

# Poskusi s kondenzatorji

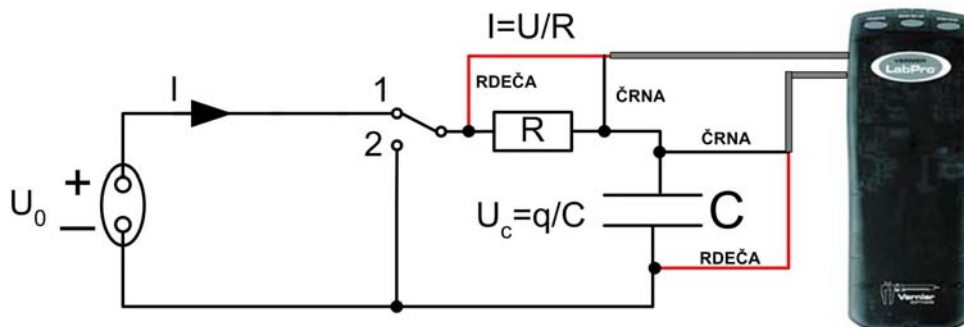
Samo Lasič, Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana

## Povzetek

Opisani so nekateri poskusi s kondenzatorji, ki smo jih izvedli z merilnim vmesnikom LabPro. Predstavljena je analogija med 'polnjenjem' kondenzatorja in 'polnjenjem' termometra. Z merjenjem določimo naboj na kondenzatorju in preverimo zvezo med nabojem in kapaciteto kondenzatorja. Kapaciteto kondenzatorja določimo iz zveze med nabojem in tokom. Z merjenjem napetosti na kondenzatorju, spoznamo pomen notranje upornosti merilnika in jo tudi iz meritev ocenimo.

## Opis poskusa

Pri poskusu opazujemo praznjenje in polnjenje kondenzatorja prek upora. Za poskus uporabimo kondenzatorje različnih kapacitet  $C$  ( $0.047\mu\text{F}$ ,  $0.6\mu\text{F}$ ,  $1.2\mu\text{F}$ ,  $5\mu\text{F}$ ,  $10\mu\text{F}$ ,  $20\mu\text{F}$ ), upornik  $R$  ( $14\text{k}\Omega$ ),  $9\text{V}$  baterijo in stikalo. Uporabimo lahko tudi zaporedno in vzporedno vezavo enakih kondenzatorjev. Kondenzator, upor in baterijo zaporedno zvežemo v električni krog, kot kaže slika 1. Kondenzator polnimo, ko je stikalo v legi 1, praznimo pa, ko je stikalo v legi 2. Kondenzator lahko praznimo tudi s kratkim stikom prek upora, vendar moramo pri tem baterijo izključiti, sicer bi jo kratko sklenili in jo poškodovali. V prvem delu poskusa merimo tok v kondenzator posredno prek merjenja napetosti na uporu, v drugem delu pa poleg toka merimo še napetost na kondenzatorju. Pri tem moramo paziti, da sta črna priključka napetostnega tipala na skupnem potencialu. Ker traja praznjenje kondenzatorja kratek čas, je za merjenje primerna nastavitvev proženja (ang. trigger).



Slika 1: Shema poskusa.

## Merjenje naboja na kondenzatorju

Ko stikalo sklenemo v lego 1, se naboj pretaka iz baterije v kondenzator, vse dokler je napetost na kondenzatorju manjša od napetosti baterije. Ko se napetost na kondenzatorju izenači z

napetostjo baterije, se pretakanje naboja preneha. Hitrost pretakanja naboja, t.j. električni tok ( $I$ ), je sorazmerna napetostni razliki

$$I = (U_0 - U_C) / R, \quad (1)$$

kjer sta  $U_0$  in  $U_C$  napetost baterije in napetost na kondenzatorju. V kratkem časovnem intervalu  $\Delta t$  se v kondenzator pretoči  $\Delta q$  naboja:

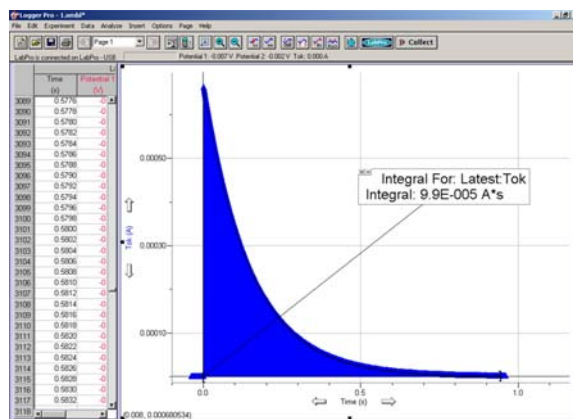
$$\Delta q(t) = I(t)\Delta t. \quad (2)$$

V enakomernih časovnih presledkih  $\Delta t$  izmerimo tok  $I(t)$ , ki teče v kondenzator. Ta je enak merjeni napetosti na upor deljeni z upornostjo. Prirastek naboja  $\Delta q(t)$  v posameznem intervalu  $\Delta t$  je enak ploščini  $\Delta t$  širokega stolpca pod krivuljo  $I(t)$ . Celoten naboj, ki se pretoči v kondenzator, izračunamo tako, da seštejemo prirastke  $\Delta q(t)$  v vseh časovnih intervalih:

$$q = \sum \Delta q = \sum I(t)\Delta t. \quad (3)$$

Če so časovni intervali  $\Delta t$  zelo kratki, lahko celoten naboj  $q$  enačimo s ploščino pod krivuljo  $I(t)$ , ki jo izračunamo z integralom toka po času

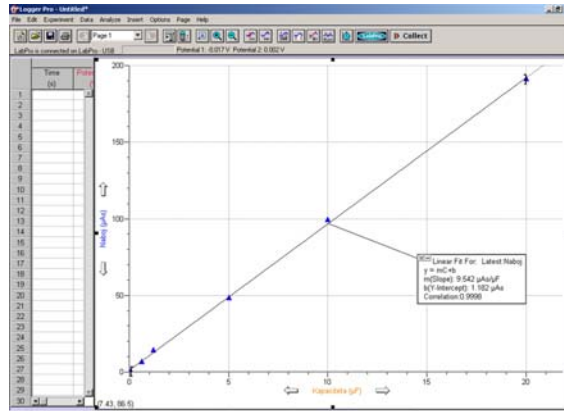
$$q = \int I(t)dt. \quad (4)$$



**Slika 2:** Meritev časovnega poteka toka v kondenzator ( $10\mu\text{F}$ ) in njegov časovni integral.

Ko smo izračunali naboj, lahko preverimo, če se kapaciteta označena na kondenzatorju ujema z izmerjeno  $C=q/U$ . Pri tem moramo izmeriti napetost baterije. V primeru na sliki 2 smo na kondenzatorju  $C=10\mu\text{F}$  izmerili naboj  $9.9 \cdot 10^{-5}\text{As}$  pri napetosti baterije  $9.3\text{V}$ .

Meritev naboja ponovimo z različnimi kondenzatorji in izmerke naneseemo na graf  $q(C)$  (slika 3). Tako se prepričamo, da je naboj zares sorazmeren kapaciteti.

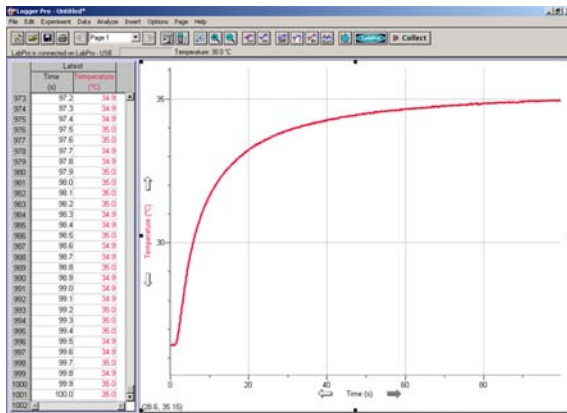


**Slika 3:** Izmerjeni naboj kot funkcija kapacitete. Podatkom je prilagojena premica, katere strmina ustreza napetosti baterije.

