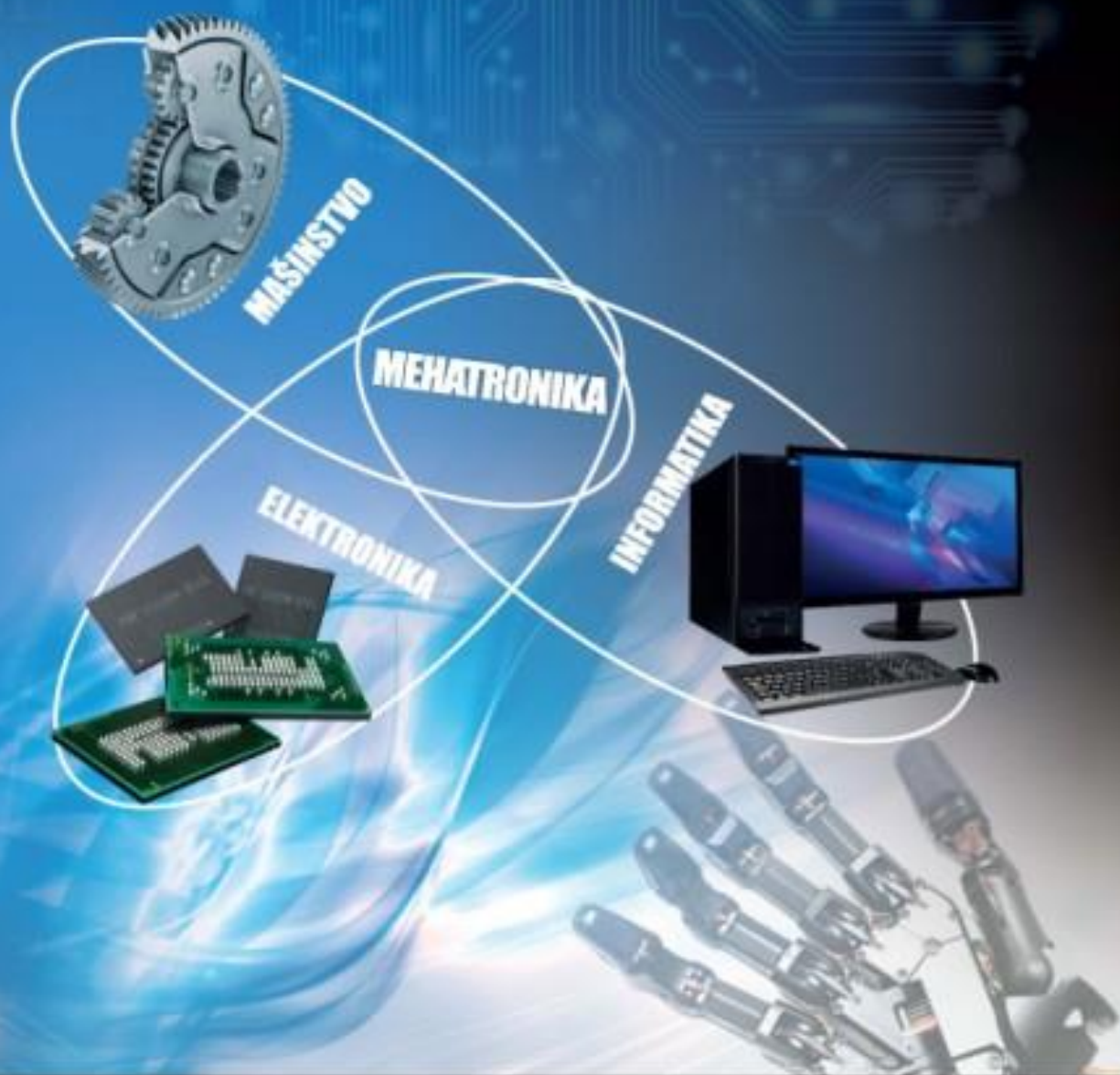


Autori: Aleksandar Veg, Goran Šiniković, Emil Veg i Mladen Regodić

MALI REČNIK MEHATRONIKE

MALI REČNIK Mehatronike



Autori: Aleksandar Veg, Goran Šiniković, Emil Veg i Mladen Regodić

Prof. dr Aleksandar Veg
Prof. dr Goran Šiniković
Doc. dr Emil Veg
Ass. Mladen Regodić

Mali rečnik MEHATRONIKE

Student: _____ Br. indeksa: _____ Datum: _____	
--	--

Autori:

Prof. dr Aleksandar Veg

Prof. dr Goran Šiniković

Doc. dr Emil Veg

Ass. Mladen Regodić

Mali rečnik

MEHATRONIKE

Četvrto izdanje

Recenzenti:

Prof. dr Ljubomir Miladinović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Prof. dr Stevan Stankovski, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Grafičke ilustracije:

Aleksandra Joksimović

Izdavač:

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

11120 Beograd, Kraljice Marije 16

Telefon: 011 3370 350

Telefaks: 011 3370 364

Za izdavača:

Prof. dr Radivoje Mitrović, Dekan

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Milan Lečić

Odobreno za štampu:

Odlukom Dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu 33/2019 od 25.10.2019. godine.

Štampa:

Planeta Print, Igora Vasiljeva 33r, Beograd

Tiraž: 600 primeraka

ISBN 978-86-6060-030-3

© Autori i Mašinski fakultet u Beogradu

Zabranjeno preštampavanje i umnožavanje

Predgovor

Pred Vama je kombinovani udžbenik pod nazivom "Mali rečnik mehatronike". Nastao je kao plod ideje da se na veoma popularan način, a ipak dovoljno stručno i inženjerski približe pojmovi sa kojima se svaki dan susrećemo u oblasti Mehatronike.

Nastava iz ovog predmeta na Mašinskom fakultetu u Beogradu izvodi se na specifičan način. Predmet je izborni i svake godine ga sluša između 200 i 250 studenata, koji dolaze sa veoma skromnim znanjem iz ove oblasti, a ipak srazmerno velikom željom da to znanje steknu tokom kratkog jednosemestralnog kursa. Upravo zbog toga knjiga je podeljena u tri dela.

U prvom delu (poglavlja 2 i 3) dat je kondenzovani repetitorijum iz oblasti elektrotehnike, u apsolutno minimalnom i neophodnom obimu, potrebnom za razumevanje daljih razmatranja.

U drugom delu (poglavlja 4-13) razmatraju se tri ključna domena Mehatronike: Senzori (poglavlje 9), Aktuatori (poglavlja 11, 12 i 13) i Kontroleri (poglavlje 14). Konačno u poslednjem delu opisan je namenski kontroler (PLC-Programable Logic Controller) koji se koristi kao učilo uz predmet Mehatronika na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Ovaj kontroler je prilagođen prema idejama nastavnika sa Mašinskog fakulteta, a proizveden u saradnji sponzora ovog projekta i domaće firme, specijalizovane za izradu industrijske elektronike „*Discover Control*“. U poslednjem poglavlju knjige, osim opisa samog kontrolera, data je i matrica zadataka za vežbu, koja treba da pomogne studentima u suštinskom upoznavanju sa ovom vrstom tehnike i lakšem polaganju praktičnog dela ispita.

Na ovom mestu želim da se zahvalim svojim saradnicima, koautorima knjige, koji su dovoljno "kooperativno", ali ipak sa potrebnom dozom kritičizma, prihvatili moje ideje u kreiranju ove knjige i na kraju pomogli da ovaj udžbenik doživi prvo izdanje. Uz koautore knjige bila je još jedna manja četa saradnika, uključujući nastavnike i studente ove škole, koji su nesebično pomogli u realizaciji ovog projekta. Svima im se iskreno zahvaljujem i pozivam ih da za sledeće izdanje pripremimo još bolji udžbenik.

