



Krmilni in regulacijski sistemi 1

1. del: KRMILNI SISTEMI (izbrane vsebine)

mag. Matej Kamin, univ. dipl. inž.

Vsebina

1. Krmiljenje procesov

1. Zgradba krmilnega sistema
2. Povezovanje krmilnih naprav v proces
3. Vrste krmilij
4. Projektiranje in načrtovanje krmilij
5. Kombinacijska krmilja
6. Sekvenčna (prosto delujoča in koračna krmilja)

2. Prosto programirljiva krmilja - PPK

1. Programirljivi logični krmilniki – PLK (zgradba, delovanje, izvedbe ..)
2. Programiranje logičnih krmilnikov (standard IEC 1131, programski jeziki, podatkovni tipi, adresiranje)
3. PLK Simatic S7 200, CPU 222 (osnovni podatki in lastnosti, IEC in SIMATIC programski jeziki, adresiranje pomnilniških lokacij, priprava na vaje)



1. Zgradba krmilnega sistema/1

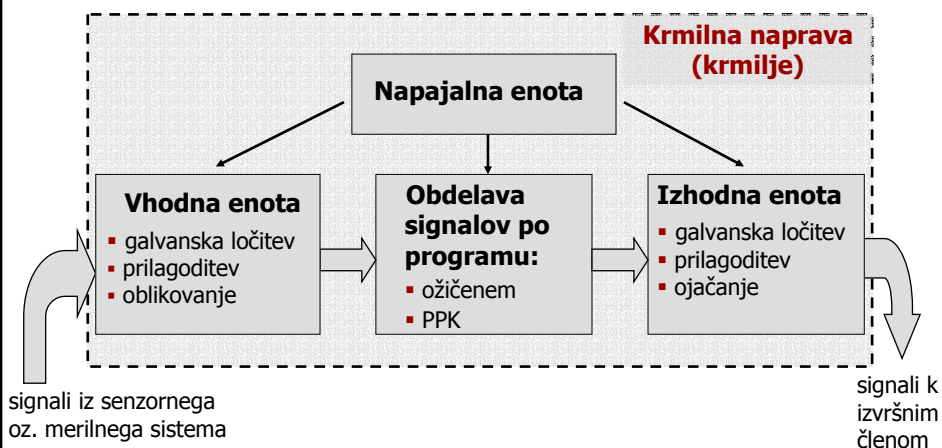
Krmilni sistem sestavlja:

1. stroj, naprava ali proces oz. postopek skupaj z izvršnimi, nastavitvenimi členi in dajalniki signalov
2. krmilna naprava ali krmilje
(ožičeno ali prosto programirljivo krmilje – PPK)



1. Zgradba krmilnega sistema/2

1.1. Krmilna naprava ali krmilje/1



1. Zgradba krmilnega sistema/3

1.1. Krmilna naprava ali krmilje/2

1. Vhodna enota je enota za zajemanje procesnih spremenljivk in spremenljivk operaterja, ki njihove signale preoblikuje in prilagodi ter posreduje enoti za obdelavo. Pomembna pri tem je galvanska ločitev signalov.

2. Enota za obdelavo signalov:

- a) v trajno ožičenih sistemih je to pogosto vezje z elektronskimi logičnimi, časovnimi, števničnimi, računskimi, .. elementi, ki opravljajo funkcijo krmilja
- b) v krmiljih s prostim programiranjem pa je to centralno procesna enota (mikroprocesor), skupaj s pomnilniki in perifernimi enotami; v programskem pomnilniku je shranjen krmilni program, ki opravlja funkcijo krmilja



1. Zgradba krmilnega sistema/4

1.1. Krmilna naprava ali krmilje/3

3. Izhodna enota je enota za preoblikovanje, prilagoditev in posredovanje krmilnih signalov izvršnim členom procesa. Ponovno je pri tem pomembna galvanska ločitev signalov.

4. Napajalna enota je enota, ki oskrbuje krmilno napravo z napajalno napetostjo. Pri PPK so standardne izvedbe z enosmerno napetostjo 24 V.



