Međuispit

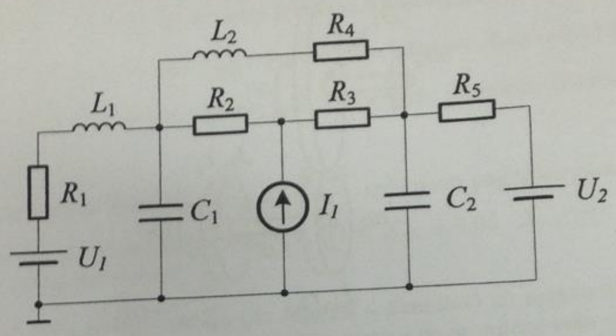
27. studenog 2015.

Ime i Prezime: [redacted] **Matični broj:** [redacted]

Napomena: Svaki zadatak potrebno je započeti rješavati na posebnoj stranici, a sve listove numerirati i posložiti. Potpisani list sa zadacima potrebno je obavezno vratiti. Zadaci koji neće biti riješeni uredno i pregledno neće se uzeti u obzir kod ocjenjivanja.

1. zadatak (5 bodova)

Za električnu shemu prikazanu na slici 1 nacrtajte pripadni bond graf. Numerirajte svaki bond i pridružite mu crticu kauzalnosti tako da se dobije integralno ponašanje na I i C elementima. Nije dozvoljeno transformirati električnu shemu.



Slika 1: Električna shema

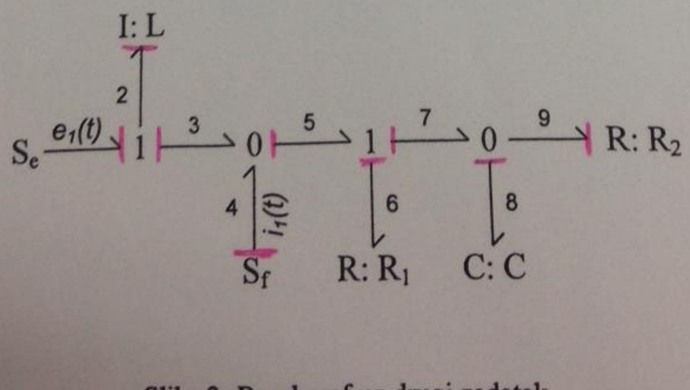
2. zadatak (5 bodova)

Zadatke a) i b) rješavajte na papiru sa zadacima. Zadatak c) rješavajte na posebnom listu papira.

a) (*0.5 boda*) Dopunite bond graf na slici 2 pridruživanjem crtica kauzalnosti tako da se dobije integralno ponašanje na I i C elementima.

b) (*1 bod*) Navedite koje su varijable stanja u sustavu i koje je njihovo fizikalno značenje. [redacted]

c) (*3.5 boda*) Opišite sustav u prostoru stanja iz bond grafa sa slike 2. Ulazi u sustav su napon $e_1(t)$ i struja $i_1(t)$. Izlaz iz sustava je napon na otporniku R_2.



Slika 2: Bond graf uz drugi zadatak.

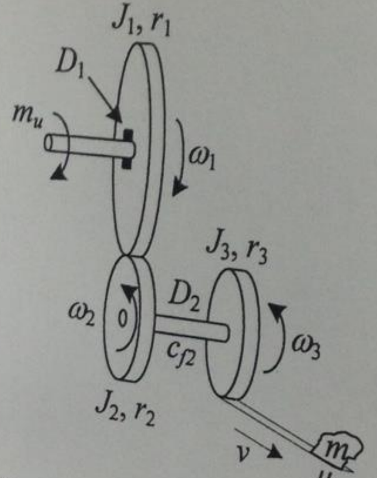
3. zadatak (10 bodova)

Zadan je rotacijski sustav prikazan na slici 3.

Ulazna veličina u sustav je moment m_u. Osovina između pogonskog stroja koji predaje ulazni moment sustavu prve rotacijske mase je savršeno kruta (ne dolazi do nikakvog savijanja na njoj). No, trenje u ležajevima na prvoj masi preko kojih je osovina spojena na prvu masu nije zanemarivo. Moguće ga je okarakterizirati kao viskozno trenje s koeficijentom prigušenja D_1.

Prva i druga masa su u kontaktu koji je idealan, tj. bez proklizavanja i trenja. Druga i treća rotacijska masa povezane su elastičnom osovinom s koeficijentom elastičnosti c_{f2}, koju dodatno karakterizira prigušenje u materijalu D_2.

Tangencijalno je na treću masu spojena zupčasta letva zanemarive mase koja se giba linearnom brzinom v. Trenje j... u kontaktu treće mase i letve zanemarivo, a proklizavanja nema. Na kraju letve nalazi se teret mase m. Koeficijen... trenja između letve i podloge iznosi μ.



Slika 3: Rotacijski sustav s tarnim prijenosom i zupčastom letvom.

Za rotacijski sustav zadan slikom 3:

a) (*4 boda*) Napišite diferencijalne jednadžbe koje opisuju dinamičko ponašanje sustava u obliku:

$$\frac{d\omega_i}{dt} = f_i\left(m_u, \omega_1, \omega_2, \omega_3\right).$$

Napomena: Ne moraju u svakoj jednadžbi u funkciji f_i biti prisutne sve varijable kao u gornjem izrazu!

b) (*3 boda*) Nacrtajte bond graf sustava, označite ga prema pravilima i pridružite crtice kauzalnosti. Na bond grafu označite brzine w_1, w_2, w_3 i v.

c) (*3 boda*) Nacrtajte simulacijsku shemu sustava za Simulink. Dozvoljeni blokovi su integrator, blok s pojačanjem, sumator i izvor jedinične skokovite funkcije.

1.)

4. zadatak (10 bodova)

Zadan je sustav protoka tekućine prema slici 4. Tlak P_u predstavlja nadtlak prema atmosferskom tlaku, gubici u cijevima su zanemarivi, brzina tekućine u spremnicima zanemariva je u odnosu na brzinu tekućine u cijevima. Sva strujanja su laminarna.

Spremnik tekućine je oblika kugle (vidi sliku 4) polumjera $R = 3$ m. Na vrhu spremnika nalazi se otvor za prozračivanje. U spremnik na donjem lijevom kraju ulazi tekućina kroz regulacijski ventil. Protok se regulira preko otvorenosti ventila x_v. Spremnik se prazni pomoću crpke s linearnom ovisnošću protoka o brzini vrtnje crpke.

Radna točka određena je ulaznim veličinama nadtlaka, otvora ventila i brzine vrtnje crpke: $P_{u0} = 1$ bar, $X_{v0} = 5$ cm i $\Omega_{c0} = 150$ okr/min. Zadano je: konstanta ventila $K_v = 0.04$ m^3/(cm·min·$\sqrt{\text{Pa}}$), konstanta crpke $K_c = 0.05$ m^3/rad, $g = 9.81$ m/s^2 i $\rho = 1000$ kg/m^3.

Potrebno je:

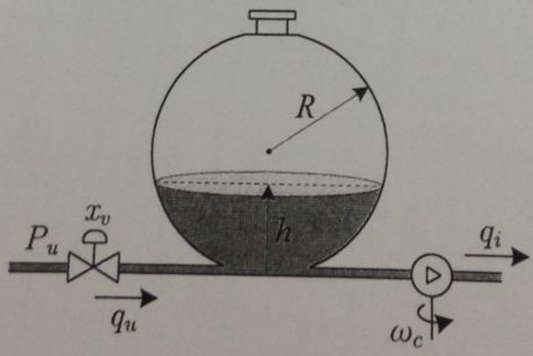
a) (*3 boda*) Odrediti nelinearni matematički model promjene visine u spremniku. Pretpostavlja se da tekućina uvijek struji od ulaza prema izlazu, te da će visina tekućine u spremniku h uvijek biti u intervalu $\langle 0, 2R \rangle$.

b) (*1 bod*) Odrediti iznose volumnih protoka Q_{u0} i Q_{i0} te visine tekućine H_0 u radnoj točki.

c) (*2 boda*) Odrediti linearni model sustava u radnoj točki (prijenosne funkcije). Ulazne veličine su x_v, P_u i ω_c, a izlazna veličina je h.

d) (*2 boda*) Na temelju prijenosne funkcije $G(s) = \dfrac{H(s)}{X_v(s)}$ izračunati pogrešku linearnog modela u odnosu na nelinearni model u stacionarnom stanju na pobudu $x_v(t) = X_{v0} + 0.05 \cdot X_{v0}\,\mathrm{S}(t - 1000\ \mathrm{s})$. Koliko približno traje prijelazna pojava promjene visine?