Prvi autor knjige,

Prof. Aleksandar Veg

Beograd, Septembar 2015.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Repetitorijum iz elektrotehnike i elektronike	2
2.1. Teorija EE u neophodnom obimu.....	8
2.1.1. Električna struja	8
2.1.2. Električni napon	8
2.1.3. Električni otpor	9
2.1.4. Snaga u električnom kolu.....	10
2.1.5. Jednosmerni izvori napajanja	10
2.1.6. Kirchofova pravila (Kirchoff).....	11
2.1.7. Izvori naizmjenične struje	12
2.1.8. RMS Vrednost napona	12
2.2. Diskretne elektronske komponente.....	12
2.2.1. Kondenzator.....	12
2.2.2. Kalem (induktivitet)	14
2.2.3. Komparacija signala (decibel)	17
2.2.4. Filtri u elektronici	17
2.2.5. Prekidači u kolu.....	18
2.2.6. Relej	19
2.2.7. Transformator	20
2.3. Primena diskretnih komponenti	21
2.4. Analogija mehaničkih i elektronskih sistema.....	22
3. Poluprovodničke komponente.....	24
3.1. Poluprovodnici	24
3.2. Dioda	24
3.3. Tranzistor	26
3.4. Optoelektronika	28
3.5. LE diode (LED).....	28
3.6. Fotootpornici.....	29
3.7. Fotodioda	29
3.8. Fototranzistor.....	30
3.9. Optokapleri i optoizolatori	30
4. Integrisana kola (IC).....	32
4.1. Struktura i označavanje.....	32
4.2. Operacioni pojačivač.....	32
4.3. Tajmer	36
4.4. Naponski kontrolisani oscilator.....	37
4.5. Kristali kao oscilatori	37

5. Digitalna integrisana kola.....	38
5.1. Binarna logika.....	38
5.2. Matematika mikrokontrolera i brojevi.....	38
5.3. Baze brojeva i brojanje.....	39
5.4. Grupisanje podataka.....	40
5.5. Bulova algebra.....	41
6. Procesori.....	42
6.1. Arhitektura mikrokontrolera.....	43
6.2. Magistrala za prenos podataka i adresna magistrala.....	43
6.3. Memorija.....	44
6.4. Moduli i periferije.....	44
6.5. Mašinski jezik.....	45
6.6. Asemblerski jezik.....	45
6.7. Jezici višeg nivoa.....	46
6.8. Tumači (interpreter).....	46
6.9. Digitalna integralna kola u primeni.....	47
7. Analogno digitalna integrisana kola.....	50
7.1. Važne osobine AD i DA konvertora.....	51
7.2. Kako radi AD konvertor?.....	51
7.3. Kako radi DA konvertor?.....	52
8. Programabilni logički kontroler PLC.....	56
8.1. Arhitektura PLC-a.....	56
9. Merni lanci i senzori.....	58
9.1. Merenje temperature.....	58
9.1.1. PT sonda.....	58
9.2. Merenje pomaka i deformacije.....	61
9.2.1. LVDT senzor.....	61
9.2.2. Laserski senzori pomaka.....	64
9.3. Senzori ubrzanja.....	68
9.4. Merne trake.....	70
9.5. Piezorezistivni senzor pritiska.....	74
9.6. Merači protoka.....	77
9.6.1. Ultrazvučni protokomer.....	77
9.6.2. Protokomer sa lopaticama.....	77
9.6.3. Termički protokomer.....	78
10. Inkrementalni enkoderi.....	80
10.1. Rotacioni enkoderi.....	80
10.2. Optički rotacioni enkoderi.....	80
10.3. Induktivni rotacioni enkoderi.....	85
11. Električni aktuatori.....	87
11.1. Jednosmerni kolektorski motori.....	87
11.1.1. Efikasnost DC motora.....	87
11.1.2. Jednosmerni DC motor reduktor.....	88

11.1.3. Dvosmerni rad DC motora	89
11.1.4. Impulsna modulacija kao model za kontrolu brzine	90
11.2. Jednosmerni motori bez četkica (brushless).....	91
11.3. Koračni (stepper) elektromotori	92
11.4. Elektromotori naizmjenične struje.....	94
11.4.1. Sinhroni elektromotori	94
11.4.2. Prednosti i nedostaci u primeni	94
11.4.3. Asinhroni elektromotori	94
11.4.4. Frekventni modulator	96
11.5. Solenoid.....	99
11.6. Piezo aktuatori	100
11.6.1. Prednosti i nestoci u primeni.....	101
11.6.2. Oblast primene.....	101
11.7. Prednosti i nedostaci električnih aktuatora	102
11.8. Oblasti primene.....	102
12. Pneumatski aktuatori.....	103
12.1. Tipična pneumatska instalacija	105
12.2. Opis elektromagnetnog ventila.....	106
12.3. Prednosti i nedostaci pneumatskih sistema	106
12.4. Oblast primene.....	107
13. Hidraulički aktuatori.....	108
13.1. Tipična hidraulička instalacija	108
13.2. Prednosti i nedostaci hidrauličkih sistema	109
14. Opis Kontrolera PIC18F4520.....	111
14.1. Glavni korisnički ekran.....	111
14.2. Logički parametri.....	111
14.3. Funkcijski blokovi	111
14.4. Ulazi.....	112
14.5. Izlazi.....	112
14.6. Konstante	112
14.7. Promenljive	112
14.8. Kreiranje programa	112
14.9. Emulator.....	114
14.10. Online mod.....	114
14.11. Fabrički podešena IP adresa.....	121
14.12. Digitalni ulazi	111
14.13. Analogni ulazi	122
14.14. Digitalni izlazi	122
15. Primeri osnovnih zadataka za rad sa PLC-om.....	124
Literatura.....	126

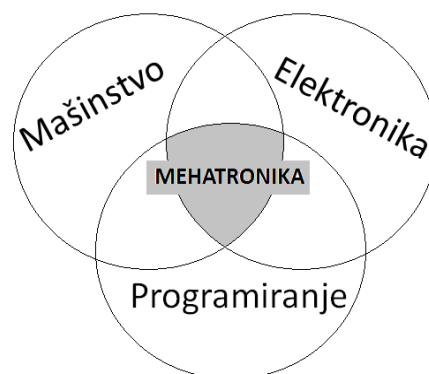
1. UVOD

Kada uporedimo uređaje iz bliskog okruženja napravljene u skorije vreme sa onima od pre 10 do 15 godina, zapažamo znatno usložnjavanje njihove strukture, funkcije i mogućnosti. Mnogi od njih su postali „inteligentniji“ zahvaljujući mini kompjuterima, odnosno mikrokontrolerima, koji su postali sastavni deo njihove strukture. Broj proizvoda u koji su ugrađeni čipovi permanentno raste i u ovom trenutku se ne može sagledati krajnji domet ovog trenda. Automobili novije generacije su prepuni mikroprocesora koji komuniciraju putem lokalne ili eksterne mreže, kako bi upravljali radom motora, transmisije, sistemom kočenja, navigacijom, klima uređajem, bezbednosnim podsklopovima, vazдушnim jastucima, itd.

Prednosti ove tehnologije nisu dostupne samo bogatim društvima sveta. Zahvaljujući industrijalizaciji i nepresušnoj mašti inženjera, svakog dana se patentira veliki broj novih rešenja, a u većini slučajeva zasnivaju se na elementima napredne mikroračunarske tehnologije. Dovoljno je pogledati foto aparate, kamere, mobilne telefone, čiji su procesori neuporedivo jači od kompjutera koji su upravljali čovekovim letom na Mesec. Pakovanje i priprema hrane izvode se izuzetno preciznim, brzim i efikasnim mašinama. Robotizovani manipulatori su svojevrsni tehnički fenomen. Senzorikom, sličnom humanim čulima prepoznaju konture predmeta, a posebnim sistemom aktuatora i mehanizama, slično ljudskim udovima, izvode složene pokrete. Zahvaljujući svojstvu učenja, slično kognitivnim svojstvima čoveka, pamte i ponavljaju određene pokrete i u zavisnosti od okolnosti izvode neophodne korekcije.