1. Zgradba krmilnega sistema/5

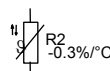
1.2. Dajalniki signalov (senzorji, detektorji, merilni členi)

Naloge:

1. merjenje oz. detekcija veličine v krmilnem sistemu
2. pretvoriti signal v ustrezno obliko (ojačanje, temp. kompenzacija, offset,..)
3. informacijo posredovati krmilni napravi

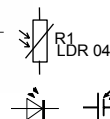
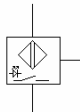
Poznamo različne vrste dajalnikov:

1. **mehanski** pretvorijo silo, ki deluje na dajalnik v el. signal (mejna stikala, tipkala, lahko pa silo pretvorijo tudi v tok ali napetost)
2. **uporovni** uporabljajo lastnost, da se spremeni upornost elementa. Uporabljajo se mostična vezja (uporovni lističi, termistorji, linearni in rotacijski potenciometri,...).



1. Zgradba krmilnega sistema/6

3. **induktivni**; merjena fizikalna veličina vpliva na spremembo induktivnosti, *izhod je lahko binaren z delovnim ali mirovnim kontaktom*
4. **kapacitivni** delujejo na spremembi kapacitivnosti, merimo lahko pomike, nivoje, uporaba kot približevalna končna stikala
5. **optoelektronski** delujejo na spremembi svetlobe, ki jo pretvorimo v el. napetost (npr. fotocelica) ali pa delujejo na spremembi ohmske upornosti (npr. fotoupor, fotodioda; pri sondah se uporablja UV- ali IR-svetloba)
6. **CMOS-senzorji** (senzor in elektronika v enem čipu – senzorni efekt v Si, nižja cena, višja kvaliteta, manjše motnje)



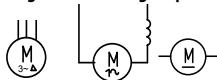
1. Zgradba krmilnega sistema/7

1.3. Izvršni členi – aktuatorji

Naloge:

1. izvrševanje ukazov
2. javljanje in signalizacija o stanju procesa

☐ elektromotorni pogoni



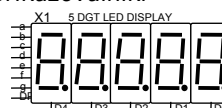
☐ javljalniki



☐ pnevmatski cilindri



☐ prikazovalniki



☐ svetila, grelci, ventilatorji



☐ ventili



☐ svetlobna signalizacija



2. Povezovanje krmilnih naprav v proces/1

Krmilno napravo lahko vključimo v proces na dva načina:

1. **Krmiljenje v odprti zanki** (kombinacija vhodnih spremenljivk s pomočjo krmilne naprave aktivira krmilne signale in jih preko izhodne enote posreduje izvršnim členom – *iz procesa ni povratne informacije*)

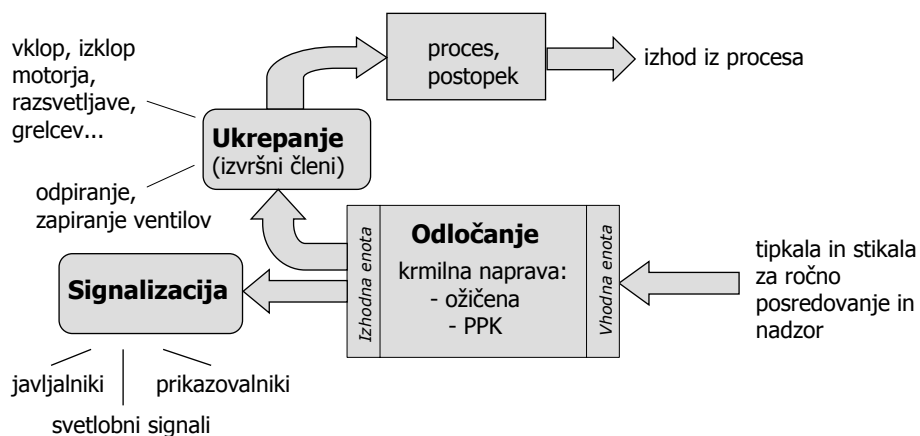
Delovanje oz. vodenje procesa poteka v dveh fazah:

1. **odločanje** (obdelava podatkov, signalov)
2. **ukrepanje** (posredovanje in izvrševanje ukazov, katere običajno spremlja ustrezna signalizacija)



2. Povezovanje krmilnih naprav v proces/2

Krmiljenje v odprti zanki



2. Povezovanje krmilnih naprav v proces/3

2. Krmiljenje v zaprti zanki (najpogostejši način, predvsem pri krmiljenju industrijskih procesov; na vhod krmilne naprave prihajajo signali iz procesa)