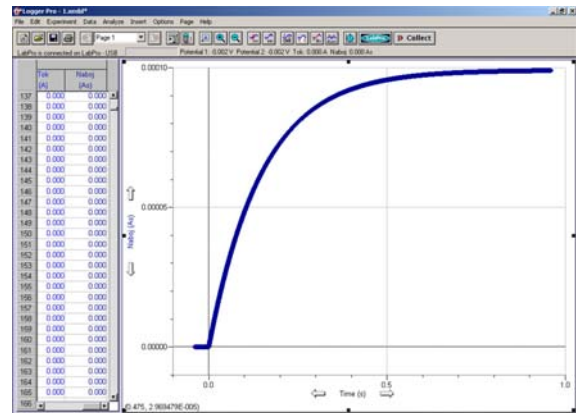
### Analogija s 'polnjenjem' termometra

Pojav polnjenja kondenzatorja je analogen 'polnjenju' termometra, s katerim merimo denimo telesno temperaturo. Pri tem termometer 'polnimo' s toplotno energijo. Podobno kot teče v kondenzator zaradi napetostne razlike električni tok, teče v termometer zaradi temperaturne razlike toplotni tok. Tudi vlogi kapacitete kondenzatorja in prevodnosti upora sta podobni vlogi toplotne kapacitete termometra in toplotne prevodnosti med termometrom in telesom. Slika 4.a kaže časovni potek temperature, ki jo izmerimo, ko termometer (TI-stainless) tesno primemo z roko. Opozoriti velja, da potek temperature, ki ga na tak način izmerimo, v resnici ni eksponenten, ker se temperaturni profil termometra s časom spreminja. Kljub temu pa je eksponenten potek dovolj dober približek za predstavitevne namene.

a.



b.



**Slika 4:** a. Časovni potek temperature je analogen časovnemu poteku naboja v kondenzatorju, b. časovni potek naboja v kondenzatorju.

Časovni potek naboja v kondenzatorju določimo z nedoločenim integralom toka, podobno kot v enačbi (4), le da je v tem primeru zgornja meja integrala spremenljiva. Slika 4b kaže časovni potek naboja v kondenzatorju izračunanega iz podatkov toka.

## Na kakšen način lahko še določimo kapaciteto kondenzatorja ?

Osnovni način določanja kapacitete smo že spoznali. Pri tem smo merili naboj in napetost baterije. Kapaciteto pa lahko določimo še na več načinov. Podatkom toka (slika 2) lahko prilagodimo eksponentno krivuljo (5) in razberemo produkt RC. Podobno lahko podatkom naboja (slika 4.b) prilagodimo inverzno eksponentno funkcijo (6) in razberemo produkt RC. Če poznamo upornost upora, lahko izračunamo kapaciteto. Pri tem uporabimo rešitev enačbe (1) za polnjenje kondenzatorja

$$I(t) = U_0 / R \cdot \exp(-t / RC) \text{ ali} \quad (5)$$

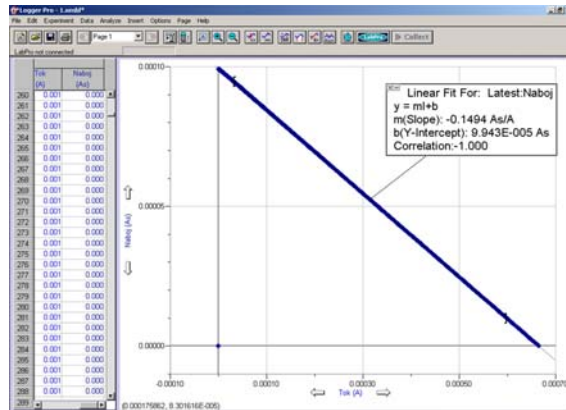
$$q(t) = CU_0 \cdot (1 - \exp(-t / RC)). \quad (6)$$

V primeru praznjenja kondenzatorja je tok negativen (5), naboj in napetost pa eksponentno upadata namesto naraščata kot v enačbi (6).

