

LUCRAREA 1: MATERIALE DIELECTRICE SOLIDE

Scopul lucrării

Lucrarea permite determinarea permitivității relative complexe și analiza comportării acesteia în frecvență (100Mhz - 1Ghz), pentru materiale dielectrice cu polarizare temporară, folosite frecvent în industria electronică, fie ca material dielectric pentru condensatoare, fie ca suport de cablaj imprimat.

Conspectul platformei:

Dielectricii sunt materiale izolatoare, care se caracterizează prin stări de polarizație cu funcții de utilizare; prin stare de polarizație electrică se înțelege starea materiei caracterizată prin momentul electric al unității de volum diferit de zero. Starea de polarizație poate fi temporară, dacă depinde de intensitatea locală a câmpului electric în care este situat dielectricul și poate fi de deplasare (electronică sau ionică) sau de orientare dipolară. Indiferent de mecanismul de polarizare, în domeniul liniar, interacțiunea unui dielectric izotrop cu câmpul electric este caracterizată de permitivitatea relativă complexă:

$$\underline{\varepsilon_r} = \frac{\underline{D}}{\varepsilon_0 \underline{E}} = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r$$

unde: \underline{D} este inducția electrică,

\underline{E} este intensitatea câmpului electric, iar

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} F/m$$

, permitivitatea vidului.

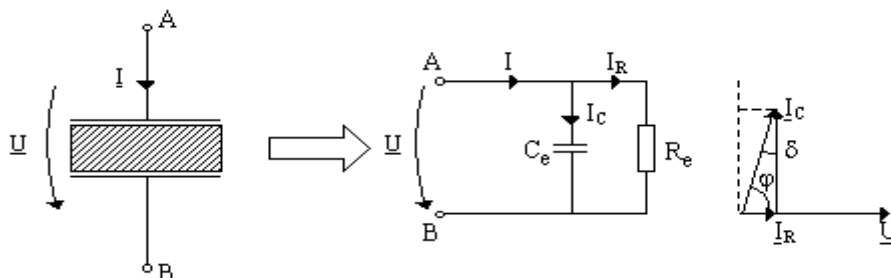


Figura 1. Schema echivalentă și diagrama fazorială pentru un condensator cu dielectric între armături

Se definește tangenta unghiului de pierderi a materialului dielectric, ca fiind raportul:

$$\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon} = \frac{|\underline{P}_a|}{|\underline{P}_r|} = \frac{|\underline{U} \cdot \underline{I}_R|}{|\underline{U} \cdot \underline{I}_C|} = \frac{|\underline{I}_R|}{|\underline{I}_C|} = \frac{1}{\omega C_e R_e} = \frac{\omega \varepsilon_r'' C_0}{\omega \varepsilon_r' C_0} = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

unde: P_a = puterea activă la bornele condensatorului,

P_r = puterea reactivă la bornele condensatorului.

Inversul tangentei unghiului de pierderi se numește factor de calitate al materialului dielectric și se notează cu:

$$Q_{\varepsilon} = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon}} = \omega C R = \frac{\varepsilon_r'}{\varepsilon_r''}$$

Desfasurarea lucrarii:

Se măsoară permitivitatea complexă, partea reală și imaginară ale acesteia și tangenta unghiului de pierderi, pentru următoarele materiale: politetrafluoretilena (teflon), polimetacrilat de metil (plexiglas), stratificat pe bază de hârtie (pertinax), stratificat pe bază de sticlă (sticlotextolit) și a oxidului de aluminiu (alumina) în gama de frecvențe de la 100 MHz la 1GHz.

