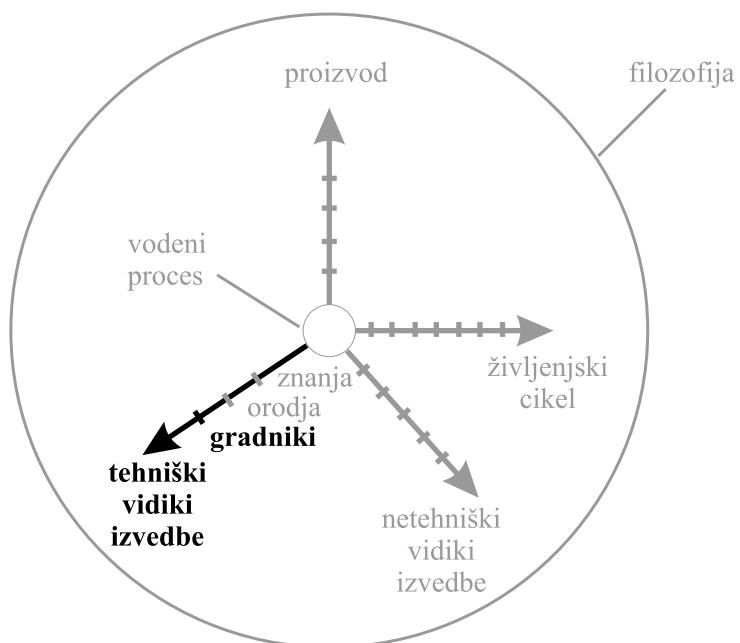


9. Tehniški vidiki izvedbe

Gradniki



9.1 Uvod

Kot smo že omenili, so sodobni računalniško podprti sistemi za vodenje sestavljeni iz vrste različnih gradnikov, ki se med sabo razlikujejo tako po funkcijah, katerim so namenjeni, kot tudi po stopnji kompleksnosti vgrajenih mehanizmov ter fizične in logične strukture, ki omogoča njihovo delovanje.

Pričujoče poglavje je namenjeno podrobnejši predstavitvi nekaterih najbolj značilnih gradnikov, ki jih potrebujemo pri izgradnji sistemov za vodenje.

Poglavje se začne s podpoglavjema o merilnih sistemih in izvršnih sistemih, v katerih se spoznamo z raznolikostjo principov njihovega delovanja po eni strani ter različnimi področji uporabe po drugi strani.

Sledi podpoglavje o vmesnikih in signalnih povezavah. To so gradniki, ki omogočajo komunikacijo oziroma izmenjavo informacij med napravami različnega tipa in napravami na različnih področjih uporabe.

Naslednji dve podpoglavji sta namenjeni podrobnejši predstavitvi dveh vrst gradnikov, ki sta v sistemih za vodenje najbolj pogosti. To so po eni strani krmilniki, ki so seveda pretežno namenjeni realizaciji krmiljenja, in regulatorji, ki so pretežno namenjeni regulaciji. V obeh primerih torej gre za gradnika, ki imata specifičen namen in funkcijo.

Za razliko od tega pa v naslednjem podpoglavju govorimo o računalnikih kot zelo univerzalnem gradniku, ki bodisi lahko nastopa samostojno ali pa je vgrajen v druge gradnike večje kompleksnosti.

Že v začetnih poglavjih te knjige smo poudarili, da je bistveni del sistemov za vodenje človek. Da bi lahko človek uspešno vršil svojo vlogo, potrebuje posebno vrsto gradnikov, ki jih imenujemo naprave za komunikacijo med človekom in strojem. Eno od podpoglavij je namenjeno okvirnemu opisu teh naprav.

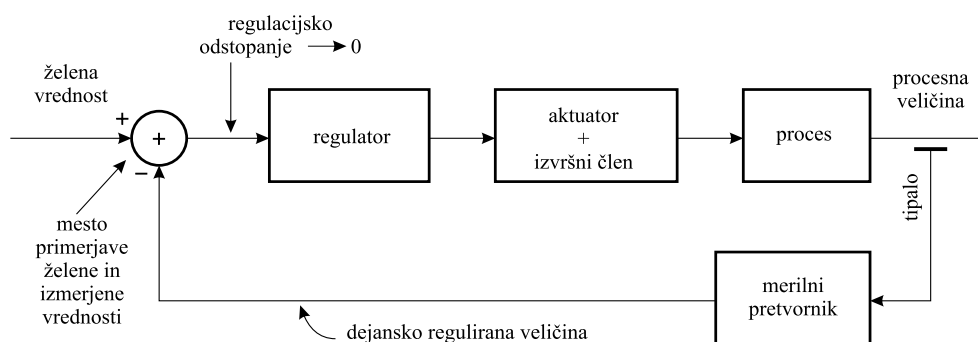
Zadnje podpoglavje v tem poglavju pa se nanaša na integrirane sisteme vodenja. To seveda niso gradniki v pravem pomenu besede, pač pa sistemi, ki nastanejo s povezavami različnih vrst gradnikov. V kontekstu vloge človeka v sistemu vodenja pa bi tudi takšen integrirani sistem lahko razumeli kot gradnik največje kompleksnosti, ki nato v povezavi s človekom tvori končni sistem za vodenje.

9.2 Merilni sistemi

Pri načrtovanju sistemov za avtomatsko vodenje procesov je pravilen izbor ustreznih merilnih sistemov eden izmed ključnih korakov za doseg kvaliteta vodenja. Pogosto tehnične izboljšave merilnega sistema pogojujejo izboljšavo tehnološkega postopka oziroma končnega izdelka, katerega proizvodnjo želimo izboljšati s sistemi

avtomatskega vodenja. Natančnost vodenja procesnih veličin je bistveno povezana z natančnostjo uporabljenega merilnega sistema. Poglejmo to na primeru problema regulacije kot to prikazuje Sl. 9.1.

Kvalitetna regulacijska zanka poskrbi, da se regulacijsko odstopanje (pogrešek) v ustaljenem stanju približa nični vrednosti. Tedaj se z želeno vrednostjo izenači izhodni signal iz merilnega pretvornika. Vrednost regulirane procesne veličine se tedaj razlikuje od želene vrednosti ravno za toliko, kolikor znaša odstopanje merilnega sistema, ki ga sestavljata tipalo in merilni pretvornik. Če torej želimo, da bi procesna veličina bila čim bližje želene vrednosti, potem mora izhodni signal merilnega pretvornika tem boljje ustrezati merjeni procesni veličini.



Sl. 9.1. Pomen merilnega sistema v regulacijski zanki: dejansko regulirana ni procesna veličina, kot bi želeli, temveč izhodni signal merilnega pretvornika na mestu primerjave z želeno vrednostjo.

9.2.1 Osnovne lastnosti tipal in merilnih pretvornikov

Tipalo ali senzor¹⁰ je primarni element merilnih sistemov za procesno vodenje. Služi za pretvorbo merjene fizikalne veličine v drugo, največkrat električno obliko. Ta je lahko spremenljiva napetost, tok, upornost, spremenljiva kapacitivnost, induktivnost, medsebojna induktivnost, električna nihanja različnih frekvenc, faz, amplitude, itd. Vsako tipalo bolj ali manj vpliva na energijske ali snovne (masne) razmere merjene procesne veličine: termočlen odvaja del toplote iz ogretega medija, merilni termoupor Pt-100 medij rahlo segreva, kakršnakoli meritev pretoka tekočin ali plinov povzroči dodaten padec tlaka. Tipalo je tem boljše, čim manj vpliva na merjeno procesno veličino

¹⁰ Pogosto pod izrazom "senzor" marsikdo razume "merilni sistem" kot celoto. V nakaterih primerih, ko sta npr. tipalo in merilni pretvornik integrirana na istem polvodniškem nosilcu, je morda to tudi upravičeno. Sicer pa je ustrezneje ločiti senzor (tipalo) in merilni pretvornik kot dva elementa merilnega sistema. V angleški literaturi pa je najpogosteje z besedo "transmitter", dodano k imenu procesne veličine (npr. "pressure transmitter"), označen kar cel merilni sistem s tipalom vred. Podoben način uporabe ima tudi beseda "transducer".

ter čim bolj njegov izhodni signal ustreza merjeni veličini.

Izhodne signale nekaterih tipal je mogoče dokaj enostavno in kvalitetno prenašati tudi na krajših razdaljah, npr. signale termočlenov, upornost Pt-100 termouporov, napetosti sinhrotransformatorjev, ipd. Na sprejemni strani tedaj s skupnim merilnim pretvornikom sekvenčno obdelamo signale posameznih tipal, včasih pa jih je mogoče celo neposredno povezati na prikazovalne ali regulacijske elemente zank. Praviloma pa lahko dosežemo bistveno boljše lastnosti, če tipalu dodamo ustrezn *merilni pretvornik* v njegovi neposredni bližini in tako sestavimo celovit merilni sistem. *Merilni pretvornik* je naprava, ki šibek signal tipala pretvori v energijsko bogatejši izhodni signal, primernejši za prenos na daljavo. V sistemih procesnega vodenja sta najbolj uveljavljena električna tokovna signalna sistema 0-20 mA in 4-20 mA, v uporabi pa je še vedno pogost pnevmatski signalni sistem s tlakom 0.2 do 1 bar¹¹. Med električnimi signalnimi sistemi je mogoče zaslediti tudi napetostne signalne obsege 0-10V, 0-1V, itd., vendar za večje razdalje niso tako primerni kot tokovni. Podrobnejšo obravnavo zajemanja, pretvorbe in prenosa signalov lahko bralec najde v podpoglavju 7.6.1.

V zadnjem času vse več merilnih pretvornikov vsebuje mikroprocesor, ki pa lahko izmerjeno vrednost pošilja na daljavo tudi v digitalni obliki. Tu obstaja veliko različnih možnosti, med drugimi digitalni komunikacijski sistem PROFIBUS, ASI (Aktuator-Sensor-Interface) in drugi (glej podpoglavje 7.6.2 o digitalnih komunikacijah v sistemih procesnega vodenja).

9.2.2 Skupne značilnosti tipal in merilnih pretvornikov

Natančnost pove, za koliko lahko odstopa odčitek nekega instrumenta od srednje vrednosti, in je največkrat podana v procentih njegove celotne skale. Tako npr.: natančnost $\pm 1\%$ pove, da je največja napaka, ki jo lahko pričakujemo pri kateremkoli odčitku, 1% celotne skale. Zato je pri izbiri merilnika izredno pomembno, da je instrument s svojim *merilnim področjem* (merilno območje je določeno z minimalno in maksimalno vrednostjo merjene veličine, za katero je merilnik izdelan) čimbolj prilagojen področju veličin, ki jih merimo.

Konstantno odstopanje (bias) je odstopanje, ki je preko celotnega merilnega področja enako in ga zato lahko odpravimo s *kalibracijo* instrumenta (postopek, s katerim nastavimo merilnik tako, da odgovarja svojim specifikacijam in ga opravimo ob predaji uporabniku, po potrebi pa tudi kasneje).

Običajno je zaželeno, da je *odčitek na instrumentu linearno odvisen* ali definirano nelinearno odvisen (npr. kvadratno, korensko, logaritemsko, ...) *od merjene veličine*.

¹¹ V procesni industriji je uporaba enote za tlak "bar" prevladujoča v primerih podajanja normalno merjenih tlakov. Uporaba osnovne enote "Pascal" je pogostejša pri podajanju nizkih tlakov, merjenih predvsem absolutno. Enota "bar" ne spada v merski sistem SI, vendar je izjemoma dovoljena. (1 bar = 100.000 Pa).

Odčitki merjenih veličin, ki jih pripeljemo na vhod merilnika, morajo biti dovolj blizu predpostavljeni linearni (ali definirano nelinearni) odvisnosti. Glede na to definicijo *linearnosti*, je *nelinearnost* definirana kot maksimalno odstopanje od predpostavljene odvisnosti in je običajno podana v procentih celotne skale.

Občutljivost meritve pomeni mero spremembe odčitka merilnika, ko se merjena veličina spremeni za določeno vrednost. Če npr. tlak 2 barov povzroči odklon 10 razdelkov na skali instrumenta, to pomeni občutljivost 5 razdelkov/bar. Če npr. sprememba temperature 1000°C povzroči spremembo izhodnega toka merilnika od 0 do 20 mA, potem občutljivost znaša 1 mA/500°C ali 20 μ A/°C. Če merilnik ne deluje v pogojih, ki so predpisani v specifikacijah, lahko pride do vpliva okolice na občutljivost meritve.

Nično (izhodiščno) odstopanje je odstopanje na začetku merilnega območja. To odstopanje je odvisno od vplivov okolice, predvsem temperature, lahko pa tudi od stanja elementov, vpliva električnih in magnetnih polj, itd. *Lezenje ničnega odstopanja* pa je podano s spremembo ničnega odstopanja meritve pri spremembi pogojev okolice.

Pojav, da se pri naraščanju merjene veličine odčitki spreminjajo po eni odvisnosti, po drugi pa, kadar merjena veličina pada, imenujemo *histereza*. *Mrtva cona* je definirana kot območje spremembe merjene vrednosti, pri katerem ne pride do spremembe odčitka. Če merjena veličina postopoma raste od nične vrednosti, mora doseči neko minimalno vrednost, imenovano *prag merilnika*, ko je sprememba odčitka toliko velika, da je zaznavna. Podobno *ločljivost* pomeni najmanjšo velikost spremembe merjene veličine, ki še povzroči opazno spremembo odčitka. Tako kot prag merilnika, tudi ločljivost podamo absolutno ali pa v procentih celotne skale.

Pri vrednotenju merilnikov se mnogokrat pojavljajo tudi pojmi *cene*, *obstoynosti*, *robustnosti* in *potrebe po vzdrževanju*, ki so med seboj seveda ozko povezani, si pa največkrat nasprotujejo tako, da je potrebno iskati kompromise.

Vse do sedaj našete lastnosti so bile *statičnega značaja*. Seveda pa je pri vrednotenju vsakega merilnika pomembno tudi njegovo *dinamično obnašanje*, saj določa *hitrost* njegovega *odziva*, njegovo *dušenje*, itd.

9.2.3 Pregled najpogostejših merilnih principov in sistemov v procesni in izdelčni industriji ter robotiki

V tem poglavju so v obliki tabel našete številni merilni principi in sistemi, ki jih je mogoče zaslediti v procesni in izdelčni industriji ter robotiki. Glede na izjemno širino tega področja, to podpoglavje nima namena predstaviti posameznih sistemov in postopkov, pač pa le napotiti bralca v smer iskanja možnih rešitev za konkretni primer. V seznamu literature navajamo nekaj nejpomembnejših virov podrobnih informacij o tem izjemno pomembnem področju tehnike.

PREMIK

Translatorni	Rotacijski
<ul style="list-style-type: none">• uporovni princip (potenciometri)• induktivni princip (linearni variabilni diferencialni transformatorji)• kapacitivni princip• induktosini• difrakcijske mreže• laserski interferometer• uporovni lističi• sklop šoba-zaslon• optični (infrardeči) merilnik• merilniki oddaljenosti (ultrazvočni, laserski)• merilniki debeline (mehanski, radioaktivni)• pretvorba v rotacijo• integracija hitrosti (pospeška)• dvopoložajna stikala (končna stikala)	<ul style="list-style-type: none">• uporovni princip (potenciometer)• induktivni princip (diferencialni transformator)• kapacitivni princip• induktosini• resolverji• sinhrotransformatorji• plosčni kodirniki (optični, mehanski, elektromagnetni)• žiroskopi (mehanski, laserski)

HITROST

Translatorna	Rotacijska
<ul style="list-style-type: none">• diferenciranje premika• integracija pospeška• pretvorba v kotno hitrost	<ul style="list-style-type: none">• enosmerni tahogenerator• izmenični tahogenerator• izmenični alternator• tahometerski generator• merilnik z magnetnim sklopom• stroboskopi• centrifugalni tahometer• žiroskopi

POSPEŠEK

Translatorni	Rotacijski
<ul style="list-style-type: none">• potresna masa (mehanski, piezoelektrični)	<ul style="list-style-type: none">• enosmerno vzburjan izmenični tahogenerator• mehanski (zvoj)

SILA

TORZIJA

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• tehtnice• elastični merilniki z uporovnimi lističi• pretvorba v tlak• vibrirajoča žica• piezoelektrični princip | <ul style="list-style-type: none">• uporovni lističi• optični princip odčitavanja zvoja gredi• merjenje reakcijskih sil gredi |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

TLAK

Kapljevinasti

- U-manometri

Električni

- vibrirajoča žica
- upogib membrane
- piezoelektrični princip
- kapacitivni princip

Mehanski

- mehovi in Bourdonove cevi
- kapsule in membrane

VAKUUM

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• z grelna žica (Piranijev merilnik)• ionizacijski (Alpertova cev) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

TEMPERATURA

Mehanski termometri

- kovinsko raztezni
- tekočinsko raztezni
- parno-tlačno raztezni

Sevalni

- optični in sevalni pirometri

Električni senzorji

- termočleni
- termopori
- termistorji
- polprevodniški
- kvarčni

Ostali principi

- induktivni
- kapacitivni
- akustični
- piezoelektrični
- vibrirajoča žica

NIVO

<p>Direktne metode</p> <ul style="list-style-type: none">• mehanske, optične, vizualni prikazovalnik <p>Na osnovi električnih lastnosti snovi</p> <ul style="list-style-type: none">• uporovni• induktivni• kapacitivni <p>Akustični</p> <ul style="list-style-type: none">• lokacijski• dušilni• resonančni	<p>Razlika v gostoti merjenega medija in medija nad njim</p> <ul style="list-style-type: none">• teža• hidrostatični tlak• diferencialni tlak• plovci• vzgonski• radioaktivni <p>Radiofrekvenčni</p> <ul style="list-style-type: none">• radiolokacijski• radiointerferenčni• vibracijski• resonančni <p>Toplotni</p> <ul style="list-style-type: none">• termouporovni
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PRETOK

<p>Na osnovi padca tlaka (diferencialni tlak)</p> <ul style="list-style-type: none">• zaslonke• Venturijeve in Dallove cevi• šobe• centrifugalni element (merilno koleno)• Pitotove cevi <p>Turbinski</p> <ul style="list-style-type: none">• turbinski merilniki <p>Ultrazvočni</p> <ul style="list-style-type: none">• Dopplerjevi• zakasnitev prehoda skozi medij• korelacijski <p>S pozitivnim premikom</p> <ul style="list-style-type: none">• z ovalnimi zobniki• batni	<p>Na osnovi padca tlaka (normalni tlak)</p> <ul style="list-style-type: none">• z vrati• z odprtino in čepom• rotometri <p>Elektromagnetni</p> <p>Vrtinčni (Vortex)</p> <p>Ostali principi</p> <ul style="list-style-type: none">• s tarčo• z grelno žico• vizualno prikazovanje pretoka
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

LASTNOSTI SNOVI

Gostota <ul style="list-style-type: none">• trdna snov (gravi-volumetrični, radioskopski)• tekočine (gravi-volumetrični, primerjalni, vzgonski, tlačni, vibracijski, resonančni, vreliščni)• plini (vzgonski, vibracijski, resonančni) Toplotna prevodnost Električna prevodnost Analizna merjenja <ul style="list-style-type: none">• kromatografi• masni spektrometri• spektrofotometri• infrardeči analizatorji• fotometri (fluorometri, luminiscenčni fotometer, kolorimeter, nefelometri in turbidimetri, titratorji)• merilniki koncentracije plinov (kisik, ogljikov dioksid in monoksid, žveplov dioksid, ...)• refraktometrii	Viskoznost <ul style="list-style-type: none">• kapilarni• padajoča krogla ali bat• z vrtljivim valjem• piezoelektrični Vlažnost <ul style="list-style-type: none">• plini (higroskopski/mehanski, električni, polprevodniški), psihrometerski, rosiščni, absorpcijski• trdni materiali (uporovni, kapacitivni, ravnotežni, spektralni) Aktivnost vodikovih ionov (pH) Reduktivno-oksidativni potencial (redox) Radioaktivna sevanja <ul style="list-style-type: none">• merilniki radioaktivnega sevanja
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

POSEBNI SISTEMI V IZDELČNI INDUSTRIJI IN ROBOTIKI

Bližinska stikala <ul style="list-style-type: none">• induktivna• kapacitivna• optična• ultrazvočna• pnevmatska	Tipala položaja v prostoru <ul style="list-style-type: none">• dotikalni princip (uporovni, kapacitivni, elektromagnetni, piezoelektrični, ultrazvočni, optoelektrični, termični)• zvočni princip• optični princip (umetni vid)
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

9.2.4 Ekonomski aspekti merilnih sistemov za vodenje procesov

Tehnološki razvoj senzorjev je izredno raznolik, saj izhaja iz realnih zahtev najrazličnejših okolij. Zato se ob širokih izborih standardiziranih senzorjev vedno bolj razvijajo tudi mnoge specialne izvedbe, bodisi za posameznega uporabnika ali pa za specifična opravila. Glede na to je jasno, da je pomembnost razvoja tehnologije

senzorjev za mednarodno ekonomijo mnogo večja, kot pa je velikost samega področja izdelave in prodaje senzorjev.

Natančna ocena trga senzorjev je praktično nemogoča celo, če bi se omejili le na procesno avtomatizacijo (pri tem ne upoštevamo tako pomembnih področij in trgov kot je npr. uporaba senzorjev v motornih vozilih in v gospodinjstvih aparatih). Z dovolj veliko gotovostjo pa je možno ugotoviti:

- da Evropa, ZDA in Japonska približno enako delijo svetovni trg,
- da senzori (v širšem smislu) prispevajo približno eno tretjino celotne investicije v procesno vodenje (ostali del pa vključuje regulacijski sistem, komunikacije med deli opreme in s človekom, dopolnilne naprave izvršnih sistemov, itd.),
- da so najpomembnejši senzori za pretok in tlak, nato pa pridejo na vrsto meritve temperature, nivoja in ostalih lastnosti.

Proizvajalci merilne opreme so tudi zelo različni: od internacionalnih družb s celovito in obsežno ponudbo do vedno večjega števila majhnih proizvajalcev, ki se trudijo najti in pokriti posamezne *tržne niše* ali pa specialne tehnologije.

Izjemen razvoj mikroelektronike je povzročil tudi nov razvoj, miniaturizacijo in povečanje kompaktnosti mikroročunalniških perifernih elementov, med katere spadajo tudi senzori. Nove tehnologije tako omogočajo doseg boljših lastnosti, boljše kompatibilnosti z mikrovezji in nižje cene merilnih sistemov. Nove razvojne smeri nosijo imena, kot so:

- mikromehatronika,
- tehnologija mikrosistemov,
- mikroelektromehanski sistemi,
- mikroinženiring,
- biosenzorika.

Te nove veje bodo prispevale k tehnološkemu napredku merilne tehnike same, nato pa tudi k tehnološkemu napredku ostalih disciplin.

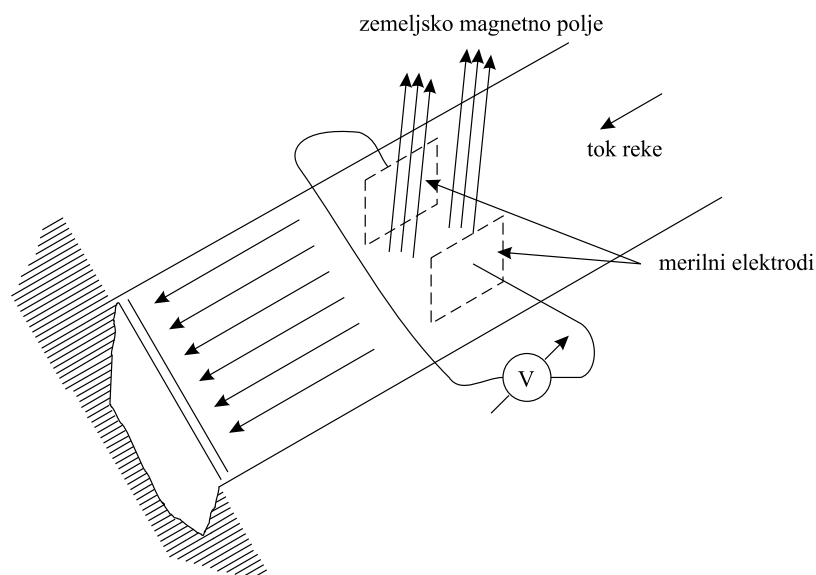
∇

Primer 9.1: *Elektromagnetni induktivni merilnik pretoka*

Elektromagnetni induktivni merilnik pretoka je eden izmed najpogostejših sodobnih merilnih sistemov za merjenje pretoka tekočin. V novih tehnoloških napravah uspešno nadomešča še do nedavnega zelo razširjeno merjenje pretoka z uporabo merilnih zaslonk. Toda razvoj te merilne metode je trajal vrsto let. Leta 1832 je M. Faraday, utemeljitelj elektromagnetne indukcije, poskušal svojo teorijo praktično uporabiti za merjenje pretoka reke Temze. Njegovo idejo ilustrira Sl. 9.2.

Poskus tedaj ni bil uspešen (tudi danes bi verjetno bili neuspešni), saj je zemeljsko magnetno polje prešibko in inducirane napetosti komaj zaznavne. Sto let kasneje so

poskušali ta merilni princip praktično uporabiti za merjenje pretoka krvi v ožilju. Še dobrih dvajset let kasneje so na Nizozemskem izkoristili to idejo za merjenje pretoka mešanice vode, peska in drugih usedlin pri čiščenju rečnih strug in drugih melioracijskih delih. Po letu 1980 pa je ta merilni princip oziroma tehnologija izdelave merilnih pretvornikov postal zrel za množično uporabo v procesni industriji, pri vodenju čistilnih naprav, v energetskih sistemih in drugje.



Sl. 9.2. Poskus, s katerim je M. Faraday poskušal izmeriti pretok reke Temze. Zaradi prisotnosti zemeljskega magnetnega polja naj bi se med elektrodama (dve večji kovinski plošči) inducirala električna napetost, ki je proporcionalna hitrosti reke.

Vsi sodobni merilni pretvorniki za ta način merjenja pretoka vsebujejo mikroprocesorsko jedro, ki opravi relativno obsežno obdelavo signalov, ki je potrebna za kvalitetno merjenje pretoka.

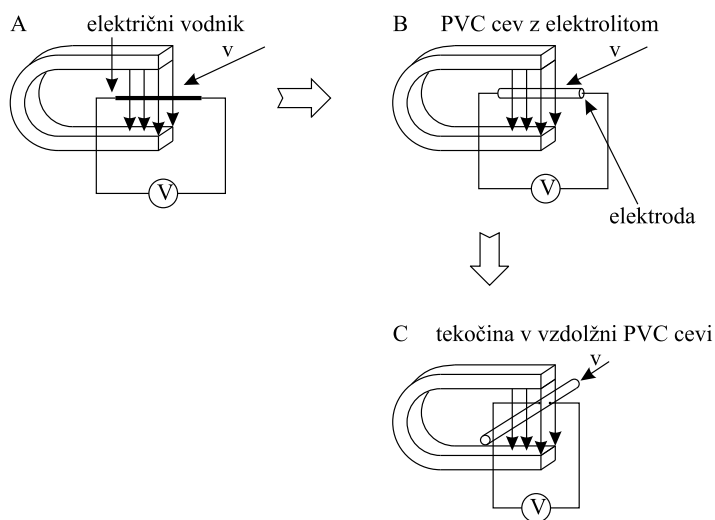
Namen tega primera je pokazati pot razvoja merilnika preko nekaterih ovir, ki so se razvijalcem pojavljale na poti do uporabnega industrijskega merilnega sistema. Podobne poti je bilo namreč potrebno prehoditi tudi pri razvoju drugih merilnih naprav.

Osnovna ideja

Sl. 9.3 pojasnjuje razvoj osnovne ideje. Osnovni pogoj takega načina merjenja je, da je tekočina, ki teče v električno *neprevodni* cevi, prevodna. Za sodobne merilnike te vrste je dovolj prevodna že običajna pitna voda. Meritve pretokov kislin in luga zaradi tega pogoja niso problematične, ni pa mogoče meriti pretokov neprevodnih tekočin, kot npr. raznih goriv (bencina, olja, alkoholov, ...). Čeprav je ta pogoj prevodnosti (ki mora

znašati vsaj $5 \mu\text{S}/\text{cm}$) zelo selektiven, pa je ugodnih primerov uporabe v procesni industriji več kot dovolj.

Inducirane napetosti med elektrodami so v normalnem režimu zelo majhne. Če ima npr. tipično efektivno magnetno polje gostoto 100 mT , premer cevi 15 mm (DN 15), tekočina pa se giblje s hitrostjo 1 m/s , bi inducirana napetost znašala le 1.5 mV (to je približno toliko, kot bi dobili na izhodu NiCr-Ni termočlena pri temperaturi približno 40°C). Tako majhna napetost pa se zlahka "zgubi" v elektrokemijskih potencialih, ki nastanejo na elektrodah zaradi prisotnosti tekočine (elektrolita). Nič čudnega torej, če Faradayev poskus merjenja pretoka reke Temze ni bil uspešen.

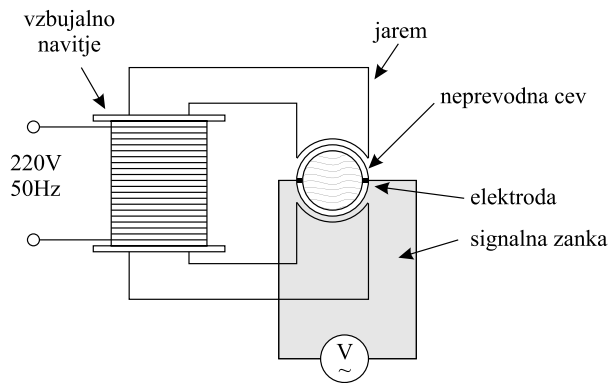


Sl. 9.3. Izoblikovanje osnovne ideje merjenja pretoka tekočin z elektromagnetno indukcijo

- A. Faradayev poskus: v električnem vodniku, ki seka magnetno polje, se inducira električna napetost.
- B. Če namesto električnega vodnika v izolirano cev nalijemo prevodno tekočino in konca cevi zapremo s kovinskima elektrodama, je rezultat isti, kot v primeru A
- C. Inducirano napetost dobimo tudi, če elektrodi mirujeta, giblje pa se le tekočina v cevi.

Izmenično vzbujanje

Da bi prebrodili problem prisotnosti elektrokemijskih potencialov, so razvijalci teh merilnikov namesto konstantnega enosmerne magnetnega polja uporabili izmenično magnetno polje - permanentni magnet je treba nadomestiti s tuljavo in jo napajati z izmeničnim tokom. Omrežna napajalna napetost je bila v ta namen zelo prikladna (Sl. 9.4).



Sl. 9.4. Elektromagnetni induktivni merilnik pretoka z izmeničnim vzbujanjem.

Pri izmeničnem magnetnem vzbujanju tudi inducirana napetost neprestano menja svojo polariteto in amplitudo. Namesto šibke enosmerne napetosti dobimo na izhodu šibko izmenično napetost. Izmenično napetost pa je kaj lahko ločiti od motečih elektrokemijskih potencialov, ki imajo pretežno enosmerni značaj, oziroma se le počasi spreminjajo. To nalogo uspešno opravijo visokoprepustni elektronski filtri.

Ta merilni princip se je uspešno uveljavil v procesni industriji. Njegova posebna prednost je bila prav v vzbujanju z omrežno napetostjo, s katero je mogoče zaradi večje tokovne razpoložljivosti doseči dovolj visoka magnetna polja v preseku cevi, skozi katero teče merjena tekočina. Tako je mogoče meriti pretok tudi v cevovodih z izjemnimi premeri (npr. do 2 m).

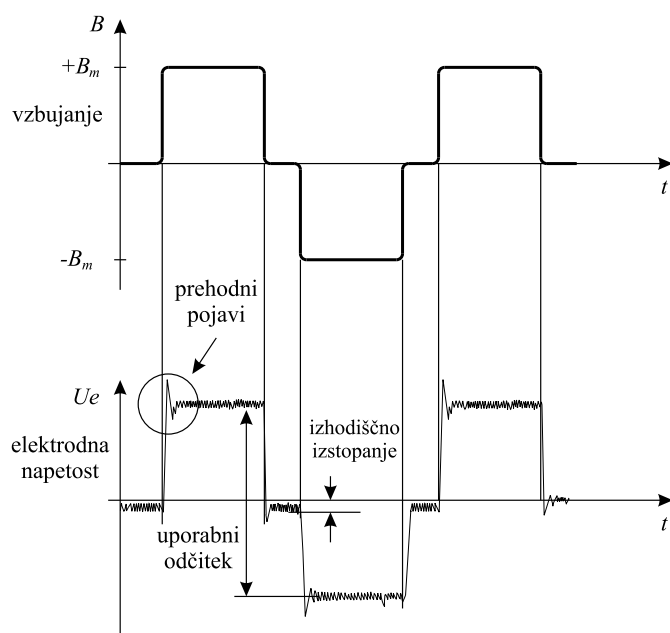
Toda tudi ta način vzbujanja ima nekaj pomanjkljivosti, dve sta še posebej izraziti: občutljivost na zunanje motnje in transformatorski efekt. V okolici takega merilnega instrumenta se običajno nahaja vrsta drugih naprav, ki generirajo elektromagnetne motnje (npr. elektromotorji, močnostni transformatorji, razsvetljava, itd.). Motnje teh izvorov, ki v električni ali magnetni obliki prodrejo v ta merilni sistem, so iste frekvence, kot šibek inducirani signal zaradi pretoka tekočine, saj izvirajo iz istega napajalnega sistema! Z elektronskimi vezji ni več mogoče dobro ločiti med koristnimi in motilnimi signali!

Transformatorski efekt nastane tako, da del magnetnega polja seže tudi v signalno zanko, ki je označena na Sl. 9.4. V tej zanki pride do direktne indukcije napetosti, tako kot pri običajnem transformatorju. Izhodna napetost je tako seštevek dveh prispevkov: inducirane napetosti zaradi pretoka tekočine in direktne inducirane napetosti. To direktno inducirano napetost je mogoče z elektronskim vezjem delno kompenzirati, problem pa je v tem, da ni stalna. S spremembo temperature magnetnega jarma in vzbujalnega navitja se namreč stresano magnetno polje vzbujalnega sistema spreminja, zato pa se spreminja tudi motilna inducirana napetost. Kot posledico dobimo neželjeno lezenje izhodišča merilnega obsega merilnika.

Impulzno vzbujanje

Za rešitev problema izmeničnega vzbujanja je bilo zopet potrebno nekaj let in nekaj novih idej. Načrtovalci so se izognili problemu zunanjih motilnih signalov tako, da so frekvenco vzbujanja spremenili. Ker ima koristen inducirani signal drugačno frekvenco od motilnih signalov frekvence 50 Hz, je mogoče motilne signale z elektronskimi filtri lažje izločiti.

Transformatorskega efekta ni, če uporabimo enosmerno vzbujanje (ker ni spremenljivega magnetnega polja, ni indukcije v signalni zanki, označeni na Sl. 9.4). Toda tedaj naletimo na osnovne probleme, kot pri vzbujanju s permanentnim magnetom. Rešitev se ponudi z uporabo impulznega vzbujanja. Za razliko od izmeničnega vzbujanja, impulzno vzbujanje nima sinusnega poteka magnetnega polja, pač pa ima obliko pravokotnih impulzov pozitivne in negativne polaritete (glej Sl. 9.5).



Sl. 9.5. Oblika bipolarnega impulznega vzbujanja in elektrodni signal. Signal je potrebno odčitati šele tedaj, ko prehodni pojavi izzvenijo. Diferenčni odčitek izloči vplive izhodiščnega odstopanja, elektrokemijskih potencialov, lezenja, itd.

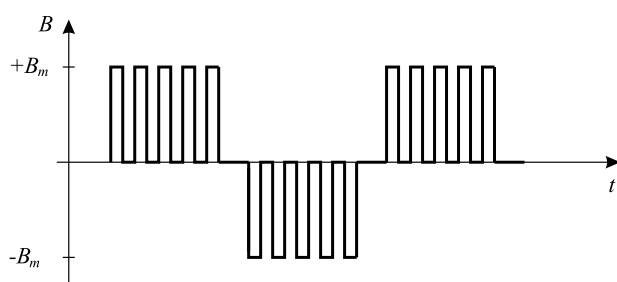
Merilni pretvornik vzbudi magnetno polje npr. v pozitivni smeri, nato počaka, da prehodni pojavi izzvenijo, nato pa odčita napetost na elektrodah kot v primeru enosmernega vzbujanja. Zatim izklopi vzbujanje za krajši čas in v tem času korigira odstopanje ničle elektronskega ojačevalnika. Potem vklopi vzbujanje v obratni smeri, zopet počaka, da prehodni pojavi izzvenijo in odčita elektrodno napetost kot bi bilo

vzbujanje konstantno (enosmerno). Razlika odčitkov elektrodnih napetosti med pozitivnim in negativnim vzbujanjem je odvisna le od pretoka medija mimo elektrod, morebitna prisotnost elektrodnih elektrokemijskih potencialov pa se na ta način izniči. Ker je vzbujanje podobno permanentnemu vzbujanju, tudi transformatorski efekt, značilen za izmenično vzbujanje, ne pride do izraza.

Impulzno (bipolarno) vzbujanje tako rešuje več problemov hkrati (transformatorski efekt, vpliv izmeničnih motenj iz okolice, elektrokemijski potenciali elektrod) in omogoča odlično delovanje tega merilnega sistema v zahtevnih pogojih procesne industrije. Ponavljalna frekvenca vzbujalnih impulzov znaša 12.5 Hz ali 6.25 Hz in je tako enaka 1/4 oziroma 1/8 omrežne frekvence. Tak izbor omogoča vgrajenim elektronskim vezjem še dodatno zmanjšanje motenj omrežne frekvence iz okolice.

