



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo*

Povratna regulacija pretoka

**Zbrano gradivo za 1. vajo
pri predmetu Dinamika procesov**

**Zdravko Kravanja
Zorka Novak Pintarič**

Maribor, 2009

1. vaja

NAMEN:

Spoznavanje s problemom krmiljenja in regulacije pretočnega sistema z uporabo pretočnega senzorja, avtomatskega ventila in povratno-zančnega regulacijskega sistema. Spoznavanje z vrstami povratnih regulacijskih sistemov in določitev optimalnih parametrov PID regulatorja.

APARATURE:

- električna konzola PCT10: plastični izvijač,
24 V indikatorska lučka,
električni kabli,
- procesni modul PCT9,
- procesni modul PCT15: pretočni senzor,
prirejevalni modul,
- pisalnik.

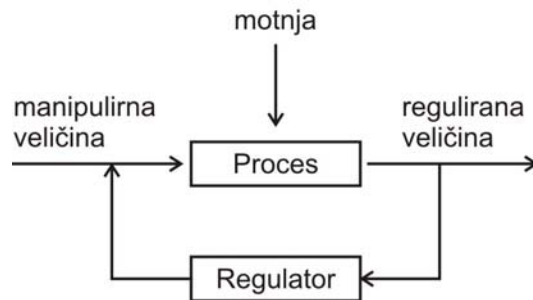
VSEBINA

I.	UVOD.....	4
1	POVRATNI REGULACIJSKI SISTEMI	4
2	NASTAVITEV OPTIMALNIH PARAMETROV PID REGULATORJA	5
2.1	ZIEGLER – NICHOLSOVA METODA.....	5
2.2	METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN – COONOVA METODA).....	6
II.	OPIS APARATUR	8
1	ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10	8
3	PROCESNI REGULATOR.....	14
4	MODUL ZA KONTROLO PRETOKA – PCT9.....	17
5	MODUL ZA KONTROLO HITROSTI PRETOKA – PCT15.....	20
6	LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH.....	22
III.	IZVEDBA VAJE	23
1	UVODNI EKSPERIMENTI	23
1.1	POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE	23
1.2	PRIKAZ UPORABE 24 VAC IN 240 VAC IZHODNIH SIGNALOV NA IZHODU STIKALA	25
1.3	NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA	26
2	UMERITVE	28
2.1	UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA.....	28
2.2	UMERITEV PROCESNEGA REGULATORJA	29
2.3	NASTAVITEV PISALNIKA.....	30
2.4	UMERITEV PRETOČNEGA SENZORJA	31
3	HISTEREZA PRETOČNEGA SENZORJA.....	33
4	LINEARNOST AVTOMATSKEGA VENTILA	35
5	POVRATNI REGULACIJSKI SISTEM	37
5.1	PROPORCIONALNI (P) REGULATOR.....	39
5.2	PROPORCIONALNO INTEGRIRNI (PI) REGULATOR	41
5.3	PROPORCIONALNO DIFERENČNI (PD) REGULATOR.....	43
6	DOLOČITEV OPTIMALNIH PARAMETROV P, PI IN PID REGULATORJEV	45
6.1	ZIEGLER - NICHOLSOVA METODA	45
6.2	METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN - COONOVA METODA).....	46

I. UVOD

1 POVRATNI REGULACIJSKI SISTEMI

Povratni regulacijski sistem meri regulirano veličino potem, ko motnja nanjo že deluje. Regulirane veličine meri z namenom, da nastavi vrednost manipuliranih (Slika 1).



Slika 1: Osnovna shema povratnega regulacijskega sistema.

Poznamo proporcionalni (P) regulator, proporcionalno integrirni (PI) regulator, proporcionalno diferencirni (PD) regulator in proporcionalno integrirno diferencirni (PID) regulator. Omenjeni regulatorji se razlikujejo po zvezi med vhodno informacijo, ki jo dobijo o odstopanju merjene spremenljivke od želene vrednosti in izhodom, ki ga producirajo.

$$\begin{aligned} c(t) &= f(\varepsilon(t)) \\ \varepsilon(t) &= y_{sp} - y_m \end{aligned} \tag{1}$$

kjer je:

$c(t)$ izhodni signal regulatorja

$\varepsilon(t)$ pogrešek, odstopanje

y_{sp} želena, referenčna vrednost regulirane veličine (angl. set point)

y_m izmerjena vrednost regulirane veličine

Z uporabo P regulatorja regulirani proces po končanem delovanju motnje in po končani akciji regulatorja obdrži odmik od stacionarnega stanja oz. od želene vrednosti. PI regulator z uporabo integrirnega člena odpravi končni odmik od želene vrednosti, medtem ko diferencirni člen v PD in PID regulatorju upošteva smer in hitrost pogreška.

2 NASTAVITEV OPTIMALNIH PARAMETROV PID REGULATORJA

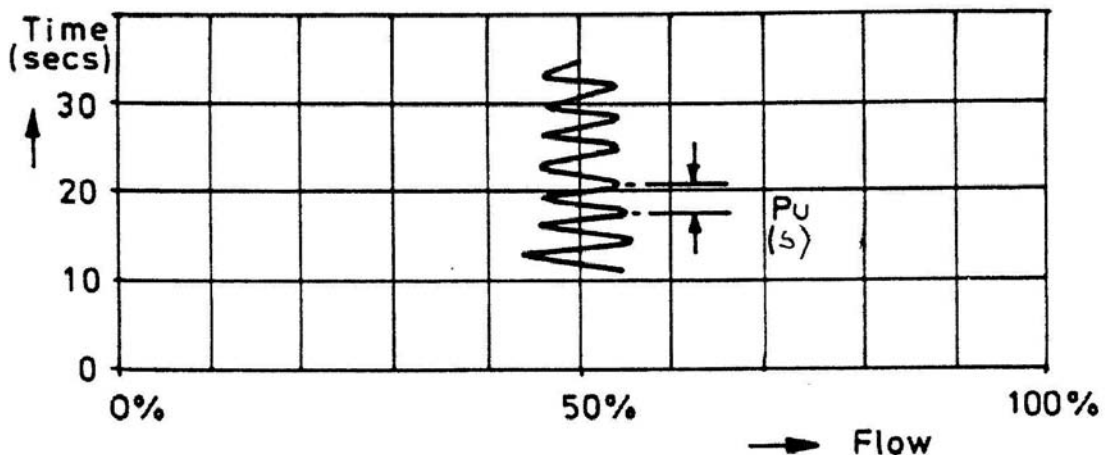
V praksi je optimalne parametre težko določiti, saj so parametri optimalni za en regulacijski sistem le redkokdaj optimalni tudi za drugega. Vrednost parametrov je močno odvisna od vrste in lastnosti reguliranega procesa.

2.1 ZIEGLER – NICHOLSOVA METODA

Pri tej metodi uporabimo le proporcionalni regulacijski sistem. Parameter proporcionalnega ojačanja v regulatorju je PB , ki je:

$$PB = \frac{100}{K_c} \quad (2)$$

Sistem obratuje pri želeni vrednosti. V sistem uvedemo motnjo. Če sistem ostane stabilen, zmanjšamo proporcionalno ojačanje in ponovno vnesemo motnjo. Proporcionalno ojačanje kontinuirano zmanjšujemo in vnašamo motnjo, dokler sistem ne prične kontinuirano nihati. Proporcionalno ojačanje, pri katerem sistem prične nihati, imenujemo kritično oz. skrajno proporcionalno ojačanje ($PB_u = 100/K_u$). Pri kritičnem proporcionalnem ojačanju izmerimo skrajno časovno periodo nihanja (P_u), ki ima enoto časa, npr. sekunda.



Slika 2: Ziegler – Nicholsova metoda optimiranja.

Z uporabo kritičnega proporcionalnega ojačanja in periode nihanja izračunamo optimalne parametre P, PI in PID regulatorjev:

Za P regulator:

$$PB = 2,0 \cdot PB_u \quad (3)$$

Za PI regulator:

$$PB = 2,2 \cdot PB_u \quad (4)$$

$$\tau_1 = 0,83 \cdot P_u \quad (5)$$

Za PID regulator:

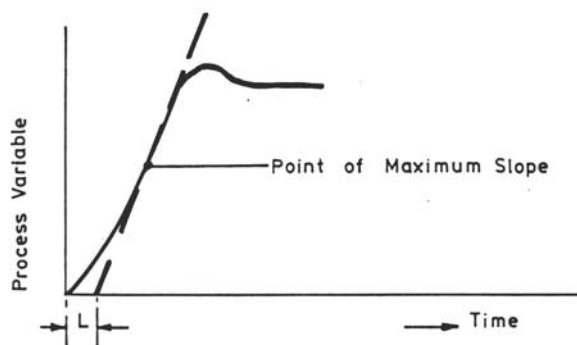
$$PB = 1,7 \cdot PB_u \quad (6)$$

$$\tau_1 = 0,5 \cdot P_u \quad (7)$$

$$\tau_D = 0,125 \cdot P_u \quad (8)$$

2.2 METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN – COONOVA METODA)

Aparaturo povežemo za običajno povratno regulacijo. Zanko prekinemo med regulatorjem in izvršilnim elementom in vnesemo stopničasto motnjo (ΔA). Posnamemo odziv sistema (ΔB), ki predstavlja absolutno razliko med merjeno veličino pred in po vnosu stopničaste motnje. V točki maksimalnega naklona reakcijske krivulje potegnemo tangento, ki ji izračunamo naklon (S).



Slika 3: Metoda reakcijske krivulje.

Razdalja od nastopa motnje pa do tam, kjer tangenta seka črto začetne vrednosti, predstavlja mrtvi čas (t_d). Iz razmerja spremembe izhodne veličine (ΔB) in motnje (ΔA) izračunamo statično ojačanje (K) ter parameter τ .

$$K = \frac{\Delta B}{\Delta A} \quad (9)$$

$$\tau = \frac{\Delta B}{S} \quad (10)$$

Z uporabo dobljenih parametrov izračunamo parametre P, PI in PID regulatorjev:

Za P regulator:

$$PB = 100 \cdot K \cdot \frac{t_d}{\tau} \left(1 + \frac{t_d}{3\tau} \right)^{-1} \quad (11)$$

Za PI regulator:

$$PB = 100 \cdot K \cdot \frac{t_d}{\tau} \left(0,9 + \frac{t_d}{12\tau} \right)^{-1} \quad (12)$$

$$\tau_1 = t_d \frac{30 + \frac{3t_d}{\tau}}{9 + \frac{20t_d}{\tau}} \quad (13)$$

Za PID regulator:

$$PB = 100 \cdot K \cdot \frac{t_d}{\tau} \left(1,33 + \frac{t_d}{4\tau} \right)^{-1} \quad (14)$$

$$\tau_1 = t_d \frac{32 + \frac{6t_d}{\tau}}{13 + \frac{8t_d}{\tau}} \quad (15)$$