Ovakvi "inteligentni" uređaji, čija se proizvodnja razvila primenom kompleksnih znanja u domenu projektovanja, izrade i programiranja, nastali su kao plod nove naučne discipline, koja se naziva **Mehatronika**. Izraz je nastao u firmi Yaskawa Corporation kombinacijom pojmova mehanike i elektronike, mada je to osnovno značenje obuhvatilo i programiranje (sl.1.1). Iako postoji mnoštvo dobrih definicija Mehatronike, ipak jedna, koju su dali Dinsdale i Yamazaki, pleni svojim preciznim i jezgrovitim sadržajem:

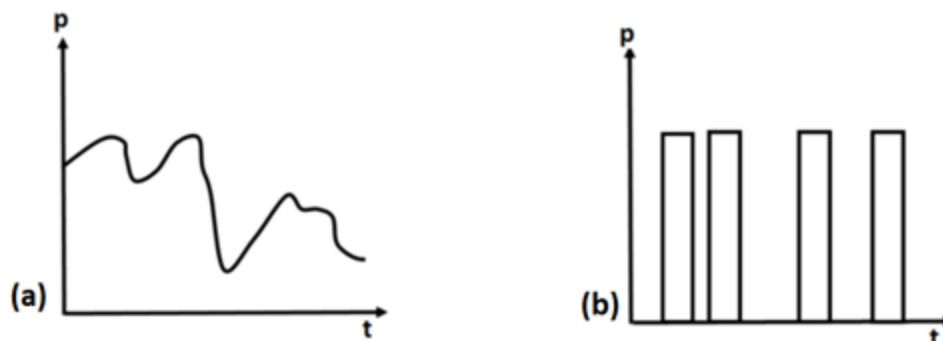
Mehatronika je sinergijska integracija mašinstva i elektronike, kombinovana sa inteligentnim upravljanjem, primenjena kod konceptualne postavke proizvoda, njihovog projektovanja i izrade.



Slika 1.1 Sinergijski činiooci mehatronike

2. Repetitorijum iz elektrotehnike i elektronike (EE)

Za razumevanje mehatroničkih rešenja neophodno je poznavanje osnova elektrotehnike i elektronike (EE), makar na elementarnom nivou. Sve počinje od teorijskih znanja, koja podrazumevaju da su pojmovi: napon, struja, električni otpor, kapacitet ili induktivnost poznati, uključujući i osnovne zakone elektrotehnike. Kada se to zna onda je razumevanje diskretnih elektronskih komponenti (sl. 2.2B) jednostavno: otpornik, kondenzator, induktivitet, transformator. Kombinacijom diskretnih komponenti formiraju se pasivna kola (sl. 2.2C): delitelji napona i struje, filterska kola, prigušivači itd.. Na višem nivou kombinuju se poluprovodničke komponente (sl. 2.2D) u diskretna aktivna kola (sl. 2.2E). Ona se sastoje uglavnom od dioda (jednosmerna provodna kapija) , tranzistora (električno kontrolisan prekidač/pojačivač) ili tiristora. Kombinacijom aktivnih i pasivnih kola i komponenti dobijaju se složeniji funkcionalni elektronski moduli (sl. 2.2E). Da bi se pojednostavio razvoj i minimizirala veličina elektronskih jedinica krenulo se u integraciju diskretnih kola (sl. 2.2E). Čipovi ili integrisana kola (sl. 2.2F) su praktično setovi diskretnih pasivnih i aktivnih poluprovodničkih komponenti, povezanih linijama unutar plastičnog kućišta sa izlaznim pinovima koji se leme za štampanu ploču i povezuju IC sa ulaznim ili izlaznim jedinicama, napajanjem ili drugim IC.



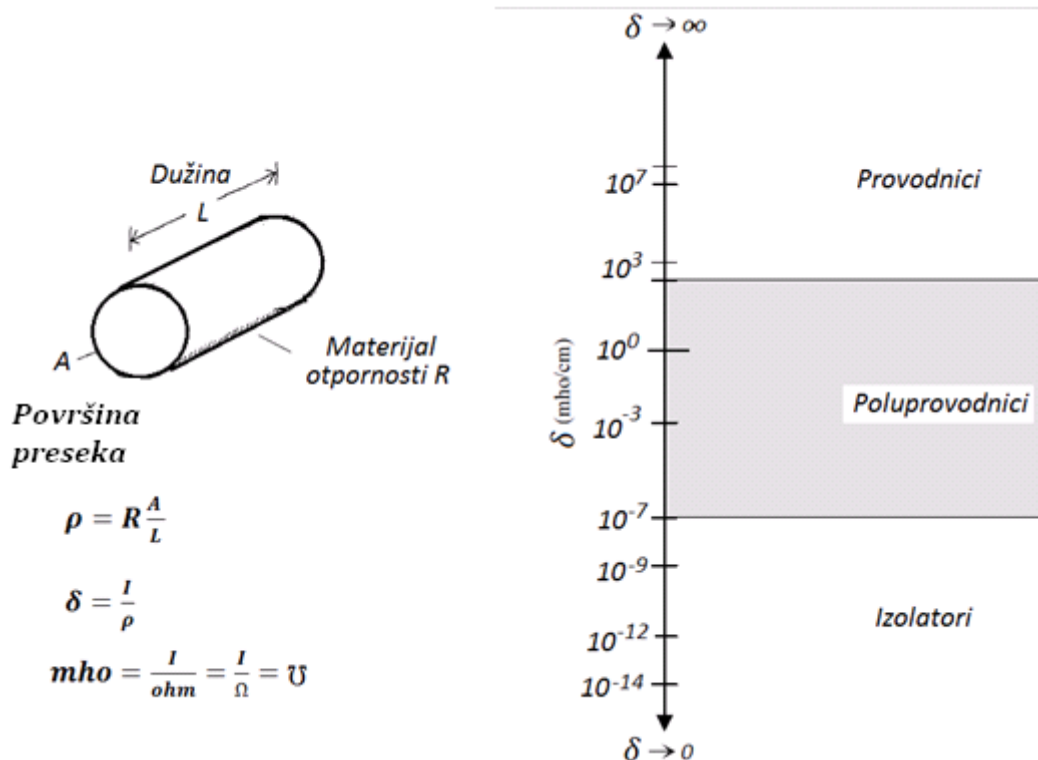
Slika 2.1 Analogni signal (a) i binarni (digitalni) signal (b)

Integralna kola tipa pojačivača ili naponskih regulatora spadaju u analogna IC što znači da se koriste za obradu i oblikovanje analognih signala (sl. 2.1a). Tačnije, njihov rad se odvija unutar definisanog naponskog opsega. Za razliku od njih digitalna IC operišu sa samo dva naponska nivoa (sl. 2.1b), visokim (najčešće 5 V) i niskim (0 V). Primarni razlog za tako pojednostavljenu (samo dva nivoa) naponsku manipulaciju je isključivo numeričko operisanje sa brojevima, simbolima, logičkim relacijama, brojačima, memorijskim adresama itd. Kodiranje informacija u bipolarne signale, koje mogu da prihvate digitalni IC, svodi se na formiranje zapisa pomoću jedinica (1) i nula (0), odnosno visokog (1) i niskog (0) naponskog nivoa u nizove koji predstavljaju „reči“ u jeziku digitalne elektronike. Razvrstavanje prema nameni digitalnih kola je izvedeno na: logička kola (sabiranje, negacija,...), registre, smičuće registre (shift register), digitalne klackalice (flip-flop), brojače, memorije, procesore..., sve u svemu domen koji se smatra „mozgom“ elektronskog modula. Da bi međusobno mogle da

3. Poluprovodničke komponente

3.1. Poluprovodnici

Jedna posebna klasa materijala, poluprovodnici (silicijum, germanijum), ne može se svrstati ni u provodnike (bakar, aluminijum, srebro,...), niti u izolatore (guma, plastika, keramika,...). Specifična provodnost ovih materijala je u domenu $10^{-7} - 10^{-3}$ mho/cm (sl. 3.1).



