

Stuparu Elena Natalia
422 D

Lucrarea nr. 1
Materiale dielectrice solide

Scopul lucrării este determinarea permitivității relative complexe și analiza dependenței de frecvență a acesteia pentru materiale dielectrice cu polarizare temporară folosite frecvent în industria electronică, fie ca material dielectric pentru condensatoare, fie ca suport de cablaj imprimat.

Notiuni teoretice

Dielectricii sunt materiale izolatoare care se caracterizează prin stări de polarizare cu funcții de utilizare. Prin starea de polarizare electrică se înțelege starea materiei caracterizată prin moment electric al unității de volum diferit de zero. Starea de polarizare poate fi temporară, dacă depinde de intensitatea locală a câmpului electric în care este situat materialul și dispare odată ce câmpul electric este înlăturat sau permanentă, caz în care polarizarea rămâne „înghețată” în material atunci când câmpul electric extern este înlăturat. Materialele dielectrice studiate în acest laborator sunt din prima categorie, deci prezintă polarizare temporară. Acest tip de polarizare poate fi:

de deplasare (electronică sau ionică) sau de orientare dipolară. Indiferent de mecanismul de polarizare, interacțiunea dintre un dielectric izotrop și câmpul electric este caracterizată, în domeniul liniar, de permitivitatea relativă complexă, definită:

$$\underline{\epsilon}_r = \frac{\underline{\Delta}}{\epsilon_0 \underline{E}} = \epsilon'_r - j\epsilon''_r \quad (1.1)$$

unde \underline{E} și $\underline{\Delta}$ sunt, respectiv, intensitatea câmpului electric și inducția electrică, iar ϵ_0 este permitivitatea vidului, având valoarea $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \text{ F/m}$.

Dacă un material dielectric cu permitivitatea relativă complexă ϵ_r se introduce între armăturile unui condensator care are în vid capacitatea C_0 , în aproximația că liniile de câmp se închid în întregime prin material (adică efectele de margine sunt neglijabile), admitanța la bornele condensatorului astfel format are expresia:

$$\underline{Y} = j\omega \underline{\epsilon}_r C_0 = j\omega (\epsilon'_r - j\epsilon''_r) C_0 = \omega \epsilon''_r C_0 + j\omega \epsilon'_r C_0 \quad (1.2)$$

Partea imaginară ϵ''_r a permitivității complexe relative caracterizează dielectricul d.p.d.v. al pierderilor de energie în materialul dielectric, aceste pierderi fiind înglobate în rezistența echivalentă:

$$R_e = \frac{1}{\omega \epsilon''_r C_0} \quad \begin{matrix} \text{(rezistență} \\ \text{de pierderi)} \end{matrix} \quad (1.3)$$

În diagrame fazoriale, τ este unghiul de fază dintre faza tensiunii \underline{U} și faza curentului \underline{i} , reprezentând defazajul dintre tensiunea aplicată la bornele condensatorului și curentul care îl străbate. Complementul unghiului de fază p.n. unghi de pierderi, se notează cu δ .

Se definește tangenta unghiului de pierdere a materialului dielectric:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_{\epsilon} &= \left| \frac{P_a}{P_r} \right| = \left| \frac{U \cdot jR}{U \cdot jC} \right| = \left| \frac{jR}{jC} \right| = \frac{1}{\omega \epsilon_r C_0} = \\ &= \frac{\omega \epsilon_r'' C_0}{\omega \epsilon_r' C_0} = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (1.5) \end{aligned}$$

unde P_a și P_r sunt puterea activă, respectiv, reactivă la bornele condensatorului.

Inversul tangentei unghiului de pierdere, notat cu Q_{ϵ} , se numește factorul de calitate al materialului dielectric și este definit de relația:

$$Q_{\epsilon} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_{\epsilon}} = \omega R_0 C_0 = \frac{\epsilon_r'}{\epsilon_r''} \quad (1.6)$$

Permitivitatea relativă complexă poate fi exprimată și sub formă:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' \left(1 - j \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \right) = \epsilon_r' (1 - j \operatorname{tg} \delta_{\epsilon}) \quad (1.7)$$

În acest caz, partea reală a permitivității relative complexe și tg unghiului de pierdere ne dau o informație completă asupra capacității materialului dielectric de a se polariza sub acțiunea câmpului electric, precum și asupra pierderilor totale de materialului.