Z računskega vidika lahko produkt RC določimo veliko preprosteje z uporabo enačbe (1), ki jo preuredimo v

$$q(t) = CU_0 - RC \cdot I(t). \quad (7)$$

Narišemo graf naboja v odvisnosti od toka  $q(I)$  in podatkom prilagodimo premico z naklonom RC (slika 5). Iz naklona  $RC=0.15s$  sledi pri uporabi  $14k\Omega$  kapaciteta  $10.7\mu F$ .

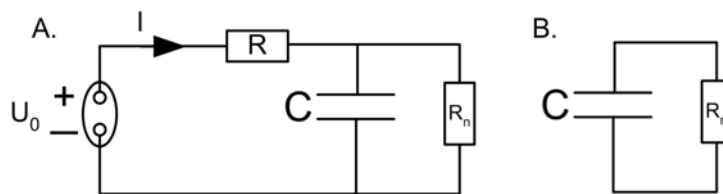


Slika 5: Naboj v odvisnosti od toka pri polnjenju kondenzatorja.

## Merjenje napetosti na kondenzatorju

Če želimo pri poskusu meriti poleg toka tudi napetost na kondenzatorju, naletimo na poučno težavo. Opazimo dvoje. Kondenzator lahko nabijemo le do napetosti, ki je za malenkost nižja od napetosti baterije. Poleg tega pa ugotovimo, da potem, ko baterijo odklopimo, napetost na kondenzatorju eksponentno upada. Kondenzator 'pušča' v merilnik, ker je notranja upornost merilnika dovolj majhna. Merilnik torej nekoliko spremeni razmere v vezju.

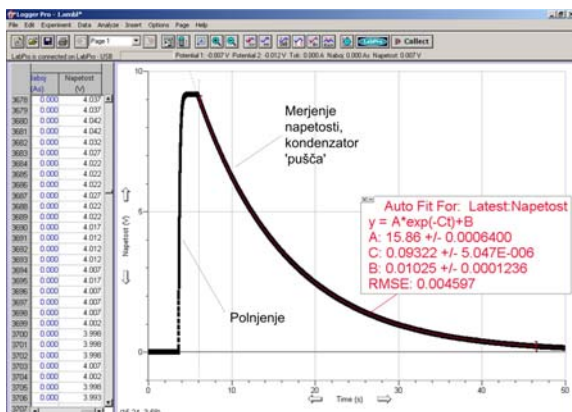
Na sliki 6.a je shema vezja, ko kondenzator polnimo. Z  $R_n$  smo označili notranjo upornost merilnika. Napetost do katere nabijemo kondenzator je  $U_0/(1+R/R_n)$ . Shema 6.b kaže primer, ko kondenzator odklopimo od baterije in na njem merimo napetost.



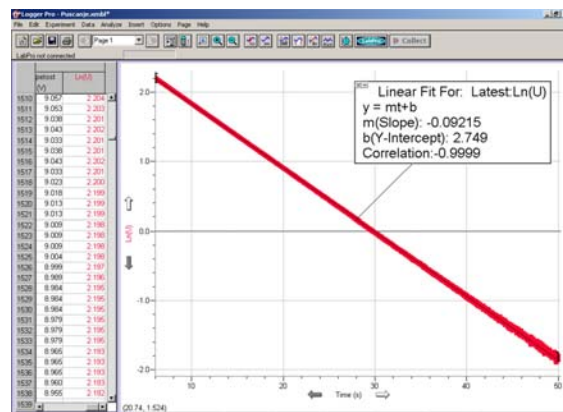
**Slika 6:** Shema poskusa, kjer  $R_n$  predstavlja notranjo upornost merilnika. V primeru a. kondenzator polnimo, v primeru b. pa na njem merimo napetost.

