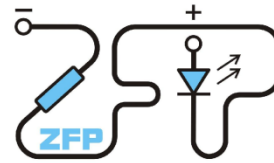


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum **PII**



Úloha č. 27

Název úlohy: **Měření dielektrických vlastností materiálů**

Jméno: **Josef Iosephus Kučera**

Obor: **FOF**

Datum měření: **16. 10. 2019**

Datum odevzdání: **22. 10. 2019**

Připomínky opravujícího:

Pokud máte za úkol měřit závislosti a ověřujete jimi nějaký známý teoretický průběh, musíte zobrazit grafy !!!!! Bez grafů můžete těžko diskutovat, zda naměřený průběh odpovídá teor. předpokladům.

V tomto případě určité grafy pro měření bod 1- $C = fce(U)$, bod 2 - $C = fce(f)$, bod 3 - $C = fce(d)$

Chybí chyby

Chybí diskuse

Ostatní v textu

Naměřené hodnoty OK ale nedopracováno, doporučuji dopracovat

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	
Teoretická část	0 - 2	1
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	5
Diskuse výsledků	0 - 4	1
Závěr	0 - 1	0,5
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	8,5 = 9

Posuzoval: **Petr Gabriel**

dne: **26.10.2019**

Pracovní úkol

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 50kHz do 500kHz.
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.

Theorie

Kapacita C kondensátoru využívajícího elektrické dielektrikum je dána následujícím vztahem (1) [1-2]:

$$C = \varepsilon_r \cdot C_{vac} \quad (1)$$

kde C_{vac} je maximální kapacita kondensátoru pro vakuum a ε_r jest relativní permitivita prostředí reálného dielektrika, která se počítá dle vztahu (2) [1-2]:

$$\varepsilon_r = \frac{E_0}{E} \quad (2)$$

kde E_0 je intenzita elektrického pole ve vakuu a E_0 a E jest intenzita elektrického pole v reálném kondensátorovém dielektriku.

Rovnice (3) pak vyjadřuje vztah pro výpočet náboje uloženého v kondensátoru [1-2]:

$$Q = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \frac{A}{d} U_C \quad (3)$$

kde ε_0 jest permitivita vakua, A jest velikost plochy desek kondensátoru, d jejich vzdálenost a U_C napětí, které jest na kondensátor přivedeno.

Z rovnice (4) můžeme vypočítat kapacitu kondensátoru, známe-li amplitudu střídavého napětí U_0 , na které jest připojen a posuvný proud I na kondensátoru vznikající:

$$\frac{dQ}{dt} = I = C \frac{dU_C}{dt} = C \cdot U_0 \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (4)$$

Trochu nelogické, hodilo by se začít rovnicí
 $Q = CU$

kde U_C jest napětí na kondensátoru a ω chápeme úhlovou frekvenci střídavého napětí $f \cdot 2\pi$

Pak můžeme spočítat kapacitu kondensátoru dle vzorečku (5)

$$C = \frac{I}{U_0 \cdot \omega} \quad (5)$$

A jelikož osciloskop nedokáže měřit proud na kondensátoru přímo, pro výpočet budeme muset použít Ohmův zákon v základní podobě (6):

$$I = \frac{U_R}{R} \quad (6)$$

kde R jest odpor resistoru v obvodu a U_R jest napětí na resistoru, anžto jest osciloskopem zachyceno

- Chybí rovnice, z které určíme vztah mezi permitivitou vakua a C kondenzátoru
- chybí schéma zapojení

Výsledky měření

■ Měření kapacity kondensátoru přímou methodou

Obvod obsahující resistor a kondensátor na osciloskop připojen byl. Některé podmínky byly podrženy konstantní po dobu eskamotérství našeho, byly jimi fraequence střídavého napětí f_1 , odpor obvodového resistoru R , vzdálenost desek kondensátoru d :

$$f_1 = (101 \pm 1) \text{ kHz}$$

$$R = (100 \pm 5) \Omega$$

$$d = (2 \pm 0,1) \text{ mm} \quad \text{Špatně desetinné místo } 2,0+0,1$$

Měnili jsme amplitudu napětí U střídavého proudu a snažili jsme se tak vypočítati kapacitu kondensátoru. V tabulce 1 uvedeny jsou důležité hodnoty, jež naměřeny byly:

Tabulka 1: Závislost kapacity kondensátoru na jeho napětí

MĚŘENÍ	u [mV]	e_u [mV]	I [mA]	e_I [mA]	U [V]	e_U [V]	C [pF]
1.	388	±5	3,88	±0,20	23,20	±0,1	262,11
2.	332	±5	3,32	±0,17	20,20	±0,1	257,59
3.	256	±5	2,56	±0,14	15,60	±0,1	257,19
4.	180	±5	1,80	±0,10	11,00	±0,1	256,46
5.	148	±5	1,48	±0,09	8,40	±0,1	276,14
6.	112	±5	1,12	±0,08	6,40	±0,1	274,27
7.	88	±5	0,88	±0,07	4,40	±0,1	313,45
8.	74,4	±5	0,74	±0,06	4,00	±0,1	291,51

Chybí chyby kapacity

Sloupec u označuje napětí na resistoru s odhadnutou chybou e_u , kteréžto muselo být přepočteno dle rovnice (6) na proud posuvný kondensátorový I s chybou nepřímého měření e_I , která jest

podrobněji rozebírána v kapitole Diskuse. U značí napětí přímo na kondensátoru s odhadnutou chybou e_U . Poslední sloupec pak obsahuje vypočtenou kapacitu C ze vztahu (5).

■ Závislost posuvného proudu v kondenzátoru na frekvenci střídavého napětí

Při provádění alotrií druhých drželi jsme opět některé veličiny konstantní, any byly jest napětí na kondensátoru U , odpor obvodového resistoru R a vzdálenost desek kondensátoru d :

$$U = (17,5 \pm 1) V$$

$$R = (100 \pm 5) \Omega$$

$$d = (2, \pm 0,1) mm$$

Nyní jsme měnili frekvenci střídavého napětí a měřili jsme, jak se daná změna projeví na velikosti posuvného proudu v kondensátoru. Data jsou zapsaná v tabulce 2:

Tabulka 2: Závislost posuvného proudu v kondenzátoru na frekvenci střídavého napětí

MĚŘENÍ	$f[kHz]$	$e_f[kHz]$	$u[mV]$	$e_u[mV]$	$I[mA]$	$e_I[mA]$
1.	78,37	± 1	240	± 5	2,40	$\pm 0,13$
2.	102,17	± 1	320	± 5	3,20	$\pm 0,17$
3.	198,63	± 1	592	± 5	5,92	$\pm 0,30$
4.	256,08	± 1	768	± 5	7,68	$\pm 0,39$
5.	284,72	± 1	840	± 5	8,40	$\pm 0,42$
6.	302,58	± 1	904	± 5	9,04	$\pm 0,45$
7.	356,90	± 50	1040	± 10	10,40	$\pm 0,53$
8.	401,00	± 50	1140	± 10	11,40	$\pm 0,58$
9.	462,00	± 50	1300	± 10	13,00	$\pm 0,66$
10.	498,90	± 50	1400	± 10	14,00	$\pm 0,71$

Sloupec f označuje frekvenci střídavého napětí a e_f chybu jeho odečtu, u pak označuje opět pomocnou hodnotu napětí na resistoru s odhadnutou chybou e_u , z níž jsme pomocí rovnice (6) vypočítali opět posuvný elektrický proud na kondensátoru I s chybou nepřímého měření e_I .

■ Závislost kapacity kondenzátoru na vzdálenosti jeho desek

Při třetím čísle jsme podrželi konstantní hodnotu frekvence střídavého napětí f_2 :

$$f_2 = (1000 \pm 10) Hz$$

Měřili jsme závislost kapacity C kondensátoru při různé vzdálenosti d jeho desek, výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3:

Tabulka 3: Závislost kapacity kondensatoru na vzdálenosti jeho desek

MĚŘENÍ	d [mm]	e_d [mm]	C [pF]	e_C [pF]	$D(^{\circ}) \cdot 10^{-4}$
1.	1	$\pm 0,1$	495	± 1	4
2.	1,5	$\pm 0,1$	340	± 1	5
3.	2	$\pm 0,1$	262	± 1	8
4.	2,5	$\pm 0,1$	208	± 1	10
5.	3	$\pm 0,1$	176	± 1	11
6.	3,5	$\pm 0,1$	156	± 1	13
7.	4	$\pm 0,1$	136	± 1	15
8.	4,5	$\pm 0,1$	122	± 1	16
9.	5	$\pm 0,1$	111	± 1	17
10.	5,5	$\pm 0,1$	102	± 1	20

Sloupec d označuje vzdálenost kondensatorových desek s chybou měřicího přístroje e_d , C kapacitu kondensatoru se zaokrouhlovací chybou e_C a hodnotou fázového posuvu D funkce střídavého napětí vůči funkci střídavého proudu, kterážto v ideálním případě na kondensatoru měla by být v RCL obvodu nulová, leč nám stačí, že jest dostatečně malá, abychom ji mohli zanedbat.

Chybí určení permitivity vakua !!!

