

# MATERIALE DIELECTRICE SOLIDE

NUME: MUȘETESCU VLAD GABRIEL

GRUPA:424A

## **-Scopul lucrării:**

Lucrarea permite determinarea permitivității relative complexe și analiza comportării acestora 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.

## **-Noțiuni teoretice :**

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 (rel. 1.1 )

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

unde: -D este inducția electrică

-E este intensitatea câmpului electric, iar

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} F / m , \text{ permitivitatea vidului.}$$

Dacă un material dielectric cu permitivitatea complexă relativă  $\epsilon_r$ , 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 (efectele de margine sunt neglijabile), admitanța la bornele

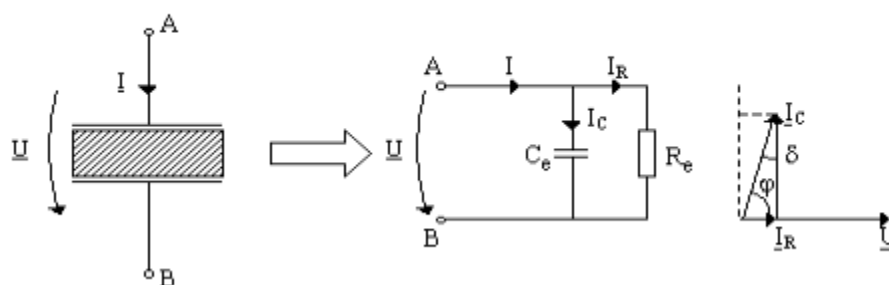
condensatorului astfel format are expresia:

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

Schema echivalentă a condensatorului cu material dielectric și diagrama fazorială sunt date în Fig. 1-1.

Din schema echivalentă se observă că partea reală a permitivității complexe relative caracterizează dielectricul din punct de vedere al proprietăților sale de a se polariza (indiferent de mecanismul de polarizare) și are ca efect creșterea de  $\epsilon'_r$  ori a capacității condensatorului la aceleași dimensiuni geometrice, capacitatea condensatorului obținut fiind :

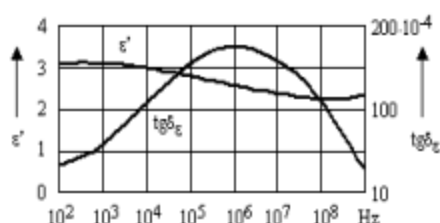
$$C_e = \epsilon'_r C_0 \quad (1.3)$$



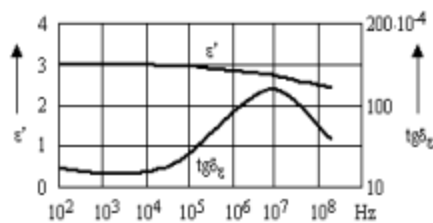
În Tabelul 1-1 sunt date caracteristicile tipice ale câtorva materiale studiate în lucrare (măsurate la  $\theta = 20^\circ\text{C}$  și  $f = 50\text{ Hz}$ ), iar în Fig. 1-2 și 1-3 este prezentată dependența de frecvență a permitivității,  $\epsilon'_r$ , și a tangentei unghiului de pierderi,  $\tan\delta$ , la temperatura constantă de  $\theta = 20^\circ\text{C}$ , pentru 2 materiale dielectrice uzuale: polietilentereftalat (mylar) și policarbonat.

**Tabelul 1-1**

Material	Tip de polarizare	$\epsilon'_r$	$\text{tg}\delta_\epsilon$
Polietilentereftalat (mylar)	polarizare de orientare	3	$(4\div 5) \cdot 10^{-3}$
Polimetacrilat de metil (plexiglas)	"	3,5	$0,02\div 0,08$
Policarbonat (pertainax)	"	3	$(8\div 12) \cdot 10^{-4}$
Hârtie de condensator	"	6,6	$(6\div 7) \cdot 10^{-3}$
Politetrafluoretlenă (teflon)	polarizare de deplasare electronică	$1,9\div 2,2$	$(1\div 4) \cdot 10^{-4}$



**Fig. 1-2.** Dependenta de frecvență a lui  $\epsilon'_r$  și  $\text{tg}\delta_\epsilon$  pentru polietilentereftalat la temperatura de 20°C.