$$\tau_D = t_d \frac{4}{11 + \frac{2t_d}{\tau}} \quad (16)$$

II. OPIS APARATUR

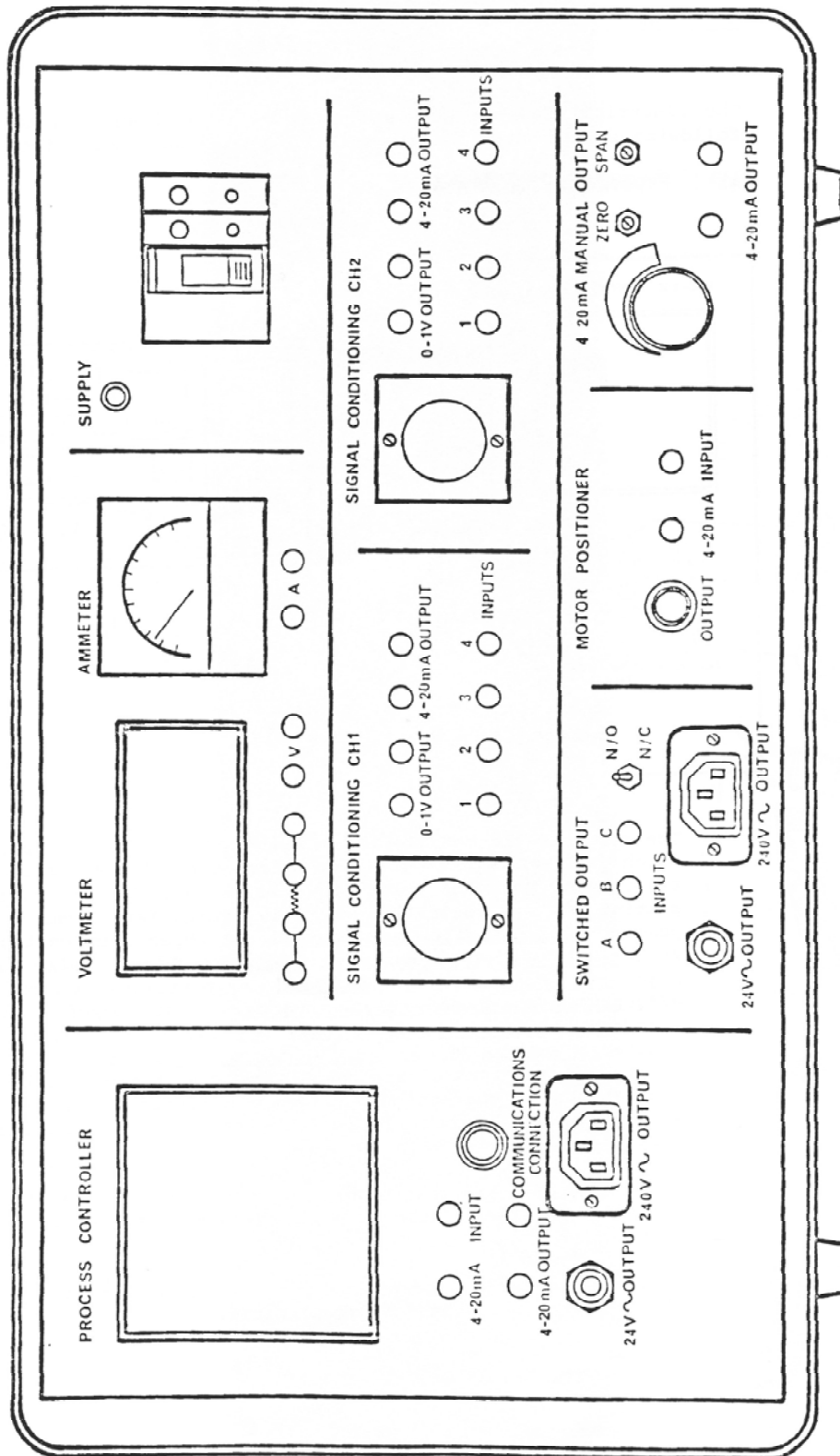
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

Modul PCT10 (Slika 4) je namenjen avtomatskemu ali ročnemu upravljanju vseh modulov iz serije PCT in demonstraciji osnovnih regulacijskih tehnik. Konzola omogoča električno napajanje črpalk, grelcev, motornih in solenoidnih ventilov ter povezavo senzorjev s procesnim regulatorjem in računalnikom.

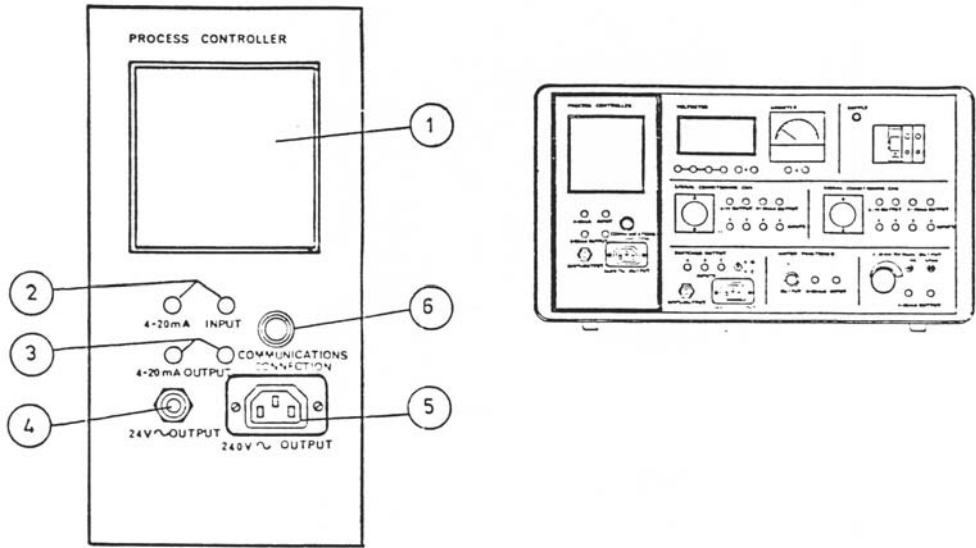
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 5), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja se lahko PID regulator z izhodom v obliki 4 - 20 mA električnega signala na rdeče/črnem igličnem izhodu (3) ali časovno proporcionalnim stikalnim izhodom z 240 VAC napetostjo na tripolnem izhodu (5) ali 24 VAC napetostjo na jack izhodu (4). Vhodni signal v regulator vodimo preko 4 – 20 mA igličnega priključka (2). Petpolni priključek (6) je namenjen povezavi regulatorja z računalnikom.

Voltmeter (1, Slika 6) z merilnim območjem 0 – 1,999 VDC je namenjen meritvi napetosti, ki jo proizvajajo procesni senzori. Merjeni napetostni signal vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (4). Tokovni signal 4 – 20 mA lahko merimo z vzporednim 50 Ω uporom (2) in preko priključkov (3) z vzporedno vezavo na priključek (4), kot je prikazuje Slika 7.

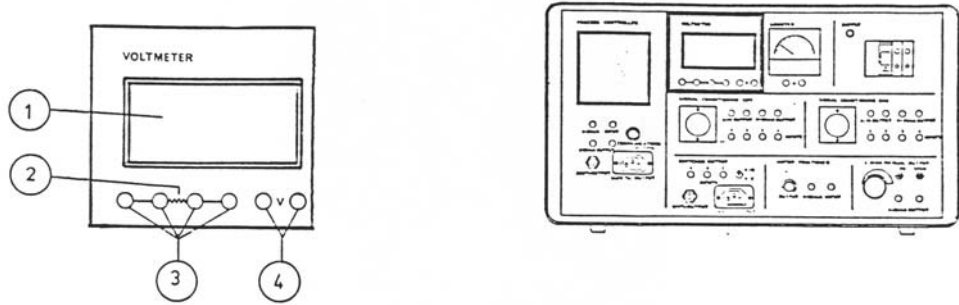
Ampermeter (1, Slika 8) z območjem meritve 0 – 20 mA omogoča meritev 4 – 20 mA električnega signala, ki ga vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (2). Za razliko od voltmetra je ampermeter namenjen le približni meritvi.



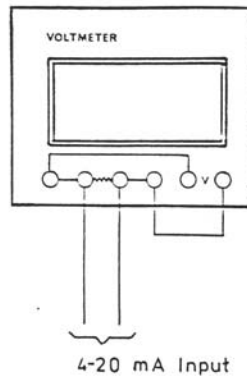
Slika 4: Električna konzola PCT10.



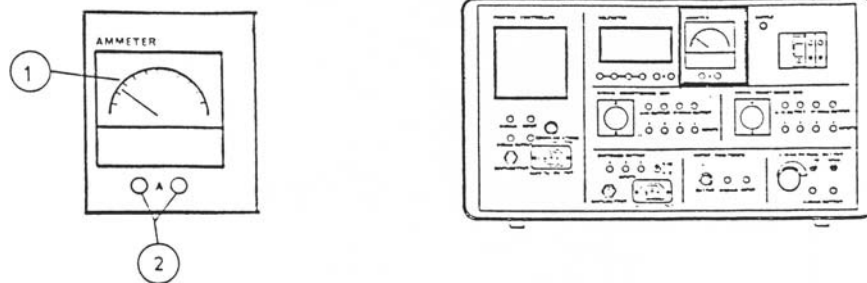
Slika 5: Procesni regulator.



Slika 6: Voltmeter.

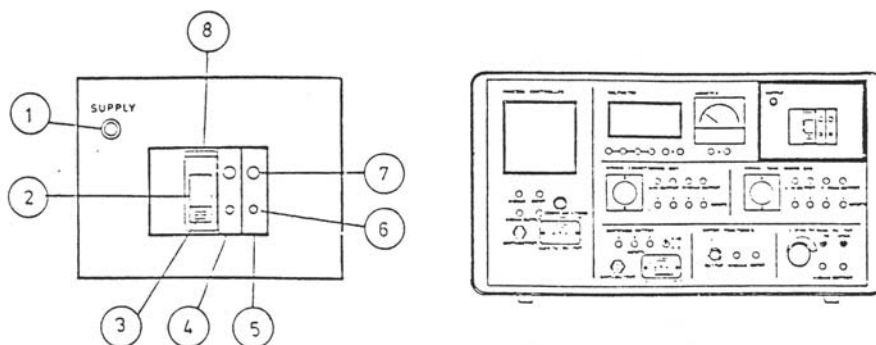


Slika 7: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



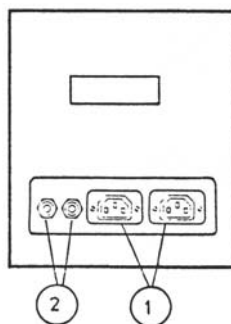
Slika 8: Ampermeter.

Električno napajanje konzole poteka preko varovalke (2, Slika 9), ki varuje konzolo in nanjo priključene naprave pred električnim šokom. Napajanje je vključeno, ko je stikalo (3) v zgornjem položaju. Dodani sta stikali za izhodne napetosti 240 VAC (4) in 24 VAC (5), ki jih vključimo s pritiskom na gumba (7) in izključimo s pritiskom na gumba (6).



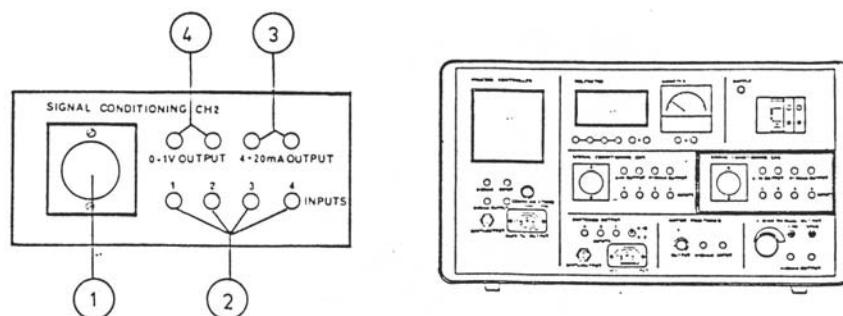
Slika 9: Sistem za električno napajanje.

Na obeh bočnih straneh konzole (Slika 10) so priključki za napetosti 240 VAC (1) in 24 VAC (2), predvideni za napajanje črpalk, grelcev, solenoidnih ventilov itd.



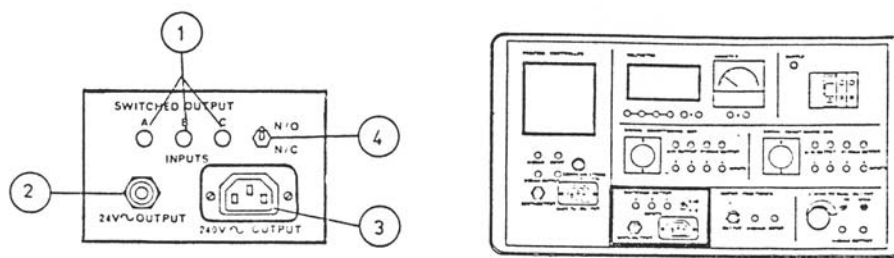
Slika 10: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

Procesni senzorji za ustrezne module iz serije PCT imajo dodane prirejevalne module, ki senzorje oskrbujejo s potrebnim električnim napajanjem, povratni signal pa priredijo v območje 0 – 1 V oziroma 4 – 20 mA. Za priključitev prirejevalnih modulov sta predvidena dva ločena priključka (1, Slika 11) s pripadajočimi priključki za vhodne (2) in izhodne signale (3, 4).



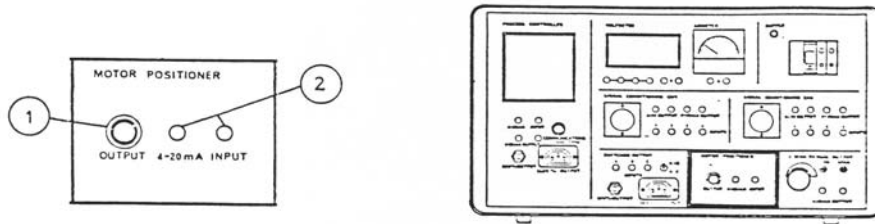
Slika 11: Prikluček za procesne senzorje.

Izhod stikala (Slika 12) vklaplja in izklaplja priključke (2 in 3) odvisno od položaja stikala (4) oz. signala na vhodnih rumenih igličnih priključkih (1). Stikalo omogoča kontrolo s pomočjo enostavnih zunanjih stikal s priključitvijo na vhodne priključke A in C, ali dvojnih zunanjih stikal (stikala s histereznim učinkom) s priključitvijo na vhodne priključke A, B in C.



