



27. Měření dielektrických vlastností materiálů

Petr Gabriel, KVOF MFF UK

Pracovní úkoly:

- 1) Změřte metodou přímou závislost kapacity deskového kondenzátoru na přiloženém napětí pro jednu vzdálenost desek kondenzátoru. K měření použijte generátor funkcí a osciloskop.
- 2) Při zapojení jako v bodě 1 změřte závislost proudu tekoucího deskovým kondenzátorem na frekvenci přiloženého napětí v rozsahu frekvencí od 50 kHz do 500 kHz.
- 3) Pomocí LCR metru změřte závislost kapacity deskového kondenzátoru na vzdálenosti desek. Z naměřených hodnot určete permitivitu vakua.
- 4) Porovnejte hodnoty kapacity naměřené v bodech 1 a 3. Diskutujte rozdíly.
- 5) Pomocí LCR metru a deskového kondenzátoru změřte relativní permitivitu přiložených vzorků a srovnajte s tabulkovými hodnotami.

Pokyny k měření:

- Ad 1: Nastavení generátoru funkcí: frekvence 100 kHz; průběh sinusový; vzdálenost desek kondenzátoru $d=2$ mm.
- Ad 2: Nastavení generátoru funkcí: průběh sinusový; maximální napětí na výstupu; vzdálenost desek kondenzátoru $d=2$ mm.
- Ad 5: seznam vzorků:
 - vzorek 1 - Sklo
 - vzorek 2 - Plexisklo
 - vzorek 3 - Polyetylen
 - vzorek 4 - Polypropylen
 - vzorek 5 - PVC



27. Měření dielektrických vlastností materiálů

Deskový kondenzátor

Elektrostatické procesy ve vakuu (a s dobrým stupněm aproximace i ve vzduchu) je možné popsat Maxwellovými rovnicemi v integrální formě [1]

$$\iint \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

$$\oint \vec{E} d\vec{S} = 0, \quad (2)$$

kde E je intenzita elektrického pole, Q náboj uzavřený povrchem A , ϵ_0 je permitivita vakua, S je uzavřená dráha. Pokud se vloží napětí na desky kondenzátoru, mezi deskami se vytvoří elektrické pole, které je definováno vztahem (viz obr. 1)

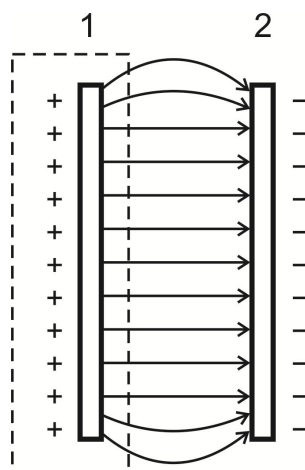
$$U_c = \int_1^2 \vec{E} d\vec{r}, \quad (3)$$

kde integrace probíhá po dráze mezi deskami kondenzátoru 1 a 2. Vlivem elektrického pole jsou elektrostatické náboje opačného znaménka přitahovány k povrchu kondenzátoru. Zdroje napětí nevytvářejí náboje, ale mohou je oddělovat, proto jsou absolutní hodnoty opačného elektrostatického indukčního náboje na deskách kondenzátoru stejné. Předpokládejme, že směr vektoru intenzity elektrického pole je díky symetrii vždy kolmý na plochu kondenzátoru (lze experimentálně ověřit pro malé vzdálenosti d mezi deskami kondenzátoru). Objem vyznačený na obr. 1 čárkovanou čarou, který obklopuje pouze jednu kondenzátorovou desku, bude považován za objem integrace. Pole uvnitř kondenzátoru je homogenní, posunutí povrchu vyznačeného objemu uvnitř kondenzátoru nezpůsobí změny toku elektrického pole. Elektrické pole mimo kondenzátor je nulové, protože pro libovolné objemy, které uzavírají obě kondenzátorové desky, je celý uzavřený náboj nulový. Náboj kondenzátoru je proto úměrný napětí; konstanta úměrnosti se nazývá kapacita kondenzátoru C

