



Univerzitetna založba  
Univerze v Mariboru

Gregor  
**SRPČIČ**

Dalibor  
**IGREC**



# AVTOMATIKA V ENERGETIKI

Zbirka računalniških vaj





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za energetiko

# **Avtomatika v energetiki**

Zbirka računalniških vaj

Avtorja  
**Gregor Srpčič**  
**Dalibor Igrec**

Januar 2022

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Avtomatika v energetiki</b> <i>Automation in Energetics</i>		
<b>Podnaslov</b> <i>Subtitle</i>	<b>Zbirka računalniških vaj</b> <i>Collection of Computer Exercises</i>		
<b>Avtorja</b> <i>Authors</i>	Gregor Srpčič (Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko)		
	Dalibor Igrec (Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko)		
<b>Jezikovni pregled</b> <i>Language editing</i>	Slavica Božič		
<b>Tehnični urednik</b> <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)		
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)		
<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i>	Avtorja	<b>Grafika na ovitku</b> <i>Cover graphics</i>	Električno vozlišče, avtor GDJ iz Pixabay.com CC0
<b>Založnik</b> <i>Published by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Univerzitetna založba</b> Slomškovo trg 15, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://press.um.si">https://press.um.si</a> , <a href="mailto:zalozba@um.si">zalozba@um.si</a>		
<b>Izdajatelj</b> <i>Issued by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Fakulteta za energetiko</b> Hočevarjev trg 1, 8270 Krško, Slovenija <a href="https://www.fe.um.si">https://www.fe.um.si</a> , <a href="mailto:fe@um.si">fe@um.si</a>		
<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja	<b>Izdano</b> <i>Published at</i>	Maribor, januar 2022
<b>Vrsta publikacije</b> <i>Publication type</i>	E-knjiga	<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i>	<a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/644">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/644</a>

<p>CIP - Kataložni zapis o publikaciji Univerzitetna knjižnica Maribor</p> <p>620.9:331.103.255 (076) (0.034.2)</p> <p>SRPČIČ, Gregor Avtomatika v energetiki [Elektronski vir] : zbirka računalniških vaj / avtorja Gregor Srpčič, Dalibor Igrec. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2022</p> <p>Način dostopa (URL) : <a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/644">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/644</a> ISBN 978-961-286-561-0 (PDF) doi: 10.18690/um.fe.1.2022 COBISS.SI-ID 95117059</p>
--



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba  
/ University of Maribor, University Press

**Besedilo/ Text** © Srpčič in Igrec, 2022

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons  
Priznanje avtorstva 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed  
under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

Uporabnikom je dovoljeno tako nekomercialno kot tudi  
komercialno reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem,  
javna priobčitev in predelava avtorskega dela, pod pogojem,  
da navedejo avtorja izvirnega dela.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco  
Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če  
želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v  
licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje  
neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**ISBN** 978-961-286-561-0 (pdf)

**DOI** <https://doi.org/10.18690/um.fe.1.2022>

**Cena**  
*Price* Brezplačni izvod

**Odgovorna oseba založnika**  
*For publisher* prof. dr. Zdravko Kačič,  
rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje**  
*Attribution* Srpčič, G. in Igrec, D. (2022). *Avtomatika v energetiki: Zbirka računalniških vaj*. Maribor: Univerzitetna založba. doi: 10.18690/um.fe.1.2022

## Kazalo

Navodila .....	1
<b>1. vaja:</b> Definicija vektorjev in matrik .....	5
<b>2. vaja:</b> Manipulacije z matrikami in vektorji .....	11
<b>3. vaja:</b> 2D grafi .....	21
<b>4. vaja:</b> Odziv nevzbujenega sistema .....	25
<b>5. vaja:</b> Odziv na impulzno vzbujanje .....	31
<b>6. vaja:</b> Koreni karakterističnega polinoma, množenje polinoma .....	35
<b>7. vaja:</b> Izračun stopničnega odziva prenosne funkcije .....	39
<b>8. vaja:</b> Izračun impulznega odziva prenosne funkcije .....	43
<b>9. vaja:</b> Pretvarjanje modela .....	47
<b>10. vaja:</b> Izračun stopničnega odziva člena druge stopnje .....	51
<b>11. vaja:</b> Izračun impulznega odziva člena druge stopnje .....	55
<b>12. vaja:</b> Bodejev diagram - člen prvega reda .....	59
<b>13. vaja:</b> Bodejev diagram - realni diferencialni člen .....	63
<b>14. vaja:</b> Dvig in spust faze .....	67
<b>15. vaja:</b> Člen drugega reda .....	71
<b>16. vaja:</b> Stopnični odziv člena višjega reda, ki se obnaša kot člen I. reda z ustreznim ojačanjem .....	75
<b>17. vaja:</b> Stabilnost zaprtozančnega sistema .....	79
<b>18. vaja:</b> Stabilnost zaprtozančnega sistema .....	83
<b>19. vaja:</b> Izris diagrama lege korenov DLK .....	87
<b>20. vaja:</b> Stabilnost zaprtozančnega sistema .....	91
<b>21. vaja:</b> Reševanje diferencialnih enačb .....	95
<b>22. vaja:</b> Mehanski sistem v prostoru stanj .....	99



## Navodila

**Rezultate vaj predstavite v dokumentu, ki predstavlja poročilo opravljenih vaj:**

- številka vaje,
- besedilo,
- zapis izvorne kode primera v Matlab programskem jeziku,
- slike odzivov (kopirano z: Edit / Copy Figure),
- kratek komentar,
- odgovori na vprašanja,
- enačbe pišite z MathType-om ali Word-ovim urejevalnikom enačb.
- **Vaje je potrebno oddati natisnjene in zvezane ali vložene v mapo!**
- **Ob oddaji vaj je potrebno računalniške vaje tudi zagovarjati!**
- **Udeležba na vajah mora biti 100 %.**
- **Udeležba na računalniških vajah, oddane vaje ter opravljen zagovor vaj so pogoji za pristop k izpitu.**







Univerza v Mariboru

Fakulteta za energetiko

# Avtomatika v energetiki

Zbirka računalniških vaj

Ime in priimek: \_\_\_\_\_

Vpisna številka: \_\_\_\_\_

Študijsko leto: \_\_\_\_\_

Kraj študija:

**Krško**

**Velenje**

Datum zagovora vaj: **1.** \_\_\_\_\_  
**2.** \_\_\_\_\_

**3.** \_\_\_\_\_

Pregledal: \_\_\_\_\_

Ocena: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_




1. vaja

# Definicija vektorjev in matrik



**Z enostavnimi primeri predstavite sledeče zapise:**

a) vpis vrstičnega vektorja (11 členov, od 0 do 100 v razmaku 10)



---

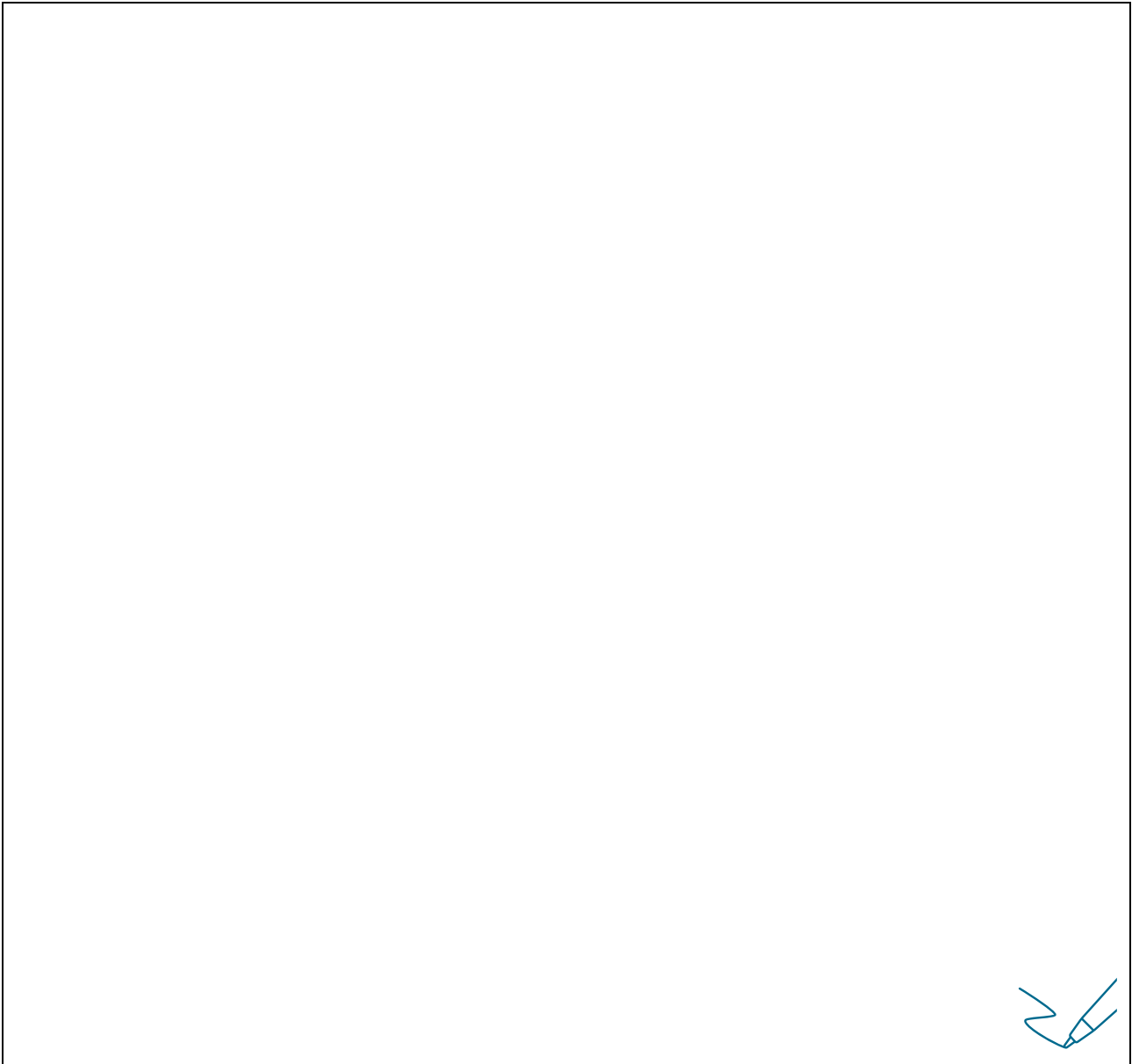
---

---

---

---

b) vpis stolpčnega vektorja (11 členov, od 0 do 100 v razmaku 10)



A large empty rectangular box with a black border, intended for writing the column vector. In the bottom right corner of this box, there is a small blue handwritten mark that looks like a stylized signature or initials.

---

---

---

---

---

---

---

---

c) vpis matrike (velikost 3 x 3)




---

---

---


---

---

---

---

d) avtomatsko generiranje vektorja z enakomerno razporejenimi členi  
(poljubnih 10 členov, ukaz linspace!)



A large empty rectangular box with a black border, intended for the student to write their solution. In the bottom right corner of this box, there is a small blue handwritten mark that looks like a stylized 'Z' or a signature.

