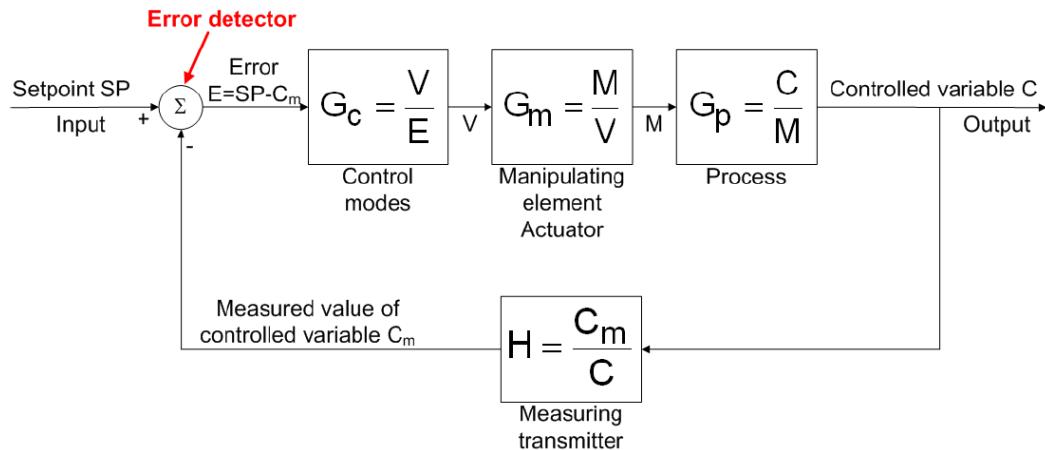


# TUS Skripta 2018/19

## 2. Sistemi sa zatvorenom povratnom spregom – imena promenljivih (signala)



- Kontrolisana promenjicva (C)** – izlazna promenjiva procesa koja će biti kontrolisana
- Setpoint (SP)** – željenja vrednost kontrolisane promenjive
- Merena promenljiva (C<sub>m</sub>)** – izmerena vrednost kontrolisane promenljive
- Greška (E)** – razlika između željenje i izmerene vrednosti kontrolisane promenljive
- Izlaz konrolera (V)** – akcija (upravljanje) koje treba da vrednost kontrolisane promenljive približi Setpoint-u (željena vrednost)
- Manipulisana promenljiva (M)** – promenljiva regulisana od strane aktuatora kako bi se dosegla željena vrednsot kontrolisane promenljive
- Poremećaj u sistemu (D) – su ulazne promenljive u procesu koji utiču na kontrolisanu promenljivu ali nisu kontrolisane od strane sistema

Ovo se meri

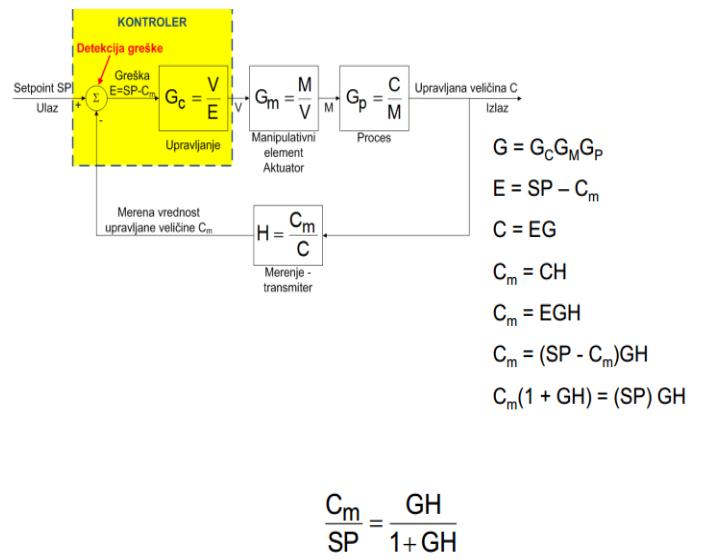
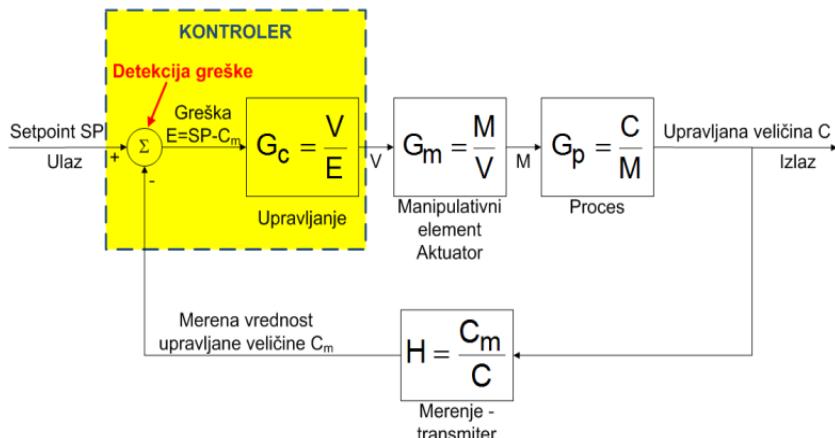
Ovo se računa

Fizička realizacija proračuna

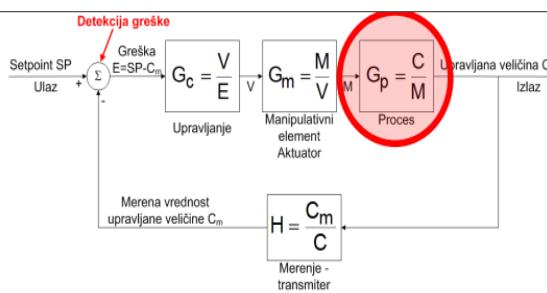
Nepoželjno

## 1. Elementi sistema sa zatvorenom povratnom spregom. Nacrtati, nabrojati i objasniti

- Primer: Blok dijagram sistema sa zatvorenom povratnom spregom (upravljanje procesom)



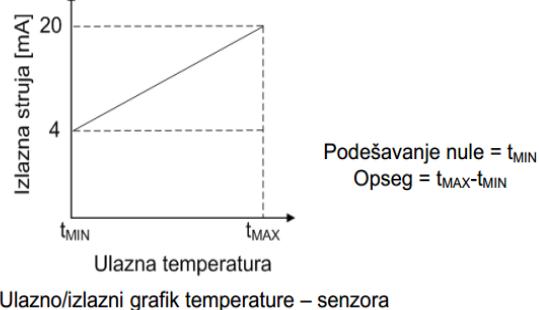
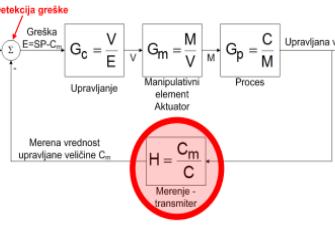
## PROCES



- Blok procesa predstavlja sve što se odigrava u i od strane opreme u kojoj se kontroliše procesna promenljiva.
- Proces uključuje sve što utiče na upravljanu (kontrolisano) promenljivu ili *procesnu promenljivu* osim kontrolera i izvršnog organa.

## SENZOR / TRANSMITER

- Transmiter meri vrednost kontrolisane promenljive i konvertuje tu vrednost u upotrebljiv signal
- Transmiter je generalizovani izraz i pokriva sve tipove signala.
- U nekim slučajevima se reč merenje menja izrazom "merni signal"

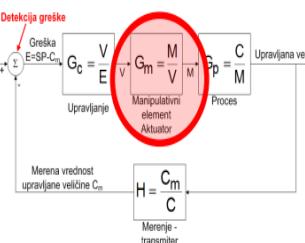


## KONTROLER

- Kontroler obuhvata deo za **detekciju greške** i deo koji sadrži **režime za kontrolu**
- Deo za detekciju greške računa razliku između merene vrednosti kontrolisane promenljive i željene vrednosti (setpoint, radna tačka)
- Razlika se naziva greška i računa se po sledećoj jednačini :  
Greška = Željena vrednost – izmerena vrednost  
 $E = SP - C_m$
- Režimi kontrole konvertuju grešku u upravljanje ili *izlaz kontrolera* koje teži da smanji grešku.
- Tri najčešća dejstva(modi) su:
  - Proporcionalno dejstvo (P)* – upravljanje je proporcionalno grešci
  - Integralno dejstvo (I)* – upravljanje pojačava korektivne akcije dokle god postoji greška
  - Diferencijalno dejstvo (D)* – upravljanje je proporcionalno brzini promene greške

## MANIPULATIVNI ELEMENT

- Manipulativni element koristi izlaz kontrolera da bi regulisao kontrolisanu promenljivu i obično se sastoji iz **dva dela:**
  - aktuatora
  - objekta upravljanja



- Aktuator transformiše izlaz kontrolera u akciju koja deluje na objekat upravljanja
- Objekat upravljanja direktno **menja vrednost** upravljane promenljive
- Primeri manipulativnih elemenata: ventili, amortizeri, ventilatori, pumpe, grejači,..

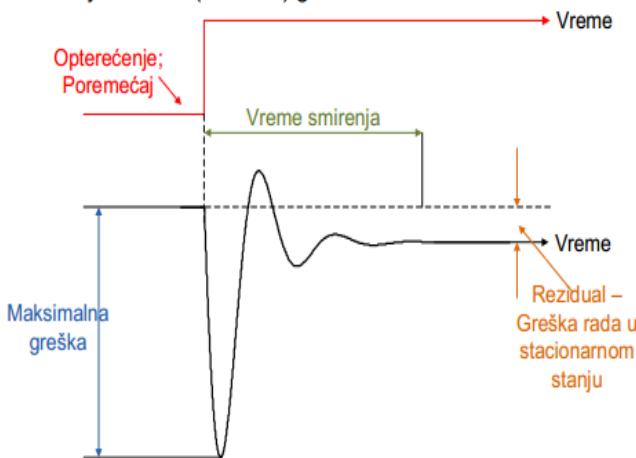
### 3. Ciljevi SAU-a, prigušenje i nestabilnost

- Cilj SAU-a deluje prilično jednostavan – održavati vrednost kontrolisane promenljive tako da bude jednaka željenoj vrednosti (Setpoint), bez obzira na promene opterećenja ili Setpoint-a.
- Da bi ovo uradio, sistem mora da odgovori na promenu pre nego što se desi greška; nažalost, povratna sprega nikad nije perfektna zato što ne deluje sve dok se greška ne desi.
- Sledeći koraci opisuju delovanje sistema:
  - Promena opterećenja (poremećaj) mora da menja kontrolisanu promenljivu; ovo proizvodi grešku
  - Kontroler reaguje na grešku tako što menja manipulisanu promenljivu
  - Promena manipulisane promenljive vraća kontrolisanu promenljivu bliže radnoj tački.

