



1. laboratorijska vježba (NSU)

Trajektorije stanja nelinearnih sustava

Ime i prezime:

JMBAG:

UVODNE NAPOMENE

• Cilj vježbe

- Uočiti pojavu determinističkog kaosa u dinamičkom ponašanju nelinearnih sustava. Primijetiti zavisnost kvalitativnog dinamičkog ponašanja nelinearnog sustava od početnih uvjeta.
- Upoznati se s faznim portretima nelinearnih sustava upravljanja.

• Priprema

- Proučite poglavlje predavanja o Chuinom krugu, kaotičnom ponašanju nelinearnih sustava te zavisnosti kvalitativnih dinamičkih ponašanja nelinearnih sustava od početnih uvjeta.
- Proučite poglavlje predavanja o faznim trajektorijama nelinearnih sustava upravljanja s naglaskom na postupak izoklina i spajanja rješenja.

Ova se vježba radi u Matlabu. Ponovite vještine izrade simulacijskih shema korištenjem Simulinka.

• Korisne Matlab funkcije:

plot, plot3, get, gcf, gca, set

• Uputa o ispunjavanju polja na računalu:

Za pisanje diferencijalnih jednadžbi koristite sljedeću pojednostavljenu notaciju:

$$\boxed{K \cdot \frac{d}{dt}(a) \quad K.(da/dt)}$$

• Uputa o predaji izvještaja:

Na adresu luka.mandic@fer.hr poslati popunjeni PDF obrazac uz naznaku [NSU] LAB1 u naslovu maila. U isti PDF obrazac treba priljepiti i tražene slike na prikladnim mjestima u dokumentu. Slike moraju biti u .bmp, .jpg ili .png formatu a priljepiti ih možete tako da u Adobe Acrobat programu slijedite sljedeće poveznice: Tools → Comment & Markup → Attach a File as a Comment.

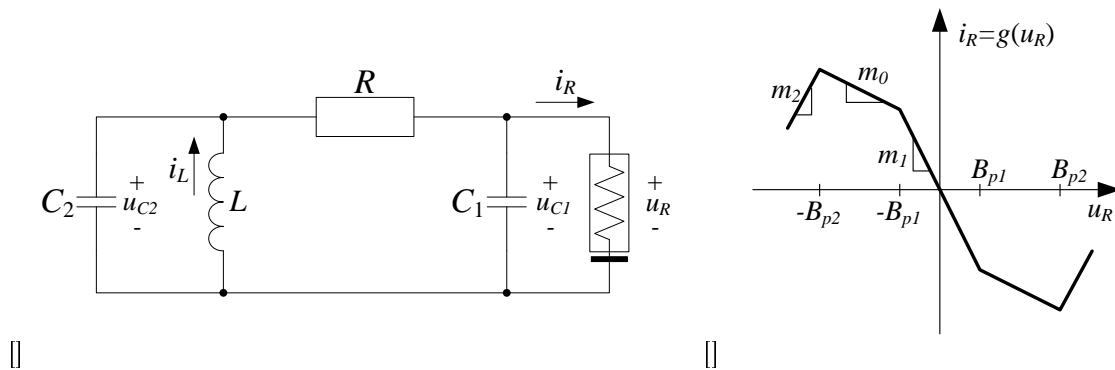
RAD NA VJEŽBI



ZADATAK 1 : Chuin krug

Chuin krug je električni krug prikazan slikom . Uveden je 1983. godine kao jedinstavan primjer realnog nelinearnog sustava koji pokazuje kaotičko ponašanje. Nelinearni element zadan funkcijom $i_R = g(u_R)$ je prikazan slikom .

- Izradite prikaz Chuinog kruga u prostoru stanja, na osnovi električne sheme Chuinog kruga dane na slici . Za varijable stanja koristite u_{C1} , u_{C2} i i_L sa sheme. Za iznos struje i_R koja u smjeru označenom na slici teče kroz nelinearni otpornik na kojem je narinut napon u_R koristite izraz $i_R = g(u_R)$. Za vremenski nepromjenjive linearne koeficijente koristite opće brojeve $\{C_1, C_2, R, L\}$. Jednadžbe upišite na prikladna mjesta u tablici 1.



