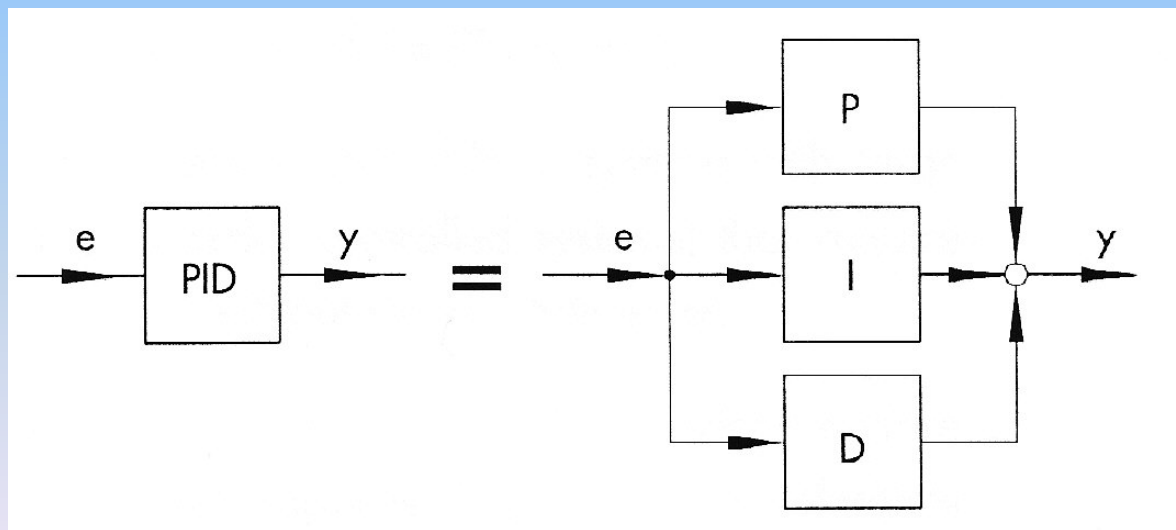


PROPORCIONALNO-INTEGRACIJSKO-DERIVACIJSKA REGULACIJA

- Proporcionalno-integracijsko-derivacijska regulacija (PID-regulacija) temelji se na trikomponentnim PID regulatorima
- PID-regulatori se dobivaju kad se paralelno spoje proporcionalni, integracijski i derivacijski regulator, te se ustvari dobiva regulacijsko djelovanje temeljeno na proporcionalnom, integracijskom i derivacijskom djelovanju
- Elementi PID regulatora prikazani su na slici 234.



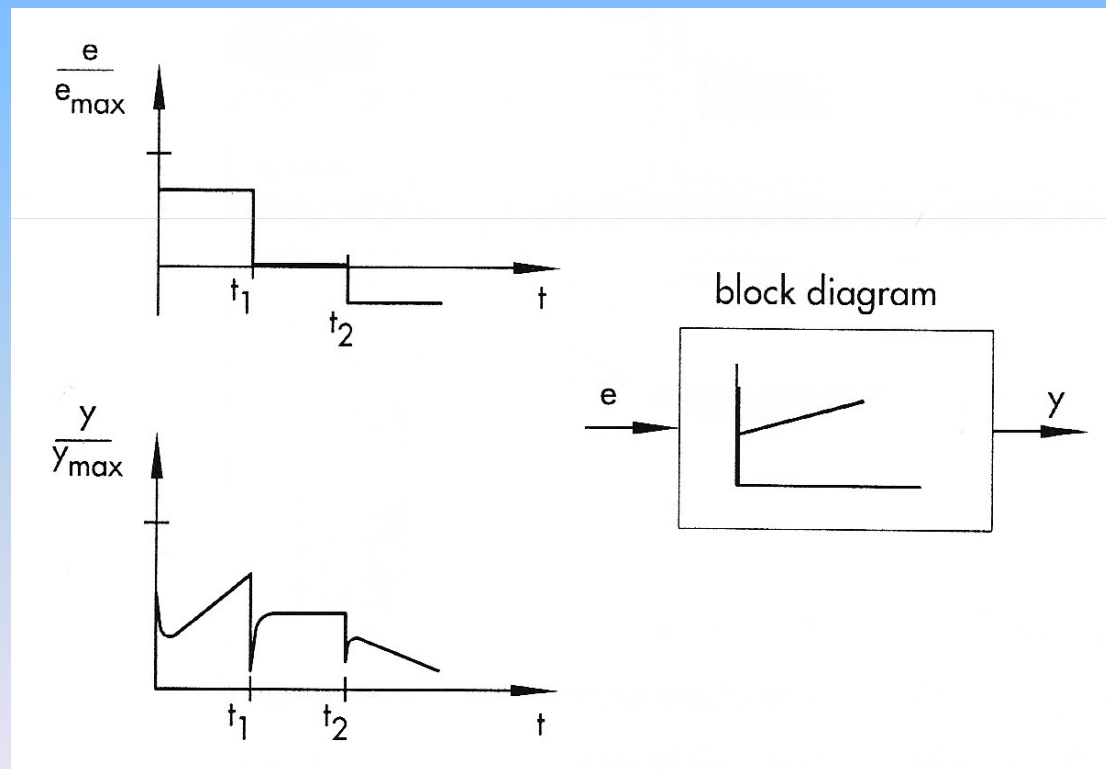
Slika 234. Elementi PID regulatora

- Kod PID regulatora proporcionalna komponenta osigurava djelovanje prema veličini signala pogreške
- Integracijska komponenta eliminira postojanje pogreške ravnotežnog stanja (statičke pogreške) kod izlaznog signala,
- Derivacijska komponenta daje dodatno ubrzanje regulacijskom djelovanju (ubrzava postizanje ravnotežnog stanja)
- Matematička jednačba koja definira vrijednost procesne varijablu y kod PID regulatora je:

$$y = K_p \cdot e + K_i \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad \text{with } K_i = \frac{K_p}{T_n}; K_D = K_p \cdot T_v$$

