

ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

1. Elektrický náboj, elektrická síla

Elektrické pole je prostor v okolí nabitých těles nebo částic. Jako jiné druhy polí je to způsob existence hmoty.

Elektrický náboj

- nemůže existovat bez částice nebo tělesa, ačkoli mluvíme o bodovém náboji, je to v podstatě velmi malá částice s elektrickým nábojem
- se může přemisťovat z jednoho tělesa na druhé nebo i v rámci jednoho tělesa
- vodiče jsou látky, ve kterých se náboj může snadno přemisťovat
- izolanty neboli dielektrika jsou látky, ve kterých se náboj pohybovat nemůže vůbec nebo jen velmi málo
- existují dva druhy elektrického náboje – kladný a záporný (konvence)
- skleněná tyč třená kůží získá kladný náboj
- plastová tyč třená kožesinou získá záporný náboj
- souhlasné náboje se odpuzují, nesouhlasné se přitahují
- celkový náboj izolované soustavy se nemění = zákon zachování náboje
- pohyb elektronů \times pohyb iontů
látky sama se nepohybuje \times pohybuje
- měřicí přístroj – elektroskop nebo elektrometr (se stupnicí)
- náboj můžeme dělit, nejmenší možný je náboj elektronu = elementární náboj
- $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C
- základní jednotkou je coulomb (C), často užíváme mikrocoulomb $\mu\text{C} = 10^{-6}$ C

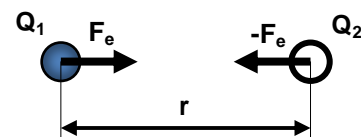
Otázky:

1. Co se stane, když k elektroskopu přiblížíme záporně nabitou tyč?
2. Co se stane, když k elektroskopu přiblížíme kladně nabitou tyč?
3. Co se stane, když tyč oddálíme, aniž se dotkneme elektroskopu?
4. Co se stane, když se dotkneme elektroskopu a pak tyč oddálíme?

2. Coulombův zákon

- je o síle mezi dvěma bodovými náboji Q_1 a Q_2 .

$$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{velikost})$$



směr odpuzování nebo přitahování podle polaritý nábojů

konstanta úměrnosti k závisí na vlastnostech prostředí mezi náboji

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad \text{pro všechna prostředí}$$

$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ C²·m⁻²·N⁻¹ je permitivita vakua

ϵ_r je relativní permitivita daného prostředí, najdeme ji v tabulkách

prostředí	ϵ_r
vakuum (a v podstatě i vzduch)	1
voda	81

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \quad \dots \text{ pro vakuum (vzduch)}$$

Otázky:

5. Přepište Coulombův zákon, doplňte úplnou rovnici pro "k". Vysvětlete všechny veličiny, nakreslete obrázek.
6. Dvě malé vodivé koule mají náboje -2 nC a 8 nC a jsou 20 cm od sebe ve vzduchu. Spočítejte
 - a) sílu mezi nimi
 - b) sílu mezi stejnými náboji, když vzdálenost zdvojnásobíme
 - c) sílu mezi stejnými náboji, když mezi ně nalijeme olej o relativní permitivitě 6
 - d) sílu mezi koulemi, když se nejprve dotknou a pak je opět umístíme do vzdálenosti 20 cm.
7. Kolik elementárních nábojů představuje 1 μC ?
8. Je-li síla mezi dvěma nabitými tělesy F , potom zdvojnásobení náboje každého z těles a zároveň zdvojnásobení vzdálenosti mezi nimi změní sílu na
 - a) $\frac{F}{4}$
 - b) $\frac{F}{2}$
 - c) F
 - d) $2F$
 - e) $4F$

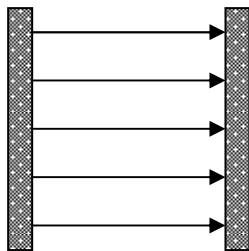
3. Modely elektrického pole

siločáry elektrického pole =

podle směru síly působící na náboj
(urči polaritu nabitých desek a bodových nábojů)