---

---

---

---

---

---

---

---



2. vaja

# Manipulacije z matrikami in vektorji



**Z enostavnimi primeri predstavite sledeče zapise:**

a) branje člena vektorja

---

---



b) prirejanje nove vrednosti členu vektorja

---

---



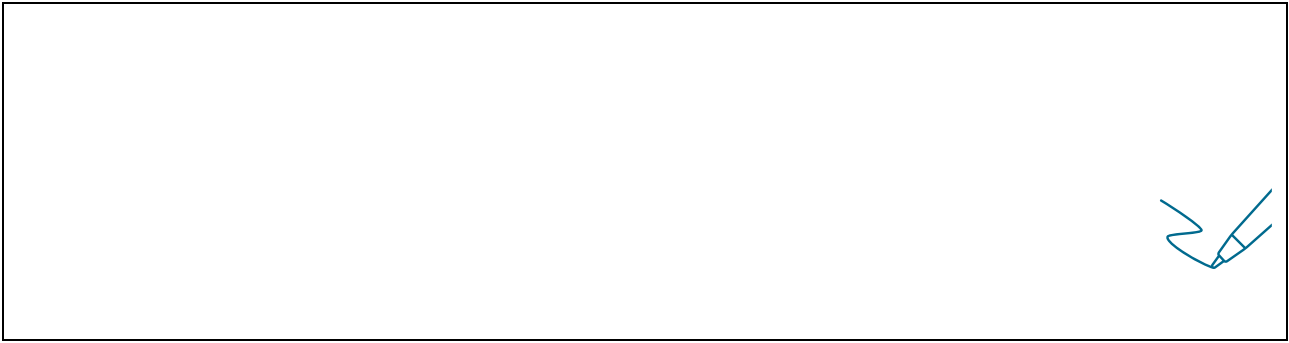
c) dodajanje členov vrstičnem vektorju

---

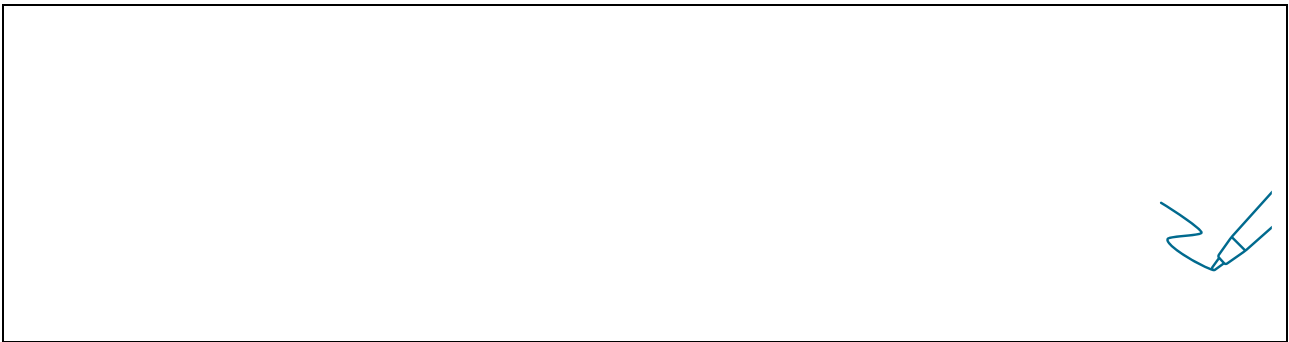
---



d) dodajanje členov stolpičnem vektorju



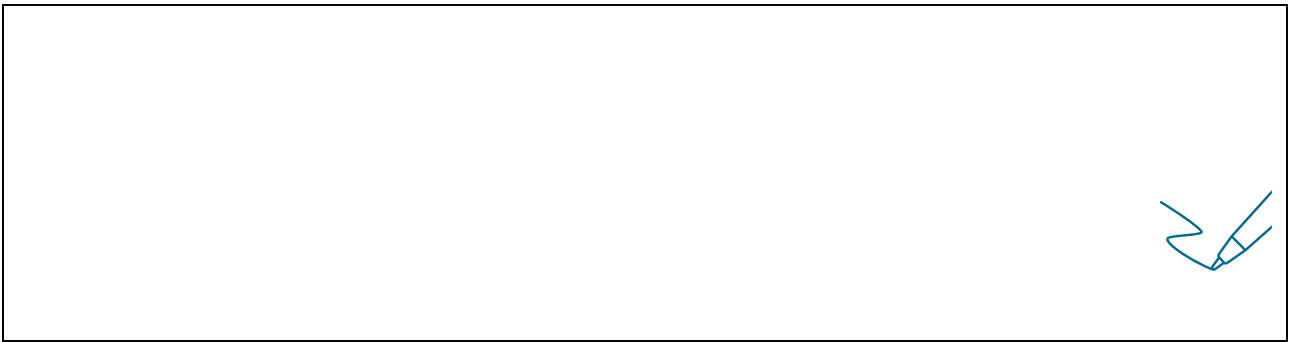
e) branje člena matrike



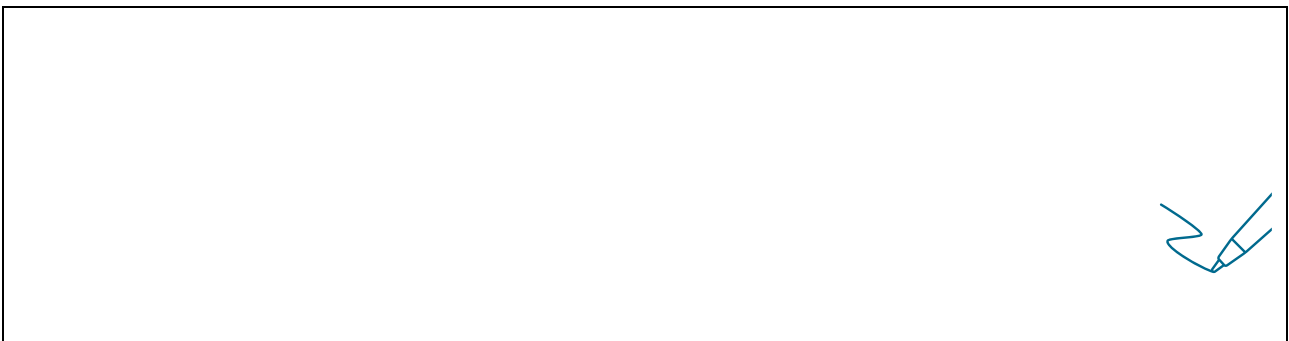
f) branje stolpca matrike



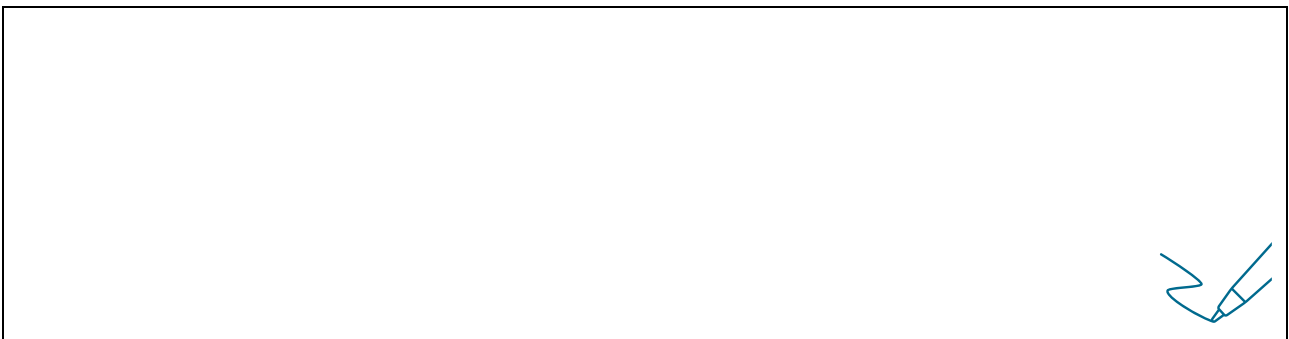
g) branje vrstice matrike



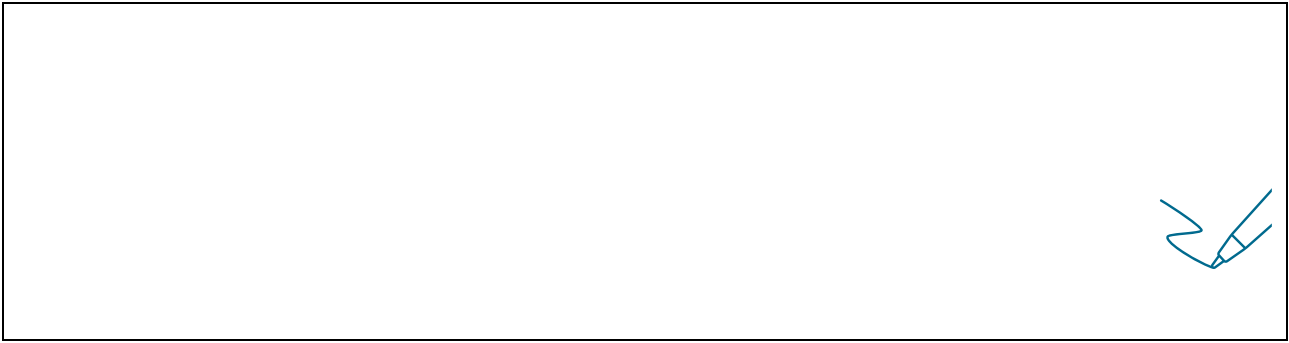
h) branje podmatrike



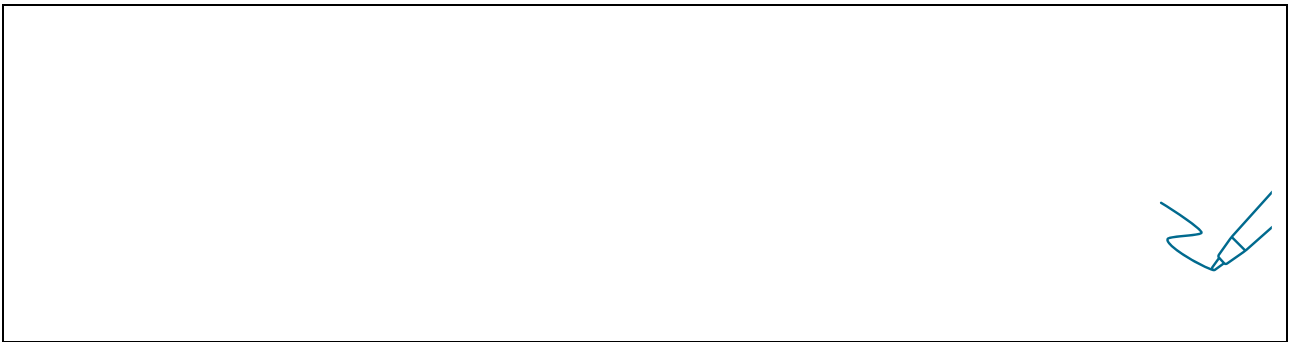
i) prirejanje vrednosti členu matrike



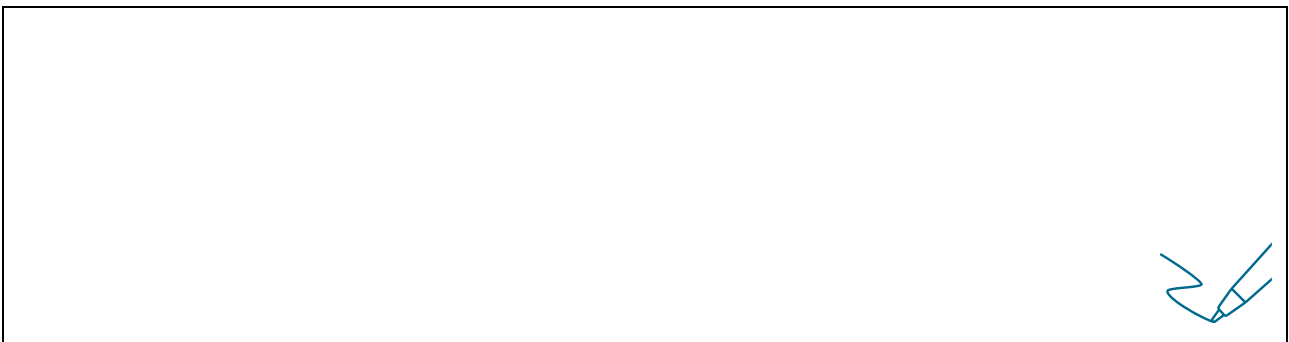
j) prirejanje vrednosti stolpcu matrike



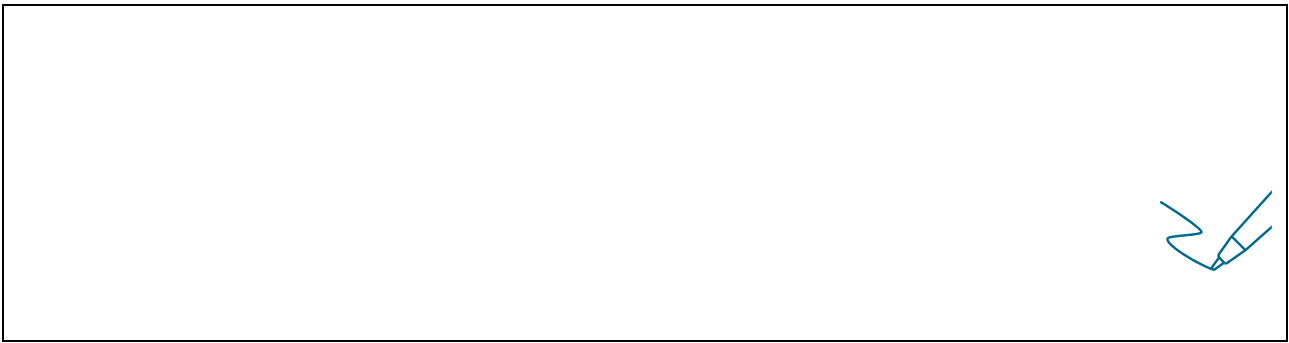
k) prirejanje vrednosti vrstici matrike



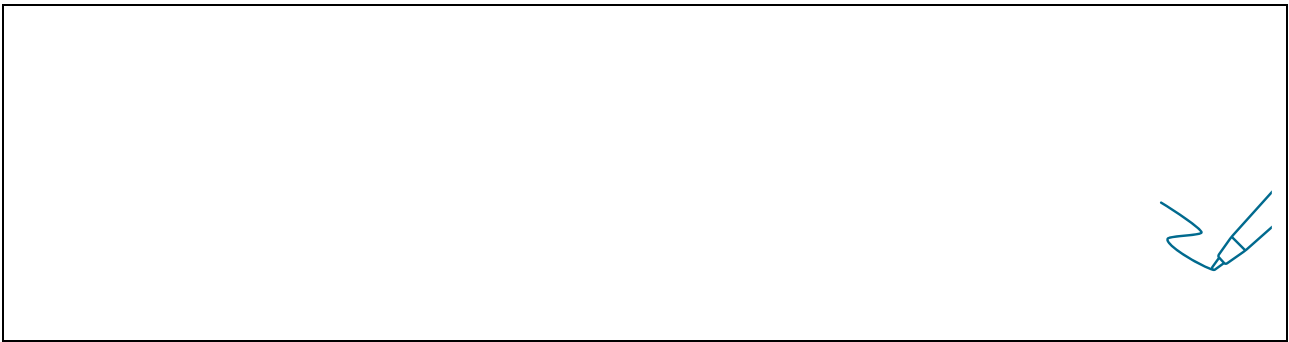
l) brisanje stolpca matrike



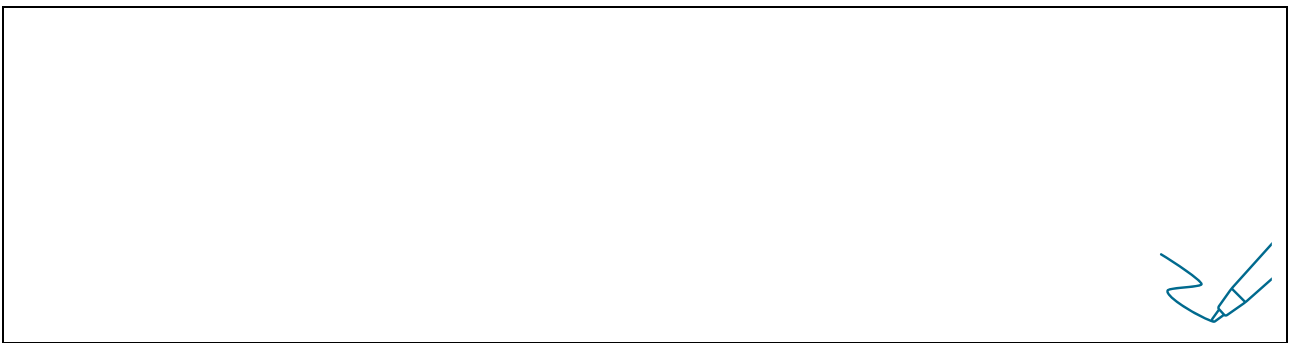
m) brisanje vrstice matrike



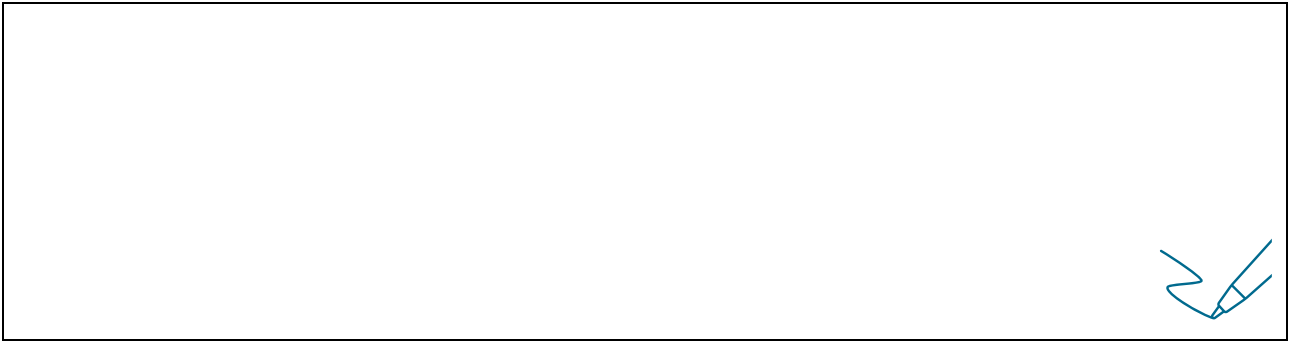
n) dodajanje stolpca matriki



o) dodajanje vrstice matriki

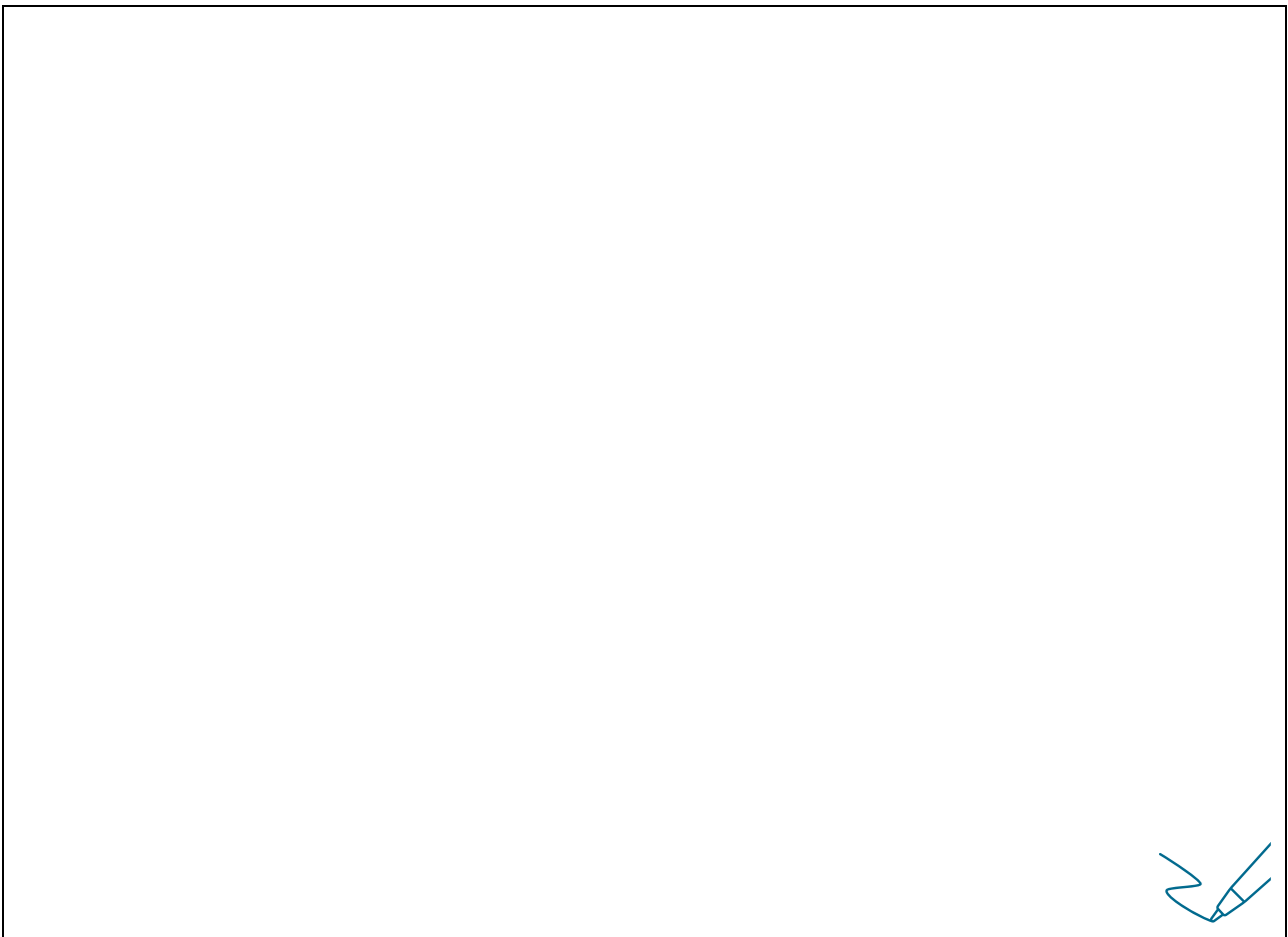


p) ukaza reshape in meshgrid



r) preprost primer IF stavka:

- izračun ploščine kroga. Če je ploščina večja od 5, je krog majhen, če je ploščina 5 ali več od 5, je krog velik. Program naj sam prikaže, kam spada krog;
- Matlab naj generira naključno število med 1 in 100. Z IF stavkom preverite, ali je število sodo. Matlab naj izpiše: »Število je sodo.« V primeru, da je število sodo, ga delite z 2.





s) preprost primer FOR stavka

- s FOR stavkom izračunajte fakulteto poljubnega števila;
- s FOR stavkom kreirajte poljubno veliko kvadratno matriko števil, velikosti  $n \times n$ , števila pa naj naraščajo od 1 do  $n^2$ . FOR stavek preoblikujte tako, da bo matrika imela  $n$  enakih vrstic števil od 1 do  $n$ ;
- generirajte matriko enic. Z uporabo FOR in IF stavka vrednostim v matriki priredite vrednosti tako, da ima glavna diagonala vrednost 2, sosednji diagonali vrednost -1, vse ostale člene matrike postavite na vrednost 0.





