PREDGOVOR

Univerzitetski udžbenik „Digitalno upravljanje u proizvodnji“, napisan je kao osnovna literatura za predmet „Digitalni sistemi“. S tim u vezi, prezentovano gradivo prilagođeno je programskom sadržaju pomenutog predmeta. Namijenjen je studentima master studija studijskog programa Mašinstvo, na smjeru Proizvodno mašinstvo, Mašinskog fakulteta Univerziteta u Istočnom Sarajevu. Osim studenata, udžbenik može poslužiti i zainteresovanim inženjerima mašinstva i elektrotehnike, koji se bave automatizacijom proizvodnje.

Nemjerljiv doprinos obrazovanju studenata Mašinskog fakulteta Istočno Sarajevo, u području automatskog upravljanja, u pogledu sticanja fundamentalnih znanja dao je dr Novak Nedić, redovni profesor u penziji Fakulteta za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerziteta u Kragujevcu, dok su u domenu primjene digitalnih sistema u proizvodnji, veliki trag ostavili dr Vučko Mečanin i dr Ljubomir Lukić, redovni profesori u penziji sa istog fakulteta. U ovoj oblasti, ističe se i doprinos dr Aleksandra Košaraca, docenta Mašinskog fakulteta, Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

Cilj ovog udžbenika, kao i predmeta za koji je napisan, je da se nadogradi znanje studenata, koje je stečeno u okviru grupe predmeta na osnovnim studijama, iz oblasti automatike. Shodno tome, vođeno je računa o svim oblastima koje studenti na smjeru Proizvodno mašinstvo, studijskog programa Mašinstvo, izučavaju na prvom ciklusu studija, gdje spadaju: osnovi informatike, osnovi sistema i automatskog upravljanja, pneumatika, automatizacija proizvodnih sistema, mehatronika i druge. Prateći program predmeta za koji je napisan, udžbenik ne ulazi u dubinu, tj. fundament digitalnih sistema upravljanja, već slikovito čitaocu predstavlja njihovu primjenu u proizvodnji. S ciljem da studenti dobiju što veći obim konkretnih ishoda učenja, posebna pažnja je posvećena programabilnim logičkim kontrolerima (PLK) (*eng. programmable logic controller - PLC*), kao i pneumatskim sistemima upravljanja. Imajući u vidu da je štivo prvenstveno namijenjeno diplomiranim inženjerima mašinstva, struktura udžbenika je takva da su digitalni sistemi upravljanja i njihove komponente, gdje je god to moguće, prvo objašnjeni na bazi pneumatike, a nakon obrađenih PLK, pristupljeno je njihovoj elektronskoj realizaciji. Tome u prilog ide i činjenica, da su današnji sistemi u industriji veoma često kombinacija elektronskih, električnih i pneumatskih komponenti, kao i ekspanzija digitalne pneumatike u okviru Industrije 4.0. Materija u ovom udžbeniku je izložena kroz šest poglavlja.

U prvom poglavlju su predstavljeni pneumatski logički elementi, koji se koriste u okviru upravljačkih sistema. S ciljem usmjeravanja prema elektronskim komponentama, dati su uporedni prikazi njihove relejne i pneumatske realizacije.

Pored toga, skrenuta je pažnja na opasnosti u radu i propisane sigurnosne mjere.

Kombinaciona logička kola su opisana u drugom poglavlju. Izložena je analiza i sinteza ovih kola. Pored klasičnih, posebna pažnja posvećena je njihovoj izvedbi pomoću integrisanih kola. Vodeći računa o smjeru na kome se izučava ovaj predmet, u nastavku ovog poglavlja su obrađena pneumatski realizovana kombinaciona logička kola za upravljanje mašina u proizvodnji.

Treće poglavlje sadrži osnovne memorijske elemente, analizu i sintezu sinhronih i asinhronih sekvencijalnih logičkih kola. Pored toga, kao i u drugom poglavlju, postupak sinteze asinhronih sekvencijalnih logičkih kola je oslikan na konkretnom primjeru iz proizvodnje. Savremeni način projektovanja ovih kola, korišćenjem sekvencijalnih struktura, je obrađen na kraju ovog poglavlja.

