

VLOGA SENZORJEV V SISTEMIH VODENJA PROCESOV

¹Rihard Karba, ¹Maja Atanasijević-Kunc, ¹Aleš Belič
²Juš Kocijan, ²Janko Petrovčič

¹Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
²Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: sistemi vodenja, merilni sistemi, senzori, regulacijska zanka, življenjski cikel projektov vodenja.

Izvleček: Pri načrtovanju in vzdrževanju sistemov vodenja v industriji igrajo senzori odločilno vlogo. Inženirji avtomatike morajo namreč upoštevati dejstvo, da je nemogoče regulirati, če ni na razpolago ustrezno natančnih meritev. Pri tem je pomembna tudi njihova izvedba, saj morajo biti prilagojene okolju, v katerem delujejo, tako po zgradbi kot tudi v smislu dinamičnih lastnosti. Zato je izbira, vgradnja in vzdrževanje merilnih sistemov kompleksen postopek, ki je odločilen za uspešno delovanje obravnavanega procesa.

The Role of Sensors in Control Applications

Key words: control systems, measuring systems, sensors, control projects life-cycle.

Abstract: In the process of control system design and its maintenance sensors play an important role. Control engineers are namely faced with the fact that any control is based on attainability of correspondingly accurate measurements of system outputs. The realisation of measurements must be adapted to the system characteristics and environment. Their dynamic aspects must also be taken into account. Therefore, the choice, mounting and maintenance of measuring systems is complex procedure which is crucial for the successfulness of control systems.

Modern control technology is among most important factors concerning successfulness and progress of state or even world economy. It has infrastructural character which means that its effects can be evaluated through many engineering, economic, social, and other activities. As the requirements of industrial organisations are more and more complex only interdisciplinary groups of experts can tackle such problems efficiently.

Term control represents the procedures which influence the process behaviour in a way that some previously predicted goal can be achieved. Here open loop (sequential) and closed loop (feedback) control are included.

Control engineers are aware of the fact that only the process variable which can be

accurately measured can also be successfully controlled. Unreliable measurements can be filtered by signal processing only in special cases. Control loop can compensate, to a certain extent, some properties of elements in the loop or disturbances from environment. However, the long term deviation of sensor output, its non-linearity, significant time delay etc. always cause undesired phenomena in the loop behaviour. The comparison between reference (desired) and measured (achieved) value of process variable, which represents the essence of feedback control by generating the error, which is the basis of control action, is not ideal. However, the sensor output is never identical to the value of process variable. If the value of process variable and sensor output are not in good agreement, poor control quality is unavoidable regardless of the rest of the control system. In the control of sequential, batch, semi-batch and continuous process or their combinations, beside simple well known sensors, more and more complex measurement equipment with a lot of knowledge and intelligence incorporated is needed. Measurements of quantitative and qualitative properties of media are very delicate and expensive, therefore, the choice of corresponding sensors is of high importance.

Experts are still arguing, whether everything previously referred to as detector, transducer, transmitter, field device, etc. can be included into the term sensor. However, nowadays it can be concluded that the term sensor represents whole measurement system with all necessary element and signal converters. A very loose definition of sensor could be: A sensor is a black box which converts knowledge of process parameters or outputs as well as about product characteristics into usable information. This description could be

extended in different ways but nevertheless defines the main point: sensors are concerned with the procurement of information. Some conclusions can be summarised as follows:

- significance of sensor technology for international economics is much greater than actual magnitude of sensor production,
- Europe, USA, and Japan divide the world market fairly equally among themselves,
- sensors (only for the area of process automation) contribute approximately one third of the complete investment in process control.
- standard sensors are rather the exception than the rule, custom-made sensors are becoming the usual choice,
- the producers of sensors are huge multinational companies on one side and small producers occupying certain niches in the market on the other,
- trends in sensor production are moving towards compact and miniature devices, enabling better characteristics and lower prices.

1 Uvod

Sodobna tehnologija vodenja spada med t. i. kritične tehnologije, to je tiste, ki so v državnem in celo svetovnem merilu posebej pomembne za uspešnost in napredek gospodarstev. V nasprotju z drugimi tehnologijami, ki dajejo pretežno vidne izdelke in dobrine, pa ima tehnologija vodenja bolj posreden, tj. infrastrukturni pomen. Njeni učinki

se namreč prepletajo z mnogimi inženirskimi, ekonomskimi, družbenimi in drugimi dejavnostmi.