#### Cilj upravljanja :

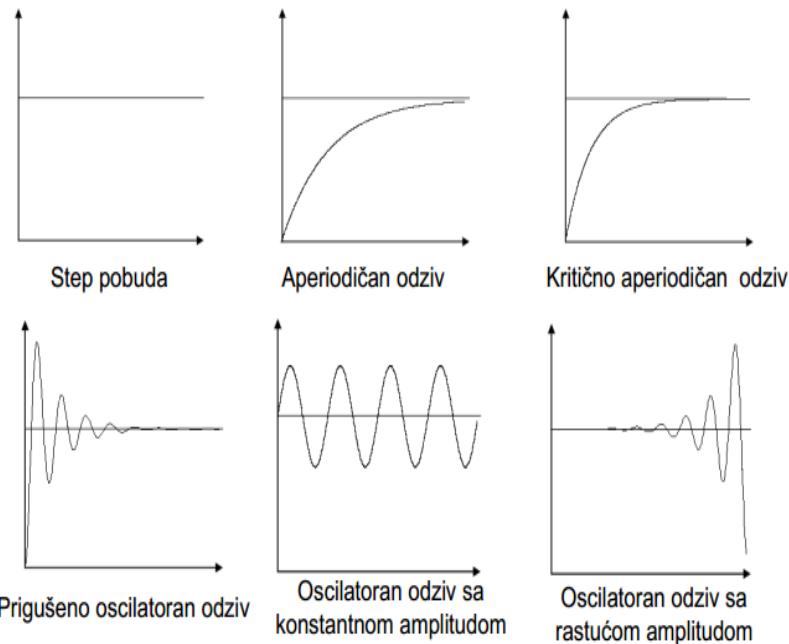
Pošto se opterećenje ili setpoint promeni, SAU bi trebalo da:

- Minimizuje maksimalnu vrednost greške
- Minimizuje vreme smirenja
- Minimizuje ostatak (rezidual) greške



#### Prigušenje i nestabilnost

- Pojačanje regulatora određuje veoma važnu karakteristiku odziva sistema : prigušenje ili nestabilnost koju sistem prikazuje kao odgovor na poremećaj.
- Kako pojačanje regulatora raste, odziv se menja u sledećem redosledu: aperiodičan, kritično aperiodičan, prigušeno oscilatoran, oscilatoran sa konstantnom amplitudom, i oscilatoran sa rastućom amplitudom.
- Ni oscilatoran odziv, ni aperiodičan odziv ne zadovoljavaju cilj minimizacije greške.
- Tipično, optimalni odziv je ili kritično aperiodičan ili blago prigušeno oscilatoran
- Sledeća slika pokazuje nabrojane tipove odziva



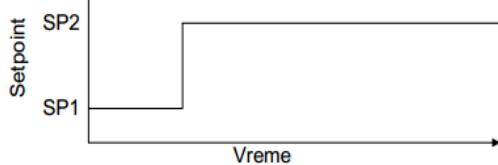
## 4. Kriterijumi dobrog upravljanja u SAU

### Kriterijum dobrog upravljanja

Opadanje greške za četvrtinu amplitude

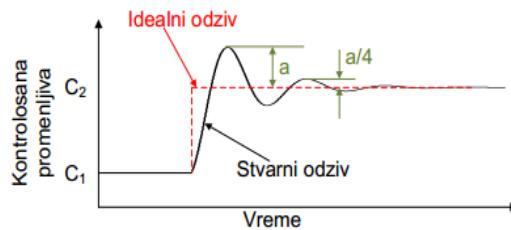
- Da bismo efikasno testirali SAU potrebno je zadovoljiti sledeće uslove:
  - Test mora biti specificiran
  - Mora biti odabran kriterijum dobrog upravljanja
- Tri najčešća kriterijuma su:
  - Opadanje greške do četvrtine amplitude
  - Minimum integrala apsolutne greške
  - Kritično prigušenje

Kriterijum podrazumeva oscilatoran odziv u kome je naredna pozitivna amplituda kontrolisane promenljive četvrtina prethodne



Varijacija kriterijuma procenat preskoka (PPO).

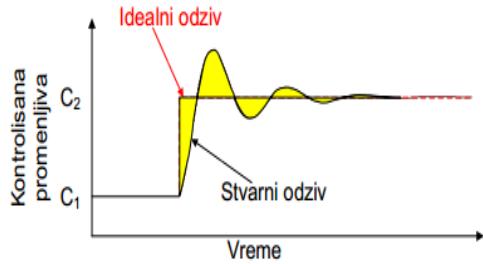
$$PPO = 100 \left( \frac{a}{C_2 - C_1} \right)$$



### Minimum integrala apsolutne greške

Kriterijum podrazumeva da površina ispod krive koja predstavlja grešku bude minimalan.

Postoje i drugi kriterijumi poznatiji kao indeksi performanse (kriterijumi optimalnosti).



### Integral apsolutne greške

$$IAE = \int_0^T |e(t)| dt$$

### Integral kvadrata greške

$$ISE = \int_0^T e^2(t) dt$$

### Integral proizvoda apsolutne greške i vremena

$$ITAE = \int_0^T t \cdot |e(t)| dt$$

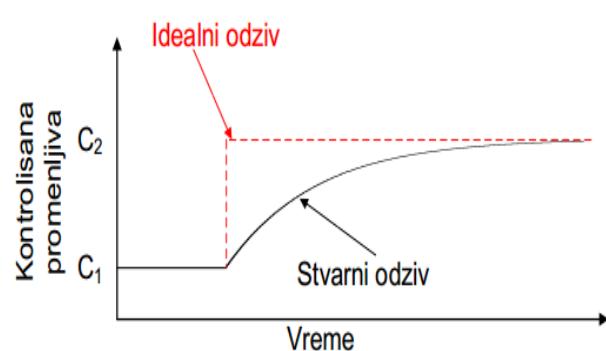
### Integral proizvoda kvadrata greške i vremena

$$ITSE = \int_0^T t \cdot e^2(t) dt$$

### Kritično prigušenje

Kriterijum se koristi kada je preskok iznad radne tačke nepoželjan.

Kritično prigušenje je najmanje prigušenje koje će proizvesti odziv bez preskoka i oscilacija



## 5. Tipovi signala u SAU (vrste signala, standardni opsezi, linearnost)

- Tipovi signala mogu biti:
  1. Analogni koji su po svojoj prirodi kontinualni
  2. diskretni (ili digitalni) imaju dva ili više stanja, i u bilo kom trenutku vremena, mogu se nalaziti u samo jednom od tih stanja
  3. Signali koji se sastoje od povorke impulsa, gde je svaki impuls ekvivalentan kratkotrajnom diskretnom signalu

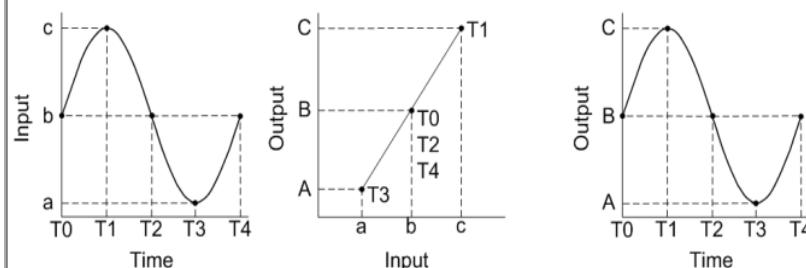
### Vrste signala

Tipovi signala u fizičkom smislu:

1. audio – zvuk alarma
2. kapilarni – ekspanzija u popunjrenom sistemu
3. električni – struja iz transmitera
4. elektromagnetni – telemetrija preko radio veze
5. hidraulični – protok kroz ventil
6. ručni – promena radne tačke od strane operatera
7. mehanički – pozicija igle ventila
8. pneumatski – pritisak na aktuator ventila
9. procesni – pH vrednost toka procesa
10. vizuelni – boja simbola na displeju

### Linearost

- Linearost je nešto što prožima automatizaciju.
- Linearni signali se intuitivno lako interpretiraju
- Elementima koji imaju linearni odziv se relativno lako upravlja
- Nažalost, nelinearni odnosi između ulaza i izlaza su česti, i postoji nekoliko formi nelinearnosti koje se pojavljuju u komponentama SAU-a.
- I/O grafik je grafik ulaznih vrednosti nasuprot izlaznih vrednosti. Kada imamo jednu pravu liniju, kažemo da je sistem linearan.



Linearni elementi – uvek zadržavaju oblik ulaznog signala

U trenutku T0 ulazna vrednost b odgovara izlaznoj vrednosti B, u trenutku T1 ulazna vrednost c odgovara izlaznoj vrednosti C...

Vrsta	Priroda	Standardni opseg
Električni	Analogni	4-20mA; 0-5V
	Diskretni	0/24V
	Pulsni	0/20mA
Pneumatski	Analogni	0.2-1.0barg (3-15psig)
	Diskretni	0/3.5barg (0/50psig)

## 6. Karakteristike mernih instrumenata u SAU (opšti pojmovi, statičke, dinamičke karakteristike)

### Karakteristike mernih instrumenata

- Merni instrumenti mogu meriti bilo koju vrednost promenljive u okviru opsega merenja
- Opseg** je definisan donjom i gornjom granicom
- Širina mernog opsega :**  
gornja granica opsega – donja granica opsega
- Rezolucija** – Neki merni instrumenti menjaju svoj izlaz u diskretnim koracima , rezolucija je jedinični korak izlaza mernog instrumenta.
- Maksimalna rezolucija** – najveći korak  
 $\text{Prosečna rezolucija (\%)} = 100/N$  (N – ukupan broj koraka)
- Mrtva zona** – je minimalni iznos promene merene promenljive koji će biti registrovan od strane mernog instrumenta; Drugo ime - prag

- Osetljivost** je promena izlaza podeljena sa promenom ulaza koja uzrokuje minimalnu promenu izlaza
- Pouzdanost** mernog uređaja je verovatnoća da će on vršiti svoj posao predviđeno vreme pod predviđenim uslovima.
- Prekoračenje** mernog opsega je svako iskakanje vrednosti merene veličine preko gornje ili donje granice mernog intervala
- Vreme oporavka** jeste period potreban da se merni instrument vrati u operativno stanje nakon prestanka prekoračenja mernog opsega
- Otklon** je neželjena promena izlaza tokom određenog vremena
- Nulti otklon** je promena izlaza mernog instrumenta dok se vrednost merene promenljive drži na njenom donjem limitu
- Otklon osetljivosti** je promena osetljivosti instrumenta tokom vremena

### Statičke karakteristike

- Statičke karakteristike opisuju tačnost mernog instrumenta na sobnim uslovima, sa merenom promenljivom koja je ili konstantna ili se veoma sporo menja
- Tačnost predstavlja stepen saglasnosti izlaza mernog instrumenta sa idealnom (apsolutno tačnom) vrednošću merene promenljive definisano u skladu sa određenim standardom. Utvrđuje se određenim instrumentima, određenom procedurom pod određenim uslovima. Test se ponavlja nekoliko puta , tačnost se definiše preko maksimalne i minimalne greške.

Greška = izmerena vrednost – idealna vrednost

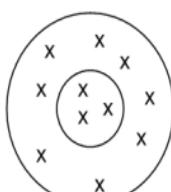
- Tačnost instrumenta se definiše preko greške na sledeće načine:
  - Merenom veličinom ( $+1^{\circ}\text{C}$ - $-2^{\circ}\text{C}$ )
  - Procentom širine mernog opsega (npr.  $\pm 0.5\%$  širine mernog opsega)
  - Procentom aktuelne vrednosti izlaza ( $\pm 1\%$  vrednosti izlaza)

### Statičke karakteristike

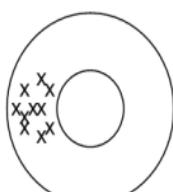
- Ponovljivost mernog instrumenta je mera disperzije (ili standardne disperzije) merenja
- Reproducibilnost je maksimalna razlika između izmerenih vrednosti izlaza (pri čemu se vrši veći broj merenja) pri istim vrednostima ulaza (ali postignutim sa obe strane) u određenom vremenskom periodu.

### Dinamičke karakteristike

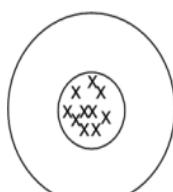
- Dinamičke karakteristike opisuju performanse mernog instrumenta kada bi se merena promenljiva brzo menjala.
- Većina senzora neće dati momentalan, kompletan odziv na iznenadnu promenu merene promenljive
- Merni instrument zahteva određeno vreme pre nego što dobijemo kompletan odziv
- Step promena merene promenljive, proizvodi najgori scenario u radu instrumenta.
- Zbog ovih razloga, odziv mernog instrumenta na step promenu merene promenljive se koristi da bi definisali njegove dinamičke karakteristike.



