BRODSKA AUTOMATIKA I

- ***Status predmeta*** ***Obavezni***
- ***Semestar*** ***IV***
- ***Broj ECTS kredita*** ***4,0***
- ***Fond časova*** ***3P+1V***

• Automatika je izazovno naučno i stručno područje sa teorijskog i praktičnog aspekta

• Primjena koncepta povratne veze bila je revolucionarna

• Primjena sustema upravljanja u proizvodnim i radnim procesima je nužna

• Postoji čitav niz otvorenih neriješenih problema vezanih uz automatsko upravljanje (izazov za dolazeće generacije automatičara)

• Ohrabrujuća je činjenica da su postojeća znanja i pozitivni trend razvoja automatike dobro polazište za rješavanje otvorenih problema

• Obrazovanje u području automatskog upravljanja kao sistemske nauke vrlo je važno za sve tehničke struke

CILJ KURSA

• Razumijevanje uloge upravljanja u inženjerstvu

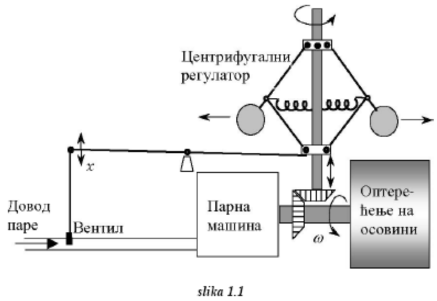
• Upoznavanje sa ključnim idejama i konceptima Dinamike i POVRATNOM SPREGOM - Feedback

• Upoznavanje sa relevantnom matematičkom teorijom

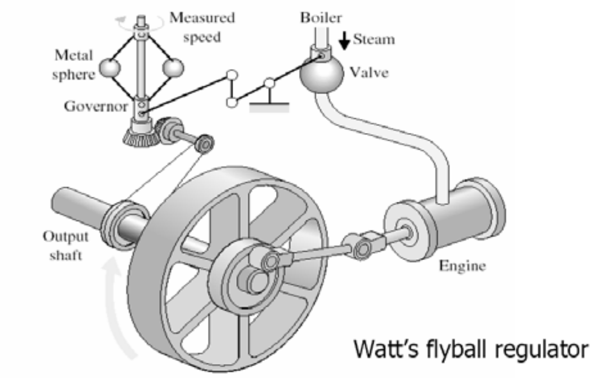
• Sposobnost rješavanja prostih problema upravljanja

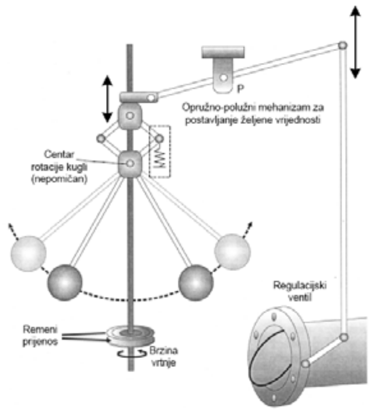
• Prepoznavanje problema upravljanja

BRODSKA AUTOMATIKA I



slika 1.1

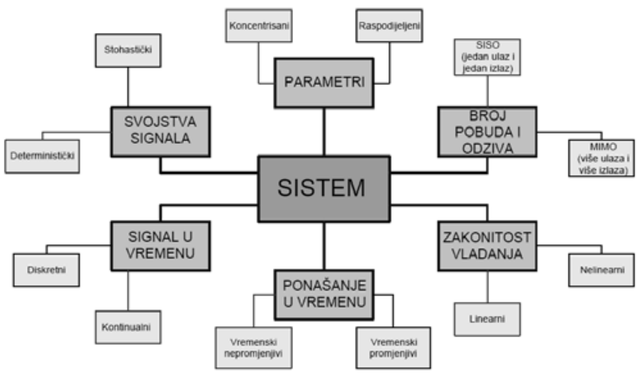


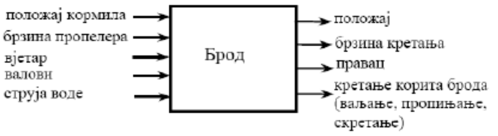


Slika 2.3: Wattow flyball regulator

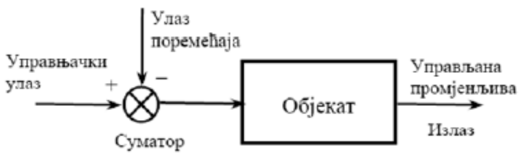
slika 1.2

Sistem je skup međusobno zavisnih elemenata obrazovan radi postizanja određenog cilja posredstvom izvršavanja određenih funkcija.

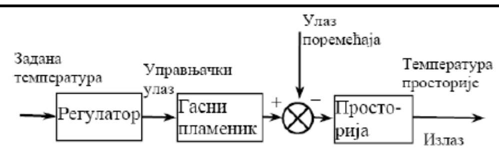




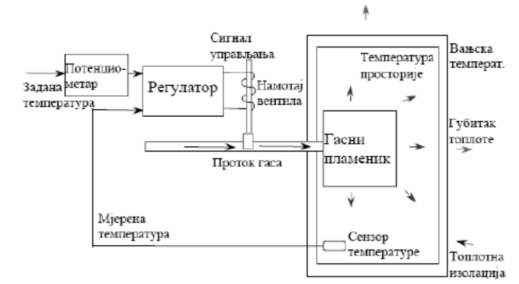
Slika 1.3



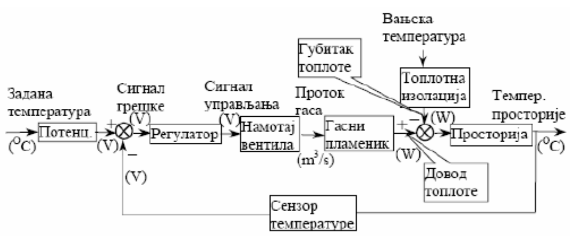
Slika 1.4.



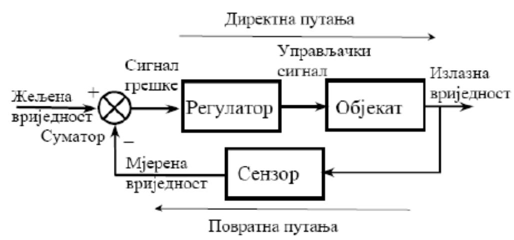
Slika 1.5.



Slika 1.6.



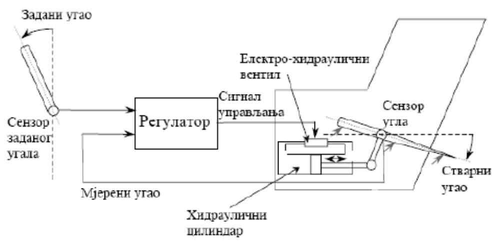
Slika 1.7.



Slika 1.8.

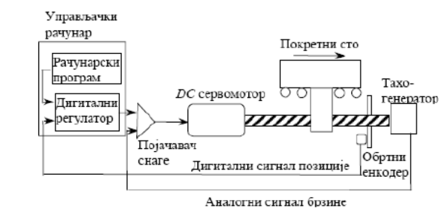
Sl. 1.8 prikazuje opšti blok dijagram za sistem u zatvorenoj sprezi, ili sistem upravljanja u zatvorenoj sprezi (eng. *feedback control system*). Regulator i objekat se nalaze u direktnoj putanji toka informacija (signala), a senzor je u povratnoj putanji (vezi). Izmjerena vrijednost izlaza objekta se poredi u tački sumiranja sa željenom vrijednošću. Razlika, ili greška, se vodi u regulator koji generiše upravljački signal koji djeluje na objekat dok se njegov izlaz ne izjednači sa željenom vrijednošću. Ovakav pristup se nekada naziva sistem upravljanja po grešci.

Sl. 1.9 ilustruje sistem upravljanja krilcem za mlazne avione velikih brzina.

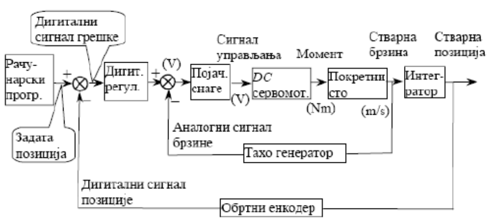


Slika 1.9.

Slika 1.10.



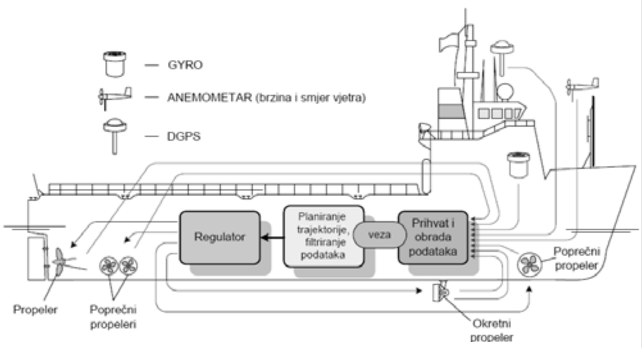
Slika 1.11.



Slika 1.12.

Slika 1.13.

Slika 1.14.



Slika 1.22

Upravljanje je dejstvo na sistem ili u sistemu usmjereno na postizanje određenog cilja.