Programabilni logički kontroleri (PLK) su predmet četvrtog poglavlja. Pošto se izučavanje pomenutih digitalnih industrijskih računara započinje na osnovnim studijama, u ovom udžbeniku, fokus je stavljen na centralnu procesorsku jedinicu (CPU), kao glavni dio PLK. Dakle, podrobnije su objašnjeni konkretni CPU moduli proizvođača *Siemens*, s ciljem da se objasne njegove memorijske oblasti i polja, vrste podataka i načini pristupa njima. Takođe su objašnjeni analogno-digitalni (A/D) i digitalno-analogni (D/A) pretvarači (konvertori) u okviru PLK, kao i uređaji za programiranje PLK. Raspoloživost opreme u laboratorijama Elektrotehničkog i Mašinskog fakulteta Univerziteta u Istočnom Sarajevu, navela je autore da se pri izlaganju gradiva fokusiraju na *Siemens*-ovu SIMATIC S7-200 i S7-300 seriju PLK, jer se na pomenutoj opremi izvodi praktičan rad studenata u okviru predmeta „Digitalni sistemi“.

Logičan nastavak je peto poglavlje, koje sadrži upravljanje objekata u proizvodnji korišćenjem PLK. U ovom poglavlju je detaljno objašnjeno projektovanje kombinacionih i sekvencijalnih automata, u okviru PLK za upravljanje karakterističnih objekata u proizvodnji.

Izlaganje se završava sa šestim poglavljam u kome su, nakon opštih karakteristika proporcionalno-integralno-diferencijalnog (PID) regulatora, date njegova pneumatska i digitalna elektronska realizacija (pomoću PLK).

Spisak korišćene literature je dat na kraju udžbenika.

Autori se zahvaljuju recenzentima prof. dr Novaku Nediću sa Fakulteta za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerziteta u Kragujevcu i prof. dr Milomiru Šoji sa Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Istočnom Sarajevu na korisnim sugestijama, koje su doprinijele podizanju kvaliteta ovog udžbenika.

Sve greške, primjedbe i sugestije cijenjeni čitaoci mogu dostaviti na e-mail adrese sasa.prodanovic@ues.rs.ba, slobodan.lubura@etf.ues.rs.ba.

U Istočnom Sarajevu,
April, 2021. godine Autori

SADRŽAJ

1 PNEUMATSKI LOGIČKI ELEMENTI 1

1.1 Osnovne i složene (izvedene) logičke funkcije 2
1.1.1 DA logička funkcija (funkcija identiteta, ponavljanje) 2
1.1.2 NE logička funkcija (negacija) 4
1.1.3 I logička funkcija (logičko množenje - konjukcija) 5
1.1.4 ILI logička funkcija (logičko sabiranje) 7
1.1.5 NI logička funkcija 9
1.1.6 NILI logička funkcija 10
1.1.7 EXILI logička funkcija (isključivo ILI) 11
1.1.8 EXNILI logička funkcija (isključivo NILI – ekvivalencija) 12

1.2 Memorijski elementi 14
1.2.1 Nepulsni *SR* flip flop (leč) 14
1.2.2 Memorijski element sa jednim izlazom 16

1.3 Elementi sa kašnjenjem 17
1.3.1 Generator pojedinačnog impulsa (eng. One-shot element) 18
1.3.2 Element kašnjenja pri uključenju (*eng. Time-on delay element*) 18
1.3.3 Element kašnjenja pri isključenju (*eng. Time-off delay element*) 19

1.4 Mehanički aktivirani pneumatski upravljački razvodni ventili (razvodnici) 20
1.4.1 Ručno aktivirani pneumatski upravljački razvodnici 20
1.4.2 Automatski aktivirani pneumatski upravljački razvodnici – granični prekidači . 24