Not repeatable  
Not accurate



Repeatable  
Not accurate



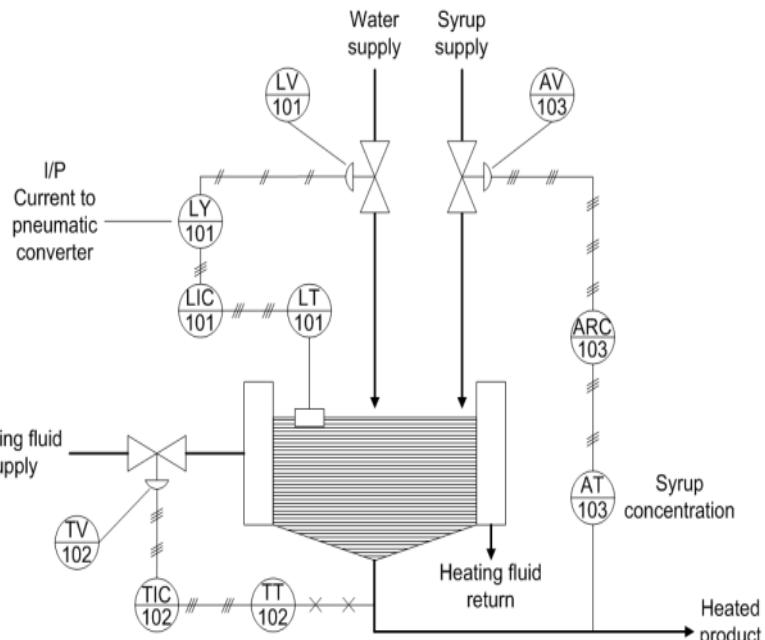
Repeatable  
Accurate

## 7. P&I dijagrami - načini označavanja elemenata u sistemu, identifikacija funkcije i upravljačke petlje; grafički simboli (ilustrovati primerom)

### P&I dijagrami

- Kružni simbol naziva se "balon" (kružić) predstavlja generalni simbol za instrumente
- Instrument je identifikovan kodom smeštenim u kružić.
- Identifikacioni kod se sastoji od :
  - Identifikacije funkcije – slova u gornjem delu kružića
  - Identifikacija petlje – brojevi u donjoj polovini kružića
- Prvo slovo u funkcionalnoj identifikaciji definiše merenu ili inicijalnu promenljivu kontrolne petlje (npr F-flow, L-level, P-pressure, T-temperature...).
- Do tri dodatna slova mogu se koristiti za imenovanje funkcije individualnog instrumenta (npr indikator, arhiver, kontroler, ventil...)
- Standard, isto tako, definiše simbole za strukturu linija, tela ventila, aktuatora, primarne elemente,...

### P&I dijagrami – primer



### P&I dijagrami

#### Struktura linija

—/—/— 3-15psi pneumatska linija

—#—/—/— 4-20mA električna struja

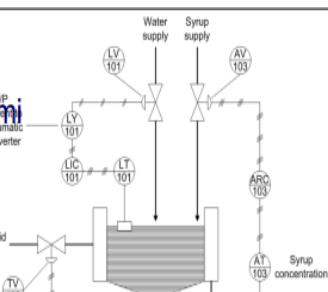
—×—/—/— --filled system capillary

#### Prvo Slovo - ID

A – analiza

L – nivo(level)

T – temperatura (temperature)



#### Prateća slova

C – kontroler (controller)

I – indikator (indicator)

R – rekorder (recorder)

T – senzor (transmitter)

V – ventil (valve)

Y – relej (relay) - konvertor

LT-101 Level Transmitter – Određuje nivo tečnosti u rezervoaru i pretvara signal u električnu struju u opsegu 4 – 20mA

LIC-101 Level Indicating Controller – uzima mA signal iz LT-101 kako bi dobio kontrolni signal u opsegu 4 – 20mA

LY-101 Level current to pneumatic convertor – konvertuje mA izlaz iz LIC-101 u pneumatski signal u opsegu 3 – 15psi

LV-101 Level control Valve – koristi pneumatski signal iz (LY-101) konvertera u poziciju stema ventila.

TT-102 Temperature Transmitter – određuje temperaturu i pretvara je u elektročnu struju u opsegu od 4 – 20mA

TIC-102 Temperature Indicating Controller – koristi signal iz TT-102 kako bi priveo kontrolni signal u opseg 4 – 20mA

TV-102 Temperature control Valve – koristi strujni signal iz TIC-102 kako bi pozicionirao iglu ventila

### P&I diagrams – cont.

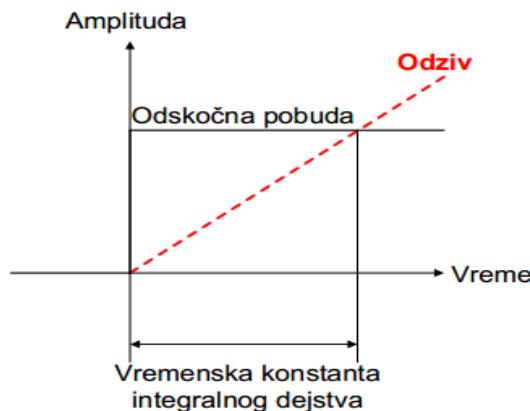
AT-103 Analysis Transmitter – određuje koncentraciju sirupa u proizvodu i pretvara signal u električnu struju u opseg 4 – 20mA

ARC-103 Analysis Recording Controller – koristi strujni signal iz AT-103 kako bi priveo kontrolni signal u opseg 4 – 20mA

AV-103 Koristi strujni signal iz ARC-103 kako bi odredio poziciju igle ventila

## 8. Karakteristike procesa – integralni ili proces rampe (osnovne definicije i primer)

- Integralni ili proces rampe se sastoji od jednog kapacitivnog elementa koji je konfiguriran tako da oticanje materijala ili energije bude nezavisno od količine materijala ili energije koja je skladištena u elementu.



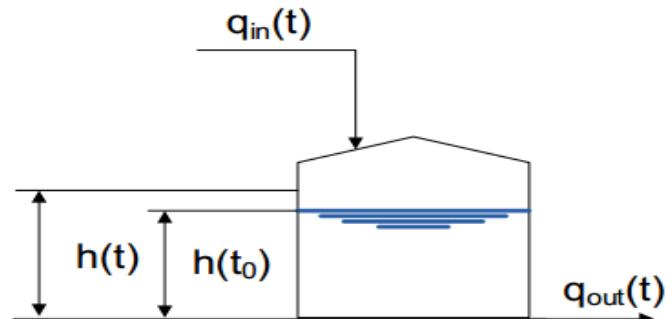
Količina skladištenog materijala ili energije ostaje konstantan samo ako je dotok ( $q_{in}$ ) tačno jednak sa "oticanjem" (odvodom,  $q_{out}$ ).

Ako je "dotok" veći od "oticanja", količina će se povećati brzinom proporcionalnom razlici tih protoka.

Ako je "dotok" manji od "oticanja", količina će se smanjiti brzinom proporcionalnom razlici tih protoka.

„Dotok“ je **ulazni signal** integralnog procesa, kao što je nivo tečnosti, ali „oticanje“ nije izlazni signal.

**Izlazni signal** integralnog procesa je promenljiva, kao što je **nivo tečnosti**, što je mera količine materijala ili energije koja je sladištena u kapacitivnom elementu.



**Šta je  $q_{out}$  ako nije izlaz? Poremećaj**

*Jednačina vremenskog domena*

$$h(t) - h(t_0) = \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t (q_{in}(t) - q_{out}(t)) dt$$

*Funkcija prenosa*

$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1}{T_i s}$$

$h(t_0)$  = izlaz u trenutku  $t_0$ , procenat od  $FS_{out}$  [m]

$h(t)$  = izlaz u trenutku  $t$ , procenat od  $FS_{out}$  [m]

$q_{in}$  = dotok, procenat od  $FS_{in}$  [ $m^3/h$ ]

$q_{out}$  = oticanje, procenat od  $FS_{in}$  [ $m^3/h$ ]

$FS_{in}$  = celokupni opseg ulaza [ $m^3/h$ ]

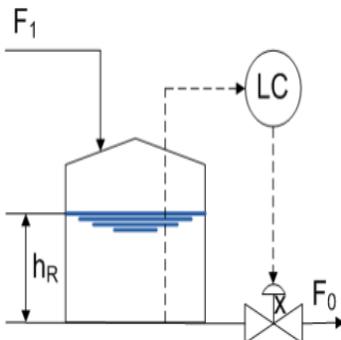
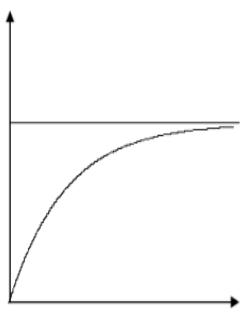
$FS_{out}$  = celokupni opseg izlaza [m]

$t$  = vreme, [s]

$T_i$  = vremenska konstanta integralne akcije [ $m^2$ ]

## 9. Karakteristike procesa – proces sa usporenjem prvog reda (osnovne definicije i primer)

- „Lag proces“ prvog reda se sastoji od jednog kapacitivnog elementa koji konfigurisan tako da je “oticanje” materijala ili energije proporcionalno količini materijala ili energije usklađenoj u kapacitivnom elementu.
- Za svaki dotok, postoji korespondirajuća količina skladištenog materijala koja će proizvesti oticanje jednako dotoku. Proces sa usporenjem prvog reda je proces koji se **sam reguliše** jer automatski proizvodi oticanje tako da se poklopi sa svakim dotokom. Suprotno ovome, integralni proces ne može sam sebe da reguliše.



Jednačina vremenskog domena

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = Gx$$

Funkcija prenosa

$$\frac{Y}{X} = \frac{G}{1 + \tau s}$$

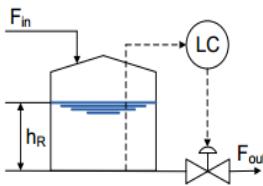
$G$  = pojačanje procesa u stacionarnom stanju

$t$  = vreme, s

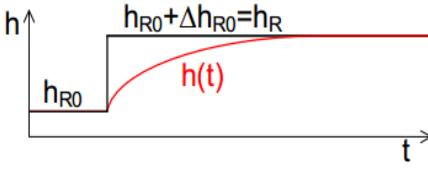
$x$  = ulaz procesa

$y$  = izlaz procesa

$\tau$  = vremenska konstanta, s



Stacionarno stanje  
 $h(t) = h_R(t)$   
 $F_{in} = F_{out}$



$$h_R(t) = h(t) + h_D$$

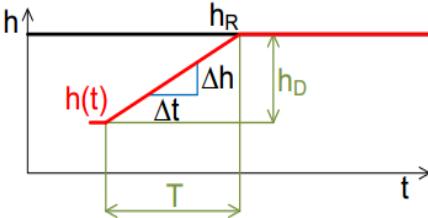
$$h_R(t) = h(t) + aT$$

$$a = \frac{\Delta h(t)}{\Delta t}$$

$$h_R(t) = h(t) + T \frac{\Delta h(t)}{\Delta t}$$

$$\Delta t \approx 0$$

$$h_R(t) = h(t) + T \frac{dh(t)}{dt}$$

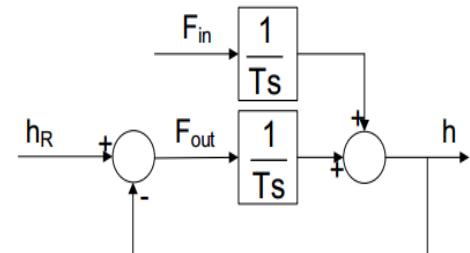


$$h_R(t) = h(t) + T \frac{dh(t)}{dt}$$

$$Gx = y + \tau \frac{dy}{dt}$$

Nakon primene Laplasove transformacije  $H_R(s) = H(s) + TsH(s)$

$$\text{Funkcija prenosa } \frac{H(s)}{H_R(s)} = \frac{1}{1 + Ts}$$



## 10. Karakteristike procesa – proces sa usporenjem drugog reda (osnovne definicije i primer).

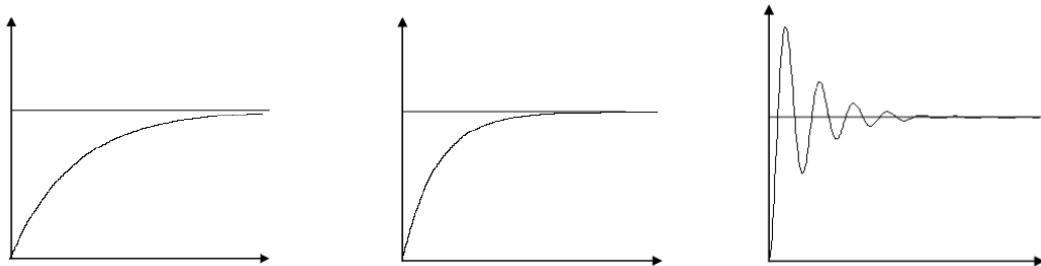
Proces sa usporenjem drugog reda ima dva kapacitivna elementa, jedan kapacitivni i jedan inercijalni, ili dva inercijalna elementa. (inercijalni elementi su mase ili induktanse) Tri parametra dele odziv sistema drugog reda:

- Prvi parametar je rezonantna frekvencija, koja se obeležava sa  $\omega_0$
- Drugi parametar je količina proglašenja u procesu, izražena preko koeficijenta proglašenja  $\alpha$ , ili preko odnosa proglašenja. Relativni koeficijent proglašenja je jednostavno koeficijent proglašenja podeljen sa rezonantnom frekvencijom ( $\xi = \alpha/\omega_0$ )
- Treći parametar je pojačanje u stacionarnom stanju,  $G$

Step odziv sistema drugog reda je podeljen na tri tipa u zavisnosti od vrednosti relativnog koeficijenta proglašenja ( $\xi$ )

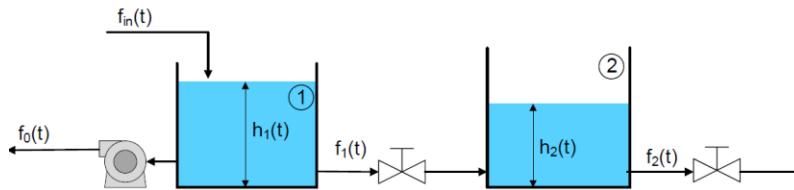
- Ako je relativni koeficijent proglašenja manji od 1, odziv je nedovoljno proglašen
- Ako je relativni koeficijent proglašenja veći od 1, odziv je previše proglašen
- Ako je relativni koeficijent proglašenja jednak 1, odziv je kritično proglašen

Primetimo brz porast i oscilatornu prirodu nedovoljno proglašenog odziva suprotno od odziva sa sporim porastom i bez oscilacija. Kritično proglašen odziv ima najbrži mogući rast bez oscilacija.