**Fig. 1-3.** Dependenta de frecvență a lui  $\epsilon'_r$  și  $\text{tg}\delta_\epsilon$  pentru policarbonat la Temperatura de 20°C.

## -Aparatura utilizată

Aparatul de măsură și control cu ajutorul căruia se execută măsurarea permitivității complexe relative a materialelor dielectrice este analizorul RF de impedanță/material, model E 4991A. Acesta este folosit pentru măsurarea impedanței, a permitivității complexe relative a materialelor dielectrice și a permeabilității magnetice relative a materialelor magnetice. Lucrarea se ocupă de măsurarea permitivității complexe relative a materialelor dielectrice solide într-o gamă largă de frecvențe.

În scopul măsurării permitivității complexe relative a materialelor dielectrice, împreună cu analizorul de impedanță se folosesc următoarele accesorii: capul de test E4991A, dispozitivul de fixare a materialelor dielectrice 16453A, suportul de fixare, tastatura, penseta mouse-ul, proba standard de material dielectric și probele de material dielectric solid de măsurat, Fig. 1- 4. Opțional, se folosește un display, care se conectează la panoul din spate al analizorului.

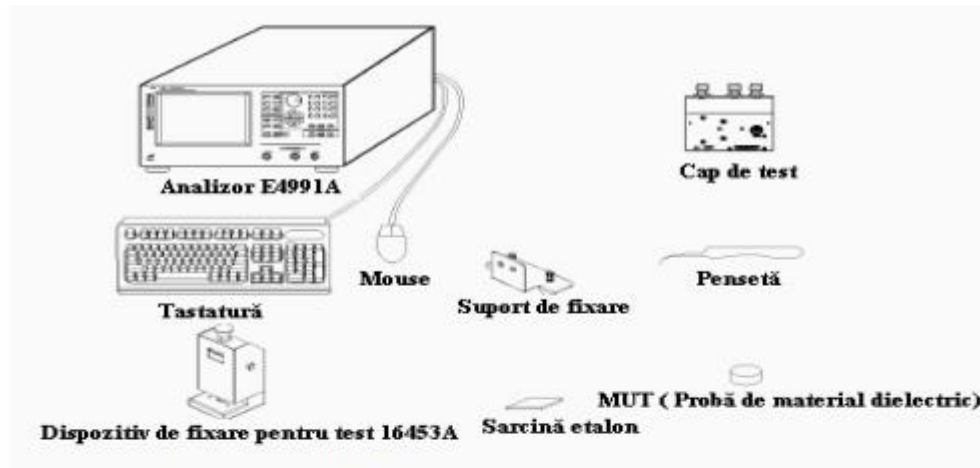


Fig. 1-4. Analizorul E4991A și accesoriile folosite la măsurarea permitivității.

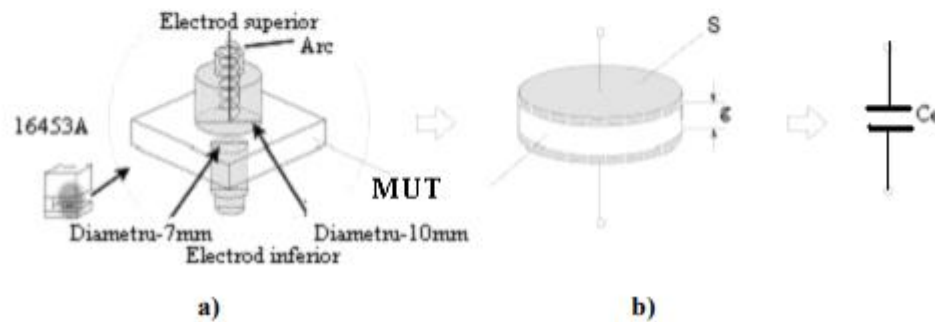


Fig. 1-5. a) dispozitivul de fixare a materialului dielectric 16453A; b) condensatorul echivalent.

