

MATERIALE DIELECTRICE SOLIDE

1.Scopul lucrării

Scopul acestei lucrari de laborator este insusirea metodei de determinare a permitivitatii complexe relative a materialelor dielectrice uzuale si analiza comportarii acesteia in frecventa.

2.Conspectul lucrării

Dielectricii sunt materiale care se caracterizeaza prin stari de polarizatie cu functie de utilizare. Prin stare de polarizatie se intelege starea materiei caracterizata prin momentul electric al unitatii de volum diferit de 0. Starea de polarizatie poate fi temporara sau de orientare dipolara. In domeniul liniar, interactiunea unui dielectric izotrop cu campul electric este caracterizata de permitivitatea complexa relativa:

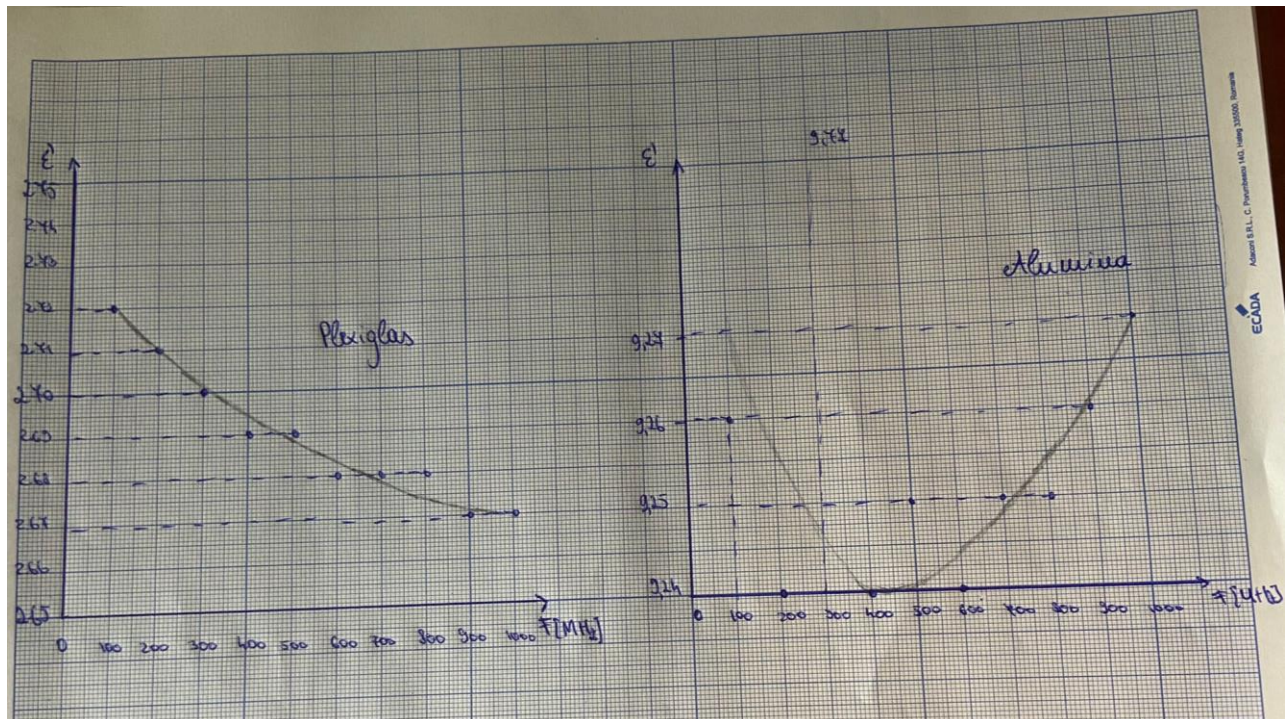
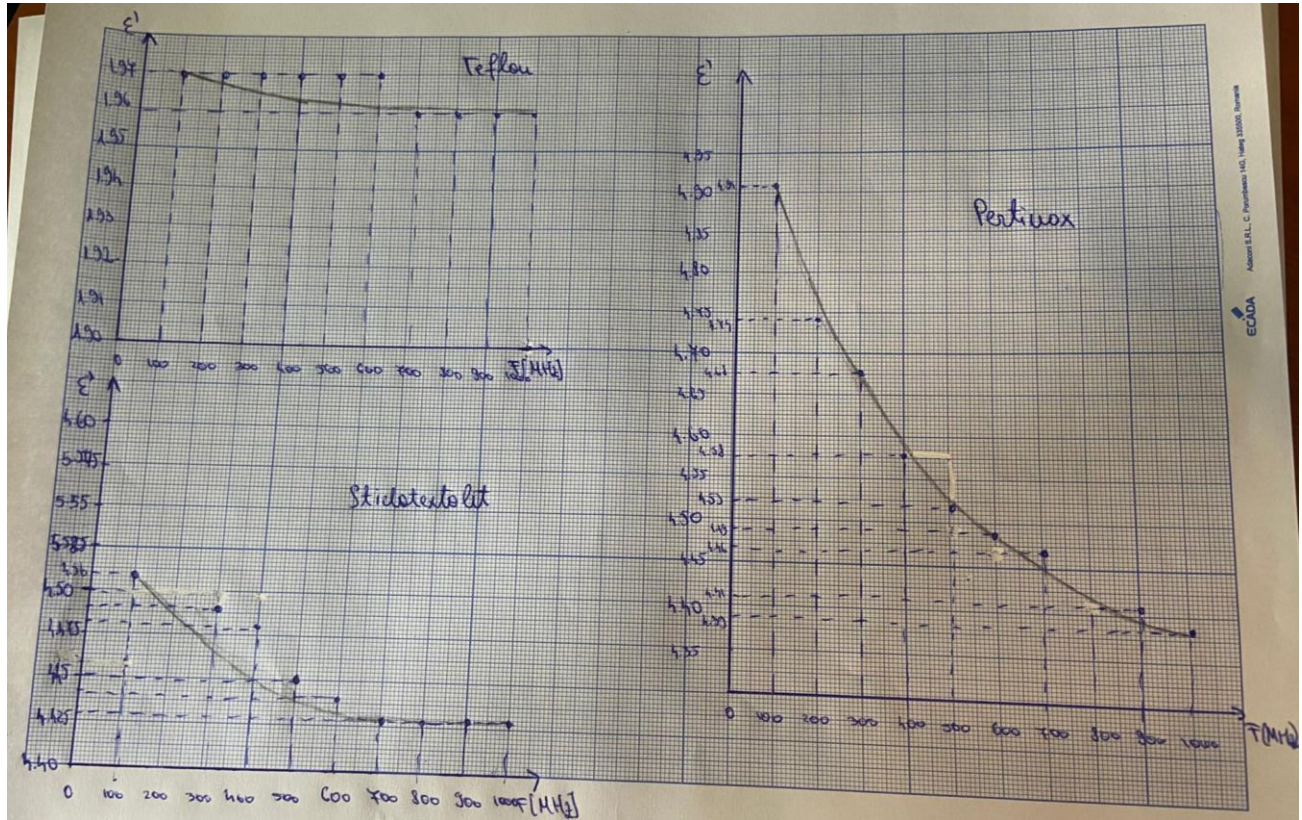
$$\underline{\epsilon}_r = \underline{D}/(\epsilon_0 \underline{E}) = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$$

