

1. Kako možemo dobiti težinsku funkciju sustava iz slijeda mjernih vrijednosti pobude i odziva sustava? (Pretpostavlja se proizvoljni signal pobude)

Ako su poznati  $u(t)$  i  $y(t)$ ,  $g(t)$  se može odrediti pomoću numeričke dekompozicije konvolucijskog integrala:

$$y(t) = \int_0^t u(t - \tau)g(\tau)d\tau$$

2. Nabrojite četiri tipična procesa koji se dobiju metodama identifikacije obrađenim na predavanjima (PTTt,...). Napišite njihove prijenosne funkcije i kvalitativno skicirajte prijelazne funkcije.

Četiri tipična procesa su PTTt, PTn, PT2S i PTnS.

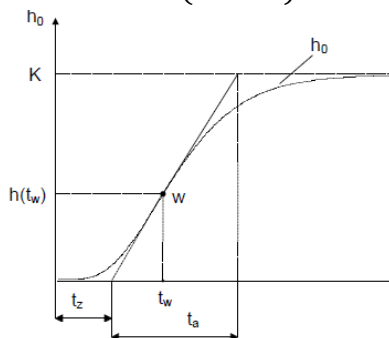
**PTTt**

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-sT_t}$$

Prijelazna funkcija je otprilike ista ko i PTn samo što ima veća odstupanja u području zaleta.

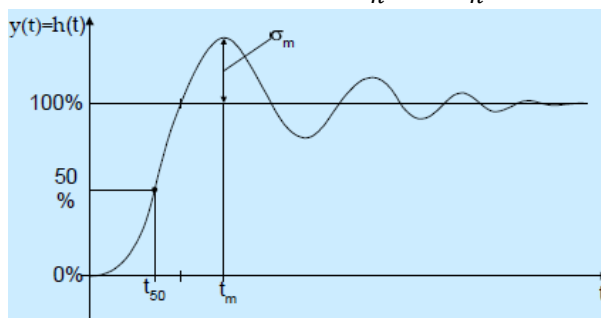
**PTn član**

$$G(s) = \frac{K}{(1 + Ts)^n}$$



**PT2S član**

$$G(s) = \frac{K}{s^2 + 2\vartheta\omega_n s + \omega_n^2}$$

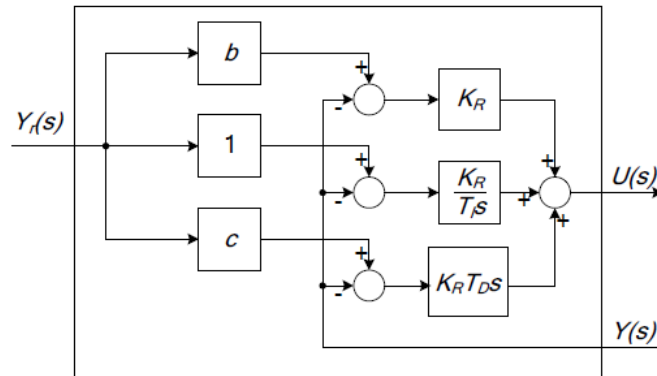


**PTnS – ne znam koje je ovo čudo**

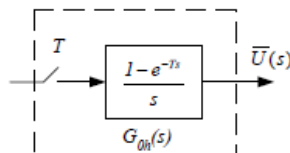
3. Kojeg minimalnog reda mora biti sustav da bi se parametri regulatora mogli odrediti relejnim postupkom uz korištenje releja s histerезom?

Proces mora biti najmanje 2. reda.

4. Skicirajte blok shemu PID regulatora s dva stupnja slobode podešavanja parametara i idealnim derivatorom.



5. Napišite prijenosnu funkciju ekstrapolatora nultog reda i njezinu aproksimaciju pomoću mrtvog vremena.



$$G_{oh}(s) = \frac{1}{T} \frac{(1 - e^{-Ts})}{s} \approx \frac{1}{1 + \frac{T}{2}s}$$

6. Kada koristimo korekcijski član s faznim prethođenjem, a kada član s faznim kašnjenjem? Kako navedeni članovi utječu na brzinu odziva sustava?