1.5 Opasnosti u radu sa pneumatskim sistemima i propisane sigurnosne mjere 27

2 KOMBINACIONA LOGIČKA KOLA 29

2.1 Postupak analize kombinacionih logičkih kola 31

2.2 Algoritam za projektovanje kombinacionih logičkih kola 32

2.3 Klasična kombinaciona logička kola 33
2.3.1 Sabirači 33
2.3.1.1 Polusabirač 33
2.3.1.2 Potpuni sabirač 34
2.3.2 Oduzimači 35
2.3.2.1 Poluoduzimač 35
2.3.2.2 Potpuni oduzimač 36
2.3.3 Pretvarači kodova 37

2.3.3.1 Pretvarač decimalnog u binarni kod 38
2.3.3.2 Pretvarač BCD koda u decimalni kod 39

2.4 Kombinaciona logička kola sa integrisanim kolima 41
2.4.1 Algoritam za projektovanje pomoću integrisanih kola 42
2.4.2 Binarni paralelni sabirač 42
2.4.3 Decimalni sabirač 43
2.4.4 Upoređivač vrijednosti 45
2.4.5 Dekoder 46
2.4.6 Demultiplekser 47
2.4.7 Koder 48
2.4.8 Multiplekser 48

2.5 Primjena pneumatski realizovanih kombinacionih logičkih kola u proizvodnji 49
2.5.1 Sistem upravljanja trake za transport dijelova 49
2.5.2 Sistem upravljanja uređaja za sortiranje dijelova 53

3 SEKVENCIJALNA LOGIČKA KOLA 59

3.1 Flip flopovi 60
3.1.1 *SR* flip flop 61
3.1.2 *JK* flip flop 61
3.1.3 *T* flip flop 63
3.1.4 *D* flip flop 64

3.2 Sinhrona sekvencijalna logička kola 65
3.2.1 Analiza sinhronih sekvencijalnih logičkih kola 65
3.2.2 Sinteza sinhronih sekvencijalnih logičkih kola 66
3.2.2.1 Sinteza sinhronog sekvencijalnog logičkog kola koje nema spoljašnje izlaze 66
3.2.2.2 Sinteza sinhronog sekvencijalnog logičkog kola koje ima spoljašnji izlaz .. 70

3.3 Asinhrona sekvencijalna logička kola 74
3.3.1 Analiza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola 76
3.3.1.1 Analiza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola koja sadrže samo povratne grane 76
3.3.1.2 Analiza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola sa nepulsnim flip flopovima (lečevima) 79
3.3.2 Sinteza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola 84
3.3.2.1 Sinteza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola koja sadrže samo povratne grane 85
3.3.2.2 Sinteza asinhronih sekvencijalnih logičkih kola sa nepulsnim flip flopovima (lečevima) 88
3.3.3 Primjena pneumatski realizovanih asinhronih sekvencijalnih logičkih kola u proizvodnji 90

3.4 Sekvencijalne strukture 98
3.4.1 Osnovni elementi sekvencijalnih struktura 99
3.4.2 Pravila formiranja sekvencijalnih struktura 99
3.4.2.1 Jednostruka sekvenca 100
3.4.2.2 Grananje sekvenci 100
3.4.2.3 Grananje sekvenci sa unaprijed definisanim prioritetom 100
3.4.2.4 Grananje sekvenci sa međusobno isključivim uslovima 101
3.4.2.5 Sažimanje sekvenci 101
3.4.2.6 Paralelne grane (sekvence) 101
3.4.2.7 Sažimanje paralelnih grana (sekvenci) 102
3.4.2.8 Koraci u petlji 102
3.4.2.9 Ispuštanje (preskakanje) koraka 103
3.4.3 Greške u formiranju sekvencijalnih struktura 104
3.4.3.1 Nekauzalna sekvenca 104
3.4.3.2 Nedostižan uslov prelaza 105

