

# Sklopljena nihajna kroga

Miha Pompe

Marec 2021

## 1 Teorija

Idealni električni nihajni krog je sestavljen iz kondenzatorja s kapaciteto  $C$ , ki ne prevaja električnega toka, in iz tuljave z induktivnostjo  $L$  brez ohmskih izgub. Enkrat vzbujen bi tak krog nihal s konstantno amplitudo pri krožni frekvenci:

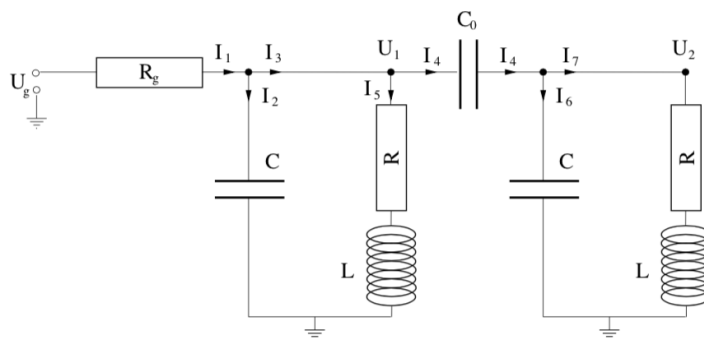
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Zanimamo se za lastno nihanje v nihajnem krogu, ki ima poleg kondenzatorja  $C$  in tuljave  $L$  zaporedno s tuljavo vezan upornik z uporom  $R$ . Tedaj velja:

$$I = I_0 e^{-\beta t} \cos \omega'_0 t$$

kjer je koeficient dušenja  $2\beta = R/L$  in  $\omega'_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

Poglejmo si, kaj se zgodi, ko prvemu nihajnemu krogu dodamo še enega,



Graf 1: Shema sklenjenih nihajnih krogov. Podatki  $R = 7,5\Omega$ ,  $R_g = 220k\Omega$ ,  $C = 5,6nF$

ki je prvemu identično enak. Povežemo ju s kondenzatorjem  $C_0$ . En način

nihanja lahko takoj uganemo. Če oba kroga hkrati in enako močno vzbudimo, bosta zanihala v fazi in vmesnega sklopitvenega kondenzatorja sploh ne bosta čutila. Ta način nihanja opišemo enako, kot v primeru enega samega kroga. Drugi lastni nihajni način je po analogiji z mehanskimi nihali tak, da kroga nihata v nasprotni fazi. V tem primeru imata napetosti  $U_1$  in  $U_2$  naslednjo odvisnost

$$U_{1,2} = \pm U_0 e^{-\beta t} \cos \omega_0'' t$$

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

## 2 Rezultati

Prvi del poskusa smo izvedli z vsiljevanjem kvadratnih valov. Opazovali smo spreminjanje napetosti v odvisnosti od časa, pri različnih kapacitetah sklopitvenega kondenzatorja  $C_0$ . Pri  $C_0 = 0$  kot pričakovano opazimo enako odziv, kot če bi imeli le en krog. Iz prvega grafa na Grafu 2 lahko izmerimo konstanto dušenja  $\beta = 10,52ms \pm 0,36ms$  in  $\omega = 419 \frac{1}{ms} \pm 2 \frac{1}{ms}$ .

Naslednji poskusi so bili izvedeni pri  $C_0 \neq 0$ , kjer se pojavi tudi utripanje. Frekvence utripanja so podane na Grafu 2 z natančnostjo  $\pm 1,5 \frac{1}{ms}$ . Če opazujemo le dušenje pri vsakem primeru, vidimo, da je konstanta dušenja povsod približno enaka.