Področje tehnologije vodenja je izrazito interdisciplinarnega značaja. Potrebno je povezovanje znanja o sistemih oz. procesih, ki jih želimo voditi, z znanjem iz tehnologije vodenja. Poleg klasičnih zahtev po minimizaciji surovin, energije, časa izdelave in cene so dandanes še zahteve po ekski-

bilnosti in zanesljivosti proizvodnje, po kvaliteti izdelkov, pa tudi po varnosti in humanizaciji delovnih mest ter po varovanju okolja. V teh razmerah so uspešnejše interdisciplinarne skupine strokovnjakov, ki poleg svojega specialnega področja poznajo tudi osnove tehnologije vodenja.

Vodenje je proces, s katerim vplivamo na delovanje sistema z namenom, da dosežemo neki zastavljeni cilj. Gre torej za transformacijo informacij o vodenem procesu in o njegovem okolju v odločitve in ukrepe, ki ob upoštevanju meril in omejitev zagotavljajo željeno vodenje sistema. Pri tem pojem vodenja zajema tako odprtozankno (sekvenčno) vodenje - krmiljenje kakor tudi zaprtozankno (povratnozankno) vodenje - regulacijo /1, 2, 3/.

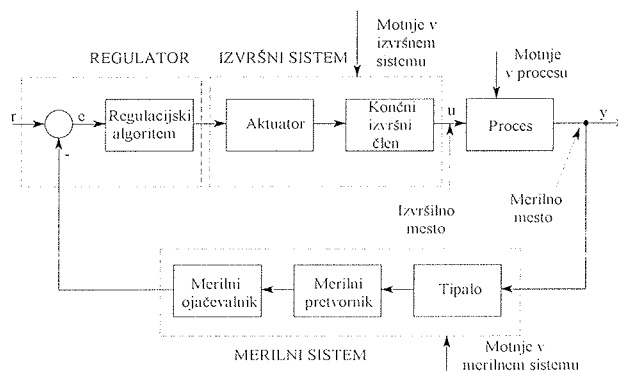
S področjem vodenja sta neločljivo povezana tudi pojma kibernetika, ki se ukvarja s študijem vodenja in komunikacij v živih bitjih in tehničnih sistemih, ter avtomatika, ko se procesi zbiranja informacij o stanju sistema in okolice, priprave ukrepov in odločanje ter ukrepanje opravljajo brez posredovanja človeka. Prav tako pa seveda ne gre brez komunikacijskih, informacijskih in računalniških tehnologij.

V delu predstavljamo pogled inženirja tehnologije vodenja - avtomatika na področje senzorike.

2 Merilni sistemi

Dosegljivost in izbira pravega merilnega sistema je prvi in obenem eden od ključnih korakov pri načrtovanju in realizaciji vodenja nekega procesa. S slike 1 je razvidno, da merilni sistem sestavlja več elementov. Pri delitvi prihaja mnogokrat tudi do terminoloških nesporazumov. V smislu izrazov, ki se pojavljajo v literaturi, bi lahko rekli, da je tipalo ali senzor (prvotno tudi detektor) primarni element merilnega sistema, ki je v neposrednem fizičnem stiku z merjenim medijem. Merilni sistem v tuji literaturi imenujejo pretvornik ali transducer. Sekundarni element merilnega sistema pa je eden ali več merilnih pretvornikov ali prenosnikov (transmitterjev), ki iz izhodne veličine tipala tvorijo uporaben signal, ki ga potrebujemo bodisi za prikazovanje rezultatov meritev, bodisi v regulacijski zanki. Medtem ko imajo primarni elementi raznovrstne konstrukcije in njihovo delovanje temelji na najrazličnejših fizikalnih principih, pa sekundarni elementi težijo k čim več splošnim, skupnim lastnostim in je zato izvedb precej manj. Naloga merilnega sistema je torej meritev neke fizikalne veličine, kar pomeni v bistvu prenos neke informacije obenem s prenosom energije. Zato vse meritve v nekem smislu vplivajo tudi na merjeno veličino, kar kaže na dejstvo, da mora biti proces merjenja zelo skrbno načrtovan /3, 4, 5/. Tipala s pripadajočimi merilnimi pretvorniki so osnova avtomatiziranega vodenja procesov. Procesno veličino, ki jo kvalitetno merimo, lahko v večini primerov tudi uspešno reguliramo. Le v izjemnih primerih lahko slabo in nezanesljivo meritev nadomesti posebna računalniška obdelava signalov. Regulacijska zanka ima sicer čudovito lastnost, da nadomešča oziroma kompenzira neidealnosti elementov zanke in vplive motenj, ne more pa zmanjšati npr. dolgoročnega odmika