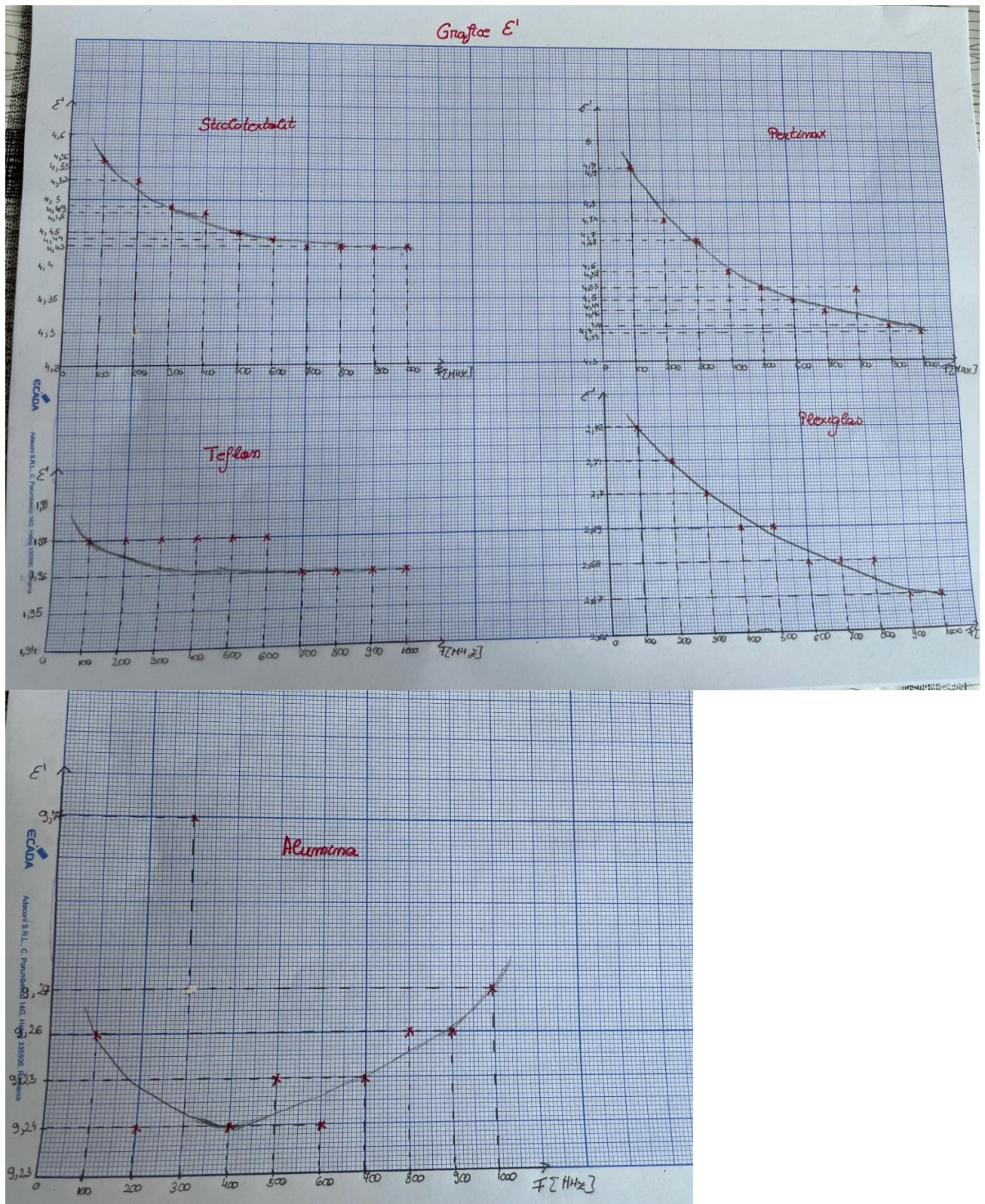
Tabel 1.2

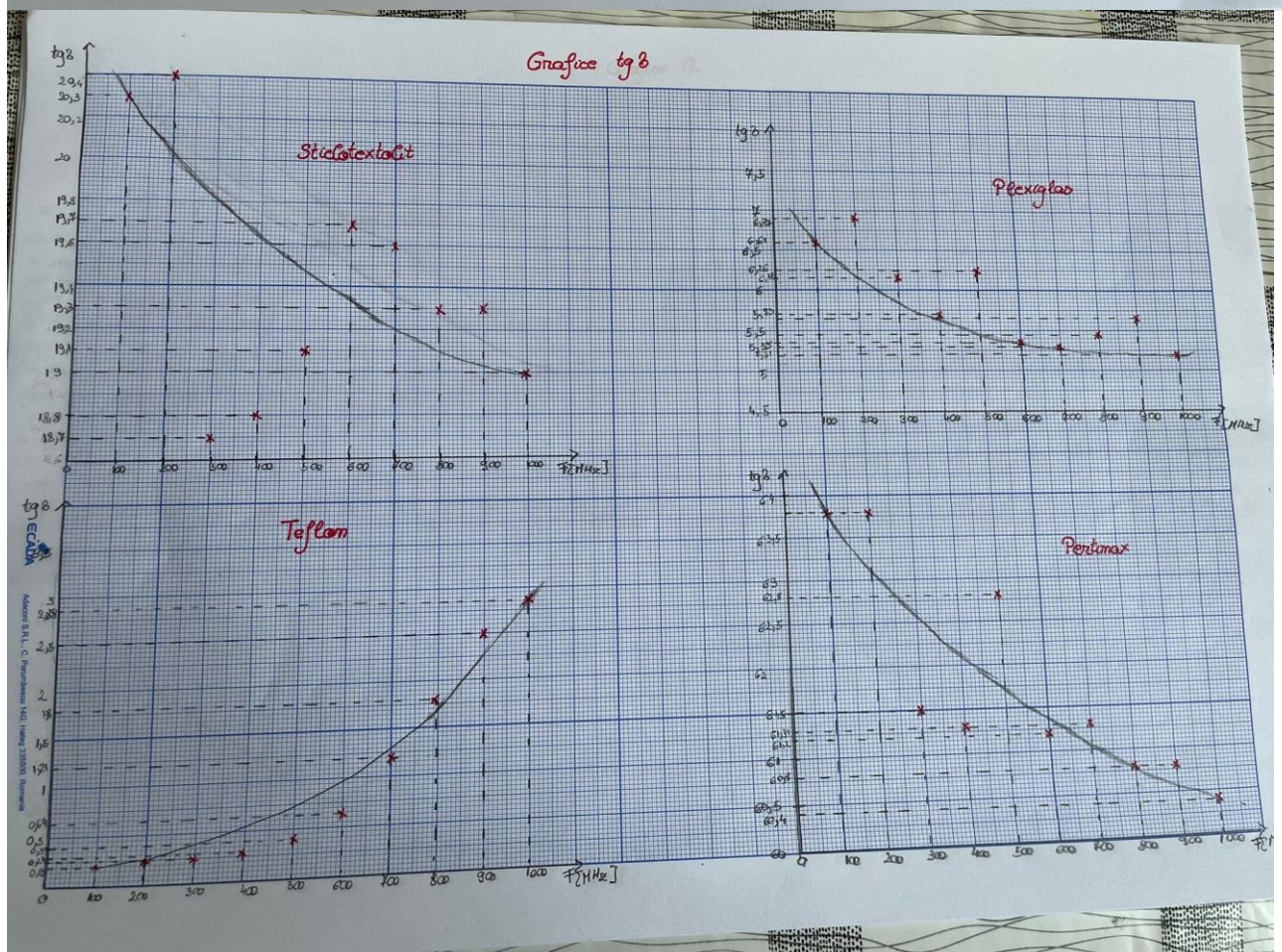
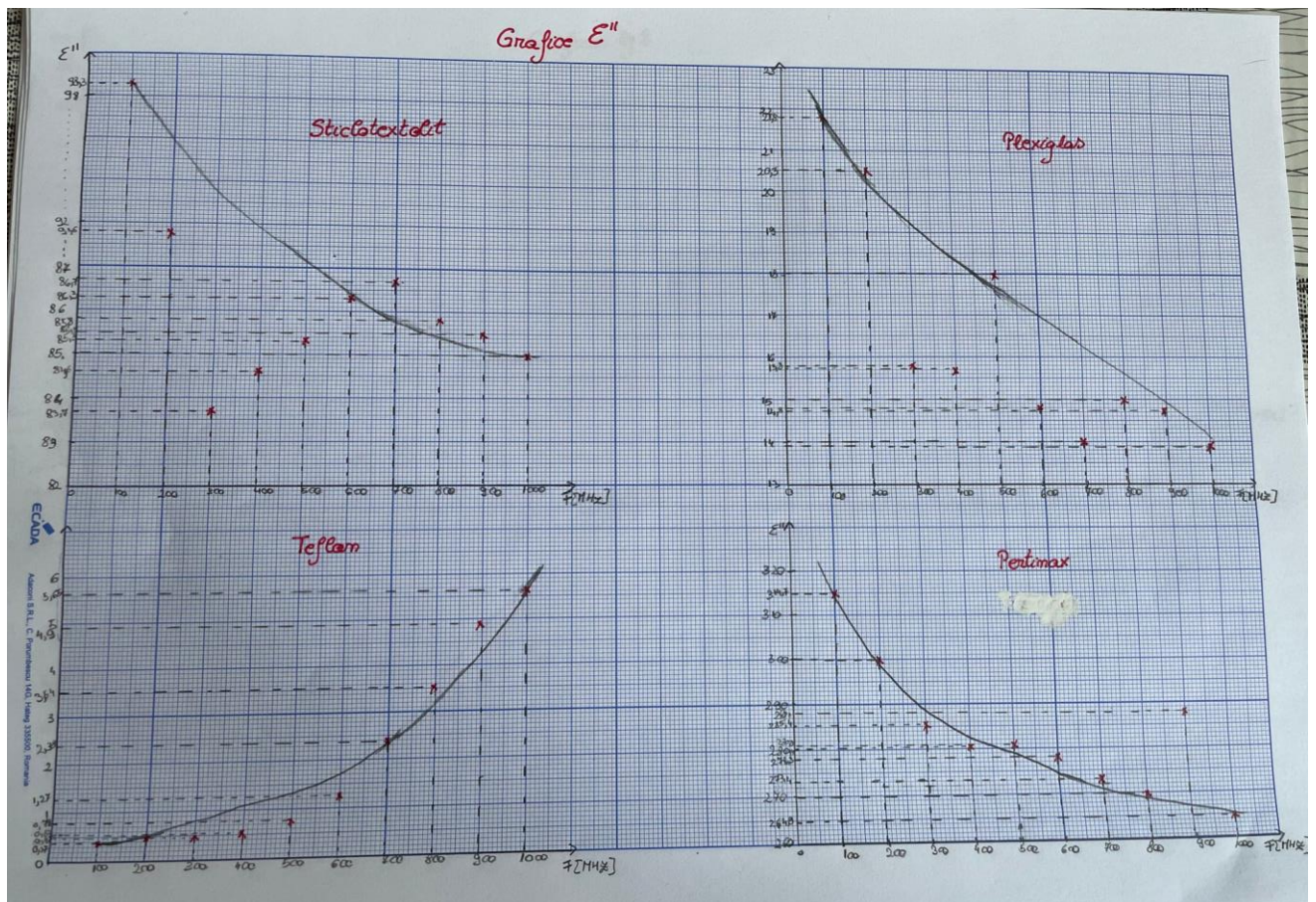
F [MHz]		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Teflon g=3mm	ε'	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96
	$\varepsilon_r'' \varepsilon_r'$	0.37	0.47	0.47	0.52	0.78	1.27	2.38	3.54	4.90	5.65
	$\operatorname{tg} \delta$	0.18	0.24	0.24	0.26	0.39	0.64	1.21	1.8	2.5	2.88
	Q	5.55	4.16	4.16	3.85	2.56	1.56	0.83	0.55	0.4	0.35
Sticlotextolit g=1mm	ε'	4.56	4.3	4.49	4.48	4.45	4.44	4.43	4.43	4.43	4.43
	$\varepsilon_r'' \varepsilon_r'$	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	0.0492	0.049	0.0535	0.0532	0.0524	0.0508	0.051	0.0518	0.0518	0.0526
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
	$\varepsilon_r'' \varepsilon_r'$	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	61.31	62.8	61.2	61.3	60.8	60.8	60.4
	Q	0.0156	0.0156	0.0162	0.0163	0.0159	0.0163	0.0163	0.0164	0.0164	0.0166
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
	$\varepsilon_r'' \varepsilon_r'$	21.8	20.5	15.79	15.76	18	14.8	14	14.99	14.76	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	0.146	0.162	0.175	0.159	0.187	0.188	0.183	0.177	0.192
Alumina g=1mm	ε'	9.26	9.24	9.77	9.24	9.25	9.24	9.25	9.25	9.26	9.27
	$\varepsilon_r'' \varepsilon_r'$	4.54	4.59	-	-	-	-	-	-	-	-