Analizorul E 4991A măsoară, calculează și vizualizează valoarea permitivității complexe relative a materialului dielectric solid și a tangentei unghiului de pierderi din valoarea capacității condensatorului echivalent. Condensatorul echivalent,  $C_e$  este realizat fizic din: electrozii superior și inferior ai dispozitivului pentru test, 16453A și materialul testat (MUT – Material Under Test) MUT se poziționează între electrozii dispozitivului de fixare pentru test, 16453A, așa cum este prezentat în Fig. 1-5. Partea reală a permitivității complexe relative se determină cu relația:

$$\epsilon'_r = \frac{C_e}{C_0} = \frac{gC_e}{\epsilon_0 S} \quad (1.8)$$

unde:  $S$  =  $S_i$  - suprafața electrodului inferior, cu diametrul de 7mm,

$g$  - grosimea materialului dielectric;

Partea imaginară a permitivității complexe relative este dată de relația:

$$\epsilon''_r = \frac{1}{\omega R_e C_0} = \frac{g}{\omega \epsilon_0 S R_e} \quad (1.9)$$

iar, tangenta unghiului de pierderi a materialului dielectric rezultă din raportul celor două mărimi:

$$\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (1.10)$$

### -Mod de lucru și prelucrarea rezultatelor:

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.

Materialele se fixează, pe rând, în dispozitivul de fixare a probei de test 16453A (Fig. 1-5) și se parcurge algoritmul din ANEXA 1. Calibrarea analizorului se execută o singură dată. Valorile măsurate ( $\varepsilon_r'$ ,  $\varepsilon_r''$ ,  $\operatorname{tg} \delta$ ) la diferite valori ale frecvenței de lucru, se trec în Tabelul 1-2. Ultima linie din tabel se completează cu valorile factorului de calitate, care se calculează cu relația (1.6).

Se va reprezenta, în trei grafice separate, evoluția  $\varepsilon_r'$ ,  $\varepsilon_r''$  și  $\operatorname{tg} \delta$ , pentru cele cinci materiale măsurate, teflon, sticlotextolit, pertinax și plexiglas și se va comenta modul în care se modifică parametrii menționați în gama de frecvență

F[MHz]		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Teflon g = 3 mm	$\varepsilon_r'$ [mU]	2.03729	2.03625	2.03116	2.02591	2.02589	2.02406	2.01759	2.01815	2.0131	2.00876
	$\varepsilon_r''$ [mU]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\operatorname{tg} \delta$ [mU]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Q $\varepsilon$	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
Sticlotextolit g = 1 mm	$\varepsilon_r'$ [mU]	4.967	4.89723	4.88491	4.879	4.88838	4.90302	4.93391	4.97808	5.03736	5.11669
	$\varepsilon_r''$ [mU]	107.271	107.837	103.063	98.388	102.225	104.471	107.359	107.024	114.626	117.243
	$\operatorname{tg} \delta$ [mU]	21.742	22.3919	21.0958	20.1623	21.0406	21.3357	21.7854	21.5329	22.6752	22.8998
	Q $\varepsilon$	0.0460	0.0447	0.0474	0.0496	0.0475	0.0469	0.0459	0.0464	0.0441	0.0437
Pertinax g = 0.95 mm	$\varepsilon_r'$ [mU]	5.52275	5.30896	5.21079	5.13844	5.09302	5.05732	5.03692	5.02611	5.02147	5.0279
	$\varepsilon_r''$ [mU]	379.732	365.7	350.391	338.87	337.239	336.87	336.09	333.046	337.384	336.154
	$\operatorname{tg} \delta$	68.8842	69.0045	67.2643	65.8046	66.3787	66.4621	66.6933	66.2651	67.2198	67.0499
	Q $\varepsilon$	0.0145	0.0145	0.0149	0.0152	0.0151	0.0150	0.0150	0.0151	0.0149	0.0149
Plexiglas g = 2.1 mm	$\varepsilon_r'$ [mU]	2.8413	2.82417	2.81435	2.80201	2.79914	2.79177	2.7829	2.77613	2.76775	2.75782
	$\varepsilon_r''$ [mU]	26.1328	21.1529	16.08	16.9791	15.73	16.009	14.6236	16.403	14.5447	13.0474
	$\operatorname{tg} \delta$ [mU]	8.30406	7.37607	5.7636	6.36732	5.55092	6.01169	5.2884	5.4675	5.2069	4.77275
	Q $\varepsilon$	0.1204	0.1356	0.1735	0.1571	0.1802	0.1663	0.1891	0.1829	0.1921	0.2095
Alumina g = 1 mm	$\varepsilon_r'$ [mU]	9.899	9.9062	9.92704	9.9217	9.93	9.926	2.9379	9.9309	9.9429	9.95758
	$\varepsilon_r''$ [mU]	0	6.64	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\operatorname{tg} \delta$ [ $\mu$ U]	0	639.101	0	0	0	0	0	0	0	0
	Q $\varepsilon$	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	inf