Slika 3.1 Podela materijala po elektroprovodnosti

Poluprovodnički materijali postaju posebno interesantni, kada se oplemene nekim drugim elementom i kada stepen poluprovodnosti može da se kontroliše eksterno, bilo strujom, osvetljajem, pritiskom ili temperaturom. Ovo oplemenjivanje se zove „dopiranje“ i izvodi se pre svega borom i fosforom. Neka dodatna svojstva postižu se dodavanjem antimona, arsena, aluminijuma ili galijuma. Dopiranjem se u izvorni materijal uvode slobodni elektroni, koji pomažu da se uspostavi kontrolisani protok struje. Poluprovodnički materijali se koriste za izradu: dioda, tranzistora, tiristora, termistora, fotodioda, fototranzistora ili integralnih kola.

3.2. Dioda

Dioda je poluprovodnička komponenta sa dva spoljna kontakta koja služi kao jednosmerna propusna kapija za protok struje. Simbol diode (sl. 3.2) je strelica koja se poklapa sa propusnim smerom struje u kolu. U suprotnom smeru dioda nije provodna.

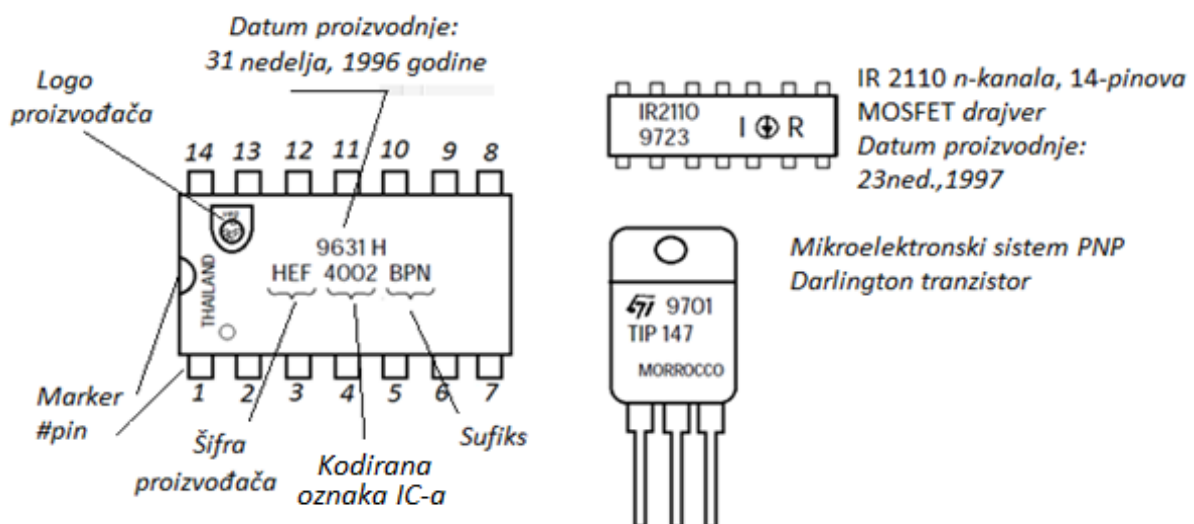
4. Integrisana kola (IC)

Kompleksan sklop diskretnih i poluprovodničkih komponenti, upakovan u kućište, sa izlaznim kontaktima naziva se integrisano kolo ili na engleskom „integrated circuit“, skraćeno IC. Broj, klasa, način vezivanja, kao i sveukupna funkcija povezanih komponenti, varira u širokom dijapazonu i svakog dana se na tržištu pojavljuju novi modeli. Proizvodnja IC-a je potpuno robotizovana i takav pristup je omogućio da se zađe u mikro prostore i da se razviju moćni čipovi neverovatnih mogućnosti. Osnovna podela IC-a je na analogna, digitalna i analogno-digitalna kola. Analogna ili linearna kola služe za akviziciju analognih signala (pojačanje, filtriranje, integracija...). Digitalna kola operišu sa signalima visokog ili niskog nivoa. Kombinovana analogno-digitalna objedinjuju rad obe klase čipova.

Relativno rasprostranjene aplikacije analognih IC obuhvataju regulatore napona, operacione pojačivače, instrumentalne pojačivače, komparatore, itd. Od digitalnih kola poznatiji su: tajmeri, flip-flop registri, memorije, logička kola, procesori itd.

4.1. Struktura i označavanje

Integrisana kola su najčešće formirana u DIP (dual in-line package) kućištu. To je plastični ili keramički blok iz kojeg na obe strane izlaze metalni kontakti (nožice), sa definisanim, standardnim rasterom. Svaki kontakt (pin) ima svoju funkciju i numeraciju. Redosled označavanja pinova i smisao oznaka na kućištu čipa prikazan je na slici (sl. 4.1). Svetski poznati proizvođači čipova imaju svoju skraćenu kodiranu oznaku (npr. Texas Instruments- SN, TL, TMS, TRX; Siemens- B, BB, BF...).



Slika 4.1 IC kola

4.2. Operacioni pojačivač

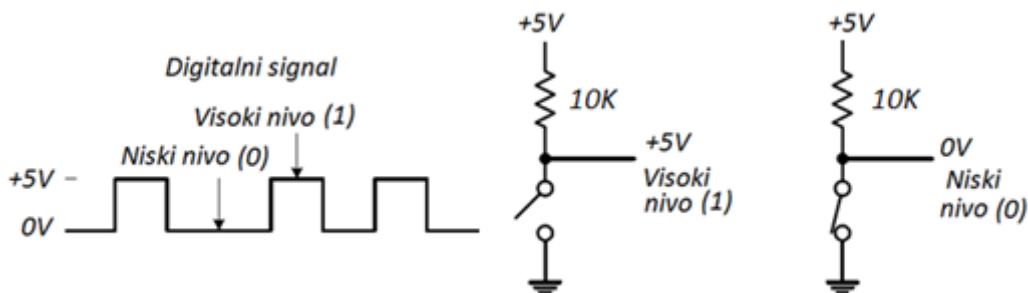
To je vrsta integrisanog analognog kola koja može da se konfigurise dodatnim diskretnim komponentama (otpornici, kondenzatori...), tako da izvodi različite operacije nad ulaznim analognim signalima (sabiranje, oduzimanje, pojačanje, slabljenje, filtriranje,...). Tipični

5. Digitalna integrisana kola

Jedan od osnovnih nedostataka analognih kola je nemogućnost da se izmereni signal zapamti i naknadno procesira. Sve što se radi sa signalima vezano je za tekući trenutak. Da bi se taj nedostatak izlečio razvijena su digitalna kola koja operišu sa digitalizovanim signalima, odnosno numeričkom interpretacijom signala, koju je lako zapamtiti, reprodukovati, preneti na daljinu i naknadno procesirati.