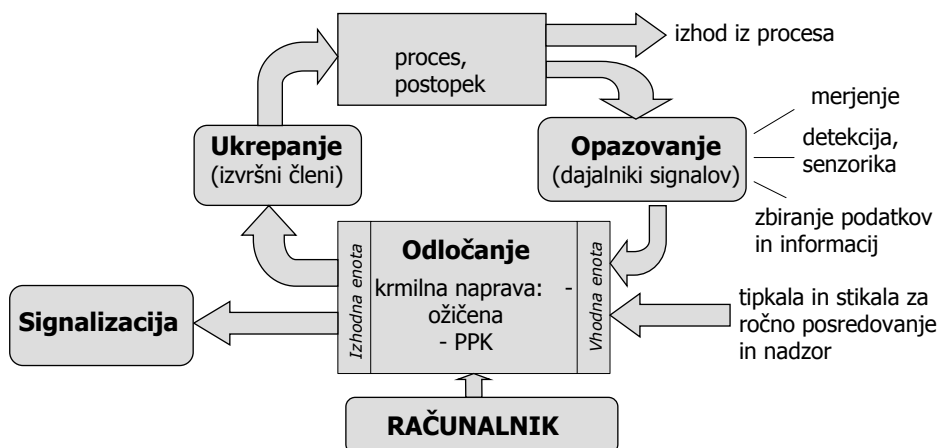
Delovanje oz. vodenje procesa vsebuje dodatno fazo:

3. opazovanje (zbiranje informacij in podatkov)



2. Povezovanje krmilnih naprav v proces/4

Krmiljenje v zaprti zanki



3. Vrste krmilij/1

Glede na izvedbo delimo krmilja v dve skupini:

1. Trajno ožičena krmilja

Način ali program delovanja je določen z medsebojno povezavo elementov, torej s fiksnim ožičenjem. **Delovanje lahko spremenimo le, če posežemo v ožičenje krmilja.**

- ☐ **elektromehanska** (kontaktna) – zgodovinski začetek krmilnih vezij,
 - **sestava:** stikala, tipkala, releji, elektromagnetni ventili
 - **lastnosti:** težka, robustna vezja z velikim preklopnimi časi (počasna), omejena življenjska doba, majhna odpornost proti atmosferskim vplivom, velika poraba energije



3. Vrste krmilij/2

- ❑ **elektronska** – z razvojem polprevodniških elementov (1954, tranzistor je zamenjal kontaktni element)
 - **sestava:** elektronske komponente: logična vrata, števc, časovni moduli, elektronska vezja za aritmetiko,...
 - **lastnosti:** v začetku zelo občutljiva na motnje, izboljšava (1970) z razvojem namenskih vezij za industrijsko rabo; večja zanesljivost, dolga življenjska doba, hitro delovanje, majhen volumen, bistveno večja gostota funkcij ter obdelava informacij na enoto volumna, enostavno projektiranje (ni potrebno specialistično znanje elektronike), še vedno fiksno ožičenje-> univerzalna raba: SIMATIC-C (Siemens), LOGISTAT (AEG), splošno namenski sistemi: BOSCH, PHILIPS, THOMSON..
- ❑ **pnevmatska** (neelektrična)
 - **sestava:** pnevmatske komponente, kot so ventili, cilindri...



3. Vrste krmilij/3

2. Pomnilniško ali prosto programirljiva krmilja- PPK

Pojav prvih krmilij nekako vzporedno s prvimi mikroprocesorji (v letih 1975-80). To so krmilja, kjer je elektronska povezava elementov nadomeščena z mikroelektronskimi komponentami: ROM, RAM, EEPROM, mikroprocesorjem, vhodno/izhodni vmesniki...

Način delovanja je določen s programom, ki je zapisan v programskem pomnilniku in ga lahko po želji spremenimo.

Najpogostejši način implementacije ali nadgradnje vodenja procesa je uporaba programirljivih logičnih krmilnikov – PLK (PLC-Programmable Logic Controllers).