■ Porovnání

Zjistili jsme, že vzdálenost desek kondensatoru d je nepřímo úměrná kapacitě kondensatoru C .

Naopak u frekvence jsme žádný zajímavý vztah nezjistili. Jak jste zjistili ??? bez grafu a proložení ???

■ Měření relativní permitivity vzorků

RCL metrem jsme při posledním úkolu provedli změření kapacity kondensatoru s přiloženými vzorky, výsledky jsou sepsány v tabulce 4:

Tabulka 4: Relativní permitivity vzorků

Zase chybí chyby

Materiál	C [pF]	C_{vac} [pF]	ϵ_r	ϵ_t
sklo	495,05	99,50	4,98	4,70
plexisklo	340,44	125,60	2,71	2,50
PE	262,51	76,12	3,45	2,25
PP	208,45	68,65	3,04	2,30
PVC	176,53	73,40	2,41	3,00

Nejprve jsme změřili kapacitu kondensatoru s dielektrikem C a poté jsme stejné měření pro stejnou vzdálenost desek kondensatoru d provedli bez dielektrika, abychom změřili kapacitu kondensatoru s vakuem mezi deskami C_{vac} , jež jest svou permitivitou blízké relativní permitivitě vzduchu [1-2]. Dle vzorce (1) jsme pak vypočítali hodnotu relativní permitivity vzorků ϵ_r , kteroužto jsme porovnali mohli s tabelovanými hodnotami ϵ_t [3]

Diskuse Diskuse nulová, není diskutováno, zda naměřené průběhy odpovídají teor. předpokladům. Ono to bez grafu a proložení ani nejde.

■ Podmínky okolí a přístrojové vady

Experimenty s dielektriky byly prováděny v následujících podmínkách okolí (teplota t a relativní vlhkost vzduchu RH):

$$t = 24,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$RH = 45,7 \%$$

Velice vysoká vlhkost vzduchu mohla ovlivnit negativně experiment zvýšenou vodivostí vzduchu, kterýž tak lépe vedl elektrický proud a kondensátor tak mohl vzdušnou disipací ztrácti elektrický náboj.

Těž ani měřicí přístroje nebyly ideální. To se projevilo zvláště ve druhém pracovním úkolu, kdy jsme měnili frekvenci střídavého napětí a pozorovali jsme změny posuvného proudu. Nejenže frekvence dodávaná osciloskopem nebyla konstantní, dokonce se s časem velmi zásadně snižovala při volbě maximálního rozsahu (úbytek $\sim 1\text{kHz} \cdot \text{min}^{-1}$).

■ Nejistoty a chyby

Pro odhad rozmezí chyby odporu resistoru jsme použili rozpětí 1/10 kapacity ($\pm 5\Omega$), kteréžto se obecně považuje pro rezistory za maximální přijatelnou hranici výrobní chyby resistoru.

Chyby e_U a e_u vznikly nepřesností odečtu graphických dat z osciloskopu.

Chybu e_I jsme v úkolu 1 a 2 vypočítali pomocí dosazení proměnných ze vztahu (6) do vzorce pro výpočet chyby nepřímého měření (7),

$$e_I^2 = \left(\frac{\delta I}{\delta U_R}\right)^2 (\Delta U_R)^2 + \left(\frac{\delta I}{\delta R}\right)^2 (\Delta R)^2 \quad (7)$$

který po zderivování vede k rovnici (8)

$$e_I^2 = \left(\frac{I}{U_R}\right)^2 (\Delta U_R)^2 + \left(-\frac{I}{R}\right)^2 (\Delta R)^2 \quad (8)$$

Hodnotu e_I pak získáme odmocněním výsledku rovnice (8).

Další malé zaokrouhlovací nepřesnosti se dopustíme při ztotožňování ϵ_r vzduchu s ϵ vakua, ta ale téměř nestojí za řeč, neboť pokud by platil opak, pracovní úkol 5 by postrádal fyzikální smysl.

Závěr

V závěru souhrn všech provedených měření a výsledků, zde není.

Zjistili jsme, že vzdálenost desek kondensátoru d je nepřímo úměrná kapacitě kondensátoru C .

Podařilo se nám změřit ϵ_r následujících materiálů SKLO = $(2,71 \pm 1)$; PLEXISKLO = $(2,71 \pm 1)$; PE = $(3,45 \pm 1)$; PP = $(3,04 \pm 1)$; PVC = $(2,41 \pm 1)$.

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 č l. 4.4.6.2
- [3] Hector, L. G.; Schultz, H. L. (1936). "The Dielectric Constant of Air at Radiofrequencies". *Physics*. 7 (4): 133–136. Bibcode:1936Physi...7..133H. doi:10.1063/1.1745374.