5.1. Binarna logika

U digitalnim kolima operiše se sa dva logička nivoa, visokim i niskim (sl. 5.1). Iako su u pitanju samo dva stanja, njima ipak može da se formuliše više različitih informacija. Izvorno, binarno stanje označava da li je neki prekidač otvoren ili zatvoren. Dalje niskim ili visokim nivoom može da komanduje aktiviranjem ili zaustavljanjem neke operacije. Konačno taj visoki ili niski nivo može da označava jedan bit u digitalnom nizu, čiji je smisao broj, slovo, reč, adresa, slika ili operacija u računaru. Takođe u logičkom sistemu može da označava istinitost nekog proteklog ili budućeg događaja. U načelu **1** je visoki nivo ili u Bulovoj algebri **ISTINITO** (TRUE), odnosno naponski to je signal negde između +2.4 V i +5.0 V. Vrednost **0** je niski nivo, u Bulovoj algebri **NEISTINITO** (FALSE) odnosno naponski kao signal negde između 0.0 V do 0.8 V. Za vrednosti signala od 0.8-2.4 V smatra se da imaju neodređeno značenje.



Slika 5.1 Digitalni signal

5.2. Matematika mikrokontrolera i brojevi

Suština rada kompjutera je operisanje brojevima. U ovom poglavlju, upoznaćemo neke od osobina binarnih brojeva i predstaviti kako ih kompjuter tumači i koristi.

Početna faza u razvoju ljudske svesti donela je shvatanje o postojanju „mnoštvo“ stvari sa kojima se susretao. Počeo je da koristi svoje prste da bi prebrojao te stvari. Kao rezultat toga, matematika na kojoj smo odrasli, bazira se na grupama od 10. Mi to nazivamo dekadnim sistemom. „Digitius“ ili prst je internacionalni termin za broj. Digitalni računari imaju drugu, sopstvenu logiku. Uprkos svom nazivu, nemaju 10 prstiju i jedini način na koji prate stvari su dva stanja: 0 i 1. Kao rezultat toga, matematičke operacije i njihovi produkti zasnovani su na binarnoj matematici.

6. Procesori

Ključna komponenta koja je zajednička za mikrokontrolere, mikroprocesore, i DSP kola je **centralna procesorska jedinica**, ili CPU. CPU predstavlja ključni logičko-upravljački modul koji izvršava programski definisane instrukcije. Drugi segmenati koji su kombinovani sa CPU na istom čipu, ako ih ima, određuju da li je uređaj mikrokontroler, mikroprocesor ili DSP kolo. Sledi kratak opis svake od navedenih procesorskih struktura sa odgovarajućim specifičnostima:

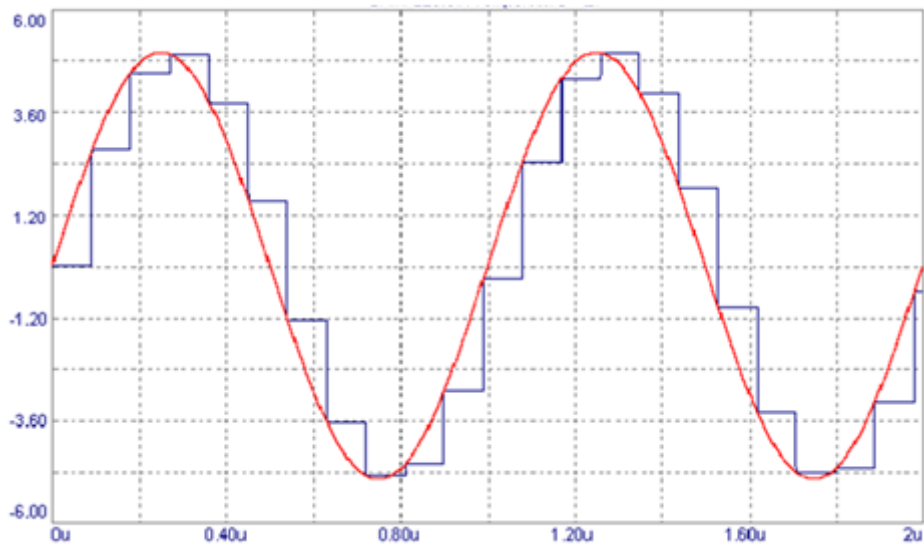
Mikroprocesor je u suštini, CPU na čipu, pri čemu su ostale neophodne komponente, kao što su programska i data memorija, paralelni ulazi i izlazi i komunikacijske periferije, fizički odvojeni od mikroprocesora. Neki primeri mikroprocesora koji čine osnovu većine savremenih personalnih računara su: Intel Pentium, Core i7 procesori ili neke iz AMD Athlon, Opteron ili Sempron familije procesora.

Mikrokontrolere čine CPU mikroprocesori integrisani sa ostalim komponentama, koje su neophodne da bi se imao funkcionalan kompjuter na jednom čipu. Iz tog razloga, prvobitno su bili poznati pod nazivom mikrokompjuteri, a onda je Motorola upotrebila pojam "mikrokontroler" u svojoj marketinškoj kampanji, pa je taj termin prerastao u zajedničko ime čitave familije uređaja. Sličnih primera ima puno (Digitron se koristi kao sinonim za kalkulator, Heckler je sinonim za automatsku pušku). Da bi mikroprocesor funkcionisao kao mikrokontroler, u minimalnoj konfiguraciji, neophodno je da ima zaštićenu programsku memoriju (ROM, engl. Read-only memory - memorija iz koje se podaci mogu samo čitati), memoriju podataka (RAM, engl. Random Access Memory, memorija sa slobodnim pristupom bilo kojoj adresi), digitalne ulaze i izlaze (engl. I/O). Često se dodaju i neki praktični moduli, uključujući onaj za serijsku komunikaciju, analogno-digitalni pretvarači, tajmeri i kolo za održavanje operativnog takta (clock source). Na tržištu se doslovno nude stotine različitih mikrokontrolera, od kojih svaki ima neku svoju specifičnost. U načelu, mikrokontroleri se ugrađuju kao "inteligencija" uređaja i namenjeni su za autonomne aplikacije.

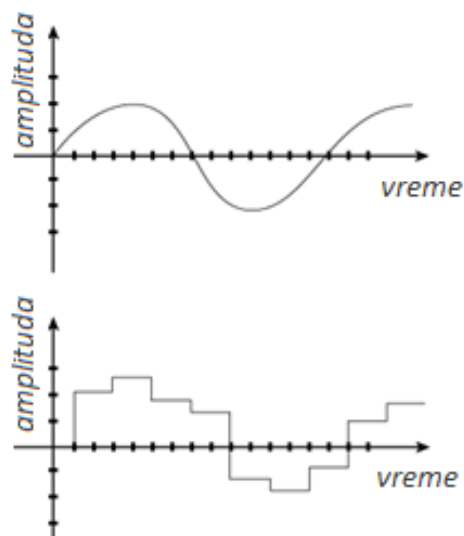
Digitalni Signal Procesori (DSP) su mikroprocesori koji su posebno razvijeni za obradu signala velikom brzinom. Razlikuju se po svojim specijalizovanim instrukcionim setovima i po svojoj memorijskoj arhitekturi. Njihovi instrukcioni setovi su smišljeni tako da su u stanju da brzo izvrše matematičke operacije koje su uobičajene u obradi signala. Arhitektura im je postavljena tako da značajno povećava brzinu izvršenja instrukcija. Aplikacije za DSP tehnologije se sve više primenjuju i kod mobilnih telefona, npr. kod digitalnog snimanja zvuka, kod obrade TV slike visoke definicije, itd. Vremenom DSP čipovi postaju dostupni za primenu i kod drugih elektronskih uređaja široke potrošnje.

7. Analogno digitalna integrisana kola

U prethodnom poglavlju objasnili smo smisao i primenu analognih IC i digitalnih IC. To su dve kategorije čipova koje govore različitim „jezicima“. Da bi mogli da se međusobno razumeju potrebno je uspostaviti „prevodioca“. Taj prevodilac je **Analogno digitalni konvertor (ADC)**, koji pretvara analogni signal u niz numeričkih vrednosti proporcionalno tekućem signalu i sa gustinom koja verno preslikava oblik signala (sl. 7.1).