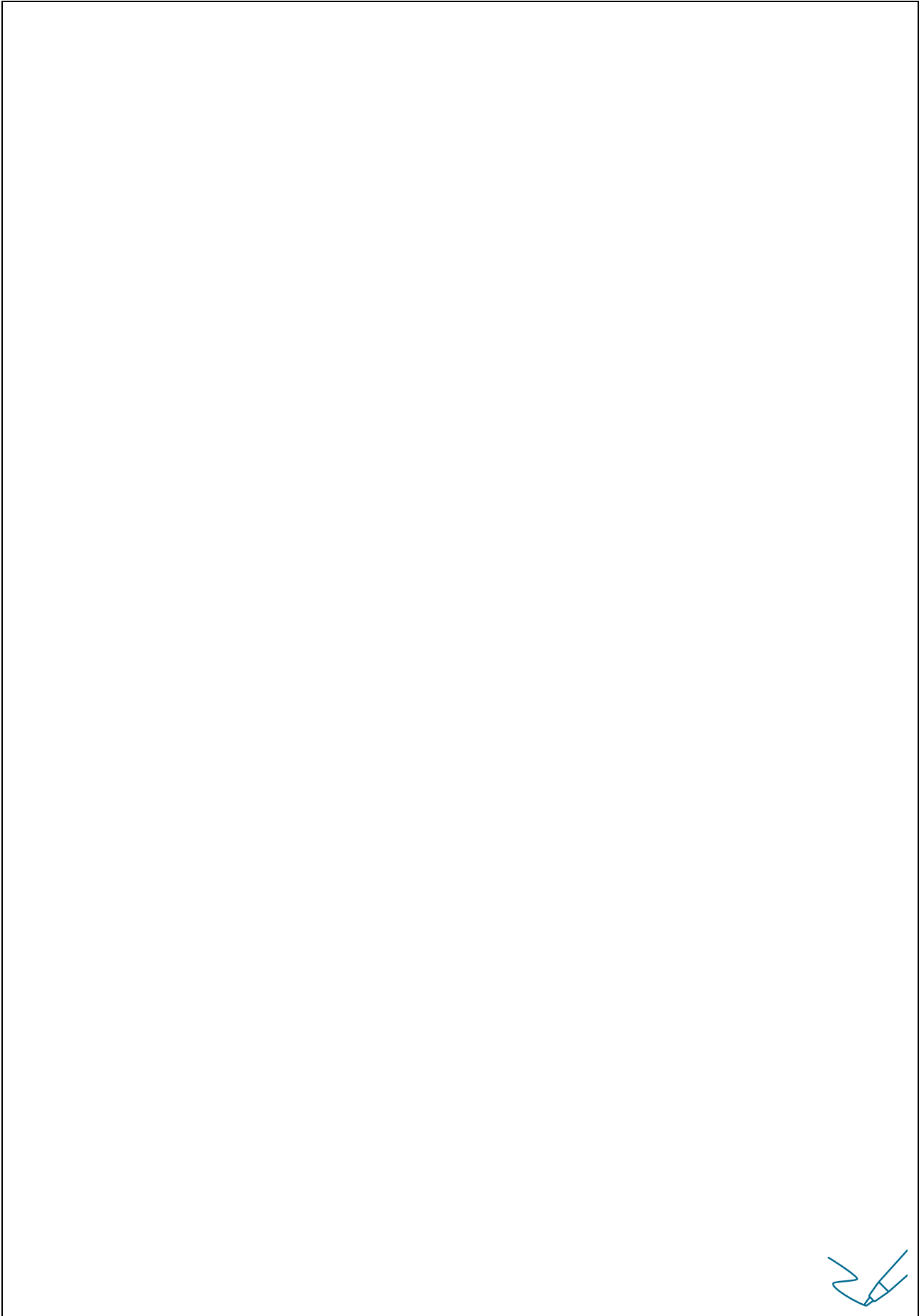
3. vaja  
**2D grafi**



**Na enostavnih primerih prikažite uporabo spodnjih ukazov. Vse grafe opremite s poimenovanji obeh osi ter naslovom:**

- izrišite funkcijo  $y = x^2$ . Graf funkcije - ukazi: figure, plot, title, xlabel, ylabel, grid on/off;
- določitev območja izrisa - ukaz: axis;
- uporaba logaritmičnega merila - ukaz: loglog, semilogx (eksponentna funkcija, logaritemska funkcija);
- dodajanje potekov v grafično okno - ukaz: hold on/off;
- izris več potekov naenkrat (npr.  $x^2$ ,  $x^3$ , več različnih premic ...) v eno okno (barve in oznake krivulj), uporaba legende - ukaz: legend;
- več grafov v enem grafičnem oknu - ukaz: subplot (naredite primer 2 x 2, izrišite funkcije  $x^2$ ,  $x^3$ ,  $\cos x$ ,  $\sin x$ . Kotni funkciji izrišite na intervalu 0 do  $2\pi$ );
- dodajanje tekstov v graf - ukaza: text, gtext;
- zapis italic, bold, grške črke v tekstih.





4. vaja

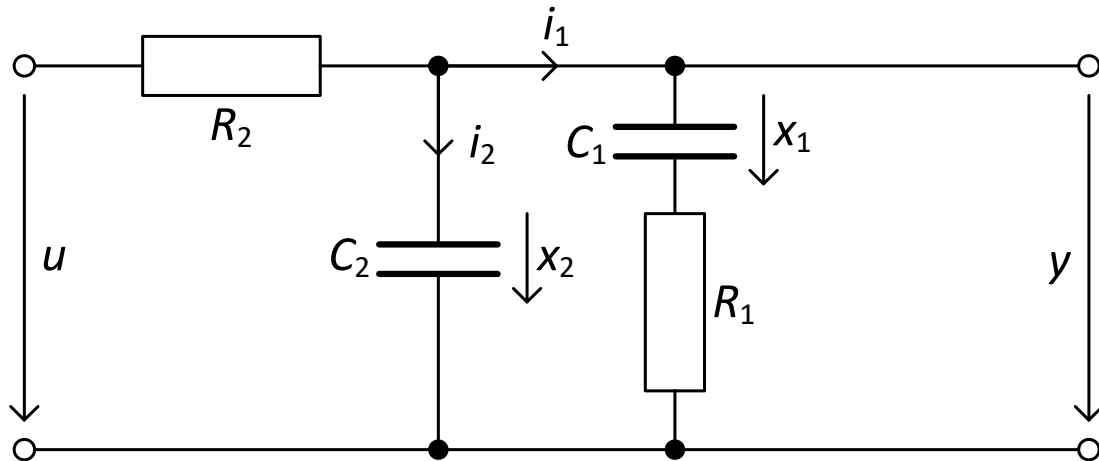
# Odziv nevzbujenega sistema





## Časovni odziv na začetno vzbujanje v prostoru stanj

Primer električnega vezja, za katerega nas zanima odvisnost izhodne napetosti  $y(t)$  od vhodne  $u(t)$ :



Zapis matematičnega modela električnega vezja v prostoru stanj z izbranimi vrednostmi:

$\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} = 2$ ,  $\omega_2 = \frac{1}{R_2 C_2} = \frac{3}{2}$  in  $k = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{3}$  je naslednji:

$$\dot{x}_1(t) = -2x_1(t) + 2x_2(t)$$

$$\dot{x}_2(t) = \frac{1}{2}x_1(t) - 2x_2(t) + \frac{3}{2}u(t)$$

$$y(t) = x_2(t)$$


Standardni matrični zapis v prostoru stanj ima naslednjo obliko:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

**Naloga:**

1. Zapišite model v matrični obliki ter določite vrednost matrik A, B, C, D.

2. Narišite odziv sistema ( $x_1(t)$  in  $x_2(t)$ ) v Matlabovem grafičnem oknu z dvema grafoma s funkcijo **subplot** ter ustrezno označite grafa.

Definicije parametrov izračuna:

$x_0=[1,1]$  – začetni pogoj

$t=[0:0.01:5]$

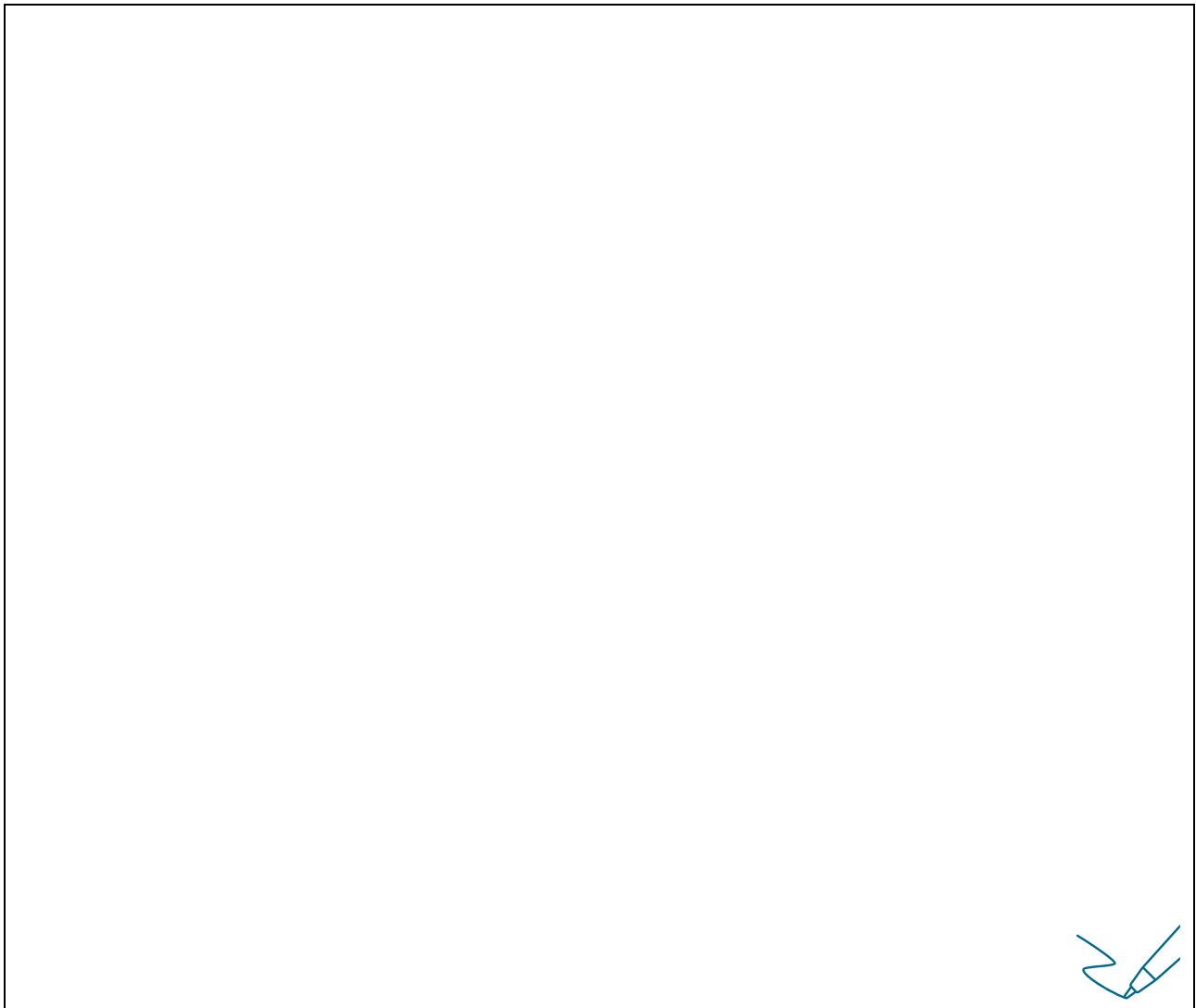
$u=0*t$  – določitev  $u(t) = 0$

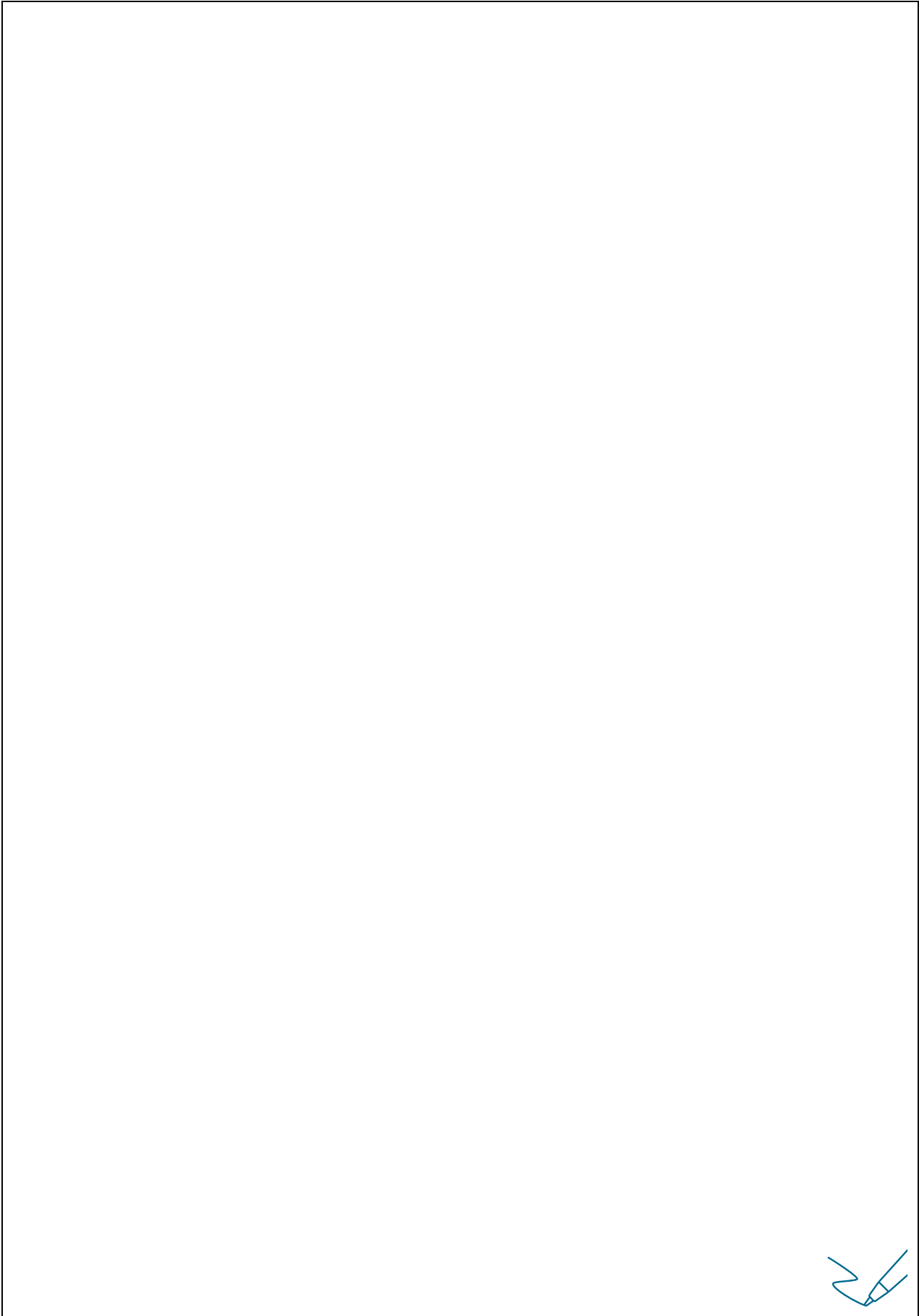
Odziv sistema določimo s pomočjo funkcije `lsim` in `ss`.

Uporabo funkcij preverite s `help` ukazom.

S funkcijo `plot(t,x(:,1))` izrišemo odvisnost  $x_1(t)$ .

S funkcijo `plot(t,x(:,2))` izrišemo odvisnost  $x_2(t)$ .





5. vaja

# Odziv na impulzno vzbujanje



**Naloga:**

Za sistem iz Vaje 4 določite odziv na impulzno vzbujanje.

Funkcija **ss** ustvari stanje modela oziroma pretvori model v prostor stanj.

Funkcija **impulse** nam omogoča vzbujanje sistema z impulznim odzivom.

Preizkusi tudi funkcijo **step**.

Uporabo funkcij preverite s help ukazom.







6. vaja

# **Koreni karakterističnega polinoma, množenje polinoma**



Delo s prenosnimi funkcijami je v Matlabu omogočeno z različnimi možnostmi. V nadaljevanju bomo predstavili in preskusili le najznačilnejše med njimi.

**Naloga:**

Za definiran polinom  $p(s) = s^3 + 3s^2 + 4$  določimo korene polinoma s funkcijo **roots**.

S funkcijo **poly** nato ponovno izračunajte polinom.

Zmnožite polinoma  $(s^3 + 3s^2 + 4)(s+4)$  s pomočjo funkcije **conv**.

Izračunajte vrednost polinoma  $n(s)$  pri  $s = -5$  s funkcijo **polyval**.





7. vaja

# Izračun stopničnega odziva prenosne funkcije



**Naloga:**

Za sistem z naslednjo prenosno funkcijo izračunajte stopnični odziv:

$$G(s) = \frac{ste}{ime} = \frac{5400}{2s^2 + 2.5s + 5402}$$

Parametri za izračun:

$$t = [0:0.005:3];$$

Uporabite funkciji **tf** in **step** ter ustrezno označite graf.







8. vaja

# Izračun impulznega odziva prenosne funkcije



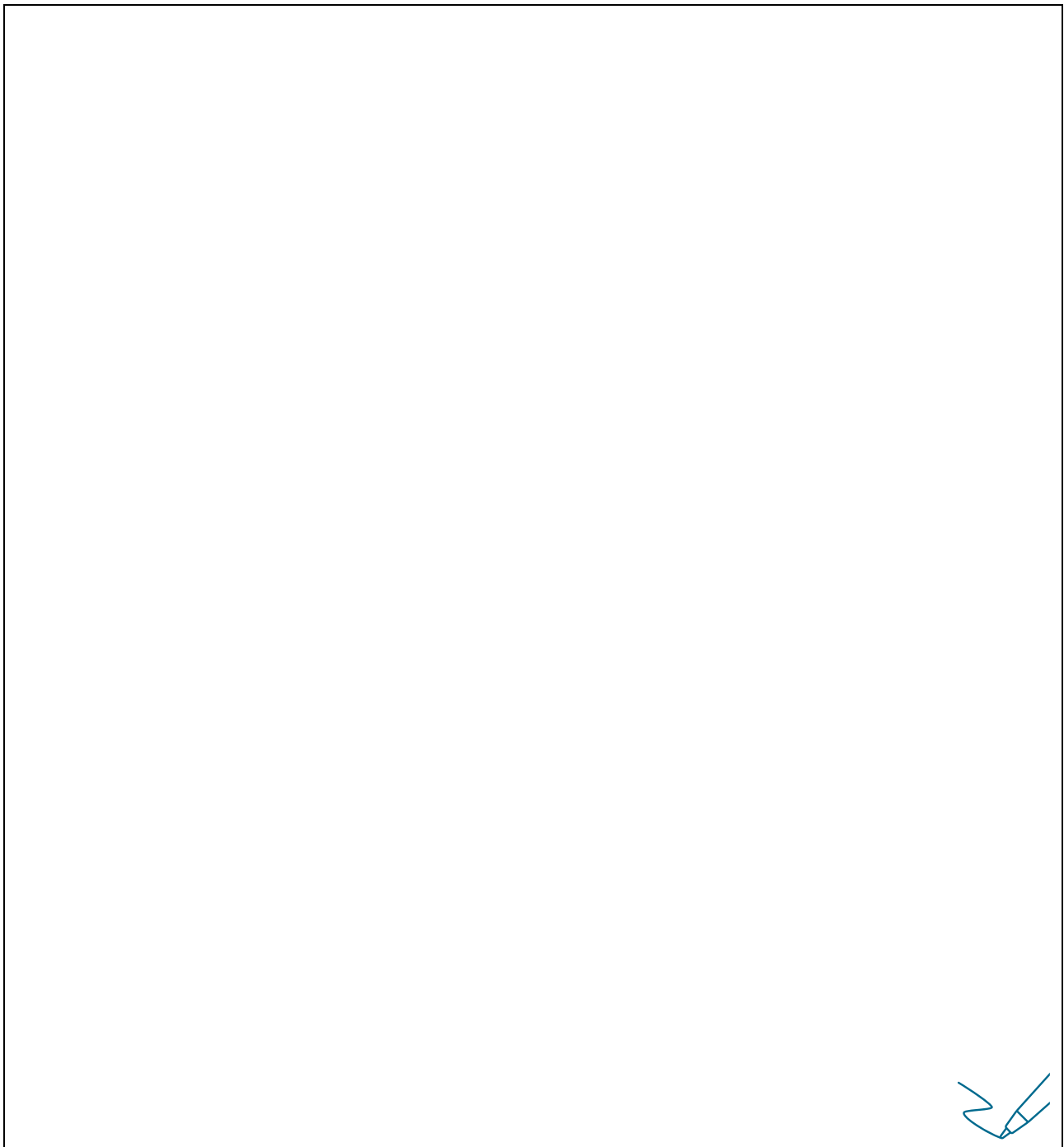
**Naloga:**

Za prenosno funkcijo iz Vaje 7 izračunajte impulzni odziv prenosne funkcije.

Parametri za izračun:

$$t = [0:0.005:10]$$

Uporabite funkcijo **impulse** in ustrezno označite graf.





9. vaja

# Pretvarjanje modela



V vaji bomo izvedli pretvarjanje modela iz prostora stanj v prenosno funkcijo in pretvarjanje modela iz prenosne funkcije v prostor stanj.

Za pretvorbo vhodno-izhodnega modela, zapisanega v obliki prenosne funkcije, uporabimo funkcijo **tf2ss**.

Za pretvorbo modela iz prostora stanj v vhodno-izhodni model v obliki prenosne funkcije uporabimo funkcijo **ss2tf**.

### Naloga:

Opravimo pretvorbo vhodno-izhodnega modela v obliki naslednje prenosne funkcije:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2s^2 + 8s + 6}{s^3 + 8s^2 + 16s + 6} \quad \text{v prostor stanj.}$$





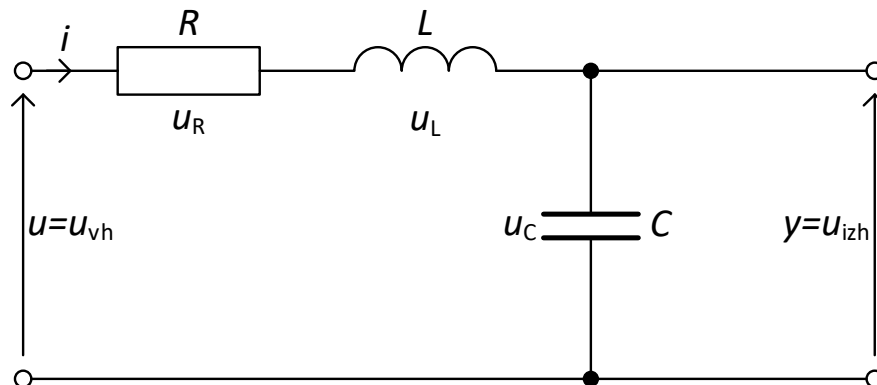


10. vaja

# Izračun stopničnega odziva člena druge stopnje



V nadaljevanju predstavljamo električno vezje kot člen druge stopnje:



Prenosna funkcija zgornjega vezja je:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Glede na vrednost dušenja  $\zeta$  ima stopnični odziv različne oblike.

### Naloga:

1. Izračunajte stopnični odziv člena druge stopnje za različne vrednosti dušenja  $\zeta$  ( $\zeta_1 = 0.1$ ,  $\zeta_2 = 0.2$ ,  $\zeta_3 = 0.4$ ,  $\zeta_4 = 0.8$ ,  $\zeta_5 = 1.0$ ,  $\zeta_6 = 1.2$ ,  $\zeta_7 = 2.0$ ).

Parametri za izračun:  $t = [0:0.1:20]$ .

2. Enako vajo izvedite še v Simulinku.

Potrebovali naslednje bloke: Step, Transfer Fcn, Mux, Scope. V Simulation → Configuration parameters nastavite Fixed step, ode4 (Runge-Kutta), Fixed-step size = 0.1.



11. vaja

# Izračun impulznega odziva člena druge stopnje



**Naloga:**

Za model iz Vaje 10 izračunajte še impulzni odziv za enake vrednosti dušenja  $\zeta$ .

Parametri za izračun:

$t = [0:0.1:20]$







12. vaja

# Bodejev diagram - člen prvega reda



Frekvenčne karakteristike rišemo s pomočjo Bodejevega diagrama. Frekvenčna karakteristika kaže stacionarne lastnosti sistema. Iz prenosne funkcije jo dobimo tako, da kompleksno spremenljivko nadomestimo z imaginarno  $j\omega^2$ .

V Bodejevem diagramu rišemo ločeno amplitudni in fazni potek v odvisnosti od krožne frekvence, in sicer frekvenco in amplitudo nanašamo v logaritmskem merilu, fazo pa v desetiškem.

Desetiško ojačanje		Ojačanje v [dB]
100	$20 \cdot \log_{10}(100)$	+40
10	$20 \cdot \log_{10}(10)$	+20
1	$20 \cdot \log_{10}(1)$	0
0.1	$20 \cdot \log_{10}(0.1)$	-20
0.01	$20 \cdot \log_{10}(0.01)$	-40

Bodejev diagram:

$$\alpha(\omega)[\text{dB}] = 20 \log_{(10)} |G(j\omega)|$$

$$\alpha(\omega) = |G(j\omega)|$$

### Naloga:

- Za frekvenčno karakteristiko člena prve stopnje  $G(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T}$  izrišite Bodejev diagram.
- Uporabite funkcije **logspace**, **tf**, **bode**, **semilogx**, **log10**.
- Lomna frekvenca?