Slika 1: fg:ChuinKrug Električna shema Chuinog kruga; fg:nelOtpor1 Strujno-naponska karakteristika nelinearnog otpornika $i_R = g(u_R)$.

Tablica 1: Opis Chuinog kruga u prostoru stanja.

$\frac{du_{C1}}{dt}$:	
$\frac{du_{C2}}{dt}$:	
$\frac{di_L}{dt}$:	

- b) Na osnovi rezultata prethodne točke, te tablice koeficijenata i početnih uvjeta iz tablice 2 izradite simulacijsku shemu sustava u Simulinku.

Za nelinearni otpornik koristite blok `LookUp table`.

Tablica 2: Iznosi koeficijenata i početnih uvjeta (bezdimenzijski).


C_1	$\frac{1}{9}$
C_2	1
L	$\frac{1}{7}$
R	$\frac{1}{0.7}$
m_0	-0.5
m_1	-0.8
m_2	0.8
B_{p1}	1
B_{p2}	4
$i_L(0)$	0.3
$u_{C1}(0)$	-0.1
$u_{C2}(0)$	0.5

- c) Korištenjem funkcije `plot3` prikažite, uz označavanje osi i naslova slike, trajektoriju stanja sustava u prostoru $\{i_L, u_{C1}, u_{C2}\}$.

✚ Dobivenu sliku u .bmp, .jpg ili .png formatu prilijepite ovdje →

Kako se naziva oblik dobivene trajektorije?

- d) Početne uvjete podesite prema podacima u tablici 3. Sve ostale parametre ostavite nepromijenjenima. Korištenjem funkcije `plot3` prikažite, uz označavanje osi i naslova slike, trajektoriju stanja sustava u prostoru $\{i_L, u_{C1}, u_{C2}\}$.


✂ Dobivenu sliku u .bmp, .jpg ili .png formatu prilijepite ovdje → 

Tablica 3: Početni uvjeti uz Zadatak 2a).

$i_L(0)$	3
$u_{C1}(0)$	-0.1
$u_{C2}(0)$	0.6

Kako se naziva oblik dobivene trajektorije?

- e) Parametre nelinearnog elementa podesite prema podacima u tablici 4. Sve ostale parametre ostavite nepromijenjenima. Korištenjem funkcije `plot3` prikažite, uz označavanje osi i naslov slike, trajektoriju stanja sustava u prostoru $\{i_L, u_{C1}, u_{C2}\}$.

✂ Dobivenu sliku u .bmp, .jpg ili .png formatu prilijepite ovdje → 

Tablica 4: Parametri nelinearnog elementa uz Zadatak 2b).



m_0	-0.8
m_1	-0.8
m_2	0.8
B_{p1}	1
B_{p2}	4

Kako se naziva oblik dobivene trajektorije?

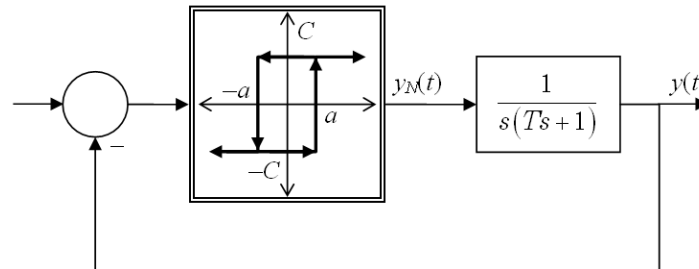
Prolazi li trajektorija sustava kroz nelinearno područje nelinearnog elementa?

- f) Ovisi li kvalitativni oblici dinamičkog ponašanja (fazne trajektorije) nelinearnih krugova o početnim uvjetima?

Slijedom toga, može li se govoriti o globalnoj stabilnosti svih nelinearnih krugova?