Izboljšano impulzno vzbujanje

Tudi bipolarno impulzno vzbujanje ima svoje pomanjkljivosti, čeprav odraža odlično stabilnost in natančnost! Najpomembnejša slabost je počasnost odčitkov, saj znaša frekvenca vzbujanja le 6.25 Hz ali 12.5 Hz. To omejuje uporabo tega principa pri regulacijah hitrih šaržnih procesov, kjer je potrebno hitre spremembe pretokov dobro slediti s hitrim merjenjem pretoka. V ta namen so razvijalci tega merilnega principa morali zopet poiskati nove rešitve. Hitrost merjenja so uspeli izboljšati z izpopolnjeno obliko impulznega vzbujanja, kot ga prikazuje Sl. 9.6.



Sl. 9.6. Izpopolnjeno bipolarno impulzno vzbujanje.

V izpopolnjenem impulznem režimu osnovni signal nizke frekvence omogoča izločitev vpliva elektrokemijskih potencialov in lezenja izhodiščnih potencialov, tako kot pri osnovnem bipolarnem impulznem vzbujanju. Dodatni visokofrekvenčni signal (višje frekvence od omrežne frekvence 50 Hz) pa omogoča bistveno povečanje hitrosti odziva merilnika. Meritev namreč poteka v dveh paralelnih vejah: v počasni, a zelo stabilni in natančni veji, ter v hitri veji nižje natančnosti. Obe meritvi mikroprocesor kombinira tako, da je merilni rezultat hkrati natančen, stabilen in hiter.

Prednosti in slabosti elektromagnetnega induktivnega merilnika pretoka

Elektromagnetni induktivni merilnik pretoka ima v primerjavi z drugimi merilnimi

metodami nekatere zelo izrazite prednosti. Najpomembnejše so:

- v tekočinskem vodu povzroča le zanemarljiv padec tlaka (praktično toliko, kot ekvivalentni cevni odsek);
- v pretoku tekočine ni nobene ovire (ni razlogov za nabiranje nečistoč, vlaken, mulja, ...);
- omogoča merjenje pretoka suspenzij, gošče;
- izravnava pred-toka tekočine z ravnimi odseki cevi zahteva bistveno krajše razdalje od številnih drugih metod, npr. merilne zaslonke, merilnika z vrtinci (Vortex);
- omogoča merjenje pretoka v obe smeri;
- meri volumetrični pretok brez izrazite odvisnosti od temperature, tlaka, viskoznosti ali gostote tekočine.

Pri uporabi tega merilnega postopka oziroma pri izboru merilnikov pa moramo biti pozorni na naslednje slabosti:

- merjenje pretoka je možno le za *električno prevodne tekočine*; prevodnost mora biti boljša od 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - pitna ali industrijska voda je običajno dovolj prevodna;
- presek merilnega dela cevi merilnika mora biti vedno poln tekočine, na točnost pa vpliva tudi prisotnost zračnih ali drugih plinskih mehurčkov. Polnost preseka je mogoče doseči s sifonsko montažo;
- zaradi zelo nizkih elektrodnih potencialov je potrebna velika previdnost pri izvedbi izenačitve potencialov merilnika in merjene tekočine;
- izbor elektrodnega materiala je kritičen;
- uporaben merilni obseg je relativno ozek; hitrosti medija morajo doseči vrednosti med 0.5 m/s in 10 m/s.

Natančnost merilnega sistema, sestavljenega iz tipala in merilnega pretvornika, neposredno določa, kako blizu bo procesna veličina želeni vrednosti regulacijske zanke. Izbor ustrezne merilne metode, kvaliteta tipala, upoštevanje fizikalnih pogojev merjenja ter kvaliteten prenos merilnih signalov na daljavo so bistvenega pomena za doseg vrhunskih lastnosti sistemov procesnega vodenja.

Pri montaži tipal, še posebej pa merilnikov pretoka, je dosledno upoštevanje navodil proizvajalca oziroma ustrezna ureditev merilnih razmer bistvenega pomena za doseg deklariranih natančnosti merilnih sistemov.

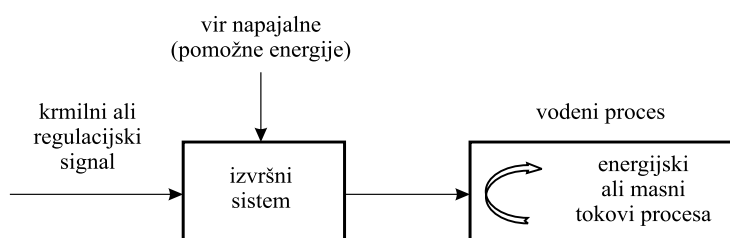
Skorajda za vsako fizikalno veličino je mogoče najti več ali celo zelo veliko različnih merilnih metod. Primernost metod je potrebno pazljivo pretehtati v smislu merilnih lastnosti, robustnosti, zahtevnosti vzdrževanja, dobavljivosti, tehnološke zrelosti in cene.

Med zelo pomembne projektantske naloge pa sodi tudi skrben izračun ter izbor ustreznih merilnih območij merilnih sistemov, saj je le na ta način mogoče doseči optimalno razpoložljivost in natančnost instrumentov.

Tehnološka zrelost merilnega sistema je ena izmed zelo pomembnih lastnosti. Primer razvojnih faz elektromagnetnega induktivnega merilnika pretoka pokaže, koliko let in novih rešitev ter razvoja ustreznih materialov in mikroprocesorske tehnologije je bilo potrebno, da je ta sicer stari merilni princip postal tehnološko zrel in zaradi svojih prednosti široko uporaben.

9.3 Izvršni sistemi v vodenju procesov

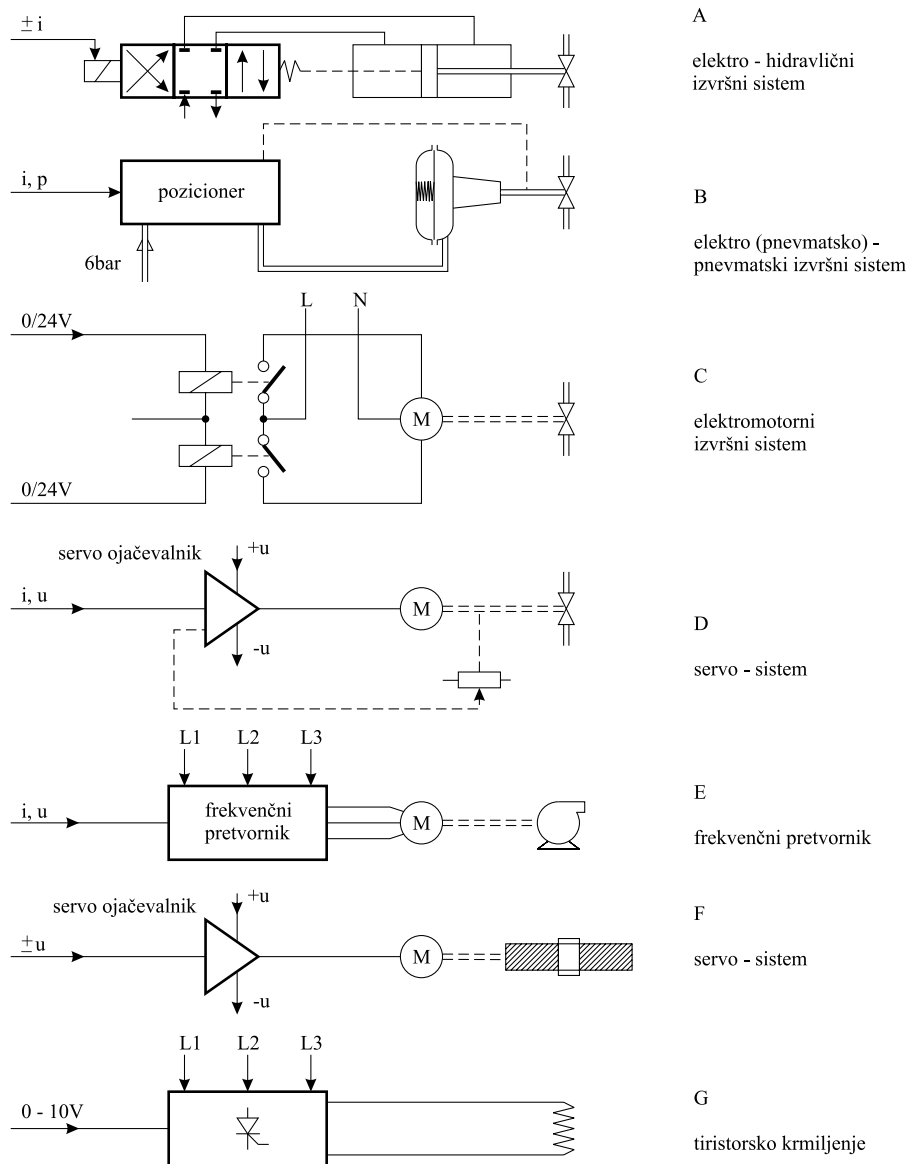
V sistemih avtomatskega vodenja poteka prenos merilnih, krmilnih in regulacijskih signalov v obliki standardiziranih signalov, ki so prilagojeni potrebam daljinskega prenosa. To so lahko napetostni, tokovni, pnevmatski, optični in v zadnjem času tudi komunikacijski signali. Krmilni in regulacijski signali prenašajo informacije o potrebnem stanju ali spremembi energijskih ali masnih tokov v procesih, ki jih želimo voditi. Te signale lahko spreminjamo ročno preko ustreznih enot za ročno posredovanje, lahko pa jih spreminja sistem avtomatskega vodenja (regulator, računalniški sistem, programirljivi logični krmilnik, itd.). Ti signali so po energijski vsebini zelo šibki (v močnostnem razredu nekaj mW ali celo manj), da bi bil signalni prenos energijsko varčen, a imajo vseeno dovolj visoke nivoje, da je mogoče njihovo vsebino zanesljivo in natančno razbrati tudi po nekaj km prepotovane signalne razdalje. Njihova majhna moč je le izjemoma primerna za neposredno vodenje procesov. Neposredno vodenje procesov moramo tako zagotoviti z ustreznimi *izvršnimi sistemi*, katerih naloga je, da v skladu s sprejetim krmilnim ali regulacijskim signalom uravnavajo energijske ali masne tokove vodenih procesov. Za uravnavanje teh tokov pa izvršni sistemi potrebujejo vir napajalne energije, ki je lahko električno omrežje, kompresorska postaja, hidravlična črpalka in drugi (Sl. 9.7).



Sl. 9.7. Funkcija izvršnega sistema v vodenju procesov: omogoča spreminjanje velikih energijskih ali masnih tokov procesa s pomočjo relativno šibkih krmilnih ali regulacijskih signalov različnih standardiziranih oblik in nivojev.

9.3.1 Končni izvršni členi, aktuatorji, končne stopnje, ojačevalniki

Sl. 9.8 prikazuje nekaj najpogostejših različic izvršnih sistemov, ki jih je mogoče krmiliti z električnimi ali neelektričnimi signali, kot vir pomožne energije pa uporabljajo tlak hidravličnega olja, tlak zraka, napetost omrežja ali vire enosmerne napetosti.



Sl. 9.8. Nekateri najpogostejši primeri izvršnih sistemov

Kadar izvršni sistemi pri svojem delovanju generirajo mehanski premik, jih pogosto opišemo z dvema izrazoma: aktuator + končni izvršni člen (primer A do F na Sl. 9.8), zaslediti pa je mogoče tudi drugačno delitev: pozicioner + aktuator + končni izvršni člen. Načeloma je aktuator tisti del izvršnega sistema, ki ob uporabi pomožne napajalne energije povzroči mehanski premik v sorazmerju s priključenim krmilnim signalom. Mehanski premik nato omogoča spremembo energijskega ali masnega pretoka v procesu, kar opravi končni izvršni člen, npr, ventil, loputa, itd. Pozicioner pa je naprava,

ki služi kot lokalni regulator pozicije aktuatorja.

Med seboj primerja velikost vhodnega signala v izvršnem sistemu z dejansko pozicijo aktuatorja ter nato s spreminjanjem vzbujanja aktuatorja poskuša dejanski premik čim boljše uskladiti z vhodnim signalom. Pri nekaterih izvršnih sistemih je mogoče z uporabo pozicionerja doseči bistveno boljše statične in dinamične lastnosti, npr. pri elektropnevmatskem izvršnem sistemu (B na Sl. 9.8), pri drugih pa uporaba pozicionerja ni vedno smiselna. Elektrohidravlični sistem (primer A na Sl. 9.8), je mogoče dobiti v obeh izvedbah, elektromotorni pogon (primer C na Sl. 9.8), pa pogosto deluje brez pozicionerja.

V nekaterih primerih se delitev izvršnih sistemov na aktuatorski in končni izvršni člen ni povsem "prijela". Sistemoma D in F na Sl. 9.8 mnogo pogosteje rečemo "servo sistem", aktuatorju pa "servo ojačevalnik". Tudi pri sistemu E delitev na aktuator in izvršni člen ni pogosta, pač pa sistem poimenujemo kar po sestavnih enotah: frekvenčni pretvornik + motor + črpalka.

Pri sistemu G na Sl. 9.8 gre za popolnoma električno spreminjanje moči (brez vmesnega mehanskega premika), zato uporaba besede aktuator za tiristorsko stopnjo ni uveljavljena.

Končne izvršne člene izbiramo predvsem glede na potrebe procesa, ki ga želimo voditi. Za uravnavanje npr.:

- | | | |
|------------------------|-----------|----------------------------|
| • pretoka tekočine | uporabimo | ventil |
| • pretoka plina | uporabimo | loputo |
| • električnega toka | uporabimo | reostat |
| • električne napetosti | uporabimo | nastavljivi transformator. |

Izbor je potrebno uskladiti glede na dosegljive možnosti, procesne posebnosti oz. značilnosti, moči ali pretoke, dosegljivosti ustreznih aktuatorjev. Aktuator je nato potrebno izbrati glede na potrebno moč ali navor, ki sta potrebna za vplivanje na končni izvršni člen, glede na dosegljivost in značilnosti virov pomožne energije ter glede na obliko krmilnega (vhodnega signala). Z ozirom na obliko pomožne energije aktuatorje tako delimo na električne, mehanske, pnevmatske in hidravlične.

Vhodni signali v aktuatorje ali v pozicionerje so lahko tokovni, napetostni ali pnevmatski, nekateri sodobni aktuatorji (pozicionerji) pa so sposobni sprejemati tudi digitalne komunikacijske signale.

Izvršne sisteme je mogoče razdeliti še v dve skupini: na zvezno delujoče in nezvezne (stopenjske). Stopenjski (ON/OFF) so po konstrukciji enostavnejši od zveznih in jih je mogoče uporabiti za stopenjsko regulacijo procesov ali za izvajanje šaržnih in sekvenčnih postopkov. Zvezni izvršni sistemi so zahtevni in kritični gradniki sistemov vodenja procesov. Pomen njihove kvalitete in ustreznosti je mogoče uvrstiti na drugo mesto po pomembnosti - neposredno za merilne sisteme.

9.3.2 Električni izvršni sistemi, aktuatorji, servosistemi

Primer G na Sl. 9.8 prikazuje enega izmed povsem električnih izvršnih sistemov, saj grelnik, ki dovaja toplotno energijo v proces, sprejema električno energijo. Pomožna energija iz električnega omrežja prehaja sočasno tudi v proces preko električnega grelnika. Spreminjanje energijskega toka (moči) v razmerju z vhodnim signalom je mogoče doseči na različne načine, med njimi je uporaba tiristorjev najbolj razširjena. S tiristorji je mogoče krmiliti električne moči tudi nekaj MW, za manjše moči pa so primerni tudi t.i. triaki. *Tiristorji* so polprevodniški elementi, ki jih je mogoče z relativno šibkim električnim impulzom sprožiti v prevajanje, izklop pa je treba opraviti tako, da tok skozi tiristor na različne druge načine prekinemo. Zaradi tega tiristorje uporabljamo predvsem v izmeničnih električnih sistemih, pri katerih tok skozi tiristor prekine že vsak "naravni" prehod omrežne napajalne napetosti preko ničle (vsakih 10 ms). *Triaki* so po delovanju podobni tiristorjem, le da za razliko od njih tok lahko prevajajo v obeh smereh. Primerni so za majhne moči nekaj kW.

Za procesno in izdelčno industrijo so zelo pomembni električni aktuatorski sistemi, kot so prikazani s primeri C,D, E in F na Sl. 9.8. V teh primerih kot glavni del aktuatorja služi elektromotor, katerega mehanski izhod je rotacija (zasuk). Za pretvorbo v translatorski pomik so zato potrebni mehanski sklopi, npr. vijaki, zobate letve, jermeni, itd. Neposredni translatorski premik je mogoče doseči z linearnimi motorji in solenoidi.

Kot končni izvršni člen ali kot del aktuatorja je mogoče uporabiti različne vrste elektromotorjev. Raznolika izbira je možna in potrebna zaradi njihovih zelo različnih lastnosti.

Asinhroni izmenični motor s kratkostično kletko (indukcijski) je najenostavnejši in najrobustnejši elektromotor. Napajati ga je mogoče enofazno ali več (tri-) fazno. Dosegljive moči so od nekaj 100 mW do nekaj MW. Njegovo hitrost in navor je mogoče spreminjati s spreminjanjem napajalne napetosti ali napajalne napetosti in frekvence. Enofazni so za zvezno krmiljenje manj primerni. Dvofazne so v preteklosti uporabljali kot *izmenične asinhronske servomotorje*, vendar jih danes praktično ni več zaslediti. *Trofazni indukcijski asinhroni motor* je najbolj primerna rešitev za pogone velikih moči, vse bolj pa ga skupaj s frekvenčnim pretvornikom uporabljamo za pogon različnih končnih izvršnih členov z zvezno nastavitvijo vrtljajev. Osnovna slabost asinhronskih motorjev je omejena hitrost vrtenja, ki jo določa frekvenca napajalnega izvora. Če je ta enaka 50 Hz, je mogoče doseči osnovne hitrosti vrtenja do 2900 vrtljajev/minuto. S sodobnimi frekvenčnimi pretvorniki pa je mogoče napajalno frekvenco in s tem hitrosti vrtenja povečati za nekajkrat (5 krat in več).

Enosmerni motorji so naslednji najpomembnejši pogonski stroji, vendar z njimi običajno ne poganjamo bremen zelo velikih moči. Njihove pomembne prednosti so: zelo visok navor v stanju mirovanja, visoki dosegljivi vrtljaji ter enostavno spreminjanje vrtljajev. Z različno vezavo statorskega navitja (serijska, paralelna, kombinirana vezava), je mogoče doseči različne lastnosti npr. začetni navor, maksimalno število

vrtljajev, obliko navorno-hitrostne karakteristike, itd. Njihova osnovna slabost izhaja iz komutatorja, ki poleg iskrenja povzroča tudi obrabo ščetk in komutatorja samega, zato je potrebno motorje te vrste relativno pogosto vzdrževati.

Za potrebe hitrega spreminjanja pozicije so primerni *enosmerni servo-motorji*. S pridevnikom "servo" označujemo tiste tipe elektromotorjev, ki so namenjeni za pozicioniranje (spreminjanje položaja, zasuka), ne pa za generiranje mehanskega navora oziroma za pogon strojev. Pomembna lastnost enosmernih servo-motorjev je njihova vztrajnost (vztrajnost rotorjev), saj določa hitrost odziva servo- sistema. Zaželeno je, da je vztrajnost rotorja čim manjša. Nekateri enosmerni servo-motorji so zato konstruirani tako, da njihov rotor ne potrebuje magnetnega jedra, ki sicer prispeva večji del vztrajnosti (ploščati rotorji, itd.).

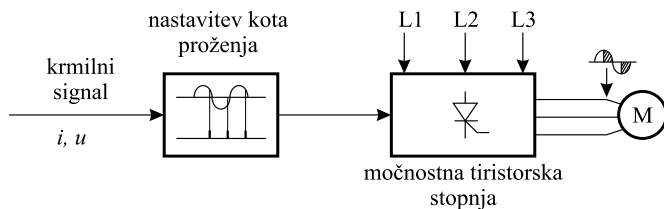
Popularnost *koračnih motorjev* izvira iz njihove množične uporabe v napravah računalniške periferije (pogon valja s papirjem ter tiskalniške glave pri tiskalnikih, pogon magnetnega pomnilniškega medija in čitalno-vpisovalnih glav pri pomnilniških enotah, itd.). V servo sistemih so bistveno manj pogosti, a vendarle imajo svoje pomembno mesto. Koračni motorji imajo par statorskih navitij, rotor s permanentnim magnetom ter posebej oblikovan magnetni jarem, ki omogoča, da se rotor motorja zavrti le za en korak v levo ali desno smer pri spremembi vzbujanja na statorju. Motorje krmilimo z impulzi, zato jih je mogoče krmiliti z mikroprocesorji brez vmesne pretvorbe signalov v analogni obliko. Spremembo položaja rotorja določa število impulzov na statorju. S temi motorji zato položaj (zasuk) nastavljam (krmilimo), za delovanje v zaprti regulacijski zanki pa niso primerni.

Vsakega izmed naštetih tipov električnih aktuatorjev - motorjev je potrebno napajati oziroma spreminjati zasuk ali hitrost na različne načine.

Asinhronim motorjem (trifaznim) je hitrost mogoče spreminjati na dva načina:

- s spreminjanjem napetosti;
- s spreminjanjem napetosti in frekvence.

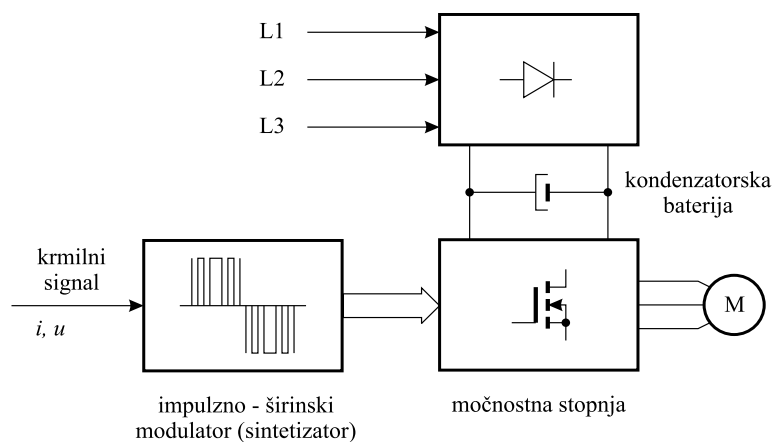
Prvi način je zelo enostaven, a omogoča le zmanjševanje hitrosti v razmerju do nazivne. V močnostni stopnji, ki dovaja energijo motorju, so tiristorji. S spreminjanjem trenutka proženja tiristorjev je mogoče določati, v kolikšnem delu periode napajalne napetosti teče tok iz omrežja skozi navitje motorja (glej Sl. 9.9). Kasnejše ko je proženje tiristorjev, krajši je čas prevajanja tiristorjev, nižja je efektivna napetost na motorju, nižji so vrtljaji. In obratno. Ta krmilni postopek je sicer res enostaven in primeren tudi za velike moči motorjev, a ima pri nizkih vrtljajih motorja zelo nizek izkoristek ter visoke izgube v motorju. Kljub temu je v množični uporabi, saj se je uveljavil kot uspešni način za "mehki zagon" elektromotorjev, ko je ta sistem v funkciji le nekaj sekund ali minut pri zagonu naprav.



Sl. 9.9. Princip napetostnega krmiljenja asinhronskih motorjev.

Pri napetostno-frekvenčnem krmiljenju asinhronih motorjev sočasno spreminjamo napetost in frekvenco napajanja elektromotorja. Napetost omrežja je potrebno najprej usmeriti ter zgladiti s kondenzatorsko baterijo. Z močnostno stopnjo je nato potrebno motorju “dozirati” električni tok tako, da ima le-ta ustrezno amplitudo in frekvenco.

Krmiljenje močnostne stopnje izvaja impulzno-širinski modulator, ki obliko izhodnega toka oblikuje s širino impulzov, s katerimi odpira stikalne elemente v močnostni stopnji. Osnovne gradnike tega načina krmiljenja prikazuje Sl. 9.10.



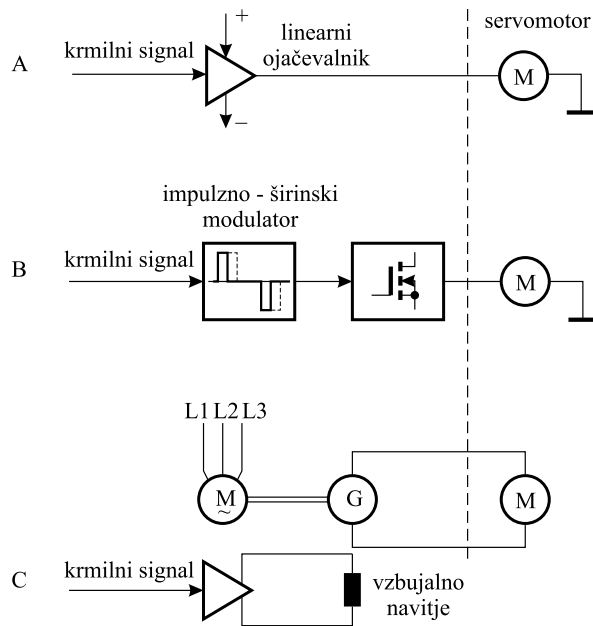
Sl. 9.10. Princip napetostno-frekvenčnega krmiljenja asinhronskih motorjev.

Zaradi zahtevnosti postopka generiranja krmilnih impulzov to funkcijo pogosto izvaja mikroprocesor ali namensko integrirano vezje. Stikalni elementi močnostne stopnje so pri manjših močeh MOS tranzistorji, pri večjih močeh kombinacija MOS in bipolarnih tranzistorjev, za zelo velike moči pa so primerni tiristorji v posebnih izvedbah ali vezavah.

Krmiljenje enosmernih motorjev in enosmernih servo-motorjev je mogoče izvesti na več načinov, kot jih prikazuje Sl. 9.11.

Pri manjših močeh servo motorjev je mogoče uporabiti klasični elektronski linearni ojačevalnik, katerega končna stopnja vsebuje bipolarne ali MOS tranzistorje. Na ta način je mogoče doseči najvišje hitrosti spreminjanja pozicije ali vrtljajev rotorja, žal pa

so izgube velike, zato je potrebno elemente močnostne stopnje izdatno hladiti.



Sl. 9.11. Nekatere variante krmiljenja enosmernih (servo) motorjev. A - z linearnim ojačevalnikom, B - s preklopnim ojačevalnikom, C - z Ward-Leonardovo motor-generatorjsko skupino.

Bistveno nižje izgube (zelo visok izkoristek) je mogoče doseči z uporabo preklopne končne stopnje, pri kateri tok skozi motor nastavljam s širino impulzov, ki odpirajo stikalne elemente končne stopnje. Ta način je zelo pogost in je primernejši za regulacijo hitrosti, manj pa za servo-delovanje.

Za krmiljenje zelo visokih moči je mogoče uporabiti Ward-Leonardovo kombinacijo motorja in generatorja. Pri tej varianti izmenični asinhronski motor, priključen na napajalno omrežje, poganja enosmerni generator. Temu s pomočjo linearnega ojačevalnika nastavljam tok vzbujalnega navitja. Izhodna enosmerna napetost generatorja je proporcionalna vzbujalnemu toku in je primerna za napajanje enosmernega (servo) motorja velike moči. Zaradi visoke cene in velikosti je ta rešitev čedalje redkeje v uporabi.

9.3.3 Pnevmatiski in hidravlični aktuatorji ter izvršni členi

Pnevmatiski in hidravlični aktuatorji lahko služijo kot vodeni pogoni za različne končne izvršne člene (za ventile, lopute, brezstopenjske menjalnike, itd.) lahko pa služijo samostojno kot izvršni sistemi za premik ali rotacijo (npr. pri stiskalnicah, v robotiki, v

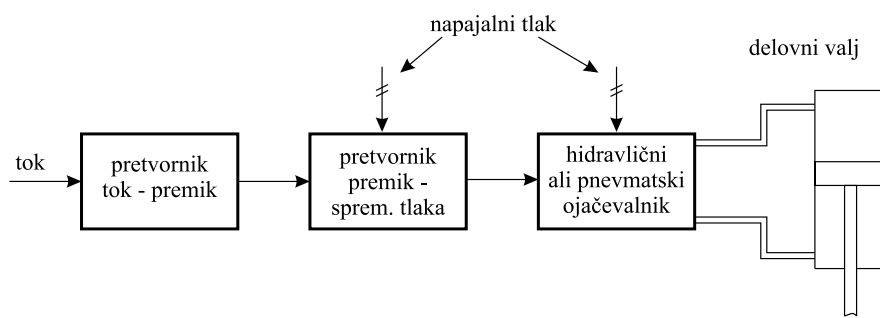
avioniki, pri obdelovalnih strojih, itd.). Najpogostejša izhodna oblika je linearni pomik, mogoča pa je tudi rotacija (hidravlični ali pnevmatski motor).

V pnevmatskih in hidravličnih sistemih premik, rotacijo ali navor povzroči tlak zraka oziroma hidravličnega olja, ki pritiska na odmični sistem: na bat, na membrano, na turbino, itd. Za delovanje teh sistemov potrebujemo vire aktivacijske energije - tlaka. V pnevmatskih sistemih v ta namen uporabljamo kompresorje (batne črpalke), ki dvigujejo tlak zraka na 6, 10, 15 ali več barov. Zrak iz črpalke nato polni jeklene rezervoarje, ki "zgladijo" tlak zraka in služijo kot akumulatorji energije. Na ta način lahko pnevmatski sistemi nekaj časa delujejo avtonomno, kar je posebej pomembno pri premoščanju izpadov napajalne (električne) energije. Zrak iz rezervoarja je potrebno nato še filtrirati, odstraniti kondenzno vodo, ga po potrebi naoljiti z razprševanjem olja ter znižati tlak na ustrezne delovne nivoje (npr. 1.6 bara, 2 bara, itd.).

V hidravličnih sistemih potrebujemo rezervoar z oljem, batno ali še pogosteje zobniško črpalko ter sistem finega filtriranja olja, saj lahko že zelo majhni tujki v olju onemogočijo delovanje aktuatorskih sistemov.

9.3.3.1 Pnevmski ojačevalniki in pretvorniki

Pri aktuatorjih želimo z vhodnim signalom, ki je najpogosteje električni-tokovni signal, povzročiti spremembo pozicije. V primeru hidravličnih ali pnevmatskih aktuatorjev moramo z vhodnim signalom najprej doseči spremembo tlakov, sprememba tlakov pa nato preko batov ali membran povzroči nastanek sile in premik. Sl. 9.12 prikazuje tipično shemo elektrohidravličnega ali elektropnevmskega aktuatorja. Kot pretvornik tok-premik služi elektromagnet z gibljivo kotvo ali z gibljivo tuljavico. Sprememba vhodnega toka povzroča premik kotve ali tuljavice. Zelo majhen premik nato vpliva na pretvornik premik - sprememba tlaka. Zelo majhen premik nato vpliva na pretvornik premik - sprememba tlaka. Zelo majhen premik nato vpliva na pretvornik premik - sprememba tlaka.



Sl. 9.12. Tipična shema elektro-pnevmskega ali elektrohidravličnega aktuatorja.

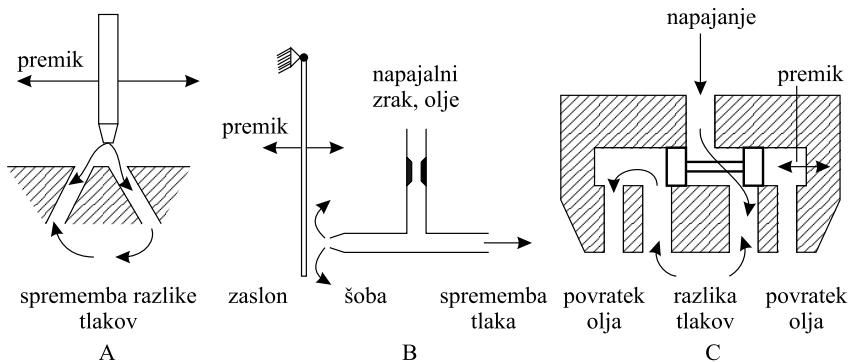
Ta pretvornik pretvarja premik v spremembo tlaka na več možnih načinov, med najpogostejšimi pa so:

- curkova cev;

- sklop šoba - zaslon in
- drsni ali batni ventil,

ki so v poenostavljeni izvedbi prikazani na Sl. 9.13.

Ker so spremembe tlakov na izhodu omenjenih pretvornikov relativno nizke, jih je običajno potrebno ojačiti. V ta namen služijo hidravlični ali pnevmatski ojačevalniki, ki ojačijo tlačne spremembe in povečajo pretok olja ali zraka, potrebnega za hiter premik bata v valju ali membrane pri membranskem pogonu. Pnevmskim ojačevalnikom včasih rečemo tudi pnevmatski rele.



Sl. 9.13. Pretvorniki premik - sprememba tlaka: A - curkova cev; B - sklop šoba - zaslon; C - batni ventil.

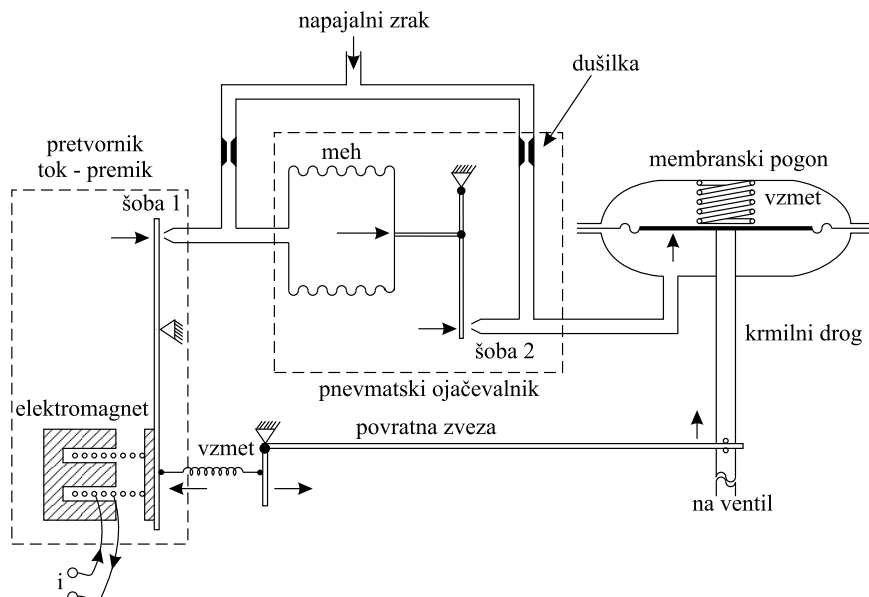
▽

Primer 9.2: Elektropnevmski aktuator

Sl. 9.14 prikazuje načelno shemo ene izmed izvedb elektropnevmskega aktuatorja za pogon ventilov, ki je v praksi zelo razširjena.

Prikazana izvedba je podobna shemi na Sl. 9.12, ima pa še povratno zvezo, ki služi za linearizacijo in druga izboljšanja delovanja aktuatorja.

Poglejmo primer, ko bi želeli odpreti ventil (dvigniti krmilni drog)! Tedaj moramo povečati tok skozi gibljivo tuljavico v elektromagnetu. Tuljavica se poskuša zaradi elektromagnetne sile pomakniti v elektromagnetno jedro. Pri tem preko vzvoda pripre šobo 1. Zaradi priprtja šobe se poveča tlak v mehu pnevmatskega ojačevalnika, ki se zato raztegne. Pri tem preko vzvoda izdatno pripre šobo 2, zaradi česar naraste tlak v spodnjem delu membranskega pogona. Povečani tlak skrči protivzmet in s tem dvigne krmilni drog. Ta nato odpre nanj povezani ventil. Pri dvigu droga se preko povratnega vzvodovja napne vzmet in s tem deloma kompenzira silo, s katero električni tok vleče tuljavico v jarem elektromagneta. Tako postane pomik droga skorajda linearno odvisen od jakosti toka skozi tuljavico elektromagneta.



Sl. 9.14. Primer elektropnevmatskega aktuatorja za pogon ventilov (puščice označujejo smer gibanja pri poskusu odprtja ventila).

V primeru na Sl. 9.14 deluje kot povratna zveza sila (vzmeti). V nekaterih drugih rešitvah služi kot povratna zveza direktni pomik, kjer povratno vzvodovje direktno vpliva na zaslon šoba 1. Varianta z vzmetjo je običajno robustnejša, saj vzmet ščiti precizni sistem pred poškodbami zaradi nenadzorovanih premikov pogonskega droga.

Prikazani primer elektropnevmatskega aktuatorja lahko tudi pojasni, zakaj so tovrstni aktuatorji tako zelo pogosti v kemijski in drugih procesnih industrijah. Pri sklopih šoba - zaslon izhaja napajalni zrak v okolico - v ohišje, v katerem je ta del aktuatorja (pozicionerja) nameščen. Iz ohišja zrak izhaja preko zračnega filtra, zato v ohišju nastane nadtlak. Ta nadtlak preprečuje, da bi v ohišje prodrli prašni delci ali korozivni plini, zato lahko taki pozicionerji delujejo izjemno dolgo v izjemno težkih delovnih pogojih. Poleg tega sistem vsebuje le malo gibljivih delov (ni vrtečih se delov), zato je obraba praviloma neznatna. Sistem lahko deluje v zelo širokem temperaturnem območju, saj ne vsebuje elektronskih sestavnih delov. Z omejitvijo napetosti oziroma toka skozi tuljavico je mogoče zlahka doseči eksplozijsko varnost, ki jo še poveča zračni nadtlak v ohišju pozicionerja. Sistem deluje brez drugih virov električne energije, ki bi lahko z iskrenjem povzročile eksplozijo.