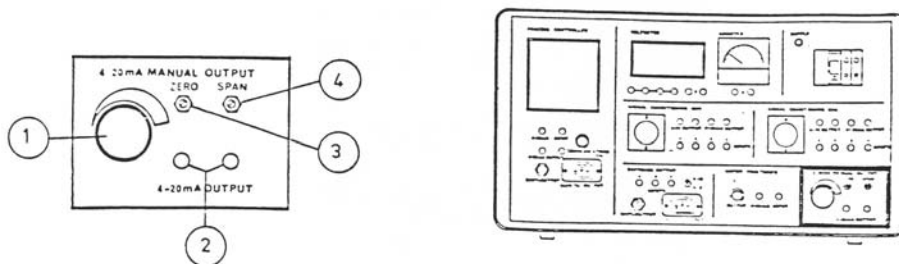
Slika 12: Izhod stikala.

Servo kontrolni sistem (Slika 13) je namenjen manipuliranju z avtomatskimi ventili. Vhodni 4 – 20 mA signal dovajamo na rdeče/črnem igličnem priključku (2). Ventil priključimo na petpolni priključek (1). Ventil je opremljen s potenciometrom, ki v servokontrolni sistem vrača povratni signal, ki pove natančni položaj ventila. To predstavlja enostavni povratno-zančni kontrolni sistem, ki omogoča natančno nastavitve zelenega položaja.



Slika 13: Servo kontrolni sistem za nastavitve avtomatskega ventila.

Ročno nastavljeni izhod 4 – 20 mA signala (Slika 14) omogoča ročno nastavitve položaja avtomatskega ventila ali vhodnega signala v procesni regulator. Nastavitve je možna z uporabo potenciometra (1). Izhodni signal dobimo na rdeče/črnem igličnem priključku (2). Umeritev signala je možna s potenciometri (3 in 4).

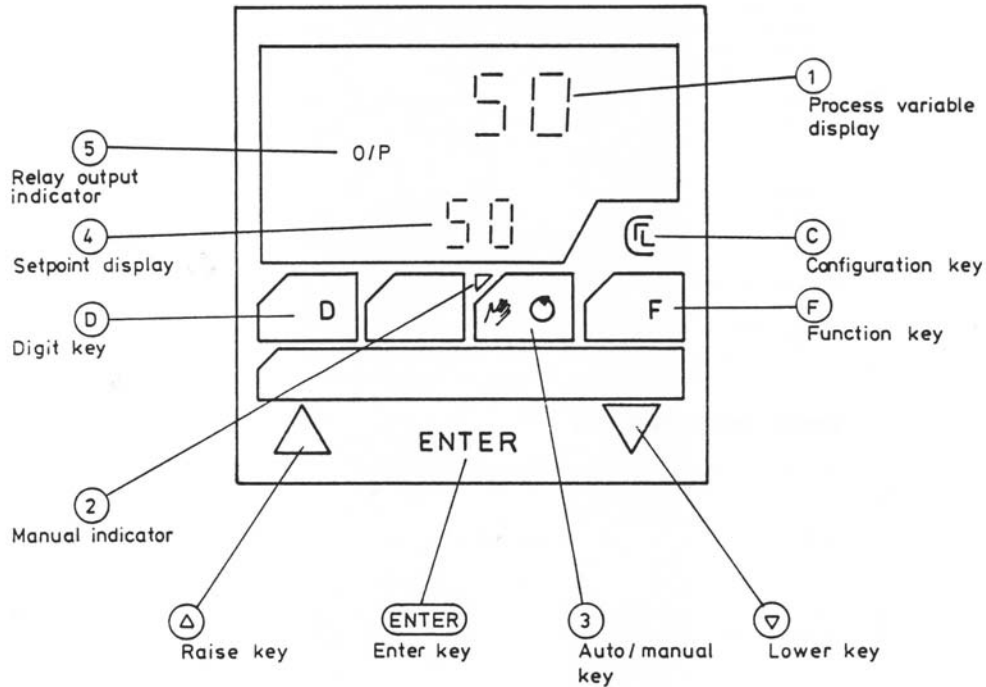


Slika 14: Ročno nastavljeni izhod.

3 PROCESNI REGULATOR

Glede na želeno vrsto regulacijskega sistema moramo procesnemu regulatorju podati primerne parametre. Regulator krmili mikroprocesor, notranji spomin pa je vrste EEPROM, kar omogoča trajno shranjevanje podatkov, tudi če ni električnega napajanja.

Podatke lahko vnašamo v regulator med samim procesom preko čelne tipkovnice (Slika 15).



Slika 15: Čelna stran procesnega regulatorja.

V normalnem obratovalnem načinu kaže prikazovalnik (1) vrednost procesne spremenljivke, v tem primeru pretoka. To je 4 – 20 mA vhodni signal v procesni regulator, ki je izražen v območju 0 – 100 %. Prav tako kaže prikazovalnik (4) vrednost referenčne vrednosti. Za prikaz izhodne vrednosti iz regulatorja pritisnemo funkcijsko tipko 'F' enkrat. Na prikazovalniku (1) se pokaže koda 'Pr' in na prikazovalniku (4) vrednost izhodnega signala. To je 4 – 20 mA električni signal v območju 0 – 100 %. Ponovni pritisk funkcijske tipke vrne prvotni ekran z referenčno vrednostjo. To se zgodi tudi, če počakamo približno 15 s od zadnjega pritiska na katerikoli gumb procesnega regulatorja. Indikatorska lučka (5) sveti, ko je notranje stikalo za 24 VAC oziroma 240 VAC izhod sklenjeno. Referenčno vrednost lahko spreminjamo znotraj njenega območja, ko je le-ta prikazana na prikazovalniku (4). Spreminjamo jo s pritiskom tipke '▲' za večanje in tipke '▼' za manjšanje vrednosti. Med

ciframi izbiramo s tipko 'D'. Ko vrednost spremenimo, jo shranimo v regulator s pritiskom tipke 'ENTER'.

Ostale parametre lahko spreminjamo v konfiguracijskem načinu, ki ga vzpostavimo s pritiskom tipke 'C' (zadnja cifra na prikazovalniku (4) prične utripati) in za njo funkcijske tipke 'F'. Z vsakim naslednjim pritiskom funkcijske tipke se na prikazovalniku (1) pokaže koda novega parametra (Tabela 1) in na prikazovalniku (4) njegova vrednost, ki jo lahko spreminjamo enako kot referenčno vrednost s tipkami '▲', '▼', 'D' in 'ENTER'.

Če počakamo približno 15 s od zadnjega pritiska na katerokoli tipko, se regulator vrne v normalni obratovalni način s prikazom procesne veličine in referenčne vrednosti.

Tabela 1: Seznam parametrov procesnega regulatorja.

parameter	koda	območje nastavitve	enota
referenčna vrednost	-	0 - 100	%
izhodna vrednost	'Pr'	0 - 100	%
proporcionalno ojačanje	'Prop'	0,1 – 500	%
integracijski čas	'Int'	0,1 – 200	min
diferenčni čas	'dEr'	6 – 4000	sec
čas periode	'CY-t'	1 – 255	sec
ni v uporabi	'CL-G'	-	-
ni v uporabi	'HC-O'	-	-
ni v uporabi	'UP-t'	-	-
histereza	'HYSt'	1 – 255	%
meja izhodne vrednosti	'Pr-L'	1 – 100	%
meja referenčne vrednosti	'SP-L'	0 – 100	%
linearno območje (4 – 20 mA = 0 – 100 %)	'SC-1'	- 0 5 8	-
reverzna ali direktna akcija	'SC-2'	- r H/L F - d H/L F	-
meje (ni v uporabi)	'SC-3'	A/d H/L A/d H/L	-
status	'SC-4'	n n U 0	-

Tabela 1: Nadaljevanje.

parameter	koda	območje nastavitve	enota
naslov	'SC-5'	- - 0 0	-
hitrost prenosa podatkov	'SC-6'	- - - 3	-
način komunikacije	'SC-7'	- - - 0	-
naklon	'SPan'	100	%
ničla	'ZEro'	0	%

Opomba: Efektivno proporcionalno ojačanje je 5-kratnik vrednosti nastavitve na regulatorju (npr. Prop = 10 %, pomeni PB = 50 %)

Zadnja dva parametra (Tabela 1) sta namenjena umeritvi regulatorja, ki jo ponovimo ob vsaki vključitvi pred pričetkom dela.

V normalnem obratovalnem načinu regulator sam nastavlja vrednost izhodnega signala in je uporabnik ne more spreminjati. To lahko storimo samo v ročnem načinu obratovanja, ki ga dosežemo s pritiskom tipke (3) takrat, ko regulator kaže vrednost izhodnega signala. Ročni način obratovanja kaže indikatorska lučka (2). Vrednost spreminjamo po že prej opisanem načinu s tipkami '▲', '▼', 'D' in 'ENTER'.

4 MODUL ZA KONTROLO PRETOKA – PCT9

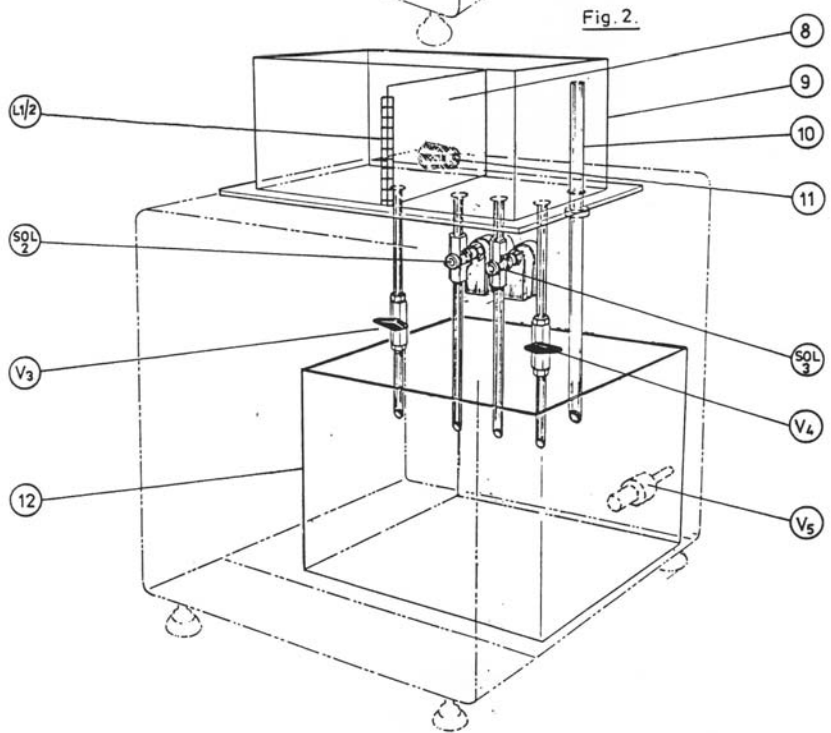
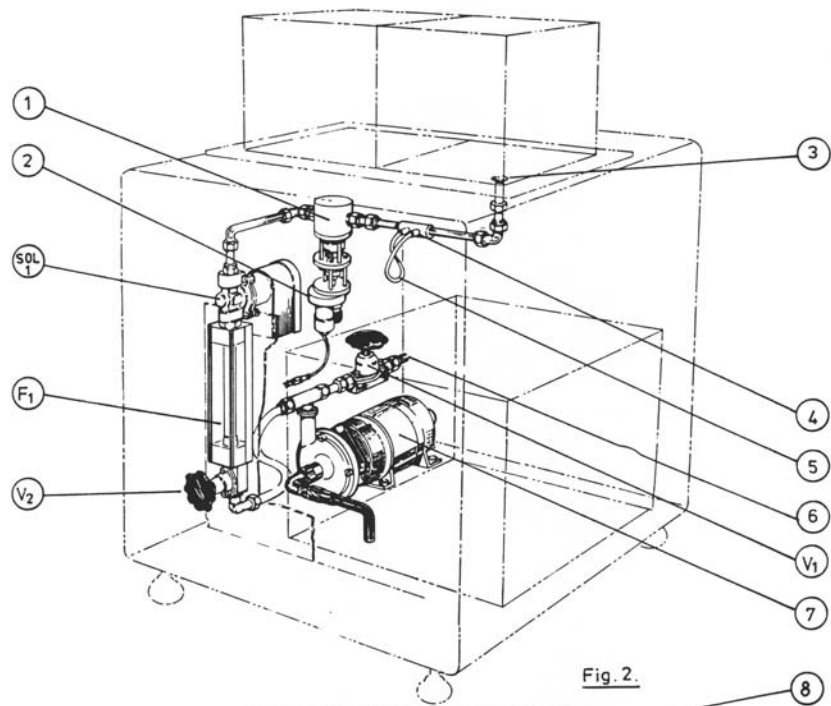
Procesni modul PCT9 je namenjen kontroli pretoka in nivoja gladine v procesnem rezervoarju. Ker je za obratovanje modula potrebno električno napajanje, ga povežemo z električno konzolo PCT10.

