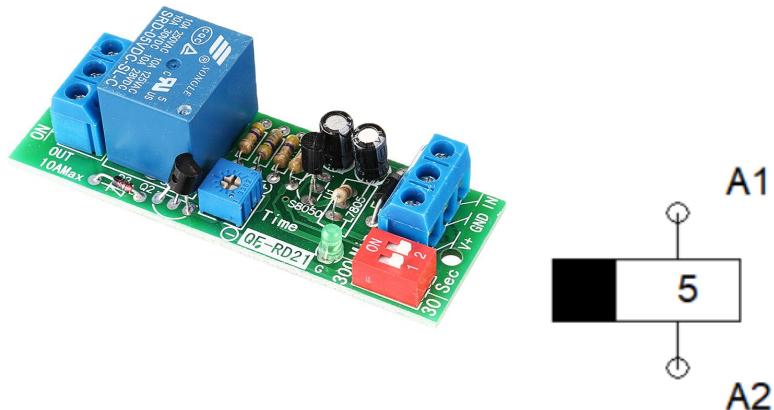
Slika 38. Relej sa kašnjenjem uključivanja (engl. Relay with switch-on delay)

#### 4.4.2 RELEJI SA KAŠNJENJEM ISKLJUČIVANJA

Razlika releja sa kašnjenjem isključivanja u odnosu na obični relej je postojanje elektroničkog timer-a (uglavnom konstruisanog od kondenzatora, otpornika, tranzistora i diodi). Kod ovakvih releja prekidanjem protoka struje kroz radni krug, kroz upravljački krug prestati će teći struja tek nakon nekog vremena u zavisnosti od postavke timer-a.



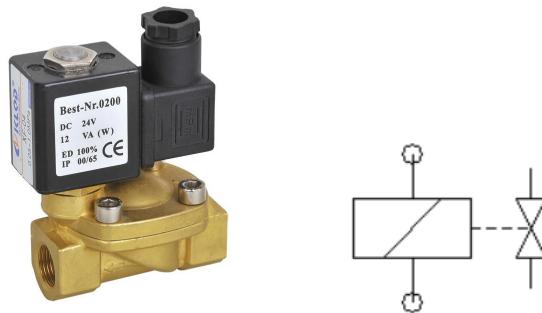
Slika 39. Timer kašnjenja isključivanja (engl. Switch-off delay timer)



Slika 40. Relej sa kašnjenjem isključivanja (engl. Relay with switch-off delay)

#### 4.4.3 ELEKTROMAGNETNI VENTIL

Elektromagnetni ventil je električni upravljan ventil kojim regulišemo protok fluida u nekom pneumatskom sistemu. Može se koristi i kao elektromagnetni aktuator razvodnih ventila. U središtu ventila nalazi se solenoid. Rad elektromagnetskog ventila zasniva se na kontroli solenoida koja je detaljnije objašnjena u poglavlju [4.2.1](#).

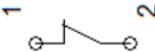
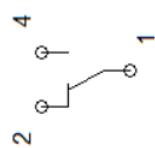
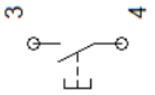
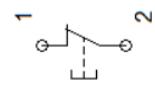
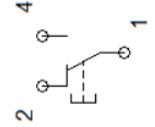


Slika 41. Elektromagnetni ventil (engl. Solenoid valve)

## 4.5 PREKIDAČI

U Fluidsim-u prekidače električnog kruga dijelimo na sljedeće kategorije: generalne prekidače i blizinske prekidače. Generalne prekidače dijelimo na prekidače koji zatvaraju električni krug (engl. make switch), prekidače koji prekidaju električni krug (engl. break switch) i prekidače koji mijenjaju električni krug (changeover switch). Ovi prekidači mogu biti u obliku gumba (push button) ili normalnog prekidača.

*Tabela 4*  
Simboli generalnih prekidača u Fluidsim-u

Naziv elementa	Simbol
Normalno otvoreni prekidač (engl. Make switch)	
Normalno zatvoreni prekidač (engl. Break switch)	
Changeover prekidač (engl. Changeover switch)	
Normalno otvoreni gumb (engl. Make pushbutton)	
Normalno zatvoreni gumb (engl. Break pushbutton)	
Changeover gumb (engl. Changeover pushbutton)	

#### 4.5.1 BLIZINSKI PREKIDAČI

Blizinski prekidači su vrsta prekidača koji se zatvaraju kada senzor blizine detektuje da je određeni predmet na nekoj udaljenosti od senzora. Prema tipu senzora koje koriste blizinski senzori se dijele na: kapacitivne, induktivne i optičke blizinske prekidače. Rad blizinskih senzora zasniva se na korištenju tranzistora kao prekidača.

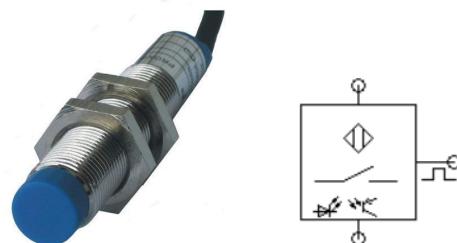
Induktivni senzori blizine detektuju promjene elektro-magnetsnog polja oko njih, kapacitivni senzori blizine detektuju promjenu elektrostatičkog polja oko njih, a optički senzori blizine detektuju promjenu svjetlosti na ulazu u senzor.



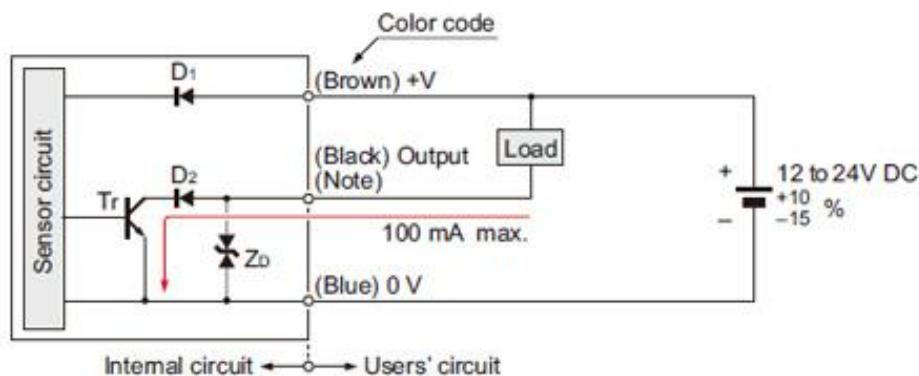
Slika 42. Kapacitivni blizinski prekidač (engl. Capacitive proximity switch)



Slika 43. Induktivni blizinski prekidač (engl. Inductive proximity switch)



Slika 44. Optički blizinski prekidač (engl. Optical proximity switch)



Slika 45. Električna shema induktivnog senzora blizine

## 4.6 KONTROLERI

U Fluidsim-u kontrolere dijelimo na: komparatore, PID kontrolere i status kontrolere.

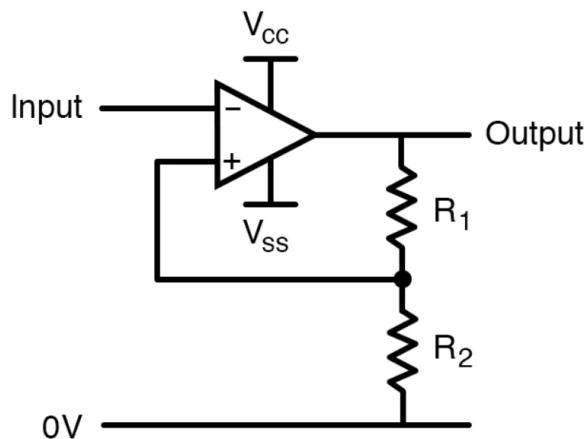
#### 4.6.1 KOMPARATOR

Komparator je elektronički uređaj koji poredi dva naponska ili strujna signala i na svom izlazu prikazuje koji je signal veći. Komparator karakterišu dva analogna ulaza  $V_+$  i  $V_-$  i jedan binarni izlaz  $V_0$ .

Za izlaz komparatora vrijede sljedeće jednačine:

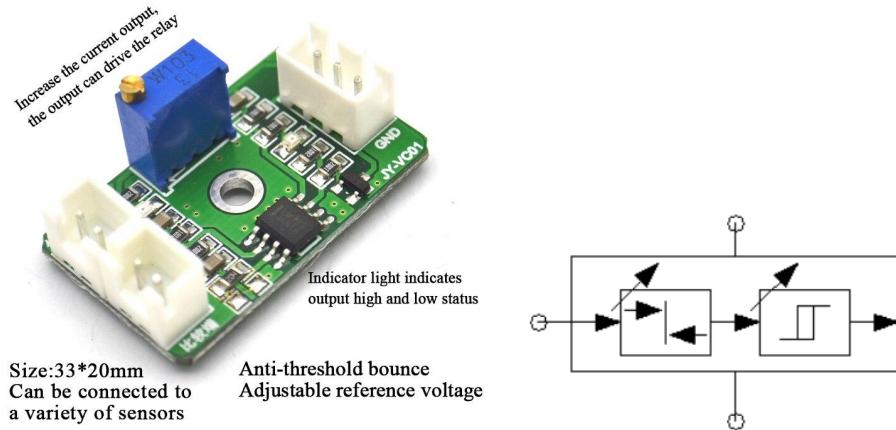
$$V_0 = 1, \text{ ako je } V_+ > V_-, \quad (19)$$

$$V_0 = 0, \text{ ako je } V_+ < V_-. \quad (20)$$



Slika 46. Električna shema komparatora

#### Voltage comparator module



Slika 47. Komparator (engl. Comparator)

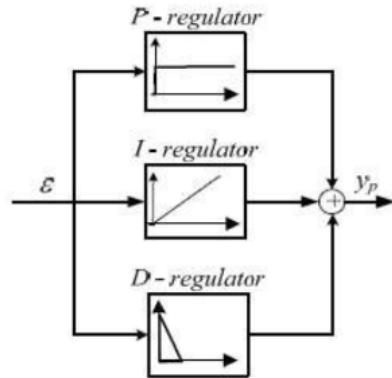
#### 4.6.2 PID KONTROLER

PID regulatori predstavljaju paralelnu vezu regulatora sa proporcionalnih, integralnim i diferencijalnim djelovanjem, što se može postaviti jednačinom:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_{t_0}^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (21)$$

$K_p$  je pojačanje proporcionalnog djelovanja,  $T_d$  derivacijsko vrijeme, a  $T_i$  integralno vrijeme ( $e(t)$  je signal greške, a  $u(t)$  regulacioni signal). Prenosna funkcija PID regulatora je:

$$G_{RPID} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right). \quad (22)$$



Slika 48. Blok shema PID kontrolera



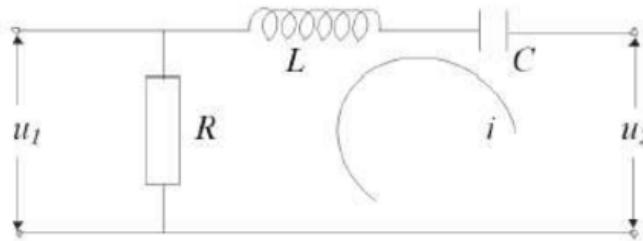
Slika 49. Odziv PID regulatora na odskočnu (step) pobudu

PID regulator ima tri podešiva parametra: pojačanje  $K_p$ , integralnu vremensku konstantu  $T_i$  i konstantu diferenciranja  $T_d$ .