Korekcijski član s faznim prethođenjem koristi se za podizanje fazne karakteristike, a time za povećanje brzine odziva sustava, ali povećava pojačanje sustava na visokim frekvencijama što je problematično zbog šuma.

Korekcijski član s faznim kašnjenjem koristi se za povećanje pojačanja sustava na niskim frekvencijama ili za smanjenje pojačanja sustava na srednjim i visokim frekvencijama bez smanjenja pojačanja na niskim frekvencijama. Usporava brzinu sustava.

7. Zašto se kod relejnog postupka uvodi relejni član s histerezom umjesto idealnog člana?

Uvodi se relejni član s histerezom da bi se izbjeglo da zbog mjernog šuma relej ima promjene stanja koje nisu određene dinamikom sustava.

8. Postupci posrednog eksperimentalnog određivanja  $h(t)$  i razlozi primjene umjesto neposrednog?

Nekada nije dopušteno primijeniti skokoviti test signal za određivanje  $h(t)$  jer se remeti normalni radni režim procesa ili izvršni elementi ne dopuštaju skokovitu promjenu pobudnog signala.

Prijelazna funkcija se može izračunati koristeći:

- pravokutni impuls kao ispitni signal
- funkciju linearnog porasta kao ispitni signal
- proizvoljni deterministički ispitni signal

9. Navedite konkretan primjer identifikacije za pravokutni ispitni signal odnosno kada se ne smije koristiti konstantna pobuda?

→ npr proizvodnja ožujskog jer se ne smiju kvasci pregrijati ???

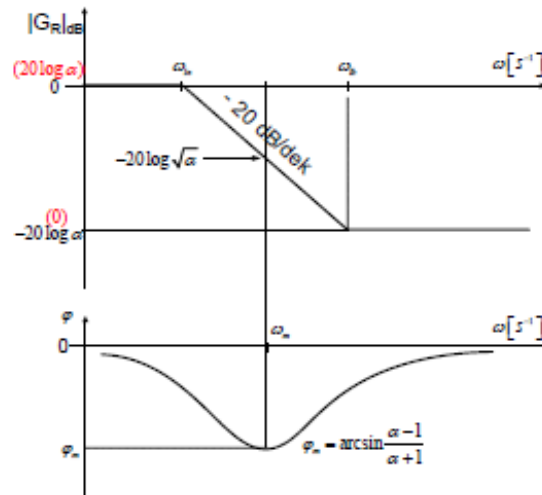
###### 10. Opišite postupak podešavanja parametara PID-a s dva stupnja slobode.

1. korak: Parametri regulatora ( $K_R$ ,  $T_I$ ,  $T_D$ ) podese se za dobru kompenzaciju poremećaja.
2. korak: Podešavaju se koeficijenti  $b$  ( $0 \leq b \leq 1$ ) i  $c$  ( $0 \leq c \leq 1$ )

Ako se koeficijenti  $b$  i  $c$  postave na jedinični iznos regulator postaje identičan osnovnom regulatoru.

Ako se postave na nulti iznos P i D član regulatora djeluju samo na mjerni signal (signal povratne veze).

###### 11. Skicirajte frekvencijsku karakteristiku FK te napišite njegovu prijenosnu funkciju.



$$G_R(s) = \alpha \frac{1 + Ts}{1 + \alpha Ts}, \quad \alpha > 1$$

###### 12. Koji je zahtjev na presječnu frekvenciju otvorenog kruga kod relejnog postupka?

$$\omega_c = \omega_0$$

Postavlja se zahtjev da presječna frekvencija otvorenog regulacijskog kruga s PID regulatorom  $\omega_c$  bude jednaka frekvenciji oscilacija izmjerenoj tijekom relejnog eksperimenta, tj.  $\omega_c = \omega_0$ .