△

9.3.3.2 Nekatere lastnosti pnevmatskih in hidravličnih izvršnih sistemov

Pnevmatski sistemi

Prednosti:

- enostavna izpolnitev zahtev eksplozijske varnosti;
- korozijska odpornost zaradi nadtlaka zraka;
- higieničnost delovanja (ni potrebno mazanje, ni prisotnosti olj);
- lahka in cenena dosegljivost komprimiranega zraka;
- neproblematičnost instalacije (morebitno puščanje ne škodi okolici);
- do naprav vodimo le eno napajalno cev;
- napajalno energijo je mogoče enostavno shranjevati;
- napajalno energijo je mogoče pripravljati v centralnih kompresorskih postajah, prilagoditev tlaka pa je mogoče relativno poceni pripraviti s pomočjo redukcijskih regulacijskih ventilov.

Slabosti:

- relativno majhna močnostna učinkovitost;
- za velike sile so potrebni veliki preseki batov in valjev ali membran;
- počasnost in zakasnitve zaradi stisljivosti zraka;
- možnost eksplozije rezervoarjev s stisnjenim zrakom.

Hidravlični sistemi

Prednosti:

- zelo visoko razmerje moč - teža (prekašajo tudi električne pogonske sisteme, če upoštevamo le težo aktuatorjev in končnih izvršnih členov);
- zelo visoke dosegljive sile in momenti;
- visok izkoristek moči;
- samomazanje in samohlajenje;
- velika robustnost;
- zelo hitri odzivi (v primerjavi s pnevmatskimi sistemi);
- možne translatorne in rotacijske izvedbe;
- ni nevarnosti eksplozije (zaradi zanemarljive stisljivosti olja).

Slabosti:

- do vsake naprave morata voditi dve cevi (napajalna in povratna);
- gibljivost cevi je slaba saj mora zdržati visoke tlake nekaj 100 barov;
- spoji morajo skoraj idealno tesniti, sicer pride do onesnaževanja okolice;
- možna so tudi večja iztekanja hidravličnega olja;
- vsako intenzivnejše puščanje onemogoča delovanje celotnega sistema (več paralelnih sistemov);
- napajalno energijo (tlak olja) je težko oz. drago shranjevati za primer izpada električne energije za pogon napajalnega agregata;
- pogosto potrebuje vsak hidravlični aktuator svoj tlačni oljni agregat;
- pri preciznih sistemih je potrebno zniževati pulzacije napajalnega agregata;
- potrebno je zahtevno filtriranje olja in pazljiva izvedba instalacije, saj lahko morebitni tujki v olju poškodujejo precizne regulacijske elemente (servo-ventile);

- pri višjih temperaturah je možna degradacija hidravličnega olja ali celo vžig.

9.3.4 Ventili¹² in lopute

Procesni ventili in lopute so končni izvršni členi, ki so namenjeni za uravnavanje pretoka različnih fluidov. Za tekočine so primerni predvsem ventili, za uravnavanje pretoka plinov pa je mogoče uporabiti ventile pri manjših presekih vodov ter lopute pri velikih presekih kanalov (vodov).

Procesne ventile lahko po funkciji razdelimo na zaporne (dvopoložajne, ON-OFF) ali zvezno nastavljive (regulacijske). Dvopoložajne ventile uporabljamo za izvedbo šaržnih tehnoloških procesov, za izvedbo kalibracijskih postopkov in periodičnega izpiranja, za vklop varnostnih postopkov in v druge namene. Zanje je značilen raven ventilski čep diskaste oblike, ki sede na sedež ventila. Pri dvigu čepa se pretočna odprtina hitro odpre in že pri razmeroma majhnem premiku vretena (npr. 30%) doseže pretok skozi tak ventil skoraj nominalno vrednost (quick-opening). Tak način delovanja je npr. priporočljiv pri časovno definiranim doziranju pri šaržnih procesih, je pa lahko nevaren v tekočinskih sistemih, pri katerih lahko pride do efekta "tekočinskega udara". Sicer pa je mogoče za dvopoložajno krmiljenje uporabiti katerokoli drugo obliko ventila, če le ima pogon (aktuator) le dve definirani stanji. Dvopoložajne ventile lahko poganjamo na več načinov, npr. z elektromagnetom in povratno vzmetjo, s pnevmatskimi ali hidravličnimi aktuatorji (za večje sile ali navore), z elektromotornimi pogoni z zobniškim prenosom in z vijakom ali z mehanskimi vzvodi.

Zvezno nastavljivih (regulacijskih) ventilov je veliko vrst, saj jih je potrebno pazljivo prilagajati različnim lastnostim medijev, katerih pretok želimo regulirati (nastavljati), različnim regulacijskim zahtevam v specifičnih regulacijskih zankah, dosegljivim silam ali navorom aktuatorjev, dovoljenemu nivoju šuma, itd. Eden izmed najpomembnejših kriterijev izbora ventilov so fizikalne in kemijske lastnosti medija, ki teče skozi ventil, zato mora biti tak izbor pogosto prepuščen strokovnjaku - kemijskemu tehnologu. Z ozirom na način vgradnje, dinamiko pretoka fluidov in izvedbo aktuatorjev mora pri takem izboru pogosto sodelovati strokovnjak - strojnik. Z ozirom na obnašanje celotnega sistema v zaprti regulacijski zanki mora svoj prispevek dati tudi avtomatik. Kvaliteten in pravilen izbor ventila s pogonom je torej primer, ki zahteva interdisciplinarni pristop in široko znanje projektanta.

9.3.4.1 Izvedbe ventilov

V osnovi je mogoče ventile razdeliti po obliki dušilnega elementa, ki se nahaja v ohišju

¹² Včasih z besedo ventili poimenujemo tudi polvodniške elemente, npr. tranzistorje, MOS tranzistorje, tiristorje, ki so namenjeni regulaciji električnega toka. V tem poglavju obravnavamo le osnovne značilnosti procesnih ventilov, ki uravnavajo pretok fluidov. Ne bomo pa obravnavali električnih ter ventilov za pnevmatsko ali hidravlično logično krmiljenje.

ventila. Najbolj razširjeni so *ventili s čepom*, vendar postanejo že pri večjih premikih cevovodov zaradi velikosti in teže nepraktični. Že pri primerih nad 50 mm je pogosto smiselno uporabiti metuljaste ventile. *Metuljasti ventili* dušijo pretok z loputo, katere položaj spreminjamo glede na smer pretoka fluida. Pri maksimalno odprti loputi seže del lopute v cevovod pred in za loputo, zato je lahko ohišje precej ožje, kot pri ventilu s čepom. Tudi *krogelni ventili* imajo svoje prednosti: pri popolni odprtosti je njihov upor za pretok medija izjemno majhen; pri popolni zaprtosti tlak medija pritisne kroglo v tesnilo ventila tako, da je tesnenje odlično; pri zasuku krogle se krogelne površine in sedež ventila same čistijo. Zaradi vseh teh prednosti so krogelni ventili še posebej primerni za celulozno in papirno industrijo. *Igelni ventili* so podobni ventilom s čepom, le da je čep oblikovan v obliki igle. Ti ventili omogočajo precizno doziranje tekočin in plinov in lahko delujejo pri zelo velikih tlakih. *Membranski ventili* (Saunders) so bili razviti za težke kemijske pogoje. Membrana in notranjost ventila sta lahko izdelani ali prevlečeni z odpornimi materiali (guma, ...), kar je pomembno predvsem pri pretoku kislin. Oblikovanost tega ventila omogoča enostavno (samo)čiščenje notranjosti in s tem dobro delovanje tudi pri pretoku suspenzij.

Predvsem pri ventilih s čepom je mogoče z oblikovanjem čepa doseči različne pretočne karakteristike ventila, pri ostalih izvedbah pa je to težje ali celo neizvedljivo. Najpogostejše so linearna, enakoprocentna, modificirana parabolična, hitro-odpirajoča in druge. Pretočna karakteristika podaja odvisnost pretočnosti ventila od položaja pogonskega vretena. *Ventili z linearno karakteristiko* so primerni za regulacijo nivoja in pretoka in omogočajo več ali manj konstantno ojačenje regulacijske zanke in s tem stabilno delovanje v širokem delovnem območju. Pri ventilih z *enakoprocentno karakteristiko* enak premik vretena v kateremkoli delu nastavitvenega hoda povzroči enako spremembo pretoka v razmerju do pretoka pri izbrani nastavitvi. Če npr. premik čepa za 1 mm pri skoraj zaprtem ventilu povzroči spremembo pretoka od 1 na 1.2 m³/h, potem bo premik 1 mm pri drugi nastavitvi povzročil spremembo od 10 na 12 m³/h, od 50 na 60 m³/h, itd. Taka karakteristika je ugodna pri regulaciji tlakov ter pri doziranju reagentov pri regulaciji pH, kjer je pogosto potrebno dodati velike količine reagentov, da se približamo želenemu pH, nato pa že majhen dodatek povzroči velik skok pH.

S stališča regulacijske tehnike je smiselno karakteristike ventilov izbirati tako, da ostane zanj ojačenje čim konstantnejše pri vseh delovnih položajih ventila.

Nekateri ventili so posebej oblikovani tako, da pri delovanju povzročajo čim manj akustičnih шумov in vibracij. Dvosedežni se odlikujejo po manjši sili, ki jo povzroča pretok fluida na čep in vreteno ventila. Kotni ventili včasih olajšajo izpeljavo cevovodov. Trokraki ventili lahko združujejo ali delijo pretoke. Še številne druge delitve so mogoče: po izvedbi vodil za čep, po izvedbi procesnih priključkov, itd.

Posebno pozornost je potrebno posvetiti izboru materialov za ventil: za ohišje, za čep ali druge dušilne elemente, za tesnila, itd. Materiali morajo biti kemijsko odporni in hkrati zdržati visoke tlake in/ali temperature. Za ohišja in druge kovinske dele so primerni: lito železo, nerjaveče jeklo, posebne zlitine kot npr. Hasteloy, Monel, itd. Za tesnila so

primerna jekla, guma, teflon, grafit in drugi kompozitni materiali.

Pri velikih padcih tlaka na ventilih moramo biti pozorni na problem kavitacije.

Zaradi padca tlaka na ventilu (ožji prerez cevi - večja hitrost pretoka - padec tlaka), ki je večji od vparjalnega tlaka tekočine, se v njej pojavijo mehurčki. Če je na izhodu iz ventila tlak še vedno pod vparjalnim, bodo mehurčki še vedno ostali v tekočini, če pa se tlak dvigne nad vparjalnega, pride do hitre reabsorpcije mehurčkov, ki jo imenujemo *kavitacija*. Veliko število majhnih mehurčkov, ki pri reabsorpciji povzročijo majhne implozije, sprošča energijo, ki povzroča šum, lahko pa tudi resne fizične poškodbe ventila. Površine, poškodovane od kavitacije, izgledajo grobe in ožgane, dočim mehurčki sami le rahlo poškodujejo ventil. Če je ventil izveden tako, da zaradi turbulenc in trenja pride do majhne izgube energije, se bo padec tlaka na ventilu po izhodu zelo hitro zmanjšal in tako dosegel normalni tlak v cevi. Če pa na ventilu pride do večje izgube energije, bo omenjena izravnavna počasnejša, saj bo pri enakem pretoku prišlo do večjega padca tlaka.

Poleg šuma in obrabe pojav mehurčkov zmanjša maso tekočine, ki gre skozi ventil. Kavitacija tako duši pretok skozi ventil. Pri določenih pogojih pretok ne more več naraščati, čeprav padec tlaka še vedno narašča.

Ena izmed pomembnih lastnosti ventila je tudi nastavitveno območje (angl. Rangeability). Pove nam, v kakšnem obsegu je z ventilom mogoče nastavljati pretok. Nastavitveno razmerje lahko znaša med 30:1 in 50:1 za ventile s čepom, tudi do 100:1 za krogelne ventile, 10:1 do 20:1 za metuljaste ventile, itd. Ventili s širokim nastavitvenim območjem omogočajo večji razpon nastavitve pretokov, kar je zelo pomembno pri pH-regulaciji, pri nastavljanju pretoka tekočin z velikimi variancami viskoznosti ali gostote, itd.

9.3.4.2 Ventilski aktuatorji za procesno industrijo

Čeprav je mogoče ventile in lopute poganjati z najrazličnejšimi aktuatorji, pa so v procesni industriji in energetiki uveljavljeni predvsem naslednji aktuatorji.

Pnevmatski membranski aktuatorji so primerni za male in srednje proti-tlake fluida oziroma za male in srednje premere ventilov. V večini primerov proti pnevmatskemu tlaku na membrani deluje skupina vzmeti. S postavitvijo vzmeti je mogoče izbirati, ali naj pri izpadu napajalne energije vzmeti ventil zaprejo ali odprejo, kar je seveda treba uskladiti s tehnološkimi zahtevami procesa. Ta varnostni aspekt teh pogonov je pogosto ključ za njihov izbor.

Pnevmatski batni aktuatorji so primerni tedaj, ko so potrebni veliki hodi ventilskega vretena, omogočajo pa lahko tudi rotacijo za 90°, ki je potrebna za pogon krogelnih ventilov, metuljastih ventilov in loput.

Hidravlčni aktuatorji so primerni tedaj, ko so potrebne velike sile ali momenti za

premik in držanje ventilov v nastavljenem položaju (kadar je na ventilu velik padec tlaka). Pogosto je v okviru teh aktuatorjev prigraden tudi napajalni hidravlični agregat, ki ga poganja izmenični asinhroni motor.

Elektromotorni aktuatorji so običajno krmiljeni tropoložajno: motor stoji, se vrti v levo ali se vrti v desno. Asinhroni izmenični motor poganja vreteno ventila preko zobniških prenosov in translatorskih pretvorb s polži, vijaki in zobatimi letvami. Preko vzvodov je možno poganjati tudi lopute. Pri izpadu napajalne energije tovrstni aktuator ohrani nastavljeno pozicijo, včasih pa to še posebej zagotovi mehanska zavora. To je zelo pomembno pri regulaciji procesov, ki morajo neprekinjeno delovati tudi pri izpadu napajalne energije. Poleg tega je hitrost gibanja teh aktuatorjev omejena s številom vrtljajev asinhronnega motorja in stopnjo mehanskega prenosa. Za poln hod potrebujejo od 10 sekund do nekaj minut. Našteti dve posebnosti favorizirata uporabo teh aktuatorjev v energetiki. Z omejeno hitrostjo gibanja je namreč mogoče preprečiti nevarne situacije, npr. nastanek "tekočinskega udara" v cevovodih.

Izbor elementov izvršnih sistemov je zahtevna naloga, ki zahteva široko interdisciplinarno znanje projektanta ali celo sodelovanje več strokovnjakov. Pri novih tehnologijah je potrebno celo z metodami preizkušanj poiskati najugodnejše rešitve.

Pogone ali krmiljenje najobičajnejših končnih izvršnih členov izvajajo ojačevalniki in aktuatorji, ki so lahko električni, pnevmatski, hidravlični ali celo mehanski. Nobena izmed naštetih variant nima absolutne prednosti, pač pa vsaka prinese za konkretni primer odločujočo specifičnost. Posebej pozorni moramo biti na obliko pomožne energije, ki je potrebna za delovanje, na način reagiranja pri izpadu napajalne energije, na potrebne moči, navorne sile, na vzdržljivost v agresivnem, prašnem ali vlažnem okolju, na eksplozijsko varnost, itd.

S stališča regulacijske tehnike (zaprtizančne regulacije) moramo zagotoviti tak izbor izvršnih sistemov, ki bo omogočal čim manjše spremembe ojačenja regulacijske zanke v odvisnosti od delovne točke procesa (linearnost). Dinamični odziv naj bo dosti hitrejši od vodenih procesov. Nastavitveno območje naj omogoča normalno izkrmiljenje motenj in spreminjajočih se obremenitev procesa. Histereza in mrtva cona naj bosta dovolj majhni, da ne prineseta opaznih limitnih ciklov - oscilacij.

9.4 Vmesniki in signalne povezave

Večina sodobnih gradnikov sistemov procesnega vodenja, še posebej pa merilnih pretvornikov in enot za obdelavo signalov, vsebuje mikroprocesorsko jedro. Vedno več sodobnih procesov vodi ali nadzira digitalni računalniški sistem v eni izmed različnih oblik, npr. velik in zmogljiv procesni računalnik, industrijska izvedba osebnega računalnika ali več osebnih računalnikov v omrežju, kompaktni ali modularni programirljivi logični krmilnik (PLK), inteligentni distribuirani sistemi za zbiranje

signalov in regulacijo, enozančni in večžančni regulatorji, itd. Pri vseh izmed naštetih sistemov je potrebno poskrbeti, da signali tipal in merilnih pretvornikov pridejo v kvalitetni obliki do računalniškega sistema, kjer jih je potrebno pripraviti (pretvoriti) v ustrezno digitalno obliko. Podobno morajo krmilni signali, ki jih tvori računalniški sistem, preiti v ustrezno obliko, primerno za prenos do običajno oddaljenih aktuatorjev. Vse te funkcije opravljajo specifični signalni sistemi in procesni vmesniki. Procesni vmesniki so lahko del kompaktnih naprav, kjer je možnost spreminjanja lastnosti vhodov in izhodov zelo omejena, lahko pa so del modularnega sistema, pri katerem je mogoče tip vmesnikov poljubno izbirati v okviru danega izbora in s tem prilagajati sistem na obstoječe pretvorniške procesne naprave.

Procesni vmesniki so lahko vhodni ali izhodni. Eni in drugi pa so namenjeni zajemanju ali oddajanju ter pretvorbi signalov, ki so lahko različni analogni (zvezni) signali ali diskretni (digitalni) signali. Med vmesnike pa smemo šteti tudi razne pomožne komponente, kot so I/p in p/I tlačno-tokovni pretvorniki, galvanski izolatorji, zaščitne bariere, itd. V nadaljevanju bomo obravnavali digitalne vhodne in izhodne vmesnike, nato analogne vhodne in izhodne vmesnike ter še nekaj posebnih elementov.

Med procesne vmesnike pa lahko štejemo tudi digitalne komunikacijske vmesnike. Čedalje več merilnih in izvršnih sistemov, regulatorjev, procesnih računalnikov, programirljivih logičnih krmilnikov in drugih naprav procesnega vodenja med seboj povežujemo z digitalnimi komunikacijskimi sistemi, katerih upravičenost oz. dosegljivost se je spustila od nivoja medračunalniških povezav na nivo osnovnih procesnih signalnih povezav med merilnimi pretvorniki, aktuatorji ter njihovim prvim nadrejenim "inteligentnim" nivojem.

9.4.1 Digitalni signali in procesni vmesniki

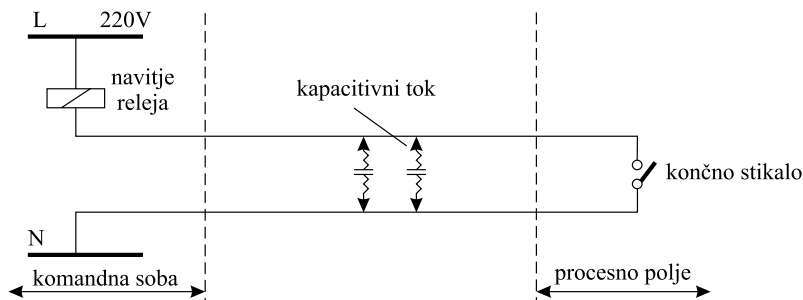
Običajni digitalni signali, ki jih srečamo v sistemih procesnega vodenja, vsebujejo le dve stanji - aktivno in mirujoče. Med različnimi signalnimi sistemi so najvažnejši: $220V_{AC}$, $24V_{AC}$, $24V_{DC}$, TTL, medtem ko so signalni sistemi $48V_{DC}$, $60V_{DC}$ in drugi že v večini primerov opuščeni. Žal nobeden izmed naštetih signalnih sistemov nima absolutne prednosti, zato je v praksi potrebno njihovo uporabo smiselno kombinirati.

Signalni sistem $220V_{AC}$ ima naslednje prednosti:

- izvor napajanja je neposredno elektrodistribucijsko omrežje;
- zanesljivost prehoda signalov preko kontaktov stikal je zelo velika, saj tako visoka napetost zlahka prebije izolacijsko plast, ki se na mehanskih kontaktih tvori pod vplivom atmosfere v kemični in procesni industriji (napetost $24V_{DC}$ je za tak preboj pogosto prenizka);
- zaradi manjših tokov so izgube na signalnem omrežju majhne;
- kot izhodni signali lahko prenašajo dovolj energije, da lahko neposredno krmilijo manjše elektromotorje, elektromagnetne ventile, signalne žarnice, itd.

Med slabosti pa je potrebno navesti:

- velika in smrtna nevarnost dotika ožičenja signalnega omrežja;
- neskladnost z bipolarno in MOS polprevodniško tehnologijo, zato je vedno potrebno napetostno prilagajanje;
- nesprejemljivost za delo v eksplozivno nevarnem okolju, saj so vžigne energije, ki jih lahko ta sistem povzroči, prevelike;
- močna kapacitivna sklopjenost med vodniki zaradi visoke napetosti (ta slabost je ilustrirana na Sl. 9.15.).



Sl. 9.15. Problem kapacitivne sklopjenosti med vodniki pri uporabi visoke signalne napetosti. Rele potrebuje za vklop npr. 30 mA toka, za izklop pa mora tok pasti pod 5 mA, saj je kotva sklenila magnetni krog.

Problematični scenarij:

1. končno stikalo v polju sklene kontakt in rele v komandni sobi pritegne
2. končno stikalo razklene kontakt
3. preko medsebojne kapacitivnosti vodnikov prične teči kapacitivni tok (npr. 10 mA)
4. kapacitivni tok je dovolj velik, da ostane rele kljub razklenjenemu končnemu stikalu "za večno" sklenjen!
Napetostni nivo 220V za tak pogost primer ni primeren!

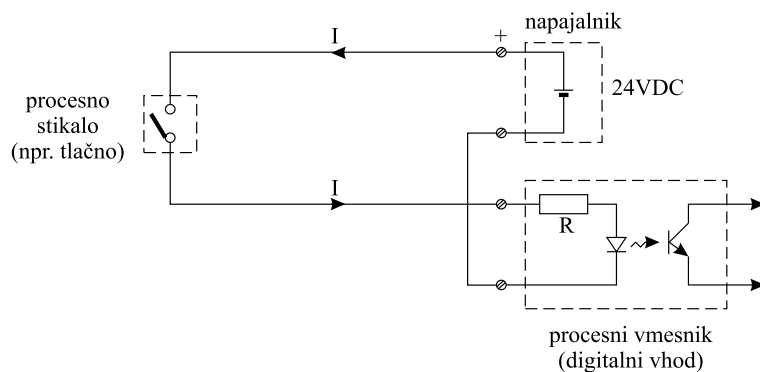
Izmenični 24V signalni sistem je sicer redko v uporabi in je primeren predvsem za digitalne izhodne signale. Tudi tu je napajanje zelo enostavno, saj potrebujemo le ceneni transformator 220V/24V. Zelo primeren je za krmiljenje kontaktorjev (močnostnih relejev) in raznih signalnih žarnic. Kot vhodni signalni sistem ni primeren.

Najbolj razširjen je enosmerni signalni sistem 24V. Napajalno napetost zanj dobimo iz enosmernih napajalnikov. Aktivno signalno stanje označuje električni tok v signalni zanki. Če tok ne teče, potem je signal neaktiven. Aktivni signalni tok je lahko zelo različen in je za različne signalne vmesnike različen (nekje v območju med 3 in 30 mA).

9.4.1.1 Digitalni vhodni signali in vmesniki

Tipično signalno zanko prikazuje Sl. 9.16.

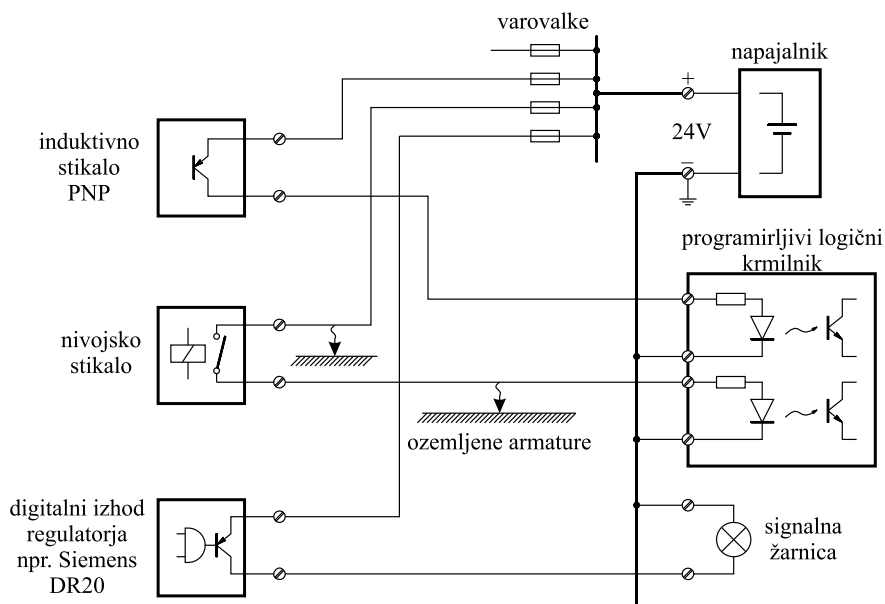
Ko v primeru na Sl. 9.16 tlačno stikalo v procesnem polju sklene svoj kontakt, steče električni tok od napajalnika proti vhodu procesnega vmesnika. Na vhodu steče preko upora R in povzroči, da infrardeča dioda optičnega sklopnika zasveti. Optični snop obsveti foto-tranzistor, ki zato prične prevajati. Mikroprocesor, na katerega je ta tranzistor posredno ali neposredno priključen, prepozna, da je signalna zanka v aktivnem stanju (da je stikalo sklenjeno). Tok, ki je stekel v tej zanki, je odvisen predvsem od upora R in je pri različnih proizvajalcih opreme različen. Večji tok omogoča zanesljivejše delovanje signalne zanke. Optični sklopnik med signalno zanko in mikroprocesorskim delom vmesnika je danes postal več ali manj standarden. Med signalno zanko in mikroprocesorjem je lahko zato velika potencialna razlika - med nekaj 100V do 1000V in več. Take razlike naj bi v normalnem delovanju sicer ne bilo, vendar pa lahko nastane naključno zaradi okvare, preboja, napačne vezave. V vseh teh primerih optična ločitev zaščiti mikroprocesorski sistem pred popolnim uničenjem. Optična ločitev pa tudi učinkovito zmanjša vpliv elektromagnetnih motenj, saj preprečuje, da bi med signalnimi zankami in preostalim delom računalniškega sistema stekli inducirani motilni tokovi.



Sl. 9.16. Tipični primer digitalne (diskretne) signalne zanke z optično sklopljenim procesnim vmesnikom.

Sodobni sistemi avtomatskega vodenja procesov potrebujejo veliko število digitalnih vhodnih kanalov - običajno več kot analognih vhodnih ter analognih in digitalnih izhodnih kanalov. Zaradi tega so zelo pomembne cenenost, enostavnost, zanesljivost in neproblematičnost priključitve digitalnih vhodnih signalov na vhodne vmesnike. Izvedba, kot jo poenostavljeno prikazuje Sl. 9.16, ima naštetе lastnosti. Sodobni vmesniki tako vsebujejo po 8, 16, 32 ali celo več vhodnih digitalnih kanalov s prikazano galvansko ločitvijo.

Signalni tokokrog, kot ga prikazuje Sl. 9.16, je sicer zelo enostaven, ima pa lahko dve različici, ki prideta do izraza, ko povežemo več vhodnih kanalov v celotno ožičenje. Prva različica (Sl. 9.17) deluje z aktivnim visokim nivojem in je pretežno v uporabi v Evropi. Druga različica (Sl. 9.18) deluje z aktivnim nizkim nivojem in je v uporabi predvsem v ZDA in na Japonskem.

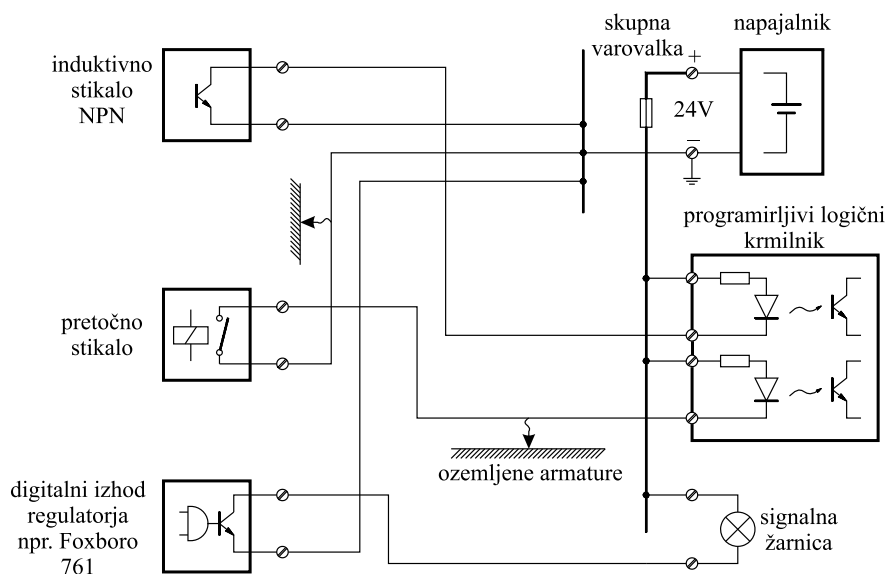


Sl. 9.17. Digitalne povezave s $24V_{DC}$ signalnim sistemom z aktivnim visokim nivojem ("evropski" sistem).

Napajalnikov negativni priključek je v obeh primerih povezan na ozemljitveno točko ("univerzalni" potencial). Pri "evropskem sistemu" vodimo napajalno napetost (preko varovalk) do procesnih stikal. Če je stikalo v aktivnem stanju, potem sklene tokokrog in "vrne" aktivni visoki nivo nazaj proti digitalnemu vhodnemu kanalu. Tokokrog se zaključi po skupnem negativnem vodu vseh digitalnih vhodov.

Pri "ameriškem sistemu" je pozitivni priključek napajalnika povezan neposredno na digitalne vhode procesnega vmesnika. Aktivno procesno stikalo nato zaključi tokokrog tako, da signalni vod poveže na skupni negativni vodnik.

Delovanje "evropskega sistema" je preglednejše: če na signalnem vodu izmerimo napetost (visoki nivo med 12V in 24V) potem je procesno stikalo v aktivnem (sklenjenem stanju). Nasprotno, pa je pri "ameriškem" sistemu stikalo v aktivnem stanju tedaj, ko je signalna linija na nizkem nivoju (med 0V in cca 3V). V tem sistemu je težko ločiti, ali je signal v aktivnem stanju ali pa je signalna linija zaradi okvare prekinjena.



Sl. 9.18. Digitalne povezave s $24V_{DC}$ signalnim sistemom z aktivnim nizkim nivojem ("ameriški" sistem).

Prednost "ameriškega" sistema pride do izraza, kadar je verjetnost nastopa kratkega stika med signalnimi vodi in ostalimi kovinskimi armaturami velika. Take možnosti nastopajo na robovih kovinskih kinet, pri uvodnicah v signalne omare, nad vročimi cevovodi. Vsi ti elementi so namreč zaradi varnosti povezani z ozemljitvijo, nanjo pa je vezan tudi negativni priključek napajalnika. Če pride do takega kratkega stika pri "evropskem" sistemu, potem v tokokrogu steče velik tok in pripadajoča varovalka pregori. Če pa pride do takega kratkega stika v "ameriškem" sistemu, večji tok v signalnih linijah ne more steči, saj je omejen z vhodno upornostjo digitalnega vhoda.

Procesna stikala imajo lahko različne oblike izhodov: le-ti so lahko polprevodniški ali klasični mehanski kontakti. Polprevodniški so lahko tipa PNP, ki prevajajo tok od napajalnega vodnika proti signalnemu vodu (primerni za "evropski" sistem) ali tipa NPN, ki prevajajo tok v aktivnem stanju od signalnega voda proti negativnemu vodu (primerni za "ameriški" sistem). Zanje je značilna praktično neomejena življenjska doba, če le delujejo v normalnih delovnih pogojih. Zelo pa so občutljivi na pre-napetosti ali kratkostične tokove. Morebitni stik z napajalnim omrežjem (220V) praviloma povzroči uničenje procesnega stikala.

Mehanski kontakti so bistveno robustnejši. Že pri običajnih izvedbah lahko vsaj kratkotrajno zdržijo napetost 220V na odprtih kontaktih, pa tudi kratkostični tokovi nekaj amperov jih večinoma ne poškodujejo. Njihove slabosti so: omejena življenjska doba, ki znaša od 10^5 do 10^7 preklpov, ter občutljivost na korozivne pline, prah, vlago, itd. Načrtovalec mora zato skrbno izbrati tip izhoda procesnega stikala glede na

morebitno izpostavljenost ter na število preklopov, ki jih je pričakovati v življenjski dobi stikala. Posebno pozornost mora posvetiti izboru kontaktnega materiala za klasične mehanske konstante. Če signalni sistem deluje pri napajalni napetosti 24V, potem morajo biti kontakti trdo zlateni (vsaj 10 μm zlate prevleke). Napetost 24V je namreč prenizka za preboj oksidnih, sulfidnih in drugih neprevodnih plasti, ki nastajajo na kontaktih. Če tak izbor ni mogoč, je potrebno uporabiti drug signalni nivo (npr. 48V, 60V ali 220 V_{AC}).

9.4.1.2 Digitalni izhodni signali in vmesniki

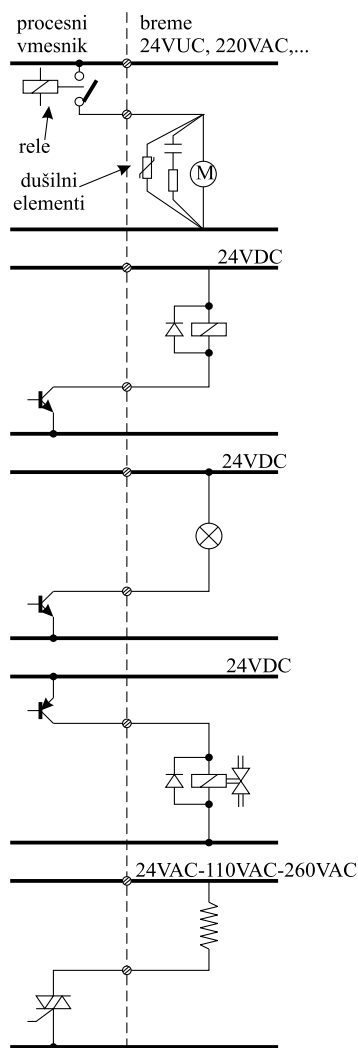
Podobne odločitve kot pri vhodnih signalih, mora načrtovalec ali uporabnik sprejeti tudi pri izboru izhodnih digitalnih signalov oziroma vmesnikov. Najpogostejši tipi izhodnih stopenj so: kontaktna stopnja, tranzistorska stopnja ter stopnja s triak-om, kot jih prikazuje Sl. 9.19. Stopnja s kontaktom (z relejskim izhodom) je najuniverzalnejša, saj omogoča priključitev najrazličnejših bremen z različnimi delovnimi napetostmi, ki običajno zajemajo tudi napajalno napetost 220/240 V_{AC} . Dopustni bremenski tokovi smejo znašati od nekaj 100 mA do nekaj A. Relejski kontakti so popolnoma ločeni od preostalega dela procesnega vmesnika, kar še posebej poenostavlja priključevanje. Poleg naštetih prednosti pa imajo relejski izhodi tudi pomanjkljivosti:

- omejeno življenjsko dobo, ki znaša med 10^5 in 10^7 preklopov in je močno odvisna od tipa in moči porabnika;
- pri tokovni preobremenitvi pride do okvare kontakta releja, kar pa pogosto narekuje zamenjavo procesnega vmesnika;
- čas preklapljanja je omejen na 5 do 10 ms, pogosto pa tudi frekvenca preklapljanja na 1 do 5-krat na sekundo;
- pri preklapljanju relejski kontakt nekaj ms odskakuje. V tem času je potrebno dušiti inducirane tokove induktivnih bremen.

Tranzistorske končne stopnje so primerne le za direktno krmiljenje nizkonapetostnih bremen z enosmernim napajanjem. Napajalne napetosti ne smejo biti višje od 30 do 60V. Odlikujejo se s praktično neomejenim številom preklopov. Časi preklopov so izjemno hitri (nekaj μs), tudi frekvenca preklopov je lahko zelo visoka (nekaj kHz). Preklopi so dobro definirani. Nekatere boljše tranzistorske končne stopnje vsebujejo elektronsko omejitev, nekatere pa še indikacijo o preobremenitvi. Tokovna omejitev prepreči okvaro stopnje pri nastopu kratkega stika na bremenu, ne more pa preprečiti posledic kratkih stikov proti napajalnemu omrežju 220 V_{AC} .

Končne stopnje s triakom so namenjene vklapljanju izmeničnih bremen (pri enosmernih napajanjih ne delujejo!). Delovne napetosti smejo biti od 24V do 260V ali več, bremenski tokovi pa do 1 ali 2A, v posebnih primerih tudi več. Tokovna omejitev (elektronska) je težko izvedljiva in je običajno ni. Ta stopnja je namenjena predvsem krmiljenju manjših bremen do nekaj 100W. Priključevanje induktivnih bremen (npr. manjših elektromotorjev) ni priporočljivo, saj lahko nastopijo težave pri izklopu

bremena.



Izhodna stopnja z relejskim kontaktom. Omogoča uporabo različnih napajalnih napetosti in priključitev različnih bremen. Življenska doba kontaktov in hitrost preklapljanja sta omejeni, še posebej pri vklapljanju induktivnih in kapacitivnih bremen.

Izhodna stopnja s tranzistorjem tipa NPN. Pogosto breme je navitje releja ali kontaktorja ter vhod polprevodniškega releja, s katerim je mogoče vklapljati tudi bremena velikih moči.