Primer:

Karakteristike procesa—proces sa usporenjem drugog reda



Odrediti funkciju prenosa  $H_2(s)/F_{in}(s)$  i  $H_2(s)/F_0(s)$

$$\frac{1}{A[m^2]} \int f(t) \left[ \frac{m^3}{s} \right] dt [s] + h_0[m] = h(t)[m]$$

$$\frac{1}{A} \int f(t) dt + h_0 = h(t)$$

Nakon diferenciranja ( $d/dt$ ) prethodnog izraza  $f(t) = A \frac{dh(t)}{dt}$

$$f_{in}(t) - f_0(t) - f_1(t) = A_1 \frac{dh_1(t)}{dt}$$

$$f_1(t) - f_2(t) = A_2 \frac{dh_2(t)}{dt}$$

$$f_1(t) = C_{v1} \sqrt{h_1(t) - h_2(t)}$$

$$f_2(t) = C_{v2} \sqrt{h_2(t)}$$

Nelinearnost!

$$f_1(t) = C_1(h_1(t) - h_2(t))$$

$$f_2(t) = C_2 h_2(t)$$

Nakon linearizacije

Nakon primene Laplasove transformacije

$$F_{in}(s) - F_0(s) - F_1(s) = A_1 s H_1(s)$$

$$F_1(s) - F_2(s) = A_2 s H_2(s)$$

$$F_1(s) = C_1(H_1(s) - H_2(s))$$

$$F_2(t) = C_2 H_2(s)$$

$$F_{in}(s) - F_0(s) - C_1(H_1(s) - H_2(s)) = A_1 s H_1(s)$$

$$C_1(H_1(s) - H_2(s)) - C_2 H_2(s) = A_2 s H_2(s)$$

$$F_{in}(s) - F_0(s) + C_1 H_2(s) = (A_1 s + C_1) H_1(s)$$

$$C_1 H_1(s) = (A_2 s + C_1 + C_2) H_2(s)$$

$$F_{in}(s) - F_0(s) + C_1 H_2(s) = (A_1 s + C_1) H_1(s) / C_1$$

$$\frac{1}{C_1} (F_{in}(s) - F_0(s)) + H_2(s) = \left( \frac{A_1}{C_1} s + 1 \right) H_1(s)$$

$$H_1(s) = \frac{\frac{1}{C_1}}{\left( \frac{A_1}{C_1} s + 1 \right)} (F_{in}(s) - F_0(s)) + \frac{1}{\left( \frac{A_1}{C_1} s + 1 \right)} H_2(s)$$

$$\frac{1}{C_1} = K_1; \frac{A_1}{C_1} = T_1 \Rightarrow H_1(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s)) + \frac{1}{(T_1 s + 1)} H_2(s)$$

$$C_1 H_1(S) = (A_2 s + C_1 + C_2) H_2(s)$$

$$H_2(s) = \frac{C_1}{(A_2 s + C_1 + C_2)} H_1(S) = \frac{\frac{C_1}{C_1 + C_2}}{\left( \frac{A_2}{C_1 + C_2} s + 1 \right)} H_1(S) = \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} H_1(S)$$

$$H_1(S) = \frac{(T_2 s + 1)}{K_2} H_2(s); \quad T_2 = \frac{A_2}{C_1 + C_2}; K_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$H_1(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s)) + \frac{1}{(T_1 s + 1)} H_2(s)$$

$$\frac{(T_2 s + 1)}{K_2} H_2(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s)) + \frac{1}{(T_1 s + 1)} H_1(S)$$

$$H_2(s) = \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s)) + \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} \frac{1}{(T_1 s + 1)} H_1(S)$$

$$\frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) - K_2}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} H_2(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$\frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) - K_2}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} H_2(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$\frac{(T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1 - K_2)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} H_2(s) = \frac{K_1}{(T_1 s + 1)} \frac{K_2}{(T_2 s + 1)} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$H_2(s) = \frac{K_1 K_2}{(T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1 - K_2)} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$H_2(s) = \frac{\frac{K_1 K_2}{1-K_2}}{\frac{T_1 T_2}{1-K_2} s^2 + \frac{(T_1 + T_2)}{1-K_2} s + 1} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$\frac{K_1 K_2}{1-K_2} = G; \quad \frac{T_1 T_2}{1-K_2} = A_2; \quad \frac{(T_1 + T_2)}{1-K_2} = A_1$$

$$H_2(s) = \frac{G}{A_2 s^2 + A_1 s + 1} (F_{in}(s) - F_0(s))$$

$$\frac{H_2(s)}{F_{in}(s)} = \frac{G}{A_2 s^2 + A_1 s + 1}$$

$f_{in}(t)$  i  $f_0(t)$ , šta je upravljački ulaz a šta je poremećaj?

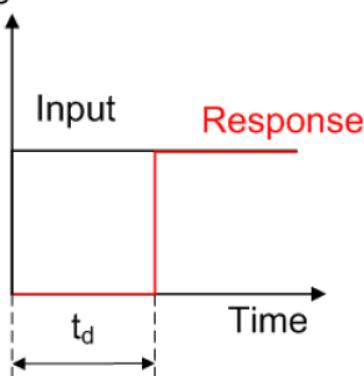
Upravljački ulaz je  $f_0(t)$  a poremećaj  $f_{in}(t)$

$$\frac{H_2(s)}{F_0(s)} = \frac{-G}{A_2 s^2 + A_1 s + 1}$$

### 11. Karakteristike procesa – proces sa mrtvim vremenom (osnovne definicije i primer).

Proces mrtvog vremena je onaj u kojem se masa ili energija transportuje sa jednog mesta na drugo. Izlazni signal je identičan sa ulaznim ali sa vremenskim kašnjenjem. Vreme kašnjenja se zove mrvvo vreme i obeležava se sa  $t_d$ . Mrvvo vreme je vreme potrebno da signal pređe od ulazne do izlazne lokacije.

Magnitude



## Karakteristike procesa – Proces sa mrtvim vremenom

Jednačina vremenskog domena:  $f_o(t) = f_i(t-t_d)$

$D$  = udaljenost od ulaza do izlaza, m

$f_i(s)$  = ulazni signal

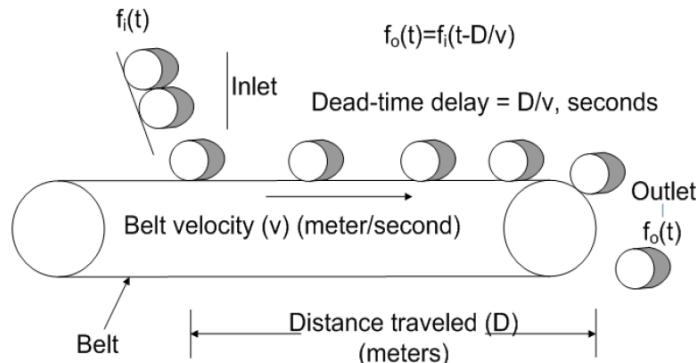
$f_o(s)$  = izlazni signal

$t$  = vreme, s ili min

$t_d$  = mrtvo vreme, s or min

$v$  = brzina putovanja signala, m/s

$$\text{Funkcija prenosa: } \frac{F_o(s)}{F_i(s)} = e^{-t_d s}$$



### 12. Kaskadno upravljanje – osnovni principi (osnovne definicije, primer, objasniti direktnu i inverznu akciju regulatora).

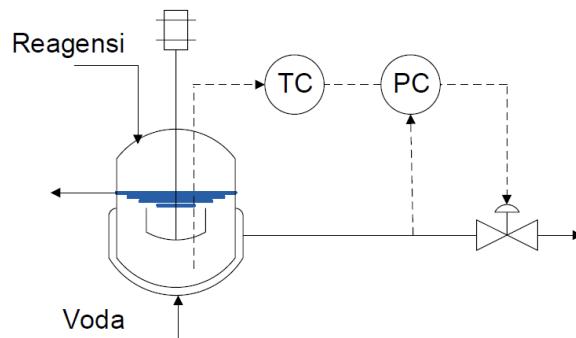
Kaskadno upravljanje je moćna nadogradnja na konvencionalno PID upravljanje u povratnoj sprezi. To je strategija koja koriguje dejstvo specifičnih poremećaja na njihovom izvoru kako ne bi uticalo na proces kojim se upravlja (ili bi se njihov uticaj minimizirao). Šema kaskadnog upravljanja ima 2 regulatora (Master – Slave organizacija), izlaz glavnog regulatora se koristi da bi se podesio set point pomoćnog regulatora.

Primer:

**Kaskadno upravljanje reaktora – pomoćna petlja pritisaka**

Korišćenje pritiska vode u plaštu kao pomoćne promenljive takođe takođe eliminiše poremećaje u brzini protoka vode i ima brz odziv.

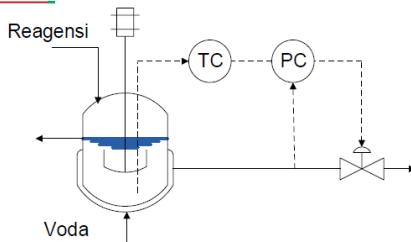
Međutim, šema je u suprotnosti sa intuicijom i može da zbuni operatera!



### Kaskadno upravljanje reaktorom – potčinjena petlja pritiska

#### 1. Pomoćni (slave) regulator mora da reaguje inverzno.

Na primer, prateći porast dovodnog pritiska (greška počinje da opada, odnosno raste u negativnom smeru) pritisak u omotaču se podiže i regulator otvara ventil (upravljanje raste). Pretpostavljajući da je najveći deo otpora protoku kroz omotač (plašt) i cevovod koji se nalaze ispred ventila, otvaranje ventila povećava protok i obezbeđuje pad pritiska kroz plašt i cevovod.



Intuitivno, neko bi mogao pomisliti da bi ventil trebalo zatvoriti da bi poništilo povećanje u dolaznom pritisku (opadanje greške, po logici, za sobom povlači opadanje upravljanja).

#### 2. Glavna petlja mora da reaguje direktno.

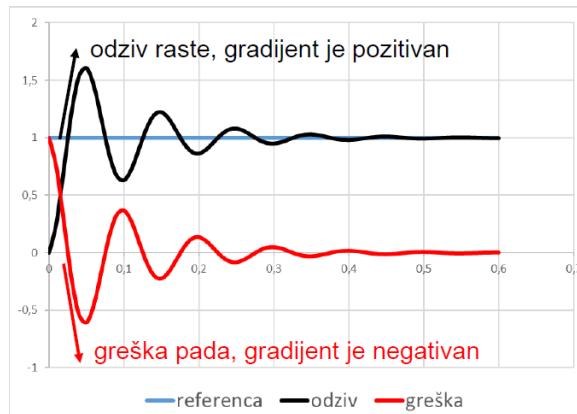
Stoga, prateći porast temperature reaktora (greška opada), glavni regulator snižava set point pomoćnog (slave) regulatora pritiska (izlaz iz regulatora opada). Ovim se ventil otvara i time raste protok rashladne vode potrebne da se spreči porast temperatura.