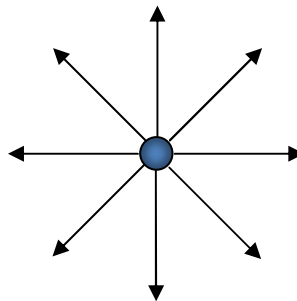
druhy elektrického pole

homogenní

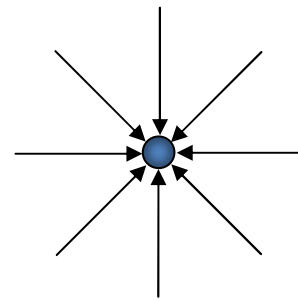


radiální, centrální

..... zdroj

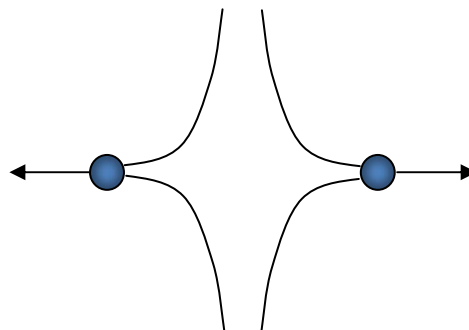


..... zdroj



kombinované elektrické pole dvou bodových nábojů

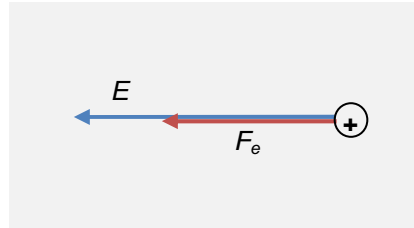
(dokončete znázornění siločar v okolí nábojů, stanovte jejich polaritu)



4. Intenzita elektrického pole \vec{E}

je vektorová veličina určená k popisu elektrického pole

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$



\vec{F}_e ... elektrická síla působící v daném bodě na zkušební náboj q

q ... zkušební náboj

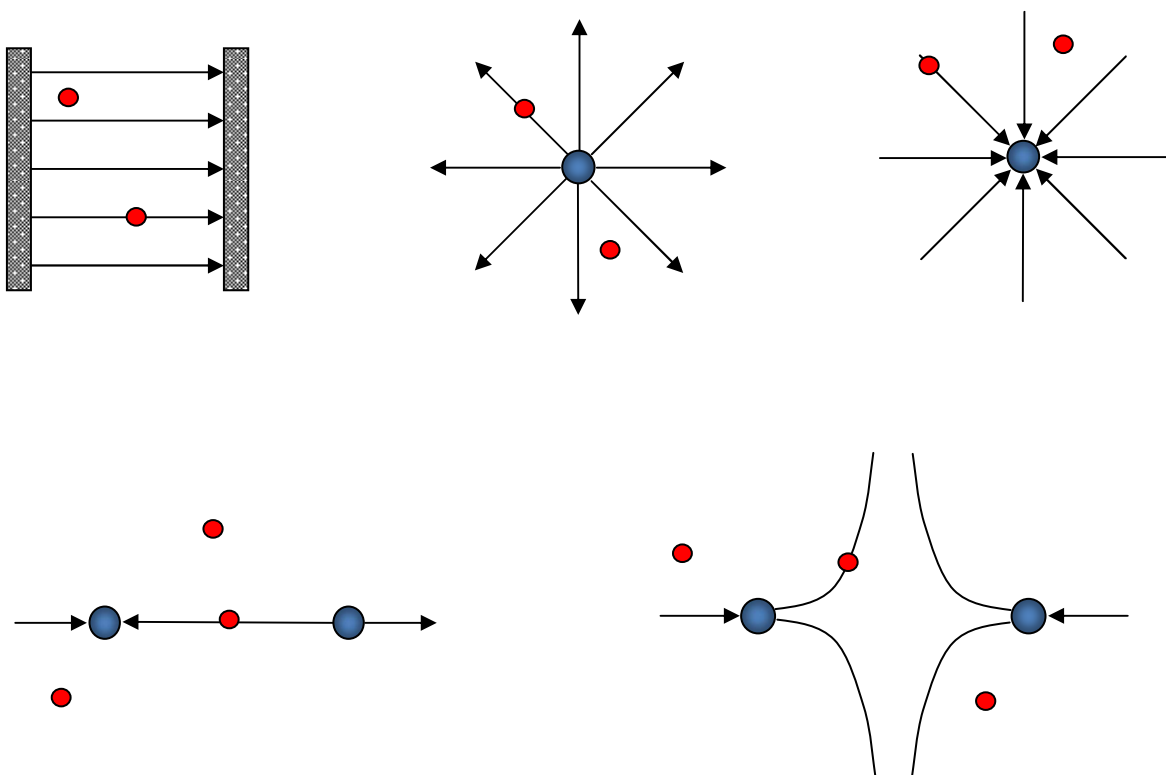
$$[\vec{E}] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} \text{ (nebo } \text{V} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

pro velikost \vec{E} : $E = \frac{F_e}{q} = k \frac{|Qq|}{r^2} \cdot \frac{1}{q} = k \frac{|Q|}{r^2}$

Směr intenzity elektrického pole je v daném bodě určen směrem síly, která by v tomto bodě působila na kladně nabitý zkušební náboj. Je to také tečna k siločarám elektrického pole, které reprezentují myšlenou trajektorii kladného náboje v tomto poli.

Otázky:

9. V bodech uvedených na obrázcích nakreslete vektory intenzity elektrického pole



5. Elektrický potenciál φ

je skalární veličina používaná k popisu určitého místa v elektrickém poli

$$\varphi_A = \frac{W_{0A}}{q}$$

φ_A ... elektrický potenciál v bodě A elektrického pole

W_{0A} ... práce vykonaná elektrickými silami při přemístění q z bodu A do hladiny

nulového potenciálu (nekonečno, Země)

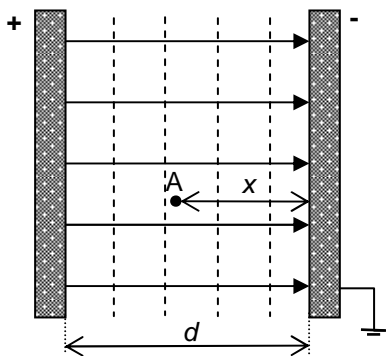
q ... zkušební náboj

$$[\varphi] = \text{J} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V}$$

Potenciál určitého bodu elektrického pole je 1 V když vykonáme elektrickou práci 1 J při přemístění náboje +1 C z tohoto bodu do bodu s nulovým potenciálem

ekvipotenciální hladiny = množiny bodů (plochy) se stejnou velikostí potenciálu

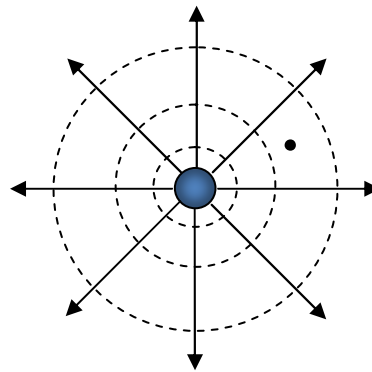
homogenní elektrické pole



$$\varphi_A = \frac{W_{0A}}{q}$$

$$\varphi_A = Ex$$

radiální, centrální el pole



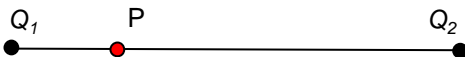
$$\varphi_A = \frac{W_{0A}}{q}$$

$$\varphi_A = k \frac{Q}{r}$$

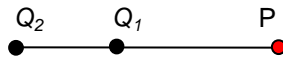
Otázky:

10. Dva bodové náboje $Q_1 = 5 \text{ nC}$ a $Q_2 = -8 \text{ nC}$ umístíme ve vakuu. Určete potenciál a intenzitu elektrického pole v bodě P, který je 0.5 m od prvního náboje a 120 cm od druhého náboje dle obrázků.

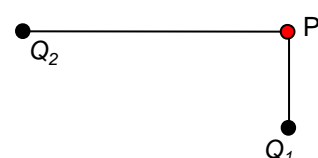
a)



b)



c)



11. Urči opět potenciál a intenzitu v podobných situacích a), b), a c) s tím, že oba náboje budou kladné a umístíme je do prostředí o relativní permitivitě 30.