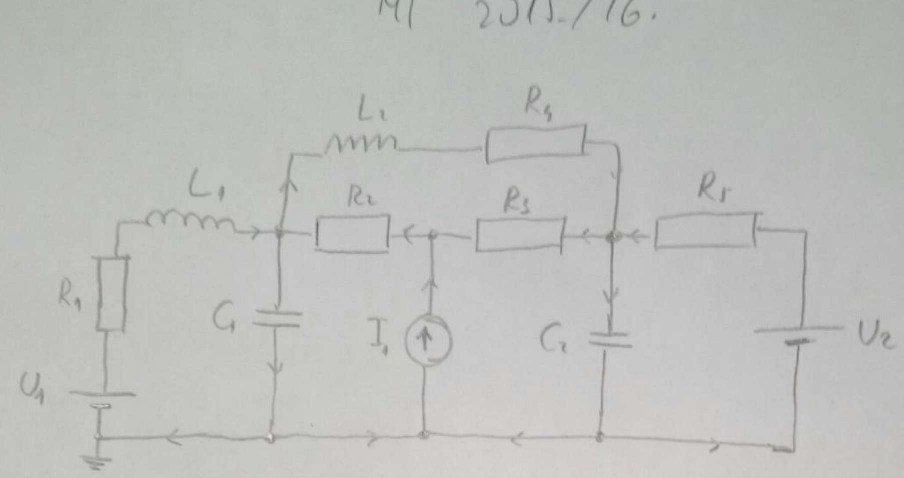
e) (*2 boda*) Nacrtati blokovsku shemu sustava (za *Matlab – Simulink*) za usporedbu odziva visine tekućine u spremniku između nelinearnog i lineariziranog modela sustava na promjene **svih** ulaznih veličina. Dozvoljeno je koristiti blok `MATLAB Function`. U tom slučaju potrebno je napisati m-funkciju koju se misli pozivati.



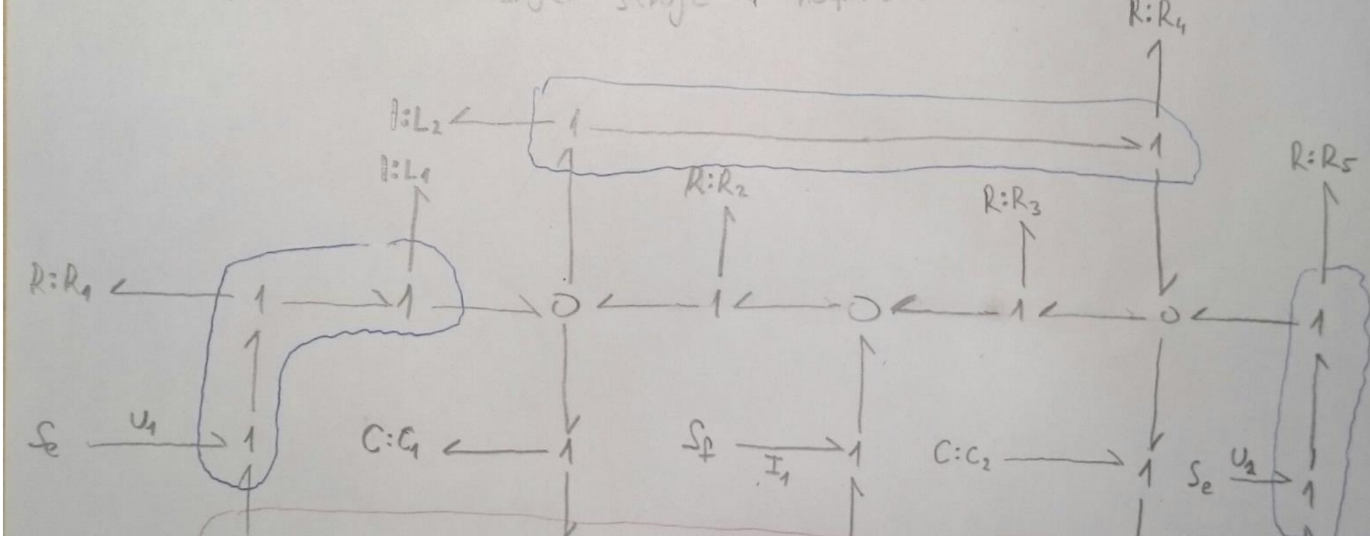
Slika 4: Sustav protoka u četvrtom zadatku.

MI 2015/16.

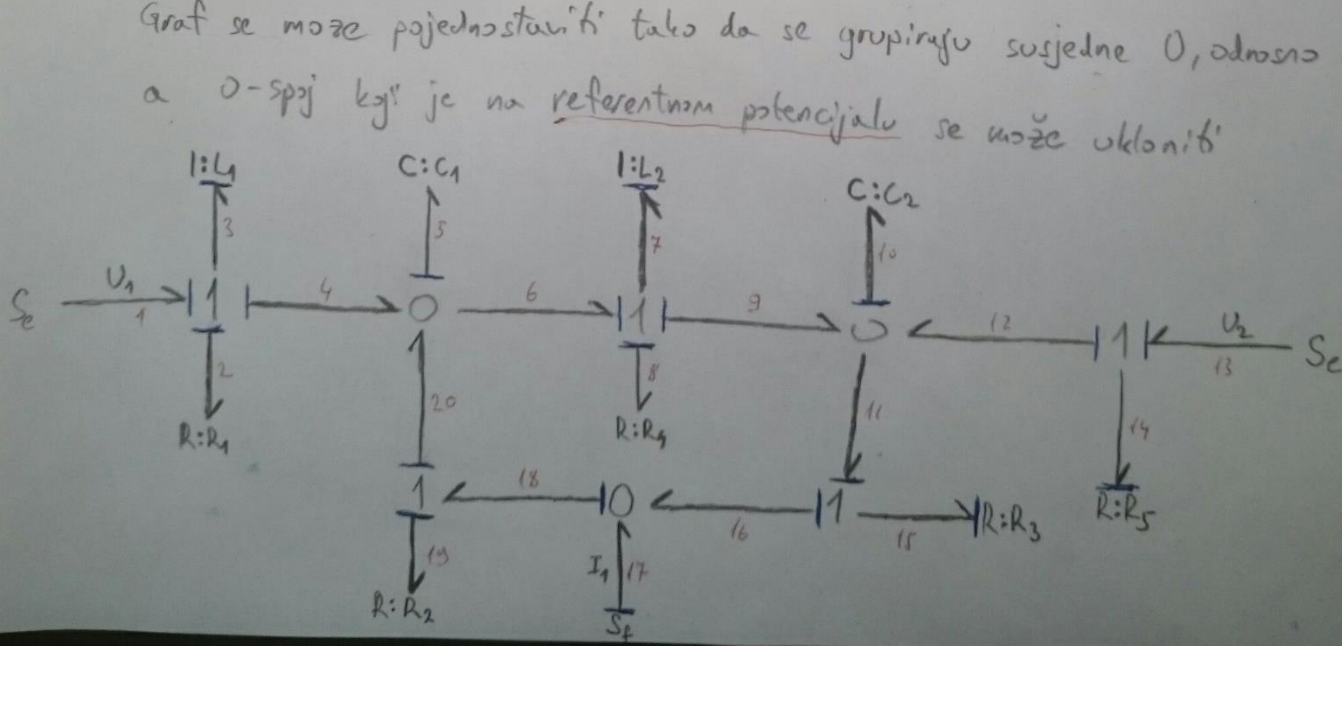
1.