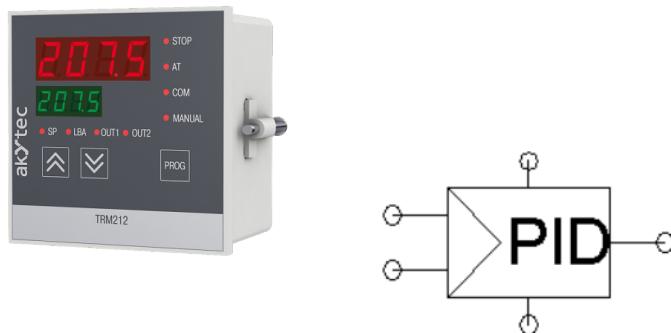
Povećanjem proporcionalnog P djelovanja regulatora, može se dobiti brži sistem koji će uz to imati manje trajno regulaciono odstupanje. Međutim pri tome sistem postaje skloniji oscilacijama. P član se ne može povećavati bez ograničenja.

Uvođenjem integralnog I djelovanja, eliminiše se trajno regulaciono odstupanje. Ipak, takvo djelovanje, posebno ako je pojačanje integralnog djelovanja značajno može loše uticati na stabilnost sistema.

Povećavanjem diferencijalnog D djelovanja regulatora, oscilacije u sistemu će se smanjivati, ali previelik prigušnjem možemo usporiti odziv.



**Slika 50.** Električni PID kontroler realizovan pomoću omskog otpornika, kalema i kondenzatora



**Slika 51.** PID regulator (engl. PID controller)

#### 4.6.3 STATUS KONTROLER

Status kontroler predstavlja uređaj za regulaciju pneumatskih pozicionih sistema (npr. kretanje klipnjače jednoradnog ili dvoradnog cilindra) i predstavlja kombinaciju sljedećih uređaja: diferencijalnih ulaza, komparatora, kontrolera brzine, kontrolera ubrzanja, proporcionalnog kontrolnog elementa, diferencijalnog kontrolnog elementa, integralnog kontrolnog elementa i pojačala. Status kontroler može kontrolisati tri parametra pneumatskih pozicionih sistema: brzinu, ubrzanje i poziciju, pa se zbog toga još naziva i triple-loop kontroler.



Slika 52. Status kontroler

## **V SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA**

Moderna industrija kakvu danas znamo nezamisliva je bez automatike i automatizacije. Pod pojmom automatizacije smatramo prijenos čovjekovog rada na strojeve i usko je vezana uz mehanizaciju. Dok mehanizacija oslobađa čovjeka fizički zahtjevnih poslova, automatizacija zamjenjuje čovjeka i u fizičkom, ali i umnom radu.

Stari proizvodni sistemi bili su vođeni relejnim sistemom upravljanja. To je bio spoj mnoštva elektromehaničkih releja povezanih žicom. Kada bi se proizvodni proces i najmanje promijenio, to bi značilo mukotrpno preslagivanje i ponovno spajanje releja u jednu funkcionalnu cjelinu. Za to vrijeme proizvodnja bi stajala i došlo bi do praznog hoda, što bi značilo ogromne gubitke po kompaniju.

Kako je danas težnja na što većoj produktivnosti i što većem profitu, relejni sistem upravljanja nije se uklapao u tu priču. Tako je nastala ideja o sistemu upravljanim programabilnim logičkim kontrolerom - PLC uređajem. PLC uređaji zamijenili su stari sistem upravljanja te su postavili novi standard u modernoj industriji. Glavna odlika ovih sistema jest da su modularni i fleksibilni, tako da se brzo mogu prilagoditi današnjoj dinamičnoj proizvodnji.

PLC je prvobitno bio zamišljen kao specijalizovani računarski uređaj koji se može programirati tako da obavi istu funkciju kao i niz logičkih ili sekvencijalnih elemenata koji se nalaze u nekom relejnog uređaju ili automatu. Postepeno, obim i vrsta operacija koju može da obavi PLC proširena je uključivanjem složenijih funkcija potrebnih za direktno digitalno upravljanje nekim sistemom.

U Fluidsim-u moguće je raditi i relejne sisteme upravljanja i sisteme upravljanja pomoću PLC-a.

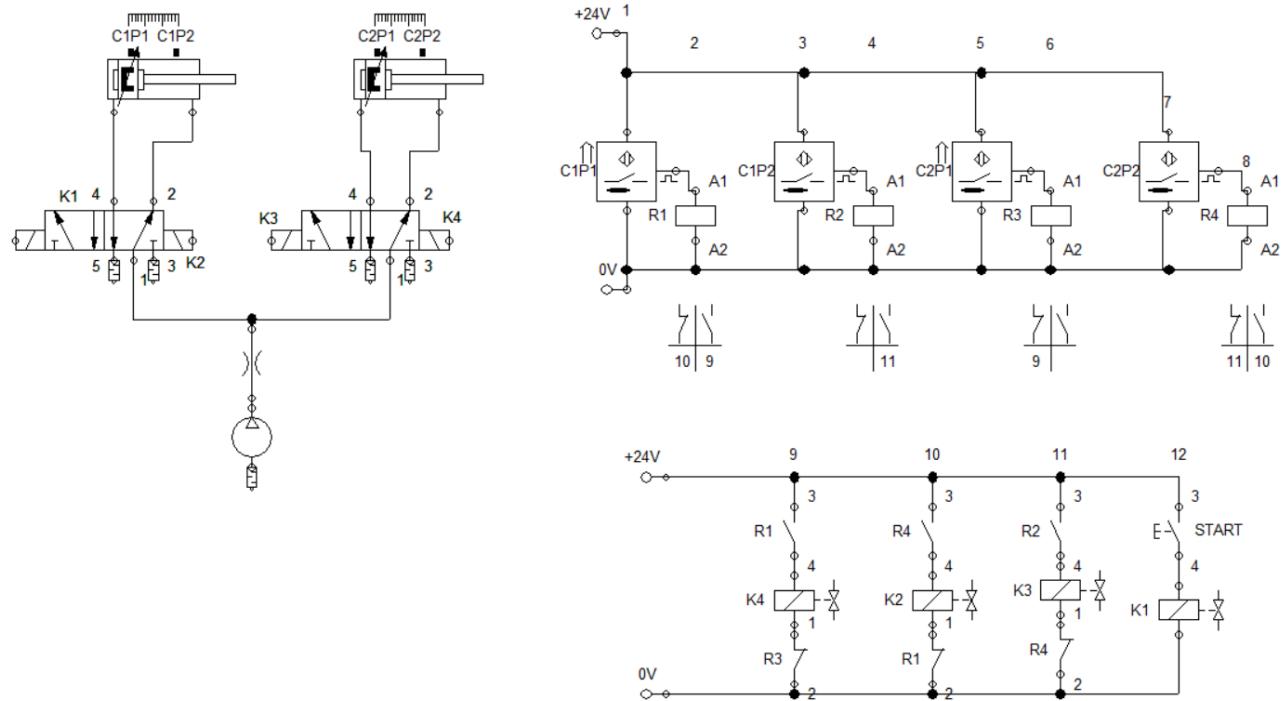
### **5.1 RELEJNI SISTEMI UPRAVLJANJA**

Relejni sistemi upravljanja zasnivaju se na korištenju sistema relejne logike. Sa logičkog aspekta svaki relē možemo posmatrati kao uređaj sa dva logička stanja (zatvoren relē i otvoren relē). Bit relejnog upravljanja je upotreba kombinacije senzora, relaja i solenoida u radu sa pneumatskim sistemom. Na sljedećoj slici nalazi se shema relejnog sistema upravljanja (prvi primjer) koji upravlja radom dva dvoradna cilindra (shema je nacrtana i simulirana u Fluidsim-u):

### 5.1.1 PRVI PRIMJER

Simulirati relejno upravljan sistem koji će pritiskom na gumb START:

1. Izdužiti lijevi cilindar
2. Izdužiti desni cilindar
3. Vratiti lijevi cilindar u početni položaj
4. Vratiti desni cilindar u početni položaj



Slika 53. Relejni sistem upravljanja dva dvoradna cilindra

Analizirajmo prethodnu sliku. Na slici se nalaze tri sheme, jedna pneumatska (gornja lijevo), a dvije električne (ove dvije električne sheme su se mogле kombinovati u jednu, ali su radi bolje preglednosti razdvojene).

