

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Školský rok/blok:

Predmet:

Fyzika

Trieda:

Dátum:

Teória

Elektrické pole a elektrický prúd

Kapacita vodiča, kondenzátory, zapájanie kondenzátorov

2.3.5 Kapacita vodiča, kondenzátory

Majme osamelý vodič, ktorý visí voľne v priestore a začnime ho nabíjať.

Čím viac nábojov prenesieme → tým viac bude nábojov na vodiči → tým viac bude vodič priťahovať opačné náboje a tým viac bude odpudzovať rovnaké náboje → tým väčšiu prácu potrebujeme na prenesenie ďalšieho náboja pri ďalšom nabíjaní → povrch vodiča má čím ďalej tým väčší potenciál φ .

Väčší náboj na vodiči znamená väčší potenciál vodiča, úmera je dokonca priama: $\varphi = k \cdot Q$ (čím väčší náboj na vodiči, tým je jeho potenciál väčší).

Môžeme to napísať aj obrátene: $Q = \frac{1}{k} \cdot \varphi$ (čím väčší potenciál vodiča, tým väčší je na ňom náboj).

Konštantu $\frac{1}{k}$ nazývame kapacita vodiča a označujeme ju $C \rightarrow Q = C \cdot \varphi$

Kapacita má význam množstva náboja, ktorý sa na predmet vojde, keď je nabitý na nejaký potenciál. Predmet s veľkou kapacitou nazhromaždí pri malom potenciáli veľký náboj. Fyzikálna jednotka kapacity je **farad**. Vodič má kapacitu jeden farad, ak sa dokáže nabiť nábojom jeden coulomb pri potenciáli jeden volt.

$$C = \frac{Q}{\varphi} ; [1F] = \left[\frac{1C}{1V} \right]$$

Zhromažďovanie náboja sa môže hodiť → preto vyrábame súčiastky, ktoré náboj zhromažďujú – **kondenzátory**. Veľké kondenzátory majú kapacitu napríklad $2200\mu F$, často sa na kondenzátoroch udávajú maximálne povolené hodnoty napätia, napríklad 6V.

V elektronických prístrojoch sa zhromažďujú pomerne malé náboje, rádovo tisíciny/milióntiny coulombu. Podobne aj jeden farad je obrovská kapacita. Jeden coulomb je obrovský náboj vzhľadom k hodnotám v elektronike.

Ako určíme kapacitu vodiča ?

Kapacita vodiča závisí od jeho tvaru. Kapacita osamoteného vodiča je malá, oveľa väčšiu kapacitu má sústava dvoch plochých vodičov oddelených od seba vrstvou dielektrika (vzduch, slúda, ...) – **kondenzátor**. Najjednoduchší doskový kondenzátor bez dielektrika (tj. medzi doskami je vzduch), ktorý je tvorený dvomi rovnobežnými doskami, ktorých aktívna (účinná) plocha má obsah S a ich vzdialenosť je d . Ak pripojíme tento kondenzátor k svorkám zdroja, vznikne na doske s vyšším potenciálom náboj $+Q$, na druhej náboj $-Q$. Rovnosť absolútnych hodnôt oboch nábojov je dôsledkom ich vzájomného silového pôsobenia.

Kapacita guľového kondenzátora (napríklad guľa Van der Graafvho generátora):

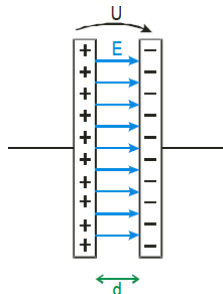
Potenciál nabitej vodivej gule: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$. Vzťah pre kapacitu dostaneme z $C = \frac{Q}{\varphi}$ (zo vzorca

$$Q = C \cdot \varphi) \rightarrow C = \frac{Q}{\varphi} = 4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot r.$$

Doskové kondenzátory

Doskové kondenzátory možno jednoducho vytvoriť dvomi doskami z vodivého materiálu, ktoré sú blízko pri sebe, oddelené dielektrikom. Vo vnútri dielektrika je homogénne elektrické pole, môžeme ho vyjadriť:

- pomocou napätia: $E = \frac{U}{d}$.
- pomocou hustoty náboja σ a aktívnej plochy dosiek S : $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{\sigma \cdot S}{S \cdot \epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{Q}{S \cdot \epsilon_0 \epsilon_r}$



V oboch prípadoch je intenzita pola rovnaká:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{S \cdot \epsilon_0 \epsilon_r} \rightarrow \text{chceme opäť získať pomer } C = \frac{Q}{U}$$

$$\frac{S \cdot \epsilon_0 \epsilon_r}{d} = \frac{Q}{U} = C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

Pre kapacitu doskového kondenzátora s dielektrikom platí vzťah:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

Schopnosť vodiča zhromažďovať náboj udáva fyzikálna veličina kapacita. Súčiastky s veľkou kapacitou sa nazývajú kondenzátory.

