

MEASUREMENT UNCERTAINTY IN DIAGNOSTICS OF INSULATING MATERIALS

Zuzana Kamenická

Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xkamen11@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Frk

E-mail: frkmar@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The article considers measurement capacity and dissipation factor of liquid dielectrics in frequency range 20 Hz to 30 MHz. Also measurement uncertainties were set for different instruments settings.

1. ÚVOD

Příspěvek se zabývá měřením kapacity a ztrátového činitele kondenzátoru s dielektrikem ve frekvenční oblasti od 20 Hz do 30 MHz; z daných hodnot je vypočítána relativní permitivita a určeny nejistoty typu A, B. Měření probíhá na třech LCR metrech firmy Agilent současně a zkoumaným materiálem je oligobutadien Krasol LBH 2000 firmy Synthos, Kralupy nad Vltavou. Sledovanými parametry jsou frekvence, napětí, doba integrace, tloušťka vzorku a vyhodnocováno je nastavení jednotlivých přístrojů.

2. ROZBOR CHOVÁNÍ DIELEKTRIKA VE STRÍDAVÉM ELEKTRICKÉM POLI

2.1. TEORETICKÁ ČÁST

Komplexní permitivita vyjadřuje poměr elektrické indukce a intenzity elektrického pole a lze ji vyjádřit pro ztrátové dielektrikum definičním vztahem

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j \cdot \varepsilon'' , \quad (1)$$

kde reálná část odpovídá relativní permitivitě a imaginární složka ztrátovému číslu. Pro výpočet jednotlivých složek komplexní permitivity se v praxi využívá vztahů

$$\varepsilon' = \frac{C_x}{C_0} , \quad \varepsilon'' = \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon' . \quad (2)$$

Metoda dielektrické relaxační spektroskopie umožňuje zaznamenávat vybrané fyzikální veličiny v časové i frekvenční oblasti. V principu se jedná o sledování odezvy elektrických dipólů na přiložené vnější elektrické pole, tj. složek komplexní permitivity v závislosti na frekvenci. Pro popis frekvenčních závislostí komplexní permitivity lze uvést několik empirických funkcí – rozdělení Cole-Cole, Cole-Davidson a Havriliak-Negami.

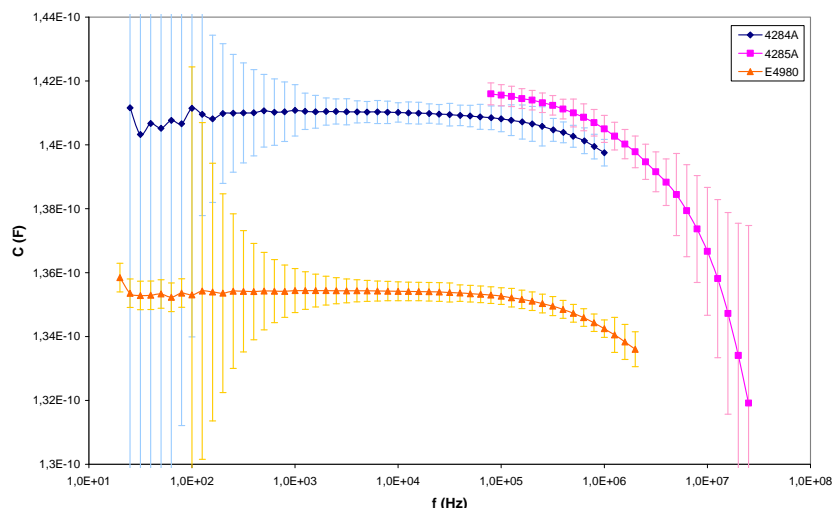
K vyhodnocení spolehlivosti výsledků slouží nejistoty, které charakterizují rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Vztahy pro výpočet standardních nejistot typu A a B jsou následující

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n-1)}}, \quad u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\Delta Z_{j \max}}{k} \right)^2}. \quad (3)$$

Nejistoty se týkají nejen výsledku, ale i měřicích přístrojů, hodnot použitých konstant a korekcí. Zde je standardní nejistota typu B stanovena výhradně z nepřesností jednotlivých přístrojů a elektrodového systému pro měření kapalin [1].