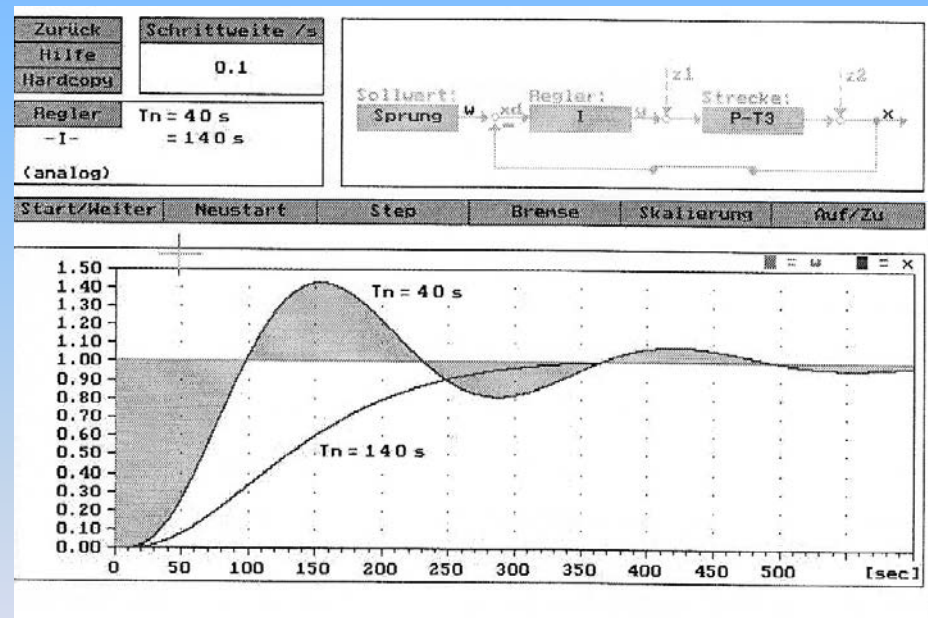
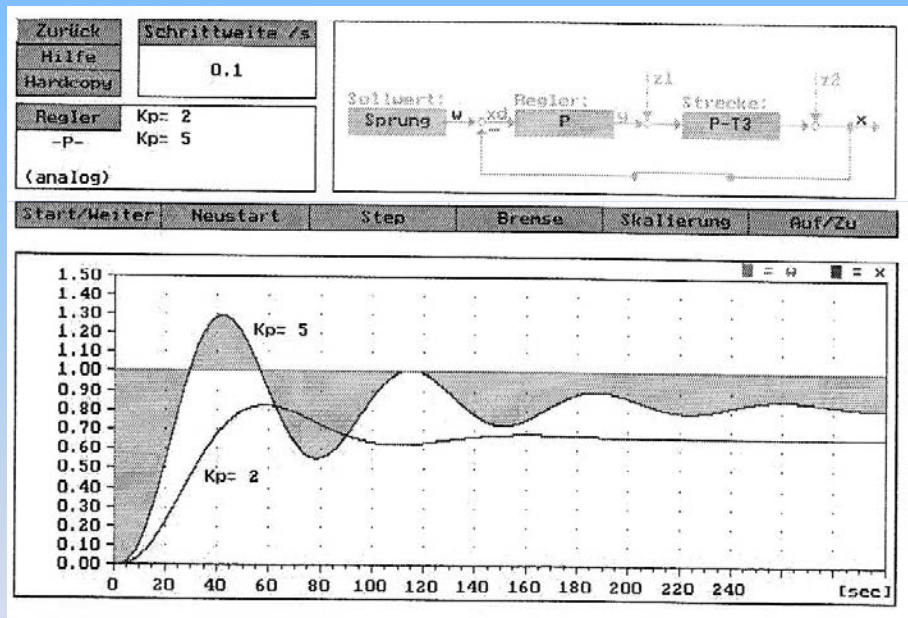
- Usporedbom s prethodno opisanim vrstama regulacijskog djelovanja, PID regulatori predstavljaju najsofisticiraniji regulacijski odgovor, odnosno regulacijsko djelovanje

- Procesna varijabla kod upotrebe PID regulatora postiže postavljenu vrijednost vrlo brzo, stabilizira se u vrlo kratkom vremenu i vrlo malo oscilira oko parametra zadane vrijednosti
- Na svojstva PID regulatora najviše utječu vrijednosti parametara K_p , T_n i T_v , te se njihovom prilagodbom utječe na regulacijski odgovor (izlazni signal) PID regulatora
- Na slici 235. prikazano je dinamičko ponašanje PID regulatora

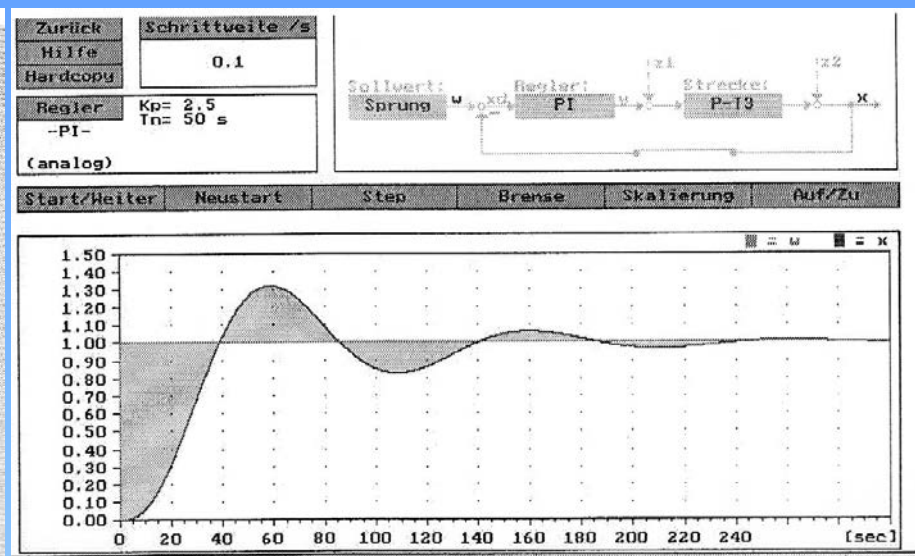
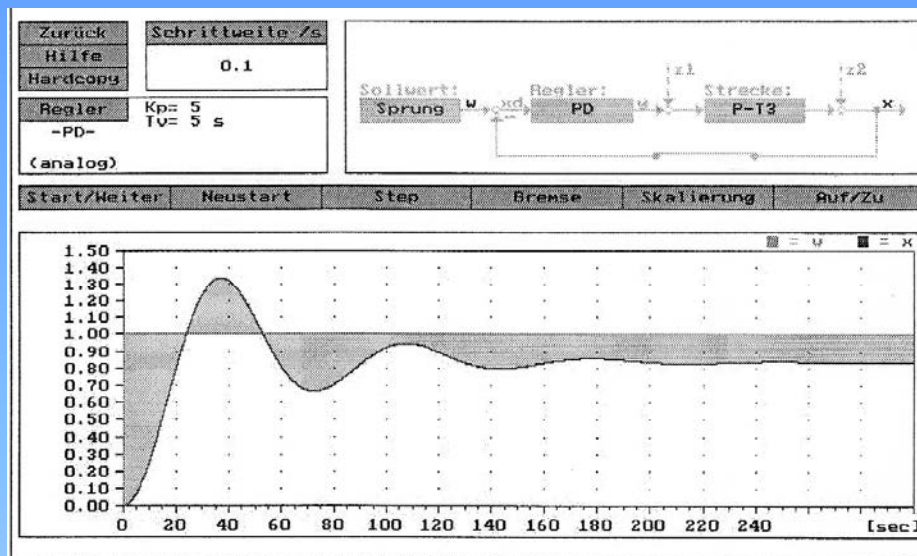


Slika 235. Dinamičko ponašanje PID regulatora (e : signal pogreške, y : izlazni signal)

