



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.

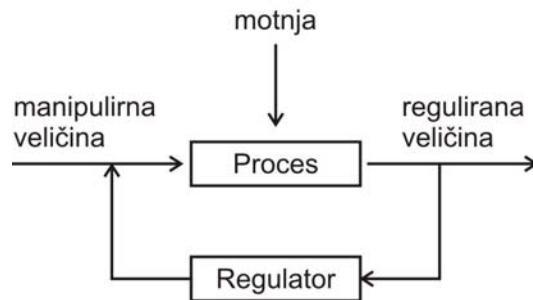
VSEBINA

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

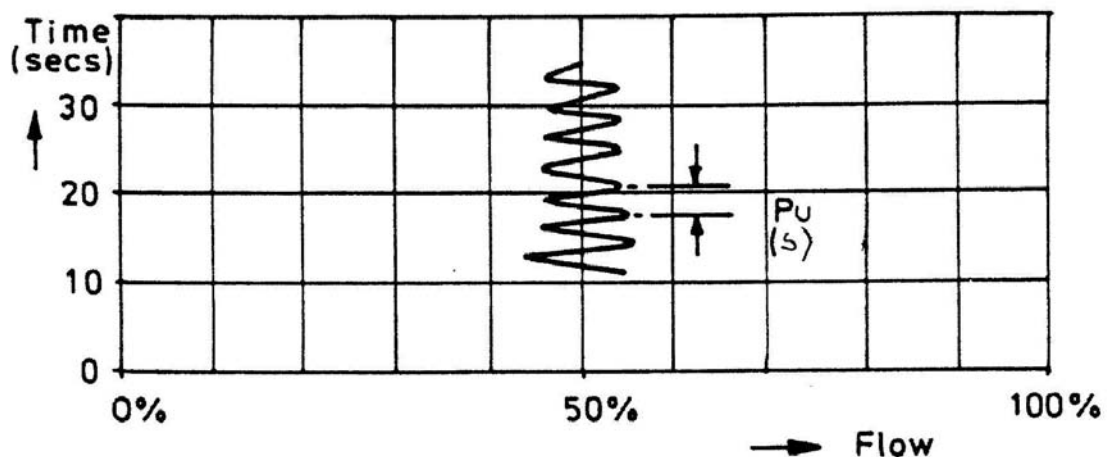
V praksi je optimalne parametre težko določiti, saj so parametri optimalni za en regulacijski sistem le redkokdaj optimalni tudi za drugega. Vrednost parametrov je močno odvisna od vrste in lastnosti reguliranega procesa.

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:

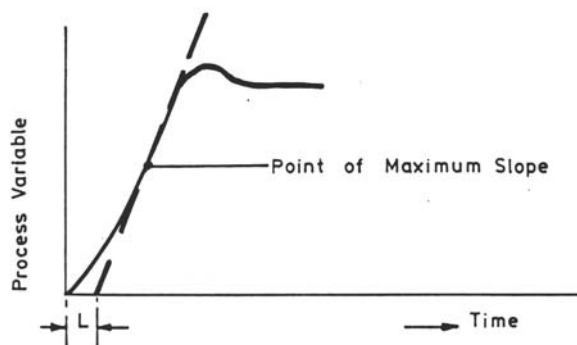
$$PB = 1,7 \cdot PB_u \quad (6)$$

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

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

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

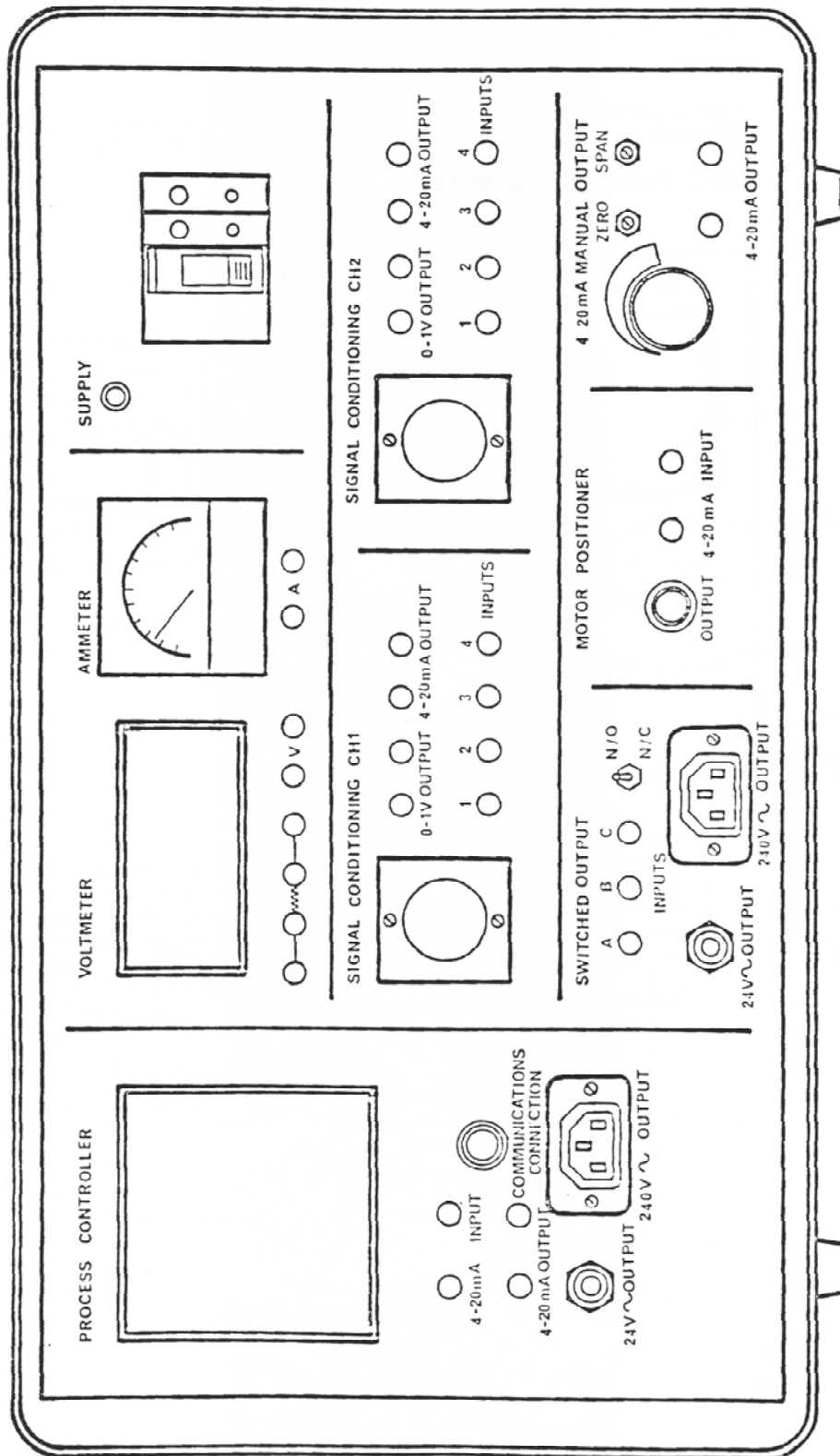
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

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.

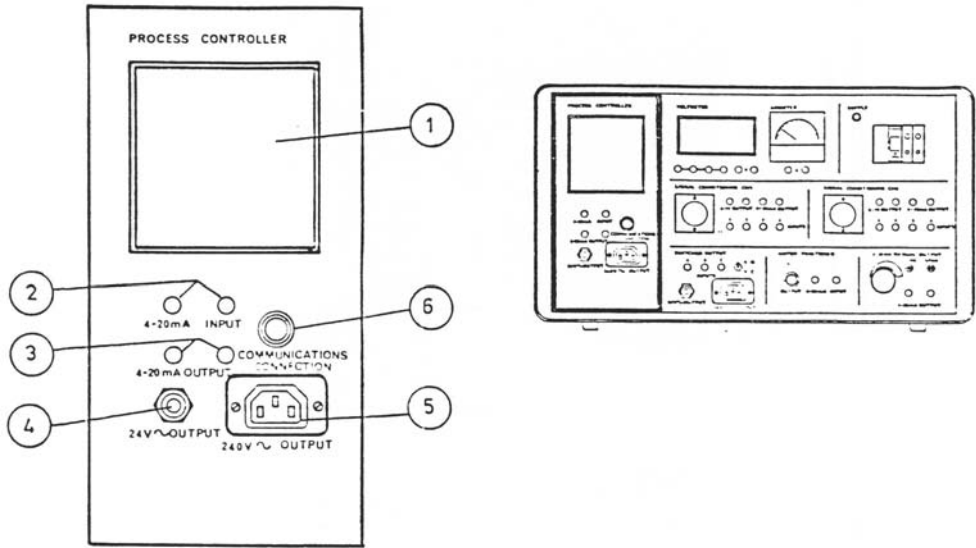
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 5), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja 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.

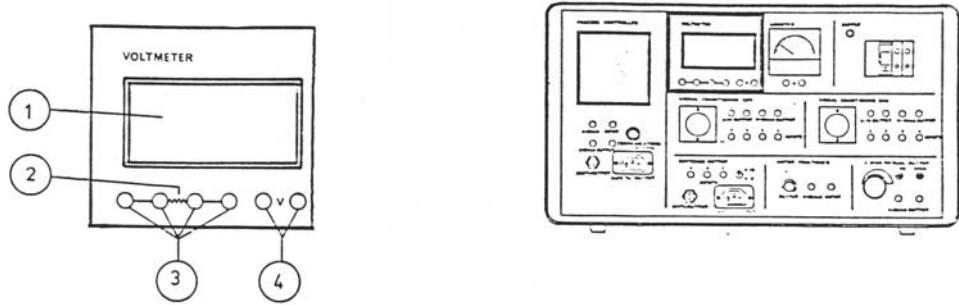
Ampermeter (1, Slika 8) z območjem meritve 0 – 20 mA omogoča meritev 4 – 20 mA električnega signala, ki ga vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (2). Za razliko od voltmetra je ampermeter namenjen le približni meritvi.



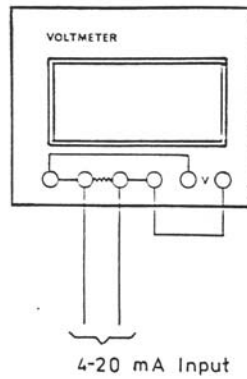
Slika 4: Električna konzola PCT10.



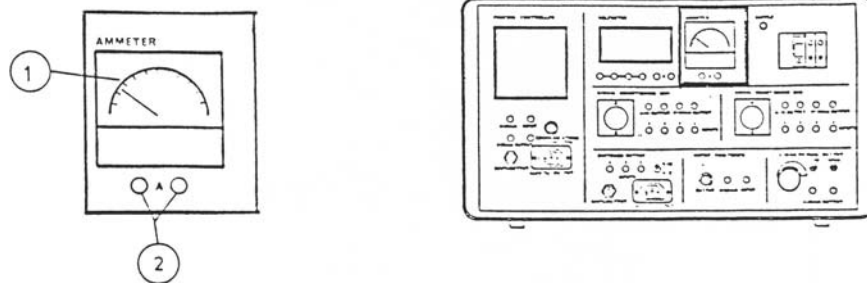
Slika 5: Procesni regulator.



Slika 6: Voltmeter.

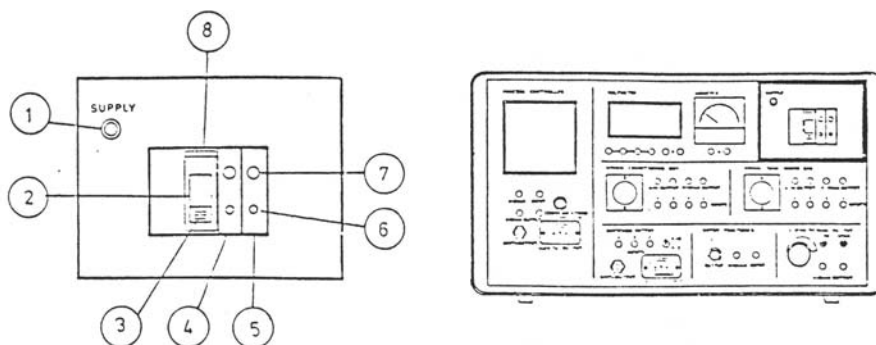


Slika 7: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



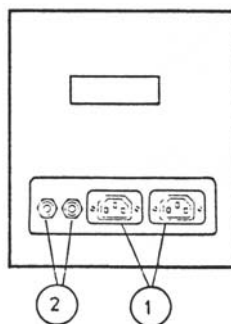
Slika 8: Ampermeter.

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).



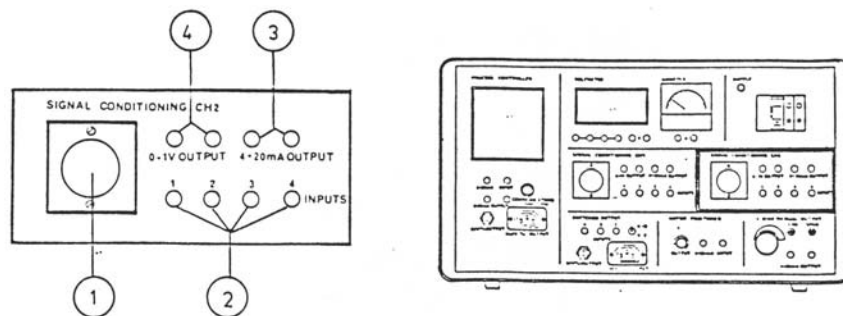
Slika 9: Sistem za električno napajanje.

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.



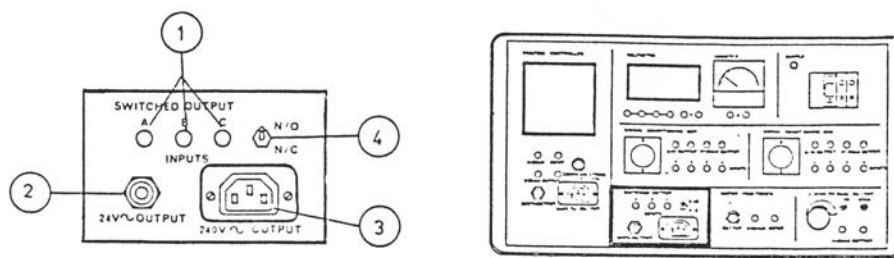
Slika 10: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

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).



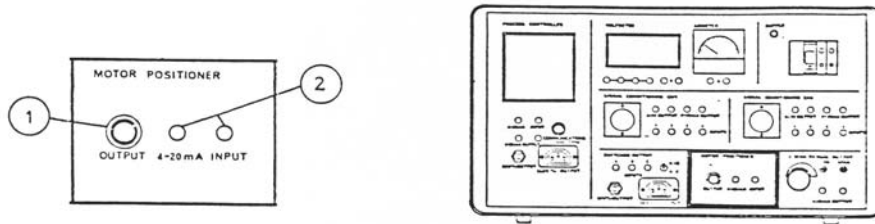
Slika 11: Prikluček za procesne senzorje.

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.



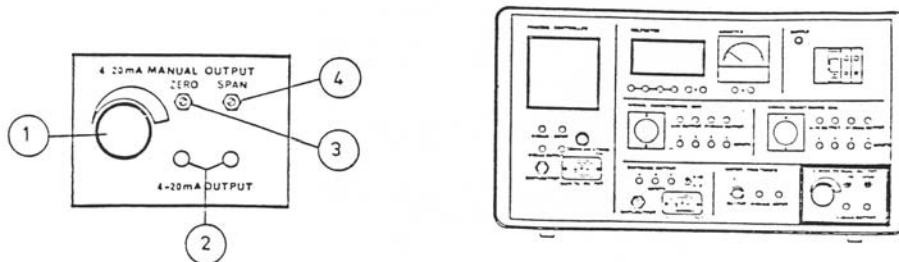
Slika 12: Izhod stikala.

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).

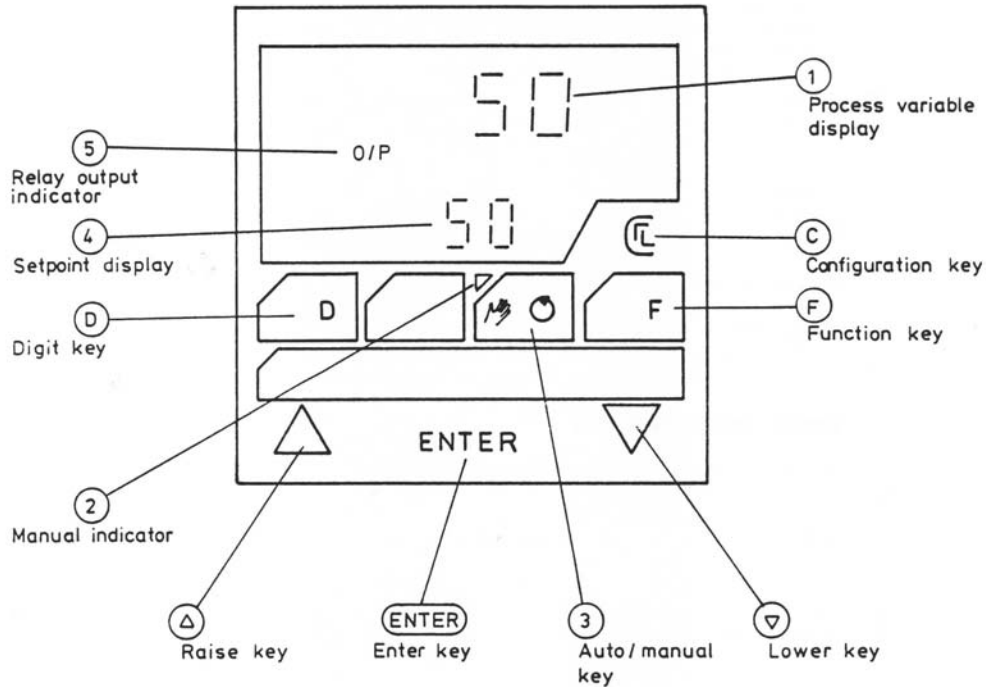


Slika 14: Ročno nastavljeni izhod.

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

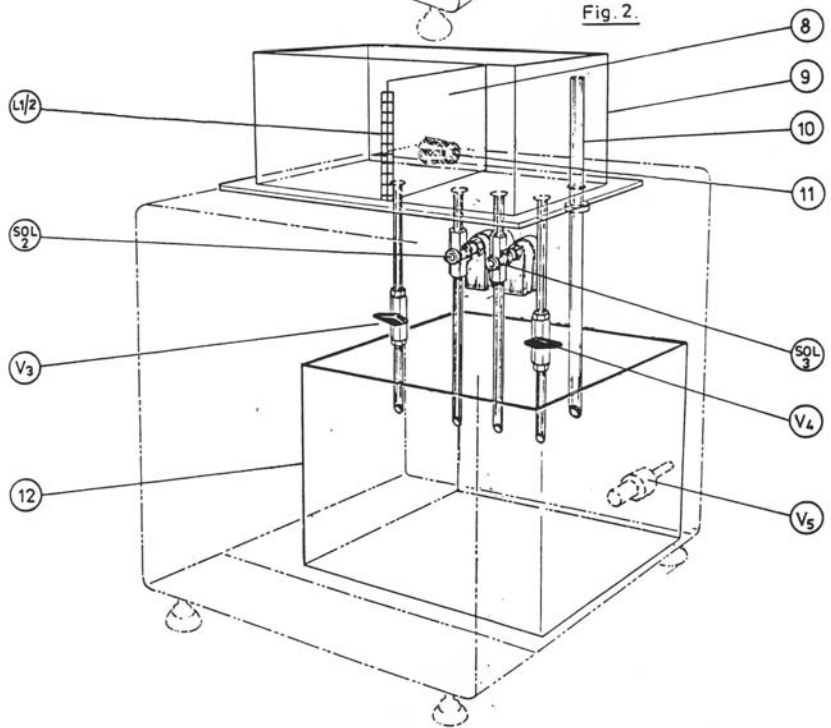
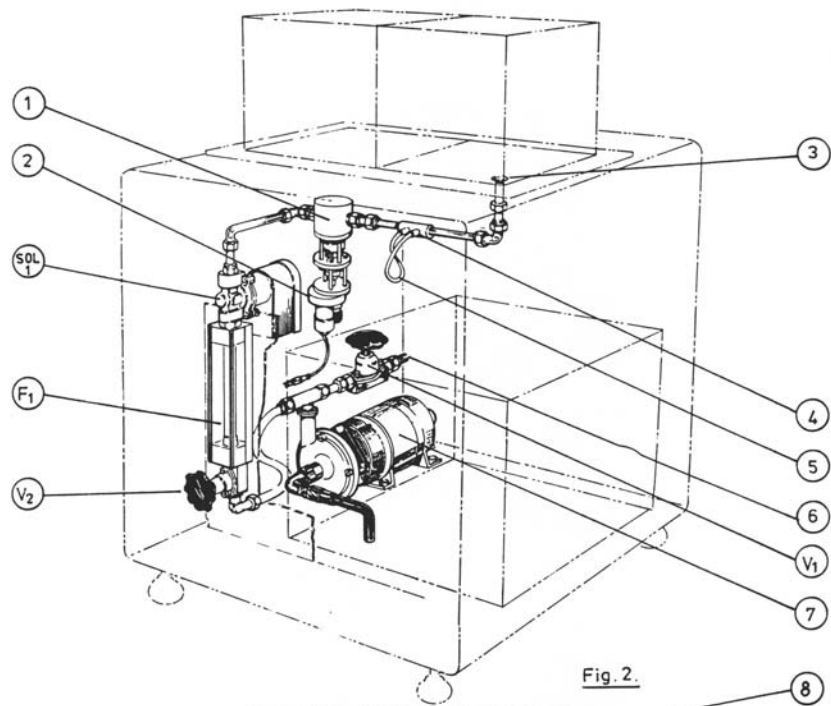
Procesni modul PCT9 je namenjen kontroli pretoka in nivoja gladine v procesnem rezervoarju. Ker je za obratovanje modula potrebno električno napajanje, ga povežemo z električno konzolo PCT10.

Procesni modul vsebuje:

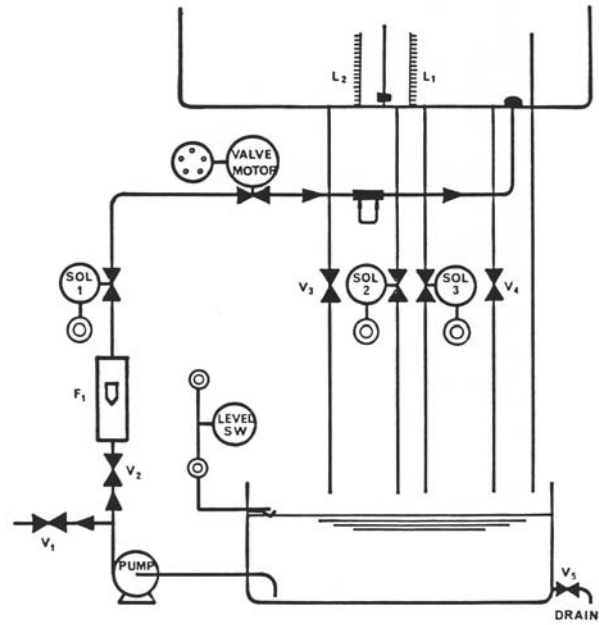
- zbirni rezervoar,
- procesni rezervoar,
- črpalko,
- rotameter,
- ročni ventil,
- avtomatski ventil,
- solenoidne ventile,
- ventil za izpust,
- cevno omrežje,
- nivojno stikalo.

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.

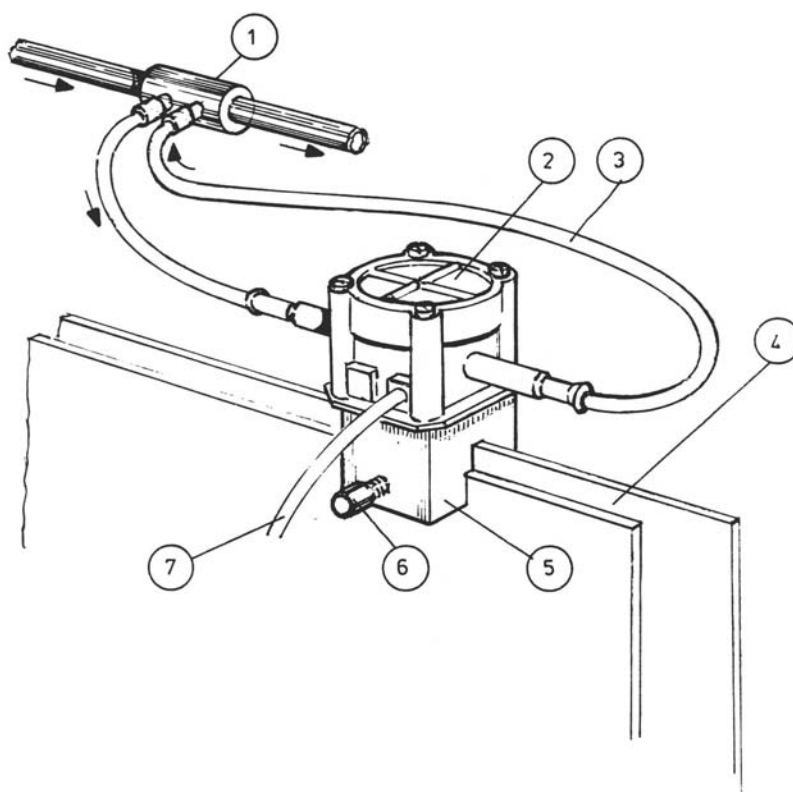


Slika 17: Shematski diagram procesnega modula PCT9.

5 MODUL ZA KONTROLO HITROSTI PRETOKA – PCT15

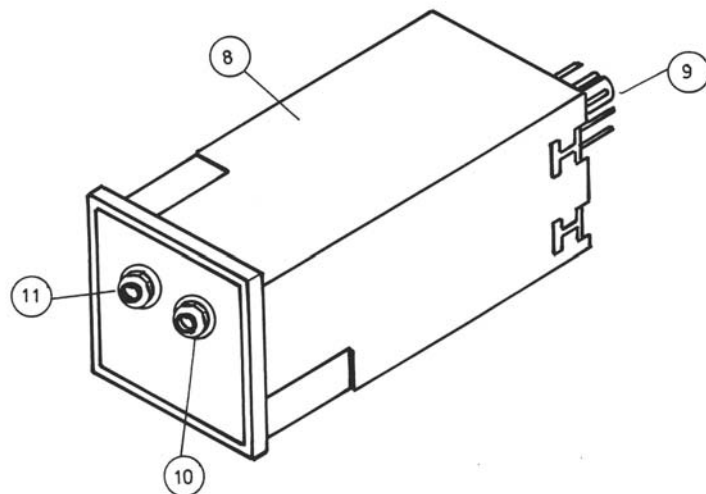
Modul PCT15 je namenjen meritvi hitrosti pretoka in omogoča demonstracijo osnovnih odprto- in zaprtozančnih regulacijskih problemov s hitrim odzivom. Namenjen je povezavi z modulom PCT9 in električno konzolo PCT0.

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

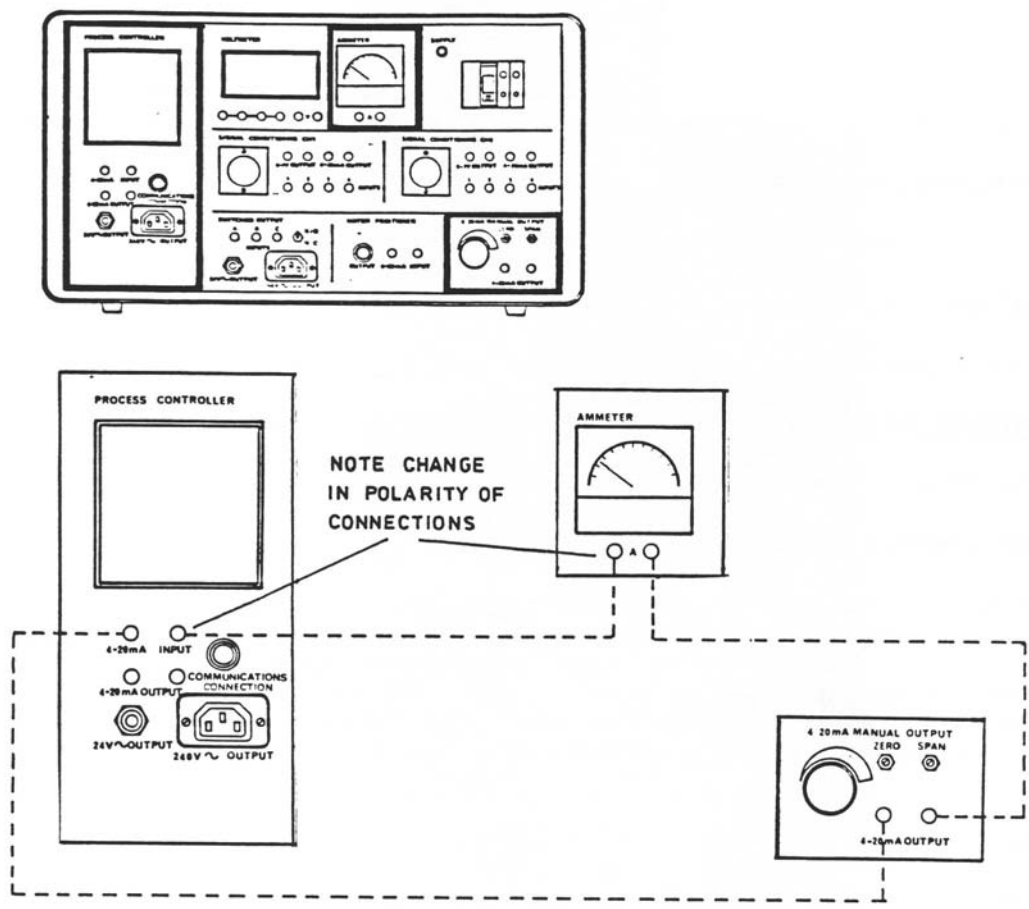
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in velikega števila porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, katerih seštevek ustreza upor vira napetosti.

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.



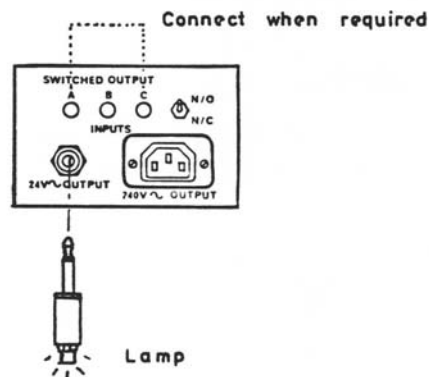
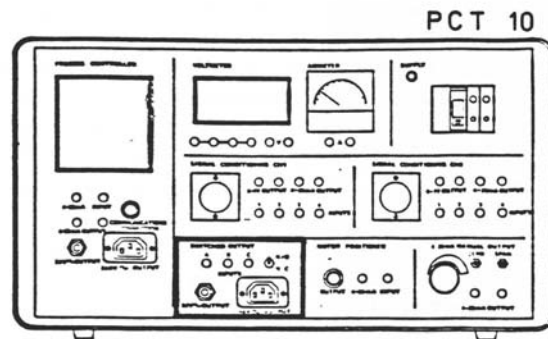
Slika 20: Postavitev 4 -20 mA tokovne zanke.

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:

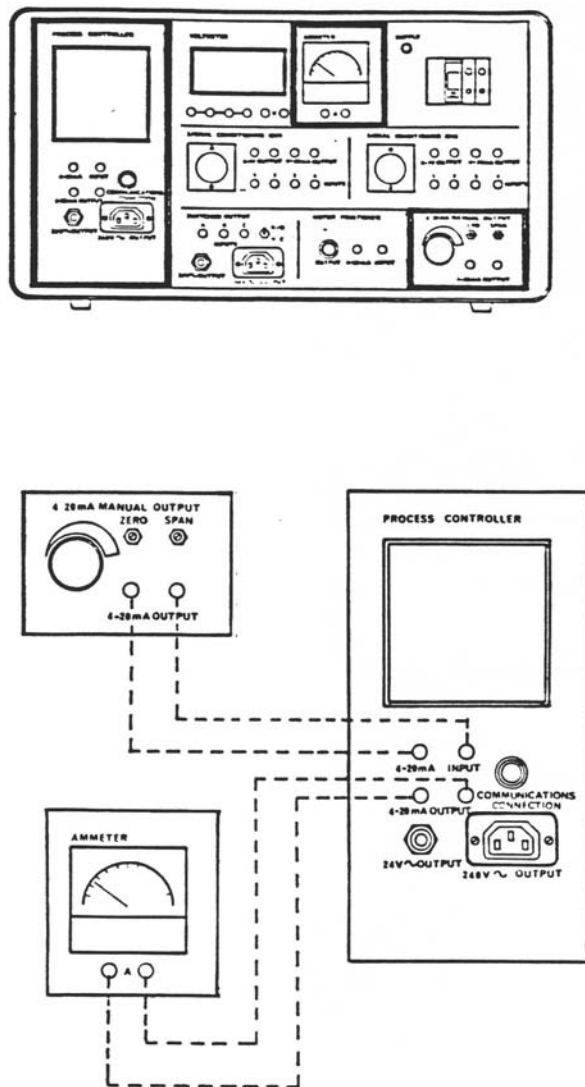
V 24 VAC priključek na izhodu stikala vtaknemo 24 V indikatorsko lučko. Lučka sveti le takrat, ko je na izhodu napetost. Stikalo nastavimo na N/O položaj. Zvežemo priključka A in C z rumenim kablom, kot kaže Slika 21 in opazujemo indikatorsko lučko. Stikalo nastavimo na N/C položaj in ponovno opazujemo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

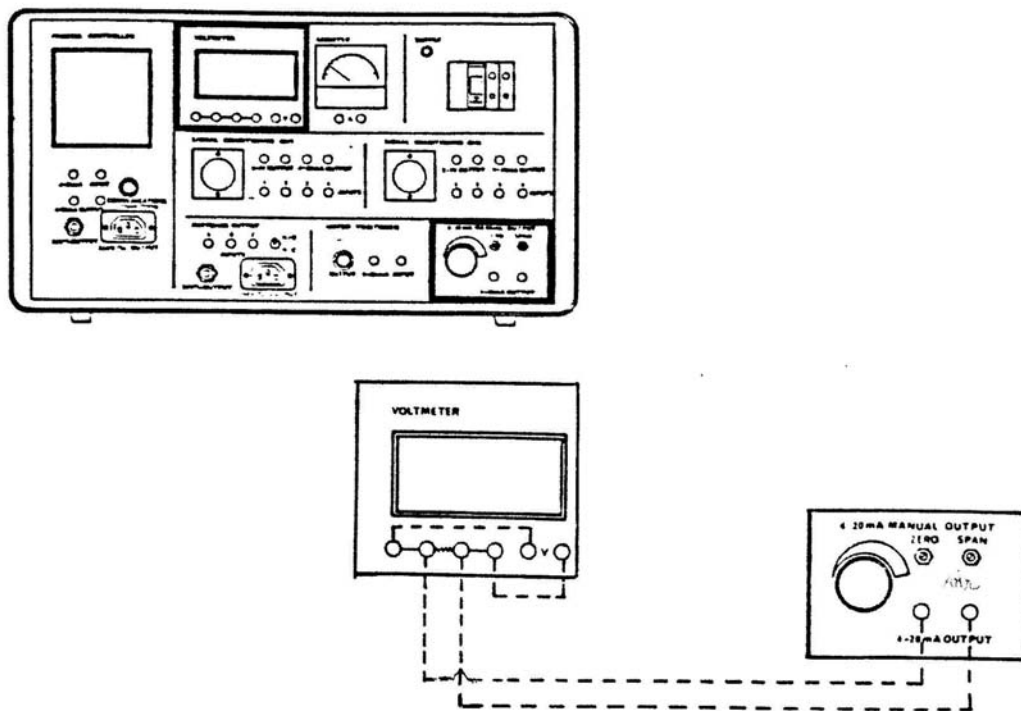
2 UMERITVE

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 %?

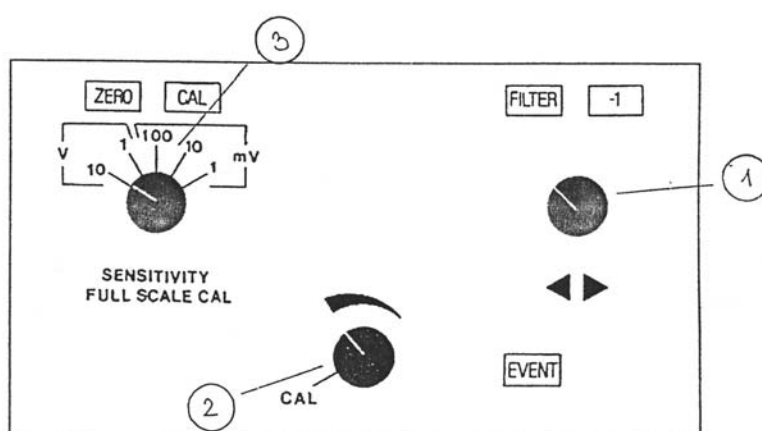
Če je odgovor na obe vprašanji 'DA', umeritev ni potrebna. Če je odgovor na vsaj eno od zgornjih vprašanj 'NE', umerimo regulator po naslednjih korakih:

- 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.

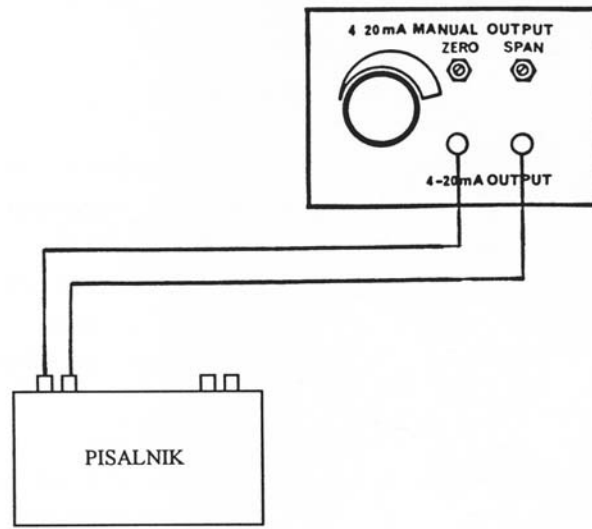


Slika 24: Pisalnik.

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

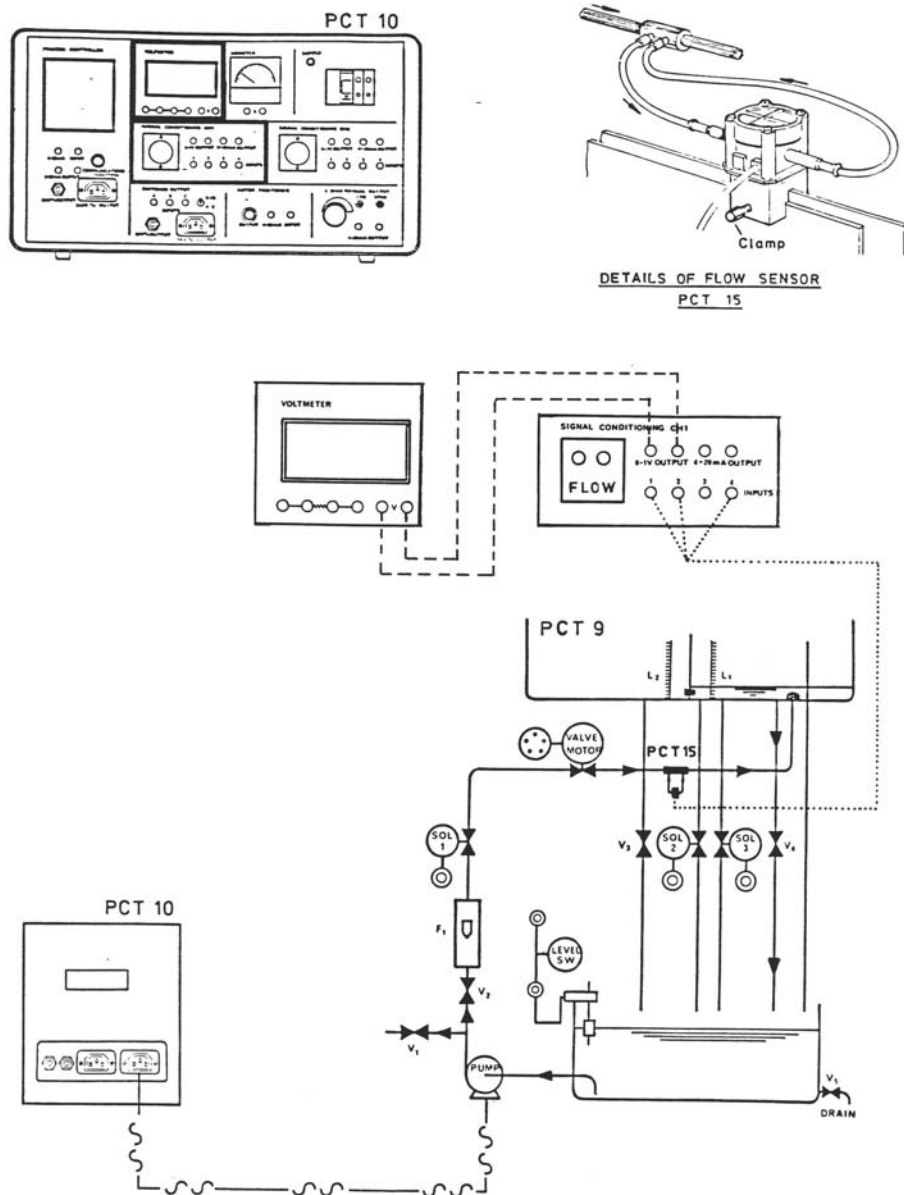
Pretočni senzor je pritrjen na čelno steno procesnega modula PCT9 in s plastičnimi cevmi povezan z obtočnim sistemom. Prirejevalni modul za pretok je vstavljen v enega od priključkov na električni konzoli PCT10. Pred pričetkom dela na procesnem modulu PCT9 moramo pretočni senzor umeriti. Izvedli bomo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

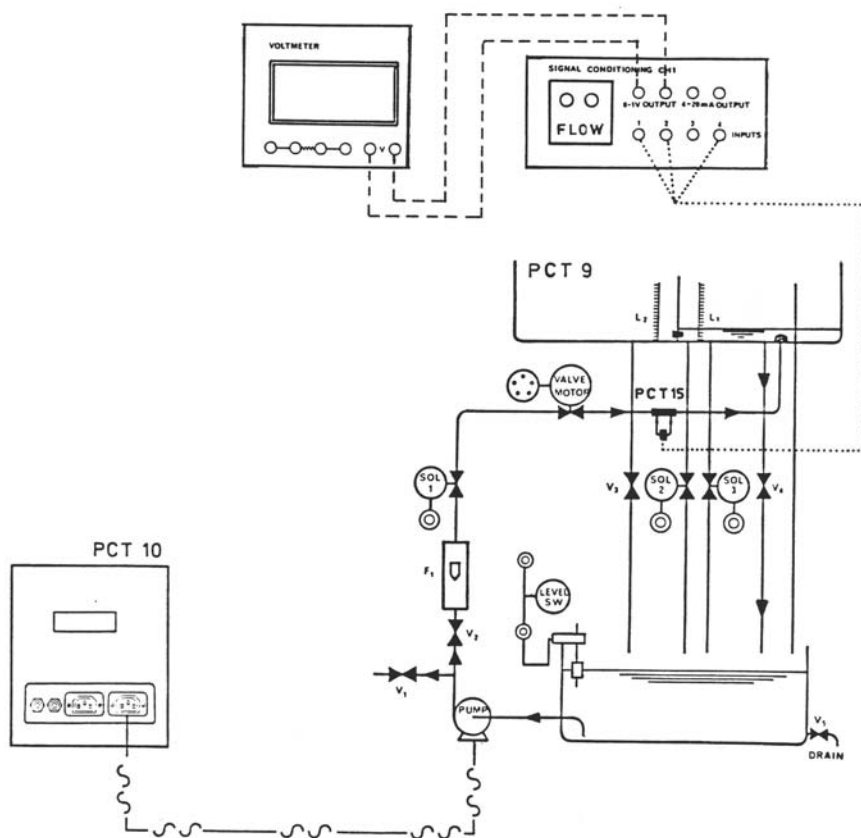
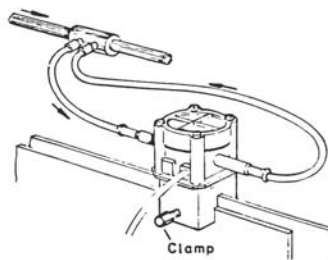
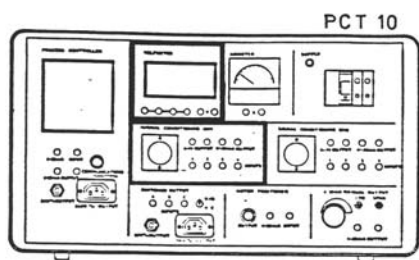
O histereznem efektu govorimo, ko je odčitek senzorja odvisen od poti, po kateri se merilni točki približamo. Na začetku eksperimenta naj bo črpalka ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

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.



