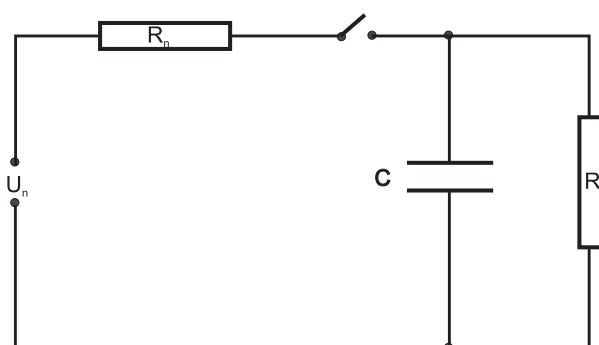


Vaja 49

PREHODNI POJAVI V ELEKTRIČNIH KROGIIH

Vaja obravnava prehodne pojave v vezju upornika R , kondenzatorja C in induktorja L , kot so:

1. Praznjenje kondenzatorja:
Oglejmo si vezje na sliki 1.



Slika 49.1: Vezje za opazovanje praznjenja kondenzatorja.

Naj bo stikalo v začetku sklenjeno. Na kondenzatorju je tedaj napetost $U_0 = U_n/(R + R_n)$, po uporniku teče tok $I_0 = U_0/R$. Ko prekinemo zvezo z izvirom napetosti, začne odtekati naboj s pozitivne plošče kondenzatorja na negativno. Napetost med ploščama se zmanjšuje. Napetost U na kondenzatorju poganja tok $I = U/R$ tako, da se naboj zmanjšuje $I = -de/dt = CdU/dt$. Ko izenačimo oba izraza za tok, dobimo diferencialno enačbo:

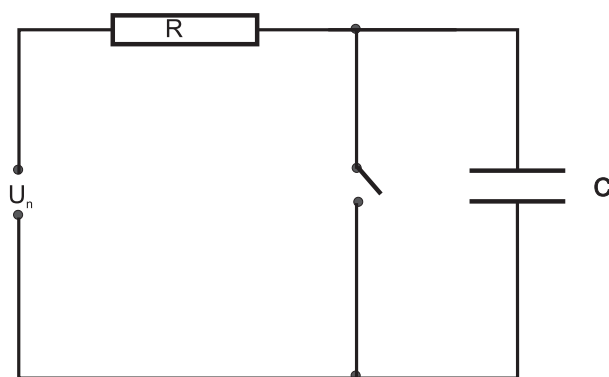
$$dU/dt + (1/RC)U = 0, \quad (49.1)$$

ki določa časovno spreminjanje napetosti na kondenzatorju. Rešitev enačbe

$$U = U_0 e^{-t/\tau} \quad (49.2)$$

kaže, da napetost eksponentno pojema z relaksacijskim časom $\tau = RC$. To je čas, v katerem se napetost na kondenzatorju e -krat pomanjša. Namesto relaksacijskega časa radi podajamo razpolovni čas $t_{1/2}$, to je čas, v katerem se napetost zmanjša na polovico začetne. Tako hitro najdemo zvezo $t_{1/2} = \tau \ln 2 = 0,693 RC$.

2. Polnjenje kondenzatorja:



Slika 49.2: Vezje za opazovanje polnjenja kondenzatorja.

Naj bo v začetku stikalo sklenjeno, na kondenzatorju pa napetost 0. Ko stikalo razklenemo, steče v kondenzator električni tok I in ga začne polniti. V vsakem trenutku je $U_n = U + IR$, kjer je U napetost na kondenzatorju. Tok polni kondenzator, zato velja $I = de/dt = CdU/dt$. To postavimo v prvo enačbo in po preureditvi dobimo diferencialno enačbo:

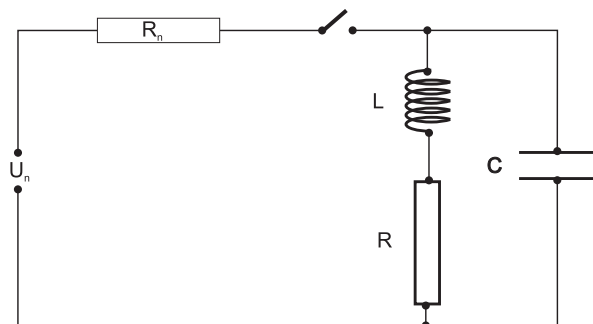
$$dU/dt + (1/RC)U = U_n/RC. \quad (49.3)$$

Pri pogoju, da je ob času $t = 0$ na kondenzatorju napetost 0, je rešitev naslednja

$$U = U_n(1 - e^{-t/\tau}). \quad (49.4)$$

Napetost na kondenzatorju se eksponentno približuje končni vrednosti U_n .