4 PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLERI (PLK) 107

4.1 Osnovni moduli PLK 111

4.2 Tipovi konstrukcionih izvedbi PLK 113
4.2.1 Kompaktna izvedba PLK 113
4.2.2 Modularna izvedba PLK 114

4.3 CPU moduli PLK 115
4.3.1 CPU moduli iz S7-200 serije PLK 117
4.3.1.1 Struktura i opšte karakteristike S7-200 serije PLK 117
4.3.1.2 Komunikacioni interfejsi kod S7-200 serije PLK 121
4.3.1.3 Memorijska polja kod S7-200 serije PLK 122
4.3.1.4 Pristup podacima u memorijskim poljima PLK 125
4.3.1.5 Zapisivanje različitih tipova podataka u memoriji CPU modula 131
4.3.2 CPU moduli iz S7-300 serije PLK 132
4.3.2.1 Struktura i opšte karakteristike S7-300 serije PLK 132
4.3.2.2 Konfigurisanje PLK serije S7-300 135

4.4 Analogno – digitalni (A/D) i digitalno - analogni (D/A) pretvarači (konvertori) u okviru PLK 148
4.4.1 Analogno – digitalni (A/D) pretvarači (konvertori) u okviru PLK 148
4.4.2 Digitalno – analogni (D/A) pretvarači (konvertori) u okviru PLK 149

4.5 Uređaji za programiranje PLK 150
4.5.1 Ručni uređaj za programiranje PLK 150
4.5.2 PC kao stanica za programiranje S7-200 serije PLK 151
4.5.3 PC kao stanica za programiranje S7-300 serije PLK 154
4.5.3.1 Povezivanje PC sa PLK serije S7-300 pomoću MPI interfejsa 154
4.5.3.2 Povezivanje PC sa PLK serije S7-300 pomoću PROFINET interfejsa 158

5 UPRAVLJANJE OBJEKATA U PROIZVODNJI POMOĆU PROGRAMABILNIH LOGIČKIH KONTROLERA 163

5.1 Projektovanje kombinacionih automata u okviru PLK 164
5.1.1 Projektovanje kombinacionog automata (programiranje PLK) za upravljanje međuskladišta dijelova 165
5.1.2 Projektovanje kombinacionog automata (programiranje PLK) za upravljanje uređaja za kontrolu kvaliteta dijelova 169
5.1.3 Realizacija 7-segmentnog displeja u okviru PLK 174

5.2 Projektovanje sekvencijalnih automata u okviru PLK 175
5.2.1 Projektovanje sekvencijalnog automata (programiranje PLK) za upravljanje uređaja za označavanje dijelova 176
5.2.2 Projektovanje sekvencijalnog automata (programiranje PLK) za upravljanje mašine za savijanje lima 187

6 REALIZACIJA PID REGULATORA 199

6.1 Osnovne karakteristike PID regulatora 199

6.2 Pneumatski PID regulatori 202
6.2.1 Sistem pločica – mlaznica 202
6.2.2 Vazdušni relej 203
6.2.3 Elastični mjeh 205
6.2.4 Pneumatski P (proporcionalni) regulator 205
6.2.5 Pneumatski PI (proporcionalno - integralni) regulator 207
6.2.6 Pneumatski PD (proporcionalno - diferencijalni) regulator 208
6.2.7 Pneumatski PID (proporcionalno - integralno - diferencijalni) regulator 209