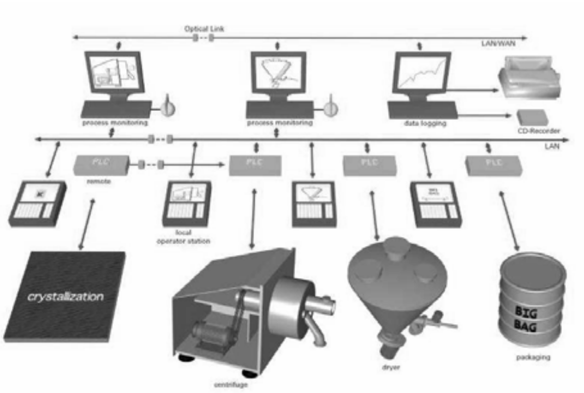
Ručno upravljanje je upravljanje koje zahtijeva direktno ili indirektno djelovanje čoveka na izvršni uređaj.

Prateće upravljanje je upravljanje sa povratnom spregom čiji je cilj mjerenje upravljane veličine tako da ona prati zadatu veličinu.

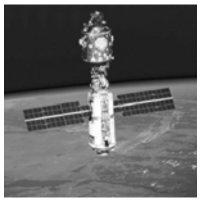
Programsko upravljanje je upravljanje koje se izvršava prema programu koji propisuje dejstva na sistem samo kao funkciju vremena.

Sekvencijalno upravljanje je upravljanje koje se izvršava prema redosledu programa koji određuje dejstvo na sistem po unapred određenom redosledu. Pri tome neka dejstva zavise od izvršenja prethodnih dejstava ili od ispunjenja određenih uslova.

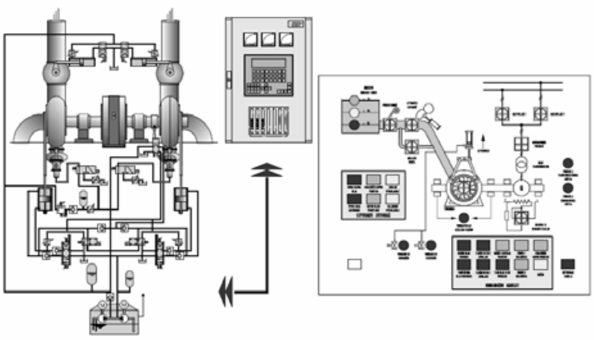
Neki primjeri tehničkih sistema



sistem automatizacije procesa



TEHNIČKI SISTEM - HIDROELEKTRANA

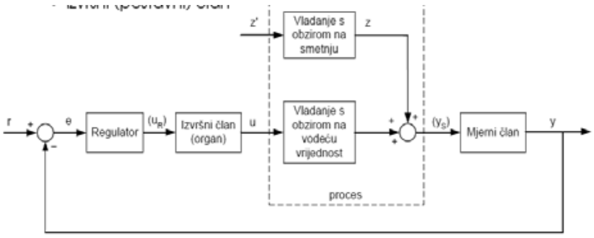


<u>Upravljanje sa povratnom spregom</u> je ono upravljanje koje, u prisustvu smetnji, teži da smanji razliku između izlaza sistema i zadatog ulaza. Pri tome, ovdje se radi o nepredvidivim smetnjama budući da je poznate smetnje uvijek moguće kompenzovati.

Osnovna struktura sistema upravljanja

Regulaciona petlja sadrži 4 glavna osnovna dijela:

- proces
- mjerni element
- regulator
- izvršni element



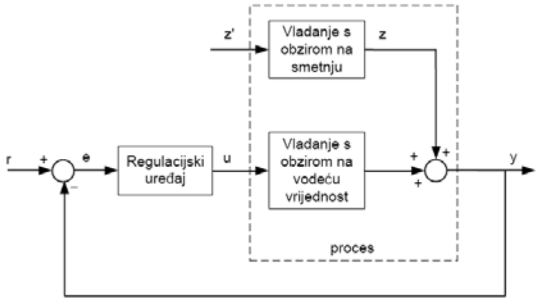
Važne veličine regulacione petlje

- *y* – regulisana veličina (stvarna vrijednost) (*engl.* Controlled variable)
- *r* ˆ= *w* – referentna veličina (referenca) (*engl.* reference value)
- *e* – regulaciono odstupanje (*engl.* control error)
- *u* – upravljačka, izvršna veličina (*engl.* manipulated variable)
- *z* – smetnja, poremećaj (*engl.* disturbance)

Povratna sprega – Mjerenje izlaza objekta upravljanja i njegovo vraćanje na ulaz sistema u regulator sa ciljem da se redukuje i dostigne zadata vrijednost zove se “zatvaranje konture”. Sistem u otvorenom nema povratne sprege. Obično se koristi negativna povratna sprega za stabilizaciju sistema. Ponekad, za pojačanja u konturi koristi se pozitivna povratna sprega, ali to vodi sistem u nestabilno stanje. Signal povratne sprege bitan je za sisteme automatskog upravljanja (SAU) i od njegove tačnosti zavisi tačnost održavanja izlazne veličine na zadatoj vrijednosti.

Pojednostavljena struktura sistema upravljanja

- Često nije moguće regulacionu petlju podijeliti u 4 navedena dijela, pa se koristi pojednostavljena blok-šema:



Regulator

• Suštinska je uloga regulatora da obrađuje regulaciono odstupanje:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

po određenom algoritmu (zakonu upravljanja):

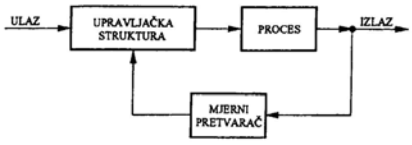
$$u = f\,(e(t))$$

djelujući preko izvršnog elementa na proces (zatvoreni tok signala).

- Smetnja je uticaj na proces ili upravljanje koji u opštem slučaju nije predvidiv osim na statički način. Sistem upravljanja kompenzuje takvu smetnju bilo njenim direktnim merenjem ili detektovanjem njenog uticaja na izlaz sistema redukujući njene efekte regulatorom ili aktuatorom.

- Aktuator je izvršni organ mehaničkog tipa. Izvršni mehanizam se obično sastoji iz mehaničkog uređaja kojim se mijenja upravljačka veličina i pogonskog uređaja koji mogu, ali ne moraju, biti izvedeni kao jedinstvena konstrukcijska celina. Ulaz u aktuator je signal iz regulatora, a izlaz pokreće izvršni organ.

- Izvršni organ je element direktne grane SAU kojim se neposredno mijenja izvršna veličina. Izvršni organ mijenja tok energije ili materijala kroz objekat upravljanja u cilju dostizanja određenih radnih stanja.



Sl. 1.8 Sistem upravljanja s povratnom spregom

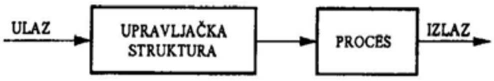
Prednost sistema s povratnom spregom je što ovi sistemi upravljanja koriste povratnu spregu koja omogućava da odziv sistema bude relativno neosjetljiv na eksterne smetnje i u izvjesnoj mjeri, na varijacije parametara sistema. Zbog toga, osim mjernog pretvarača, koji mora biti visoke tačnosti, ostali elementi sistema upravljanja mogu biti relativno manje tačnosti i jeftiniji, da se dobije dovoljno tačan izlaz. Ovo je nemoguće ostvariti korišćenjem sistema upravljanja bez povratne sprege.

SISTEM UPRAVLJANJA BEZ POVRATNE SPREGE

To je sistem upravljanja kod kojeg upravljačko dejstvo ne zavisi od izlazne varijable. Kod ovog sistema izlazna varijabla se ne mjeri i ne upoređuje sa ulaznom varijablom.

Praktičan primjer sistema bez povratne sprege je veš – mašina. Natapanje, pranje i cijeđenje u veš – mašini vrše se na vremenskoj osnovi. Mašina ne mjeri izlazni signal – čistoću u rublju koje pere.

U bilo kom sistemu upravljanja bez povratne sprege, izlazna varijabla ne upoređuje se sa referentnim ulazom, slika 1.7.



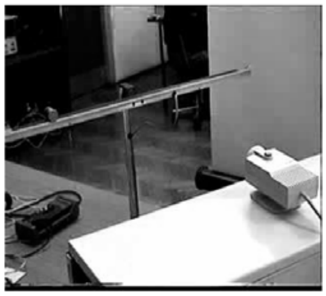
Sl. 1.7 Sistem upravljanja bez povratne sprege

Svakom referentnom ulazu odgovaraju fiksni radni uslovi. Radi toga, tačnost sistema zavisi od kalibracije. U prisustvu smetnje, ovaj sistem neće izvršiti postavljeni zadatak.

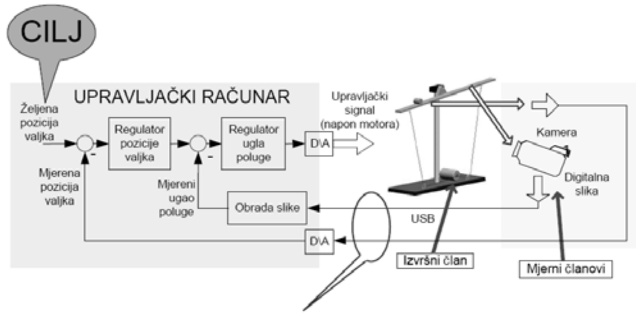
Sa gledišta stabilnosti, sisteme upravljanja bez povratne sprege lakše je sintetizovati jer je kod njih problem stabilnosti manje izražen.

Problem stabilnosti sistema upravljanja sa povratnom spregom mnogo je više izražen; težeći da se smanji greška, može doći do pojave oscilacija konstantne ili promjenljive amplitude.

- Cilj: Držati valjak u željenoj poziciji na klackalici!