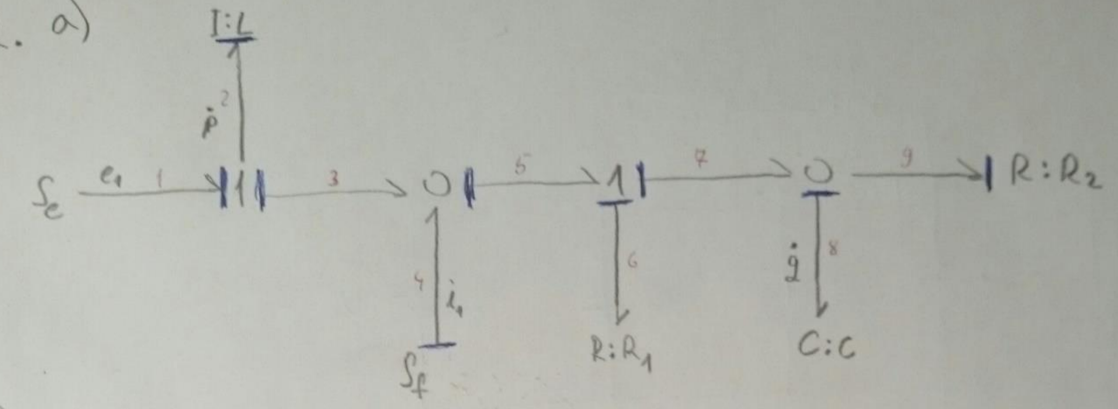
Bond graf dobije se zamjenom svih čvorova sa 0-spojevima, a elemenata sa 1-spojevima. Pri tome je potrebno paziti na referentni smjer struje i napona:



Graf se može pojednostaviti tako da se grupiraju susjedne 0, odnosno 1, a 0-spoj koji je na referentnom potencijalu se može ukloniti



2. a)



b)

Varijable stanja su:

- $p = \int e_2\,dt$ – integral napona na induktivitetu L
- $q = \int f_8\,dt$ – integral struje kroz kapacitet C

c) $\dot{p} = e_2$

$\dot{q} = f_8$

0-spoj: napon je isti

$e_3 = e_4 = e_5$,

$e_7 = e_8 = e_9$

1-spoj: tok je isti:

$f_1 = f_2 = f_3$

$f_5 = f_6 = f_7$

Jednadžbe elemenata:

$f_9 = \frac{e_9}{R_2}$

$e_8 = \frac{q}{C}$

$e_6 = R_1 \cdot f_6$

$f_2 = \frac{p}{L}$

Zbroj tokova na 0-spoju je ∅:

$$f_7 = f_8 + f_9 = \dot{q} + \frac{e_9}{R_2} = \dot{q} + \frac{e_8}{R_2} = \dot{q} + \frac{q}{R_2 C} = f_5$$

Zbroj napona na 1-spoju je ∅:

$$e_5 = e_6 + e_7 = R_1 \cdot f_5 + e_8$$

$$e_5 = R_1 \dot{q} + \frac{R_1}{R_2 C} q + \frac{q}{C} = e_3$$

0-spoj:

$$f_3 = f_5 - f_4 = \dot{q} + \frac{q}{R_2 C} - i_1 = f_2$$

$$\frac{p}{L} = \dot{q} + \frac{q}{R_2 C} - i_1$$

1-spoj:

$$e_1 = e_2 + e_3 = \dot{p} + R_1 \dot{q} + \frac{R_1}{R_2 C} q + \frac{q}{C} = \dot{p} + \frac{R_1}{L} p + R_1 i_1$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} + B \cdot \begin{bmatrix} e_1 \\ i_1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L} & 0 \\ \frac{1}{L} & \frac{-1}{R_2 C} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & -R_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Ekvivalentni moment tromosti za J_1 i J_2:

$$J_{1e} = J_1 + J_{2e}$$

$$\frac{J_2 \omega_2^2}{2} = \frac{J_{2e}\omega_1^2}{2} \Rightarrow J_{2e} = J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = J_2 \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$\boxed{J_{1e} = J_1 + J_2\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}$$

Ekvivalentni moment za J_3 i m:

$$J_{3e} = J_3 + J_{me}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{J_{me}\omega_3^2}{2} \Rightarrow J_{me} = m \cdot \left(\frac{v}{\omega_3}\right)^2 = m r_3^2$$

$$\boxed{J_{3e} = J_3 + m r_3^2}$$

Momenti koji djeluju na prvoj osovini: M_u i M_1

$$\boxed{M_1 = D_1 \omega_1}$$

Momenti na drugoj osovini:

$$\boxed{M_2 = D_2(\omega_2 - \omega_3) + C_{f_2}\int(\omega_2 - \omega_3)dt}$$

Sila trenja:

$$\boxed{F_{tr} = \mu m g}$$

Diferencijalne jednadžbe:

$$J_{1e}\dot{\omega}_1 = M_u - M_1 - M_{2e}$$

$$J_{3e}\dot{\omega}_3 = M_2 - \boxed{M_{tr}}$$

$$\omega_2 = \frac{r_1}{r_2}\omega_1$$

$$V = r_2 \cdot \omega_3$$

ekvivalentni moment na prvoj osovini:

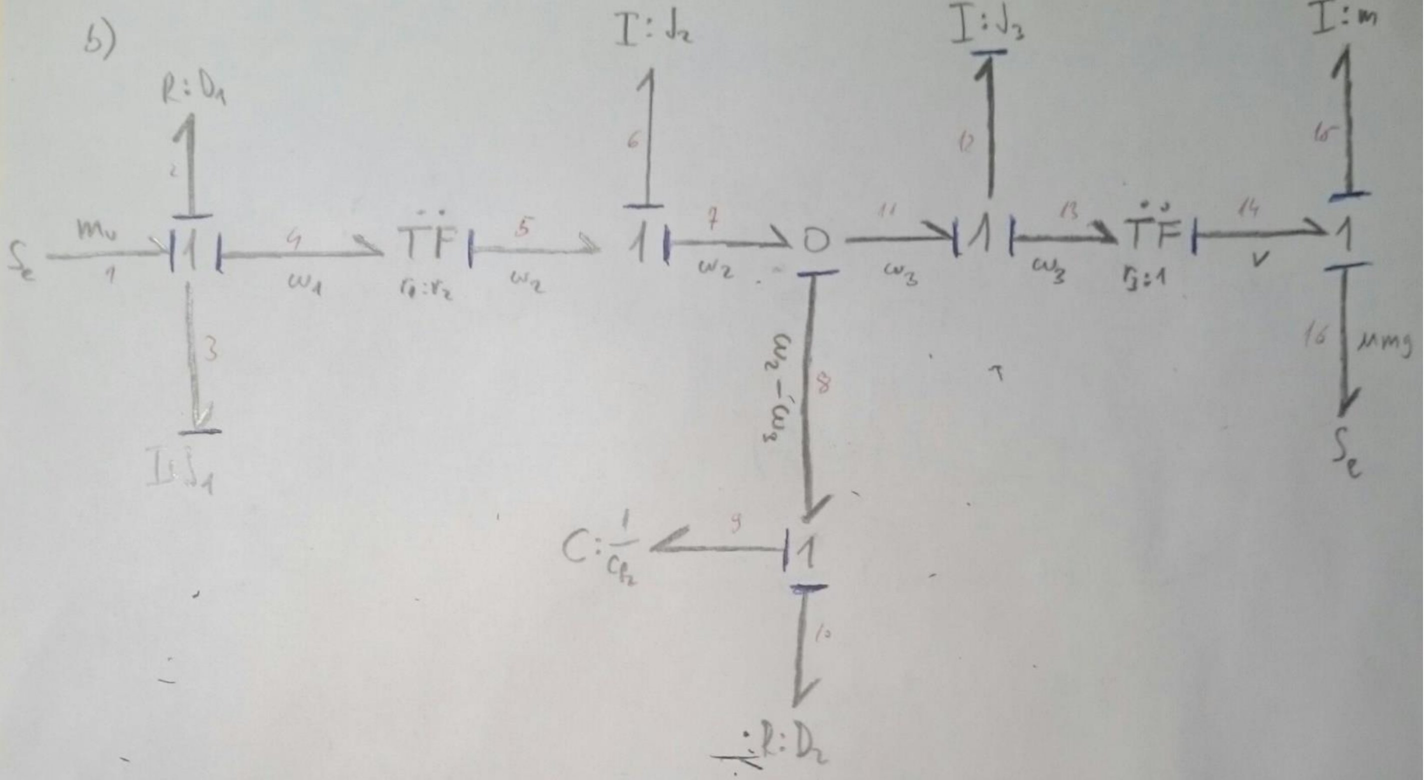
$$M_{2e}\omega_1 = M_2 \omega_2$$

$$M_{2e} = M_2 \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

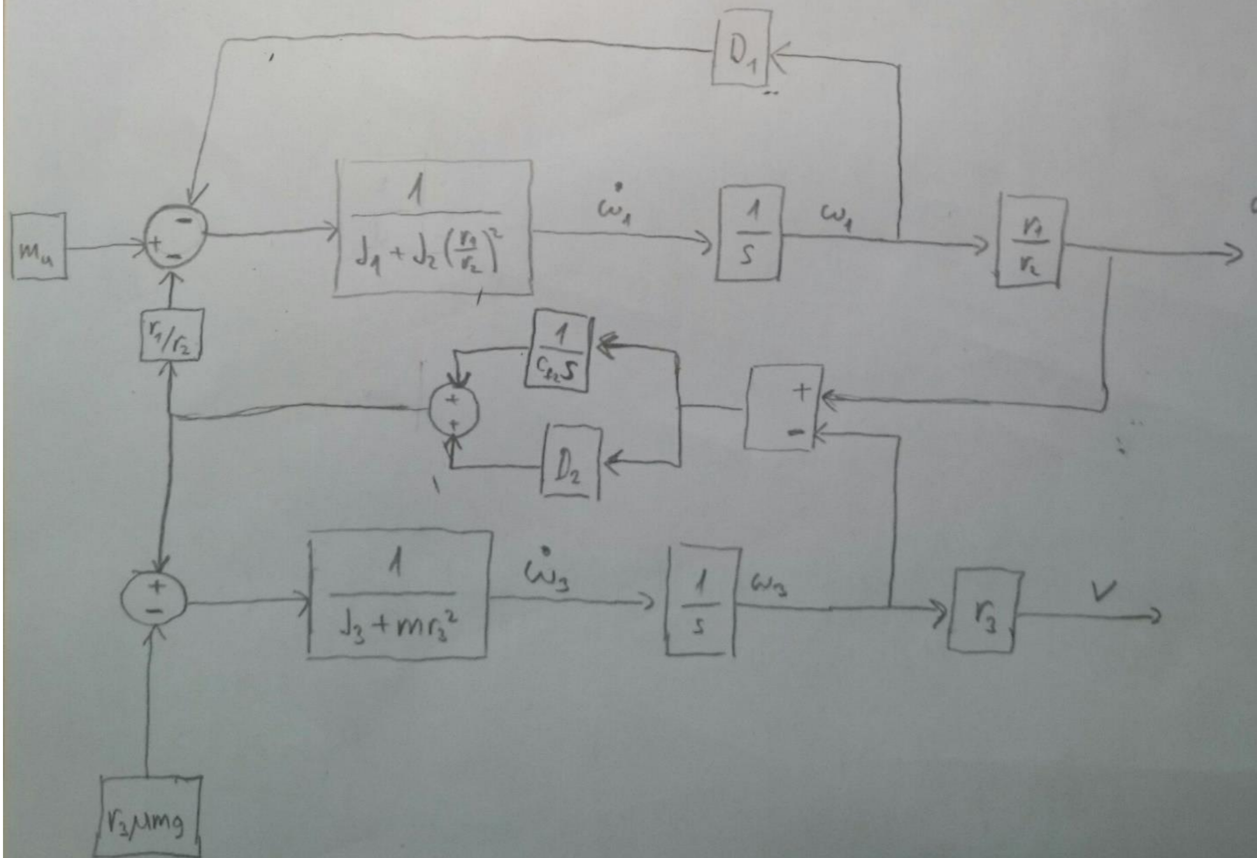
Moment sile trenja:

$$M_{tr} = F_{tr} \cdot r_3 = r_3 \mu m g$$

b)


R : D1
I : J2
I : J3
I : m
Se
mu
1
ω1
TF
r1 : r2
ω2
0
ω3
r3 : 1
v
I : J1
C : 1/c_f2
R : D2
ω2 − ω3
μmg
Se

c)


D1
mu
1/(J1 + J2 (r1/r2)^2)
ω̇1
1/s
ω1
r1/r2
ω2
r1/r2
1/(c_f2 s)
D2
1/(J3 + m r3^2)
ω̇3
1/s
ω3
r3
v
r3 μmg

4. a)

$$\dot{V} = q_u - q_i$$

- Protok kroz ventil:

$$q_u = K_v \cdot x \sqrt{\Delta P} = K_v x \sqrt{P_u - \rho g h}$$

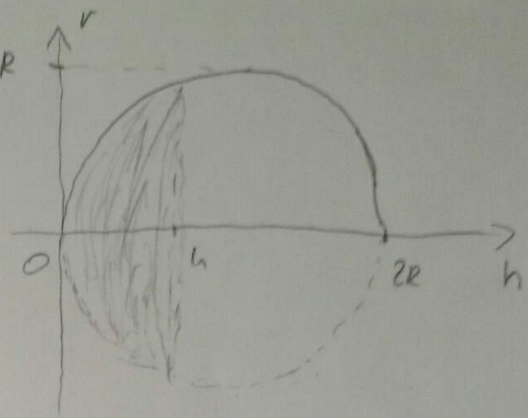
- Protok pumpe:

$$q_i = K_c \cdot \omega_i$$

$$\dot{V} = \frac{d}{dt} V(h) = \frac{\partial}{\partial h} V \cdot \frac{dh}{dt} = [2hR\pi - h^2\pi]\dot{h}$$

Matematički model spremnika:

$$[2hR\pi - h^2\pi]\dot{h} = K_v x \sqrt{P_u - \rho g h} - K_c \omega_i$$



$$r(h) = \sqrt{R^2 - (h-R)^2}$$

$$r(h) = \sqrt{2hR - h^2}$$

$$V(h) = \int_0^h r^2(h) \cdot \pi \, dh$$

$$V(h) = \pi \int_0^h (2hR - h^2) \, dh$$

$$V(h) = \pi \left[h^2 R - \frac{h^3}{3} \right] \Big|_0^h$$

$$V(h) = h^2 R \pi - \frac{h^3 \pi}{3}$$

b) Stacionarno stanje $\longrightarrow \dot{h} = 0$

$P_{u0} = 1$ bar, $X_{v,0} = 5$ cm, $\Omega_{c0} = 150$ okr/min

$$K_v X_{v,0} \sqrt{P_{u,0} - \rho g H_0} = K_c \Omega_{c,0}$$

$$P_{u,0} - \rho g H_0 = \left(\frac{K_c \Omega_{c0}}{K_v X_{v,0}} \right)^2$$

$$H_0 = \frac{1}{\rho g} \left[P_{u,0} - \left(\frac{K_c \Omega_{c0}}{K_v X_{v0}} \right)^2 \right] = 4.53 \text{ m}$$

$$Q_{v,0} = K_v X_{v0} \sqrt{P_{u,0} - \rho g H_0} = 0.785 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{i,0} = K_c \Omega_{c0} = 0.785 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) $0 = -(2hR\pi - h^2\pi)\dot{h} + K_v x\sqrt{P_v - \rho g h} - K_c \omega_c = f(\dot{h}, h, x, P_v, \omega_c)$

$$f(\dot{h}, h, x, P_v, \omega_c) \approx \frac{\partial f}{\partial \dot{h}}\Big|_0 \Delta\dot{h} + \frac{\partial f}{\partial h}\Big|_0 \Delta h + \frac{\partial f}{\partial x}\Big|_0 \Delta x + \frac{\partial f}{\partial P_v}\Big|_0 \Delta P_v + \frac{\partial f}{\partial \omega_c}\Big|_0 \Delta\omega_c$$

$$\frac{\partial f}{\partial \dot{h}}\Big|_0 = -(2hR\pi - h^2\pi)\Big|_0 = 2H_0R\pi - H_0^2\pi = -20.9$$

$$\frac{\partial f}{\partial h}\Big|_0 = \left(-K_v x \rho g \cdot \frac{1}{2\sqrt{P_v - \rho g h}}\right)\Big|_0 = -\frac{K_v X_0 \rho g}{2\sqrt{P_{v,0} - \rho g H_0}} = -0.06936$$

$$\frac{\partial f}{\partial x}\Big|_0 = \left(K_v\sqrt{P_v - \rho g h}\right)\Big|_0 = K_v\sqrt{P_{v,0} - \rho g H_0} = 0.157$$

$$\frac{\partial f}{\partial P_v}\Big|_0 = \left(K_v x \frac{1}{2\sqrt{P_v - \rho g h}}\right)\Big|_0 = \frac{K_v X_0}{2\sqrt{P_{v,0} - \rho g H_0}} = 7.07 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \omega_c}\Big|_0 = -K_c = -0.05$$

$$20.9\,\Delta\dot{h} = -0.06936\,\Delta h + 0.157\,\Delta x + 7.07\cdot 10^{-6}\,\Delta P_v - 0.05\,\Delta\omega_c$$

---

d) $x_v = X_{v0} + 0.05 \cdot X_{v0} \cdot S(t - 1000)$

Nelinearni model $\rightarrow$ novo stacionarno stanje za $X_{v,1} = X_{v0} \cdot 1.05$, $P_{v,0}$, $\Omega_{c,0}$

$$H_{1,nelin} = \frac{1}{\rho g}\left[P_{v0} - \left(\frac{K_c \Omega_c}{K_v \cdot X_{v1}}\right)^2\right] = 5.06$$