Procesni modul vsebuje:

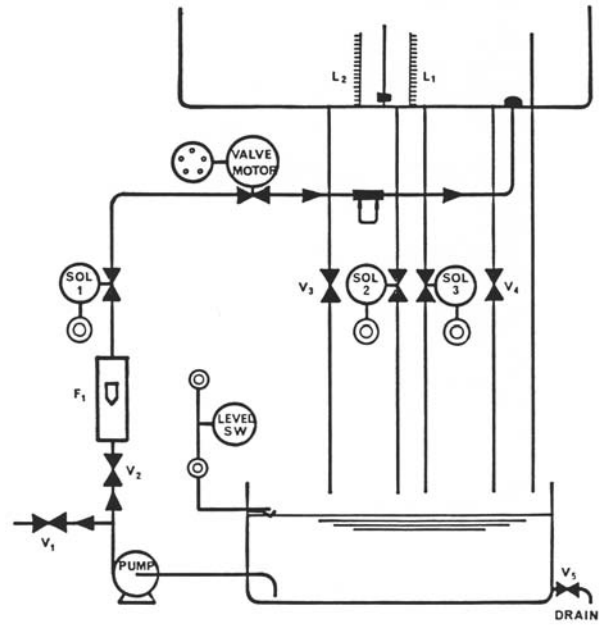
- zbirni rezervoar,
- procesni rezervoar,
- črpalko,
- rotameter,
- ročni ventil,
- avtomatski ventil,
- solenoidne ventile,
- ventil za izpust,
- cevno omrežje,
- nivojno stikalo.

Glavne sestavne dele modula prikazuje Slika 16, shematski prikaz pa Slika 17. Črpalka (7) črpa vodo iz zbirnega rezervoarja (12) skozi cevno omrežje v procesni rezervoar (9). Z merilcem pretoka (F1) merimo pretok vode, ki prehaja iz zbirnega v procesni rezervoar. Z ročnim ventilom (V2) nastavljamo želeni pretok vode. Voda prehaja skozi merilec pretoka, solenoidni ventil (SOL1), avtomatski ventil (1), obtočni sistem in razpršilec (3) v procesni rezervoar. Procesni rezervoar je razdeljen na dva enaka dela s pregrado, ki ima odprtino z zamaškom (11). Na steni levega in desnega procesnega rezervoarja sta nameščeni nivojni stikali za določanje nivoja tekočine v rezervoarju. Desni rezervoar vsebuje cev, ki preprečuje prelitje. Iz desnega rezervoarja odteka voda skozi ročni ventil (V4) in dva solenoidna ventila (SOL2 in SOL3) in iz levega skozi ročni ventil (V3).

Avtomatski ventil poganja elektromotor (2), ki ga krmilimo s servomehanizmom na električni konzoli PCT10.



Slika 16: Procesni modul – PCT9.

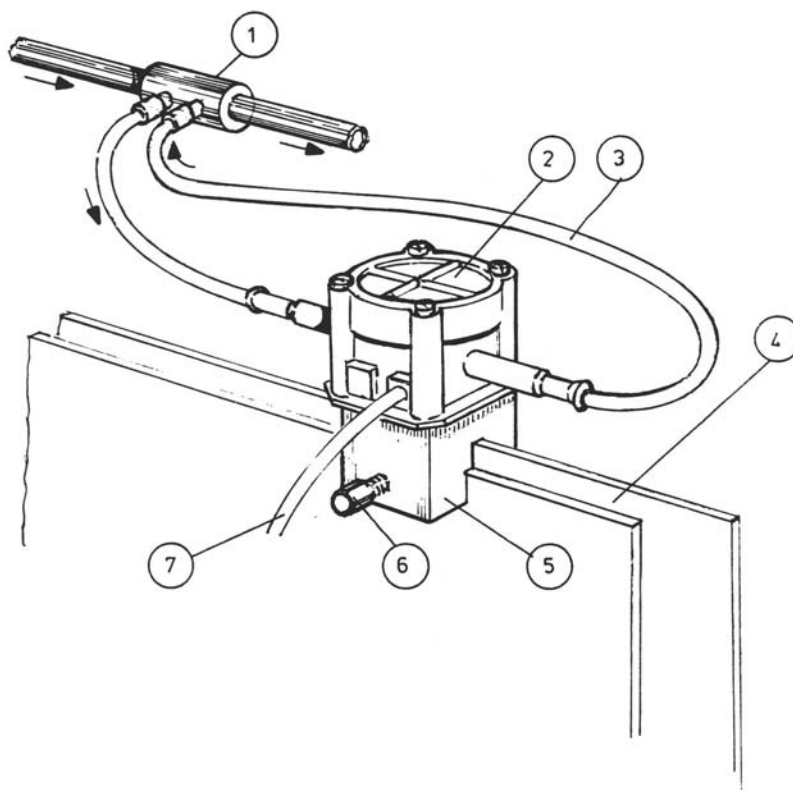


Slika 17: Shematski diagram procesnega modula PCT9.

5 MODUL ZA KONTROLO HITROSTI PRETOKA – PCT15

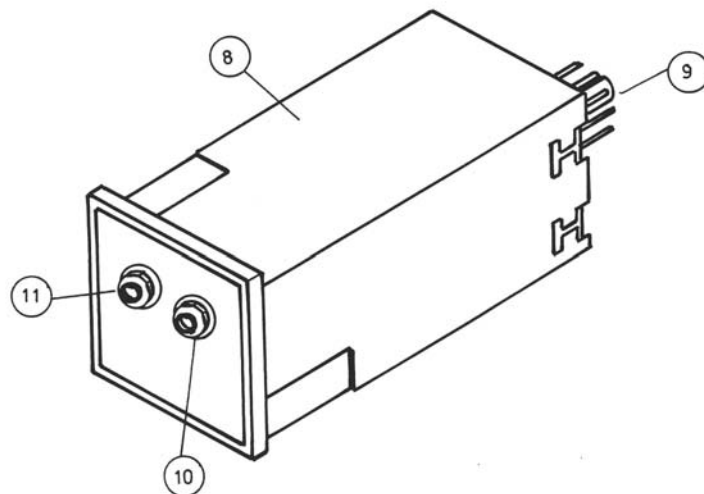
Modul PCT15 je namenjen meritvi hitrosti pretoka in omogoča demonstracijo osnovnih odprto- in zaprtozančnih regulacijskih problemov s hitrim odzivom. Namenjen je povezavi z modulom PCT9 in električno konzolo PCT0.

Osrednji element modula je turbinski pretočni senzor (Slika 18), ki ustvarja električni signal, sorazmerno s hitrostjo pretoka. Senzor (2) je nameščen na plastičnem nosilcu (5), ki ga pritrdimo na čelno stran modula PCT9 (4) s pomočjo plastičnega vijaka (6). Priključimo ga na obtočni sistem modula PCT9 (1) s pomočjo gibkih plastičnih cevi (3). S kablom (7) senzor povežemo z ustreznimi igličnimi priključki na delu za prireditev signala na elektrini konzoli PCT10.



Slika 18: Pretočni senzor.

Signal pretočnega senzorja priredimo v želeno območje s pomočjo prirejevalnega modula (Slika 19), ki vsebuje potenciometre za nastavitev ničle (11) in naklona (10).



Slika 19: Prirejevalni modul za povezavo pretočnega senzorja z električno konzolo.

6 LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH

Vodniki električnih signalov:

----- Nizkonapetostni vodniki za tok 4 – 20 mA ali napetosti 0 – 1 V.
rdeč – pozitivni (+)
črn – negativni (-)

..... Nizkonapetostni vodniki za povezavo senzorjev s prirejevalnimi moduli.
Možna je le povezava priključkov enakih barv.

-.-.-.-.-. Namenski vodniki (npr. petpolni priključek za povezavo avtomatskega ventila)

Vodniki za električno napajanje:

-----~----- 24 VAC napetostni vodniki (jack priključek)

-----~~----- 240 VAC napetostni vodniki (tripolni priključek)

Hidravlični vodniki:

—————▶————— puščica nakazuje smer toka.

III. IZVEDBA VAJE

1 UVODNI EKSPERIMENTI

Uvodni eksperimenti so namenjeni prvemu stiku in spoznavanju z aparaturo, zato jih izvedete le, ko ste prvič na vajah, oz. če jih še niste pri nobeni predhodni vaji. Kasneje to ni več potrebno.

1.1 POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE

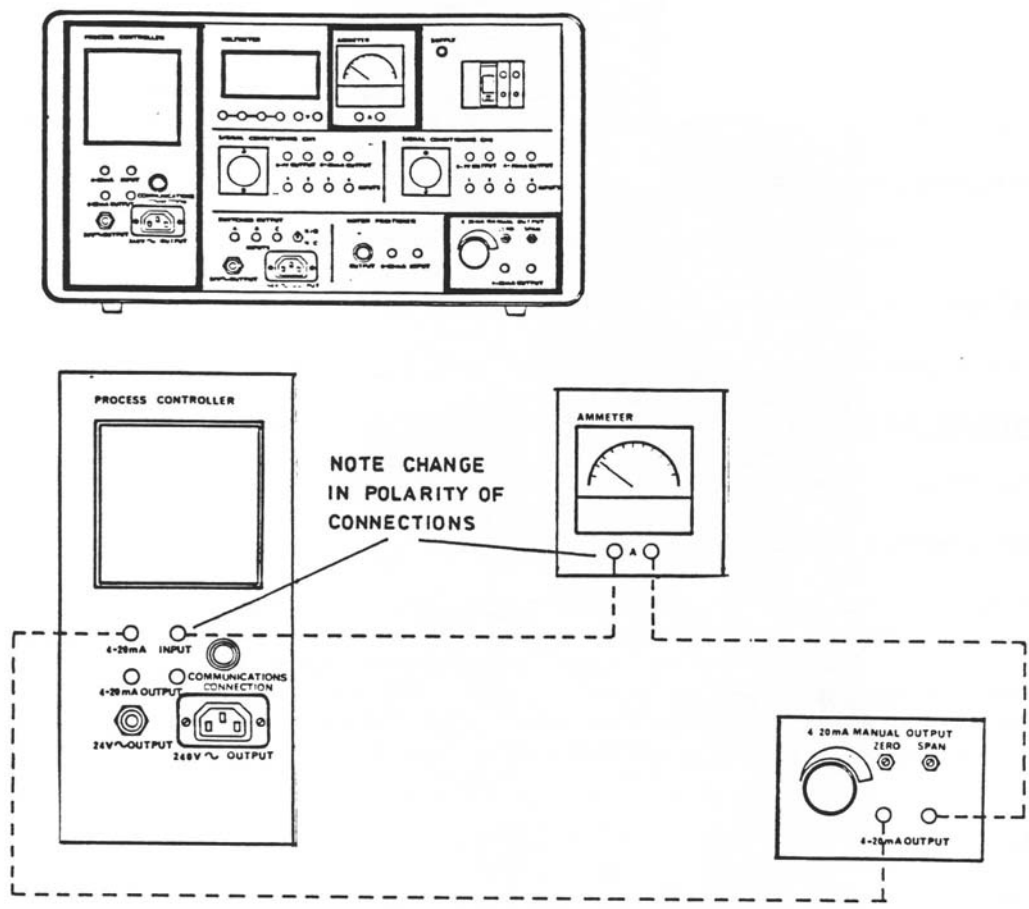
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in velikega števila porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, katerih seštevek ustreza uporu vira napetosti.

POSTOPEK:

4–20 mA ročno nastavljivi izhod (MANUAL OUTPUT) zvežemo z vhom (INPUT) procesnega regulatorja. Zaporedno procesnemu regulatorju zvežemo še ampermeter, kot kaže Slika 20.

4–20 mA ročno nastavljivi izhod je vir napetosti v zanki, ki omogoča tokokrog v zanki. Tok teče iz pozitivnega pola vira napetosti po zanki in se vrača v negativni pol vira napetosti. V zanki teče tok skozi porabnike prav tako iz pozitivnega na negativni pol napetosti.

Zavrtimo gumb na 4–20 mA ročno nastavljivem izhodu in opazujemo spremembo procesne veličine na procesnem regulatorju in spremembo toka na ampermetru.



