

k ochraně před vysokým napětím, popř. před bleskem (jako Faradayova klec působí např. také karoserie auta) apod.

Úlohy

- 1** Jak je rozložen náboj na nepravidelném vodivém tělese?
- 2** Jaký směr má vektor intenzity elektrického pole v těsné blízkosti vodivého tělesa?
- 3** Na vodivou kouli o poloměru 5 cm přivedeme náboj 5 nC. Jaká bude plošná hustota náboje? Jakou intenzitu bude mít elektrické pole v těsné blízkosti koule? Jaký potenciál bude mít její povrch?

R1.4 Kondenzátory a jejich spojování

V článku 1.6 je uvedeno, že **kapacita izolované vodivé koule** o poloměru R je velmi malá. Potenciál vodivé koule ve vakuu (viz čl. R1.2)

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R} = k \frac{Q}{R},$$

kde $k \approx 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

Kapacita koule je tedy

$$C = \frac{Q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0 R \approx \frac{R}{9 \cdot 10^9} \text{ F}.$$

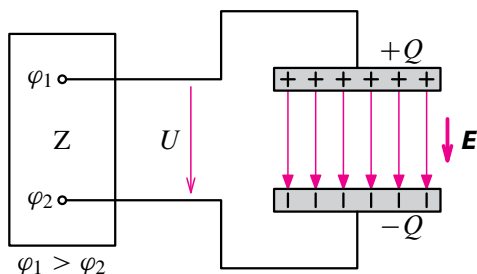
Kdybychom zeměkouli ($R \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$) považovali za izolované vodivé těleso, měla by kapacitu

$$C = \frac{6,4 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^9} \text{ F} \approx 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ F} = 700 \mu\text{F}.$$

Vztah pro **kapacitu deskového kondenzátoru** odvodíme následující úvahou.

Připojíme-li deskový kondenzátor ke svorkám zdroje elektrického napětí, je na desce s vyšším potenciálem kladný náboj $+Q$ a na desce s nižším potenciálem stejně velký záporný náboj $-Q$ (obr. R1-16). Mezi deskami vznikne homogenní elektrické pole s intenzitou

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}.$$



R1-16 Deskový kondenzátor bez dielektrika

Při malé vzdálenosti desek kondenzátoru se pole vně obou desek vzájemně ruší.

Intenzita pole mezi deskami kondenzátoru bez dielektrika a plošná hustota náboje na deskách splňují vztah

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 S}.$$

Porovnáním vztahů pro intenzitu elektrického pole dostaneme

$$\frac{Q}{\varepsilon_0 S} = \frac{U}{d}$$

a kapacita C_0 kondenzátoru bez dielektrika tak je

$$C_0 = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}.$$

Vyplníme-li prostor mezi deskami kondenzátoru dielektrikem o relativní permitivitě ε_r , jeho kapacita se zvětší:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} = \varepsilon_r C_0.$$

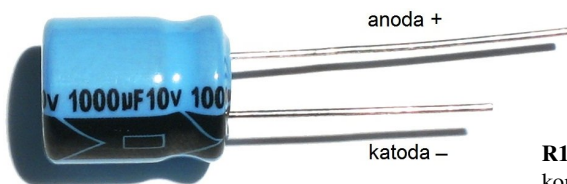
Poznámka: Ze vztahu pro C_0 vyplývá také jednotka permitivity vakua, popř. elektrické konstanty *farad na metr* (viz čl. 1.2):

$$[\varepsilon_0] = \frac{[C_0][d]}{[S]} = \frac{\text{F} \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = \text{F} \cdot \text{m}^{-1}.$$

Technické kondenzátory

Ze vztahu pro kapacitu deskového kondenzátoru s dielektrikem je zřejmé, jak lze v technické praxi dosáhnout co největší kapacity. Zvětšení plochy S bylo v čl. 1.6 ukázáno na příkladu *svitkového kondenzátoru*. Jiné řešení představuje *elektrolytický kondenzátor*. Tvoří ho dvě hliníkové fólie, mezi kterými je vrstva