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 %;
- Vklopimo 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:

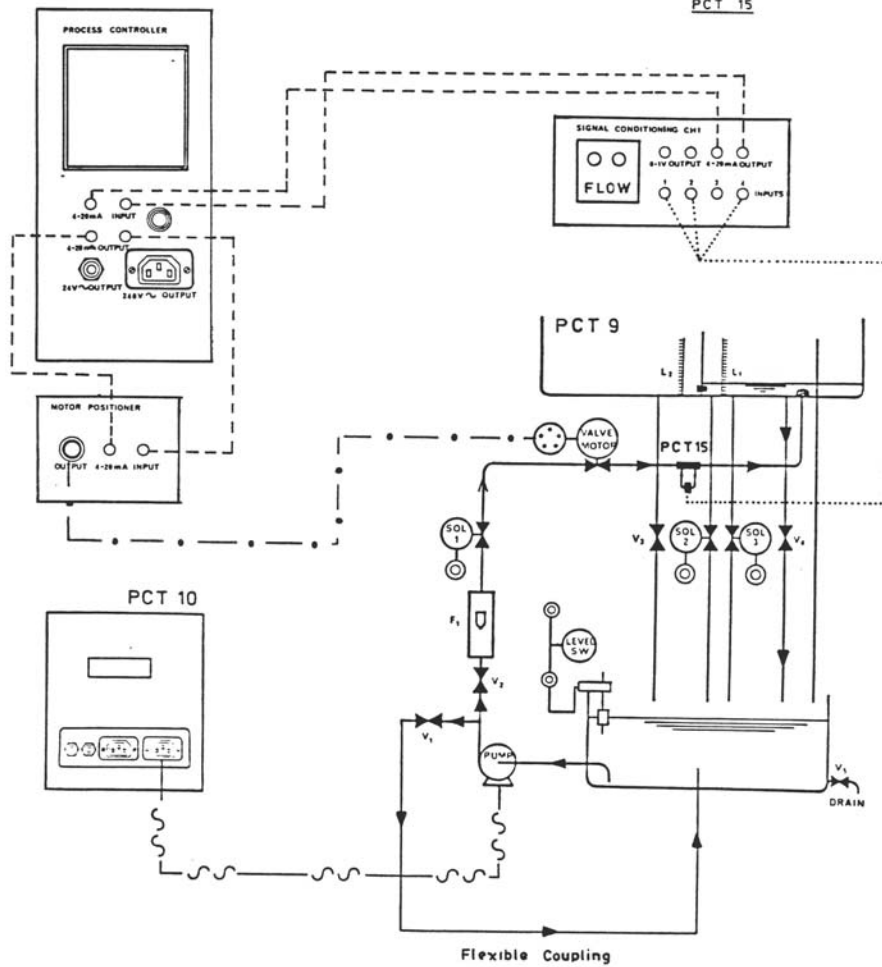
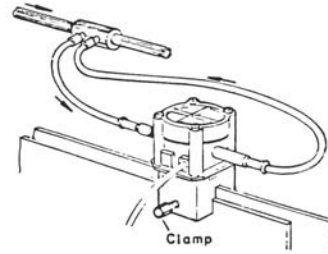
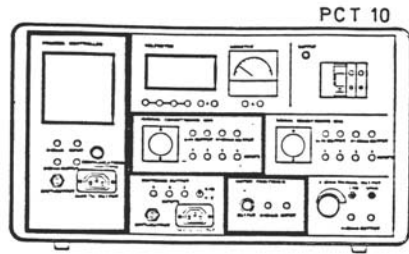
Izhod iz regulatorja oz. odprtost avt. ventila (%)	Pretok (%)	Pretok (cm^3/min)

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?



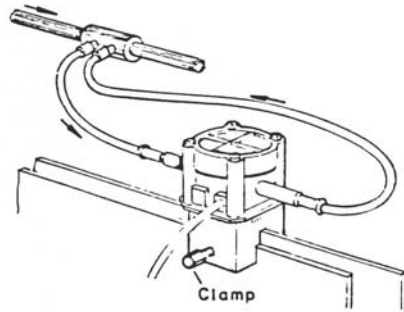
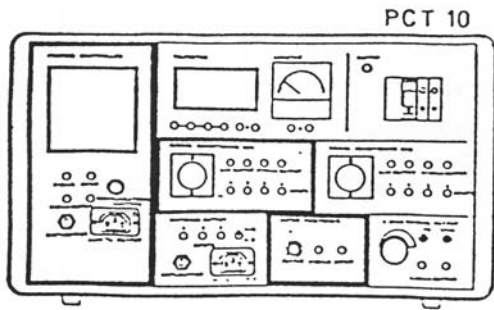
Slika 28: Shema povezave za določitev linearnosti avtomatskega ventila.

5 POVRATNI REGULACIJSKI SISTEM

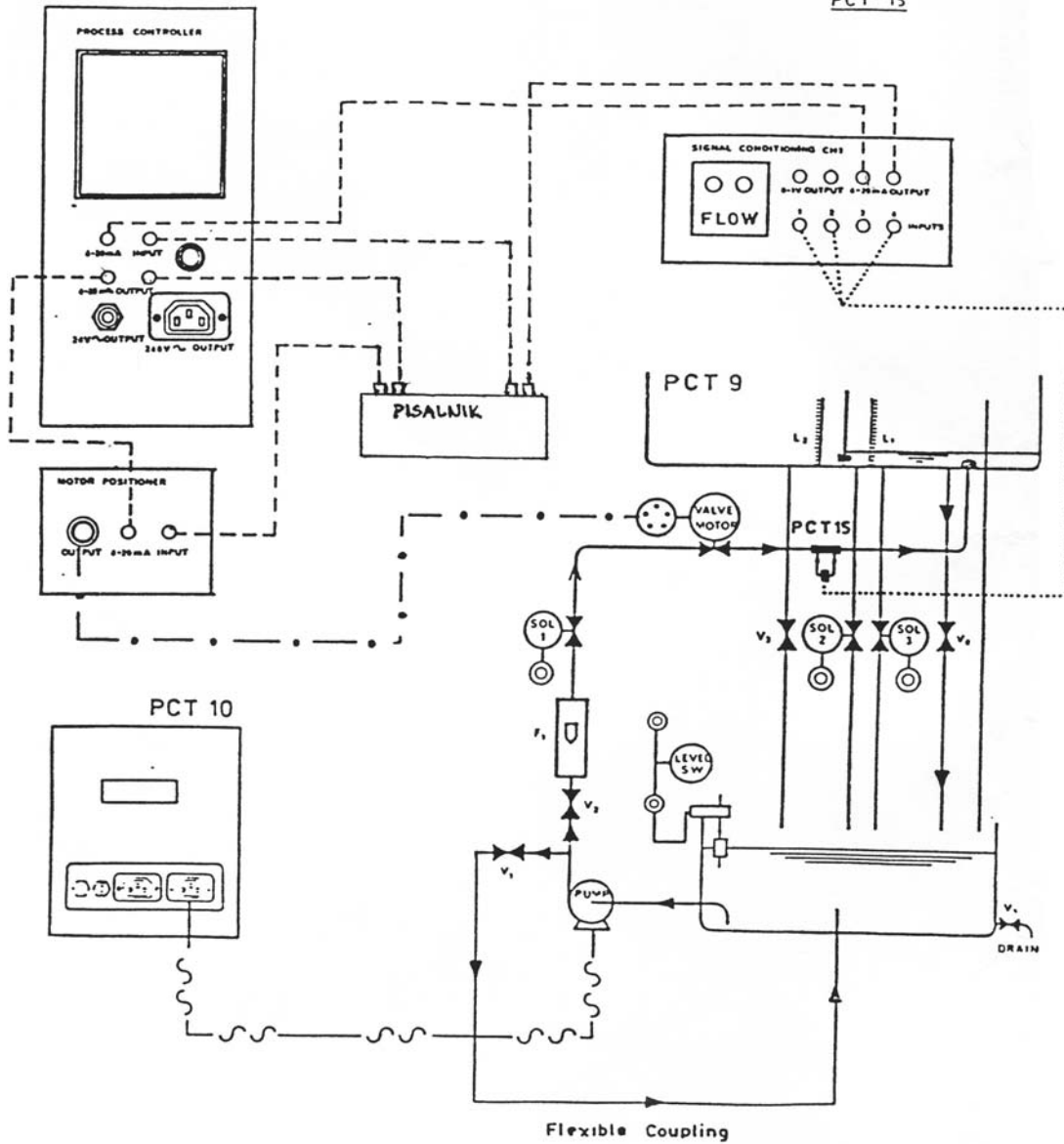
Aparaturo povežemo, kot kaže Slika 29. Črpalka naj bo ugasnjena, ventila (V2) in (V4) naj bosta odprta.

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 $\Delta B = \text{končni pretok} - \text{začetni pretok}$.
- 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.



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo*

Povratna regulacija tlaka

**Zbrano gradivo za 2. vajo
pri predmetu Dinamika procesov**

**Zdravko Kravanja
Zorka Novak Pintarič**

Maribor, 2009

2. vaja

NAMEN:

Spoznavanje s problemom vodenja in regulacije tlačnega sistema z uporabo tlačnega senzorja, pnevmatskega ventila in povratnega (angl. feedback) regulacijskega sistema. Spoznavanje z vrstami povratno-zančnih regulacijskih sistemov in določitev optimalnih parametrov PID regulatorja.

APARATURE:

- električna konzola PCT10: plastični izvijač,
24 V indikatorska lučka,
električni kabli,
- procesni modul PCT14: pretočni senzor,
prirejevalni modul,
- kompresor,
- pisalnik.

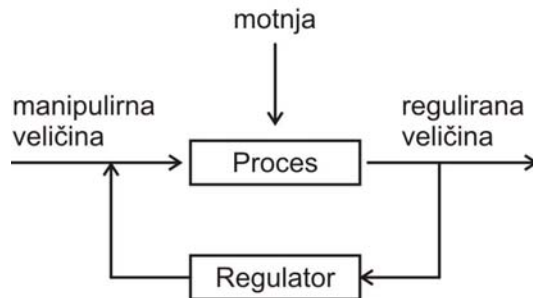
VSEBINA

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	TLAČNI MODUL – PCT 14.....	17
5	LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH:.....	21
III.	IZVEDBA VAJE	22
1	UVODNI EKSPERIMENTI.....	22
1.1	POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE	22
1.2	PRIKAZ UPORABE 24 VAC IN 240 VAC IZHODNIH SIGNALOV NA IZHODU STIKALA	24
1.3	NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA	25
2	UMERITVE.....	27
2.1	UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA.....	27
2.2	UMERITEV PROCESNEGA REGULATORJA	28
2.3	NASTAVITEV PISALNIKA.....	29
2.4	UMERITEV TLAČNEGA SENZORJA.....	30
3	HISTEREZA TLAČNEGA SENZORJA.....	33
4	LINEARNOST PNEVMATSKEGA VENTILA.....	35
5	POVRATNI REGULACIJSKI SISTEM.....	37
5.1	PROPORCIONALNI (P) REGULATOR	38
5.2	PROPORCIONALNO INTEGRIRNI (PI) REGULATOR.....	40
5.3	PROPORCIONALNO DIFERENČNI (PD) REGULATOR	42
6	DOLOČITEV OPTIMALNIH PARAMETROV P, PI IN PID REGULATORJEV	44
6.1	ZIEGLER - NICHOLSOVA METODA.....	44
6.2	METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN - COONOVA METODA)	45

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

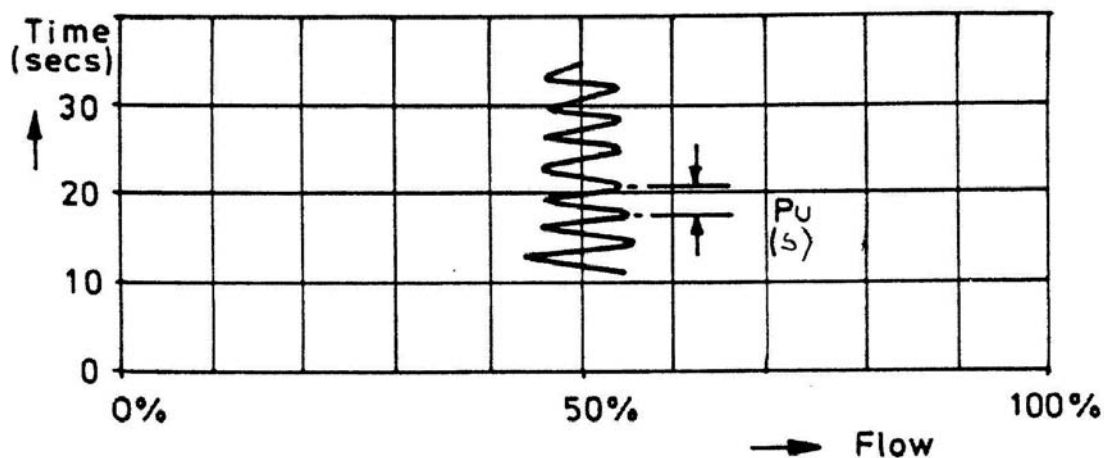
V praksi je optimalne parametre težko določiti, saj so parametri optimalni za en regulacijski sistem le redkokdaj optimalni tudi za drugega. Vrednost parametrov je močno odvisna od vrste in lastnosti reguliranega procesa.

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).



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:

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

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

Za PID regulator:

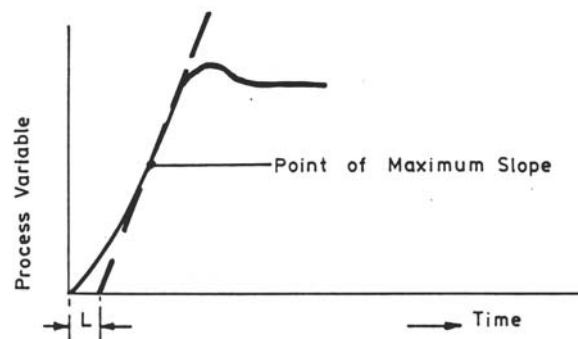
$$PB = 1,7 \cdot PB_u \quad (6)$$

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

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

2.2 METODA REAKCIJSKE KRIVULJE (COHEN – COONOVA METODA)

Povežemo aparaturo za običajno feedback regulacijo. Zanko prekinemo med regulatorjem in izvršilnim elementom in vnesemo stopničasto motnjo (ΔA). Posnamemo odziv sistema. V točki maksimalnega naklona reakcijske krivulje potegnemo tangento, ki ji izmerimo 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:

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

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

Za PID regulator:

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

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

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

II. OPIS APARATUR

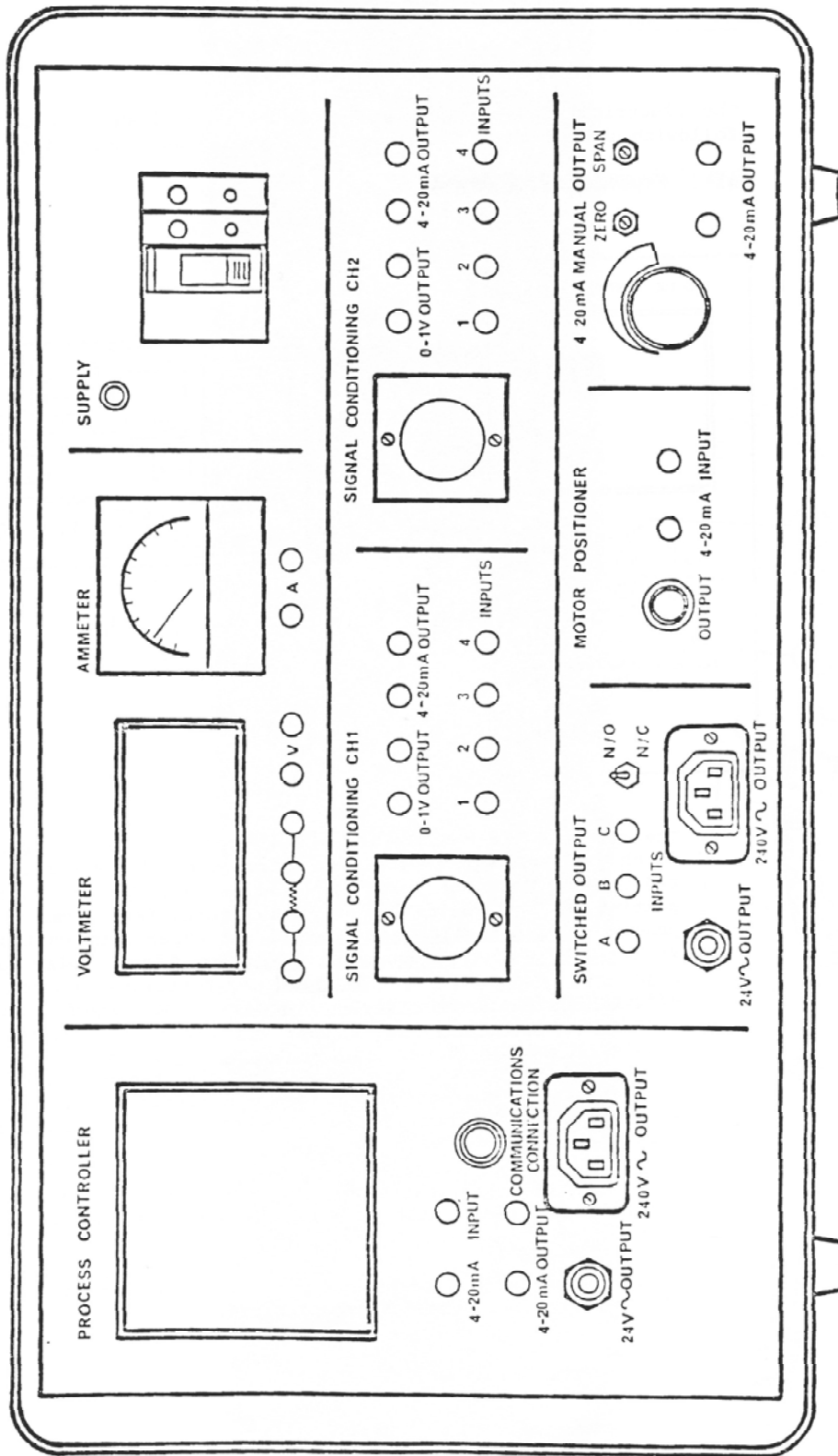
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

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.

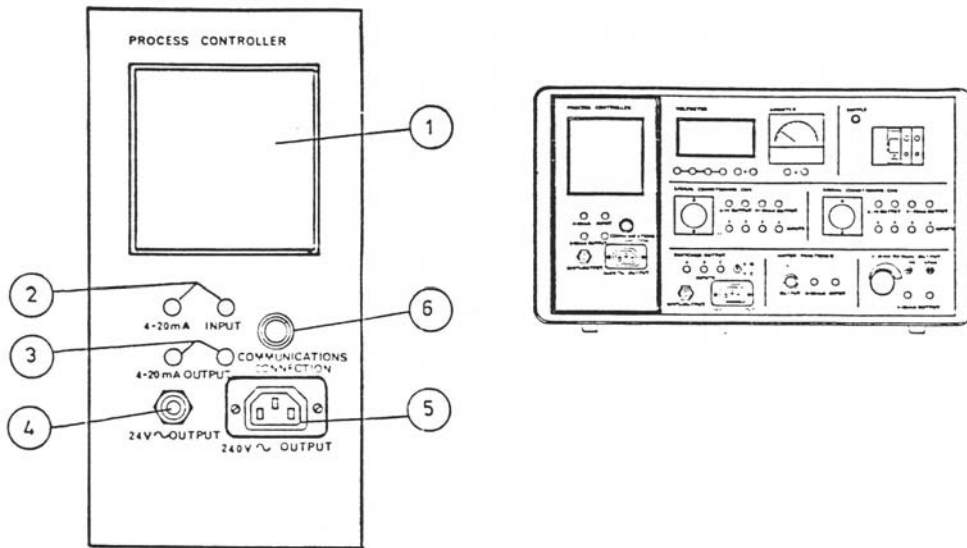
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 5), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja 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 s pomočjo vzporednega 50 Ω upora (2) in preko priključkov (3) z vzporedno vezavo na priključek (4), kot je prikazano na Slika 7.

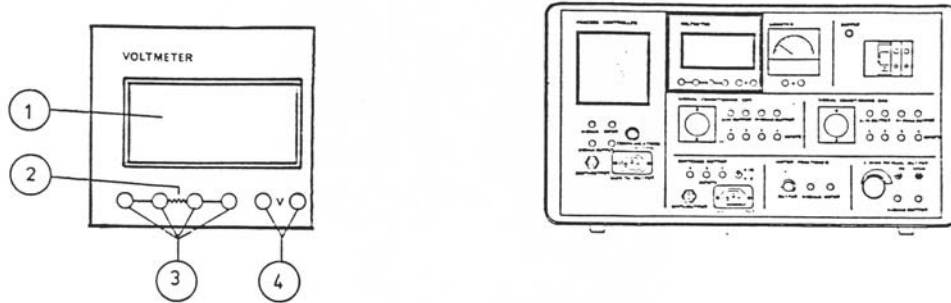
Ampermeter (1, Slika 8) z območjem meritve 0 – 20 mA omogoča meritev 4 – 20 mA električnega signala, ki ga vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (2). Za razliko od voltmetra je ampermeter namenjen le približni meritvi.



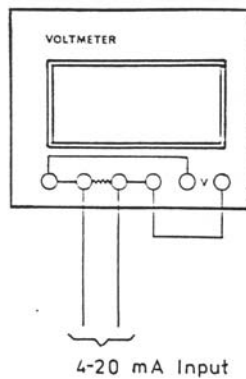
Slika 4: Električna konzola PCT10.



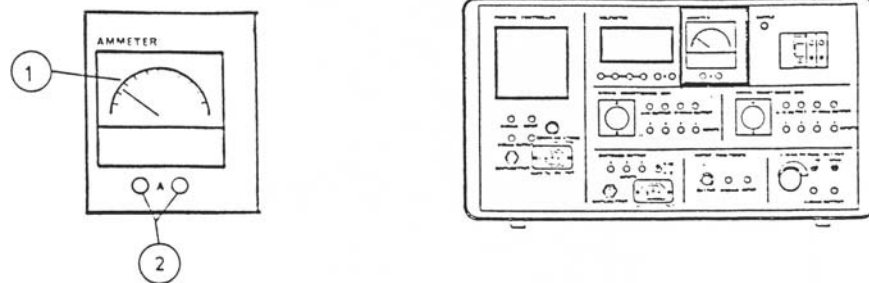
Slika 5: Procesni regulator.



Slika 6: Voltmeter.

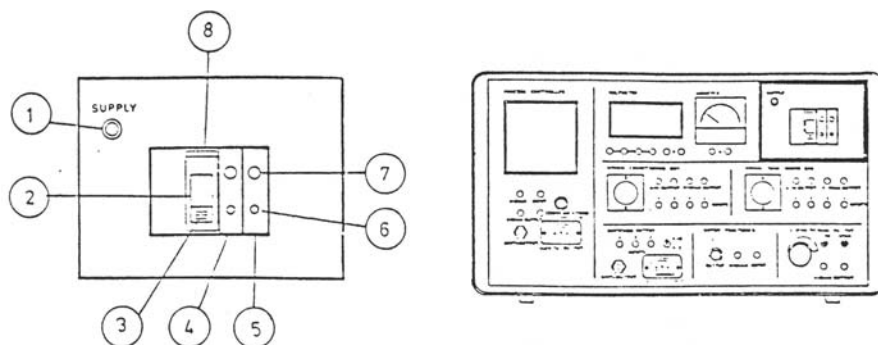


Slika 7: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



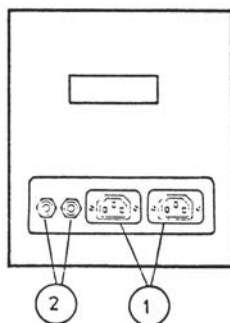
Slika 8: Ampermeter.

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).



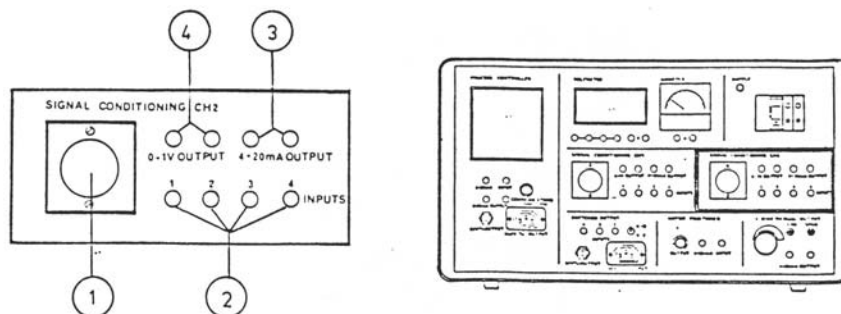
Slika 9: Sistem za električno napajanje.

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.



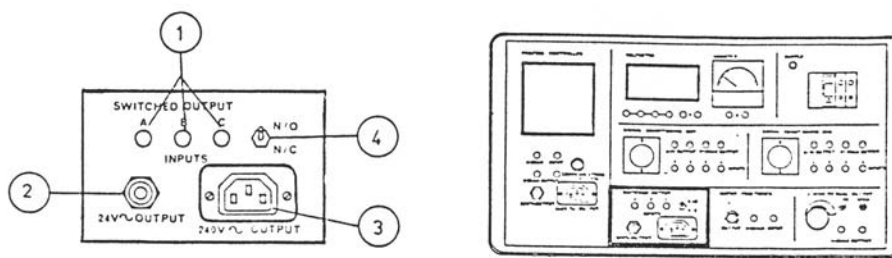
Slika 10: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

Procesni senzori za ustrezne module iz serije PCT imajo dodane prirejevalne module, ki senzore 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).



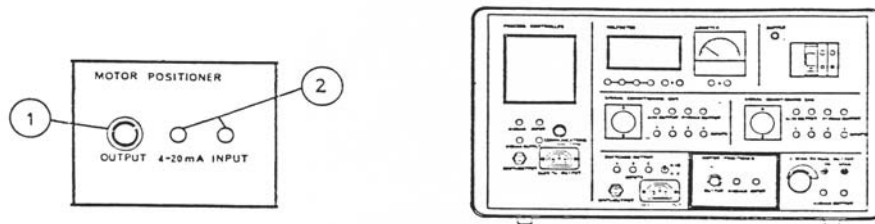
Slika 11: Priključek za procesne senzore.

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.



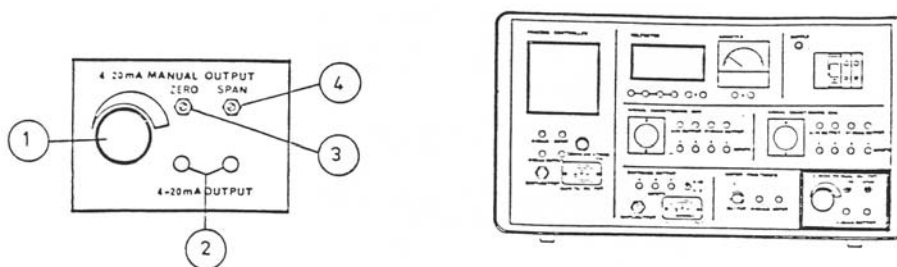
Slika 12: Izhod stikala.

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 želenega 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).

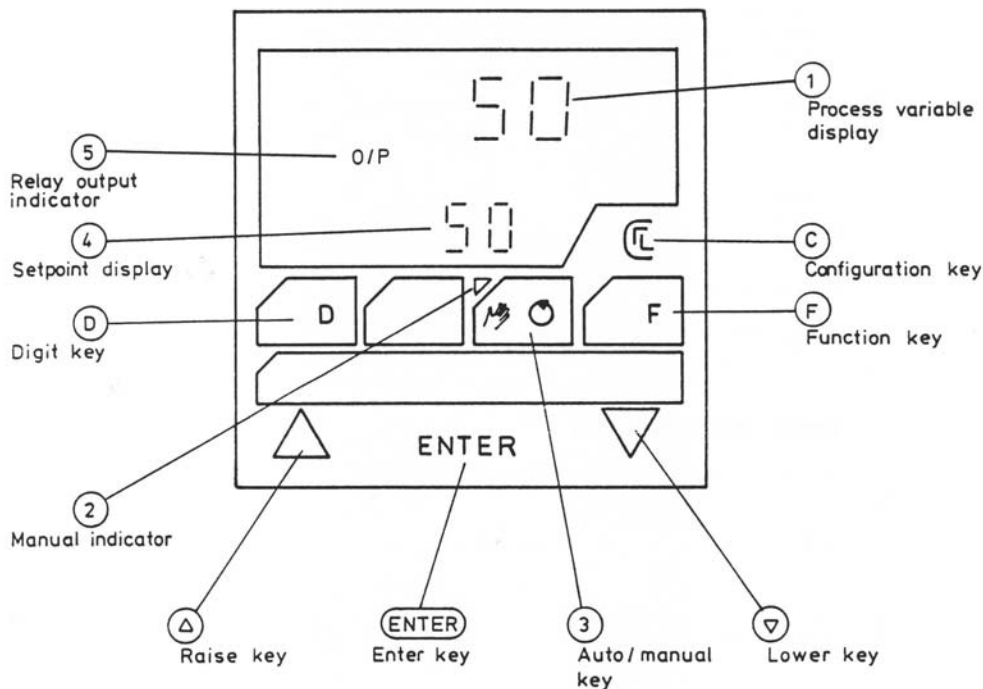


Slika 14: Ročno nastavljeni izhod.

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 tlaka. 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	-
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 TLAČNI MODUL – PCT 14

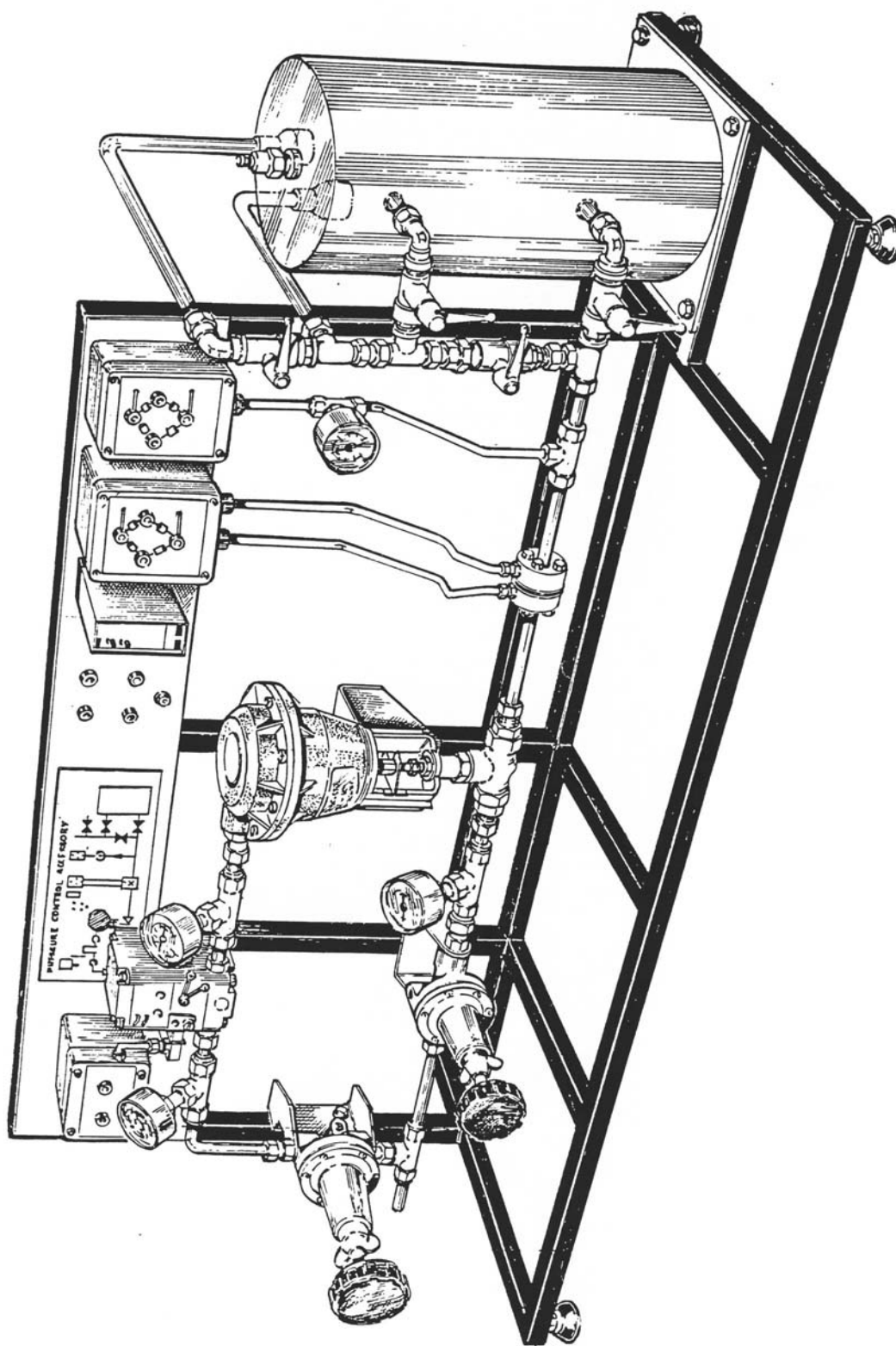
Tlačna enota je simulacija realnega cevovoda, v katerem želimo regulirati tlak. Enota vsebuje pnevmatske kontrolne elemente in omogoča proučevanje delovanja komponent in povezave z električno kontrolno enoto z uporabo tlačno/kontrolne pretvorbe.

Modul je sestavljen iz ocevja s pnevmatskim ventilom, tulcem za meritev padca tlaka, merilci tlaka in izpuhom v atmosfero ali zračni rezervoar. Pnevmski ventil krmili I/P (tok/tlak) pretvornik. Pretvornik jakosti v njen kvadratni koren omogoča linearnost meritve padca tlaka. Modul je načrtovan za delovanje v povezavi z električno konzolo PCT10 in virom čistega komprimiranega zraka.

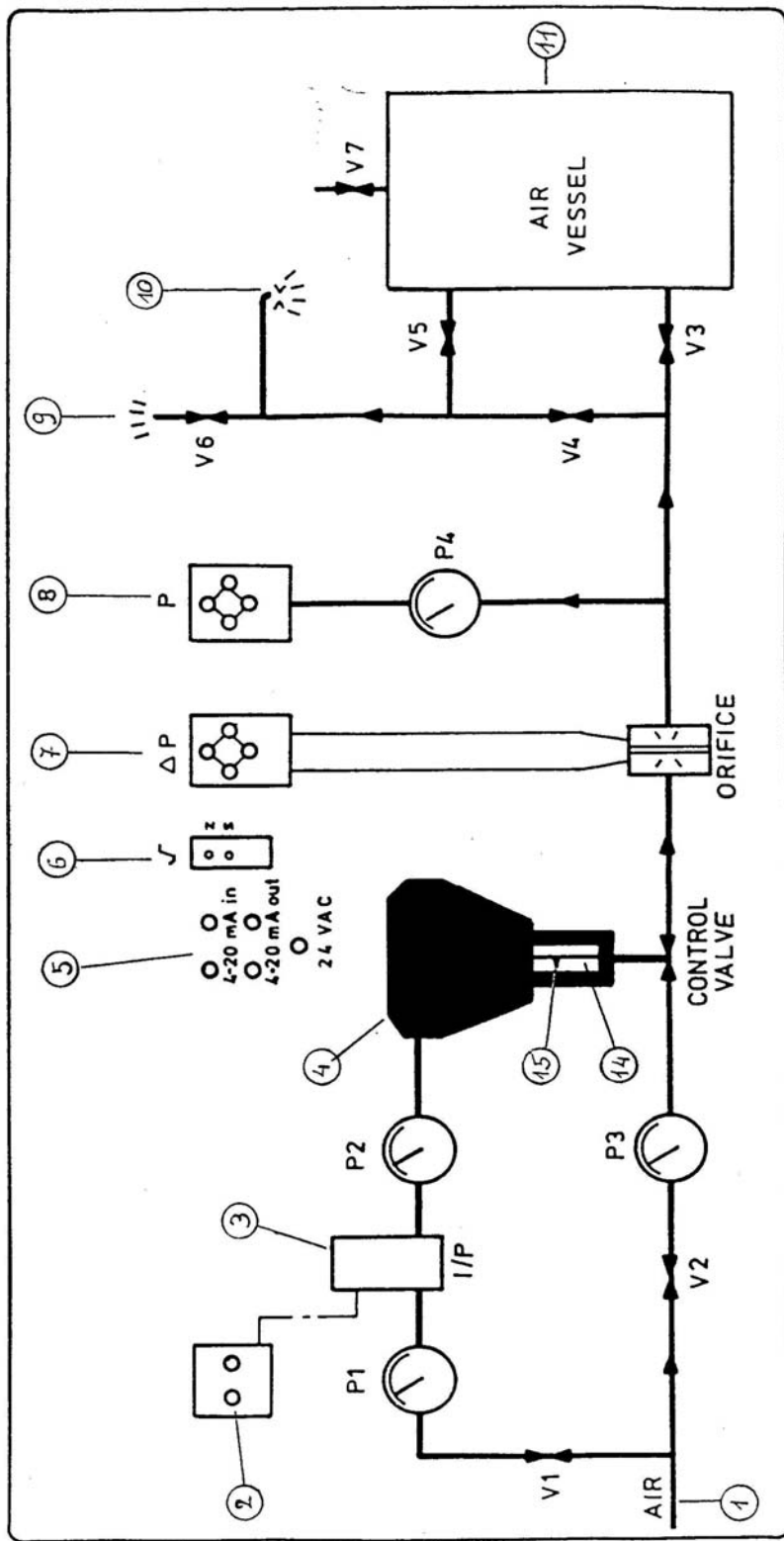
Tlačni modul prikazuje Slika 16 in shematski diagram Slika 17. Komprimiran zrak uvajamo skozi vhodni priključek (1). Tlak za krmiljenje pnevmatskega ventila kontroliramo z ventilom (V1) in ga lahko odčitamo na manometru (P1). Procesni tlak nastavljamo z ventilom (V2) in ga odčitamo na manometru (P3). Pnevmski instrument je sestavljen iz I/P pretvornika (3) in kontrolnega ventila (4). I/P pretvornik sprejema 4 – 20 mA električni signal s konzole PCT10 in ga pretvarja v 3 – 15 psig¹ pnevmatski signal, ki krmili kontrolni ventil. Kontrolni ventil premika os čepastega ventila (14). Na osi je kazalec (15), ki kaže položaj ventila. Manometer (P2) prikazuje tlak pnevmatskega signala, ki ga proizvaja I/P pretvornik. I/P pretvornik povežemo z električno konzolo preko igličnih priključkov na ohišju (2).

Zrak prehaja skozi pnevmatski ventil in tulec in izstopa v atmosfero skozi razpršilec (10). Z ventili (V3, V4 in V5) lahko v sistem vključimo zračni rezervoar (11) zaporedno ali vzporedno s cevjo. Tako lahko vplivamo na obnašanje sistema. Zračni rezervoar ima nameščen varnostni izpustni ventil (V7). Stopničasto motnjo lahko vnašamo z uporabo dodatnega izpusta (9) in ventila (V6).

¹ Psi je angleška enota za tlak. 1 bar je 14,5 psi. Črka 'g' v enoti psig označuje angleški izraz gauge in pomeni, da gre za nadtlak nad atmosferskim.



Slika 16: Tlačni modul – PCT14.



Slika 17: Shematski diagram tlačnega modula.

S tlačnim senzorjem (8) in manometrom (P4) lahko merimo statični tlak v sistemu. Padeč tlaka skozi tulec merimo z diferencialnim tlačnim senzorjem (7). Vsak senzor ima svoj prirejevalni modul za povezavo z električno konzolo.

Z uporabo pretvornika v kvadratni koren (6) lineariziramo signal diferencialnega tlačnega modula in dobimo hitrost pretoka zraka skozi sistem. Priključek za pretvornik (5) je nameščen desno od diferencialnega tlačnega sensorja in vsebuje potenciometre za umeritev ničle in naklona.

5 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, kasneje to ni več potrebno.

1.1 POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE

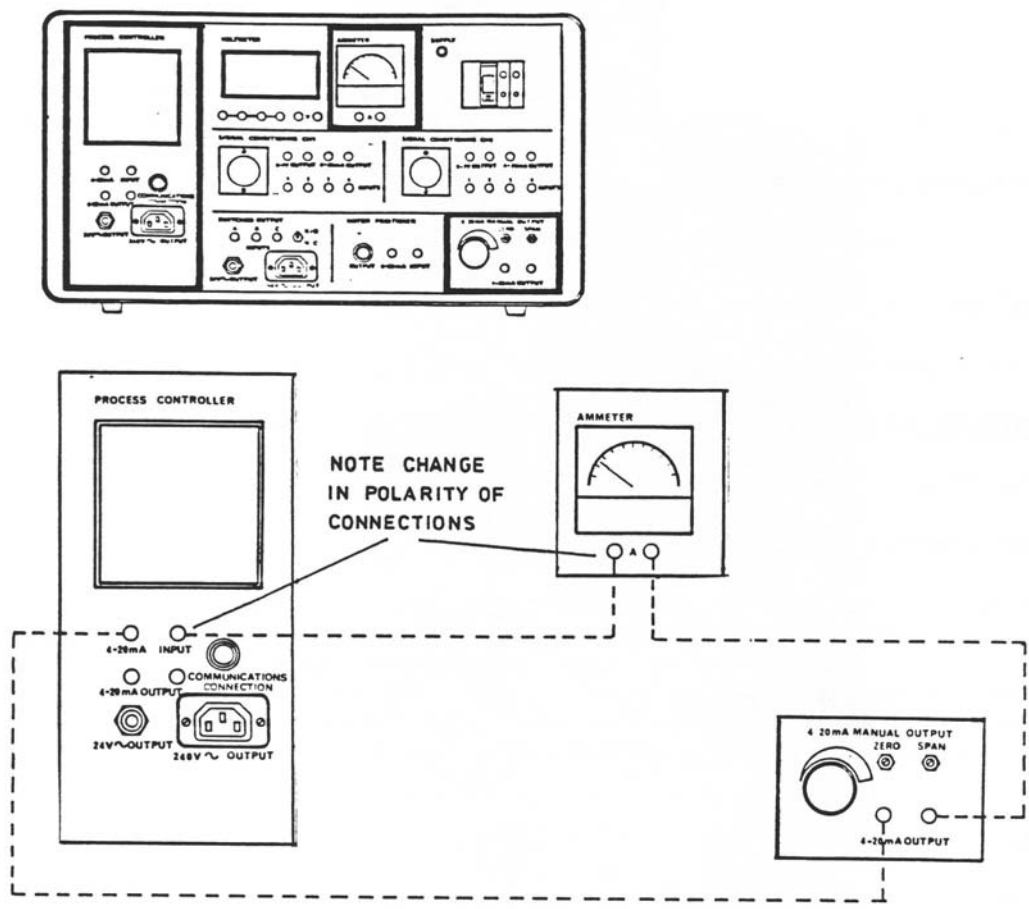
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in velikega števila porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, katerih seštevek ustreza upor u vira napetosti.

POSTOPEK:

4–20 mA ročno nastavljivi izhod (MANUAL OUTPUT) zvežemo z vhodom (INPUT) procesnega regulatorja. Zaporedno procesnemu regulatorju zvežemo še ampermeter, kot kaže Slika 18.

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.



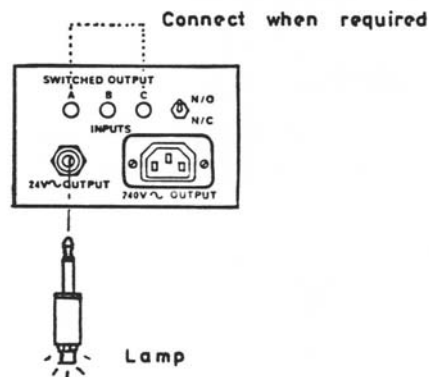
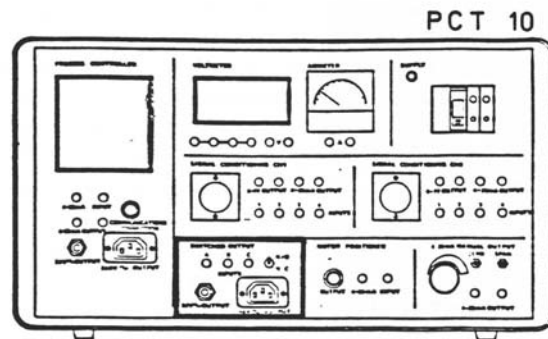
Slika 18: Postavitev 4 -20 mA tokovne zanke.

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:

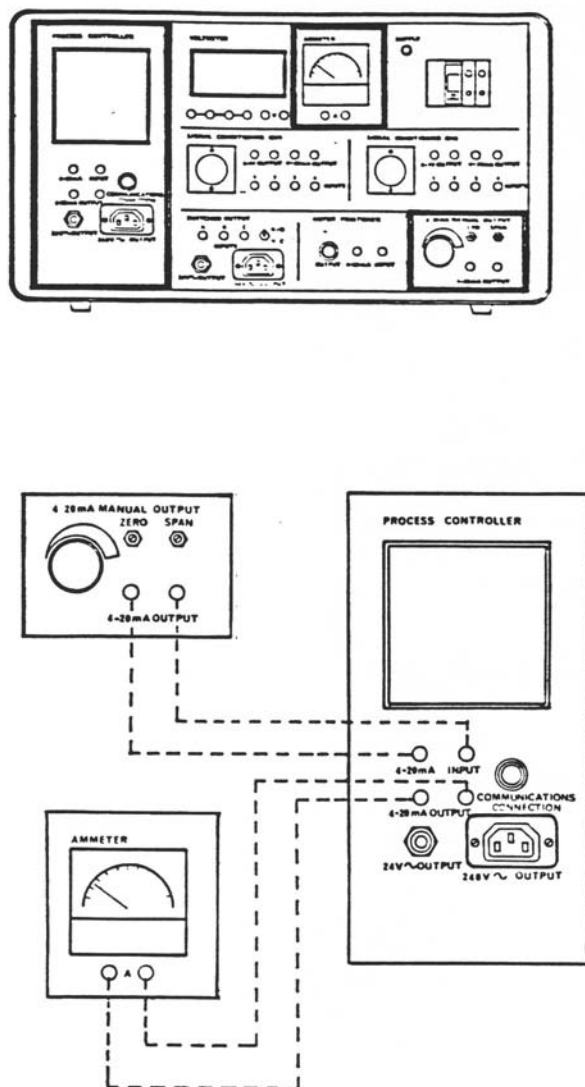
V 24 VAC priključek na izhodu stikala vtaknemo 24 V indikatorsko lučko. Lučka sveti le takrat, ko je na izhodu napetost. Stikalo nastavimo na N/O položaj. Zvežemo priključka A in C z rumenim kablom, kot kaže Slika 19 in opazujemo indikatorsko lučko. Stikalo nastavimo na N/C položaj in ponovno opazujemo indikatorsko lučko. Povezavo priključkov A in C prekinemo in ponovimo postopek.