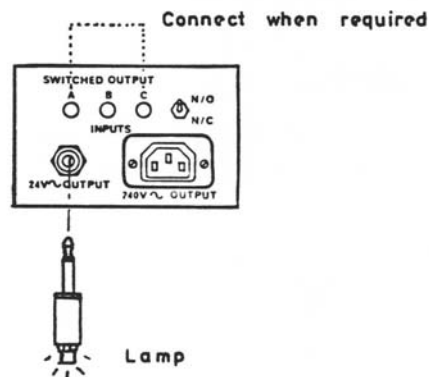
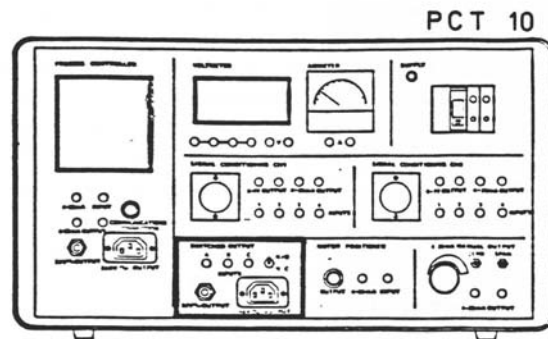
Slika 20: Postavitev 4 -20 mA tokovne zanke.

1.2 PRIKAZ UPORABE 24 VAC IN 240 VAC IZHODNIH SIGNALOV NA IZHODU STIKALA

Priključka A in C na izhodu stikala (SWITCHED OUTPUT) sta zaporedno povezana z delovno tuljavo stikal 24 VAC in 240 VAC izhodov za električno napajanje. Ko sta priključka sklenjena, se aktivira tuljava, ki vključi stikali. Z ročnim stikalom lahko izbiramo med normalno odprtim (N/O) in normalno zaprtim (N/C) stanjem stikal.

POSTOPEK:

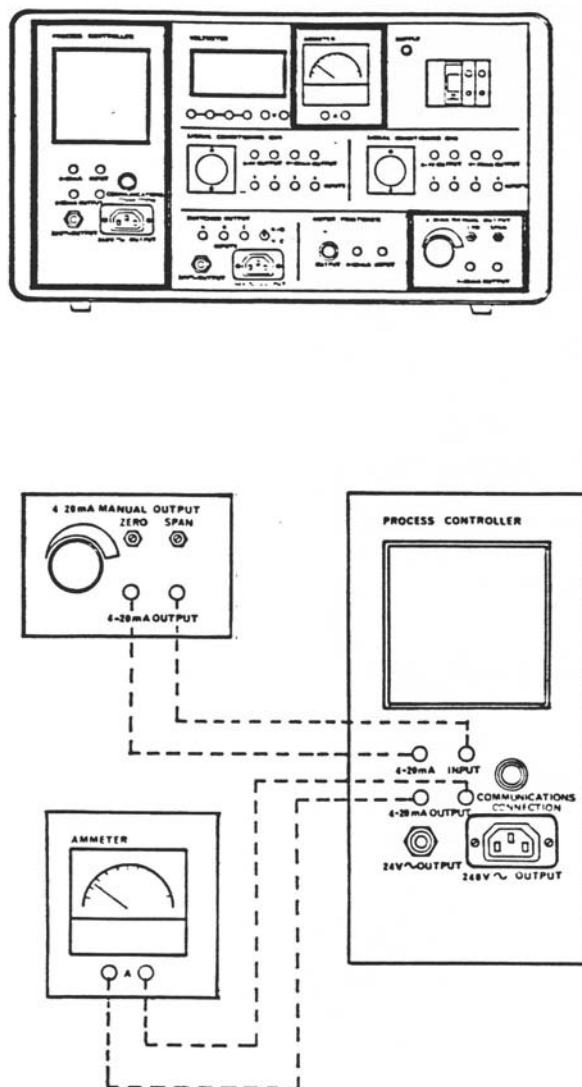
V 24 VAC priključek na izhodu stikala vtaknemo 24 V indikatorsko lučko. Lučka sveti le takrat, ko je na izhodu napetost. Stikalo nastavimo na N/O položaj. Zvežemo priključka A in C z rumenim kablom, kot kaže Slika 21 in opazujemo indikatorsko lučko. Stikalo nastavimo na N/C položaj in ponovno opazujemo indikatorsko lučko. Povezavo priključkov A in C prekinemo in ponovimo postopek.



Slika 21: Shema povezave izhoda stikala.

1.3 NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA

Ročno nastavljivi izhod povežemo z vhodom v regulator in izhod regulatorja z ampermetrom, kot kaže Slika 22.



Slika 22: Povezava procesnega regulatorja z ročno nastavljivim izhodom in ampermetrom.

V regulator vpišemo naslednje parametre:

parameter	koda	nastavitev	enota
referenčna vrednost	-	50	%
izhodna vrednost	'Pr'	-	%
proporcionalno ojačanje	'Prop'	50	%
integracijski čas	'Int'	0	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec
čas periode	'CY-t'	20	sec
ni v uporabi	'CL-G'	-	-
ni v uporabi	'HC-O'	-	-
ni v uporabi	'UP-t'	-	-
histereza	'HYST'	0,1	%
meja izhodne vrednosti	'Pr-L'	100	%
meja referenčne vrednosti	'SP-L'	100	%
linearno območje (4 – 20 mA = 0 – 100 %)	'SC-1'	- 0 5 8	-
reverzna akcija	'SC-2'	- r L F	-
meje (ni v uporabi)	'SC-3'	- - - -	-
status	'SC-4'	n n U 0	-
naslov	'SC-5'	- - 0 0	-
hitrost prenosa podatkov	'SC-6'	- - - 3	-
način komunikacije	'SC-7'	- - - 0	-
naklon	'SPan'	-	%
ničla	'ZEro'	-	%

Opomba: Efektivno proporcionalno ojačanje je 5-kratnik vrednost nastavitve na kontrolerju (npr. Prop = 10 %, pomeni PB = 50 %)

S potenciometrom točno spreminjamo vhod v regulator in opazujemo izhodno vrednost na ampermetru. Spreminjamo proporcionalno ojačanje, integracijski in diferenčni čas, čas periode, histerezo in vrsto akcije in opazujemo spremembo na izhodu.

Po končanem spreminjanju parametrov vrnemo njihove vrednosti na te, ki so v gornji tabeli.

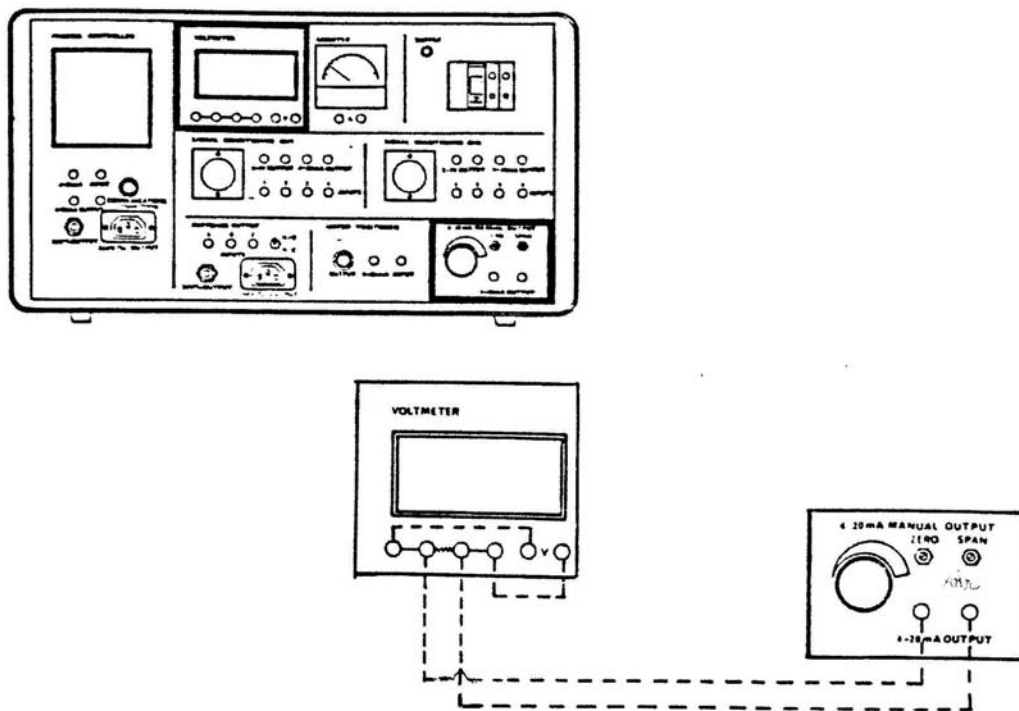
2 UMERITVE

Umeritve izvedemo vedno pred začetkom preostalih eksperimentov.

2.1 UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo z voltmetrom, kot kaže Slika 23.
- Gumb potenciometra zavrtimo v obratni smeri urinega kazalca do konca. Ko se vrednost na voltmetru umiri, jo s potenciometrom (ZERO na '4-20 mA MANUAL OUTPUT') naravnamo na 0,200 V.
- Potenciometer zavrtimo v smeri urinega kazalca in na voltmetru nastavimo vrednost 1,000 V s potenciometrom (SPAN).
- Postopek ponavljamo, dokler ne dosežemo želenih vrednosti.



Slika 23: Shema povezave za umeritev ročno nastavljivega izhoda.

2.2 UMERITEV PROCESNEGA REGULATORJA

Regulator bomo umerili na merilno območje:

4 mA = 0 % in

20 mA = 100 %.

POSTOPEK:

Za ta namen povežemo vhod v regulator (4-20 mA INPUT) z ročno nastavljivim izhodom (4-20 mA MANUAL OUTPUT).

Najprej preverimo, ali je umeritev sploh potrebna:

- Zavrtimo potenciometer ročno nastavljivega izhoda do konca v obratni smeri urinega kazalca. Ali je odčitek na prikazovalniku procesne veličine na regulatorju blizu 0,0 %?
- Nato zavrtimo potenciometer ročno nastavljivega izhoda do konca v smeri urinega kazalca. Ali je odčitek na prikazovalniku procesne veličine blizu 100,0 %?

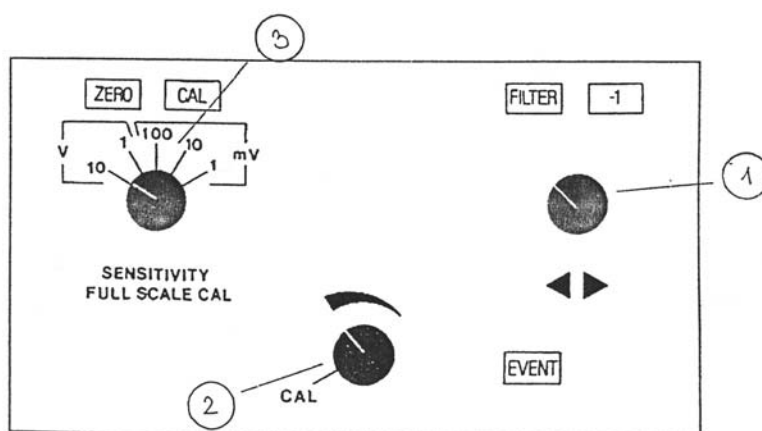
Če je odgovor na obe vprašanji 'DA', umeritev ni potrebna. Če je odgovor na vsaj eno od zgornjih vprašanj 'NE', umerimo regulator po naslednjih korakih:

- Regulator prestavimo v konfiguracijski način s pritiskom tipke 'C' na prikazovalniku in za njo funkcijske tipke 'F'. Tipko 'F' pritiskamo tako dolgo, da se prikaže napis 'SPan'.
- Ko kaže prikazovalnik (1) kodo 'SPan', zavrtimo potenciometer ročno nastavljivega izhoda popolnoma v smeri urinega kazalca in na regulatorju nastavimo vrednost 100,0 % (prikazovalnik 4).
- Pri enakem položaju potenciometra pritisnemo funkcijsko tipko 'F' in prikazovalnik (1) pokaže kodo 'ZEro'.
- Potenciometer zavrtimo v obratni smeri urinega kazalca in na regulatorju nastavimo vrednost 0 %. Pri pritisku tipke 'ENTER' se sproži avtomatski postopek umeritve in preračunavanja vrednosti v novo območje.
- Preverimo, ali je bila umeritev uspešna. To naredimo tako, da ročno nastavljivi izhod zavrtimo do konca v smeri urinega kazalca. Prikazovalnik procesne veličine na regulatorju mora kazati 100 %. Nato zavrtimo ročno nastavljivi izhod v obratni smeri in prikazovalnik procesne veličine na regulatorju mora kazati 0 %.
- Če umeritev ni bila uspešna, ponovimo postopek.