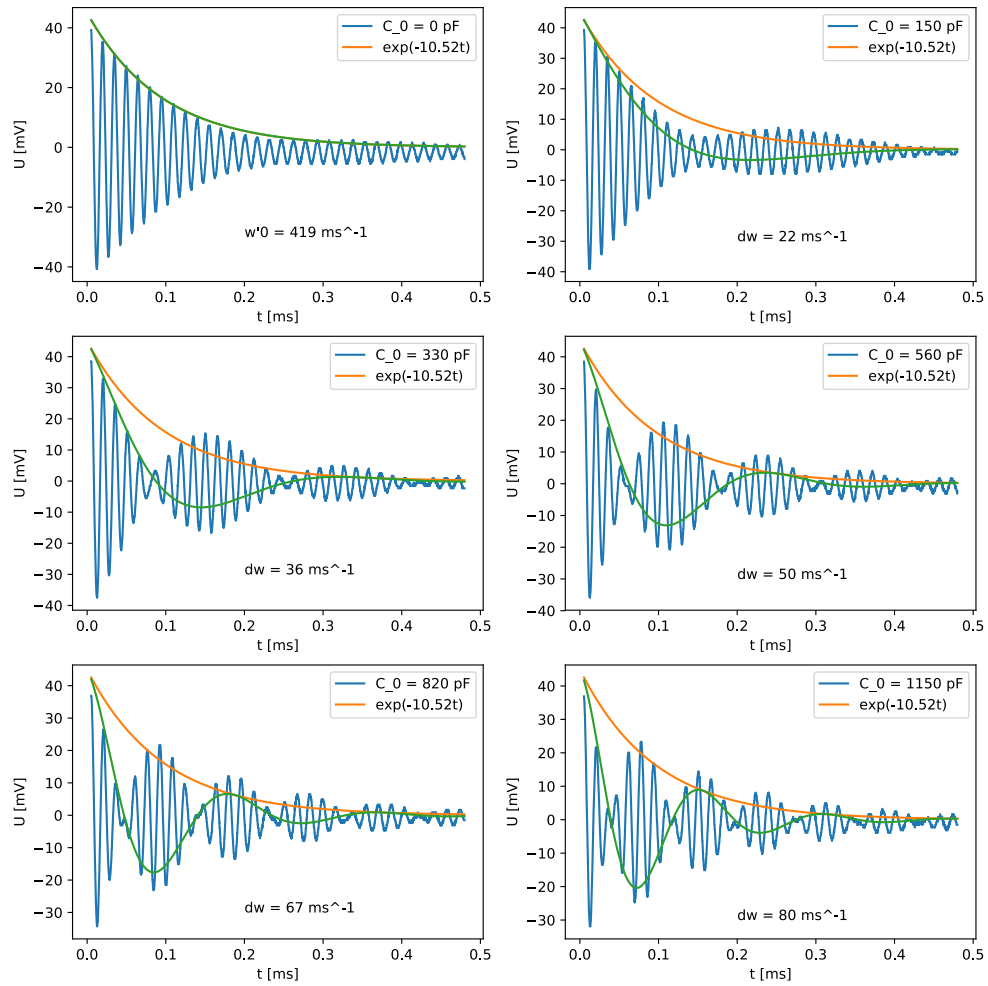
Graf 3 prikazuje enake meritve kot Graf 2, le da so bile te izvedene na drugem krogu. Tu opazimo sinusno obnašanje, ki ravno nasprotuje kosinusnemu obnašanju prvega kroga.

Drugi del poskusa prikazuje delovanje vsiljenega nihanja enega nihajnega kroga. Merjenje odziva pri različnih frekvencah nam vrne resonančno krivuljo. Iz nje dobimo lastno frekvenco  $\omega_0 = 415 \frac{1}{ms} \pm 2,2 \frac{1}{ms}$ , koeficient dušenja  $\beta = 10ms \pm 0.6ms$  ter kvaliteto nihajnega kroga  $Q = 41.5 \pm 0.2$ . Kjer za  $Q$  velja:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0}{2\beta} = \sqrt{\frac{L}{CR^2}}$$