###### 13. Utjecaj težinskog faktora $r$ (vjerojatno se misli $t$ ) kod odstupanja upravljačke veličine u kvadratičnom kriteriju kakvoće?

Uključenjem težinskog faktora u taj kriterij se uzima u obzir trajanje regulacijskog odstupanja.

###### 14. Procedura projektiranja člana s faznim kašnjenjem!

1. korak: Na temelju specificiranog ponašanja sustava u stacionarnom stanju (npr. koeficijent pogreške) potrebno je odrediti iznos potrebne korekcije amplitudne karakteristike  $\Delta K$  u području niskih frekvencija.
2. korak: Član FK unosi korekciju amplitudne karakteristike u iznosu  $\alpha$  odabire se  $\alpha = \Delta K$ .
3. korak: Određuje se vremenska konstanta  $T$  na način da korekcijski član ne utječe značajno na fazno osiguranje, tj. uzima se  $1/T \leq \omega_c$ .
4. korak: Potrebno je dodatno korigirati amplitudnu karakteristiku s  $\alpha = \Delta K$ .

###### 15. Kakav je utjecaj velikog vremena uzorkovanja na nadvišenje i vrijeme 1. maksimuma kod EMUL1 metode?

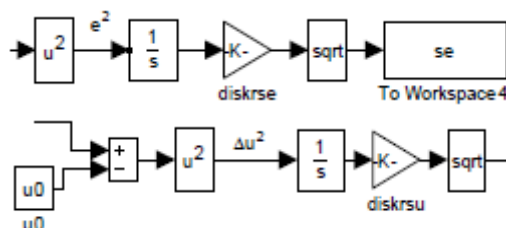
Zbog toga što se ne uzima u obzir utjecaj diskretizacije fazno osiguranje se smanjuje, a samim time se i nadvišenje povećava što je očito iz  $\gamma[^\circ] \approx 70 - \sigma_m[\%]$ . Sustav je i tromiji jer se presječna frekvencija povećava, tj. vrijeme 1. maksimuma se povećava.

16. Ako projektiramo regulator za proces koji ima P djelovanje, kako bi regulacijsko odstupanje u stacionarnom stanju kod pobude oblika odskočne funkcije bilo jednako nuli, digitalni regulator treba imati barem jedan pol u nuli???.

17. Nacrtajte Simulink shemu za računanje sljedećeg kvadratičnog kriterija:

$$S_e + S_u = \sqrt{\frac{1}{M+1} \sum_{k=0}^M e^2(k)} + \sqrt{\frac{1}{M+1} \sum_{k=0}^M \Delta u^2(k)}$$

gdje su M broj koraka simulacije,  $e(k)$  pogreška regulacije,  $\Delta u(k)$  odstupanje upravljačke veličine, te T vrijeme diskretizacije. Uzmite da su  $e(k)$  i  $\Delta u(k)$  već izračunati i dostupni kao signali.



Na kraju se umjesto izlazi nakon sqrt funkcije dovode na sumator.

18. Objasnit po čemu se razlikuje Takahashijev postupak od ZN.

Kod Takahashijevog postupka se uzima u obzir kašnjenje zbog A/D i D/A pretvorbi pa je ukupno mrtvo vrijeme jednako  $T_{tu} = T_t + T/2$ .