6.3 Realizacija PID regulatora u okviru PLK 209

1 PNEUMATSKI LOGIČKI ELEMENTI

U savremenim industrijskim procesima električne i elektronske upravljačke komponente zadavoljavaju širok dijapazon potreba koje se odnose na realizaciju upravljačkog sistema (regulatora), u okviru sistema upravljanja, čiji je energetski (aktuatorski) dio realizovan sa pneumatskim komponentama. Bez obzira da li se radi o relejnoj tehnici, programabilnim logičkim kontrolerima (PLK) ili računarima, mogućnost prenosa signala bez kašnjenja na veće udaljenosti doprinosi njihovoj veoma učestaloj primjeni. Međutim, u industriji postoje sistemi i postrojenja u kojima je upotreba električnih i elektronskih upravljačkih komponenti otežana ili potpuno nemoguća. Tu se prvenstveno misli na okruženja sa velikom vlagom ili prašinom, kao i pri radu sa materijama kod kojih postoji rizik od zapaljenja ili eksplozije. Ova ograničenja se prevazilaze realizacijom logičkih funkcija pomoću pneumatskih komponenti, jer se na taj način izbjegava opasnost od električnog udara. Sama upravljačka kola su slična električnim, s tim da se u ovom slučaju kao medijum koristi vazduh pod pritiskom iz kompresora [1]. Osim toga, postoji pristup u projektovanju sistema automatskog upravljanja u kome se preferira da se isti oblik energije koristi u njegovom upravljačkom i energetskom dijelu. Konstantno isticanje vazduha iz komponenti tokom funkcionisanja obezbjeđuje njihovo samočišćenje, a to doprinosi produženju vijeka trajanja čitavog sistema. U prilog pneumatskim komponentama ide i činjenica da neke od njih mogu funkcionisati i u okruženju sa visokom temperaturom i radijacijom. Kao medijum, umjesto vazduha, u pneumatskim upravljačkim sistemima se može koristiti i neki drugi gas u postrojenjima njegove eksploatacije, jer se taj gas pod pritiskom istovremeno koristi i kao izvor pneumatske energije i u procesnom dijelu sistema upravljanja [2].

Pri pneumatskoj realizaciji upravljačkog sistema, od atmosferskih uticaja potrebno je zaštititi kompresor, jer se on napaja električnom energijom. Kada se uzme u obzir da se pneumatski signali uspješno prenose na razdaljine do 150 m jasno je da je kompresor, u većini slučajeva, moguće izmjestiti iz opasnog okruženja. Osim toga, vazduh kao fluid je pogodan za pretvaranje u druge vidove energije i ne zagađuje okolinu.

Pored električnih i pneumatskih komponenti, industrijske automatizovane sisteme često sačinjavaju komponente, koje su i same u cjelini ili djelimično sastavljene od mehaničkih i pneumatskih elemenata. Bez obzira na način realizacije, od automatizovanog sistema se zahtijeva pouzdanost, tačnost, odgovarajuća rezolucija, ponovljivost, što kraće vrijeme odziva, bezbjednost za čovjeka i opremu i što duži vijek trajanja uz što je moguće manju cijenu. Pneumatski realizovane automatizovane sisteme karakterišu: dobra pouzdanost, bezbjednost, tačnost, rezolucija i ponovljivost, visok energetski nivo izlaznog signala, dug vijek trajanja, mogućnost digitalne i analogne izvedbe, kao i duže vrijeme odziva [1].

Zbog svojih osobina, a prvenstveno visoke pouzdanosti, pneumatske komponente se koriste u veoma zahtjevnim sistemima kao što su kočioni sistemi vozova i kamiona. Njihova preciznost im je obezbijedila široku upotrebu u metaloprerađivačkoj, prehrambenoj, farmaceutskoj i hemijskoj industriji. Mogućnost preciznog podešavanja (upravljanja) protoka vazduha, pozicionirala je pneumatiku na veoma značajno mjesto u proizvodnji muzičkih instrumenata od davnih vremena pa do danas [3].

Pneumatskim upravljačkim sistemima može se realizovati bilo koja logička funkcija ili logički element, odnosno logičko kolo kao što su: osnovne logičke funkcije (I, ILI i NE), složene logičke funkcije (NI, NILI, EXILI i EXNILI), memorijski elementi, elementi sa vremenskim kašnjenjem, tasteri, granični prekidači, kao i složeniji upravljački sistemi poput PID regulatora.

1.1 Osnovne i složene (izvedene) logičke funkcije

Logičke funkcije (operacije) I, ILI i NE se nazivaju osnovne, jer se njihovim kombinovanjem mogu dobiti sve složenije logičke funkcije. Sklopovi komponenti koji realizuju te funkcije nazivaju se logička kola.

1.1.1 DA logička funkcija (funkcija identiteta, ponavljanje)

Ova funkcija se realizuje sa jednom ulaznom X i jednom izlaznom veličinom Y. Njen izraz je $Y=X$ zbog čega se još naziva i funkcija ponavljanja [4].