- Ugradnja senzora

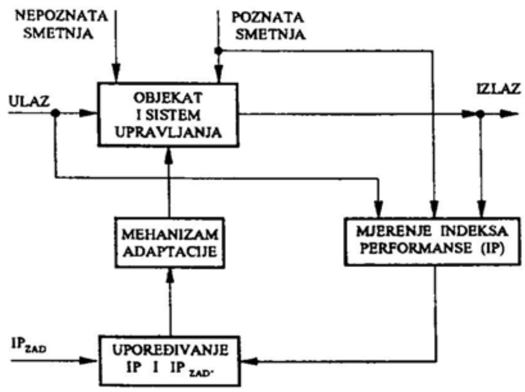


KAKO JE POSTIGNUT CILJ **PRIMJENOM NAČELA POVRATNE SPREGE**

ADAPTIVNI SISTEMI UPRAVLJANJA

Jedna od najčešće korišćenih definicija glasi:

Adaptivni sistem upravljanja određuje (mjeri) indeks performanse, korišćenjem ulaza, izlaza i stanja upravljanog sistema i na bazi upoređivanja vrijednosti indeksa performanse sa njegovom zadatom vrijednošću, mijenja parametre podesivog sistema ili generiše na ulazu upravljačke signale sa ciljem da indeks performanse održi na zadatoj vrijednosti ili u njenoj okolini.



Sl. 1.9 Adaptivni sistem upravljanja

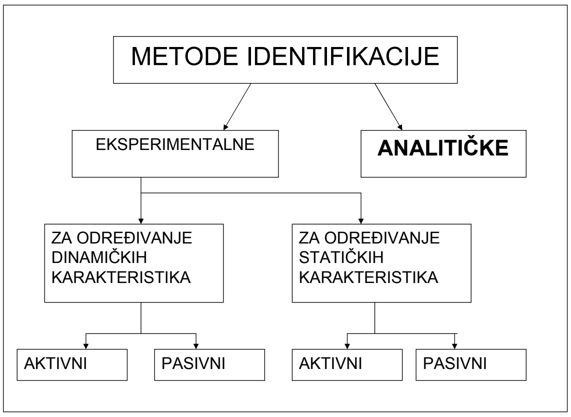
Dinamičke karakteristike većine sistema upravljanja nisu postojane iz više razloga, kao što je kvar komponenti sistema ili izmjena parametara i ambijentalnih uslova (npr. promjene u masi i atmosferskim uslovima u slučaju vasionske letjelice).

Mada su efekti određenih promjena na dinamičke karakteristike sistema upravljanja prigušeni uvođenjem povratne sprege, u slučaju značajnih promjena parametara sistema, da bi sistem zadovoljavajuće funkcionisao, on mora imati mogućnost adaptacije. Adaptacija sistema upravljanja podrazumjeva mogućnost samopodešavanja i modifikacije u skladu sa nepredvidivim promjenama parametara objekta upravljanja, ambijentalnih uslova ili strukture objekta. Dakle, sistemi upravljanja koji imaju takvu mogućnost adaptacije nazivaju se adaptivni sistemi upravljanja.

U adaptivnom sistemu upravljanja, dinamičke karakteristike upravljanog objekta moraju biti identifikovane u svakom trenutku vremena tako da je moguće podešavanje parametara upravljačke strukture (regulatora) s ciljem održavanja željene performanse. Adaptivni sistem upravljanja, saglasno prethodnoj definiciji, dat je na slici 1.9.

- Proces je progresivna neprekidna operacija koja sadrži niz kontrolisanih delovanja ili kretanja usmjerenih sistemski prema određenom rezultatu ili kraju. Svaka operacija koja treba da bude upravljana predstavlja proces.
- Proces je skup postupaka fizičkog ili hemijskog pretvaranja ili niza takvih pretvaranja.
- Transport materijala ili energije kao i prenos informacija mogu se razmatrati kao proces.

- Procesno upravljanje je automatsko upravljanje koje se primjenjuje za upravljanje tehnoloških procesa u procesnoj industriji. Upravljane varijable su najčešće temperatura, pritisak, protok, diferencijalni pritisak, pH vrijednost, koncentracija, nivo tečnosti, linearni pomak...



- Identifikacija objekta upravljanja ili sistema upravljanja znači rješavanje problema izgradnje matematičkog modela dinamičkih sistema bazirano na razmatranjima podataka o i iz sistema.
- Modeli mogu biti više ili manje formalne prirode, ali njihova osnovna karakteristika je da oni omogućavaju da se opservacije o njima organizuju i strukturiraju u neki skup podataka u vidu parametara ili stanja sistema.
- Cilj je da se iznesu osnovne metode i alati identifikacije objekta / procesa upravljanja kako bi se objekat upravljanja identifikovao (struktura, parametri, varijable stanja...), a za potrebe projektovanja SAU.

- Kada se identifikuje objekat upravljanja, njemu se pridružuju odgovarajući senzori i mjerni pretvarači varijabli stanja i smetnji i biraju se odgovarajući izvršni organi i aktuatori za promjenu upravljanih veličina.
- Upravljačka struktura se onda projektuje i sintetizuje tako da se zadovolje određene tehničke specifikacije i funkcionalne karakteristike.

- Jednom kada se identifikuje objekat upravljanja odaberu se senzori i aktuatori, jedini stepen slobode koji ostaje da se poprave performanse SAU, je na upravljačkoj strukturi ili regulatoru.
- Podešavanje i izbor parametara upravljanja obrađivaće se u kursu BRODSKA AUTOMATIKA II

MATEMATIČKI MODEL ELEMENATA I SAU

Klasične metode formalnog opisa linearnih sistema koje se najčešće koriste su:

metod funkcije prenosa,
metod impulsnog odziva,
blok dijagrami,
metod teorije grafova, i mnoge druge.

Opisivanje ovih sistema vrši se ulazno – izlaznim relacijama. Opisivanjem funkcijama prenosa, zanemaruje se postojanje početnih uslova. No i pored toga funkcije prenosa pogodne su za analizu u frekventnom domenu i za analizu stabilnosti sistema.

Alternativni metod opisivanja linearnih, nelineanih i nestacionarnih sistema je metod prostora stanja.

Svrha matematičkog modela (1)

• Matematički modeli su matematički objekti koji se koriste za opis raznorodnih procesa (sistema) čija se stanja vremenom mijenjaju

Primjeri matematičkih modela:
• modeli tehničkih sistema
• modeli za finansijska i ekonomska predviđanja
• modeli za medicinske dijagnoze
• ...

Glavna svrha modeliranja u automatici je:
• analiza sistema upravljanja
• sinteza sistema upravljanja

Za uspješno projektovanje sistema upravljanja (regulatora) i njegovu analizu i sintezu neophodno je dobro poznavanje ponašanja procesa kao dinamičkih sistema

• ANALIZA I SINTEZA SAU

• Pod analizom SAU podrazumijeva se postupak s kojim se određuju njegove bitne karakteristike ponašanja.
• Analizom se dolazi do odgovarajućih zaključaka u pogledu ponašanja sistema u stacionarnom i prelaznom režimu, te se na taj način utvrđuje da li je dinamičko ponašanje zadovoljavajuće ili nije.

- Pod <u>sintezom (ili projektovanjem)</u> SAU podrazumijeva se postupak ostvarivanja takvih dinamičkih i statičkih karakteristika sistema, koje pri zadatim ograničenjima na najbolji mogući način odgovaraju postavljenim zahtevima.
- Uvijek se teži da se postavljeni cilj kod sinteze realizuje na najjednostavniji način.

Dva pristupa posmatranju sistema

Ponašanje sistema može se posmatrati kroz dva pristupa:
• pristup koji posmatra unutrašnje djelovanje sistema
• pristup koji posmatra sistem spolja

• Matematički modeli zasnovani na prvom pristupu nazivaju se unutrašnjim modelima, modelima stanja ili modelima bijele kutije (engl. white box)
• u ovu kategoriju spadaju modeli prikazani pomoću diferencijalnih jednačina i modeli prikazani u prostoru stanja, dakle modeli u vremenskom području
• ovi modeli predstavljaju nasljeđe iz mehanike, povezano sa Johannesom Keplerom i Isaacom Newtonom

Dva pristupa posmatranju sistema

Ponašanje sistema može se posmatrati kroz dva pristupa:
• pristup koji posmatra unutrašnje djelovanje sistema
• pristup koji posmatra sistem spolja

• Matematički modeli zasnovani na drugom pristupu nazivaju se spoljašnjim modelima, ulazno-izlaznim modelima ili modelima crne kutije (engl. black box)

• u ovu kategoriju spadaju modeli prikazani pomoću prenosnih funkcija i modeli prikazani pomoću frekvencijskih karakteristika, dakle modeli u području kompleksne promjenljive odnosno u frekvencijskom području

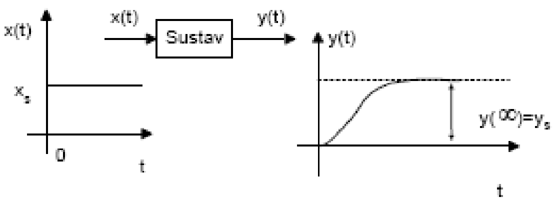
• ovi modeli predstavljaju nasleđe iz elektrotehnike

•Ponašanje procesa matematički se izražava matematičkim modelom:

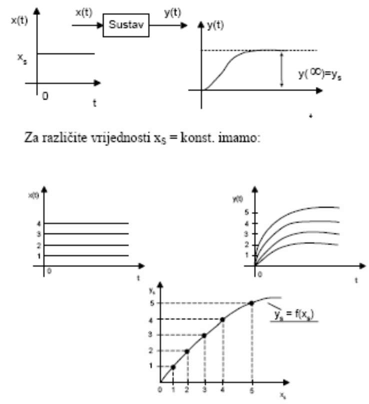
• stacioniranim - opisuje ponašanje sistema u stacionarnom (ustaljenom, ravnoteženom) stanju