Unele valori din tabel sunt egale cu zero din cauza zgometului , valorile fiind initial negative.

### Modul de calcul din tabel:

$$Q\varepsilon = 1 / \operatorname{tg}\delta[\mu\text{U}]$$

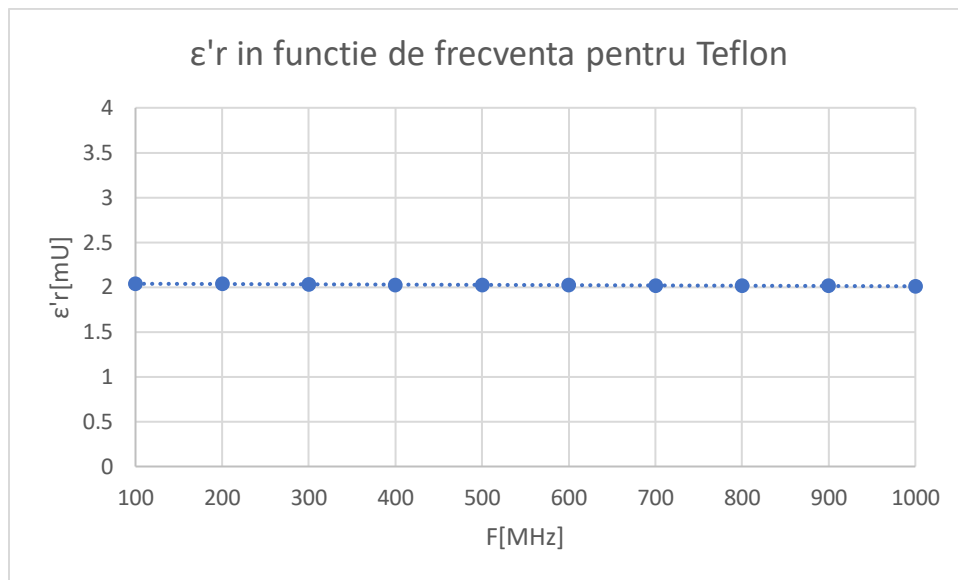
$$Q\varepsilon(\text{sticlotextolit}/F = 100\text{MHz}) = 1 / 21.742$$