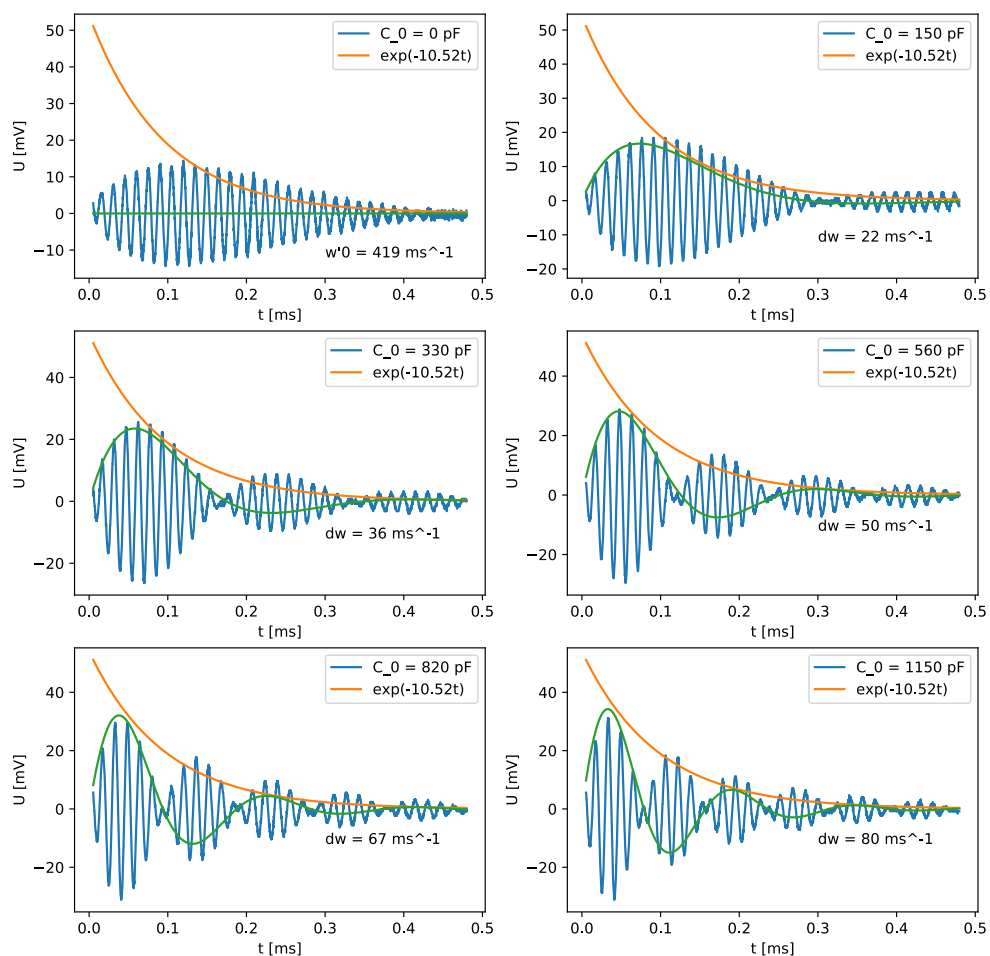
Izmerjene vrednosti se skladajo s prej izmerjenimi količinami. Pri tej meritvi lahko pride do napake pri oceni vrha resonančne krivulje.

Stopničasto siljenje  
 $\beta = 10.52 \text{ ms}^{-1} \pm 0.36 \text{ ms}^{-1}$



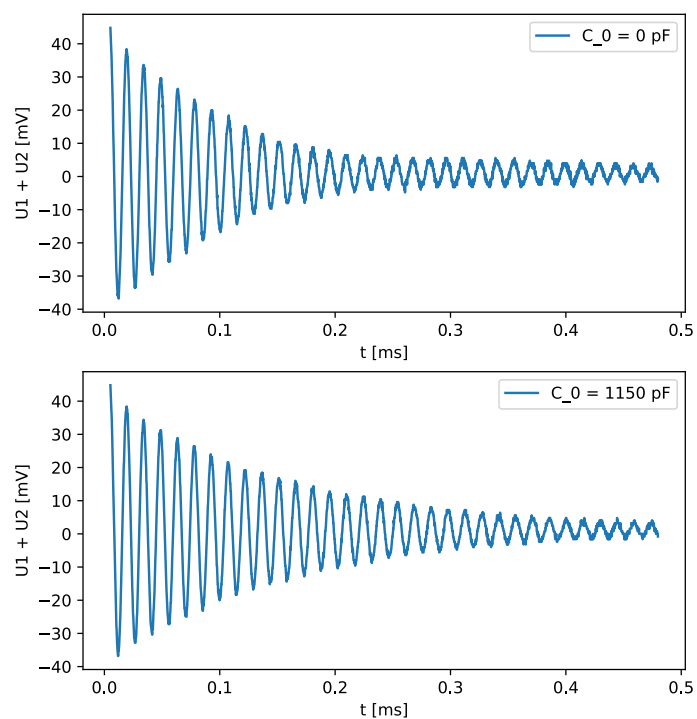
Graf 2: Odziv prvega kroga na stopničast signal, pri različnih kapacitetah sklopitvenega kondenzatorja. Zelene krivulje predstavljajo fit krivulje  $f(t) = Ae^{-\beta t} \cos \frac{\Delta \omega t}{2}$ , rdeča krivulja pa preprosto eksponentno funkcijo  $e^{-\beta t}$ .