• dinamičkim - opisuje ponašanje sistema pri prelazu iz jednog stanja u drugo stanje, tj. pri prijelazu iz jedne radne tačke u drugu; brzina prelaza zavisi od karakteristika sistema (broju i veličini skladišta energije) i o pobudnom signalu koji djeluje na ulaz procesa

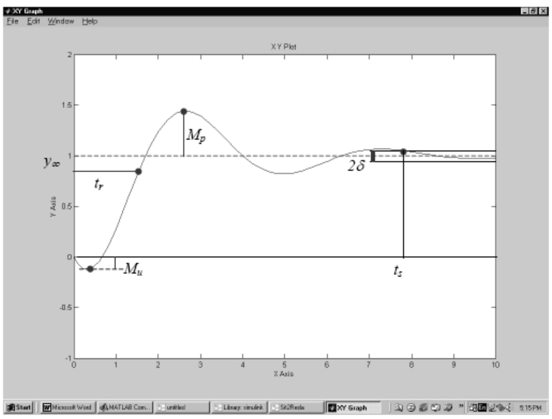
STATIČKA KARAKTERISTIKA



STATIČKA KARAKTERISTIKA



DINAMIČKA KARAKTERISTIKA



DINAMIČKA KARAKTERISTIKA

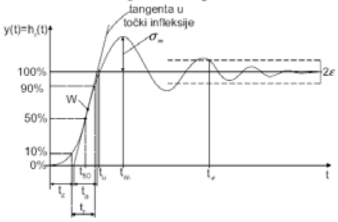
Vrijeme uspona tr je ono vrijeme koje protekne dok odskočni odziv prvi put dostigne vrijednost $k_r y_\infty$, gdje k_r varira između 0.9 i 1.

Preskok (eng. overshoot) Mp je maksimalna trenutna vrijednost za koju odskočni odziv prelazi svoju konačnu vrijednost.

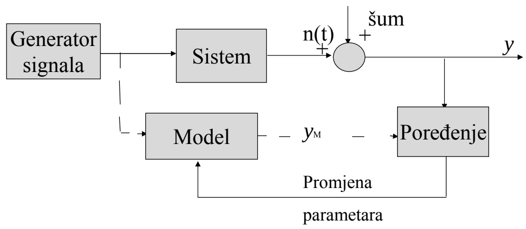
Podbačaj (eng. undershoot) Mu je maksimalna (apsolutna) vrijednost za koju odskočni odziv pada ispod nule (za koju se odskočni odziv mijenja u suprotnu stranu od y(∞)).

Vrijeme smirenja ts je vrijeme potrebno da odskočni odziv uđe i ostane u granicama ± δ oko svoje konačne vrijednosti. Ova devijacija δ se često izražava u postotcima od konačne vrijednosti (naprimjer, 1% do 5%).

- Za opis prijelazne funkcije $h_r(t)$ koriste se sljedeći pojmovi (neposredni pokazatelji kvalitete):
  - maksimalno nadvišenje σ_m (*engl.* peak, overshoot)
  - vrijeme prvog maksimuma t_m (*engl.* time to maximum overshoot)
  - vrijeme porasta t_r (*engl.* rise time)
  - vrijeme ustaljivanja t_ε (*engl.* settling time)



- Metode u vremenskom domenu



• Matematički modeli procesa (čest je sinonim: proces = sistem) mogu imati i širu primjenu, npr.:

• obuka operatera za vođenje složenih postrojenja (nuklearnih elektrana, brodova, letjelica) za što se koriste trenažeri zasnovani na matematičkim modelima procesa u postrojenjima

• nadzor i dijagnostika postrojenja i procesa (monitoring); monitoring je često sastavni dio savremenih rješenja sistema automatizacije složenih postrojenja i procesa

Nadalje, matematički modeli sistema mogu poslužiti i za:

• simulaciju hipotetičkih situacija u koje bi stvarni sistem bilo opasno dovesti ("eksperimentisanje" na matematičkom modelu, umjesto na stvarnom sistemu); matematički model je "surogat stvarnog sistema “

• predikciju (predviđanje) budućih stanja sistema (npr. sistema iz ekonomske sfere)

Složenost matematičkog modela

• Složenost matematičkog modela procesa zavisi od svrhe matematičkog modela

• Matematički modeli koji se koriste u svrhu sinteze i analize sistema upravljanja u pravilu su jednostavnije strukture (opisuju dominantna stanja sistema, a pri tome se zanemaruju nedominantna stanja sistema - govorimo o nemodeliranoj dinamici sistema)

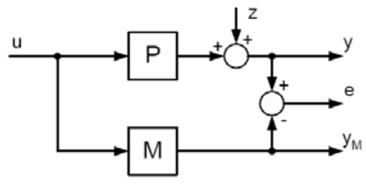
• Dakle, iz praktičnih razloga koriste se jednostavniji (redukovani) modeli procesa u svrhe analize i sinteze sistema upravljanja

• Modeli koji se koriste u svrhu simulacijskih istraživanja samih procesa u pravilu su složenije strukture

• Takođe su složeniji modeli koji se koriste u svrhu monitoringa

Tačnost matematičkog modela

• Greška matematičkog modela može se definisati na razne načine
• Ovdje je definisana kao odstupanje e izlaza matematičkog modela y_M od izlaza stvarnog sistema y



Slika 5.1: Odstupanje matematičkog modela

$$e = y - Mu$$

Neodređenost matematičkog modela (1)

• Usko povezano sa tačnošću modela definiše se i neodređenost (engl. uncertainty) matematičkog modela: neodređenost matematičkog modela sistema predstavlja bilo koje njegovo odstupanje od stvarnog sistema

• Neodređenosti mogu biti:

• **spoznajne neodređenosti** (engl. epistemic uncertainty) - posljedica su nepotpunog poznavanja zakonitosti koje važe za sistem ; dubljom analizom sistema ove se neodređenosti mogu smanjiti

• **prirodne neodređenosti** - posljedica su inherentne promjenjivosti sistema, a posebno su izražene u slučajevima gdje je čovjek dio sistema kao i u slučajevima modeliranja prirodnih (stohastičkih) pojava; ove se neodređenosti u principu ne mogu smanjiti

• Sa stajališta automatskog upravljanja pod pojmom neodređenosti najčešće se podrazumijeva modelska neodređenost, tj. neodređenost koja predstavlja razliku između realnog sistema i njegovog matematičkog modela

• Kod modelske neodređenosti razlikujemo:

• **strukturnu neodređenost** koja se odnosi na neodgovarajuću strukturu matematičkog modela sistema, a može biti uzrokovana:
  - • nepotpunim poznavanjem sistema (spoznajna neodređenost)
  - • pojednostavljenjem modela što može obuhvatiti: korišćenje koncentrisanih parametara umjesto raspodjeljenih, zanemarivanje visokofrekvencijskih modova sistema, linearizaciju nelinearnih sistema i slično

• **parametarsku neodređenost** koja se odnosi na nemogućnost tačnog određivanja parametara sistema odgovarajuće strukture, a to može biti posledica:
  - • nedovoljno informativnog skupa podataka na bazi kojeg se obavlja identifikacija sistema
  - • inherentne promjenjivosti parametara sistema

Struktura matematičkog modela

• Matematički modeli mogu se klasificirati prema strukturi na sljedeći način:
• **parametarski modeli** (modeli sa strukturom)
• **neparametarski modeli** (modeli bez strukture)

• **Parametarski modeli** predstavljaju se jednačinama, koje eksplicitno sadrže parametre (npr. diferencijalne jednačine n-tog reda, prenosne funkcije n-tog reda, gdje je n strukturni parametar modela kojim je određen red sistema)

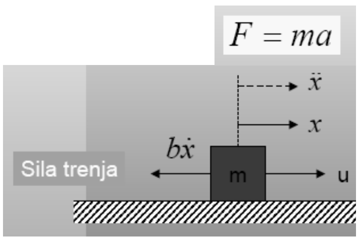
• **Neparametarski modeli** prikazuju zavisnost ulazne i izlazne veličine procesa u obliku tablica vrijednosti ili krivih (npr. težinske funkcije, prelazne funkcije u tabličnom ili grafičkom obliku, frekvencijske karakteristike); neparametarski modeli sadrže parametre implicitno

Opšti zahtjevi postavljeni prema matematičkim modelima procesa

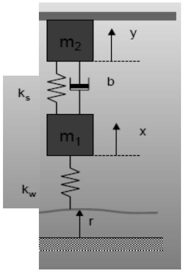
• **Odgovarajuća složenost** određena namjenom modela (opisuje bitna dinamička svojstva koja su relevantna za namjenu modela)
• **Štedljivost (engl. parsimony)** model treba biti štedljiv u parametrima (minimalni, ali zadovoljavajući broj parametara modela)
• **Fleksibilnost** model treba biti fleskibilan, tj. primjenljiv za opis ponašanja sistema u svim radnim režimima
• **Dobra numerička svojstva** model treba biti prikladan za računarske simulacije (memorijska i računska složenost)

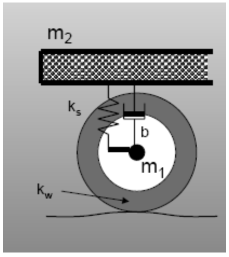
Modeliranje pomoću diferencijalnih jednačina (1)
• **Linearni sistemi s koncentrisanim parametrima** modeliraju se pomoću običnih **linearnih diferencijalnih jednačina**
• **Sistemi s raspodijeljenim parametrima** modeliraju se pomoću **parcijalnih diferencijalnih jednačina** (koje mogu biti linearne ili nelinearne, zavisno od toga da li je sistem linearan ili nelinearan)
• **Fizički zakoni** su polazište pri postavljanju matematičkog modela procesa (dinamičkog modela procesa)