Pnemuatska shema sastoji se od kompresora koji predstavlja izvor pneumatskog sistema, nozle (odmah poslije kompresora na shemi) kojom ograničavamo protok zraka na putu do razvodnih ventila, dva 5/2 razvodna ventila koji su spojeni na po jedan dvoradni cilindar u konfiguraciji prikazanoj na slici. Oba kraja 5/2 razvodnih ventila postavljeni su u režim elektromagnetskog upravljanja (upravljamo ih solenoidima) sa labelima K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> i K<sub>4</sub>. Na svakom dvoradnom cilindru labelom su označena po 2 raspona izduženja klipnjače cilindra. Za labele C<sub>1</sub>P<sub>1</sub> i C<sub>2</sub>P<sub>1</sub> odabrani su rasponi izduženja klipnjače od 0 [mm] do 10 [mm], a za labele C<sub>1</sub>P<sub>2</sub> i C<sub>2</sub>P<sub>2</sub> odabrani su rasponi izduženja klipnjače od 90 [mm] do 100 [mm].

Električni krug (gore desno) sastoji se od 4 releja i 4 induktivna blizinska prekidača. Relejima su dodijeljeni labeli  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  i  $R_4$ . Blizinski prekidači su povezani sa izduženjima klipnjača dvoradnih cilindara odgovarajućim labelima ( $C_1P_1$ ,  $C_2P_1$ ,  $C_1P_2$  i  $C_2P_2$ ). To znači da će blizinski prekidač sa labelom  $C_1P_1$  biti aktiviran kada je položaj klipnjače dvoradnog cilindra (lijevog na slici) biti u rasponu određenog labelom  $C_1P_1$ . Aktivacijom blizinskog prekidača  $C_1P_1$ , aktivirat će se i relek povezan na taj blizinski prekidač ( $R_1$ ). Analogno ovo isto vrijedi i za ostala tri induktivna blizinska prekidača.

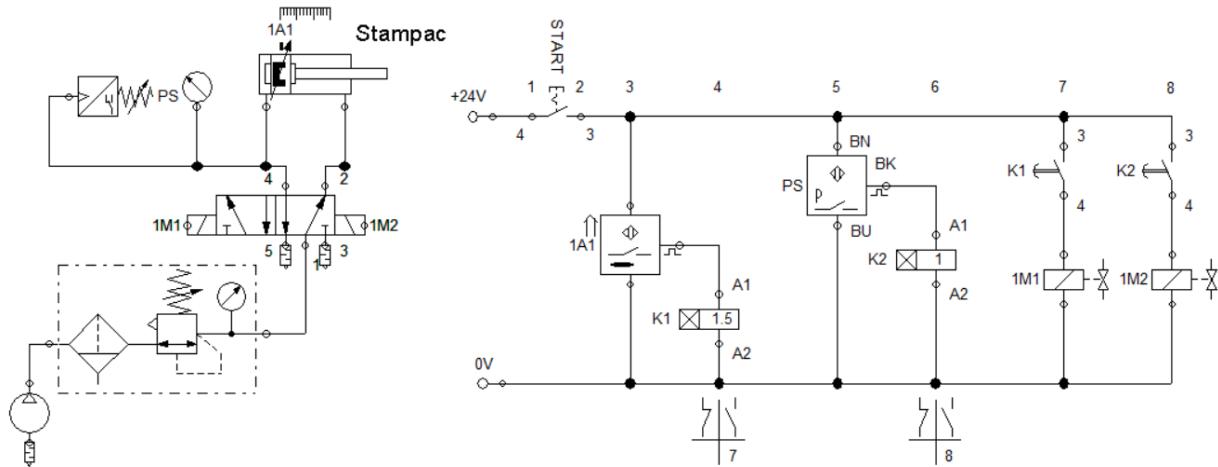
Električni krug (dole desno) analizirat ćemo granu po granu (4 grane) idući od desna na lijevo. U prvoj grani nalaze se 2 komponente, NO gumb (engl. Make button) kojim pokrećemo cijeli sistem i elektromagnetni ventil kojeg koristimo kao lijevi aktuator dvoradnog cilindra (lijevog na slici) sa kojim je povezan labelom  $K_1$ . U sljedećoj grani nalaze se NO prekidač (engl. Make switch) koji se zatvara pomoću releja  $R_2$ , break prekidač koji se zatvara pomoću releja  $R_4$  i elektromagnetni ventil koji je desni aktuator cilindra (lijevog na slici) sa kojim je povezan labelom  $K_3$ . Analogno vrijedi i za ostale dvije grane.

Analizirajmo sada ponašanje sistema kada pritisnemo gumb START. Bitno je napomenuti da su na početku i prije samog pokretanja sistema aktivni blizinski prekidači sa labelima  $C_1P_1$  i  $C_2P_1$ , ali oni tada nemaju nikakvu ulogu (logikom programa se međusobno poništavaju). Pritisom na gumb start aktivira se i elektromagnetni ventil sa labelom  $K_1$  koji razvodnik (lijevi na slici) prebacuje u drugi razvodni položaj, tako izdužavajući dvoradni cilindar (lijevi na slici). Pošto je sad lijevi dvoradni cilindar izdužen blizinski prekidač sa labelom  $C_1P_2$  se aktivira, a za njim i relek  $R_2$ . Relek  $R_2$  zatvara NO prekidač sa kojim je vezan i tako aktivira elektromagnetni ventil  $K_3$ , koji će prebaciti razvodnik (desni na slici) u drugi razvodni položaj. Prebacivanjem razvodnika (desni na slici) u drugi razvodni položaj izdužujemo dvoradni cilindar (desni na slici). Pošto je sada i desni cilindar izdužen aktivirat će se blizinski senzor sa labelom  $C_2P_2$ , a za njim i relek sa labelom  $R_4$ . Relek  $R_4$  će zatvoriti NO prekidač sa kojim je vezan, a otvoriti break prekidač sa kojim je vezan. Tako (brake prekidačem) će prekinuti djelovanje elektromagnetskog ventila sa labelom  $K_3$  na lijevu aktvaciju (cilindra desno na slici) i (NO prekidačem) aktivirati desnu aktvaciju  $K_2$  cilindra (lijevo na slici) vraćajući ga u početni položaj. Vraćanjem cilindra (lijevo na slici) u početni položaj aktivirat će se blizinski senzor sa labelom  $C_1P_1$ , a za njim i relek  $R_1$  koji će zatvoriti NO prekidač sa kojim je vezan, tako aktivirajući desnu aktvaciju cilindra (desno na slici) vraćajući ga u početni položaj, i otvoriti brake prekidač sa kojim je vezan, tako prekidajući desnu aktvaciju cilindra (lijevo na slici). Vraćanjem cilindra (desno na slici) u početni položaj aktivirat će se blizinski senzor sa labelom  $C_2P_1$ , a za njim i relek  $R_3$  prekidajući desnu aktvaciju cilindra (desno na slici).

## 5.1.2 DRUGI PRIMJER

Simulirati relejno upravljan sistem koji će zatvaranjem prekidača START:

1. Izdužati cilindar
2. Držati cilindar izdužen sve dok njegov radni pritisak ne naraste na vrijednost idealnog pritiska za štampanje, te nakon toga cilindar vratiti u početni položaj
3. Ponoviti proces



Slika 54. Relejni sistem upravljanja štampačem

Za razliku od prvog primjera, u drugom primjeru analizirat ćemo jedan konkretni elektropneumatski sistem. U našem slučaju to će predstavljati automatizovani sistem štampanja sa radom na idealnom pritisku za štampanje.

Pneumatska shema sastoji se iz kompresora, jedinice za servis zraka, jednog 5/2 razvodnika spojenog na dvoradni cilinhar u konfiguraciji na slici. Jako važan dio pneumatske sheme jeste i senzor pritiska (označen labelom PS) spojen na kontakt 4 5/2 razvodnika. Pored senzora pritiska na kontakt 4 5/2 razvodnika spojen je i indikator pritiska (desno od senzora na shemi). Dvoradni cilindar je aktuator štampanja, a na dvoradnom cilindru labelom  $_1A_1$  je označen raspon izduženja klipnjače cilindra od 0 [mm] do 5 [mm].

Električnu shemu ćemo analizirati granu po granu krećući od lijeva ka desno. U prvoj grani nalazi se induktivni blizinski prekidač povezan labelom  $_1A_1$  sa istim labelom označenom rasponu izduženja klipnjače cilindra. Izlaz ovog blizinskog prekidača povezan je na relej sa kašnjnjem uključivanjem  $K_1$ . U drugoj grani električne sheme nalazi se električni dio senzora pritiska (izlaz senzora pritiska) povezan labelom PS sa ulazom senzora pritiska na pneumatskoj shemi. Izlaz električnog dijela senzora pritiska povezan je na relej sa kašnjnjem uključivanjem  $K_2$ . U trećoj grani nalazi se NO prekidač povezan labelom sa relejem  $K_1$  i elektromagnetski ventil koji aktivira lijevi aktuator dvoradnog cilindra označen labelom  $_1M_1$ . Analogno vrijedi i za četvrtu granu.