Slika 19: Shema povezave izhoda stikala.

1.3 NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA

Povežemo ročno nastavljeni izhod z vhodom v regulator in izhod regulatorja z ampermetrom, kot kaže Slika 20.



Slika 20: 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	-
direktna akcija	'SC-2'	- d 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.

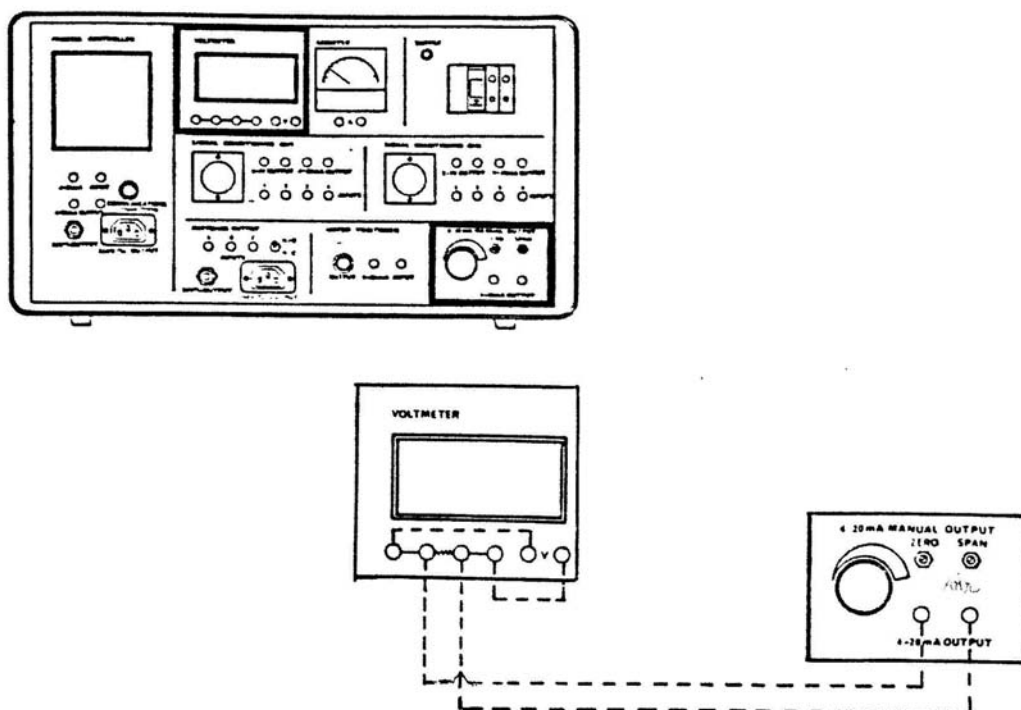
2 UMERITVE

Umeritve izvedemo vedno pred začetkom preostalih eksperimentov.

2.1 UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo z voltmetrom, kot kaže Slika 21.
- 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 21: 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 %?

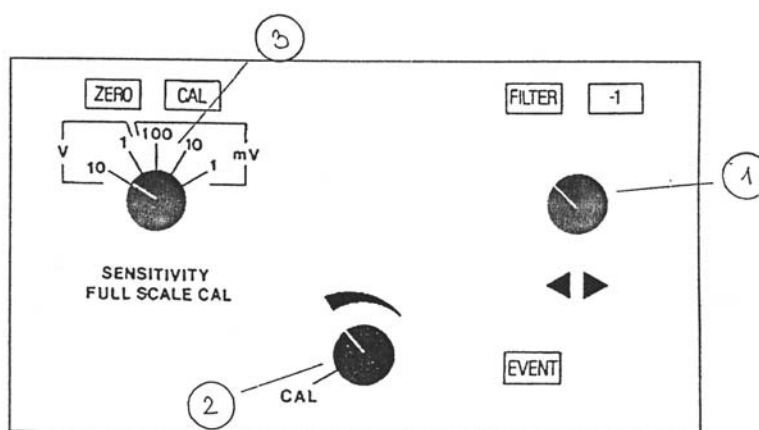
Če je odgovor na obe vprašanji 'DA', umeritev ni potrebna. Če je odgovor na vsaj eno od zgornjih vprašanj 'NE', umerimo regulator po naslednjih korakih:

- 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 %.

2.3 NASTAVITEV PISALNIKA

Na pisalniku lahko opazujemo vrednost procesne in manipulirane veličine v odvisnosti od časa. Pisalnik je prikazan na Slika 22. Vključimo ga s tipko 'POWER'. Na pisalniku nastavimo primerno hitrost zapisovanja. Za večino eksperimentov je to 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.

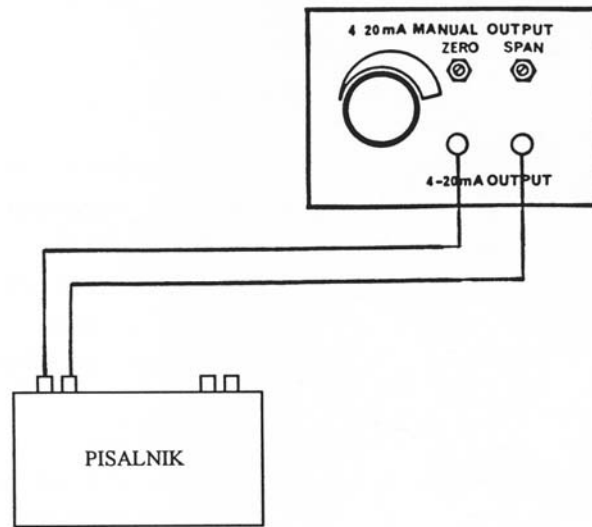


Slika 22: Pisalnik.

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo s priključkom enega od pisal, kot kaže Slika 23.
- Na pisalniku nastavimo območje meritve z gumbom (3, Slika 22) 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 pisalnik umerili na območje med 20 mm in 120 mm oz. na območje v obsegu 100 mm.



Slika 23: Prikaz povezave pisalnika z ročno nastavljivim izhodom za umeritev.

2.4 UMERITEV TLAČNEGA SENZORJA

Pred pričetkom dela na procesnem modulu PCT14 moramo umeriti tlačni senzor. Izvedli bomo sledečo umeritev:

- minimalni tlak = 0 psi = 0 V = 0 %
- maksimalni tlak = 8 psi = 1 V = 100 %

Začetna nastavitve ventilov je naslednja:

- ventila V1 in V2 odvijemo do konca v obratni smeri urinih kazalcev (pazimo, da ne padejo iz navoja),
- ventile V3, V5 in V6 zapremo, kar pomeni, da je ročica ventila pravokotna na cev,
- ventil V4 odpremo, ročica ventila je vzporedna s cevjo.

Opazujemo položaj pnevmatskega ventila. Ta je odprt, če je ročni ventil (V1) do kraja odvit in če I/P pretvornik ni povezan z virom napetosti. Če je tudi ročni ventil (V2) do kraja odvit, je tlak v ocevju enak atmosferskemu in manometer (P4) kaže vrednost 0 psi. Če ventil (V2) privijamo, tj. vrtimo v smeri urinega kazalca, se tlak na manometru (P4) prične povečevati.

POSTOPEK:

- Prirejevalni modul za tlak povežemo s tlačnim senzorjem z modrimi kabli, kot kaže Slika 24.
- Odpremo ventil na steni za dovod komprimiranega zraka. Kompresor je zaradi hrupa nameščen v sosednjem prostoru.
- Odvijte ventil (V2) do konca, tako da bo tlak v sistemu na minimalni vrednosti, kar pomeni približno 0 psi na manometru (P4).
- S plastičnim izvijačem in potenciometrom (ZERO) na prirejevalnem modulu nastavimo ničlo tako, da je odčitek na voltmetru 0,000 V.
- Privijemo ventil (V2) toliko, da odčitamo na manometru (P4) 8 psi.
- S plastičnim izvijačem in potenciometrom (SPAN) nastavimo naklon tako, da je odčitek na voltmetru 1,000 V.
- Postopek ponavljamo, dokler na voltmetru ne dobimo zelenih vrednosti za minimalni in maksimalni tlak.

3 HISTEREZA TLAČNEGA SENZORJA

O histereznem efektu govorimo, ko je odčitek senzorja odvisen od poti, po kateri se merilni točki približamo. Začetna nastavitve ventilov je enaka kot prej in sicer:

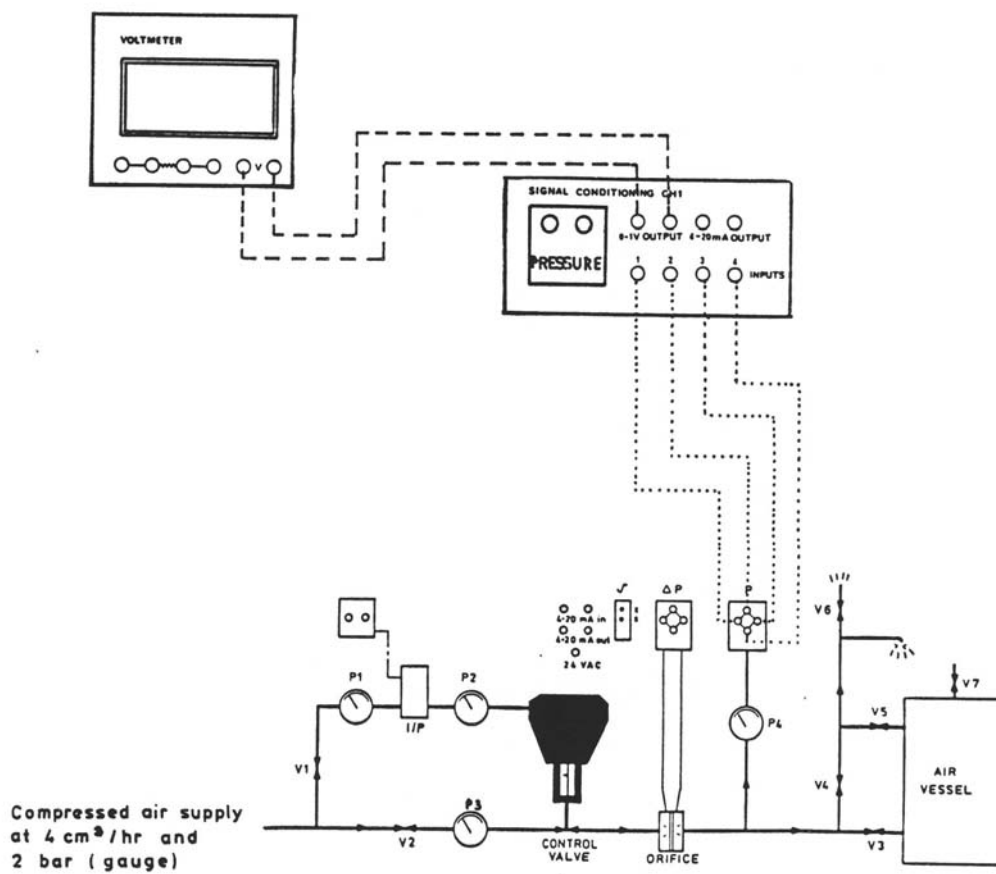
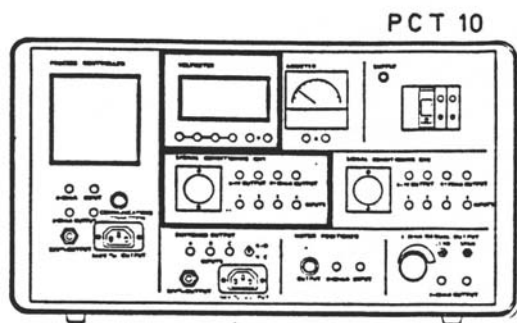
- ventila V1 in V2 odvijemo do konca v obratni smeri urinih kazalcev (pazimo, da ne padejo iz navoja),
- ventile V3, V5 in V6 zapremo, kar pomeni, da je ročica ventila pravokotna na cev,
- ventil V4 odpremo, ročica ventila je vzporedna s cevjo.

POSTOPEK:

- Tlačni senzor povežemo s prirejevalnim modulom in voltmetrom na električni konzoli PCT10, kot kaže Slika 25.
- Tlak v sistemu povečujemo v stopnjah po 2 psi z odpiranjem ventila (V2) od 0 do 8 psi, kar odčitavamo na manometru (P4). Pri tem naj bo pnevmatski ventil maksimalno odprt.
- Za vsako spremembo tlaka si zapišemo odčitek na voltmetru.
- Nato postopek ponovimo tako, da ventil (V2) zapiramo.

Graf:

Narišemo diagram odvisnosti odčitka na voltmetru od tlaka v sistemu in sicer na istem grafu tako za povečevanje tlaka kot tudi za zmanjševanje.



Slika 25: Shema povezave za določitev histerize tlačnega senzorja.

4 LINEARNOST PNEVMATSKEGA VENTILA

Začetna nastavitve ventilov je naslednja:

- ventil V1 privijemo tako, da bo manometer (P1) kazal približno 22 psi,
- ventil V2 privijemo tako, da bo manometer (P4) kazal čim natančneje 8 psi,
- ventile V3, V5 in V6 zapremo, kar pomeni, da je ročica ventila pravokotna na cev,
- ventil V4 odpremo, ročica ventila je vzporedna s cevjo.

POSTOPEK:

- Tlačni senzor povežemo s prirejevalnim modulom in vhodom v regulator na električni konzoli PCT10, I/P pretvornik pnevmatskega ventila pa z izhodom regulatorja, kot kaže Slika 26.
- Procesni regulator nastavimo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke 'F' in takoj za njo AUTO/MANUAL tipke. Na regulatorju se prižge rdeča lučka.
- Izhod iz regulatorja nastavimo na 0 % in ga nato povečujemo od 0 % do 100 % v stopnjah po 10 %. Pri tem se pnevmatski ventil zapira in tlak P4 pada.
- Za vsako nastavitve izhoda iz regulatorja zapišemo odčitek tlaka na prikazovalniku procesne veličine (v %) in odčitek tlaka na manometru P4 (v psi). Odčitke zberite v tabeli:

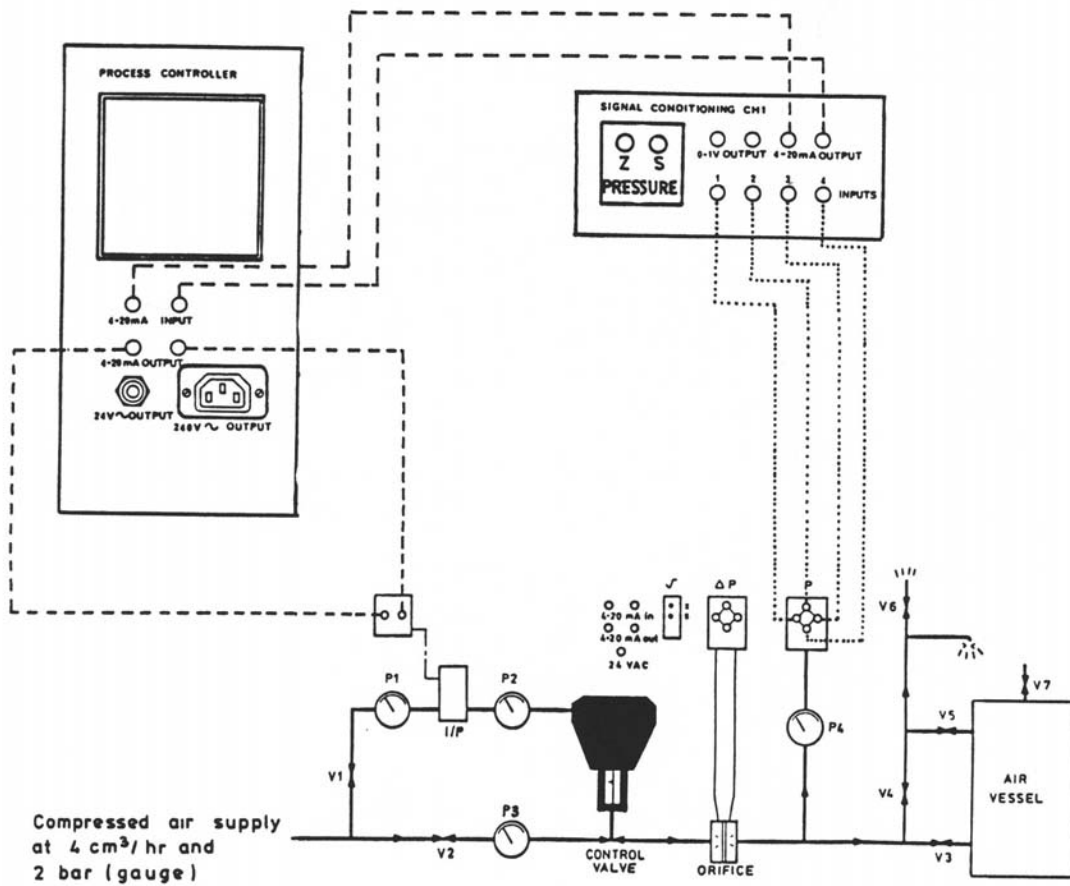
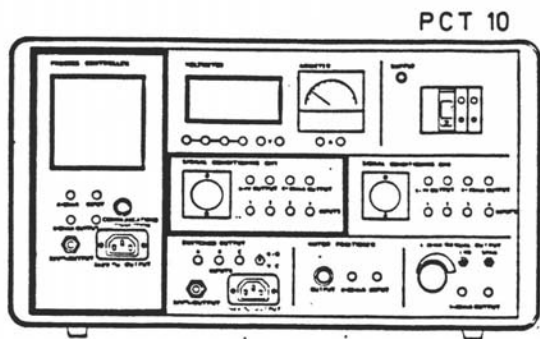
Izhod iz regulatorja (%)	Tlak (%)	Tlak (psi)

Graf:

Narišite diagrama:

- tlak (%) v odvisnosti od stopnje odprtosti pnevmatskega ventila (v %) in
- tlak (psi) v odvisnosti od stopnje odprtosti pnevmatskega ventila (v %).

Ali je odziv linearen?

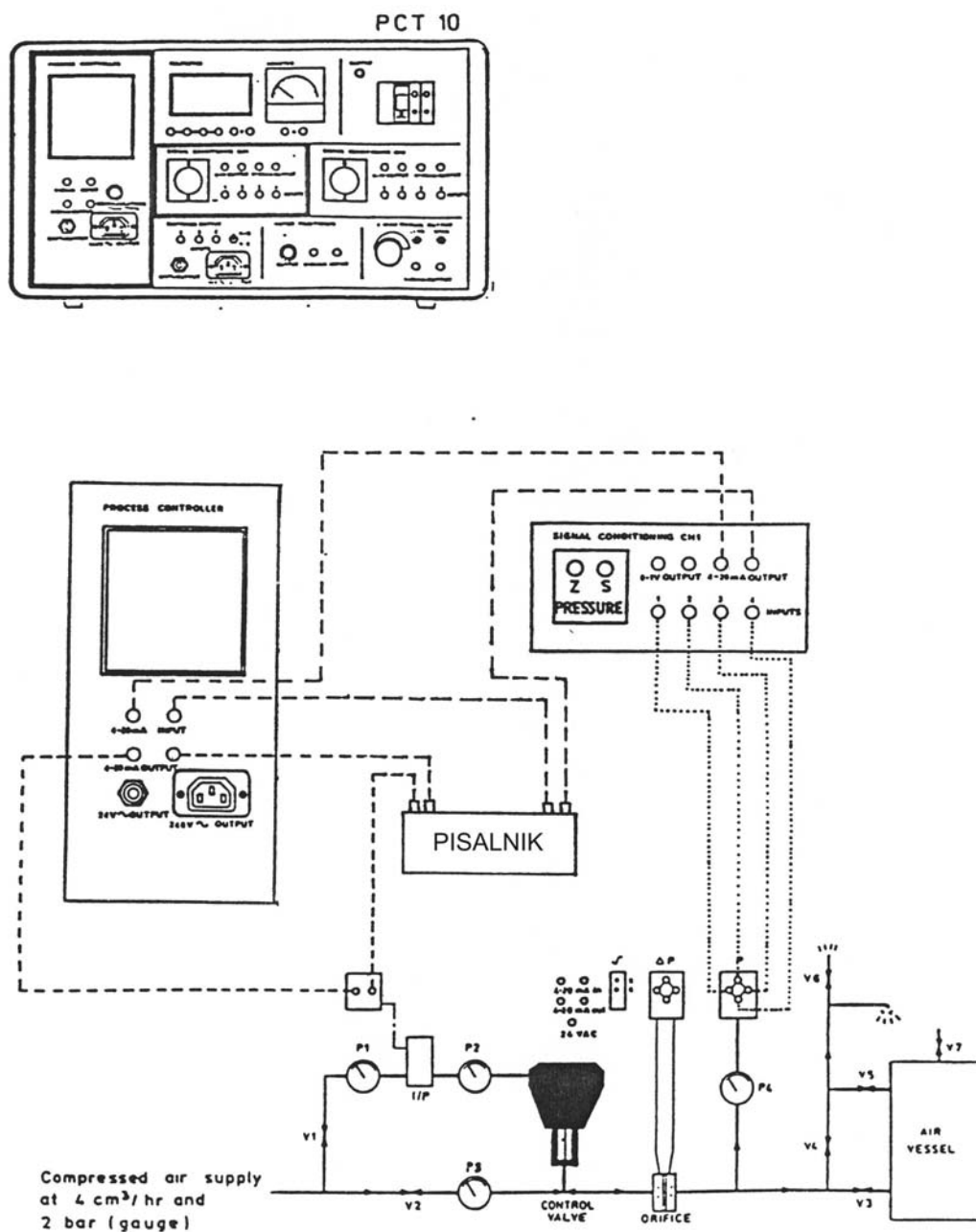


Slika 26: Shema povezave za določitev linearnosti pnevmatskega ventila.

5 POVRATNI REGULACIJSKI SISTEM

Aparaturo povežemo, kot kaže Slika 27. Vrednost procesne veličine (tlak v sistemu) in izhoda iz regulatorja, ki dejansko predstavlja zaprtost oz. odprtost pnevmatskega ventila, lahko spremljamo na pisalniku.

Če je procesna veličina, tj. tlak v sistemu, pod referenčno vrednostjo, se mora pnevmatski ventil odpreti, za kar mora regulator zmanjšati signal na I/P pretvornik, tj. izhod iz regulatorja. Govorimo o direktni akciji regulatorja.



Slika 27: 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. Začetne nastavitve so naslednje:

- če še ni, regulator nastavimo na ročni način obratovanja s pritiskom funkcijske tipke F in nato AUTO/MANUAL tipke. Rdeča lučka sveti. Izhodno vrednost na regulatorju naravnamo na 0 %,
- ventil V1 privijemo tako, da bo manometer (P1) kazal približno 22 psi,
- ventil V2 privijemo tako, da bo manometer (P4) kazal čim natančneje 8 psi,
- ventila V4 in V6 zapremo, kar pomeni, da je ročica ventila pravokotna na cev,
- ventila V3 in V5 odpremo; ročica ventila je vzporedna s cevjo.

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 mora biti na ročnem načinu obratovanja in rdeča lučka sveti. Če ni, to dosežemo s pritiskom funkcijske tipke F in nato AUTO/MANUAL tipke.
- Izhodno vrednost regulatorja nastavimo na 0 %.
- Z ročnim ventilom V2 nastavimo tlak 8 psi na manometru P4.
- Izhodno vrednost regulatorja povečamo z 0 % na takšno vrednost, da doseže tlak v sistemu, ki ga spremljamo na regulatorju, čim bližje **50 %**. Če želimo tlak zmanjšati, moramo izhod iz regulatorja povečati in če želimo tlak povišati, izhod iz regulatorja zmanjšamo. Pri tem NE premikamo več ventila V2!
- 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 V6. Opazujemo spreminjanje tlaka. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V6 in opazujemo spreminjanje tlaka. Zabeležimo, kje se tlak ustali.

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

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V6 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od želene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo končno vrednost.

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

Na regulatorju nastavimo vrednost proporcionalnega ojačanja na 20 % 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 = 1 %, Int = 0 min, dEr = 0 s)

Korake 1, 2, 3 in 4 ponovimo še s proporcionalnim ojačanjem 1 %.

Opažanja:

- a) Zapišite, ali proporcionalni regulator odpravi odmik od želene vrednosti.
- b) Zapišite, kako vpliva zmanjševanje proporcionalnega ojačanja na velikost odmika od želene 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. Začetne nastavitve ventilov so enake kot pri P regulatorju.

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.

Vzpostavitev začetnega stacionarnega stanja:

Pogosto se ob nastavitvi parametrov PI regulatorja, ki so podane v zgornji tabeli, regulator sam vrne v stacionarno stanje, kar pomeni, da znaša tlak 50 %. Če temu ni tako, ponovimo postopek vzpostavitve stacionarnega stanja 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 0 %.
- Z ročnim ventilom V2 nastavimo tlak 8 psi na manometru P4.
- Izhodno vrednost regulatorja spreminjamo tako dolgo, da doseže tlak 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 V6. Opazujemo spreminjanje tlaka. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V6 in opazujemo spreminjanje tlaka. Zabeležimo, kje se tlak ustali.

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

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V6 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in izračunamo odmik od zelene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se tlak 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 = 20 %, Int = 0,2 min, dEr = 0 s)

Na regulatorju nastavimo vrednost proporcionalnega ojačanja na 20 % 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.

Opažanja:

- a) Ali PI regulator odpravi odmik od zelene 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.

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 %).

Iz zgornje tabele vidimo, da sta prvi in zadnji parameter različna od 0, kar potrjuje, da gre za PD regulator.

Vzpostavitev začetnega stacionarnega stanja:

Če stacionarno stanje ni vzpostavljeno, kar pomeni, da tlak 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 0 %.
- Z ročnim ventilom V2 nastavimo tlak 8 psi na manometru P4.
- Izhodno vrednost regulatorja spreminjamo tako dolgo, da doseže tlak 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 V6. Opazujemo spreminjanje tlaka. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in odmik od referenčne vrednosti (50 %).
2. Zapremo ročni ventil V6 in opazujemo spreminjanje tlaka. Zabeležimo, kje se tlak ustali.

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

3. Referenčno vrednost spremenimo s 50 % na 70 %. Ventil V6 je med korakoma 3 in 4 ves čas ZAPRT. Ko se tlak ustali, zabeležimo njegovo novo vrednost in odmik od zelene vrednosti (70 %).
4. Referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 %. Ko se tlak 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 20 % (ProP = 20 %). Integracijski in diferenčni čas nastavimo na 0 (Int = dEr = 0).

- V sistem uvedemo motnjo, tako da odpremo ventil V6.
- Če sistem ostane stabilen, zmanjšamo proporcionalno ojačanje na 15 % in zapremo ventil V6.
- Proporcionalno ojačanje postopno zmanjšujemo v manjših korakih (npr. po 1 %) in vsakič vnesemo v sistem motnjo, tako da izmenično odpremo ali zapremo ventil V6. Pomembno je, da proporcionalno ojačanje ves čas postopoma zmanjšujemo in ga ne povečujemo.
- Postopek ponavljamo, dokler ni nastavljeno proporcionalno ojačanje tako majhno, da postane sistem ob odprtju (ali zaprtju) ventila V6 nestabilen. To opazimo kot nihanje tlaka na merilnikih in slišimo kot 'puhanje' pnevmatskega ventila, 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 (npr. na 1 mm/s ali 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 (P_{B_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 primerno hitrost zapisovanja (priporočamo 2 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 tlaka $\Delta B = |\text{končni tlak} - \text{začetni tlak}|$.
- 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.



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo*

Vklop/izklop (on/off) regulacija nivoja gladine

**Zbrano gradivo za 3. vajo
pri predmetu Dinamika procesov**

**Zdravko Kravanja
Zorka Novak Pintarič**

Maribor, 2009

3. vaja

NAMEN:

Spoznavanje s problemom krmiljenja in regulacije nivoja gladine v procesnem rezervoarju z uporabo enostavne ON/OFF in časovno proporcionalne regulacije. Spoznavanje s programabilno logično regulacijo.

APARATURE:

- električna konzola PCT10: plastični izvijač,
24 V indikatorska lučka,
električni kabli,
- procesni modul PCT9: enostavno nivojno stikalo,
- procesni modul PCT11: dvojno nivojno stikalo,
nivojni senzor,
prirejevalni modul,

- procesni modul PCT18.

VSEBINA

I.	UVOD	4
II.	OPIS APARATUR.....	5
1	ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10	5
2	PROCESNI REGULATOR.....	11
3	MODUL ZA REGULACIJO PRETOKA IN NIVOJA – PCT9.....	14
4	MODUL ZA REGULACIJO NIVOJA – PCT11	18
5	MODUL ZA PROGRAMABILNO LOGIČNO KONTROLO	22
6	LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH	25
III.	IZVEDBA VAJE	26
1	UVODNI EKSPERIMENTI.....	26
1.1	POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE	26
1.2	PRIKAZ UPORABE 24 VAC IN 240 VAC IZHODNIH SIGNALOV NA IZHODU STIKALA	28
1.3	NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA	29
2	UMERITVE.....	31
2.1	UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA.....	31
2.2	UMERITEV PROCESNEGA REGULATORJA	32
2.3	UMERITEV NIVOJNEGA SENZORJA	33
3	ON/OFF REGULACIJA NIVOJA Z UPORABO ENOJNEGA NIVOJNEGA STIKALA	35
4	ON/OFF KONTROLA Z UPORABO DVOJNEGA NIVOJNEGA STIKALA.....	38
5	ON/OFF REGULACIJA Z UPORABO NIVOJNEGA SENZORJA	40
6	ČASOVNO PROPORCIONALNA REGULACIJA	43
7	PROGRAMABILNA LOGIČNA KONTROLA.....	46
7.1	UČENJE PROGRAMIRANJA S SIMULACIJO PROCESA	46
7.1.1	BRISANJE SPOMINA	46
7.1.2	LD – normalno odprt kontakt	46
7.1.3	LDI – normalno zaprt kontakt.....	47
7.1.4	AND – zaporedna vezava normalno odprtih kontaktov	47
7.1.5	ANI – zaporedna vezava normalno odprtega in zaprtega kontakta.....	47
7.1.6	OR – vzporedna vezava normalno odprtih kontaktov.....	48
7.1.7	ORI – vzporedna vezava normalno odprtega in zaprtega kontakta	48
7.1.8	ČASOVNI ŠTEVEC	49
7.1.9	NAVADNI ŠTEVEC.....	49
7.2	PROGRAMABILNA REGULACIJA NIVOJA.....	50

I. UVOD

II. OPIS APARATUR

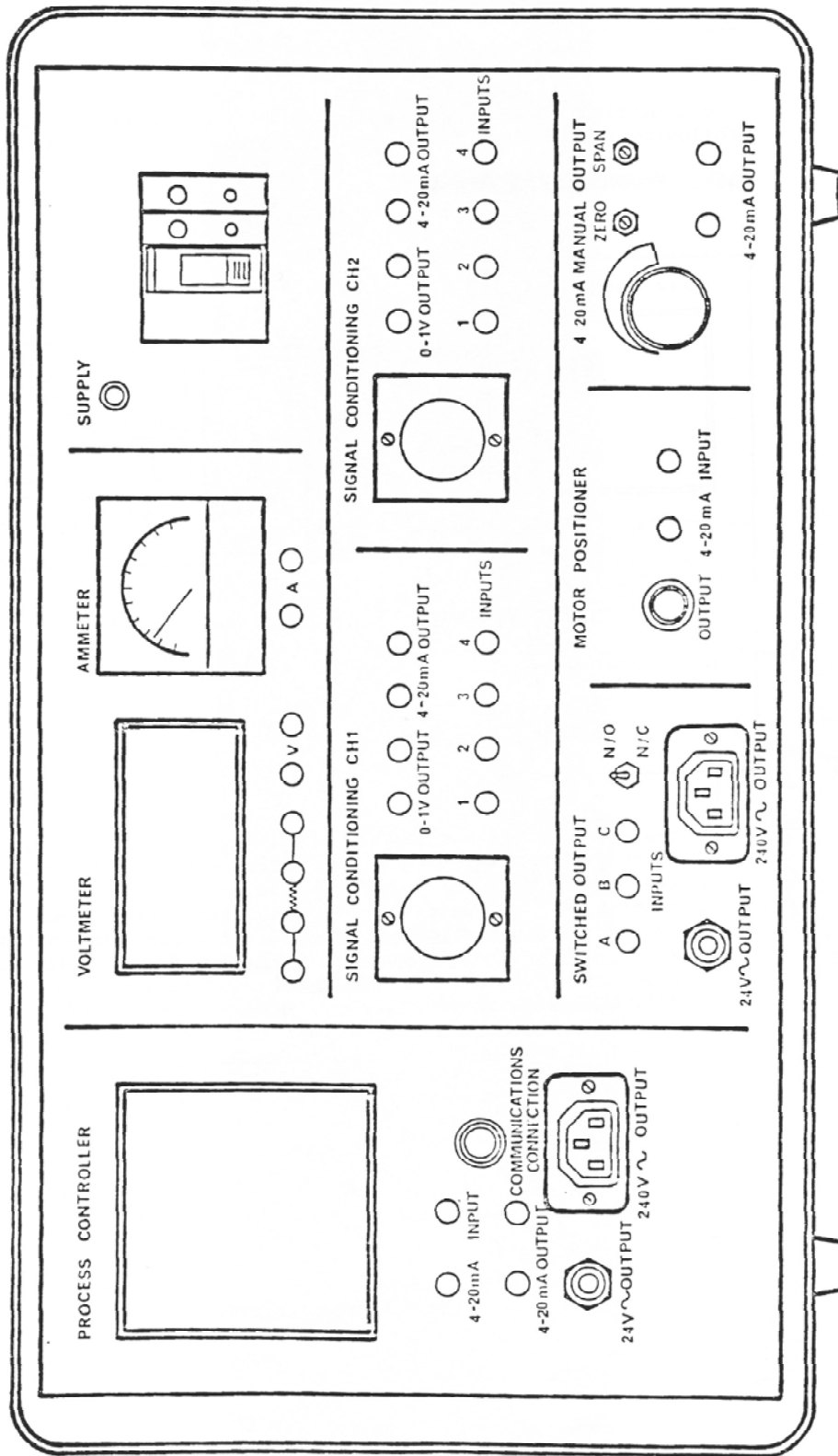
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

Modul PCT10 (Slika 1) 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.

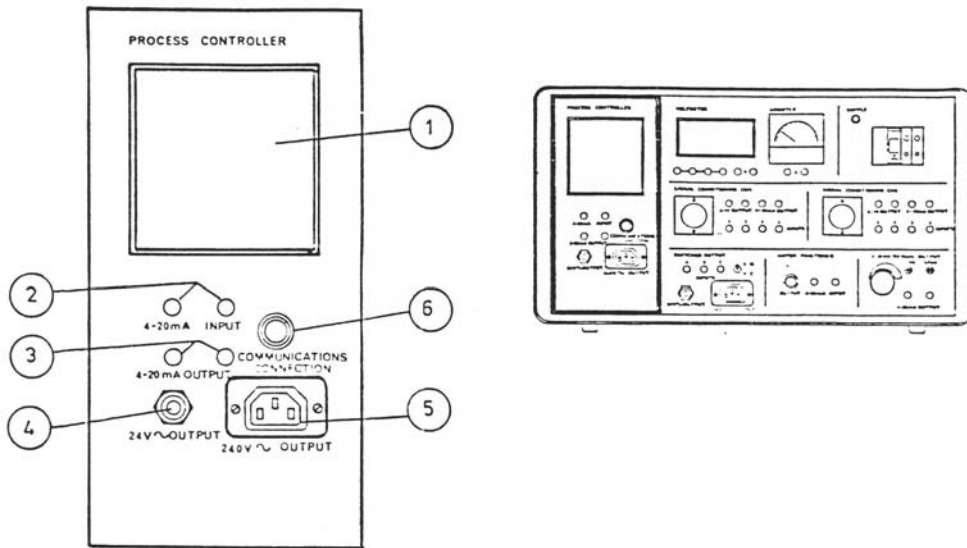
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 2), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja 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 3) 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 4.

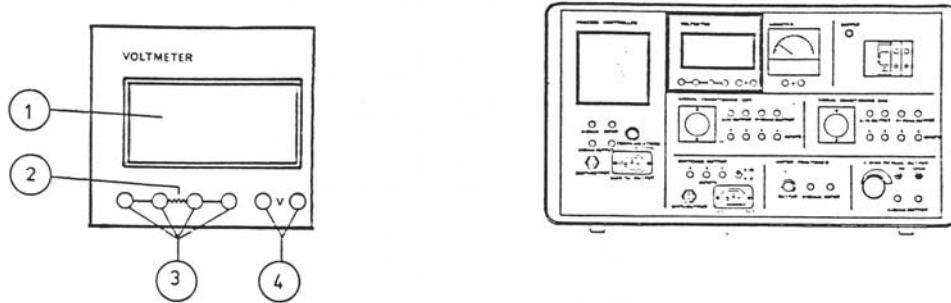
Ampermeter (1, Slika 5) z območjem meritve 0 – 20 mA omogoča meritev 4 – 20 mA električnega signala, ki ga vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (2). Za razliko od voltmetra je ampermeter namenjen le približni meritvi.



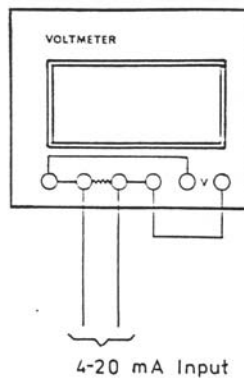
Slika 1: Električna konzola PCT10.



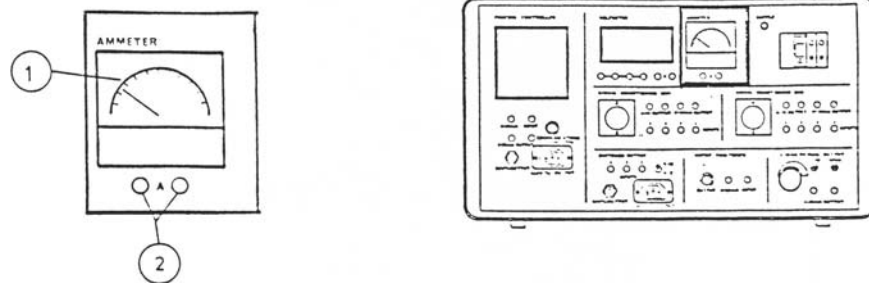
Slika 2: Procesni regulator.



Slika 3: Voltmeter.

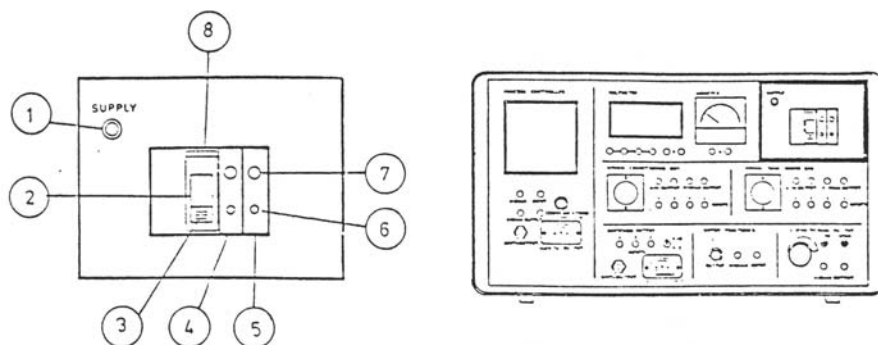


Slika 4: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



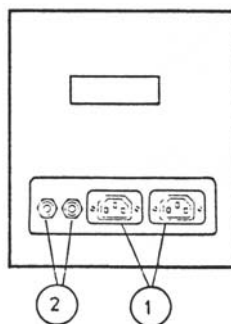
Slika 5: Ampermeter.

Električno napajanje konzole poteka preko varovalke (2, Slika 6), 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).



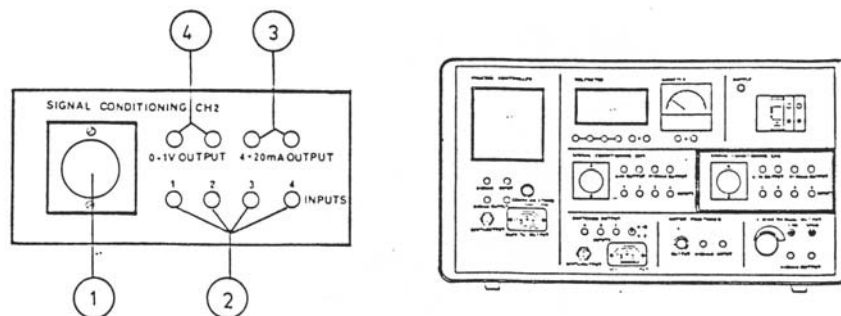
Slika 6: Sistem za električno napajanje.

Na obeh bočnih straneh konzole (Slika 7) so priključki za napetosti 240 VAC (1) in 24 VAC (2), predvideni za napajanje črpalk, grelcev, solenoidnih ventilov itd.



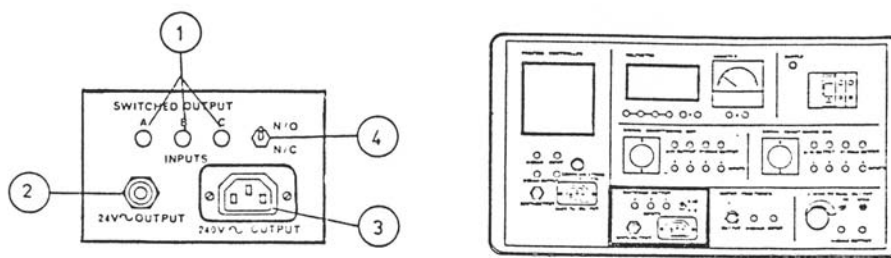
Slika 7: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

Procesni senzori za ustrezne module iz serije PCT imajo dodane prirejevalne module, ki senzore 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 8) s pripadajočimi priključki za vhodne (2) in izhodne signale (3, 4).



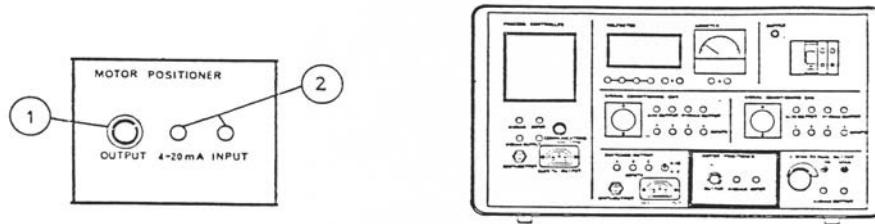
Slika 8: Priključek za procesne senzore.

Izhod stikala (Slika 9) 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.



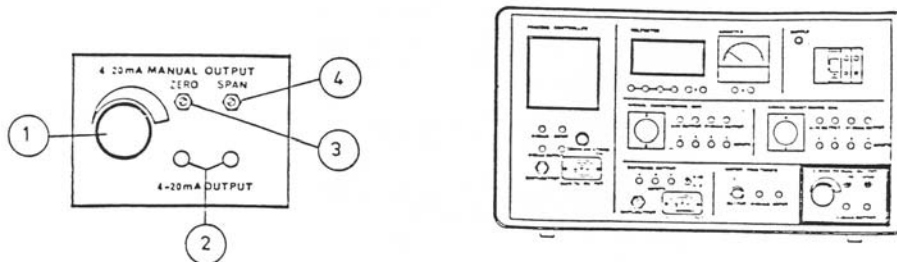
Slika 9: Izhod stikala.

Servo kontrolni sistem (Slika 10) 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 10: Servo kontrolni sistem za nastavitve avtomatskega ventila.

Ročno nastavljeni izhod 4 – 20 mA signala (Slika 11) 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).

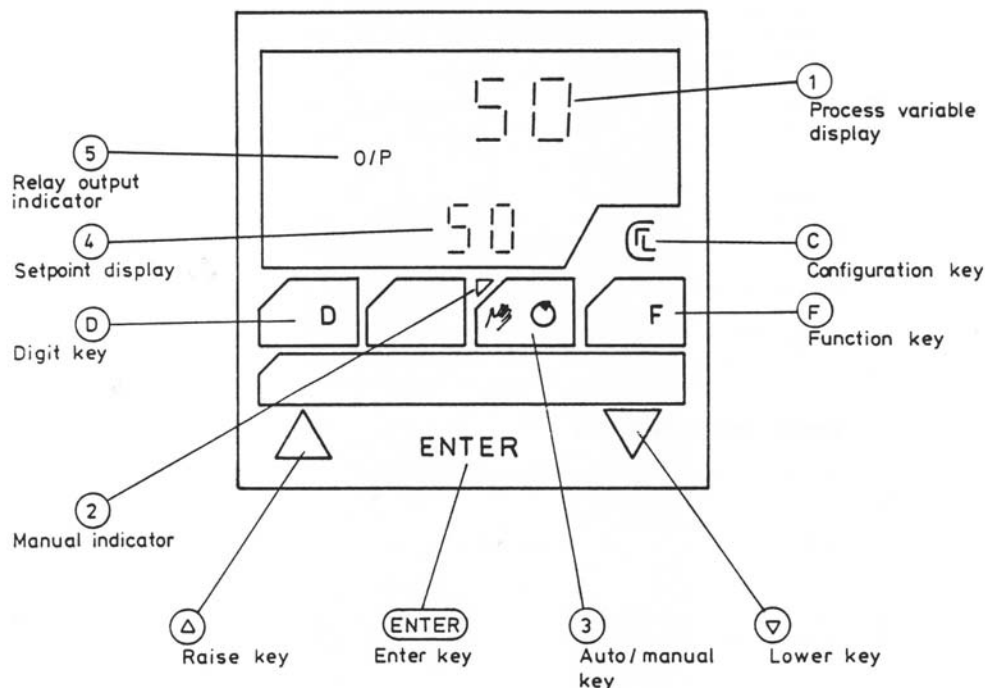


Slika 11: Ročno nastavljeni izhod.