Meritev napetosti na kondenzatorju je prikazana na sliki 7.a. Hitremu polnjenju sledi počasno praznjenje skozi merilni instrument. Če podatkom prilagodimo eksponentno krivuljo (5), lahko določimo notranjo upornost vmesnika. Ker je koeficient v eksponentu  $1/(R_n C) = 0.09(\Omega F)^{-1}$ , kapaciteta uporabljenega kondenzatorja približno  $C = 10\mu F$ , ocenimo notranjo upornost vmesnika na približno  $1M\Omega$ . Koeficient  $1/(R_n C)$  lahko določimo tudi iz strmine premice na grafu naravnega logaritma napetosti v odvisnosti od časa  $\ln[U](t)$  (slika 7b).

a.



b.



**Slika 7:** Ko baterijo odklopimo se kondenzator prazni skozi merilni instrument. a. Meritev napetosti na kondenzatorju v odvisnosti od časa. Podatkom je prilagojena eksponentna krivulja. b. Naravni logaritem napetosti v odvisnosti od časa. Podatkom je prilagojena premica.

## Potek vaje:

V kanala 1 in 2 (CH1, 2) vmesnika priključite napetostni tipali. Prvega boste uporabili za merjenje napetosti na kondenzatorju, drugega pa za merjenje toka v kondenzator ( $I=U/R$ ). Na začetku boste merili le tok v kondenzator, zato pripnite le tipalo 2 (CH2) na krajišči upora (slika1).

Za ogrevanje poženite datoteko 'PolnjenjePraznjenje', v kateri je pripravljena nastavitvev vzorčenja in nov stolpec, ki podatke napetosti na uporu avtomatično preračuna v podatke toka. **Poskusite kondenzator polniti in prazniti.** Izberite kondenzator z večjo kapaciteto. Kondenzator polnite s pritiskom na stikalo, praznite pa tako, da upor in kondenzator kratko sklenete (slika 1).

Nato poženite datoteko 'Polnjenje'. Tu smo z nastavitvami poskrbeli, da se meritev proži (trigg), ko se napetost na uporu dvigne nad 0V (v kondenzator začne teči tok).

1. **Preverite kapaciteto kondenzatorja** tako, da izmerite naboj, ki se nanj pretoči, in upoštevate, da se poln kondenzator nabije na napetost baterije. Pri določanju naboja si pomagajte z integriranjem krivulje  $I(t)$ . Ob vsakem ponovnem poskusu kondenzator izpraznite preko upora. Poskus ponovite s praznjenjem kondenzatorja. V tem primeru poženite datoteko 'Praznjenje'.

Kakšen je potek toka pri praznjenju v primerjavi s polnjenjem kondenzatorja? Zakaj?

2. **Preverite zvezo med nabojem in napetostjo na kondenzatorju**  $q=CU$  tako, da izmerite naboj, ki se pretoči na kondenzatorje različnih kapacitet. Kapacitete so označene na kondenzatorjih. Nato meritve nanesite na graf  $q(C)$  in preverite, ali je odvisnost zares linearna.

3. Pripnite na priključka kondenzatorja še drugo tipalo (CH1) in uporabite že znani datoteki za polnjenje in praznjenje kondenzatorja. **Poleg  $I(t)$  opazujte še časovni potek napetosti na kondenzatorju  $U_C(t)$** , ko se kondenzator polni in prazni. Z integralom toka ( $I$ ) **izračunajte novo spremenljivko naboj  $q(t)$  in opazujte njen časovni potek.**

Kakšna je zveza med  $I(t)$  in  $q(t)$ ? Narišite ustrezni graf. Kako lahko iz tega grafa določimo kapaciteto?

4. Zaženite datoteko 'PolnjenjePraznjenje' in ponovite uvodne poskuse pred točko 1, tako, da sedaj merite napetost na kondenzatorju. Kaj se dogaja, ko stikalo odklopate? Iz meritev lahko ocenimo notranjo upornost vmesnika. Kako?