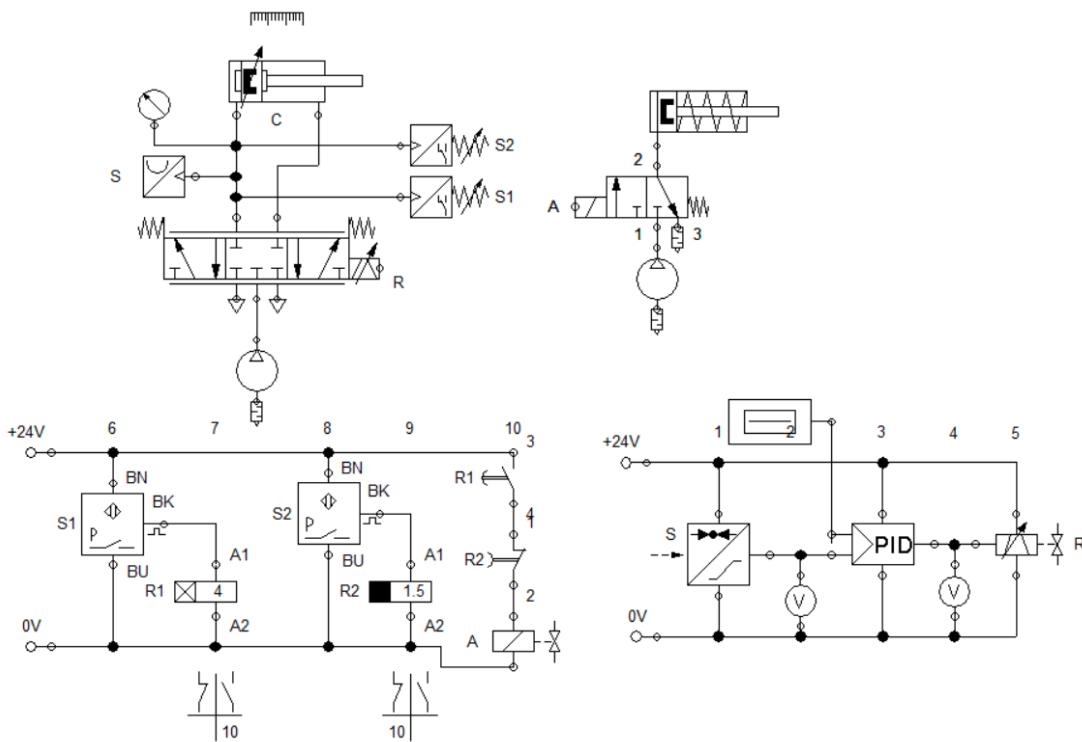
Analizirajmo sada ponašanje sistema kada zatvorimo prekidač START. Na samom početku rada sistema aktivovan je blizinski prekidač označen sa labelom  ${}_1A_1$  koji će aktivirati relej  $K_1$ . Aktiviranjem releja zatvorit će se NO prekidač sa labelom  $K_1$ , a posljedica toga je aktivacija elektromagnetskog ventila sa labelom  ${}_1M_1$  koji aktivira lijevu aktuaciju 5/2 razvodnika. Tada će se dvoradni cilindar izdužiti i pritisak na njegovom kraju postepeno će rasti. Kada pritisak na izlazu cilindra dostigne vrijednost idealnog pritiska za štampanje (u našem slučaju 0.8 MPa), aktivirat će se senzor pritiska sa labelom PS koji će aktivirati i relej  $K_2$ . Aktiviranjem releja  $K_2$  zatvara se NO prekidač sa labelom  $K_2$  i posljedicom toga aktivira elektromagnetski ventil  ${}_1M_2$  koji je vezan za desnu aktuaciju 5/2 razvodnika. Tada se cilindar vraća u početni položaj. Sistem štampanja će ostati u zatvorenoj petlji sve dok ne otvorimo prekidač START.

### 5.1.3 TREĆI PRIMJER

Simulirati reljeno upravljanje sistema koji će zatvaranjem prekidača START:

1. Djelovanjem PID regulatora izdužiti dvoradni cilindar i pritisak na njemu podesiti na 0.5 [MPa] ( pritisak stezanja)
2. Kada se uspostavi stacionarno stanje u željenom opsegu pritiska stezanja djelovanjem reljene logike aktivirati bušilicu

U trećem primjeru razmotrit ćemo rad clamp-drill sistema (sistemat za stezanje i bušenje) u reljnom sistemu upravljanja. Specifično za ovaj primjer je to što imamo ograničen pritisak stezanja (što bi moglo poslužiti ako npr. stezamo plastiku) koji regulišemo PID regualtorom.



Slika 55. Reljni sistem upravljanja za stezanje i bušenje sa PID regulatorom

Prethodna slika može se podijeliti na 4 sheme: pneumatski sistem za stezanje (shema gore lijevo), pneumatski sistem za bušenje (shema gore desno), PID kontrola pritiska stezanja (shema dole desno), kontrolna shema za uključenje bušilice (dole lijevo).

Pneumatski sistem za stezanje sastoji se od kompresora, proporcionalnog (nema fiksne položaje već se kreće kao klizač) 5/3 razvodnika sa desnom elektromagnetskom aktuacijom sa labelom R (proporcionalnim elektromagnetskim ventilom), analognog senzora pritiska sa labelom S i senzora pritiska sa labelima S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub>, manometra i dvoradnog cilindra koji predstavlja stezač.

Pneumatski sistem za bušenje sastoji se od kompresora, 3/2 razvodnika sa elektromagnetskom aktuacijom sa labelom A (lijevo) i povratne opruge (desno) i jednoradnog cilindra koji predstavlja bušilicu.

PID kontrola pritiska stezanja sastoji se od električnog dijela analognog senzora pritiska sa labelom S, generatora napona 2.5 [V], PID regulatora, proporcionalnog elektromagnetskog ventila sa labelom R i dva voltmetra.

Kontrolna shema za uključenje bušilice sastoji se iz električnih dijelova dva senzora pritiska spojena labelima S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> sa senzorima pritiska označenim labelima S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub>, releja sa kašnjenjem uključivanja sa labelom R<sub>1</sub>, releja sa kašnjenjem isključivanja sa labelom R<sub>2</sub>, NO prekidača povezanog sa reljem R<sub>1</sub>, break prekidača sa labelom R<sub>2</sub> i elektromagnetskog ventila sa labelom A.

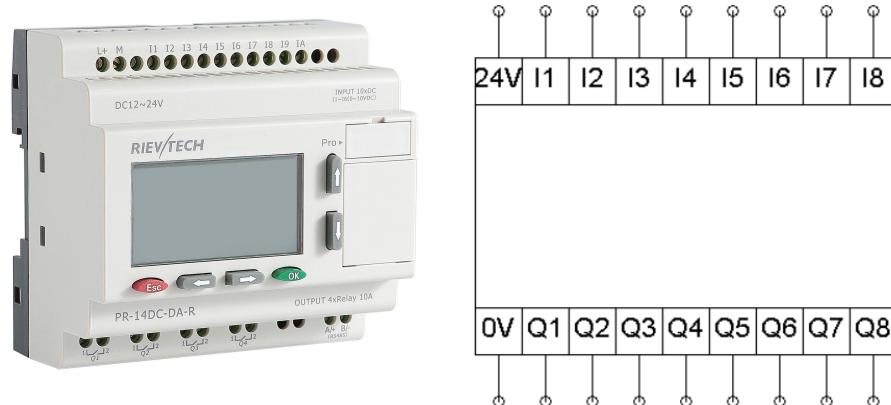
Analizirajmo sada ponašanje ovog elektropneumatskog sistema. Ulazni naponski signal PID regulatora predstavljaće razliku potencijala 2.5 [V] od izvora napona i potencijala sa izlaza električnog dijela analognog senzora pritiska. Izlazni naponski signal analognog senzora pritiska radi na sljedećem principu: analogni senzor pritiska ima svoj mjerni opseg u ovom slučaju 2 [MPa] i opseg izlaznog napona (0 [V] - 10 [V]). Ako je mjerena vrijednost 1 [MPa] napon na izlazu analognog senzora pritiska izositi će 5 [V], ako je mjerena vrijednost 0.5 [MPa] napon na izlazu analognog senzora pritiska iznositi će 2.5 [V], a tada će napon na ulazu u PID regulator biti 0 [V] (2.5 [V] - 2.5 [V] = 0 [V]). To znači da je željeni pritisak stezanja u ovom slučaju 0.5 [MPa] i on se može mijenjati mijenjajnom napona izvora napona na ulazu u PID regulator (npr. Ako želimo pritisak 1 [MPa] napon ćemo postaviti na 5 [V]). PID regulator će svojim djelovanjem, objašnjeno u poglavljiju [4.6.2](#), mijenjati pritisak na ulazu u cilindar sve dok on ne bude iznosio 0.5 [V], bez stacionarne greške. Senzor pritiska S<sub>1</sub> uključuje se na pritisku od 0.499 [MPa], a senzor pritiska S<sub>2</sub> uključuje se na pritisku od 0.505 [MPa]. Djelovanjem kontrolne sheme za uključenje bušilice spriječava se uključenje bušilice za vrijeme prelaznog procesa. Ukoliko se aktivira senzor pritiska S<sub>1</sub> koji aktivira relj sa kašnjenjem uključivanja R<sub>1</sub>, a za njim i senzor pritiska S<sub>2</sub> koji aktivira relj sa kašnjenjem isključivanja R<sub>2</sub>, bušilica se neće pokrenuti. Razlog tome je to što relj R<sub>1</sub> zatvara NO prekidač na putu do elektromagnetskog ventila sa labelom A, a relj R<sub>2</sub> otvara break prekidač na putu do njega. Ovim postupkom smo odabrali vrlo uzak opseg pritiska stezanja za uključivanje bušilice (0.499 [MPa] - 0.505 [MPa]). Kada se

uspstavi stacionarno stanja u zadanim opsegu vrijednosti relj R<sub>1</sub> će zatvoriti NO prekidač i tim aktivirati elektromagnetski ventil sa labelom A koji preko 3/2 razvodnika izdužuje jednoradni cilindar koji predstavlja bušilicu.

## 5.2 SISTEMI UPRAVLJANJA POMOĆU PLC-a

PLC je programabilni logički kontroler, tj drugačije rečeno industrijsko računalo čija je prvobitna namjena bila da zamjeni postojeće sekvencijalne relenje sklopove u sistemima upravljanja. Osnova rada je kontinuirano skeniranje i obrada podataka koje se odvija ciklički u beskonačnoj petlji. PLC uređaj korigira stanje izlaza na osnovu promjene ulaza, kako je to određeno logikom u korisničkom programu. Cijeli taj ciklus podijelili smo na četiri faze:

- Obrada ulaznog stanja – PLC provjerava svaki od ulaza (senzor, prekidač i sl.) te podatke koje prikupi sprema u memoriju centralne procesorske jedinice.
- Obrada programa – Prema stanju ulaznih signala i na osnovu logike korisničkog programa, rezultat se sprema u izlazni memorijski registar centralne procesorske jedinice.
- Prijenos obrađenog programa na izlaze – Spremljeni podaci iz izlaznog memorijskog registra, obrađeni u prethodnom koraku, prosljeđuju se na izlaze PLC uređaja.
- Procesorsko organizacijsko vrijeme i komunikacija – Odvijaju se potrebne operacije za ispravno funkcionisanje operativnog sistema te komunikacija sa vanjskim jedinicama.