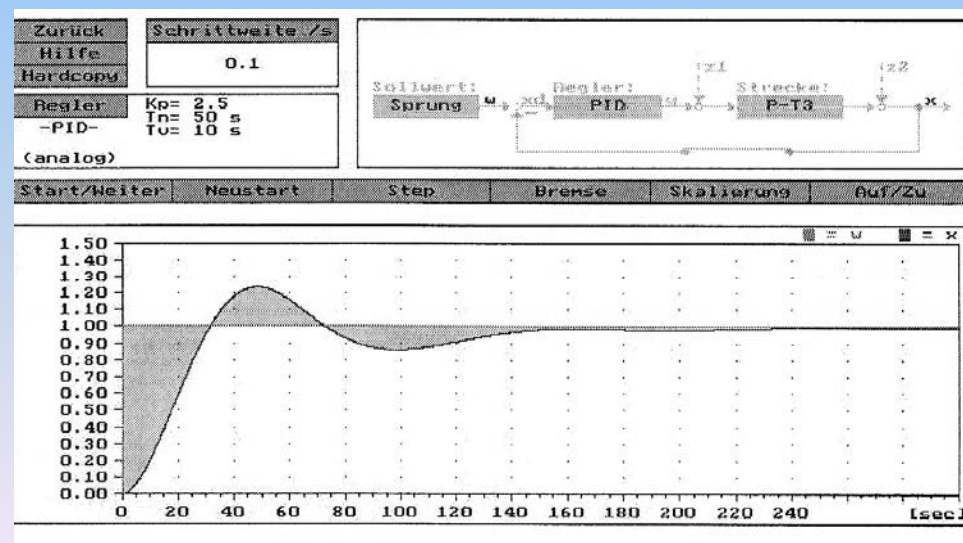
- PID regulatori najpogodniji su za upotrebu kod regulacijskih sustava višeg reda (sustavi s većim brojem komponenti koje akumuliraju energiju) koji zahtijevaju najbrže regulacijsko djelovanje i to bez statičke pogreške (pogreške ravnotežnog stanja)
- Na slikama 236., 237. i 238. može se vidjeti ponašanje izlaznog signala (regulacijskog odgovora) različitih regulatora kod regulacijskog sustava trećeg reda



Slika 236. Regulacijski odgovor P- regulatora (lijevo) i I-regulatora (desno) kod PT_3 sustava

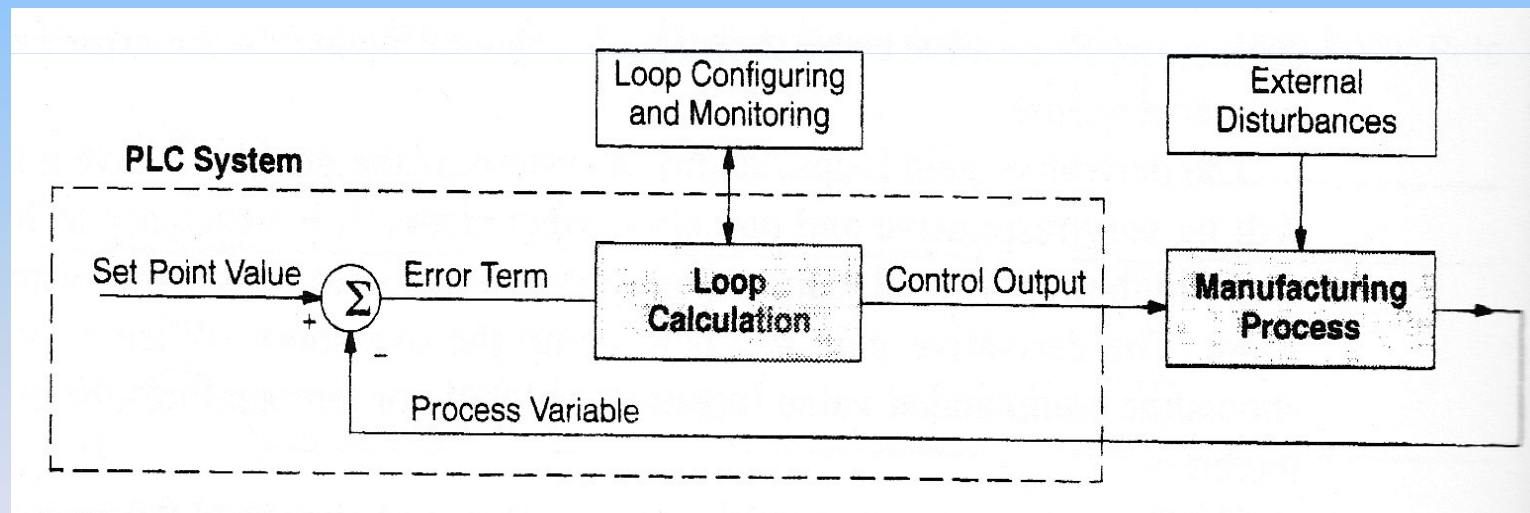


Slika 237. Regulacijski odgovor PD-regulatora (lijevo) i PI-regulatora (desno) kod PT_3 sustava

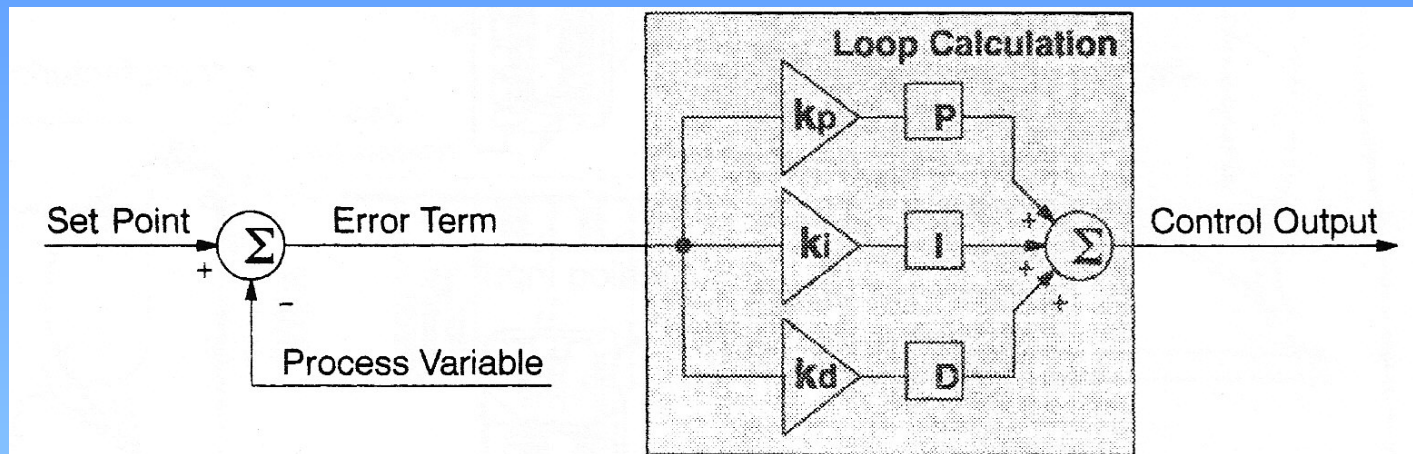


Slika 238. Regulacijski odgovor PID regulatora kod PT_3 sustav

- Kod PLC regulatora s PID regulacijskim djelovanjem CPU jedinica dobiva ulazni signal preko ulaznog modula
- U CPU jedinici obavlja se PID kalkulacija (operacija) te CPU jedinica generira izlazni signal
- Izlazni signal se preko izlaznog modula šalje na izvršni element u regulacijskom procesu
- Na slici 239. prikazan je blok dijagram procesa reguliranog PLC regulatorom s PID regulirajućim djelovanjem

