

Ovaj dokument predstavlja kratke upute za prvu vježbu iz kolegija Praktikum iz vođenja procesa, i sadrži repetitorij osnovnih matematičkih relacija potrebnih za realizaciju lab. vježbe, kao i upute za izradu modela u Simulink-u. Više se za potrebe laboratorijskih vježbi neće koristiti VisSim, kako je licenca koju posjedujemo poprilično stara (verzija VisSim FAP z 1998). Licencu za MATLAB, kao i za paket Simulink imaju svi studenti FESB-a, a instalacija MATLAB-a sa svim paketima se može skinuti sa stranica MathWorks

<https://www.mathworks.com>

### Proračuni

Prijenosna funkcija sustava 2. reda (DC motor) je opisana sa

$$W(s) = \frac{u(t)}{\Theta(t)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2s\zeta\omega_n + \omega_n^2}$$

Maksimalni prebačaj se računa iz jednadžbe

$$M_p = e^{-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

$\zeta$  se računa iz zadanog prebačaja, i uvrštava u proračun (prijenosnu funkciju 2. reda)

Iz  $\omega_n^2$  se računa zadani P

### Ustaljeno stanje se računa

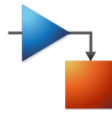
$$y_{t \rightarrow \infty} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot R(s) \cdot W(s)$$

Pri čemu je  $R(s)$  ulazni signal, a  $G(s)$  prijenosna funkcija direktne grane,  $W(s)$  prijenosna funkcija zatvorene regulacijske petlje

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

## Simulacija i model

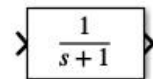
Simulacijski model se izrađuje u alatu **Simulink (MATLAB)**.



**Simulink** se pokreće klikom na ikonicu u samom sučelju MATLAB-a.

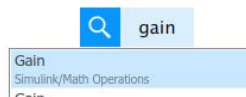
Otvora se novi prazan (Blank) model.

Kada se otvori model u izborniku **View -> Library Browser** se otvara novi prozor sa komponentama koje ćemo koristiti u simulaciji. Najvažnije komponente se nalaze u bibliotekama **Continuous**, **Sinks**, **Sources**, **Math operations** i **Discontinuities**.



Model započinjemo tako što dodajemo blok **Transfer Fcn** iz biblioteke **Continuous** u koji se upisuju vrijednosti prijenosne funkcije (**Numerator Coefficients** i **Denominator Coefficients**)

Komponente se u model mogu dodavati tako da se napravi dvostruki klik (lijevi) na prazno mjesto u modelu, nakon čeka se u ponuđenu tražilicu unosi naziv željene komponente. Primjerice za blok

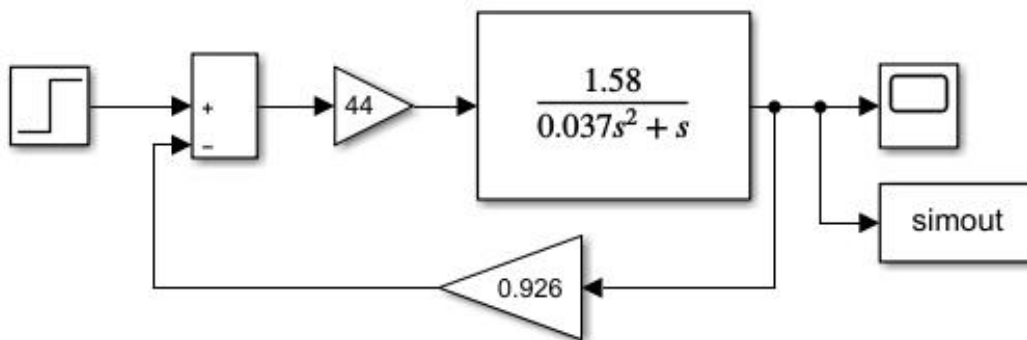


pojačanja se upiše **Gain** potom se klikne na željeni element iz ponuđenog



izbornika, nakon čeka se željeni blok doda u model

Dodati sve elemente prema slici iz zadatka, zatvoriti motor u regulacijsku petlju. Rezultat bi treba izgledati kao na slici



Elementi koji su dodani u model:

- **Sources -> Step** za pobudu
- **Sinks -> Scope** za prikaz rezultata (osciloskop)
- **Sinks -> To Workspace** za prebacivanje rezultat u Workspace MATLAB-a
- **Math operations -> Sum** za sumator

Rotacija elemenata se vrši tako da se element označi, te se prečacem **CTRL + R** rotira za 90° (dvije povezane rotacije za 180°). Povezivanje komponenti se vrši tako da se linija povuče od izlaza jednog bloka do ulaza drugog bloka, ili se klikne na ponuđenu plavu liniju koju sam Simulink ponudi za spajanje susjednih komponenti.

Oblik bloka **Sum** se može izmijeniti u kvadratni, tako da se dvoklikom na sam blok promjeni **Icon Shape**. Broj i predznak ulaza se mijenja u izborniku **List of signs**. U bloku **Step** promijenite **step time** u 0, kako bi pobuda bila aktivna od prvog uzorka ( $t=0$ ). U nekim situacijama, kada vrijednost upisna u blok fizički ne stane u sam blok (bude napisana kraća oznaka -- K-- ), sam blok se treba povećati tako da se označi blok, i pomicanjem kvadratića na njegovim rubovima poveća blok.