3. Oglejmo si še dušeno nihanje nihajnega kroga. Nihajni krog kaže slika 49.3.



Slika 49.3: Vezje za opazovanje dušenega nihanja nihajnega kroga.

Naj bo v danem trenutku napetost na kondenzatorju U , po krogu pa teče tok I . Vsota napetosti v krogu, ki ga sestavljata tuljava in kondenzator, je enaka 0:

$$U - LdI/dt - RI = 0. \quad (49.5)$$

Pri tem je $-LdI/dt$ napetosti zaradi induktivnosti, $-RI$ pa napetost na uporih tuljave. Tok črpa naboj na kondenzatorju, torej $I = -de/dt = -CdU/dt$. Ko to vstavimo v prejšnjo enačbo, dobimo diferencialno enačbo:

$$d^2U/dt^2 + 2\beta dU/dt + \omega_0^2 U = 0. \quad (49.6)$$

Zapisali smo $2\beta = R/L$ in $\omega_0^2 = 1/(LC)$, kjer je β koeficient dušenja, ω_0 pa lastna frekvenca nedušenega kroga. Enačbo rešimo z nastavkom

$$U = e^{-\beta t}(A \sin \omega t + B \cos \omega t), \quad (49.7)$$

kjer je $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$. Od začetnih pogojev ob času $t = 0$, to je od začetne napetosti in od začetnega toka, sta odvisna koeficienta A in B . Poglejmo, kako je s tem pri našem poskusu.

Do časa $t = 0$ je krog priklopljen na izvir napetosti. Skozi tuljavo teče tedaj enosmerni tok $I_0 = U_n/(R + R_n)$, na kondenzatorju pa je napetost $U_0 = I_0 R$. Ko ob $t = 0$ odklopimo izvir napetosti, ostanejo razmere v nihajnem krogu za hip še nespremenjene, le da teče sedaj tok I_0 na račun naboja na kondenzatorju. Začetni pogoji bodo torej:

$$(U)_0 = I_0 R, \quad (49.8)$$

$$(dU/dt)_0 = -I_0/C. \quad (49.9)$$

Zadnji pogoj sledi iz $I_0 = -(de/dt)_0 = -C(dU/dt)_0$. Ko postavimo oba pogoja v splošno rešitev 49.7, dobimo enačbi za koeficienta A in B z rešitvama

$A = I_0 R [\beta/\omega - 1/(\omega RC)]$ in $B = I_0 R$. Napetost je torej takole odvisna od časa:

$$U = I_0 R e^{-\beta t} \left[\left(\frac{\beta}{\omega} - \frac{1}{\omega RC} \right) \sin \omega t + \cos \omega t \right]. \quad (49.10)$$

Pri naših podatkih ($R = 200 \, \Omega$, $L = 1,227 \, \text{H}$, $C = 0,25 \, \mu\text{F}$ ali $6800 \, \text{pF}$) je člen $1/(\omega RC)$ veliko večji od drugih, tako da je precej natančno $\omega = \omega_0$ in

$$U = -(I_0/\omega_0 C) e^{-\beta t} \sin \omega_0 t. \quad (49.11)$$

49.1 Naloga

1. Opazuj z osciloskopom polnjenje in praznjenje kondenzatorja. Izmeri in izračunaj relaksacijski čas iz znanih podatkov in primerjaj obe vrednosti. Časovni potek napetosti na kondenzatorju nariši na milimetrski papir!
2. Opazuj z osciloskopom dušeno nihanje nihajnega kroga. Izmeri in izračunaj frekvenco kroga, koeficient dušenja in začetni tok po krogu!