$$Q\varepsilon = 0.0460$$

$$Q\varepsilon(\text{Plexiglas}/F = 800\text{MHz}) = 1 / 5.4675$$

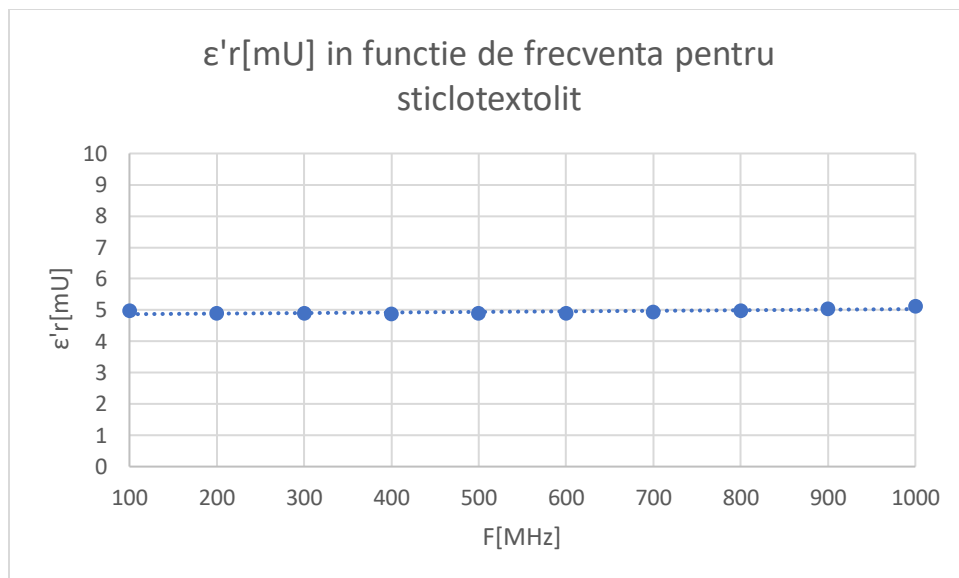
$$Q\varepsilon = 0.1829$$

### Grafice:

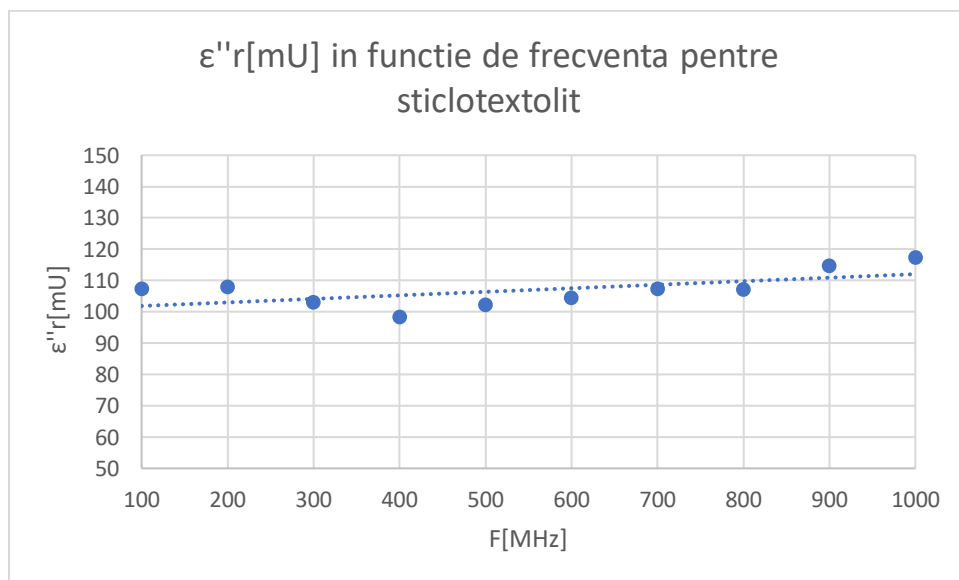


Se poate observa ca in graficul realizat , valorile lui  $\varepsilon'_r$ [mU] raman relative constante o data cu cresterea in frecventa.

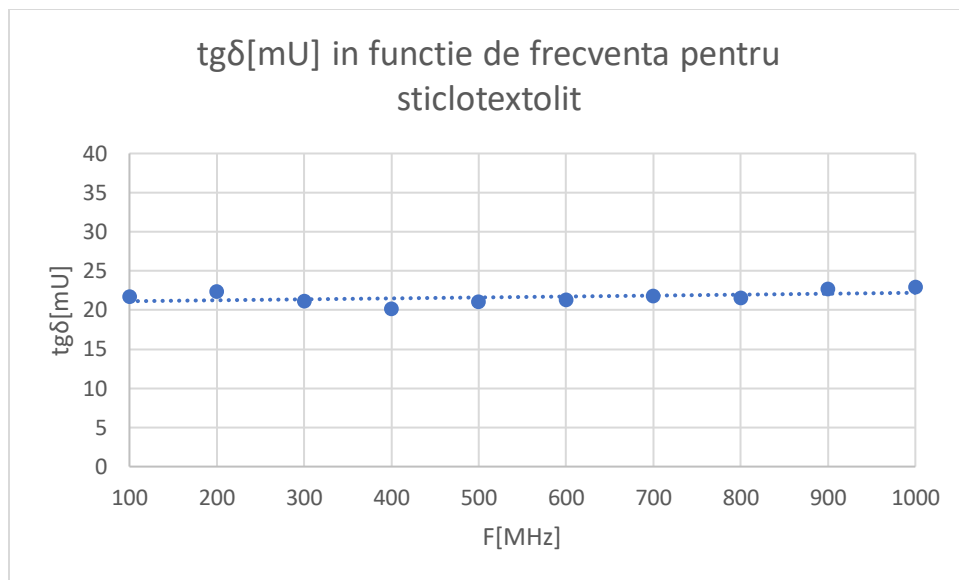
Pentru  $\varepsilon''_r$ [mU] si  $\operatorname{tg}\delta$ [mU](Teflon) valorile fiind negative datorita zgomotului , au fost trecute cu 0, evident, nerealizand graficele respective. Pentru  $\varepsilon'_r$ [mU] teflonul ramane stabil.