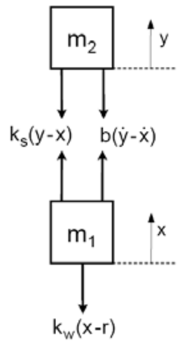
DINAMIKA MEHANIČKIH SISTEMA



$$u - b\dot{x} = m\ddot{x} \longrightarrow \ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} = \frac{u}{m} \longrightarrow \dot{v} + \frac{b}{m}v = \frac{u}{m}$$





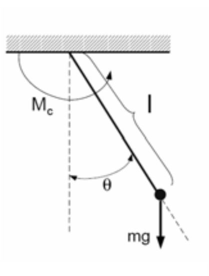


$$\begin{aligned} -k_s(y-x) - b(\dot{y}-\dot{x}) &= m_2\ddot{y} \\ b(\dot{y}-\dot{x}) + k_s(y-x) - k_w(x-r) &= m_1\ddot{x} \end{aligned}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{aligned} \ddot{y} + \frac{b}{m_2}(\dot{y}-\dot{x}) + \frac{k_s}{m_2}(y-x) &= 0 \\ \ddot{x} + \frac{b}{m_1}(\dot{x}-\dot{y}) + \frac{k_s}{m_1}(x-y) + \frac{k_w}{m_1} &= \frac{k_w}{m_1}r \end{aligned}$$

KLATNO



$$M_c - mgl\sin\theta = ml^2\ddot{\theta}$$

$$\Downarrow$$

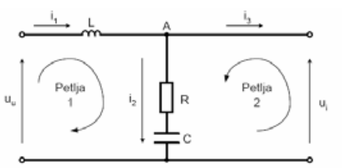
$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\sin\theta = \frac{M_c}{ml^2}$$

- Nelinearni matematički model

$$\sin\theta \cong \theta \quad \Rightarrow \quad \ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = \frac{M_c}{ml^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

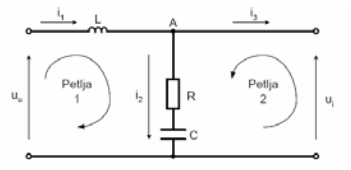
ELEKTRIČNI SISTEM



$$u_u(t) = L\frac{di_1}{dt} + Ri_2 + \frac{1}{C}\int_0^t i_2(\tau)d\tau + u_C(0)$$

$$u_i(t) = Ri_2 + \frac{1}{C}\int_0^t i_2(\tau)d\tau + u_C(0)$$

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0;\ i_3 = 0 \Rightarrow i_1 = i_2 = i$$



$$T_2^2\frac{d^2u_i}{dt^2}+T_1\frac{du_i}{dt}+u_i=T_1\frac{du_u}{dt}+u_u$$

gdje je $T_1=RC$ i $T_2=\sqrt{LC}$

POSTUPAK PROJEKTOVANJA UPRAVLJAČKOG SISTEMA

1. Ustanovljavanje cilja upravljanja
2. Identifikacija upravljačkih varijabli
3. Određivanje specifikacije varijabli
4. Ustanovljavanje konfiguracije sistema i identifikacija aktuatora
5. Određivanje modela procesa, aktuatora i senzora
6. Opis regulatora i selekcija ključnih parametara za podešavanje
7. Optimizacija parametara i analiza performansi

u slučaju da performanse ne odgovaraju zadatoj specifikaciji proces projektovanja se ponavlja od izbora aktuatora

u slučaju da performanse odgovaraju zadatoj specifikaciji proces projektovanja se finalizuje

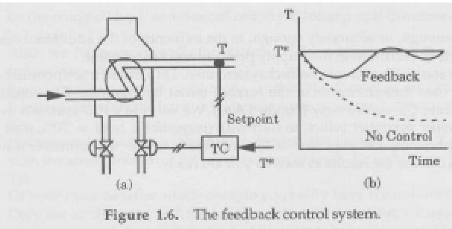


Figure 1.6. The feedback control system.

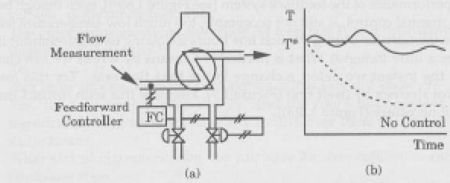


Figure 1.7. The feedforward control system.

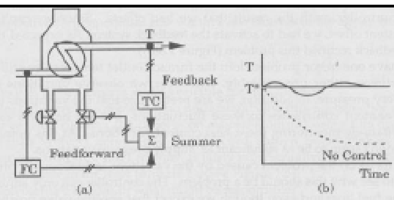


Figure 1.8. The feedforward/feedback control system.

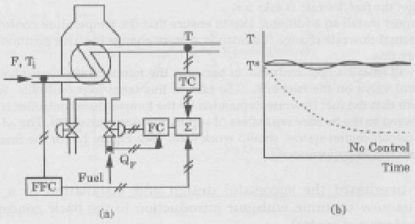


Figure 1.9. The final control system (feedforward/feedback-plus-cascade).

Projektovanje upravljanja

- Povećanjem pouzdanog opisa sistema povećava se osjetljivost na
  - mjerljivi šum
  - nesavršenost aktuatora
  - nesavršenost modela
- Projektovanje upravljanja predstavlja projektovanje regulatora koji će uspjeti da uspostavi ravnotežu između performansi sistema i robustnosti

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

Model objekta upravljanja je zadovoljavajući ako su reakcije modela i procesa bliske za ista vanjska djelovanja. Vanjska djelovanja (ulazi) su upravljački signali i signali poremećaja.
Poželjno je da se bliskost ponašanja modela i objekta analizira i ispita za proizvoljne vrijednosti ovih signala. Međutim ovakvo poređenje nije praktično izvodljivo. Iz tog razloga su od interesa takozvani *standardni signali*. Oni trebaju da zadovolje više uslova od kojih su neki međusobno kontradiktorni:

• Da se mogu predstaviti jednostavnim funkcijama vremena (time je jednostavnija analiza i realizacija takvog djelovanja na objekat)

• Da su dovoljno kompleksni da se na osnovu odziva objekta na takvo djelovanje može zaključiti o njegovom ponašanju za druge oblike ulaza

• Oblika bliskog signalima koji djeluju na objekat u njegovom nominalnom režimu

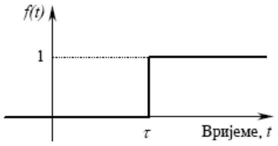
STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

- Signali koji zadovoljavaju gornje uslove su:
  - Signal jediničnog skoka
  - Impulsna funkcija
  - Linearna (rampa) funkcja
  - Sinusna funkcija.
- Navedeni signali su najčešći i posebno će biti razmatrani.

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

Сл. 2.1 Функција јединичног скока

$$f(t)=\begin{cases}1: & t \succ 0\\ 0: & t \prec 0\end{cases}$$



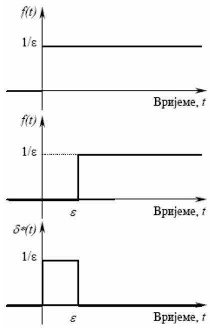
Сл. 2.2 Функција јединичног скока закашњена за τ

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

$$\delta(t)=\lim_{\varepsilon\to 0}\delta^*(t)=\begin{cases}0; & t\neq 0\\ \infty; & t=0\end{cases}$$

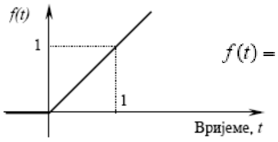
$$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)dt=1.$$

Сл. 2.4 Графички приказ импулсне функције



Сл. 2.3 Апроксимација импулсне функције

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

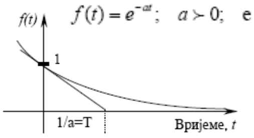


Сл.2.5 Графички приказ линеарне функције

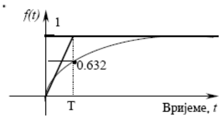
$$f(t)=\begin{cases}t; & t \succ 0\\ 0; & t \prec 0\end{cases}$$

$$f(t)=e^{-at};\quad a\succ 0;\quad e\approx 2.718.$$

$$f(t)=(1-e^{-t/T})\,1(t);\quad T\succ 0$$



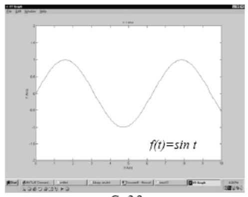
Сл.2.6 Експоненцијална функција



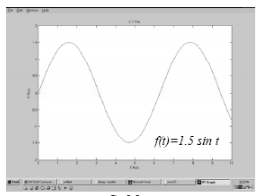
Сл.2.7 Експоненцијална функција

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

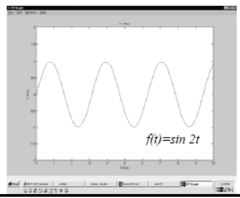
$$f(t)=\begin{cases}\sin\omega t; & t\succ 0\\ 0; & t\prec 0\end{cases}$$

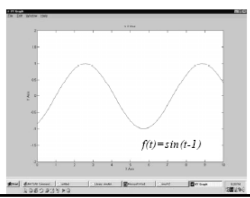


Сл.2.8



Сл.2.9





- Pierre-Simon Laplace (1749-1827)
- Laplace proved the stability of the solar system. He also put the theory of mathematical probability on a sound footing
- *"All the effects of Nature are only the mathematical consequences of a small number of immutable laws."*
- Studied, but did not fully developed the Laplace transform

- Oliver Heaviside (1850-1925)
- English electrical engineer who adapted the use of complex numbers for the study of electrical circuits
- Developed techniques for applying Laplace transform for solving differential equations