Aparatul de măsură și control cu ajutorul căruia se face măsurarea permitivității relative complexe a materialelor dielectrice / solide este analizorul RF de impedanță / material, model

Agilent E4991A, cu ajutorul căreia pot fi măsurate, într-o gamă largă de frecvențe, impedanța / permitivitatea relativă complexă / permeabilitatea relativă a materialelor magnetice.

Împreună cu analizorul de impedanță se folosesc următoarele accesorii:

- capul de test E4991A
- dispozitivul de fixare a materialului dielectric
TMC 1643A
- suportul de fixare
- permiță pt. manipulare probelor de material
- proba etalon de material dielectric
- probele de material dielectric solid de măsurat (MUT - Material Under Test)
- tastatură și mouse-ul și, opțional, un display care se conectează la panoul din spate al analizorului.

Analizorul E4991A măsoară capacitatea condensatorului C_x , iar permitivitatea relativă complexă a materialului dielectric solid și tg. unghiului de pierdere se calculează în baza acestei capacități C_x și a unei calibrări preliminare.

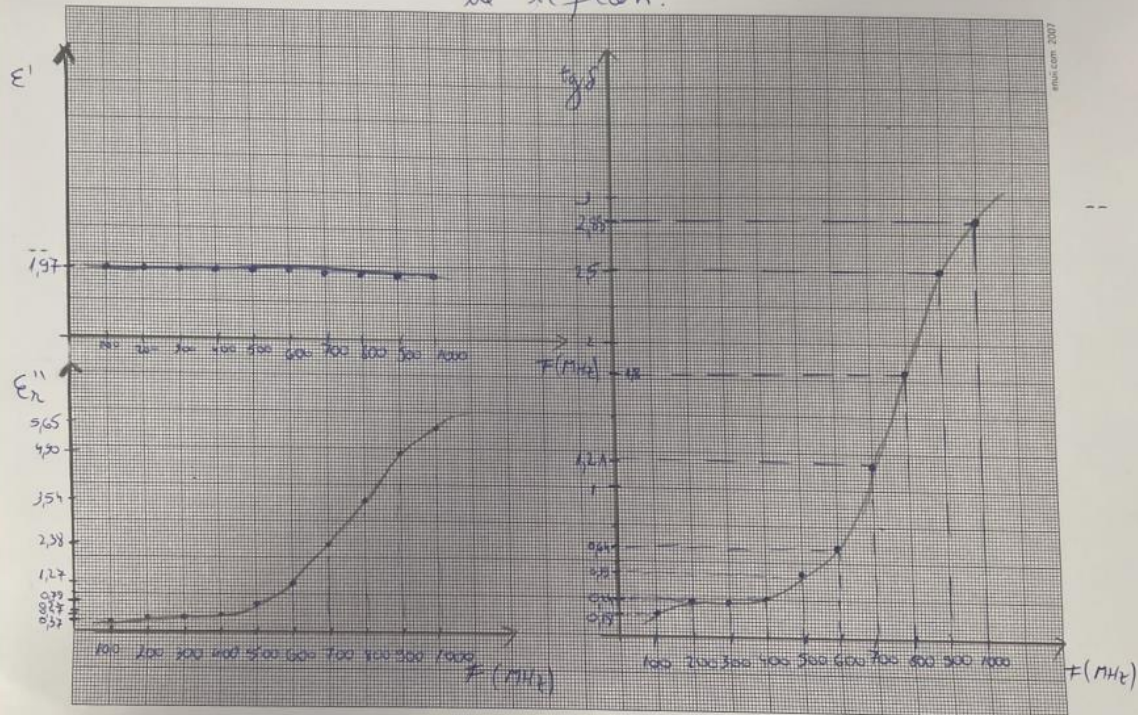
Tabel 1.2

F [MHz]		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Teflon g=3mm	ε'	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96
	ε_r''	0.37	0.47	0.47	0.52	0.78	1.27	2.38	3.54	4.90	5.65
	$\operatorname{tg}\delta$	0.18	0.24	0.24	0.26	0.39	0.64	1.21	1.8	2.5	2.88