Factorul de calitate se calculeaza cu formula:

$$Q_\varepsilon = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta \varepsilon}$$

Reprezentarea grafica:





Se măsoară ϵ'_{r1} și ϵ'_{r2} ale probelor din plexiglas și sticlotextolit la frecvențele date în Tabelul 1-3 și rezultatele se trec în tabel. Se realizează din cele două probe un sandwich care se introduce între electrozii dispozitivului de fixare și se măsoară valorile ϵ'_e care se înscriu în tabel, pentru trei valori ale frecvenței

Tabel 1.3

	$f [M]$	100	500	800
Material				
Pertinax $g=0.95mm$	ϵ'_{r1}	4.91	4.53	4.53
Sticlotextolit $g=1mm$	ϵ'_{r2}	4.56	4.45	4.43
Sandwich Pertinax + Sticlotextolit	$\epsilon'_{masurat}$	4.85	4.51	4.47
Sandwich pertinax + sticlotextolit	$\epsilon'_{calculat}$	4.72	4.49	4.48
Sandwich pertinax + sticlotextolit	$\epsilon'_{masurat} - \epsilon'_{calculat}$	0.13	0.02	0.01

Concluzie:

Prin această lucrare am determinat valorile permitivității relative complexe ale diferitelor materiale utilizate în industria electronică la anumite frecvențe de lucru. Analizând comportarea lor într-un interval de frecvență dat am observat că valoarea părții reale, a părții imaginare a permitivității relative complexe și valoarea tangentei unghiului de pierderi scad cu creșterea frecvenței mai mult sau mai puțin, în funcție de materialul analizat.

Întrebări și probleme:

1. Comentați comportarea materialelor măsurate în domeniul de frecvență utilizat.

Partea reală a permitivității relative complexe rămâne aproape constantă la modificarea frecvenței, având o tendință de scădere, mai pronunțată la pertinax.

Partea imaginară a permitivității relative complexe crește la teflon direct proporțional cu creșterea frecvenței, iar pentru celelalte materiale scade odată cu creșterea frecvenței.

Tangenta unghiului de pierderi scade odată cu creșterea frecvenței în cazul materialelor măsurate, mai puțin la teflon, unde tangenta unghiului de pierderi tinde să crească.

2. Să se deducă formula de calcul a tangentei unghiului de pierderi echivalente a două condensatoare legate în paralel și în serie când se cunoaște capacitatea și tangenta unghiului de pierderi pentru fiecare condensator.

Condensatoare legate în paralel:

$$C_{ep} = C_1 + C_2; \quad R_{ep} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2};$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{\omega \cdot C_1 \cdot R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{1}{\omega \cdot C_1 \cdot \operatorname{tg} \delta_1}$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{1}{\omega \cdot C_2 \cdot R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{1}{\omega \cdot C_2 \cdot \operatorname{tg} \delta_2}$$

$$\operatorname{tg} \delta_{ep} = \frac{1}{\omega \cdot C_{ep} \cdot R_{ep}} = \frac{R_1 + R_2}{\omega \cdot (C_1 + C_2) \cdot R_1 \cdot R_2} = \frac{C_1 \cdot \operatorname{tg} \delta_1 + C_2 \cdot \operatorname{tg} \delta_2}{C_1 + C_2}$$