2.2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

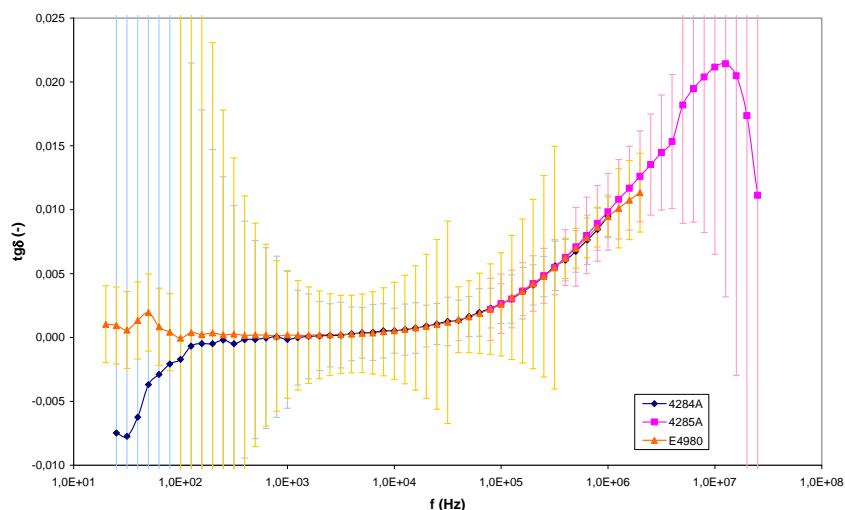
Měření probíhala ve frekvenční oblasti od 20 Hz do 30 MHz na LCR metrech (Agilent 4284A, 4285A, E4980) [3] a elektrodovém systému pro měření kapalin (Agilent 16452A) [4]. K dosažení dané přesnosti přístrojového vybavení bylo nutné všechna zařízení po zapnutí stabilizovat určitou dobu a provést kalibrace. Následně bylo započato s vlastním měřením kapacity a ztrátového činitele. Vzduchová kapacita byla proměřena jednou, ostatní dvě veličiny shodně desetkrát na každém přístroji s využitím celého frekvenčního rozsahu. Důvodem bylo statistické zpracování a využití středních hodnot pro další výpočty. Parametry měření se dělí do několika skupin. První skupinu tvoří korekce OPEN, SHORT a LOAD, z nichž byla použita pouze korekce SHORT. Tyto korekce mohou být použity ve dvou módech – v prvním případě se korekce vykoná na všech kmitočtech za pomoci interpolace a u druhé se specifikují frekvence, na které se aplikuje interpolační metoda; využita byla prvně jmenovaná metoda. Druhá skupina nastavení parametrů zahrnuje měřicí módy SHORT, LONG a nepoužitý MEDIUM. Přístroje využívají vnitřního A/D převodníku signálu z analogového na digitální. Integrační čas je obecně čas potřebný k A/D konverzi, delší doba tedy znamená přesnější hodnotu měřeného údaje. Poslední skupinou je interval měřicích napětí, který byl určen použitým přístrojem, jen LCR metr typ E4980 mohl využít kromě $V_s = 1 \text{ V}$, 2 V také napětí $V_s = 5 \text{ V}$.



Obrázek 1: Závislost kapacity na frekvenci pro přístroje Agilent a nastavení $V_s = 2 \text{ V}$ a integrační dobu SHORT

Postupy výpočtů byly aplikovány na kapalný materiál oligobutadien Krasol LBH 2000 měřený na všech uvedených LCR metrech. U elektrodového systému byl použit kroužek vymezující vzdálenost elektrod o tloušťce 0,19 mm k dosažení nízké měřené impedance a vysoké kapacity. Výsledné grafické závislosti $C = F(f)$ a $\text{tg}\delta = F(f)$ jsou určeny pro každý přístroj zvlášť vzhledem k rozdílným hodnotám přesností.

Grafy uvedené na obr. 1 a obr. 2 znázorňují závislost kapacity a ztrátového činitele na frekvenci pro všechny přístroje. Každá ze závislostí je doplněna chybovými vertikálními úsečkami určujícími výslednou přesnost měřených veličin.



Obrázek 2: Závislost ztrátového činitele na frekvenci pro přístroje Agilent a nastavení $V_s = 2 \text{ V}$ a integrační dobu SHORT

3. ZÁVĚR

Výsledky experimentu naznačují, že například v případě LCR metru 4285A je vliv jednotlivých parametrů nastavení patrný zejména v oblasti vysokých frekvencí, u 4284A je vliv naopak na nízkých frekvencích. V současné době se pracuje na rozšíření metody měření i na tuhé materiály. Zároveň se připravuje přechod od výpočtu nejistot přímých měření k nejistotám nepřímo měřených veličin a stanovení optimálního nastavení přístrojů.

LITERATURA

- [1] PALENČÁR, R., VDOLEČEK, F., HALAJ, M. *Nejistoty měření I: vyjadřování nejistot*. Automa, 7, 2001, č. 7-8, s. 50-54.
- [2] JIRÁK, J., AUTRATA, R., LIEDERMANN, K., ROZSÍVALOVÁ, Z., SEDLAŘÍKOVÁ, M. *Materiály a technická dokumentace, část Materiály v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, elektronické texty, 2002.
- [3] HP 4285A Precision LCR Meter: *Operation Manual*. Japan – Agilent Technologies Ltd, March 2000.
- [4] HP 16452A Liquid Test Fixture: *Operation Manual*. Japan – Agilent Technologies Ltd – Third Edition, January 2000.