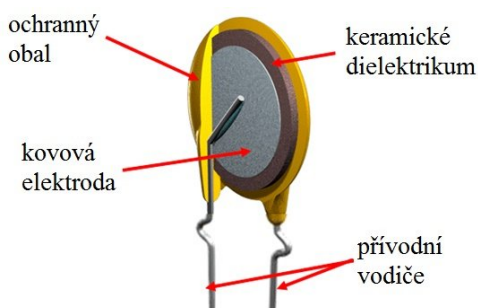
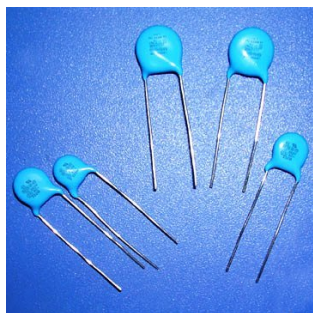
papíru napuštěná vodivou látkou – elektrolytem. Elektrolyt tvoří jednu elektrodu kondenzátoru (*katodu*) a hliníková fólie druhou elektrodu (*anodu*). Obě elektrody jsou odděleny mikroskopicky tenkou vrstvou dielektrika, kterým je oxid hlinitý (Al_2O_3) s velkou relativní permitivitou ($\epsilon_r = 10$). Ten se vytvoří přímo na povrchu hliníkové anody při tzv. formátování kondenzátoru. Díky malé tloušťce dielektrika mají elektrolytické kondenzátory značnou kapacitu (řádově 10^{-6} F až 10^{-2} F) i při malých rozměrech (obr. R1-17).



R1-17 Elektrolytický kondenzátor

Poznámka: Z konstrukce elektrolytického kondenzátoru vyplývají dvě jeho charakteristické vlastnosti: 1. Při zapojování do elektrického obvodu je třeba dbát na polaritu elektrod. Anoda musí mít vždy vyšší potenciál než katoda. Při nesprávné polaritě hrozí nebezpečí zničení kondenzátoru. 2. Vzhledem k mikroskopické tloušťce dielektrika lze elektrolytický kondenzátor nabít jen na malé napětí. Při překročení tzv. průrazného napětí se vrstva dielektrika poruší a kondenzátor se opět zničí.

Kapacitu kondenzátoru lze také zvýšit použitím dielektrika z materiálu, který má co největší relativní permitivitu ϵ_r . To se využívá u miniaturních *keramických kondenzátorů* (obr. R1-18), jejichž dielektrikum tvoří keramický materiál o velké permitivitě (až 10^3), který nahradil dříve používanou slídu. Kondenzátory sice nemají příliš velkou kapacitu, ale na jejich elektrodách může být i poměrně vysoké elektrické napětí (řádově 10^3 V). Používají se ve vysokofrekvenčních elektrických obvodech.



R1-18 Kondenzátory s keramickým dielektrikem

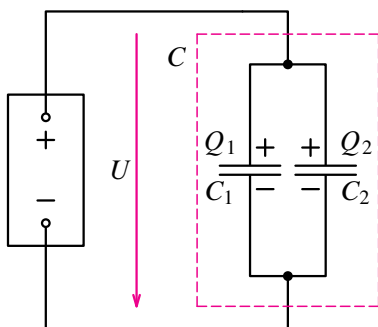
Nové možnosti praktického využití kondenzátorů poskytují tzv. *superkapacitory*, což jsou speciální elektrolytické kondenzátory s mnohonásobně větší kapacitou (až 3 000 F), než je obvyklé u běžného elektrolytického kondenzátoru. Velká kapacita se dosahuje použitím elektrod s pórovitým povrchem, takže jejich plocha je obrovská. Mimořádně malá je také tloušťka dielektrika mezi elektrodami (řádově 10^{-10} m). Velká kapacita umožňuje akumulovat v superkapacitoru značnou elektrickou energii, přičemž se kondenzátor velmi rychle nabíjí. Z nabitého superkapacitoru lze pak po určitou dobu odebírat velký proud. Tím jsou superkapacitory předurčeny např. pro využití v dopravní technice k tzv. *rekuperaci* energie. Motory elektrických vozidel (tramvaje, elektrické lokomotivy, automobily na hybridní pohon) při brzdění produkují elektrickou energii, která je rychle uložena do superkapacitoru a využije se zpětně při velkém odběru proudu v okamžiku akcelerace vozidla. Existují ale i další možnosti využití superkapacitorů, např. jako záložních zdrojů počítačů.