3. Vrste krmilij/4

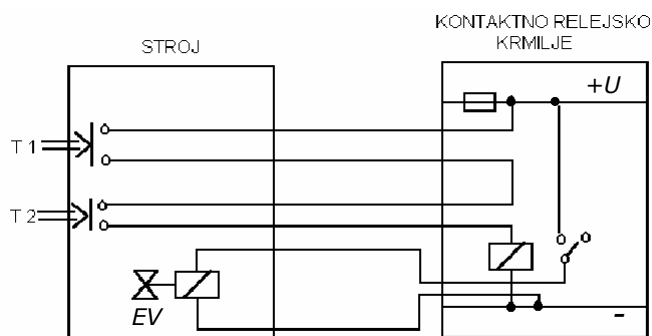
Prednosti prosto programirljivih krmilij – PPK:

- ❑ **velika prilagodljivost, možnost hitrega reprogramiranja, ni potrebno spreminjati ožičenja, le program**
- ❑ **večja zmogljivost – kompleksnejše naloge (širok nabor funkcij, časovniki, števcji, primerjalniki, aritemtične operacije, funkcijski bloki, uporaba različnih vrst pomnilniških lokacij,...)**
- ❑ **zanesljivost**
- ❑ **odpornost na motnje**
- ❑ **sprva draga, z leti vse cenejša in danes povsem cenovno dostopna**



3. Vrste krmilij/5

Primerjava različnih vrst krmilij

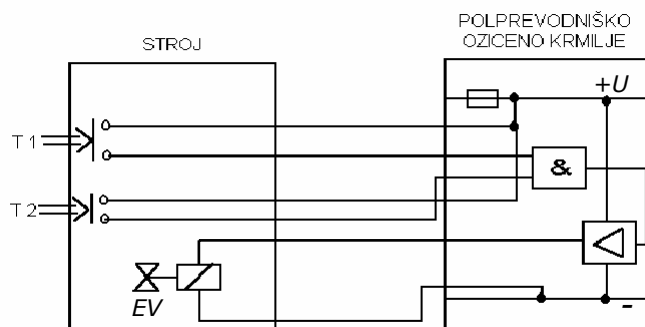


Vklop elektromagnetnega ventila s kontaktnim, ožičenim krmiljem



3. Vrste krmilij/6

Primerjava različnih vrst krmilij

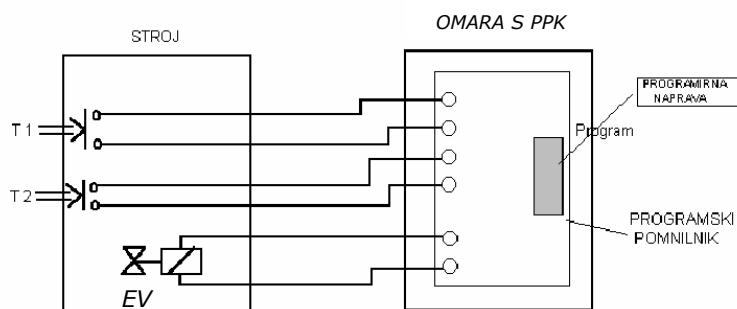


Vklop elektromagnetnega ventila z elektronskim, ožičenim krmiljem



3. Vrste krmilij/7

Primerjava različnih vrst krmilij

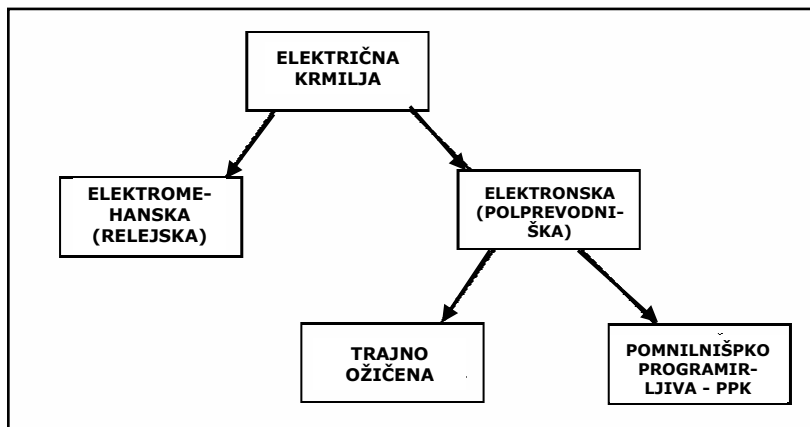


Vklop elektromagnetnega ventila s prosto programirljivim krmiljem – PPK



3. Vrste krmilij/8

Vrste električnih krmilij



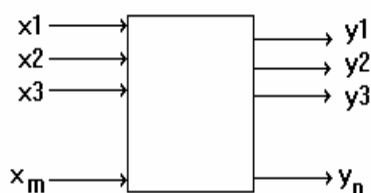
3. Vrste krmilij/9

Glede na funkcijsko odvisnost vhodov in izhodov delimo krmilja v dve skupini:

1. Kombinacijska (logična)

Trenutna stanja posameznih izhodnih spremenljivk y so odvisna samo od trenutnih stanj vhodnih spremenljivk x (ne vsebuje pomnilnih elementov).

kombinacijsko krmilje



3. Vrste krmilij/10

2. Sekvenčna,

kjer je trenutno stanje izhodnih spremenljivk y poleg trenutnega stanja vhodnih spremenljivk x , odvisno tudi od predhodnih notranjih stanj z (vsebujejo pomnilne elemente).

Ista kombinacija vhodnih spremenljivk se lahko zaradi dodatnih notranjih stanj preslika v različne izhodne kombinacije.



3. Vrste krmilij/11

Poznamo dve skupini sekvenčnih krmilij:

1. prosto delujoča krmilja - na vhodu se lahko pojavi poljubna kombinacija v **poljubnem zaporedju**
2. koračno delujoča krmilja - kombinacije vhodov se vedno pojavljajo v **določenem zaporedju**



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/1

K projektiranju krmilij in s tem tudi avtomatizaciji procesov je potrebno pristopiti načrtno.

Zelo dobro je potrebno poznati:

1. tehnologijo procesa
2. programsko, strojno opremo ter tehnične zmožljivosti



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/2

Predpogoj za pristop k osnutku in projektiranju krmilij je jasen, enosmiselen in splošno razumljiv način opisa delovanja krmilja.

4. 1. Opisovanje krmilij/1

Funkcijo krmilja **opisujemo** s standardnimi metodami, odvisno od vrste in kompleksnosti krmilja:

1. Besedni opis (večkrat lahko nepregleden, tudi dvoumen in nejasen)

Po pritisku gumba START tekoči trak premakne zaboj do položaja KS2, nakar se manipulator spusti v zaboj do KS3. Z vključitvijo ventila V1 primemo predmet in počakamo 3s. Potem se manipulator dvigne...



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/3

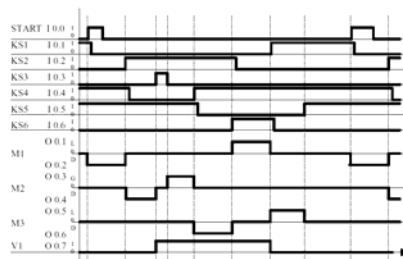
4. 1. Opisovanje krmilij/2

2. Pravilnostna (logična) tabela
ali tabela stanj

Q3	Q2	Q1	Q0	Q3	Q2	Q1	Q0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1

A	B	C	Y	Z
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0

3. Časovni diagram



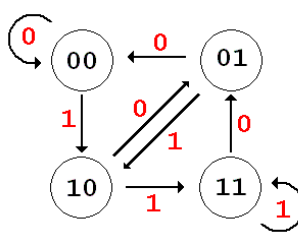
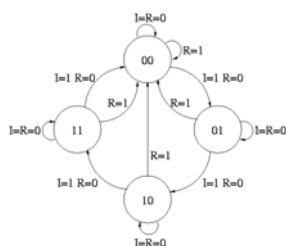
4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/4

4. 1. Opisovanje krmilij/3

4. Logična enačba

$$GOR = (L\bar{D} + \bar{L}D)\bar{Z}P = (L \oplus D)\bar{Z}P$$

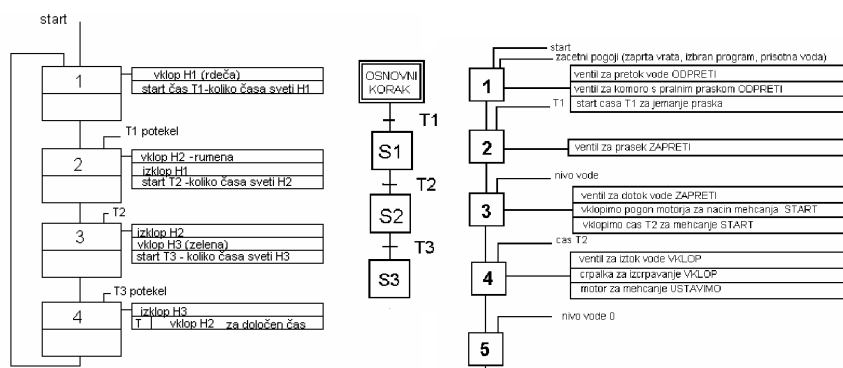
5. Diagram stanj (sekvenčna krmilja)