Napomena: u celu ovu analizu potrebno je uključiti i tip aktuatora (da li je ventil „NO“ ili „NC“ tip). Da se analiza ne bi nepotrebno komplikovala, pod izrazom „porast upravljanja“ se smatra porast otvorenosti ventila. Ako je „porast upravljanja“ direktno srazmeran upravljačkom signalu (mA izlaz iz regulatora), odnosno ako porast mA vodi otvaranju ventila, logično je prepostaviti da je ventil tipa air-to-open, odnosno, „NC“. (porast mA → porast pritiska na I/P konvertoru → povećanje otvorenosti)

### Par reči o direktnoj i inverznoj akciji regulatora

Izrazi „porast“, „raste“, „opadanje“ i „opada“ su vezani za gradijent signala a ne za njegovu apsolutnu vrednost.

Na slici se vidi da vrednost greške u početku pada od 1 prema 0, nakon prolaska kroz nulu, gradijent greške se ne menja i kaže se da greška i dalje „opada“, mada po apsolutnoj vrednosti ona počinje da raste.



Takođe, kaže se da su dva signala u „inverziji“ ako su im gradijenti suprotnog znaka.

Na taj način se može definisati „direktna“ i „inverzna“ akcija regulatora.

- Regulator delije „direktno“ ako su gradijenti greške i upravljačkog signala istog znaka.
- Regulator delije „inverzno“ ako su gradijenti greške i upravljačkog signala suprotnog znaka.

## 13. Kaskadno upravljanje – varijante realizacije, objasniti na primeru reaktora

### Kaskadno upravljanje reaktorom sa plaštom

Izbor pomoćne (potčinjene, slave) promenljive nije uvek lak i jednoznačan

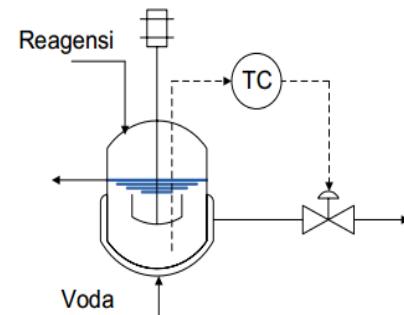
Razmotrimo reaktor sa rezervoarom za mešanje i plaštom za regulaciju temperature. Reagensi dolaze u reaktor i proizvodi (proizvodi mešanja i reakcije) ističu kroz odvod istom brzinom. Reakcija je egzotermna, toplost se odvodi tako što rashladna voda cirkulise kroz omotač (plašta, džeket-jacket).

Temperaturom reaktora se kontroliše konvencionalnom PID petljom koja upravlja protokom vode.

Ova šema ima spor odziv zbog spore dinamike reaktora i zbog spore dinamike njegovog plašta. Konkretno, bilo koji poremećaj u dovodnom pritisku vode za hladjenje dovodi do promene temperature u plaštu koji će, posle određenog vremena, uticati na temperaturu reaktora. Samo ako temperatura reaktora odstupi od svog set pointa, onda može regulator početi da kompenzuje poremećaj. Pre nego što se kompenzacija završi mogu da se javi značajne greške. Ovo je klasičan zahtev za kaskadno upravljanje. Postoji izbor od tri pomoćne (slave) petlje koje koriste ili

1. Protok vode,
2. Pritisak vode,
3. Temperaturu vode

kao promenljive kojima se upravlja,

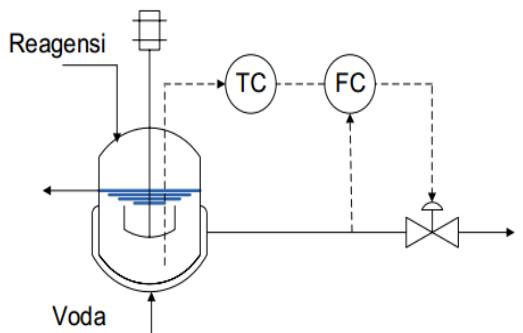


### Kaskadno upravljanje reaktorom – pomoćna (slave) petlja protoka

Korišćenje protoka vode kao pomoćne (slave) promenljive je u suštini isto kao primer šeme rezervoara parnog kotla sa upravljanjem nivoom.

Pomoćna (slave) petlja eliminiše poremećaje u brzini protoka rashladne (npr.) vode zbog promena u njenom dovodnom pritisku.

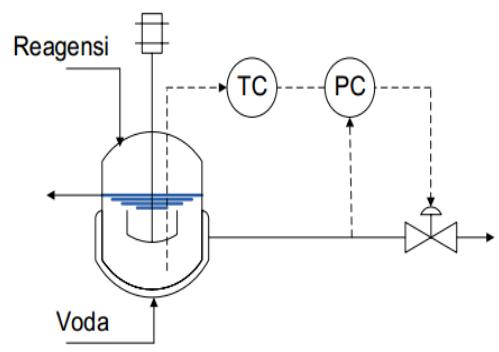
Pomoćna(slave) petlja ima brz odziv jer je zavisna jedino od hidrodinamike vodenog sistema i dinamike mernih uredaja i ventila.



### Kaskadno upravljanje reaktora – pomoćna petlja pritisaka

Korišćenje pritiska vode u plaštu kao pomoćne promenljive takođe takođe eliminiše poremećaje u brzini protoka vode i ima brz odziv.

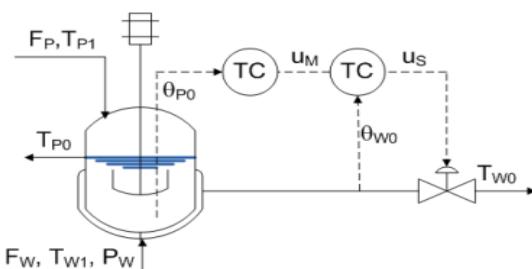
Međutim, šema je u suprotnosti sa intuicijom i može da zbuni operatera!



### Kaskadno upravljanje reaktora – potčinjena petlja temperature

Upotreba temperature omotača  $T_{w0}$  kao potčinjene (slave) promenljive eliminiše poremećaje u temperaturi vode  $T_{w1}$  kao i poremećaje u brzini protoka vode  $F_w$  zbog promena u dovodnom pritisku  $P_w$ .

Glavna petlja je zadužena za poremećaje u temperaturi  $T_{p1}$  i protoku  $F_p$  tokova reagenasa za punjenje.



## 14. Odnosno upravljanje – osnovni principi, skaliranje, direktni pristup

Upravljanje odnosom je upravljačka strategija koja se obično koristi u procesnoj industriji.

Koristi se kad brzine protoka dva ili više toka moraju biti proporcionalne jedna drugoj.

Tipični primeri su sistemi za mešanje, sagorevanje i upravljački sistemi za punjenje reaktora.

Postoje u suštini tri pristupa

1. Skaliranjem (u vidu lešvice), koji je baziran na jednostavnom skaliranju signala
2. Direktni pristup baziran na PID regulatorima.
3. Indirektni pristup baziran na PID regulatorima.

### Upravljanje odnosom – skaliranjem

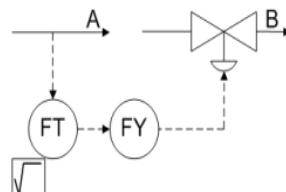
Tok A je nekontrolisani (nemamo direktnog uticaja na njega) a na tok B se utiče tako da bude proporcionalan toku A.

Transmiter (senzor) protoka je kalibriran za pun opseg kontrolisanog toka.

Prepostavimo da je ventil pažljivo dimenzioniran tako da njegov protok u punom opsegu odgovara protoku punog opsega kontrolisanog toka. Izlaz transmitera protoka može se primeniti preko I/P convertora direktno na ventil da bi se postiglo željeno upravljanje odnosom.

Ovo je jednostavan i efektivan način upravljanja odnosom, ali jako zavisi od linearnosti elemenata.

Transmiter protoka može da izračunava koren (nelinearna karakteristika), a regulacioni ventil mora imati linearnu karakteristiku.



### Upravljanje odnosom – skaliranjem

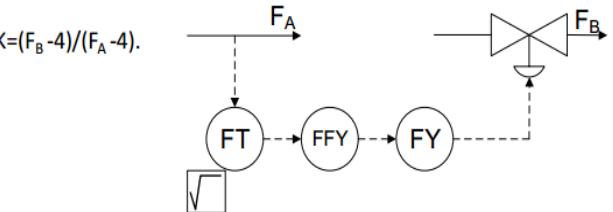
U praksi, malo je verovatno da ventili mogu biti tako dimenzionisani da opsezi i odnosi nekontrolisanih i kontrolisanih protoka tačno budu u željenom odnosu.

Zato je potreban faktor skaliranja. Ovo se može realizovati tako što se promeni kalibracija transmitera protoka, ili postavljanjem pozicionera na ventil i nameštanjem njegovog opsega.

Kao alternativa, može se koristiti takozvana „odnosna stanica“. Odnosna stanica, koja se obeležava sa FFY je jednostavno uređaj za postavljanje faktora K, koga može korisnik da skalira. Na primer, Ako su U/I stanice signali 4-20 mA, onda je njena funkcija opisana sa:

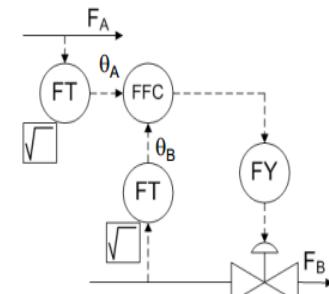
$$F_B = 4 + K (F_A - 4);$$

$$K = (F_B - 4) / (F_A - 4).$$



### Upravljanje odnosom – Direktni pristup

- Prepostavimo da je tok A neupravljaviv.
- Oba protoka se mere.
- Regulator odnosa FFC upravlja protokom toka B da bi proizveo željeni odnos od B ka A.
- Treba zapaziti da petlja za upravljanje odnosom kompenzuje poremećaje u toku B zbog promena u dovodnom pritisku Ps.



### Upravljanje odnosom – Direktni pristup

- Većina regulatora odnosa fizički kombinuje deljenje, poređenje i upravljanje u okviru jedne jedinice.
- Regulator odnosa ima dva ulaza koja se mere i jedan izlazni signal.
- Tipično, odnos izmerenih vrednosti se prikazuje na displeju zajedno sa ručno podešenim željenim odnosom.
- U većini drugih osobina regulator odnosa je skoro pa isti kao konvencionalni PID regulator. Na primer, obezbeđuje P, I i D akcije, ima prekidač akcije, podržava automatski i ručni operativni rad.

## 15. Odnosno upravljanje – osnovni principi, indirektni pristup, uporediti dobre i loše strane indirektnog sa direktnim upravljanjem

### Upravljanje odnosom – indirektni pristup

Indirektni pristup je i jednostavan i efikasan

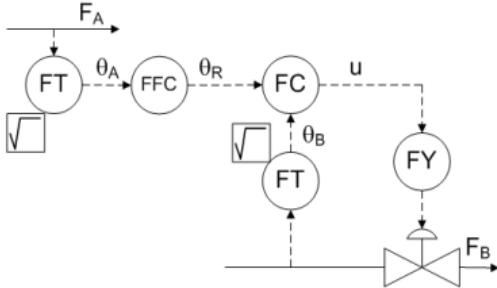
Izmerenom vrednosti protoka  $\theta_A$  nekontrolisanog toka A se kompenzuje putem odnosne stanice.

Kako sumira signale 4-20 mA tako proračunava željenu vrednost  $\theta_R$  za protok toka B po sledećoj jednačini:

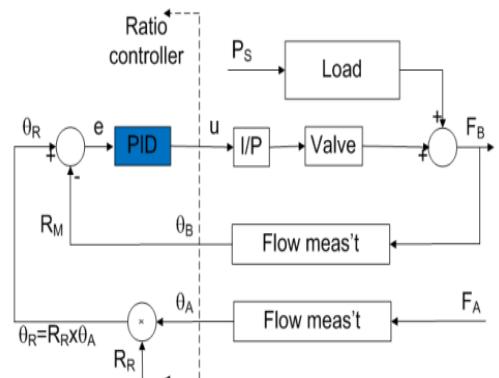
$$\theta_R = 4 + R_R(\theta_A - 4)$$

Gde je  $R_R$  željeni (referentni) odnos.