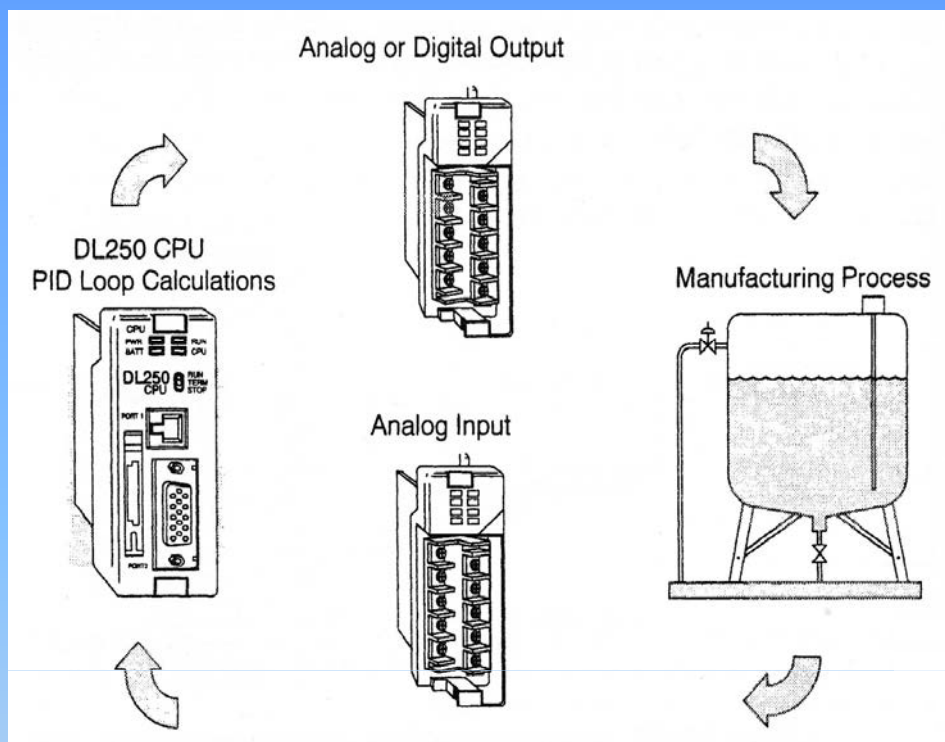


Slika 239. Blok dijagram PLC regulatora s PID djelovanjem

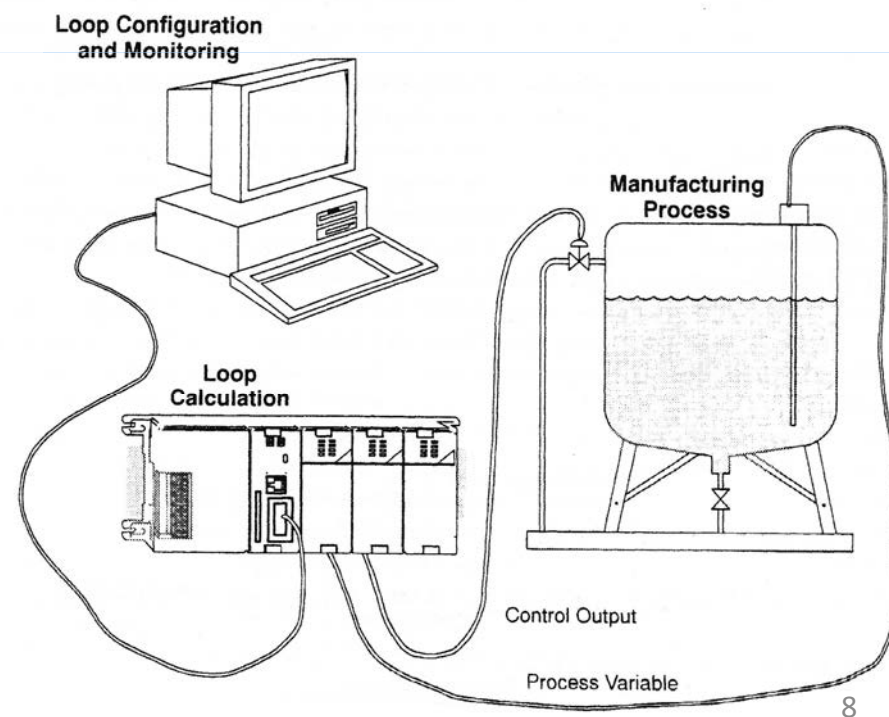


Slika 240. Blok dijagram PID kalkulacije u povratnoj vezi

- Slika 240. prikazuje kako PLC uređaj implementira PID algoritam U CPU jedinici
- Shema rada PLC regulatora s PID djelovanjem kod regulacije razine tekućine u tanku prikazana je na slici 241.
- U ovom jednostavnom primjeru regulacije PLC uređaj se sastoji od CPU modula, analognog ulaznog modula i analognog ili digitalnog izlaznog modula

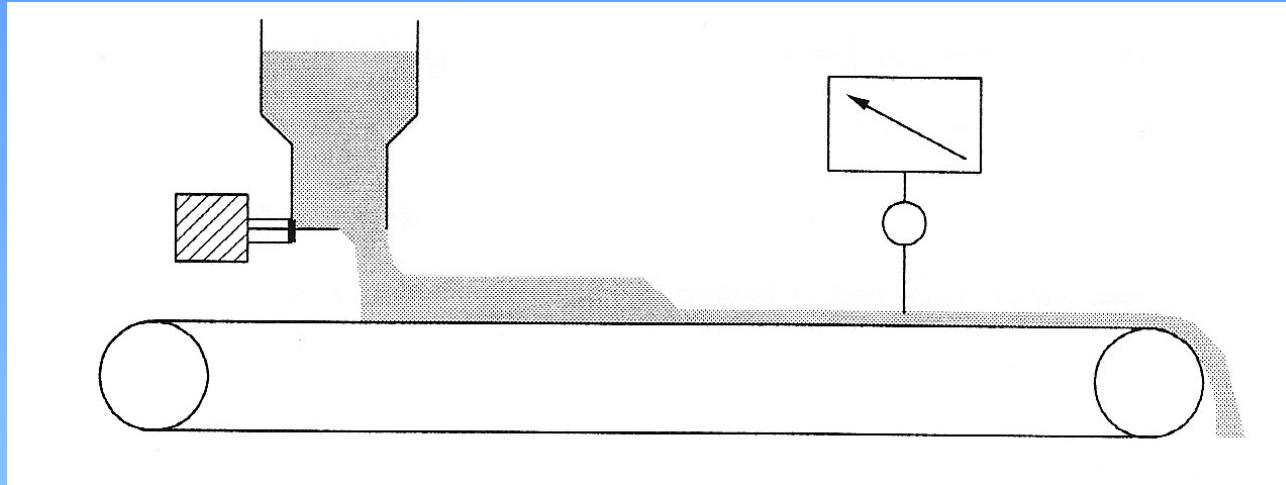


Slika 241. Regulacija razine tekućine u tanku pomoću PLC regulatora PID regulirajućeg djelovanja