2 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 12).



Slika 12: Čelna stran procesnega regulatorja.

V normalnem obratovalnem načinu kaže prikazovalnik (1) vrednost procesne spremenljivke, v tem primeru nivoja. 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	-
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'.

3 MODUL ZA REGULACIJO PRETOKA IN NIVOJA – PCT9

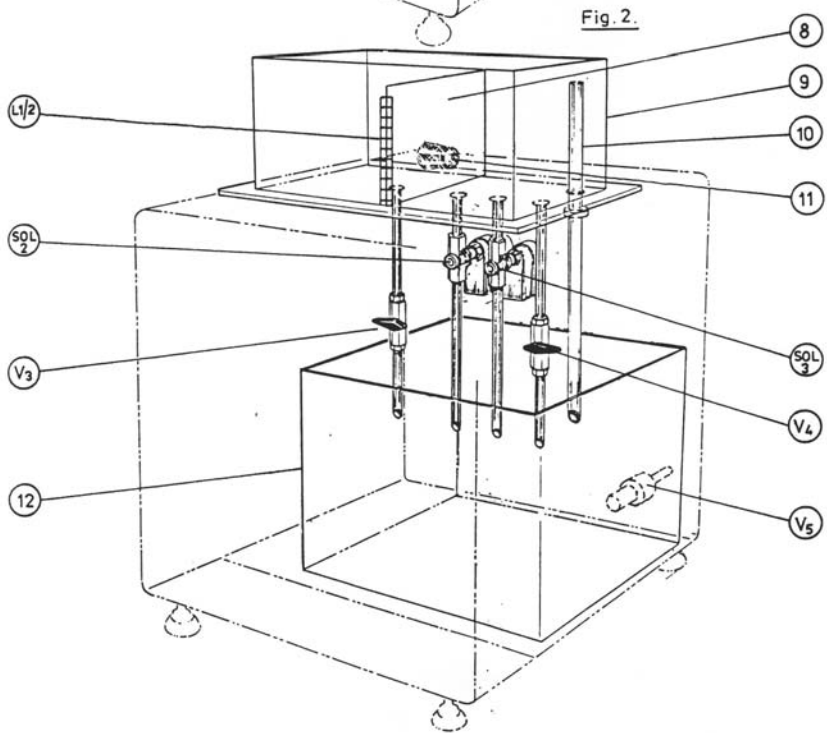
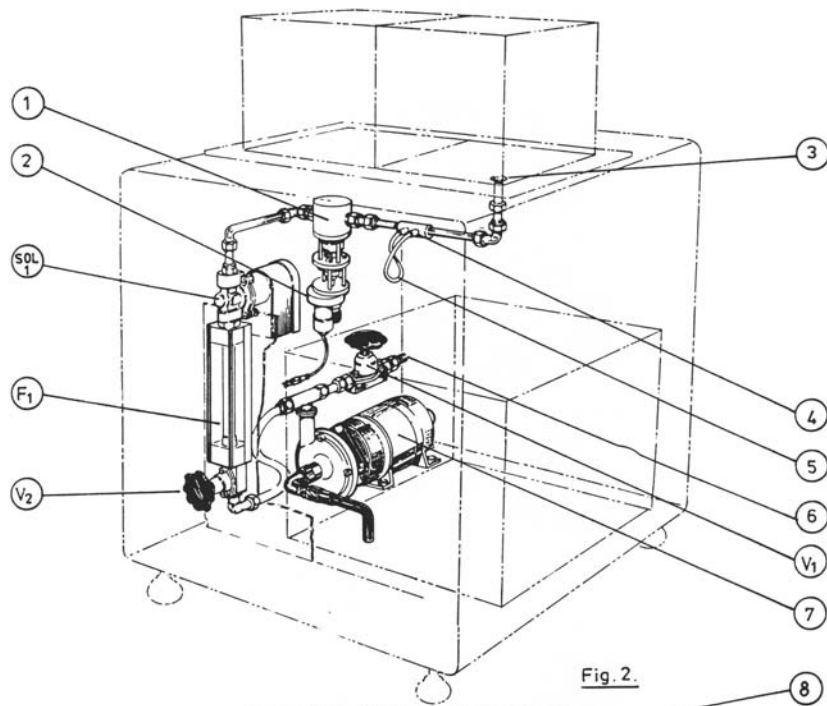
Procesni modul PCT9 je namenjen regulaciji pretoka in nivoja gladine v procesnem rezervoarju. Ker je za obratovanje modula potrebno električno napajanje, ga povežemo z električno konzolo PCT10.

Procesni modul vsebuje:

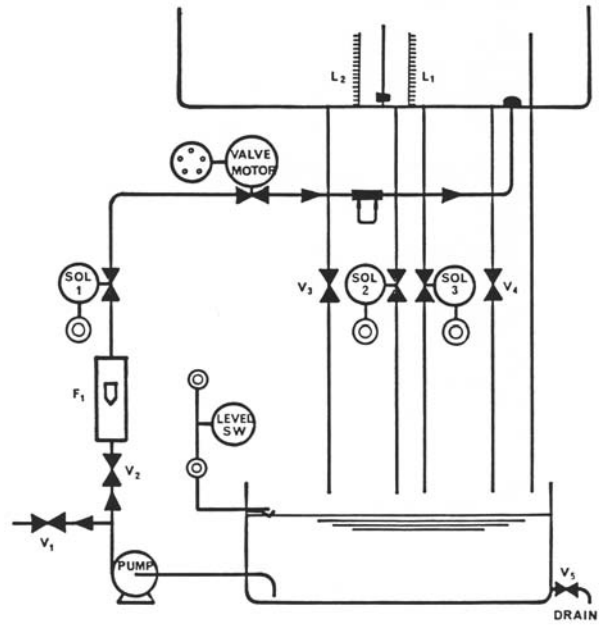
- zbirni rezervoar,
- procesni rezervoar,
- črpalko,
- rotameter,
- ročni ventil,
- avtomatski ventil,
- solenoidne ventile,
- ventil za izpust,
- cevno omrežje,
- nivojno stikalo.

Glavne sestavne dele modula prikazuje Slika 13, shematski prikaz pa Slika 14. 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.

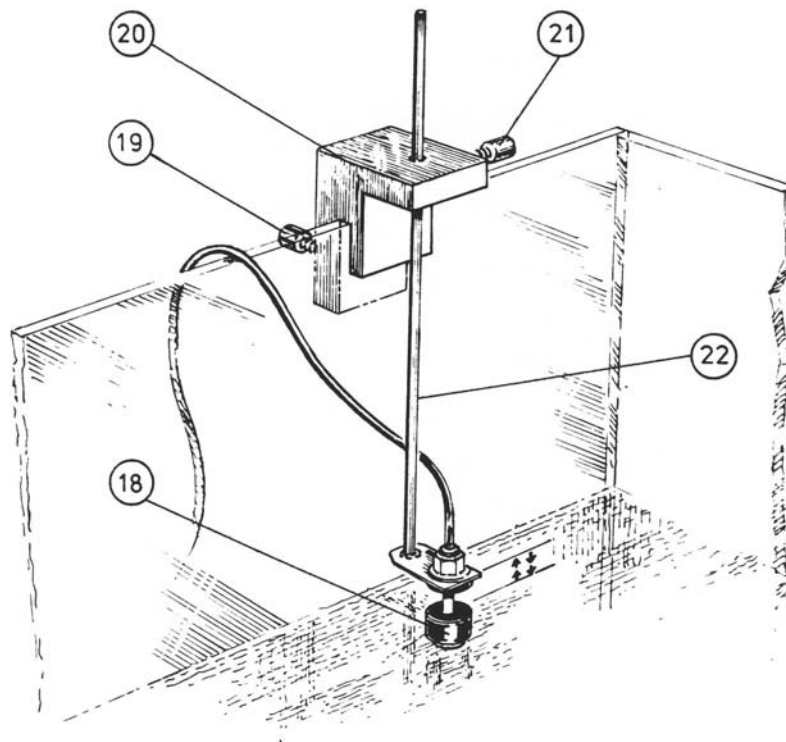


Slika 13: Procesni modul – PCT9.



Slika 14: Shematski diagram procesnega modula PCT9.

Nivojno stikalo (18, Slika 15) je pritrjeno na steno zbirnega rezervoarja s plastičnim vijakom (19). Višino stikala lahko nastavimo z dvigom palice (22) in plastičnim vijakom (21). Stikalo vsebuje magnet, ki odvisno od položaja plovca daje signal stikalu na električni konzoli PCT10. Namenjeno je prikazu ON/OFF kontrole.



Slika 15: Nivojno stikalo.

4 MODUL ZA REGULACIJO NIVOJA – PCT11

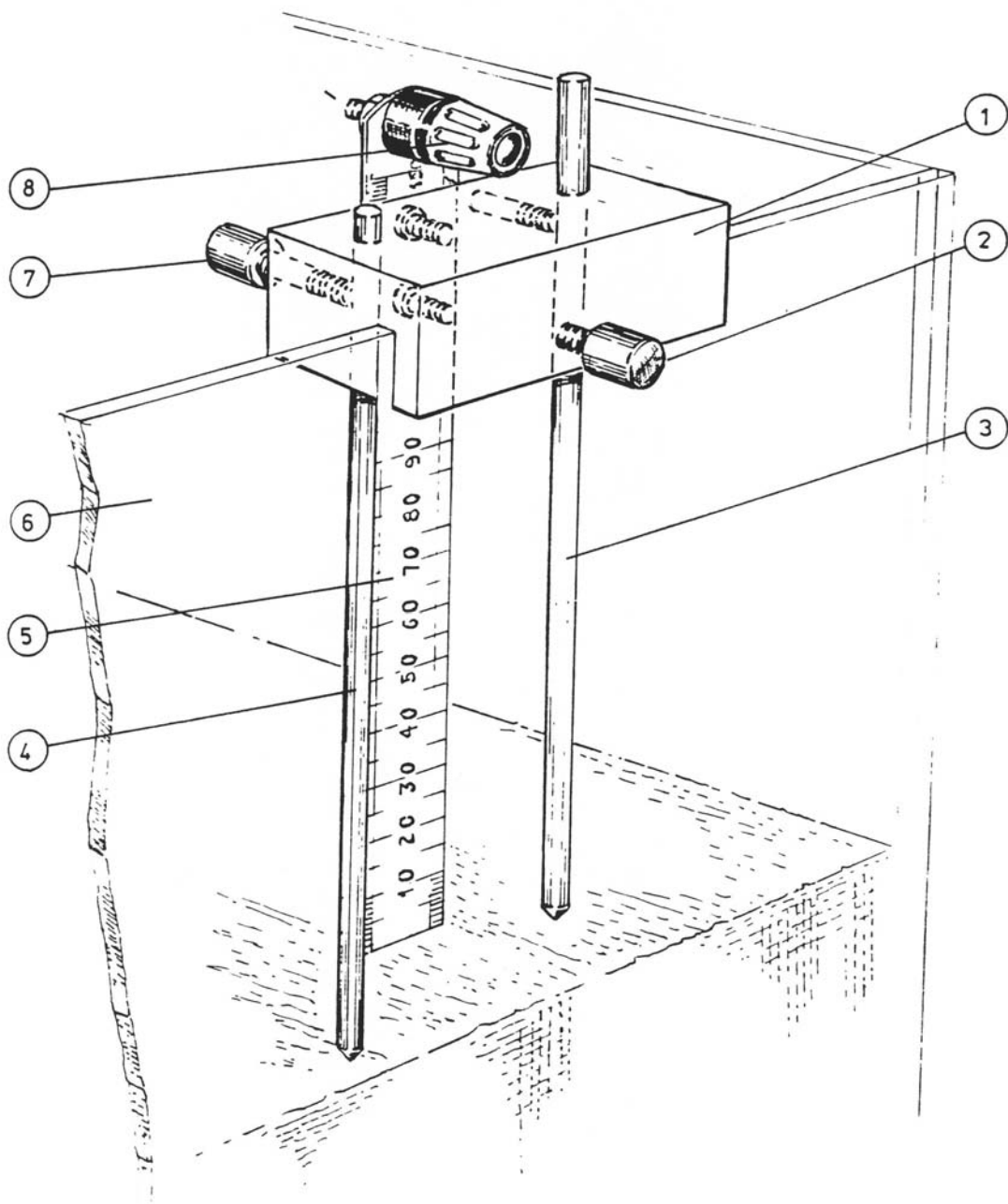
Modul PCT11 je namenjen regulaciji nivoja v procesnem rezervoarju. Uporabljamo ga v kombinaciji z modulom za kontrolo pretoka in nivoja gladine PCT9 in električno konzolo PCT10. Omogoča demonstracijo enostavne ON/OFF in časovno proporcionalne regulacije.

Procesni modul sestavljajo:

- dvojno HIGH/LOW nivojno stikalo
- nivojni senzor
- prirejevalni modul.

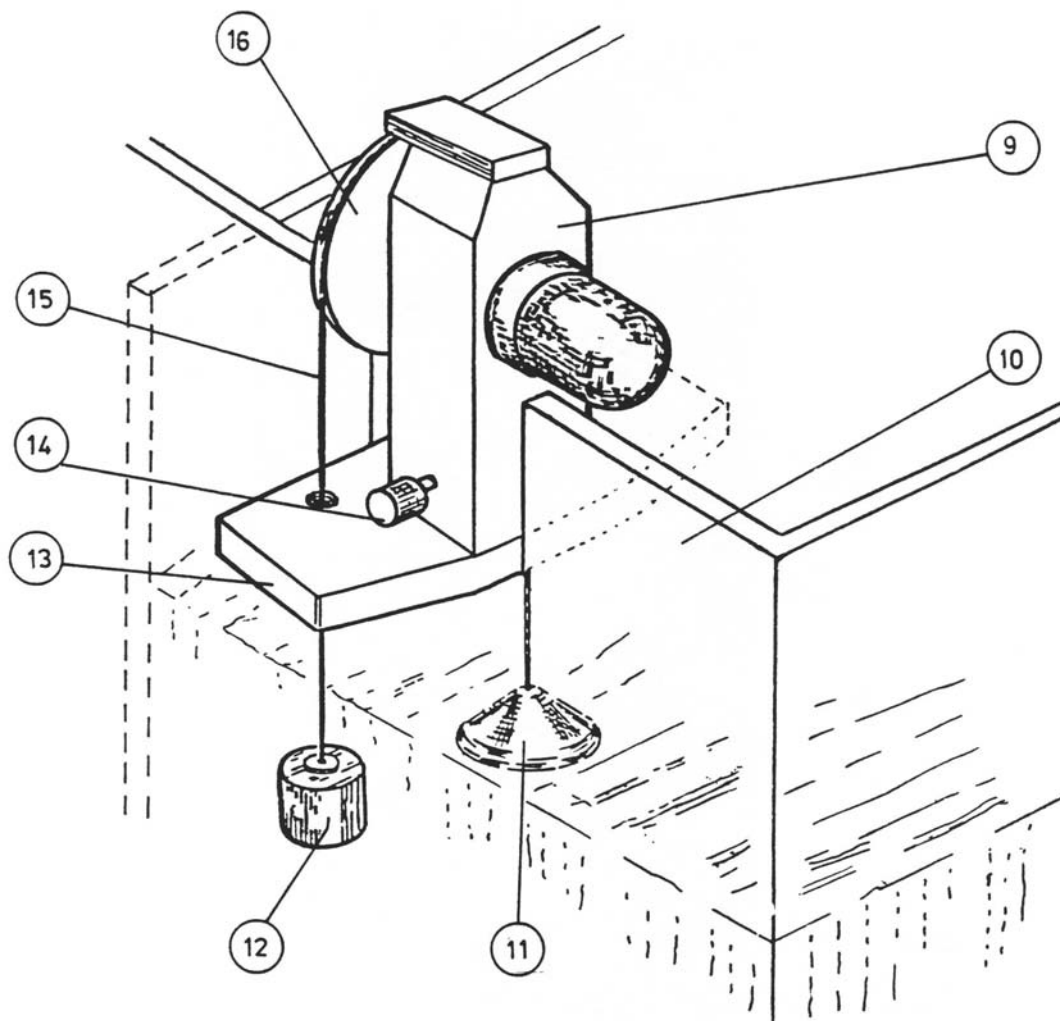
Dvojno HIGH/LOW nivojno stikalo (Slika 16) je sestavljeno iz treh elektrod, od katerih je ena osnovna (5) z milimetrsko skalo in dve pomožni premični (3 in 4). Stikalo pritrdimo na prednjo steno procesnega rezervoarja s plastičnim vijakom (2). Elektrode povežemo z igličnimi priključki stikala na električni konzoli PCT10.

Stikalo lahko uporabljamo kot enostavno stikalo s povezavo osnovne in ene pomožne elektrode ali kot dvojno HIGH/LOW stikalo s povezavo osnovne z obema elektrodama. Z enostavnim stikalom kontroliramo nivo gladine okoli ene točke, odvisne od višine konice pomožne elektrode. Z dvojnim stikalom lahko nivo gladine vzdržujemo med najvišjo in najnižjo točko, ki ju določata konici obeh pomožnih elektrod. S stikalom lahko preko stikala na konzoli PCT10 manipuliramo s črpalko ali solenoidnimi ventili.



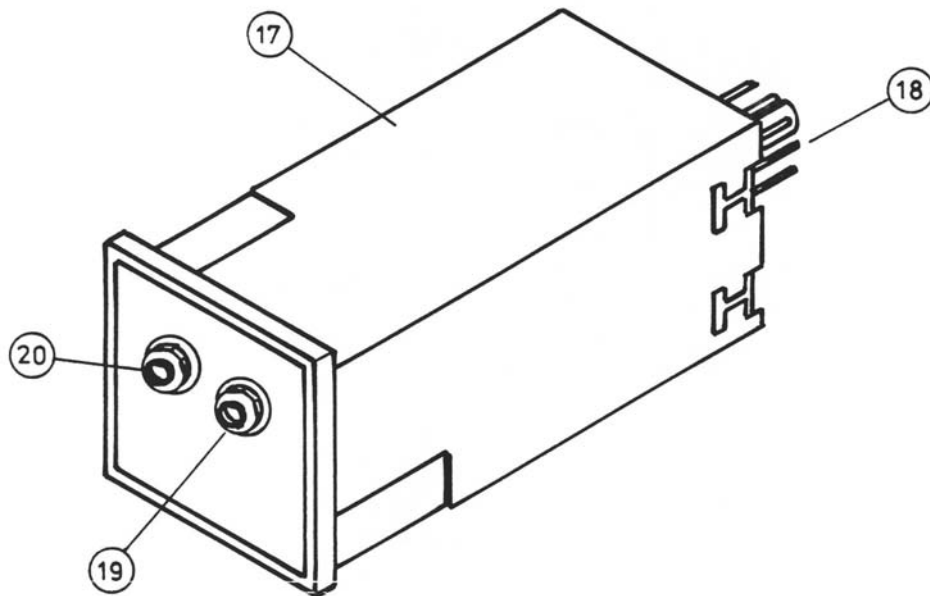
Slika 16: Dvojno HIGH/LOW nivojno stikalo.

Nivojni senzor (Slika 17) omogoča analognu meritev nivoja gladine. Položaj gladine zazna s potenciometrom (9), ki ga premika škripec (16). Na škripec je preko vrvi obešen plovec (11) s protiutežjo (12). Senzor pritrdimo na steno procesnega rezervoarja (10) s plastičnim vijakom (14). Nivojni senzor povežemo z igličnimi priključki zelene, bele in rjave barve z električno konzolo PCT10.



Slika 17: Nivojni senzor.

Prirjevalni modul (Slika 18) omogoča prireditev signala nivojnega senzorja v merilno območje 0 – 1 VDC. Sestavljen je iz plastičnega ohišja (17) in ga povežemo z električno konzolo preko osempolnega priključka (18) na zadnjem delu modula. Na prednji strani sta dva potenciometra za nastavitve ničle (20) in naklona (19).



Slika 18: Prirjevalni modul za povezavo nivojnega senzorja z električno konzolo PCT10.

5 MODUL ZA PROGRAMABILNO LOGIČNO KONTROLO

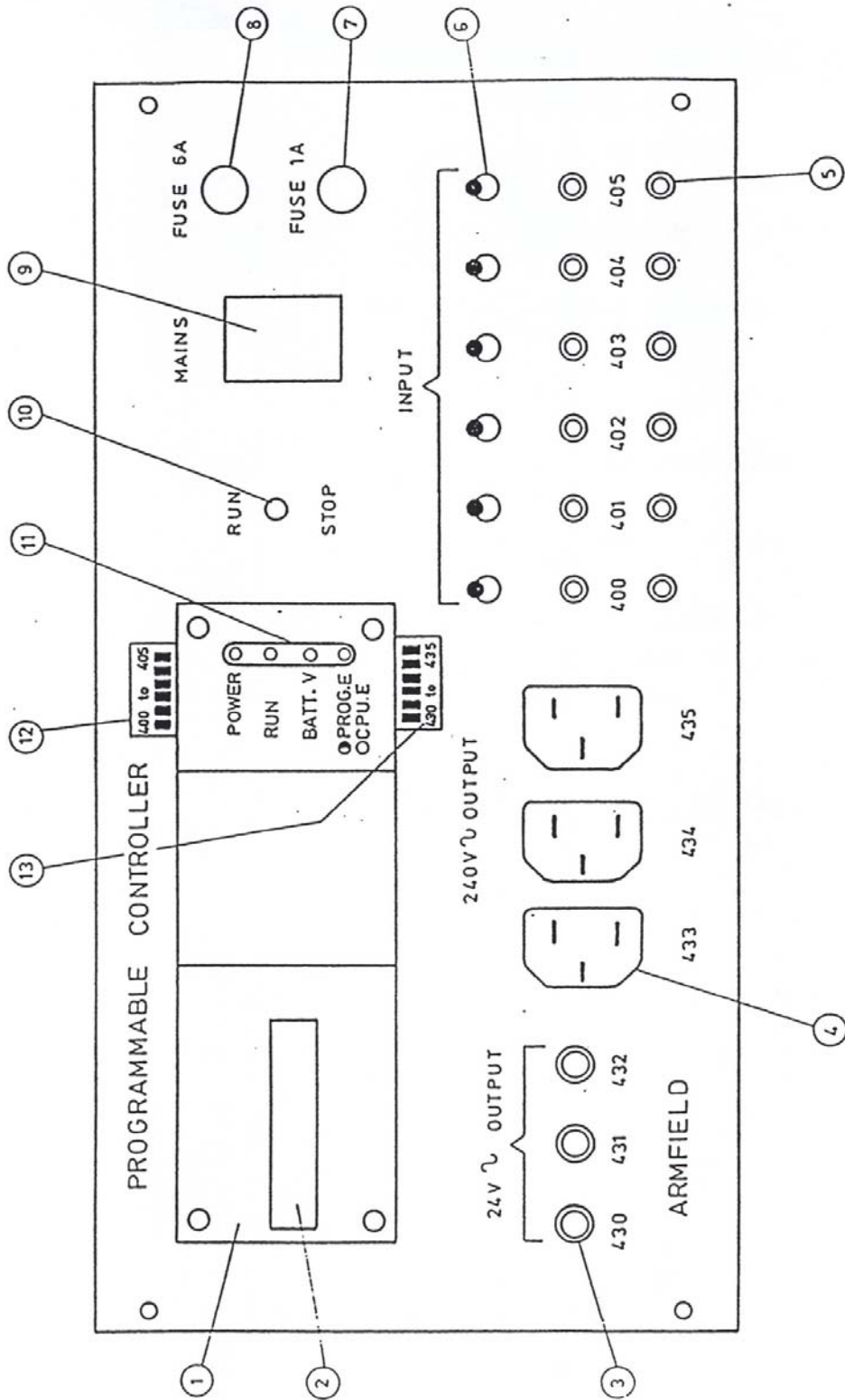
Modul za programabilno logično kontrolo PCT18 je namenjen prikazu programabilne regulacije procesa in ga uporabljamo v kombinaciji z električno konzolo PCT10 in katerim od procesnih modulov, ki ima možnost ON/OFF regulacije. Dogodke v procesu lahko sprogramiramo v okviru določene logike in zaporedja. Demonstracija programabilne kontrole je možna tudi brez priključenega procesnega modula s simulacijo dogajanja z uporabo stikal in indikatorskih lučk na konzoli PCT18.

Modul PCT18 sestavlja:

- programabilni logični kontroler (PLC),
- programabilna tastatura.

Osrednji element modula PCT18 (Slika 19) je programabilni logični kontroler (1), vstavljen v konzolo, ki se uporablja tudi v dejanskih procesih pri krmiljenju ON/OFF senzorjev in kontrolnih elementov. Vsebuje centralno procesno enoto, programski spomin, vmesnik za šest vhodov in šest izhodov, osem časovnih in osem navadnih števecov ter baterijski back-up za spomin. Niz uporabnikovih inštrukcij je shranjenih v spomin v obliki programa, ki kontrolira stanje vhodnih stikal in v smislu programa preko izhodnih stikal vpliva na dogajanje v procesu.

Vhodne signale, ki jih proizvajajo nivojna stikala, termostati ipd., vodimo v regulator preko šestih igličnih priključkov (5). Izhodne signale dobimo na treh 24 VAC jack priključkih (3) in treh 240 VAC tripolnih priključkih (4), s katerimi lahko krmilimo solenoidne ventile, črpalke, grelce ipd. Vsak vhod v regulator spremlja vzporedno vezano ročno stikalo (6) za prikaz principa programabilne kontrole brez priključenega dejanskega sistema.



Slika 19: Modul za programabilno logično kontrolo.

Konzola je opremljena z glavnim stikalom z indikatorsko lučko (9), varovalko regulatorja (7) in varovalko izhodov (8). Aktivnost programa sprožimo s stikalom (10). Stanje vsakega od vhodov lahko opazujemo na indikatorskih lučkah (12) in izhodov na (13). Status regulatorja prikazujejo indikatorji (11). Programabilno tastaturo povežemo z regulatorjem preko priključka (2).

Za programiranje uporabimo naslednje osnovne sekvenčne ukaze:

LD	normalno odprt kontakt,
LDI	normalno zaprt kontakt,
OUT	dodelitev izhodnega stikala,
K	nastavitev konstante,
AND	zaporedna povezava normalno odprtega kontakta,
ANI	zaporedna povezava normalno zaprtega kontakta,
OR	vzporedna povezava normalno odprtega kontakta,
ORI	vzporedna povezava normalno zaprtega kontakta,
ORB	vzporedna povezava veje,
ANB	zaporedna povezava veje,
S	ukaz za vključitev izhodnega stikala,
R	ukaz za izključitev izhodnega stikala,
PLS	ukaz za vključitev izhodnega signala za eno zanko,
RST	ukaz za izključitev normalnega števca ali pomikalnega stikala,
SFT	ukaz za pomik (s pomikalnim stikalom),
MC	vnos podzank,
NOP	brez procesnega ukaza,
CIP	pogojni skok,
EJP	konec pogojnega skoka,
END	konec programa.

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

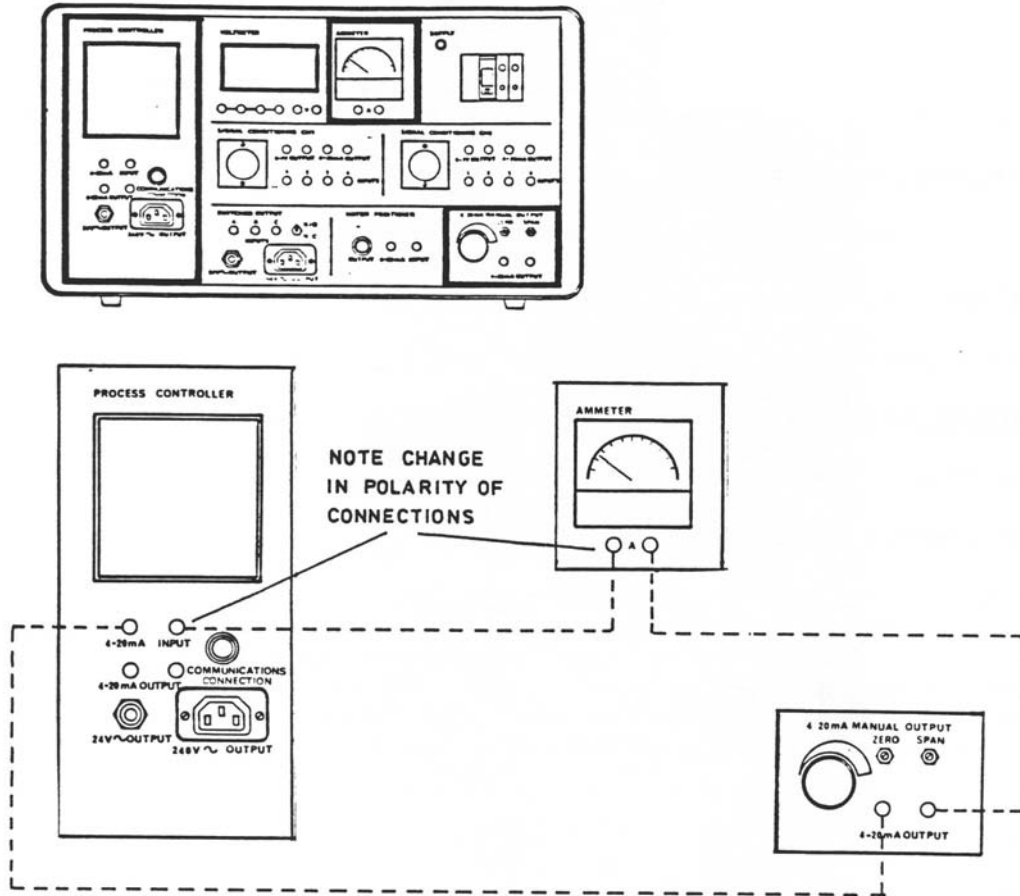
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in velikega števila porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, katerih seštevek ustreza uporu vira napetosti.

POSTOPEK:

4–20 mA ročno nastavljivi izhod (MANUAL OUTPUT) zvežemo z vhomom (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

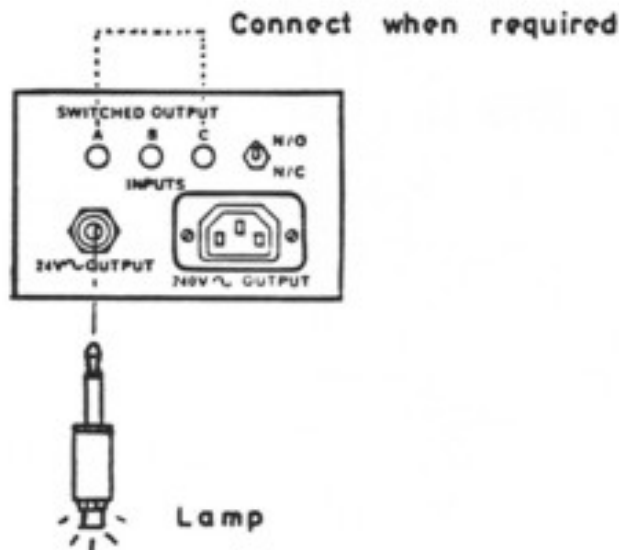
Priključka A in C na izhodu stikala (SWITCHED OUTPUT) sta zaporedno povezana z delovno tuljavo stikal 24 VAC in 240 VAC izhodov za električno napajanje. Ko sta priključka sklenjena, se aktivira tuljava, ki vključi stikali. Z ročnim stikalom lahko izbiramo med normalno odprtim (N/O) in normalno zaprtim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

Namesto indikatorske lučke lahko na izhod priključimo solenoidni ventil (SOL1) z uporabo sivega kabla z jack priključki. Stikalo postavimo v N/O položaj in opazujemo delovanje ventila. Stikalo postavimo v N/C položaj in ponovno opazujemo delovanje ventila. Postopek ponovimo s sklenjenima priključkoma A in C. Če procesni modul vsebuje normalno odprte in normalno zaprte ventile, postopek ponovimo za vsakega od njih.

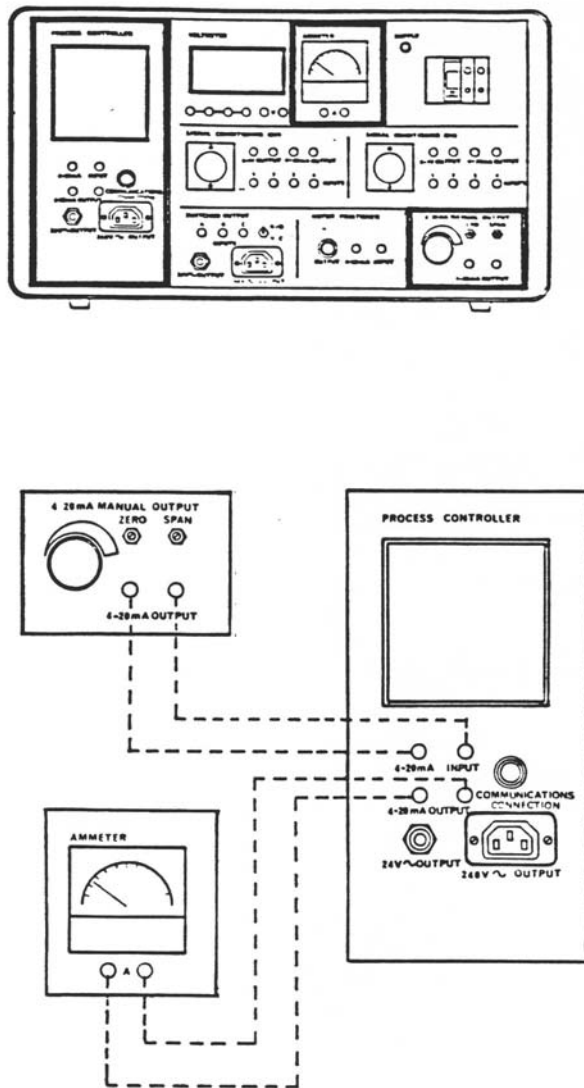
V 240 VAC izhod lahko priključimo črpalko ali grelec. Ponovimo zgoraj opisani postopek.



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	območje nastavitve	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'	1	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	-
direktna akcija	'SC-2'	- d 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.

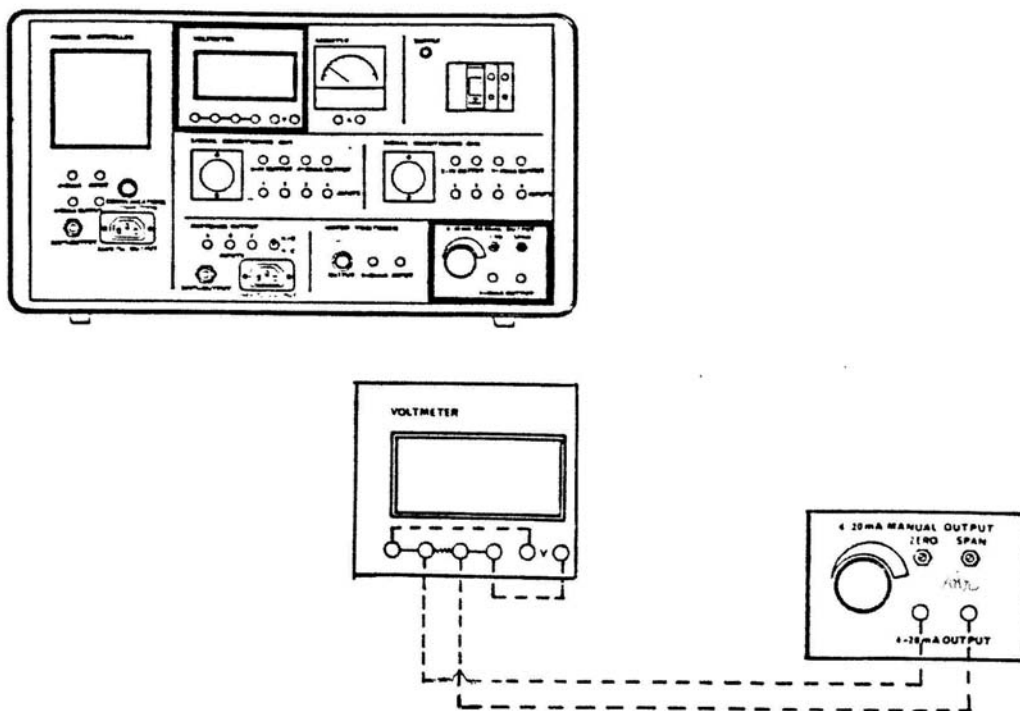
2 UMERITVE

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:

Z dvema kratkim kabloma (rdečim in črnim) 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 UMERITEV NIVOJNEGA SENZORJA

Nivojni senzor je pritrjen na zgornji rezervoar modula PCT9. Prirejevalni modul za nivo je vstavljen v enega od priključkov na električni konzoli PCT10. Pred pričetkom dela na procesnem modulu PCT9 moramo nivojni senzor umeriti. Izvedli bomo sledečo umeritev:

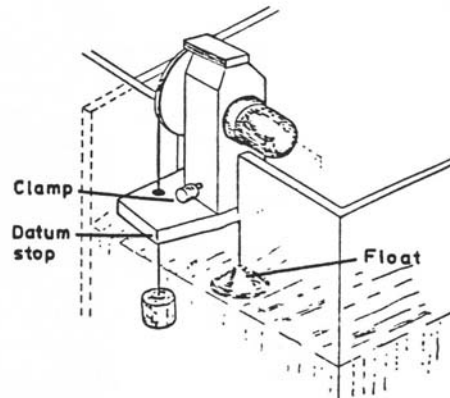
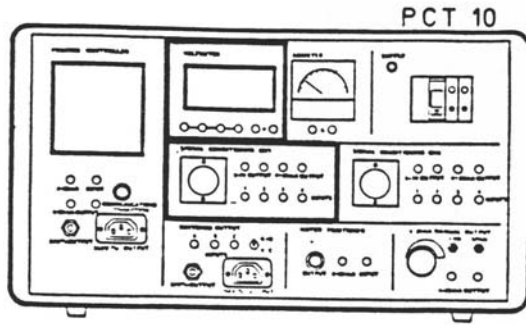
- minimalni nivo: 40 mm = 0 V = 0 %
- maksimalni nivo: 140 mm = 1 V = 100 %

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

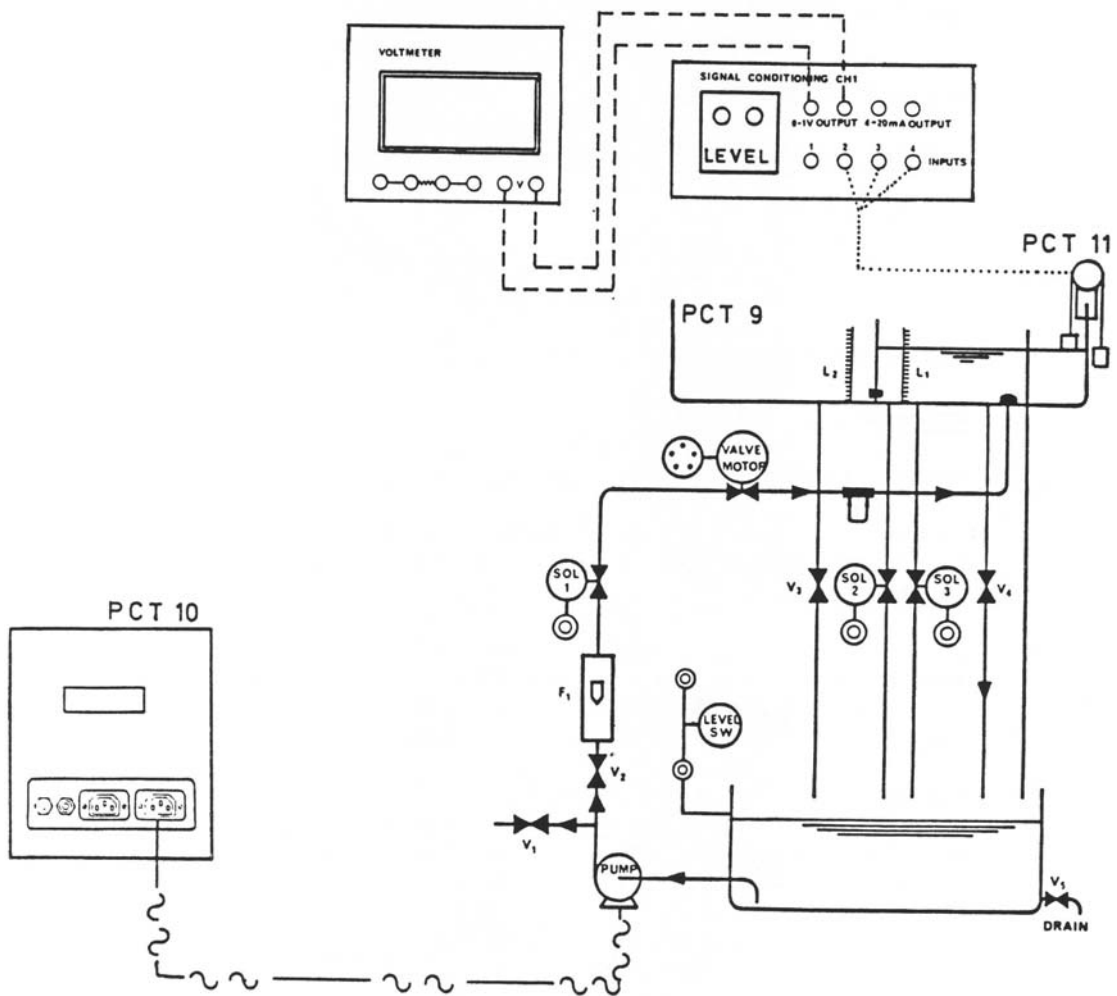
- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

POSTOPEK:

- Zvežemo nivojni senzor s prirejevalnim modulom, kot kaže Slika 24.
- Priključimo črpalko na električno napajanje. Če je ročni ventil (V2) odprt, se prične procesni rezervoar polniti z vodo.
- 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). Ko se ventil odpre, kabel odstranimo.
- Z ventilom (V2) naravnamo hitrost vtoka in z ventilom (V4) hitrost iztoka iz procesnega rezervoarja tako, da dosežemo konstantno višino gladine pri 40 mm. Ko se nivo ustali, nastavimo ničlo s potenciometrom (ZERO) na prirejevalnem modulu, da bo odčitek na voltmetru 0,000 V.
- Nato napolnimo rezervoar do višine 140 mm. Z nastavljanjem ventilov (V2) in (V4) dosežemo, da se nivo ustali. Ko se nivo ustali, nastavimo naklon na prirejevalnem modulu s potenciometrom (SPAN), da bo odčitek na voltmetru 1,000 V.
- Postopek večkrat ponovimo, dokler niso dosežene zelene vrednosti.



DETAILS OF LEVEL SENSOR



Slika 24: Umeritev nivojnega senzorja.

3 ON/OFF REGULACIJA NIVOJA Z UPORABO ENOJNEGA NIVOJNEGA STIKALA

Namen eksperimenta je vzdrževati nivo v rezervoarju s preprosto on/off regulacijo. Za to bomo uporabili enojno nivojno stikalo in solenoidni ventil (SOL1). Solenoidni ventil (SOL1) je normalno odprt (N/O) ventil, kar pomeni, da je odprt, ko ne dobi električnega signala in zaprt, ko dobi električni signal. Nivo bomo vzdrževali na višini plovca z enostavnim odpiranjem in zapiranjem vtočnega ventila (SOL1). Normalno zaprt iztočni ventil (SOL3) bo ves čas priključen na omrežje, torej odprt in bo s tem skrbel, da bo imel rezervoar ves čas tudi iztok vode.

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

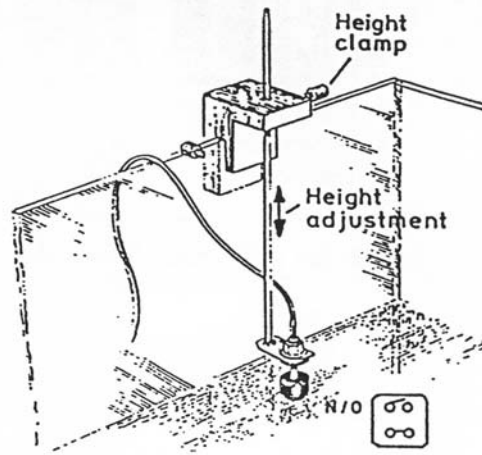
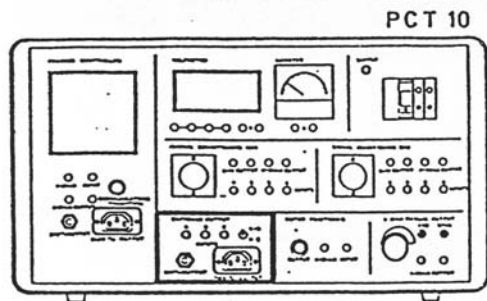
POSTOPEK:

- Premestimo enojno nivojno stikalo iz zbirnega v procesni rezervoar. Z rumenima kabloma povežemo nivojno stikalo (LEVEL SW) in stikalo na konzoli PCT10 (SWITCHED OUTPUT) kot kaže Slika 25.
- Solenoidni ventil (SOL1) zvežemo s sivim kablom na 24 VAC priključek na čelni strani konzole (SWITCHED OUTPUT).
- Solenoidni ventil (SOL3) zvežemo s sivim kablom na 24 VAC priključek na bočni strani konzole.
- Črpalko vklopimo na bočni strani konzole in z ventilom (V2) naravnamo pretok na 3000 cm³/min.
- Stikalo na električni konzoli PCT10, kjer smo povezali ventil (SOL1), mora biti v položaju N/O (normalno odprto).
- Če je postavitve pravilna, voda doteka v procesni rezervoar skozi ventil (SOL1) in izteka skozi ventil (SOL3). Ker vtok v rezervoar presega iztok, gladina narašča, dokler ne doseže plovca. Takrat stikalo zapre ventil (SOL1) in vtok v rezervoar se ustavi. Zaradi ventila (SOL3), ki je ves čas odprt, se rezervoar nekoliko izprazni, zato senzor ponovno odpre ventil (SOL1). Z izmeničnim zapiranjem in odpiranjem ventila (SOL1) na vtoku vzdržujemo nivo.
- Opazujemo gibanje gladine.