STANDARDNI SIGNALI I PRIMJENA LAPLASOVE TRANSFORMACIJE

Problemi analize i sinteze svakog dinamičkog elementa/ sistema redovno su vezani za rješavanje diferencijalnih jednačina. Jedan od najjednostavnijih postupaka rješavanja tih jednačina je vezan za primjenu Laplasove transformacije. Iz tog razloga će se kratko dati teoretske osnove ove transformacije i neke jednostavnije primjene.
Def.
Za posmatrani kontinualan signal (funkciju) x(t), ($0 \le t < \infty$), Laplasova transformacija je definisana sa

$$\boxed{X_+(s) = L_+\{x(t)\} \overset{def}{=} \int_{0^+}^{\infty} x(t)e^{-st}dt}$$

Laplaceova transformacija

$$X(s) \stackrel{\Delta}{=} \int_{0^-}^{\infty} x(t)e^{-st}dt$$

	Original	s-funkcija
Dirac impuls	$\delta(t)$	1
Skok	1	$\frac{1}{s}$
Rampa	t	$\frac{1}{s^2}$
Eksponenc.	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
Sinusoida	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$

Svojstva Laplaceove transformacije

Superpozicija $L\{\alpha f_1(t) + \beta f_2(t)\} = \alpha F_1(s) + \beta F_2(s)$

Skaliranje $L\{\alpha f(t)\} = \alpha F(s)$

Vremensko kašnjenje $L\{f(t-\lambda)\} = e^{-\lambda s}F(s)$

Derivacija $L\left\{\frac{df}{dt}\right\} = sF(s) - f(0^-)$

$$L\left\{\frac{d^2 f}{dt^2}\right\} = s^2F(s) - sf(0^-) - \dot{f}(0^-)$$

Integracija $L\left\{\int_0^t f(\xi)d\xi\right\} = \frac{1}{s}F(s)$

Item no.	Theorem	Name
1.	$\mathscr{L}[f(t)] = F(s) = \int_{0-}^{\infty} f(t)e^{-st}dt$	Definition
2.	$\mathscr{L}[kf(t)] = kF(s)$	Linearity theorem
3.	$\mathscr{L}[f_1(t)+f_2(t)] = F_1(s)+F_2(s)$	Linearity theorem
4.	$\mathscr{L}[e^{-at}f(t)] = F(s+a)$	Frequency shift theorem
5.	$\mathscr{L}[f(t-T)] = e^{-sT}F(s)$	Time shift theorem
6.	$\mathscr{L}[f(at)] = \frac{1}{a}F\left(\frac{s}{a}\right)$	Scaling theorem
7.	$\mathscr{L}\left[\frac{df}{dt}\right] = sF(s) - f(0-)$	Differentiation theorem
8.	$\mathscr{L}\left[\frac{d^2f}{dt^2}\right] = s^2F(s) - sf(0-) - \dot{f}(0-)$	Differentiation theorem
9.	$\mathscr{L}\left[\frac{d^nf}{dt^n}\right] = s^nF(s) - \sum_{k=1}^{n} s^{n-k}f^{k-1}(0-)$	Differentiation theorem
10.	$\mathscr{L}\left[\int_{0-}^{t} f(\tau)\,d\tau\right] = \frac{F(s)}{s}$	Integration theorem
11.	$f(\infty) = \lim_{s\to 0} sF(s)$	Final value theorem[1]
12.	$f(0+) = \lim_{s\to\infty} sF(s)$	Initial value theorem[2]

- Neka je original x(t) kontinualna funkcija po vremenu za $t>0^+$, sa skokovitim diskontinuitetom u koordinatnom početku, $x(0^-)\neq x(0^+)$ te sa $X_-(s)$ koja je racionalna funkcija po kompleksnoj varijabli s.Tada će teorema o početnoj vrijednosti dati:

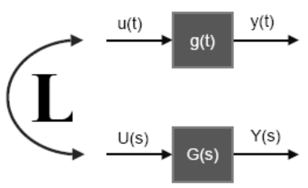
$$\lim_{s\to\infty} sX\_(s) = x(0^+) \neq x(0^-)$$

Primjer: $u(t) = AS(t) = \begin{cases} A \text{ za } t \geq 0 \\ 0 \text{ za } t < 0 \end{cases}$ $U(s) = \int_{0^-}^{\infty} AS(t)e^{-st}dt = -A\frac{1}{s}e^{-st}\Big|_{0^-}^{\infty} = \frac{A}{s}$

$$u(0^+) = \lim_{s\to\infty} sU\_(s) = \lim_{s\to\infty} \cancel{s}\cdot\frac{A}{\cancel{s}} = A \neq u(0^-) = 0$$

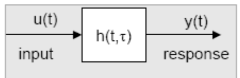
Konvolucija $\left.\begin{array}{l} L\{f_1(t)\} = F_1(s) \\ L\{f_2(t)\} = F_2(s) \end{array}\right\}$

$$L\{f_1(t) * f_2(t)\} = F_1(s) \cdot F_2(s)$$



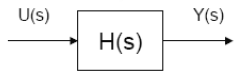
$$\boxed{y(t) = u(t) * g(t)}$$

$$\boxed{Y(s) = G(s) \cdot U(s)}$$



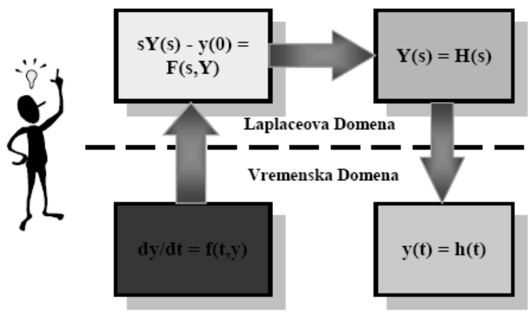
$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau) h(t-\tau) d\tau \qquad Y(s) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) e^{-st} dt$$

Laplace

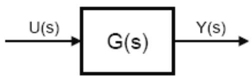


$$\boxed{Y(s) = H(s) \cdot U(s)}$$

Rješavanje ODE pomoću Laplaceove transformacije



Laplaceova transformacija $X(s) \overset{\Delta}{=} \int_{0^-}^{\infty} x(t) e^{-st} dt$



Dinamički sustav $\dot{y}(t) + a_0 y(t) = u(t)$

$$sY(s) - y(0^-) + a_0 Y(s) = U(s)$$

Akko je $y(0^-) = 0$

Funkcija prijenosa $\boxed{G(s) = \frac{Y_{zs}(s)}{U(s)} = \frac{1}{s + a_0}}$

Razvoj u parcijalne razlomke

$$G(s)\overset{\Delta}{=}\frac{Y_{zs}(s)}{U(s)}=\frac{B(s)}{A(s)}=\frac{b_m s^m+b_{m-1}s^{m-1}+\cdots+b_0}{s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_0}$$

$$G(s)=\frac{B(s)}{A(s)}=K\frac{\prod_{i=1}^{m}(s-z_i)}{\prod_{i=1}^{n}(s-p_i)}$$

z_i nula

p_i polova

a) Polovi jednostruki, realni i različiti

$$G(s)=\frac{K_{p_1}}{s-p_1}+\frac{K_{p_2}}{s-p_2}+\cdots+\frac{K_{p_n}}{s-p_n}$$

a) Polovi jednostruki, realni i različiti

$$G(s)=\frac{K_{p_1}}{s-p_1}+\frac{K_{p_2}}{s-p_2}+\cdots+\frac{K_{p_n}}{s-p_n}$$

Original:

$$g(t)=K_{p_1}e^{-p_1t}+K_{p_2}e^{-p_2t}+\cdots+K_{p_n}e^{-p_nt}\quad za\ t\ge 0$$

Primjer (polovi jednostruki različiti i realni)

$$G(s)=\frac{4s+9}{s^2+5s+6}=\frac{4s+9}{(s+2)(s+3)}=\frac{K_{-2}}{s+2}+\frac{K_{-3}}{s+3}$$

$$K_{-2}=\left[\frac{4s+9}{\cancel{(s+2)}(s+3)}\cancel{(s+2)}\right]_{s=-2}=\frac{4(-2)+9}{(-2+3)}=1$$

$$K_{-3}=\left[\frac{4s+9}{(s+2)\cancel{(s+3)}}\cancel{(s+3)}\right]_{s=-3}=\frac{4(-3)+9}{(-3+2)}=3$$

Reziduumi

Original:

$$g(t)=K_{-2}e^{-2t}+K_{-3}e^{-3t}=e^{-2t}+3e^{-3t}\ \ ;\ t\ge 0$$

Razvoj u parcijalne razlomke – kompleksni korjeni

Primjer: $Y(s)=\frac{s+1}{s(s^2+s+1)}$

Polovi su:

$p_{1,2}=-\frac{1}{2}\pm j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$p_3=0$

$$Y(s)=\frac{K_0}{s}+\frac{\alpha_1 s+\alpha_2}{s^2+s+1}$$

$K_0 = 1$

$$Y(s)-\frac{1}{s}=\frac{s+1}{s^2+s+1}-\frac{1}{s}=\frac{-s}{s^2+s+1}$$

$$\frac{-s}{s^2+s+1}=\frac{\alpha_1 s+\alpha_2}{s^2+s+1}\Rightarrow \alpha_1=-1\ \ ;\ \alpha_2=0$$