19. Integralni kriteriji pogreške, kakvi postoje i po čemu se razlikuju?

Navedete ona 3 tipa,  $e(t)$ ,  $|e(t)|$ ,  $e^2(t)$ , te ih malo usporedite - prvi je najlakši za izračunati, koristi se za aperiodske odzive, drugi se koristi za oscilatorne odzive te je dosta zahtjevan za izračunati, računa se numerički. Treći je ISE kriterij (Integral of Squarred Error, integral kvadratične pogreške), također kod osciltornih odziva se koristi, lakša računica. Treba spomenuti da se ti kriteriji računaju s obzirom na referentnu veličinu i s obzirom na pogrešku

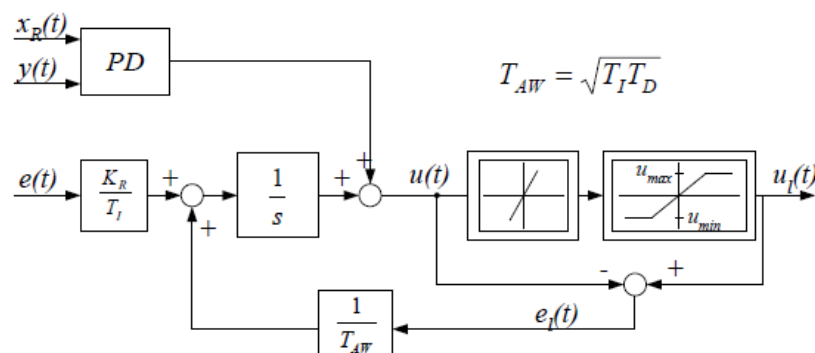
20. Opišite i skicirajte korake načelne procedure projektiranja FP člana.

1. korak: Dodavanjem pojačanja u otvoreni krug postaviti željenu presječnu frekvenciju.
2. korak: Proračunati maksimalno izdizanje fazne karakteristike  $\varphi_{\max}$  kako bi ostvarili željeno fazno osiguranje. Na temelju  $\varphi_{\max}$  izračunati koeficijent  $\alpha$  te odabrati vremensku konstantu korekcijskog člana T:

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha} \omega_c}$$

3. korak: Spustiti amplitudnu karakteristiku množenjem prijenosne funkcije s faktorom  $\sqrt{\alpha}$ .

21. Skicirajte blokovsku shemu za sprječavanje efekta zaleta kod PID regulatora metodom povratne integracije. Kako se odabire vremenska konstanta  $T_{AW}$ ?

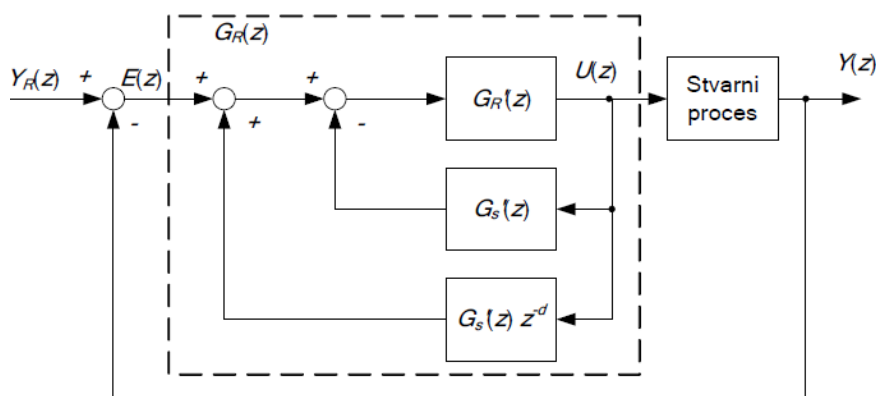


**22. Navedite prednosti i nedostatke implementacije digitalnog regulatora u DO2.**

Prednost je to što ne postoji mogućnost preljeva u internom filtru. Konačni rezultat je uvijek unutar zadanog opsega, čime se izbjegava preljev konačnog rezultata, čak i prilikom pojave preljeva međurezultata u zbrajalu.

Nedostatak je to što postoji dvostruko više kašnjenja nego što je potrebno, tj. forma je nekanonička. Također, polovi i nule su vrlo osjetljivi na pogreške zaokruživanja koeficijenata, a pogotovo je ta pogreška izražena ako su ti polovi blizu u kompleksnoj ravni.