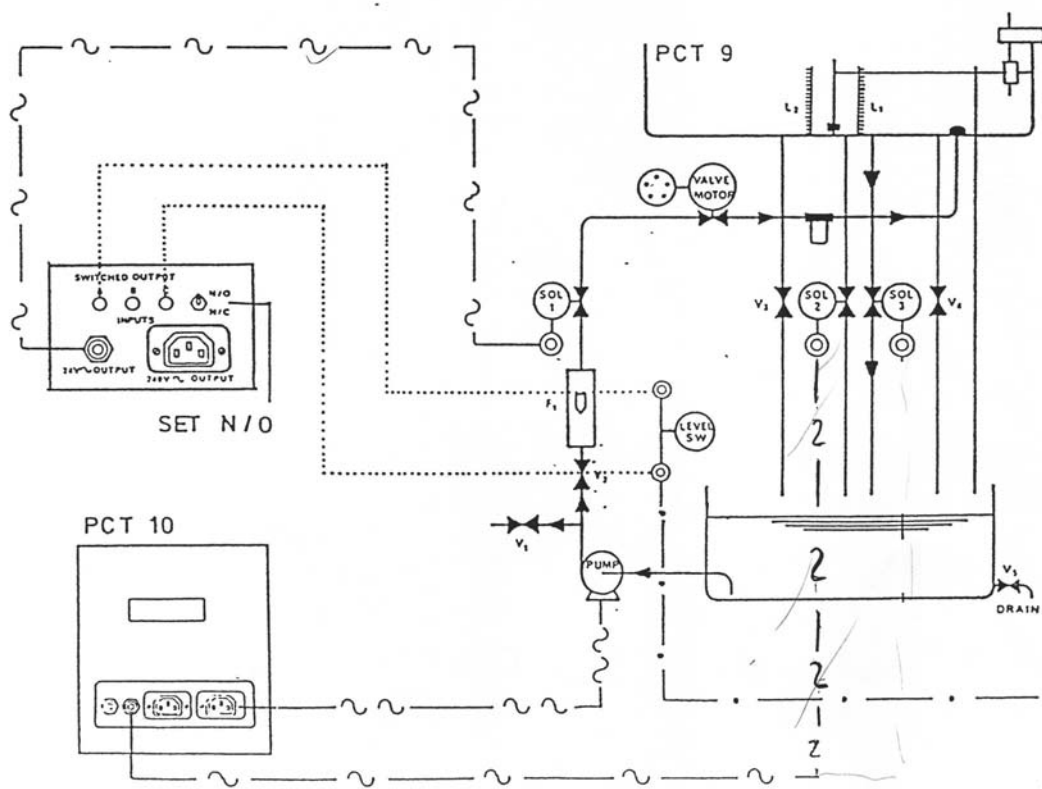
- Izpraznimo rezervoar z odprtjem ročnega ventila (V4) in z ventilom (V2) naravnamo pretok (F1) na $2500 \text{ cm}^3/\text{min}$. Ventil (V4) zopet zapremo in ponovimo postopek.
- Eksperiment ponovimo še z vtokom (F1) $1500 \text{ cm}^3/\text{min}$.
- Nazadnje naravnamo hitrost vtoka na $3000 \text{ cm}^3/\text{min}$ in preklopimo stikalo na električni konzoli (SWITCHED OUTPUT) v položaj N/C (normalno zaprto). Opazujemo, kaj se zgodi. POZOR: če je pretok nekaj sekund enak 0, izklopimo črpalko!

Opažanja:

- a) Opišite in primerjajte gibanje gladine v procesnem rezervoarju pri vrednostih pretoka 3000 , 2500 in $1500 \text{ cm}^3/\text{min}$.
- b) Zakaj regulacija z ventilom (SOL1) ni možna, če je na konzoli stikalo nastavljeno na N/C?



DETAILS OF LEVEL SWITCH



Slika 25: Konzola nivoja gladine z enojnim nivojnim stikalom.

4 ON/OFF KONTROLA Z UPORABO DVOJNEGA NIVOJNEGA STIKALA

Namen vaje je vzdrževati nivo gladine v procesnem rezervoarju med minimalno in maksimalno vrednostjo z uporabo dvojnega nivojnega stikala in solenoidnega ventila (SOL3) na iztoku. Solenoidni ventil (SOL3) je normalno zaprt (N/C) ventil, kar pomeni, da je zaprt, ko ne dobi električnega signala in odprt, ko dobi električni signal. Nivo bomo vzdrževali med konicama dveh elektrod z enostavnim odpiranjem in zapiranjem iztočnega ventila (SOL3). Vtočni ventil (SOL1) bo ves čas odprt, da bo zagotovljen neprekinjen vtok vode.

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

POSTOPEK:

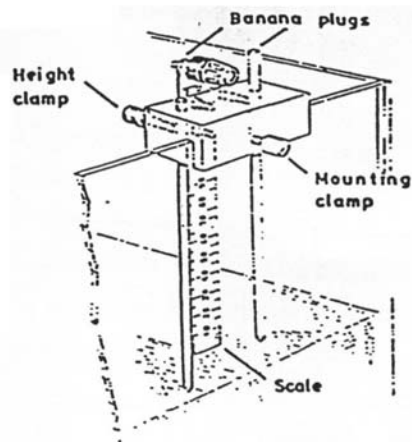
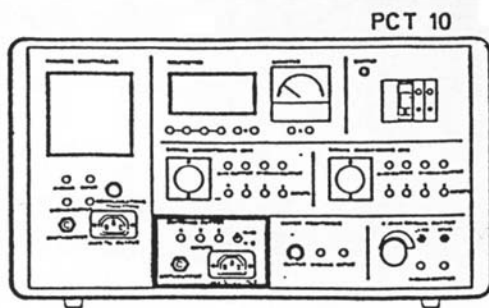
- Enojno nivojno stikalo, ki smo ga uporabili pri prejšnjem eksperimentu, vrnemo nazaj v zbirni rezervoar. Na njegovo mesto v procesnem rezervoarju pritrdimo dvojno nivojno stikalo.
- Elektrodi nastavimo tako, da bo konica zgornje elektrode približno 20 mm nad spodnjo.
- Dvojno nivojno stikalo povežemo z rumenimi kabli s stikalom na električni konzoli PCT10 (SWITCHED OUTPUT), kot kaže Slika 26. Pazimo na lego priključkov A, B in C.
- Črpalko vklopimo na bočni strani konzole in z ventilom (V2) naravnamo pretok na 1500 cm³/min.
- Opazujemo nihanje nivoja gladine v procesnem rezervoarju. Izmerimo čas, ki je potreben, da gladina naraste od spodnje do zgornje elektrode in čas, ki je potreben, da se gladina zniža.
- Znižamo pretok z ročnim ventilom (V2) na 1000 cm³/min in ponovimo eksperiment. Izmerimo čas, ki je potreben za naraščanje in čas za padanje gladine.
- Naravnamo hitrost pretoka (F1) na 500 cm³/min in ponovimo postopek.

Opažanja:

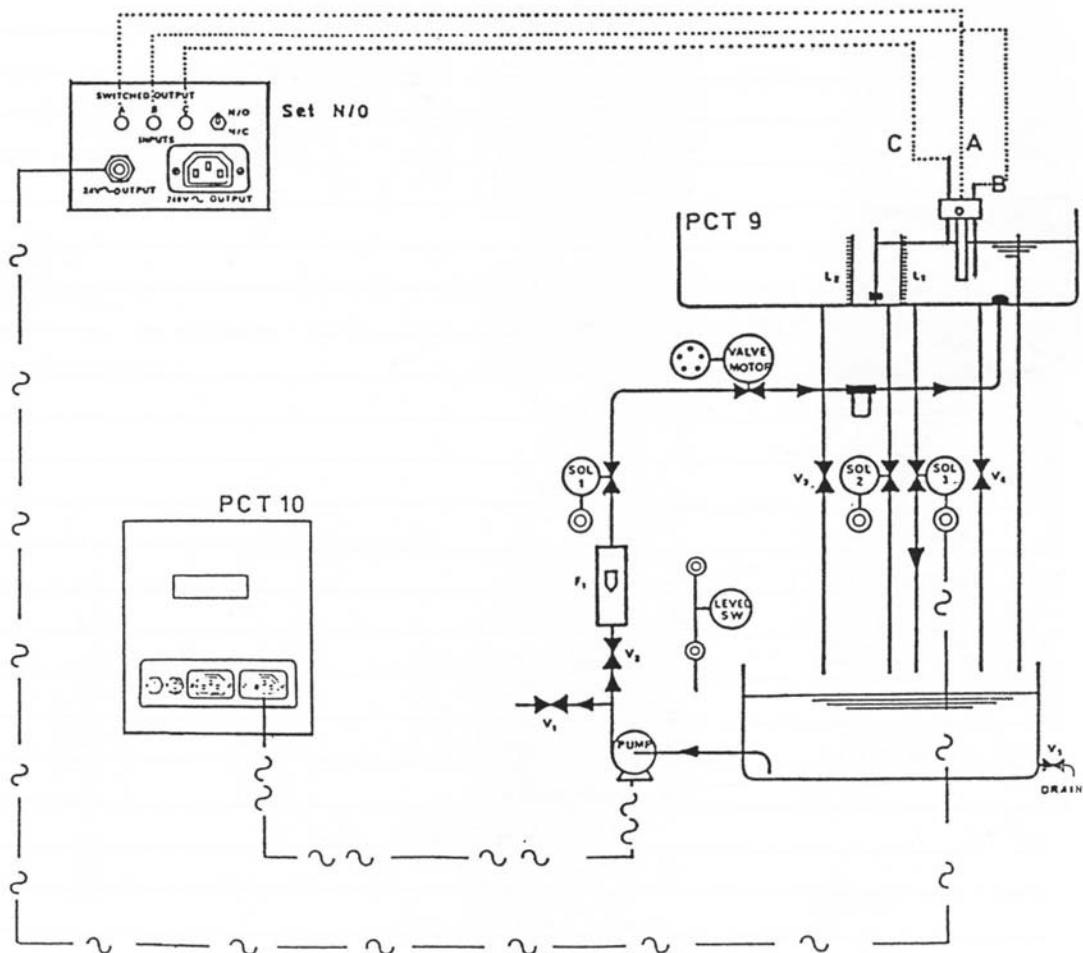
a) Izpolnite naslednjo tabelo:

Pretok (cm ³ /min)	čas naraščanja gladine (s)	čas padaja gladine (s)
1500		
1000		
500		

b) Kako vpliva pretok vtoka na čas, ki je potreben za naraščanje in padanje gladine?



DETAILS OF HIGH LOW LEVEL SWITCH



Slika 26: ON/OFF kontrola z uporabo dvojnega nivojnega stikala.

5 ON/OFF REGULACIJA Z UPORABO NIVOJNEGA SENZORJA

Namen vaje je regulacija gladine v procesnem rezervoarju z uporabo nivojnega senzorja in ON/OFF konfiguracijo procesnega regulatorja, ki krmili delovanje solenoidnega ventila (SOL1) na vtoku.

Voda vstopa v procesni rezervoar skozi solenoidni ventil (SOL1) in ga zapušča skozi solenoidni ventil (SOL3). Če vtok presega iztok, se procesni rezervoar polni, dokler ni dosežena referenčna vrednost, nato procesni regulator zapre vhodni solenoidni ventil (SOL1). Ko gladina nivoja v procesnem rezervoarju pade pod referenčno vrednost, procesni regulator odpre solenoidni ventil (SOL1), da se procesni rezervoar zopet napolni. Ta cikel se kontinuirano nadaljuje.

Solenoidni ventil (SOL1) je normalno odprt, če ni priključen na električno omrežje. Če voda naraste nad zeleno referenčno vrednost, se mora solenoidni ventil (SOL1) zapreti. Zato potrebuje električni signal. Iz tega sledi, da gre za direktno akcijo.

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

V regulator vpišemo naslednje parametre (ostale pustimo nespremenjene):

parameter	koda	območje nastavitve	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	0	%
integracijski čas	'Int'	0	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec
čas periode	'CY-t'	1	sec
histereza	'HYS'	0,1	%

POSTOPEK:

- Povežemo aparaturo, kot kaže Slika 27.
- Črpalko vklopimo na bočni strani konzole in z ventilom (V2) naravnamo pretok na 3000 cm³/min.
- Opazujemo nihanje gladine in zabeležimo najvišjo in najnižjo vrednost nivoja v procesnem rezervoarju.

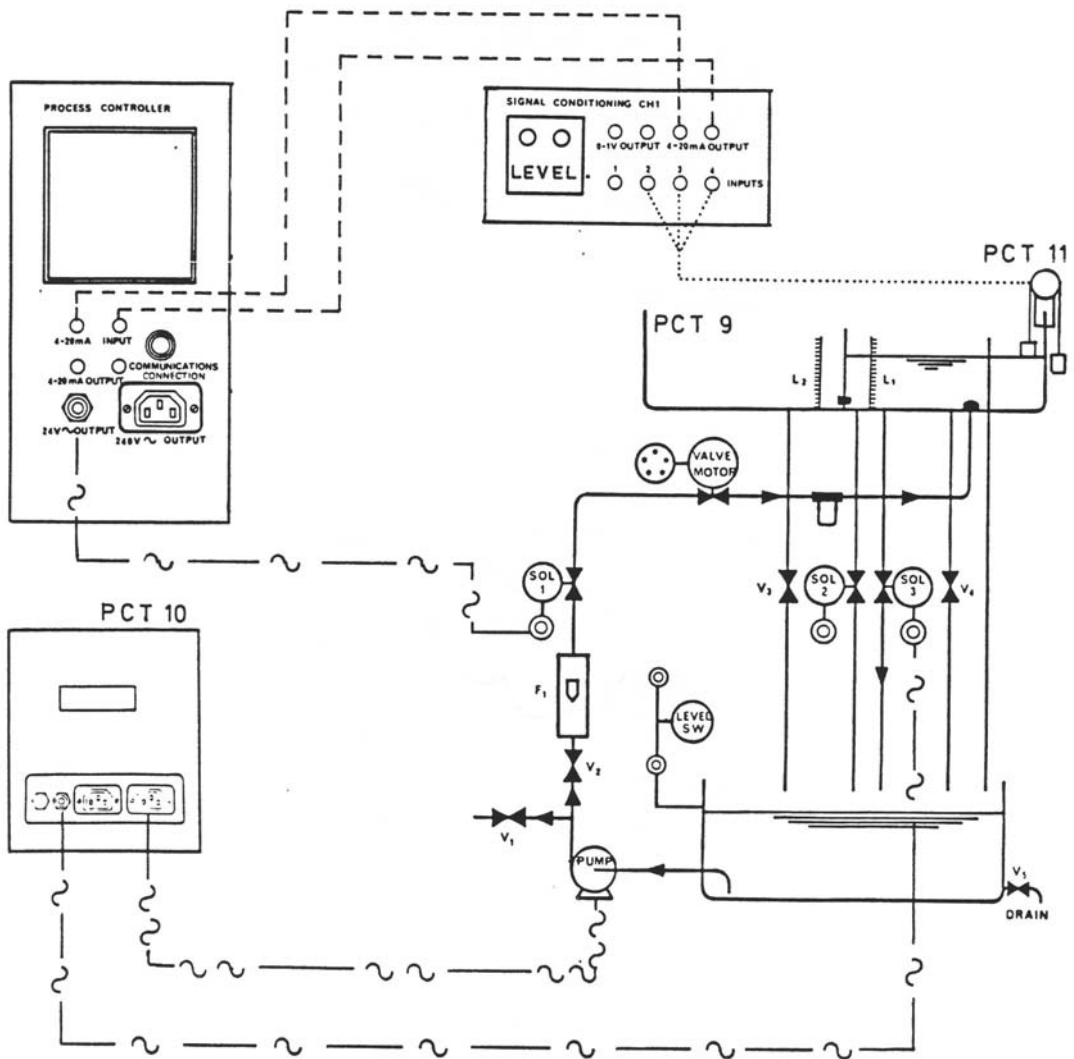
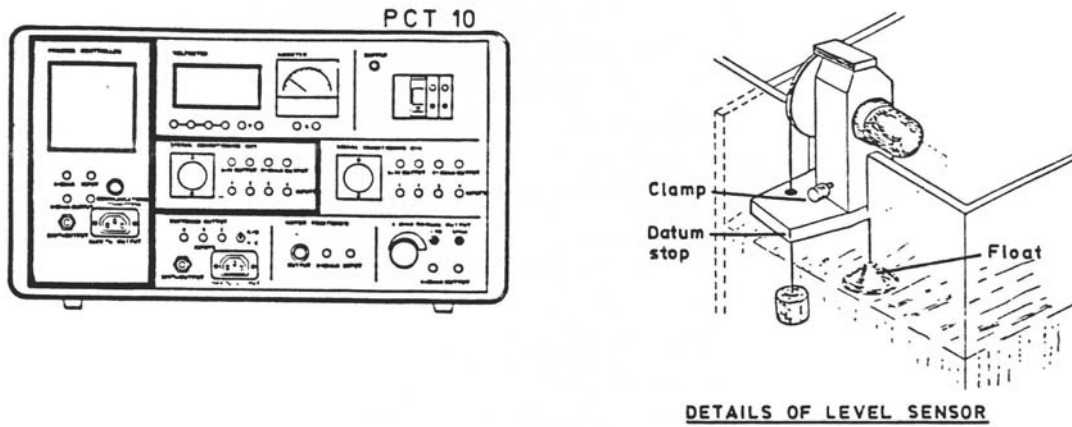
- Spremenimo vrednost histereze na procesnem regulatorju na 2,5 %. Opazujemo zgornjo in spodnjo mejo, med katerima niha gladina in hitrost akcije solenoidnega ventila (SOL1).
- Vrednost histereze povečamo na 10 % in ponovimo postopek.

Opazanja:

a) Izpolnite naslednjo tabelo:

Histereza (%)	Najvišja vrednost gladine		Najnižja vrednost gladine	
	(%)	(mm)	(%)	(mm)
0,1				
2,5				
10				

b) Zapišite, kako vpliva vrednost histereze na procesno veličino, tj. nivo, oz. na kvaliteto regulacije.



Slika 27: ON/OFF kontrola z uporabo nivojnega senzorja.

6 ČASOVNO PROPORCIONALNA REGULACIJA

Namen vaje je vzdrževati nivo gladine v procesnem rezervoarju pri želeni referenčni vrednosti z uporabo nivojnega senzorja, procesnega regulatorja in regulacijo iztoka iz procesnega rezervoarja z normalno zaprtim solenoidnim ventilom (SOL3).

Pri časovno proporcionalni regulaciji regulator nastavlja razmerje med časom odprtosti in zaprtosti ventila (SOL3) tako, da doseže stacionarno stanje, tj. vtok čim bolj enak iztoku. Najpomembnejši parameter časovno proporcionalne regulacije je čas periode (angl. Cycle Time). Če je čas periode npr. 5 s, pomeni, da je skupno trajanje zaprtosti in odprtosti ventila (SOL3) enako 5 s. Znotraj tega intervala regulator spreminja razmerje med časom, ko je ventil zaprt in časom, ko je odprt. Npr. če je nivo v procesnem rezervoarju previsok, bo ventil dalj časa odprt kot zaprt, da se rezervoar nekoliko izprazni. Obratno, če je nivo v procesnem rezervoarju prenizek, bo ventil dalj časa zaprt kot odprt, da se rezervoar nekoliko napolni. Skupno trajanje obeh on in off faze ventila pa bo ves čas enako 5 s.

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

V regulator vpišemo naslednje parametre (ostale pustimo nespremenjene):

parameter	koda	območje nastavitve	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	5	%
integracijski čas	'Int'	0,2	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec
čas periode	'CY-t'	5	sec
histereza	'HYS'	0,1	%

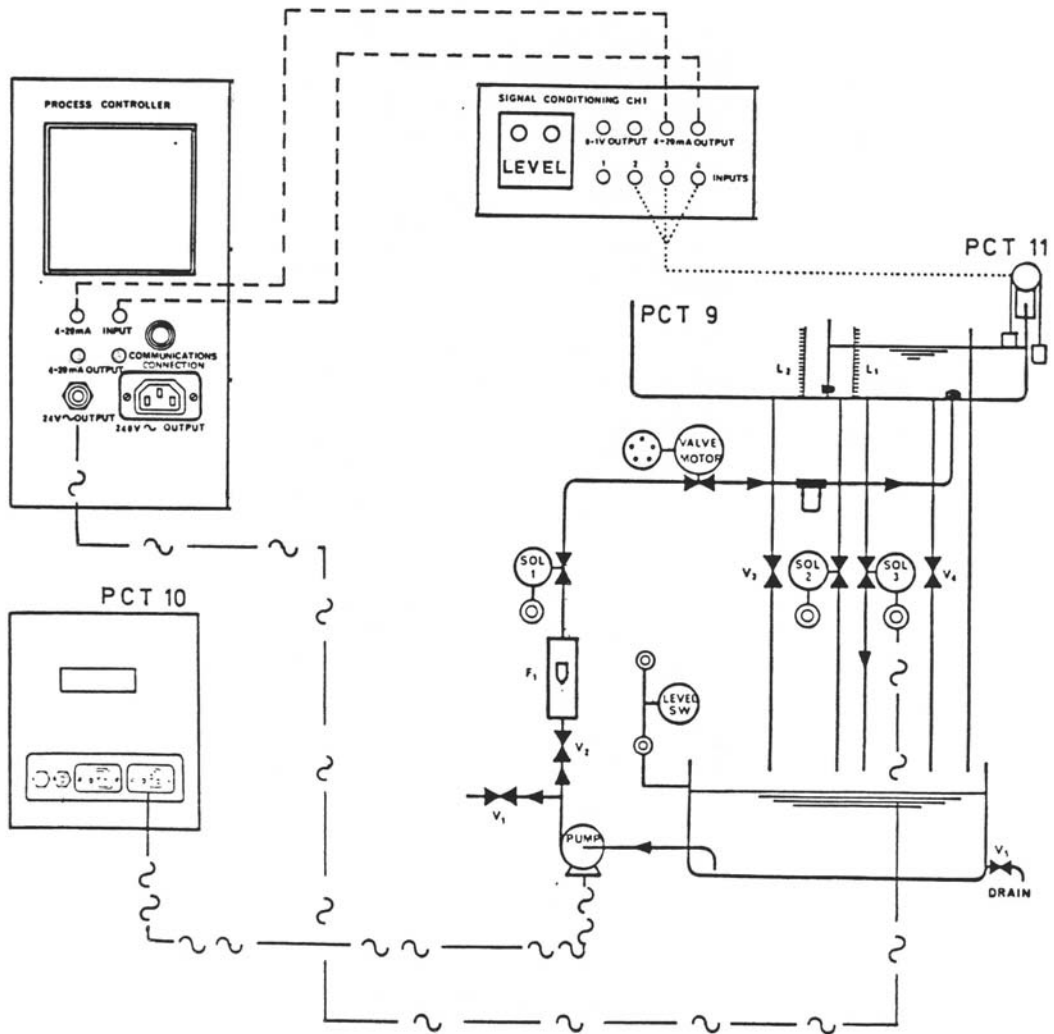
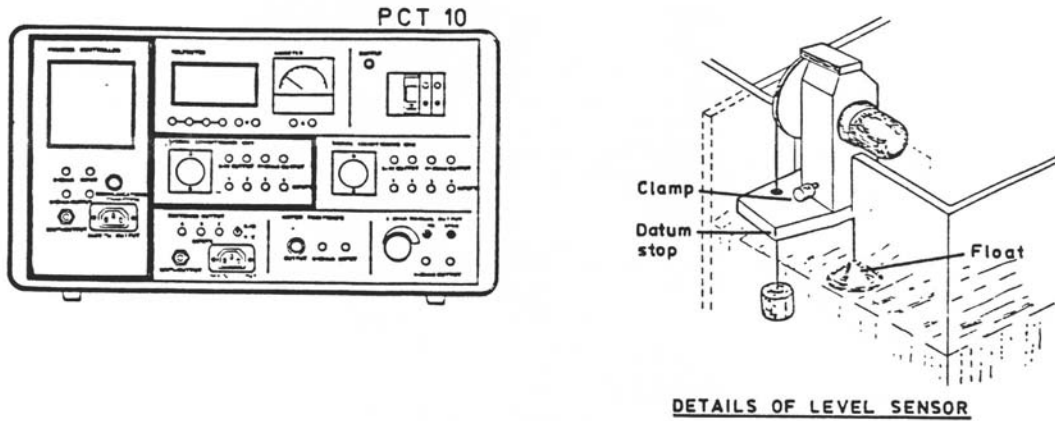
POSTOPEK:

- Povežemo aparaturo, kot kaže Slika 28.
- Črpalko vklopimo na bočni strani konzole in z ventilom (V2) naravnamo pretok na 1000 cm³/min.
- Opazujemo nihanje gladine. Merimo čas trajanja zaprtosti in odprtosti ventila (SOL3).

- Znižamo pretok na $600 \text{ cm}^3/\text{min}$ in ponovimo postopek. Opazujemo spremenjen ritem odpiranja in zapiranja ventila (SOL3).
- Povečajmo čas periode na 30 s in opazujemo nihanje gladine

Opazanja:

- a) Kako se spremenita čas trajanja odprtosti in zaprtosti ventila, če se pretok vtoka zniža in ostane čas periode nespremenjen?
- b) Kako vpliva podaljšan čas periode na nihanje gladine?



Slika 28: Časovno proporcionalna kontrola.

7 PROGRAMABILNA LOGIČNA KONTROLA

Namen vaje je prikazati, kako lahko s programiranim vklopjanjem in izklopjanjem ventilov in črpalk izvajamo regulacijo nivoja v rezervoarju.

7.1 UČENJE PROGRAMIRANJA S SIMULACIJO PROCESA

Eksperimenti v poglavju 7.1 so namenjeni učenju programiranja s programabilno konzolo. Vhodi 400 do 405 imajo ročna stikala, s katerimi lahko simuliramo vhodni signal senzorjev, npr. nivojnega stikala, saj jih lahko preklapljammo med pozicijama on in off. Vhodi 433, 434 in 435 so namenjeni priključitvi črpalk. Vhodi 430, 431 in 432 so namenjeni priključitvi ventilov. Namesto ventilov bomo v tem delu vaje uporabili indikatorsko lučko, ki bo zasvetila, če bo dobila izhodni signal oz. ne bo svetila, če ne bo dobila signala.

Za vstavljanje programa vedno preklopimo stikalo 'MONITOR/PROGRAM' v položaj PROGRAM in stikalo 'RUN/STOP' v položaj STOP. Ko želimo izvajati program, preklopimo omenjeni stikali v položaj MONITOR oz. RUN.

7.1.1 BRISANJE SPOMINA

Najbolje je, da pred vsakim vnosom novega programa, zberišemo starega. Stikali preklopimo na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:

CLEAR – STEP – 0 – STEP – 9 – 9 – 9 – DEL

7.1.2 LD – normalno odprt kontakt

Vhod 400 (normalno odprt) vklaplja izhod 430.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:

CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0 – WRITE – END – WRITE

- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljammo in izklopjammo stikalo 400 in opazujemo izhod 430.
- Izpolnite tabelo:

Stikalo 400	Lučka sveti?
ON	
OFF	

7.1.3 LDI – normalno zaprt kontakt

Vhod 400 (normalno zaprt) vklaplja izhod 430.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LDI – 4 – 0 – 0 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0 – WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljam in izklapljam stikalo 400 in opazujemo izhod 430.
- Izpolnite tabelo:

Stikalo 400	Lučka sveti?
ON	
OFF	

7.1.4 AND – zaporedna vezava normalno odprtih kontaktov

Vhod 400 (normalno odprt) v zaporedju z vhodom 401 (normalno odprt) vklaplja izhod 430.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – AND – 4 – 0 – 1 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0 – WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljam in izklapljam stikali 400 in 401 ter opazujemo izhod 430.
- Izpolnite tabelo:

Stikalo 400	Stikalo 401	Lučka sveti?
ON	ON	
ON	OFF	
OFF	ON	
OFF	OFF	

7.1.5 ANI – zaporedna vezava normalno odprtega in zaprtega kontakta

Vhod 400 (normalno odprt) v zaporedju z vhodom 401 (normalno zaprt) vklaplja izhod 430.



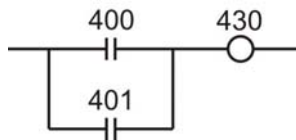
- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:

CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – ANI – 4 – 0 – 1 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0
– WRITE – END – WRITE

- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljam in izklapljam stikali 400 in 401 ter opazujemo izhod 430.
- Izpolnite enako tabelo kot v 7.1.4.

7.1.6 OR – vzporedna vezava normalno odprtih kontaktov

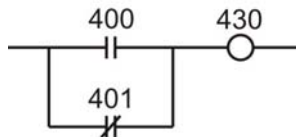
Vhod 400 (normalno odprt) vzporedno z izhodom 401 (normalno odprt) vklaplja izhod 430.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – OR – 4 – 0 – 1 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0
– WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljam in izklapljam stikali 400 in 401 ter opazujemo izhod 430.
- Izpolnite enako tabelo kot v 7.1.4.

7.1.7 ORI – vzporedna vezava normalno odprtega in zaprtega kontakta

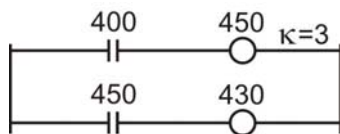
Vhod 400 (normalno odprt) vzporedno z izhodom 401 (normalno zaprt) vklaplja izhod 430.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – ORI – 4 – 0 – 1 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0
– WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklapljam in izklapljam stikali 400 in 401 ter opazujemo izhod 430.
- Izpolnite enako tabelo kot v 7.1.4.

7.1.8 ČASOVNI ŠTEVEC

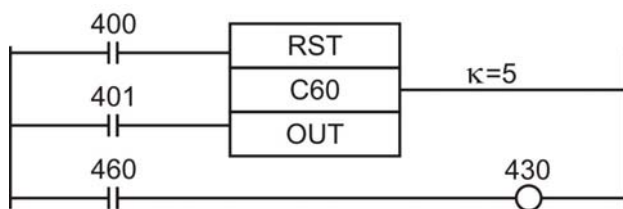
Časovni števec ima rezervirano številko 450. Sprogramirali ga bomo tako, da bo vklopil izhodno stikalo 430 po času 3 s.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – OUT – 4 – 5 – 0 – WRITE – K – 3 – WRITE
– LD – 4 – 5 – 0 – WRITE – OUT – 4 – 3 – 0 – WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklopimo stikalo 400 in opazujemo izhod 430. Kdaj se prižge lučka?

7.1.9 NAVADNI ŠTEVEC

Navadni števec ima rezervirano številko 460. Sprogramirali ga bomo tako, da bo vklopil izhodno stikalo 430 po petkratnem vklopu vhodnega stikala 401. Vhodno stikalo 400 resetira števec in ga vrne na ničlo.



- Preklopimo stikali na PROGRAM oz. STOP in vpišemo zaporedje ukazov:
CLEAR – INSTR – LD – 4 – 0 – 0 – WRITE – RST – 4 – 6 – 0 – WRITE – LD – 4 – 0 – 1 –
WRITE – OUT – 4 – 6 – 0 – WRITE – K – 5 – WRITE – LD – 4 – 6 – 0 – WRITE – OUT –
4 – 3 – 0 – WRITE – END – WRITE
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN. Vklopimo in izklopimo stikalo 400, da resetiramo števec. Vklopimo stikalo 401 petkrat in opazujemo izhod 430.

7.2 PROGRAMABILNA REGULACIJA NIVOJA

Namen naloge je, da sprogramiramo regulacijo nivoja v procesnem rezervoarju s črpalko in iztočnim ventilom (SOL3) na osnovi vhodnega signala enojnega nivojnega stikala. Želimo ustvariti naslednji proces:

- ko je nivo prenizek, naj se vklopi črpalka in zapre ventil (SOL3),
- ko je nivo previsok, naj se črpalka izklopi in čez 5 s se odpre ventil (SOL3).

ZAČETNO STANJE ventilov in črpalke:

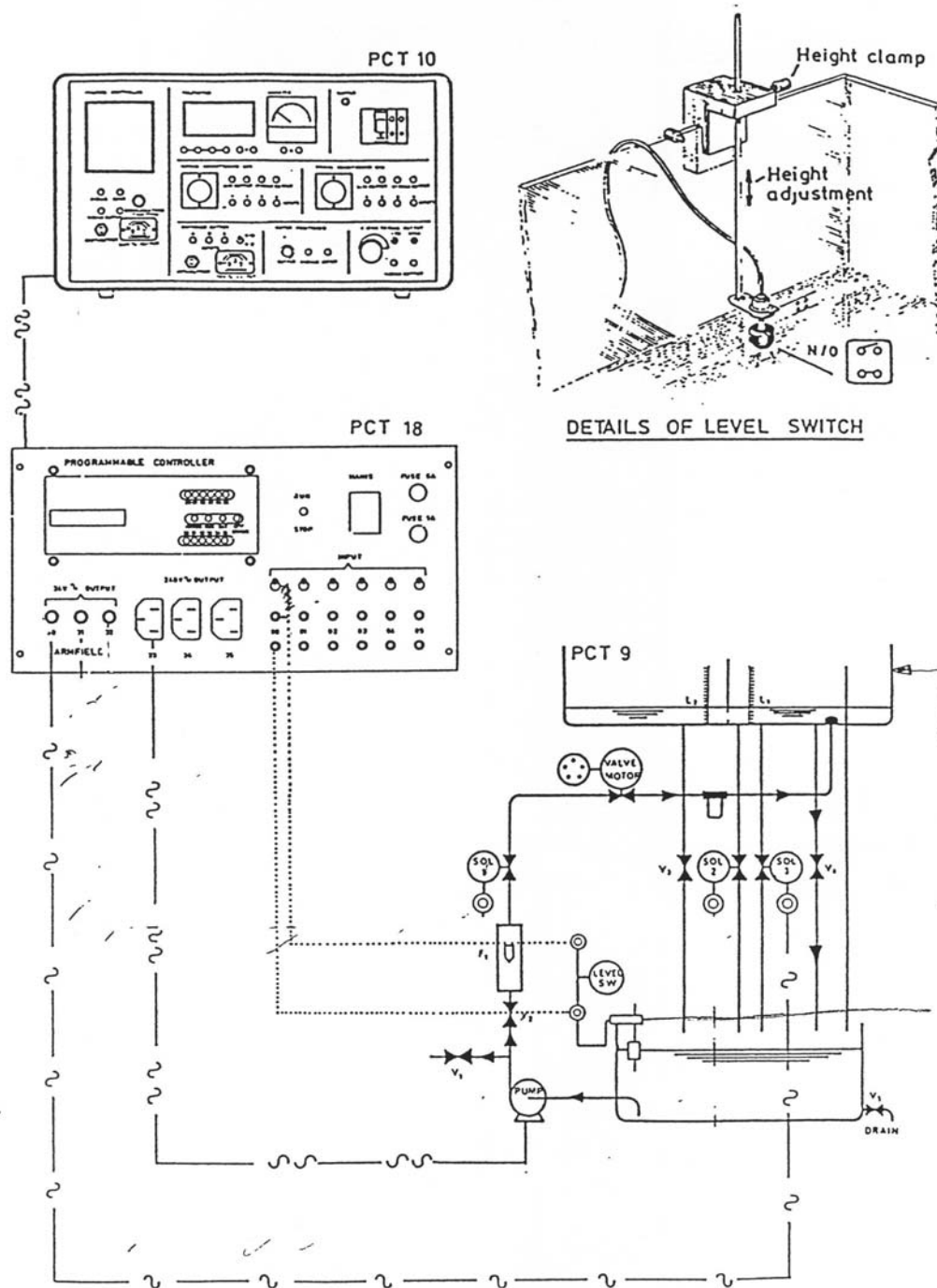
- ročni ventili V1, V3, V4 in V5 zaprti,
- ročni ventil V2 odprt,
- črpalka ne deluje, procesni rezervoar je prazen.

POSTOPEK:

- Najprej narišemo diagram procesa, podoben diagramom v poglavju 7.1. To je 3-vejni diagram, v katerem prva veja povezuje nivojno stikalo (vhod št. 400) s črpalko (izhod št. 433). Drugi dve veji povezujeta nivojno stikalo (vhod št. 400) z ventilom SOL3 (izhod št. 430) preko časovnega števca (rezervirana št. 450; glejte vzorec v poglavju 7.1.8). Potrebno je določiti, kakšni povezavi sta potrebni v vseh vejah: LD ali LDI.
- Na osnovi diagrama napišemo ustrezni program in ga vstavimo v programabilno konzolo pri poziciji stikal PROGRAM oz. STOP.
- Premestimo enojno nivojno stikalo iz zbirnega v procesni rezervoar. Le-ta naj bo prazen. Povežemo črpalko z izhodnim stikalom 433 in solenoidni ventil SOL3 s stikalom 430. Enostavno nivojno stikalo namestimo na steno procesnega rezervoarja in ga povežemo z vhodnim stikalom 400. Shema povezave prikazuje Slika 29.
- Preklopimo stikali na MONITOR oz. RUN.
- Če je program pravilen, se prične rezervoar polniti. Z ventilom (V2) naravnamo pretok na $1500 \text{ cm}^3/\text{min}$.
- Opazujemo, kaj se dogaja s črpalko in ventilom SOL3, dokler je nivo prenizek in kaj potem, ko postane previsok?

Opažanja:

- a) Narišite diagram procesa.
- b) Zapišite program.
- c) Ali je dogajanje v procesnem rezervoarju takšno, kot smo želeli?



Slika 29: Kontrola nivoja gladine s programabilno logično regulacijom.



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo*

Adaptivna regulacija procesa nevtralizacije močnih elektrolitov

**Zbrano gradivo za 4. vajo
pri predmetu Dinamika procesov**

**Zdravko Kravanja
Zorka Novak Pintarič**

Maribor, 2009

4. vaja

NAMEN:

Spoznati problem krmiljenja in regulacije procesa nevtralizacije močnih elektrolitov, ki predstavlja nelinearni sistem, z uporabo adaptivnega povratnega regulacijskega sistema.

APARATURE:

- električna konzola PCT10: plastični izvijač,
24 V indikatorska lučka,
električni kabli,
- procesni modul PCT16: pH senzor,
prirejevalni modul,
- računalnik,
- pisalnik.

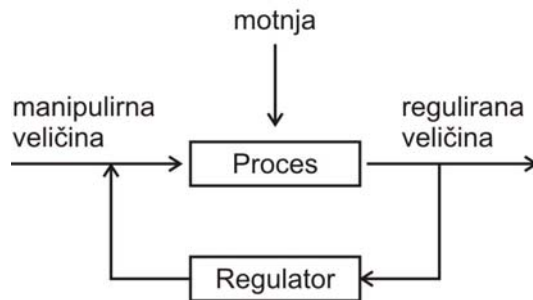
VSEBINA

I.	UVOD	4
1	POVRATNI REGULACIJSKI SISTEMI.....	4
2	ADAPTIVNI REGULACIJSKI SISTEMI.....	5
II.	OPIS APARATUR.....	6
1	ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10	6
3	PROCESNI REGULATOR.....	12
4	MODUL ZA REGULACIJO pH – PCT16.....	15
5	LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH.....	19
III.	IZVEDBA VAJE	20
1	UVODNI EKSPERIMENTI.....	20
1.1	POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE	20
1.2	PRIKAZ UPORABE 24 VAC IN 240 VAC IZHODNIH SIGNALOV NA IZHODU STIKALA	22
1.3	NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA	23
2	UMERITVE.....	25
2.1	UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA.....	25
2.2	UMERITEV PROCESNEGA REGULATORJA	26
2.3	NASTAVITEV PISALNIKA.....	27
2.4	UMERITEV pH SENZORJA.....	29
3	HISTEREZA pH SENZORJA	30
4	LINEARNOST PROCESA	31
5	ADAPTIVNA REGULACIJA.....	33

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

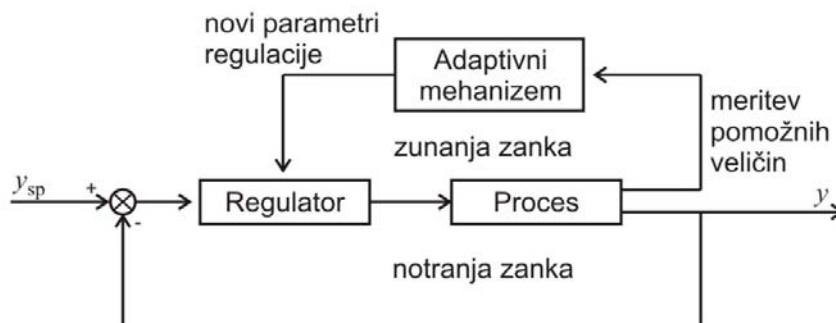
Z uporabo P regulatorja regulirani proces po končanem delovanju motnje in po končani akciji regulatorja obdrži odmik od stacionarnega stanja oz. od želene vrednosti. PI regulator z uporabo integrirnega člena odpravi končni odmik od želene vrednosti, medtem ko diferencirni člen v PD in PID regulatorju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

2 ADAPTIVNI REGULACIJSKI SISTEMI

Adaptivni regulacijski sistemi so sistemi, ki avtomatsko nastavljajo svoje parametre tako, da kompenzirajo spremembe karakteristik procesa, ki ga reguliramo. Prvenstveno se uporabljajo zato, ker je večina kemijskih procesov nelinearnih. Linearizirani modeli, ki jih uporabljamo za načrtovanje regulatorjev, so odvisni od izbrane točke linearizacije oz. od izbranega stacionarnega stanja. Če spremenimo želeno stacionarno stanje, se točka linearizacije premakne in lineariziran model ne velja več. Mnogo kemijskih procesov je nestacionarnih. Takšne spremembe vplivajo na delovanje regulatorjev, ki so načrtovani le za določene vrednosti procesnih parametrov. Zato potrebujemo mehanizem, s katerim bi optimalno nastavljali parametre regulatorja.

Poznamo dva mehanizma adaptivnega nastavljanja regulacijskih parametrov:

- a) Programirani adaptivni regulacijski sistem, kjer s pomožnimi procesnimi veličinami, ki so v korelaciji z dinamičnimi spremembami v procesu, določamo optimalne parametre regulatorja. Regulacijski sistem je sestavljen iz dveh zank (Slika 2), od katerih je notranja običajno povratna regulacijska zanka in zunanja tista, ki vsebuje adaptivni mehanizem.



Slika 2: Programirani adaptivni kontrolni sistem.

- b) Samoadaptivni regulacijski sistem, kjer izračunavamo namensko funkcijo med obratovanjem z uporabo vrednosti reguliranih izhodov. Adaptivni mehanizem optimira vrednosti namenske funkcije.

II. OPIS APARATUR

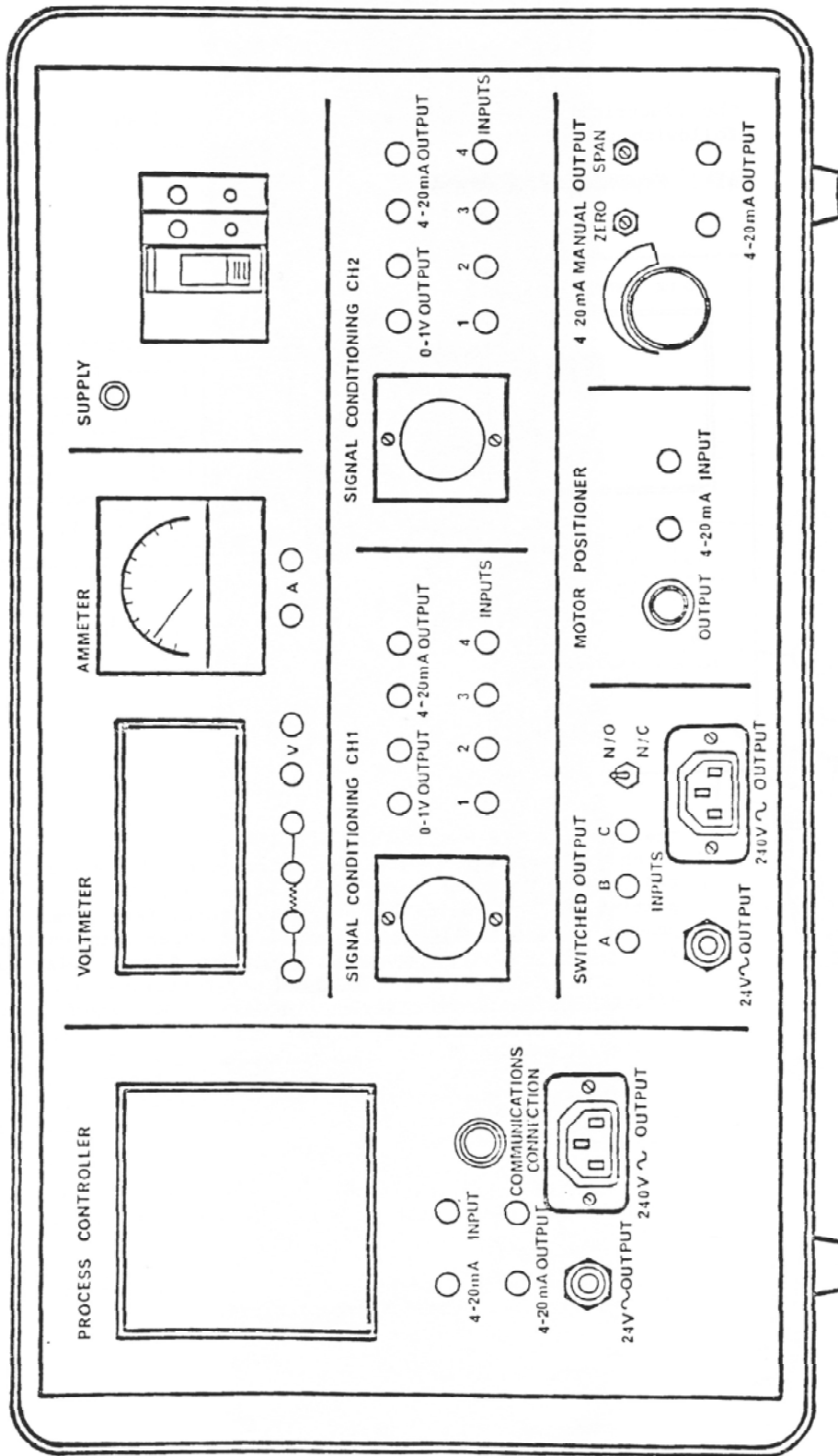
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

Modul PCT10 (Slika 3) 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.