Linearni model $\longrightarrow$ $\Delta x = X_{v,1} - X_{v0}$, $\Delta P_v = 0$, $\Delta\omega_c = 0$, $\Delta\dot{h} = 0$ (stacionarno stanje)

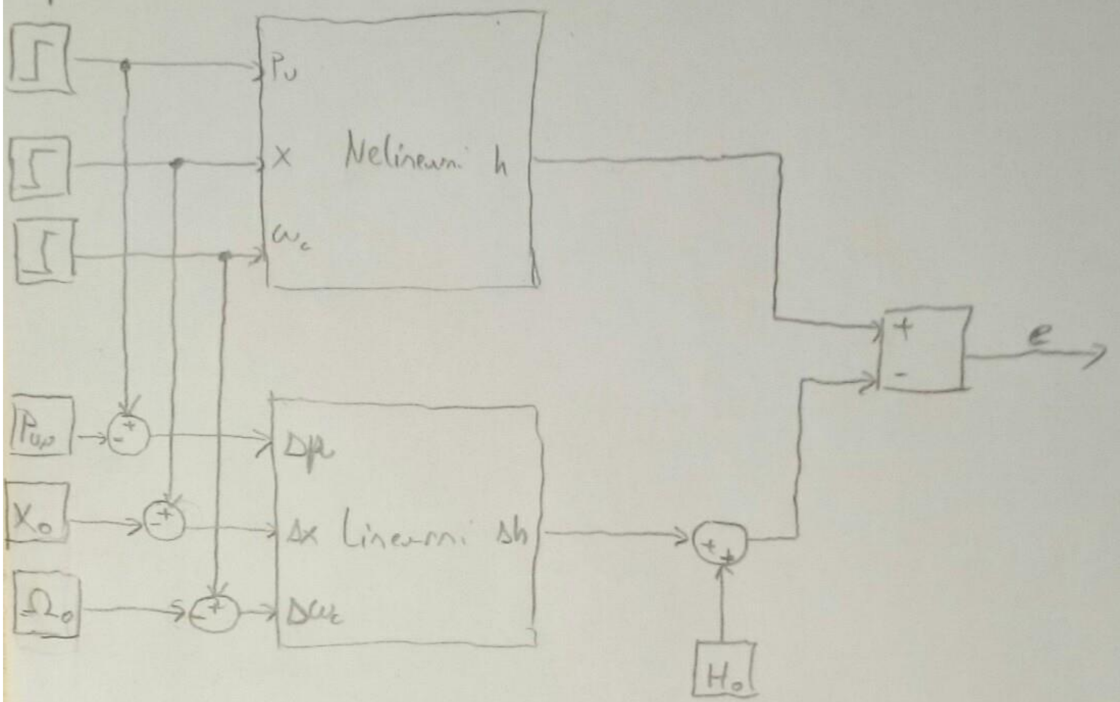
$$H_{1,lin} = H_0 + \Delta h = H_0 + \frac{0.157}{0.06936} \cdot \Delta x = 5.096$$

$e = |H_{1,nelin} - H_{1,lin}| = 0.036$ $\qquad \left|\frac{H_{1,nelin} - H_{1,lin}}{H_{1,nelin}}\right| = 0.711\%$

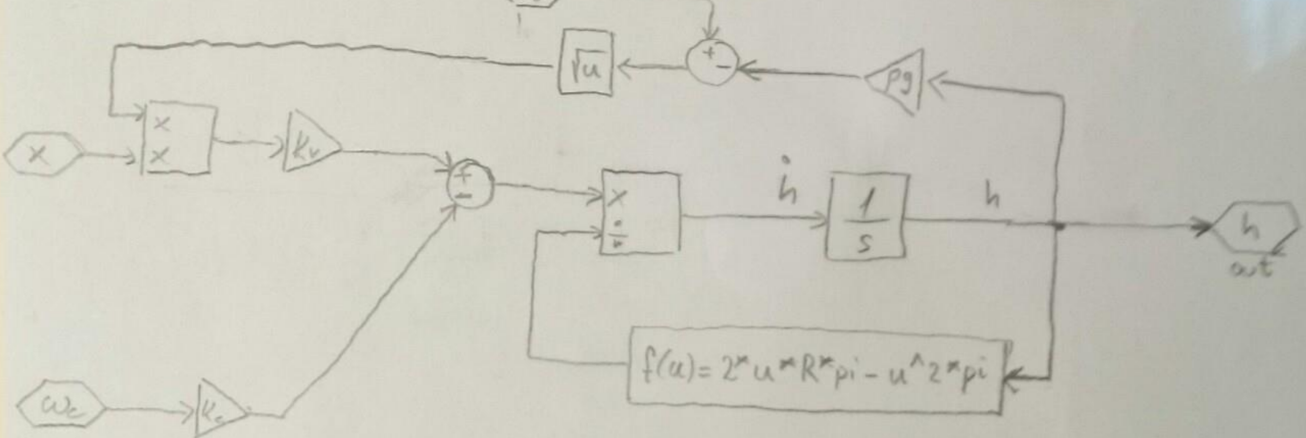
$$G(s) = \frac{H(s)}{X_v(s)} = \frac{0.157}{20.9s + 0.06936} = 2.26 \cdot \frac{1}{301s + 1} \Rightarrow g(t) = 2.26\, e^{-\frac{t}{301}}$$

Trajanje prijelazne pojave: $t_r = t_{90\%} - t_{10\%} = 301[\ln 0.9 - \ln 0.1] = 661.36\ s$

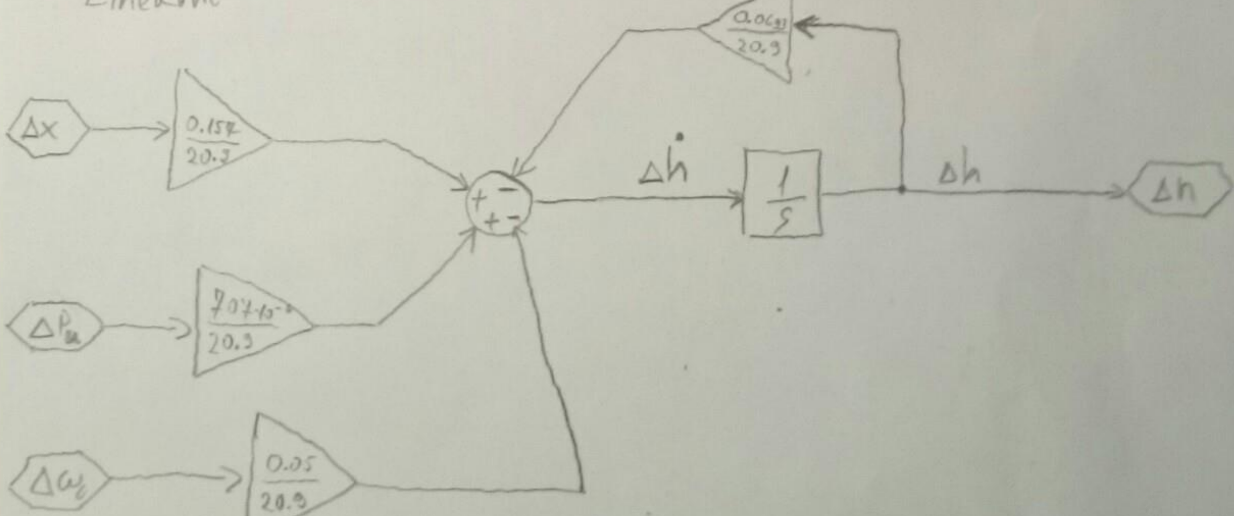
e)



Nelinearni



Linearni



Pismeni završni ispit

5. veljače 2016.

Ime i Prezime: **Matični broj:**

Napomena: Svaki zadatak potrebno je započeti rješavati na posebnoj stranici, a sve listove numerirati i posložiti. Potpisani list sa zadacima potrebno je obavezno vratiti. Zadaci koji neće biti riješeni uredno i pregledno neće se uzeti u obzir kod ocjenjivanja.

1. zadatak (6 bodova)

docx je kralj!