izhodne vrednosti tipala, njegove nelinearnosti, dolge zakasnitve, neponovljivosti itd. brez bistvenega vpliva na dinamične lastnosti regulacijske zanke. Najbolj kritično mesto vsake regulacijske zanke je namreč mesto primerjave med želeno in dejansko vrednostjo procesne spremenljivke. Regulacijska akcija tako ne temelji neposredno na pogrešku med referenčno in regulirano veličino, temveč na pogrešku, ki je odvisen od izhoda merilnega sistema. Če med signalom na mestu primerjave in pripadajočo procesno veličino ni dobre povezave, je proces voden slabo.



Slika 1: Prikaz gradnikov regulacijske zanke, kjer je r referenca, u regulirna, y regulirana veličina, e pa je pogrešek

Tipala lahko razdelimo na proporcionalna in stopenjska. Za regulacijo potrebujemo predvsem proporcionalna. Stopenjska tipala (npr. končna, tlačna in nivojska stikala, fotocelice za detekcijo plamena, pretočna stikala, senzorji bližine itd.) uporabljamo v različne namene, in sicer za:

- alarmiranje
- označevanje začetkov in koncev šarž
- preprečevanje nevarnih situacij v primeru izpada regulacije
- signalizacijo stanja procesa
- sekvenčno (logično) vodenje šaržnih in semišaržnih procesov
- v izdelčni proizvodnji.

Proporcionalna tipala pa delimo na osnovna (premik, hitrost, pospešek, sila, nivo, pretok, tlak, temperatura itd.) in na zahtevnejša. Potrebe po objektivnem določanju kvalitativnih in kvantitativnih lastnosti snovi tako v laboratorijskem okolju kot tudi v industrijskih procesih namreč postajajo vse večje. Posebno pri slednjih mora biti merilna oprema prilagojena mnogo težjim razmeram, kot pa so pri laboratorijskih meritvah (korozija, nečistoče, velike spremembe temperature in/ali tlaka itd.). Tako je pravilni izbor merilnika za analizo določene snovi odvisen od fizikalnih in kemičnih lastnosti vzorcev, od značilnosti procesa, od njegove okolice in navsezadnje tudi od poznavanja delovanja merilnikov ter celotnega merilnega sistema. Naštejmo nekaj lastnosti materialov, ki jih pogosto merimo: gostota, viskoznost, vlažnost, toplotna in električna prevodnost, pH-faktor, redoks in vsebnost ter prisotnost ali koncentracija različnih komponent plinov v mediju, kjer gre za analize postopke.

Merjenje lastnosti snovi in analize meritve so še bolj kompleksne od merjenj osnovnih procesnih veličin. Meritve so mnogokrat tudi posredne in zahtevajo včasih izredno obsežno in drago opremo (tudi več velikostnih razredov dražjo od merilnikov običajnih procesnih veličin). Zato mora biti taka oprema še posebno skrbno načrtovana, izbrana in vzdrževana. Zanima nas seveda sprotni način merjenja, katerega izhodi bi bili uporabni v regulacijski zanki. Pri tem se moramo zavedati, da je mnogo predvsem analiznih merilnikov šaržnega tipa (analiza poteka na nizu vzorcev), kar daje tudi regulacijski zanki diskretni značaj. Prav tako pa je jasno, da je dinamika tovrstnih merilnikov mnogokrat počasna, pri čemer prihaja tudi do nezanemarljivih časovnih zakasnitev, ki lahko zelo vplivajo na vedenje zanke (stabilnost).