$\zeta = 0.5$; $\omega_n = 1\ [s^{-1}]$ i $\omega_d = \omega_n\sqrt{(1-\zeta^2)} = 0.866\ [s^{-1}]$

$$y(t)=1-e^{-0.5t}\cos 0.866t+0.5772e^{-0.5t}\sin 0.866t\ \ ;\ t\ge 0$$

Razvoj u parcijalne razlomke - višestruki korjeni

Primjer:

$$G(s)=\frac{s+3}{(s+1)(s+2)^2}$$

$$G(s)=\frac{K_{-1}}{s+1}+\frac{K_1}{s+2}+\frac{K_2}{(s+2)^2}$$

$$K_{-1}=\frac{(-1)+3}{(-1+2)^2}=2$$

$$K_2=\frac{(-2)+3}{(-2+1)}=-1$$

$$K_1=\frac{d}{ds}\left[\frac{s+3}{(s+1)}\right]_{s=-2}=-2$$

$$G(s)=\frac{2}{s+1}-\frac{2}{s+2}-\frac{1}{(s+2)^2}$$

$$g(t)=2e^{-t}-2e^{-2t}-te^{-2t}$$

Laplaceova transformacija u rješavanju diferencijalne jednadžbe

$$\ddot{y}(t)+y(t)=0 \quad \text{uz} \quad y(0^-)=\alpha \quad \text{i} \quad \dot{y}(0^-)=\beta$$

$$s^2Y(s)-\alpha s-\beta+Y(s)=0$$

$$(s^2+1)Y(s)=\alpha s+\beta$$

$$Y_{zi}(s)=\frac{\alpha s}{s^2+1}+\frac{\beta}{s^2+1}$$

$$y_{zi}(t)=[\alpha\cos t+\beta\sin t]$$

Pobuđeni LTI sistem

$$\ddot{y}(t)+5\dot{y}(t)+4y(t)=3S(t)\ ;\ uz \quad y(0^-)=\alpha \quad \text{i} \quad \dot{y}(0^-)=\beta$$

$$s^2Y(s)-\alpha s-\beta+5[sY(s)-\alpha]+4Y(s)=\frac{3}{s}$$

$$Y(s)=\underbrace{\frac{s(\alpha s+\beta+5\alpha)}{s(s+1)(s+4)}}_{Y_{zi}(s)}+\underbrace{\frac{3}{s(s+1)(s+4)}}_{Y_{zs}(s)}$$

$$Y(s)=\underbrace{\frac{\frac{3}{4}}{s}}_{Y_p}\underbrace{-\frac{\frac{3-\beta-4\alpha}{3}}{s+1}+\frac{\frac{3-4\alpha-4\beta}{12}}{s+4}}_{Y_h}$$

$$y(t)=\frac{3}{4}+\frac{-3+\beta+4\alpha}{3}e^{-t}+\frac{3-4\alpha-4\beta}{12}e^{-4t}$$

Pobuđeni LTI sistem – pobuda se prigušuje

$$\ddot{y}(t)+5\dot{y}(t)+4y(t)=u(t) \quad \text{uz} \quad y(0^-)=0,\ \dot{y}(0^-)=0$$

pobuda: $u(t)=2e^{-2t}S(t)$

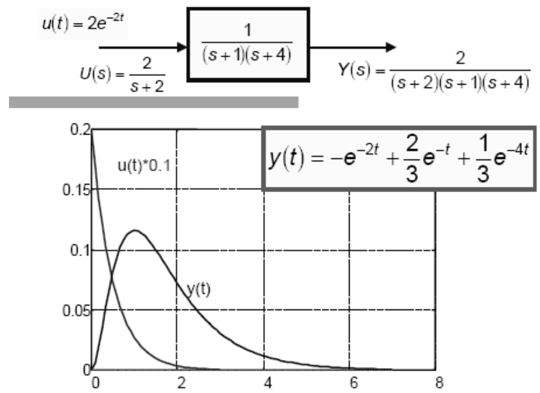
$$s^2Y(s)+5sY(s)+4Y(s)=\frac{2}{s+2}$$

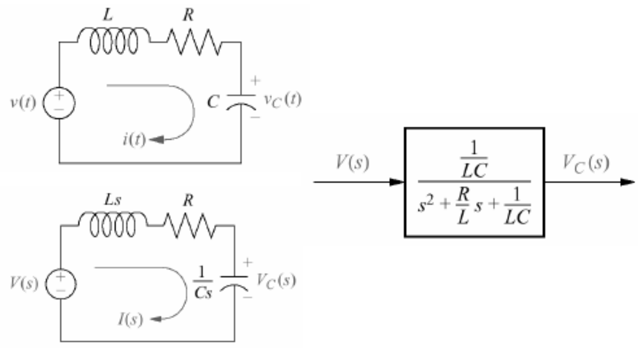
$$Y_{zs}(s)=\frac{2}{(s+2)(s+1)(s+4)}$$

$$Y_{zs}(s)=\underbrace{-\frac{1}{s+2}}_{\text{od pobude}}+\underbrace{\frac{\frac{2}{3}}{s+1}+\frac{\frac{1}{3}}{s+4}}_{\text{prirodni modovi}}$$

$$y_{zs}(t)=\underbrace{\overbrace{-e^{-2t}}^{\text{od pobude}}+\overbrace{\frac{2}{3}e^{-t}+\frac{1}{3}e^{-4t}}^{\text{prirodni modovi}}}_{\text{prolazan (tranzijentni) odziv}}$$

Pobuđeni LTI sistem – pobuda se prigušuje





Zašto formalni prikaz SAU?

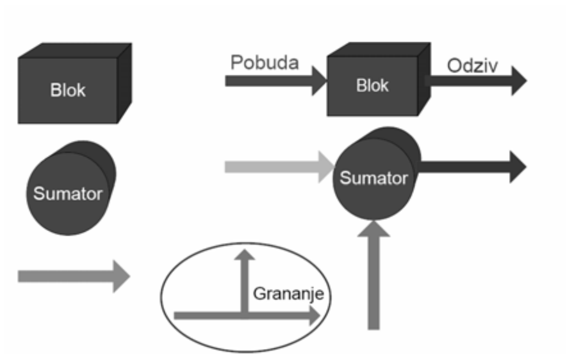
- Sistemi automatskog upravljanja iz raznih tehničkih oblasti često su veliki i složeni sa stajališta razumijevanja, analize i projektovanja

- Zahvaljujući konceptu povratne veze i uvođenjem formalnih (apstraktnih) prikaza pomoću prikladnih šema, složeni sistemi iz raznih tehničkih oblasti mogu se posmatrati na jedinstven način

- Češće korišteni šematski prikaz je blokovski prikaz (dijagram) koji prikazuje tok signala u sistemu, zanemarujući tehnološke detalje sistema

- Blok dijagramom prikazuje se uzročno-posljedična zavisnost u elementima sistema i sistema u cjelini (pobuda →odziv)

Osnovne komponente blok dijagrama



Šta prikazuje blok dijagram?

• Blok dijagram prikazuje tok signala (u smjeru strelice) kroz sistem te međusobnu vezu komponenata koje grade sistem.

• Grafički simboli blok dijagrama omogućuju da se opišu komponente sistema na nedvosmislen i jednostavan način

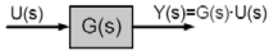
• Prikaz djelovanja sistema pomoću blok dijagrama predstavlja prvi korak u matematičkoj analizi sistema upravljanja

• U automatici se blok dijagram koristi za prikaz sistema odnosno komponenata koji grade sistem upravljanja, te signala koji prolaze kroz sistem (tok informacija)

• Blok dijagram je apstraktni prikaz sistema koji ne prikazuje fizičku strukturu sistema, energetske izvore i energetske tokove kao ni tokove materijala

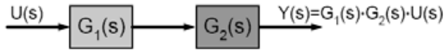
Načini povezivanja blokova (1)

- Blok

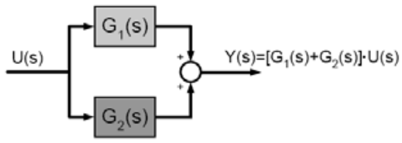


G(s) je operator koji preslikava pobude na odzive

- Serijska veza

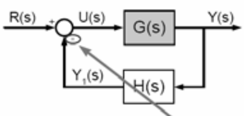


- Paralelna veza



Načini povezivanja blokova (2)

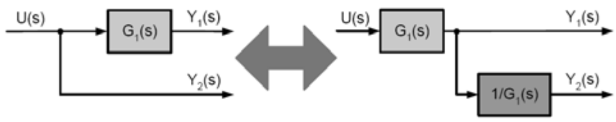
- Povratna veza

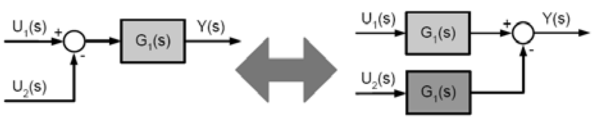


$$U(s) = R(s) - Y_1(s) \quad (4\text{-}1)$$
$$Y_1(s) = G(s) \cdot H(s) \cdot U(s) \quad (4\text{-}2)$$
$$Y(s) = G(s) \cdot U(s) \quad (4\text{-}3)$$

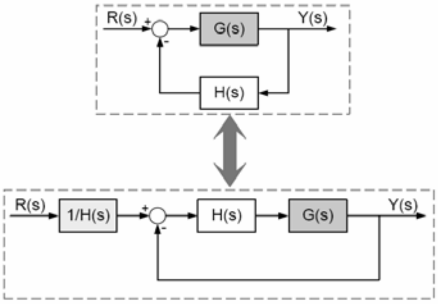
$$Y = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)} R(s) \quad (4\text{-}4)$$

Blokovski diagram - algebra (1)