$$Q = CU_c = \epsilon_0 \frac{A}{d} U_c. \quad (4)$$

Rovnice (4) dále ukazuje, že kapacita kondenzátoru je přímo úměrná velikosti plochy kondenzátoru A a nepřímo úměrná vzdálenosti mezi deskami kondenzátoru d . Pro konstantní napětí na kondenzátoru je inverzní vzdálenost mezi deskami a tím i kapacita úměrná množství náboje kondenzátoru. Pokud budou známy hodnoty velikosti plochy A a vzdálenosti d desek kondenzátoru a budou současně naměřeny hodnoty napětí U a náboj kondenzátoru Q nebo přímo kapacita kondenzátoru C , umožňují tato data vypočítat podle rovnice (5) permitivitu vakua ϵ_0

$$\epsilon_0 = \frac{d}{A} \frac{Q}{U_c} = \frac{d}{A} C. \quad (5)$$

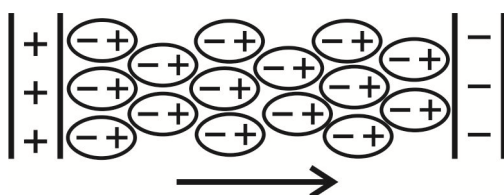


Obr. 1: Elektrické pole deskového kondenzátoru s malou vzdáleností desek ve srovnání s jejich velikostí. Přerušovaná čára vymezuje objem integrace.

Rovnice (4) a (5) jsou platné pouze přibližně, vzhledem k předpokladu, že vektory pole elektrické intenzity jsou mezi deskami kondenzátoru rovnoběžné. Při příliš velké vzdálenosti desek kondenzátoru přiblížení homogenního pole již nefunguje a to dává při výpočtu systematicky vyšší hodnoty permitivity vakua. Z tohoto důvodu by měla být hodnota permitivity vakua určena pro malé hodnoty vzdálenosti mezi deskami kondenzátoru ve srovnání s průměrem desek.

Dielektrikum

Situace je odlišná, pokud se mezi desky vloží izolační materiál (dielektrikum). Dielektrika jsou látky, které nemají na rozdíl od kovů žádné volně pohyblivé nosiče náboje, ale mají schopnost být při vložení do elektrického pole polarizovány. Při polarizaci se působením elektrické síly stanou z atomů nebo molekul dielektrika elektrické dipóly, dojde k nesymetrickému rozložení částic s elektrickým nábojem (viz obr. 2).



Obr. 2: Polarizace molekul v dielektriku v elektrickém poli deskového kondenzátoru.

Dříve nepolární atomy nebo molekuly se tak v elektrickém poli chovají jako lokálně stacionární dipóly. Tento druh polarizace se nazývá atomová polarizace. Některé látky obsahují dipóly i bez působení vnějšího elektrického pole, jejich směr je však chaotický. Působením vnějšího elektrického pole dojde k uspořádání dipólů v jednom směru a vzniká tzv. orientační polarizace. Všechny elektrické dipóly mají polaritu opačnou ke směru vnějšího elektrického pole, a tím snižují jeho velikost. Oslabení elektrického pole v dielektriku je vyjádřeno bezrozměrným materiálově specifickým koeficientem relativní permitivitou ϵ_r ($\epsilon_r = 1$ ve vakuu)

$$\varepsilon_r = \frac{E_0}{E}, \quad (6)$$

kde E_0 je elektrické pole generované nábojem Q na deskách kondenzátoru v případě, že mezi deskami kondenzátoru je vakuum (a v dobrém přiblížení i vzduch) a E je skutečné pole oslabené dipóly v dielektriku. Po vložení dielektrika mezi desky kondenzátoru dojde při zachování náboje Q ke snížení napětí na deskách kondenzátoru U_c podle rovnice (3) ve srovnání s napětím ve vakuu U_{vac} (v dobrém přiblížení i ve vzduchu) v poměru daném relativní permitivitou

$$U_c = \frac{U_{vac}}{\varepsilon_r}. \quad (7)$$

Obdobně se získá z definice kapacity (4)

$$C = \varepsilon_r \cdot C_{vac}, \quad (8)$$

kde C_{vac} je kapacita kondenzátoru bez dielektrika. Obecná forma rovnice (4) je tedy

$$Q = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \frac{A}{d} U_c. \quad (9)$$

Změříme-li kapacitu deskového kondenzátoru s dielektrikem vloženým mezi desky kondenzátoru a kapacitu bez dielektrika při zachování vzdálenosti desek kondenzátoru, můžeme z jejich poměru (podle rovnice (8)) určit relativní permitivitu vloženého dielektrika.