Spojování kondenzátorů

V technické praxi často potřebujeme zvětšit kapacitu v elektrických obvodech s kondenzátory o malé kapacitě. Proto je třeba kondenzátory vhodným způsobem spojit. Používají se dva základní způsoby spojování kondenzátorů – paralelní a sériové.

Paralelní spojení dvou kondenzátorů je na obr. R1-19. Vodiči jsou propojeny vždy dvojice desek kondenzátorů, čímž se zvětší celková plocha nabitých desek, a tedy i kapacita paralelně spojených kondenzátorů. Na vodivě spojených deskách je celkový náboj

$$Q = Q_1 + Q_2 = UC_1 + UC_2 = U(C_1 + C_2) = UC.$$



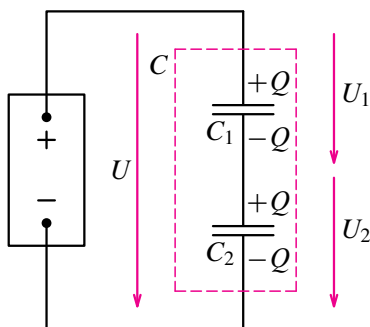
R1-19 Paralelní spojení kondenzátorů

Kapacita paralelně spojených kondenzátorů se zvětší a je

$$C = C_1 + C_2.$$

Sériové spojení kondenzátorů je na obr. R1-20. Jestliže se desky kondenzátorů spojených se zdrojem napětí nabijí náboji $+Q$ a $-Q$, pak se na sousedících deskách elektrostatickou indukcí vytvoří stejně velké opačné náboje. Kondenzátory tedy mají stejné náboje, ale napětí na deskách závisí na kapacitách kondenzátorů. Na dvojici sériově spojených kondenzátorů je napětí

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



R1-20 Sériové spojení kondenzátorů

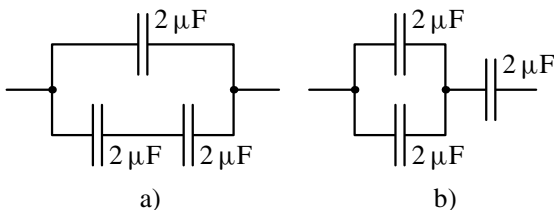
Kapacita sériově spojených kondenzátorů se zmenší, ale lze je nabít na větší napětí. Platí

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{neboli} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Úlohy

- 1** Jak velký náboj je na osamoceně kouli o poloměru 5,0 cm, je-li její potenciál 10 kV? Jaká je její kapacita?
- 2** Trojice kondenzátorů o kapacitě $2 \mu\text{F}$ je spojena podle obr. R1-21a a R1-21b. Určete celkovou kapacitu obou spojení kondenzátorů.

- 3 Jakou celkovou kapacitu C má n stejných kondenzátorů o kapacitě C_1 zapojených a) paralelně, b) sériově?
- 4 Ke kondenzátoru o kapacitě $1,0 \mu\text{F}$ nabitému na napětí 50 V a odpojenému od zdroje připojíme paralelně jiný kondenzátor o kapacitě $4,0 \mu\text{F}$ bez náboje. Jak se změní napětí prvního kondenzátoru? Jak se změní celková elektrická energie soustavy?
- 5 Najděte na internetu informace o typech a konstrukci kondenzátorů používaných v technické praxi a zjistěte, k jakým účelům se používají.



R1-21 K úloze 2