	Q	5.55	4.16	4.16	3.84	2.56	1.56	0.82	0.55	0.4	0.34
Sticlotextolit g=1mm	ε'	4.56	4.3	4.49	4.48	4.45	4.44	4.43	4.43	4.43	4.43
	ε_r''	98.3	91.6	83.7	84.6	85.3	86.3	86.7	85.8	85.5	85
	$\operatorname{tg}\delta$	20.3	20.4	18.7	18.8	19.1	19.7	19.6	19.3	19.3	19
	Q	0.049 26	0,049 01	0.053	0.05 3	0.05 2	0.05 0	0.05 1	0.05 18	0.05 18	0.052
Pertinax g=0.95mm	ε'	4.91	4.74	4.68	4.58	4.53	4.49	4.46	4.53	4.41	4.39
	ε_r''	314.7	300.1	285.4	280. 4	280. 8	278. 3	273. 4	270. 2	288. 1	264.9
	$\operatorname{tg}\delta$	63.8	63.8	61.5	61.3 1	62.8	61.2	61.3	60.8	60.8	60.4
	Q	0.015	0.015	0.016	0.01 63	0.01 59	0.01 63	0.01 63	0.01 64	0.01 6	0.016
Plexiglas g=2.1mm	ε'	2.72	2.71	2.7	2.69	2.69	2.68	2.68	2.68	2.67	2.67
	ε_r''	21.8	20.5	15.79	15.7 6	18	14.8	14	14.9 9	14.7 6	13.89
	$\operatorname{tg}\delta$	6.61	6.87	6.17	5.73	6.26	5.35	5.31	5.45	5.65	5.21
	Q	0.151	0.145	0.162	0.17 4	0.15 9	0.18 6	0.18 8	0.18 3	0.17 6	0.191
Alumina g=1mm	ε'	9.26	9.24	9.77	9.24	9.25	9.24	9.25	9.25	9.26	9.27
	ε_r''	4.54	4.59	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\operatorname{tg}\delta$	296	299	-	-	-	-	-	-	-	-
	Q	2.03	2.01								

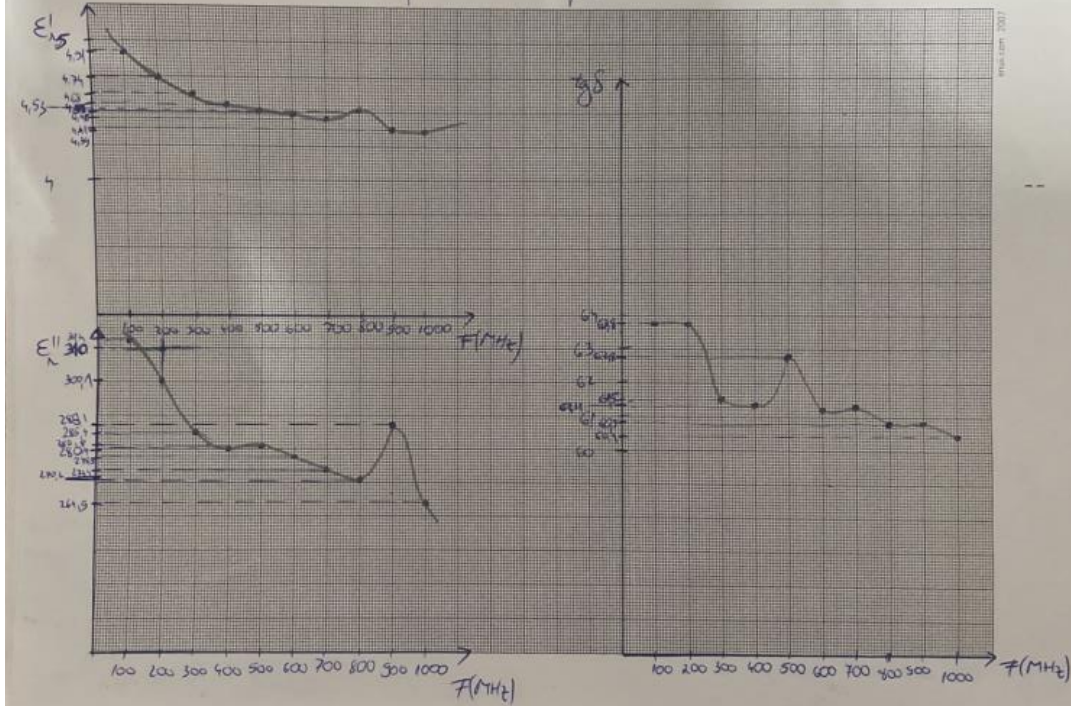
Am calculate factorul de calitate Q folosind formula

$$Q_\varepsilon = \frac{1}{\operatorname{tg}\delta_\varepsilon} = \omega R_e C_e = \frac{\varepsilon'_r}{\varepsilon_r''}$$