Daca un material cu permitivitatea complexa relativa $\underline{\epsilon}_r$ se introduce intre armaturile unui condensator care are capacitatea C_0 in vid, atunci admitanta la bornele condensatorului astfel format are expresia : $\underline{Y} = \omega \epsilon_r'' C_0 + j\omega \epsilon_r' C_0$. Din schema echivalenta a condensatorului format se observa ca partea reala a permitivitatii complexe relative caracterizeaza dielectricul din punct de vedere al proprietatilor sale de a se polariza, iar partea imaginara a permitivitatii complexe relative ϵ_r'' caracterizeaza dielectricul din punct de vedere al pierderilor de energie in material, pierderi modelate prin rezistenta $R_e = 1/(\omega \epsilon_r'' C_0)$.

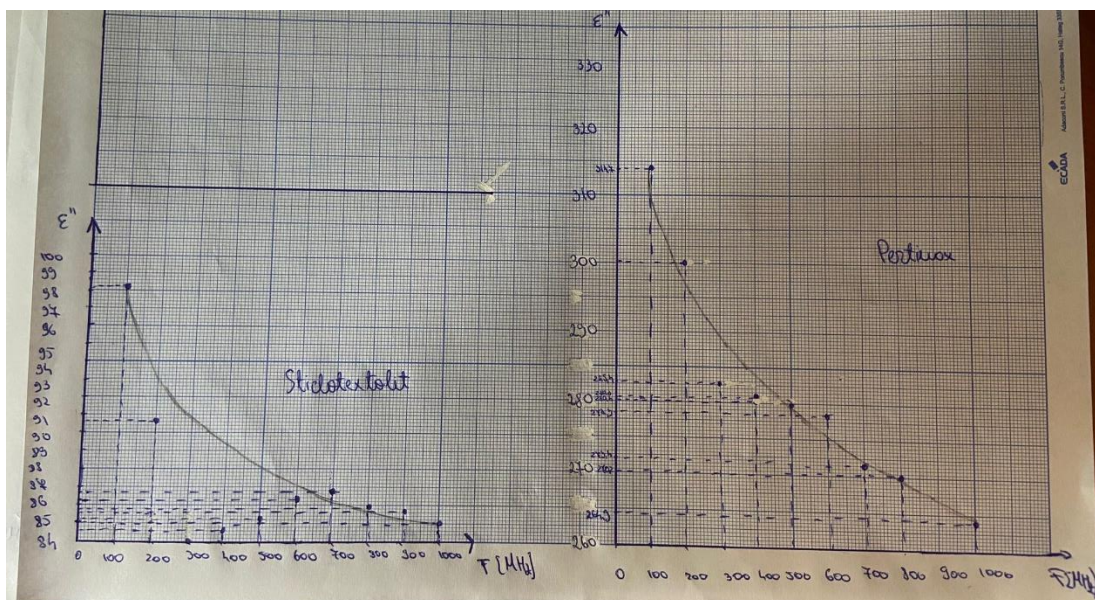
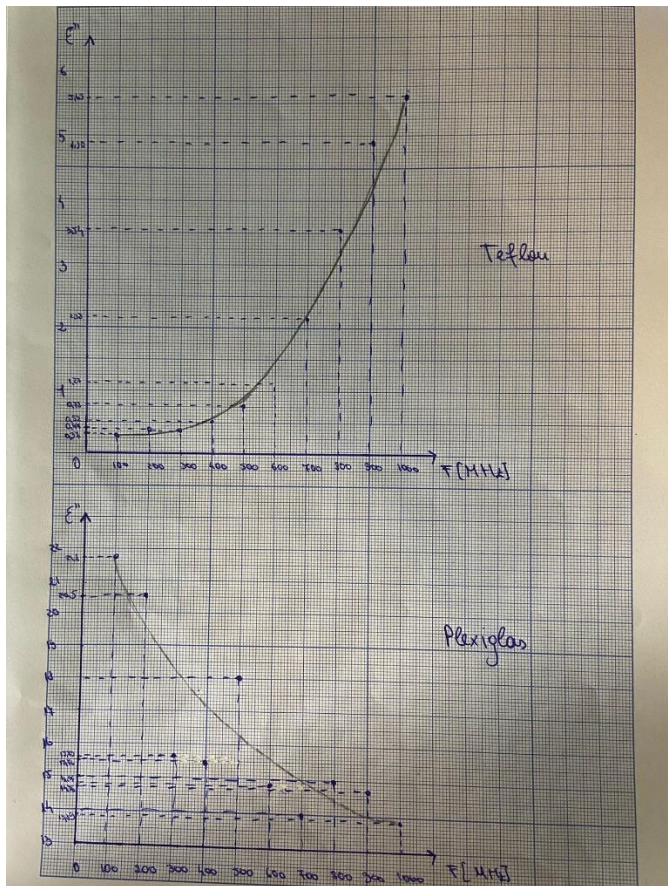
In diagrama fazoriala, complementarul unghiului dintre tensiunea aplicata \underline{U} condensatorului si curentul \underline{I} care il strabate se numeste unghi de pierderi a materialului dielectric si se noteaza cu δ . Se defineste tangenta unghiului de pierderi a materialului dielectric $\tan\delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$, iar inversul tangentei unghiului de pierderi se numeste factor de calitate al materialului dielectric si se noteaza cu $Q\epsilon = \epsilon_r' / \epsilon_r''$.