Izhodna stopnja s tranzistorjem tipa NPN za vklapljanje indikatorskih lučk. Pri žarnicah z žarilno nitko je zagonski tok (pri hladni žarnici) zelo velik. V tem primeru je elektronska tokovna omejitev izhodne stopnje zelo dobrodošla.

Izhodna stopnja s tranzistorjem tipa PNP. Pri tej stopnji je aktivni izhodni nivo izražen s prisotnostjo napetosti na izhodni sponki ("evropski" sistem). V primeru na sliki tranzistorski izhod neposredno vklaplja elektro-magnetni ventil.

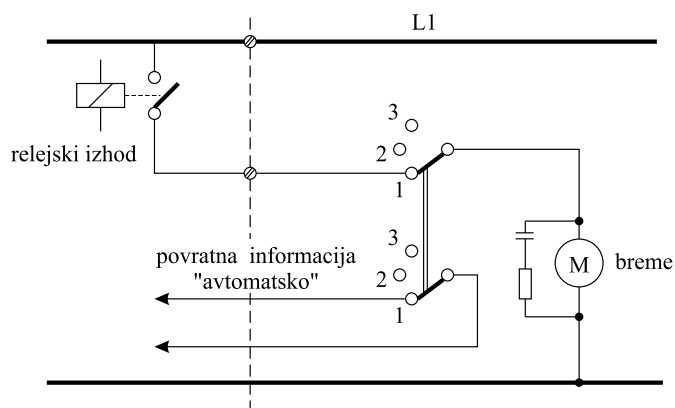
Izhodna stopnja s triakom. Primerna je le za izmenične napajalne napetosti in nizko-induktivna bremena. V normalnih razmerah je življenska doba take stopnje neomejena. Elektronske tokovne omejitve običajno ni. Omogoča vklapljanje bremen omrežne napetosti.

Sl. 9.19. Tipične digitalne izhodne stopnje

Digitalni izhodni procesni vmesniki za programirljive logične krmilnike, osebne računalnike, procesne računalnike ali nekatere programirljive regulatorje običajno vsebujejo večje število izhodnih stopenj skupaj na enem modulu, npr. 4, 8, 16, 32 ali celo 64. Največje število izhodov na modul omogočajo tranzistorske končne stopnje. Pri relejskih izhodnih stopnjah ter stopnjah s triakom je izhodnih kanalov bistveno manj.

Z digitalnimi izhodnimi signali aktivno posegamo v vodenje procesov. Pri številnih industrijskih procesih v kemijski industriji in energetiki je potrebno poskrbeti, da v

primeru okvare sistema za vodenje prevzamejo vodenje drugi sistemi: lahko dodatni rezervni sistemi, največkrat pa operater z ročnim posredovanjem. Ročno posredovanje pa je potrebno tudi pri opravljanju vzdrževanja ali pri popravih bremen, kot so motorji, črpalke, transportni trakovi, itd. Sl. 9.20 prikazuje primer najenostavnejše izvedbe ročnega posredovanja. Povratna informacija o stanju izhodnega kanala je največkrat nujno potrebna (tako stanje “ročno/avtomatsko”, kot tudi stanje bremena “vklopljeno/izklopljeno”)



Sl. 9.20. Primer najenostavnejše vključitve ročnega posredovanja (“servisnega” stikala).
 V položaju “1” vklaplja ali izklaplja breme relejski izhod sistema za avtomatsko vodenje. V položaju stikala “2” je breme izključeno (servis je varen). V položaju “3” je breme brezpogojno vklopljeno. Povratno informacijo peljemo na ustrezni digitalni vhod sistema.

9.4.2 Analogni signali in vmesniki

V sodobnih sistemih vodenja procesov je analognih signalov običajno manj ali celo bistveno manj kot digitalnih, vendar nosijo večjo informacijsko vsebino. Če jo hočemo izkoristiti, moramo prenos signalov ter signalne vmesnike izvesti oziroma izbrati zelo pazljivo. Če npr. izmerjena temperatura, ki jo odčitamo z računalniškim sistemom “skače” med 210 in 250°C, potem o dejanski temperaturi v reaktorju vemo manj, kot če bi odčitana vrednost nihala med 225 in 226°C. Vsekakor pa vemo o tej temperaturi več, kot če bi samo z dvema digitalnima signaloma in pripadajočima termostatskima stikaloma javljali, da je višja od 200°C in nižja od 260°C.

Z analognimi izhodnimi signali, s katerimi krmilimo proporcionalne aktuatorje, lahko procese vodimo dosti bolj “fino”, kot bi jih le z uporabo digitalnih aktuatorjev. Z zvezno nastavljivo pipo lahko nastavimo različne pretoke tekočine, z elektromagnetnim ventilom pa lahko izberemo le dve stanji: tekočina teče s polnim pretokom ali tekočina ne teče (z izjemo rahlega puščanja).

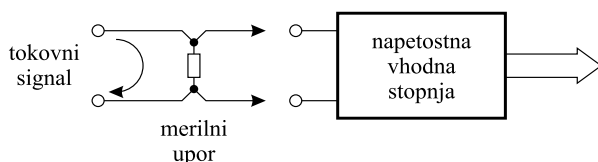
9.4.2.1 Analogni vhodni signali in vmesniki

S stališča izvedbe vhodov analognih vmesnikov ločimo dve različici:

- analogni vhodi so prirejeni za sprejem standardnih signalov;
- analogni vhodi so prirejeni za neposredni priklop nekaterih senzorskih sistemov.

Analogni vhodi za sprejem standardnih signalov so v osnovi vhodi za sprejem napetostnih signalov; z dodatkom paralelnega upora postanejo primerni za sprejem tokovnih signalov.

V napetostnem režimu delovanja lahko sprejemajo signale pozitivne polaritete, kot npr. 0-100mV, 0-1V, 0-5V, 0-10V, nekateri vmesniki pa signale obeh polaritet, npr. $\pm 1V$, $\pm 5V$, $\pm 10V$. V tokovnem režimu z dodatkom merilnega upora (glej Sl. 9.21) sprejemajo signale obsegov ± 10 mA, ± 20 mA, 0-20 mA ter 4-20 mA. Za izvedbo sistema vodenja v procesni industriji so analogni vhodi s tokovnimi obsegoma 0-20 mA ali 4-20 mA najuniverzalnejši, saj je mogoče na vhode te vrste priključiti merilne pretvornike za merjenje velike večine fizikalnih veličin. Tu še kako prav pride standardizacija signalnih nivojev!



Sl. 9.21. Pretvorba tokovnega signala v napetostnega.
Merilni upori imajo tipične upornosti 10 Ω , 50 Ω , 100 Ω , 250 Ω ali 500 Ω in toleranco $\pm 0.1\%$.

Za uporabo nestandardnih vhodov procesnih vmesnikov obstajata predvsem dva razloga:

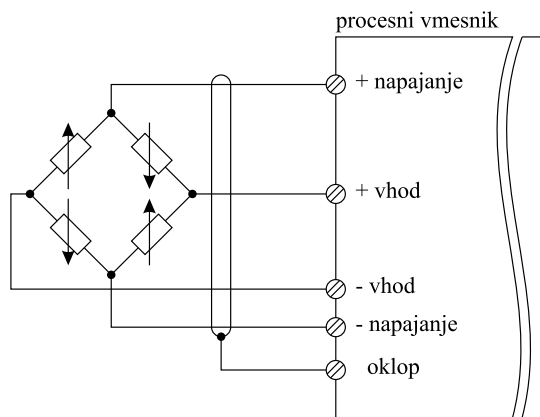
- cenejša izvedba z opustitvijo merilnega pretvornika;
- večja natančnost zajemanja in pretvarjanja signalov posebnih tipal.

Kot primere cenejših izvedb je mogoče naštetih procesne vmesnike za neposredno priključitev termočlenov, uporovnih termometrov (Pt-100) ali potenciometrov. V teh primerih tipalo povežemo neposredno na ustreznih vhod procesnega vmesnika - v sistemu pravzaprav ni več merilnega pretvornika, ampak je ta že del vmesnika ali je celo "deljen" med več enakih tipal. Ta rešitev je še posebej značilna za temperaturne regulatorje, ki že v osnovni varianti nudijo neposredno priključitev termočlena ali uporovnega tipala Pt-100 ali celo termistorja. Velja opozoriti, da takšne cenene rešitve delujejo na krajših razdaljah (dolžinah signalnega vodnika), pogosto še celo boljše, kot če bi uporabili ustreznih merilnih pretvornik in tokovni signalni prenos. Za daljše razdalje

(več kot 10-30 m) pa je standardni tokovni prenos boljši, zanesljivejši in bistveno manj občutljiv na elektromagnetne motnje.

Kot primere večje natančnosti pri neposrednem priklopu tipalnih elementov je mogoče naštetih dajalnice zasuka na principu sinhro-transformatorjev ali resolverjev, ter bremenske celice za merjenje sile, teže, navora. Signali sinhrotransformatorjev in resolverjev so izmenični signali, katerih razmerje amplitudnih modulacij predstavlja izmerjeni zasuk. Ta signalni sistem je zaradi visokih delovnih napetosti (tipično 110V/90V) zelo zanesljiv in natančen, omogoča pa tudi prenos signalov zasuka na večje razdalje. Pretvorba v standardni tokovni signal bi bila draga, pri tem pa bi natančnost lahko bistveno poslabšali.

Neposredna priključitev bremenskih celic za silo, težo, navor je ustrezna le na krajših razdaljah. Tudi tu lahko z opustitvijo merilnega pretvornika celo pridobimo pri natančnosti, ki je pri tehtanju še posebej strogo zahtevana. Primer take povezave prikazuje Sl. 9.22.



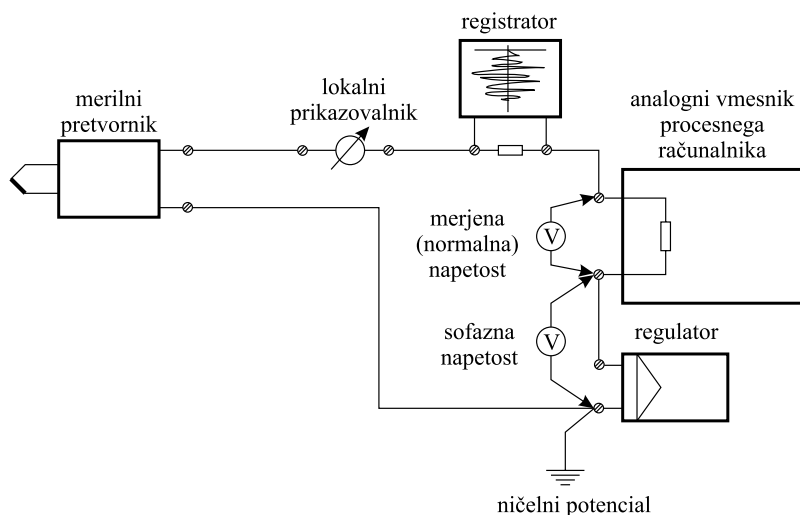
Sl. 9.22. Primer neposredne priključitve bremenske celice z uporovnimi lističi na ustreznem procesnem vmesniku. Razdalja med procesnim vmesnikom in merilnim sistemom mora biti čim krajša.

Pri izboru analognih vhodnih modulov oziroma vmesnikov moramo poleg tipa in obsega priključenih signalov paziti še na druge lastnosti, kot npr. ločljivost, natančnost, linearnost, hitrost pretvorbe, obseg sofazne napetosti, itd. Poudariti je potrebno, da ločljivost ni merilo za natančnost. Procesni vmesnik z ločljivostjo 10 bitov je sposoben zaznati spremembo vhodnega signala, ki je večja od 0.1% vhodnega obsega. Toda ta isti vmesnik ima lahko npr. natančnost le 1% vhodnega obsega! Podatke proizvajalcev je potrebno zelo podrobno prebrati, saj so pogosto zavajajoči.

Podatek o hitrosti pretvorbe v digitalno obliko je pomemben predvsem takrat, ko želimo regulirati zelo hitre procese. Za uporabo v sistemih vodenja v kemijski industriji pa običajno zadošča že, če je mogoče vse signale, ki so na vmesnik priključeni, odčitati najmanj vsako sekundo. Moduli, ki izvajajo hitro pretvorbo v digitalno obliko,

uporabljajo predvsem metodo pretvorbe z zaporednim približevanjem. Počasnejši moduli uporabljajo integracijske pretvorniške metode, ki so za uporabo v procesni industriji še posebej primerne, saj so sposobne izvajati kvalitetno pretvorbo tudi ob prisotnosti visokega nivoja motenj v signalnem sistemu.

Kadar želimo signal enega merilnega pretvornika s tokovnim izhodom priključiti na več sprejemnikov signala, moramo preveriti, v kakšnem obsegu sofazne napetosti lahko posamezni sprejemnik (vhodni analogni modul) deluje. To je pogost primer, saj lahko signal pretvornika priključimo na regulator, ki omogoča zaprtozančno regulacijo, na procesni računalnik, ki služi za prikaz vrednosti na zaslonu, arhiviranje, itd., na samostojni registrator, pa na lokalni prikazovalnik, itd. Primer take vezave prikazuje Sl. 9.23.



Sl. 9.23. Pogosti primer večkratne uporabe signala merilnega pretvornika. Le eden izmed sprejemnikov signala je lahko vezan na ničelni potencial, ostali pa morajo meriti velikost toka "plavajoče". Na sliki so označene napetostne razmere za analogni vmesnik.

Sprejemniki, ki niso neposredno vezani na ničelni potencial (ozemljitev, skupno točko), morajo biti sposobni izmeriti velikost signala (normalni padec napetosti) navkljub prisotnosti sofazne napetosti, ki jo povzročajo drugi odjemniki signala. Na Sl. 9.23 so označene razmere, pri katerih mora delovati analogni vmesnik procesnega računalnika. Sofazno napetost v tem primeru povzroča padec napetosti, ki ga v tokovni zanki ustvarja vhodna upornost regulatorja.

Pri izboru procesnih vmesnikov, ki jih bomo uporabili na način, prikazan na Sl. 9.23, moramo preveriti, v kakšnem obsegu sofazne napetosti tak vmesnik lahko deluje. Tabela 9.1 navaja nekatere primere, poudariti pa je potrebno, da ta podatek razni proizvajalci podajajo različno, največkrat pa celo sploh ni dostopen.

Tabela 9.1. Pregled dopustnih sofaznih napetosti za analogne vhode nekaterih sistemov in regulatorjev procesnega vodenja.

Regulator ali merilnik	Obseg sofazne napetosti	Opombe
Foxboro 761	-0.6V do +17V	izračunano iz vezja
Siemens DR20/DR21	0V	spojen z ozemljitvijo
Siemens DR22/DR24	0V do +10V	
Micon-Sensicon P100	-10V do +5V	preračunano
Siemens-Simatic S5 Analog input module	$\pm 60V$	relejsko vzorčenje
Mitsubishi MELSEC A Analog input modules	ni podano	tipično $\pm 100V$
Tipični analogni vhodni moduli za osebne računalnike npr. Burr- Brown, National Instr.	-11V do +6V	pri normalni napetosti 0- 5V

9.4.2.2 Analogni izhodni signali in vmesniki

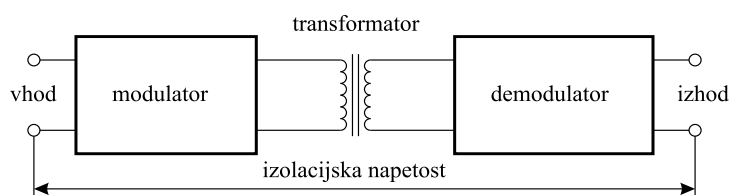
Izbor analognih izhodnih vmesnikov oziroma tipov signalov je bistveno enostavnejši, kot pri vhodnih vmesnikih. Najbolj razširjeni so vmesniki oziroma izhodi s tokovnimi signali 0-20 mA, 4-20 mA, -20 do +20 mA ter z napetostnimi signali 0-10V, -10V do +10V, -5V do +5V. Pri izboru in uporabi mora načrtovalec paziti predvsem na največjo dopustno tokovno obremenitev pri napetostnih izhodih ter na največjo dopustno skupno upornost bremen pri tokovnih izhodih. Tokovne izhodne stopnje so za uporabo v procesni industriji prikladnejše, saj brez vsakršnih posledic prenesejo kratek stik med priključnimi sponkami. Napetostne končne stopnje so primerne predvsem za krajše razdalje, kjer je mogoče doseči celo natančnejši prenos signalov, predvsem pa večje hitrosti krmiljenja, kar je pomembno pri zelo hitrih regulacijskih sistemih.

Pri uporabi izhodov s tokovnim signalom 4-20 mA velja preveriti, ali je mogoče pri normalni uporabi ta tokovni obseg tudi prekoračiti. Pogosto je namreč pomembno, da lahko tokovni signal znižamo tudi pod vrednost 4 mA, npr. do 3 mA ali celo nižje. Taka možnost namreč omogoča zanesljivejše popolno zapiranje elektropnevmatsko, elektrohidravlično ali drugače krmiljenih ventilov, loput, itd.

9.4.2.3 Drugi analogni vmesniški moduli

Galvanski izolator je analogni vmesnik, ki omogoča čim vernejši prenos analognega

signala od vhodne na izhodno stran, pri tem pa se lahko vhodna in izhodna stran nahajata na zelo različnih potencialnih nivojih. Prenos signala iz vhodne na izhodno stran lahko poteka preko izmeničnega magnetnega polja, optičnega snopa, kapacitivnega sklopa ali piezoelektričnega sklopa. Tipično rešitev prikazuje Sl. 9.24.



Sl. 9.24. Ena izmed različic izvedbe galvanskega izolatorja. Modulator pretvori vhodni signal v visokofrekvenčni modulirani signal, ki lahko potuje preko transformatorja. Demodulator iz sprejetega signala izlušči koristni signal. Transformator omogoča, da sta vhod in izhod na zelo različnih potencialih, ki se lahko med seboj razlikujeta do vrednosti izolacijske napetosti. Ta lahko znaša tudi nekaj 100V.

Galvanske izolatorje uporabljamo predvsem pri signalnih sistemih v eksplozijsko nevarnih okoljih. V teh primerih galvanski izolator prepreči, da bi se morebitne napetosti, nastale predvsem zaradi okvar ali nepravilnega vzdrževanja na strani sistema za vodenje, prenesle v eksplozijsko nevaren prostor, kjer bi lahko povzročile nastanek isker in s tem vžig eksplozivnih mešanic. Z galvanskim izolatorjem pa včasih tudi odpravimo težave, ki nastanejo zaradi premajhnih dopustnih sofaznih napetosti.

Izolacijska bariera je tokovni in napetostni omejitveni element, ki ga sestavlja vezje iz uporov, varistorjev, Zener diod in drugih napetostno omejitvenih elementov. Preko izolacijske bariere moramo priključiti vsak signal, ki potuje iz ali v eksplozijsko nevaren prostor. Izolacijska bariera omeji energijski nivo signalov na tak nivo, da v eksplozijsko nevarnem prostoru ne more povzročiti dovolj močne iskre za vžig eksplozije.

Tokovno pnevmatski (I/p) pretvorniki so naprave, ki tokovni signal 4-20 mA pretvorijo v pnevmatski signal 0.2 do 1 bar. Gre za elektromehanske naprave, pri katerih električni tokovni signal skozi tuljavo v magnetnem polju povzroči premik te tuljave in z njo spremembo tlaka na šobi pnevmatske ojačevalne stopnje. Tokovno tlačne pretvornike uporabljamo za krmiljenje tistih aktuatorjev, ki delujejo na osnovi izključno pnevmatskih pozicionerjev. Taka rešitev pride v poštev v eksplozijsko nevarnem okolju ali v korozivni atmosferi, saj v ta prostor tako vodimo samo pnevmatske signale v korozijsko vzdržljivi in eksplozivno varni izvedbi.

V sodobnih izvedbah je potreb po pnevmatskem signalnem sistemu čedalje manj. Še posebej to velja za vse merilne pretvornike, ki skorajda izključno uporabljajo električne

tokovne sisteme. Tako je potreb po *pnevmatsko-tokovnih (p/I)* pretvornikih zelo malo.

Optično-tokovni in *tokovno-optični* pretvorniki nastopajo skorajda izključno v paru: s *tokovno-optičnim* pretvornikom pretvorimo tokovni signal v optično obliko, ga prenesemo po optičnem vlaknu na potrebno mesto, nato pa ga zopet pretvorimo v tokovni signal z *optično-tokovnim* pretvornikom. Pri tem se optični način prenosa bistveno razlikuje od optičnih telekomunikacijskih načinov, saj je za potrebe procesnega vodenja bistveno enostavnejši in počasnejši. Za potrebe procesnega vodenja gre predvsem za uporabo impulzno-širinske modulacije optičnega žarka. S tovrstnimi optičnimi vmesniki in optičnim prenosom:

- premoščamo večje razdalje, predvsem na prostem, kjer so električni signalni sistemi izpostavljeni nevarnosti udara strele (npr. vodovodni sistemi, čistilne naprave);
- premoščamo večje razdalje, kjer obstaja prisotnost eksplozivnih mešanic plinov (npr. v rudnikih);
- prenašamo signale iz zgradbe v zgradbo, ki so napajane iz različnih elektrodistribucijskih poti;
- se izognemo vplivom močnih motilnih elektromagnetnih polj, npr. v bližini varilnih aparatov, indukcijskih peči, itd.

9.4.3 Digitalni komunikacijski vmesniki¹³

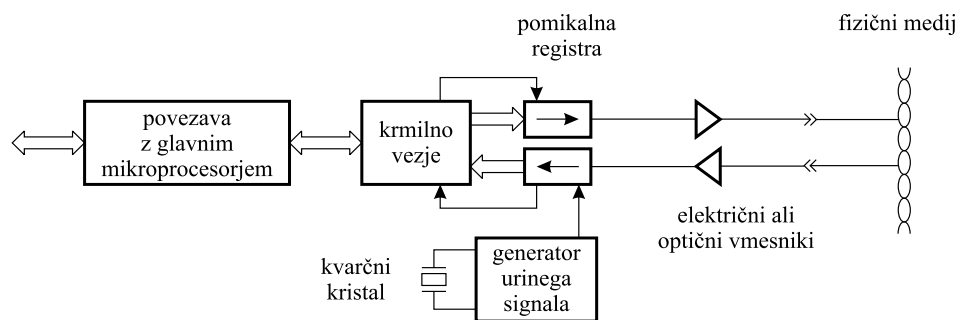
Digitalna komunikacijska povezava med različnimi elementi procesnega vodenja omogoča številne nove možnosti in prednosti, med njimi predvsem mnogo večjo količino prenešenih različnih podatkov, ukazov, konfiguracijskih podatkov in programov. Prenosi potekajo zelo zanesljivo, prenešeni podatki pa preidejo od oddajne naprave k sprejemni absolutno točno (če je le nivo motenj zmeren). Komunikacijske povezave običajno zmanjšajo število kabelskih signalnih povezav. Naštetim prednostim nasproti pa stojita predvsem povečana kritičnost (izpad komunikacije lahko prizadene večji del naprav oz. vodenega procesa) ter zahtevnejše vzdrževanje in odkrivanje napak v primerih nepravilnega delovanja.

Digitalne komunikacije v sistemih procesnega vodenja so predmet najintenzivnejšega razvoja na področju gradnikov v zadnjih desetletjih. Rezultati razvoja številnih podjetij počasi sotekajo k podobnim rešitvam, ki se postopoma in pod vplivom komercialnih interesov zbirajo v standardne in tudi že standardizirane rešitve. Zaradi tega je mogoče za različne elemente procesnega vodenja (merilne pretvornike, regulatorje, programirljive logične krmilnike, procesne računalnike) izbirati med množico komunikacijskih vmesnikov, ki omogočajo različne načine, hitrosti in razdalje povezav med napravami. Projektant sistemov vodenja mora pri načrtovanju tovrstnih sistemov skrbno pretehtati razmerja med zmogljivostjo, ceno oz. stroški, zahtevnostjo

¹³ Nekaj osnov digitalne komunikacijske tehnike podaja podpoglavje Digitalne komunikacije v sistemih procesnega vodenja.

vzdrževanja, povezljivostjo s proizvodi drugih proizvajalcev, komercialno perspektivo izbranega omrežja, itd.

Tipični komunikacijski vmesnik vsebuje elemente, kot jih prikazuje Sl. 9.25.



Sl. 9.25. Tipična zgradba digitalnega komunikacijskega vmesnika.

Vsak komunikacijski vmesnik vsebuje oddajni in sprejemni pomikalni register, ki pretvarjata paralelno obliko podatkov v serijsko in obratno. Hitrost pomikanja in s tem hitrost prenosa določa generator urinega signala, katerega takt določa kvarčni kristal. Generator je lahko zelo enostavna delilna veriga ali pa zelo kompleksno vezje, še posebej v primeru sinhronih prenosov. Pomikalna registra sta na fizični medij povezana z električnimi vmesniki, npr. po standardih RS232C, RS422, RS485, ETHERNET 10BASE2, itd. ali pa preko električno optičnih vmesnikov. Potek komunikacije določa krmilno vezje, ki je pri preprostih komunikacijah relativno enostavno, pri zahtevnih pa lahko izvaja celo naloge komunikacijskih protokolov. V teh primerih lahko vezje vsebuje celo svoj namenski mikroprocesor. Sklop za povezavo z glavnim mikroprocesorjem prenaša sprejete podatke k mikroprocesorju in od njega prevzema podatke za oddajo. Ta prenos pri enostavnih sistemih poteka s posredovanjem glavnega mikroprocesorja, pri zahtevnih pa mimo njega s pomočjo direktnega poseganja v pomnilnik.

Čeprav predstavljajo električni vmesniki za povezavo na fizični medij le majhen del komunikacijskih vmesnikov, so po večini standardizirani. Glede na tip teh vmesnikov pa je mogoče tudi sklepati, kako kompleksen je preostali del celotnega komunikacijskega vmesnika.

Tako so povezave po standardu EIA-RS232C najcenejše. Njihova zmogljivost je nizka, omogoča pa povezavo le dveh naprav. Pri tem je pogosto ena izmed njiju osebni računalnik, ki ima enega ali do 4 take vmesnike že vgrajene. Za nekatere naprave procesnega vodenja je ustrezne vmesnike tega tipa mogoče dograditi (za procesne regulatorje, programirljive logične krmilnike). Merilni pretvorniki imajo le zelo redko možnost povezave z računalnikom po tem standardu. Izjema so le nekateri zahtevnejši merilni pretvorniki (npr. analizatorji plinov), ki so pogosto namenjeni predvsem za delo v laboratorijskem okolju.

Povezava tipa EIA-RS232C omogoča hitrosti prenosov do 9600 ali 19200 Baud-ov, premoščene razdalje pa morajo biti krajše od 15 m.

Za večje razdalje je primerna komunikacija po standardu EIA-RS422. Dve napravi je tedaj mogoče povezati na razdaljah do 1000 m, hitrosti prenosov pa so lahko bistveno višje (do 1 Mbaud). Mnogi elementi procesnega vodenja imajo ustrezni vmesnik že vgrajen ali pa ga je mogoče dodati, za osebne računalnike pa je mogoče kupiti ustrezne komunikacijske kartice. Visoka komunikacijska hitrost je skoraj vedno le teoretična: ker tudi ta povezava spada med cenene, ustrezni komunikacijski vmesniki nimajo prigrajenega namenskega mikroprocesorja, ki bi skrbel za potrebe komunikacije. Ker v tem primeru komunikacijo izvaja glavni mikroprocesor naprave, je dosegljiva hitrost prenosa odvisna predvsem od razpoložljivega časa, ki ga lahko ta mikroprocesor nameni komuniciranju.

Največ sodobnih komunikacijskih omrežij za procesno vodenje temelji na električnem standardu EIA-RS485, ki omogoča premagovanje tipičnih razdalj v procesni industriji (do 1000 m) in hitrosti do 10 Mbaud. Ta komunikacijski sistem omogoča povezavo veliko postaj na skupno omrežje, kar je cilj sodobnih sistemov. Povezati je mogoče 32, 127, 255 ali celo več naprav.

Pri večini gradnikov procesnega vodenja je ta način standardno vgrajen, ali pa je mogoče ustrezne komunikacijske vmesnike dodati. Toda uporaba vmesnikov po tem standardu še ne pomeni, da bodo lahko naprave komunicirale med seboj. Bistvena razlika nastopi zaradi uporabe različnih komunikacijskih protokolov, ki določajo, kdaj, kako in s kom lahko v določenem trenutku naprava komunicira. V praksi je v uporabi nekaj uspešnih protokolov, ki so jih definirala največja svetovna podjetja. V Evropi (podobno pa tudi drugod) je čedalje več naprav izvedenih po standardu PROFIBUS, ki obeta, da bo tudi s stališča protokolov mogoče kmalu naprave različnih proizvajalcev poljubno povezovati med seboj.

Tovrstni protokoli oziroma komunikacijski sistemi, ki so namenjeni za izvedbo komunikacijskega omrežja, zahtevajo zelo zahtevno, učinkovito in hitro signalno obdelavo. Zaradi tega večina komunikacijskih vmesnikov vsebuje namensko integrirana vezja (ASIC) in/ali namenski mikrokontroler, ki omogočata potek komunikacije med napravami brez nepotrebne posredovanja glavnega mikroprocesorja naprave.

Za povezavo zmogljivih mikroračunalnikov procesnega vodenja je na voljo več zelo zmogljivih komunikacijskih sistemov, ki nastajajo in se razvijajo predvsem na področju informacijskih tehnologij za splošno obdelavo podatkov in poslovne sisteme (npr. ETHERNET, itd.). Ker so ti sistemi oz. pripadajoči vmesniki zelo kompleksni in omejeni le na medračunalniško komunikacijo, jih v tem delu ne bomo obravnavali.

Signali v sistemih avtomatskega vodenja so lahko diskretni ali zvezni, pripadajoči procesni vmesniki pa so lahko vhodni ali izhodni. V običajnem sistemu avtomatskega

vodenja prevladujejo diskretni (digitalni) ter analogni indikacijski in merilni signali, ki jih povezujemo na vhodne module oziroma vhode, medtem ko je krmilnih signalov obeh oblik običajno precej manj. Signalni načini in obsegi ter lastnosti analognih in digitalnih vhodnih in izhodnih modulov postajajo čedalje bolj podobni in več ali manj standardni ali standardizirani. Signalne povezave postajajo zato zanesljivejše ter enostavnejše za izvedbo. Pri načrtovanju in izgradnji sistemov za vodenje moramo biti še bolj pozorni na podrobnosti izvedb signalnih povezav in tehnoloških posebnosti, saj je profesionalno načrtovan in izveden signalni sistem temelj kvalitetnega (mikro)računalniškega vodenja procesov.

9.5 Krmilniki

Programabilni logični krmilnik (PLK) (angleško: Programmable Logic Controller - PLC) je osnovno orodje, ki je danes na razpolago za avtomatizacijo industrijskih procesov in naprav. Njegov razvoj je bil pogojen z vedno večjimi potrebami po avtomatizaciji proizvodnje po eni strani, in potrebami po spremembah oz. fleksibilnosti te avtomatizacije po drugi strani (Stenerson, 1993).

Pred uporabo PLK-jev, so bile za krmiljenje procesov potrebne velike električne omare s fiksno ožičeno logiko in množico elektomehanskih relejev. Že pri zasnovi takšne logike je bilo precej napak, še več pa pri izdelavi povezav. Toda najhujši problem je nastal, ko je bilo potrebno spremeniti logiko delovanja takšnega krmilja. Tudi pri majhni spremembi (npr. zaporedje operacij) je bilo potrebno izvesti spremembo ožičenja. To je bil strokovno in časovno zelo zahteven proces. Pri tem je trpela tudi proizvodnja, saj jo je bilo potrebno pri tem zaustaviti za daljši čas. Zelo pogoste so bile tudi okvare relejev zaradi mehanskih enot z gibljivimi deli in kontaktov. Velik problem je predstavljalo, zaradi večkratnih sprememb, tudi vzdrževanje ažurne dokumentacije.

General Motors je med prvimi spoznal, da bi lahko uporabili računalnik namesto relejev za realizacijo logike. V primeru spremembe načina delovanja se tako menja samo program, povezave pa lahko ostanejo iste. To zahteva bistveno krajši čas zaustavitve proizvodnje in daje veliko večjo fleksibilnost. Problem pa je bil, kako usposobiti ljudi za delo z računalniki.

Tako je v letu 1968 nastala specifikacija zahtev za PLK:

- naprava brez gibljivih delov (elektronska izvedba);
- računalniška fleksibilnost (možnost reprogramiranja);
- zanesljivo delovanje v industrijskem okolju (vibracije, temperatura, prah);
- enostavno programiranje in vzdrževanje (uporabljajo elektroinženirji in tehniki).

Gould Modicon je razvil prvo napravo, ki je ustrezala tem specifikacijam. Razlog uspeha je bila uporaba enakih lestvičnih diagramov (Ladder Logic) za programiranje, kot so jih bili že prej vajeni elektroprojektanti in uporabniki.

Prvotne naprave so bile zelo enostavne, obdelovale pa so le digitalne signale. Od takrat naprej, še posebno s hitrim razvojem mikroročunalnikov v 70-ih letih, so PLK-ji doživeli razširitev z aritmetičnimi funkcijami, možnostjo pozicioniranja, obdelavo analognih signalov, ipd.

PLK bi lahko definirali na naslednji način:

PLK je na mikroprocesorju zasnovana krmilna naprava, ki je bila razvita kot nadomestek relejne logike. V osnovi je namenjena za realizacijo sekvenčnega vodenja, omogoča pa tudi reševanje enostavnejših regulacijskih nalog.

9.5.1 Mesto PLK-ja pri vodenju procesov

Zaradi množične proizvodnje in uporabe PLK-jev v industriji so ti postali:

- relativno poceni;
- zelo zanesljivi v delovanju;
- enostavni za uporabo (programiranje, montaža in servisiranje).

Iz celotnega nabora funkcij sistemov za vodenje, ki so opisane v poglavju 4, uporabljamo PLK-je predvsem za:

- logične operacije;
- krmiljenje;
- zbiranje podatkov za potrebe nadzora;
- kot vmesnik za izvajanje daljinskih komand.

9.5.2 Glavni sestavni deli PLK-ja

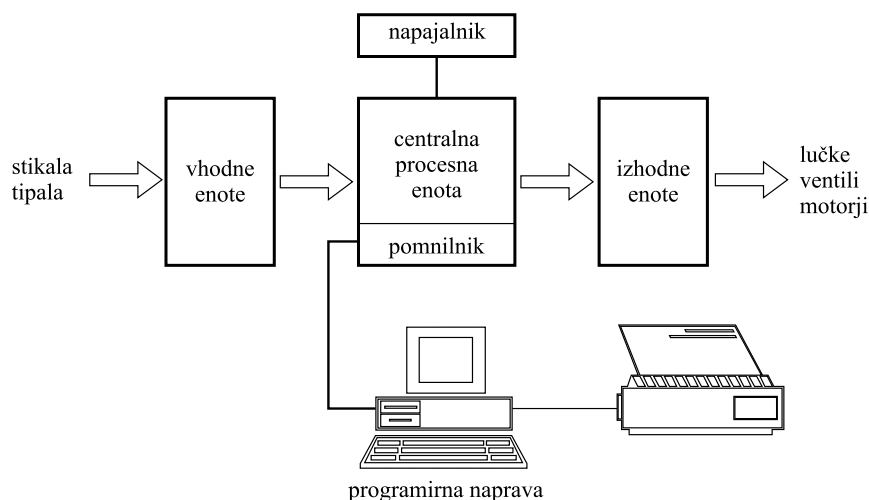
PLK je dejansko mikroročunalnik, katerega materialna in programska oprema je prilagojena za delo v industrijskem okolju in za uporabo "neračunalnikarjev". Sl. 9.26 prikazuje funkcionalne dele PLK-ja.

Centralna procesna enota (CPU): To so "možgani" krmilnika. Vsebuje enega ali več mikroprocesorjev, ki krmilijo delovanje PLK-ja in izvajajo uporabniški program. CPU tudi krmili komunikacije in povezave z drugimi enotami sistema. Sistemski program je shranjen v ROM pomnilniku, spremenljivke v RAM pomnilniku, uporabniški program pa v RAM ali EEPROM pomnilniku.

Napajalnik: PLK je običajno napajan z 220 V AC ali 24 V DC napetostjo. Napajalnik skrbi za potrebne nižje DC napetosti za delovanje CPU in vhodno-izhodnih enot. Za napajanje zunanjih enot (relejev, kontaktorjev, sond) običajno potrebujemo ločen (zunanji) napajalnik.

Vhodne enote: Skrbijo za sprejem zunanjih signalov (digitalnih in analognih), pretvorbo signalov v nivoje potrebne za nadaljnjo obdelavo in za zaščito CPU pred motnjami iz

okolja (običajno optična izolacija in filtri). Stanje digitalnih vhodov se običajno prikazuje z LED diodami - z namenom diagnostike delovanja PLK-ja.



Sl. 9.26. Funkcionalni deli PLK-ja.

Izhodne enote: Skrbijo za prenos rezultatov izvedbe lestvičnega diagrama na izhodne signale (digitalne in analogne) in za zaščito CPU pred motnjami iz okolja (običajno optična izolacija). Stanje digitalnih izhodov se običajno prikazuje z LED diodami.