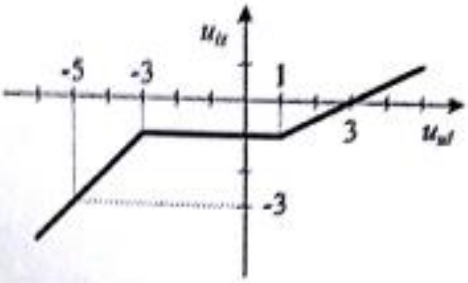
Nacrtajte linearnu blokovsku shemu za Simulink za točno generiranje funkcije:

$$y(t) = e^{-t} sin(\omega t),$$

uz korištenje integratora, sumatora i bloka za množenje konstantom. *Naznačite početne uvjete na svim integratorima.*

2. zadatak (6 bodova)

Nacrtajte shemu sklopa s operacijskim pojačalima sa stvarnim elementima (otpornici, diode, operacijska pojačala,...) za generiranje nelinearne karakteristike prema slici 1, te u mjerilu konstruirajte valni oblik izlaznog napona ako se na ulaz sklopa dovede napon u $u_{ul}(t) = 5sin(2\pi t)$. *Potrebno je objasniti način rada svakog dijela sklopa pripadnom jednadžbom i/ili karakteristikom!*



Slika 1: Nelinearna karakteristika sklopa.

3. zadatak (6 bodova)

Potrebno je napisati funkciju cilja za određivanje parametara PI regulatora regulacijskog sustava opisanog u Simulinku optimiranjem. Kriterij optimizacije računati na sljedeći način:

$$f_{krit} = t_p + \int_0^{T_{sim}} \left[e^2(t) + \alpha \dot{e}^2(t)\right] dt,$$

gdje je $e(t)$ regulacijsko odstupanje, t_p vrijeme porasta, a T_{sim} je zadano vrijeme simulacije. Vrijeme porasta je vrijeme koje je potrebno da signal poraste od 10% stacionarne vrijednosti na 90% stacionarne vrijednosti. Nacrtajte shemu za Simulink i prikažite poziv funkcije za optimiranje iz komandne linije Matlaba. Upotrijebite ugrađenu funkciju Matlaba koja koristi simpleks metodu optimiranja (Nelder-Mead algoritam). U funkciju cilja potrebno je uvesti kaznenu funkciju za nedozvoljene vrijednosti parametara regulatora (dovoljno je ograničiti vrijednosti parametara regulatora na pozitivne vrijednosti).

Prijenosna funkcija procesa je oblika:

$$G_p(s) = \frac{K_p}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)}$$

Pojačanje procesa K_p te vremenske konstante procesa T_{p1} i T_{p2} su pozitivne konstante.

Okrenite list!

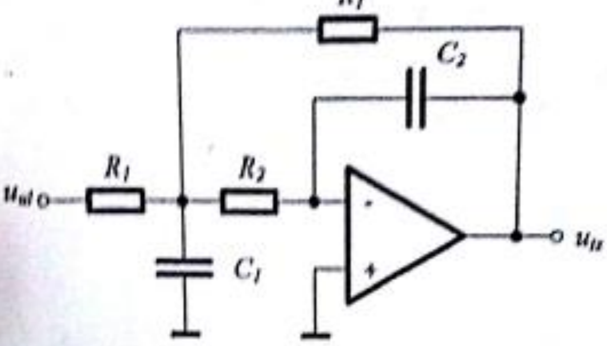
4. zadatak (6 bodova)

Odredite prijenosnu funkciju $G(s) = \dfrac{U_{iz}(s)}{U_{ul}(s)}$ sklopa na slici 2, uz pretpostavke:

docx je kralj

- pojačanje operacijskog pojačala je beskonačno,
- granična frekvencija operacijskog pojačala je beskonačna,
- ulazna struja je zanemariva i
- napon drifta je jednak nuli.

Prijenosnu funkciju potrebno je zapisati na način da slobodni član u nazivniku prijenosne funkcije bude jednak jedinici, te uz opće iznose elemenata R_1, R_2, C_1 i C_2.
Uz konkretne iznose elemenata $R_1 = 50\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 100\,\mathrm{k\Omega}$, $C_1 = 50\,\mu\mathrm{F}$, $C_2 = 4\,\mu\mathrm{F}$, te napajanje operacijskog pojačala $u_{iz,max} = \pm 10$ V, skicirajte odziv izlaznog napona pri djelovanju ulaznog napona $u_{ul}(t) = 9\,S(t)$ V.



Slika 2: Elektronička shema sklopa.

Za procjenu nadvišenja i vremena maksimuma iskoristite sljedeće izraze za općeniti sustav drugog reda bez nula:

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

$$t_m = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

5. zadatak (6 bodova)

Napišite m-funkciju koja će koristeći Eulerovu metodu numeričke integracije za rješavanje diferencijalnih jednadžbi izračunati odziv izlaznog napona sklopa s operacijskim pojačalom iz 4. zadatka, na temelju dobivene prijenosne funkcije $G(s) = \frac{U_{iz}(s)}{U_{ul}(s)}$.
Funkcija treba vratiti vektor vremena i pripadni vektor izlaznog napona. Ulazni argumenti u funkciju su maksimalno vrijeme i korak integracije. Sve ostale potrebne varijable i konstante definirajte unutar m-funkcije. Komentirajte ulogu pojedinih dijelova m-funkcije.
Ulazni signal u sklop jednak je jediničnoj skokovitoj funkciji: $u_{ul}(t) = S(t)$ V.

ZI 2015./16.

1. $y(t) = e^{-t}\sin(\omega t)$

$\dot{y} = -e^{-t}\sin(\omega t) + e^{-t}\omega\cos(\omega t) = -y + \omega \cdot x_1$

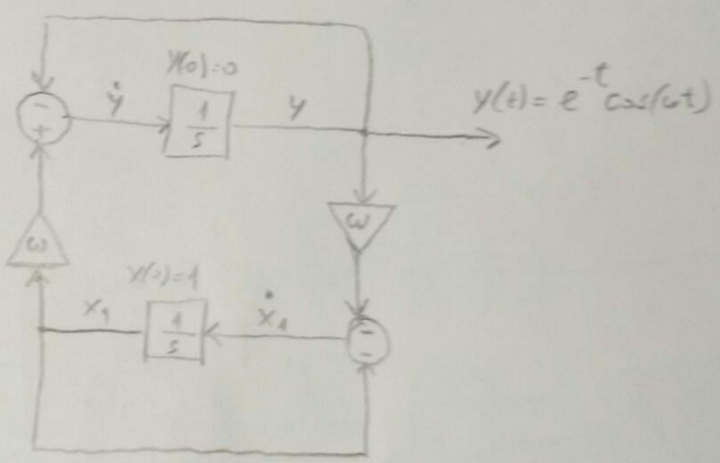
$x_1 = e^{-t}\cos(\omega t)$

$\dot{x}_1 = -e^{-t}\cos(\omega t) - \omega e^{-t}\sin(\omega t) = -x_1 - \omega y$

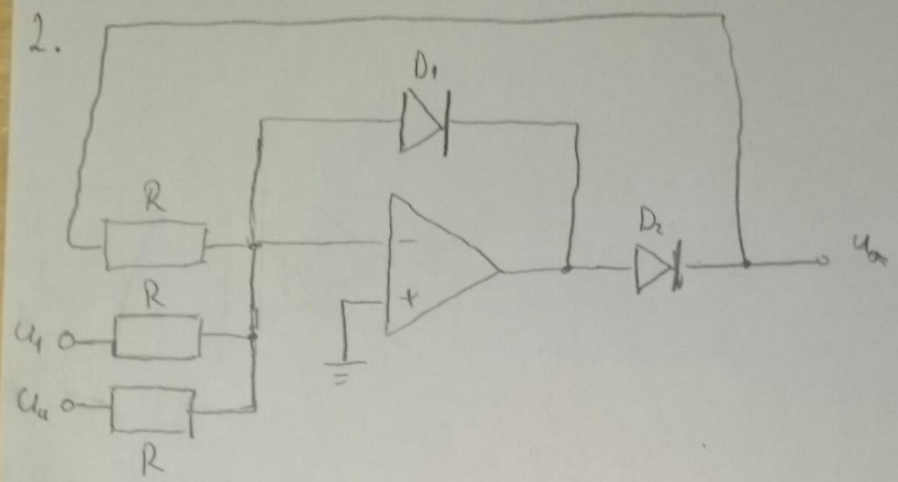
Početni uvjeti:

$y(0) = 0$

$x_1(0) = 1$



2.