13. vaja

# **Bodejev diagram - realni diferencialni člen**



Realni diferencialni člen, ki ga lahko izvedemo, ima naslednjo prenosno funkcijo:

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

Pri izvedbi težimo za tem, da je časovna konstanta  $T_d'$  dosti manjša od  $T_d$ .

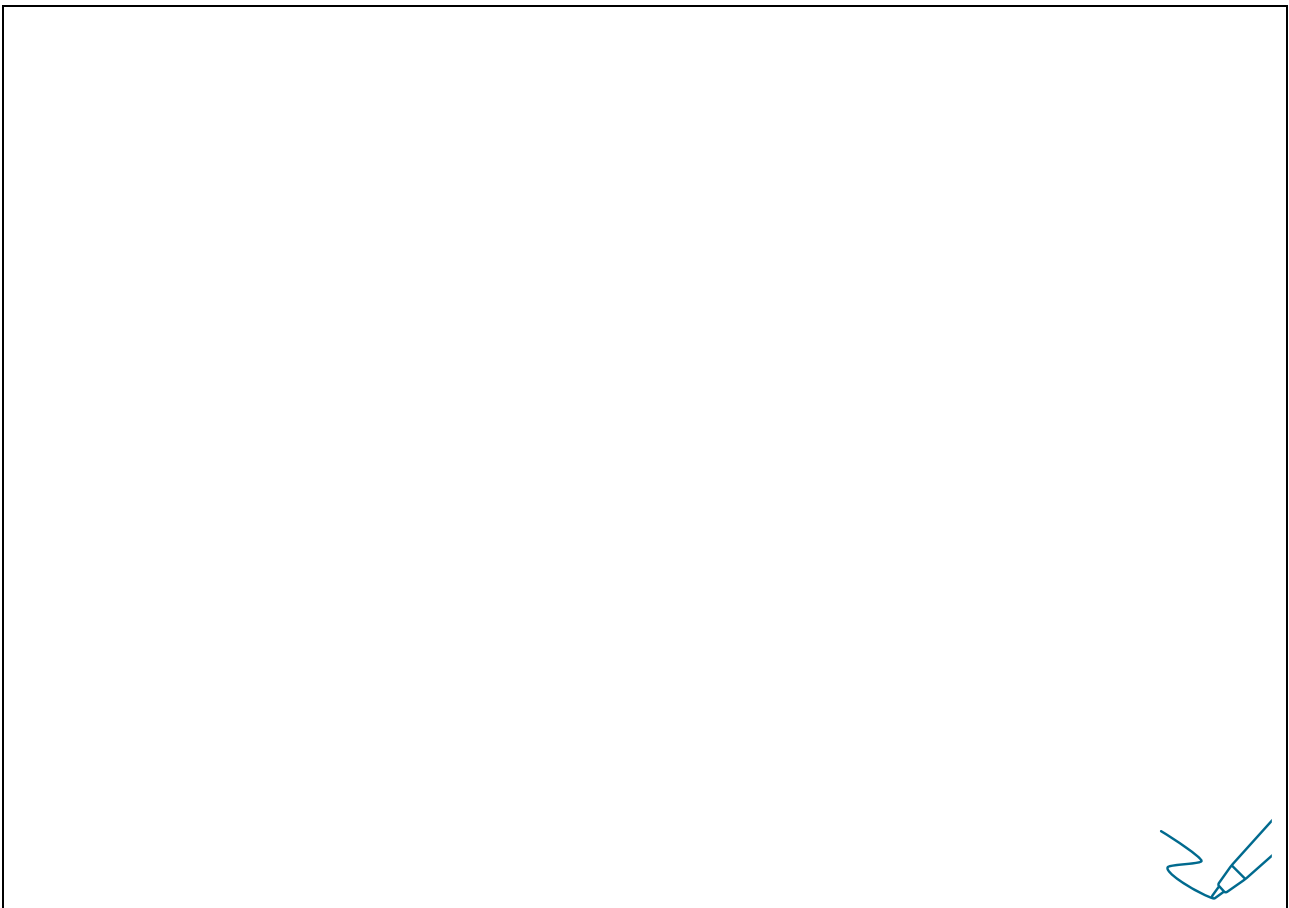
Pogosto vzamemo, da je :

$$T_d = 1 \text{ s}; T_d' = \frac{T_d}{10}$$

$$|G(j\omega)| < 1$$

**Naloga:**

Izrišite amplitudni in fazni potek v Bodejevem diagramu in prikažite vrednosti  $\frac{1}{T_d'}$  in  $\frac{1}{T_d}$ .



Kakšno je ojačanje?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Kakšno je ojačanje v dB?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



14. vaja

# Dvig in spust faze

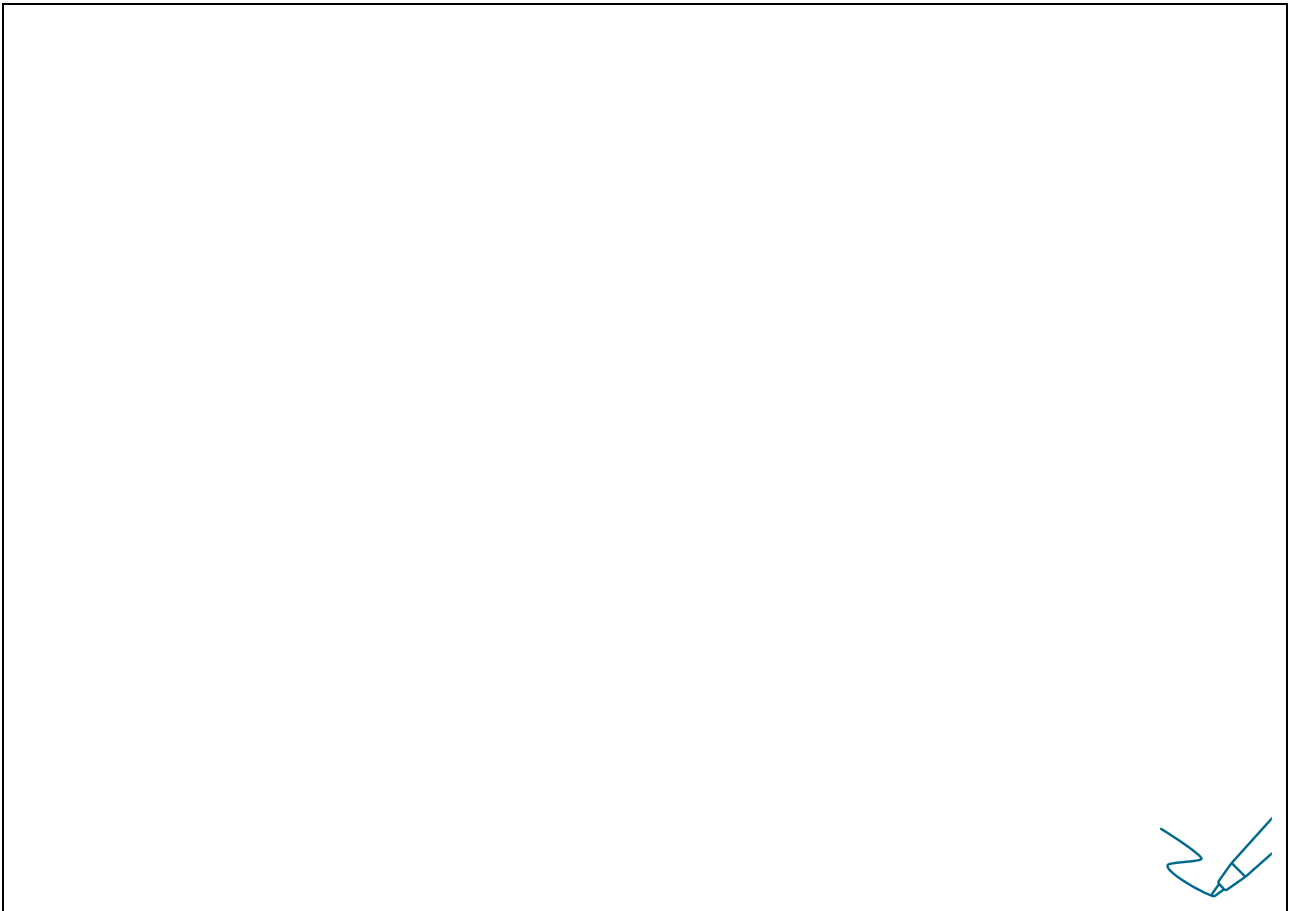


**Naloga:**

Narišite Bodejev diagram člena 2. reda za dvig in spust faze:

$$G(s) = \frac{sT_1 + 1}{sT_2 + 1}$$

**a.)**  $T_1 < T_2$  **spust faze;**  $T_1 = 0.1 s$ ,  $T_2 = 1 s$ ,



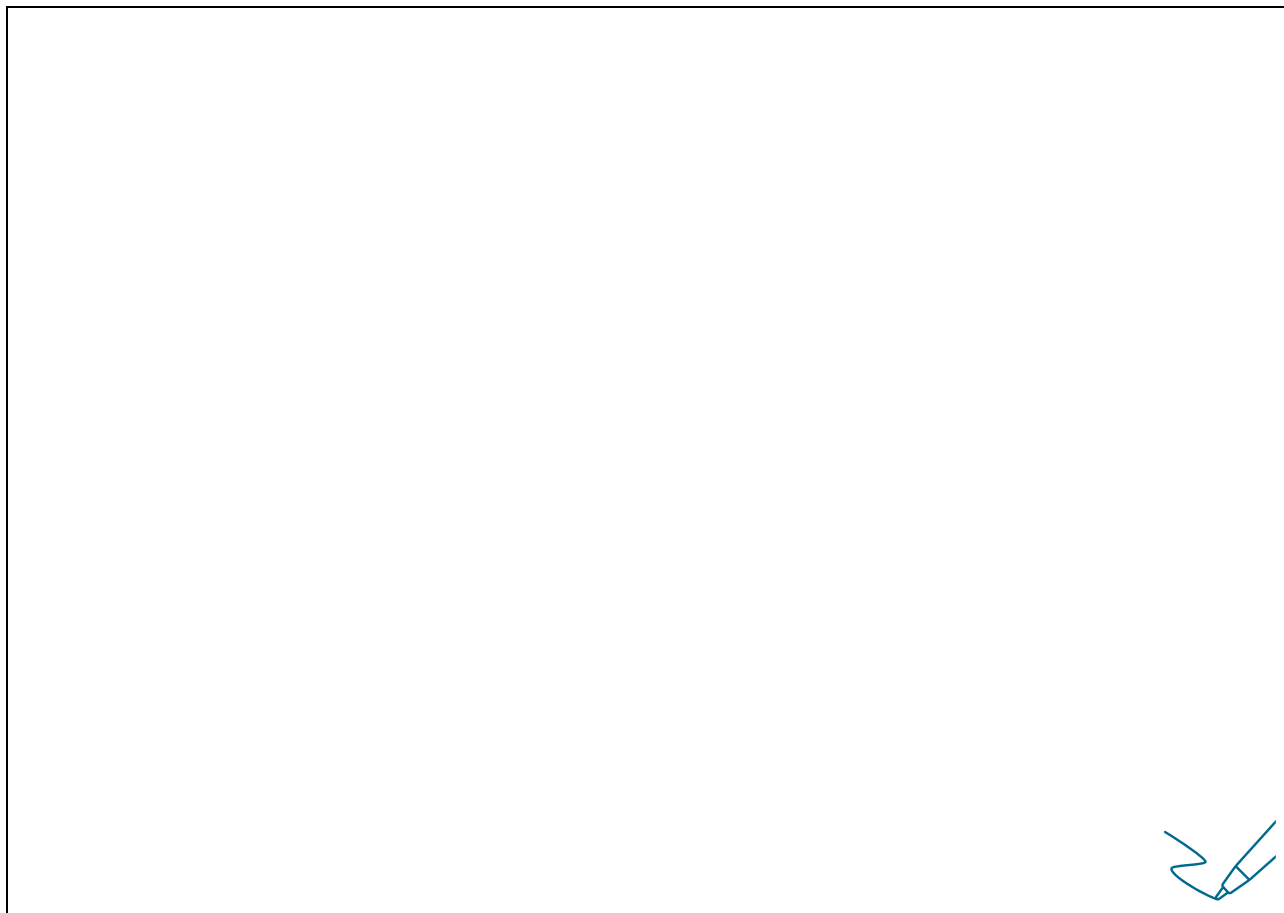
---

---

---

---

**b.)**  $T_1 > T_2$  **dvig faze;**  $T_1 = 1 s$ ,  $T_2 = 0.1 s$



---

---

---

---

15. vaja

# Člen drugega reda



Prenosna funkcija člena druge stopnje je:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}.$$

Pripadajoča frekvenčna karakteristika ima naslednjo obliko:

$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\zeta(j\frac{\omega}{\omega_n}) + (j\frac{\omega}{\omega_n})^2}.$$

**Naloga:**

Izrišite Bodejev diagram za člen drugega reda za različne vrednosti dušenja  $\zeta = 1; 0.5; 0.2; 0.05$ .

Kako dušenje vpliva na potek faze?

---

---

---

---

Kako dušenje vpliva na prenehaj?