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/5

4. 1. Opisovanje krmilij/4

6. Koračna veriga (koračna krmilja) SFC (Sequential Function Chart)



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/6

4. 2. Faze načrtovanja/1

1. Glede na dani problem je treba določiti vrsto krmilja: kombinacijsko ali sekvenčno (koračno).
2. Določiti je potrebno vhodne in izhodne veličine. Pri tem je dobro sestaviti prireditveno tabelo spremenljivk.
3. Na osnovi zahtev in delovanja krmilja določiti logične funkcije oz. povezave (uporaba metod sinteze digitalnih vezij).
4. Izdelava **funkcijskega načrta s standardnimi simboli**.
5. Izdelava vezalnega načrta, če bo krmilje ožičeno oz. programa, če bo krmilje PPK.



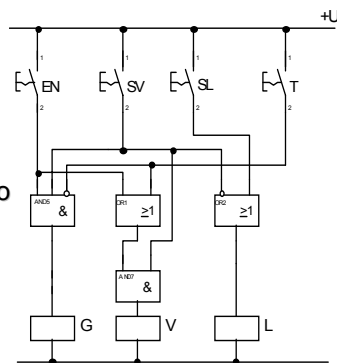
4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/7

4. 3. Funkcijski načrt

□ V večini primerov je izhodišče pred praktično realizacijo krmilja izdelava **funkcijskega načrta**.

□ Funkcijski načrt je primeren za izvedbo elektronskega krmilja s trajno ožičeno logiko in tudi PPK (današnji PLK-ji oz. programski paketi omogočajo programiranje tudi s funkcijskimi bloki).

□ Simboli so standardizirani. Signali praviloma vstopajo na levi (zgoraj), izstopajo na desni strani (spodaj).



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/8

4. 4. Realizacija krmilja/1

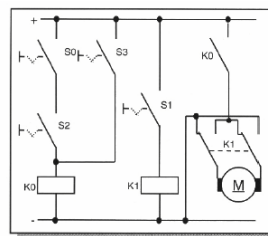
1. Trajno ožičeno krmilje:

Izdelava vezalnega načrta z elektromehanskimi elementi ali logičnimi elementi konkretne družine integriranih logičnih vezij.

2. PPK:

Izdelava uporabniškega programa (lestvična shema, funkcijska bločna shema, programski modul ali seznam ukazov), ki ga bomo kasneje vstavili v programski pomnilnik PLK-ja.

Primer krmilnega načrta



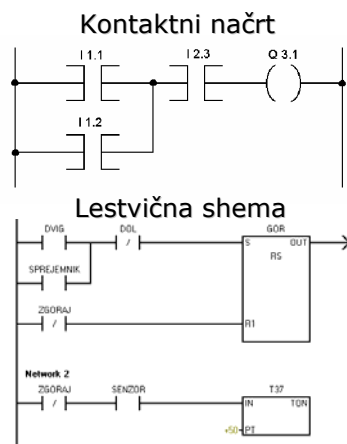
4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/9

4. 4. 1. Realizacija PPK/1

1. Lestvične sheme

(ladder diagrami) bazirajo na **kontaktnih načrtih**, ki izhajajo iz relejskih oz. krmilnih shem. Enostavno jih lahko kreiramo tudi iz funkcijskih načrtov.

- ☐ Gre za simbolično predstavitev konkretnih elementov pri elektromehanskih krmiljih.
- ☐ Niso primerni za kompleksnejše naloge.



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/10

4. 4. 1. Realizacija PPK/2

2. Programski modul (seznam ali nabor ukazov)

LD	DVIG
O	SPREJEMNIK
AN	DOL
LDN	ZGORAJ
NOT	
LPS	
A	GOR
=	GOR
LPP	
ALD	
O	GOR
=	GOR
LDN	ZGORAJ
A	SENZOR
TON	T37, +50



4. Projektiranje in načrtovanje krmilij/11

4. 4. 1. Realizacija PPK/3

3. Funkcijska bločna shema