**Slika 56.** Programabilni logički kontroler (engl. Programmable logic controller)

Programiranje PLC-a predstavlja postupak izrade softvera za PLC. Programiranje PLC-a može se svrstati u dvije faze:

- Izrada programa – pomoću posebnog inžinjerskog softvera instaliranog na PC ili industrijskom računaru pravi se namjenski aplikativni program koji PLC treba da izvršava.
- Prebacivanje programa u PLC – program se iz računara prebacuje u PLC direktno preko kabla ili memorijske katrice.

Kako bi se pristupilo izradi programa prvo treba detaljno proučiti proces kojim PLC treba da upravlja. U suštini sve se svodi na to da treba sagledati i izdvojiti glavni zadatak programa ili više njih. U okviru glavnog zadatka programa potrebno je izdvojiti i majne programske zadatke koje se mogu smatrati kao posebne cjeline. Također je potrebno da programer tačno zna hardversku konfiguraciju PLC-a u smislu toga koliko je digitalnih i analognih izlaza, kao i to koji je senzor, prekidač, aktuator ili neki drugi uređaj priključen na koji ulaz ili izlaz PLC-a.

PLC se može programirati jednim od 5 standardnih (IEC 61131-3) jezika:

- FBD - Function Block Diagram
- LD - Ladder Diagram
- ST - Structured text
- IL - Instruction List
- SFC - Sequential Function Chart

U Fluidsim-u PLC se programira u Function Block Diagram programskom jeziku.

### **5.2.1 FUNCTION BLOCK DIAGRAM FUNKCIJE**

U programu Fluidsim Function Block Diagram funkcije su svrstane u podskupinu digitalna tehnika (digital technique) i dijele se na sljedeće funkcije:

- Lo level blok koji nema ulaza, a na svom izlazu daje vrijednost logičke nule
- Hi level blok koji nema ulaza, a na svom izlazu daje vrijednost logičke jedinice
- Digitalni ulaz (Digital input) blok koji analogni signal veći od 10 [V] na svom ulazu pretvara u vrijednost logičke jedinice na svom izlazu
- Digitalni izlaz (Digital output) blok koji vrijednost logičke jedinice na svom ulazu pretvara u napon od 24 [V] na svom izlazu
- AND blok koji daje vrijednost logičke jedinice na svom izlazu samo ako svi njegovi ulazi imaju vrijednosti logičke jedinice
- OR blok koji daje vrijednost logičke jedinice na svom izlazu ako je vrijednost barem jednog ulaza logička jedinica.
- NOT blok koji invertuje logičku vrijednost na svom ulazu.
- AND sa aktiviranjem na bridu (Edge-triggered AND) koji se razlikuje od normalnog AND bloka po načinu triggerovanja.

- NAND blok koji predstavlja serijsku vezu AND i NOT bloka.
- NAND sa aktiviranjem na bridu (Edge-triggered NAND) koji se razlikuje od normalnog NAND bloka po načinu triggerovanja.
- NOR blok koji predstavlja serijsku vezu OR i NOT bloka.
- XOR blok koji daje vrijednost logičke jedinice na svom izlazu samo ako su vrijednosti izlaza logički različiti.
- Bistabilni relj (latching relay) blok koji predstavlja jednostavnu logičku memoriju. Vrijednost na izlazu ovog bloka zavisi od vrijednost na ulazu i prošloj vrijednosti na izlazu.
- Simetrični clock generator blok koji na svom izlazu daje simetrični impulsni signal. Ulaz simetričnog clock generatora služi za njegovo uključivanje dovođenjem logičke jedinice.
- Asinhroni pulse generator blok koji na svom izlazu daje podesivi impulsni signal (može se podešavati vrijeme pauze impulsa i vrijeme trajanja impulsa), uključuje se dovođenjem logičke jedinice na ulaz. Na ulazu postoji i pin koji omogućava invertovanje signala dovođenjem logičke jedinice na INV pin.
- Pulse relj blok na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Vrijednost izlaznog signala promijenit će se na prijelazu trigger signala sa logičke nule na logičku jedinicu. Ovakvim djelovanjem frekvencija izlaznog signala biti će duplo manja od frekvencije ulaznog signala. Pored trigger ulaza ovaj blok ima i reset ulaz.
- On delay blok na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Vrijednost izlaznog signala promijenit će se sa određenim kašnjenjem u odnosu na promjenu trigger signala sa logičke nule na logičku jedinicu ukoliko je poslije tog vremena vrijednost trigger signala i dalje logička jedinica. Kašnjenja isključivanja nema.
- On delay blok sa zadržavanjem je blok na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Vrijednost izlaznog signala promijenit će se sa određenim kašnjenjem u odnosu na promjenu trigger signala sa logičke nule na logičku jedinicu ukoliko je poslije tog vremena vrijednost trigger signala i dalje logička jedinica. Razlika ovog bloka u odnosu na On delay blok je to što promjenom izlaznog signala na vrijednost logičke jedinice, trigger signal više nema uticaja na izlazni signal.
- Off delay blok na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Vrijednost izlaznog signala promijenit će se sa određenim kašnjenjem u odnosu na promjenu trigger signala sa logičke jedinice na logičku nulu ukoliko je poslije tog vremena vrijednost trigger signala i dalje logička nula. Kašnjenja uključivanja nema.
- Vremenski određen pulsni relj blok na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Kada se vrijednost trigger signala promijeni sa logičke nule na logičku jedinicu, tu promjenu će pratiti i izlazni signal koji može ostati na vrijednosti logičke jedinice samo određeno vrijeme.
- On/Off delay blok koji kombinuje svojstva On i Off delay bloka.
- Vremenski određen relj sa bridnom aktivacijom na čiji ulaz dovodimo neki impulsni trigger signal. Kada se vrijednost trigger signala promijeni sa logičke nule na logičku

jedinicu, tu promjenu će pratiti i izlazni signal (precizno u istom trenutku) koji će ostati uključen određeno vrijeme čak i ako se vrijednost trigger signala promijeni na vrijednost logičke nule.

- Brojač blok koji ima tri ulaza: Reset, CNT i Dir. Sa svakom promjenom ulaza CNT sa logičke nule na logiku jedinicu unutrašnji brojač Dir je povećan ili smanjen za 1 jedinicu brojanja. Kada je vrijednost unutrašnjeg brojača jednak ili veći postavljenoj vrijednosti koju brojimo izlaz brojača će biti logička jedinica.
- Timer prekidač koji podešavamo tako što postavljamo u kojem će vremenskom intervalu biti uključen, a u kojem isključen.

*Tabela 5*  
Značenja Function Block Diagram simbola u Fluidsim-u

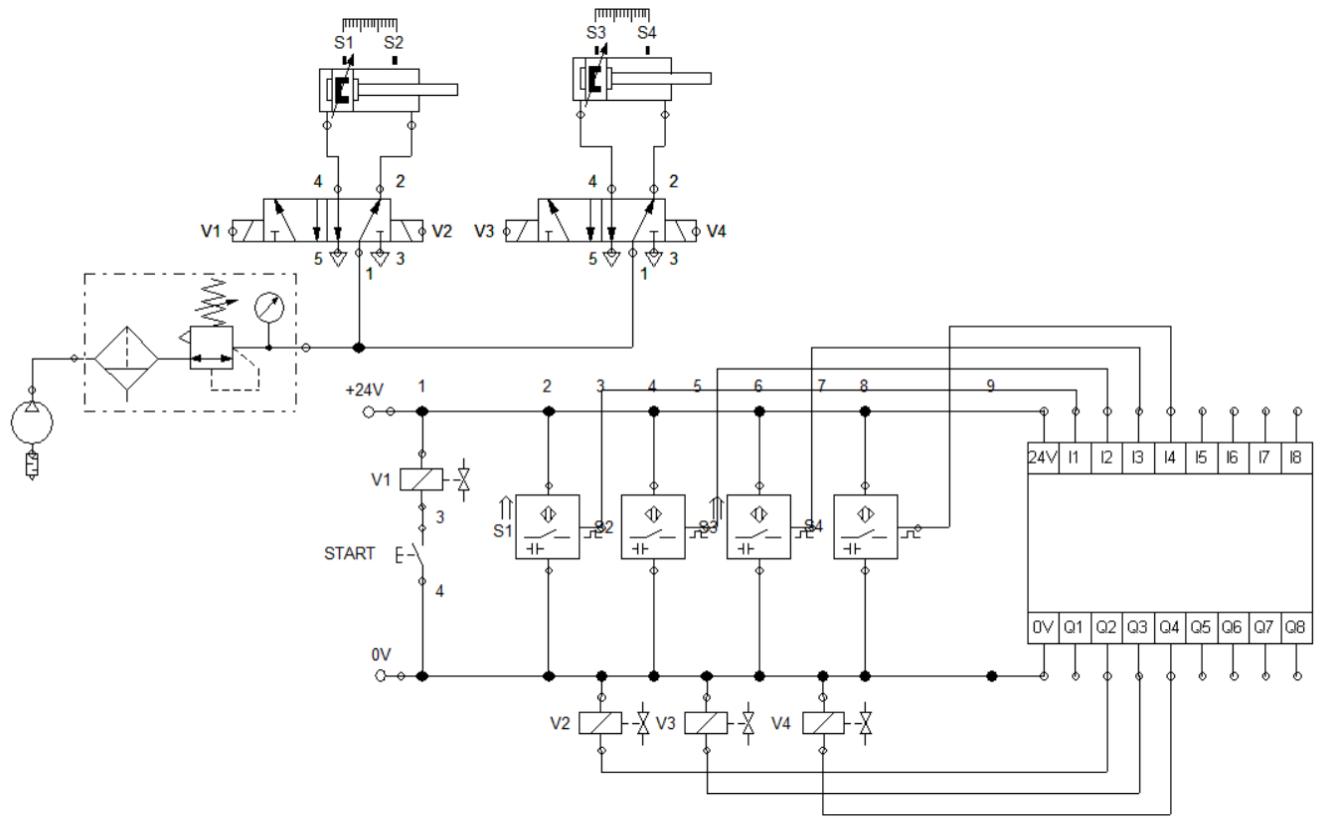
Ime	Simbol	Ime	Simbol
Logička nula (engl. Lo level)		Bistabilni relaj (engl. Latching relay)	
Logička jedinica(engl. Hi level)		Simetrični generator impulsa (engl. Symmetric clock generator)	
Uzlaz (engl. Input)		Asinhroni generator impulsa (engl. Asynchronous pulse generator)	
Izlaz (engl. Output)		Impulsni relaj (engl. Pulse relay)	
I kolo (engl. AND gate)		Kašnjenje uključivanja (engl. On delay)	
ILI kolo (engl. OR gate)		Kašnjenje uključivanja sa zadržavanjem (engl. Retentive On delay)	
NE kolo (engl. NOT gate)		Kašnjenje isključivanja (engl. Off delay)	