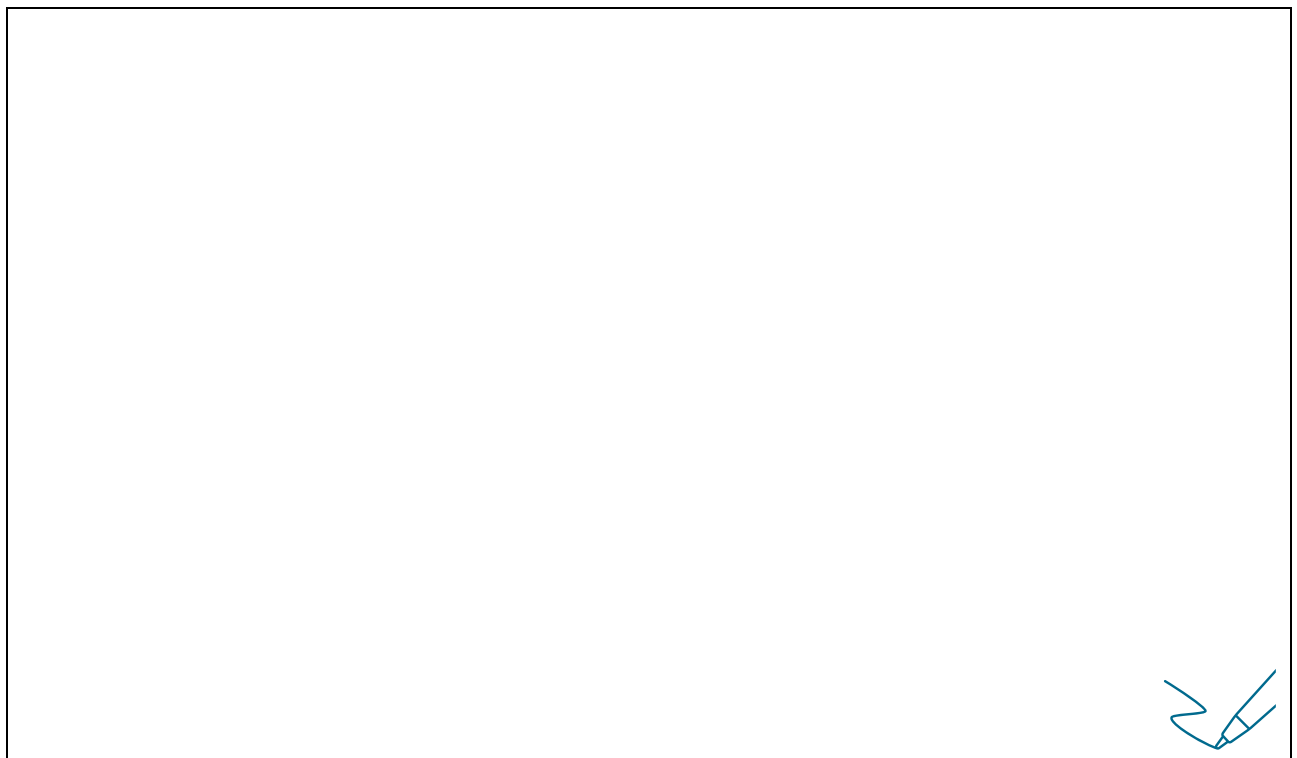
---

---

---

---

Izrišite stopnične odzive prenosne funkcije in komentirajte vpliv dušenja na stopnični odziv.





16. vaja

**Stopnični odziv člena višjega reda, ki se  
obnaša kot člen I. reda z ustreznim  
ojačanjem**

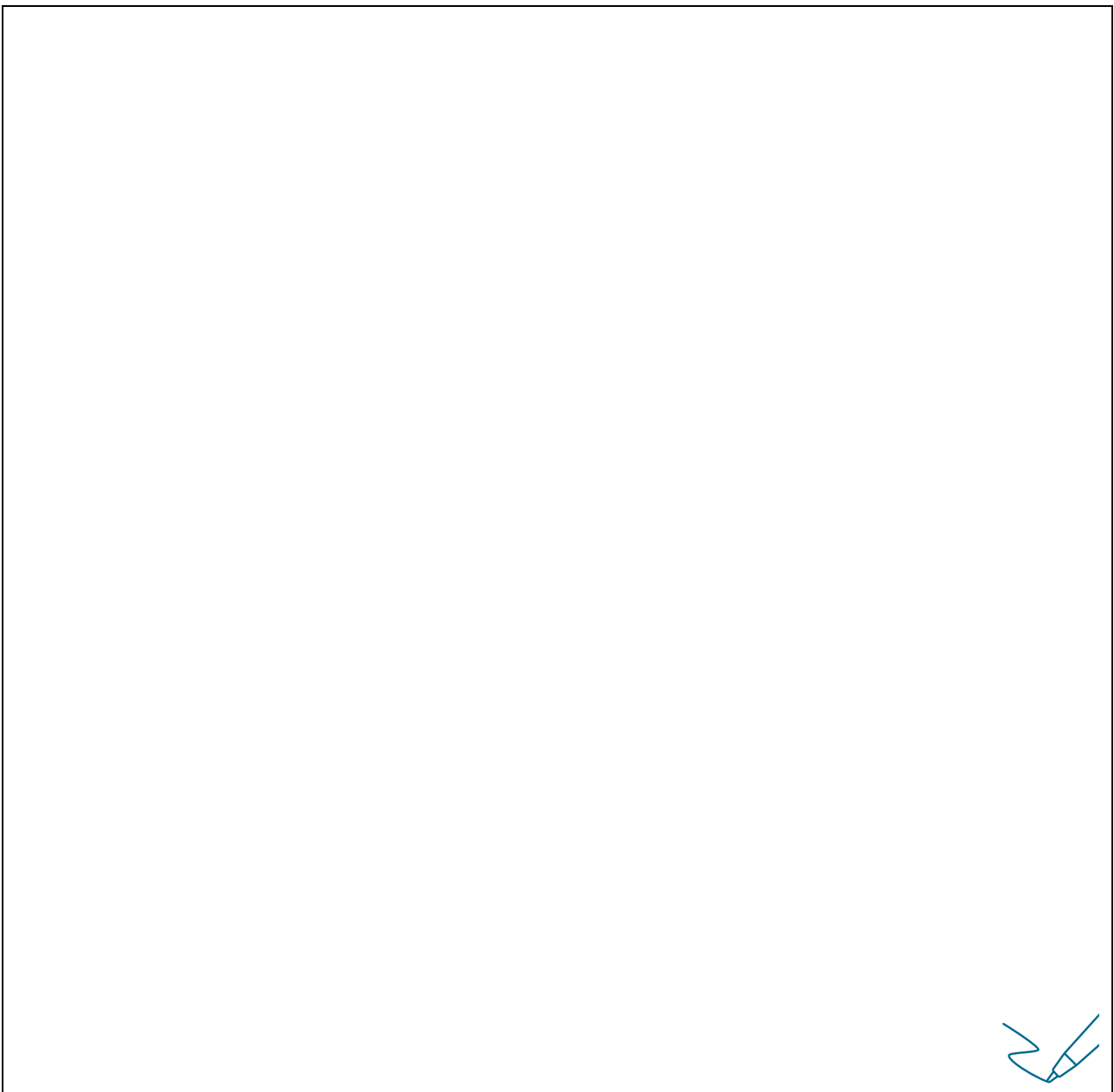


Podan je člen višjega reda. Za podano prenosno funkcijo izrišite stopnični odziv člena ter Bodejev diagram.

**Naloga:**

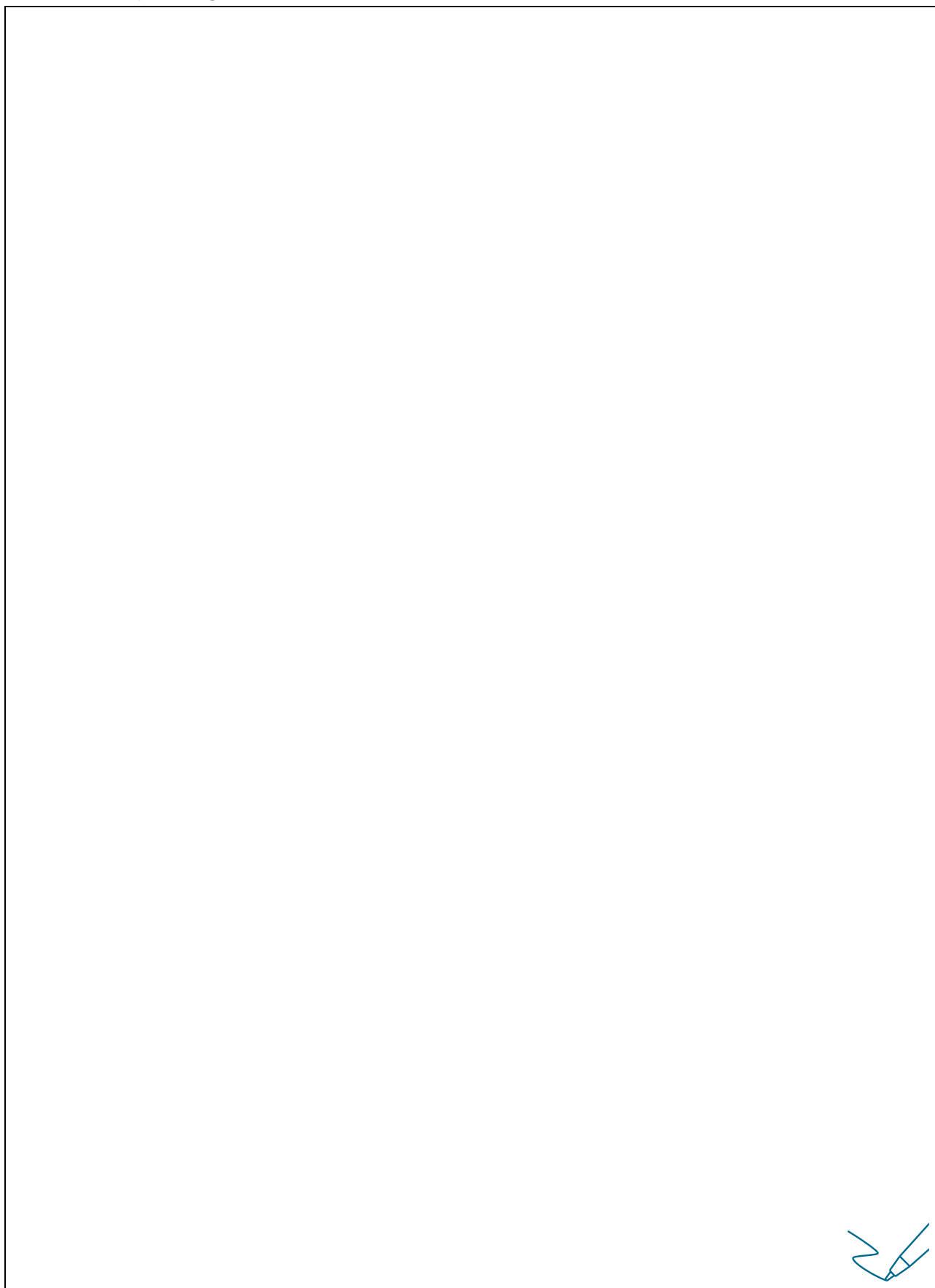
Za prenosno funkcijo narišite stopnični odziv.

$$G(s) = \frac{s^3 + 18s^2 + 107s + 210}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24}$$



A large empty rectangular box for drawing the step response and Bode diagram. In the bottom right corner of the box, there is a small blue handwritten mark that looks like a stylized signature or initials.

Izrišite Bodejev diagram.



2/4

17. vaja

# Stabilnost zaprtozančnega sistema

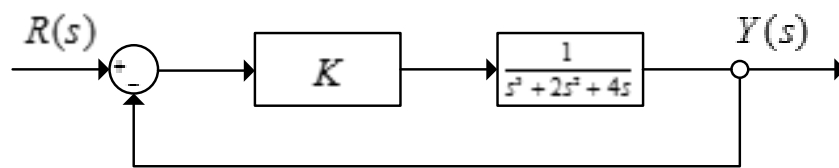


Sistem bo stabilen tedaj, ko bo vsaka »omejena« vhodna funkcija povzročila »omejeno« izhodno funkcijo – BIBO stabilnost (Bounded Input Bounded Output).

$$Y(s) = G(s)U(s)$$

Sistem je BIBO stabilen natanko tedaj, ko je stopnja števca  $G(s)$  manjša ali enaka od stopnje imenovalca  $G(s)$  in ko ima  $G(s)$  samo pole z negativnimi realnimi deli.

Analiza zaprtozančnega sistema:



$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{s^3 + 2s^2 + 4s + K}$$

**Naloga:**

Za kakšno ojačanje  $K$  je zaprtozančni sistem stabilen?

---

---

---

---

Parametri za določanje  $K$ :  $K = [0:0.1:8]$ .



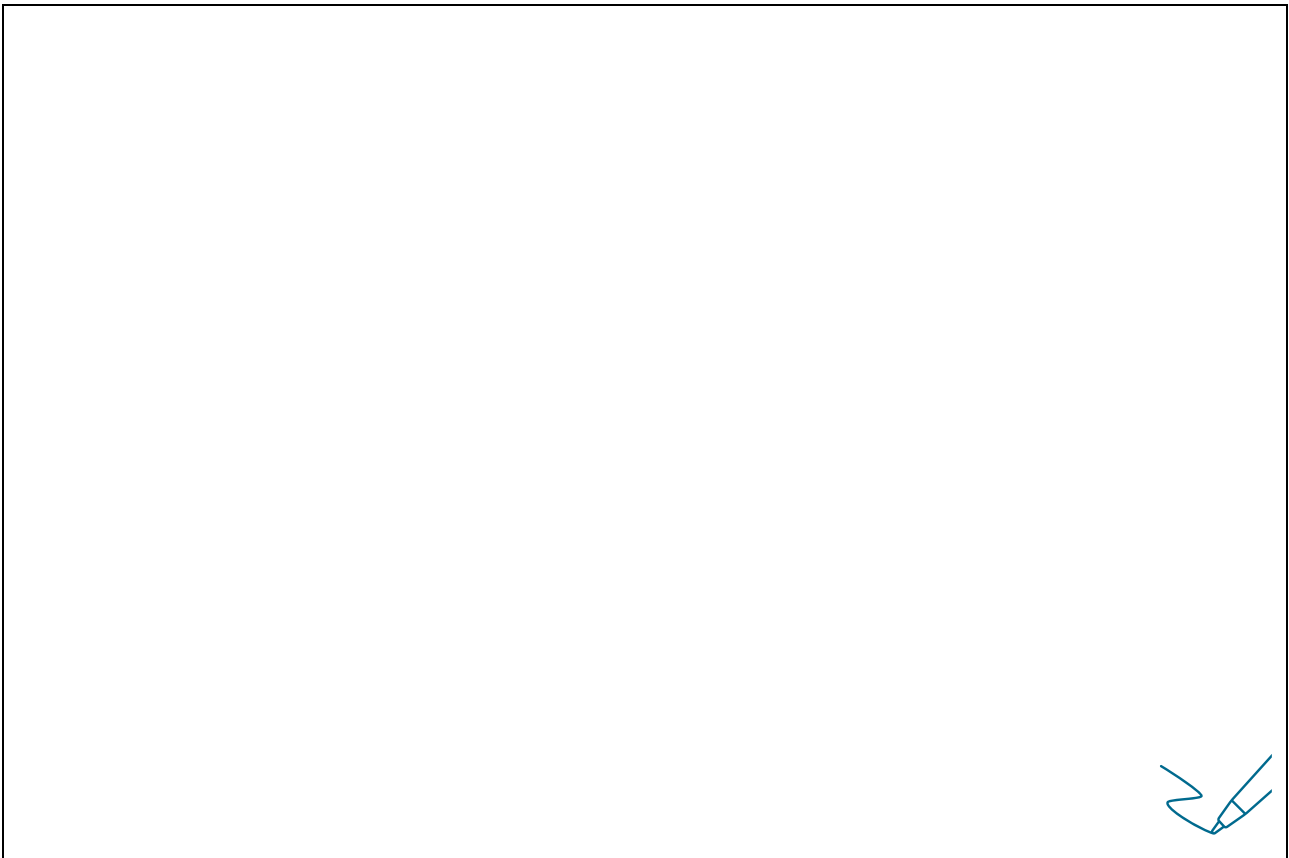
Preverite še stabilnost za ojačanje  $K$ :  $K = [0:0.1:8.8]$ .



Uporabite stavek **for** za določitev zaprte zanke.

S stavkom **if** preverite, ali je zaprtozankni sistem stabilen.