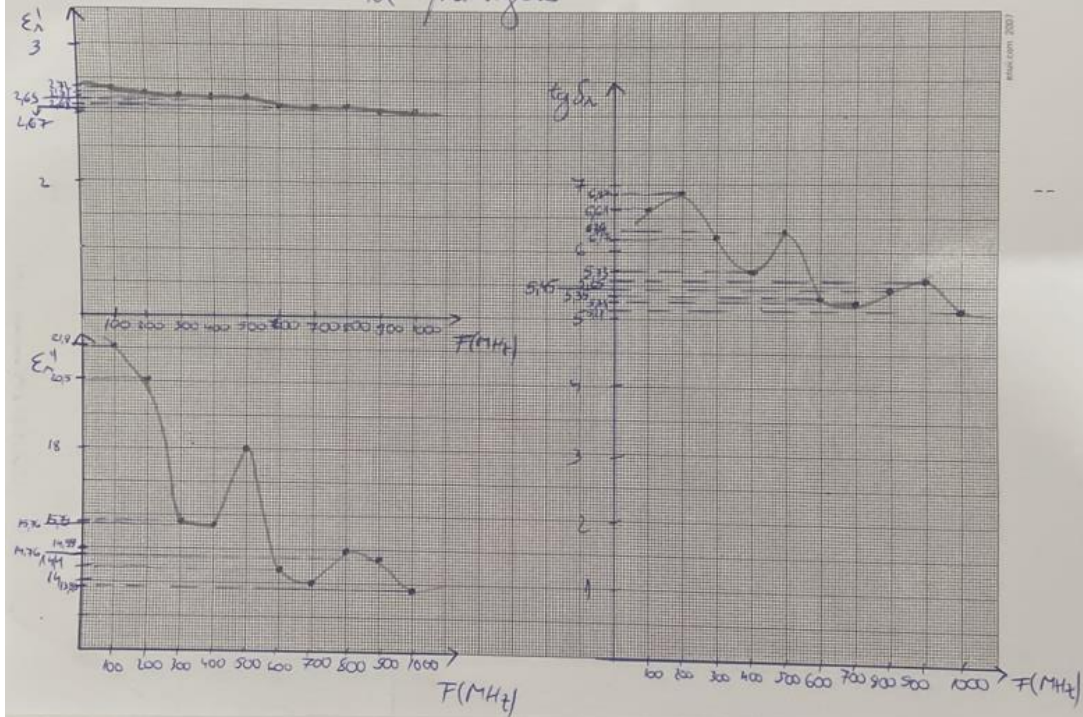
Reprezentările grafice $\epsilon'_1 = f(f)$, $\epsilon''_1 = f(f)$, $\text{tg } \delta_1 = f(f)$ pentru proba de te flon.