23. Projektiran je regulator  $G_R(s)$  za upravljanje procesom  $G_P(s)$  s kašnjenjem po načelu upravljanja Smithovim prediktorom. Napišite prijenosnu funkciju zatvorenog regulacijskog kruga.



Iz ove sheme se lako izvede prijenosna funkcija regulatora (bezveze je učiti):

$$G_R(z) = \frac{G'_R(z)}{z^d + G'_R(z)G'_S(z)(z^d - 1)} z^d$$

Nakon toga se lako napiše prijenosna funkcija otvorenog kruga:

$$G_\rho(z) = G_R(z)G_S(z)z^{-d}$$

I onda se dobije:

$$G_r(z) = \frac{G'_R(z)G'_S(z)}{1 + G'_p(z)G'_s(z)} z^{-d}$$

**24. Opišite pojavu pojasa neosjetljivosti te pojavu graničnog perioda pri implementaciji digitalnog regulatora u cjelobrojnoj aritmetici. Kada se ove pojave događaju?**

Pojas neosjetljivosti i granični period se javljaju zbog nelinearnosti koje u sustav unosi cjelobrojna aritmetika. Zbog odsijecanja ili zaokruživanja javlja se pojas neosjetljivosti. Sustav ne može biti u nekim međustanjima između dva stanja.

Također, zbog odsijecanja ili zaokruživanja u sustavu se mogu javiti trajne oscilacije ukoliko je amplitudno-fazna karakterista jednaka negativnoj i inverznoj karakteristici nelinearnog elementa.

$$G_o(j\omega) = -\frac{1}{N(A)}$$

**25. Koja pretpostavka mora biti ispunjena za korištenje opisne funkcije nelinearnog elementa?**

Opisna funkcija  $N(A)$  predstavlja samo prvi harmonik, tj. zanemaruju se viši frekvencijski članovi u izrazu. Viši harmonici filtriraju se kroz proces koji mora imati karakteristiku niskog propusta.

**26. Što je to modelska funkcija? Koji uvjet mora zadovoljiti EMUL2 metoda zbog utjecaja diskretizacije?**

Modelska funkcija je željena prijenosna funkcija zatvorenog sustava (referentni model). Proizlazi iz specifikacije kakvoće koja se obično zasniva na odgovarajućoj prijelaznoj funkciji.

Kod EMUL2 metode se uzima u obzir i utjecaj diskretizacije koji povećava polni višak procesa za 1, tj.  $n-m+1$  pa se zato treba i povećati polni višak modelske funkcije na  $u-v+1$ .

**27. Koji je nedostatak regulatora zasnovanih na modelu procesa? Objasniti slučaj Smithovog prediktora?**

Upravljanje sa Smithovim prediktorom spada u upravljanje zasnovano na matematičkom modelu procesa.

Svi na modelu procesa zasnovani regulatoru u načelu su osjetljivi na neodređenost matematičkog modela procesa. Ta se neodređenost poglavito odnosi na nemodeliranu dinamiku procesa i na pogreške u određivanju parametara modela.

U tom je smislu Smithov prediktor posebno osjetljiv na pogreške u određivanju mrtvog vremena procesa.

**28. Koji su izvori impulsnih smetnji i načini njihovog smanjenja?**

Impulsne smetnje mogu uzrokovati uklapanja i isklapanja sklopki u energetske pretvarače, energetske postrojenjima itd. Smanjiti se mogu primjenom medijan funkcije i ograničenjem brzine promjene mjerenog signala.

$$m = \begin{cases} \frac{1}{2}(y_{L/2} + y_{L/2+1}) & \text{za } L \text{ paran} \\ y_{L/2+1} & \text{za } L \text{ neparan} \end{cases} \quad \text{Medijan funkcija}$$

