

RCL rásir

Lesefni til hliðsjónar

1. Walker: *Halliday and Resnick's Principles of Physics*, 11. útgáfa, kafli 18.6 og 31.1.
2. Young & Freedman: *University Physics*, 14. útgáfa, kafli 17.7 og 25.

1 Inngangur

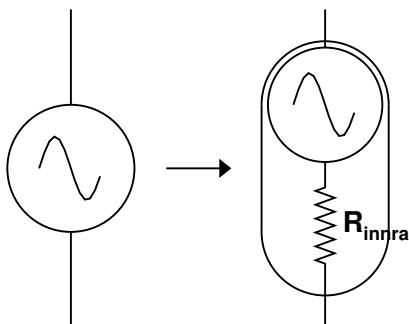
Í þessari tilraun skoðum við rafrásir þar sem spenna og straumur breytast með tíma og notum til þess mælitæki sem kallast sveiflusjá. Í fyrri hluta æfingarinnar skoðum við afhleðslu þéttis í einfaldri rás sem inniheldur þétti og viðnám, svokallaðri RC-rás. Í seinni hlutanum bætum við spólu í rásina sem ásamt þéttinum veldur sveiflu í straumi rásarinnar. Slíkar rásir nefnast RCL-rásir. Dempaðar sveiflur af þessum toga koma fyrir í mörgum greinum eðlisfræði og verkfræði, í kerfum þar sem orka sveiflast milli tveggja forma (stöðuorku og hreyfiorku, rafsviðsorku og segulsviðsorku, o.s.frv.).

2 Kynning á hugtökum

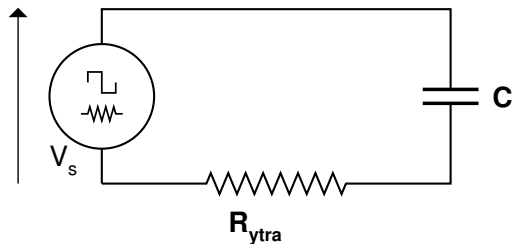
2.1 Innra viðnám sveifflugjafa

Í tilrauninni er notaður sveifflugjafi til að örva rásina með kassabylgju. Almennt má líta á aflgjafa (sveifflugjafa, rafhlöðu og þess háttar) sem tvo raðtengda hluti, annars vegar hreinan aflgjafa sem ætíð skilar umbeðinni spennu (íspennu) og hins vegar viðnám, sem kallast innra viðnám R_{innra} og straumurinn þarf að fara í gegnum (sjá mynd 1). Innra viðnámið er því hluti af heildarviðnámi hvernar þeirrar rásar sem sveifflugjafinn er tengdur við.

Fari enginn straumur frá aflgjafanum verður ekkert spennufall í innra viðnáminu og spennan yfir útganginn (pólspennan) er sú sama og íspenna aflgjafans. Þegar straumur rennur um rásina verður hins vegar spennufall yfir innra viðnámið og pólspennan lækkar. Ef við tengjum aflgjafann breytanlegu viðnámi og stillum það þannig að pólspennan verði hálf íspennan er ytra viðnámið jafnt því innra. Þannig má mæla innra viðnámið.



Mynd 1: Sveiflugjafar hafa innra viðnámið R_{innra} . Við gerum okkur þá mynd til einföldunar að sveiflugjafinn sé myndaður af raðtengdu viðnámi og fullkomnum viðnámslausum sveiflugjafa.



Mynd 2: Raðtengd RC-rás sem inniheldur sveiflugjafa (með innra viðnámi R_{innra}), þétti með rýmd C og ytra viðnámi R_{ytra} .

2.2 RC-rás

Mynd 2 sýnir RC-rás tengda sveiflugjafa sem gefur kassabylgju. Þegar sveiflugjafinn hoppar úr hástöðu í lágstöðu rennur straumur út af þéttinum. Straumurinn minnkar sem veldisfall með tíma t . Rennslishraðanum er stjórnað af rýmd þéttisins C og heildarviðnámi rásarinnar R_{alls} en $R_{alls} = R_{innra} + R_{ytra}$. Straumnum er lýst með

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\kappa t} \quad (1)$$

þar sem hraðastuðullinn κ er

$$\kappa = \frac{1}{R_{alls} \cdot C}.$$

I_0 er straumurinn við tímann $t = 0$. Með lögmáli Ohm getum við fundið spennuna yfir ytra viðnámið V_R út frá straumnum í rásinni (jöfnu 1) þ.e.

$$V_R = V_{R0} \cdot e^{-\kappa t}. \quad (2)$$

Með sveiflusjá getum við skoðað þetta veldisfall og mælt stuðulinn κ . Nánari umfjöllun um RC-rásir má finna í kennslubók (sjá tilvísun).

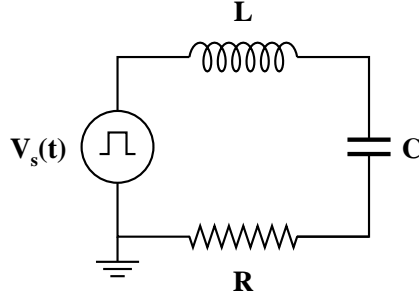
2.3 RCL-rás

Um spennufall í raðtengdri RCL-rás, eins og sýnd er á mynd 3, gildir samkvæmt spennulögmáli Kirchoffs,

$$V_s = V_L + V_C + V_R \quad (3)$$

þar sem

$$V_L = L \frac{dI}{dt}, \quad V_C = \frac{1}{C} \int I dt, \quad V_R = IR. \quad (4)$$



Mynd 3: RCL rás örðuð með kassabylgju V_s .