Condensatoare legate în serie:

$$C_{es} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}; \quad R_{es} = R_1 + R_2;$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \omega \cdot C_1 \cdot R_1 \Rightarrow R_1 = \frac{\operatorname{tg} \delta_1}{\omega \cdot C_1}$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \omega \cdot C_2 \cdot R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{\operatorname{tg} \delta_2}{\omega \cdot C_2}$$

$$\operatorname{tg} \delta_{es} = \omega \cdot C_{es} \cdot R_{es} = \omega \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \delta_1}{\omega \cdot C_1} + \frac{\operatorname{tg} \delta_2}{\omega \cdot C_2} \right) = \frac{C_2 \cdot \operatorname{tg} \delta_1 + C_1 \cdot \operatorname{tg} \delta_2}{C_1 + C_2}$$

3. Să se calculeze permitivitatea complexă echivalentă a unui dielectric format din două straturi de materiale diferite, când se cunoaște permitivitatea complexă a fiecăruia (vezi Fig. 1-6).

$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_1} \quad C_2 = \frac{\varepsilon_2 \cdot S}{d_2}$$

$$C_e = \frac{\varepsilon_e \cdot S}{d_1 + d_2}$$

$$C_e = \frac{\frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_1} \cdot \frac{\varepsilon_2 \cdot S}{d_2}}{\frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_1} + \frac{\varepsilon_2 \cdot S}{d_2}} = \frac{\varepsilon_e \cdot S}{d_1 + d_2} \Rightarrow \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot S}{\varepsilon_1 \cdot d_2 + \varepsilon_2 \cdot d_1} = \frac{\varepsilon_e \cdot S}{d_1 + d_2} \Rightarrow \varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot S \cdot (d_1 + d_2)}{\varepsilon_1 \cdot d_2 + \varepsilon_2 \cdot d_1}$$

4. Dacă $\varepsilon_1 = 2.1$, $\varepsilon_2 = 3.5$ și $g_1 = (1/4) \cdot g_2$, să se determine ε echivalent pentru structura din Fig. 1-7.

$$\varepsilon'_{\text{echivalent}} = \frac{\frac{g_1 + g_2}{\frac{g_1}{\varepsilon'_{r1}} + \frac{g_2}{\varepsilon'_{r2}}}}{\frac{1}{\frac{g_2}{8.4} + \frac{g_2}{3.5}}} = \frac{\frac{\frac{1}{4}g_2 + g_2}{\frac{g_1}{\varepsilon'_{r1}} + \frac{g_2}{\varepsilon'_{r2}}}}{\frac{g_2}{8.4} + \frac{g_2}{3.5}} = \frac{\frac{5}{4}g_2}{0.119 + 0.285} = \frac{\frac{5}{4}}{0.404} = \frac{1.25}{0.404} = 3.09$$

5. Determinați valoarea părții reale a permitivității complexe relative ε'_{r1} a unei probe de mică cu grosimea de 0,1mm cu ajutorul unei probe de teflon cu grosime de 0.8mm și $\varepsilon'_{r2} = 2,1$ și $\varepsilon'_{rechivalent} = 2,23$.

$$\varepsilon'_{rechivalent} = \frac{g_1 + g_2}{\frac{g_1}{\varepsilon'_{r1}} + \frac{g_2}{\varepsilon'_{r2}}} \Rightarrow \frac{g_1}{\varepsilon'_{r1}} = \frac{g_1 + g_2}{\varepsilon'_{re}} - \frac{g_2}{\varepsilon'_{r2}} \Rightarrow \varepsilon'_{r1} = \frac{g_1}{\frac{g_1 + g_2}{\varepsilon'_{re}} - \frac{g_2}{\varepsilon'_{r2}}} = 5$$

6. Între armăturile condensatorului plan - paralel cu capacitatea în vid de $C_0 = 100\text{pF}$, se introduce un dielectric având permitivitatea relativă complexă cu termenii $\varepsilon'_r = 5$ și $\varepsilon''_r = 5 \cdot 10^{-4}$; să se calculeze admitanța și elementele schemei echivalente paralel pentru condensatorul astfel obținut, la frecvența de 1MHz.