I kolo sa aktiviranjem na bridu (engl. Edge triggering AND gate)		Vremenski određen impulsni relaj (engl. Wiping relay - Pulse Output)	
NI kolo (engl. NAND gate)		Kašnjenje uključivanja i isključivanja (engl. On/Off delay)	
NI kolo sa aktiviranjem na bridu (engl. Edge triggering NAND gate)		Vremenski određen relaj sa bridnom aktivacijom (engl. Edge-triggered wiping relay)	
NILI kolo (engl. NOR gate)		Brojač (engl. Counter)	
Ekskluzivno ILI kolo (engl. XOR gate)		Vremenski prekidač (engl. Timer switch)	

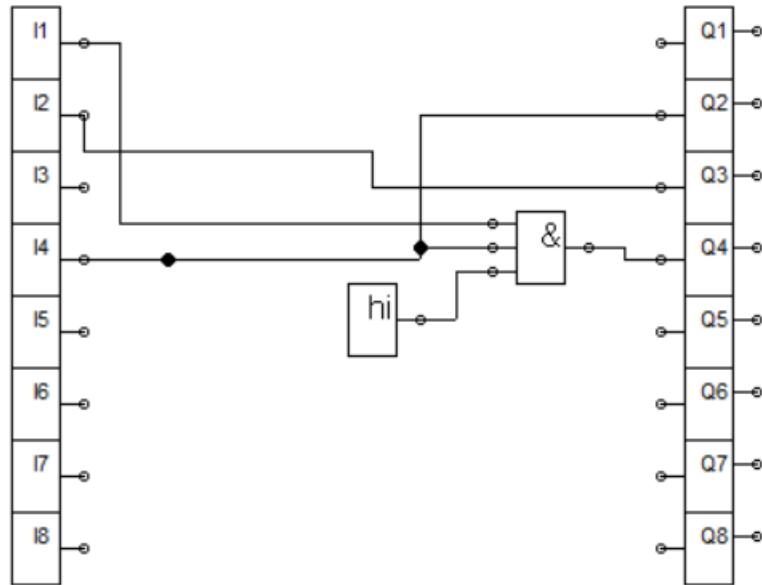
## 5.2.2 PRVI PRIMJER

Simulirati PLC upravljan sistem koji će pritiskom na gumb START

1. Izdužiti lijevi cilindar
2. Izdužiti desni cilindar
3. Vratiti lijevi cilindar u početni položaj
4. Vratiti desni cilindar u početni položaj



Slika 57. PLC sistem upravljanja dva dvoradna cilindra



Slika 58. Program PLC sistema upravljanja dva dvoradna cilindra

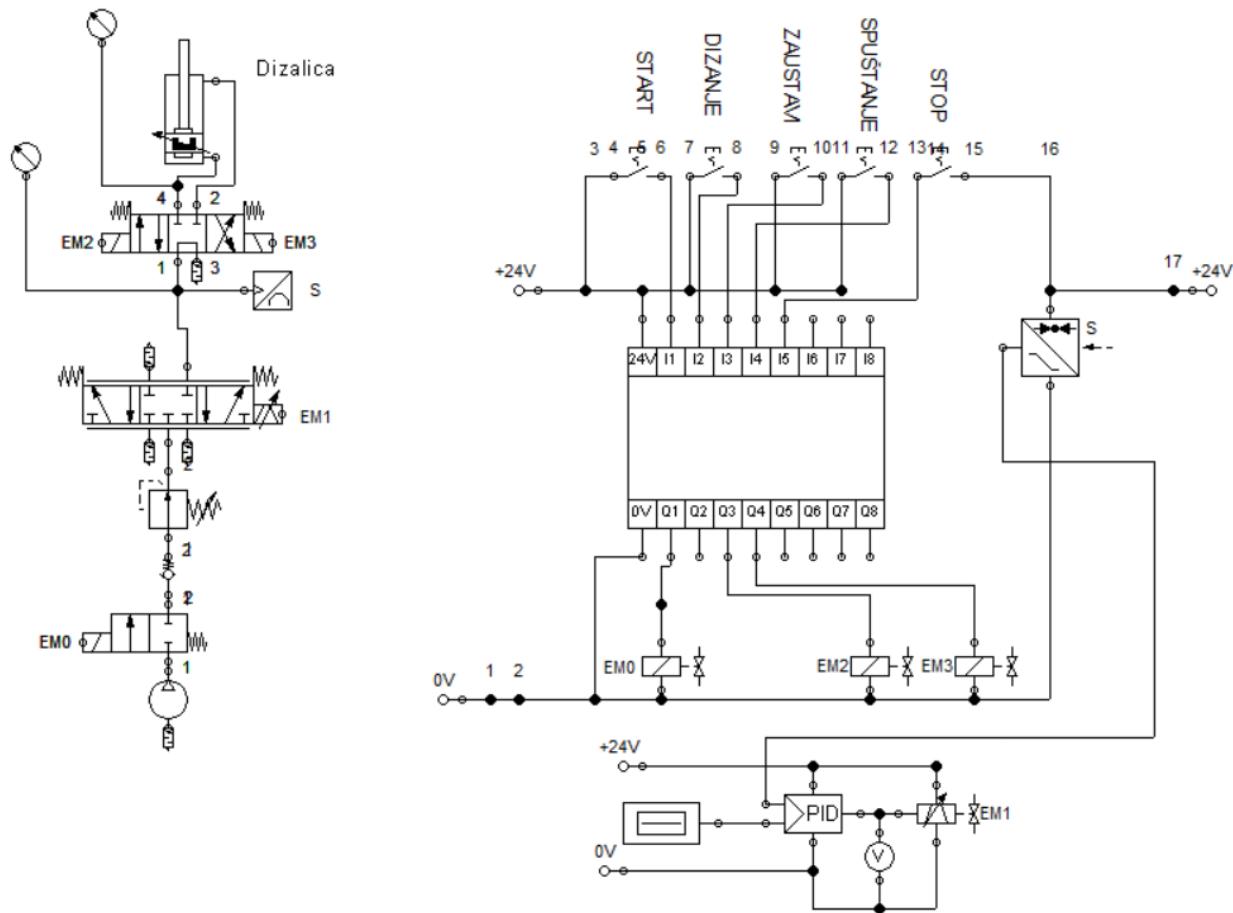
PLC sistem upravljanja na prethodnoj slici ima istu funkciju kao i reljni sistem upravljanja obrađen u poglavlju [5.1.1](#). Analizirajmo prvo sliku fizičkog sklopa, pa onda program PLC uređaja. Slika fizičkog sklopa sastoji se iz jedne pneumatske i jedne električne sheme. Pneumatska shema sastoji se iz kompresora, jedinice za servis zraka, dva 5/2 razvodnika i dva dvoradna cilindra. I lijeve i desne aktuacije oba 5/2 razvodnika postavljene su u režim elektromagnetskog aktiviranja i označene redom labelima  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  i  $V_4$ . Labelima  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  i  $S_4$  označeni su rasponi izduženja klipnjača dvoradnih cilindara ( $S_1$  i  $S_2$  lijevi cilindar,  $S_3$  i  $S_4$  desni cilindar). Rasponi  $S_1$  i  $S_3$  iznose od 0 [mm] do 5 [mm], a rasponi  $S_2$  i  $S_4$  iznose od 95 [mm] do 100 [mm].

Električna shema sastoji se iz četiri elektromagnetna ventila povezanih labelima (krenuvši od lijevog ka desnom)  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  i  $V_4$  sa aktuacijama 5/2 razvodnika, 4 kapacitivna blizinska prekidača povezanih labelima (krenuvši od lijevog ka desnom)  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  i  $S_4$  sa rasponima izduženja klipnjače dvoradnih cilindara, jednog NO gumba i PLC uređaja. PLC je spojen na naponski izvor od 24 [V], te su ulazi  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  i  $I_4$  PLC-a spojeni na izlaze kapacitivnih blizinskih prekidača sa labelima  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  i  $S_4$ . Izlazi PLC-a  $Q_2$ ,  $Q_3$  i  $Q_4$  spojeni su na elektromagnetne ventile sa labelima  $V_2$ ,  $V_3$  i  $V_4$  redom. Elektromagnetni ventil  $V_1$  aktivira se NO gumbom sa labelom START i na taj način pokrećemo cijeli sistem.