2.3 NASTAVITEV PISALNIKA

Na pisalniku lahko opazujemo vrednost procesne in manipulirane veličine v odvisnosti od časa, saj ima dve pisali. Pisali sta nekoliko zamaknjeni, da se ne ovirata pri gibanju. Pisalnik prikazuje Slika 24. Vključimo ga s tipko 'POWER'. Na pisalniku nastavimo primerno hitrost zapisovanja. Za večino eksperimentov je to 5 ali 10 mm/min. Kjer je potrebna večja hitrost, je to posebej navedeno. Spodaj desno so še tipke 'ADV' za hitro premikanje papirja in 'REV' za vzvratno premikanje papirja.

Pisalnik moramo pred delom umeriti.

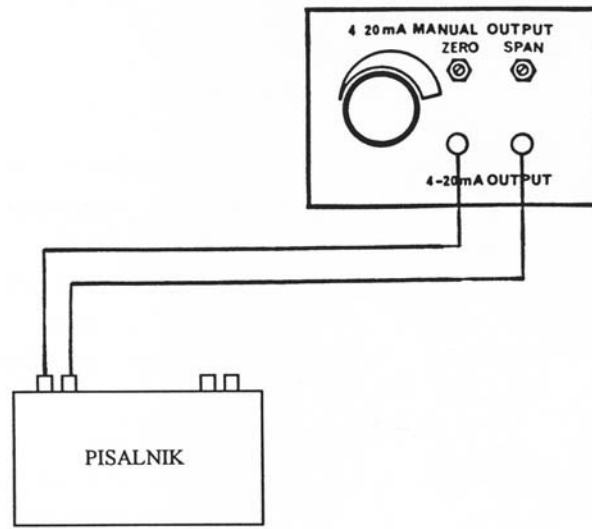


Slika 24: Pisalnik.

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo s priključkom enega od pisal, kot kaže Slika 25.
- Na pisalniku nastavimo območje meritve z gumbom (3, Slika 24) na 1 V.
- Potenciometer zavrtimo v obratni smeri urinega kazalca do konca. Z gumbom (1) naravnamo pero pisalnika na levi strani na 20 mm milimetske mreže.
- Potenciometer zavrtimo v smeri urinega kazalca in z gumbom (2) naravnamo pero pisalnika na 120 mm.
- Postopek moramo večkrat ponoviti, saj so pisalniki zelo občutljivi in pogosto izgubijo umeritev.
- Po enakem postopku umerimo še drugo pisalo.

S tem smo obe pisali umerili na območje med 20 mm in 120 mm oz. na območje v obsegu 100 mm.



Slika 25: Prikaz povezave pisalnika z ročno nastavljivim izhodom za umeritev.

2.4 UMERITEV PRETOČNEGA SENZORJA

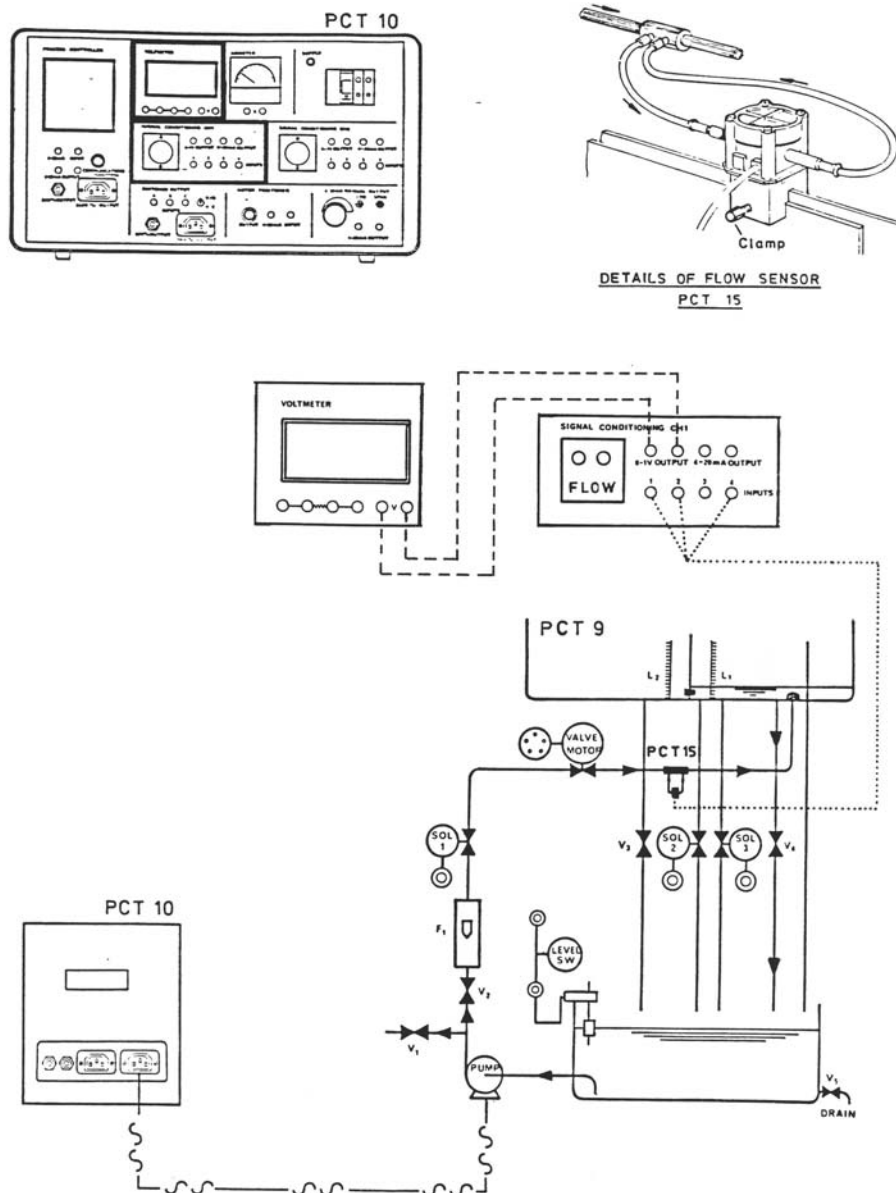
Pretočni senzor je pritrjen na čelno steno procesnega modula PCT9 in s plastičnimi cevmi povezan z obtočnim sistemom. Prirejevalni modul za pretok je vstavljen v enega od priključkov na električni konzoli PCT10. Pred pričetkom dela na procesnem modulu PCT9 moramo pretočni senzor umeriti. Izvedli bomo sledečo umeritev:

- minimalni pretok: $0 \text{ cm}^3/\text{min} = 0 \text{ V} = 0 \%$
- maksimalni pretok: $3000 \text{ cm}^3/\text{min} = 1 \text{ V} = 100 \%$

POSTOPEK:

- Povežemo pretočni senzor s prirejevalnim modulom in izhod prirejevalnega modula z voltmetrom, kot kaže Slika 26.
- Priključimo črpalko modula PCT9 na električno napajanje in odpremo ročna ventila (V2) in (V4), da voda nemoteno kroži po napravi. Hitrost pretoka spremljamo na merilcu pretoka (F1).
- Če pretoka ni, je morda zaprt avtomatski ventil. Odpremo ga tako, da ga z ustreznim kablom priključimo na vir napetost in sicer na konzoli PCT10 (Motor Positioner).
- Naravnomo ročni ventil (V2) tako, da doseže pretok maksimalno vrednost $3000 \text{ cm}^3/\text{min}$. S potenciometrom (SPAN) na prirejevalnem modulu nastavimo vrednost na voltmetru na $1,000 \text{ V}$.

- Naravnomo ročni ventil (V2) tako, da merilec ne zazna pretoka (0 cm³/min). S potenciometrom (ZERO) na prirejevalnem modulu nastavimo vrednost na voltmetru na 0,000 V. Pri tem moramo biti urni, saj lahko črpalka pri zaprtem ventilu (V2) deluje največ 20 s.
- Postopek večkrat ponovimo, dokler ne dosežemo zelenih vrednosti.



Slika 26: Umeritev pretočnega senzorja.

3 HISTEREZA PRETOČNEGA SENZORJA

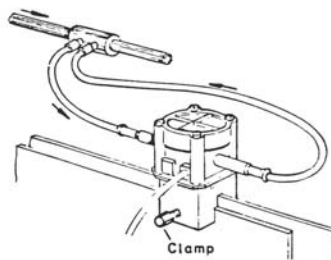
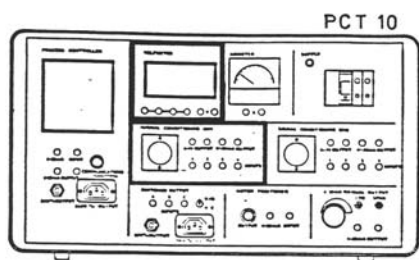
O histereznem efektu govorimo, ko je odčitek senzorja odvisen od poti, po kateri se merilni točki približamo. Na začetku eksperimenta naj bo črpalka ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

POSTOPEK:

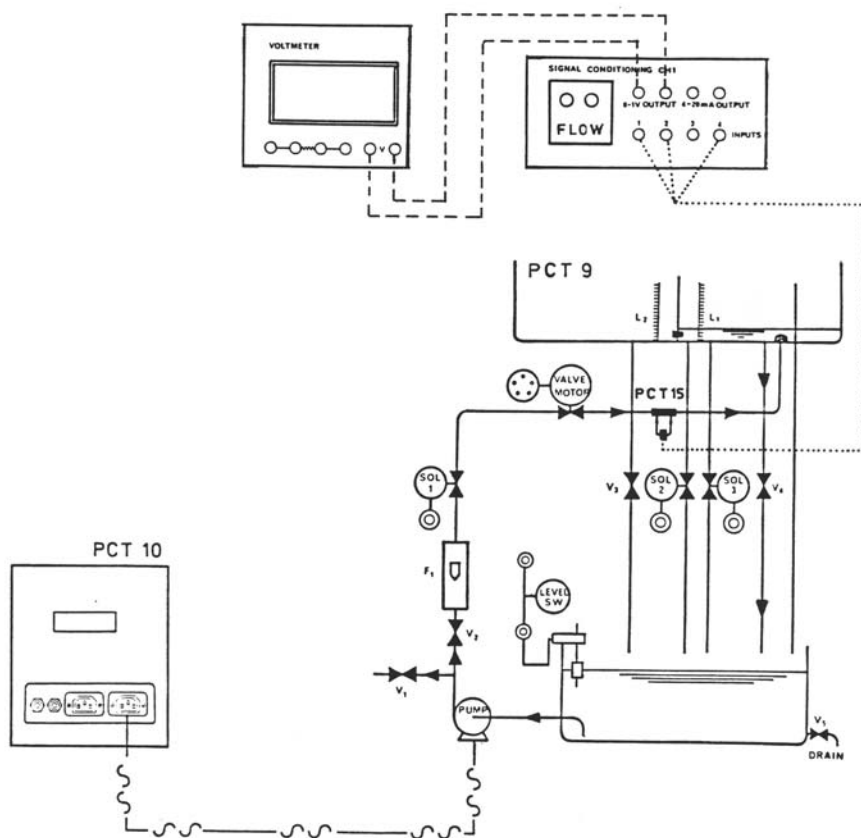
- Pretočni senzor povežemo s prirejevalnim modulom in voltmetrom na električni konzoli PCT10, kot kaže Slika 27.
- Črpalko vklopimo.
- Pretok, ki ga spremljamo na merilcu pretoka (F1), nastavimo z ventilom (V2) na 3000 cm³/min.
- Če pretoka ne moremo nastaviti na 3000 cm³/min, je morda zaprt ali delno zaprt avtomatski ventil. Odpremo ga tako, da ga z ustreznim kablom priključimo na vir napetosti in sicer na konzoli PCT10 (Motor Positioner).
- Pretok povečujemo od 0 do 3000 cm³/min in sicer v korakih po 500 cm³/min, tako da odpiramo ventil (V2).
- Za vsako spremembo si zapišemo odčitek na voltmetru.
- Nato postopek ponovimo tako, da ventil (V2) zapiramo.

Graf:

Narišemo diagram odvisnosti odčitka na voltmetru (V) od pretoka (cm³/min) in sicer na istem grafu tako za odpiranje ventila kot tudi za zapiranje.



DETAILS OF FLOW SENSOR
PCT 15



Slika 27: Shema povezave za določitev histerze pretočnega senzorja.