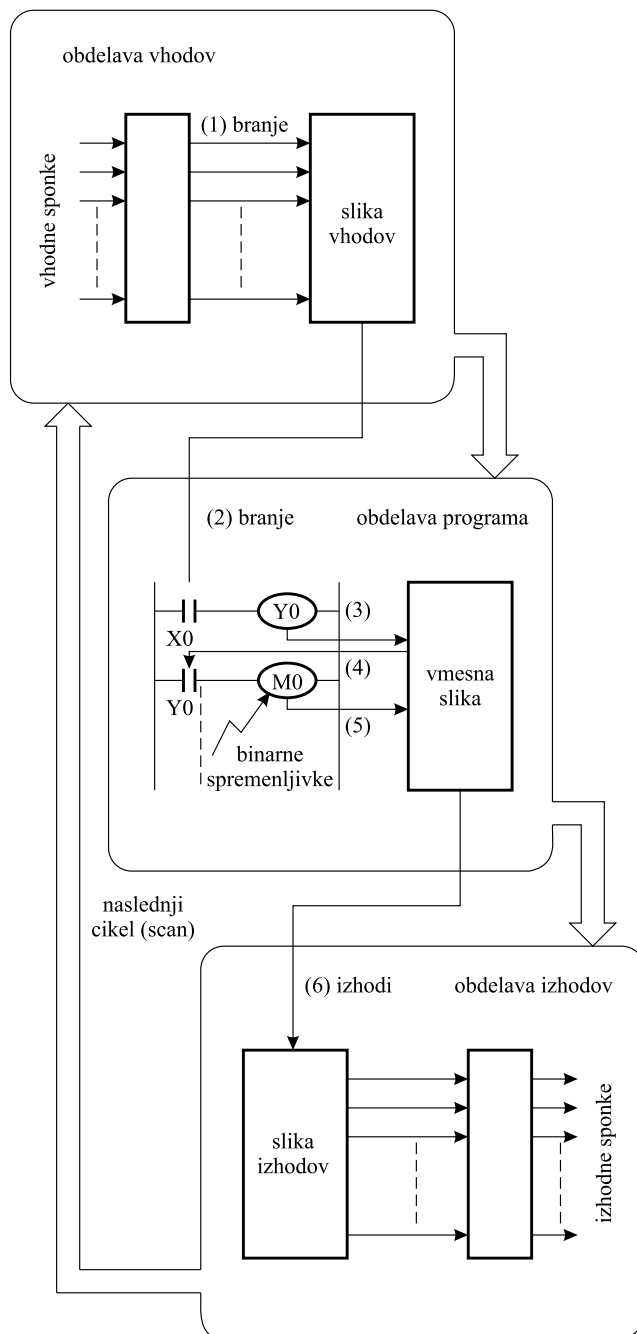
9.5.3 Delovanje PLK-ja

Princip delovanja PLK-ja se precej razlikuje od delovanja programov v "običajnih" računalnikih. Upoštevati moramo, da je osnovna funkcija PLK-ja krmiljenje izhodov na osnovi stanja vhodov.

Potek delovanja je naslednji (glej Sl. 9.27):

1. odbiranje digitalnih signalov iz vhodnih modulov in preslikava v pomnilnik (v sliko vhodov);
2. izvedba oz. vrednotenje celotnega uporabniškega programa;
3. preslikava iz pomnilnika (iz slike izhodov) na digitalne izhodne module.

Pri tem je pomembno, da v fazi vrednotenja programa ni odbiranja dejanskega stanja vhodov tako, da je celotno vrednotenje z istim stanjem vhodov. To zagotavlja konsistentnost in zmanjša možnost napak pri programiranju. (Včasih obstaja poseben ukaz, ki lahko med vrednotenjem programa ponovno odbere novo dejansko stanje vhodov).



Sl. 9.27. Princip delovanja PLK-ja.

Rezultati izhodov se med vrednotenjem shranjujejo v sliko izhodov, in le-ti se

uporabljajo v naslednjih vrsticah programa za nadaljnja vrednotenja. Dejanska preslikava na izhode pa se izvrši šele po vrednotenju celotnega programa.

Celotno zaporedje operacij se izvaja zelo hitro. Ta čas imenujemo čas cikla (čas pregledovanja – scanning time) in zavisi od:

- hitrosti delovanja mikroprocesorja;
- izvedbe materialne opreme, npr. način odbiranja vhodov;
- kvalitete izvedbe interpreterja instrukcij programa;
- dolžine uporabniškega programa;
- vrste uporabljenih instrukcij; enostavne vhodno/izhodne instrukcije se izvedejo zelo hitro, medtem ko kompleksne aritmetične in druge podobne instrukcije porabijo veliko več časa.

Zelo dolgi uporabniški programi se običajno izvedejo v manj kot 20 ms. Proizvajalci PLK-jev podajajo okvirni čas, potreben za vrednotenje tisoč (1K) enostavnih instrukcij uporabniškega programa. To omogoča grobo oceno hitrosti delovanja različnih PLK-jev.

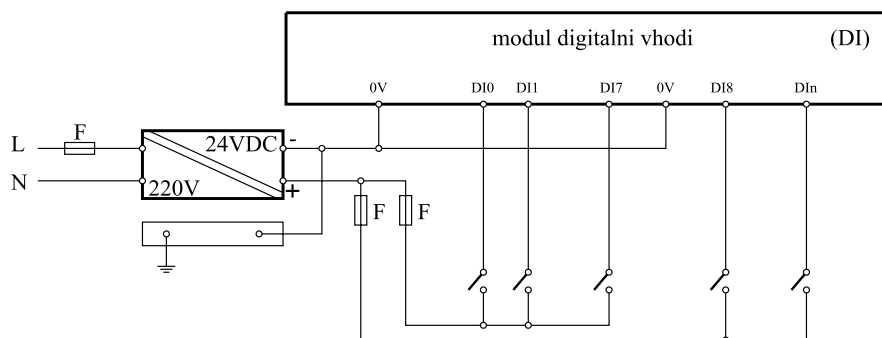
9.5.4 Priklučitev signalov na PLK

Signale priključimo na PLK preko vhodno/izhodnih enot. Pri tem ločimo digitalne in analogne signale.

9.5.4.1 Digitalni vhodi

Digitalne vhodne naprave so npr. končna stikala, induktivna stikala, tipke in ročna stikala. Digitalni vhodi so običajno 24 V DC, v primeru specialnih modulov pa je napetost tudi višja (npr. 48V DC in 220V AC).

Sl. 9.28 prikazuje priklučitev digitalnih signalov na vhodno enoto PLK-ja.



Sl. 9.28. Priklučitev digitalnih vhodov 24VDC.

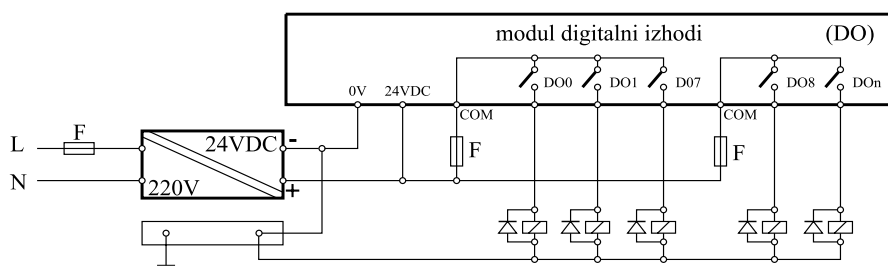
9.5.4.2 Digitalni izhodi

Z digitalnimi izhodi vklapljammo npr.: signalne lučke, releje in kontaktorje za pogon motorjev, črpalk, motornih ventilov, elektromagnetne ventile, itd.

Izhodi so različnih tipov in sicer:

- relejni: lahko preklaplajo DC (do 100V) in AC napetost (do 240V), običajno do ca 2A na izhod, življenjska doba je zaradi mehanske izvedbe in kontaktov (odvisno od napetosti in toka) omejena na število preklopov do ca 3,000,000 krat;
- tranzistorski: običajno je napetost do 30 V DC, tok do 0.5 A;
- triak: običajno je napetost do 240 V AC, tok do 0.3 A.

Sl. 9.29 prikazuje priključitev digitalnih signalov na izhodno enoto PLK-ja.



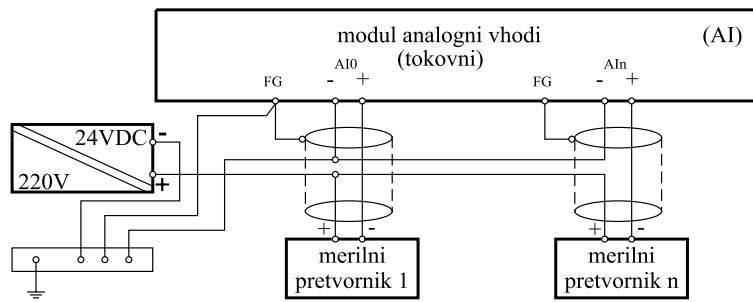
Sl. 9.29. Priključitev digitalnih relejnih izhodov 24VDC.

9.5.4.3 Analogni vhodi

Preko analognih vhodnih signalov izvajamo meritve zveznih veličin, kot npr.: temperatura, tlak, pretok, gostota. Običajno v industrijskih aplikacijah uporabljamo tokovni signal (0)4-20 mA, včasih pa tudi napetostni 0-10V ali celo mV. Pri manj zahtevnih aplikacijah lahko priključimo na PLK tudi direktno uporovni signal (npr. Pt100 tipalo, potenciometer).

Zahtevana natančnost A/D pretvorbe je običajno 12 bitov (1/4096), hitrost pretvorbe pa manj kot 1ms/kanal za hitre vhode in približno 20ms/kanal za počasnejše vhode. Zaželjena je optična ločitev vhodnih signalov zaradi motenj in možnost lokalne predobdelave signalov na inteligenčnih vhodnih modulih PLK-ja.

Sl. 9.30 prikazuje priključitev analognih signalov na vhodno enoto PLK-ja.



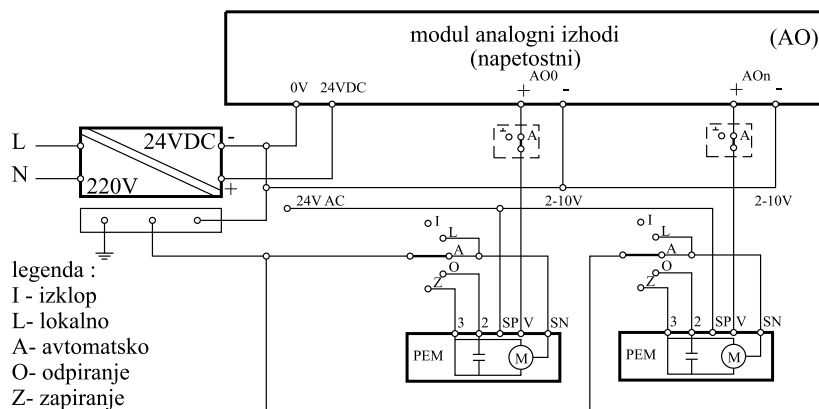
Sl. 9.30. Priključitev analognih tokovnih vhodov (dvožična vezava).

9.5.4.4 Analogni izhodi

Preko analognih izhodnih signalov krmilimo prikazne instrumente in zvezno delujoče izvršne organe, kot npr.: elektropnevmatske ventile, elektromotorne ventile z lokalnim pozicionerjem, proporcionalne elektromagnetne ventile.

Običajno v industrijskih aplikacijah uporabljamo tokovni signal (0)4-20 mA, včasih pa tudi napetostni 0-10V. Zahtevana natančnost D/A pretvorbe je običajno do 12 bitov (1/4096), hitrost pretvorbe pa nekaj ms/kanal. Zaželjena je optična ločitev izhodnih signalov zaradi motenj.

Sl. 9.31 prikazuje priključitev analognih signalov na izhodno enoto PLK-ja.



Sl. 9.31. Priključitev analognih napetostnih izhodov na elektromotorne pogone PEM.

9.5.5 Vrste PLK-jev

Na trgu je veliko vrst PLK-jev različnih proizvajalcev, npr. Allen Bradley, Hitachi, Mitsubishi, Omron, Siemens, Telemecanique, itd. Skoraj vsi imajo v proizvodnem programu širok nabor različnih vrst PLK-jev.

Tabela 9.2. Osnovne značilnosti posameznih vrst PLK-jev.

Značilnost	Majhni PLK	Srednji PLK	Veliki PLK
Izvedba	kompaktna, brez ali zelo omejena razširljivost	kompaktna ali delno modularna, omejena razširljivost	modularna, velika razširljivost
Kapaciteta	do 2 K instrukcij	do 16 K instrukcij	več 10 K ali celo več 100 K instrukcij
Zmogljivost	do 50 I/O signalov, običajno le digitalni	do 250 I/O signalov, običajno digitalni, analogni le v omejenem številu	več 100 ali celo več 1,000 I/O signalov, tako digitalnih kot tudi analognih
Komunikacijske povezave	ni ali samo ena	malo, omejeno število in vrsta komunikacij	moduli za različne specialne povezave in standardne mreže
Cena	zelo nizka (< 1,000 DEM)	nizka (< 5,000 DEM)	visoka (> 10,000 DEM)
Uporaba	enostavna krmilja strojev in naprav	krmilja strojev in naprav ter enostavnih procesov	vođenje procesov in kompleksnejših strojev

Krmilnike lahko razdelimo po namenu in zgradbi v majhne, srednje in velike. Tabela 9.2. prikazuje osnovne značilnosti posameznih vrst.

V novejšem času je trend v izvedbi PLK sistemov z distribuiranimi vhodno/izhodnimi enotami. Takšen PLK je sestavljen samo iz procesne enote in komunikacijskih modulov za povezavo z distribuiranimi enotami. Takšne enote se lahko nahajajo ob izvoru signalov ali pa so celo komunikacijski vmesniki integrirani v samo periferno napravo (npr. merilnik pretoka ali celo končno stikalo). Takšna izvedba sistemov bistveno zmanjša dolžino potrebnih instalcijskih kablov, kar poceni izvedbo elektroinstalacij. Komunikacijske povezave so vse bolj standardizirane, to pa omogoča skupno uporabo distribuiranih enot različnih proizvajalcev.

9.5.6 Pomožna oprema PLK-jev

Poleg samega PLK-ja imamo običajno priključen na krmilnik še operatorski pult.

Preko pulta lahko pregledno (v uporabniškem jeziku) prikazujemo stanje procesa, vnašamo parametre in vršimo ukaze kot so npr. zagon stroja. Z njimi lahko bistveno zmanjšamo potrebno število vhodov (potrebnih za operatorske tipke) in izhodov PLK-ja (potrebnih za signalizacijo) ter izvedemo pregledno javljanje poteka delovanja in alarmiranje.

Pulti so običajno vezani preko serijskega vodila direktno na PLK. Lahko pa so vezani tudi neposredno na komunikacijsko mrežo, ki povezuje med seboj večje število PLK-jev. Na nekatere pulte lahko priključimo tudi pisalnik za izpis poročil. Prikazovalniki so lahko alfanumerični ali grafični. Pulti so namenjeni za vgradnjo na vrata elektro omare

in so normalno IP65 zaščiteni.

9.5.7 Spremenljivke PLK-ja

Podrobneje smo programska orodja za krmilnike obravnavali v okviru poglavja 8, tu naštejmo le spremenljivke krmilnika.

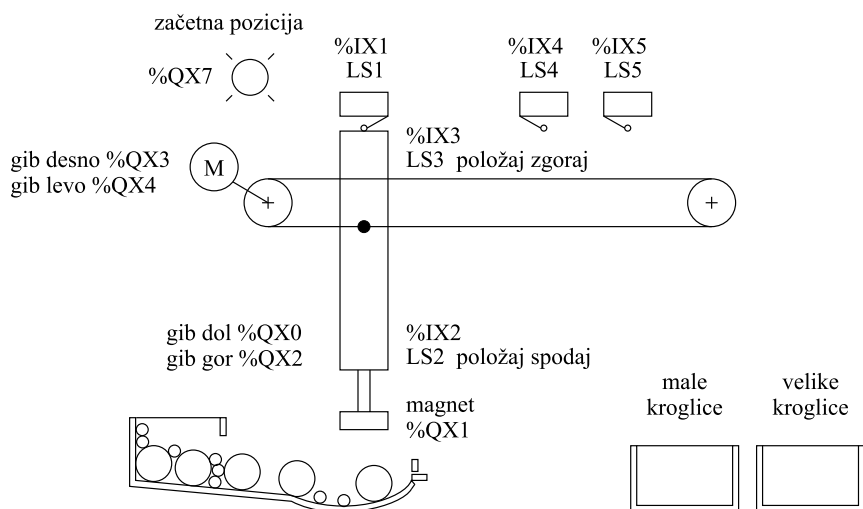
Spremenljivke, ki običajno nastopajo v PLK-jih so (označevanje spremenljivk je v skladu z že obravnavanim standardom IEC 1131-3):

- digitalni vhodi (%IX);
- digitalni izhodi (%QX);
- binarne spremenljivke (%MX): Po izpadu napetosti se lahko brišejo ali pa se vrednost ohrani. Poleg uporabniških spremenljivk obstajajo še systemske, ki podajajo stanje sistema (npr. okvaro izhodnega modula, stanje baterije);
- stanja (%MX): To so interne spremenljivke, ki jih uporabljamo za označevanje trenutno aktivnih stanj pri izvedbi sekvenčnega krmilja;
- časovniki (%MX): Obstajajo časovniki z 1 ms, 10 ms in 100 ms časovno bazo. Po izpadu napetosti se lahko brišejo ali ohranijo svojo prejšnjo vrednost. Časovnik šteje le, če ima izpolnjen pogoj. Ko doseže nastavljeno vrednost, aktivira svoj kontakt. Obnašajo se torej podobno kot običajni časovni releji;
- števci (%MX): Števci delujejo podobno kot časovniki, le da ne štejejo časa ampak spremembo zunanjega digitalnega signala. Poleg običajnih števec, kjer je največja dovoljena frekvenca vhoda omejena s časom pregledovanja programa, obstajajo pogosto tudi hitri števci. Ti so lahko realizirani v posebnem modulu, za manjše frekvence (do cca 5 kHz) pa lahko tudi programsko;
- celoštevilčne spremenljivke (%MW): To so celoštevilčne spremenljivke s 16 bitno vrednostjo (-32,768 do +32,767), ali dvojno natančnostjo (%MD) (-2,147,483,648 do +2,147,483,647). Uporabljamo jih za izvedbo aritmetičnih operacij. Po izpadu napetosti se lahko brišejo ali pa se vrednost ohrani. Poleg uporabniških spremenljivk obstajajo še systemske, ki podajajo stanje sistema (npr. vrsta okvare izhodnega modula, čas pregledovanja);
- spremenljivke v formatu plavajoče vejice (%M): Te so vgrajene le v zmogljivejše PLK-je.

∇

Primer 9.3: *Uporaba krmilnika pri sortiranju kroglic*

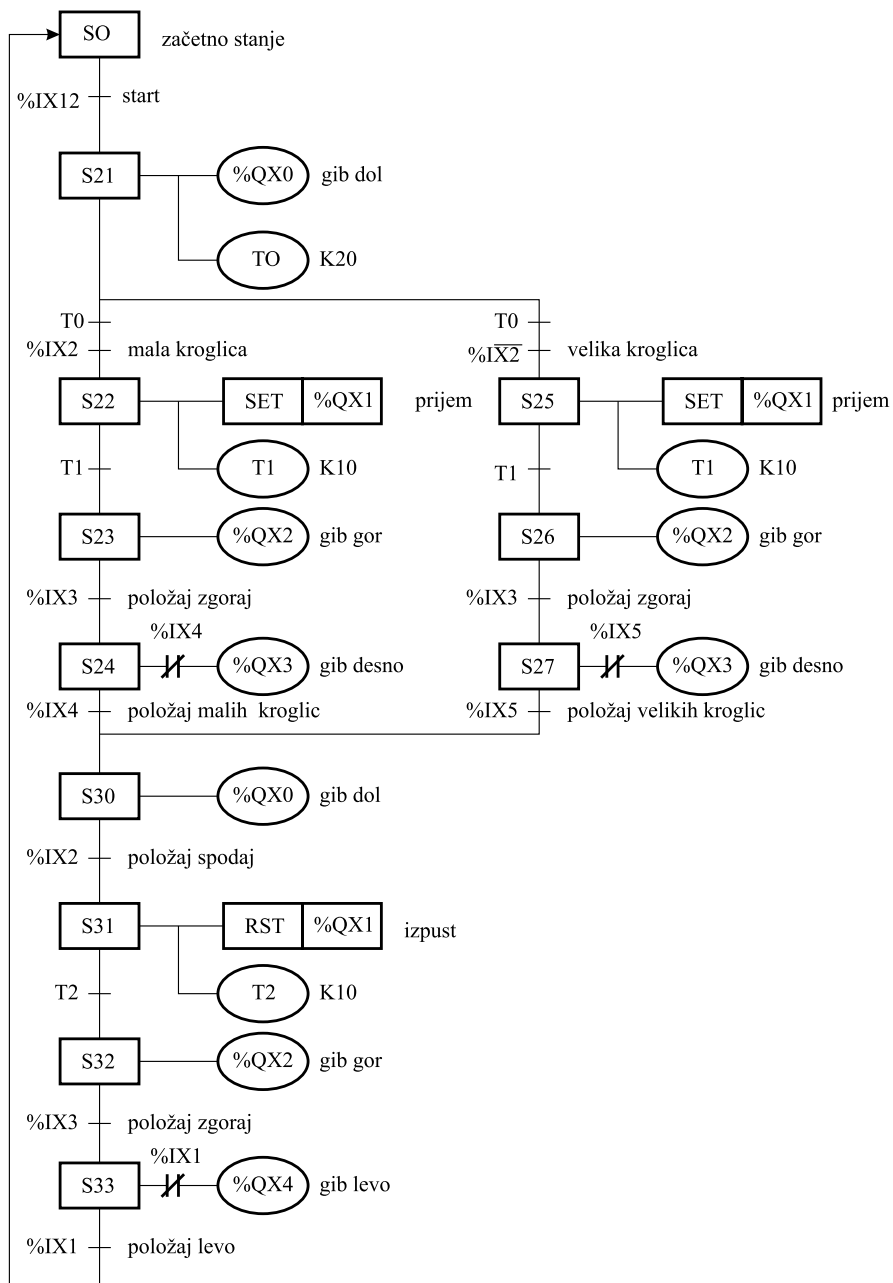
Prikazana je poenostavljena shema uporabe krmilnika za realizacijo funkcije sortiranja velikih in malih kroglic s pomočjo enote na traku (glej Sl. 9.32).



Sl. 9.32. Shema naprave za sortiranje kroglic.

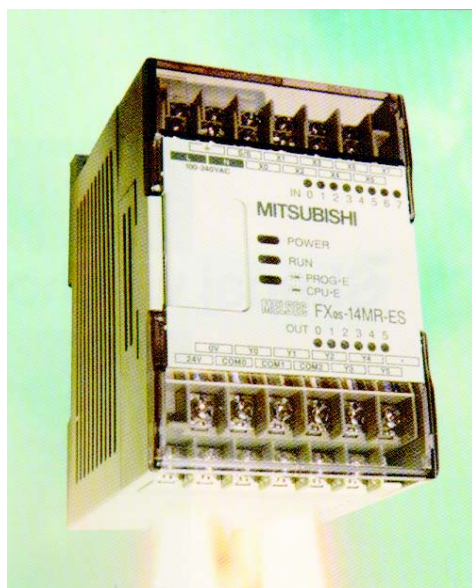
Začetna pozicija magnetnega prijemala je levo zgoraj. Potek gibanja prijemala je nato sledeč: gib dol, prijem kroglice, gib gor, gib desno, gib dol, izpust kroglice, gib gor, gib levo. Prepoznavanje velikih in malih kroglic je izvedeno s stikalom LS2 na spodnji poziciji pri prijemu. Pri veliki kroglici prijemalo ne doseže spodnje pozicije, in se zato stikalo ne aktivira, pri mali kroglici pa se aktivira.

Koračni diagram delovanja v avtomatskem načinu dela naprave je prikazan na Sl. 9.33. Začetno stanje S0 je potrebno zagotoviti v ročnem načinu dela naprave in v primeru ni obdelano. Naprava začne delovati, ko prestavimo stikalo v pozicijo START. Prijemalo se giblje navzdol do kroglice. Gib je aktiven določen čas. Program se nato glede na to ali je bilo doseženo stikalo LS2, ki določa velikost žogice, razveja na horizontalno gibanje desno do posode, za male, ali do posode, za velike kroglice. V nadaljevanju sledi ponovno združenje programa za gibanje navzdol, izpust kroglice, gib navzgor in horizontalni gib levo v začetno pozicijo.



Sl. 9.33. Koračni diagram sortiranja kroglic.

Za realizacijo opisanega primera potrebujemo majhen krmilnik, Sl. 9.34 prikazuje primer takega krmilnika.



Sl. 9.34. Krmilnik Mitsubishi FX0S-14MR-ES.

Za zaključek lahko ponovimo:

- krmilniki (PLK) so mikroročunalniki;
- prilagojeni so za delovanje v industrijskem okolju;
- prilagojeni so za inženirsko uporabo.

Hiter razvoj računalništva je omogočil hitro uvajanje PLK-jev v industrijo in s tem povečal fleksibilnost in ekonomičnost proizvodnje.

9.6 Regulatorji

V sodobnih sistemih za vodenje industrijskih procesov se pojavlja veliko regulacijskih zank, ki pretežno vsebujejo PID regulacijske algoritme in so realizirane v okviru procesnih računalnikov, programirljivih logičnih krmilnikov (PLK) in podobno. Tradicionalno pa so se za izvajanje regulacij uporabljali samostojni regulatorji. Ti se v veliko primerih uporabljajo še danes, in sicer predvsem takrat, kadar se zahteva višja stopnja zanesljivosti, hiter dostop operaterja in je prisotnih le nekaj regulacijskih zank.

9.6.1 Vrste regulatorjev

V širšem smislu lahko regulatorje glede na izvedbo in princip delovanja razdelimo v naslednje skupine:

- mehanski regulatorji;
- pnevmatski regulatorji;
- analogni elektronski regulatorji;
- mikroračunalniški regulatorji.

Mehanski regulatorji se uporabljajo samo za posebne namene in v primerih, ko ni zahtevana velika natančnost. Prav tako se še vedno uporabljajo pnevmatski regulatorji, in sicer v tistih kemijskih procesih, kjer je zahtevana eksplozijska varnost ali pa je glavna skrb korozijska odpornost. V nasprotju s tem pa klasični analogni elektronski regulatorji, razen izjemoma, niso več primerni za vgradnjo v nove sisteme za vodenje, saj imajo v primerjavi z mikroračunalniškimi regulatorji vrsto slabosti, kot je npr. neudobna in netočna nastavitve PID parametrov in komplicirano konfiguriranje regulatorja (s pomočjo mehanskih stikal). Vendar pa se analogni elektronski regulatorji še uporabljajo v primerih, kadar je v ospredje postavljena hitrost delovanja, kot je to npr. pri servo-pozicioniranju. Mikroračunalniški regulatorji se odlikujejo s široko uporabnostjo, nizko ceno in enostavnim načinom konfiguriranja. Opremljeni so s čelno ploščo, ki vsebuje tipkovnico in ustrezne prikazovalnike. Aparaturna oprema mikroračunalniških regulatorjev je bolj ali manj fiksna. Prikazovalniki prikazujejo regulirano, želeno in regulirno vrednost, tipke pa so namenjene ročnemu načinu vodenja, preklopu ročno/avtomatsko in nastavitvi želene vrednosti. Vse to omogoča operaterju, da lahko ustrezno in hitro reagira, kadar se pojavijo nepravilnosti v delovanju regulacijske zanke. Nadaljnja obravnava bo posvečena izključno mikroračunalniškim regulatorjem.

9.6.2 Mikroračunalniški regulatorji

9.6.2.1 Funkcije mikroračunalniških regulatorjev

Osnovna naloga samostojnega mikroračunalniškega regulatorja je realizacija PID algoritma v regulacijski zanki. Poleg osnovne regulacijske funkcije pa obstaja v okviru mikroračunalniških regulatorjev še niz dodatnih funkcij, ki se izkazujejo kot zelo uporabne za izvedbo sodobnih sistemov za vodenje. Te funkcije so:

- prikazovanje in izpisovanje podatkov;
- alarmiranje;
- izbira med lokalno nastavlljivo želeno vrednostjo in zunanjo želeno vrednostjo, ki se podaja preko signala iz npr. nadzornega sistema;
- kaskadna regulacija (dva serijsko povezana PID regulatorja), ki pa se izvede znotraj

- enega samega mikroračunalniškega regulatorja;
- regulacija razmerja procesnih veličin;
- sledilni način delovanja, kjer izhod mikroračunalniškega regulatorja sledi regulirni veličini iz procesnega računalnika. Mikroračunalniški regulator prevzame regulacijsko funkcijo v primeru odpovedi procesnega računalnika (ta način delovanja regulatorja se uporablja le v primerih izjemno visokih zahtev po zanesljivosti delovanja);
- samonastavitev parametrov regulacijske zanke, ki omogoča avtomatsko nastavitev PID parametrov tako, da je delovanje regulacijske zanke optimalno glede na določen kriterij;
- izvajanje sodobnejših regulacijskih algoritmov kot npr. adaptivna regulacija, mehka regulacija, itd.;
- izvajanje različnih logičnih in krmilnih funkcij.

Naštete funkcije spadajo med skupne lastnosti samostojnih mikroračunalniških regulatorjev, ki so jim prinesle tržno prevlado nad mehanskimi, pnevmatskimi in drugimi analognimi regulatorji. V nadaljevanju si nekoliko podrobneje oglejmo tiste lastnosti mikroračunalniških regulatorjev, ki omogočajo medsebojno primerjavo različnih tipov regulatorjev in odločajo, kateri regulator izbrati za določen problem vodenja.

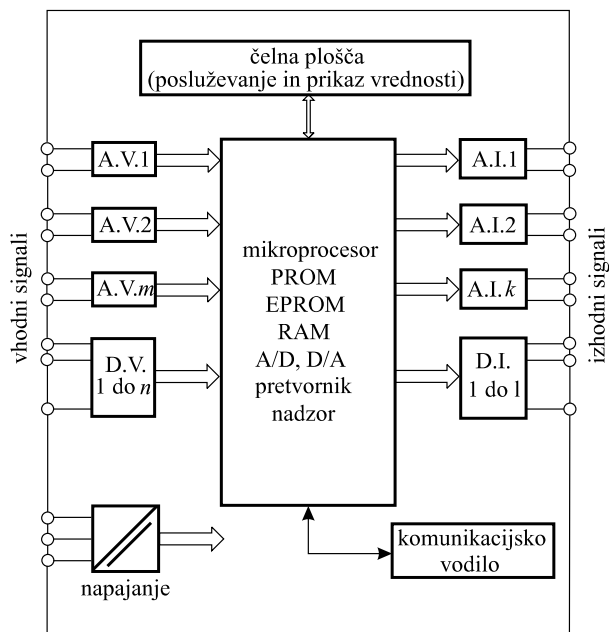
Pri pregledovanju lastnosti regulatorjev se bomo osredotočili na: lastnosti aparturne opreme regulatorja, ki se nanašajo na vhodno-izhodne zmogljivosti, hitrost obdelave podatkov, funkcije tipk in prikazovalnikov ter na lastnosti programske opreme regulatorja, ki se nanašajo na število in vrsto funkcij in operacij, ki jih lahko izvaja mikroračunalniški regulator.

9.6.2.2 Zgradba in princip delovanja tipičnega mikroračunalniškega regulatorja

Zgradba tipičnega mikroračunalniškega regulatorja je močno poenostavljeno prikazana na Sl. 9.35.

Osrednja enota vsakega mikroračunalniškega regulatorja je *mikroprocesor* skupaj s pripadajočimi *spominskimi enotami* (RAM, ROM, EPROM). Mikroprocesor omogoča izvajanje uporabniškega programa regulatorja, to je izvajanje ene ali več regulacijskih zank ter ostalih aritmetičnih in logičnih funkcij, katerih izvedbo omogoča programska oprema regulatorja. Spominske enote služijo shranjevanju programske opreme regulatorja, uporabniškega programa in vrednosti signalov ter parametrov. Pri izvajanju uporabniškega programa, oziroma regulacijske zanke, se najprej zajamejo *analogni vhodni električni signali (A.V.)* (t.j. izmerjene - regulirane vrednosti procesnih veličin), ki se s pomočjo A/D pretvornika pretvorijo iz analogne v digitalno obliko. Le-ta je primerna za nadaljnjo obdelavo v mikroprocesorju. Rezultat obdelave so ustrezni izhodni digitalni podatki oziroma števila, ki se s pomočjo D/A pretvornika pretvorijo v

ustrezne *analogne izhodne električne signale (A.I.)* - regulirne oziroma krmilne veličine. Na mikroprocesor je posredno priključena tudi *čelna plošča*, ki služi za prikaz vrednosti posameznih signalov ter za nastavitve vrednosti različnih parametrov.



Sl. 9.35. Notranja zgradba mikroračunalniške regulatorja

V nadaljevanju si bomo nekoliko podrobneje ogledali posamezne lastnosti mikroračunalniških regulatorjev.

9.6.2.3 Vhodni in izhodni signali

Vrste in število vhodnih in izhodnih signalov, ki jih je mogoče priključiti na regulator

Glede na možnosti, ki jih daje uporaba mikroprocesorjev, imajo mikroračunalniški regulatorji več vhodov in izhodov, kot jih zahteva realizacija osnovne PID regulacijske zanke. PID regulacijska zanka zahteva en analogni vhod za zajem dejanske vrednosti procesne veličine in en analogni izhod za priključitev regulirne vrednosti na aktuator. V primeru t.i. tropoložajnega aktuatorja sta namesto enega analognega izhoda potrebna dva digitalna izhoda. V splošnem lahko na mikroračunalniški regulator priključimo naslednje standardne tipe signalov:

- analogni vhodni signal (za priključitev analognih merilnih pretvornikov, npr. merilnik tlaka, nivoja, pretoka, ipd.);
- analogni izhodni signal (za priključitev analognih aktuatorjev, npr. zvezni ventil,

- servo-motor ipd.);
- digitalni vhodni signal (za priključitev on-off merilnih pretvornikov, npr. detektor maksimalnega nivoja, končno stikalo, ipd.);
- digitalni izhodni signal (za priključitev on-off aktuatorjev, npr. vklop-izklop različnih porabnikov);
- direktna priključitev termočlena oziroma termopora.

Število posameznih signalov, ki jih lahko priključimo na regulator, je eden od parametrov, ki določa, kako obsežno regulacijsko nalogo lahko rešujemo z danim regulatorjem. Število signalov je torej dejavnik, ki govori o zmogljivosti regulatorja. Poleg samega števila vhodnih in izhodnih signalov so pomembne tudi njihove lastnosti, omenjene v nadaljevanju.

Lastnosti analognih vhodnih in izhodnih signalov

Med pomembnejše lastnosti vhodnih in izhodnih signalov prav gotovo spadajo tipi in merilni obsegi signalov. Najbolj pogosti so:

- tokovni signali z obsegom 0-20mA ali 4-20mA;
- napetostni signali z obsegom 0-10V ali 0-1V, ipd.

V najboljšem primeru lahko uporabnik-programer izbira tako med tipom signalov kot med njihovim merilnim obsegom. Izbira se najpogosteje izvede s pomočjo ustreznih stikal ali programske.

Regulatorji ponavadi omogočajo zvezne regulacijske izhode ("K" regulator), nekateri pa tudi stopenjske (impulzne) regulacijske izhode ("S" regulator). Slednji so prilagojeni za dvo- ali tropoložajne električne aktuatorje, ki so danes zaradi svoje cenenosti in kvalitete zelo razširjeni.

Resolucija analognih vhodnih in izhodnih signalov določa, s kakšno natančnostjo lahko zajamemo, oziroma oddamo določen signal. Resolucija je odvisna od števila bitov A/D in D/A pretvornika regulatorja. Za primer vzemimo, da regulator vsebuje 12-bitni A/D pretvornik. Tedaj lahko določimo največjo možno vrednost napake, ki nastane zaradi kvantizacije, iz naslednje relacije:

$$e(\%) = 100\% \cdot \frac{1}{2^{12}} \doteq 0.024\%$$

Zelo važna lastnost je tudi galvanska ločenost (pomembno posebej za vhodne signale). Če so analogni vhodni signali galvansko ločeni, lahko na regulator priključimo merilne pretvornike, ki se nahajajo na različnem napetostnem potencialu.

Možnost direktne priključitve na uporovni termometer in termoelement

Regulacija temperature je zelo pogost regulacijski problem. Merilniki temperature, kot so termočleni, potrebujejo za svoje delovanje ustrezen pretvornik. Nekateri tipi

regulatorjev vsebujejo posebne analogne vhode, ki omogočajo direktno priključitev termočlenov. V kolikor takšni analogni vhodi niso v osnovni opremi regulatorja, pogosto obstaja možnost za njihovo naknadno vgraditev.

Lastnosti digitalnih vhodnih in izhodnih signalov

Digitalni vhodni in izhodni signali za razliko od analognih niso zvezno spremenljivi, pač pa lahko zavzamejo le dve različni stanji:

Visok logični nivo (ON), ki se navadno označi z enosmerno napetostjo $>20V$,

Nizek logični nivo (OFF), ki se navadno označi z enosmerno napetostjo $<5V$.

Nekateri regulatorji vsebujejo, ali pa jim lahko dogradimo, digitalne izhode, s katerimi lahko neposredno krmilimo 220V porabnike manjših moči do nekaj 100W. Digitalni vhodi so običajno medsebojno galvansko ločeni, medtem ko digitalni izhodi običajno niso.

Možnost modularne razširitve regulatorja

Večina regulatorjev ima možnost z dodatnimi moduli povečati število analognih in digitalnih vhodov ter digitalnih izhodov. Števila analognih izhodov običajno na ta način ni možno povečati.