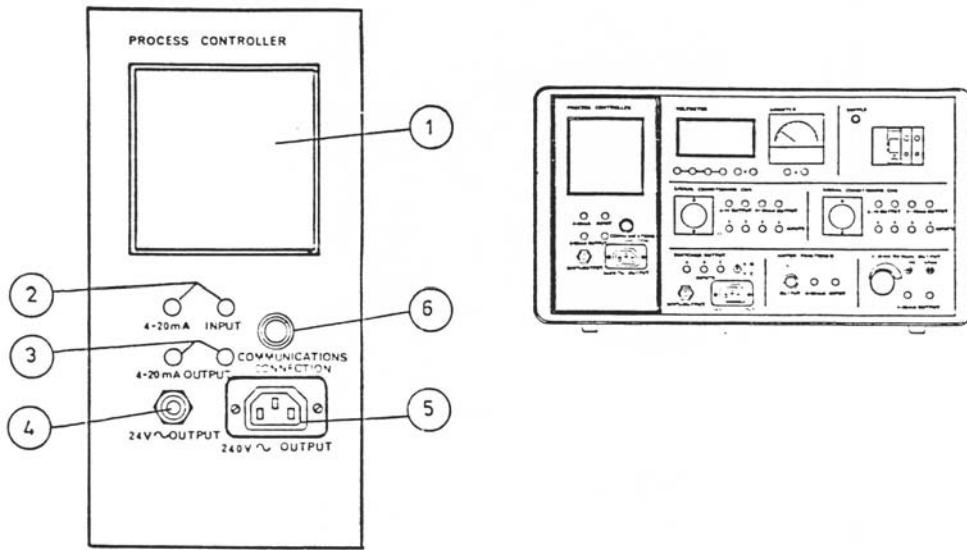
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 4), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja 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 5) 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 6.

Ampermeter (1, Slika 7) 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.



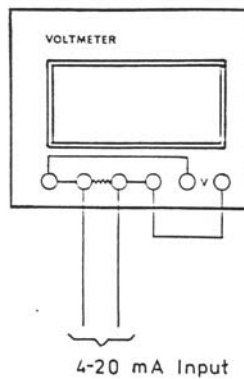
Slika 3: Električna konzola PCT10.



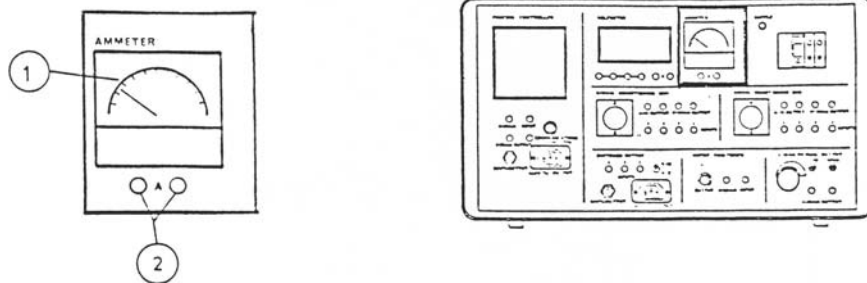
Slika 4: Procesni regulator.



Slika 5: Voltmeter.

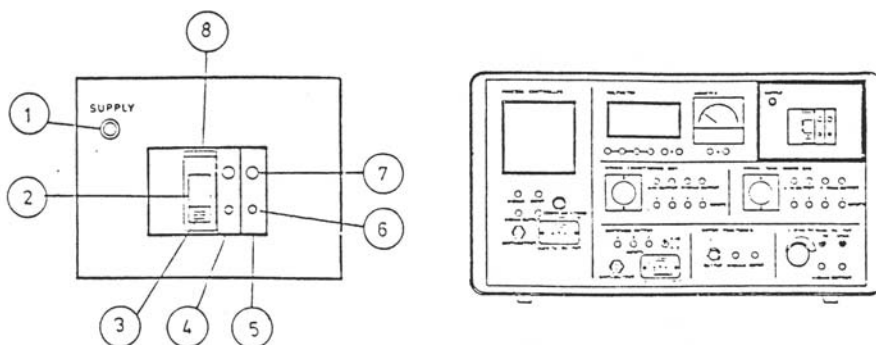


Slika 6: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



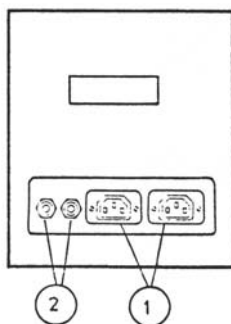
Slika 7: Ampermeter.

Električno napajanje konzole poteka preko varovalke (2, Slika 8), 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).



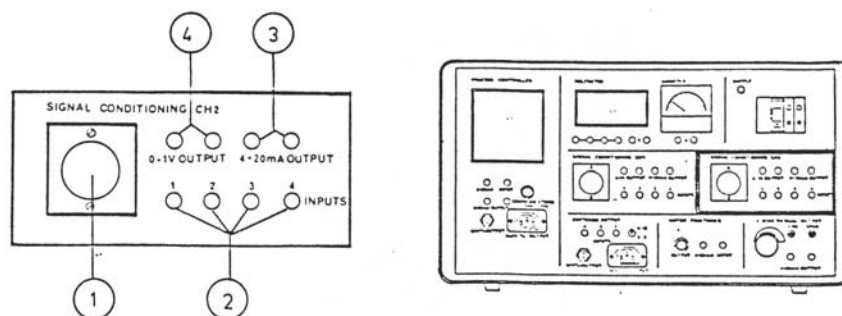
Slika 8: Sistem za električno napajanje.

Na obeh bočnih straneh konzole (Slika 9) so priključki za napetosti 240 VAC (1) in 24 VAC (2), predvideni za napajanje črpalk, grelcev, solenoidnih ventilov itd.



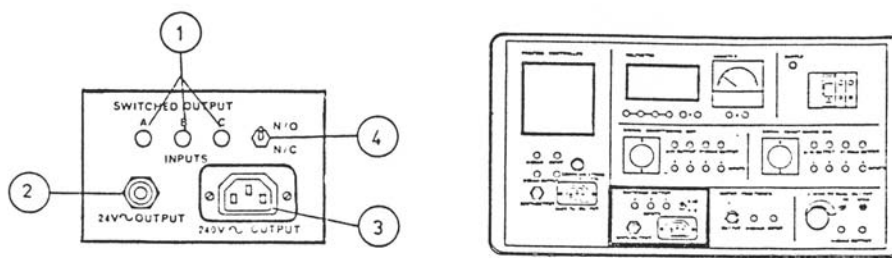
Slika 9: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

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 10) s pripadajočimi priključki za vhodne (2) in izhodne signale (3, 4).



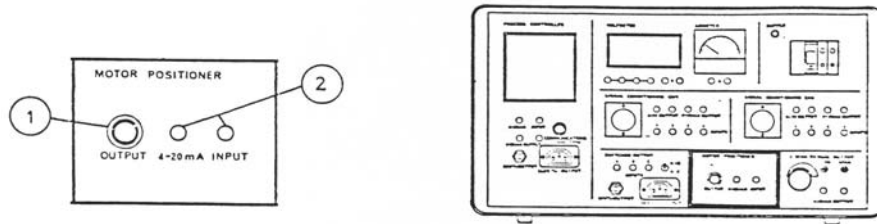
Slika 10: Priključek za procesne senzorje.

Izhod stikala (Slika 11) 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.



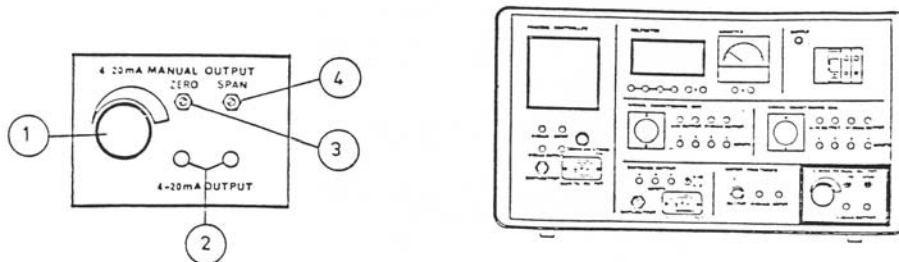
Slika 11: Izhod stikala.

Servo kontrolni sistem (Slika 12) 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 12: Servo kontrolni sistem za nastavitve avtomatskega ventila.

Ročno nastavljeni izhod 4 – 20 mA signala (Slika 13) 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).

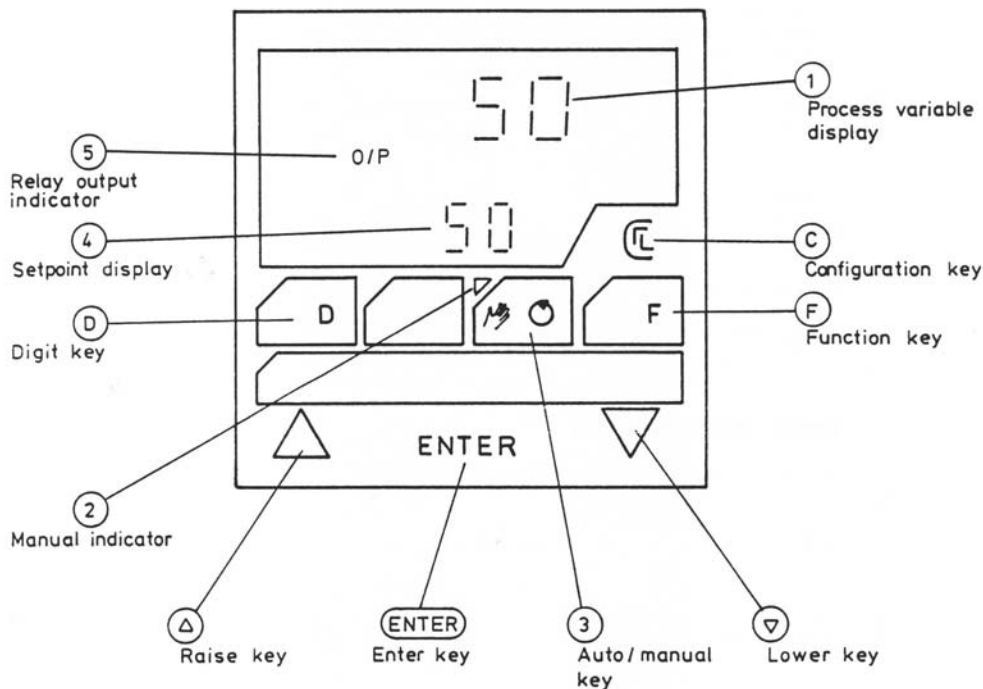


Slika 13: Ročno nastavljeni izhod.

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 14).



Slika 14: Čelna stran procesnega regulatorja.

V normalnem obratovalnem načinu kaže prikazovalnik (1) vrednost procesne spremenljivke, v tem primeru pH. 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	-
naslov	'SC-5'	- - 0 0	-
hitrost prenosa podatkov	'SC-6'	- - - 3	-
način komunikacije	'SC-7'	- - - 0	-
naklon	'SPan'	100	%
ničla	'ZZero'	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.

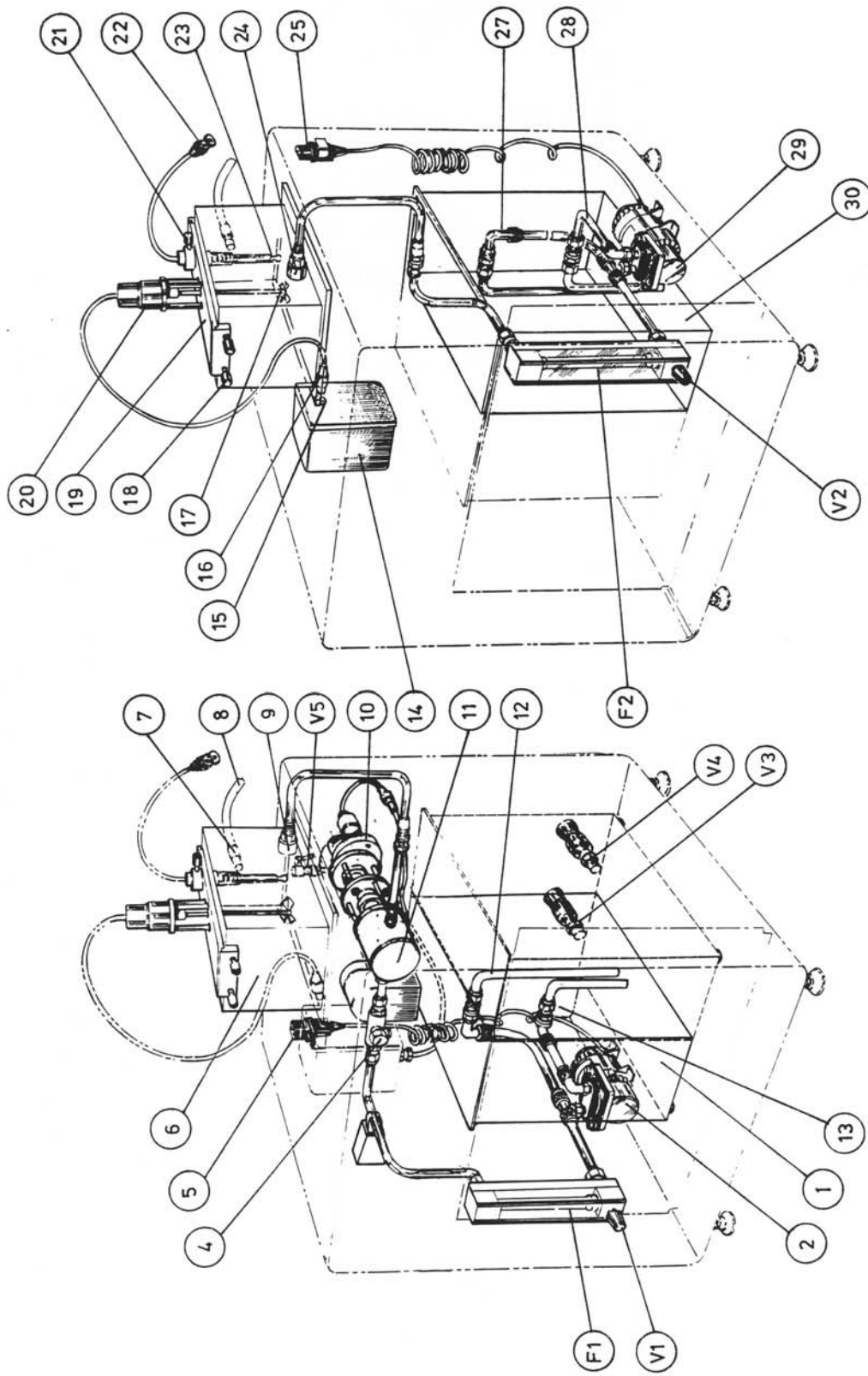
V normalnem obratovalnem načinu regulator sam nastavlja vrednost izhodnega signala in je uporabnik ne more spreminjati. To lahko storimo samo v ročnem načinu obratovanja, ki ga dosežemo s pritiskom tipke (3) takrat, ko regulator kaže vrednost izhodnega signala. Ročni način obratovanja kaže indikatorska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

4 MODUL ZA REGULACIJO pH – PCT16

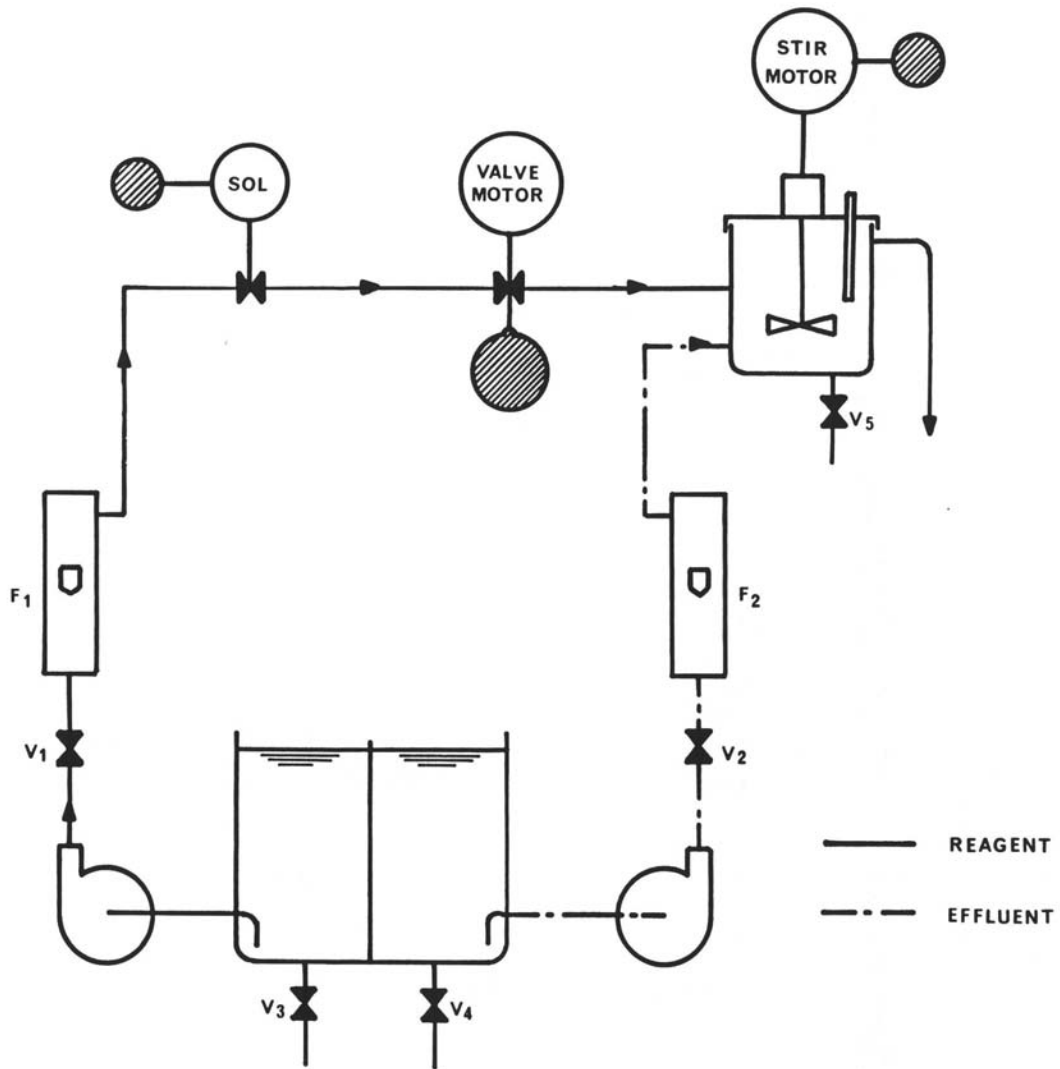
Procesni modul PCT16 je namenjen regulaciji pH raztopine v procesnem rezervoarju. Uporablja se za prikaz običajne povratne, kaskadne in adaptivne regulacije.

Procesni modul prikazuje Slika 15 in shematski diagram Slika 16. Raztopina NaOH je shranjena v desnem zbirnem rezervoarju (30), raztopina HCl pa v levem (1). Črpalka (29) črpa raztopino NaOH skozi ročni ventil (V2) in merilec pretoka (F2) v procesni rezervoar (6). Raztopina HCl priteka v procesni rezervoar s pomočjo črpalke (2). Pretaka se skozi ročni ventil (V1), merilec pretoka (F1), normalno odprti solenoidni ventil (4) in avtomatski ventil (11) v procesni rezervoar. Tu se obe raztopini zmešata. Mešanje pospešuje mešalo (17), ki ga poganja elektromotor (20). Mešalo povežemo s sivim kablom preko 24 VAC priključka na električni konzoli. pH nastale raztopine izmerimo s pH senzorjem (23), ki je z integrirnim kablom povezan s prirejevalnim modulom. Premešana raztopina zapušča procesni rezervoar skozi plastično cev (7) in odteka v zbirno plastično posodo.

Mešalo in pH senzor sta nameščena na plastični plošči procesnega rezervoarja (19), ki je pritrjena z vijaki (18). Avtomatski ventil je povezan s petpolnim sivim kablom z električno konzolo. Poganja ga DC elektromotor s feedback potenciometrom. Solenoidni ventil je odprt, če ni priključen na električno napetost in zaprt, če je priključen s sivim kablom na 24 VAC električno napetost. Obe črpalki sta povezani na 240 VAC priključek na električni konzoli.

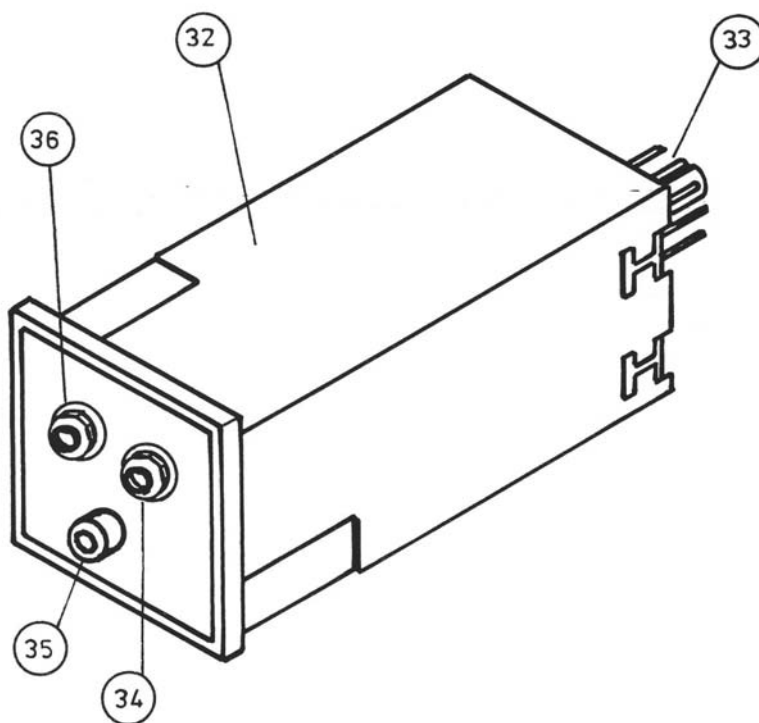


Slika 15: Procesni modul za kontrolo pH – PCT16.



Slika 16: Shematski diagram prikaz modula za regulaciju pH – PCT16.

Prirejevalni modul (Slika 17) je vstavljen v odprtino električne konzole. Ta modul spremeni izmerjeni pH raztopine v 0 – 1 V ali 4 – 20 mA električni signal. Sestavljen je iz plastičnega ohišja (32), ki je z osempolnim priključka (33) povezano z električno konzolo. pH senzor je povezan s prirejevalnim modulom z BNC priključkom (35), ki je na čelni strani prirejevalnega modula. Napetost in tok, ki zupuščata pH senzor, umerimo z uporabo dveh potenciometrov SPAN (34) in ZERO (36) na prirejevalnem modulu.



Slika 17: Prirejevalni modul za pH senzor.

5 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

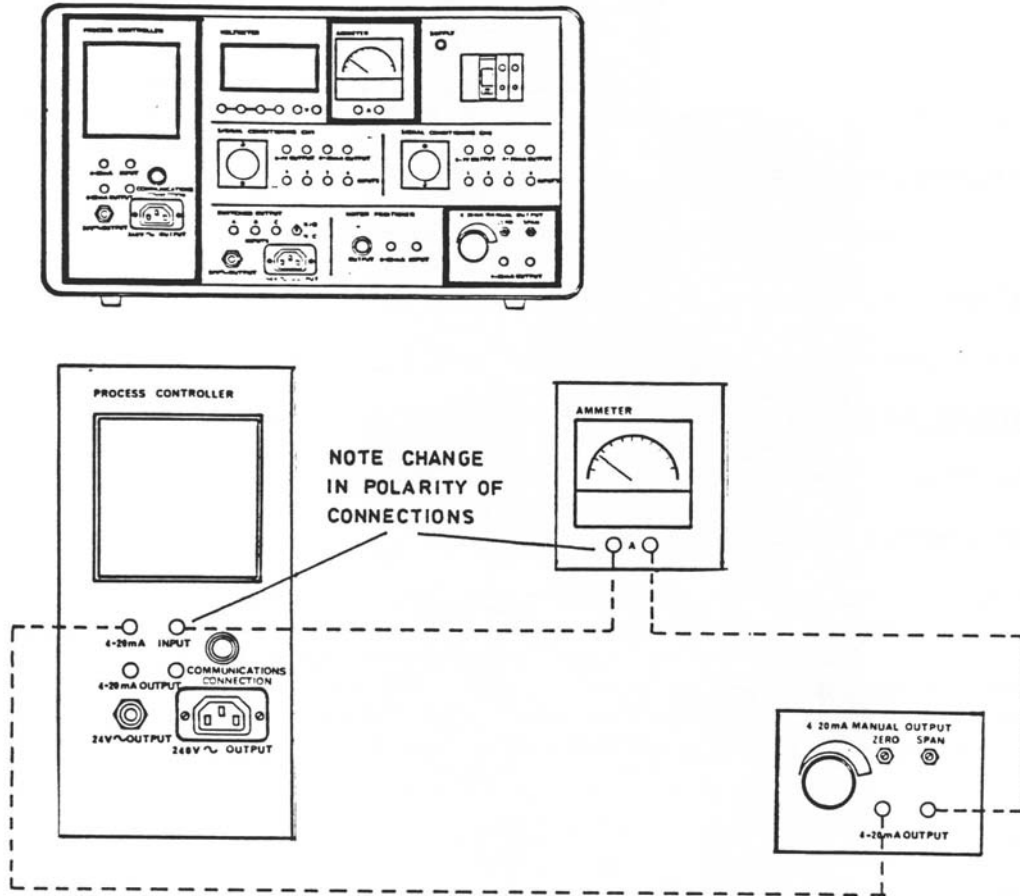
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in velikega števila porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, katerih seštevek ustreza uporu vira napetosti.

POSTOPEK:

4–20 mA ročno nastavljivi izhod (MANUAL OUTPUT) zvežemo z vhomom (INPUT) procesnega regulatorja. Zaporedno procesnemu regulatorju zvežemo še ampermeter, kot kaže Slika 18.

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 18: Postavitev 4 -20 mA tokovne zanke.

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

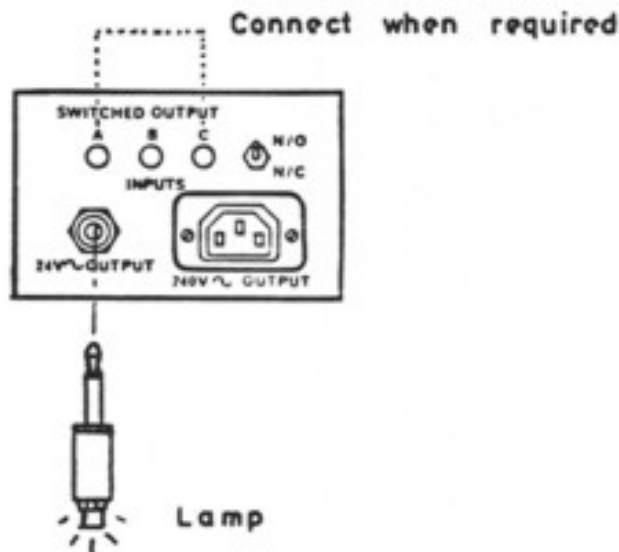
Priključka A in C na izhodu stikala (SWITCHED OUTPUT) sta zaporedno povezana z delovno tuljavo stikal 24 VAC in 240 VAC izhodov za električno napajanje. Ko sta priključka sklenjena, se aktivira tuljava, ki vključi stikali. Z ročnim stikalom lahko izbiramo med normalno odprtim (N/O) in normalno zaprtim (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 19 in opazujemo indikatorsko lučko. Stikalo nastavimo na N/C položaj in ponovno opazujemo indikatorsko lučko. Povezavo priključkov A in C prekinemo in ponovimo postopek.

Namesto indikatorske lučke lahko na izhod priključimo solenoidni ventil (SOL1) z uporabo sivega kabla z jack priključki. Stikalo postavimo v N/O položaj in opazujemo delovanje ventila. Stikalo postavimo v N/C položaj in ponovno opazujemo delovanje ventila. Postopek ponovimo s sklenjenima priključkoma A in C. Če procesni modul vsebuje normalno odprte in normalno zaprte ventile, postopek ponovimo za vsakega od njih.

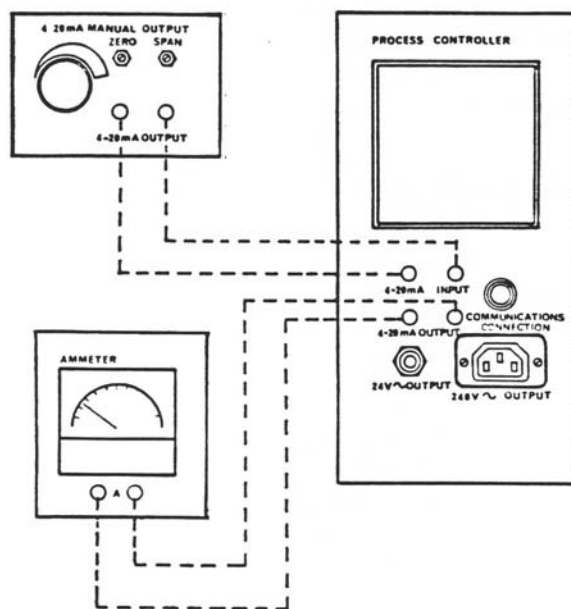
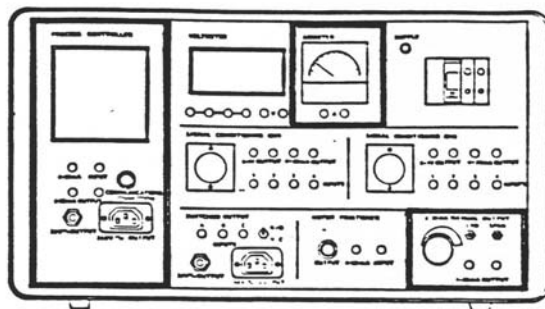
V 240 VAC izhod lahko priključimo črpalko ali grelec. Ponovimo zgoraj opisani postopek.



Slika 19: Shema povezave izhoda stikala.

1.3 NASTAVLJANJE PARAMETROV PROCESNEGA REGULATORJA

Ročno nastavljivi izhod povežemo z vhomom v regulator in izhod regulatorja z ampermetrom, kot kaže Slika 20.



Slika 20: 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'	20	%
integracijski čas	'Int'	0	min
diferenčni čas	'dEr'	0	sec
čas periode	'CY-t'	1	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'	- d L F	-
meje (ni v uporabi)	'SC-3'	- - - -	-
status	'SC-4'	A n U 4	-
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 vrednosti 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.

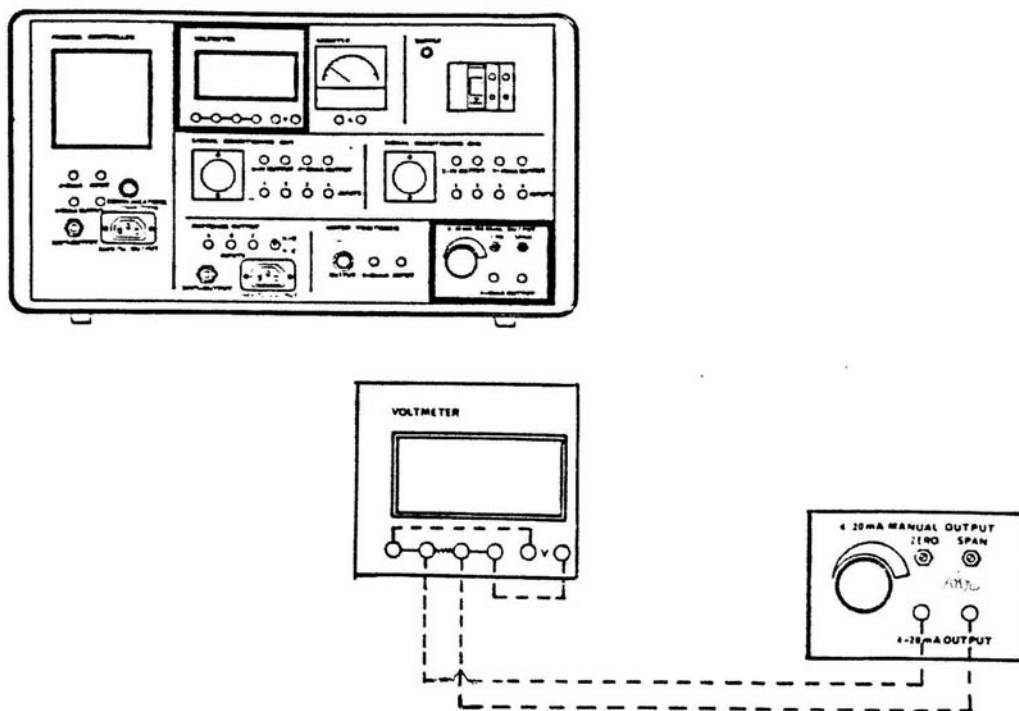
2 UMERITVE

Umeritve izvedemo vedno pred začetkom preostalih eksperimentov.

2.1 UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo z voltmetrom, kot kaže Slika 21.
- 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 21: 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 %?

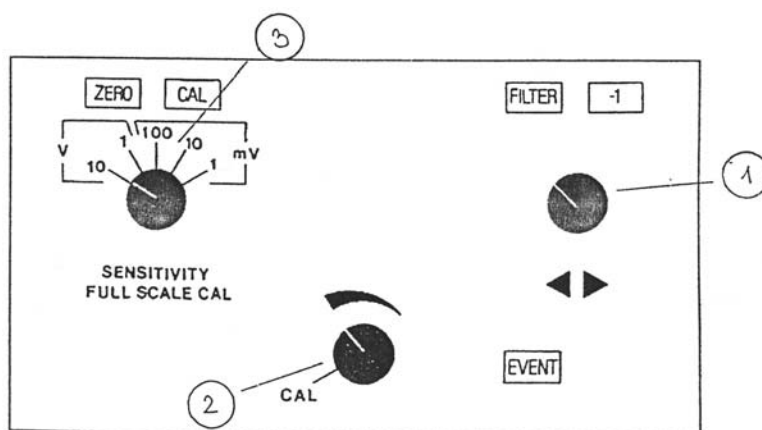
Če je odgovor na obe vprašanji 'DA', umeritev ni potreba. Če je odgovor na vsaj eno od zgornjih vprašanj 'NE', umerimo regulator po naslednjih korakih:

- 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 22. 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.

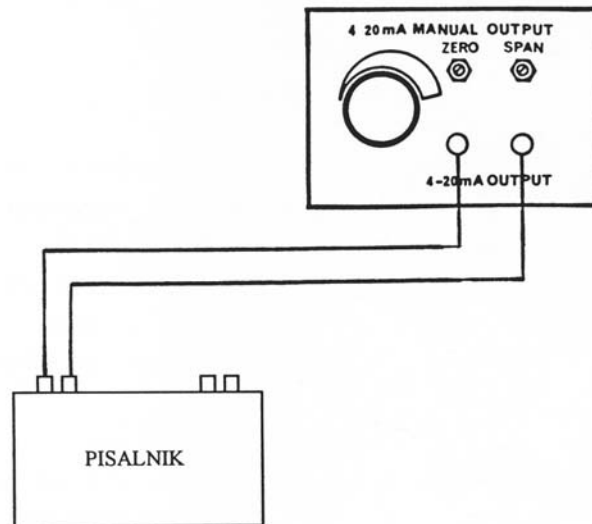


Slika 22: Pisalnik.

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo s priključkom enega od pisal, kot kaže Slika 23.
- Na pisalniku nastavimo območje meritve z gumbom (3, Slika 22) 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.



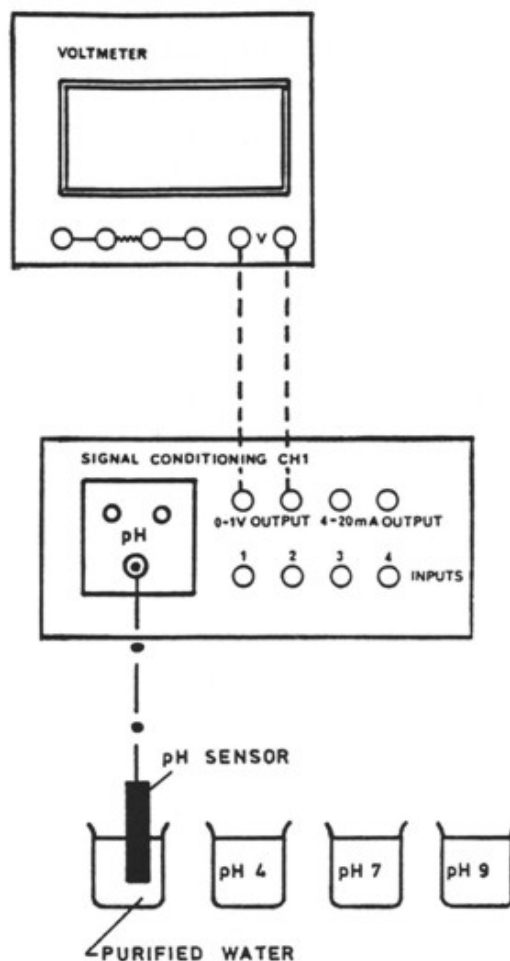
Slika 23: Prikaz povezave pisalnika z ročno nastavljivim izhodom za umeritev.

2.4 UMERITEV pH SENZORJA

Pred uporabo procesne enote PCT16 je potrebno umeriti elektrodo, tj. pH senzor. Prirejevalni modul za pH je vstavljen v enega od priključkov na električni konzoli PCT10. pH senzor bomo umerili tako, da bo območje pH od 0 do 14 ustrezalo območju 0 V do 1 V na voltmetru oz. 0 % do 100 % na prikazovalniku procesne veličine. To pomeni, da vsaki enoti pH ustreza $1/14 = 0,0714$ V oz. 7,14 %. Za umeritev bomo uporabili pufer pH 7, za katerega velja da je $7 \cdot 0,0714 \text{ V} = 0,500 \text{ V} = 50,0 \%$.

POSTOPEK:

- Povežemo pH senzor s prirejevalnim modulom in izhod prirejevalnega modula z voltmetrom, kot kaže Slika 24.
- Stekleno elektrodo speremo z deionizirano vodo in jo potopimo v raztopino pufru s pH 7. Ko se napetost na voltmetru ustali, nastavimo potenciometer (SPAN) na prirejevalnem modulu s plastičnim izvijačem tako, da bo odčitek na voltmetru 0,5 V.



Slika 24: Umeritev pH senzorja.

3 HISTEREZA pH SENZORJA

O histereznem efektu govorimo, ko je odčitek senzorja odvisen od poti, po kateri se merilni točki približamo.

POSTOPEK:

- Vezava je enaka kot pri prejšnjem eksperimentu.
- Stekleno elektrodo pomočimo v pufer pH 4 in odčitamo napetost na voltmetru.
- Stekleno elektrodo speremo z deionizirano vodo in jo pomočimo v pufer pH 7 ter odčitamo vrednost na voltmetru.
- Enako ponovimo s pufrom pH 10.
- Postopek ponovimo, le da začnemo s pufrom pH 10 in končamo s pufrom pH 4.

Graf:

Narišemo diagram odvisnosti odčitka na voltmetru (V) od pH raztopine in sicer na istem grafu tako za povečevanje kot tudi za zniževanje pH.

Opomba:

Za določitev histereznega učinka je priporočljivo, da imamo več točk, tako za povečevanje kot tudi za zniževanje procesne veličine. V primeru pH imamo samo tri točke, zato histerezni učinek ni tako očiten.

4 LINEARNOST PROCESA

Namen vaje je določiti odvisnost procesne veličine, tj. pH raztopine v procesnem rezervoarju, od pretoka raztopine HCl pri konstantnem pretoku raztopine NaOH. Levi zbirni rezervoar je napolnjen z 0,1 M raztopino HCl in desni z 0,1 M raztopino NaOH.

POSTOPEK:

- Aparaturo zvežemo, kot kaže Slika 25.
- Procesni regulator nastavimo na ročno obratovanje s pritiskom funkcijske tipke 'F' in AUTO/MANUAL tipke, da se prižge rdeča lučka. Izhod iz regulatorja nastavimo na 100 %.
- Vklopimo črpalko za HCl in z ročnim ventilom (V1) nastavimo pretok raztopine HCl na 280 ml/min.
- Vklopimo črpalko za NaOH in z ročnim ventilom (V2) nastavimo pretok raztopine NaOH na 100 ml/min.
- Zabeležimo vrednost pH (v %) in pretok HCl (ml/min) za popolnoma odprt ventil HCl.
- Izhod iz regulatorja zmanjšamo s 100 % na 95 %. Pri tem se avtomatski ventil nekoliko zapre in pretok HCl se zmanjša. Ročnega ventila (V1) na HCl več ne premikamo. Z ročnim ventilom (V2) na NaOH pa pazimo, da je pretok NaOH ves čas konstanten 100 ml/min. Zabeležimo pretok raztopine HCl (v ml/min) in pH raztopine (v %).
- Nadaljujemo z zniževanjem izhoda iz regulatorja v korakih po 5 %. Pri vsaki spremembi položaja ventila moramo počakati, da se vrednost procesne veličine (pH v %) ustali. Za vsako vrednost izhoda iz regulatorja zabeležimo pretok raztopine HCl (v ml/min) in pH raztopine (v %).
- Ko se pretoka obeh raztopin približno izenačita, moramo počakati nekoliko dlje (okrog 15 min), da pride do preskoka iz kislega v alkalno območje.
- Odčitke zberite v tabeli:

Izhod iz regulatorja oz. odprtost avt. ventila HCl (%)	Pretok HCl (ml/min)	pH (%)
100		
95		

Graf: Narišite grafa:

- pH (%) v odvisnosti od stopnje odprtosti avtomatskega ventila HCl (v %) in
- pH (%) v odvisnosti od pretoka HCl (v ml/min).

Ali je odziv linearen?

5 ADAPTIVNA REGULACIJA

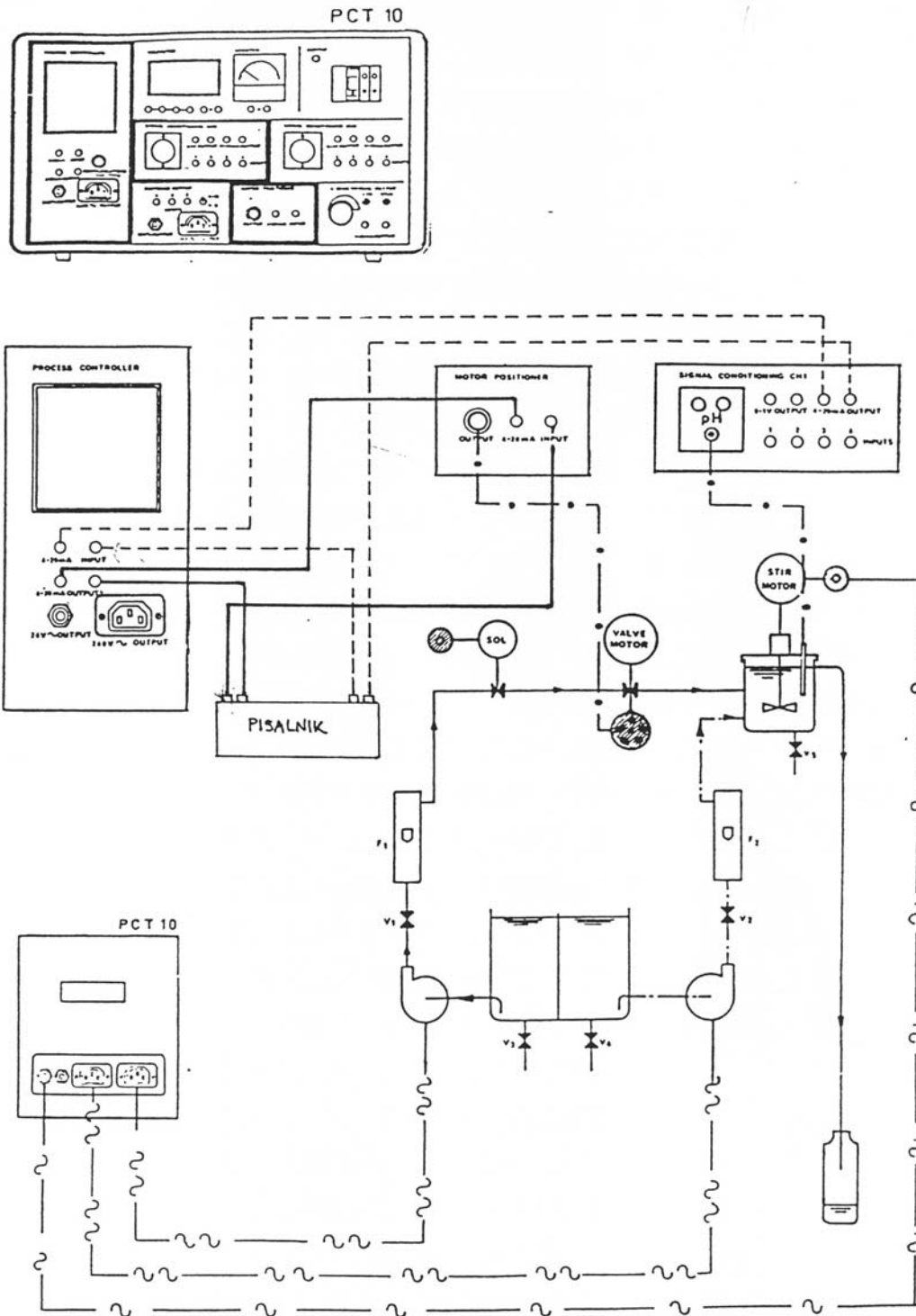
Ker imamo opravka z izrazito nelinearnim procesom, uporabimo adaptivno feedback regulacijo, pri kateri regulator sam nastavlja ustrezne PID parametre glede na območje pH, v katerem se nahaja proces.

POSTOPEK:

- Aparaturo zvežemo, kot kaže Slika 26.
- Vrednost procesne veličine, tj. pH, spremljamo na pisalniku s črnim pisalom. Izhodni signal iz regulatorja, ki dejansko predstavlja delež odprtosti avtomatskega ventila na toku HCl, spremljamo z rdečim pisalom. Hitrost pisala nastavimo na 10 mm/min.
- Regulator nastavimo na ročni način obratovanja s pritiskom tipke 'F' in AUTO/MANUAL tipke, da zasveti rdeča lučka. Izhod iz regulatorja nastavimo na 100 %.
- Z ročnim ventilom (V1) nastavimo pretok raztopine HCl na 280 ml/min in nato regulator vrnemo na avtomatski način (rdeča lučka ugasne).
- Z ročnim ventilom (V2) nastavimo pretok raztopine NaOH na 100 ml/min.
- Aktiviramo samoadaptivni program regulatorja s pritiskom tipke AUTO/MANUAL. Ob tem prične utripati rdeča pika spodaj desno na prikazovalniku procesne veličine. Procesni regulator prične sam nastavlja pretok raztopine HCl, dokler pH raztopine v rezervoarju ne doseže nastavljenih referenčnih vrednosti 50 %, kar lahko traja nekaj časa. Med eksperimentom sami ne nastavljam pretoka HCl! Vendar pa skrbno pazimo, da je pretok raztopine NaOH konstanten, t.j. 100 ml/min.
- Ko pH v rezervoarju doseže referenčno vrednost 50 %, preizkusimo stabilnost sistema z vnosom motnje: pretok NaOH povečamo s 100 ml/min na 180 ml/min. Opazujemo, kaj se dogaja s pH raztopine in s pretokom raztopine HCl. Počakamo, da se sistem ustali.
- Ko se sistem ustali, vrnemo pretok NaOH na 100 ml/min. Počakamo, da se sistem ustali.
- Referenčno vrednost povečamo s 50 % na 70 %, kar pomeni, da želimo bolj alkalno raztopino. Opazujemo, kako se spreminjata pH raztopine in pretok raztopine HCl. Počakamo, da se sistem ustali.
- Referenčno vrednost zmanjšamo s 70 % na 30 %, kar pomeni, da želimo bolj kislo raztopino. Počakamo, da se sistem ustali. referenčno vrednost vrnemo nazaj na 50 % in počakamo, da se sistem ustali.

Opažanja:

- Kaj se dogaja z vrednostjo pH in s pretokom HCl, ko povečamo pretok baze na 150 ml/min? Ali se pH raztopine vrne na začetno vrednost?
- Kaj se dogaja z vrednostjo pH in s pretokom HCl, ko vrnemo pretok baze na 100 ml/min?
- Kaj se dogaja s pH in pretokom HCl, ko zvišamo referenčno vrednost pH s 50 % na 70 %? Ali pH doseže novo referenčno vrednost?
- Kaj se dogaja s pH in pretokom HCl, ko znižamo referenčno vrednost pH s 70 % na 30 %? Ali pH doseže novo referenčno vrednost?



Slika 26: Shema povezave za adaptivno regulacijo.



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo*

Kaskadna regulacija temperature

**Zbrano gradivo za 5. vajo
pri predmetu Dinamika procesov**

**Zdravko Kravanja
Zorka Novak Pintarič**

Maribor, 2009

5. vaja

NAMEN:

Spoznavanje s problemom krmiljenja in regulacije procesa prenosa toplote. Spoznavanje z alternativnimi načini regulacije, kot je npr. kaskadna, v procesih s počasnim odzivom.

APARATURE:

- električna konzola PCT10: plastični izvijač,
24 V indikatorska lučka,
električni kabli,
- procesni modul PCT9,
- procesni modul PCT13: temperaturni senzor,
prirejevalni modul,
živosrebrni termometer,
električni grelnik,
- procesni modul PCT17: pretočni senzor,
prirejevalni modul,
avtomatski ventil,
- računalnik,
- pisalnik.

VSEBINA

I.	UVOD	4
1	VEČZANČNI REGULACIJSKI SISTEMI	4
1.1	KASKADNI REGULACIJSKI SISTEM	4
II.	OPIS APARATUR.....	5
1	ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10	5
2	PROCESNI REGULATOR.....	11
3	MODUL ZA REGULACIJO TEMPERATURE – PCT13.....	14
4	POMOŽNI AVTOMATSKI VENTIL.....	18
5	MODUL ZA SEKUNDARNO REFERENČNO VREDNOST – PCT17.....	19
6	REGULATOR ZA SEKUNDARNO REFERENČNO VREDNOST	23
7	LEGENDA POVEZAV NA SHEMATSKIH DIAGRAMIH.....	25
III.	IZVEDBA VAJE	26
1	UVODNI EKSPERIMENTI.....	26
1.1	POSTAVITEV 4-20 mA TOKOVNE ZANKE	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 TEMPERATURNEGA SENZORJA	31
2.5	UMERITEV PRETOČNEGA SENZORJA	33
3	KASKADNA REGULACIJA	35
3.1	NASTAVITVE PARAMETROV OBEH REGULATORJEV	35
3.2	PRIPRAVA APARATURE	36
3.3	VZPOSTAVITEV STACIONARNEGA STANJA	38
3.4	EKSPERIMENT KASKADNE REGULACIJE	39

I. UVOD

1 VEČZANČNI REGULACIJSKI SISTEMI

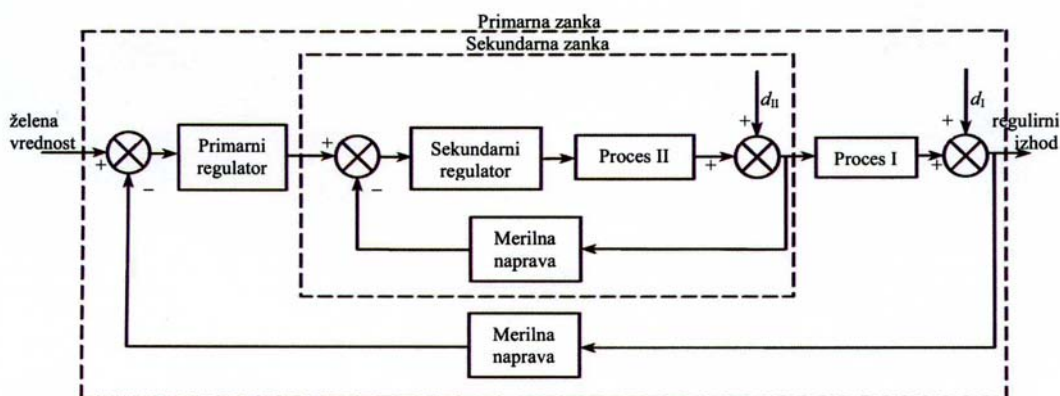
Pri večzančnih regulacijskih sistemih lahko imamo eno meritev in več manipulirnih veličin ali več meritev in eno manipulirno veličino. Kaskadna regulacija je primer, ko merimo več spremenljivk, manipuliramo pa eno.

1.1 KASKADNI REGULACIJSKI SISTEM

Kaskadni regulacijski sistem je vrsta povratne regulacije z eno manipulirno veličino in več meritvami. Sestavljena je iz dveh zank (Slika 1). Zanka, ki meri regulirano veličino, je primarna. Ta zanka uporablja referenčno vrednost. Zanka, ki meri motnjo in uporablja izhod primarnega regulatorja kot svojo referenčno vrednost, je sekundarna zanka.

Prednost kaskadnega regulacijskega sistema je v tem, da je motnja v sekundarni zanki popravljena s sekundarnim regulatorjem, še preden bi motnja učinkovala na regulirani izhod primarnega procesa.

V kemijski industriji kaskadni regulacijski sistem najpogosteje uporabljamo za regulacijo temperature na vrhu in dnu destilacijske kolone in za regulacijo temperature procesnega toka, ki izhaja iz peči ali toplotnega prenosnika.



Slika 1: Prikaz primarne in sekundarne zanke v kaskadnem regulacijskem sistemu.

II. OPIS APARATUR

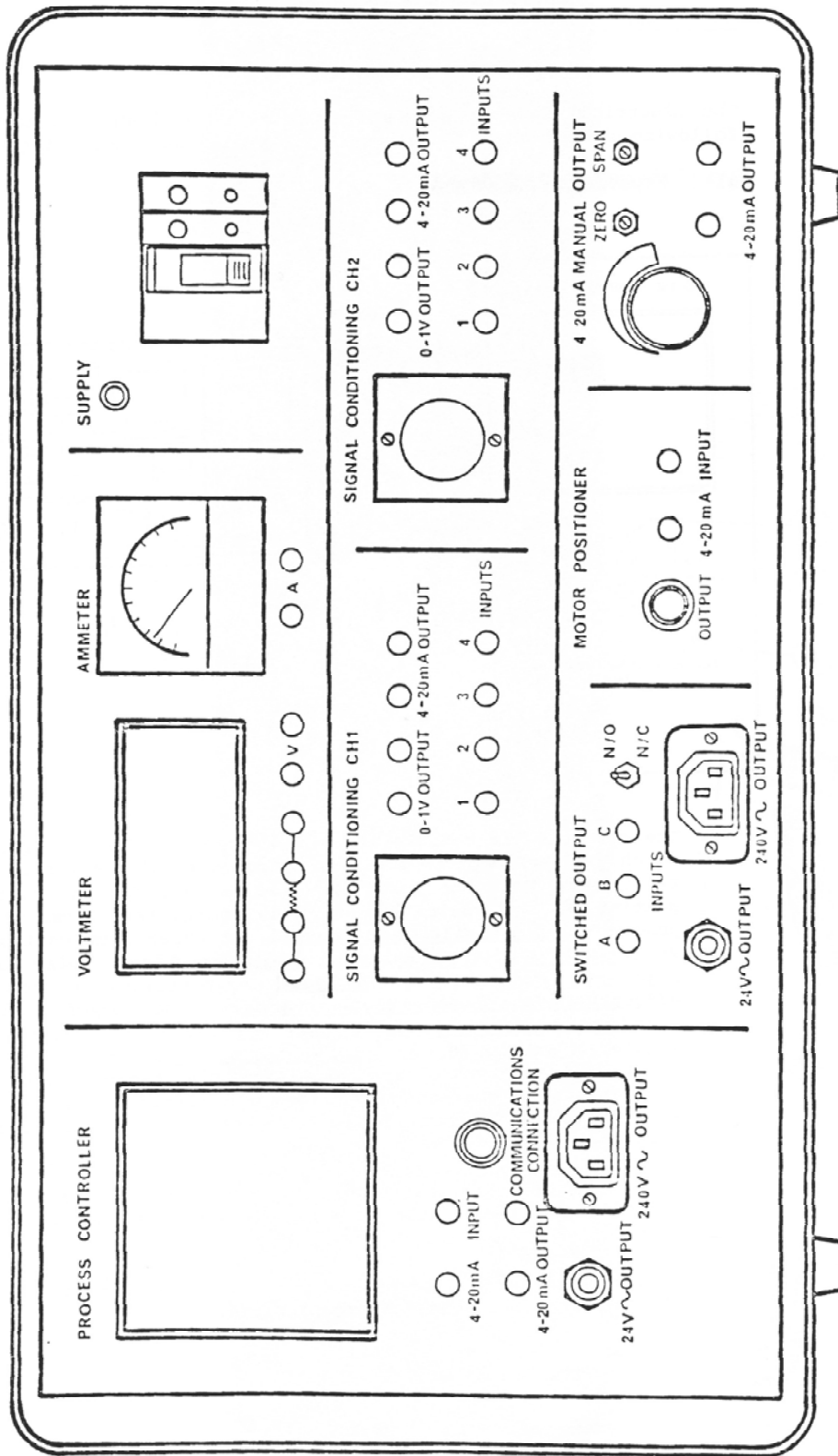
1 ELEKTRIČNA KONZOLA – PCT10

Modul PCT10 (Slika 2) 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.

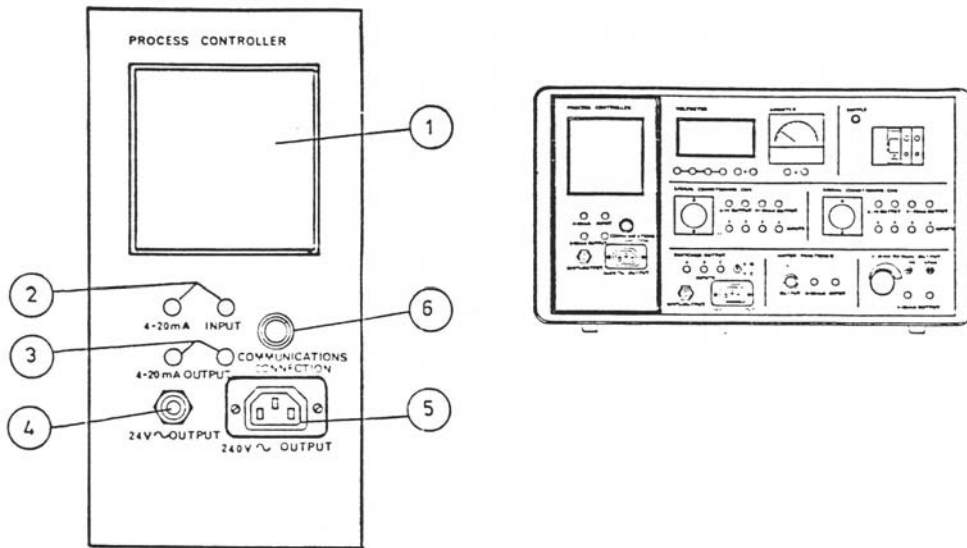
Osrednji del konzole je industrijski procesni regulator (1, Slika 3), ki ga krmili mikroprocesor. Regulator omogoča kontinuirano odčitavanje procesne spremenljivke in referenčne vrednosti. Poleg tega omogoča nastavitve parametrov regulatorja preko prikazovalnika in tipkovnice na čelni strani. Uporablja 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 4) 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 uporabo vzporednega 50 Ω upora (2) in preko priključkov (3) z vzporedno vezavo na priključek (4), kot je prikazano na Slika 5.

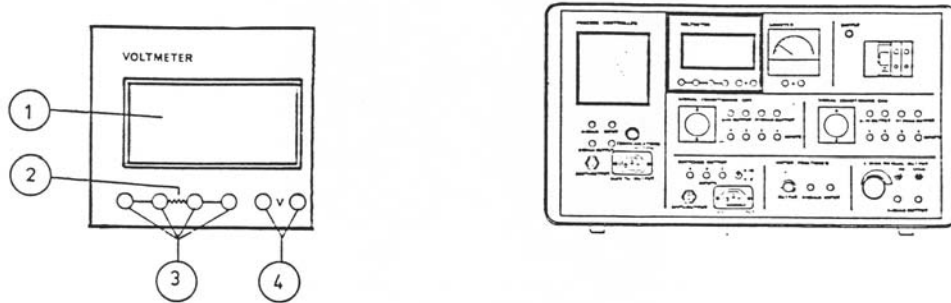
Ampermeter (1, Slika 6) z območjem meritve 0 – 20 mA omogoča meritev 4 – 20 mA električnega signala, ki ga vodimo preko rdeče/črnega igličnega priključka (2). Za razliko od voltmetra je ampermeter namenjen le približni meritvi.



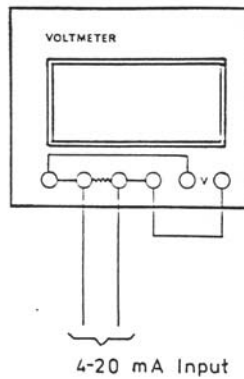
Slika 2: Električna konzola PCT10.



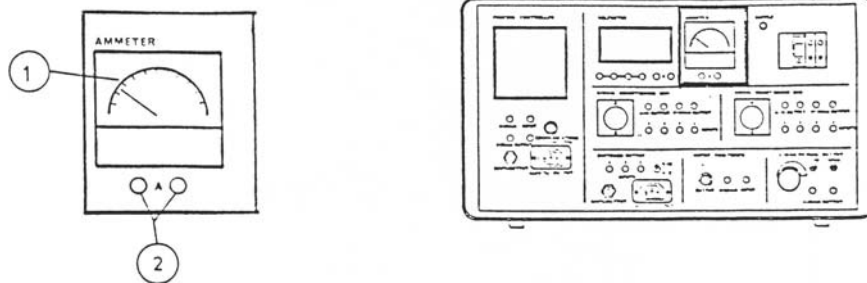
Slika 3: Procesni regulator.



Slika 4: Voltmeter.

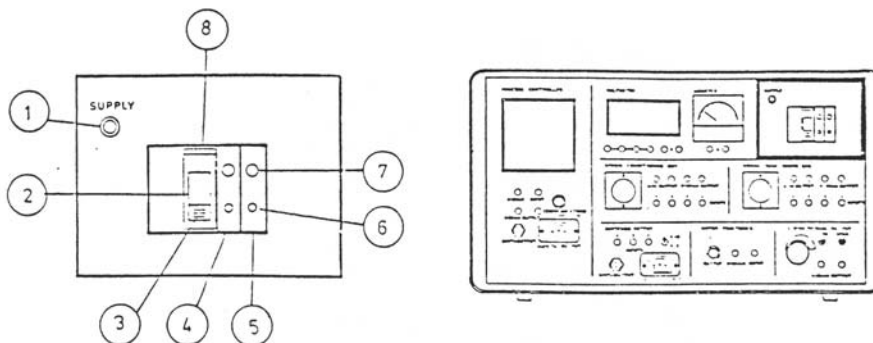


Slika 5: Povezava 4 - 20 mA signala preko vzporednega upora.



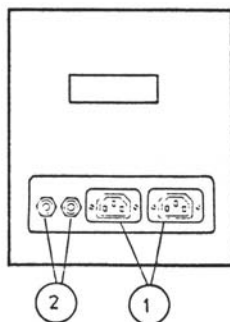
Slika 6: Ampermeter.

Električno napajanje konzole poteka preko varovalke (2, Slika 7), 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 ju vključimo s pritiskom na gumba (7) in izključimo s pritiskom na gumba (6).



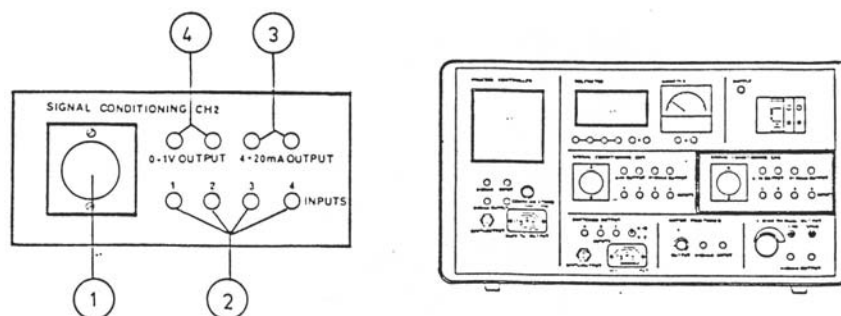
Slika 7: Sistem za električno napajanje.

Na obeh bočnih straneh konzole (Slika 8) so priključki za napetosti 240 VAC (1) in 24 VAC (2), predvideni za napajanje črpalk, grelcev, solenoidnih ventilov itd.



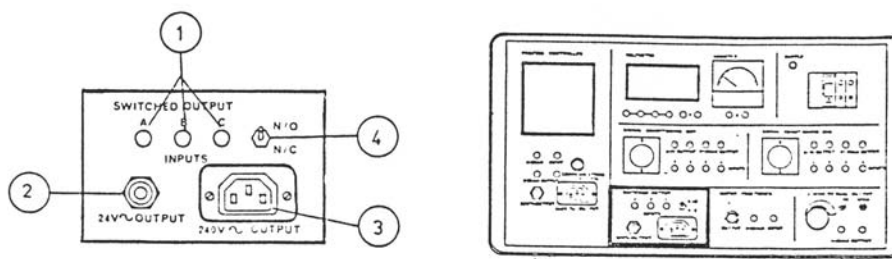
Slika 8: Priključki za električno napajanje napetosti 240 VAC in 24 VAC.

Procesni senzori 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 9) s pripadajočimi priključki za vhodne (2) in izhodne signale (3, 4).



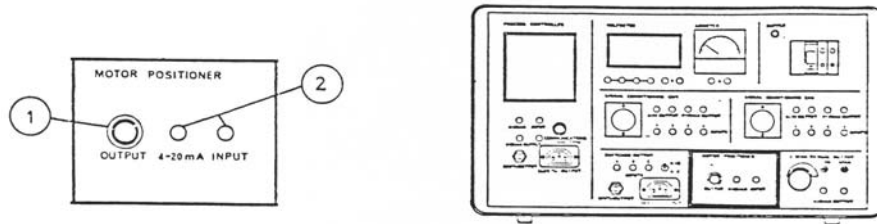
Slika 9: Priključek za procesne senzore.

Izhod stikala (Slika 10) 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.



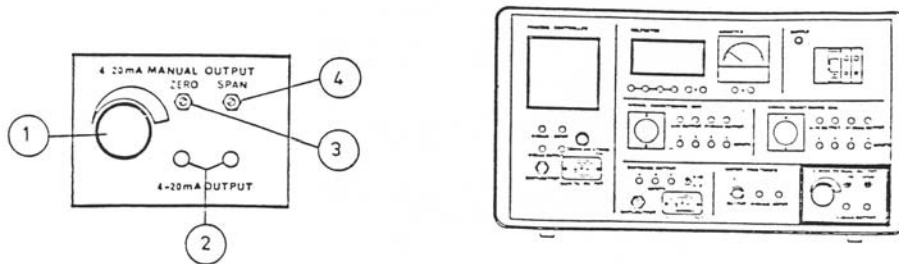
Slika 10: Izhod stikala.

Servo kontrolni sistem (Slika 11) 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 11: Servo kontrolni sistem za nastavitve avtomatskega ventila.

Ročno nastavljeni izhod 4 – 20 mA signala (Slika 12) 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).

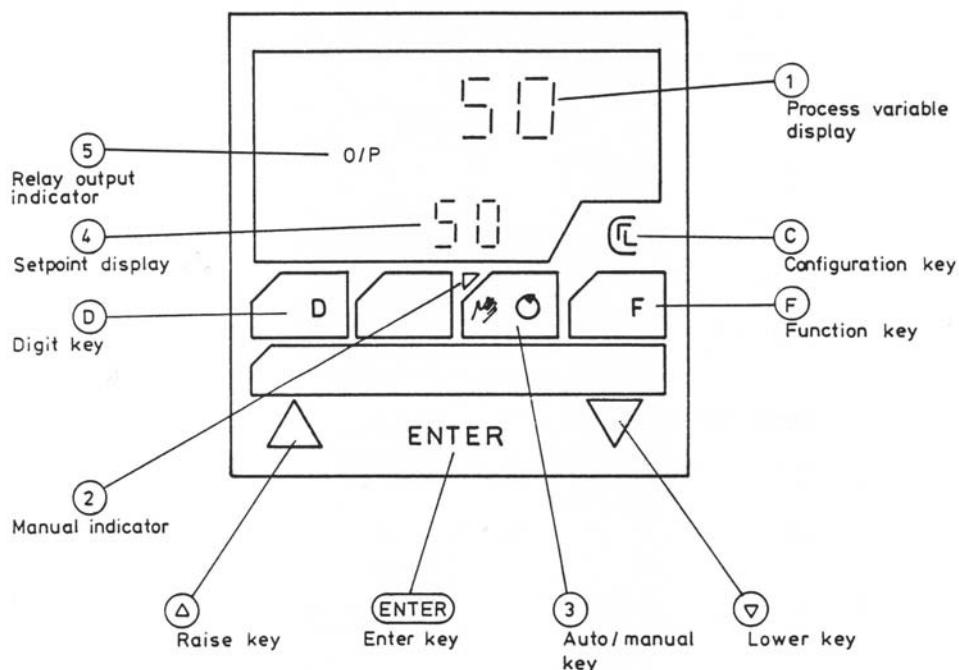


Slika 12: Ročno nastavljeni izhod.

2 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 13).



Slika 13: Čelna stran procesnega regulatorja.

V normalnem obratovalnem načinu kaže prikazovalnik (1) vrednost procesne spremenljivke, v tem primeru tlak. 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 akcija	'SC-2'	- r H/L F	-
direktna akcija	'SC-2'	- 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	-
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 v 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'.

3 MODUL ZA REGULACIJO TEMPERATURE – PCT13

Modul PCT 13 je namenjen regulaciji temperature in pretoka. Modul je opremljen s ploščnim toplotnim prenosnikom, skozi katerega vodimo grelno tekočino (čisto vodo) v protitoku s hladno procesno tekočino. Vsakemu toku lahko na vtočni in iztočni strani toplotnega prenosnika merimo temperaturo z uporabo temperaturnih senzorjev. Moč gretja grelne tekočine lahko kontroliramo s termostatom ali s procesnim regulatorjem. Hitrost pretoka merimo na rotametri ali s turbinskim pretočnim senzorjem. Pretok grelne tekočine kontroliramo z delovanjem črpalke ali nastavitvijo avtomatskega ventila. Modul je namenjen povezavi z električno konzolo PCT10.

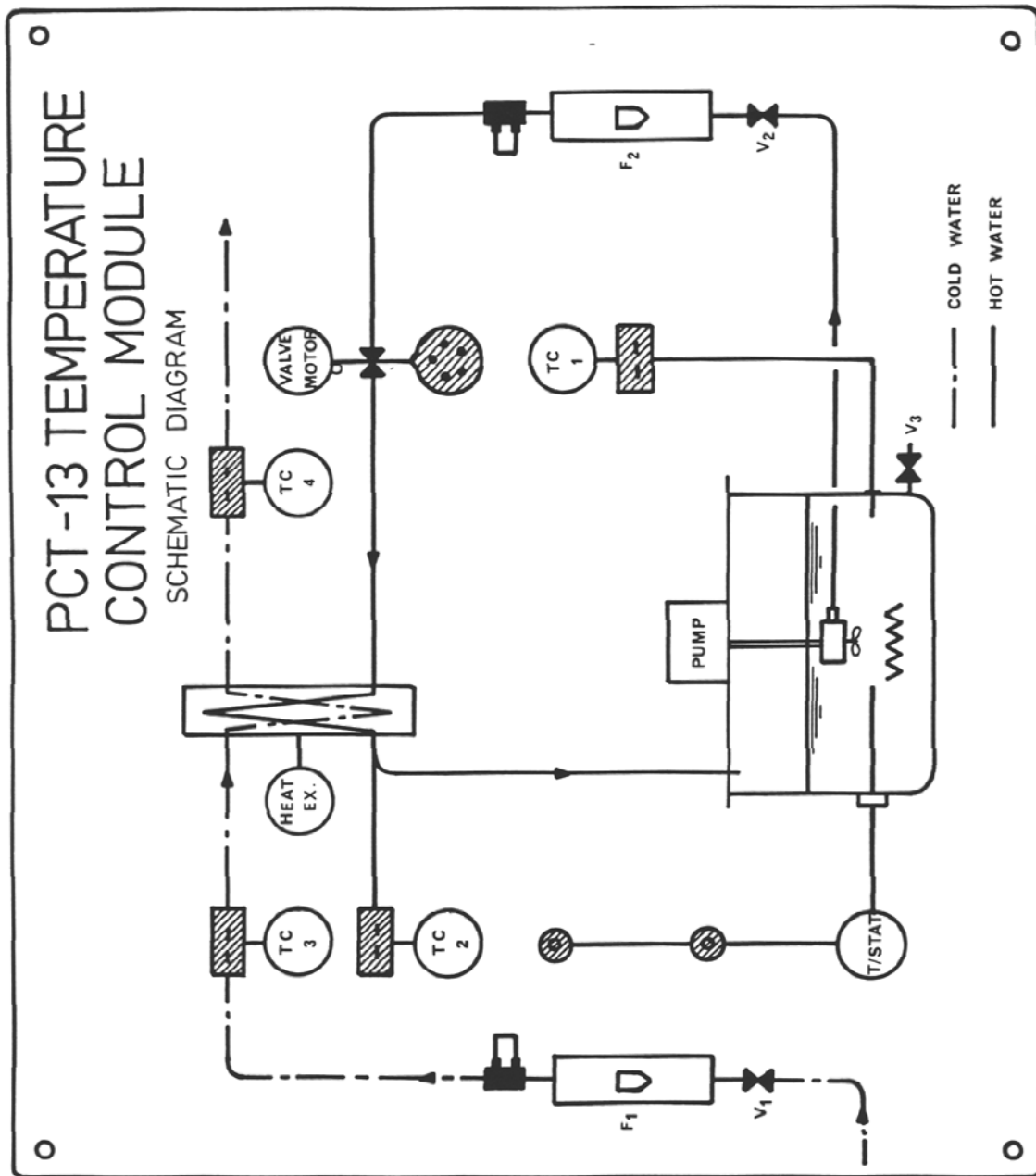
Na čelni strani modula je shema procesa, ki prikazuje vse glavne komponente in priključke za povezavo z električno konzolo PCT10 (Slika 14).

Potek hladnega procesnega toka prikazuje Slika 15. Osrednji del modula je protitočni ploščni toplotni menjalnik (3). Kot procesno tekočino vodimo hladno vodo iz vodovodnega omrežja ali iz modula PCT9. Priključitev na vodovodno pipo ni priporočljiva zaradi nihanja pretoka. Hladna voda vstopa v enoto PCT10 na zadnji strani skozi vtok (5), ročni ventil (V1), merilec pretoka (F1) in obtočni sistem (1, 2) preko temperaturnega senzorja (TC3) v toplotni prenosnik. Segreti procesni tok izteka preko temperaturnega senzorja (TC4) v iztok (4).

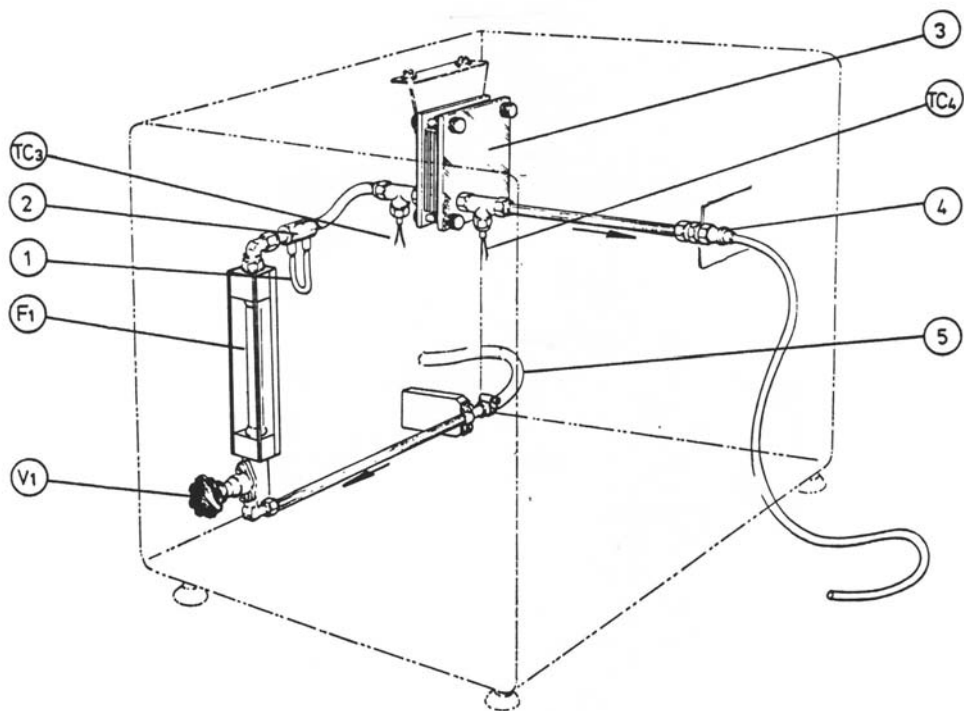
Potek grelnega toka prikazuje Slika 16. Zbirni rezervoar za grelno tekočino (6) je napolnjen z destilirano vodo. Polnimo ga skozi odprtino na vrhu (15) in praznimo skozi iztočni ventil na dnu (V3). Vodo v rezervoarju grejemo z električnim grelcem (16) in jo črpamo iz rezervoarja s črpalko (18) z nameščenim mešalom (19). Iztok iz črpalke vodimo skozi ročni ventil (V2), merilec pretoka (F2), obtočni sistem in avtomatski ventil (11) v toplotni prenosnik. Ohlajen topli tok iz toplotnega prenosnika vodimo preko temperaturnega senzorja (TC2) nazaj v zbirni rezervoar skozi priključek (9). Temperaturo vode v rezervoarju merimo s temperaturnim senzorjem (TC1). Glavni termostat (7) skrbi, da temperatura v rezervoarju ne preseže 80 °C. Za osnovno kontrolo temperature je namenjen pomožni termostat (8), ki ga povežemo s stikalom na modulu PCT10.

Avtomatski ventil (11) na tokokrogu grelnega toka omogoča natančno nastavitev hitrosti pretoka z uporabo izhodnega signala iz električne konzole PCT10.

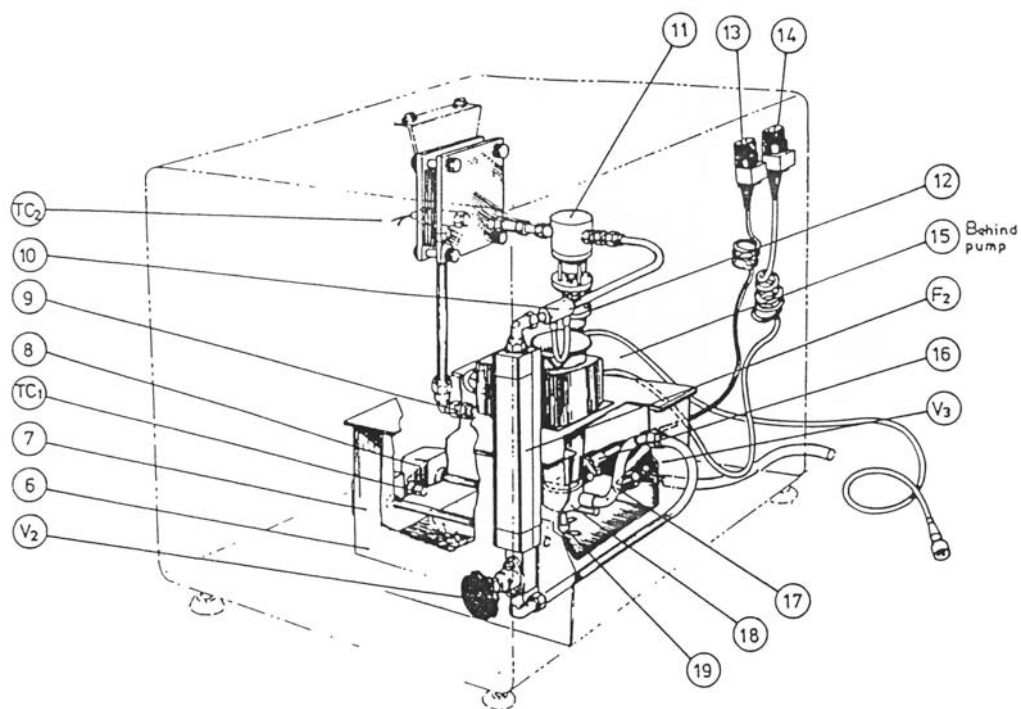
Za prireditev signala temperaturnih senzorjev v merilno območje sta namenjena dva prirejevalna modula (20, Slika 17) z ustreznima priključkoma za povezavo (22) in potenciometri za nastavitev območja (21, 23). Senzorje umerjamo s pomočjo živosrebrnega termometra ali še preprosteje z ledeno in vrelo vodo.



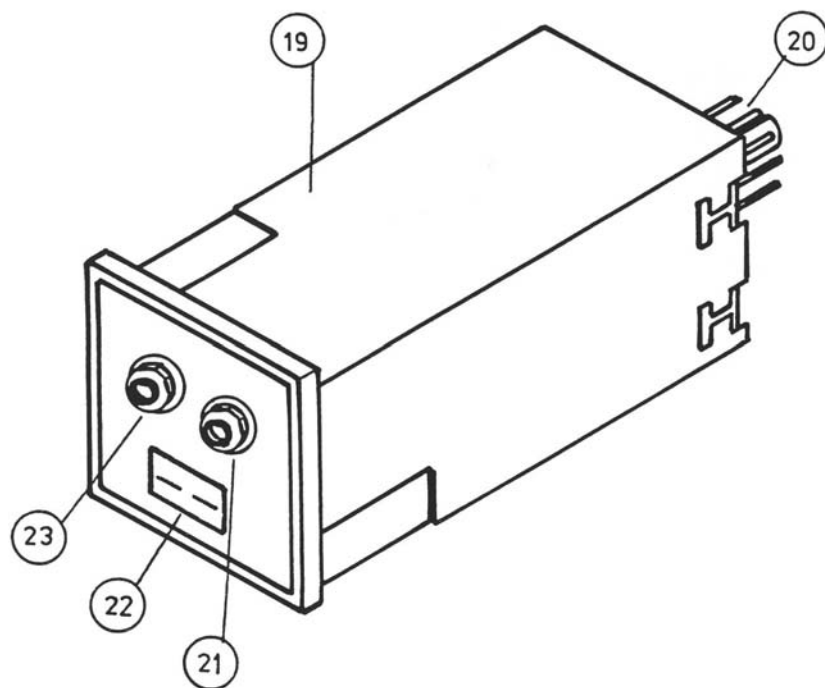
Slika 14: Shematski prikaz procesnega modula PCT13.



Slika 15: Potek procesnega toka.



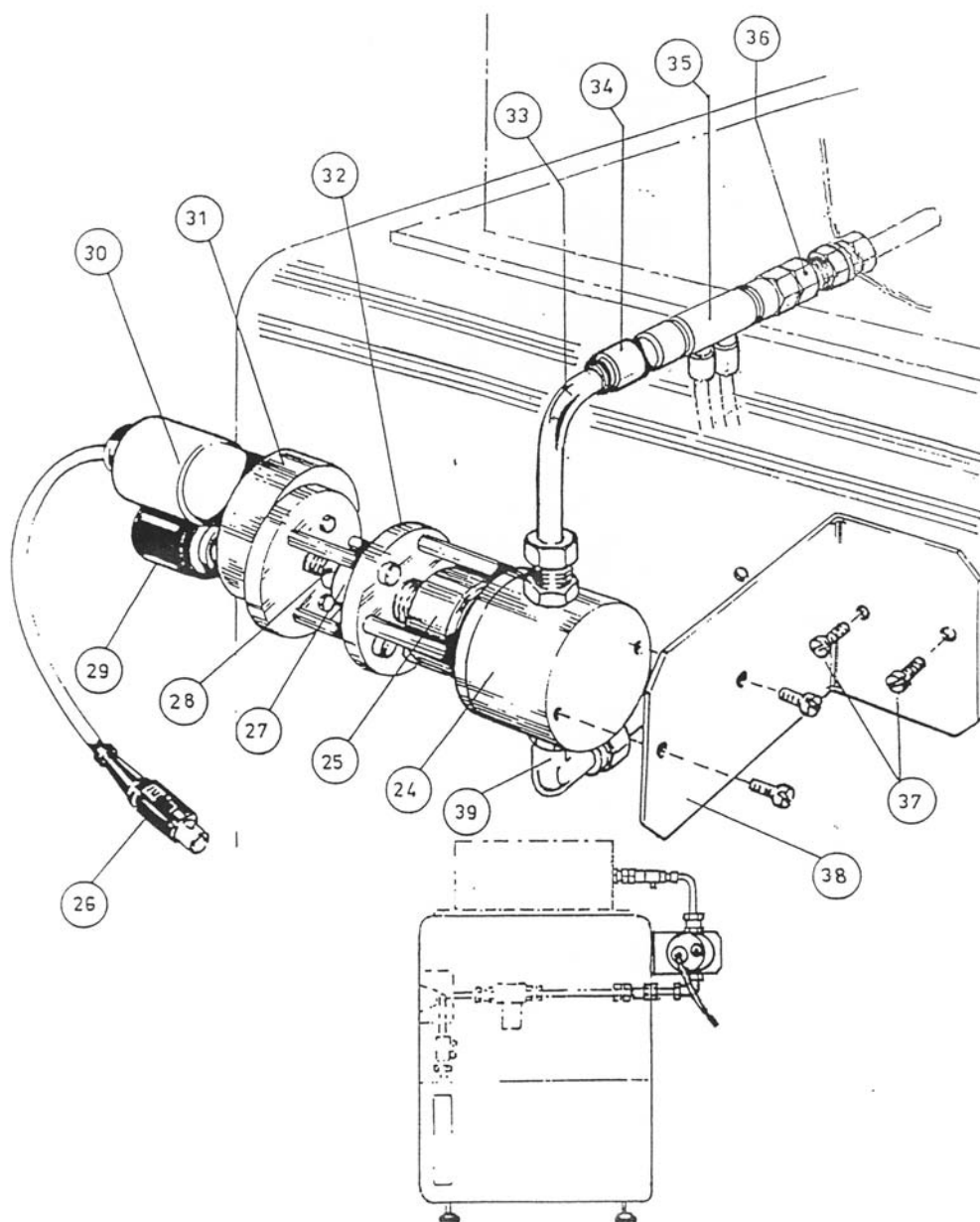
Slika 16: Potek grelnega toka.



Slika 17: Prirejevalni modul za povezavo temperaturnih senzorjev z električno konzolo.

4 POMOŽNI AVTOMATSKI VENTIL

Pomožni avtomatski ventil (Slika 18) je potreben za kontrolo sekundarne regulacijske zanke. Priključimo ga na iztok procesnega hladnega toka iz procesnega modula PCT13 ali na vtoku reaktanta v procesni rezervoar modula PCT16. Čep (24) ventila premikamo z DC električnim motorjem (30), opremljenim s feedback potenciometrom (29). Servo kontrolni sistem je nameščen na električni konzoli za sekundarno referenčno vrednost PCT17, s katerim je ventil povezan preko petpolnega priključka (26).



Slika 18: Pomožni avtomatski ventil.

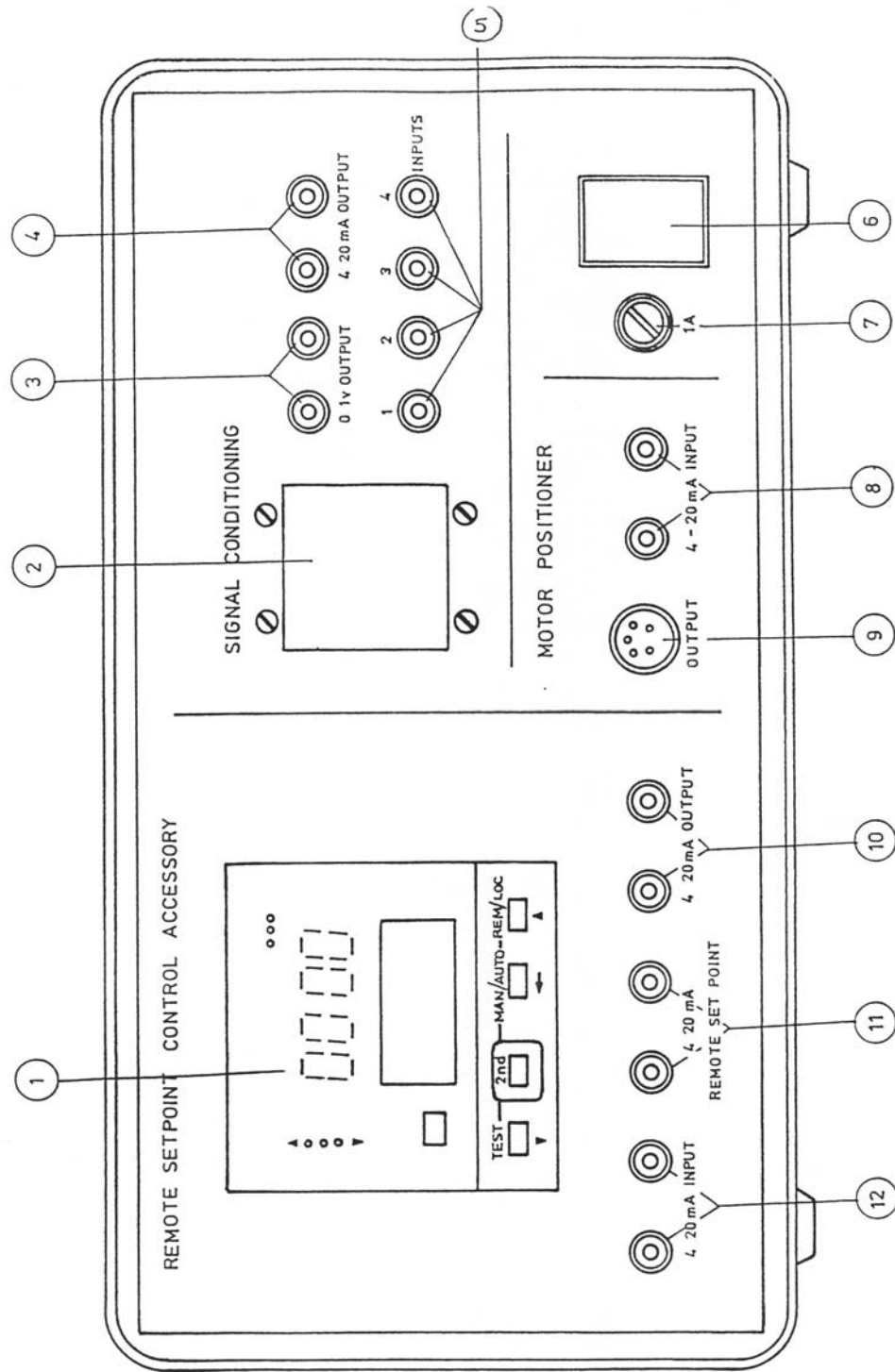
5 MODUL ZA SEKUNDARNO REFERENČNO VREDNOST – PCT17

Modul PCT17 je procesni regulator, ki v povezavi z električno konzolo PCT10 služi kot sekundarni regulator. Ta povezava omogoča postavitev večznančnih regulacijskih sistemov na procesnih modulih PCT13 za temperaturo in PCT16 za pH. Modul prikazuje Slika 19.