49.2 Potrebščine

1. Osciloskop,
2. periodično stikalo,
3. stikalna plošča,
4. upori, kondenzatorji in tuljava na vtičnih podložkah,
5. usmernik.

49.3 Navodilo

Zveži pripadajoče priključke na stikalni plošči in periodičnem stikalu, kot je prikazano na priloženi sliki. Sondo osciloskopa priključi na stikalni plošči na pušo Y , ozemljitev pa na priključek $ZEMLJA$.

Pokliči asistenta, da pregleda vezavo, in po potrebi pomaga uravnati osciloskop. Potem ko vključiš delovanje periodičnega stikala, naravnaj osciloskop z izbirniki "proženje", "V/cm", in "čas/cm" v merilno območje, ki bo izkoristilo ves zaslon in bo imela slika primerno obliko.

1. Praznjenje kondenzatorja
Izbrani kondenzator in izbrani upornik vključi vzporedno med liniji 2 in 3 na stikalni plošči. Elementi so tedaj zvezani tako, kot kaže slika. Najprej izklopi kondenzator. Na osciloskopu dobiš tedaj časovni potek napetosti na liniji 2.

Ko je stikalo kratek čas staknjeno, je napetost med 2 in 3 enaka napetosti na zunanjem upor R , torej $U_0 = U_n R / (R + R_n)$, če je U_n napetost. Ko stikalo ni sklenjeno, pa je napetost 0. U_0 je napetost, do katere se v kratkem času, ko je stikalo staknjeno, nabije kondenzator. Enaka je skoku napetosti ob preklopu stikala. Vtakni kondenzator nazaj in odčitaj še napetost v 5 do 10 točkah na sledi. Najbolje je, da si v zvezek prepíšeš merilo na obeh skalah V/cm, sek/cm, nato pa čas in napetost odbiraš v centimetrih. Natančnejše boš odbiral, če boš začetek sledi premikal v vodoravni in navpični smeri z gumboma "POMIK X" in "POMIK Y", tako da boš imel opazovano točko vselej na osi Y, kjer je skala bolj drobno razdeljena. Napetosti odbiraj od začetne napetosti navzdol, saj ničelne črte med meritvijo ne moreš videti - zaradi nestabilnosti se lahko tudi seli gor in dol.

Časovno odvisnost napetosti, ki jo kaže osciloskop, izriši na tiskalniku z gumbom "HARDCOPY". Naredi še diagram $\ln(U/U_0)$ v odvisnosti od časa. Iz naklona premice izračunaj relaksacijski čas in ga primerjaj z izračunanim! Pojasni morebitno neujemanje!

2. Polnjenje kondenzatorja

Izbrani upornik vključi med liniji 1 in 2, izbrani kondenzator pa med liniji 2 in 3. Elementi so tedaj zvezani, kot kaže slika. Opazuj naraščanje napetosti na osciloskopu in nastavi osciloskop tako, da bo prostor za prikaz krivulje čimbolje izkoriščen. Graf izriši na tiskalniku. Odčitaj napetost v 5 do 10 točkah na sledi in nariši diagram $\ln[1 - U/U_n]$ v odvisnosti od časa. Iz naklona premice dobiš relaksacijski čas, ki ga primerjaš z izračunano vrednostjo RC . Če je upor R zelo velik (velikostnega reda $M\Omega$), potem ne moreš več zanemariti notranjega upora voltmetra (osciloskopa). Premisli, kako se glasijo enačbe v tem primeru in kakšna je njihova rešitev! Ali lahko iz meritev oceniš notranji upor voltmetra?

3. Dušeno nihanje nihajnega kroga

Kondenzator in tuljavo vključi vzporedno med liniji 2 in 3. Opazuj nihanje na osciloskopu. Ker je signal premočan, uporabi merilno sondo, ki desetkrat zmanjša mejreni signal. Graf izpiši na tiskalniku z gumbom "HARDCOPY". Natančno odčitaj nihajni čas in iz zaporednih amplitud določi koeficient dušenja. Obe količini primerjaj s tistimi, ki jih izračunaš iz podatkov za elemente kroga. Določi še tok I_0 . V primernih presledkih izmeri napetost in nariši potek na milimetrski papir.