Konvencionalna povratna sprega se onda koristi da se upravlja protokom toka B u skladu sa set pointom.



### Upravljanje odnosom – indirektni pristup – Blok dijagram



### Upravljanje odnosom – komentari

Direktni pristup se obično koristi u industriji iako je indirektni metod superiorniji.

Prvo, sa šemom direktnog odnosa postoji mogućnost pojave deljenja nulom (malo  $\theta_A$ ) čime se dobijaju neodređeni odnosi. Ovo je praktično problematično sa malim protocima: greške u merenju protoka postaju neproporcionalne i vode ka vrlo slabom kvalitetu odnosnog upravljanja. Problem se ne javlja kod indirektne šeme odnosa jer se  $\theta$  množi.

Drugo, postoji pitanje osetljivosti greške na promene u nekontrolisanim protocima.

Osetljivost direktnе šeme je:

$$\frac{de}{d\theta_A} \Bigg|_{\bar{\theta}_B} = \frac{d}{d\theta_A} \left( R_R - \frac{\theta_B}{\theta_A} \right) \Bigg|_{\bar{\theta}_B} = \frac{\theta_B}{\theta_A^2} = \frac{R_M}{\theta_A}$$

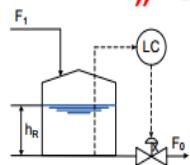
Osetljivost indirektne šeme je:

$$\frac{de}{d\theta_A} \Bigg|_{\bar{\theta}_B} = \frac{d}{d\theta_A} (R_R \theta_A - \theta_B) \Bigg|_{\bar{\theta}_B} = R_R$$

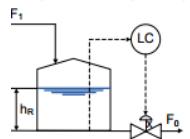
Što je manji protok to je veća osetljivost direktnе šeme, pošto je osetljivost indirektne šeme konstantna.

## 16. Feedforward upravljanje (kompenzacija poremećaja) – osnovni principi, kompenzacija dinamike, inkorporiranje set pointa

### „Feed-forward“ upravljanje ili upravljanje sa kompenzacijom poremećaja



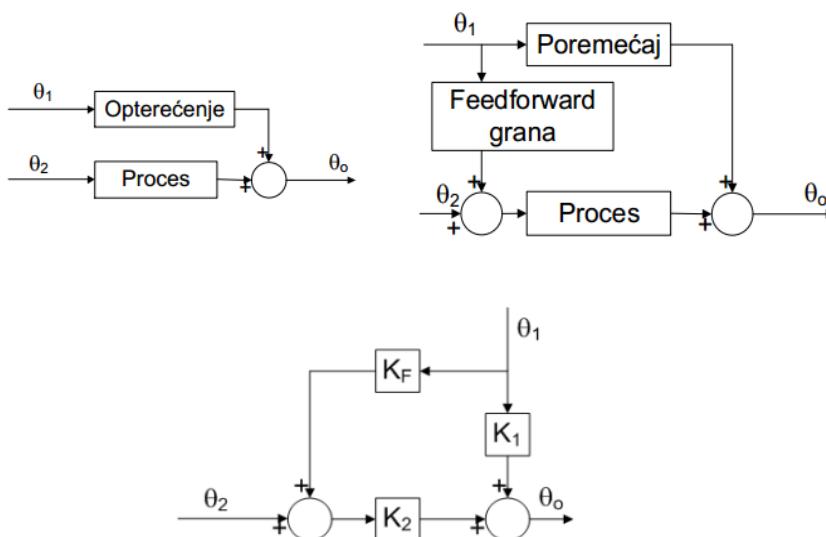
- Karakteristično ograničenje upravljanja sa povratnom spregom je to što je „retrospektivna“. Regulator upravljanja u povratnoj sprezi može samo da odreaguje na poremećaje koji su već uticali na promenljivu kojom se upravlja. Za dosta procesa ovo i nije toliko bitno. Međutim, kada su poremećaji veliki ili u situacijama gde je dinamika procesa spora, upravljanje sa povratnom spregom prouzrokuje nastajanje značajnih i neprekidnih grešaka.
- Korišćenje kaskadnog upravljanja da bi se eliminisali (u stvari poništilo dejstvo) određeni poremećaji može da proizvede značajna poboljšanja u performansama. Međutim, upravljanje je još uvek „retrospektivno“, odnosno sa kašnjenjem.
- Upravljanje odnosom je drugačije. Ono reaguje na promene jedne promenljive tako što menja drugu da bi one ostale u istom odnosu. Ovo upravljanje predviđa potrebe procesa i poseban je slučaj „feed-forward“ upravljanja.
- Ono što „feed-forward“ upravljanje nudi je akcija upravljanja koja predviđa efekat poremećaja na proces i unapred ga kompenzuje.**



### Feed-forward kompenzacija

Posmatra se proces i poremećaj (opterećenje) u stacionarnom stanju. Funkcije prenosa su tada pojačanja  $K_1$  i  $K_2$  respektivno. Pretpostavimo da je dinamika zanemariva.

Neka su  $\theta_0$ ,  $\theta_1$  i  $\theta_2$  promenljive veličine u sistemu (linearizovane veličine, promenljive su u stvari male promene tih veličina u okolini radne tačke).  $\theta_2$  je referenca;  $\theta_0$  izlaz (upravljanja veličina) i  $\theta_1$  je poremećaj.



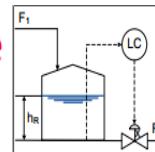
Da bi se kompenzovala promen θ<sub>1</sub> uvodi se element feed-forward upravljanja, pojačanja  $K_F$ .

U stacionarnom stanju je:  $\theta_0 = K_1 \theta_1 + K_2 (K_F \theta_1 + \theta_2) = (K_1 + K_2 K_F) \theta_1 + K_2 \theta_2$

$$\theta_0 = K_2 \theta_2$$

$$(K_1 + K_2 K_F) \theta_1 = 0$$

$$K_F = -K_1 / K_2$$

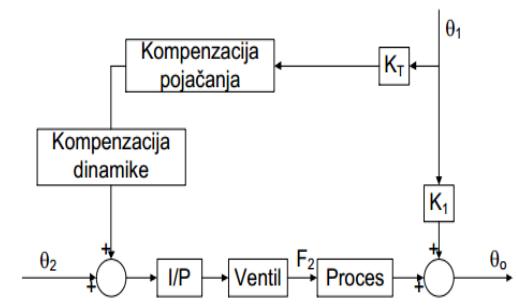


### Kompenzacija dinamike

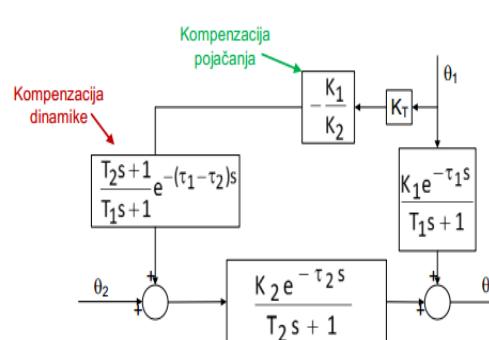
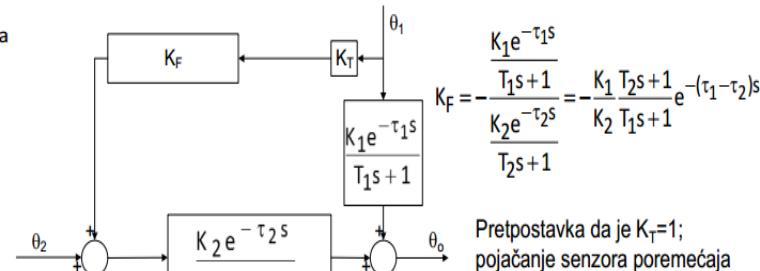
Nije realno da se ignoriše dinamika procesa i opterećenja.

Lako je podesiti staticka pojačanja raznih elemenata ali njihovu dinamiku nije. Ovo je pogotovo tačno za sisteme upravljanja procesom sa promenljivim opterećenjem (poremećajem).

Praktično, uobičajeno je da se odvoji pojačanje u stacionarnom stanju od pojačanja pri nekoj dinamici. Tada se formiraju dva člana za feed-forward upravljanje.



### Kompenzacija dinamike



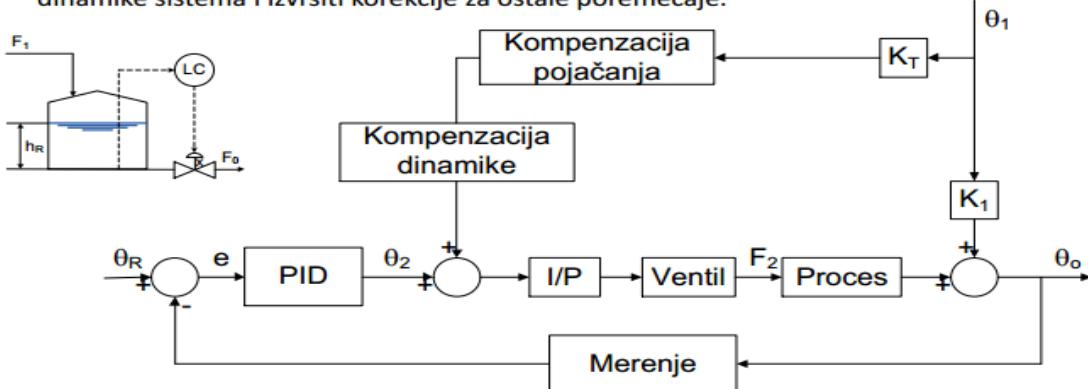
Potencijalni problem može da predstavlja međusobni odnos  $\tau_1$  i  $\tau_2$  zbog mogućeg velikog kašnjenja u kompenzacijonoj petljiji.

## 17. Feedforward upravljanje (kompenzacija poremećaja) – kombinacije sa PID regulatorom

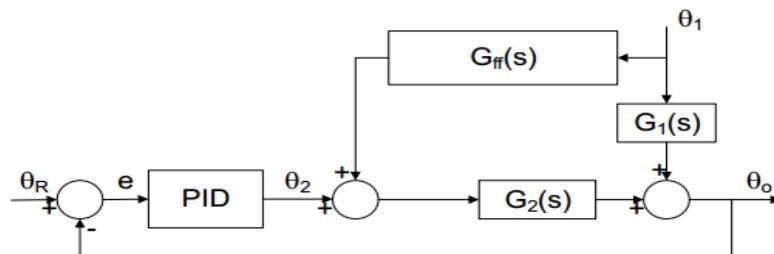
### Kompenzacija poremećaja i dinamike kombinovana sa PID petljom

Zbog postojanja offset\*-a usled promena vrednosti pojačanja u stacionarnom stanju i postojanja nemodelovane (ili teško modelovane) dinamike, kompenzacija poremećaja se retko koristi kao samostalan način upravljanja.

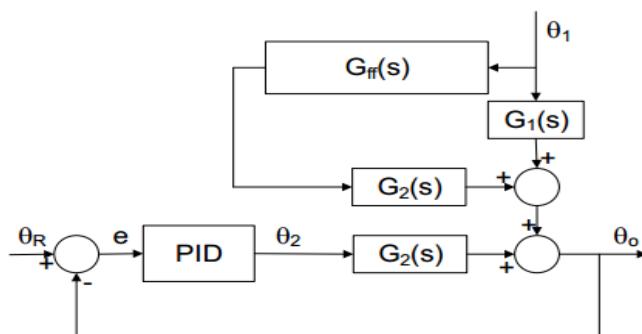
Uobičajena strategija je da se feed-forward upravljanje koristi u kombinaciji sa konvencionalnim PID regulatorom i povratnom spregom. Povratna sprega će ukloniti offset usled netačnosti u kompenzovanju, eliminisati greške nastale kao posledica promene dinamike sistema i izvršiti korekcije za ostale poremećaje.