Fyzikálna veličina **kapacita** C teda charakterizuje mieru tejto schopnosti. Je mierou úmernosti náboja nahromadeného na vodiči a jeho potenciálu:

$$C = \frac{Q}{\varphi}$$

Ak nabíjame osamotený vodič vo vákuu, medzi nábojom Q a potenciálom φ je priama úmernosť $Q = C \cdot \varphi$, táto konštanta úmernosti medzi nábojom a potenciálom sa nazýva kapacita C .

Jednotkou kapacity je **jeden farad** F . $[C] = \frac{[Q]}{[\varphi]} = \frac{[1C]}{[1V]} = [1F]$. Jeden farad je kapacita vodiča, ktorý sa nábojom $1C$ nabije na potenciál $1V$.

Kapacita vodiča tvaru gule s polomerom r je

$$C = \frac{Q}{\varphi} = \frac{Q}{\frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}} = 4\pi\epsilon r \text{ kde } \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}; Q = 4\pi\epsilon r \varphi$$

Aby mala guľa kapacitu $1F$, musela by mať polomer $9 \cdot 10^9 m$. Farad je veľká jednotka kapacity, používame v praxi diely: $[mF]$, $[nF]$, $[pF]$. Kapacita vodiča závisí od veľkosti a tvaru vodiča, od prostredia okolo vodiča a od rozmiestnenia iných vodičov v okolí. Kapacita osamelého vodiča je veľmi malá, preto sa v praxi využívajú kondenzátory. Kondenzátor je vodič upravený tak, aby mal veľkú kapacitu. Najjednoduchší je doskový kondenzátor, čo je sústava dvoch plochých vodičov (rovnobežné dosky s plochou S a vzájomnou vzdialenosťou d) oddelených od seba tenkou vrstvou vzduchu alebo dielektrika.

Ak pripojíme k doskám kondenzátora napätie U , tak pre náboj, ktorý sa na nich nahromadí, bude platiť vzťah: $Q = C \cdot U$

Kapacita kondenzátora závisí od vzájomnej vzdialenosti dosiek d , na plošnom obsahu účinnej plochy S (plocha dosiek, ktoré sa prekrývajú) a permitivite dielektrika ε .

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot S}{d}$$

Kondenzátor sa vďaka schopnosti hromadiť na sebe náboj môže stať krátkodobým zdrojom prúdu.

2.3.6 Technické kondenzátory, energia elektrického poľa nabitého kondenzátora

Podľa typu dielektrika môžeme rozdeliť kondenzátory na:

- **vákuové** – kovové elektródy oddelené vákuom → majú malú kapacitu, veľké povolené maximálne napätia,
- **papierové** – zvitok hliníkovej fólie oddelený vrstvou voskového papiera → dnes zastaralé
- **keramické** – striedajú sa vrstvy z kovu a keramiky → majú menšiu kapacitu, ale často sa používajú pre ich výhodné vlastnosti
- **elektrolytické kondenzátory** – anóda – hliníková fólia s vyleptaným povrchom (leptaním sa zväčší plocha), na tejto ploche je chemicky vytvorená izolačná vrstva Al_2O_3 (dielektrikum) → druhou elektródou je elektrolyt:
 - **tenké dielektrikum** → veľká kapacita, ale nízke dovolené maximálne napätie,
 - **je nutné dodržiavať polaritu** → pri prepólovaní sa chemicky rozloží vrstva Al_2O_3 .

Okrem hliníku sa vyrábajú elektrolytické kondenzátory aj z tantalu (sú lepšie, ale drahšie). Aj napriek tenkej vrstve dielektrika, musí mať elektrolytický kondenzátor tiež rozsiahlu plochu.

- **ladiace kondenzátory** – špeciálny typ – kondenzátory s premennou veľkosťou kapacity – väčšinou pevné dosky, do ktorých sa môžu zasúvať otočné dosky, kedysi sa pomocou ladiacich kondenzátorov ladili stanice v rádiu.