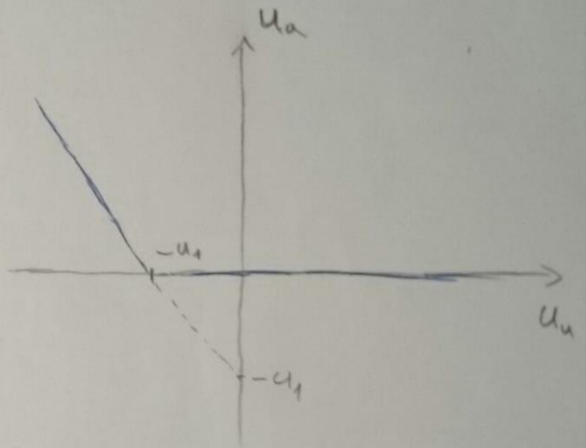
$u_u + u_1 > 0 \Rightarrow D_1$ vodi, D_2 ne vodi

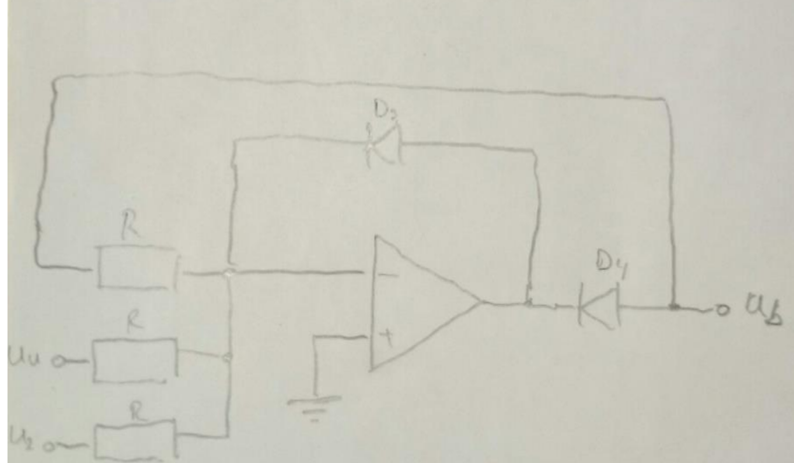
$$u_u > -u_1 \Rightarrow u_a = 0$$

$u_u + u_1 \leq 0 \Rightarrow D_1$ ne vodi, D_2 vodi

$$\frac{u_u - 0}{R} + \frac{u_1 - 0}{R} = \frac{0 - u_a}{R}$$

$$u_a = -(u_u + u_1)$$





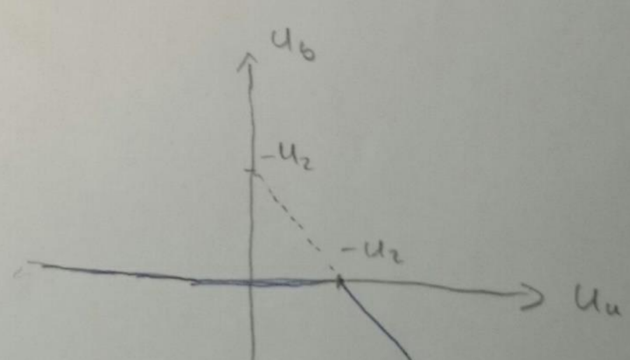
$u_u + u_2 < 0 \Rightarrow D_3$ vodi, D_4 ne vodi

$$u_b = 0$$

$u_u + u_2 \geq 0 \Rightarrow D_3$ ne vodi, D_4 vodi

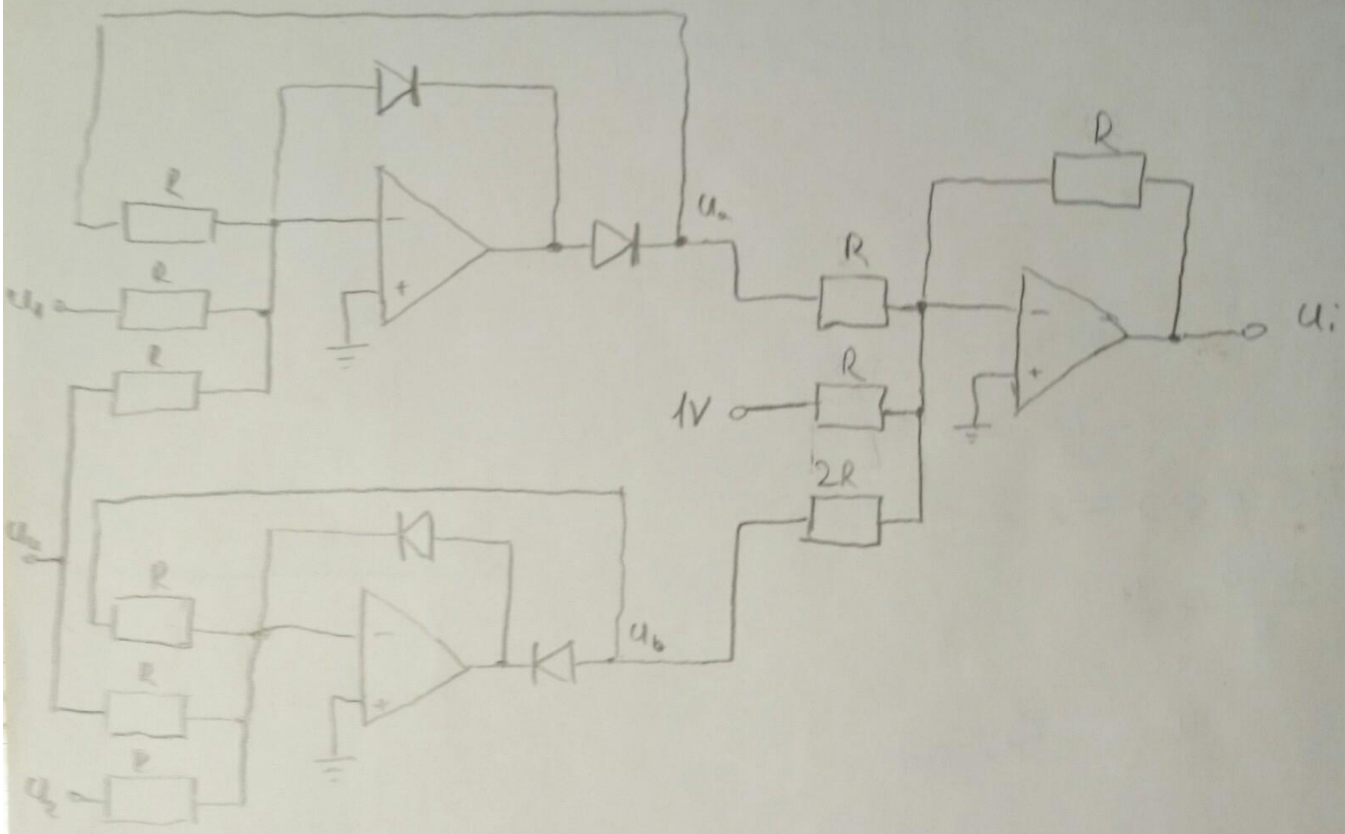
$$\frac{u_u - 0}{R} + \frac{u_2 - 0}{R} = \frac{0 - u_b}{R}$$

$$u_b = -(u_u - u_2)$$



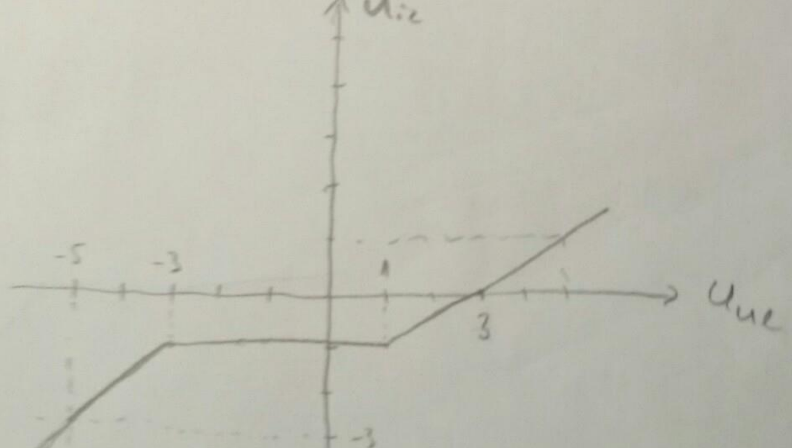
$u_2 = -1V$

$u_1 = 3V$



$$\frac{u_a - 0}{R} + \frac{1 - 0}{R} + \frac{u_b - 0}{2R} = \frac{0 - u_{iz}}{R}$$