Program naj izpiše: »**Sistem je stabilen!**« oziroma »**Sistem ni stabilen!**«



Kako se stabilnost sistema že takoj vidi na izrisanem grafu?

---

---

---



18. vaja

# Stabilnost zaprtozančnega sistema



Za primer iz Vaje 17 preverimo stopnični odziv v odvisnosti od ojačanja  $K$ .

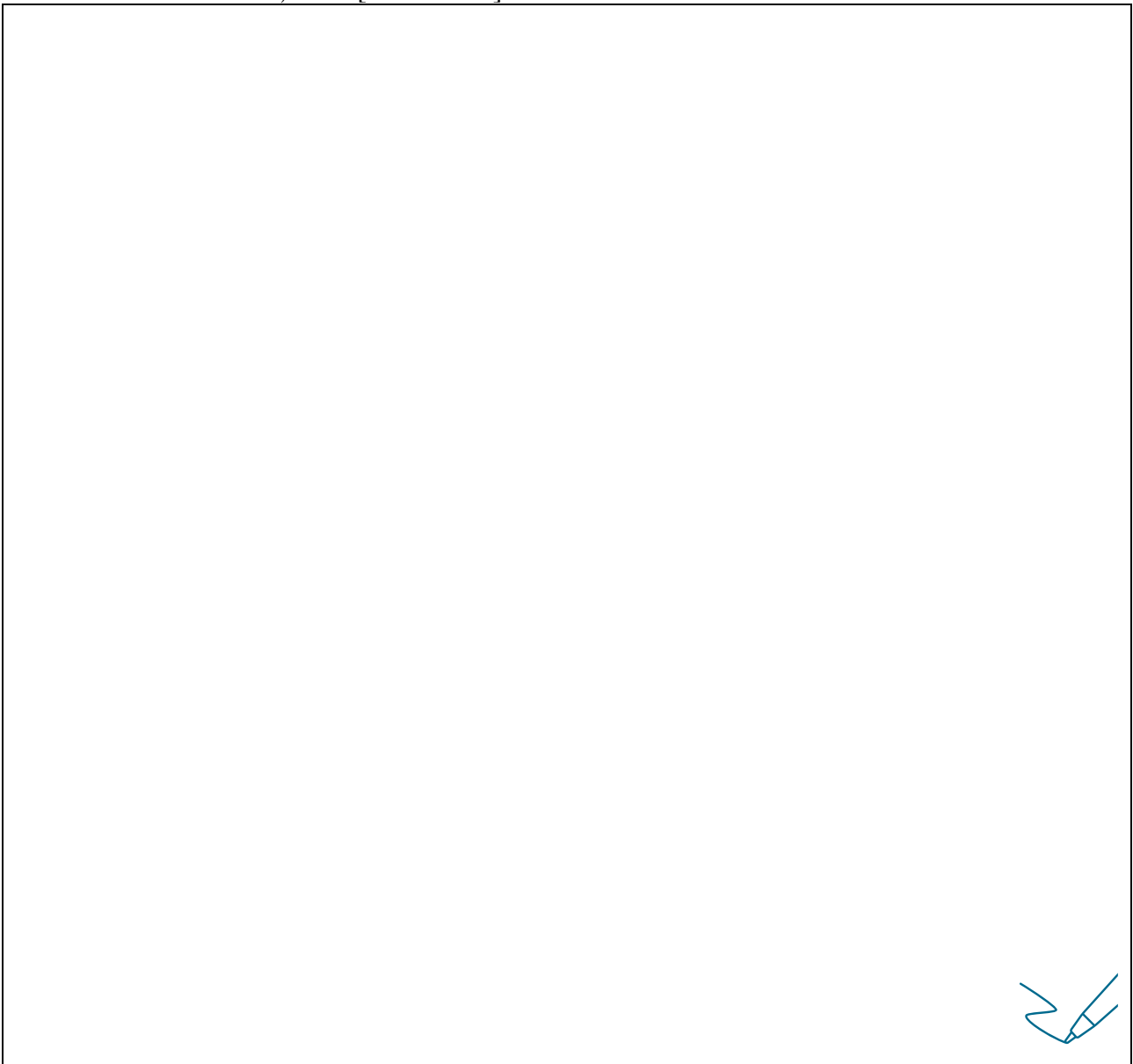
**Naloga:**

Preverite, kako je s stabilnostjo zaprtozančnega sistema v primeru spreminjanja vrednosti ojačanja  $K$  pri stopničnem odzivu za naslednji sistem:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{s^3 + 2s^2 + 4s + K} \text{ - zaprtozančna prenosna funkcija.}$$

Narišite odziv na stopnico za različne vrednosti ojačanja  $K$ :

- $K = 4, K = 8; K = 8.1$
- Časovno okno je  $t = [0:0.005:16]$ .





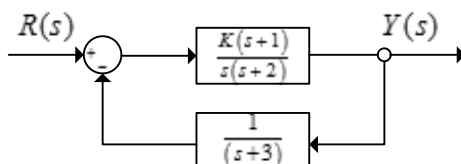
19. vaja

# Izris diagrama lege korenov DLK



**Naloga:**

1. Za prenosno funkcijo  $G_1(s) = \frac{K(s+1)}{s(s+2)}$  v direktni veji in  $G_2(s) = \frac{1}{s+3}$  v povratni veji ( $G_o(s) = G_1(s)G_2(s)$ ) narišite diagram lege korenov (DLK).



Karakteristična enačba (KE) sistema je:

$$0 = 1 + K \frac{(s+1)}{s(s+2)} \frac{1}{(s+3)} \quad 0 \leq K \leq \infty, \text{ ojačanje spreminjamo za DLK}$$

DLK prenosne funkcije ( $G_0(s)$ ) narišemo s pomočjo funkcije **rlocus**.

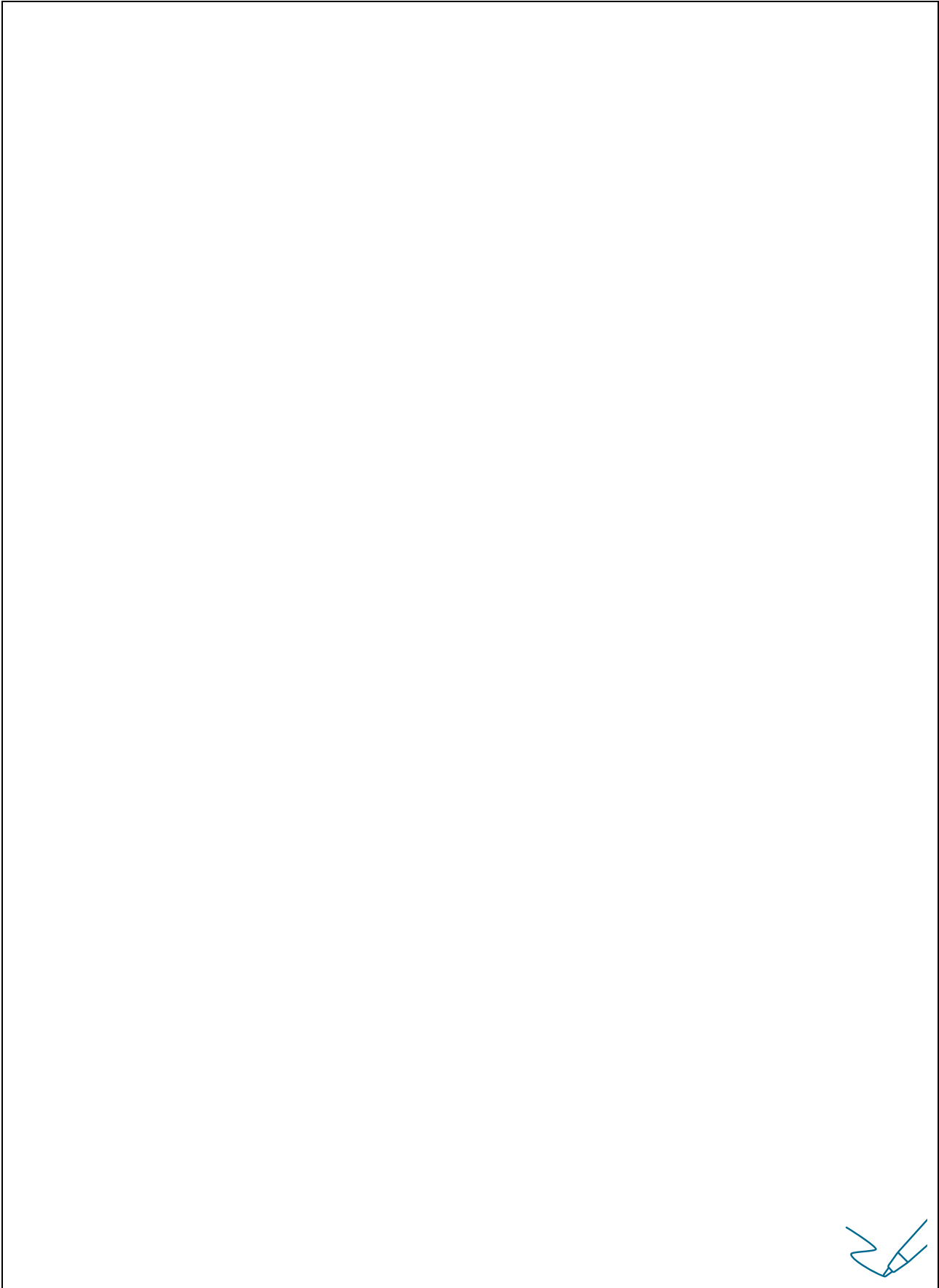
2. Določite vrednost ojačanja prenosne funkcije ( $G_0(s)$ ) v določeni točki, ki jo izberete z miško v grafičnem oknu z ukazom **rlocfind**.

3. Za različne vrednosti ojačanja  $K = 20, 40$  in  $80$  tvorite prenosne funkcije ( $G_z(s)$ ) in izračunajte ničle ter pole prenosnih funkcij. Izračunane pole primerjajte z določenimi poli in ojačanjem z ukazom »rlocfind«.

4. Izračunajte stopnični odziv za različne vrednosti ojačanja  $K = 20, 40$  in  $80$  ter preverite vrednosti časov umiritve.

$$G_z(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)} = \frac{Ks + K}{s^3 + 5s^2 + (K+6)s + K}$$

4. Če je  $G_o(s) = G_1(s)G_2(s)$ , dokaži, da velja  $G_z(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)} = \frac{Ks + K}{s^3 + 5s^2 + (K+6)s + K}$ .



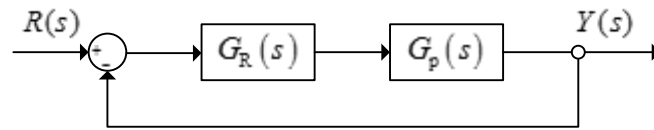


20. vaja

# Stabilnost zaprtozančnega sistema



Splošen regulacijski sistem:



**Naloga:**

Proces je opisan s prenosno funkcijo:

$$G_p(s) = \frac{10}{(s+1)(0.1s+1)(0.01s+1)}$$

Kompensacijska metoda za določanje členov PID-regulatorja:

$$K_r = 2.59; T_i = 1 s; T_d = 0.1 s; T_d^* = 0.01 s$$

$$G_{R,P} = K_R$$

$$G_{R,PI} = K_R \frac{sT_i + 1}{sT_i}$$

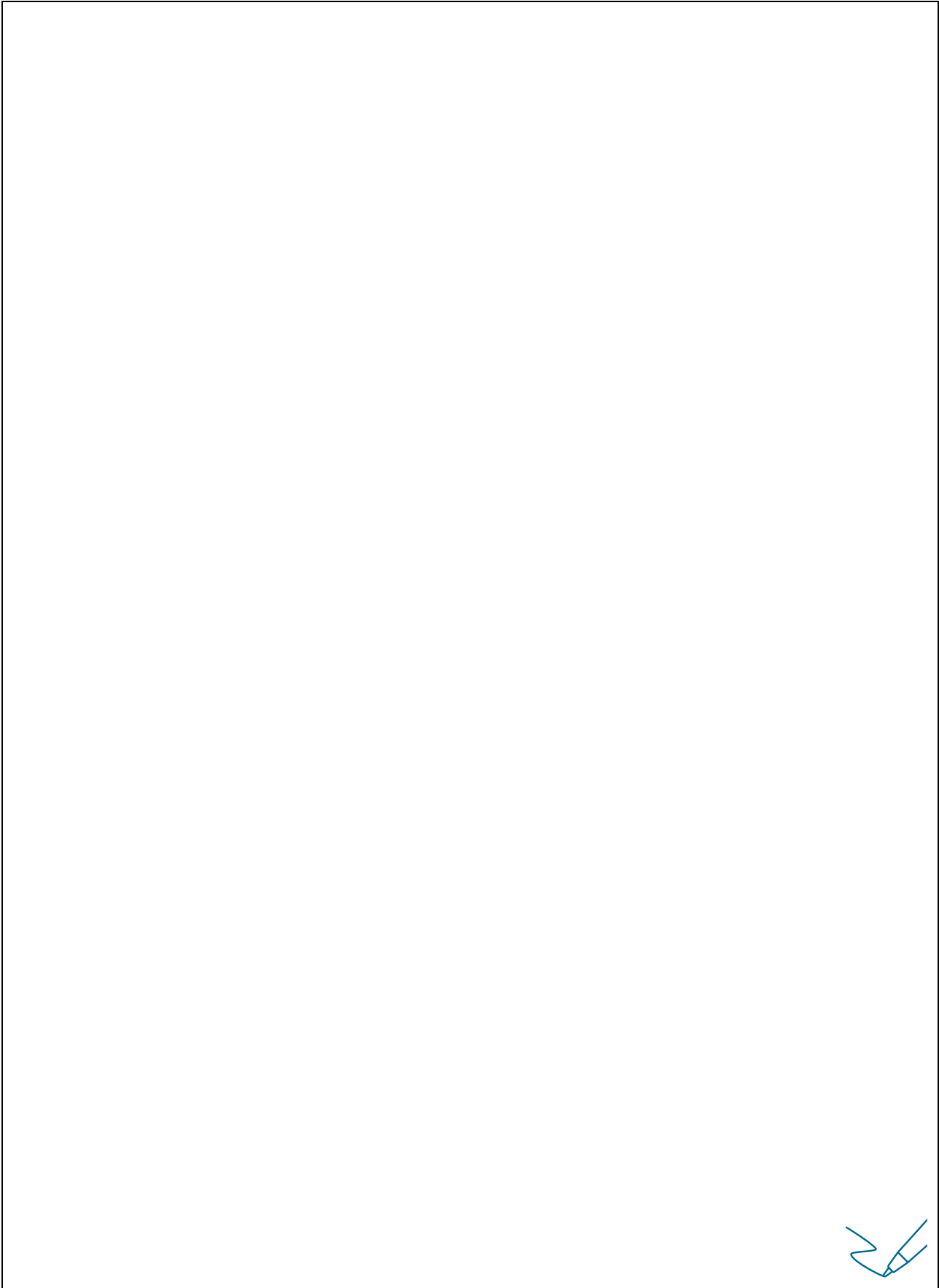
$$G_{R,PID} = K_R \frac{sT_i + 1}{sT_i} \frac{sT_d + 1}{sT_d^* + 1}$$

$$G_o(s) = G_p(s)G_R(s)$$

Določite stopnični odziv zaprtozančnega sistema. Uporabi Matlabovo funkcijo **feedback**.

$$G_z(s) = \frac{G_p(s)G_R(s)}{1 + G_p(s)G_R(s)}$$

Stopnični odziv simulirajte tudi v SIMULINKU.