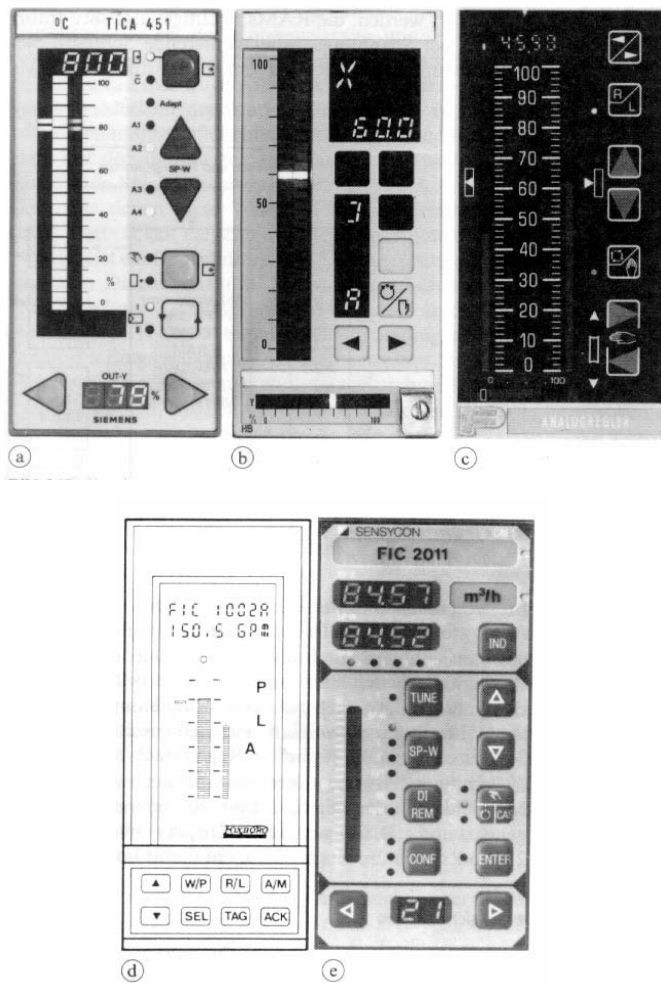
9.6.2.4 Funkcije čelne plošče

Tipičen mikroračunalniški regulator ima čelno ploščo, ki ostane vidna tudi po vgraditvi regulatorja npr. v komandni pult. Elementi čelne plošče so v večini primerov naslednji:

- tipke (služijo za poseganje operaterja v proces, nastavljanje vrednosti procesnih veličin, ipd.);
- analogni prikazovalniki (v analogni grafični obliki prikazujejo želeno in dejansko vrednost procesne veličine, regulirno veličino, oziroma ostale analogne veličine);
- digitalni (alfa-numerični) prikazovalniki (v obliki števila prikazujejo želeno in dejansko vrednost procesne veličine, regulirno veličino, oziroma ostale analogne veličine);
- digitalni svetlobni indikatorji - LE diode (prikazujejo stanja digitalnih on/off signalov).

Pri mikroračunalniških regulatorjih s preprosto programsko opremo (tovarniško pred-programirani regulatorji) so funkcije elementov čelne plošče tovarniško določene in jih ni mogoče spreminjati. V primeru prosto programirljivih regulatorjev navadno obstaja možnost, da uporabnik-programer v fazi programiranja sam dodeli funkcijo in pomen posameznim elementom čelne plošče.

Sl. 9.36. prikazuje čelne plošče nekaterih izmed na trgu dobavljivih regulatorjev.



Sl. 9.36. Čelne plošče nekaterih digitalnih regulatorjev (a) - SIPART DR22, (b) - PROTRONIC P, (c) - 53 MC 2000, (d) - FOXBORO 760 in (e) - SENSYCON CM 1.

9.6.2.5 Programska oprema regulatorja

O programski opremini regulatorja smo obširneje govorili v prejšnjem poglavju zato tukaj ponovimo le osnovna dejstva.

Glede na programsko opremo ločimo dva tipa mikroračunalniških regulatorjev, in sicer tovarniško pred-programirane regulatorje ter prosto programirljive regulatorje.

V prvem primeru ima mikroračunalniški regulator tovarniško vstavljen program, ali nekaj programov, ki omogočajo reševanje nekaterih tipičnih regulacijskih problemov.

Tovarniški programi vsebujejo poleg regulacijskega PID algoritma v glavnem še preproste aritmetične operacije in pa prikaz merilnih in krmilnih veličin. Uporabnik-programer regulatorja lahko v tem primeru le minimalno vpliva na delovanje programa, tako da izbere, kateri od tovarniško vstavljenih programov naj se izvaja oziroma spreminja parametre, ki vplivajo na delovanje izbranega programa.

Drugi primer obsega naprednejše mikroračunalniške regulatorje, ki so namenjeni izvajanju kompleksnejših in nestandardnih regulacijskih nalog, in so temu primerno opremljeni s kompleksnejšo programsko opremo. Uporabnik-programer v takšnem primeru ne uporabi tovarniško vgrajenega programa, pač pa program izdela sam in ga tako do podrobnosti prilagodi konkretnemu problemu. Pri izdelavi programa se uporabljajo in povezujejo tovarniško pred-programirani programski bloki oziroma podprogrami, ki so namenjeni za reševanje različnih funkcij.

Pri programiranju regulatorjev obstajata dve možnosti:

- programiranje preko tipk in prikazovalnikov čelne plošče predstavlja sicer časovno potratno in utrudljivo možnost, ki pa je primerna v prvi vrsti za manjše popravke obstoječih programov, manj pa za kompleten razvoj novih programov;
- programiranje preko razvojnega sistema, ki je običajno kar osebni računalnik z ustrežno razvojno programsko opremo. Razvojni sistem omogoča razvoj uporabniških programov, njihovo dokumentiranje ter prenos v regulator ter tako predstavlja boljšo in hitrejšo možnost programiranja v primerjavi s programiranjem preko čelne plošče.

9.6.2.6 Komunikacijske lastnosti regulatorja

Programska in strojna oprema regulatorja običajno ponujata bogate možnosti za vključevanje regulatorjev v distribuirane računalniške sisteme preko vodil oziroma komunikacijskih vmesnikov. Povezava mikroračunalniškega regulatorja na ustrezno komunikacijsko vodilo omogoča: zajem vrednosti signalov regulatorja, spreminjanje (vpisovanje) vrednosti parametrov regulatorja, vklop/izklop funkcij regulatorja, povezavo regulatorja z nadzornimi sistemi, povezavo regulatorja v distribuiran sistem vodenja in programiranje regulatorja.

9.6.2.7 Čas cikla pri izvajanju uporabniškega programa

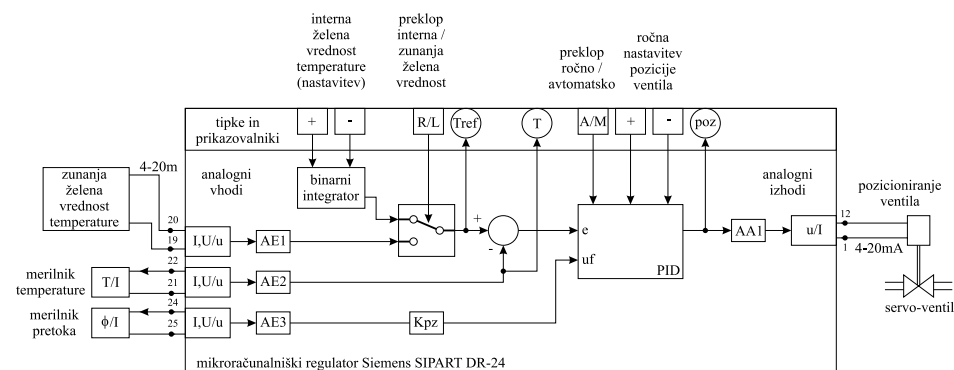
Vsak mikroračunalniški regulator "oponaša" delovanje zveznega analognega regulatorja. V resnici gre za ponavljanje izvajanja uporabniškega programa in s tem regulacijskega algoritma. "Čas cikla" (čas pregledovanja) je čas, v katerem se enkrat izvedejo vse funkcije uporabniškega programa oziroma en cikel regulacijske zanke. Ob koncu cikla se izdajo nove vrednosti izhodnih signalov regulatorja, za tem pa se ovrednotijo (preberejo) vrednosti vhodnih signalov, ki so nadalje potrebne za izvajanje novega cikla. Čas cikla tipičnega mikroračunalniškega regulatorja se nahaja v rangu

nekaj 10 ms. Čas cikla je odvisen od kompleksnosti uporabniškega programa oziroma regulacijske sheme. Na splošno velja, da za hitre procese ustrezajo regulatorji s kratkim časom cikla, nasprotno pa so regulatorji z dolgim časom cikla primerni le za procese z dolgimi časovnimi konstantami. Za procesno industrijo velja, da časi cikla, ki so manjši od 1 sekunde, na kvaliteto regulacije bistveno ne vplivajo. (Namesto izraz “čas cikla” pogosto srečujemo izraz “čas vzorčenja”.)

▽

Primer 9.4: Uporaba mikroračunalniškega regulatorja za regulacijo temperature

Podan primer uporabe mikroračunalniškega regulatorja se navezuje na primer regulacije temperature v toplotnem izmenjevalniku v podpoglavju 7.3.3.2. Tehnološko shemo toplotnega izmenjevalnika prikazuje Sl. 7.87. Regulacijski sistem, prikazan na Sl. 9.37, meri izhodno temperaturo (analogni vhod AE2) in pretok ogrevanega medija (analogni vhod AE3) s pomočjo ustreznih merilnih pretvornikov ter nastavlja stopnjo odprtosti ventila (analogni izhod AA1) in s tem velikost pretoka pare. V okviru mikroračunalniškega regulatorja se vrši primerjava med želeno in dejansko vrednostjo temperature, na osnovi odstopanja in na osnovi PID regulacijskega algoritma, upoštevajoč tudi pretok ogrevanega medija, pa se sproti prilagaja stopnja odprtosti ventila tako, da se temperatura na izhodu izmenjevalnika čimbolj približa zeleni vrednosti. Možno je izbirati med dvema izvoroma zelene vrednosti: lokalno nastavljiva vrednost in zunanja vrednost, podana s pomočjo ustreznega vhodnega signala (analogni vhod AE1). Poleg tega je predviden tudi “ročni” način obratovanja, ko se ne glede na odstopanje med dejansko in želeno vrednostjo temperature, ročno, s pomočjo tipk na regulatorju nastavlja stopnja odprtosti ventila. Regulacijski sistem, prikazan na Sl. 9.37 je realiziran v okviru mikroračunalniškega regulatorja Siemens SIPART DR-24.



Sl. 9.37. Regulacijski sistem za regulacijo temperature v toplotnem izmenjevalniku, realiziran s pomočjo mikroračunalniškega regulatorja Siemens SIPART DR-24

Uporaba mikroračunalniških regulatorjev je smiselna predvsem v primerih, kjer se zahteva zanesljivost delovanja in možnost učinkovitega in hitrega reagiranja s strani operaterja. Pri izbiri regulatorja je poleg tehničnih lastnosti, ki smo jih opisali, potrebno upoštevati tudi naslednje elemente:

- razmerje med nabavno ceno in zmogljivostmi;
- ceno razvojnega sistema, če le-ta za določeni regulator obstaja;
- dostopnost servisnih storitev in
- obstoječe izkušnje končnih uporabnikov-operaterjev, ki regulator poslužujejo.

9.7 Računalniški sistemi za delo v realnem času

Z razvojem računalniške in spremljajoče tehnologije so se odprla mnoga nova področja njihove uporabe. Iz naprave za hitro obdelavo velikega števila podatkov in reševanje enačb se je razvilo več tipov računalnikov, izmed katerih bomo v nadaljevanju podrobneje obravnavali računalnike za delo v realnem času. To so naprave najrazličnejših tipov, velikosti in namembnosti uporabe, ki jih pogosto srečujemo v praksi, včasih tudi, ne da bi se tega posebej zavedali. Vgrajene so tako v razne komunikacijske sisteme, sisteme za nadzor prometa, industrijske tehnološke naprave, kot tudi v gospodinjske naprave in avtomobile. Njihov osnovni namen ni samo procesiranje podatkov, temveč je procesiranje podatkov le potreben pogoj za uspešno izvajanje njihove osnovne naloge, ki se navadno izraža v vodenju delovanja nekega večjega sistema, v katerega so tovrstni računalniki vgrajeni.

Pri vodenju nekega procesa predstavlja računalnik le enega izmed gradnikov v celotni strukturi sistema za vodenje. Računalnik v sistemu vodenja vedno deluje v povezavi z merilnim podsistemom, izvršnimi členi, komunikacijskimi povezavami in človekom-operaterjem. Celotna množica teh gradnikov skupaj predstavlja sistem za vodenje, ki lahko uspešno nadzira ali vodi nek tehnološki proces.

9.7.1 Vrste računalniških sistemov

Obstaja vrsta klasifikacij računalniških sistemov, ki so včasih tudi prekrivajoče ali celo konfliktne. Če kot glavni kriterij vzamemo *hitrost odziva*, lahko računalnike uvrstimo v tri glavne kategorije (Cooling, 1990):

- *sistemi s paketno obdelavo* (angl. *batch systems*). Rezultate pričakujemo znotraj nekega razumnega časovnega okvira (tipično nekaj ur ali celo dni);
- *sistemi za sprotno obdelavo* (angl. *on-line systems*). Rezultate pričakujemo v kratkem času, tipično v eni ali nekaj sekundah, kar omogoča interaktivnost dela;
- *sistemi za delo v realnem času* (angl. *real-time systems*). Rezultati morajo biti dostopni znotraj predpisanih časovnih okvirov (tipično milisekund do sekund),

sicer sistem preprosto ni uporabljen.

Sistem s paketno obdelavo. Ko je specifičen računalniški sistem drag in/ali zato težko dostopen, je smiselno, da opravimo predobdelavo na lokalnem cenemem računalniku. V primernem času odpošljemo enega ali več poslov (paket) preko komunikacijske povezave velikemu računalniku v nadaljnjo obdelavo. Ta jih po določeni prioriteti obdela in rezultate v ustreznem trenutku (npr. v času nizkih tarif javnega komunikacijskega omrežja) vrne lokalnemu računalniku.

Sisteme za sprotno obdelavo srečujemo v bankah, letalskih in počitniških rezervacijah, elektronski pošti, skratka povsod tam, kjer pričakujemo takojšen rezultat, vendar nekajsekundna zakasnitev rezultata ne vpliva na operativnost. Podatkovne transakcije navadno izvaja glavni računalnik, na katerega je preko lokalnih multipleksorjev in front-end procesorja vezanih veliko število lokalnih terminalov.

Sistemi za delo v realnem času se pojavljajo v najrazličnejših velikostih in tipih. Osnovna groba delitev, na katero naletimo v literaturi (Burns and Wellings, 1989), je delitev sistemov realnega časa na:

- *trde sisteme realnega časa*, kjer velja absolutni imperativ za odziv sistema znotraj vnaprej predpisanih časovnih omejitev (npr. vodenje letala);
- *mehke sisteme realnega časa*, za katere smatramo, da še vedno delujejo korektno, čeprav so občasno časovne omejitve odziva prekoračene (npr. nadzor industrijskih procesov, sistem rezervacij).

Največji, v geografskem smislu, so telemetrični sistemi vodenja, ki se uporabljajo v telekomunikacijah, naftni industriji, meteorologiji, elektro in vodnem gospodarstvu. Zagotavljajo celovit in centraliziran nadzor in vodenje sistema. Manjši, a mogoče mnogo bolj kompleksni, so računalniški sistemi v letalih, raketnih sistemih in drugih vojaških napravah. V industriji se poleg sistemov za nadzor in vodenje proizvodnje uporablja mnogo raznovrstnih samostojnih krmilnikov različnih avtomatiziranih CNC naprav, digitalnih regulatorjev in inteligentnih merilnikov. Tudi industrijski izdelki široke porabe (avtomobili, gospodinjski aparati, fotoaparati, itd) imajo v zadnjem času vgrajene različne računalniške krmilnike, ki povečujejo njihovo zmogljivost, fleksibilnost in zanesljivost.

9.7.2 Značilnosti računalnikov za delo v realnem času

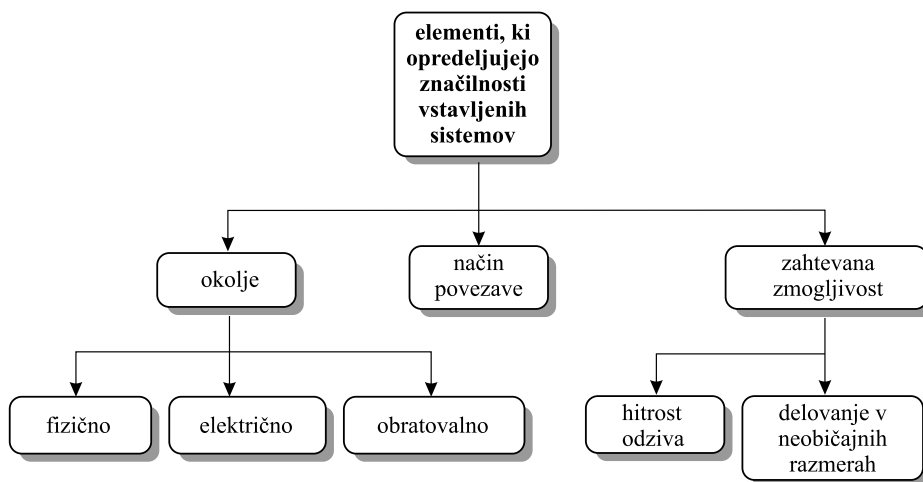
Od računalnikov za delo v realnem času se pričakuje rezultat znotraj nekega vnaprej definirane časovnega obdobja. Pravilen rezultat, ki ga sistem sproducira prepozno, je prav tako neuporaben kot napačen rezultat ob pravem času. Osnovna lastnost sistemov realnega časa je torej: *zmožnost odziva sistema, da generira pravilen rezultat v času, ki je vnaprej predpisan.*

Ostale pomembne značilnosti so še:

- obdelava fizičnih veličin in manipulacija z realnimi števili;
- povečana zanesljivost in varnost delovanja;
- sočasno vodenje ali nadzor večih različnih aktivnosti sistema;
- fizična povezava z objektom vodenja preko različnih elektronskih vmesniških enot;
- učinkovita implementacija potrebne programske opreme.

Računalniki za delo v realnem času so navadno le del nekega večjega sistema (npr. sistem za vodenje proizvodnje, transportna linija, nadzorni sistem letališča), ki poleg računalnika vsebuje še vrsto drugih komponent, ki omogočajo delovanje sistema. Funkcija računalnika je vodenje in usklajevanje delovanja ostalih komponent sistema. Iz tega izhaja tudi dodatna lastnost, da je programska oprema takih računalnikov namensko izdelana in ni možnosti spreminjanja delovanja programov. Ker so računalniki za delo v realnem času vedno umeščeni v nek večji sistem, te računalniške sisteme navadno imenujemo *vstavljeni* (vgrajeni, vloženi, vtaknjeni) *računalniški sistemi* (angl. *embedded computer systems*).

Načrtovanje vstavljenih sistemov je pogojeno z (Sl. 9.38): okoljem, v katerem delujejo, zahtevano zmogljivostjo in načinom povezave z ostalimi komponentami sistema.



Sl. 9.38. Vrste vplivov na zasnovo sistemov realnega časa

Okolje vpliva predvsem na:

- konstrukcijo (omejitev velikosti, omejitev teže, vibracije, vlažnost, itd.);
- zasnovo aparaturne opreme (temperatura, prisotnost električnih motenj, itd.);
- način interakcije med operaterjem in sistemom (posebne izvedbe prikazovalnikov,

tipk, itd).

Zahtevana zmogljivost sistema se doseže z izbiro komponent, ki zagotavljajo odziv sistema na vsak dogodek v realnem času. Dogodki lahko nastopajo *sinhrono* ali *asinhrono*. Večina problemov pri načrtovanju aparature in programske opreme se izraža v zagotavljanju ustreznega odzivnega časa ob hkratnem nastopanju sinhronih in asinhronih dogodkov.

Drug vidik zmogljivosti vstavljenega sistema predstavlja zmožnost delovanja ob neobičajnih in nepredvidljivih situacijah, ki nastopijo npr. ob prekinitvi napajanja, izpadu posameznih komponent sistema, v katerega je računalnik vgrajen, napačnem delovanju samega računalnika, itd. Zato mora biti računalnik zasnovan tako, da vsebuje tako elektronska nadzorna vezja pravilnega delovanja (stražnik delovanja, angl. *watch dog*) kot tudi programsko opremo, ki omogoča stalen nadzor pravilnosti delovanja računalnika in zunanjih komponent sistema, pravočasno in pravilno ukrepanje v primeru motenj (obravnavanje izjem, angl. *exception handling*) in ponoven zagon (angl. *autoreset*) v primeru izpada. Dobro zasnovani vstavljeni sistemi omogočajo delno obratovanje tudi ob izpadih posameznih komponent sistema.

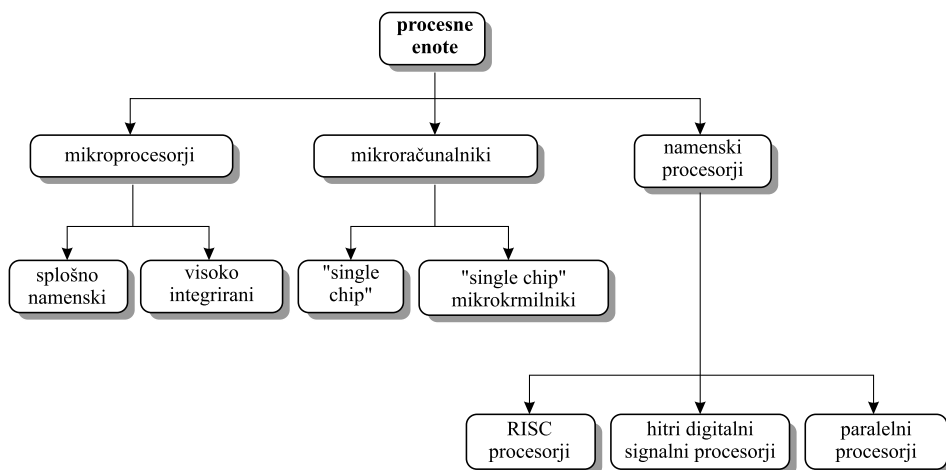
Komponente ali naprave, ki so povezane z vstavljenim računalnikom, so lahko zelo različne: merilniki, pogoni, motorji, stikala, prikazovalniki, enote za serijsko ali paralelno komunikacijo, analogno-digitalni pretvorniki, digitalno-analogni pretvorniki, napetostno-frekvenčni pretvorniki, pulzno širinsko modulirani krmilniki. itd. Navadno način povezave predstavlja večji del stroškov in naporov pri zasnovi vstavljenega sistema. Le pri sistemih, kjer sam procesor predstavlja glavno enoto in obstaja malo povezav z okolico, je smiselna njegova podvojitev zaradi povečanja zanesljivosti. Kjer pa prevladuje veliko število povezav, pa pristop podvajanja procesorja ni smiseln, ker je skupna zanesljivost odvisna od zanesljivosti delovanja skupnega števila ostalih komponent sistema.

Konvencionalni pristopi k obravnavanju nastopa neobičajnih situacij so navadno omejeni na nadzor pravilnosti izvajanja računalniškega programa (prekoračitev sklada, prekoračitev pomnilniških polj, aritmetična prekoračitev obsega (angl. *overflow*), itd). Pri večini vstavljenih sistemov pa je potrebno upoštevati novo področje možnega nepravilnega delovanja: izpadi senzorjev, nepravilni operaterjevi posegi, nepravilno delovanje komponent zaradi električnih motenj in mehanskih poškodb, prekinitve signalnih in komunikacijskih povezav, itd. Detekcija tovrstnih napak predstavlja en problem, odločitev, kaj je v tem primeru potrebno ukreniti, pa drugega, navadno še večjega. Zato je potrebno povezavi z okolico in spremljanju delovanja enot, ki omogočajo to povezavo, posvetiti posebno skrb, saj v nasprotnem primeru lahko pride do velike gmotne škode ali poškodb.

9.7.3 Elementi sistemov za delo v realnem času

Najpogostejši element današnjih sistemov za delo v realnem času predstavlja

mikroprocesor oziroma njegove izpeljanke. Obstajajo tri glavne skupine tovrstnih elementov (Sl. 9.39), to so *mikroprocesorji*, *mikroračunalniki* in *namenske procesne enote*.



Sl. 9.39. Glavne skupine procesnih enot

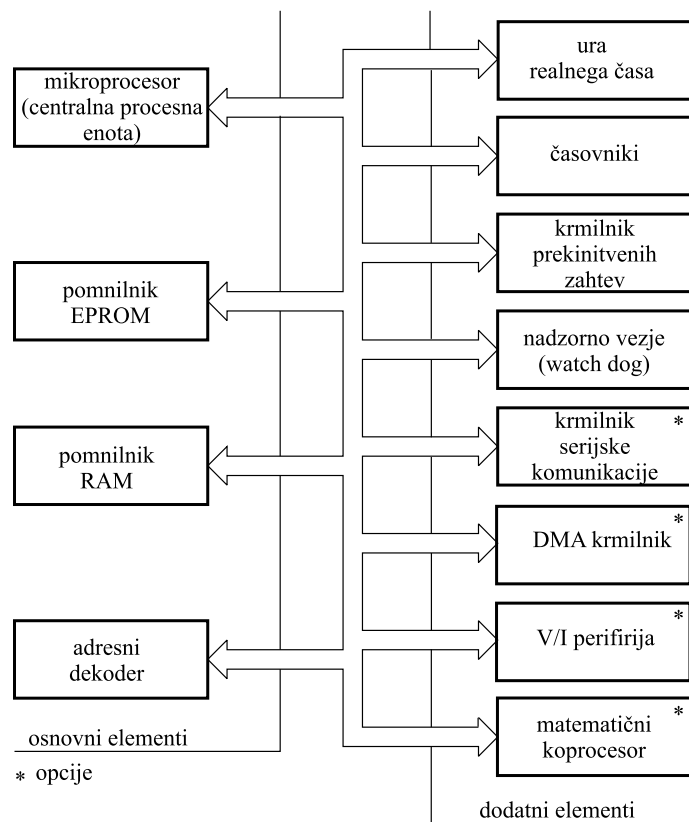
Mikroprocesor predstavlja le eden, toda osnovni element znotraj računalniškega sistema za delo v realnem času. Vsaj nekaj bistvenih elementov pa je potrebno dodati, da dobimo osnovno zasnovo računalnika. To so predvsem *elementi za shranjevanje* kode programa (pomnilniki ROM, EPROM, EEPROM), podatkov in programskih spremenljivk (pomnilnik RAM) in *adresni dekoder*, ki zagotavlja dostop do podatkov, ki jih obravnava procesor.

Navedeni elementi predstavljajo osnovo *mikroračunalnika*. Za njegovo delovanje v realnem času so bistveni še naslednji elementi (Sl. 9.40):

- krmilnik prekinitvenih zahtevkov (angl. *interrupt controller*);
- ura realnega časa (angl. *real-time clock*);
- časovniki (angl. *hardware timers*);
- nadzorno vezje pravilnosti delovanja (angl. *watch-dog*).

Elementi, ki se ob navedenih še pogosto uporabljajo v sistemih realnega časa in so za nekatere aplikacije tudi ključnega pomena, so še:

- krmilnik serijske komunikacije (angl. *serial communication controller*);
- krmilnik neposrednega dostopa v pomnilnik (angl. *Direct Memory Access controller*);
- vhodno/izhodne periferne enote (angl. *Input/Output peripherals*);
- matematični koprocetor (angl. *mathematical coprocessor*).



Sl. 9.40. Elementi računalniškega sistema realnega časa

Poglejmo si naštete elemente nekoliko podrobneje.

Krmilnik prekinitvenih zahtevkov

Sistemi realnega časa morajo podpirati tako nastope sinhronih, kot tudi asinhronih dogodkov. V večini sistemov se ustrezni odzivni čas pri nastopu nekega dogodka zagotovi s tehniko prekinitvenih zahtevkov (Burns in Wellings, 1989), ki jo podpirajo t.i. krmilniki prekinitvenih zahtevkov.

Ura realnega časa

Funkcija ure realnega časa je v zagotavljanju točne meritve pretečenega časa. Navadno se uporablja v kombinaciji s prekinitvenimi zahtevki. Ure realnega časa ne smemo zamenjevati s koledarsko uro, čeprav se lahko ob ustrezni programski podpori uporablja tudi v ta namen.

Časovniki

Točno merjenje pretečenega časa je posebno v primerih merjenja dolgih period lahko

izvedeno z elektronskimi časovniki. V splošnem so programirljivi in torej zelo fleksibilni v načinu delovanja, generiranju signalov in času trajanja posamezne periode.

Nadzorno vezje pravilnosti delovanja

Nadzorno vezje predstavlja zadnjo obrambo pred nepravilnim delovanjem v sistem vgrajene programske ali strojne opreme. Navadno ga sestavlja časovnik, ki po preteku določenega časa generira signal, namenjen alarmiranju ali ponovnemu zagonu (resetu) sistema. Pravilno in nadzorovano izvajanje programa nastop tega signala periodično onemogoča s stalno inicializacijo časovnika.

Krmilnik serijske komunikacije

Zasnova celotnega računalniškega sistema za delo v realnem času včasih zahteva uporabo serijske komunikacijske povezave (npr. v porazdeljenih sistemih (Schöfler, 1984). V praksi je vedno priporočljivo načrtati komunikacijski kanal (RS 232, RS 422, itd.), ki ga uporabljamo pri razvoju, spremljanju delovanja in odpravljanju napak v programski opremi sistema.

Krmilnik neposrednega dostopa v pomnilnik

Krmilnik neposrednega dostopa v pomnilnik (DMA) uporabljamo v primeru potrebe po hitrem prenosu večjih ali velikih količin podatkov. Tehnike neposrednega dostopa v pomnilnik se široko uporabljajo v povezavi s prenosom podatkov na/s pomnilniške enote, kot so gibki ali trdi diski, itd. V sistemih realnega časa se DMA krmilnik uporablja predvsem za posluževanje masovnega prenosa preko hitrih serijskih komunikacijskih poti.

Vhodno/izhodne periferne enote

Digitalne vhodno/izhodne periferne enote uporabljamo kot krmilnike ali kot enostavne vmesniške enote. Kot inteligentni krmilniki delujejo paralelno s procesorjem in ga razbremenjujejo vhodno/izhodnega procesiranja in prenosa podatkov. V drugih aplikacijah lahko služijo kot cenene digitalne vmesniške enote med procesorjem in zunanji elementi sistema. Z ustrežno programsko nastavitvijo števila potrebnih vhodov in izhodov ter načina delovanja lahko dosežemo poljubno digitalno povezavo z zunanjo enoto ali napravo. Analogno/digitalne pretvorniške enote uporabljamo za zajemanje analognih procesnih veličin in njihovo pretvorbo v digitalno številčno obliko. Digitalno/analogni pretvorniki služijo pretvorbi digitalnega števila v ustrežno analogno krmilno veličino.

Matematični koprocesor

Matematične operacije so časovno potratne čim presežemo okvir 8-bitnega računanja s celimi števili. Slednje velja predvsem za aritmetiko s plavajočo vejico, kjer so dolžine operandov tudi npr. 80 bitov. Izvajanje aritmetičnih operacij, ki so sestavni

del skoraj vseh programov v sistemih realnega časa bistveno pospešimo z uporabo matematičnega koprocesorja, ki prevzame vse aritmetične operacije in s tem zelo pohitri izvajanje programa.

Omenili smo, da obstaja vrsta izpeljank mikroprocesorja, ki se od osnovnega tipa razlikujejo poleg hitrosti izvajanja, števila registrov, dolžine registrov, itd., še v stopnji integracije posameznih elementov sistema v eno samo integrirano vezje. Tako *visoko integrirani mikroprocesorji* vsebujejo poleg same procesne enote še časovnike, krmilnik prekinitvenih zahtevkov, DMA krmilnik, krmilnik serijske komunikacije, itd., ne vsebujejo pa pomnilnikov. *Mikrokrmilniki* vsebujejo poleg elementov, ki jih imajo visoko integrirani mikroprocesorji tudi pomnilnik, poleg tega pa tudi vezja za analogno in digitalno povezavo z okolico. Gre torej za elemente, ki združujejo v enem čipu vse funkcije računalnikov za delo v realnem času. Za nekatere varnostno-kritične aplikacije je nujna uporaba hitrih *RISC procesorjev* (angl. *Reduced Instruction Set Code Processors*), to je procesorjev z zmanjšanim naborom instrukcij, ki zaradi svoje zasnove omogočajo enostavnejše programiranje, verifikacijo delovanja, popolnejše testiranje in s tem zanesljivejšo izvedbo sistema. Naslednji tip namenskih procesorjev predstavljajo *paralelni procesorji* za hitre in numerično zahtevne aplikacije. V nekaterih aplikacijah (radarski sistemi, telekomunikacije, razpoznavanje slik, itd.) se zahteva hitro procesiranje analognih signalov. V ta namen je bila razvita še ena skupina namenskih procesorjev, t.i. *digitalni signalni procesorji* (angl. *Digital Signal Processors*).

V tem podpoglavju smo obravnavali množico računalniških sistemov, ki so po obliki, velikosti, namembnosti uporabe in ceni zelo različni, a imajo skupno značilnost, to je zahtevo po delovanju v realnem času. Osnovni namen je bil predstaviti njihove skupne značilnosti in elemente, ki jih sestavljajo. Čeprav so začetni razvoj računalniških sistemov za delo v realnem času omogočile predvsem specifične potrebe vojaške industrije, se je kmalu izkazalo, da so tako koncipirani sistemi uporabni v vrsti gospodarskih in tehničnih področij, izmed katerih predstavlja pomembno področje tudi industrijska proizvodnja.

del skoraj vseh programov v sistemih realnega časa bistveno pospešimo z uporabo matematičnega koprocesorja, ki prevzame vse aritmetične operacije in s tem zelo pohitri izvajanje programa.

Omenili smo, da obstaja vrsta izpeljank mikroprocesorja, ki se od osnovnega tipa razlikujejo poleg hitrosti izvajanja, števila registrov, dolžine registrov, itd., še v stopnji integracije posameznih elementov sistema v eno samo integrirano vezje. Tako *visoko integrirani mikroprocesorji* vsebujejo poleg same procesne enote še časovnike, krmilnik prekinitvenih zahtevkov, DMA krmilnik, krmilnik serijske komunikacije, itd., ne vsebujejo pa pomnilnikov. *Mikrokrmilniki* vsebujejo poleg elementov, ki jih imajo visoko integrirani mikroprocesorji tudi pomnilnik, poleg tega pa tudi vezja za analogno in digitalno povezavo z okolico. Gre torej za elemente, ki združujejo v enem čipu vse funkcije računalnikov za delo v realnem času. Za nekatere varnostno-kritične aplikacije je nujna uporaba hitrih *RISC procesorjev* (angl. *Reduced Instruction Set Code Processors*), to je procesorjev z zmanjšanim naborom instrukcij, ki zaradi svoje zasnove omogočajo enostavnejše programiranje, verifikacijo delovanja, popolnejše testiranje in s tem zanesljivejšo izvedbo sistema. Naslednji tip namenskih procesorjev predstavljajo *paralelni procesorji* za hitre in numerično zahtevne aplikacije. V nekaterih aplikacijah (radarski sistemi, telekomunikacije, razpoznavanje slik, itd.) se zahteva hitro procesiranje analognih signalov. V ta namen je bila razvita še ena skupina namenskih procesorjev, t.i. *digitalni signalni procesorji* (angl. *Digital Signal Processors*).

V tem podpoglavju smo obravnavali množico računalniških sistemov, ki so po obliki, velikosti, namembnosti uporabe in ceni zelo različni, a imajo skupno značilnost, to je zahtevo po delovanju v realnem času. Osnovni namen je bil predstaviti njihove skupne značilnosti in elemente, ki jih sestavljajo. Čeprav so začetni razvoj računalniških sistemov za delo v realnem času omogočile predvsem specifične potrebe vojaške industrije, se je kmalu izkazalo, da so tako koncipirani sistemi uporabni v vrsti gospodarskih in tehničnih področij, izmed katerih predstavlja pomembno področje tudi industrijska proizvodnja.

9.8 Naprave za komunikacijo s človekom

Naprave za komunikacijo s človekom predstavljajo pomemben del sistemov za vodenje procesov. Zagotavljajo tehnično podporo za izmenjavo informacij med človekom-operaterjem in merilno-regulacijsko opremo, ki je neposredno povezana s procesom. Naprave za komunikacijo s človekom morajo v osnovi zagotavljati tehnično podporo za dvosmeren pretok informacij in sicer:

- *pretok informacij v smeri iz procesa k operaterju*, pomeni opazovanje in spremljanje vrednosti različnih procesnih parametrov, vrednosti spremenljivk, stanj, obvestil o

stanju naprav, alarmov in podobno. Naprave iz tega področja imenujemo *prikazovalne naprave* oziroma *prikazovalni elementi*;

- *pretok informacij v smeri od operaterja k procesu*, predstavlja različne načine vplivanja operaterja na proces, kot je vklop/izklop različnih naprav, nastavljanje različnih procesnih parametrov, nastavljanje želenih vrednosti regulacijskih sistemov, vpisovanje receptov ter ostalo. Za komunikacijo v tej smeri služijo *krmilne naprave* oziroma *krmilni elementi*.

Naprave za komunikacijo s človekom tvorijo vmesnik, ki ga v literaturi srečujemo tudi pod imenom '*Man-Machine Interface*' (*MMI*). To poglavje je namenjeno predvsem pregledu tehničnih lastnosti posameznih naprav za komunikacijo s človekom. Več o konceptih načrtovanja in lastnosti uporabniškega vmesnika kot celote pa lahko najdemo v literaturi (Polke, 1994).

Naprave za komunikacijo s človekom lahko razdelimo v dve skupini in sicer na:

- klasične naprave za komunikacijo s človekom in
- računalniške naprave za komunikacijo s človekom.