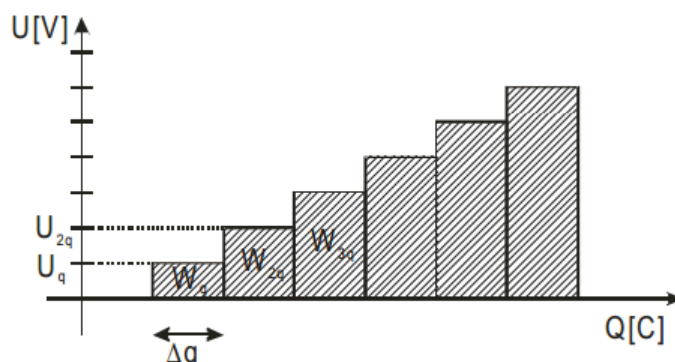
2.3.7 Energia elektrického poľa nabitého kondenzátora

Pri pokusoch so vzájomným spájaním LED diód a kondenzátorov je možné vidieť, že LEDka, ak ju pripojíme k nabitému kondenzátoru, svieti aj bez zdroja. Z toho vyplýva, že **v kondenzátore je možné „uschovať“ elektrickú energiu**.

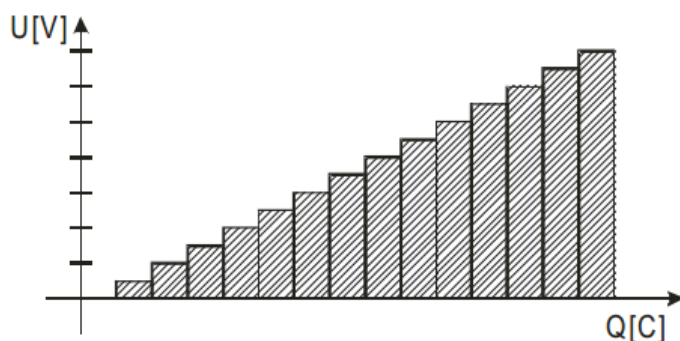
Ak by sme chceli odhadnúť, veľkosť energie kondenzátora, vieme, že **energie je viac pri väčšom napätí**, ale aj pri **väčšej kapacite** kondenzátora (zhromažďí sa väčší náboj).

Budeme nabíjať kondenzátor a sledovať prácu, ktorú pri tom vykonávajú elektrické sily. Jeho energia bude zodpovedať tejto práci:

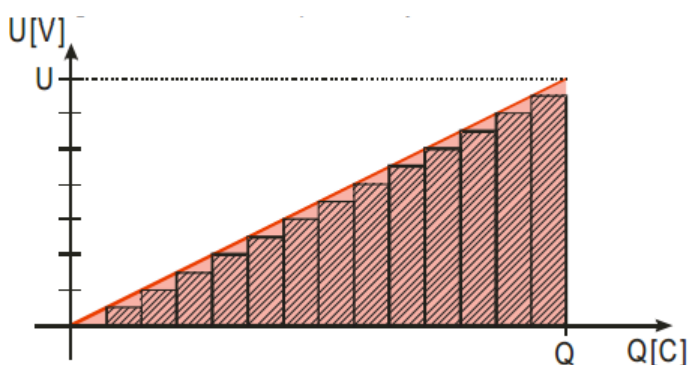
1. Majme nenabitý kondenzátor s $U = 0V$, nabijeme ho malým nábojom $\Delta q \rightarrow W = U \cdot Q = 0 \cdot \Delta q = 0$
2. Teraz už vznikla nerovnováha a na kondenzátore je napätie U_q , musíme teda na prenos ďalšieho náboja vynaložiť prácu $\rightarrow W = U \cdot Q = U_q \cdot \Delta q = W_q$
3. Napätie sa zväčší na U_{2q} , opäť na prenos ďalšieho náboja musíme vynaložiť väčšiu prácu $W = U \cdot Q = U_{2q} \cdot \Delta q = W_{2q}$
4. A tak ďalej. Napätie sa stále zväčšuje a je stále ťažšie prenášať ďalšie náboje. Pri každom prenesení musíme vykonať väčšiu prácu.



Celková práca zodpovedá obsahu všetkých obdĺžnikov. Obrázok je len náčrt. Presnejší výsledok dosiahneme pri postupnom prenášaní menších nábojov:



Najpresnejší výsledok by sme dosiahli grafickým znázornením prenášania veľmi malých nábojov („nekonečne malých“) – napríklad prenášaním elementárneho náboja.



Energii elektrického poľa nabitého kondenzátora zodpovedá plošný obsah **červenej plochy** (pre tých ktorí majú farebnú tlačiareň, pre čiernobielu tlač je to sivá plocha v tvare trojuholníka).

$$W = \frac{1}{2} U \cdot Q = \frac{1}{2} U \cdot U \cdot C = \frac{1}{2} C U^2$$

Pri nabíjaní platňového kondenzátora sa koná práca. Postupným prenášaním náboja na jednu z platní kondenzátora zväčšuje sa celkový náboj Q tejto platne, čím sa zväčšuje aj napätie U medzi platňami. Zložitejšou matematikou možno pre vykonanú prácu odvodiť rovnaký vzťah nasledovne:

$$W = \int F \cdot ds = \int EQ \cdot ds = \int Q \cdot dU = \int CU \cdot dU = C \int_0^U U \cdot dU = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U$$

