

# Sklopljena nihajna kroga

Samo Krejan

maj 2025

## 1 Uvod

Zelo pogosto se v naravi srečamo s pojavni, kjer gre za dva ali več nihal, ki so med seboj sklopljena. Zaradi omenjene skloplitvije nihal ne moremo več obravnavati ločeno temveč kot en sistem.

Sistem  $n$  enakih in enostavnih oscilatorjev ima  $n$  lastnih nihanj. V prvem letniku smo že spoznali obnašanje dveh sklopljenih fizičnih nihal; tam sta lastni frekvenci ko nihali nihata točno v fazi in ko nihata iz faze. Prva lastna frekvenca je kar enaka lastni frekvenci posameznega nihala, druga pa je hitrejša, če je sklopitev močnejša.

Pri tej vaji smo opazovali električna nihajna kroga sklopljena s kondenzatorjem. En sam nihajni krog sestavljen iz kondenzatorja s kapaciteto  $C$  in tuljave z induktivnostjo  $L$  niha s krožno frekvenco;

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Če je v nihajnjem krogu prisoten še upor  $R$ , nastopi dušenje, ki ga opišemo s koeficientom  $\beta = R/2L$ . Sistem opisujejo enačbe za dušeno nihanje z rešitvijo;

$$I(t) = e^{-\beta t} (I_1 \sin \omega' t + I_2 \cos \omega' t)$$

Kjer je  $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

Če k prvemu krogu vežemo še drugi preko kondenzatorja  $C_0$  potem dobimo sklopljen sistem nihajnih krogov. zaradi dveh prostorskih stopenj imamo torej dva lastna načina nihanja; prvi je enak kot prej, ko oba nihata v fazi, drugi lasten način pa je:

$$U_{1,2} = \pm U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega'' t)$$

kjer je  $\omega'' = \sqrt{\frac{C}{C+C_0}\omega_0^2 - \beta^2}$ .

Splošno obnašanje sistema lahko opišemo kot linearne kombinacije obeh lastnih nihanj:

$$U_{1,2} = e^{-\beta t} (U' \cos(\omega' t) \pm U'' \cos(\omega'' t + \delta))$$

## 2 Potrebščine

- Digitalni osciloskop,
- funkcionalni generator napetosti, namizni multimeter,

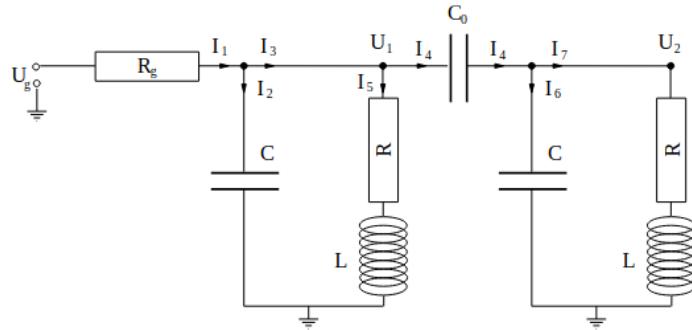
- nihajna kroga in kabli, USB ključek,
- prenosnik z ustrezno programsko opremo.

### 3 Naloga

1. Izmerite časovni potek napetosti na obeh krogih pri vzbujanju s stopničastim signalom za vse različne sklopite,
2. Izmerite frekvenčno karakteristiko enega nihajnega kroga in določite dobroto  $Q$
3. Izmerite frekvenčno karakteristiko sklopljenih nihajnih krovov z meritvijo odziva drugega kroga za vsak  $C_0$  in izmerite razliko lastnih krožnih frekvenc

### 4 Rezultati in analiza

Nihajna kroga sta sestavljena iz tuljave z induktivnostjo  $L$ , kondenzatorja s kapacitivnostjo  $C = 5.6 \text{ nF}$  in upornostjo  $R = 7.5 \Omega$ . Najprej smo priklopili nihajna kroga na osciloskop in vir stopničaste napetosti (glej sliko vezja). Izmerili smo odziv prvega in drugega kondenzatorja pri vseh različnih sklopitvah.



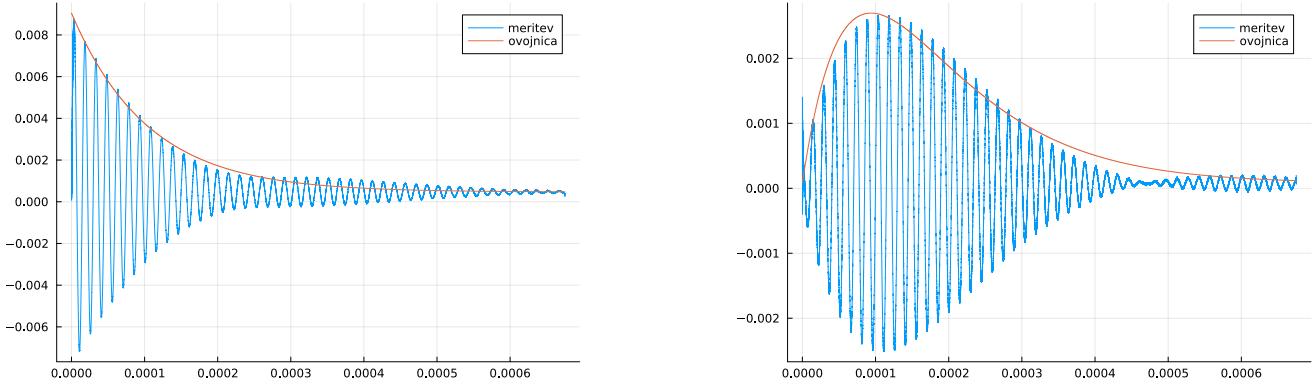
Slika 1: Skica vezja uporabljenega pri eksperimentu