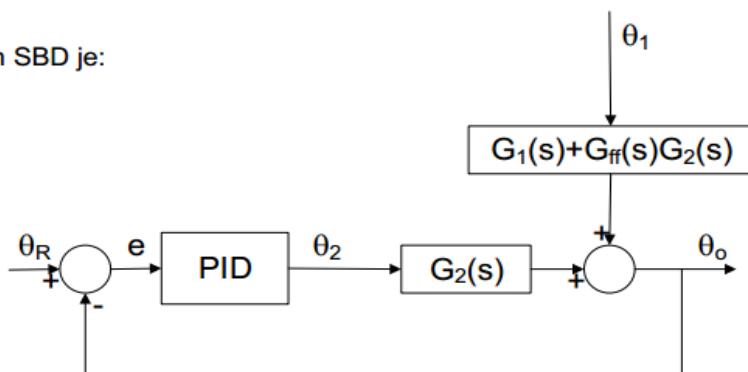
offset – mogućnost eliminacije poremećaja ali nemogućnost povratka u početno stanje. Postoji marga promene upravljane veličine



Prethodni SBD se može transformisati u oblik:



Konačan SBD je:

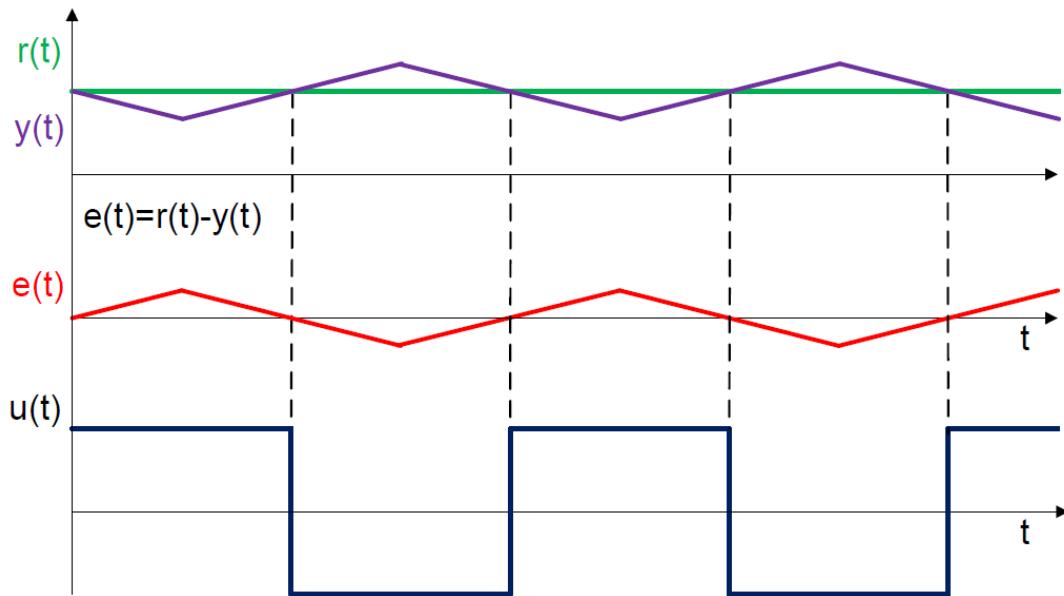


$$\text{Funkcija prenosa poremećaj-izlaz je: } \frac{\theta_o(s)}{\theta_1(s)} = \frac{G_1(s) + G_{ff}(s)G_2(s)}{1 + \text{PID}(s)G_2(s)}$$

Potreban uslov za eliminaciju poremećaja je da je vrednost funkcije prenosa poremećaj-izlaz jednaka nuli, odnosno:  $G_{ff}(s) = -G_1(s)/G_2(s)$

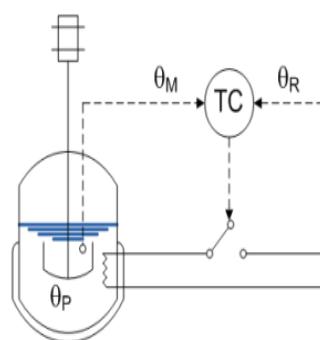
## 18. On-off upravljanje

Upravljanje tipa ON-OFF (uključeno/isključeno, "bang-bang") je konceptualno isto kao i proporcionalno upravljanje sa velikim ograničenjem regulatora. Karakterišu ga vrlo male ali konačne greške koje dovode do toga da se izlaz regulatora menja između maksimalnog i minimalnog u zavisnosti od znaka greške.



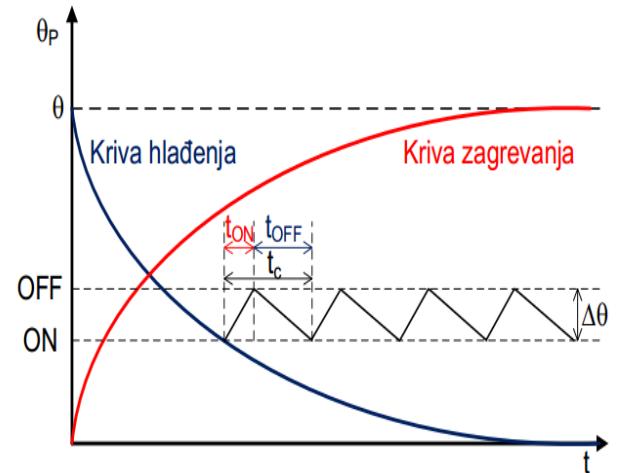
### On-Off Upravljanje

- Retko je da se proporcionalni regulator sam za sebe koristi za On-Off upravljanje. Mnogo tipičnije je korišćenje pojačavača i relaja, kao što je slučaj u jednostavnom termostatu.
- On-Off upravljanje je veoma uobičajeno za jednostavne procese i sisteme, bez velikih zahteva. Iako na oko prost, ovaj način upravljanja je složeniji nego što se na prvi pogled čini.
- Razmotrimo primer rezervoara koji sadrži tečnost čija se temperatura kontroliše termostatom.



### On-Off Upravljanje

- U zavisnosti od temperature tečnosti u rezervoaru, napajanje grejača je uključeno ili nije.
- Ovim postupkom temperatura ciklično osciluje oko set pointa  $\theta_R$  za malu vrednost  $\Delta\theta$ .
- Kako je  $\Delta\theta$  malo, delovi krive za hlađenje i za zagrevanje mogu da se aproksimiraju pravim linijama.



## 19. Sekvencijalno upravljanje – „time driven“ sistemi, objašnjenje i primer

### Vremenom vođeni sekvencijalni procesi

- U vremenski vođenom sekvencijalnom procesu, svaki korak počinje u određenom vremenu ili posle određenog vremenskog intervala.
- Lista iskaza i dijagram ponašanja procesa u vremenu su dve metode koje se koriste da opišu vremenski vođen proces.

Lista iskaza batch procesa za mešanje:

KORAK1 (4min). Pripremiti čvrsti materijal i napuniti usipni koš (deo u kojem se nalazi čvrti materijal) sa izmerenom količinom materijala.

KORAK2 (30s). Pritisnuti START dugme.

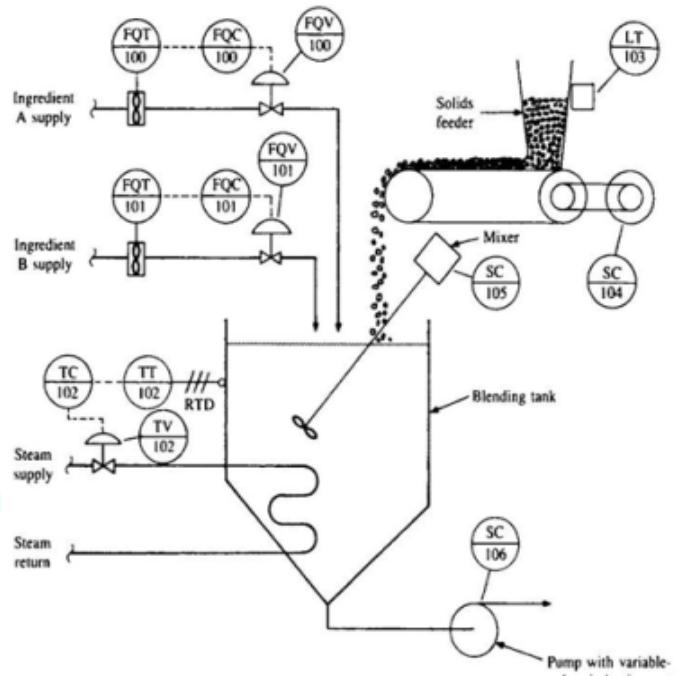
KORAK3(3min). Napuniti rezervoar za mešanje sa određenim količinama sastojaka A i B.

KORAK4 (4min). Zagrevati i mešati sastojke u rezervoaru za mešanje.

KORAK5 (5min). Postepeno dovlačiti čvrsi materijal od hopper-a do rezervoara za mešanje.

KORAK6 (1.5min). Nastaviti sa zagrevanjem i mešanjem sastojaka u rezervoaru za mešanje.

KORAK7 (4.5min). Ispumpati sadržaj rezervoara do dela za punjenje flaša.



## 20. Sekvencijalno upravljanje – „event driven“ sistemi, objašnjenje i primer

### Događajem vođeni sekvencijalni procesi

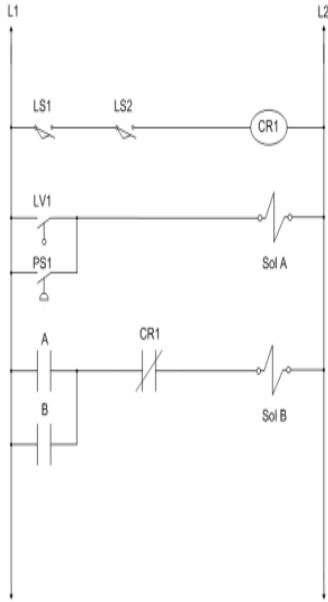
- U događajem vođenom sekvencijalnom procesu, svaki korak se započinje kad se desi neki događaj.
- Događaj može biti jedna akcija, npr. pritiskanje tastera, zatvaranje graničnog prekidača, otvaranje prekidača pritiska, ili neka druga radnja koja bi otvorila ili zatvorila prekidač.
- Događaj takođe može biti kombinovan sa nekoliko akcija. Na primer, događaj može da bude pojava više istovremenih akcija, sa vezom za svaku akciju priključenu na red.
- Događaj izazvan akcijom u sekvencijalnom procesu je utvrđen međusobnom vezom između jednog ili više kontakata. Događaj se desi kad se zatvori kolo između kontakata.

CR1 = LSI AND LS2

Sol. A = LV1 OR PS1

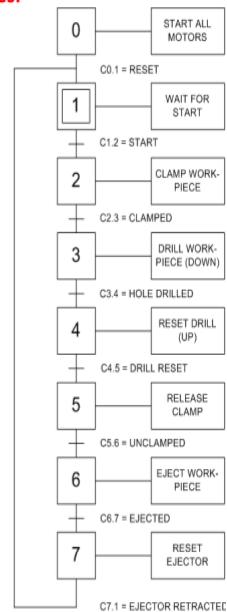
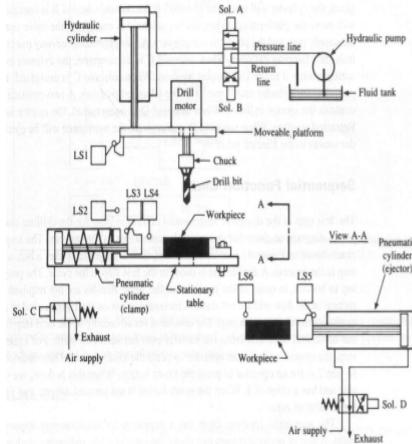
Sol. B = (A OR B) AND NOT CR1

Serijska veza dva kontakta (granična prekidača), LS1 i LS2 je ulazna sekcija a kalem releja CR1 je izlazni elemenat. Oba granična prekidača moraju biti zatvorena da bi se pobudio CR1. Kada je kalem CR1 pobuđen, svi NC kontakti sa oznakom CR1 će se otvoriti a svi NO kontakti sa oznakom CR1 će se zatvoriti. Ovi kontakti se mogu pojavit u bilo kojoj grani ladder dijagrama. Ime CR1 služi da kalem poveže sa kontaktima čiju manipulaciju (otvaranje i zatvaranje) vrši.



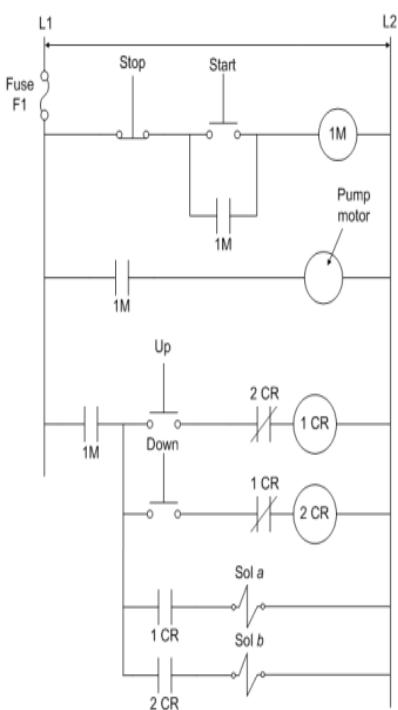
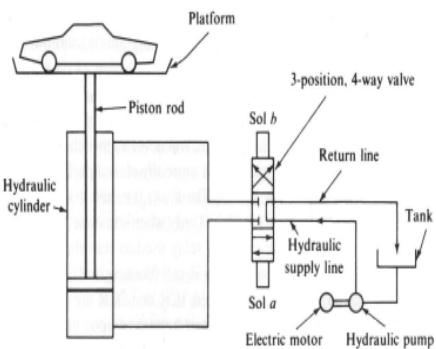
### Događajem vođeni sekvenčni procesi

Primer automatske bušilice – sekvenčni funkcionalni graf



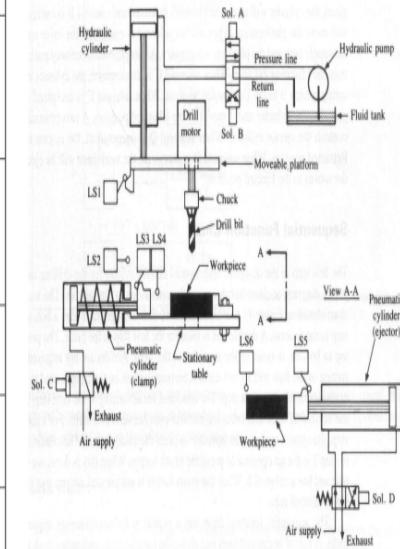
### Događajem vođeni sekvenčni procesi

Sistem za događajem vođeno sekvenčno upravljanje za hidrauličnu dizalicu – pokušajmo da objasnimo



Primer automatske bušilice – Graf stanja za bušilicu

Graf stanja je istinitosna tablica koja pokazuje uslov svakog izlaza za svaki korak u ciklusu. Stanje izlaza nam je obeleženo sa x ako je izlaz ON ili ništa ako je izlaz OFF. (Ponekad se stavlja 1 umesto x, a 0 umesto ničega).



Broj koraka	Sol.A	Sol.B	Sol.C	Sol.D	Motori
0					x
1					x
2			x		x
3	x		x		x
4		x	x		x
5					x
6				x	x
7					x

## 21. Određivanje upravljačke strategije – tipovi promenljivih i načini određivanja (sa primerom).

Rad postrojenja u stacionarnom stanju može se opisati sa setom nezavisnih, algebarskih jednačina održanja mase i energije u stacionarnom stanju. Promenljive koje se koriste u ovim jednačinama su strateške i mogu se podeliti u kategorije na sledeći način:

- Neupravljive (divlje-wild), stanje im je određeno iz ranijih delova procesa
- Upravljane ili kontrolisane (one kojima se upravlja), direktno upravljive kako uslovi proces nameću ili indirektno u zavisnosti od dizajna postrojenja.
- Određenje (determinisane), ravnotežom mase i energije koja simultano mora biti zadovoljena.
- Varirajuće (plutajuće, fluktuirajuće, neodređene, slobodne), one koje mogu da variraju prateći ograničenja postrojenja.

Pri određivanju strategije upravljanja postrojenja cilj je da se obezbedi da nema varirajućih strateških promenljivih (ili da se njihov broj svede na najmanji mogući). Ostale, ne strateške promenljive, moraju da variraju. One su generalno "invertarske" prirode, tipično su povezane sa radom postrojenja ili su to promenljive kojima se rukuje da bi se optimozovale određene performanse procesa. Razlika između broja strateških promenljivih i broja jednačina poznato je kao broj stepeni slobode.

### Određivanje strategije – primer mešanja

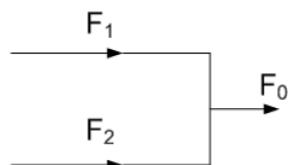
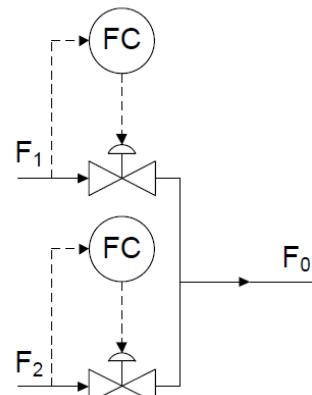
Posmatra se sistem spajanje dva protoka

$$\text{Ravnoteža mase u stacionarnom stanju je: } F_1 + F_2 = F_0$$

Postoji jedna jednačina, tri strateške promenljive i dva stepena slobode.

Uzmimo u obzir neke moguće situacije. Pretpostavimo da su i  $F_1$  i  $F_2$  kontrolisane veličine. U ovom slučaju oba stepena slobode su iskorištena i ne postoji ni jedna slobodna (varirajuća) promenljiva.

Prema tome,  $F_0$  je određeno ravnotežom mase i nema smisla truditi se kontrolisati je.

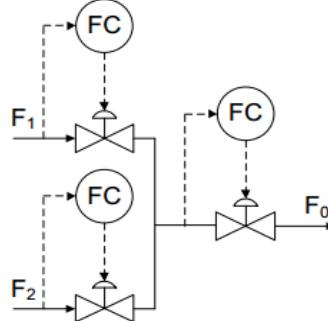


Prepostavimo da je  $F_0$  takođe kontrolisana, sledeća šema je osuđena na propast jer je  $F_0$  već određeno.

Ovo ne bi radilo čak ni kad bi set point regulatora protoka ( $FC$  za  $F_0$ ) bio postavljen na vrednost za  $F_0$  kako je određeno ravnotežom mase.

Ovo se dešava jer postoje netačnosti u merenju protoka: set point za  $F_0$  bi uvek bio pogrešan!

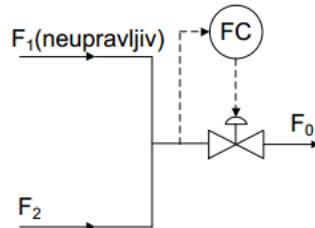
Za šemu se kaže da je "preodređena". Ovo znači da se previše stvari kontroliše simultano i da se regulatori "svađaju" međusobno.



Dalje, prepostavimo da je  $F_1$  neupravljiva veličina (divlja - wild) i  $F_0$  kontrolisana za neki određeni protok.

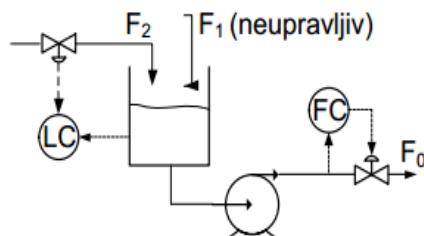
U ovom slučaju oba stepena slobode su iskorištena i  $F_2$  je određena ravnotežom mase.

Proces spajanja se sastoji samo od cevovoda i, za tečnosti, dolaznog i odlaznog protoka koji su neminovno u ravnoteži u svakom trenutku.



U realnosti, posmatrano postrojenje se sastoji od reaktora, kolona itd., u principu svega što ima kapacitet za zaprimanje i zadržavanje materijala. U dužem periodu, prosečne vrednosti  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_0$  moraju da budu u ravnoteži. Tako da ako je  $F_1$  neupravljiva (divlja) a  $F_0$  kontrolisana veličina, onda je prosečna vrednost  $F_2$  određena ravnotežom mase kao i ranije. Međutim, za kratak period, protoci se neće baš uravnotežiti zbog kapaciteta suda. Zavisno od operativnih ograničenja (kao što je da se sud ne prepuni ili uslov da pumpa koja puni mora da radi) nije naročito bitno koliki je nivo. Evidentno je da nivo nije strateška već pomoćna promenljiva i da može slobodno da se menja (varira, naravno, u određenim granicama).

Ako se uzme u obzir da je  $F_1$  neupravljiva, zdravorazumski je da se koristi regulator za „rukovanje“  $F_2$ . Primetimo da se sa  $F_2$  rukuje ali se ne upravlja. Razlika je značajna. Prosečno, za duži period, vrednost  $F_2$  je još uvek određena sa  $F_1$  i  $F_0$ . Svakako, razdešavanjem regulatora nivoa (npr. postavi se malo pojačanje), i dozvoljavanjem nivoa da raste i opada, kapacitet suda se u stvari koristi da uproseći fluktuacije u protoku.



## 22. Određivanje strategije upravljanja – opis metodologije

---

### Određivanje strategije - metodologija

- Za postrojenje kao celinu, treba uspostaviti celokupnu masenu ravnotežu i identifikovati strateške promenljive.
- Podeliti ih na neupravljive, kontrolisane, određene i/ili varirajuće. (Nije potrebno, u ovoj fazi, uskladiti ih sa stepenima slobode)
- Izvesti proces određivanja jednačina, stepeni slobode i vrste promeljivih, na nivou postrojenja ili nekog od podsistema. U ovom kontekstu postrojenje može biti neki važniji deo opreme kao što je reaktor, ili operacija kao što je separacija.
- Za svaki elemenat:
  1. Postići masenu energetsku ravnotežu i identifikovati stateške promenljive.
  2. Identifikovati neupravljive i ako su odgovarajuće, specificirati strategije upravljanja (odnos, feed-forward...).
  3. Identifikovati kontrolisane promenljive i odrediti upravljačke petlje (feedback ili kaskadno upravljanje).
  4. Identifikovati bilo koja pomoćna upravljanja koja su potrebna i formulisati dodatne odgovarajuće petlje.
  5. Identifikovati glavne izvore poremećaja, posebno tamo gde postoji hlađenje vode i pare, i pronaći odgovarajuće pomoćne petlje na njima.
  6. Identifikovati jake veze između petlji upravljanja i izabrati ulazno-izlazne kombinacije da bi se minimizovali međusobni uticaj.
  7. Uskladiti broj strateških promenljivih i stepeni slobode. Ako ima nekih varirajućih promenljivih onda treba iskoristiti slobodne stepene slobode tako što se specificira još petlji upravljanja.
  8. Proveriti da šema ne bude preodređena, i ako jeste, ukloniti petlje upravljanja koje nisu potrebne.

## 23. Određivanje strategije upravljanja – karakteristični problemi i greške

### Određivanje strategije - metodologija

- Dalje, razmatra se opet postrojenje u celini. Postrojenje je sačinjeno od jedinica koje bi trebale da odgovaraju jedne drugima. Ako je svaka jedinica propisno određena (projektovana, odabrana) onda bi postrojenje u celini trebalo da bude određeno takođe. Posebno, kad su dve jedinice povezane, treba proveriti da se kontrolisani ili određeni izlazi iz jedne jedinice pojavljuju u drugoj. Na ukupnom nivou, broj strateških promenljivih i stepeni slobode bi trebalo da budu usklađeni. Svi neiskorišćeni stepeni slobode koji su ranije identifikovani treba da budu iskorишćeni na nivou jedinice: ne bi trebalo više da bude varirajućih promenljivih.
- Postoje dve kategorije najčešćih grešaka u realizaciji procesa određivanja. Jedno su greške koje se javljaju iz loše postavljene masene i energijske ravnoteže, kao što su:
  1. Jednačine koje se koriste nisu nezavisne: proveriti da li mogu neke da se eliminišu.
  2. Jednačine ne reprezentuju proces adekvatno: potvrditi da su sve aproksimacije i prepostavke validne.
  3. Neke jednačine ograničenja su se izostavile.
  4. Neke strateške promenljive su se previdele.
  5. Promenljiva koja je korištena je možda beznačajna ili skoro konstanta.
- Druga kategorija je preodređenost, tipično:
  1. Jedna grana cevovoda ima dva ili više regulacionih ventila.
  2. Sve cevi koje su povezane u granu ili ukrštene imaju na sebi ventile.
  3. Pokušavanje upravljanja promenljivima kojima indirektno upravlja neka druga logika.
  4. Pokušavanje upravljanja neupravljivih promenljivih.