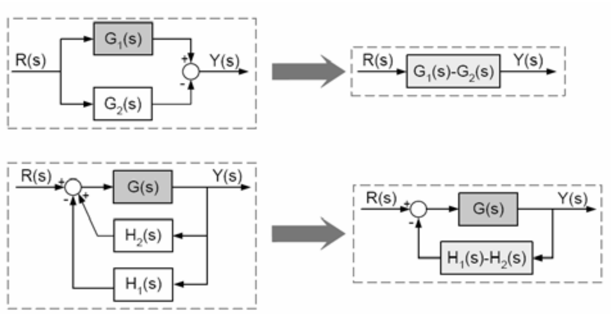
- Svođenje na jediničnu povratnu vezu



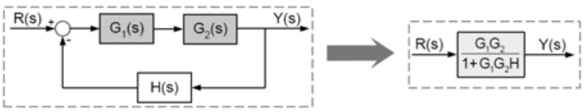
$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

REDUKCIJA BLOK DIJAGRAMA

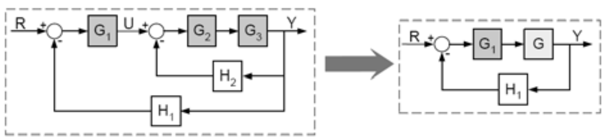


REDUKCIJA BLOK DIJAGRAMA



$$G_{cl}(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} \qquad (4\text{-}5)$$

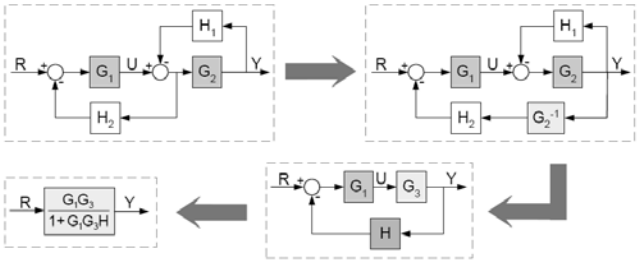
REDUKCIJA UNUTRAŠNJIH PETLJI



$$G = \frac{G_2G_3}{1 + G_2G_3H_2} \qquad (4\text{-}6)$$

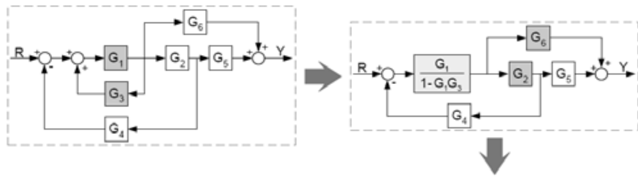
$$G_{cl} = \frac{Y}{R} = \frac{G_1G_2G_3}{1 + G_2G_3H_2 + G_1G_2G_3H_1} \qquad (4\text{-}7)$$

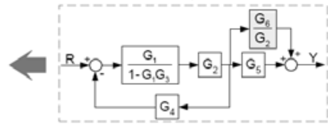
Primjer 4.1



$$G_3 = \frac{Y}{U} = \frac{G_2}{1 + G_2 H_1}, \quad H = \frac{H_2}{G_2}$$

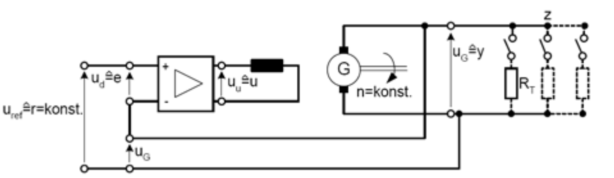
Primjer 4.2





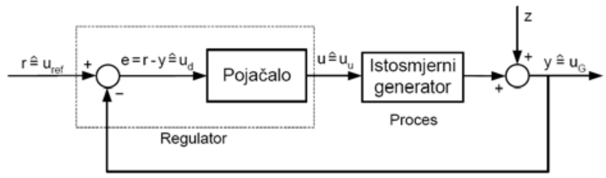
$$\frac{Y}{R} = \frac{\frac{G_1 G_2}{1 - G_1 G_3}}{1 + \frac{G_1 G_2 G_4}{1 - G_1 G_3}} \left(G_5 + \frac{G_6}{G_2} \right) = \frac{G_1 G_2 G_5 + G_1 G_6}{1 - G_1 G_3 + G_1 G_2 G_4}$$

Primjer 4.3: Blok prikaz sistema upravljanja naponom jednosmjernog generatora (1)



Jednosmjerni generator pogonjen motorom s konstantnom brzinom obrtanja (na slici pogon nije prikazan)

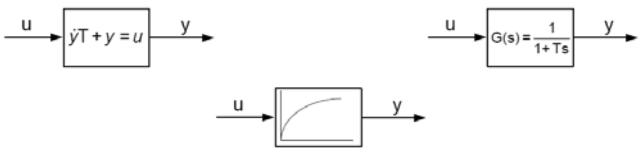
- Regulisana veličina y: napon generatora u_G
- Poremećajna veličina z: nastaje uslijed promjene opterećenja generatora (što je prikazano omskim otporima R_T, koji mijenjaju potrošače)



Opis blokova

• Za simulaciju sistema na računaru svaki je blok potrebno strukturno opisati

• Uobičajeni opisi blokova ilustrovani su na primjeru sistema (elementa) prvog reda čije je dinamičko ponašanje prikazano diferencijalnom jednačinom, prelaznom funkcijom i prenosnom funkcijom:

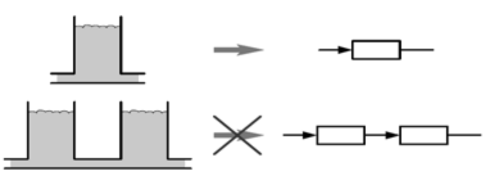


Dobre strane i mane blokovskog prikaza sistema

• Sistemi upravljanja iz različitih područja prikazani blokovski imaju isti oblik što je veoma važno sa stajališta primjene jedinstvenih metoda analize i sinteze sistema upravljanja

• Blokovski prikaz pretpostavlja jednosmjerni tok informacija u sistemu (uzročna zavisnost); za korektan blokovski prikaz fizičkog sistema potrebno je poznavanje fizičkih zakonitosti sistema

Primjer 4.4: Spregnuti rezeorvari tečnosti spojeni u kaskadu
• Ne mogu se prikazati serijskim spojem dva bloka, jer nivo drugog rezeorvara utiče na nivo prvog rezervoara (interakcija) te je narušena jednosmjernost toka informacija, odnosno uzročna zavisnost
• U tom i sličnim sluščajevima potrebno je fizički sistem (podssistem) prikazati jedinstvenim blokom.



Zaključak

• Blok, sumator i linija sa strelicom osnovni su elementi blok dijagrama

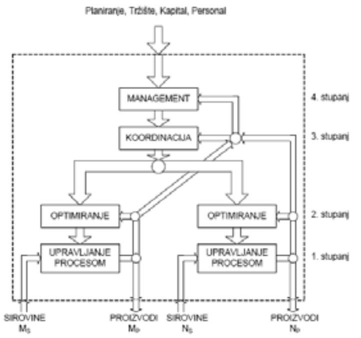
• Blok dijagram nam pomaže da lakše odredimo prenosnu funkciju zatvorenog kruga složene strukture

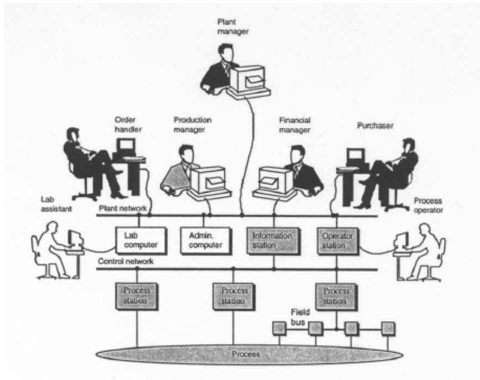
• Blok dijagram prikazuje samo prolaz informacije kroz sistem

• Prolaz energije i/ili materije ne prikazuje se blok dijagramom

Savremeni sistemi automatizacije procesa

• Hijerarhijski strukturirani sistemi sa više nivoa





Primjer strukture sistema upravljanja procesom

• Postoji jaka simbioza između upravljanja i računarstva. Računari su integralni dijelovi regulatora. Računari i simulacije se široko koriste u projektovanju i ispitivanju sistema upravljanja

• Primjena rašunara za upravljanje sistemima, tj. upravljanje u stvarnom vremenu (*engl*. embeded computers) postavlja posebnezahtjeve arhitekture računara i njegove programske podrške.

• Posebno su strogi zahtjevi u odnosu na operativni sistem koji mora osigurati brzi odziv na vanjske događaje

• Pri realizaciji sistema upravljanja potrebno je razumijevanje algoritama upravljanja i softvera

• Računarska simulacija važna je faza u razvoju sistema upravljanja – provjera funkcionalnosti postrojenja u raznim radnim režimima (ove simulacije zahtijevaju odgovarajuće matematičke modele procesa)

• Postoje komercijalno raspoloživi specijalizovani programski paketi za simulaciju specifičnih postrojenja – simulatori (za brodove, vozila, avione, vjetroturbine, nuklearne elektrane...)

• Razvoj sistema upravljanja značajno se može pospješiti korišćenjem simulatora (engl. Hardware In the Loop – HIL)

• Internet, kao široko rasprostranjena robusna komunikaciona mreža, predstavlja vrlo složeni distribuirani sistem sastavljen od velikog broja čvorova (router) i veza (link) čija se funkcionalnost zasniva na mehanizmima automatskog upravljanja

Što je automatika danas?

Automatsko upravljanje
+
(Procesno) računarstvo
+
Komunikacione tehnologije

Sinergija automatike (Control), računarstva (Computing) i komunikacija (Communication): C3 složeni međusobno povezani sistem

⇩

AUTOMATIKA