Měření kapacity kondenzátoru metodou přímou

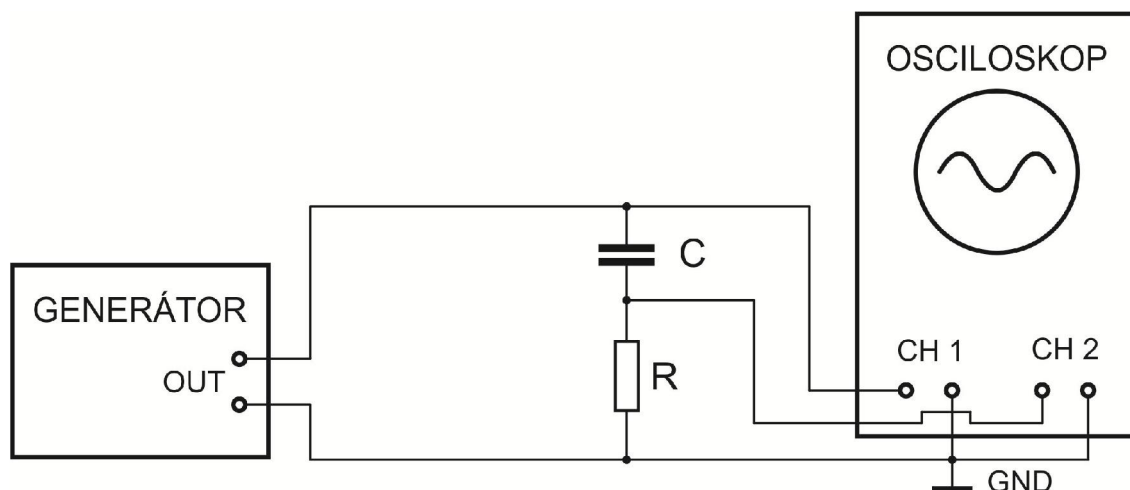
Pokud na desky deskového kondenzátoru přivedeme střídavé harmonické napětí ve tvaru

$$U = U_0 \cdot \cos(\omega t), \quad (10)$$

kde ω je kruhová frekvence ($\omega = 2\pi f$, f je frekvence) a t je čas, bude proud tekoucí kondenzátorem I dán výhradně posuvným proudem, který vzniká střídavým vybíjením a nabíjením kondenzátoru [2]. Velikost proudu lze určit z rovnice odvozené z rovnice (4)

$$\frac{dQ}{dt} = I = C \frac{dU_c}{dt} = C \cdot U_0 \omega \cdot \sin(\omega t). \quad (11)$$

Vodivostní proud tekoucí deskovým kondenzátorem je nulový. Velikost posuvného proudu je úměrná náboji na kondenzátoru. Čím vyšší je použitá frekvence harmonického napětí, tím větší bude posuvný proud. Při současném měření proudu a napětí na kondenzátoru při známé frekvenci harmonického napětí, lze určit jeho kapacitu podle rovnice (11).



Obr. 3: Schéma zapojení pro měření závislosti kapacity deskového kondenzátoru na napětí.

Na obr. 3 je zobrazeno schéma zapojení pro měření závislosti kapacity deskového kondenzátoru na napětí. Jako zdroj harmonického napětí je použit generátor funkcí. K detekci napětí a proudu na kondenzátoru použijeme osciloskop. Na kanálu 1 osciloskopu měříme napětí na kondenzátoru. Na kanálu 2 měříme proud v obvodu. Osciloskop je napěťový detektor, proto je proud měřen jako úbytek napětí na odporu $R=100\ \Omega$.

Literatura:

[1] Sedlák B, Bakule R.: Elektřina a magnetismus, SPN, Praha 1973 II. vyd. 1980, III. vyd. 1986

[2] Brož J. a kol. Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983 čl. 4.4.6.2