Naštajmo še nekaj najvažnejših dejavnikov, ki jih moramo obenem s specifičnimi zahtevami upoštevati, ko izbiramo merilno opremo za vodenje nekega industrijskega procesa. Pri tem naj opozorimo, da je v nekaterih primerih na razpolago zelo široka izbira komercialno dosegljivih alternativ (npr. meritev temperature, tlaka, pretoka, nivoja, odmika, itd.), medtem ko včasih praktično ni nobene izbire (specialne meritve). Poznavanje možnih alternativ je seveda pri izbiri bistvenega pomena. Če upoštevamo, da je običajno merilni člen vgrajen v regulirani objekt, lahko na izbiro vplivajo predvsem naslednji dejavniki:

- fizična kompatibilnost z reguliranim objektom
- odpornost glede na okolico objekta
- kompatibilnost z regulatorjevimi signali
- zahteve v zvezi z napajanjem in energijo
- razmerje signal - šum in ponovljivost meritev
- dinamične lastnosti (hitrost odziva, linearnost, točnost, merilno območje itd.)
- poreba po vzdrževanju (obstojnost, življenjska doba, zanesljivost, način vgradnje, dosegljivost, potreba po kalibraciji itd.)
- cena.

Pri tem moramo upoštevati tudi koncepte življenjskega cikla sistemov vodenja /2/, ki se začne in konča pri uporabniku. Začetek je identifikacija oz. definicija potreb, cikel pa se nadaljuje s planiranjem, z raziskavami, načrtovanjem, s proizvodnjo ali z gradnjo, vrednotenjem, vgradnjo in uporabo, vzdrževanjem in s podporo pri uporabniku ter konča z "upokojitvijo" sistema ali proizvoda.

3 Sklepi

Vsako obdobje rodi svoje izrazoslovje. Tako so v obdobju računalništva začeli uporabljati izraz senzor v širšem smislu, torej v smislu celotnega merilnega sistema. Osnovno vprašanje, kaj naj bi bil potemtakem senzor, še vedno ni povsem razjasnjeno. Zelo široka in ohlapna definicija bi se glasila:

Senzor je skrinjica, ki pretvori znanje o procesnih parametrih in odzivu sistema ali pa o značaju produktov v uporabno informacijo.

Tudi tej definiciji bi bilo mogoče še marsikaj dodati, vsekakor pa velja, da so senzori povezani s pridobivanjem in posredovanjem nekih informacij o tehnoloških ali bioloških sistemih.

Tehnološki razvoj senzorjev je izredno raznolik, saj izhaja iz realnih zahtev najrazličnejših okolij. Zato se ob široki izbiri standardiziranih senzorjev vedno bolj razvijajo tudi mnoge specialne izvedbe, bodisi za posameznega uporabnika ali pa za specifična opravila. Zato 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 različnih vozilih in v gospodinjskih aparatih.). Z dovolj veliko verjetnostjo je možno ugotoviti, da:

- si Evropa, ZDA in Japonska približno enako delijo svetovni trg
- senzori (v širšem smislu) prispevajo približno eno tretjino celotne investicije v procesno vodenje (ostalo - regulacijski sistem, komunikacije med deli opreme in človekom, dodatki v izvršni sistem itd.)
- 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 z ogromno ponudbo do vedno večjega števila majhnih proizvajalcev, ki se trudijo najti in pokriti posamezne tržne niše ali pa specialne tehnologije.

Glede na razvoj mikroelektronike tudi senzori težijo k čim večji miniaturizaciji in kompaktnosti elementov. S tem pa seveda pride tudi do boljših lastnosti, boljše kompatibilnosti z mikrovezji in do nižje cene merilnih sistemov, v katere je vgrajeno vedno več znanja in inteligence. Tako se pojavljajo izrazi, kot so: mikromehatronika, tehnologija mikrosistemov, mikroelektromehanski sistemi, mikroinženirstvo itd., ki kažejo, da gre za napredno vejo tehnologije, ki pripomore tako k tehnološkemu napredku kakor tudi v smislu ekonomskih, ekoloških in drugih vidikov.

Literatura

- /1/ Kissel, T.E. (2000): Industrial electronics, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, ZDA
- /2/ Strmcnik, S. in soavtorji (1998): Celostni pristop k računalniškem vodenju procesov, Založba FE in FRI, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
- /3/ Karba, R. (1994): Gradniki sistemov vodenja, Založba FER, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Ljubljana
- /4/ Solomon, S. (1999): Sensors handbook, McGraw-Hill, New York, ZDA
- /5/ Fraden, J. (1997): Handbook of modern sensors, AIP Press, New York, ZDA

Rihard Karba, Maja Atanasijević-Kunc, Aleš Belič
Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25,
1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: rihard.karba@fe.unilj.si

Juš Kocijan, Janko Petrovčič
Institut Jožef Stefan, Jamova 39,
1000 Ljubljana, Slovenija

Prispelo (Arrived): 06.06.2002 Sprejeto (Accepted): 25.03.2003