Datorita structurii fizice si fenomenelor complexe ce se petrec in dielectric cand asupra acestuia se aplica un camp electric, permitivitatea dielectrica reala si tangenta unghiului de pierderi sunt dependente puternic de frecventa si temperatura.

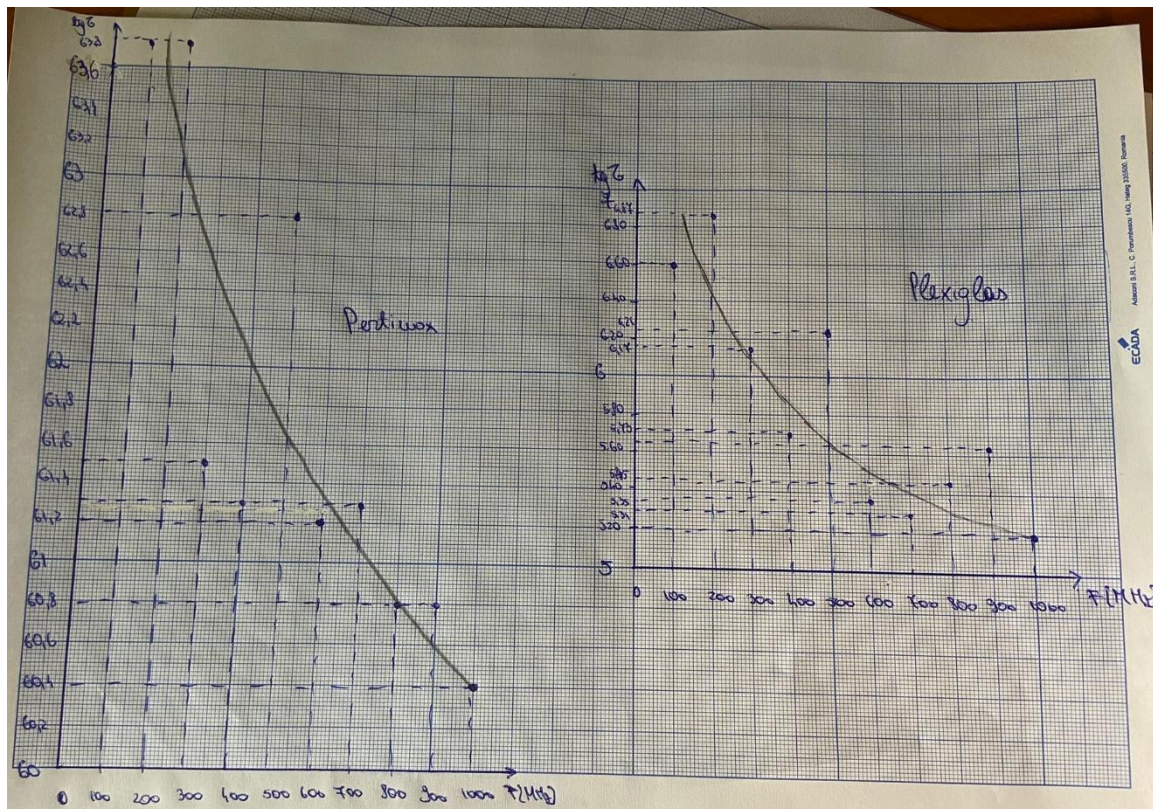
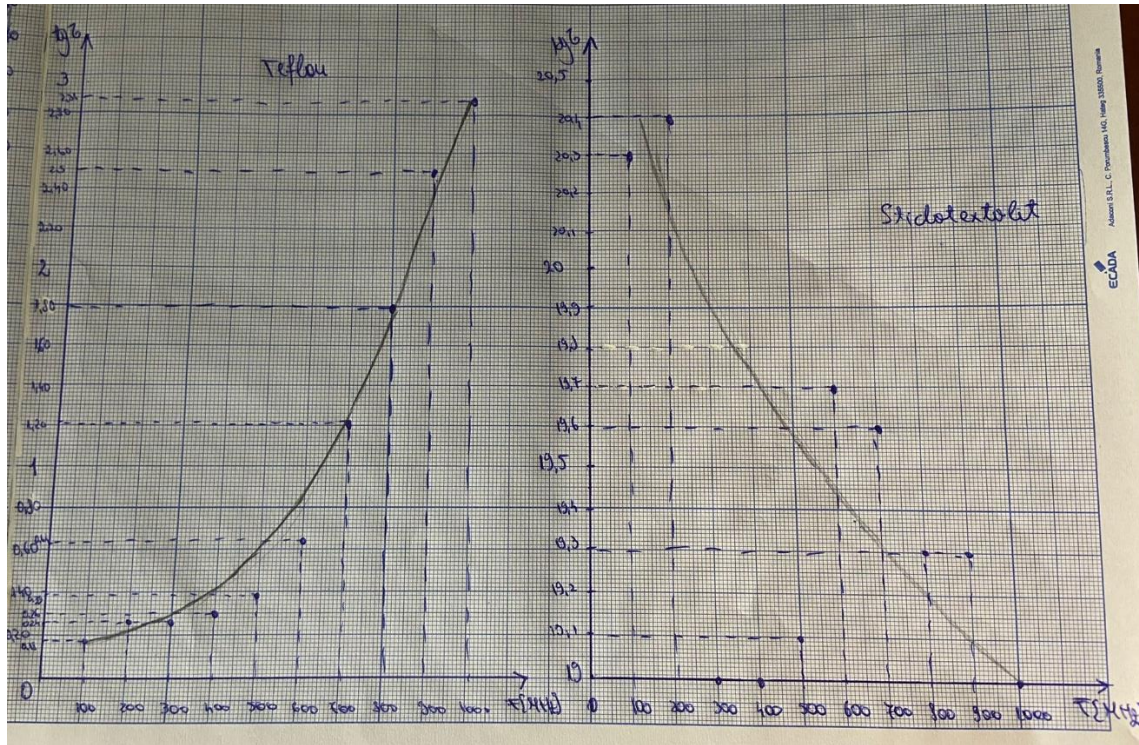
Partea reală a permitivității complexe relative în funcție de frecvență