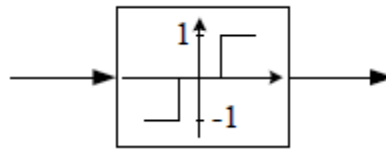
$$\frac{dy}{dt} = \begin{cases} \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\max} & \text{za } \frac{dy}{dt} > \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\max} \\ \frac{dy}{dt} & \text{za } \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\min} \leq \frac{dy}{dt} \leq \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\max} \\ \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\min} & \text{za } \frac{dy}{dt} < \left(\frac{dy}{dt}\right)_{\min} \end{cases} \quad \text{Rate limiter}$$

**29. Koji je uvjet integracije kod AW2 metode sprječavanja efekta zaleta?**

Uvjet integracije je da je stvarna zasićena upravljačka veličina manja od proračunate i da je regulacijsko odstupanje veće od nule, tj. da je stvarna zasićena manja od proračunate i da je regulacijsko odstupanje manje od nule.

$$(u > u_l \text{ i } e > 0) \text{ ili } (u < u_l \text{ i } e < 0)$$

**30. Navedite kada se koristi i primjer upotrebe ternarnog signala te ga nacrtajte. Opišite moguću izvedbu.**



Ternarni signal se koristi kod izvršnih organa s integralnim djelovanjem. Takvi izvršni organi prihvaćaju tri vrijednosti upravljačkog signala – naprijed, stoj, natrag.

Primjer je regulacijski ventil s elektromotornim pogonom kod kojeg se ventil otvara, zatvara ili stoji, tj. može poprimiti samo tri stanja.

Izvodi se uz pomoć dva digitalna(binarna) izlaza iz regulatora. Dok jedan vodi ventil se otvara, dok drugi vodi on se zatvara, a dok su oba u '0' ventil stoji. Treba se spriječiti vođenje oba izlaza u isto vrijeme.

**31. Što su to FPGA sklopovi i koji su njihove prednosti kod implementacije regulatora?**

FPGA(Field Programmable Gate Array) su zasnovani na konfigurabilnim logičkim blokovima smještenih u strukturu polja međusobno povezaniim programirljivim međuvezama. Omogućuje izvedbu vrlo složenih funkcija.

Glavne prednosti su učinkovito iskorištenje resursa, moguća vrlo velika složenost i vrlo visoka frekvencija rada.

**32. Smithov prediktor, zašto se tako zove?**

Ako se pogleda u prijenosnu funkciju regulatora kod Smithovog prediktora ona u sebi sadrži član prethođenja  $z^d$  pa se ovaj koncept upravljanja naziva prediktivnim.

**33. Po čemu je DO-I bolji od serijskog oblika za diskretizaciju?**

Bolji je zato što on omogućava preljev.

**34. Opišite korake određivanja regulatora neposredno u diskretnom području prema TG(metoda 3)!**

TG postupak (metoda 3 – Ragazzinijeva metoda):

**1. korak:** Izabrati vrijeme uzorkovanja.

**2. korak:** Diskretizacija prijenosne funkcije  $G_S(s)$  primjenom ZOH transformacije.

**3. korak:** Na osnovi  $G_S(z)$  i karakteristične jednačbe željenog zatvorenog kruga u kont. području odabrati modelsku funkciju  $G_m(z)$  te pronaći i uključiti ograničenja na nju.

**4. korak:** Odrediti prijenosnu funkciju regulatora.

**35. Kako filter za povećanje robusnosti Smithovog prediktora  $G_f$  utječe na vladanje zatvorenog sustava upravljanja pri djelovanju kratkotrajnih poremećaja(kraćih od mrtvog vremena procesa)? Obrazložite.**

Ako se pogledaju slajdovi 24 i 25 na 7. predavanju vidi se da FPPI ima puno bolji odziv od ostalih slučajeva. Poremećaj je kratak, što znači da ima visoku frekvenciju. Ako je to visokofrekventni signal a mi obično odaberemo filter sa  $Tt/2$  to valjda znači da dobro filtrira više frekvencije pa ga uništi brže.