REGULATORI S VREMENSKIM KAŠNJENJEM

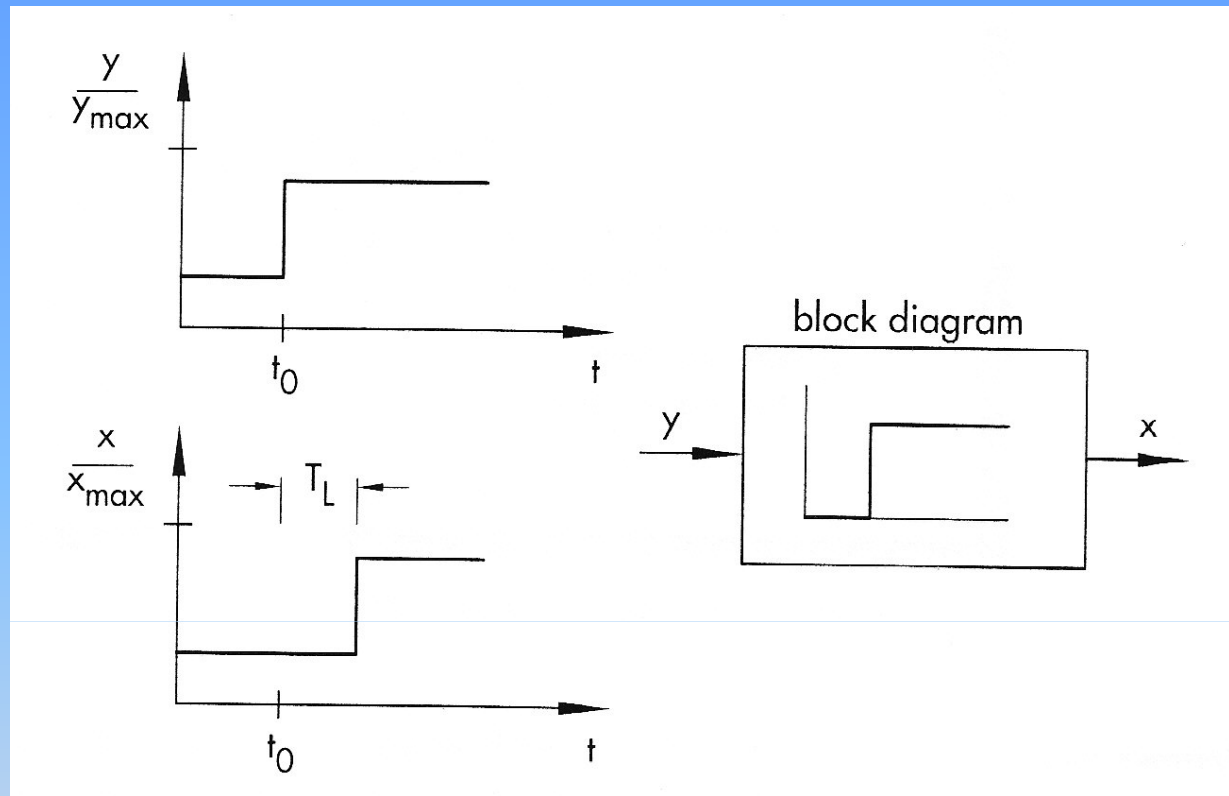
- U regulacijskim sustavima s vremenskim kašnjenjem (*controlled systems with dead time*) nema dinamičkog odgovora regulacijskog sustava sve dok ne prođe određeno vrijeme
- Vremenska konstanta T_L služi kao mjerilo vremenskog kašnjenja
- Primjer regulacije s vremenskim kašnjenjem dat je na primjeru regulacije količine materijala na trakastom transporteru (slika 242.)
- Ako se količina materijala koja se transportira trakastim transporterom poveća uslijed veće količine materijala koja dopjeva na transporter, takvo povećanje količine registrirat će se tek na kraju trake transportera pošto je senzor smješten na tome mjestu (na kraju)
- Znači veća količina materijala na traci registrirat će se poslije određenog vremena
- Postupak mjerenja tlaka plina u jako dugim cijevima za transport plina ima jednake efekte vremenskog kašnjenja
- Pošto je plin stlačljiv, potrebno je neko vrijeme dok se promjena tlaka plina unutar cijevi registrira na mjernom osjetilu tlaka na kraju cijevi



Slika 242. Sustavi regulacije s vremenskim kašnjenjem

- Često u regulacijskim sustavima određeni regulacijski elementi izazivaju vremenska kašnjenja u regulacijskoj petlji (koja ne želimo da se događaju)
- Ovakva vremenska kašnjenja uzrokovana su npr. vremenima prekidanja kontakata u prekidačima ili npr. zračnosti između zuba zupčanika
- Vremena kašnjenja su sigurno faktori koje je vrlo teško nadzirati u regulacijskim sustavima i koja su krajnje nepoželjna jer promjena vrijednosti izlaznih signala (upravljane veličine) iz regulatora (kad ta promjena kasni) izaziva i kašnjenje promjene procesne varijable

- Zbog ovakvih kašnjenja, regulacijski sustavi s vremenskim kašnjenjem ima sklonost pojavi oscilacija kod procesne varijable
- Oscilacije se najčešće zbivaju uslijed povremenih promjena vrijednosti ulaznih signala u regulatoru koje izazivaju i promjenu procesne varijable (promjena procesne varijable kasni uslijed vremenskog kašnjenja – te se javljaju oscilacije vrijednosti)
- U većini slučajeva vremensko kašnjenje se može ukloniti odnosno minimizirati pažljivim planiranjem regulacijskog sustava
- Pažljivo planiranje regulacijskog sustava može uključivati preciznije postavljanje senzora i izvršnih elemenata u regulacijskom sustavu
- Npr. postavljanje senzora bliže mjestu dobave materijala na trakasti transporter na slici 242.
- Korištenje kraćih cijevi za dobavu plina
- Korištenje izolacijskih materijala s manjim toplinskim kapacitetom i sl.
- Dinamičko ponašanje regulatora s vremenskim kašnjenjem prikazano je na slici 243.

