

doc. dr Saša Prodanović, prof. dr Slobodan Lubura

DIGITALNO UPRAVLJANJE U PROIZVODNJI

Prvo izdanje

Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
Akademska misao
2021.

Naziv udžbenika: „Digitalno upravljanje u proizvodnji“

Autori: dr Saša Prodanović, docent
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet
dr Slobodan Lubura, redovni profesor
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet

Recenzenti: dr Novak Nedić, redovni profesor u penziji
Univerzitet u Kragujevcu,
Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu
dr Milomir Šoja, vanredni profesor
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet

Lektor: Danijela Lubura, profesor

Izdavač: Univerzitet u Istočnom Sarajevu,
Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
Akademska misao, Beograd

Za izdavača: Dekan, dr Milija Kraišnik, vanredni profesor

Tehnička obrada: autori

Štampa: Akademska misao, Beograd

Tiraž: 200 primjeraka

ISBN 978-99976-947-2-0

Odlukama Naučno-nastavnog vijeća Mašinskog fakulteta Istočno Sarajevo broj: 562-C/21 od 09.06.2021. godine i Senata Univerziteta u Istočnom Sarajevu broj: 01-C-202-XVIII/21 od 24.06.2021. godine, rukopis „Digitalno upravljanje u proizvodnji“, autora doc. dr Saše Prodanovića i prof. dr Slobodana Lubure odobren je za izdavanje kao univerzitetski udžbenik na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

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, detaljnije 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 poglavljem 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.

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 - konjunkcija)	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 zadovoljavaju 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 energetske 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].