21. vaja

# Reševanje diferencialnih enačb



1. Rešite spodnjo diferencialno enačbo z uporabo Laplaceove ter inverzne Laplaceove transformacije.

$$\ddot{x} + 5\dot{x} + 6x = 0 ; x(0)=2, \dot{x}(0)=3$$

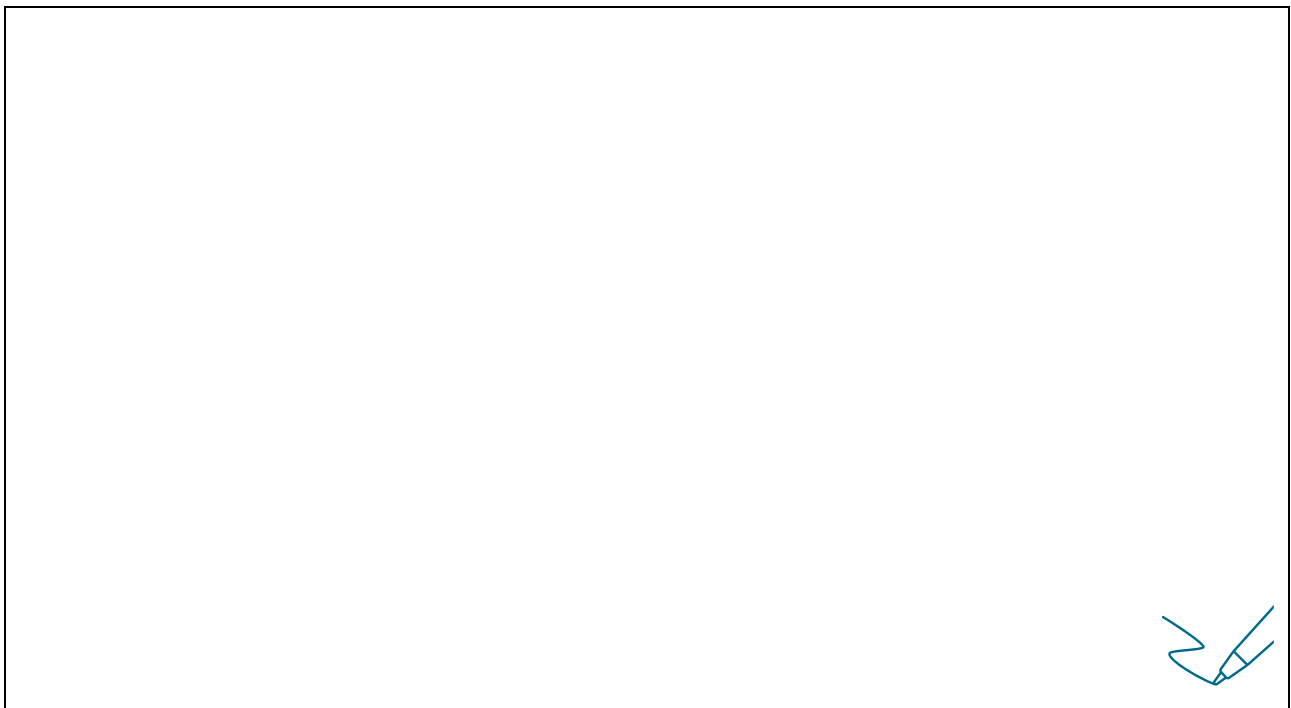
2. V programu Matlab izračunajte prenosno funkcijo in rešitev diferencialne enačbe. Uporabite naslednje ukaze:

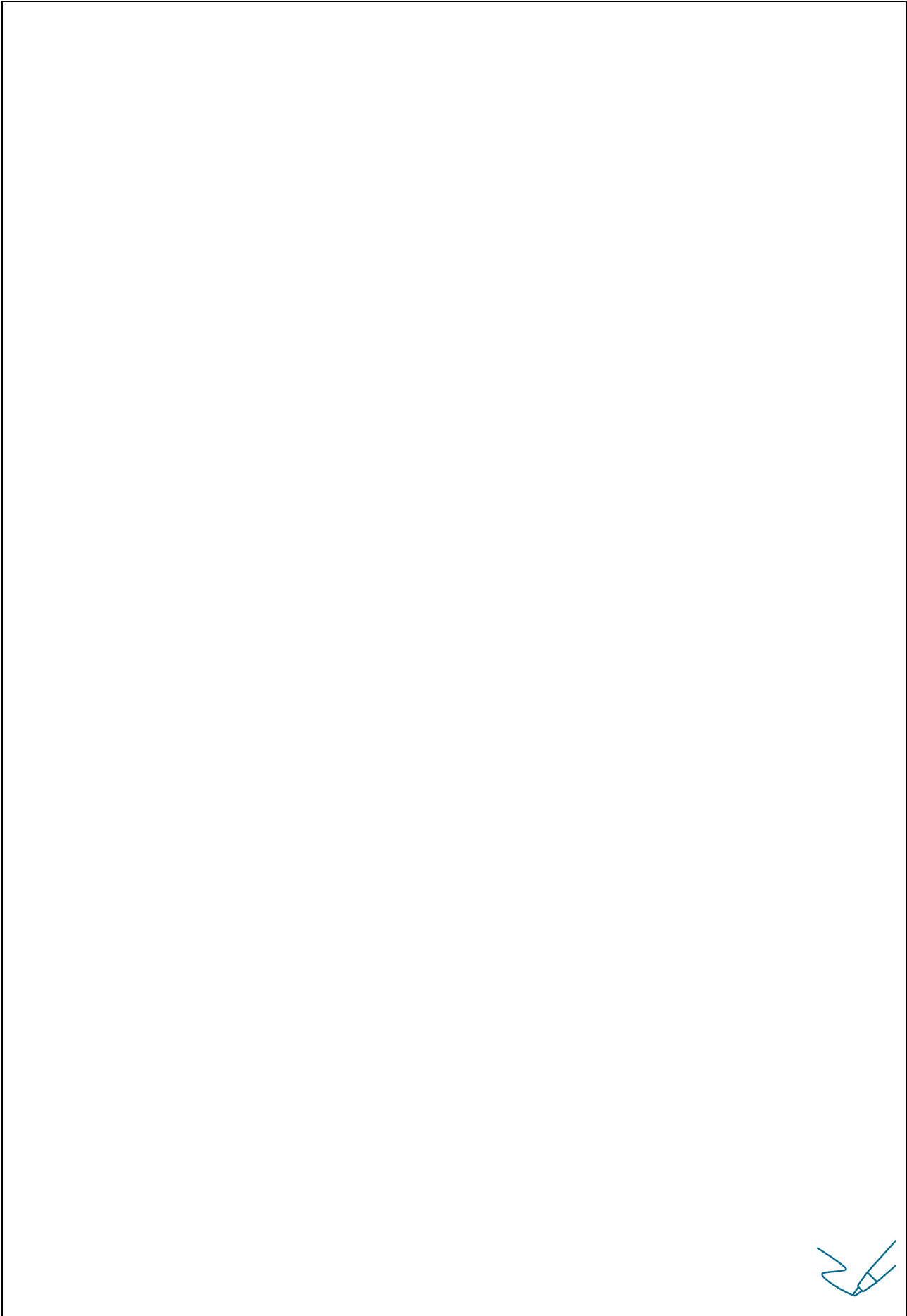
- syms
- laplace
- solve
- ilaplace

3. Diferencialno enačbo rešite še enkrat tako, da definirate števec in imenovalc v točki 1 izračunane prenosne funkcije. Z ukazom **residue** zapišite prenosno funkcijo kot vsoto ulomkov. Izračunajte časovni potek funkcije 1 in funkcije 2 ter časovni potek rešitve diferencialne enačbe.

4. Izrišite časovne poteke dobljenih rezultatov.

5. Izrišite impulzni in stopnični odziv prenosne funkcije.





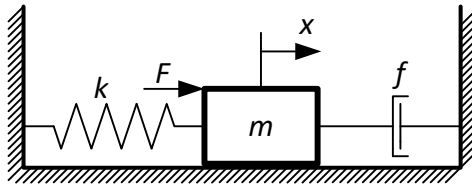


22. vaja

# Mehanski sistem v prostoru stanj



1. Zapišite enačbe podanega mehanskega modela v prostoru stanj.



Izhod iz sistema  $y$  naj bo pomik mase ( $x_1$ ).

Rešitev zapišite v obliki:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot u$$
$$y = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{D} \cdot u$$

2. Simulirajte stopnični odziv sistema v Matlabu in Simulinku ter primerjajte rezultate.

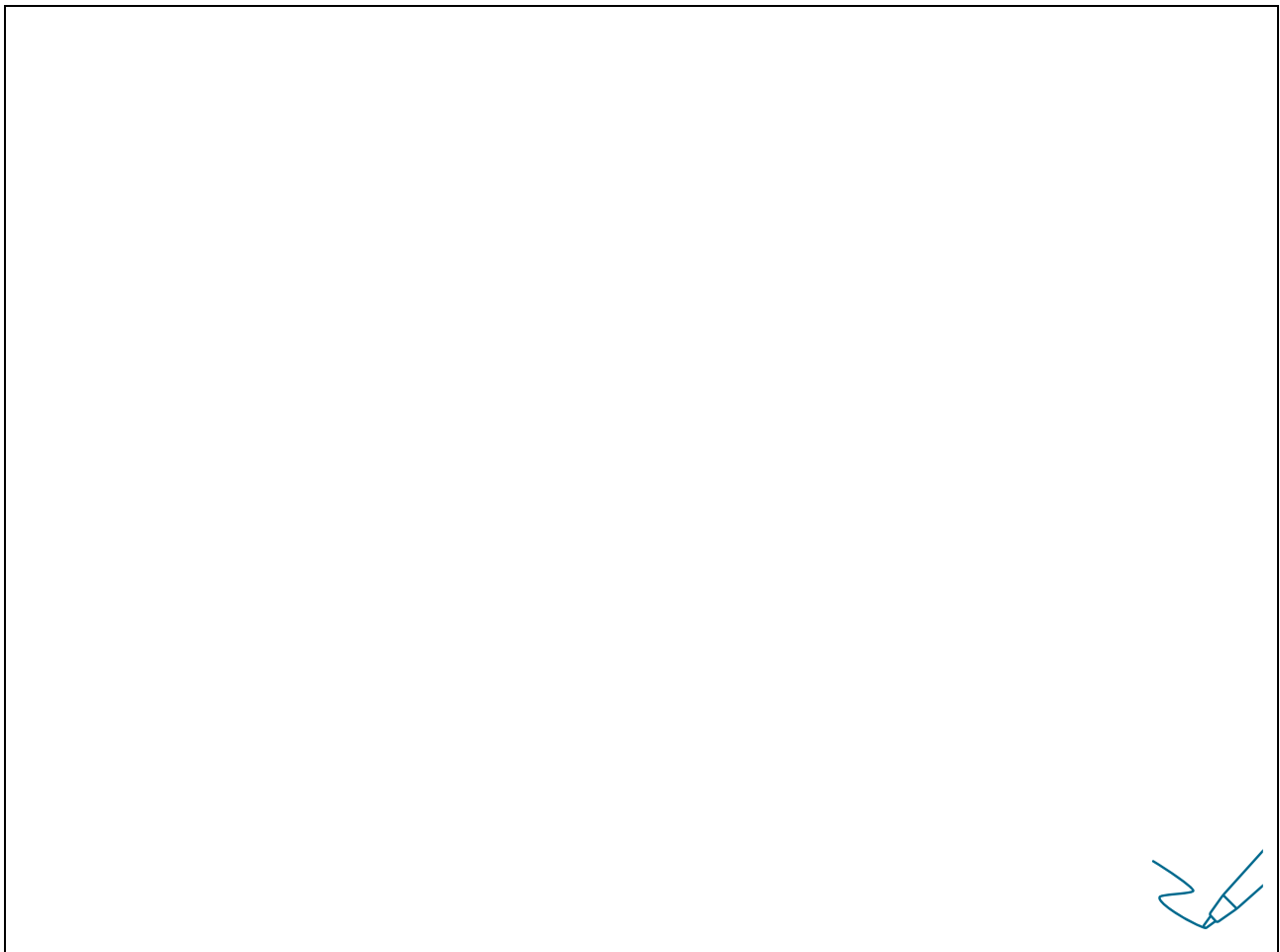
Vhodni podatki:

- masa  $m = 1$  kg
- konstanta vzmeti  $k = 0.5$  N/m
- dušenje  $f = 0.4$  Ns/m
- sila vzbujanja  $F = 1$  N
- čas  $t = [1:0.01:30]$  s

Potek:

- Definirajte vhodne podatke.
- Zapišite model v prostoru stanj.
- Pretvorite iz prostora stanj v prenosno funkcijo in obratno.
- Izrišite stopnični odziv mehanskega modela.

Izdelajte model mehanskega modela v Simulinku in preverite odziv na stopnično vzbujanje.



Preverite odziv sistema za različne vrednosti sile vzbujanja  $F$ .

---

---

---

Kaj se zgodi, če se dušenje zmanjša?

---

---

---

Kaj se zgodi, če se poveča koeficient vzmeti?

---

---

---

Kako na odziv sistema vpliva sprememba mase telesa? Zakaj?

---

---

---

---

---

---



# AVTOMATIKA V ENERGETIKI: ZBIRKA RAČUNALNIŠKIH VAJ

GREGOR SRPČIČ IN DALIBOR IGREC

Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko, Krško, Slovenija.

E-pošta: gregor.srpcic@um.si, dalibor.igrec@guest.um.si

**Povzetek** Zbirka računalniških vaj je namenjena predvsem študentom Fakultete za energetiko v Krškem in Velenju, kot dodatno učno gradivo pri predmetu Avtomatika v energetiki na visokošolskem strokovnem in univerzitetnem študijskem programu Energetika. Študenti vaje rešujejo z uporabo programskega paketa Matlab/Simulink. Prve tri vaje predstavljajo ponovitev in hkrati uvod v delo z omenjenim programskim paketom. Preostale računalniške vaje se vsebinsko navezujejo na predavanja in zajemajo sledečo tematiko: diferencialne enačbe, prenosne funkcije, zapis v prostoru stanj, frekvenčne karakteristike ter odprto in zaprtozančne sisteme vodenja. Za uspešno reševanje nekaterih računalniških vaj morajo študenti del naloge rešiti tudi računsko. Potrebno je poznavanje metod za reševanje diferencialnih enačb, pretvarjanje zapisa sistema v prostoru stanj v prenosno funkcijo ter določanje matematičnega modela električnega vezja v prostoru stanj.

**Ključne besede:**

avtomatika,  
Matlab,  
prenosna  
funkcija,  
Bodejev  
diagram,  
stabilnost  
zaprtozančnega  
sistema



Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za energetiko