ZADATAK 2 : Izračun fazne trajektorije sustava s dvopoložajnim relejom s histerezom i dinamikom drugog reda

Sustav se sastoji od nelinearnog dijela (dvopoložajni relej s histerezom) i linearnog dijela (PT1 član s astatizmom prvog reda) u zatvorenoj petlji kao što je prikazano slikom 2. Referentni signal je 0. Definiramo dvije varijable stanja y i x gdje je y izlaz iz sustava a x derivacija izlaza $\frac{dy}{dt}$.



Slika 2: Zatvoreni krug upravljanja koji se razmatra u vježbi.

- a) Analitički odredite ukupni vremenski odziv statičkog dijela linearnog dijela sustava $x(t)$ na pobudu $y_N = C \cdot S(t)$ i upišite ju u predviđen prostor. Početni uvjet $x(0)$ označite s x_0 .

$$x(t) =$$



- b) Analitički odredite ukupni vremenski odziv linearnog dijela sustava $y(t)$ na pobudu $y_N = C \cdot S(t)$ i upišite ju u predviđen prostor. Početni uvjet $y(0)$ označite s y_0 a početni uvjet $x(0)$ s x_0 .

$$y(t) =$$



- c) Analitički odredite jednadžbu faznih trajektorija u ravнини (y, x) i upišite ju u predviđen prostor u tablicu 6. Jednadžba fazne trajektorije mora biti svedena na oblik $y = f(x) + Z$ gdje je Z konstanta koja obuhvaća doprinos y_N i početne uvjete.

$$y(x) =$$

$$+ Z$$



- d) Neka su parametri sustava zadani tablicom 5.

Tablica 5: Vrijednosti koeficijenata koji definiraju sustav.

C	5.0
T	0.1
a	1.0

Koristeći jednadžbu faznih trajektorija, popunite tablicu 6. Popunite *samo* onoliko redaka za koje se apsolutna vrijednost od Z mijenja u trećoj decimali (popunjavanje više redaka nego to je potrebno smatra se pogreškom).

Tablica 6: Karakteristične točke fazne trajektorije.

i	y_N	$y_{pocetno}$	$x_{pocetno}$	$y_{konacno}$	$x_{konacno}$	Z
1		2	-1			

**ZADATAK 3 : Simulacijska provjera**

- a) Izradite u SIMULINKU simulacijsku shemu sustava prikazanog slikom 2, uz vrijednosti koeficijenata iz tablice 5 i početne uvjete $y(0) = 2$, $x(0) = -1$.

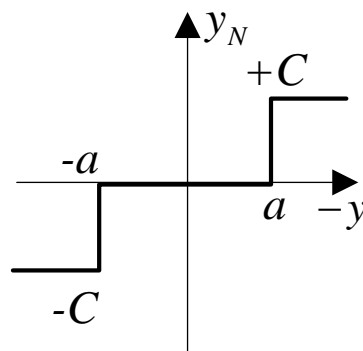
Izvršite simulaciju za 5 sekundi, te spremite sljedeće slike:

✕ Sliku koja prikazuje $x(t)$, $y(t)$ te $y_N(t)$ (koristite subplot) prilijepite ovdje →

✕ Sliku koja prikazuje faznu trajektoriju sustava prilijepite ovdje →

- b) Nelinearni element na slici 2 zamijenite tropoložajnim relejom sa slike 3 i realizirajte simulacijsku shemu (tropoložajni relej realizirajte koristenjem Look-Up Table bloka). Podesite parametre simulacije tako da su prijelazi između karakterističnih područja fazne trajektorije uočljivi. Parametre nelinearnog elementa postavite $C = 20$, $a = 0.2$, a početne uvjete $y(0) = 1$, $x(0) = 0$.

✕ Dobivenu sliku koja prikazuje faznu trajektoriju sustava prilijepite ovdje →



Slika 3: Tropoložajni relej.

Napišite jednadžbe krivulja koje odvajaju karakteristična područja u ravнини faznih trajektorija.

Napišite zaključke koje ste izveli tijekom vježbe.