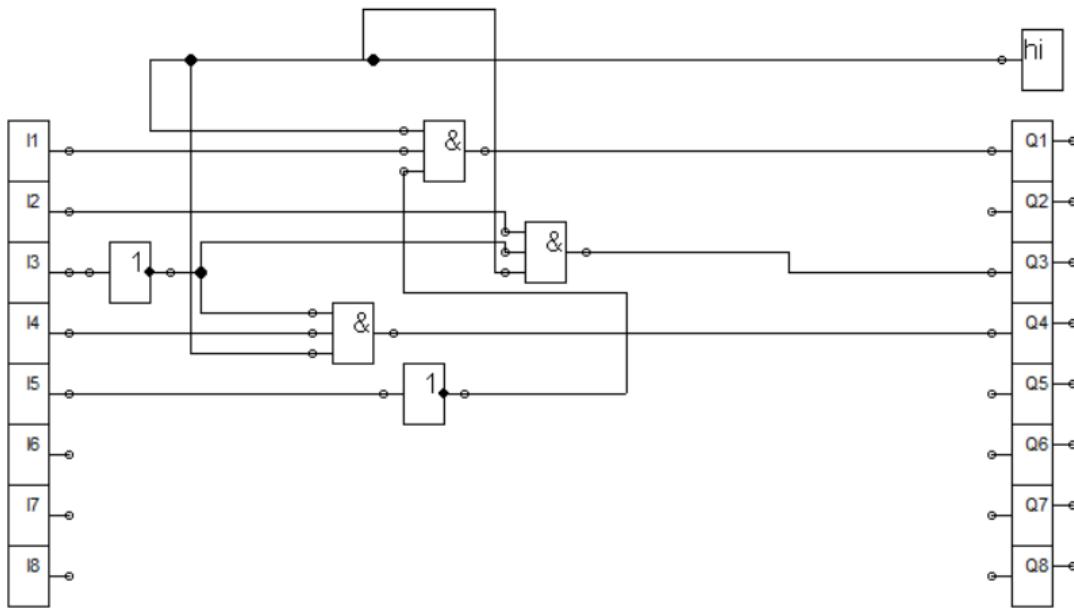
Analizirajmo sad rad programa PLC-a pokretanjem sistema. Pritiskom na gumb sa labelom START aktivirat će se elektromagnetni ventil  $V_1$  koji će aktivirati lijevu elektromagnetnu aktuaciju dvoradnog cilindra (lijevo na slici) te će se tako izdužiti lijevi dvoradni cilindar. U tom trenutku aktivni su izlazi blizinskih prekidača sa labelima  $S_2$  (lijevi cilindar izdužen) i  $S_3$  koji služi za aktivaciju elektromagnetskog ventila sa labelom  $V_3$  samo kada je prvi cilindar izdužen (tada će biti aktivan ulaz  $I_2$  PLC-a). Ti izlazi aktivirat će ulaze  $I_2$  i  $I_3$  PLC-a. Ulaz  $I_3$  u ovom slučaju nema nikavu funkciju, međutim blizinski prekidač sa labelom  $S_3$  je tu ukoliko želimo da promijenimo ponašanje sistema bez fizičkog mijenjanja sistema (ponašanje mijenjamo reprogramiranjem PLC-a). Aktivirani ulaz  $I_2$  će aktivirati izlaz  $Q_3$  PLC-a koji će aktivirati elektromagnetni ventil sa labelom  $V_3$ . Elektromagnetni ventil sa labelom  $V_3$  djeluje na lijevu aktuaciju dvoradnog cilindra (desnog na slici) i tako izdužuje desni dvoradni cilindar na slici. Sada (kada se izduži desni dvoradni cilindar na slici) su aktivni izlazi blizinskih prekidača sa labelima  $S_2$  i  $S_4$ , te oni aktiviraju ulaze  $I_2$  i  $I_4$  PLC-a. Ulaz  $I_4$  će aktivirati izlaz  $Q_2$  PLC-a koji će aktivirati elektromagnetni ventil sa labelom  $V_2$ . Taj elektromagnetni ventil aktivira desnu aktuaciju dvoradnog cilindra (desno na slici) i vraća taj cilindar u početni položaj. Sada su aktivni izlazi blizinskih prekidača sa labelima  $S_1$  i  $S_4$ , te oni aktiviraju ulaze  $I_1$  i  $I_4$  PLC-a. Ulazi  $I_1$  i  $I_4$  ulaze u AND gate (koji je sada aktiviran) čiji je izlaz spojen na izlaz  $Q_4$  PLC-a. Pošto AND gate ima 3 ulaza, a mi koristimo samo 2 u ovom slučaju, jedan je vezan na vrijednost logičke jedinice (kako nas program ne bi upozorio na otvorene kontakte). Izlaz  $Q_4$  PLC-a aktivirat će elektromagnetni ventil sa labelom  $V_4$  i tako aktivirati desnu aktuaciju dvoradnog cilindra (desno na slici) te ga tako vratiti u početni položaj.

### 5.2.3 DRUGI PRIMJER

Simulirati PLC upravljan sistem dizalice koji će imati opcije uključivanja sistema (START), isključivanja sistema (STOP), dizanja dizalice (DIZANJE), spuštanja dizalice (SPUŠTANJE) i zaustavljanja pogona (ZAUSTAVI).



Slika 59. PLC sistem upravljanja pneumatske dizalice sa PID regulatorom pritiska dizanja



**Slika 60.** Program PLC sistema upravljanja pneumatske dizalice sa PID regulatorom pritiska dizanja

Analizirajmo sada funkcije i ponašanje ovog sistema. Sistem se sastoji iz dvije sheme: jedne pneumatske (lijevo) i jedne električne (desno).

Pneumatska shema sastoji se iz kompresora, 2/2 razvodnika sa lijevom elektromagnetskom aktuatorijom  $EM_0$  i povratnom oprugom desno (njime aktiviramo pneumatski sistem), ventila regulatora pritiska (nepovratni ventil odmah poslije kompresora na pneumatskoj shemi), proporcionalnog 5/3 razvodnika sa desnom aktuatorijom  $EM_1$ , analognog senzora pritiska sa labelom S preko kojeg PID kontroler podešava pritisak koji mjeri analogni senzor pritiska S, dva manometra (koristimo ih kao indikatore pritiska tj. manometri nam prikazuju pritisak tačke na koju su spojeni), 4/3 razvodnika (preko ovog razvodnika PLC upravlja dizalicom) sa lijevom aktuatorijom  $EM_2$  i desnom aktuatorijom  $EM_3$  i povratnim oprugama na obje strane, te od dvoradnog cilindra koji predstavlja dizalicu.

Glavna komponenta električne sheme je PLC uređaj na čije su ulaze vezani NO (engl. Make switch) prekidači sa labelima START (ulaz  $I_1$ ), DIZANJE (ulaz  $I_2$ ), ZAUSTAVI (ulaz  $I_3$ ), SPUŠTANJE (ulaz  $I_4$ ) i STOP (ulaz  $I_5$ ). Na izlaze PLC-a vezani su elektromagnetični ventili  $EM_0$  (izlaz  $Q_1$ ),  $EM_2$  (izlaz  $Q_3$ ), i  $EM_3$  (izlaz  $Q_4$ ). U shemi se nalazi još i PID regulator na čiji ulaz je spojen izlaz analognog senzora sa labelom S i generator napona. Izlaz PID regulatora povezan je na proporcionalni ventil sa labelom  $EM_1$ . Djelujući na proporcionalni ventil  $EM_1$  PID regulator podešava pritisak koji mjeri analogni senzor pritiska sa labelom S i na taj način smanjuje signal greške (negativna povratna sprega).

Zatvaranjem prekidača sa labelom START program PLC-a provjerava da li je zatvoren i prekidač STOP. Ako nije aktivira se izlaz Q<sub>1</sub> na koji je vezan elektromagnetski ventil EM<sub>0</sub> koji pokreće lijevu aktuaciju 2/2 razvodnika tako aktivirajući sistem. Kada se omogući dotok fluida u sistem pokretanjem lijeve aktuacije 2/2 razvodnika PID regulator postavlja željeni pritisak na ulazu u dizalicu. U početnom trenutku napon na ulazu u PID regulator jednak je potencijalu naponskog izvora vezanog na jedan njegov konektor. Drugi konektor PID regulatora vezan je sa analognim senzorom pritiska sa labelom S koji u početnom trenutku daje potencijal 0 [V]. Zbog ovoga se prije zatvaranja tastera START proporcionalni 5/3 razvodnik pomjeri u lijevu stranu. Nakon što se zatvori taster START aktivira se elektromagnetski ventil sa labelom EM0 koji omogućava protok fluida kroz prvi razvodnik (odmah poslije kompresora na slici). Sada će analogni senzor pritiska sa labelom S na svom izlazu imati neki potencijal koji se dovodi na konektor PID regulatora. PID regulator djeluje na proporcionalni 5/3 razvodnik sve dok se ne izjednače potencijali senzora pritiska sa labelom S i potencijal koji uzimamo sa naponskog izvora na ulazu u PID regulator. Zaključujemo da mijenjanjem vrijednosti naponskog izvora biramo željenu vrijednost pritiska koju PID regulator reguliše. U ovom stanju sistema fluid teće kroz početni 2/2 razvodnik , ulazi na konektor 1 4/3 razvodnika i na kraju izlazi na konektor 3 4/3 razvodnika koji predstavlja izduvni ventil.

Zatvaranjem prekidača sa labelom DIZANJE program PLC-a provjerava da li je zatvoren i prekidač ZAUSTAVI. Ako nije aktivira se izlaz Q<sub>3</sub> PLC-a na koji je vezan elektromagnetski ventil EM<sub>2</sub> koji aktivira lijevu aktuaciju 4/3 razvodnika i tako omogućava dotok fluida do dvoradnog cilindra. Mijenjanjem položaja 4/3 razvodnika dolazi do male promjene pritiska sistema koju PID regulator nakon prelaznog procesa vraća u normalu. U ovom stanju sistema fluid teće kroz početni 2/2 razvodnik , ulazi na konektor 1 4/3 razvodnika, izlazi na kontakt 4 4/3 razvodnika te dolazi do dizalice iz koje izlazi preko konektora 2, zatim fluid izlazi kroz konektor 3 4/3 razvodnika koji predstavlja izduvni ventil.