Partea imaginară a permitivității complexe relative în funcție de frecvență



Tangenta unghiului de pierderi a materialului dielectric în funcție de frecvență



Se masoara $\varepsilon'_{r1}, \varepsilon'_{r2}$ al probelor de plexiglas si pertinax la frecventele date si rezultatele se trec in tabel. Se realizeaza din cele 2 probe un sandwich care se introduce intre electrozii dispozitivului de fixare si se masoara valorile la cele 3 valori ale frecventei.

	$f [MHz]$	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	$\varepsilon'_{masurat}$	4.85	4.51	4.47
Sandwich pertinax + sticlotextolit	$\varepsilon'_{calculat}$	4.72	4.49	4.48
Sandwich pertinax + sticlotextolit	$\varepsilon'_{masurat} - \varepsilon'_{calculat}$	0.13	0.02	-0.01

Valoarea măsurată e mai mare decât cea calculată, dar odată cu creșterea frecvenței, diferența dintre valoarea măsurată și cea calculată a lui ε'_{re} se micșorează.

4.Concluzie

Prin urmare, 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.

5. Intrebari si probleme

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

Partea reală a permitivității complexe relative are o scădere semnificativă la pertanax, iar la restul materialelor rămâne aproape constantă la modificarea frecvenței.

Partea imaginară a permitivității complexe crește cu creșterea frecvenței la teflon, iar la restul materialelor scade.

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 serie:

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

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

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

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

Condensatoare legate în paralel:

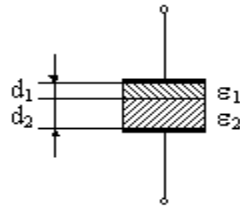
$$C_{ep} = C_1 + C_2; \quad R_{ep} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2};$$

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

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

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

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).