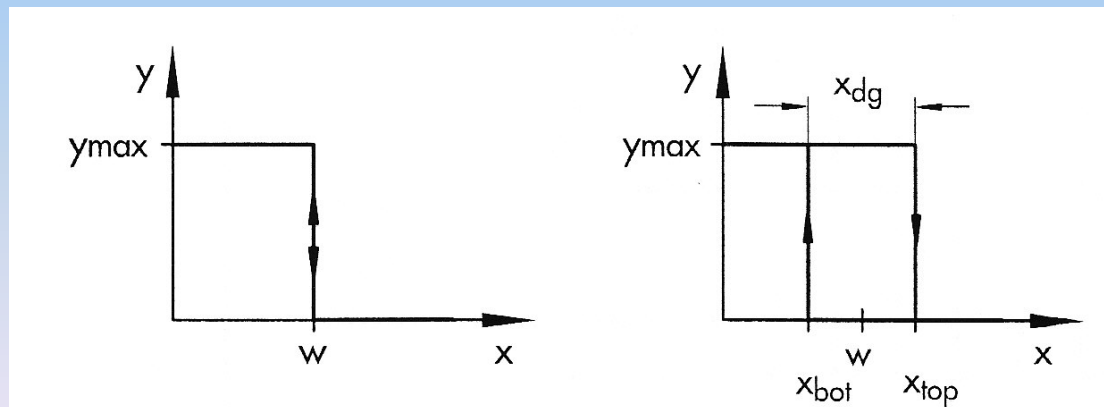


Slika 243. Dinamičko ponašanje regulacijskih sustava s vremenskim kašnjenjem, y : položaj otvora za dobavu materijala na trakasti transporter, x : količina materijala na trakastom transporteru

- Kao što je već naglašeno vremenska konstanta T_L prikazuje vrijeme kašnjenja reakcije regulatora

DISKONTINUIRANI REGULATORI

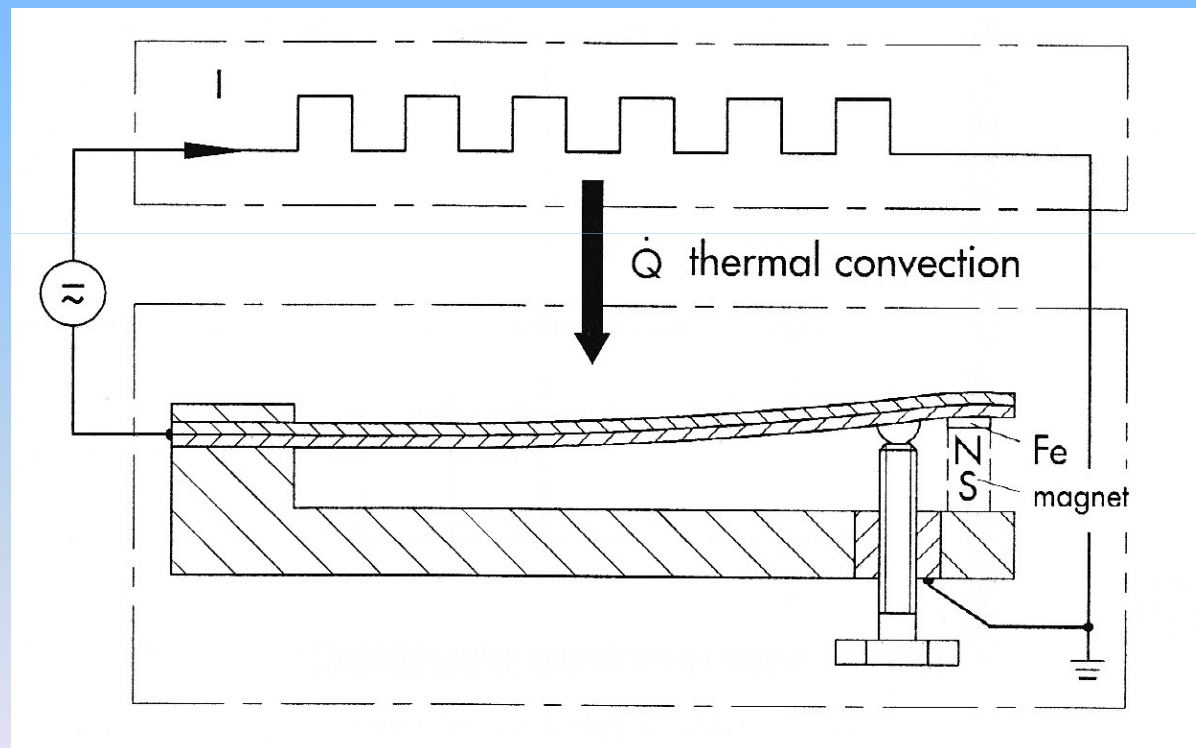
- Ovakvi regulatori još se često zovu i prekidni regulatori (*switching controllers*)
- Izlazni signal iz diskontinuiranih regulatora može imati samo nekoliko određenih vrijednosti koje su već određene brojem ulaznih signala
- DVOPOZICIJSKI REGULATOR
- Najjednostavniji tip diskontinuiranih regulatora su dvopozicijski regulatori koji, kao što sam njihov naziv kaže, imaju samo dva različita izlazna stanja (izlazne signale)
- Dva različita izlazna stanja mogu biti vrijednosti **0** i **$y_{\max}$** , kao što je prikazano na slici 244.



Slika 244. Prekidne karakteristike dvopozicijskog regulatora (s i bez diferencijalnog razmaka x_{dg})

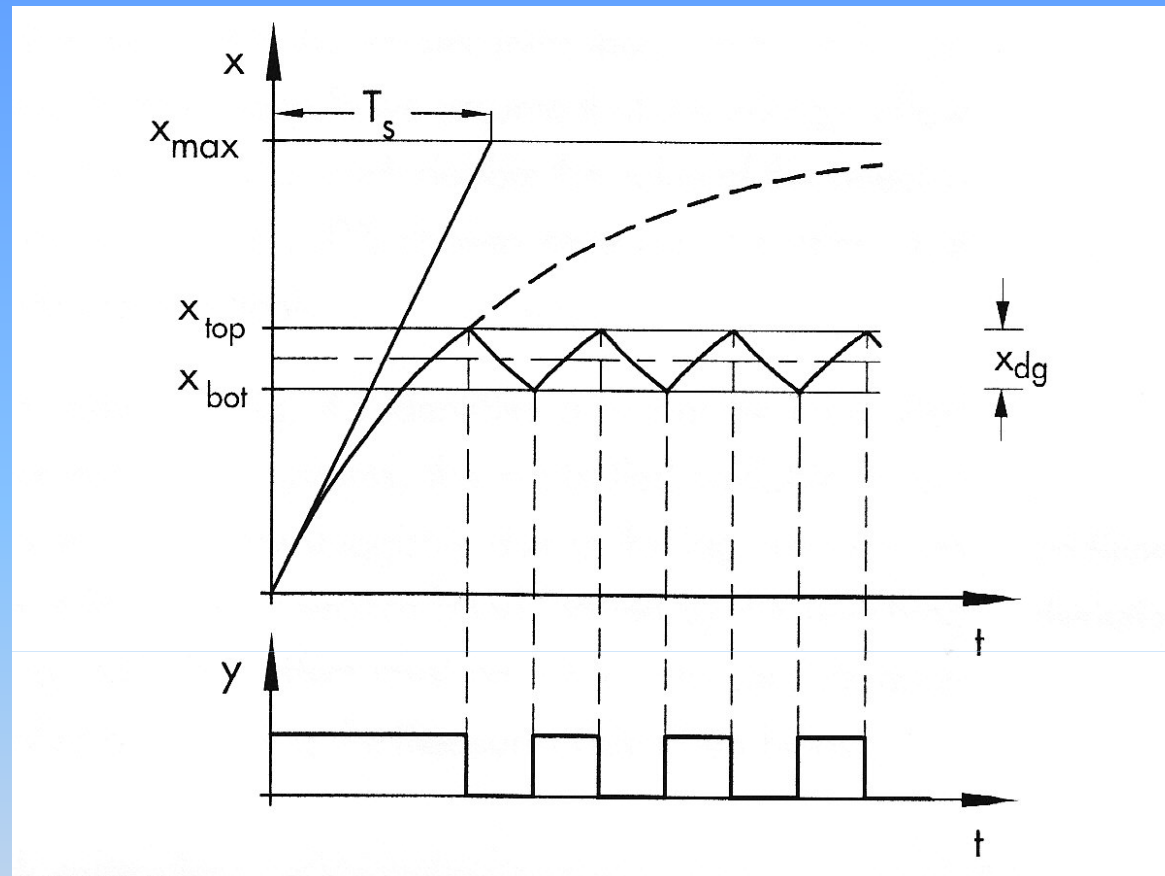
- Najjednostavniji primjer dvopozicijskog regulatora je bimetalna traka koja se koristi kao temperaturni senzor u sustavima regulacije temperature
- Bimetalna traka služi i kao temperaturni senzor i kao prekidač (prekidni element)
- Bimetalna traka se sastoji od dvije metalne trake (različitih metala) koje su spojene (zavarene) zajedno
- Svaka traka u bimetalnom spoju ima različite koeficijente toplinskog istezanja (različiti su metali)
- Primjer bimetalnog senzora i prekidača prikazan je na slici 245.
- Kada postoji kontakt bimetalne trake i metalnog oslonca osigurava se protok električne energije kroz bimetalnu traku u zavojnicu smještenu u grijaće tijelo (**I**)
- Bimetalna traka je smještena u blizini grijaćeg tijela, pa kad se zagrije grijaće tijelo zagrije se i bimetalna traka
- Donji metal bimetalne trake ima veći koeficijent toplinskog istezanja pa će njegovo produženje biti dulje od gornjeg metala