Sestavni deli modula so:

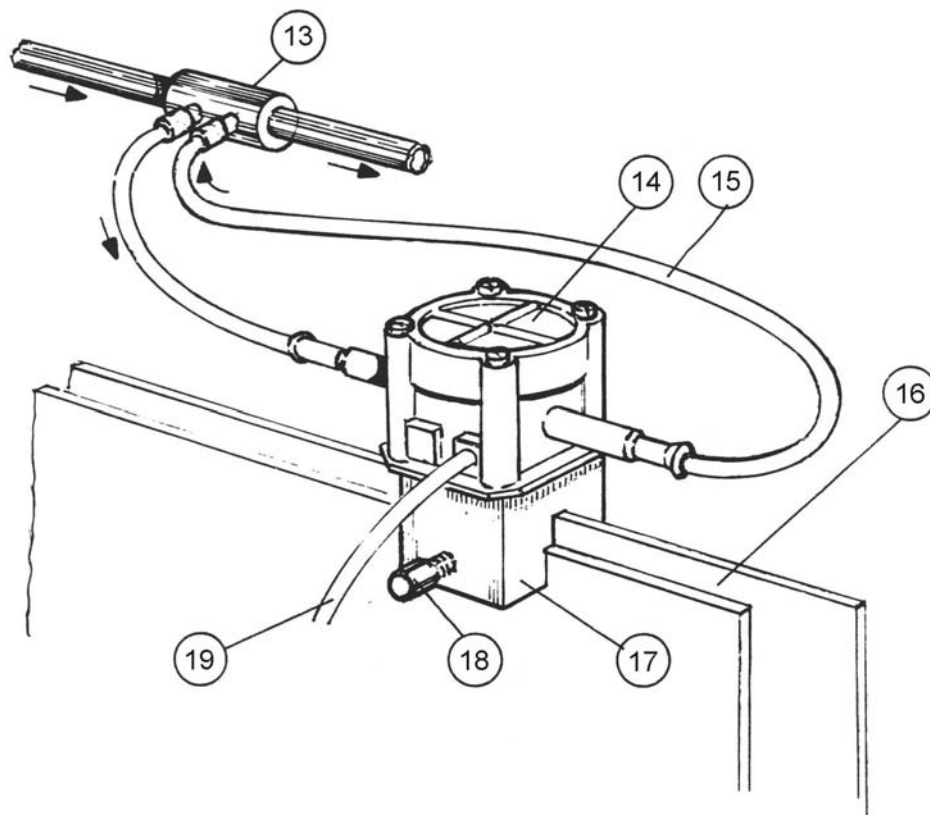
- regulator s sekundarno referenčno vrednostjo z vhodom za merjeno procesno veličino in izhodom za motorni ventil v kovinskem ohišju,
- dva pretočna senzorja s prirejevalnima moduloma,
- avtomatski ventil,
- obtočni sistem.

Triterminski regulator (1, Slika 19), ki ga krmili mikroprocesor, je zmožen sprejemati 4 – 20 mA signal in ga uporabiti kot referenčno vrednost v lastnem regulacijskem sistemu. Signal lahko še korigiramo s parametroma 'RATIO' in 'BIAS', ki določata razmerje in odmik ефективne referenčne vrednosti od vhodnega signala. Regulator lahko uporabljamo tudi kot konvencionalni povratni regulator, če delamo v lokalnem načinu. Procesno veličino (12), sekundarno referenčno vrednost (11) in izhodno veličino (10) vodimo preko rdeče/črnih igličnih priključkov. Izhod za avtomatski ventil (9) dobi signal preko priključka (8). Merjeno vrednost vodimo v konzolo preko priključkov ustreznih barv (5), jih pretvorimo v ustrezno območje s prirejevalnim modulom, ki ga priključimo na priključek (2) in jih dobimo na izhodu (3) kot 0 – 1 VDC ali (4) kot 4 – 20 mA signal. Z gumbom (6) priključimo napajanje, ki je varovano z varovalko (7).



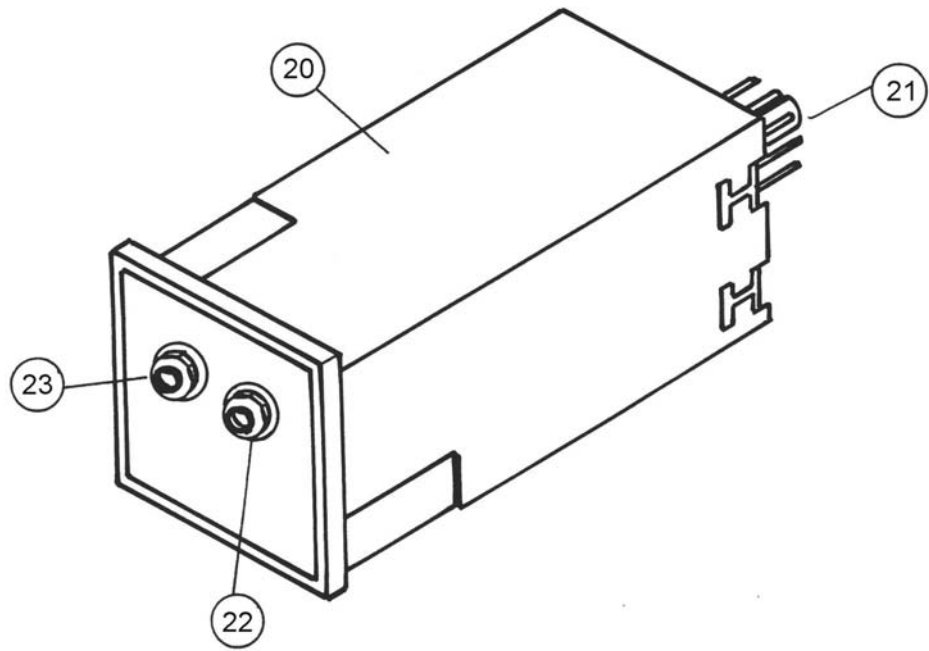
Slika 19: Modul za sekundarno referenčno vrednost.

Turbinski pretočni senzor (Slika 20) ustvarja električni signal, ki je sorazmeren s hitrostjo pretoka. Senzor (14) je nameščen na plastičnem nosilcu (17), ki ga pritrdimo na čelno stran modula PCT13 ali PCT16 (16) s pomočjo plastičnega vijaka (18). Priključimo ga na obtočni sistem modula (13) s pomočjo gibkih plastičnih cevi (15). S kablom (19) senzor povežemo z ustreznimi igličnimi priključki na delu za sprejem in pretvarjanje signala na električni konzoli PCT10.



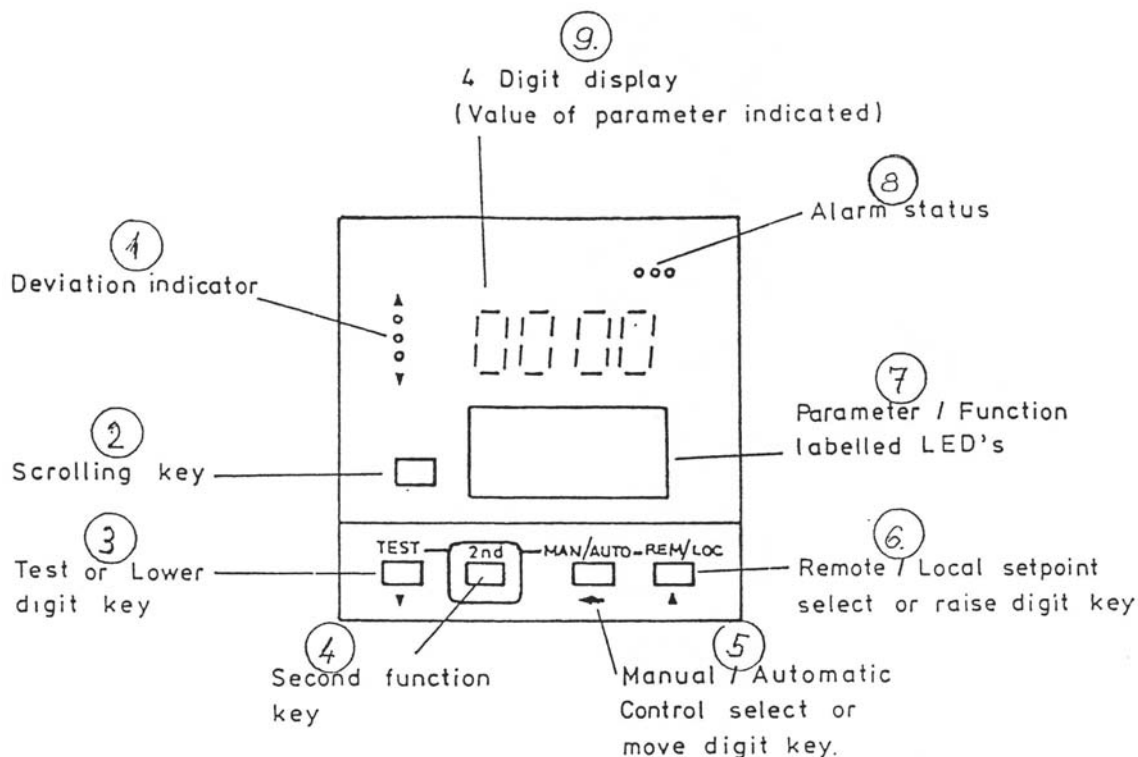
Slika 20: Pretočni senzor.

Signal pretočnega senzorja priredimo v želeno območje z uporabo prirejevalnega modula (Slika 21), ki vsebuje potenciometre (23) in (22) za nastavitve ničle in naklona.



Slika 21: Prirejevalni modul za povezavo pretočnega senzorja z električno konzolo.

6 REGULATOR ZA SEKUNDARNO REFERENČNO VREDNOST



Slika 22: Čelna stran regulatorja za sekundarno referenčno vrednost.

Če regulator deluje v normalnem (avtomatskem) načinu, kaže digitalni prikazovalnik (7) vrednost procesne veličine (v parametrskem oknu vidimo kodo 'PV'). To je 4 – 20 mA električni signal, izražen v območju 0 – 100 %. Prikaz referenčne vrednosti (koda 'SP') in vrednosti na izhodu (koda 'Out'), dosežemo s pritiskom tipke za listanje (2). Indikatorske lučke (1) kažejo približni položaj procesne veličine glede na referenčno vrednost.

Dostop do ostalih parametrov je možen s pritiskom funkcijske tipke (4) in za njo tipke za listanje za vsaki naslednji parameter (Tabela 2).

Tabela 2: Območja nastavitve parametrov na regulatorju za sekundarno referenčno vrednost:

parameter	koda	območje nastavitve	enota
Dosegljivi s tipko za listanje:			
procesna veličina	'PV'	0 - 100	%
referenčna vrednost	'SP'	0 - 100	%
vrednost na izhodu	'Out'	0 - 100	%
Dosegljivi s funkcijsko tipko '2 nd' + tipko za listanje:			
spodnja meja referenčne v.	'SP min'	0	%
zgornja meja referenčne v.	'SP max'	100	%
spodnja meja v. na izhodu	'Out min'	0	%
zgornja meja v. na izhodu	'Out max'	100	%
proporcionalno ojačanje	'PB'	1 - 500	%
čas periode	'T'	(ni v uporabi)	
razmerje	'Ratio'	10 - 200	%
odmik	'Bias'	-100 - +100	%
referenčna v. alarma	'Al'	(ni v uporabi)	
integracijski čas	'Ti'	6 - 1800	sec
diferenčni čas	'Td'	6 - 600	sec
mrtvi čas	'DZ'	(ni v uporabi)	
direktna akcija	'Conf'	0 1 0 0	
reverzna akcija	'Conf'	0 0 0 0	

Ko sta parameter in njegova koda prikazana na prikazovalniku, lahko nastavimo novo vrednost. Vrednost spreminjamo s tipko '▲' (6) za večanje in tipko '▼' (3) za manjšanje. Med ciframi izbiramo s tipko '←' (5). Novo vrednost regulator zazna že med spreminjanjem in ni posebne tipke ENTER za vnos spremembe.

Na ročni način obratovanja preklopimo s pritiskom funkcijske tipke '2nd' (4) in za njo tipke AUTO/MANUAL (5). Pri tem se pokaže vrednost na izhodu in koda 'Out'. V ročnem načinu lahko vrednost na izhodu poljubno spreminjamo.

Regulator lahko deluje kot običajni regulator s podano (lokalno) referenčno vrednostjo ali pa v načinu s sekundarno (dovajano) referenčno vrednostjo. Med načinoma izbiramo s pritiskom funkcijske tipke '2nd' in za njo tipke REM/LOC (6). V drugem načinu je na prikazovalniku (7) koda 'REM'.

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

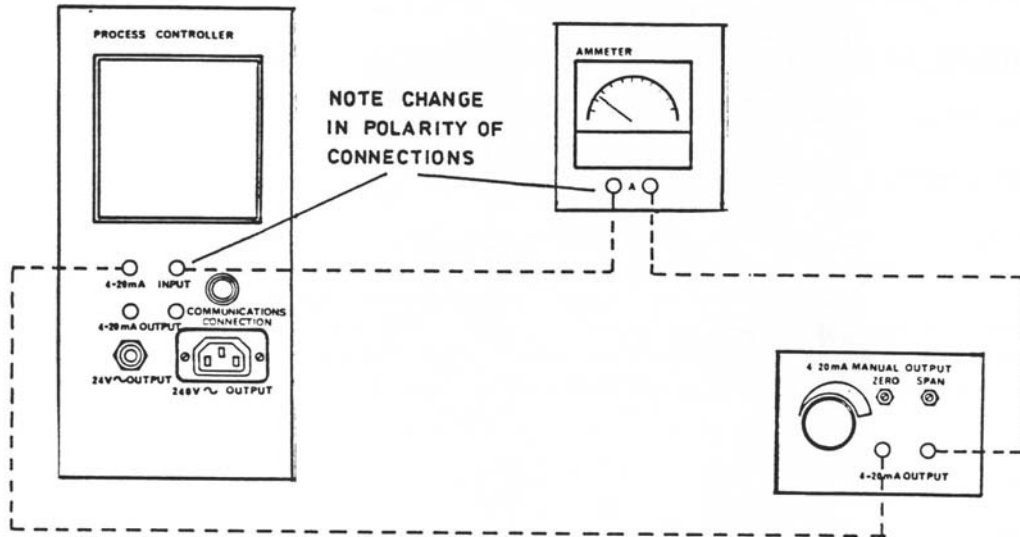
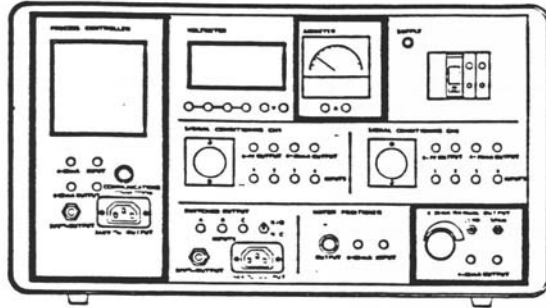
4–20 mA tokovna zanka je sestavljena iz vira napetosti in več porabnikov. Vsak porabnik ima svoj upor, njihov seštevek ustreza uporju vira napetosti.

POSTOPEK:

4–20 mA ročno nastavljivi izhod (MANUAL OUTPUT) zvežemo z vhodom (INPUT) procesnega regulatorja. Zaporedno procesnemu regulatorju zvežemo še ampermeter, kot kaže Slika 23.

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 23: Postavitev 4 -20 mA tokovne zanke.

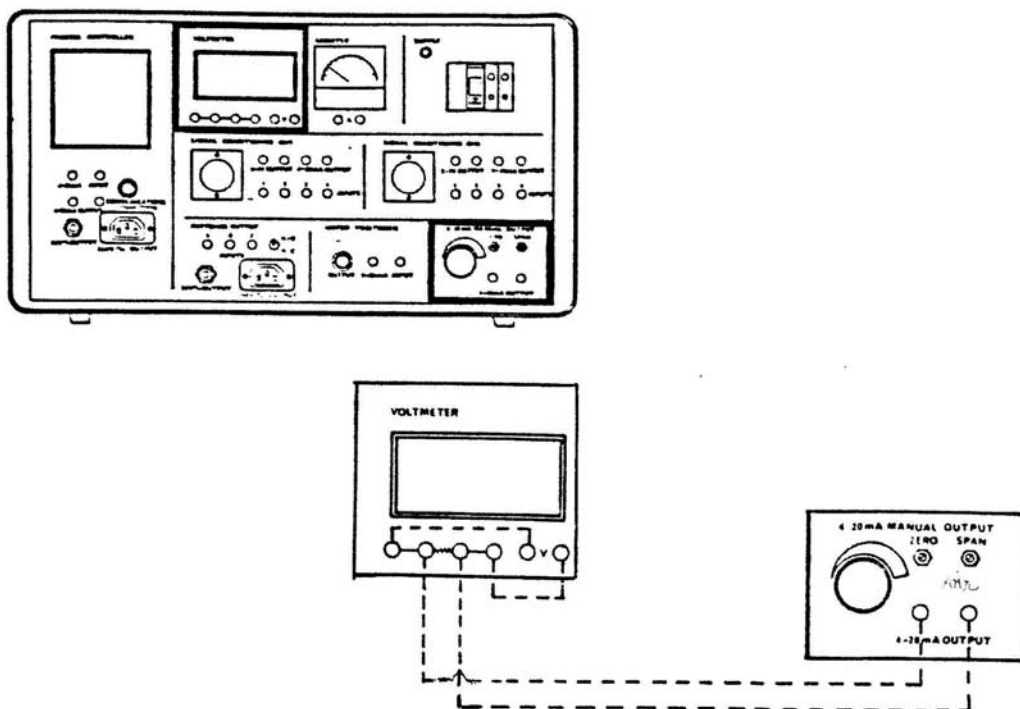
2 UMERITVE

Umeritve izvedemo vedno pred preostalimi eksperimenti.

2.1 UMERITEV ROČNO NASTAVLJIVEGA IZHODA

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo z voltmetrom, kot kaže Slika 24.
- 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).



Slika 24: 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:

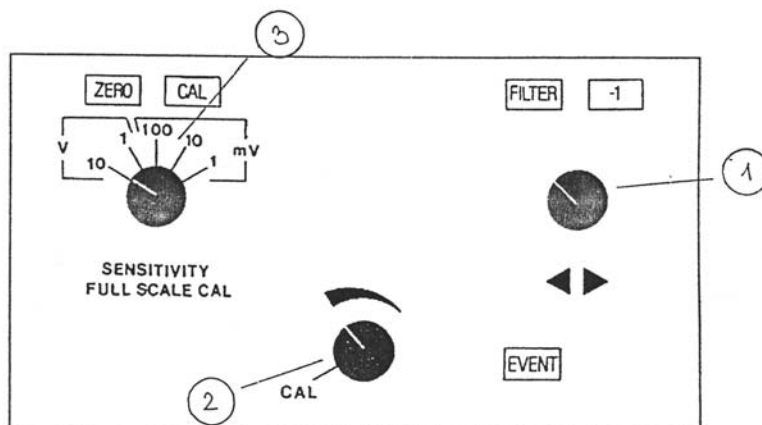
- Zavrtimo potenciometer ročno nastavljivega izhoda do konca v obratni smeri urinega kazalca. Ali je odčitek na prikazovalniku procesne veličine na regulatorju blizu 0,0 %?
- Nato zavrtimo potenciometer ročno nastavljivega izhoda do konca v smeri urinega kazalca. Ali je odčitek na prikazovalniku procesne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

2.3 NASTAVITEV PISALNIKA

Na pisalniku lahko opazujemo vrednost procesne in manipulirane veličine v odvisnosti od časa. Pisalnik je prikazan na Slika 25. 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.



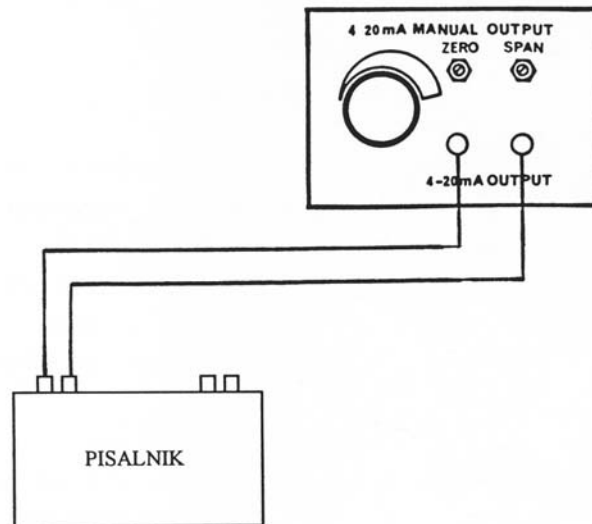
Slika 25: Pisalnik.

Pisalnik moramo pred delom umeriti.

POSTOPEK:

- Ročno nastavljeni izhod povežemo s priključkom enega od pisal, kot kaže Slika 26.
- Na pisalniku nastavimo območje meritve z gumbom (3, Slika 25) 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 pisalnik umerili na območje med 20 mm in 120 mm oz. na območje v obsegu 100 mm.



Slika 26: Prikaz povezave pisalnika z ročno nastavljivim izhodom za umeritev.

2.4 UMERITEV TEMPERATURNEGA SENZORJA

Pred pričetkom poskusa je potrebno umeriti temperaturne senzorje. Ker so vsi štirje temperaturni senzorji identični, umerimo le enega od njih. Temperaturni senzor najlažje umerimo pri temperaturi zmrzišča in vrelišča vode, vendar si lahko pomagamo tudi s hladno in vročo vodo ter živosrebrnim termometrom. Izvedli bomo sledečo umeritev:

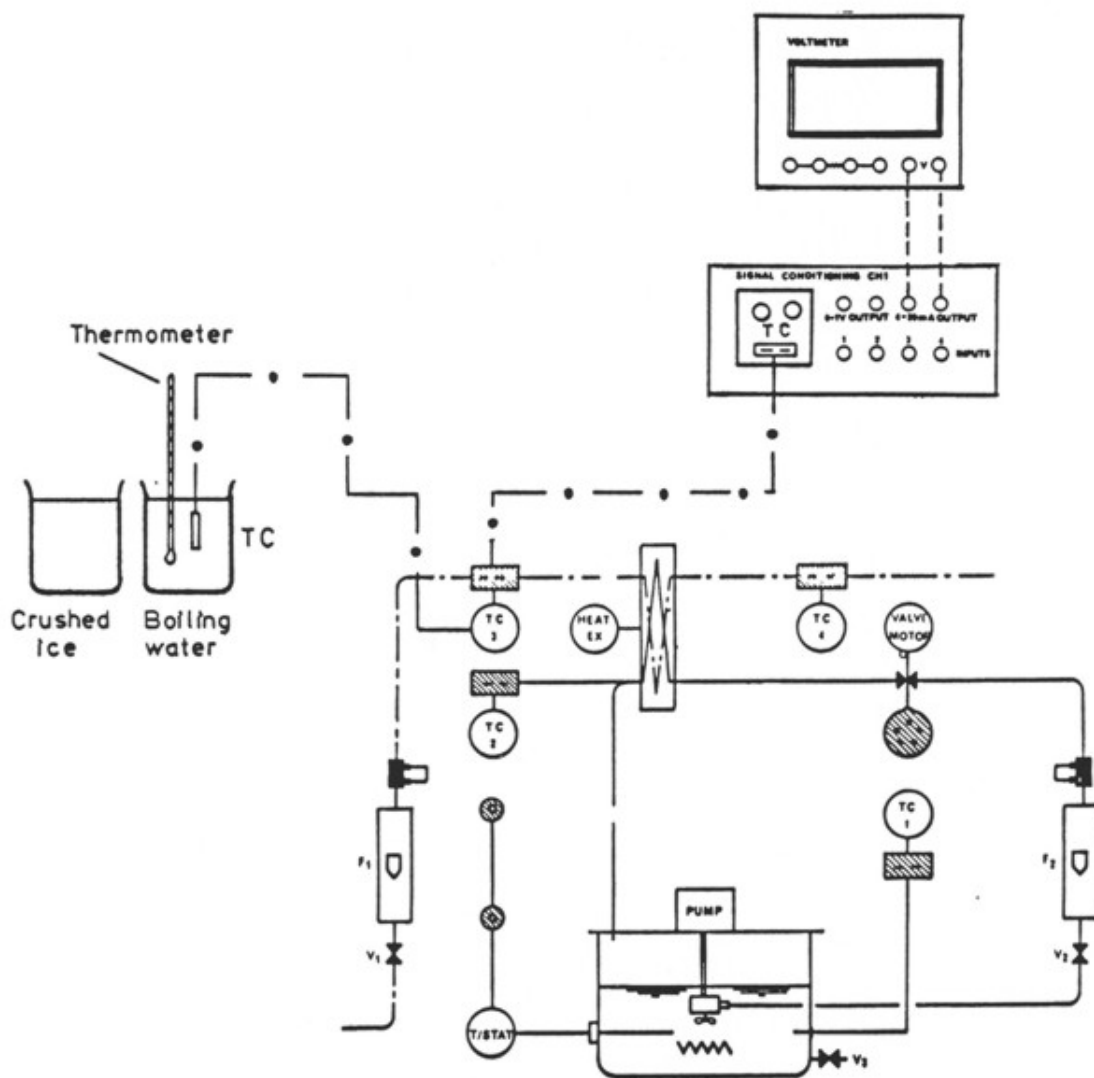
- minimalna temperatura: $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,000\text{ V} = 4\text{ mA} = 0\%$
- maksimalna temperatura: $100\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,000\text{ V} = 20\text{ mA} = 100\%$

Glede na to umeritev bo vsak % na prikazovalniku procesne veličine ustrezal $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, medtem ko $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na volmetru ustreza $0,01\text{ V}$.

POSTOPEK:

- Za umeritev odvijemo temperaturni senzor (TC3) na vtoku hladnega toka v toplotni menjalnik. Za to uporabimo viličast ključ.
- Preverimo, v katerega od priključkov na električni konzoli PCT10 je vstavljen prirejevalni modul za temperaturo. Kabel temperaturnega senzorja TC3 povežemo preko posebnega rdečega kabla s prirejevalnim modulom za temperaturo. Pri tem pazimo na pravilno lego obeh priključkov, saj je eden širši od drugega.
- Povežemo napetostni izhod prirejevalnega modula z voltmetrom, kot kaže Slika 27.
- Pripravimo posodo z ledeno vodo.

- Temperaturni senzor damo v posodo z ledeno vodo. Ko se vrednost na voltmetru umiri, z izvijačem naravnamo potenciometer (ZERO) na prirejevalnem modulu za temperaturo tako, da bo voltmeter prikazoval vrednost okoli 0,000 V.
- Pripravimo posodo z vrelo vodo.
- Potopimo temperaturni senzor v posodo z vrelo vodo in pri tem pazimo, da kabel ne bo potopljen v vrelo vodo. S potenciometrom (SPAN) nastavimo vrednost na voltmetru na približno 1,000 V.
- Če je potrebno, ponavljamo postopek, dokler ne dosežemo želenih vrednosti.
- Ko je umeritev končana, temperaturni senzor (TC3) vstavimo nazaj na njegovo mesto in ga previdno privijemo s ključem.



Slika 27: Shema povezave za umeritev temperaturnega senzorja.

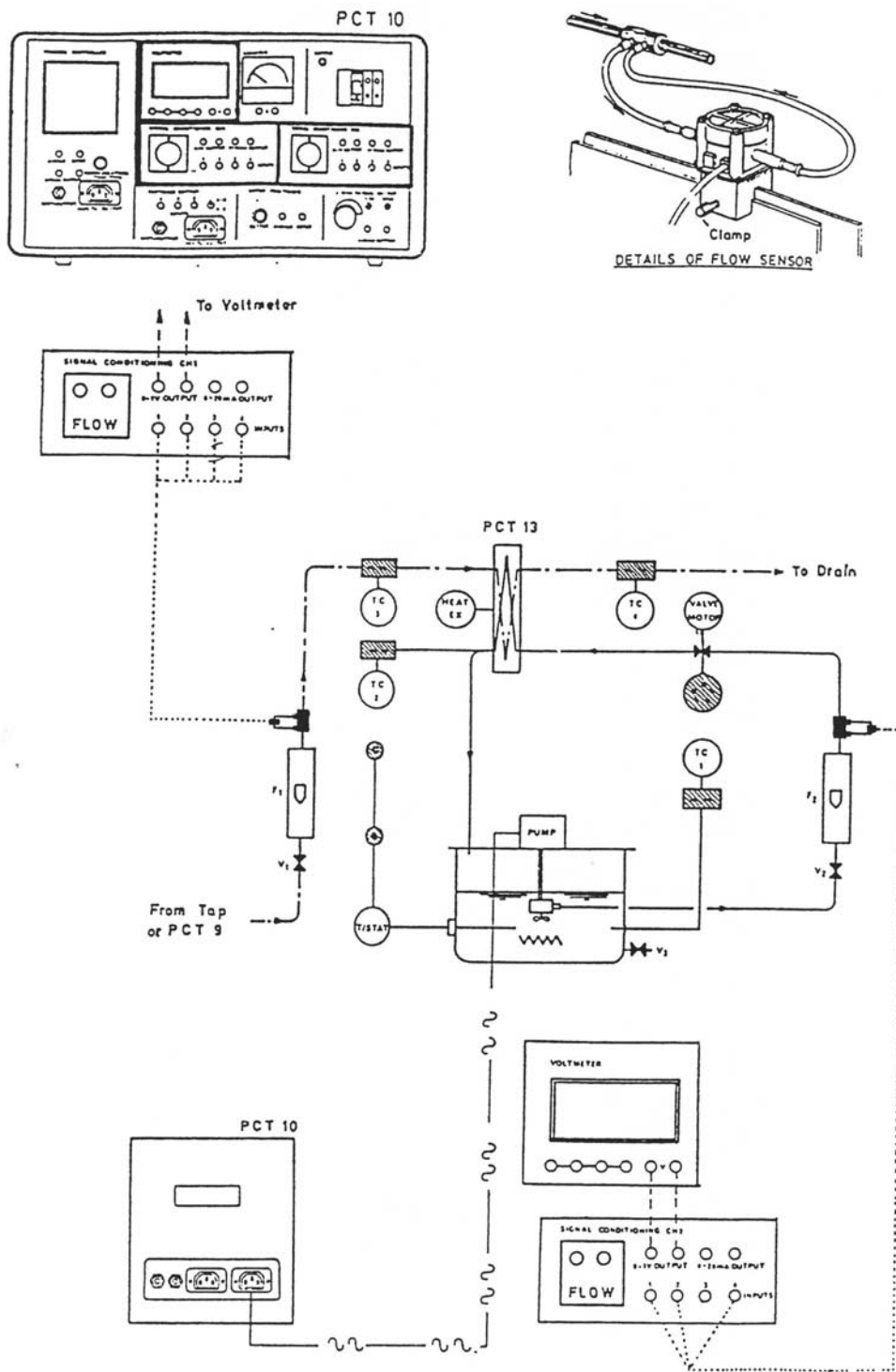
2.5 UMERITEV PRETOČNEGA SENZORJA

Pretočni senzor je pritrjen na čelno steno procesnega modula PCT13 in s plastičnimi cevmi povezan z obtočnim sistemom procesnega (hladnega) toka. Prirejevalni modul za pretok ja vstavljen v enega od priključkov na električni konzoli PCT10 poleg prirejevalnega modula za temperaturo. Pred pričetkom poskusa je potrebno umeriti tudi pretočni senzor. Izvedli bomo sledečo umeritev:

- minimalni pretok: $0 \text{ cm}^3/\text{min} = 0 \% = 0,000 \text{ V} = 4 \text{ mA}$
- maksimalni pretok: $280 \text{ cm}^3/\text{min} = 100 \% = 1,000 \text{ V} = 20 \text{ mA}$

POSTOPEK:

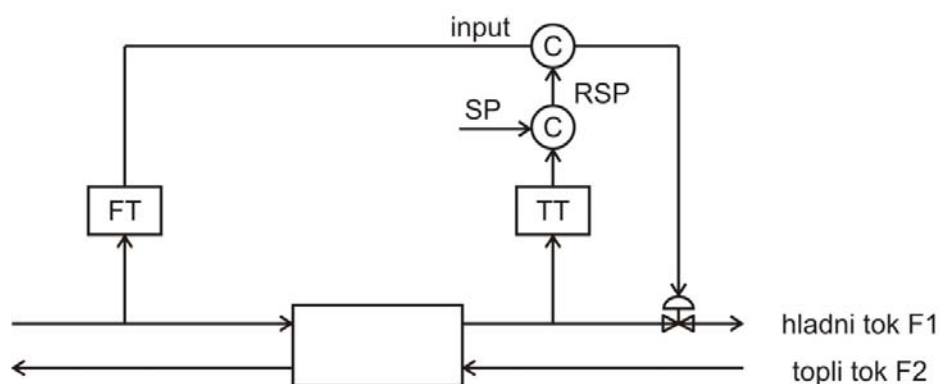
- Pretočni senzor povežemo s prirejevalnim modulom za pretok in izhod prirejevalnega modula z voltmetrom, kot kaže Slika 28.
- Vključimo črpalko modula PCT9. Z ročnim ventilom V2 na PCT9 nastavimo pretok na približno $3000 \text{ cm}^3/\text{min}$. Pazimo, da je v spodnjem rezervoarju enote PCT9 vedno dovolj vode.
- Voda teče po plastični cevi za aparaturami iz enote PCT9 v enoto PCT13 skozi merilec pretoka F1 na PCT13, toplotni prenosnik in pomožni avtomatski ventil v iztok. Hitrost pretoka spremljamo na merilcu pretoka F1 na PCT13.
- Naravnomo ročni ventil V1 na PCT13 tako, da doseže pretok maksimalno vrednost $280 \text{ cm}^3/\text{min}$ (lahko tudi nekoliko višje). S potenciometrom (SPAN) na prirejevalnem modulu za pretok nastavimo vrednost na voltmetru okoli $1,000 \text{ V}$.
- Če pretoka ne moremo nastaviti na $280 \text{ cm}^3/\text{min}$, je morda zaprt ali delno zaprt pomožni avtomatski ventil. Odpremo ga tako, da ga z ustreznim kablom priključimo na vir napetosti in sicer na konzoli PCT10 (Motor Positioner).
- Naravnomo ročni ventil V1 na PCT13 tako, da pade pretok na $0 \text{ cm}^3/\text{min}$. S potenciometrom (ZERO) na prirejevalnem modulu za pretok nastavimo vrednost na voltmetru na okoli $0,000 \text{ V}$.
- Postopek večkrat ponovimo, dokler ne dosežemo zelenih vrednosti.



Slika 28: Shema povezave za umeritev pretočnega senzorja.

3 KASKADNA REGULACIJA

Procese z zelo počasnimi odzivi reguliramo s kaskadno regulacijo, s katero hkrati merimo motnjo in odmik procesne veličine od referenčne vrednosti. Regulacijski sistem je sestavljen iz hitre primarne (zunanja) in počasne sekundarne (notranja) zanke (Slika 29). V našem primeru se v primarni zanki meri temperatura hladnega toka (na sliki TT), ki vstopa v primarni regulator na PCT10 in primerja z nastavljenno referenčno vrednostjo (SP). Izhod iz primarne zanke vstopa kot referenčna vrednost (RSP) v sekundarno zanko, kjer se meri pretok (FT) hladne vode in regulator enote PCT17 (C) krmili ventil, s katerim nastavlja pretok hladne vode.



Slika 29: Shematska predstavitev kaskadne regulacije.

3.1 NASTAVITVE PARAMETROV OBEH REGULATORJEV

V procesni regulator primarne zanke na konzoli PCT10 so že vstavljene vrednosti parametrov PID regulatorja, ki jih ne spreminjate. Najpomembnejše prikazuje Tabela 3.

Tabela 3: Parametri regulatorja primarne zanke na PCT10

parameter	koda	nastavitev	enota
proporcionalno ojačanje	'Prop'	5	%
integracijski čas	'Int'	1	min
diferenčni čas	'dEr'	6	sec

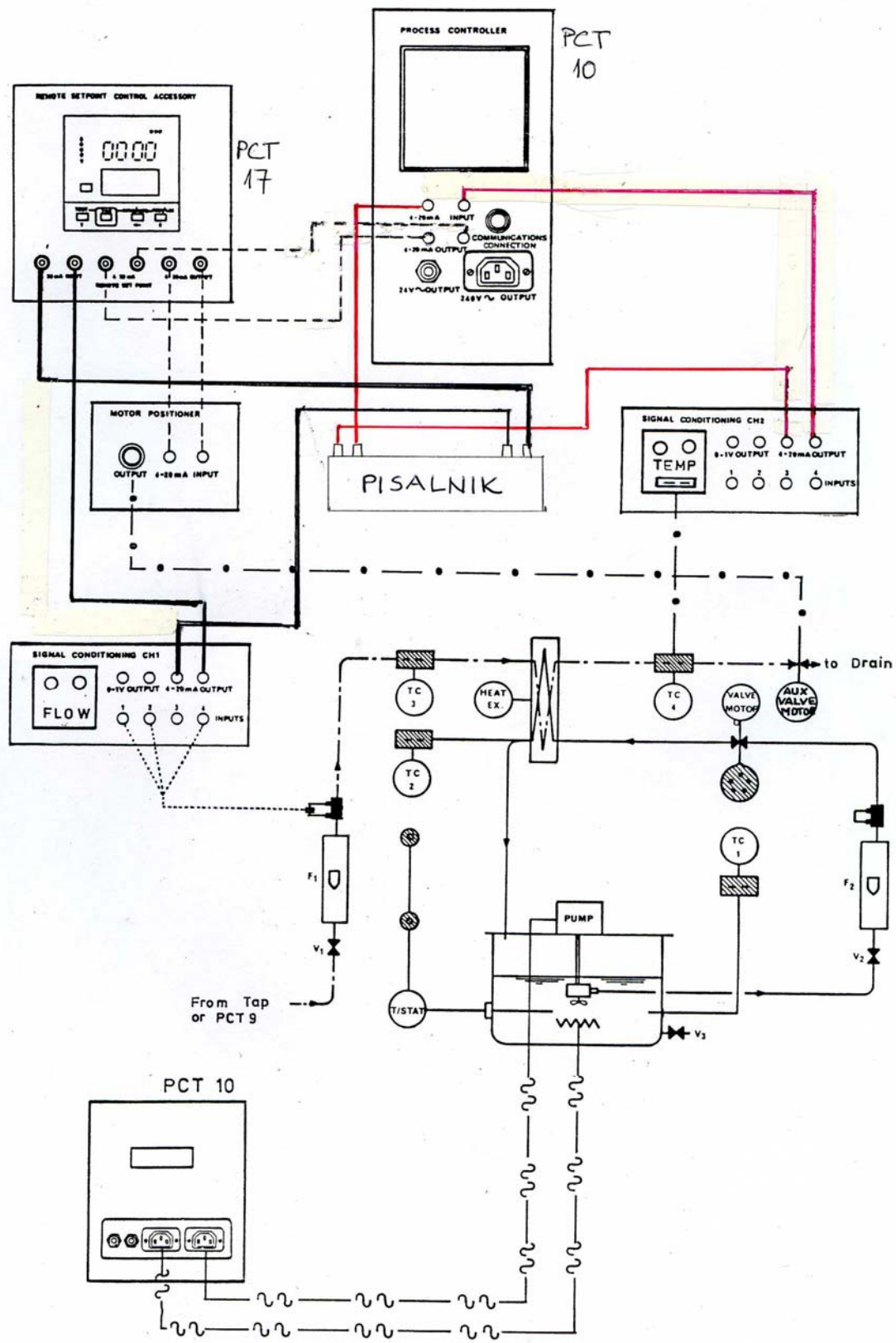
Tudi v procesni regulator za sekundarno zanko na konzoli PCT17 so že vstavljeni parametri, ki jih ne spreminjate. Nekateri od njih prikazuje Tabela 4.

Tabela 4: Parametri regulatorja sekundarne zanke na PCT17

parameter	koda	nastavitev	enota
proporcionalno ojačanje	'PB'	250	%
razmerje	'Ratio'	100	%
odmik	'Bias'	0	%
integracijski čas	'Ti'	60	sec
diferenčni čas	'Td'	0	sec
reverzna akcija	'Conf'	0 0 0 0	

3.2 PRIPRAVA APARATURE

- Aparaturo povežemo, kot kaže Slika 30. Vključimo grelnik in črpalko toplega toka ter črpalko hladnega toka. Iztočno temperaturo hladnega toka (TC4) spremljamo na pisalniku z rdečim pisalom. Pretok hladnega toka (F1) spremljamo s črnim pisalom. Hitrost pisala nastavimo na 5 mm/min.
- Počakamo približno pol ure, da se voda v rezervoarju za topli tok segreje na zeleno temperaturo, ki je nastavljena s termostatom na čelni strani med 70 do 80 °C.
- Regulator za sekundarno zanko damo na ročni način obratovanja s pritiskom tipk '2nd' in 'MAN/AUTO'. Prikaže se koda 'MAN'.
- Izhodno vrednost iz rege regulatorja (OUT) nastavimo na 100 %. S tem se avtomatski ventil na hladnem toku popolnoma odpre.
- Pretok hladnega toka (F1) nastavimo z ventilom V1 na 280 cm³/min.
- Pretok toplega toka (F2) nastavimo z ventilom V2 na 100 cm³/min.
- V nadaljevanju eksperimenta ročnega ventila V1 na hladnem toku ne smemo več premikati, saj ga krmili regulator. Medtem ko z ročnim ventilom V2 na toplem toku ves čas skrbimo, da je pretok toplega toka konstanten, tj. 100 ml/min.



Slika 30: Shema povezave za kaskadno regulacijo.

3.3 VZPOSTAVITEV STACIONARNEGA STANJA

- Regulator za sekundarno referenčno vrednost je na ročnem načinu obratovanja, vidimo kodo 'MAN' (MANUAL).
- Znižamo izhod iz tega regulatorja s 100 % na približno 40 %. S tem zapiramo pomožni avtomatski ventil na hladnem toku in temperatura TC4 prične rasti. Temperaturo TC4 lahko vidimo kot procesno spremenljivko na regulatorju PCT10. Izhod iz regulatorja nastavljamo tako dolgo, dokler temperatura ne doseže okoli 50 % oz. 50 °C.
- Ko je dosežena temperatura 50 °C, na regulatorju za sekundarno vrednost odčitamo vrednost P.V., tj. pretok hladnega toka v %.
- Regulator PCT10 nastavimo na ročni način obratovanja (tipki 'F' in 'AUTO/MANUAL'; rdeča lučka zasveti) in ročno nastavimo izhod na enako vrednost, kot je odčitana vrednost P.V. na sekundarnem regulatorju. S tem postopkom smo izenačili vrednost procesne spremenljivke v sekundarnem regulatorju s sekundarno referenčno vrednostjo in tako dosegli stacionarno stanje.
- Oba regulatorja nastavimo na avtomatski način obratovanja: PCT 10 s pritiskom tipke 'AUTO/MANUAL' in rdeča lučka ugasne, sekundarni regulator s pritiskom tipk '2nd' in 'MAN/AUTO'; koda 'MAN' ugasne.
- Regulator za sekundarno referenčno vrednost nastavimo v način obratovanja z dovedeno referenčno vrednostjo (tipki '2nd' in 'REM/LOC'; prikaže se koda 'REM'). S tem je izhodna vrednost iz regulatorja PCT10 enaka sekundarni referenčni vrednosti regulatorja PCT17.

3.4 EKSPERIMENT KASKADNE REGULACIJE

Preverili bomo vpliv motnje in spremembe referenčne vrednosti na proces prenosa toplote, ki ga vodimo z uporabo kaskadne regulacije. Cilj je držati iztočno temperaturo hladnega toka pri nastavljeni referenčni vrednosti. Motnjo predstavlja sprememba pretoka toplega toka.

- Ko smo vzpostavili stacionarno stanje, vnesemo motnjo tako, da povečamo pretok toplega toka (F2) s $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ na $150 \text{ cm}^3/\text{min}$ z odprtjem ventila V2 na procesnem modulu PCT13.
- Ves čas pazimo, da je pretok toplega toka konstanten.
- Počakamo, da se iztočna temperatura hladnega toka (TC4) ustali. Opazujemo spremembo pretoka (F1) in iztočne temperature (TC4) hladnega toka.
- Pretok toplega toka (F2) vrnemo na $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ in počakamo, da sistem doseže prvotno stanje.
- Spremenimo referenčno vrednost na regulatorju PCT10 na 40 %, kar pomeni, da želimo nižjo iztočno temperaturo hladnega toka. Opazujemo spremembo pretoka in iztočne temperature hladnega toka.
- Referenčno vrednost na regulatorju PCT10 vrnemo s 40 % nazaj na 50 %.

Opažanja:

Z uporabo diagramov, ki jih izriše pisalnik, odgovorite na naslednja vprašanja:

- a) Kaj se dogaja s temperaturo hladnega toka, ko zvišamo pretok toplega toka?
- b) Ali se temperatura hladnega toka po vnosu motnje vrne na začetno vrednost?
- c) Kakšna je hitrost odziva?
- d) Kaj se dogaja s pretokom hladnega toka, ko zvišamo pretok toplega toka?
- e) Kaj se dogaja s pretokom hladnega toka, ko spremenimo referenčno vrednost s 50 na 40 %?
- f) Kaj se dogaja z iztočno temperaturo hladnega toka, ko spremenimo referenčno vrednost s 50 na 40 %?