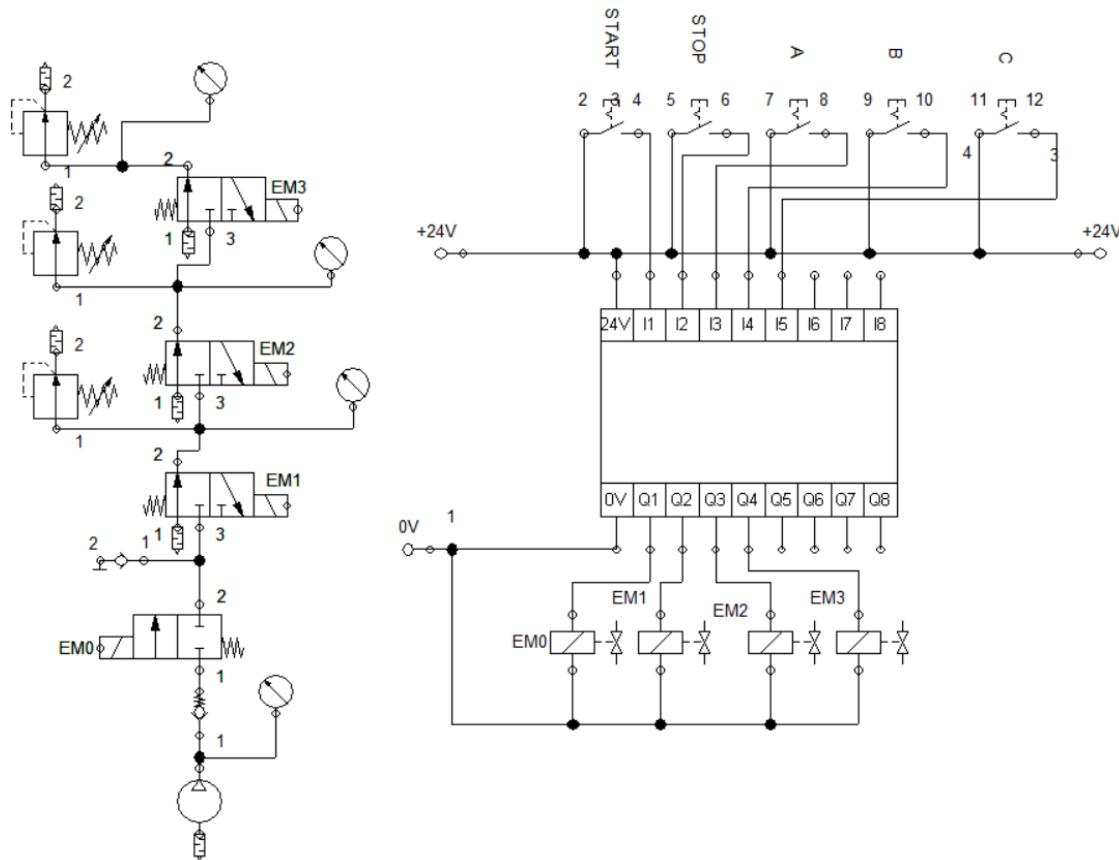
Zatvaranjem prekidača sa labelom ZAUSTAVI prekidači sa labelima DIZANJE i SPUŠTANJE gube svoju funkciju. Ukoliko su prekidači DIZANJE ili SPUŠTANJE već zatvoreni prije spuštanja prekidača ZAUSTAVI, prekidač ZAUSTAVI će ih zaustaviti u sred procesa dizanja ili spuštanja. U ovom stanju sistema fluid teće kroz početni 2/2 razvodnik , ulazi na konektor 1 4/3 razvodnika i na kraju izlazi na konektor 3 4/3 razvodnika koji predstavlja izduvni ventil.

Zatvaranjem prekidača sa labelom SPUŠTANJE program PLC-a provjerava da li je zatvoren i prekidač ZAUSTAVI. Ako nije aktivira se izlaz Q<sub>4</sub> PLC-a na koji je vezan elektromagnetski ventil EM3 koji aktivira desnu aktuaciju 4/3 razvodnika i tako omogućava dotok fluida do dvoradnog cilindra. Mijenjanjem položaja 4/3 razvodnika dolazi do male promjene pritiska sistema koju PID regulator nakon prelaznog procesa vraća u normalu. U ovom stanju sistema fluid teće kroz početni 2/2 razvodnik , ulazi na konektor 1 4/3 razvodnika, izlazi na kontakt 2 4/3 razvodnika te dolazi do dizalice iz koje izlazi preko konektora 4, zatim fluid izlazi kroz konektor 3 4/3 razvodnika koji predstavlja izduvni ventil.

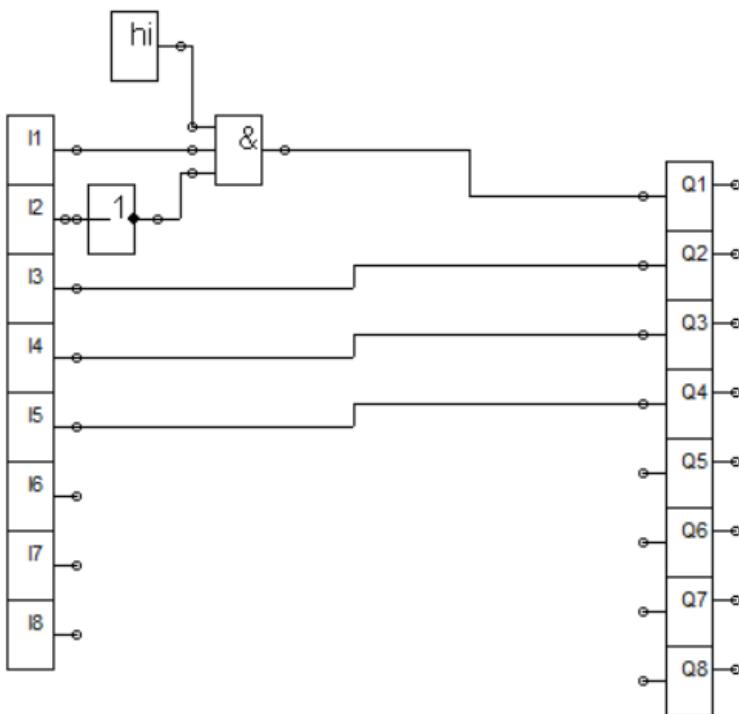
Zatvaranjem prekidača sa labelom STOP onemogućava se pokretanja sistema ili se sistem zaustavlja ukoliko je već bio pokrenut.

### 5.2.3 TREĆI PRIMJER

Simulirati PLC upravljan sistem ograničenja pritiska na 3 nivoa koji će imati funkcije: pokretanja sistema (START), zaustavljanja sistema (STOP), najvećeg pritiska (A), srednjeg pritiska (B) i najmanjeg pritiska (C).



**Slika 61.** PLC sistema upravljanja pneumatskog sistema sa ograničenjem pritiska na 3 nivoa



**Slika 62.** Program PLC sistema upravljanja pneumatskog sistema sa ograničenjem pritiska na 3 nivoa

U ovom primjeru analizirat ćemo rad pneumatskog sistema sa ograničenjem pritiska na 3 nivoa. Sistem omogućuje izbor jedne od tri diskretne vrijednosti ograničenja pritiska. Tri ventila za ograničenje pritiska podešeni su tako da je pritisak ograničenja na ventilu A > B > C.

Pneumatski sistem prikazan na prethodnoj slici pokreće se pritiskom na taster START na ulazu u PLC. Potrebni uslovi da se aktivira elektromagnetni ventil EM<sub>0</sub> koji pokreće lijevu aktuatoriju 2/2 razvodnika sa odgovarajućim labelom su da je aktiviran prekidač START, te da nije aktiviran prekidač STOP. Na ovaj način prekidačem STOP prekidamo sistem ukoliko je već u pogonu, ili onemogućujemo pokretanje sistema ukoliko nije u pogonu.

Pritiskom na taster A aktivira se elektromagnetni ventil EM<sub>1</sub> razvodnika 2/2 i ventil za ograničenje pritiska A (donji na slici). Pritiskom na taster B aktivira se elektromagnetni ventil EM<sub>2</sub> razvodnika 2/2 i ventil za ograničenje pritiska B (srednji na slici). Pritiskom na taster C aktivira se elektromagnet EM<sub>3</sub> razvodnika 2/2 i ventil za ograničenje pritiska C (gornji na slici).

Pritisak kompresora je 2 [MPa]. Nakon što se aktivira taster START kompresovani zrak će teći iz kompresora i proći će kroz prvi razvodnik (odmah iznad kompresora na slici). Kada se aktivira taster A kompresovani zrak će proći kroz drugi razvodnik i teći kroz ventil regulator pritiska (lijevo) koji će reducirati pritisak u dijelu sistema između drugog i trećeg razvodnika na 0.62 [MPa]. Nakon što se aktivira taster B kompresovani zrak prolazi i kroz treći razvodnik i teće kroz još jedan ventil regulator pritiska (lijevo) koji dodatno reducira pritisak u dijelu sistema koji

se nalazi između trećeg i četvrtog razvodnika na 0.13 [MPa] (kao i u dijelu između drugog i trećeg razvodnika na 0.13 [MPa]). Aktiviranjem tastera C kompresovani zrak prolazi kroz treći razvodnik (gornji na slici) i teće kroz ventil regulator pritiska (lijevo) koji reducira pritisak u dijelu sistema poslije četvrtog razvodnika na 0.02 [MPa] (kao i u dijelu između drugog i trećeg, te trećeg i četvrtog razvodnika na 0.39 [MPa] i 0.07 [MPa]).

Zaključujemo da ćemo dobiti najveći pritisak kada je aktiviran samo ventil za ograničenje pritiska A, a najmanji pritisak kada su aktivni svi ventili za ograničenje pritiska.

## VI LITERATURA

- [1] [Pneumatika wikipedia](#)
- [2] [Runamok tech pneumatika](#)
- [3] [Matematički model cilindra sa jednostrukim djelovanjem - MathWorks](#)
- [4] [FludSim manual](#)
- [5] [Izbor modela rotacijskih aktuatora](#)
- [6] [Zračni kompresor - računanja](#)
- [7] [rignitc.com pneumatika](#)
- [8] [Jednoradni pneumatski cilindri - pneumatictips.com](#)
- [9] [Polurotacijski aktuatori](#)
- [10] [Manometar wikipedia](#)
- [11] [Senzor pritiska - futek.com](#)
- [12] [Generator signala wikipedia](#)
- [13] [Throttle ventili](#)
- [14] [Pneumatika i hidraulika skripta](#)
- [15] [Solenoidi 101](#)
- [16] [Elektropneumatski pretvarač](#)
- [17] [Releji](#)
- [18] [Releji sa kašnjenjem](#)
- [19] [Komparator](#)
- [20] [Status kontroler](#)
- [21] [Marin Šepac PLC](#)
- [22] [Fluidsim digitalna tehnika](#)

## **KOMENTAR**

Komentar mentora:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Datum odbrane rada \_\_\_\_\_.2022. godine

**OCJENA:** \_\_\_\_\_

Članovi komisije:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_