Najprej smo merili odziv brez sklopite  $C_0 = 0$ , a se je že tu izkazalo, da je prišlo do nekaj sklopite. Tako smo že tu na grafa  $U_1, U_2$  že na tej točki \*fitali\* funkcij:

$$U_1(t) = U_0 e^{-\beta t} \sin\left(\frac{\omega' + \omega''}{2}t\right) \cos((\omega' - \omega'')t)$$

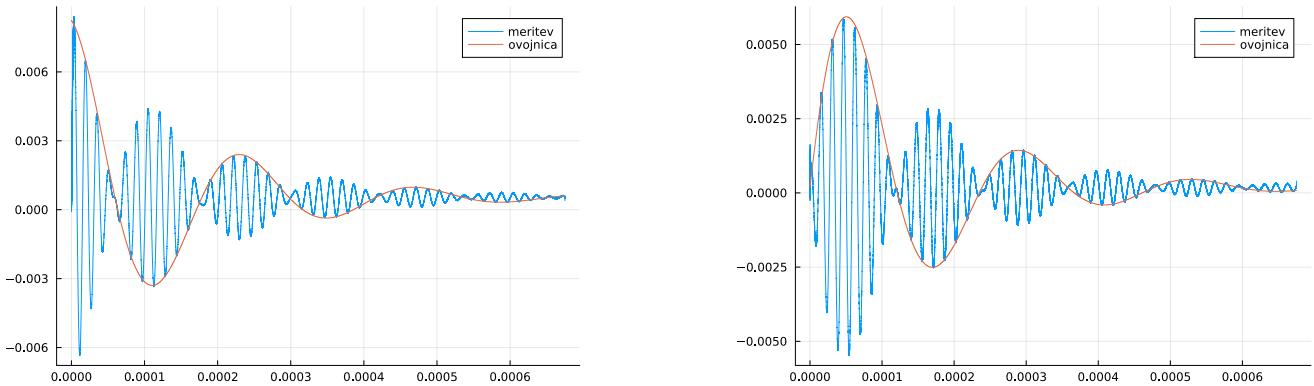
$$U_2(t) = U_0 e^{-\beta t} \sin\left(\frac{\omega' + \omega''}{2}t\right) \sin((\omega' - \omega'')t)$$

Če bi na grafe risali tudi fite funkcij bi nastal kaos, tako da smo poleg izmerjenih podatkov risali zgolj ovojnico. Na ta način smo dobili naslednja grafa:



Slika 2:  $U_1, U_2$  izmerjena, ter njuni ovojnici pri minimalni sklopitevi

Iz fita dobimo vrednosti parametra  $\omega' = 4.2 \cdot 10^5 \text{ } 1/\text{s}$ , napake fita pa tu ne bom navajal, saj je manjša od procenta. Če predpostavimo  $\omega \gg \beta$  (kar lahko naredimo saj mo daleč od kritičnega dušenja), dobimo  $L = 9.9 \cdot 10^{-4} \text{ H}$ . Za tem smo praktično isti postopek ponovili še za ostale sklopiteve. Primer meritve in ovojnici fita vidimo na naslednjih dveh grafih:



Slika 3:  $U_1, U_2$  izmerjena, ter njuni ovojnici pri minimalni sklopitevi

Ko smo tako fitali omenjeno funkcijo na podatke smo dobili naslednje vrednosti predstavljene v tabeli:

$C \text{ [pF]}$	krog	$\beta \text{ [s}^{-1}]$	$\Delta\omega \text{ [s}^{-1}]$
330	$U_1$	$6262 \pm 2$	$18996 \pm 2$
	$U_2$	$6585 \pm 2$	$18887 \pm 1$
560	$U_1$	$6080 \pm 2$	$26368 \pm 2$
	$U_2$	$6347 \pm 2$	$26302 \pm 1$
820	$U_1$	$5976 \pm 2$	$33644 \pm 2$
	$U_2$	$6200 \pm 2$	$33600 \pm 1$
1150	$U_1$	$6252 \pm 1$	$40368 \pm 1$
	$U_2$	$6430 \pm 2$	$40338 \pm 1$
povprečje		$6300 \pm 300$	

Tabela 1: Tabela izmerjenih vrednosti

kjer je  $\Delta\omega = \omega' - \omega''$ . Če  $\beta$  izračunamo iz podanega upora in prej izračunane induktivnosti dobimo:

$$\beta' = \frac{R}{2L} = 3787 \text{ s}^{-1}$$

kar zelo močno odstopa od izmerjene vrednosti. Razlog za to je v morda večjem uporu, ali kakšni drugi neidealizaciji. Frekvence utripanja smo nato nanesli na graf v odvisnosti od sklopitvenega kondenzatorja:

