

4.1.10 Technické kondenzátory, energie kondenzátoru

Předpoklady: 4109, 4105, 4106, mechanická práce

Typy kondenzátorů, většinou podle typu dielektrika:

Vakuové – kovové elektrody oddělené vakuem $\Rightarrow$ malá kapacita, velké povolené napětí

Papírové – svitek hliníkové fólie oddělené vrstvou voskového papíru $\Rightarrow$ dnes zastaralé

Keramické – střídající se vrstvy kovu a keramiky, menší kapacita, ale časté použití

Elektrolytické kondenzátory – anoda – hliníková fólie s vyleptaným povrchem (zvětšení plochy), na ní chemicky vytvořená vrstva Al_2O_3 (dielektrikum), druhou elektrodou je elektrolyt $\Rightarrow$

- tenké dielektrikum $\Rightarrow$ velká kapacita, ale nízké napětí
- nutné dodržovat polaritu (při přepólování se chemicky rozloží vrstva Al_2O_3)

kromě hliníku se dělají elektrolytické kondenzátory i z tantalu (lepší, ale dražší)

Př. 1: Elektrická pevnost Al_2O_3 je řádově $10^9 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, jeho relativní permitivita 8,5. Urči minimální tloušťku vrstvy Al_2O_3 v elektrolytickém kondenzátoru o povoleném napětí 16 V. Jaká musí být plocha anody, pokud má kondenzátor kapacitu $2200 \mu\text{F}$?

Tloušťka vrstvy:

$$\text{Platí: } U = Ed \Rightarrow d = \frac{U}{E} = \frac{16}{10^9} \text{ m} = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 0,016 \mu\text{m}$$

$$\text{Kapacita kondenzátoru: } C = \frac{S \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{d}$$

$$S = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = \frac{2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-8}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 8,5} \text{ m}^2 = 0,47 \text{ m}^2$$

Vrstva Al_2O_3 musí mít minimální tloušťku $0,016 \mu\text{m}$. Pokud má mít kondenzátor požadovanou kapacitu musí mít jeho desky plochu $0,47 \text{ m}^2$.

I přes tenkou vrstvu dielektrika, musí mít elektrolytický kondenzátor značnou plochu.

Speciální typ – **proměnné (ladící) kondenzátory** – kondenzátory s proměnnou kapacitou, většinou pevné desky, do kterých se mohou zasunovat otočné desky, dříve se pomocí ladicích kondenzátorů ladily stanice na rádiu

Při pokusech s LEDkou a kondenzátorem, jsme viděli, že LEDka svítí i bez zdroje, když ji připojíme k nabitému kondenzátoru $\Rightarrow$ v kondenzátoru je možné schovat elektrickou energii. Jak je velká?

Odhad:

velké napětí $\Rightarrow$ větší energie

velká kapacita (větší náboj) $\Rightarrow$ větší energie

Jak přesný vzorec?

Budeme nabíjet kondenzátor a sledovat práci, kterou při tom vykonáme. Energie bude odpovídat této práci.

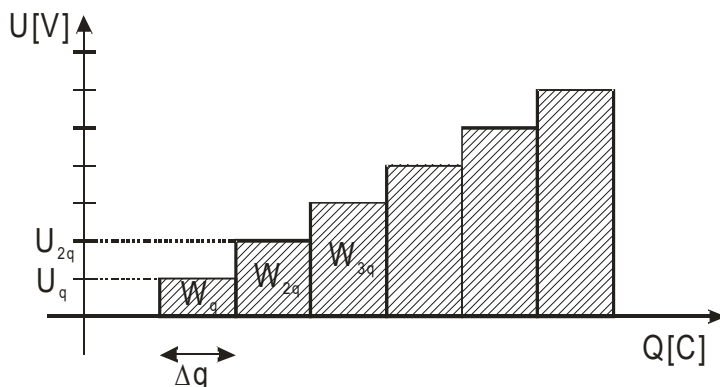
Máme nenabitý kondenzátor $U=0\text{ V}$, nabijeme ho malým nábojem $\Delta q \Rightarrow$

$$W = U \cdot Q = 0 \cdot \Delta q = 0$$

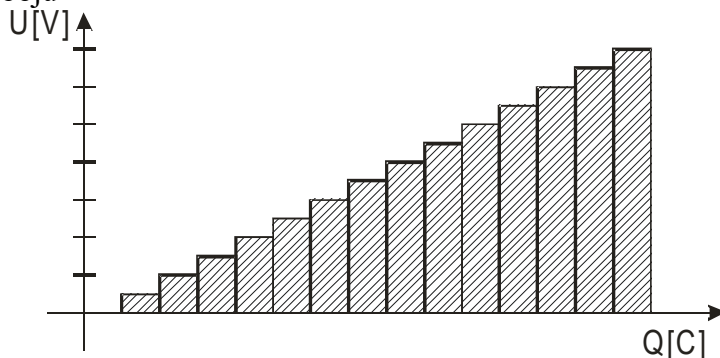
Nyní je už na kondenzátoru napětí $U_q \Rightarrow$ musíme vynaložit práci $W = U \cdot Q = U_q \cdot \Delta q = W_q$

Napětí se zvětšilo na $U_{2q} \Rightarrow$ musíme vynaložit práci $W = U \cdot Q = U_{2q} \cdot \Delta q = W_{2q}$

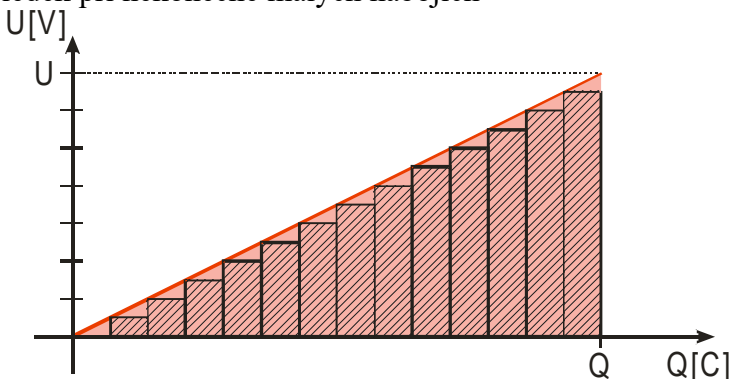
a tak dále, napětí se stále zvětšuje a je stále těžší přenášet další náboje, při každém dalším přenesení musíme vykonat větší práci $\Rightarrow$ nakreslíme graf



celková práce = obsah všech čtverečků, obrázek je pouze přibližný $\Rightarrow$ přesnější výsledek při přenášení menších nábojů



$\Rightarrow$ nejpresnější výsledek při nekonečně malých nábojích



Energie = obsah červené plochy

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

Př. 2: Porovnej vzorec pro energii kondenzátoru se vzorcem pro kinetickou energii.

Vzorec	Energie kondenzátoru $E = \frac{1}{2} C \cdot U^2$	Kinetická energie tělesa $E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	Energie pružiny $E = \frac{1}{2} k \cdot x^2$
Charakteristika předmětu	Kapacita C	Hmotnost m	Tuhost pružiny k
Stav předmětu	Napětí U	Rychlost v	Prodloužení pružiny x

Př. 3: Urči maximální množství elektrostatické energie, které je možné nashromáždit v kondenzátoru s označením 2200 μ F , 16 V.

$$E = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 2200 \cdot 10^{-6} \cdot 16^2 \text{ J} = 0,28 \text{ J}$$

V kondenzátoru je možné nashromáždit maximálně 0,28 J.

Př. 4: Zásadním problémem při využívání obnovitelných zdrojů energie je jejich nestabilita – množství energie, které v daném okamžiku vyrábí je určeno přírodními podmínkami, ne požadavky spotřebitelů (například sluneční panely nevyrábějí energii v noci, jen málo energie vyrábějí v zimních měsících). Na libovolném eshopu s elektronickými součástkami najdi kondenzátor s nejlepším poměrem kapacita/cena a maximálním napětím 16 V. Spočítej kolika takových kondenzátorů a za jakou cenu bychom potřebovali k uskladnění energie potřebné k ohřátí 1 litru vody z 10 °C na bod varu.

Údaje z <https://www.gme.cz/> (eshop firmy GM electronic), 14. 5. 2021:

Kondenzátor s nejlepším poměrem kapacita/cena:

<https://www.gme.cz/ce-4700u-16v-jam-sk-16x25-rm7-5-bulk>

Elektrolytický kondenzátor radiální CE 4700u/16V JAM-SK 16x25 RM7,5 BULK

cena nad 100 kusů: 4,56 Kč

Energie potřebná k ohřátí vody:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 1 \cdot 4200 \cdot 60 \text{ J} = 252\,000 \text{ J}$$

Množství energie uskladněné v 1 plně nabitým kondenzátoru:

$$E = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 4700 \cdot 10^{-6} \cdot 16^2 \text{ J} = 0,60 \text{ J}$$

Potřebný počet kondenzátorů: $E = \frac{252\,000}{0,6} = 420\,000$ kusů.

Cena: $420\,000 \cdot 4,56 = 1\,900\,000$ kusů.

Na uskladnění energie potřebné na uvedení 1 litru vody do bodu varu, by bylo potřeba 420

000 kusů kondenzátorů s nejlepším poměrem kapacita/cena, které by dohromady stály 1 900 000 Kč. Kondenzátory zjevně nejsou cestou, jak uskladňovat větší množství energie.

Shrnutí: Energie kondenzátoru je určena podobným vzorcem jako jiné druhy energie:

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