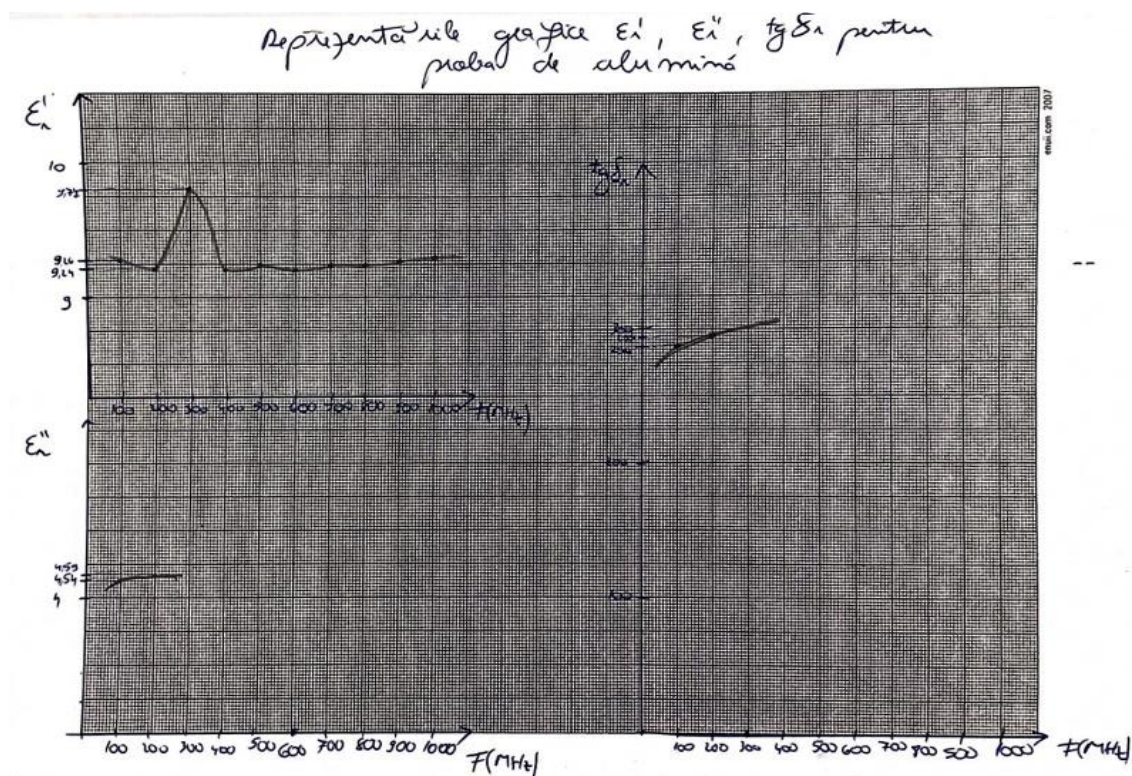


Reprezentările grafice $E_1 = f(f)$, $E_1' = f(f)$, $\gamma_{S_1} = f(f)$ pentru proba de plexiglas



Reprezentările grafice $E_1 = f(f)$, $E_1' = f(f)$, $\gamma_{S_1} = f(f)$ pentru proba de plexiglas





Reprezentările grafice pentru proba de Teflon sunt mult mai “line”, comparativ cu ale celorlalte patru materiale.

Tabel 1.3

Material	f [MHz]	100	500	800
	ϵ'			
Pertinax g=0.95mm	ϵ'_1	4.91	4.53	4.53
Sticlotextolit g=1mm	ϵ'_2	4.56	4.45	4.43
Sandwich Pertinax + Sticlotextolit	ϵ'	4.85	4.51	4.47
Sandwich Pertinax + Sticlotextolit(calculat)	ϵ'_{re}	4.88	4.30	4.49
Eroarea absolută		0.03	0.21	0.02

$$\epsilon'_{re} = \frac{g_1 + g_2}{\frac{g_1}{\epsilon'_{r1}} + \frac{g_2}{\epsilon'_{r2}}}$$

Se calculează ϵ' cu relația următoare:

Eroarea absoluta reprezinta diferenta dintre eroarea masurata si cea calculate.

Probleme

$$3. \quad \begin{array}{l} \epsilon'_{\lambda_1} = 2,1 \\ \epsilon'_{\lambda_2} = 3,5 \\ g_1 = \frac{1}{4} g_2 \\ \epsilon'_{\lambda_1} = ? \end{array}$$

Followex formula:

$$\begin{aligned} \epsilon'_{\lambda_1} &= \frac{g_1 + g_2}{\frac{g_1}{\epsilon'_{\lambda_1}} + \frac{g_2}{\epsilon'_{\lambda_2}}} = \\ &= \frac{\frac{1}{4} g_2 + g_2}{\frac{\frac{1}{4} g_2}{2,1} + \frac{g_2}{3,5}} = \\ &= \frac{g_2 (\frac{1}{4} + 1)}{g_2 (\frac{1}{8,4} + \frac{1}{1,5})} = \\ &= \frac{5}{4} \cdot (0,121 + 0,285) = 5 \\ &= \frac{5}{4} \cdot 0,406 = 0,5075 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \epsilon'_{\lambda_1} = 0,507.$$

$$4. \quad \begin{array}{l} \epsilon'_{\lambda_1} = ? \\ g_1 = 0,1 \text{ mm} \\ \epsilon'_{\lambda_2} = 2,23 \\ g_2 = 0,8 \text{ mm} \\ \epsilon'_{\lambda_2} = 2,1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \epsilon'_{\lambda_1} &= \frac{g_1 + g_2}{\frac{g_1}{\epsilon'_{\lambda_1}} + \frac{g_2}{\epsilon'_{\lambda_2}}} \\ \Rightarrow 2,23 &= \frac{0,1 + 0,8}{\frac{0,1}{\epsilon'_{\lambda_1}} + \frac{0,8}{2,1}} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 0,9 = \frac{0,23}{\epsilon'_{\lambda_1}} + 0,343 \Rightarrow \frac{0,23}{\epsilon'_{\lambda_1}} = 0,051$$

$$\Rightarrow \left[\epsilon'_{\lambda_1} = \frac{0,23}{0,051} = 4,5 \right]$$