- Uslijed različitih koeficijenata istezanja bimetalna traka se savija prema gore i dolazi do prekida električnog kontakta između trake i metalnog oslonca
- To dovodi do prekida napajanja grijačeg tijela električnom energijom
- Visina metalnog oslonca služi i kao zadana vrijednost regulirane varijable (set point)



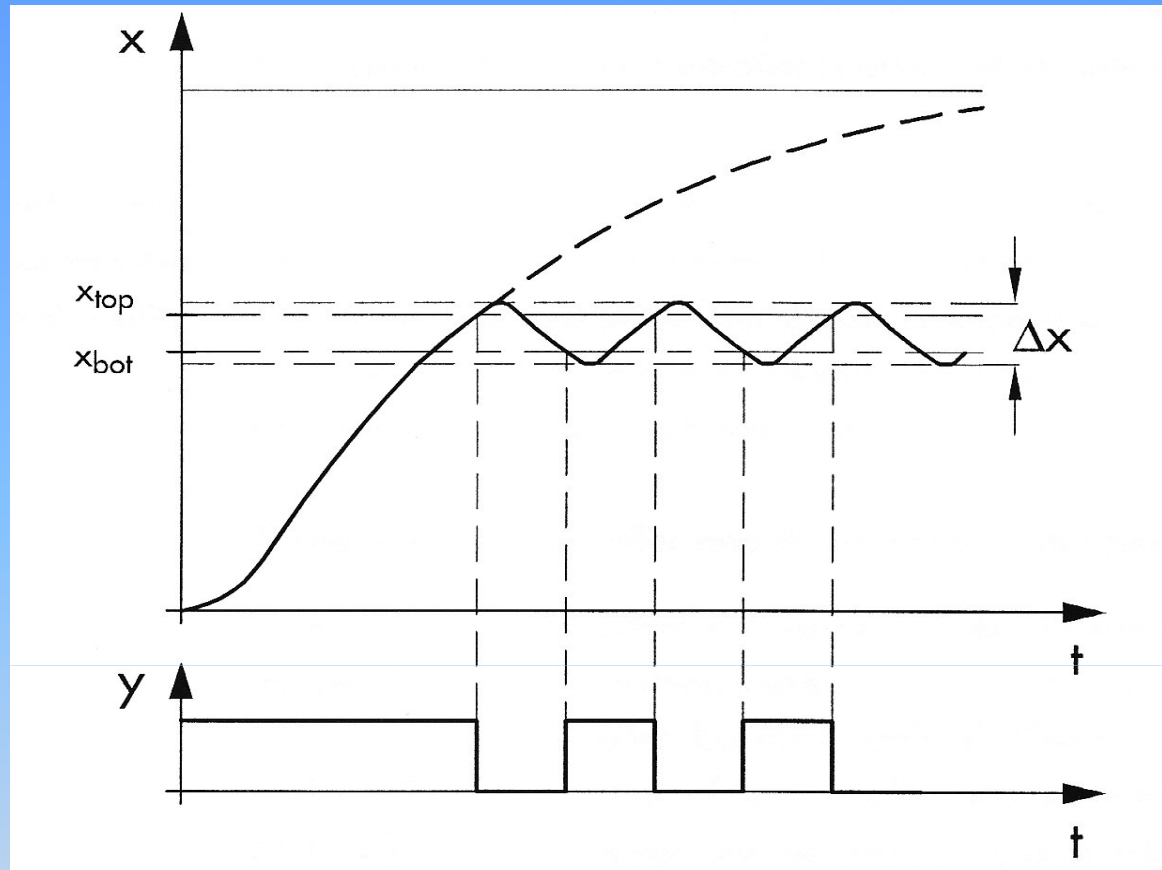
Slika 245. Regulacija temperature pomoću bimetalnog prekidača

- Da bi se produžio životni vijek kontakata prekidača, može se kreirati *diferencijalni razmak* x_{dg} (differential gap) ugradnjom metalne pločice i trajnog magneta (prikazano na slici 245.)
- Uvjeti za promjene statusa s ON na OFF više nisu jednake , nego su pomaknute u lijevo i u desno, x_{bot} i x_{top} (primjer nas slici 244.)
- Na ovaj način reducira se frekvencija prekidanja (učestalost mjenjanja statusa prekidača ON/OFF)
- Tipično ponašanje izlaznog signala (**y**) i procesne varijable (**x**) kao funkcija vremena u dvopozicijskom regulatoru prikazano je na slici 246.
- Iz ove slike se može primjetiti da pri višim zadanim vrijednostima regulirane varijable (viši set point), porastu temperature koja dovodi do savijanja bimetalne trake treba više vremena nego procesu hlađenja bimetalne trake (odnosno procesu smanjenja temperature)
- Sustav prikazan na slici 246. spada u regulacijske sustave prvog reda



Slika 246. Regulacijski ciklus dvopozicijskog regulatora u regulacijskom sustavu prvog reda s diferencijalnim razmakom

- U regulacijskim sustavima viših redova (drugog, trećeg, četvrtog i sl.) procesna varijabla će vrlo tromo slijediti promjenu upravljane veličine (izlaznog signala) zbog dodatnih zatezanja (kašnjenja)