L5/1-30

6. Práce v elektrickém poli

pro všechny druhy pole

$$W = \int F ds \quad \text{záleží na typu pole}$$

($F \neq konst$ v centrálním el. poli !!!)

homogenní elektrické pole

$$W = F_e d \cos \alpha = qEd \cos \alpha$$

W ... práce na přemístění q z A do B
 E ... intenzita elektrického pole
 d ... vzdálenost mezi A a B
 α ... úhel mezi silou působící na q a posunutím

$W > 0$ konaná silami elektrického pole
 $W < 0$ konaná vnější silou proti silám pole



napětí (rozdíl potenciálů)

mezi body A a B v el. poli je rovno práci vykonané při přemístění náboje $+1$ C z A do B = rozdíl potenciálů mezi těmito body

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \varphi_B - \varphi_A \quad \text{obecná rovnice pro všechny druhy pole}$$

Pomocí obrázků pro ekvipotenciální plochy homogenního el. pole:

Jaký je vztah mezi napětím desek a intenzitou elektrického pole mezi nimi?

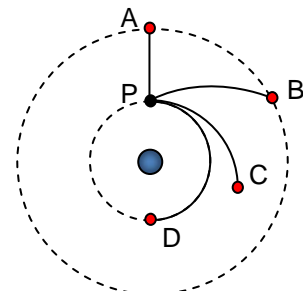
$$U = \varphi_+ - \varphi_- = \varphi_+ - 0 = W_{+0} = \frac{F_e d}{q} = \frac{Eqd}{q} = Ed$$

$$[E] = \left[\frac{U}{d} \right] = V \cdot m^{-1} \quad \text{další jednotka}$$

Otázky:

12. Náboj $20 \mu C$ přemístíme o 50 cm v homogenním elektrickém poli o intenzitě $20 V \cdot m^{-1}$. Spočítejte
- napětí mezi deskami při vzdálenosti 120 cm
 - práci, když náboj posuneme ve směru siločar
 - práci, když náboj posuneme proti směru siločar
 - práci, když náboj posuneme kolmo ke směru siločar
 - kteřá z odpovědí a)-d) se změní, když bude náboj záporný a jaké budou nové výsledky

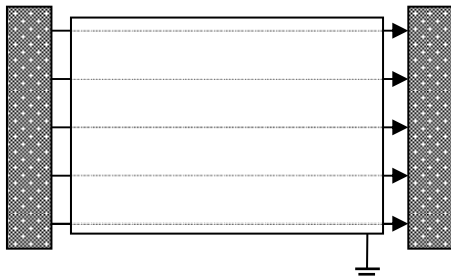
13. Bodový náboj vytváří el pole dle obrázku. Do kterého z bodů A, B, C a D musíme z bodu P po daných trajektoriích přesunout náboj abychom vykonali
- největší práci
 - nejmenší práci



14. První těleso má potenciál 100 V a druhé -20 V. Jak velký náboj jsme z prvního na druhé přenesli, když jsme vykonali práci 6 mJ?
15. Homogenní elektrické pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami vzdálenými 20 cm má velikost $400 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$. Spočítejte:
- napětí mezi deskami
 - sílu, která by působila v tomto poli na náboj -2 nC
 - jaká je nová hodnota intenzity elektrického pole, když zvýšíme vzdálenost mezi deskami na 30 cm?

7. Vodič a izolant v elektrickém poli, rozložení náboje

Vodič



Když umístíte vodič do elektrického pole, přemístí se v něm volné elektrony a opačné strany vodiče získají nesouhlasné náboje, přestože celkový náboj vodiče zůstane nulový. Jev nazýváme elektrostatická indukce. Když uzemníme těleso jako na obrázku, dojde k přesunu volných elektronů ze Země, a když odstraníme vodič, těleso získá záporný náboj. Podobně uzemněním opačné části získá těleso kladný náboj.

Rozložení náboje na vodivém tělese

$$\sigma = \frac{Q}{S} \text{ hustota náboje}$$

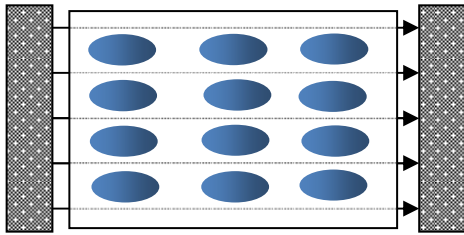
$$[\sigma] = \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$$

pomocí demonstračních pokusů vysvětlí, že náboj na vodiči se rozmístí

pouze na vnějším povrchu

s největší σ on na konvexních plochách – špičky, hroty

Izolant



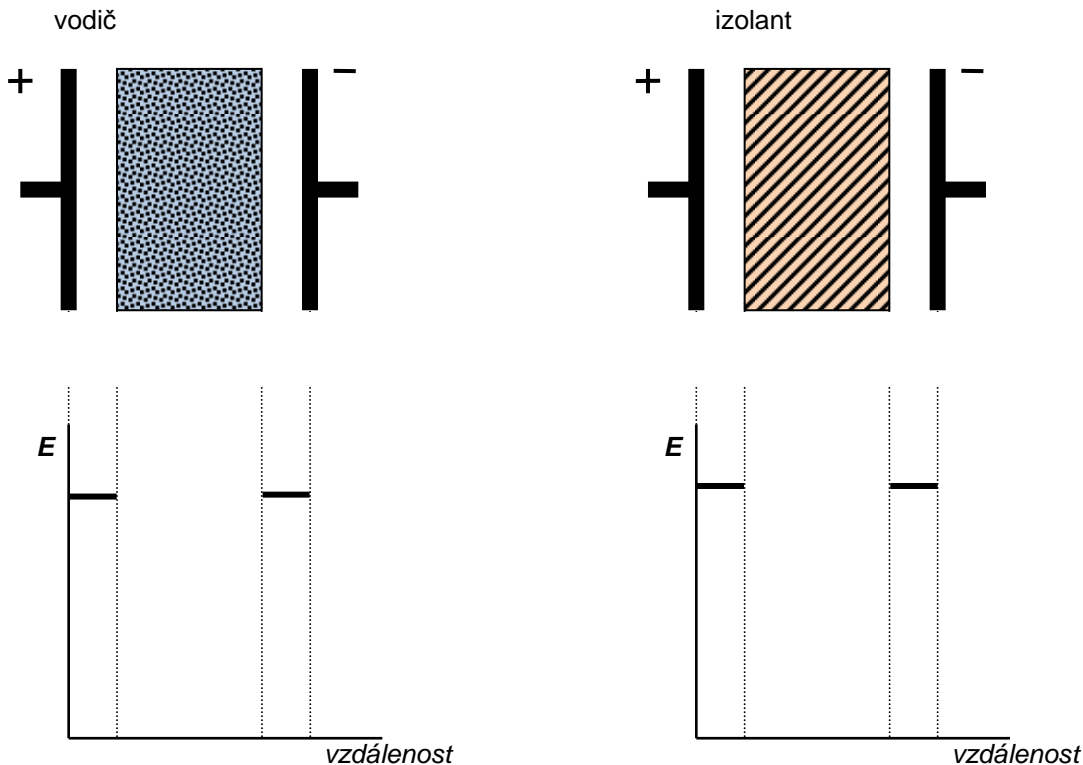
Izolant neboli dielektrikum je látka, která neobsahuje volně pohyblivé částice s nábojem. Když ji dáme do vnějšího elektrického pole, mohou se molekuly natočit (např. v polárních roztocích jako voda) nebo se elektronové obaly vychýlí a dostaneme opačné náboje jako na obrázku (např. kousky papíru). Vnitřní elektrické pole má směr proti vnějšímu a intenzita se liší podle druhu dielektrika. Jev se nazývá polarizace dielektrika.



$$\epsilon_r = \frac{E}{E - E_i} = \frac{\text{intenzita vn.pole}}{\text{výsledná intenzita}} = \text{relativní permitivita prost.}$$

Otázky:

16. Můžeme získat dva kusy materiálu s opačným nábojem, když do elektrického pole umístíme
 - a) kov
 - b) polystyrén? Vysvětlete.
17. Co budete pozorovat, když dáte do elektrického pole kousek kovu? Může se jednat o odpudivé nebo přitažlivé síly?
18. Co když uděláme totéž s kouskem izolantu? Bude jev stejný? V čem mohou být rozdíly?
19. Odhadněte velikost výsledné intenzity elektrického pole uvnitř vodiče a izolantu o relativní permitivitě 4 a dokončete grafy



8. Použití elektrostatiky

Elektrostatický odlučovač popílku

<http://www.explainthatstuff.com/electrostaticsmokeprecipitators.html>

princip:

Kopírka

<http://home.howstuffworks.com/photocopier.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Photocopier>

<http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=244>

části:

princip:

analogová × digitální:

9. Kapacita (C)

je schopnost vodiče pojmout náboj.