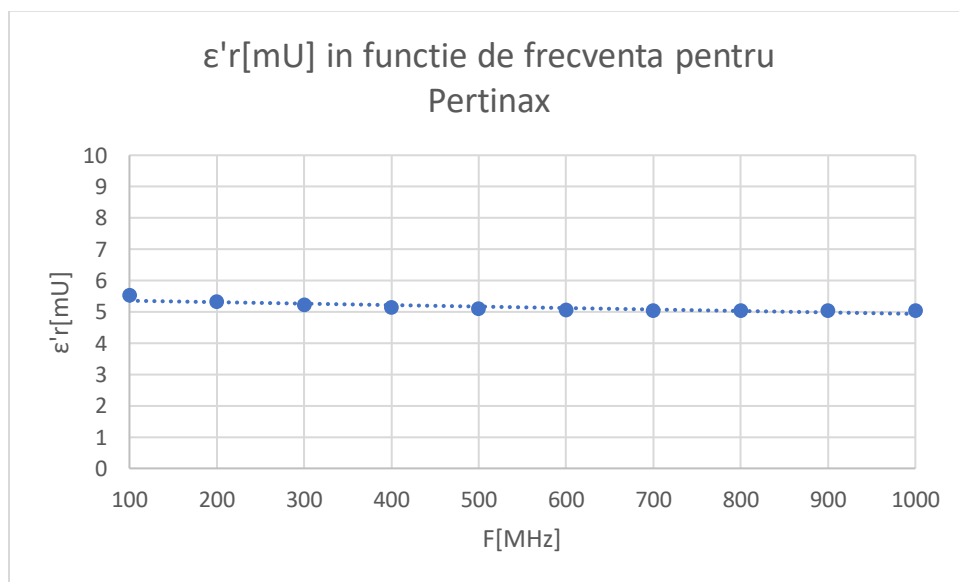
Si pentru sticlotextolit se poate observa de asemenea ca  $\epsilon'_r$ [mU] ramane constant o data cu cresterea in frecventa acelasi fenomen se poate observa si pentru Teflon.