Slika 7.1 Digitalizovanje analognog signala



Slika 7.2 Analogni i digitalizovan signal

ADC prevodi informaciju prispelu iz senzorskog dela i upućuje je procesoru koji treba da je arhivira ili uradi neku analizu i donese odgovarajuću odluku.

Digitalno analogni konverter (DAC), pretvara niz numeričkih vrednosti u kontinualni analogni signal (sl. 7.3).

8. Programabilni logički kontroler PLC (*Programmable Logic Controller*)

Programabilni logički kontroler je industrijska jedinica koja se sastoji od računarskih modula i programskog sadržaja namenjenog za upravljanje procesima i operacijama. Jednostavnije, PLC bi mogao da se definiše kao specijalni industrijski računar koji prikuplja signale iz procesa i na osnovu njih upravlja izvršnim jedinicama u procesu. Takođe ima mogućnost razmene podataka sa drugim PLC-ima, računarima ili uređajima.

PLC za razliku od personalnog računara (*PC*) je u potpunosti posvećen izvršavanju aplikativnog programa i to neposrednim cikličnim izvršavanjem *ladder* programa u realnom vremenu. Takođe nema potrebu za dodatnim korisničkim periferijama, što smanjuje gabarit uređaja i povećava fleksibilnost.

Razlikuju se dve osnovne strukture PLC-a:

- Kompaktni PLC i
- Modularni PLC sistemi, zasnovani na zajedničkoj magistrali.

Kompaktni PLC

Ova konfiguracija predstavlja ekonomično rešenje, predviđeno za upravljanje jednostavnijim procesima i sistemima. Sam kontroler je nezavisan, zatvoreni uređaj koji ima fiksni broj ulaza i izlaza, bez mogućnosti proširenja. U kućištu, manjih dimenzija, nalaze se napajanje, procesorska jedinica, memorija, ulazni i izlazni moduli.

Modularni PLC sistemi

Za razliku od kompaktne konfiguracije, ovakvi sistemi se sastoje od više modula smeštenih unutar kućišta, koja se zove reka. U reku se nalaze slotovi za smeštanje modula, koji se sastoje od vođica za montiranje modula i konektora na zadnjoj ploči preko kojeg se moduli priključuju na zajedničku magistralu.

8.1. Arhitektura PLC-a

PLC objedinjuje nekoliko osnovnih modula i više zasebnih komponenti:

- Centralna procesorska jedinica (*CPU*)
- Registri
- Kola programskog prekida (*Interrupt IC*)
- Memorije
- A/D , D/A konvertori
- Sistemi ulaznih/izlaznih portova
- Multiplekseri
- Kola za uzorkovanje (*Sample and hold*)

9. Merni lanci i senzori

Mehatronički sistemi mogu da imaju jedan ili više senzorskih blokova koji prikupljaju informacije iz okruženja. Uzmimo za primer sistem za kontrolu temperature u peći za termičku obradu. Ukoliko je zapremina peći velika, onda je potrebno da se precizno definiše raspored i broj referentnih tačaka koje će dati realnu sliku o polju temperature. Da bi se pravilno postavio koncept senzorskog bloka, neophodno je da postoji informacija o:

- Potrebnom dinamičkom opsegu senzora. Kod manjih mernih raspona koristi se linearni faktor dinamičkog opsega $K = \frac{1500\text{ }^{\circ}\text{C}}{20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 75$, dok se kod većih raspona koristi logaritamski faktor (dB).
- Osetljivosti senzora. To je sposobnost da se detektuju veoma male promene.
- Tačnosti. To je greška koja može da se javi u mernom opsegu.
- Nelinearnosti. Predstavlja odstupanje od uobičajne proporcionalne prenosne karakteristike.
- Histerezi. Razlika u mernoj karakteristici kod uzlazne i silazne promene parametra (grejanje/hlađenje).
- Nivou šuma. Odstupanje mernog signala koje ne potiče od promene merne veličine
- Rezoluciji. Onaj kvantum promene merene veličine koji se može verifikovati. Praktično predstavlja osetljivost umanjenu za negativni uticaj šuma.
- Frekventnom domenu. Bitno je znati ga, zbog učestanosti uzrokovanja i izbora filtera, kao i podešavanja drugih parametara u sistemu.

U nastavku sledi pregled najčešće korišćenih senzora u mehatroničkim sistemima.

9.1. Merenje temperature

9.1.1. PT sonda

Princip rada

Termometarska sonda sa otpornikom (*resistance temperature detectors - RTD*) predstavlja temperaturni senzor čiji se princip rada zasniva na promeni električne otpornosti sa promenom temperature. Kako se za izradu senzora koristi platina, ovakvi senzori se često nazivaju i *platinum resistance thermometers* (PRT). Najčešći tip senzora u upotrebi je **PT 100** sonda (Pt-hemijski simbol platine).

Konstrukcija

Prema konstrukciji PT sonde se mogu podeliti u više kategorija od kojih su dve najznačajnije:

Sonda sa namotajima (*Wire wound*) - (sl. 9.1)

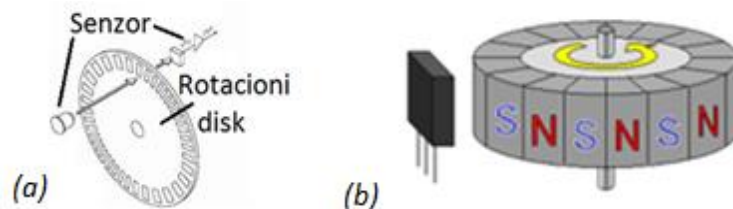
Sastoji se od platinske žice malog prečnika namotane oko jezgra od električno neprovodnog materijala (izolatora). Preko namotaja nalazi se zaštitna košuljica. Sa zadnje strane senzora nalazi se izlazni konektor.

10. Inkrementalni enkodери

10.1. Rotacioni enkodери

Rotacioni enkoder (*rotary encoder ili shaft encoder*) je kombinacija detektora (optičkog sl. 10.1a ili induktivnog sl. 10.1b), uparenog sa rotacionim diskom koji na sebi sadrži kodiranu poddelu. Rotacioni disk mora biti kruto vezan za vratilo na kojem se vrši merenje.

Obrtni enkodери se koriste za određivanje: ugaone brzine ili ubrzanja, ugaonog pomaka i smera obrtanja. Izbor enkodera zavisi od ugaone brzine vratila, potrebne preciznosti merenja i ambijentalnih uslova. Polje primene je jako široko od *scroll*-a na kompjuterskom mišu, do tahometara na vozilima ili merenja položaja vratila na CNC mašinama, robotima...



Slika 10.1 Optički i induktivni senzor

Prema načinu određivanja ugaone pozicije dele se na:

- **Apsolutne enkodere** - generišu jedinstveni binarni izlaz za svaku poziciju u kojoj se nalaze, što ih čini znatno složenijim.
- **Relativni enkodери**- odbrojavaju inkremente (impulse) u odnosu na prethodno registrovani reper (vrši se odbrojavanje koraka unapred i unazad).

Prema konstrukciji i principu rada postoje sledeći rotacioni enkodери:

- Optički** - očitavanje pozicije, izvodi se optičkim senzorom
- Induktivni** - očitavanje pozicije izvodi se detekcijom magnetnih impulsa
- Mehanički** - očitavanje pozicije izvodi se mehanički, međusobnim kontaktom prekidača i rotacionog diska (značaj im je uglavnom istorijski)

10.2. Optički rotacioni enkodери

Princip rada

Princip rada optičkih enkodera zasniva se na **refleksiji** svetlosti od kontrastnih (crno-belih) polja rotacionog diska (*Diffraction*), ili **propuštanju** svetlosti kroz otvore na disku (*Shutter*).