Stopničasto siljenje  
beta = 10.52 ms<sup>-1</sup> ± 0.37 ms<sup>-1</sup>

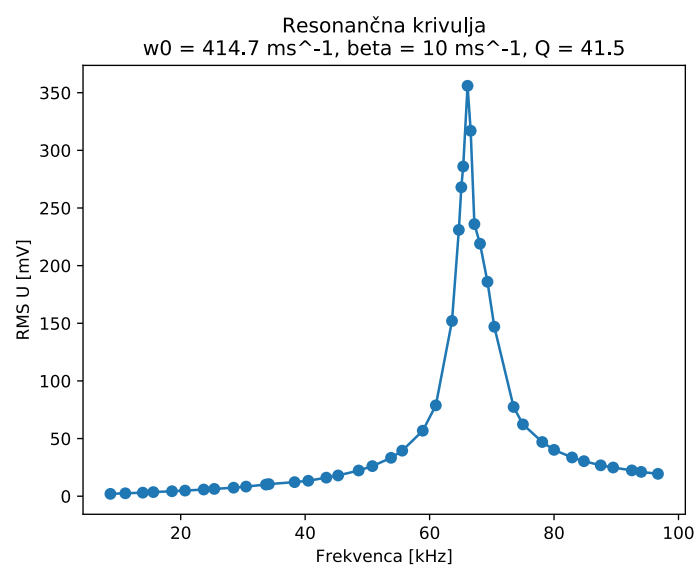


Graf 3: Odziv drugega kroga na stopničast signal, pri različnih kapacitetah sklopitvenega kondenzatorja. Zelene krivulje predstavljajo fit krivulje  $f(t) = Ae^{-\beta t} \sin\frac{\Delta\omega t}{2}$ , rdeča krivulja pa preprosto eksponentno funkcijo  $e^{-\beta t}$ .

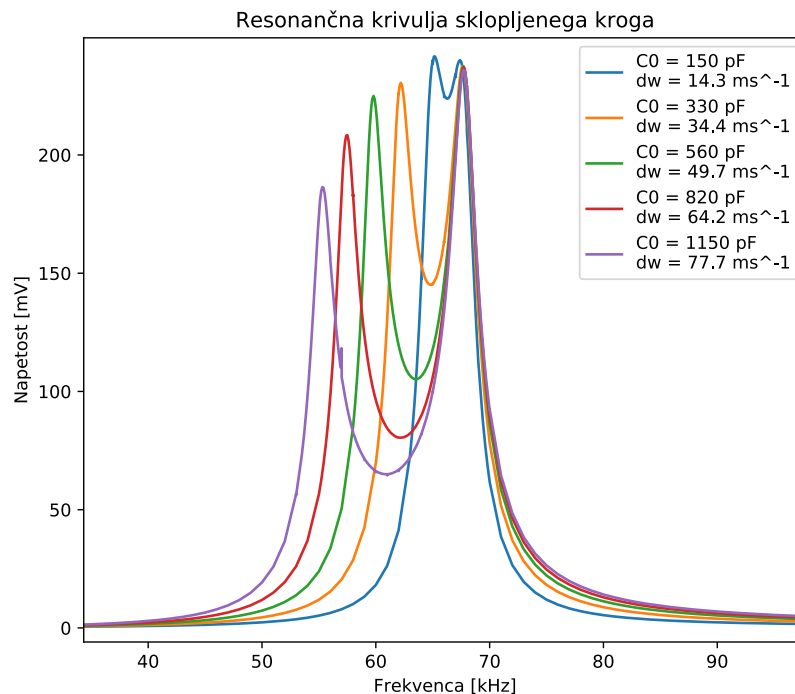
Stopničasto siljenje - Vsota napetosti



Graf 4: Vsota odzivov obeh krogov pri dveh različnih kapacitetah  $C_0$ .



Graf 5: Resonančna krivulja enega kroga.



Graf 6: Resonančne krivulje sklopljenih krogov pri različnih sklopitvah.

Eksperiment iz drugega dela ponovimo pri različnih kapacitetah  $C_0$ . Tu opazimo, da je ena resonančna frekvenca enaka za vse primere, medtem ko je druga odvisna od kapacitete. V limitnem primeru ( $C_0$  gre proti 0) preidemo nazaj na resonančno krivuljo z enim vrhom. Opazimo tudi, da amplituda druge resonance pada.

### 3 Diskusija

Pri dani vaji smo želeli preveriti delovanje sklopljenega in nesklopljenega nihajnega kroga. Za en krog smo preverili veljavnost 2. enačbe. V kolikor bi poznali induktivnost tuljave, bi lahko izmerjene vrednosti primerjali s teoretično izračunanimi. Sledil je pregled delovanja dveh sklopljenih nihajnih krogov, v kolikor smo oba kroga hkrati enako močno vzbudili smo opazili, da opazimo odziv, kot da vmesnega kondenzatorje ne bi bilo. To je razvidno iz Grafa 4. V kolikor pa merimo posamične napetosti lahko opazimo utripanje in valovanje, kar se sklada z analogijo sklopljenega vzmetnega nihala, kjer ta pojav prav tako opazimo.