

Měření relativní permitivity materiálu plastové láhve

Projekt na volitelnou fyziku

2011/2012
Gymnázium Trutnov
Jaroslav Kácovský



Měření relativní permitivity materiálu plastové láhve

Úvod

Máme tu další školní rok a s ním i další kolo projektů na volitelnou fyziku. I letos jsem zůstal věrný elektřině a jako základ pro svého bádání jsem si vybral zadání praktické úlohy domácího kola 43. ročníku fyzikální olympiády kategorie B, tedy měření relativní permitivity materiálu plastové láhve.

Než se však dostanu k samotnému vypracování projektu, provedu malý teoretický úvod.

Kondenzátor:

Kondenzátor je prvek elektrického obvodu charakterizovaný svojí kapacitou. Je tvořen dvěma elektrickými vodiči oddělenými slabou vrstvou dielektrika (např. vzduchem, papírem nebo keramickým materiálem). Kapacita kondenzátoru je přímo úměrná ploše překrývajících se elektrod a nepřímo úměrná vzdálenosti elektrod. Závisí i na materiálu dielektrika.

Kondenzátory můžeme rozdělit podle tvaru na deskové, svitkové, válcové nebo kulové. Lze je rozlišovat i podle použitého dielektrika na elektrolytické, papírové, plastové, keramické, slídové nebo vzduchové.

Relativní permitivita:

Relativní permitivita ϵ_r byla definována Michaelem Faradayem jako poměr kapacity C kondenzátoru vyplněného dielektrikem a kapacity C_0 stejného kondenzátoru vakuového, tedy vzorcem:

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

Relativní permitivita závisí na druhu dielektrika, na fyzikálních podmínkách (např. teplotě a tlaku) a také na kmitočtu (pokud je kondenzátor zapojen do obvodu se střídavým napětím).

Dielektrikum	Relativní permitivita (ϵ_r)
Dřevo	2,04 - 7,3
Jantar	2,6 - 2,8
Kondenzátorový papír	2,5 - 2,55
Křemík	11,7
Led	4,8
Mramor	7 - 8
Plexisklo	3,4
Polystyren	1,03
Porcelán	5,5 - 6,5
Sklo	3,8 - 19
Slída	6,9 - 11,5
Teflon	2,1
Vakuum	1
Voda (20°C)	81
Vzduch	1,000 59

Relativní permitivita měřená při frekvenci 100 Hz, u polovodičů pak 10^7 - 10^{10} Hz.



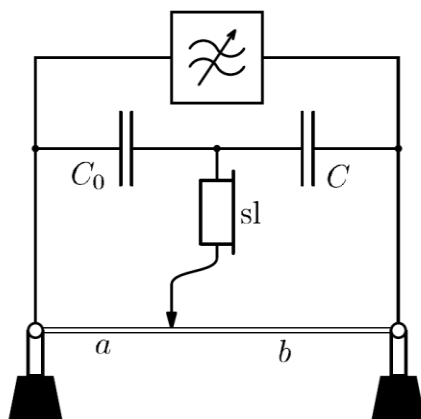
Dielektrika mají relativní permitivitu vždy větší než 1. Hodnota relativní permitivity je u většiny dielektrik v rozmezí 1 - 10. Feroelektrické látky mají relativní permitivitu v intervalu 100 - 1000.

Zhotovení válcového kondenzátoru s plastovým dielektrikem

První věc, kterou jsem musel udělat, bylo vyrobit samotný kondenzátor. Jako základ kondenzátoru a zároveň i dielektrikum posloužila litrová PET láhev od Kofoly, kterou jsem naplnil mírně osolenou vodou. Její hladkou válcovou část jsem obalil pruhem alobalu, a následně, aby všude těsně doléhal na lahev, ho připevnil lepicí páskou a omotal nití. Jako jedna elektroda posloužil dlouhý hřebík, který jsem ponořil do slané vody uvnitř láhve, a jako druhá pruh alobalu.

Změření kapacity kondenzátoru můstkovou metodou

Jakmile byl kondenzátor hotov, bylo potřeba ještě zjistit jeho kapacitu. Způsobů, jak toho dosáhnout bylo hned několik, já si samozřejmě musel vybrat ten nejtěžší, a to porovnáním se známou kapacitou jiného kondenzátoru.



Měření jsem prováděl podle zapojení na předchozím obrázku. Ve funkci odporového drátu jsem použil konopný provázek navlhčený slanou vodou, který jsem napnul mezi dva izolační stojánky. Vodivost takového provázku právě vyhovovala potřebám mého měření, někomu může připomínat éru 17. až 19. století, ve které se některé základní elektrické zákony objevovaly pomocí jednoduchých měřících prostředků. Frekvenci generátoru jsem zvolil v oblasti největší citlivosti sluchátka, tedy přibližně 650 Hz. Kapacitu C mého válcového kondenzátoru jsem porovnal se známou kapacitou C_0 jiného kondenzátoru tím, že jsem posouval pohyblivý kontakt (banánek) po provázku až signál ve sluchátku úplně vymizel a můstek zůstal vyvážený. Následně jsem změřil délky a a b obou úseků provázku. Platí:

$$\frac{X_{C_0}}{X_C} = \frac{C}{C_0} = \frac{a}{b}$$

$$C = C_0 \cdot \frac{a}{b}$$

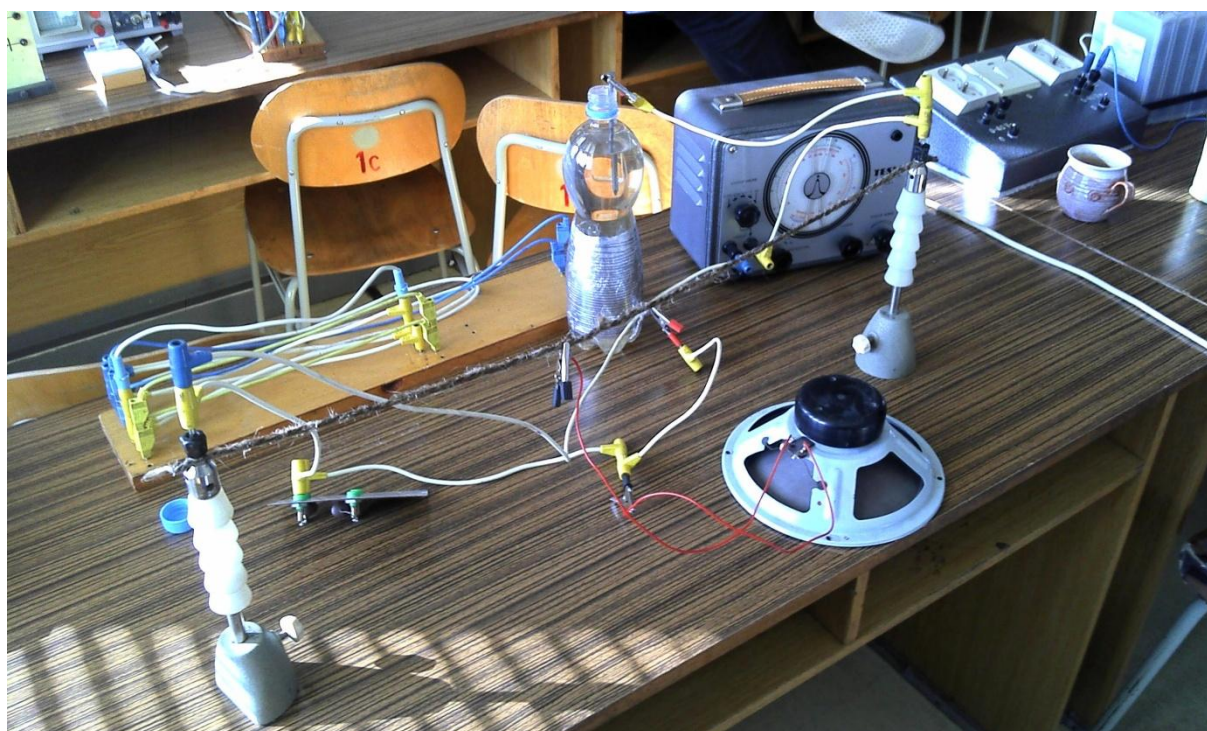
Měření jsem provedl celkem pouze pětkrát, jelikož jsem nenalezl více vhodných kondenzátorů (kondenzátorů s odpovídající kapacitou).

C_0 [nF]	a [cm]	b [cm]	C [nF]
9,88	13,1	28,5	4,54
6,04	22,8	18,8	7,33
4,62	27,5	14,1	9,01
17,29	11,4	29,2	6,75
9,2	19,3	22,3	7,98

$$C = (\bar{C} \pm \Delta C) \text{ nF}$$

$$C = (7,12 \pm 1,49) \text{ nF}$$

Podle měřicího přístroje však byla kapacita mnou vyrobeného kondenzátoru jen 5,23 nF.



Určení relativní permitivity plastu láhve

Nakonec jsem se dostal k určení samotné relativní permitivity. Nejdříve jsem láhev rozřezal a pokusil se určit její průměrný obvod, což z důvodu zakulacení láhve nebylo vůbec jednoduché, poté přišlo na řadu o něco jednodušší změření výšky pásu alobalu a nakonec určení průměrné tloušťky plastu šuplérrou.

Je-li obvod láhve s , výška pásu obalu v , tloušťka stěny láhve d a relativní permitivita ϵ_r , platí:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot s \cdot v}{d}$$

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot s \cdot v}$$

C [nF]	s [cm]	v [cm]	d [mm]	ϵ_0 [F.m ⁻¹]	ϵ_r
4,54	23,6	12,0	0,2	$8,854 \cdot 10^{-12}$	3,62
7,32	23,6	12,0	0,2	$8,854 \cdot 10^{-12}$	5,84
9,01	23,6	12,0	0,2	$8,854 \cdot 10^{-12}$	7,19
6,75	23,6	12,0	0,2	$8,854 \cdot 10^{-12}$	5,38
7,98	23,6	12,0	0,2	$8,854 \cdot 10^{-12}$	6,37

$$\epsilon_r = (\bar{\epsilon}_r \pm \Delta\epsilon_r)$$

$$\epsilon_r = (5,68 \pm 1,19)$$

Pokud použiji k výpočtu kapacitu získanou měřicím přístrojem, tedy 5,23 nF, dostanu relativní permitivitu materiálu plastové láhve 4,17.

Závěr

Ačkoli jsem se po celou dobu práce na projektu potýkal s určitými problémy, podařilo se mi ho letos dotáhnout až do konce. Z výsledků je patrné, jak je tento způsob zjišťování relativní permitivity nepřesný. Což je způsobeno především velkým množstvím dílčích měření, jejichž chyby se musí logicky promítnout do celkového výsledku.