4 LINEARNOST AVTOMATSKEGA VENTILA

S tem eksperimentom želimo ugotoviti ali je zveza med izmerjenim pretokom in stopnjo odprtosti avtomatskega ventila linearna. Na začetku eksperimenta naj bo črpalka ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

POSTOPEK:

- Pretočni senzor povežemo s prirejevalnim modulom in vhodom regulatorja na električni konzoli PCT10, avtomatski ventil pa z izhodom regulatorja, kot kaže Slika 28.
- Procesni regulator nastavimo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke in takoj za njo AUTO/MANUAL tipke.
- Izhod iz regulatorja nastavimo na 100 %;
- Vključimo črpalko, pretok z ventilom V2 naravnamo na 3000 ml/min.
- Nato zmanjšujemo izhod iz regulatorja od 100 % do 0 % v stopnjah po 10 %. Pri tem se avtomatski ventil zapira in pretok pada. Ventila V2 se več ne dotikamo.
- Za vsako nastavitvev izhoda iz regulatorja, ki dejansko predstavlja delež odprtosti avtomatskega ventila, zapišemo odčitek na prikazovalniku procesne veličine (v %) in na merilcu pretoka F1 v cm^3/min . Odčitke zberite v tabeli:

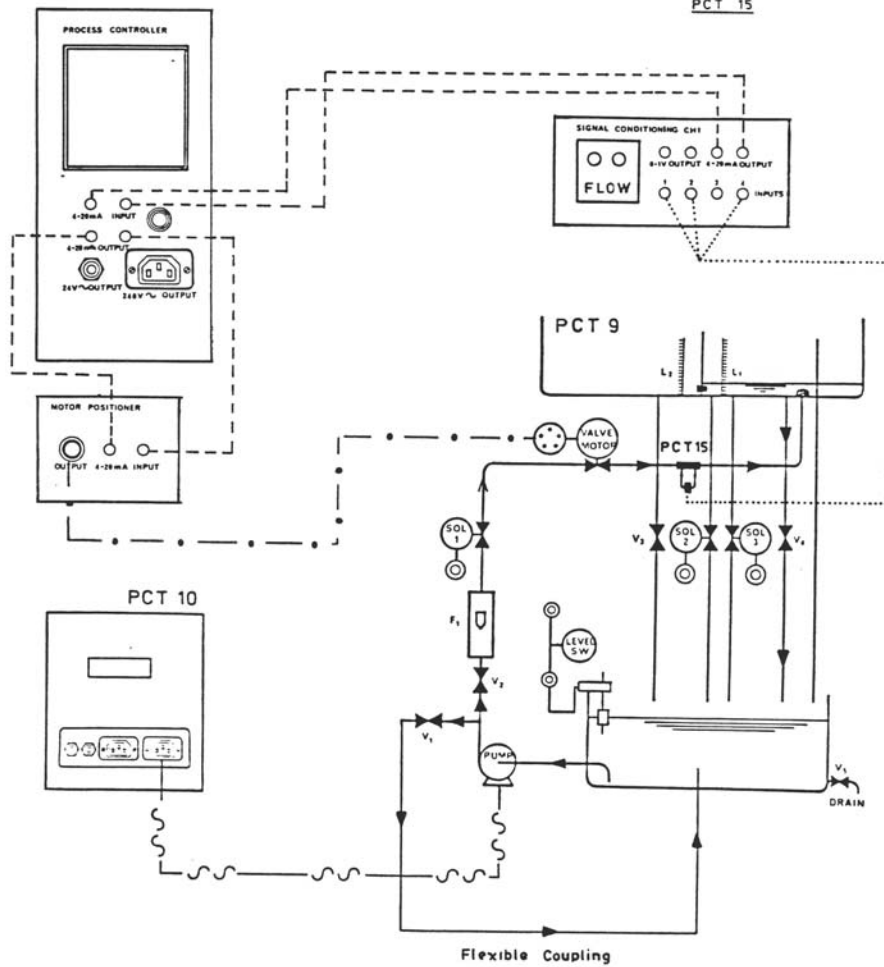
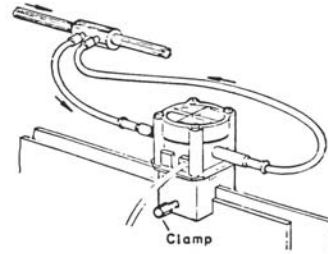
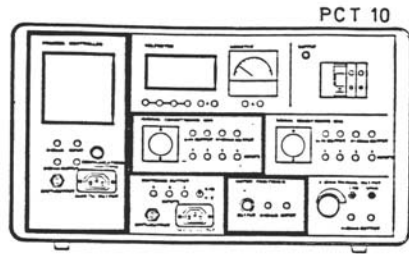
Izhod iz regulatorja oz. odprtost avt. ventila (%)	Pretok (%)	Pretok (cm^3/min)

Graf:

Narišite grafa:

- pretok (%) v odvisnosti od stopnje odprtosti avtomatskega ventila (v %)
- pretok (cm^3/min) v odvisnosti od stopnje odprtosti avtomatskega ventila (v %).

Ali je odziv linearen?



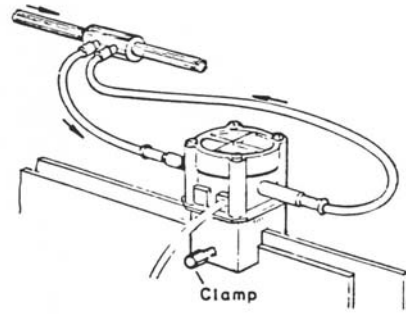
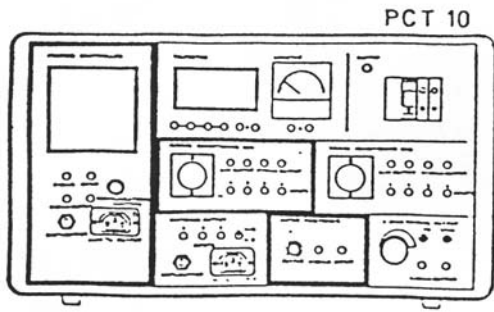
Slika 28: Shema povezave za določitev linearnosti avtomatskega ventila.

5 POVRATNI REGULACIJSKI SISTEM

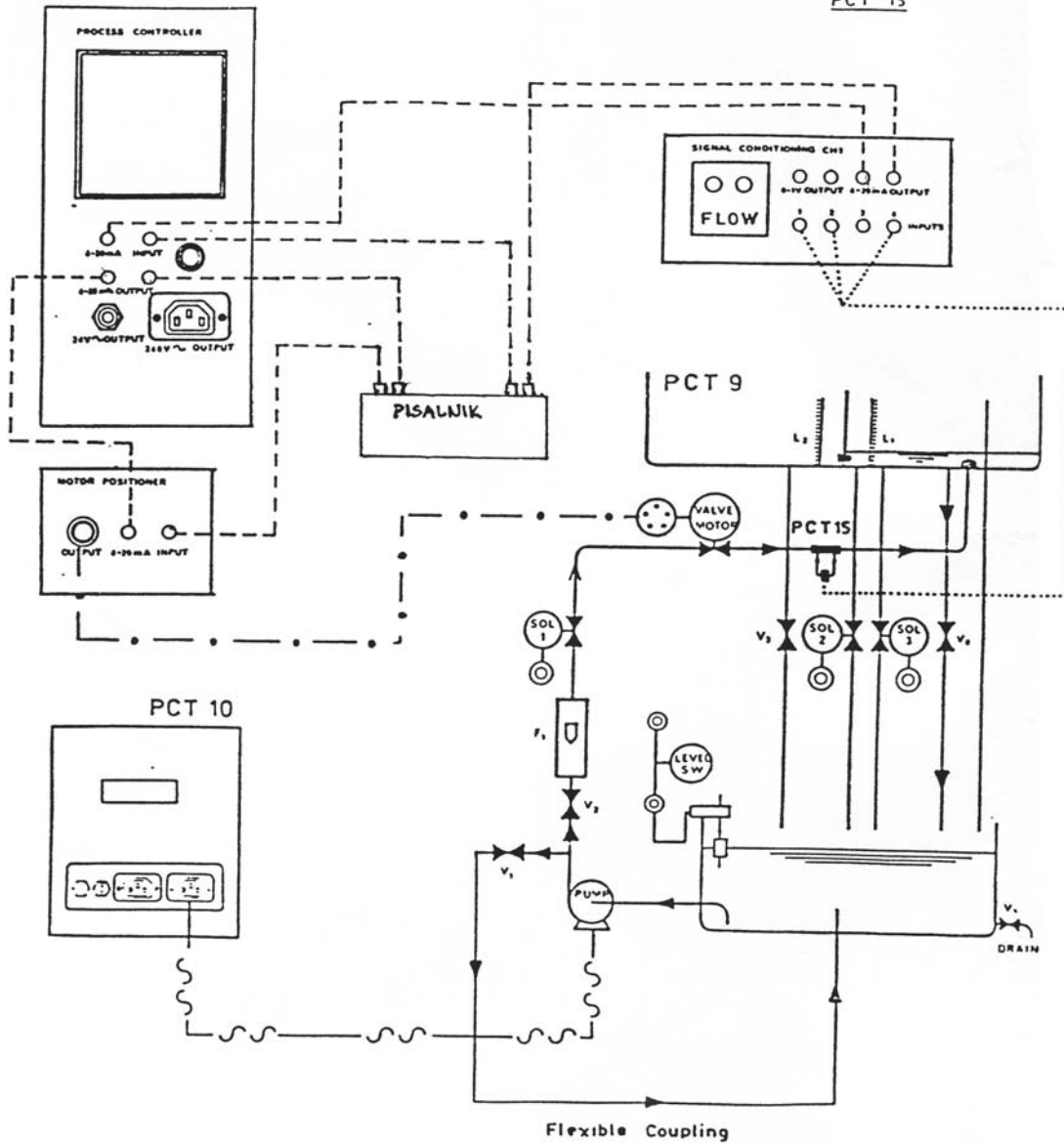
Aparaturo povežemo, kot kaže Slika 29. Črpalka naj bo ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

Vrednost procesne veličine, tj. pretok, spremljamo na pisalniku s črnim pisalom. Izhodni signal iz regulatorja, ki dejansko predstavlja delež odprtosti avtomatskega ventila, spremljamo z rdečim pisalom. Hitrost pisala nastavimo na 10 mm/min.

Če je procesna veličina, tj. pretok, pod referenčno vrednostjo, se mora avtomatski ventil odpreti, za kar mora regulator povečati signal na ventil, tj. izhod iz regulatorja. Govorimo o reverzni akciji regulatorja.



DETAILS OF FLOW SENSOR
PCT 15



Slika 29: Shema povezave za povratni regulacijski sistem.

5.1 PROPORCIONALNI (P) REGULATOR

Namen eksperimenta je prikaz karakteristike P regulacijskega sistema in odgovor sistema na spremembo referenčne vrednosti ali motnje v procesu. Motnjo bo predstavljalo odprtje stranskega ventila V1. Ko se v sistemu pojavi dodatni iztok, se v osnovnem cevovodu pretok zmanjša.

Na začetku eksperimenta naj bo črpalka ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

POSTOPEK:

V regulator vstavimo naslednje vrednosti za parametre P regulatorja:

parameter	koda	nastavitev	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	50	%
integracijski čas	'Int'	0	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec

Opomba: Efektivno proporcionalno ojačanje je 5-kratnik vrednost nastavitve na regulatorju (npr. Prop = 10 %, pomeni PB = 50 %).

Iz zgornje tabele vidimo, da je samo prvi parameter različen od 0, kar potrjuje, da gre za P regulator.

Vzpostavitev začetnega stacionarnega stanja:

- Regulator damo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke F in nato AUTO/MANUAL tipke. Rdeča lučka zasveti.
- Izhodno vrednost regulatorja nastavimo na 100 %.
- Vključimo črpalko in z ročnim ventilom V2 nastavimo pretok na 3000 cm³/min.
- Izhodno vrednost regulatorja zmanjšamo s 100 % na takšno vrednost, da doseže pretok v sistemu, ki ga spremljamo na regulatorju, vrednost čim bližje 50 %. Če želimo, da se pretok zmanjša, moramo izhod iz regulatorja zmanjšati. Če želimo, da se pretok poveča, izhod iz regulatorja povečamo. Pri tem NE premikamo več ventila V2!
- Ko je dosežena zelena vrednost pretoka okoli 50 %, regulator nastavimo na avtomatski način obratovanja s pritiskom AUTO/MANUAL tipke in rdeča lučka ugasne.

1. nastavitev parametrov P regulatorja (ProP = 50 %, Int = 0 min, dEr = 0 s)

Najprej preučimo **vpliv motnje** na odgovor sistema:

1. Hitro odpremo ročni ventil V1. Opazujemo spreminjanje pretoka. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V1 in opazujemo spreminjanje pretoka. Zabeležimo, pri kateri vrednosti se pretok ustali.