U izborniku **Simulation -> Model Configuration Parameters** se treba odabrati vrijeme simulacije (Stop time na 5 s), i odabrati fiksni korak simulacije (**Solver Selection -> Fixed step, Solver details -> Fixed-step size 0.001 s**)

Nakon simulacije (klikom na ikonicu **Run**), zbog dodanog bloka **to Workspace** u samom workspace-u MATLAB-a se dobiva **simout** struktura koja sadrži

- **simout.Time** vremenske uzorke
- **simout.Data** izlazni signal

Plot se može napraviti naredbom

**plot(simout.Time,simout.Data)**

koji u potpunosti odgovara prikazanom na osciloskopu modela (**Scope**)

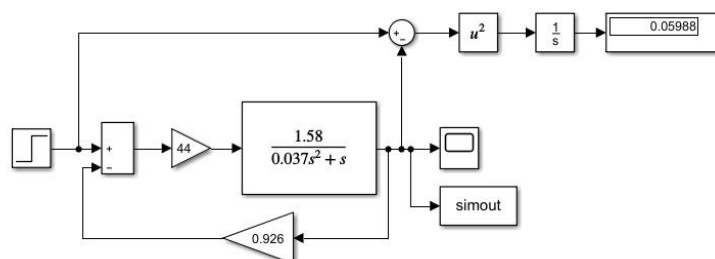
Dodatna prednost je što se korištenjem standardnih MATLAB naredbi snimljeni odziv može analizirati, primjerice:

- **simout.Data(10)** ispiše 10. uzorak odziva
- **max(simout.Data)** ispiše najveću vrijednost odziva
- **Tp\_uzorak=find(simout.Data==max(simout.Data))** pronađe uzorak u kojem ne nastupi najveći uzorak
- **Tp=simout.time(Tp\_uzorak)** napiše vrijeme najvećeg uzorka
- **ustaljeno=simout.Data(end)** napiše vrijednost posljednjeg uzorka, ustaljeno stanje

*Razmislite kako bi u MATLAB-u izračunali  $M_p$  i  $y_{ust}$  ustaljeno stanje zadanog odziva.*

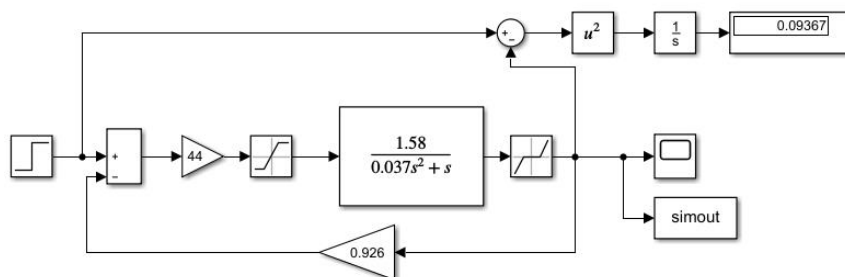
Integral kvadrata pogreške je signal  $\int_0^{\infty} e^2(t)dt$ . Kako naš sustav posjeduje pojačanje u povratnoj grani,

signal nakon sumatora nije greška koja nas zanima, već je moramo sami „izvući“ na način kako je prikazano na slici (ulazna pobuda – izlaz sustava), i koristeći se blokovima **Sum**, **Square**, **Integrator** i **Display** za izračun IKP i prikaz rezultata.



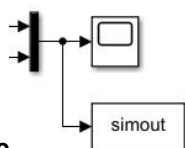
U nastavku vježbe se na postojeći model na zadana mjesta (čvorove) dodaju razne nelinearnosti, kao što su zasićenje pojačala (**Saturation**) i mrtvo pojas motora (**Dead zone**)

Ovako prerađeni model sa svim nelinearnostima izgleda kao na slici



Izražava se želja da se jednostavno mogu usporediti signali dvaju različitih sustava na jednoj slici. To se može napraviti tako da se cijeli model kopira i zalijepi ispod originalnog (dupliciranje modela), na drugom modelu se izvrše izmjene (P regulator, dodavanje nelinearnosti i sl.)

Dodaje se blok **Mux** (mutiplexer, na njega staviti 2 ulaza) te se izlaz bloka dovodi na **Scope** i / ili **To**



**Workspace**

U Worksace matlaba se sada nalaze oba odziva, pri čemu je **simout.Time** vremenski uzorci za oba odziva, dok je **simout.Data(:,1)** predstavlja prvi odziv i **simout.Data(:,2)** predstavlja drugi odziv

U MATLAB-u se oba signala crtaju na način

- **plot(simout.Time,simout.Data(:,1),'b')** % za crtanje prvog signala u plavoj boji
- **hold on** % zaustavljanje brisanja grafa
- **plot(simout.Time,simout.Data(:,2),'r')** % crtanje drugog signala u crvenoj boji

Sada se na zajedničkom prozoru mogu usporediti oba signala, odnosno u ovom konkretnom slučaju utjecaj dodavanje nelinearnosti na odziv sustava