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

C ... kapacita tělesa

Q ... náboj přenesený na vodič

$\Delta\varphi$... změna jeho potenciálu

$$[C] = C \cdot V^{-1} = F \quad (\text{farad})$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 R \quad \text{kapacita vodivé koule}$$

kapacita izolovaných těles je velmi malá, např. pro $R = 10 \text{ cm}$, $C = 11 \text{ pF} = 11 \times 10^{-12} \text{ F}$

Otázky:

20. Jaký poloměr by měla mít koule o kapacitě 1 F?

10. Kondenzátory

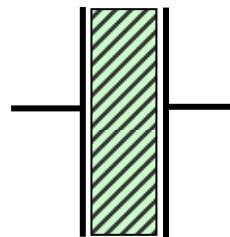
jsou speciální součástky sloužící k uložení náboje. Skládají se ze dvou paralelních desek oddělených izolantem.

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

S ... společná plocha desek

d ... vzdálenost

ϵ_r ... relativní permitivita



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

http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/RC_dc.htm

Druhy kondenzátorů – podle druhu dielektrika

vzduchový - $\Delta S \Rightarrow \Delta C$

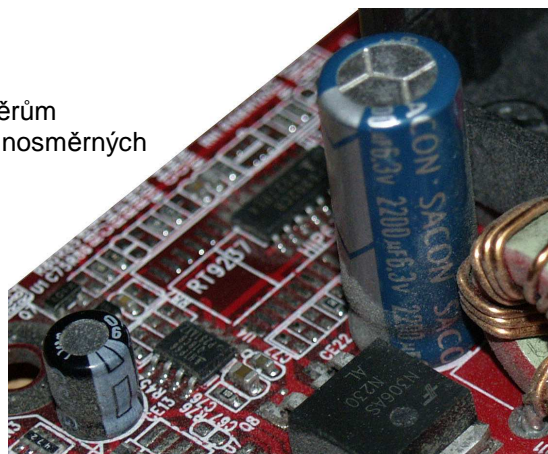
slídový

keramický – velká kapacita vzhledem k rozměrům

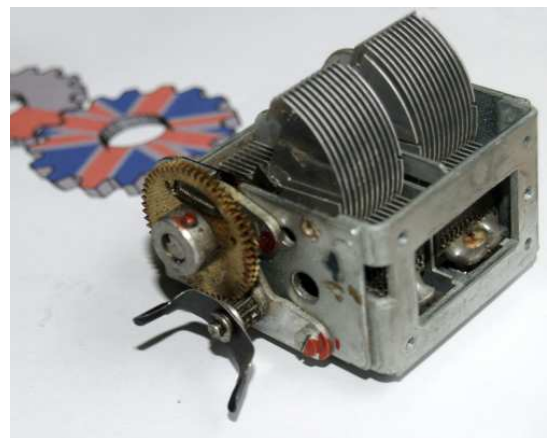
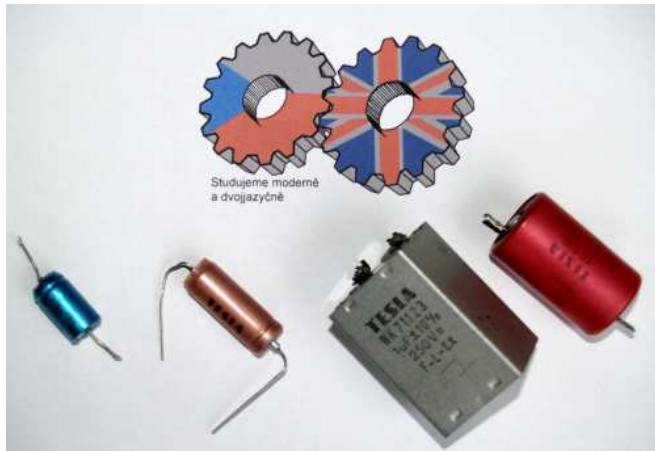
elektrolytický – může být použit pouze ve stejnosměrných obvodech v jedné polaritě

papírový – voskovaný papír

styroflexový - plast



Jaké druhy kondenzátorů jsou na obrázcích?



Spojování kondenzátorů

V paralelním zapojení je výsledná kapacita vždy větší než kapacity jednotlivých kondenzátorů; v podstatě jsme vytvořili kondenzátor o větší ploše.