V naslednjem koraku opazujemo **vpliv referenčne vrednosti** na odziv sistema:

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V1 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od zelene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo končno vrednost.

2. nastavitev parametrov P regulatorja (ProP = 30 %, Int = 0 min, dEr = 0 s)

Na regulatorju nastavimo vrednost proporcionalnega ojačanja na 30 % in ponovimo poskus z vneseno motnjo (koraka 1 in 2) in s spremembo referenčne vrednosti (koraka 3 in 4). Opazujemo odgovor sistema in zabeležimo odmike od referenčnih vrednosti.

3. nastavitev parametrov P regulatorja (ProP = 10 %, Int = 0 min, dEr = 0 s)

Korake 1, 2, 3 in 4 ponovimo še s proporcionalnim ojačanjem 1 %. Ker je proporcionalno ojačanje zelo nizko, lahko postane sistem nestabilen, kar opazimo kot znatno nihanje pretoka. Če se to zgodi, eksperimenta ni mogoče izvesti.

Opazanja:

- a) Zapišite, ali proporcionalni regulator odpravi odmik od zelene vrednosti.
- b) Zapišite, kako vpliva zmanjševanje proporcionalnega ojačanja na velikost odmika od zelene vrednosti pri vnosu motnje in spremembi referenčne vrednosti.
- c) Zapišite, kako vpliva zmanjševanje proporcionalnega ojačanja na stabilnost sistema.

5.2 PROPORCIONALNO INTEGRIRNI (PI) REGULATOR

Namen eksperimenta je prikaz karakteristike PI regulacijskega sistema in odgovor sistema na spremembo referenčne vrednosti ali motnje v procesu. Nastavitve ventilov pustimo enake, kot so bile ob zaključku predhodnega eksperimenta, tj. odprta ventila V2 in V4 ter zaprt ventil V1. Črpalka deluje.

POSTOPEK:

V regulator vstavimo naslednje vrednosti za parametre PI regulatorja:

parameter	koda	nastavitev	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	50	%
integracijski čas	'Int'	0,2	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec

Opomba: Efektivno proporcionalno ojačanje je 5-kratnik vrednost nastavitve na regulatorju (npr. Prop = 10 %, pomeni PB = 50 %).

Iz zgornje tabele vidimo, da sta prva dva parametra različna od 0, kar potrjuje, da gre za PI regulator.

Pomembno

Pogosto se ob nastavitvi parametrov PI regulatorja, ki so podane v zgornji tabeli, regulator sam vrne v stacionarno stanje, kar pomeni, da znaša pretok okoli 50 %. Če temu ni tako, ponovimo postopek vzpostavitve stacionarnega stanja po naslednjih korakih.

Vzpostavitev začetnega stacionarnega stanja:

- Regulator damo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke F in nato AUTO/MANUAL tipke. Rdeča lučka zasveti.
- Izhodno vrednost regulatorja nastavimo na 100 %.
- Z ročnim ventilom V2 nastavimo pretok na 3000 cm³/min.
- Izhodno vrednost regulatorja spreminjamo tako dolgo, da doseže pretok v sistemu 50 %. Pri tem NE premikamo več ventila V2!
- Regulator nastavimo na avtomatski način obratovanja s pritiskom AUTO/MANUAL tipke in rdeča lučka ugasne.

Pred izvajanjem naslednjih eksperimentov mora biti regulator v **avtomatskem** načinu obratovanja; rdeča lučka **ne** sveti.

1. nastavitev parametrov PI regulatorja (ProP = 50 %, Int = 0,2 min, dEr = 0 s)

Najprej preučimo **vpliv motnje** na odgovor sistema:

1. Hitro odpremo ročni ventil V1. Opazujemo spreminjanje pretoka. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V1 in opazujemo spreminjanje pretoka. Zabeležimo, pri kateri vrednosti se pretok ustali.

V naslednjem koraku opazujemo **vpliv referenčne vrednosti** na odziv sistema:

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V1 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od želene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo končno vrednost.

2. nastavitev parametrov PI regulatorja (ProP = 50 %, Int = 1 min, dEr = 0 s)

Na regulatorju povečamo integracijski čas z 0,2 min na 1 min in ponovimo poskus z vneseno motnjo (koraka 1 in 2) in s spremembo referenčne vrednosti (koraka 3 in 4). Opazujemo **hitrost** odziva in izračunamo odmik od referenčne vrednosti.

3. nastavitev parametrov PI regulatorja (ProP = 25 %, Int = 0,2 min, dEr = 0 s)

Na regulatorju nastavimo vrednost proporcionalnega ojačanja na 25 % in integracijski čas na 0,2 min ter ponovimo poskus z vneseno motnjo (koraka 1 in 2) in s spremembo referenčne vrednosti (koraka 3 in 4). Opazujemo **hitrost** odziva in izračunamo odmik od referenčne vrednosti.

Opazanja:

- a) Ali PI regulator odpravi odmik od želene vrednosti?
- b) Kako vpliva integracijski čas na hitrost odziva (primerjava **1. in 2.** nastavitve)?
- c) Kako vpliva proporcionalno ojačanje na hitrost in stabilnost odziva (primerjava **1. in 3.** nastavitve).
- d) nastavitve).

5.3 PROPORCIONALNO DIFERENČNI (PD) REGULATOR

Namen eksperimenta je prikaz karakteristike PD regulacijskega sistema in odgovor sistema na spremembo referenčne vrednosti ali motnje v procesu. Nastavitve ventilov pustimo enake, kot so bile ob zaključku predhodnega eksperimenta, tj. odprta ventila V2 in V4 ter zaprt ventil V1. Črpalka deluje.

POSTOPEK:

V regulator vstavimo naslednje vrednosti za parametre PD regulatorja:

parameter	koda	nastavitev	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	50	%
integracijski čas	'Int'	0	min
diferenčni čas	'dEr'	6	sec

Opomba: Efektivno proporcionalno ojačanje je 5-kratnik vrednost nastavitve na regulatorju (npr. Prop = 10 %, pomeni PB = 50 %).

Ker sta prvi in zadnji parameter različna od 0, gre za PD regulator.

Pomembno

Včasih se ob nastavitvi parametrov PD regulatorja zgodi, da postane sistem nestabilen, tj. pretok znatno niha, že pred vnosom motnje. Pretok je namreč 'živahna' veličina, ki nenehno nekoliko niha, kar diferencirni člen še ojača. Zato PD regulacija ni povsem primerna za pretočne sisteme. Če postane sistem nestabilen, prekinemo z izvajanjem eksperimenta 5.3. in nadaljujemo s poglavjem 6.

Vzpostavitev začetnega stacionarnega stanja:

Če stacionarno stanje ni vzpostavljeno, kar pomeni, da pretok ni 50 %, ponovimo postopek po naslednjih korakih:

- Regulator damo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke F in nato AUTO/MANUAL tipke. Rdeča lučka zasveti.
- Izhodno vrednost regulatorja nastavimo na 100 %.
- Z ročnim ventilom V2 nastavimo pretok na 3000 ml/min.
- Izhodno vrednost regulatorja spreminjamo tako dolgo, da doseže pretok v sistemu 50 %.
Pri tem NE premikamo več ventila V2!
- Regulator nastavimo na avtomatski način obratovanja s pritiskom AUTO/MANUAL tipke in rdeča lučka ugasne.

Pred izvajanjem naslednjih eksperimentov mora biti regulator v **avtomatskem** načinu obratovanja; rdeča lučka **ne** sveti.

1. nastavitev parametrov PD regulatorja (ProP = 50 %, Int = 0 min, dEr = 6 s)

Najprej preučimo **vpliv motnje** na odgovor sistema:

1. Hitro odpremo ročni ventil V1. Opazujemo spreminjanje pretoka. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V1 in opazujemo spreminjanje pretoka. Zabeležimo, kje se pretok ustali.

V naslednjem koraku opazujemo **vpliv referenčne vrednosti** na odziv sistema:

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V1 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in odmik od želene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se pretok ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost.

2. nastavitev parametrov PD regulatorja (ProP = 50 %, Int = 0 min, dEr = 20 s)

Na regulatorju povečamo diferenčni čas s 6 s na 20 s in ponovimo poskus z vneseno motnjo (koraka 1 in 2) in s spremembo referenčne vrednosti (koraka 3 in 4). Ali diferenčni čas vpliva na odmik od željene vrednosti?

3. nastavitev parametrov PD regulatorja (ProP = 20 %, Int = 0 min, dEr = 6 s)

Na regulatorju nastavimo vrednost proporcionalnega ojačanja na 20 % in diferenčni čas na 6 s ter ponovimo poskus z vneseno motnjo (koraka 1 in 2) in s spremembo referenčne vrednosti (koraka 3 in 4). Opazujemo vpliv proporcionalnega ojačanja na odgovor sistema.

Opažanja:

Primerjajte P, PI in PD regulacijo ter zapišite, katera je za proces najprimernejša in zakaj.

6 DOLOČITEV OPTIMALNIH PARAMETROV P, PI IN PID REGULATORJEV

V praksi je optimalne parametre težko določiti, saj so optimalni parametri za en regulacijski sistem le redko optimalni tudi za drugega. Vrednost parametrov je močno odvisna od vrste in lastnosti reguliranega procesa.

6.1 ZIEGLER - NICHOLSOVA METODA

Namen eksperimenta je ugotoviti, pri kateri vrednosti proporcionalnega ojačanja postane sistem ob vnosu motnje nestabilen.

POSTOPEK:

Vezava je enaka kot pri prejšnjih eksperimentih. Vrednost proporcionalnega ojačanja nastavimo na 50 % (ProP = 50 %). Integracijski in diferenčni čas nastavimo na 0 (Int = dEr = 0).

- V sistem uvedemo motnjo, tako da odpremo ventil V1.
- Če sistem ostane stabilen, zmanjšamo proporcionalno ojačanje na 45 % in zapremo ventil V1.
- Proporcionalno ojačanje naprej zmanjšujemo v korakih po 5 % in ob vsakem zmanjšanju vnesemo v sistem motnjo tako, da odpremo in zapremo ventil (V1). To nadaljujemo do vrednosti proporcionalnega ojačanja 25 %.
- Pri vrednostih proporcionalnega ojačanja manjših od 25 % zmanjšujemo v intervalih po 1 % in enako kot prej vnašamo motnjo, tako da izmenično odpiramo oz. zapiramo (V1). Pomembno je, da proporcionalno ojačanje ves čas postopoma zmanjšujemo in ga ne povečujemo.
- Postopek nadaljujemo, dokler ni nastavljeno proporcionalno ojačanje tako majhno, da postane sistem ob odprtju (ali zaprtju) ventila V1 nestabilen. To opazimo kot nihanje pretoka na merilniku in pri avtomatskem ventilu, ki se nenehno zapira in odpira. Proporcionalno ojačanje, pri katerem se to zgodi, imenujemo kritično proporcionalno ojačanje in je petkratnik nastavljene vrednosti ProP ($P_{B_u} = 5 \cdot \text{ProP}_u$).
- Hitrost pisalnika povečamo na 2 mm/s, da bodo vijuge črnega pisala lepše vidne. Iz dobljenih vijug odčitamo razdaljo med dvema vrhoma (v mm) in jo pretvorimo v časovno periodo (P_u) izraženo v sekundah. Za to potrebujemo podatek o hitrosti pisala, ki si ga zabeležimo.

Izračun:

Z dobljenima podatkom o kritičnem proporcionalnem ojačanju (PB_u) in časovni periodi nihanja (P_u) izračunajte parametre P, PI in PID regulatorjev. Uporabite enačbe (3) do (8).

6.2 METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN - COONOVA METODA)**POSTOPEK:**

Aparatura je povezana kot za običajno povratno regulacijo pri prejšnjih eksperimentih.

- Regulator nastavimo na ročni način obratovanja.
- Izhod iz regulatorja naj bo 50 %. Počakamo, da se sistem ustali.
- Pisalnik nastavimo na višjo hitrost zapisovanja (priporočamo 10 mm/s).
- Vnesemo stopničasto motnjo (ΔA) tako, da spremenimo vrednost na izhodu iz regulatorja s 50 % na 70 %.
- S pisalnikom posnamemo odziv sistema, t.j. spremembo pretoka $\Delta B =$ končni pretok – začetni pretok.
- V točki maksimalnega naklona reakcijske krivulje potegnemo tangento, ki ji izračunamo naklon S v %/s.
- Razdalja od nastopa motnje do tam, kjer prične motnja vplivati na procesno veličino, predstavlja mrtvi čas t_d . Pri tem moramo upoštevati zamik peres.

Izračun:

Z dobljenimi vrednostmi izračunajte parametre P, PI in PID regulatorjev. Uporabite enačbe (9) do (16). Primerjajte izračunane vrednosti.