$$\begin{aligned} \underline{Y} &= j\omega \underline{\varepsilon}_r C_0 = j\omega(\varepsilon'_r - j\varepsilon''_r)C_0 = \omega\varepsilon''_r C_0 + j\omega\varepsilon'_r C_0 \\ &= 2\pi f \varepsilon''_r C_0 + j2\pi f \varepsilon'_r C_0 = 2\pi f C_0(\varepsilon''_r + j\varepsilon'_r) \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-12} (5 \cdot 10^{-4} + 5j) = 2 \cdot \pi \cdot 10^{-4} (5 \cdot 10^{-4} + 5j) = 6.28 \cdot 10^{-4} (5 \cdot 10^{-4} + 5j) \\ &= 31.4 \cdot 10^{-8} + 31.4j \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$C_e = \varepsilon'_r \cdot C_0 = 5 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 500 \text{ pF}$$

$$R_e = \frac{1}{\omega \cdot \varepsilon''_r \cdot C_0} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = 3.18 \text{ M}\Omega$$

7. Pentru același condensator cu dielectricul între armături, să se calculeze factorul de calitate Q și tangenta unghiului de pierderi $\text{tg}\delta$, la frecvența de 1MHz .

$$Q = \omega \cdot C_e \cdot R_e = 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot 10^{-12} \cdot 3.18 \cdot 10^6 = 31800\pi = 9985.2$$

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{Q} = 0.1 \cdot 10^{-3}$$

8. Între armăturile unui condensator plan - paralel cu capacitatea în vid $C_0 = 68 \text{ pF}$, se introduce un dielectric având permitivitatea relativă complexă cu termenii $\varepsilon'_r = 3,5$ și $\varepsilon''_r = 4 \cdot 10^{-4}$;

a) să se calculeze admitanța și elementele schemei echivalente paralel pentru condensatorul astfel obținut, la frecvențele de 500 kHz și 5 MHz; comentați rezultatele.

Frecvența de 500 kHz:

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

$$= 2\pi f \epsilon''_r C_0 + j2\pi f \epsilon'_r C_0 = 2\pi f C_0 (\epsilon''_r + j\epsilon'_r) =$$

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 68 \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) =$$

$$= 2.135 \cdot 10^{-4} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j)$$

$$C_e = \epsilon'_r \cdot C_0 = 3.5 \cdot 68 \cdot 10^{-12} = 238 \text{ pF}$$

$$R_e = \frac{1}{\omega \cdot \epsilon''_r \cdot C_0} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 68 \cdot 10^{-12}} = 11.7 \text{ M}\Omega$$

Frecvența de 5 MHz:

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

$$= 2\pi f \epsilon''_r C_0 + j2\pi f \epsilon'_r C_0 = 2\pi f C_0 (\epsilon''_r + j\epsilon'_r) =$$

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 68 \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) =$$

$$= 2.135 \cdot 10^{-3} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j)$$

$$C_e = \epsilon'_r \cdot C_0 = 3.5 \cdot 68 \cdot 10^{-12} = 238 \text{ pF}$$

$$R_e = \frac{1}{\omega \cdot \epsilon''_r \cdot C_0} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 68 \cdot 10^{-12}} = 1.17 \text{ M}\Omega$$

b) să se calculeze factorul de calitate Q și tangenta unghiului de pierderi tgδ, la frecvențele de 500 kHz și 5 MHz; comentați rezultatele.

Frecvența de 500 kHz:

$$Q = \omega \cdot C_e \cdot R_e = 2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 238 \cdot 10^{-12} \cdot 11.7 \cdot 10^6 = 8743.6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{Q} = 0.11$$

Frecvența de 5 MHz:

$$Q = \omega \cdot C_e \cdot R_e = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 238 \cdot 10^{-12} \cdot 1.17 \cdot 10^6 = 8743.6$$

$$\text{tg}\delta = 0.11 \cdot 10^{-3}$$