Klasične naprave za komunikacijo so navadno nameščene v komandnih sobah in so značilne predvsem za obdobje pred začetkom masovne in cenene proizvodnje izdelkov na osnovi mikroročunalniške tehnologije. Zanje je značilna predvsem nizka stopnja fleksibilnosti, saj modifikacije nabora in razporeditve naprav vodijo v bolj ali manj zahtevne mehanske posege. Klasične naprave za komunikacijo s človekom so predvsem *sinoptične plošče*, *komandni pulti* ter *optični in akustični alarmi* (Olsson in Piani, 1992).

Moderne računalniške naprave za komunikacijo med operaterjem in procesom temeljijo na mikroročunalniški tehnologiji in so realizirane s pomočjo:

- *splošno-namenske ali specialne računalniške materialne opreme in*
- *specialne programske opreme.*

V zadnjem času moderne naprave za komunikacijo s človekom v precejšni meri izpodrivajo klasične, predvsem zaradi cenovne dostopnosti računalniške tehnologije, deloma pa tudi zaradi fleksibilnosti, ki jo nudi specialna programska oprema. Moderne računalniške naprave za komunikacijo s človekom so sestavljene predvsem iz *računalniških terminalov*, *video-zaslonov*, *tipkovnic*, *tiskalnikov*, *risalnikov*, *svetlobnih peres*, *sistemov za razpoznavanje glasu* in *sistemov za generiranje glasu* (Olsson in Piani, 1992).

9.8.1 Klasične naprave za komunikacijo s človekom

Sinoptične plošče

Sinoptične plošče lahko vsebujejo prikazovalnike različnih tipov, kot so analogni kazalčni instrumenti, instrumenti z digitalnim prikazom, kontrolne lučke, itd. Skupni

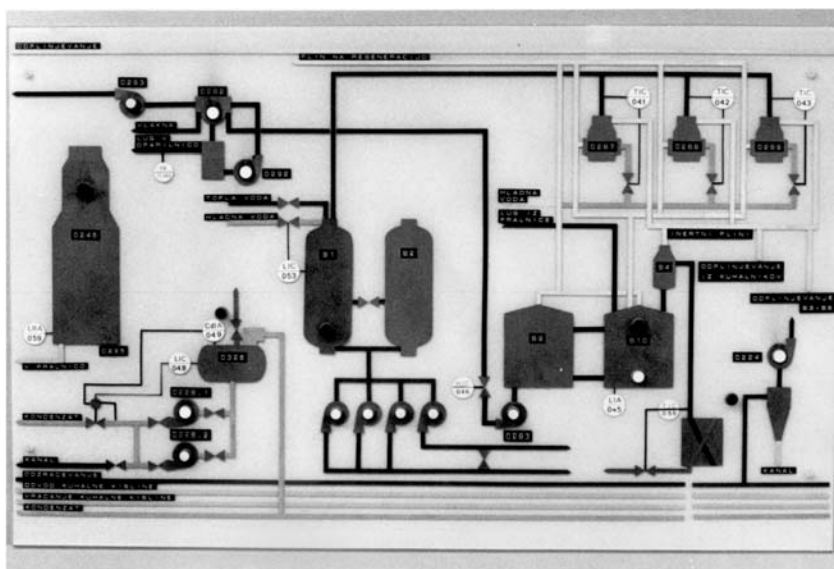
namen teh elementov je prikaz vrednosti procesnih parametrov, stanj različnih procesnih spremenljivk in spremenljivk sistema za vodenje. Poleg tega sinoptične plošče vsebujejo tudi različna stikala, ter zvezno-nastavljive krmilne elemente, ki služijo za vklop/izklop različnih naprav procesne opreme ter za nastavljanje vrednosti procesnih krmilnih signalov in referenčnih vrednosti regulacijskih sistemov. Vsi elementi sinoptične plošče so običajno logično razmeščeni upoštevajoč zgradbo procesa, na katerega se nanašajo. Sinoptične plošče so oblikovane tako, da prikazujejo poenostavljeno tehnološko shemo procesa, na kateri so nameščeni posamezni prikazovalni in krmilni elementi v skladu z namestitvijo merilno-regulacijske opreme na napravah procesa. Na ta način postane identifikacija posameznih elementov (prikazovalnikov, stikal) lažja in preglednejša, saj obstaja simbolična relacija med razporeditvijo elementov na sinoptični plošči in med topologijo procesa. Operater lahko tako lažje in zanesljivejše spremlja potek in vodi proces z asociacijami na dejansko procesno dogajanje.

▽

Primer 9.5: Sinoptična plošča

Na Sl. 9.41 vidimo primer klasične sinoptične plošče.

Podobne sinoptične plošče še vedno srečujemo v večini tovarn v naši industriji.



Sl. 9.41. Sinoptična plošča

△

Komandni pulti

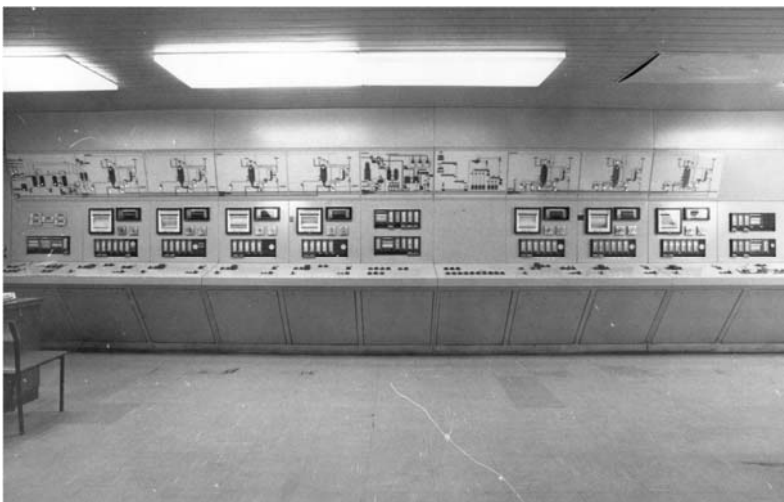
Komandni pulti vsebujejo prikazovalne in krmilne elemente in naprave, ki so najpogosteje združeni v okviru ene ali več sinoptičnih plošč. Poleg sinoptičnih plošč komandni pulti lahko vsebujejo tudi nekatere druge gradnike, ki so povezani z avtomatskim vodenjem procesa, kot so analogni in digitalni regulatorji, programirljivi logični krmilniki, sistemi za realizacijo receptov šaržnih procesov (programske ure) in podobno. Vsebujejo lahko tudi sisteme za zapis in shranjevanje podatkov kot so pisalniki, risalniki in digitalne pomnilniške naprave.

Pri načrtovanju komandnih pultov moramo biti posebej pozorni na razporeditev in obliko prikazovalnih in krmilnih naprav. Posebej pomembni pri tem sta preglednost in dostopnost, ki morata omogočati, da operater lahko hitro in nedvoumno prepozna izredne razmere v procesu ter da lahko tudi hitro in ustrezno reagira. Pri oblikovanju in konstrukciji komandnih pultov in sinoptičnih plošč je potrebno upoštevati človekove spoznavne možnosti ter fiziološke in psihološke lastnosti (glej poglavje 6).

▽

Primer 9.6: *Komandni pult*

Na Sl. 9.42 je prikazan komandni pult večjega obsega, razvidne so posamezne sinoptične plošče skupno z ostalimi krmilnimi in prikazovalnimi elementi.



Sl. 9.42. Izgled tipičnega komandnega pulta

△

Optični in akustični alarmi

Optični in akustični alarmi so namenjeni opozarjanju na izredno stanje v procesu in vsebujejo ponavadi le minimalno količino informacije - označujejo le prisotnost alarmne situacije. S pomočjo različnih tonov in sekvenc akustičnega signala je mogoče označiti več vrst izrednih stanj procesa, vendar kompleksnejši načini označevanja niso priporočljivi. Pri konstrukciji alarmov je potrebno predvideti tudi način za hiter in enostaven izklop.

9.8.2 Moderne naprave za komunikacijo s človekom

Računalniški terminali

Računalniški terminali so lahko izvedeni na osnovi nabora standardne računalniške opreme, ki je najpogosteje osebni računalnik s standardno pripadajočo opremo (video-zaslon, tipkovnica, miška, pomnilniške enote). Za povezavo s sistemom za vodenje ali direktno z merilno regulacijsko opremo mora biti računalnik opremljen z ustreznimi vmesniki. Za upravljanje vmesnikov, prikaz ter obdelavo podatkov pa služi specialna programska oprema (glej podpoglavje 8.4.2). Dobra stran tovrstnih sistemov se kaže v sorazmerno nizki ceni, ki je posledica cenenosti standardne računalniške opreme.

Poleg cenene računalniške opreme na osnovi osebnih računalnikov pa je predvsem za zahtevnejše procese potrebno izbirati med namenskimi komercialno dostopnimi terminali, katerih aparaturna in programska oprema sta v veliki meri prilagojeni potrebam spremljanja in upravljanja procesov (Olsson in Piani, 1992; Strohrmann, 1992). Za primer naštevamo nekaj tovrstnih sistemov različnih proizvajalcev:

<i>Siemens:</i>	<i>Teleperm M OS 262 / OS265</i>
<i>Eckart:</i>	<i>PLS 80 E</i>
<i>Hartmann & Braun:</i>	<i>Contronic P</i>
<i>ABB:</i>	<i>Advant Station - Geomatics</i>
<i>Honeywell:</i>	<i>TDC 3000, TPM</i>

Video zasloni

Video-zaslone so osrednji del modernih naprav za komunikacijo s človekom. Podobno kot sinoptične plošče tudi video-zaslone prikazujejo sinoptično oziroma tehnološko shemo procesa skupaj z vrednostmi posameznih procesnih spremenljivk in stanji procesa. Programska oprema, ki je uporabljena v računalniških terminalih, omogoča izbiro in prikaz različnih delov tehnološke sheme. Več o tovrstni programski opremi lahko najdemo v poglavju 8.4.2.

Ker video-zaslone poleg teksta prikazujejo tudi grafične objekte z različnimi podrobnostmi, je močno priporočljiva uporaba velikih video-zaslonov z zadostno dolžino diagonale ekrana in z visoko ločljivostjo prikaza.

∇

Primer 9.7: Video zasloni

Na Sl. 9.43 so prikazani video zasloni, ki predstavljajo del večjega in precej kompleksnega sistema za vodenje v eni od naših tovarn.



Sl. 9.43. Primer video-zaslonov

Δ

Tipkovnice (standardne, funkcijske)

Tipkovnice (standardne, funkcijske) so sestavni del mikroročunalniških terminalov za komunikacijo s človekom in služijo za vnos oziroma nastavitve vrednosti različnih procesnih parametrov in spremenljivk. Uporabljati je mogoče standardne in funkcijske (specialne) tipkovnice.

Pod pojmom standardne tipkovnice označujemo klasične elektro-mehanske tipkovnice (z npr. 101 tipko), ki so standardni sestavni del osebnih računalnikov. V primeru uporabe standardnih tipkovnic za potrebe vodenja procesov so največkrat v uporabi numerične tipke (tipke s številkami, za vnos vrednosti parametrov) in pa funkcijske tipke (za aktiviranje stanj procesa in nadzornega sistema). Slaba stran standardnih tipkovnic je sorazmerna neodpornost na vplive industrijskega okolja, kot so temperaturne spremembe, prah, vlaga ipd.

Funkcijske tipkovnice so v nasprotju s standardnimi v veliki meri prilagojene nalogam posluževanja procesov. Vsebujejo numerične tipke in pa nabor funkcijskih tipk, katerih pomen je točno določen in služijo za aktiviranje točno določenih akcij. Funkcijske tipkovnice so zaščitene pred vplivi industrijskega okolja, saj so njihovi elektro-mehanski deli najpogosteje prekriti s plastično folijo. Zaradi zaščitne folije je posluževanje

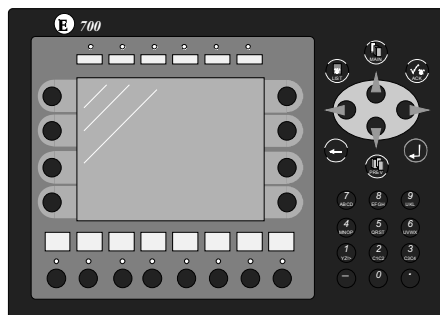
tipkovnice nekoliko oteženo, zato je zelo primerno, če je pritisk katerekoli tipke potrjen s kratkim zvočnim ali svetlobnim signalom. Funkcija posameznih tipk pri funkcijskih tipkovnicah je pogosto označena z obliko ali barvo tipk.

∇

Primer 9.8: Standardna in funkcijska tipkovnica



(a)



(b)

Sl. 9.44. Standardna (a) in funkcijska tipkovnica s prikazovalnikom (b)

Sl. 9.44 prikazuje primer standardne (a) in funkcijske tipkovnice (b), ki je opremljena tudi z grafičnim prikazovalnikom.

Δ

Tiskalniki

Tiskalniki služijo za izpis stanj procesa in alarmnih dogodkov v primerih, kadar si informacije sledijo v počasnem toku (npr. 1-2 enoti informacije na minuto) in kadar je enota informacije samostojna, tako da ni potrebno čakati na izpis celotne dokumentacije. Primerni so predvsem tiskalniki, ki omogočajo izpisovanje posameznih vrstic (iglični in "ink-jet" tiskalniki). Čeprav že izpodrinjen s sodobnejšimi spominskimi mediji, papir še vedno predstavlja zelo varen način shranjevanja podatkov.

Risalniki

Risalniki omogočajo grafičen način podaje informacij, in sicer v obliki časovnih potekov različnih spremenljivk in procesnih parametrov. Risalniki se razlikujejo po številu potekov, ki jih lahko izrisujejo istočasno (število kanalov). Omogočajo celovit pregled časovnih potekov izbranih procesnih spremenljivk in enostavno ocenjevanje

njihovih trendov.

Svetlobna peresa

Svetlobna peresa predstavljajo alternativo uporabi tipkovnic in jih uporabljamo le skupaj s posebnimi video-zaslona. Operater se s konico svetlobnega peresa dotika posameznih točk na površini zaslona in s tem izbira možnosti, ki so podane na zaslonu v obliki menijev, ali pa aktivira tipke na navidezni tipkovnici, ki je prikazana na ekranu. Ko se uporabnik s svetlobnim peresom dotakne določene točke na površini ekrana (video-zaslona), posebni elektronski sistem prepozna in poda pozicijo točke dotika in s tem omogoči izbiro določene menijske možnosti oziroma aktiviranje navidezne tipke. Navkljub sodobnosti uporaba svetlobnih peres ni dosegla široke popularnosti med uporabniki. Deloma je temu kriva neudobnost rokovanja, saj mora operater pri delu s svetlobnim peresom neprestano dvigovati roko od delovne mize do relativno odmaknjene video-zaslona.

Podobno kot sistemi svetlobnih peres delujejo tudi video-zaslona, ki prepoznajo dotik prsta (*touch-screen*). Tudi v tem primeru poseben elektronski sistem prepozna pozicijo točke dotika in omogoča aktiviranje določene možnosti, ki je prikazana na zaslonu. Natančnost določanja pozicije dotika je seveda manjša kot v primeru svetlobnih peres.

Miške in krmilne palice

Miške in krmilne palice so zelo popularni elementi za vnos ukazov v računalnik in so dosegle množičnost uporabe pri osebni računalnikih. Predstavljajo dopolnitev, v nekaterih primerih pa tudi alternativo uporabi klasične tipkovnice.

Sistemi za razpoznavo glasu

Sistemi za razpoznavo glasu so predmet številnih raziskav in razvojnih aktivnosti. Cilj je realizirati sistem, ki bo sposoben prepoznati posamezne izgovorjene znake in besede in sicer neodvisno od govorca. Pri obstoječih sistemih namreč pogosto nastopijo težave pri prepoznavanju besed, ki jih izgovarjajo različni ljudje. Široka in univerzalna uporaba sistemov za prepoznavanje govora je zato še zelo omejena.

Generatorji glasu

Generatorji glasu se podobno kot akustični in optični alarmi uporabljajo za označevanje alarmnih situacij v procesu. Generatorji glasu proizvajajo človeški govor, ustrezna tehnična oprema pa je danes tudi že tržno dostopna. Količina prenesene informacije pri generatorjih glasu je v primerjavi z optičnimi in akustičnimi alarmi veliko večja.

Naprave za komunikacijo med človekom (operaterjem) in sistemom za vodenje procesov nedvomno predstavljajo pomemben del sistemov za vodenje. Naprave, predstavljene v tem poglavju so lahko klasične in sodobne računalniške. Klasične

naprave so večinoma izvedene s pomočjo komponent analogne elektronike in mehanike. Sodobne naprave za komunikacijo s človekom so lahko izvedene s pomočjo univerzalne (splošno-namenske) računalniške opreme ali pa s pomočjo specialne opreme, ki je prilagojena za potrebe vodenja procesov. Tu je poleg aparturne računalniške opreme potrebna še specialna programska oprema, ki podpira komunikacijo s človekom in komunikacijo z merilno-regulacijsko opremo.

Pri realizaciji sodobnih sistemov za vodenje procesov je pogosto smiselno kombinirati klasične in računalniške naprave za komunikacijo med operaterjem in sistemom za vodenje. Klasični sistemi so praviloma dražji in težje prilagodljivi, zato pa omogočajo hitrejše in zanesljivejše posredovanje v primeru nepredvidenih situacij. Računalniški vmesniki so zaradi množičnosti uporabe praviloma bistveno cenejši, lahko omogočajo bistveno obsežnejši (številčnejši) prikaz procesnih spremenljivk, zaradi menijske zgradbe in splošno-namenskih tipk pa je vnašanje ukazov manj pregledno, počasnejše, sekvenčno (ukaz za ukazom) ter podvrženo večji verjetnosti vnosa napačnega ukaza ali pa pravega ukaza na napačno mesto.

Pri načrtovanju in realizaciji sistemov za komunikacijo s človekom je poleg tehničnih lastnosti posameznih naprav potrebno upoštevati tudi t.i. netehnične kriterije, ki obsegajo človekove zaznavne, fiziološke in psihološke prvine. Upoštevanje teh prvini je eden izmed pogojev za uspešnost uvedbe sistema za vodenje.

9.9 Integrirani sistemi vodenja

Če smo dosedaj govorili o posameznih, več ali manj kompaktnih gradnikih, ki jih srečamo v sistemih za vodenje, potem je to poglavje namenjeno njihovi povezavi v kompleksnejše sisteme. Govorimo o integriranih sistemih za vodenje, ki pravzaprav predstavljajo povezavo več ali manj računalniško podprtih naprav ali računalnikov, o katerih smo govorili v prejšnjem delu tega poglavja. V integrirane sisteme torej povezujemo merilne sisteme, izvršne sisteme, računalnike in druge naprave ter komunikacijske sisteme (glej poglavje 4, Sl. 4.16). Na ta način dobimo gradnike višje kompleksnosti, ki v povezavi s človekom tvorijo sistem za vodenje.

Kompleksnost in obsežnost integracije je seveda odvisna od funkcije, ki bi jo določeni sistem za vodenje naj opravljal.

Različne vrste funkcij smo podrobneje opredelili v poglavju 4. Tam smo jih strukturirali glede na domeno vodenja in glede na problemsko domeno. Strukturiranje glede na problemsko domeno (pri čemer je problemska domena – torej objekt vodenja običajno podjetje), nas pripelje do znane klasične piramide vodenja (Sl. 4.12), ki je sestavljena iz funkcij upravljanja podjetja, funkcij upravljanja proizvodnje in funkcij vodenja procesov. Čeprav takšna delitev s pospešeno integracijo, ne le naprav in sistemov, ampak tudi funkcij, vse bolj izgublja na pomenu, vendarle omogoča bolj jasno predstavlo o vlogi in pomenu integriranih sistemov vodenja.

Poudarek knjige je sicer na vodenju procesov, torej na spodnjem nivoju piramide vodenja, vendar pa bomo v tem podpoglavju nekoliko prikazali tudi integrirane sisteme, ki "pokrivajo" celotno piramido vodenja. Pri tem bomo na problematiko skušali pogledati predvsem z vidika vloge računalnika oziroma uporabe računalniške tehnologije.

Pri vodenju proizvodnega podjetja najdemo računalnike oziroma posamezne elemente računalniške tehnologije (mikroprocesor, spominske enote, vodila,...) v različnih pojavnih oblikah na različnih nivojih sistemov vodenja. Tipično se računalniški elementi pojavljajo v modernih računalniško zasnovanih merilnih pretvornikih, aktuatorjih, računalniških regulatorjih, programirljivih logičnih krmilnikih (PLC). Nadalje računalnike srečujemo v obliki računalniških sistemov za vodenje in nadzor tehnoloških procesov, kot učinkovito pomoč pri poslovnih procesih v podjetju in v zadnjih letih tudi v obliki velikih sistemov za integrirano računalniško podprto vodenje podjetij (CIM).

Grobo lahko razdelimo računalniške arhitekture, ki jih uporabljamo pri vodenju na *enoračunalniške* in *večračunalniške sisteme*: Slednji lahko nastopajo kot množica nepovezanih računalnikov, ki vsak zase opravlja neko funkcijo, oziroma kot *porazdeljen računalniški sistem*, kjer je množica dveh ali več računalniških enot medsebojno podatkovno povezana in z usklajenim delovanjem omogoča doseganje predpisanega globalnega cilja, npr. vodenje celotne proizvodnje.

9.9.1 Enoračunalniški sistemi

Enoračunalniške sisteme pri vodenju sistemov srečujemo predvsem kot vgrajene sisteme:

- v sodobnih inteligentnih senzorjih in aktuatorjih;
- v obliki različnih regulatorjev in programirljivih logičnih krmilnikov (PLK);
- kot enostavne sisteme vodenja manjših ter manj zahtevnih procesov.

Enoračunalniški sistemi izvajajo predvsem funkcije vodenja na nivoju naprav in vodenja enostavnejših procesov. Enoračunalniški sistemi so vgrajeni tudi v različne komunikacijske enote, prikazovalnike, regulatorje, tiskalnike in druge naprave, ki jih uporabljamo pri realizaciji kompleksnejših sistemov vodenja.

Osnovno povezavo med tehnološkim procesom in sistemom vodenja predstavljajo različni senzorji in aktuatorji. Danes mnogi moderni merilni pretvorniki in aktuatorji (pretvorniki tlaka, temperature, nivoja, ventili, servo-mototji, frekvenčni pretvorniki motorjev, pozicionerji in mnogi drugi) vsebujejo elemente računalniške tehnologije, ki omogoča:

- učinkovitejše procesiranje merjene oziroma krmilne vrednosti (linearizacija kompenzacija, filtriranje, itd.);
- nadzor pravilnosti delovanja in specificiranje napak ali okvar;

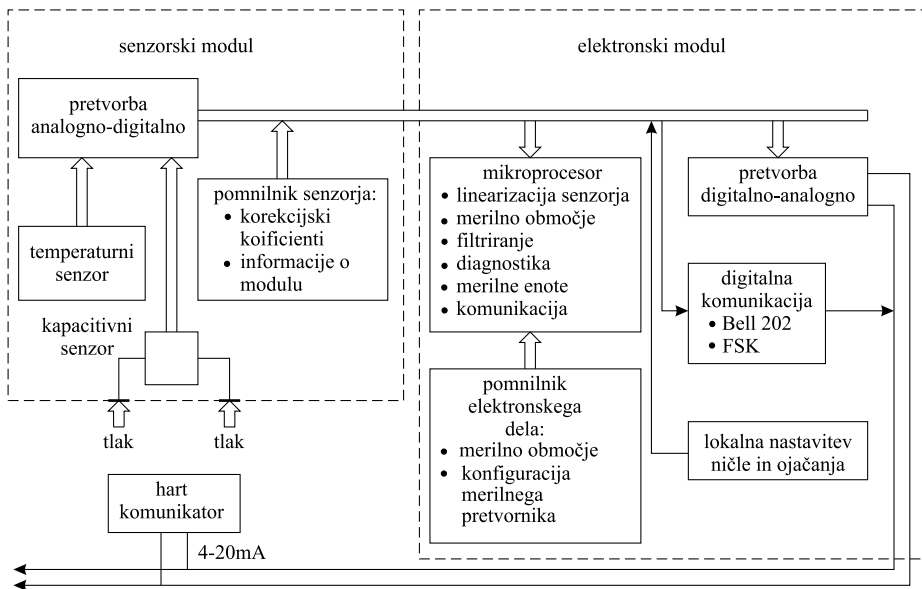
- digitalne komunikacijske povezave.

Komunikacijski modul omogoča priključitev merilnega pretvornika oziroma aktuatorja neposredno na komunikacijski sistem oziroma vhod računalnika za vodenje. Na ta način so s pomočjo digitalne komunikacije nadomeščene klasične električne povezave. Povezanost preko komunikacijskega sistema poleg prenosa informacije o merilni vrednosti omogoča tudi prenos informacij o stanju naprave, merilnem območju, prisotnosti napak, ipd. Za povezavo z določenim komunikacijskim sistemom mora merilni pretvornik ali aktuator ustrezati standardu uporabljenega komunikacijskega sistema (FieldBus, Hart, itd.).

▽

Primer 9.9: Računalniško podprti merilnik tlaka

Sl. 9.45 prikazuje sestavo modernega računalniško podprtega merilnega pretvornika, ki se sestoji iz senzorskega dela (izvajanje meritve tlaka, A/D pretvorba) in elektronskega dela (procesiranje, korekcija meritve, diagnostika, komunikacija, D/A pretvorba).



Sl. 9.45. Funkcionalna zgradba računalniško podprtega merilnika tlaka

△

Najbolj osnovno vodenje procesnega nivoja zagotavljajo regulatorji in krmilniki.

Kot smo že povedali v podpoglavju 9.6, mikroročunalniški regulatorji danes v čedalje večji meri nadomeščajo klasične izvedbe regulatorjev (analogne elektronske, pnevmatske, itd.). Prednosti vgrajene računalniške tehnologije se odražajo predvsem v

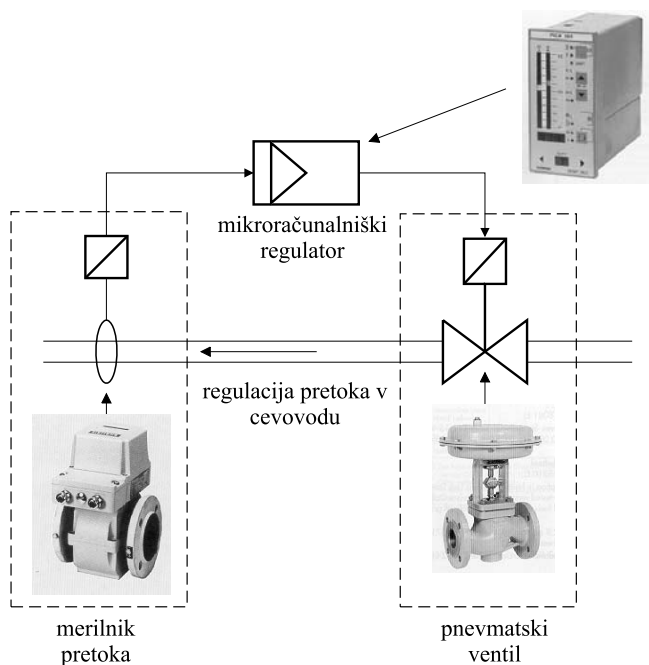
fleksibilnosti izvedbe in spreminjanja regulacijskega algoritma, možnosti različnih prikazov, avtotestiranja pravilnosti delovanja, sprotnega diagnosticiranja napak in vgrajenih komunikacijskih funkcijah, ki služijo za povezovanje mikroračunalniških regulatorjev z ostalim (nadrejenim) sistemom za vodenje. Komunikacijske povezave regulatorjev z nadrejenim sistemom omogočajo, da:

- nadrejeni sistem sproti podaja referenčno vrednost regulacijske zanke in ostale parametre;
- nadrejeni sistem podaja ukaze za postopke ob zagonu in zaustavitvi procesa;
- regulator poda informacijo nadrejenemu sistemu o stanju regulacijske zanke, stanju regulatorja (ročni, avtomatski način delovanja), ipd.

▽

Primer 9.10: *Samostojna regulacijska zanka*

Sl. 9.46 prikazuje primer samostojne regulacijske zanke za regulacijo pretoka v cevovodu. Zanka vsebuje merilni pretvornik pretoka, pnevmatski zvezno-nastavljivi ventil, regulacija pa je izvedena v okviru samostojnega mikroračunalniškega regulatorja.



Sl. 9.46. Izvedba regulacijske zanke s pomočjo samostojnega mikroračunalniškega regulatorja

△

Programirljivi logični krmilniki (PLK) (glej podpoglavje 9.5) danes nadomeščajo

klasične relejsko izvedene funkcije krmiljenja naprav. Izvedeni so na osnovi računalniške tehnologije in tipično vsebujejo enega ali tudi več mikroprocesorjev, različne spominske enote in vodilo, na katerega so priključeni različni moduli za povezavo programirljivega logičnega krmilnika s:

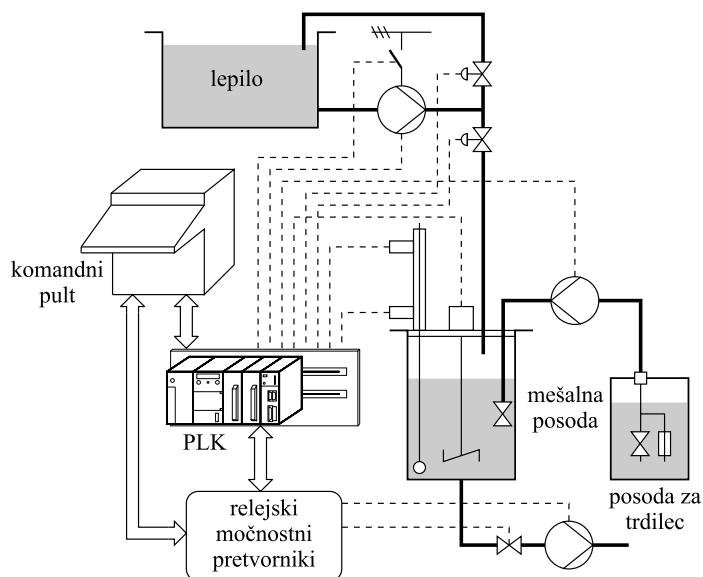
- procesom (digitalni in analogni vhodni/izhodni moduli);
- preostalim - nadrejenim sistemom za vodenje (vmesniki za priključitev na digitalni komunikacijski sistem).

Programirljive logične krmilnike uporabljamo kot samostojne enote predvsem za krmiljenje manjših diskretnih procesov. Vodenje zahtevnejših diskretnih procesov lahko izvedemo z večimi (medsebojno povezanimi) krmilniki. V zadnjem času PLK-je z ustrezno namensko programsko opremo uporabljamo tudi za regulacijo časovno manj zahtevnih zveznih procesov.

▽

Primer 9.11: Samostojna uporaba krmilnikov

Na Sl. 9.47 vidimo primer samostojne uporabe krmilnikov za vodenje sistemov za pripravo lepila.



Sl. 9.47. Primer uporabe PLK pri realizaciji sistema za pripravo lepila

△

9.9.2 Večračunalniški sistemi

Večračunalniški sistemi lahko nastopajo kot množica dveh ali več medsebojno nepovezanih računalnikov, ki vsak zase opravlja neko funkcijo, ne da bi bil pri izvajanju omejen s trenutnim stanjem drugega računalnika. Sedanje stanje proizvodnih tehnologij in velike zahteve do sodobnih računalniških sistemov vodenja pa zahtevajo povezavo večih računalnikov v enovit sistem, ki je medsebojno povezan, in katerega enote delujejo vsklajeno. Takim večračunalniškim sistemom pravimo distribuirani ali porazdeljeni računalniški sistemi.

9.9.2.1 Porazdeljeni računalniški sistemi

Po definiciji si porazdeljeni sistem predstavljamo kot množico dveh ali več enot, ki z medsebojno povezavo in usklajenim delovanjem omogočajo doseganje predpisanega globalnega cilja. Porazdeljeni računalniški sistem je torej sistem, ki ga sestavlja več procesnih enot s svojim pomnilnikom, medsebojno povezanih s komunikacijskim medijem in opremljenih s programsko opremo, ki hkrati omogoča uspešno delovanje posameznih procesnih enot in celotnega sistema v smislu izvajanja vnaprej predpisanih globalnih funkcij sistema. Ker je (posebno pri porazdeljenih sistemih za vodenje procesov) razloček med klasično delitvijo programske opreme na sistemsko in aplikativno programsko opremo zameglen, bomo porazdeljene sisteme ocenjevali predvsem s stališča uporabljenih vrst procesnih enot, načina delovanja oziroma nadzora nad delovanjem celotnega sistema in mesta shranjevanja podatkov v porazdeljenem sistemu. Porazdeljeni računalniški sistem torej lahko opišemo kot:

porazdeljeni sistem = porazdeljena strojna oprema
in/ali porazdeljeni nadzor
in/ali porazdeljeni podatki

in ga glede na stopnjo porazdelitve posameznega parametra tudi klasificiramo.

Fizična porazdeljenost procesnih enot je najbolj očitna lastnost porazdeljenega sistema. Procesne enote so lahko identične ali pa se med sabo razlikujejo tako po velikosti kot po namenu uporabe. Predvsem v porazdeljenih sistemih za vodenje procesov vrsta in mesto delovanja posamezne procesne enote navadno odsevata razdelitev funkcij med elementi celotnega sistema.

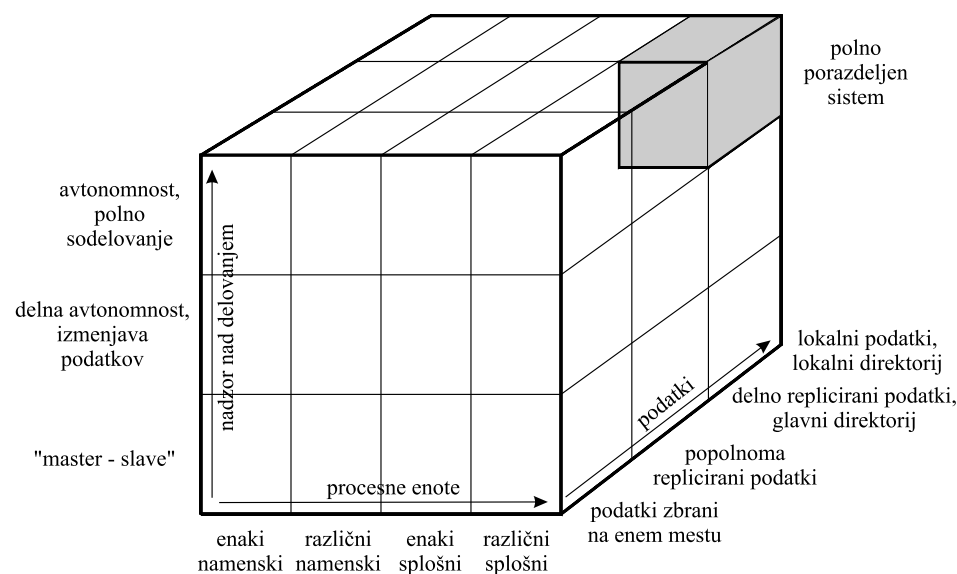
Delovanje posameznih procesnih enot kot gradnikov porazdeljenega sistema mora biti podvrženo nekemu nadzoru, ki usklajuje izvajanje funkcij teh enot in izkoriščanje morebitnih skupnih resursov. V odvisnosti od potrebne stopnje povezanosti sistema je oblika nadzora lahko v razponu med popolnoma avtonomnim delovanjem posameznih procesnih enot do popolne centralizacije nadzora nad delovanjem sistema.

Tretji parameter, ki vpliva na klasifikacijo porazdeljenega sistema, je lokacija podatkov

v sistemu. Podatki so lahko zbrani na enem samem mestu v sistemu, delno razmnoženi na več mestih ali lokalno porazdeljeni med vsemi elementi distribuiranega sistema.

Enslow (Enslow, 1978) je predlagal model, po katerem morajo vsi trije parametri vsebovati določeno stopnjo decentralizacije, če naj sistem smatramo kot porazdeljen. Model lahko predstavimo s kocko, na katere oseh se nahajajo merila za stopnjo porazdelitve uporabljenih procesnih enot, nadzora nad delovanjem celotnega sistema in lokacije podatkov (Sl. 9.48).

V skladu s konceptom knjige bomo v nadaljevanju obravnavali le porazdeljene sisteme, ki jih uporabljamo kot računalniške sisteme vodenja industrijskih procesov ter porazdeljene sisteme, ki tvorijo osnovo za izvajanje koncepta celovitega računalniško podprtega vodenja proizvodnih podjetij CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).



Sl. 9.48. Model porazdeljenega sistema v obliki Enslow-ove kocke

9.9.2.2 Porazdeljeni računalniški sistemi vodenja tehnoloških procesov

Kompleksnost problemov vodenja zahtevnih industrijskih procesov, fizična razmestitev objektov vodenja, pojavljanje manjših, cenениh mikroračunalnikov in obstoj zanesljivih komunikacijskih povezav so bili vzroki, ki so omogočili, da se je razvoj računalniško podprtih sistemov za vodenje industrijskih procesov usmeril v uporabo porazdeljenih sistemov. Lahko trdimo, da je prav vodenje procesov eno izmed področij uporabe računalniške tehnologije, kjer se je uporaba porazdeljenih sistemov pokazala za najbolj upravičeno in učinkovito. Vodenje industrijskih procesov je tako danes pogosto izvedeno s pomočjo računalniškega sistema, sestavljenega iz večih delno samostojnih

računalniških podsistemov, medsebojno povezanih z digitalnimi komunikacijskimi povezavami, ki koordinirano opravljajo vsak svoj določen del naloge vodenja. Pri tem so možni različni načini in topologije medsebojnega povezovanja posameznih računalniških sistemov ter posledično različni načini porazdeljevanja nalog med posameznimi računalniškimi sistemi. Vendar pa najpogosteje srečujemo primer, ko zgradba porazdeljenega računalniškega sistema odraža funkcionalno zgradbo oziroma topologijo vodenega procesa.