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

V sériovém zapojení je výsledná kapacita vždy menší než kapacita kteréhokoli ze zapojených kondenzátorů. Celkový náboj je stejný jako náboj na každém kondenzátoru. Napětí se dělí podobně jako u rezistorů.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Otázky:

21. Tři kondenzátory o kapacitách 1 nF, 2 nF a 4 nF jsou připojeny ke zdroji napětí 10 V. Spočítejte náboj a napětí na každém z nich, když jsou zapojeny:

- paralelně
- v sérii
- kondenzátor 1 nF je zapojený sériově k paralelnímu spojení dalších dvou
- kondenzátor 4 nF je zapojený paralelně k sériovému spojení dalších dvou

22. Tři kondenzátory o kapacitách 1 nF, 2 nF a 4 nF jsou zapojeny

- sériově
- paralelně

Diskutujte, na kterém bude největší náboj a napětí v zapojení a) a b)

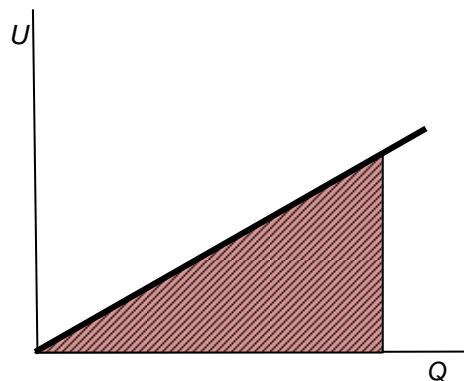
Energie kondenzátoru

V průběhu nabíjení kondenzátoru konají elektrické síly práci na přemístění náboje na jeho desky. Tak kondenzátor získá energii, která může být využita při jeho vybíjení, např. rozsvítí žárovku nebo diodu. Energie je uložena v polarizovaném dielektriku, v elektrickém poli mezi nabitými deskami. Z rovnic vidíme, že při konstantní hodnotě kapacity je náboj kondenzátoru přímo úměrný napětí na jeho deskách:

$C = \frac{Q}{U}$ protože napětí definujeme $U = \frac{W}{Q}$, můžeme odvodit rovnici pro práci a tedy energii

$W = \int U dQ$ Toto můžeme snadno určit jako plochu pod uvedeným grafem:

$$W = \int U dQ = \frac{1}{2} UQ = \frac{1}{2} U^2 C = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



Otázky:

23. Kondenzátor o kapacitě $10 \mu\text{F}$ zapojíme ke zdroji napětí 50 V . Určete náboj a energii kondenzátoru.

L5/41-57

Odpovědi:

6. a) $3,6 \mu\text{N}$ přitahování b) $0,9 \mu\text{N}$ c) $0,6 \mu\text{N}$ d) $2,025 \mu\text{N}$ odpuzování
7. $6,24 \times 10^{12} e$
8. c)
10. a) 30 V ; $230 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$ b) 30 V ; $130 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$ c) 30 V ; $187 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$
11. a) 5 V ; $4,3 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ b) 5 V ; $7,6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ c) 5 V ; $6,2 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$
12. a) 24 V b) $0,2 \text{ mJ}$ c) $-0,2 \text{ mJ}$ d) 0 e) b) $-0,2 \text{ mJ}$; c) $0,2 \text{ mJ}$
13. a) A and B b) D
14. $50 \mu\text{C}$
15. a) 80 V b) $0,8 \mu\text{C}$ c) $267 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$
20. $9 \times 10^9 \text{ m}$
21. a) 10 nC , 20 nC , 40 nC , 10 V , 10 V , 10 V
b) $5,7 \text{ nC}$, $5,7 \text{ nC}$, $5,7 \text{ nC}$, $5,7 \text{ V}$, $2,9 \text{ V}$, $1,4 \text{ V}$
c) $8,57 \text{ nC}$, $2,86 \text{ nC}$, $5,71 \text{ nC}$, $8,57 \text{ V}$, $1,43 \text{ V}$, $1,43 \text{ V}$
d) $6,7 \text{ nC}$, $6,7 \text{ nC}$, 40 nC , $6,7 \text{ V}$, $3,3 \text{ V}$, 10 V
23. $0,5 \text{ mC}$, $12,5 \text{ mJ}$