$$u_{iz} = -\left[u_a + 1 + \frac{u_b}{2}\right]$$



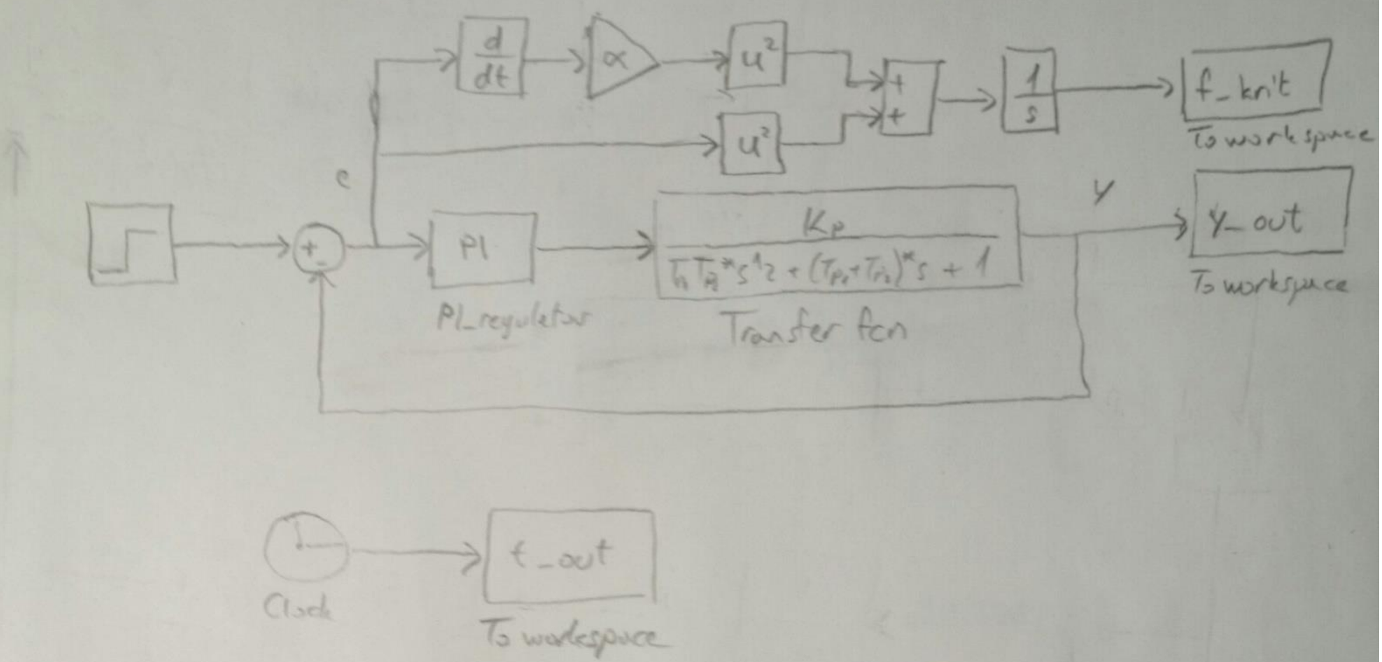
3.

```
function [f] = funkcija_cilja(x)
KR = x(1);
TI = x(2);

set_param('Model/PI_regulator', 'P', mat2str(KR));
set_param('Model/PI_regulator', 'I', mat2str(KR/TI));
sim('Model');

f = f_krit;

if(KR<0)
    f = f + 1000*KR^2;
end
if(TI<0)
    f = f + 1000*TI^2;
end

t_10 = 0; t_90 = 0;

for i=1:numel(t_out)
    if(abs(y_out(i)/y_out(end))>0.1)
        t_10 = t_out(i);
        break;
    end
end

for i=1:numel(t_out)
    if(abs(y_out(i)/y_out(end))>0.9)
        t_90 = t_out(i);
        break;
    end
end
tp = t_90 - t_10;
f = f + tp;
end
```

Poziv iz komandne linije

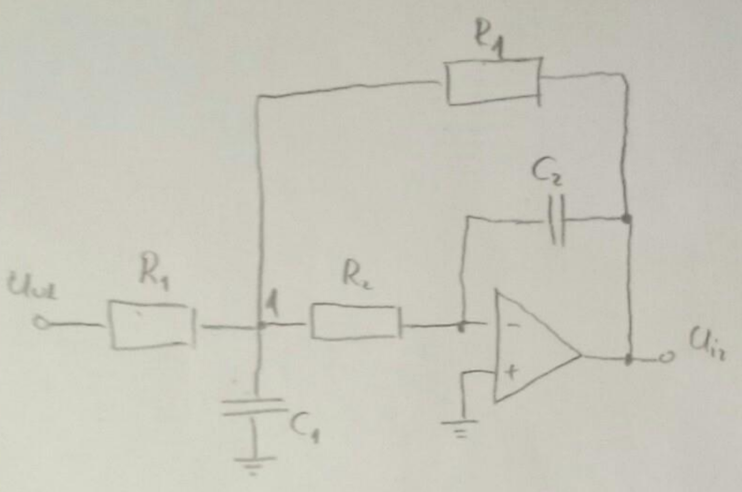
```
fminsearch(@funkcija_cilja, [1, 1]);
```

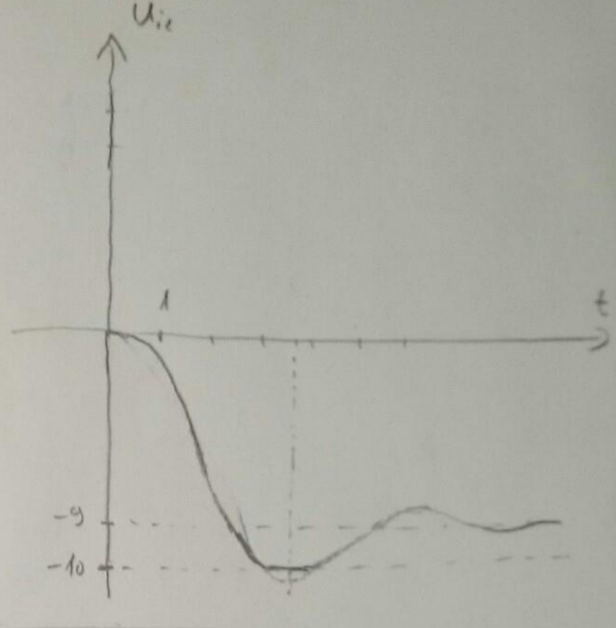
'Model.slx'



d/dt
α
u²
u²
+
+
1/s
f_krit
To workspace
e
y
y_out
To workspace
PI
PI_regulator
Kp
TaTa*s^2 + (Tpa+Tn)*s + 1
Transfer fcn
t_out
Clock
To workspace

4.





$$u_- = u_+ = 0$$

$$\frac{u_e - u_1}{R_1} + \frac{0 - u_1}{\frac{1}{sC_1}} + \frac{u_- - u_1}{R_2} + \frac{u_{iz} - u_1}{R_1} = 0$$

$$u_{ul} + u_{iz} = u_1 \cdot \left[2 + \frac{R_1}{R_2} + sR_1C_1\right]$$

$$\frac{u_1 - u_-}{R_2} + \frac{u_{iz} - u_-}{\frac{1}{sC_2}} = 0$$

$$u_1 = -u_{iz} \cdot sR_2C_2$$

$$u_{ul} = -u_{iz} - u_{iz}\left[2sR_2C_2 + sR_1C_2 + s^2R_1R_2C_1C_2\right]$$

$$G(s) = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = \frac{-1}{R_1R_2C_1C_2 s^2 + (2R_2 + R_1)C_2 s + 1}$$

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

$\omega_n^2 = 1$

$2\zeta\omega_n = 1$

$\zeta = 0.5$

$\sigma_m = 16.3\,\%$

$t_m = 3.63\,s$

$u_{ul} = 9 \cdot S(t)$

$|u_{iz,max}| = 1.163 \cdot 9 = 10.467 > 10$

5.

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

$$\ddot{y} + \dot{y} + y = -u$$

$$x_1 = y$$

$$x_2 = \dot{x}_1$$

$$\dot{x}_2 = -u - x_1 - x_2 = f_2(x_1, x_2, u)$$

$$\dot{x}_1 = x_2 = f_1(x_1, x_2, u)$$

```
function [f] = f1(x1, x2, u)
f = x2;
end

function [f] = f2(x1, x2, u)
f= -x1 - x2 - u;
end

function [t , y] = euler(Tmax, Ts)
n=ceil (Tmax / Ts);    % broj koraka
t = zeros (n+1, 1);
y = zeros (n+1, 1);

x1 = 0;
x2 = 0;
u = 1;

for i = 2:n+1
    dx1 = f1(x1, x2, u) * Ts;
    dx2 = f2(x1, x2, u) * Ts;

    x1 = x1 + dx1;
    x2 = x2 + dx2;

    t(i) = t(i-1) + Ts;
    y(i) = x1;
end
end
```