Značilnosti in zahteve do računalniških sistemov za procesno vodenje so predvsem naslednje (Bennet, 1982; Burns, 1989):

- neposredna povezava med računalnikom in objektom vodenja (procesom);
- trenuten odziv sistema na spremembe vodenega procesa;
- sposobnost neprekinjenega delovanja;
- povečana stopnja zanesljivosti delovanja strojne in programske opreme;
- možnost delovanja sistema vodenja v nepopolni konfiguraciji (npr. ob okvarah nekaterih enot);
- sprotna komunikacija z operaterjem;
- modularnost sistema in enostavno dopolnjevanje;
- enostavno vzdrževanje.

Lastnosti porazdeljenih sistemov omogočajo izpolnjevanje vseh omenjenih specifičnih zahtev do sistema za vodenje procesa, predvsem v smislu delovanja v realnem času, zanesljivosti obratovanja, dopolnjevanja sistema in vzdrževanja. Namestitev računalnikov neposredno ob samih objektih vodenja operaterjem omogoča avtonomno vodenje in nadzor podsistemov objekta vodenja, zagotavlja hitrejše odzivne čase ter zmanjšuje stroške ožičenja in vpliv motenj. Prav tako je v porazdeljeni sistem možna vključitev namenskih procesnih enot, kot tudi povezava z ostalimi računalniškimi sistemi, ki neposredno niso vključeni v proces vodenja proizvodnje.

Porazdeljeni računalniški sistemi za vodenje so v veliki meri že izpodrinili predhodno uveljavljen centralizirani način vodenja procesov, kjer so vse funkcije vodenja in upravljanja izvedene v okviru enega samega računalniškega sistema z ustrezno velikimi zmogljivostmi. Porazdeljeni računalniški sistemi imajo vrsto prednosti pred centraliziranim načinom vodenja, ki pa postanejo očitne šele, ko imamo opravka z vodenjem obsežnih industrijskih procesov. Dve najbolj pomembne prednosti sta:

- odpoved določenega dela računalniške opreme porazdeljenega sistema ima lokalni učinek in ne povzroči odpovedi celotnega sistema, kot je to v primeru centraliziranih sistemov;
- pri načrtovanju vodenja obsežnih procesov se naloga ponavadi razstavi na več manjših opravil (npr. načrtovanje vodenja posameznih manjših podprocesov), le-ta pa so lahko ločeno realizirana v okviru posameznih računalniških sistemov v porazdeljenem sistemu za vodenje.

Poleg prednosti porazdeljeni računalniški sistemi prinašajo tudi različne tehnične probleme, med katerimi je zelo izpostavljen problem digitalne komunikacije med posameznimi računalniškimi enotami. Problem komunikacije je v preteklosti v marsičem omejeval široko uporabo porazdeljenih računalniških sistemov. Vendar pa se razvoj računalništva danes odraža tudi v velikem napredku in pocenitvi računalniških omrežij, ki predstavljajo osnovo za izvedbo in načrtovanje porazdeljenih sistemov za vodenje. Poleg razvoja splošno-namenskih računalniških omrežij se, kot smo že omenili v pod poglavju 9.4, pojavljajo tudi omrežja in vodila, prilagojena za potrebe vodenja procesov, obstajajo pa tudi, sicer še neenotni, standardi različnih proizvajalcev, ki skušajo usmerjati razvoj posameznih računalniških gradnikov z namenom poenostavitve njihove medsebojne povezljivosti.

Sestava porazdeljenega računalniškega sistema za vodenje procesov se odraža v številu in vrsti uporabljenih računalniških gradnikov ter načinu njihove medsebojne povezave (konfiguracija). Ločimo med *fizično* in *funkcijsko* konfiguracijo povezav med posameznimi računalniškimi gradniki.

Funkcijska konfiguracija

Funkcijska konfiguracija povezav definira smer in vsebino pretoka informacij med posameznimi računalniškimi gradniki, s tem pa določa tudi relacije pod- oziroma nadrejenosti med njimi pri funkcijah odločanja in vodenja procesa. V porazdeljenih sistemih za vodenje je funkcijska konfiguracija povezav običajno organizirana v obliki hierarhije.

Osnovni problem, ki mora biti razrešen pri načrtovanju porazdeljenega sistema za vodenje procesov, je razmestitev funkcij vodenja med elementi sistema vodenja. Razmestitev delov algoritma vodenja mora biti takšna, da ustreza sami fizični zgradbi objekta vodenja, da so implementirane funkcije na posameznih procesnih enotah v čim večji meri avtonomne, in da v čim večji meri izkoristimo potencialni paralelizem izvajanja, ki ga nudi uporaba porazdeljenega sistema. Z ustreznim načinom porazdelitve funkcij vodenja oziroma modulov algoritma vodenja, ki te funkcije realizirajo, lahko dosežemo funkcionalnost sistema vodenja, avtonomnost, minimizacijo pretoka podatkov med elementi sistema vodenja, zmožnost delovanja ob izpadu posameznih delov sistema in odzivne čase sistema vodenja znotraj časovnih omejitev.

Najbolj pomembni dejavniki, ki vplivajo na obliko dekompozicije funkcij sistema vodenja in torej tudi pripadajočih modulov algoritma vodenja so:

- fizična razmestitev objektov v sistemu, ki ga želimo voditi;
- stopnja paralelizma, vsebovana v sistemu, ki ga želimo voditi;
- način dekompozicije problema vodenja v manjše dele;
- zasnova algoritma vodenja in preslikava dekompozicije funkcij vodenja v dekompozicijo algoritma vodenja;
- stopnja dekompozicije algoritma vodenja povezana z možnostjo izbire števila

- procesnih enot;
- način implementacije (porazdelitev) modulov dekomponiranega algoritma vodenja med posameznimi procesnimi enotami;
- izbira ustrezne komunikacijske mreže;
- izbira primerne računalniške opreme (hitrost procesorja, velikost pomnilnika, ustreznost vmesnikov, itd).

Stopnja dekompozicije je odvisna od narave problema in od vrste ter števila uporabljenih procesnih enot. Z dekompozicijo algoritma po funkcijah sistema vodenja dosežemo grobo razdrobitev ali zrnatost algoritma (angl. *coarse granularity*). Z nadaljnjo razdrobitvijo delov algoritma, ki opisujejo posamezne funkcije sistema, do stopnje modulov algoritma, ki se lahko izvajajo le sekvenčno, pa dosežemo fino razdrobitev (angl. *fine granularity*). Z fino razdrobitvijo algoritma dobimo vsebinsko zaključene sekvenčno izvajajoče dele algoritma, ki jih v literaturi navadno imenujemo procese, opravila, včasih tudi module.

Potencialna možnost sočasnega izvajanja je prisotna tako na nivoju grobe razdrobitve algoritma, še bolj pa na nivoju fine razdrobitve algoritma. Ker navadno nimamo na razpolago dovolj procesnih enot, da bi popolnoma izkoristili paralelizem v algoritmu, se na eni procesni enoti nahaja več modulov oziroma lahko razdrobitev izvedemo le do stopnje, ki ustreza enakomerni zasedenosti vseh procesnih enot v sistemu. V primeru delov algoritma, ki so kritični v smislu izvajanja v realnem času, pa je razdrobitev lahko tudi neenakomerna, tako da samo kritične dele algoritma obdelamo do stopnje fine razdrobitve, pri ostalih pa se zadovoljimo z grobo razdrobitvijo.

Fizična konfiguracija

V nasprotju s funkcijsko konfiguracijo, fizična konfiguracija povezav med računalniškimi gradniki definira fizični potek in vrsto povezovalnih medijev ter protokol izmenjave podatkov. Glede na potek povezovalnih medijev ločimo konfiguracije, ki so poznane iz splošne teorije računalniških omrežij, to so povezave v obliki vodila, zvezde, obroča, hierarhije, ipd. V porazdeljenih sistemih za vodenje procesov pogosto srečujemo fizične konfiguracije povezav, izvedene v obliki vodil.

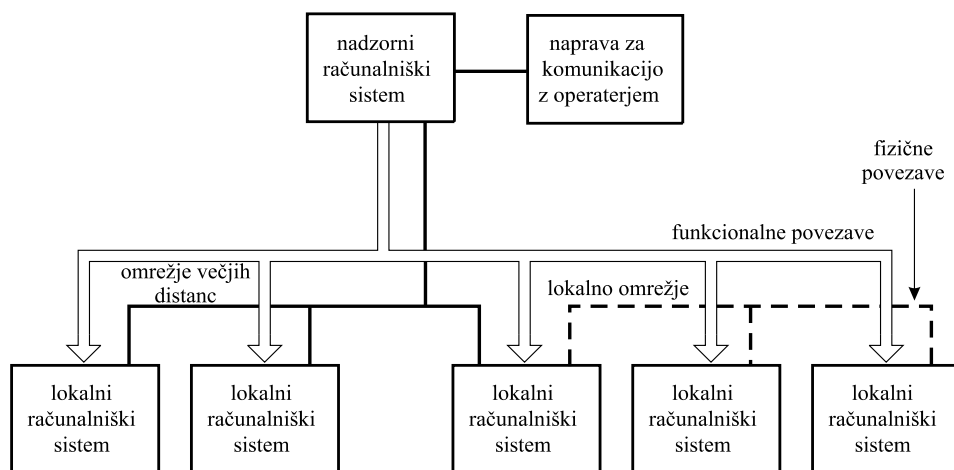
Fizična in funkcijska konfiguracija povezav v splošnem lahko sovpadata ali pa tudi ne.

Sl. 9.49 prikazuje enostavno, vendar v praksi pogosto uporabljeno zgradbo porazdeljenega dvonivojskega hierarhičnega računalniškega sistema, ki se uporablja za vodenje manjših in srednjevelikih industrijskih procesov. Prikazane so funkcionalne povezave, ki izkazujejo hierarhično odvisnost med gradniki. V konkretnem primeru gre za dvonivojsko hierarhijo, pri kateri je računalniški sistem na zgornjem nivoju nadrejen računalniškemu gradnikom spodnjega nivoja. Fizična konfiguracija povezav med gradniki je izvedena v obliki vodila. Vidimo, da v tem primeru funkcionalna in fizična konfiguracija povezav ne sovpadata.

V tipičnem primeru s Sl. 9.49 je zgornji nivo v hierarhiji ponavadi realiziran s pomočjo

večjega procesnega računalnika, prilagojenega osebnega računalnika ali tudi programirljivega logičnega krmilnika (PLC) ki izvaja vodenje procesa na višjem nivoju. Na tem nivoju se izvajajo predvsem postopki zagona in zaustavitve celotnega procesa, med obratovanjem pa se izvaja osnovna strategija vodenja procesa. (V primeru šaržnih procesov se izvajajo recepti, pri zveznih procesih pa se določajo vrednosti različnih procesnih parametrov ter želene vrednosti). Izvajanju osnovne strategije vodenja so lahko pridružene tudi funkcije komunikacije z operaterjem.

Spodnji nivo sistema za vodenje s Sl. 9.49 je namenjen vodenju posameznih podprocesov, regulacijskih zank, samostojnih naprav in podobno. Tu se izvajajo različni regulacijski algoritmi, ki zagotavljajo, da se posamezni procesni parametri nahajajo v območjih, kot jih predpisuje nadrejeni zgornji nivo vodenja. Na spodnjem nivoju se lahko izvaja tudi vodenje različnih bolj ali manj kompleksnih procesnih naprav, vodijo se postopki v zvezi z njihovim zagonom, zaustavitvijo in obratovanjem. Funkcije vodenja na spodnjem nivoju so pogosto izvedene s pomočjo različnih mikroročunalniških regulatorjev oziroma programirljivih logičnih krmilnikov, kot smo to videli v začetku tega podpoglavja. Precej pogosta pa je tudi uporaba specialne računalniške opreme, prilagojene za vodenje procesne opreme. Hitrost obdelave podatkov na nižjem nivoju je praviloma večja kot na višjem nivoju.



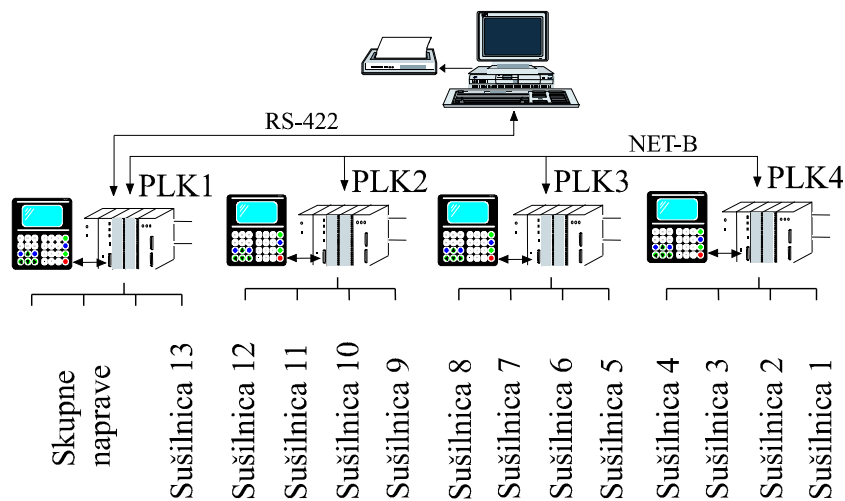
Sl. 9.49. Povezave v porazdeljenem računalniškem sistemu

∇

Primer 9.12: *Porazdeljeni sistem za vodenje sušilnic*

Podan je preprost primer izvedbe porazdeljenega računalniškega sistema za vodenje

procesa konvekcijskega sušenja surovih in vlažnih opečnih izdelkov. Sušenje poteka po šaržnem postopku v trinajstih ločenih sušilnih komorah, v katere se vpihuje vroč zrak. Tehnološki postopek sušenja zahteva, da relativna vlažnost zraka v notranjosti posamezne komore sledi določenemu časovnemu poteku (receptu), kar je doseženo z uvedbo trinajstih regulacijskih zank, ki glede na izmerjeno vlažnost zraka v določeni celici prilagajajo velikost pretoka zraka, ki se vpihuje v posamezno komoro. Zgradba sistema za vodenje je prikazana na Sl. 9.50.



Sl. 9.50. Dvonivojska zasnova sistema vodenja sušilnic

Sistem za vodenje je izveden v dveh hierarhičnih nivojih. Razporeditev nalog po nivojih prikazuje Tabela 9.3:

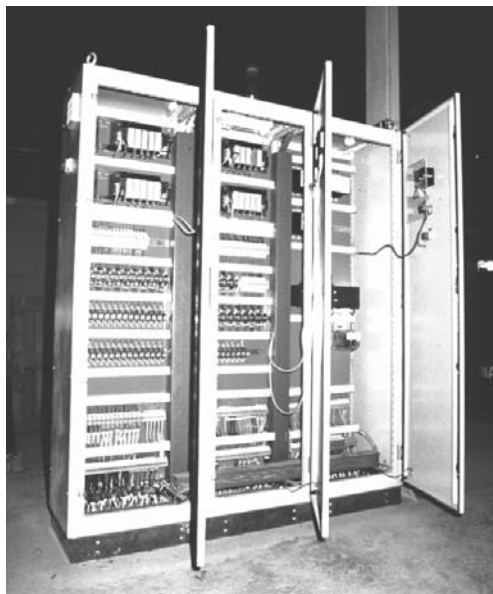
Tabela 9.3. Razporeditev nalog po nivojih hierarhije

Nivo:	Naloge:	Oprema:
1. (nižji)	izvedba regulacijskih zank za vseh 13 sušilnih komor, izvedba vodenja skupnih naprav, lokalni nadzor procesa.	4 x PLC Mitsubishi + lokalne nadzorne enote
2. (višji)	Komunikacija z operaterjem, nadzor procesa, zgodovina, formiranje receptov.	Osebni računalnik (PC) + SCADA programski paket

Vsi štiri krmilniki so medsebojno povezani preko namenskega vodila, povezava med nivojema pa je izvedena v obliki RS-422 povezave, ki fizično poteka med četrtem PLK

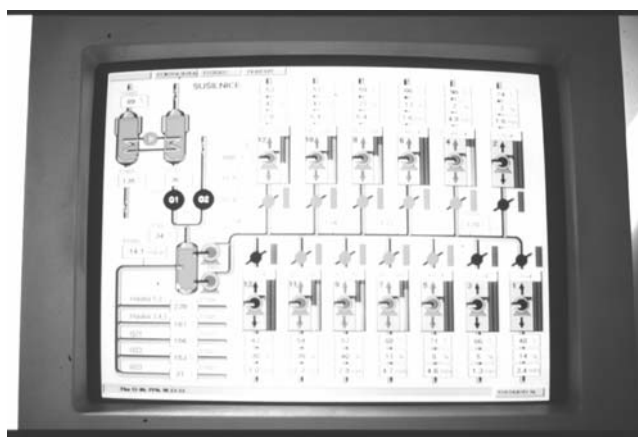
in nadzornim računalnikom.

Na Sl. 9.51 je prikazana elektro omara, ki povezuje tehnološko linijo z spodnjim nivojem računalniškega sistema vodenja.



Sl. 9.51. Izvedba spodnjega nivoja sistema za vodenje sušilnic

Na Sl. 9.52 je prikazan zaslon zgornjega nivoja sistema za vodenje sušilnic, s pomočjo katerega operater neposredno vodi proces sušenja.



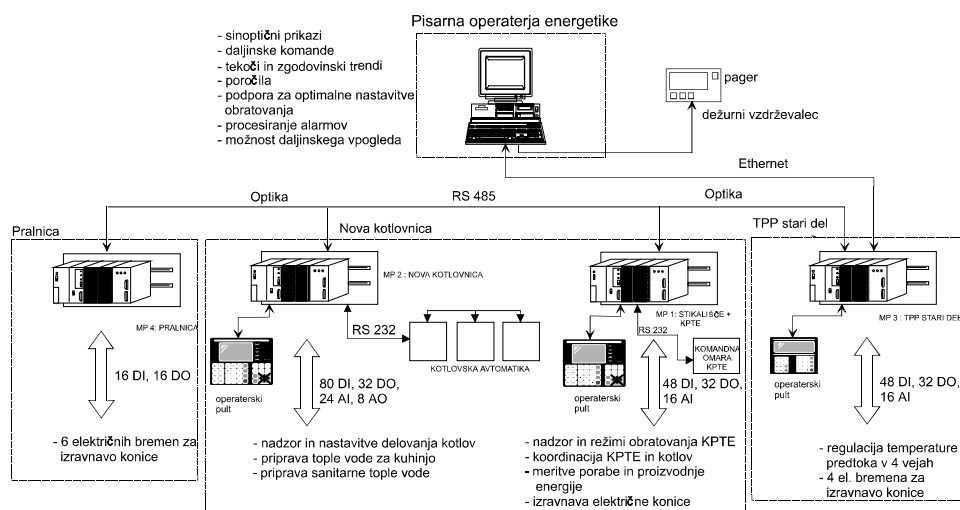
Sl. 9.52. Zaslon zgornjega nivoja sistema za vodenje sušilnic

Δ



Primer 9.13: Porazdeljeni sistem za vodenje energetike

Sl. 9.53 prikazuje arhitekturo porazdeljenega sistema za vodenje energetike. Iz sheme je razvidna smiselna porazdelitev funkcij sistema, ki zagotavlja vodenje in popoln pregled objektov energetike v podjetju in delno funkcionalnost sistema tudi v primeru izpada posamezne računalniške enote.



Sl. 9.53. Primer dvonivojske arhitekture sistema za vodenje energetike



9.9.2.3 Porazdeljeni sistemi v kontekstu celovitega računalniško podprtega vodenja proizvodnje

Koncept celovitega računalniško podprtega vodenja

Najbolj kompleksna oblika uporabe računalniške tehnologije se pojavlja kot osnovna podpora konceptu celovite računalniško podprte proizvodnje (*Computer Integrated Manufacturing-CIM*). Računalniški sistemi različnih pojavnih oblik, zmogljivosti in namembnosti so vključeni v vse nivoje vodenja podjetja in zagotavljajo ustrezen pretok informacij med posameznimi nivoji vodenja, kar omogoča učinkovito odločanje glede na trenutno stanje proizvodnje in poslovanja.

Obstaja mnogo definicij za integrirano računalniško podprto proizvodnjo. V enem ekstremu se CIM pojmuje kot specifični sistem, često za procesno vodenje. Drugi izraz

CIM pojmujejo kot računalniško podprte povezave med oddelki za načrtovanje in oddelki za proizvodnjo. Tretjim CIM pomeni le skupen dežnik nad CAD, CAE, CAQ, AI, MIS, TPM, AI, LAN, itd.

V najširšem smislu predstavlja CIM tehnološko osnovo, način delovanja, ne pa le specifičen sistem ali celo samo nabor aplikacij. Poudarek pri CIM-u je na avtomatizaciji pretoka informacij med inženirskimi, poslovnimi, proizvodnimi in drugimi procesi v podjetju. V nadaljevanju bomo CIM pojmovali kot *koncept koordinirane in smotrne uporabe računalniške tehnologije*, ki se v podjetju uporablja za doseganje uspešnejšega poslovanja (Hales, 1989).

Kosovna proizvodnja je področje, kjer je CIM koncept pokazal svojo polno vrednost in kjer lahko integracija CAM, CAD, CAQ in poslovnih funkcij bistveno izboljša produktivnost, zviša kvaliteto izdelkov in zniža proizvodne stroške (Loos, 1995). V nasprotju s kosovno proizvodnjo, procesne industrije CIM koncepta niso popolnoma sprejele. Obstaja vrsta resnih vzrokov, ki onemogočajo vpeljavo klasičnega CIM koncepta v procesno industrijo - v praksi se izkaže, da nastopa vrzel med poslovnimi procesi v podjetju (prodaja, nabava, finance, planiranje, itd) in proizvodnim delom podjetja. Manjkajoči povezovalni člen med proizvodnimi in poslovnimi nivoji je v tovrstni industriji še potrebno poiskati.

Specifike procesnih industrij

Procesne industrije se po določenih posebnostih proizvodnje razlikujejo od kosovne industrije (Eckelmann, Geibig, 1989; Loos, 1995; Allweyer, Scheer, 1995). Posebnosti so predvsem:

- proizvodnja poteka v kampanjah (določen čas pri zveznih procesih ali določeno število šarž v šaržni proizvodnji);
- proizvodnja temelji na receptih oziroma zagotavljanju potrebnih proizvodnih parametrov;
- tehnološke naprave so nefleksibilne;
- različni podprocesni so povezani;
- uporabljajo se surovine s spreminjajočo kvaliteto;
- kvaliteta izdelka je neenakomerna;
- produkti so nestabilni;
- obstajajo vmesni produkti in stranski produkti;
- obstaja reciklaža surovin ali izdelkov;
- prisotna je močna vklopljenost infrastrukturnih dejavnosti (energetika, čiščenje odpadnih vod, skladiščenje odpadkov, itd.) v proces proizvodnje.

Omenjene značilnosti povzročijo, da je procesna proizvodnja *kompleksna* in *negotova* (Scherer, 1995). Kompleksnost proizvodnega procesa izhaja predvsem iz potrebne povezave različnih podprocesov, od katerih vsak vpliva na doseženo kvaliteto končnega izdelka. Vsak podproces zahteva zagotavljanje določenega števila procesnih parametrov

(tlak, temperatura, pretoki, viskoznost, itd.), kar povzroči veliko število operativnih senzorjev, aktuatorjev, regulatorjev in krmilnikov, ki morajo delovati zanesljivo in varno.

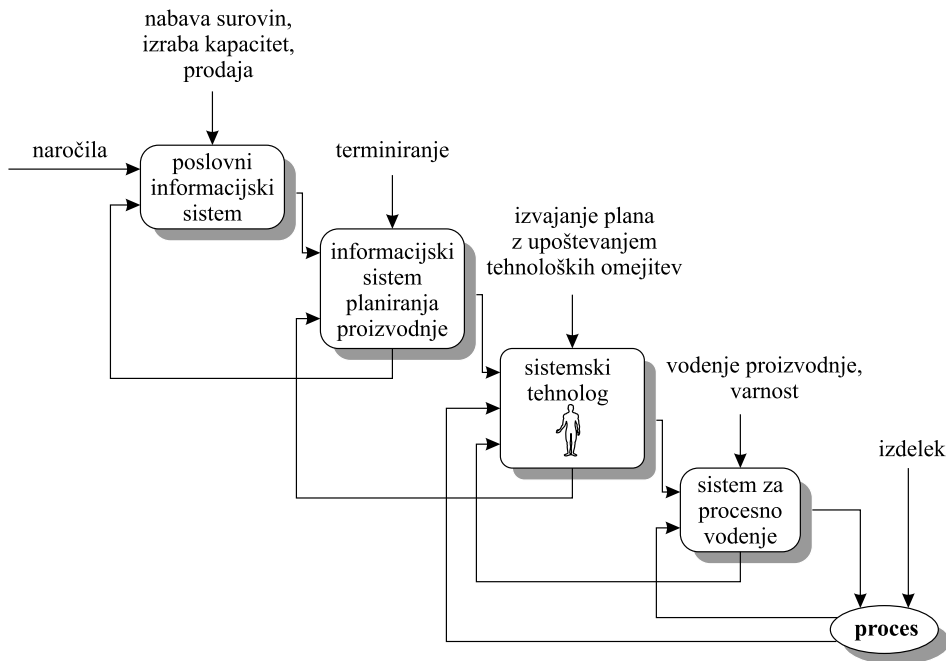
Negotovost v procesni industriji se izraža predvsem pri kvaliteti izdelka. Visoka in predvsem enakomerna kvaliteta izdelka je želja v vsaki procesni industriji; vendar neenakomerna kvaliteta osnovnih surovin, slabo delovanje sistema vodenja, spreminjanje procesnih parametrov, okvare tehnoloških naprav, izpadi pri zagotavljanju energije in velikokrat tudi splet neugotovljivih vzrokov povzročajo, da je vnaprejšnje napovedovanje kvalitete nevhvaležen posel.

Povezava med poslovnimi in proizvodnimi nivoji

Zaradi kompleksnosti in negotovosti proizvodnje je v procesnih industrijah poslovna logistična funkcija planiranja proizvodnje zahtevna. Tudi pri drugih funkcijah poslovnega nivoja (nabava surovin, prodaja) negotovost v zvezi s kvaliteto in izplenom povzroči, da se metodologije in informacijski sistemi za podporo izvajanja teh poslovnih funkcij, ki so uveljavljeni v kosovni proizvodnji, v procesni proizvodnji niso uveljavili. Problematiko planiranja se je skušalo reševati z različnimi pristopi: planiranje na osnovi statističnih časov, na osnovi uporabe modela tehnološkega procesa, z uporabo metod umetne inteligence, itd., vendar so v praksi rezultati nezadovoljujoči, predvsem zaradi nujnih poenostavitev in predpostavk in neupoštevanja negotovosti proizvodnje v realnih razmerah. Zato še vedno obstaja informacijski prepad med proizvodnim in poslovnim delom podjetja, ki onemogoča učinkovitejšo informacijsko integracijo, potrebno za izpeljavo CIM koncepta.

V praksi se ta prepad premošča s tipom proizvodnih delavcev, ki jih Scherer (Scherer, 1995) imenuje "*the system regulators*" - sistemski tehnologi. Sistemski tehnolog ni direktno vključen v proizvodni proces; njegova glavna naloga je, da nadzoruje obnašanje tehnološkega procesa in na osnovi trenutnega stanja proizvodnih parametrov, zasedenosti proizvodnih zmogljivosti, stanja osnovnih surovin, zalog, razpoložljive energije, predvsem pa na osnovi svojih izkušenj, sproti prilagaja delovanje tehnološkega procesa tako, da bodo doseženi želeni globalni cilji proizvodnje. Pri svojem odločanju uporabljajo vso razpoložljivo informacijsko tehnologijo, vendar je transformacija ciljev poslovnega nivoja v ustrezen način vodenja proizvodnih procesov stvar njihove presoje, ne pa računalniške tehnologije, ki nudi le podporo pri odločanju. Vlogo sistema prikazuje Sl. 9.54.

Stvar bodočnosti je, da se v procesnih industrijah vloga sistemskih tehnologov podpre z vpeljavo ustreznih konceptov, ki bodo bolj učinkovito (z zmanjšanim vplivom človeškega faktorja) udeležili želje poslovne sfere podjetja v proizvodnji.



Sl. 9.54. Vloga sistemskega tehnologa pri vodenju industrijskega procesa

9.9.2.4 Splošna struktura računalniškega sistema za celovito vodenje proizvodnega podjetja

CIM koncept vodenja podjetja namenja sprotni in pravilni informacijski podpori bistveno vlogo. Ažurnost in pravilnost prenosa podatkov lahko zagotovimo le z ustrežno računalniško podporo, zato je potrebno posvetiti posebno pozornost zasnovi računalniškega sistema. Upoštevati je potrebno predvsem:

- zahteve po ažurnosti in pravilnosti informacij;
- zahteve po veliki zanesljivosti delovanja;
- možnost rekonfiguracije oziroma dograjevanja sistema;
- zahteve po zasilmem delovanju ob eventuelnih okvarah ali dograjevanju sistema;
- zahteve po integraciji različnih računalniških sistemov z različno namembnostjo;
- možnost avtonomnosti, selekcije in filtriranja informacij;
- možnost ustrezne zaščite in varovanja podatkov;
- možnost arhiviranja velike količine podatkov.

Sočasno je potrebno ugotoviti, da v celovitem sistemu vodenja proizvodnega podjetja obstaja močan pretok informacij:

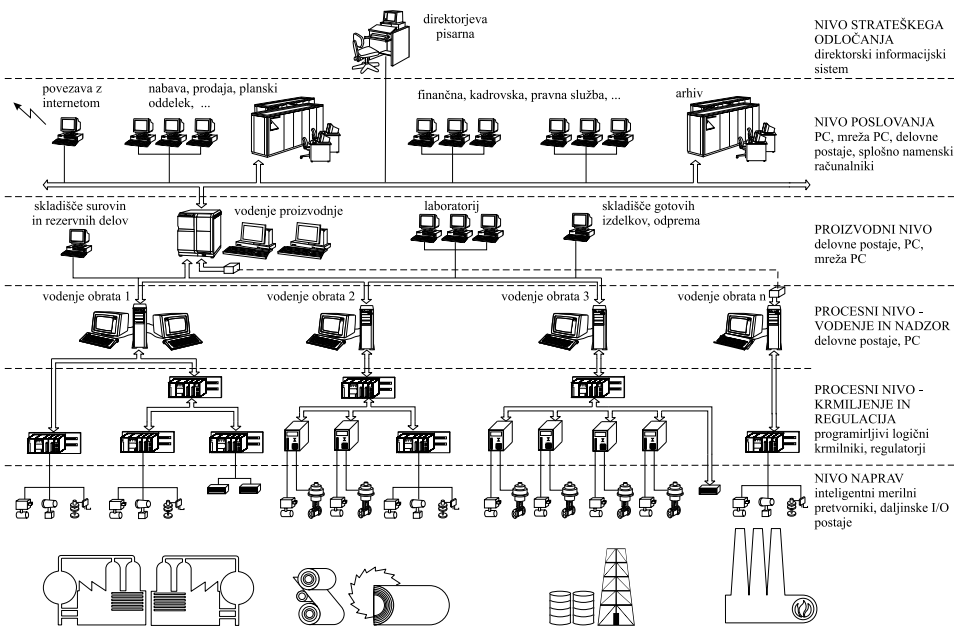
- znotraj posameznega nivoja vodenja;
- med posameznimi nivoji vodenja in

- med celotnim sistemom vodenja podjetja in okolico.

Hitrost vzorčenja in količina informacij, ki se prenašajo med posameznimi nivoji vodenja znotraj podjetja se načelno manjša od osnovnih (procesnih) nivojev vodenja proti višjim (poslovnim) nivojem. Količina informacij, ki prihaja v podjetje od zunaj ali jih podjetje pošilja v okolico, se glede na nivoje vodenja povečuje od procesnega nivoja proti poslovnim nivojem.

Iz navedenih dejstev in zahtev izhaja, da se pri zasnovi računalniškega sistema za podporo celovitem vodenju podjetja odločimo za porazdeljeni računalniški sistem, katerega dejanska arhitektura pa je odvisna od konkretnega tipa proizvodnje, zahtevane stopnje celovitosti informacijske podpore, velikosti podjetja in razpoložljivih finančnih sredstev.

Poenostavljeno splošno shemo porazdeljenega sistema za celovito vodenje proizvodnega podjetja prikazuje Sl. 9.55. Na njej lahko vidimo tipično razdelitev na različne nivoje vodenja, običajno organizacijske enote v podjetju, tipične naprave, ki jih srečamo na različnih nivojih ter njihovo povezavo v integrirani sistem.

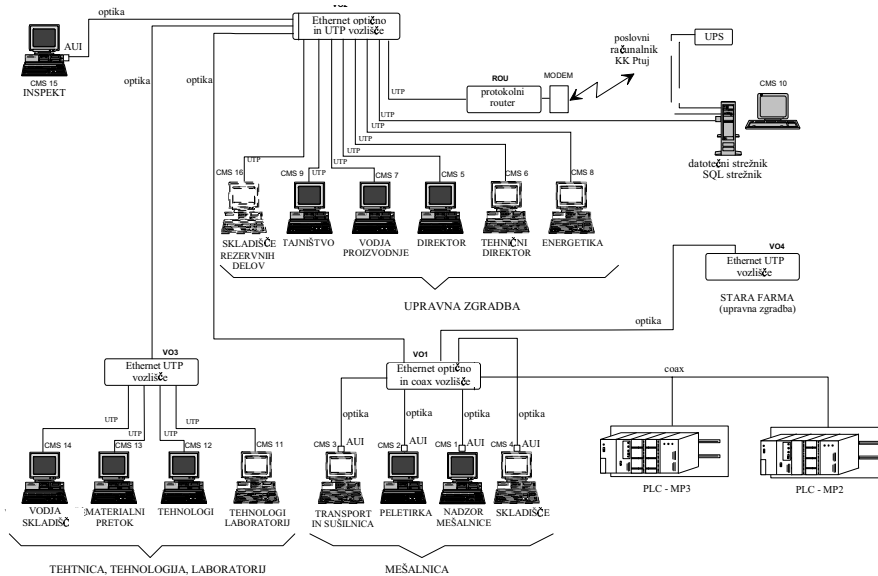


Sl. 9.55. Porazdeljeni računalniški sistem kot informacijska podpora vodenju in odločanju v proizvodnem podjetju



Primer 9.14: Porazdeljeni sistem za vodenje tovarne močnih krmil

Na Sl. 9.56 je prikazana realizacija porazdeljenega sistema za vodenje tovarne močnih krmil. Sistem omogoča avtomatsko vodenje tehnološkega postopka, daje informacijsko podporo posameznim službam v podjetju in je povezan z obstoječim poslovno-informacijskim sistemom podjetja, s katerim skupaj tvorita celovit sistem vodenja tovarne.



Sl. 9.56. Primer delne realizacije računalniško podprtega celovitega vodenja proizvodnje v tovarni močnih krmil



9.10 Zaključek

Pisati o gradnikih je podobno nevhvaležno kot pisati o orodjih. Tudi gradniki so podvrženi hitrim spremembam, ki jih prinaša tehnološki razvoj, in je tisto, kar je bilo še včeraj moderno, jutri že zastarelo. Zato smo v tem poglavju bolj kot o posameznih gradnikih govorili o večjih skupinah in njihovi vlogi v sistemih za vodenje.

Mogoče je ob zaključku prav, da omenimo še nekaj trendov, za katere bi glede na dogajanja v zadnjih desetih letih mirno lahko trdili, da bodo zaznamovali še lep del bodočnosti.

Že bežen pogled v revije, ki se ukvarjajo s pregledi komercialno dobavljivih gradnikov, je dovolj za ugotovitev, da ponudba narašča, isto pa lahko trdimo za funkcionalnost in kvaliteto. V nasprotju s tem pa cene stagnirajo ali celo padajo.

Drugi pomemben trend je selitev inteligence navzdol. Če je bila v začetkih računalniškega vodenja vsa inteligenca zbrana v centralnem računalniku, potem sodobna tehnologija omogoča, da je praktično vsak senzor in aktuator opremljen s svojim mikroročunalnikom, ki opravlja vrsto pomembnih funkcij že na lokalnem nivoju. Distribuirani sistemi z vodili za prenos podatkov in inteligentnimi vozlišči vedno bolj postajajo standard.

Tretja pomembna značilnost je zabrisovanje ostrih mej med posameznimi gradniki oziroma stapljanje in prepletanje enega z drugim. Klasična delitev funkcij med gradniki, po kateri so bili krmilniki namenjeni krmiljenju, regulatorji regulaciji, procesni računalniški sistemi pa spremljanju in nadzoru, precej hitro postaja stvar zgodovine.

Sodobni krmilniki vse bolj prevzemajo tudi funkcije regulacije, regulatorji pa tudi krmiljenja. Po drugi strani pa je močno prisoten vdor osebnih računalnikov, kot pomembnega gradnika, v sisteme za vodenje. Osebni računalniki so dosedaj tipično zamenjevali namensko razvite procesne računalniške sisteme, ki so bili namenjeni spremljanju in nadzoru, sedaj pa se vedno bolj pojavljajo tudi kot alternativa krmilnikom in regulatorjem. Njihova cenenost, univerzalnost in razširjenost ter vedno večja zmogljivost in zanesljivost so kljub mnogim pomanjkljivostim garant za njihovo prihodnost tudi na področju vodenja.

Kakorkoli že, pri gradnji večine sodobnih sistemov za vodenje odsotnost ustreznih gradnikov ali orodij že dolgo časa ni več problem. Problem je znanje, ki omogoča učinkovito integracijo gradnikov v kompleksen sistem z želenim namenom in funkcijami ter sprejemljivimi lastnostmi in ceno. Če se bomo tega zavedali, bomo gradili dobre sisteme za vodenje.