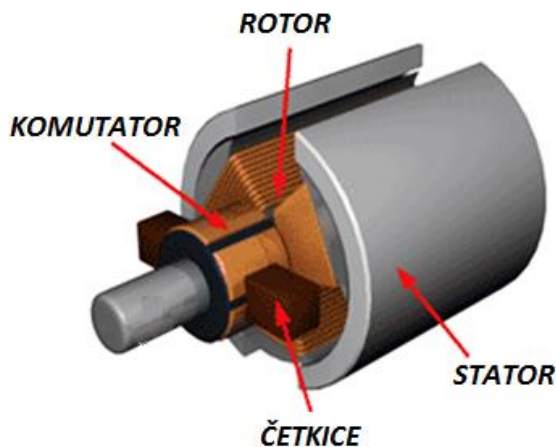
11. Električni aktuatori

Električni aktuatori su posebna klasa elektronapajanih pogonskih elemenata . Prisutni su u svim granama industrije prvenstveno zbog jednostavnog upravljanja i dostupnog energenta (električna struja). Mogu se pokretati jednosmernom ili naizmeničnom strujom i po svom kretanju mogu biti linearni ili rotacioni.

Rotacioni električni aktuatori se popularno nazivaju elektromotori. U osnovi radi se o generisanju obrtnog elektro-magnetnog polja koje dovodi do okretanja rotora. Prema određenim specifičnostima razlikuje se par karakterističnih tipova elektromotora:

11.1. Jednosmerni kolektorski motori

Jednosmerni kolektorski (DC) motori su veoma čest, negde čak isključiv, tip aktuatora. U određenim klasama proizvoda (auto industrija, kućni aparati, igračke, ručni alati,...) nezamenjiv su pogonski sklop. Na slici (sl. 11.1) su prikazani elementi jednosmernog kolektorskog motora. Kućište motora naziva se stator. Za njega su pričvršćena dva permanentna magneta koji obezbeđuju jako magnetno polje. Na vratilu se nalazi fiksirano telo rotora na kome se nalaze namotaji bakarne žice i *komutator*. Uloga komutatora je da periodično menja smer struje koja protiče kroz namotaje. Na taj način generisano elektromagnetno polje, u interakciji sa poljem permanentnog magneta, stvara uslove za okretanje izlaznog vratila. Animacija koja bliže objašnjava rad komutatora može se videti na web adresi <https://www.youtube.com/watch?v=Ue6S8L4On-Y>.



Slika 11.1 Elementi jednosmernog kolektorskog motora

11.1.1 Efikasnost DC motora

Efikasnost jednosmernog motora predstavlja odnos mehaničke snage koju motor daje na izlaznom vratilu i angažovane električne snage.

12. Pneumatski aktuatori

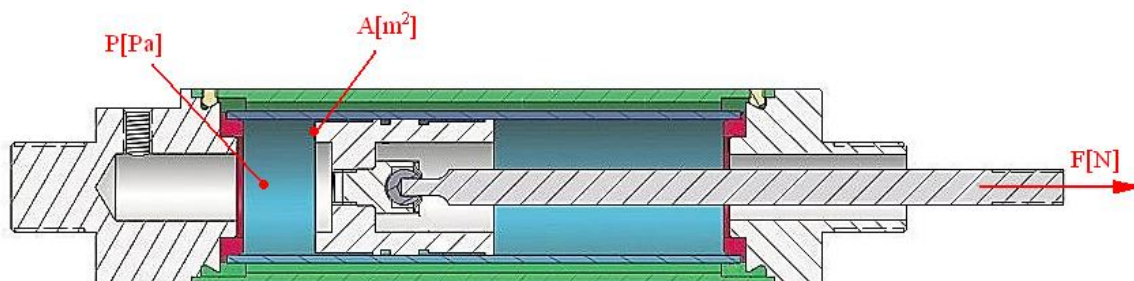
Koriste se u najvećoj meri tamo gde se izvodi veliki broj linearnih pomeranja u širokom dijapazonu sila. Prvenstveno se koriste u „čistoj“ industriji (prehrambena, farmaceutska, hemijska). Vazduh je prirodni medijum i ukoliko dođe u kontakt sa proizvodom ne izaziva kontaminaciju (sa hidraulikom to nije slučaj). Pneumatski aktuatori su fleksibilni kod preopterećenja pošto rade sa stišljivim fluidom. Kompaktne su konstrukcije i jednostavni za postavljanje i upotrebu. Izvode najrazličitije operacije na linijama za montažu, pakovanje, lokalni transport, podizanje/spuštanje tereta, otvaranje/zatvaranje vrata itd.

Linearni pneumatski aktuatori su cilindri, a obrtni su pneumatski motori. Najpoznatije primene pneumatskih motora su na zubarskim bušilicama i pneumatskim ručnim alatima u industriji.

Pneumatski cilindar je mehanički sklop koji za vršenje rada koristi energiju gasa pod pritiskom (najčešće vazduh).

Sila na klipnjači jednaka je proizvodu pritiska komprimovanog vazduha i površine klipa. Uobičajeni pritisci vazduha su do 10 bara.

$$F[N] = P[Pa] \times A[m^2]$$



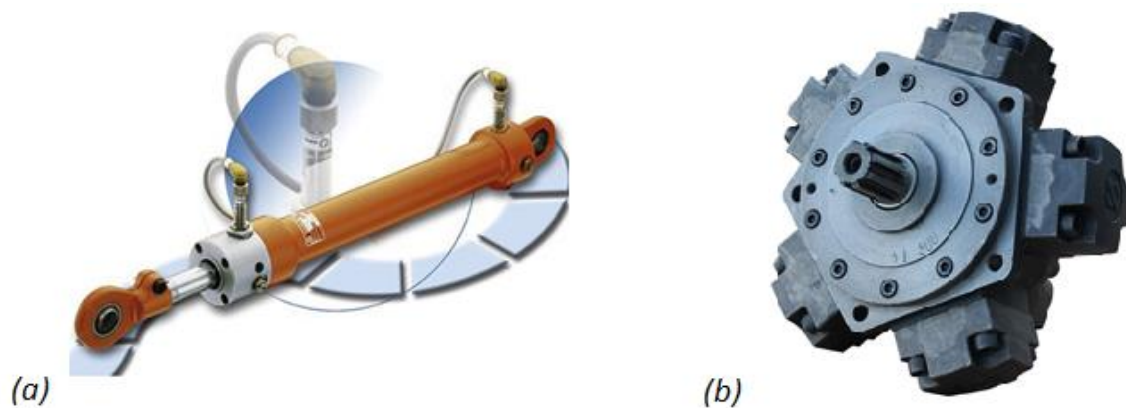
Slika 12.1 Pneumatski cilindar

Način rada pneumatskog cilindra šematski je prikazan kroz sledeće slike. Na slici (sl. 12.2a) klip je u stanju mirovanja. Na slici (sl. 12.2b) prikazana je pozicija klipa kada je doveden vazduh pod pritiskom. Klip će se pod dejstvom vazduha pomeriti u desno, a opruga će se sabiti. Na slici (sl. 12.2c) pritisak u cilindru se smanjuje, a klip se pod dejstvom opruge pomera u levo.

13. Hidraulički aktuatori

Hidraulične instalacije se koriste uglavnom tamo gde se zahtevaju veoma velike sile i momenti. Princip rada je identičan kao kod pneumatskog sistema. Strukturno, hidraulični cilindri moraju biti robusniji zbog većih pritisaka (do 2000 bar) i sila. Hidraulični aktuatori imaju najveću specifičnu snagu, od svih vrsta aktuatora.