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

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 * S}{d_1} \quad C_2 = \frac{\epsilon_2 * S}{d_2}$$

$$C_e = \frac{\epsilon_e * S}{d_1 + d_2}$$

$$C_e = \frac{\frac{\epsilon_1 * S}{d_1} * \frac{\epsilon_2 * S}{d_2}}{\frac{\epsilon_1 * S}{d_1} + \frac{\epsilon_2 * S}{d_2}} = \frac{\epsilon_e * S}{d_1 + d_2} \Rightarrow \frac{\epsilon_1 * \epsilon_2 * S}{\epsilon_1 * d_2 + \epsilon_2 * d_1} = \frac{\epsilon_e * S}{d_1 + d_2} \Rightarrow \epsilon_e = \frac{\epsilon_1 * \epsilon_2 * S * (d_1 + d_2)}{\epsilon_1 * d_2 + \epsilon_2 * d_1}$$

Fig. 1-6.

4. Dacă $\epsilon_1 = 2.1$, $\epsilon_2 = 3.5$ și $g_1 = (1/4) \cdot g_2$, să se determine ϵ echivalent pentru structura din Fig. 1-7.

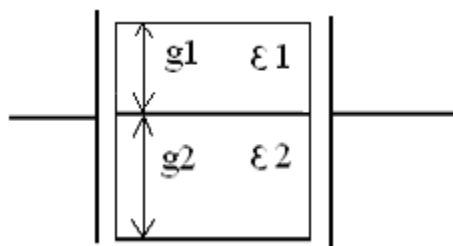


Fig 1-7.

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

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 $\varepsilon'_{rechivalent} = 2.23$.

$$\varepsilon'_{rechivalent} = \frac{\frac{g1+g2}{\varepsilon'_{r1}}}{\frac{g1}{\varepsilon'_{r1}} + \frac{g2}{\varepsilon'_{r2}}} = \frac{g1}{\varepsilon'_{r1}} = \frac{g1+g2}{\varepsilon'_{re}} - \frac{g2}{\varepsilon'_{r2}} \Rightarrow \varepsilon'_{r1} = \frac{g1}{\frac{g1+g2}{\varepsilon'_{re}} - \frac{g2}{\varepsilon'_{r2}}} = 5$$

6. Între armăturile condensatorului plan - paralel cu capacitatea în vid de C_0 = 100pF, 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.

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

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

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

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:

$$\begin{aligned} \underline{Y} &= j\omega \underline{\varepsilon}_r C_0 = j\omega(\varepsilon'_r - j\varepsilon''_r)C_0 = \omega\varepsilon''_r C_0 + j\omega\varepsilon'_r C_0 \\ &= 2\pi f \varepsilon''_r C_0 + j2\pi f \varepsilon'_r C_0 = 2\pi f C_0 (\varepsilon''_r + j\varepsilon'_r) = \\ &= 2 \cdot 3.14 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 68 \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) = \\ &= 2.135 \cdot 10^{-4} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) \\ C_e &= \varepsilon'_r \cdot C_0 = 3.5 \cdot 68 \cdot 10^{-12} = 238 \text{ pF} \end{aligned}$$

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

Frecvența de 5 MHz:

$$\begin{aligned} \underline{Y} &= j\omega \underline{\varepsilon}_r C_0 = j\omega(\varepsilon'_r - j\varepsilon''_r)C_0 = \omega\varepsilon''_r C_0 + j\omega\varepsilon'_r C_0 \\ &= 2\pi f \varepsilon''_r C_0 + j2\pi f \varepsilon'_r C_0 = 2\pi f C_0 (\varepsilon''_r + j\varepsilon'_r) = \\ &= 2 \cdot 3.14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 68 \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) = \\ &= 2.135 \cdot 10^{-3} \cdot (4 \cdot 10^{-4} + 3.5j) \\ C_e &= \varepsilon'_r \cdot C_0 = 3.5 \cdot 68 \cdot 10^{-12} = 238 \text{ pF} \end{aligned}$$

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

b) să se calculeze factorul de calitate Q și tangenta unghiului de pierderi $\text{tg}\delta$, la frecvențele de 500 kHz și 5 MHz; comentați rezultatele.

Frecvența de 500 kHz:

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

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

Frecvența de 5 MHz:

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

$$\operatorname{tg} \delta=0.11 * 10^{-3}$$