Energia kondenzátora je určená podobným vzťahom ako iné druhy energie:

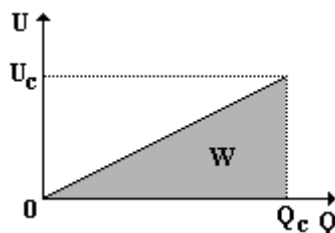
$$E = \frac{1}{2} \cdot \text{charakteristika} \cdot \text{stav}^2 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

	Energia kondenzátora	Kinetická energia telesa	Energia pružiny
Vzťah	$E_C = \frac{1}{2} C \cdot U^2$	$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2$
Charakteristika predmetu	Kapacita C	Hmotnosť m	Tuhosť pružiny k
Stav predmetu	Napätie U	Rýchlosť v	Predĺženie pružiny l

Pri nabíjaní a vybíjaní kondenzátora dochádza k pohybu náboja v elektrickom poli, pri ktorom elektrostatické sily konajú prácu. Pri nabíjaní kondenzátor získava energiu, pri vybíjaní ju stráca.

Kapacita kondenzátora je konštantná, preto je konštantná aj jej prevrácená hodnota. Napätie je priamo úmerné náboju.

Graf závislosti napätia na doskách kondenzátora od náboja na jeho doskách je lineárna funkcia, ktorú môžeme zobraziť ako **pravouhlý trojuholník**.



Obsah plochy pod grafom tejto závislosti je číselne rovný práci, ktorú vykonali elektrostatické sily pri nabíjaní (resp. vybíjaní) kondenzátora.

Počas nabíjania sa musel premiestniť náboj zo zdroja na dosky kondenzátora a preto elektrostatické sily museli konať prácu. Rovnakú závislosť dostaneme aj pri vybíjaní kondenzátora. Napätie bude klesať priamo úmerne s tým, ako sa na doskách bude zmenšovať náboj.

Rovnosť práce vykonanej elektrostatickými silami a energie kondenzátora vyplýva zo zákona zachovania energie.

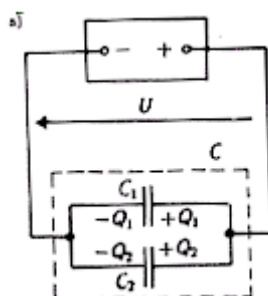
Energia dodaná prácou elektrostatických síl sa spotrebovala na polarizáciu dielektrika, ktorým je kondenzátor vyplnený. Energia „zostane“ v polarizovanom dielektriku vo forme energie elektrostatického pola. Nabitý kondenzátor je tak zdrojom elektrickej energie.

2.3.8 Spájanie kondenzátorov

Spojením kondenzátorov získame kondenzátor inej kapacity. Možno ich zapojiť paralelne alebo sériovo. Zapojenie kondenzátorov:

Paralelne (vedľa seba)

Oba kondenzátory sa nabíjajú na napätie zo zdroja U . Na dosky oboch kondenzátorov sa musí priviesť celkový náboj Q :

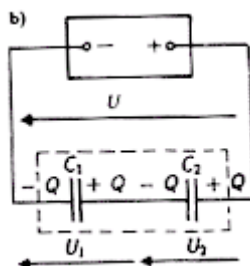


$$Q = Q_1 + Q_2 = U \cdot C_1 + U \cdot C_2 = U \cdot (C_1 + C_2) = U \cdot C$$

Sústava sa správa ako jeden kondenzátor, platí: $C = C_1 + C_2$

Sériovo (za sebou)

Na platniach spojených so svorkami zdroja vzniknú náboje $+Q$ a $-Q$. Na vodičoch medzi týmito platňami dôjde k javu elektrostatickej indukcie a náboj na všetkých kondenzátoroch bude $+Q$ a $-Q$. Napätia sa rozdelia medzi kondenzátory.



$$U = U_1 = U_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) = \frac{Q}{C}$$

Sústava sa správa ako jeden kondenzátor, platí: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Pri nabíjaní a vybíjaní kondenzátora dochádza k pohybu náboja v elektrickom poli, pri ktorom elektrické sily konajú prácu. Kondenzátor pri nabíjaní získava elektrickú energiu a pri vybíjaní ju stráca. V priebehu vybíjania sa napätie postupne znižuje so znižovaním náboja na platniach. Náboj je prenášaný pri menšom napätí ako pri začiatku deja. V priemere je to $\frac{U}{2}$. Celková elektrická práca W pri vybití

kondenzátora a tiež počiatočná elektrická energia kondenzátora E_C je:

$$E_C = W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$