Ulje je medijum koji potencijalno zagađuje okolinu, tako da hidraulička instalacija mora imati i povratne vodove za sprovođenje ulja iz cilindra nazad u rezervoar i dodatnu zaštitu u slučaju havarije. Za linearno kretanje koriste se hidraulički cilindri, a za obrtno hidraulički motori.



Slika 13.1 Hidraulički cilindar (a) i hidraulički motor (b)

13.1. Tipična hidraulička instalacija

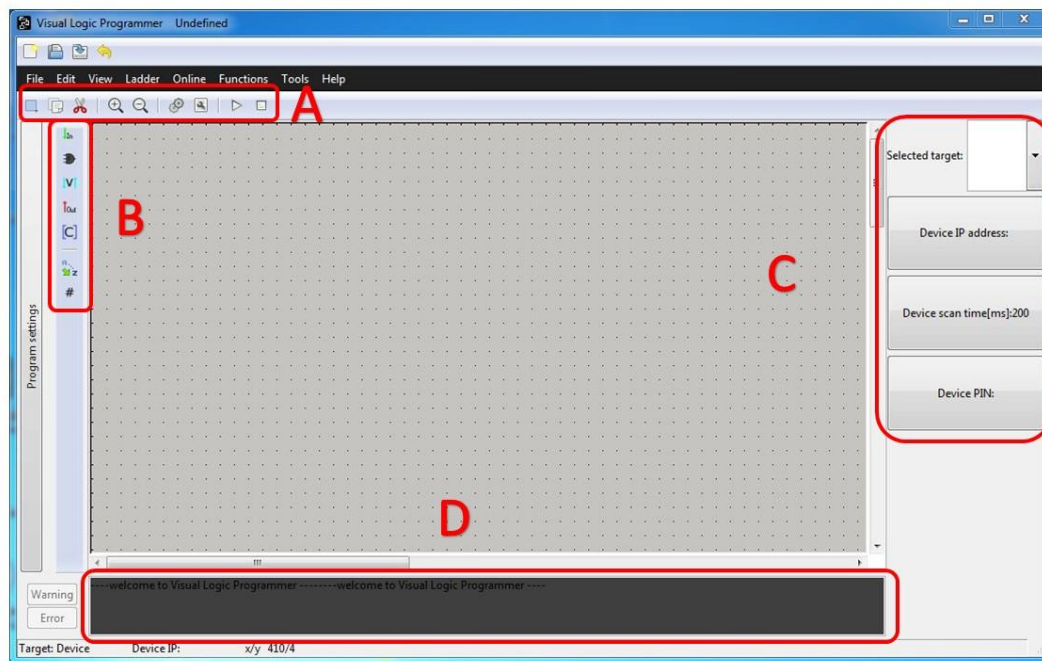
Hidraulička instalacija treba da sadrži:

- Energetsku jedinicu (pumpa)
- Spremište fluida (rezervoar)
- Razvodnu instalaciju
- Pomoćnu opremu (regulacioni, nepovratni ventili, filteri...)
- Razvodne ventile
- Aktuatore (hidraulične cilindre ili motore)

14. Opis kontrolera PIC 18F4520

14.1. Glavni korisnički ekran (GKE)

Na GKE nalaze se dve kolone sa alatima, horizontalna i vertikalna (sl 14.1 A i B). Svaki taster ima aktivno polje sa objašnjenjem (*tooltip*). Uz njih, postoji i konzolni deo (sl 14.1 D) za procesne informacije (greške i upozorenja) i dopunski meni.



Slika 14.1 izgled osnovnog prozora

14.2. Logički parametri

Na desnoj strani GKE, pritiskom na polje *Program settings* otvara se polje sa svojstvima (sl 14.1 C). U tom meniju se vrši odabir radnog moda u polju *Selected target*. Ponuđeni modovi su emulator i rad sa realnim uređajem. Svaki realni uređaj sa kojim se radi ima dodeljenu fiksnu IP adresu (192.168.1.50). Zajednički parametar za oba moda je *skan sekvenca* ili vremenski takt izvršenja programa.

14.3. Funkcijski blokovi

Programiranje se izvodi izborom i unošenjem, a potom i povezivanjem selektiranih funkcijskih blokova. Otvaranje biblioteke funkcijskih blokova izvodi se pritiskom na ikonicu *Add Function*. Za svaki funkcijski blok postoji ulaz i izlaz. Ulazi i izlazi mogu biti u dva formata, ili logički (oznaka je „B“, od *Boolean*), ili celobrojni (oznaka je „I“ od *Integer*).

15. Primeri osnovnih zadataka za rad sa PLC-om

1. Pročitati digitalni signal sa ___ ulaza.
2. Pročitati analogni signal sa ___ ulaza.
3. Uključiti LE diodu
 - Komandom sa jednog eksternog tastera
 - Komandom ili sa jednog ili sa drugog eksternog tastera
 - Komandom sa oba, zajedno pritisnuta tastera
4. Uključiti LE diodu ___ ukoliko analogna vrednost pređe ____.
5. Uključiti LE diodu ___ posle 5 sekundi pošto analogna vrednost pređe ____.
6. Uključiti LE diodu ___ posle 5 sekundi pošto je pritisnut taster.
7. Prethodno uključenu LE diodu ___ pritiskom na taster ___ ugasiti na 5 sekundi.
8. Uključiti LE diodu ___ ukoliko su 4 tastera pritisnuta u određenom redosledu __, __, __, __.
9. Sukcesivno uključivati diode (__, __, __) u zavisnosti od signala sa potencijometra.
10. Kada se pritisne taster držati svetlo (LE diodu) uključenom 10 sekundi, posle je ugasiti.
11. Diodna indikacija otvorenosti leptira u 5 položaja.
12. Uključiti grejač (LE dioda ___) sve dok je temperatura manja za ___ podeljaka od zadate konstantne vrednosti (___), ukoliko temperatura pređe zadatu vrednost za ___, uključuje se ventilator (LE dioda ___) koji to hladi.
13. Semafor drži upaljeno crveno svetlo (LE dioda ___) sve dok ne naiđe vozilo, potom drži zeleno svetlo (LE dioda ___) 10 sekundi i opet uključuje crveno (put koji prelazi pešačku stazu).
14. Automatski krov se zatvara ako je ispunjen jedan od dva uslova. Ukoliko je temperatura niža od ___ ili vlažnost vazduha veća od ___.
15. Kontrolisati temperaturu unutar sobe:
 - uključivanjem grejača, ako ambijentalna temperatura padne ispod ____.
 - uključivanjem rashladnog uređaja, ukoliko ambijentalna temperatura pređe ____.
16. Vozač potencijometrom zadaje željenu temperaturu sedišta. Grejač se uključuje kada temperatura sedišta padne ispod ___ željene temperature, a gasi se kada temperatura sedišta pređe ___ iznad zadate temperature.
17. Korisnik digitalno kontroliše izlaznu temperaturu vode iz mešača. Početna temperatura vode je ___. Pritiskom na jedan od tastera temperatura vode se povećava ili smanjuje za ____.

LITERATURA

[1] C. Ray Wylie, Louis C. Barrett : *Advanced Engineering Mathematics*- McGraw-Hill Book Company, 1983.

[2] John Turner, Martyn Hill : *Instrumentation for Engineers and Scientists*- Oxford Science publications, 1999.

[3] Paul Scherz : *Practical Electronics for Inventors*- McGraw-Hill, 2000.

[4] J. Edward Carryer, R. Matthew Ohline, Thomas W. Kenny : *Introduction to Mechatronic Design*- Stanford University, 2011.

[5] Robert G. Seippel : *Transducer Interfacing*- New Jersey, 1988.

[6] Sabrie Soloman : *Sensor Handbook (Second Edition)*- McGraw-Hill, 2010.