Örvun með kassabylgju þar sem V_s er snögglega breytt frá $V_s = 0$ til $V_s = V_{s0}$ við $t = 0$ gefur svipullausn á diffurjöfnunni (3) sem hefur formið

$$I(t) = \frac{V_{s0}}{\omega_e L} e^{-bt} \sin \omega_e t, \quad t > 0 \quad (5)$$

þar sem b er

$$b = R/2L \quad (6)$$

og ω_e er gefið með

$$\omega_e^2 = \omega_0^2 - b^2, \quad \omega_0^2 = 1/LC. \quad (7)$$

Jafna 5 lýsir dempaðri sveiflu þar sem b er deyfingarstuðullinn og ω_e er eigin(horn)tíðnin. Eigin-tíðni kerfisins stjórnast því ekki aðeins af stærðunum L og C heldur einnig af viðnáminu R . Ef R er stillt þannig að ω_e stefni á 0 þá stefnir stærðin $\frac{\sin \omega_e t}{\omega_e}$ á t og straumurinn sveiflast ekki lengur (fer ekki í gegnum núll-punktinn). Þá er fengin markdeyfing með stuðulinn b_m ,

$$b_m^2 = \omega_0^2 \quad \Rightarrow \quad R_m^2 = \frac{4L}{C}. \quad (8)$$

3 Tilraun

3.1 Mæling á innra viðnámi sveifflugjafa

- Stillið sveifflugjafann á sínusbylgju með spennu $V \simeq 1$ V og tíðni $f = 500$ Hz.
- Tengið spennumæli (fjölmæli í riðspennuham) yfir útgang sveifflugjafans og skráið íspennuna.
- Tengið útgang sveifflugjafans yfir stillanlegt viðnámsbox og stillið viðnámið þannig að pólspennan verði hálf íspennan. Skráið gildi viðnámsins, það jafngildir R_{innra} .

3.2 Tímastuðull RC-rásar

- Tengið RC-rás eins og mynd 2 sýnir. Notið þétti sem fylgir ($C = 10 \text{ nF}$) og stillið $R = 5 \text{ k}\Omega$.
- Stillið sveifflugjafann á kassabylgju og tíðni hans á um 1 kHz .
- Skoðið spennu yfir viðnámið V_R . Lögmál Ohm ($V_R = I \cdot R$) segir að hún hljóti að dofna sem veldisfall með tíma á sama hátt og straumurinn í rásinni, eins og jafna 2 sýnir.
- Stillið kvarðahnappana þannig að ferillinn nýti stóran hluta af skjánum. Lesið 6 - 8 punkta $\{t, V_R(t)\}$ af veldisferlinum. Mælióvissu þarf að sjálfsögðu að skrá um leið og mæling fer fram.
- Berið þessi gögn saman við líkanið eins og við á, finnið tímastuðulinn $\tau = \frac{1}{\kappa} = R_{\text{alls}}C$ og berið saman við uppgöfn gildi.

Tillaga að úrvinnslu: Til að sannreyna hvort mæligögn passi við líkanið eru þau skoðuð myndrænt. Líkanið (jafna 2) segir að spennan yfir viðnámið falli sem veldisfall með tíma. Því reynum við að umrita líkanið þannig að eitthvert fall af annarri mældu stærðinni sé línulega háð einhverju falli af hinni. Í þessu tilfelli er eðlilegast að taka (náttúrulegan) lógaritma af jöfnu 2 þannig að

$$\ln V_R = \ln V_{R0} - \kappa \cdot t.$$

Teiknið graf af $\ln V_R$ sem fall af t (hvort tveggja með óvissum auðvitað). Metið hvort gögnin falla að línu og finnið hallatölu hennar. Ef óvissumörk hallatölunnar og líkangildis á κ skarast ber mælingum og líkani saman.

3.3 Eiginsveiflur RCL-rásar

Stillið upp RCL-rás eins og sýnt er á mynd 3. Veljið $C = 10 \text{ nF}$, $L = 10 \text{ mH}$, $V_{s0} \geq 1 \text{ V}$ og $f = 1 \text{ kHz}$ (kassabylgju). Tengið spennumerkið V_s inn á aðra rás sveiflusjárinnar og V_R inn á hina. Veljið gildi á R þannig að sveiflan sé fallin í $\sim 10\%$ af upphafsgildi þegar kassabylgjan sparkar næst í rásina.

- Mælið valda punkta á ferlinum $V_R(t)$ sem gefa upplýsingar um stýristærðirnar b og ω . Stillið upp jöfnum sem tengja þessar stýristærðir við mældar stærðir og finnið gildi þeirra.
- Finnið viðnámsgildi sem gefur markdeyfinu.

Bráðabirgðaúrvinnsla og túlkun á þessum mælingum skal gera á staðnum strax eftir mælingar og bera niðurstöður undir kennara til að forðast misskilning og rangtúlkun.