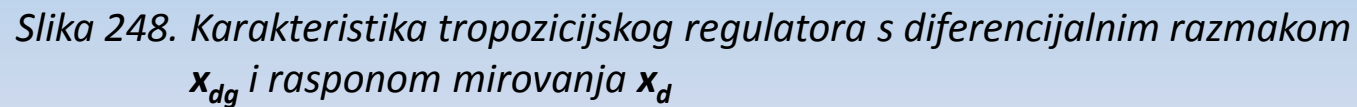
Slika 247. Regulacijski ciklus dvopozicijskog regulatora u regulacijskom sustavu višeg reda s diferencijalnim razmakom

- Ta dodatna zatezanja utječu na pomicanje vrijednosti x_{bot} i x_{top} kao što je prikazano na slici 247. (javljaju se dodatni rasponi tolerancije vrijednosti x_{bot} i x_{top})

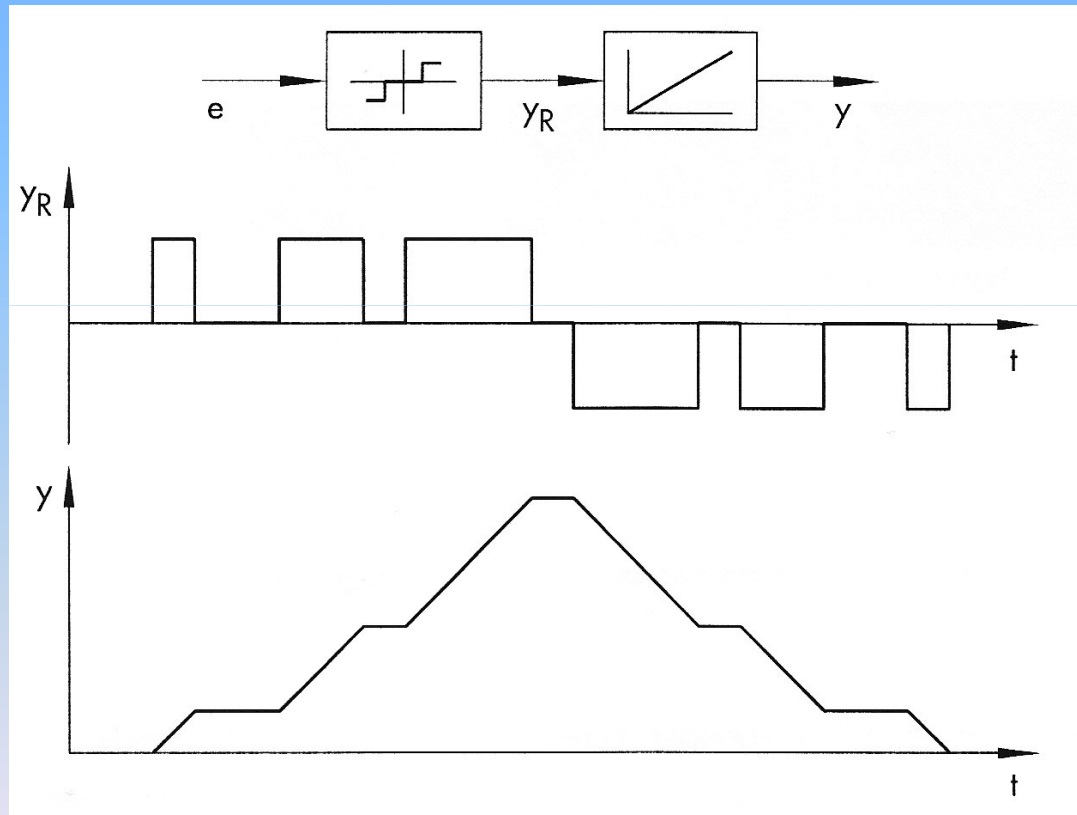
- Ova dodatna zatezanja u sustavima viših redova izazivaju devijacije regulacijskog sustava i moraju se uzeti u obzir prilikom procesa ugađanja regulatora o čemu će biti više riječi u nastavku
- DVOPOZICIJSKI REGULATOR S POVRATNOM VEZOM
- Ako se devijacija procesne varijable Δx (slika 247.) kod dvopozicijskog regulatora nemože tolerirati, mora se reducirati diferencijalni razmak x_{dg}
- Ovo reduciranje diferencijalnog razmaka uzrokuje da se povećava frekvencija prekidanja tj. povećava se učestalost mjenjanja statusa prekidača s ON na OFF i obratno
- Ovakva povećana učestalost prekidanja izaziva brže trošenje kontakata prekidača
- Zbog navedenih razloga dvopozicijski regulatori s povratnom vezom pogodni su za upotrebu kod tromijih regulacijskih sustava viših redova
- Izvedba ovakvih regulatora sastoji se u dodavanju još jednog grijača koji zagrijava bimetalnu traku dok je regulator uključen tj. na statusu ON

- Ovo dodatno zagrijavanje izaziva prijevremeni prekid električnog kruga, jer će se bimetalna traka prije zagrijati i saviti nego u slučaju bez dodatnog grijača
- Kada je pravilno namješten ovaj regulator smanjuje devijacije procesne varijable pri prihvatljivoj frekvenciji (učestalosti) mjenjača statusa prekidača (prekidanje)
- TROPOZICIJSKI REGULATOR I TRIPOZICIJSKI STUPNJEVANI REGULATOR
- Tropozicijski regulatori mogu imati tri različite vrijednosti izlaznih stanja (izlaznih signala)
- Npr. kod sustava regulacije temperature nemaju samo izlazna stanja ON i OFF kao kod dvopozicijskih regulatora nego imaju stanja OFF, GRIJANJE, i HLAĐENJE (dakle tri stanja)
- Tropozicijski regulator može se promatrati i kao da su spojena dva dvopozicijska regulatora koji mjenjaju svoja izlazna stanja
- Karakteristično ponašanje tropozicijskog regulatora s diferencijalnim razmakom prikazano je na slici 248.
- Na ovoj slici vidi se i vrijednost x_d , tj. raspon mirovanja

- Tropozicijski regulatori često imaju primjenu u regulaciji ventila u nekom procesu, gdje se često koriste u kombinaciji s električnim izvršnim elementima



- U takvoj primjeni postoje tri izlazna stanja: *suprotno od kazaljke na satu* (otvaranje ventila), *u smjeru kazaljke na satu* (zatvaranje ventila) i stanje OFF
- Na opisani način se namješta pozicija ventila pomoću električnih izvršnih elemenata kao što je prikazano na slici 249.



Slika 249. Izlazni signal kvazi-kontinuiranog regulatora (tropozicijski regulator s elektromotorom kao izvršnim elementom)

- Kada je u diskontinuirani regulator (u ovom slučaju tropozicijski regulator) integriran električni izvršni element (u ovom slučaju elektromotorni aktuator) i dobiva se tzv. **kvazi-kontinuirani** P, PI ili PID regulacijski odgovor odnosno regulacijsko djelovanje
- Kada je pravilno uključen u regulacijski sustav, regulacijsko djelovanje tropozicijskog stupnjevanog regulatora (slika 249.) malo se razlikuje od regulacijskog djelovanja kontinuiranog regulatora