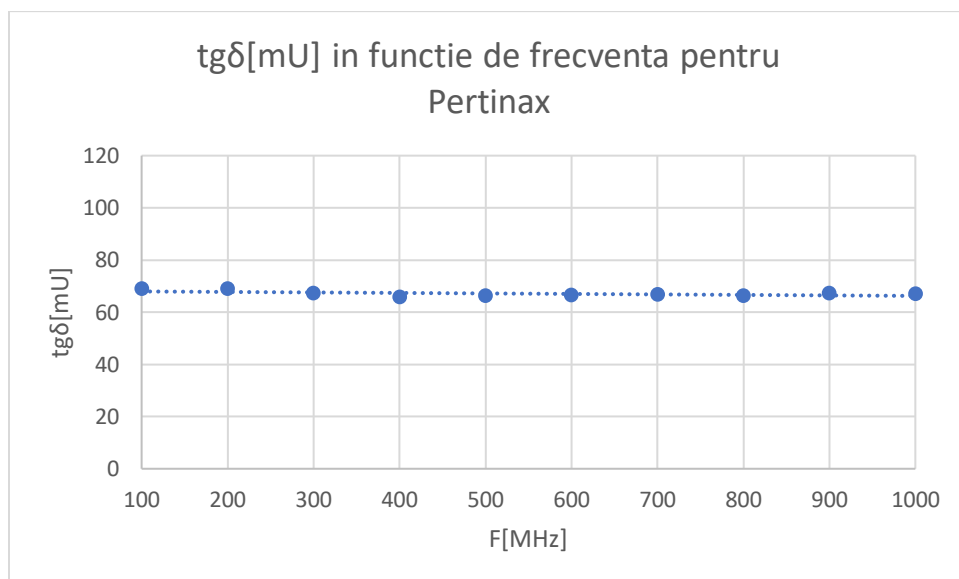
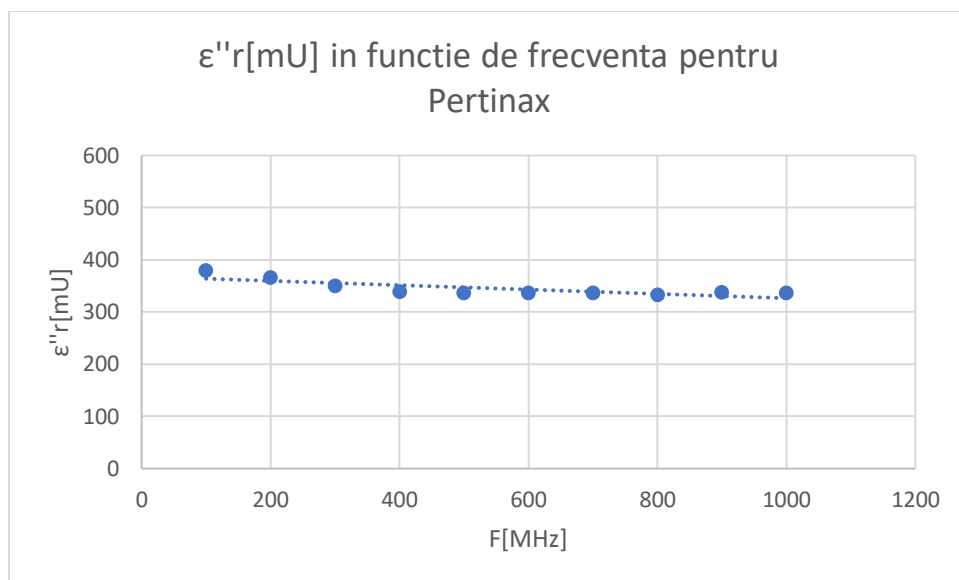
Valorile lui  $\epsilon''_r$ [mU] de aceasta data nu sunt la fel de constat ca valorile lui  $\epsilon'_r$ [mU] o data cu cresterea de frecventa.



Din graficele realizate pentru sticlotextolit se poate afirma faptul ca materialul nu este deloc instabil.

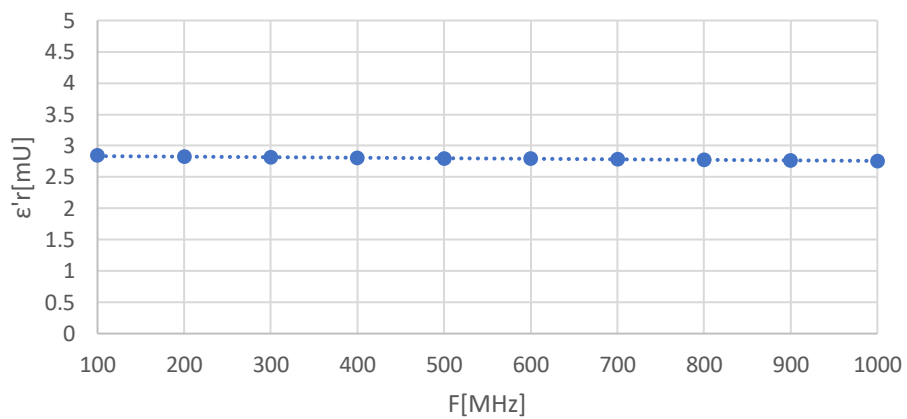




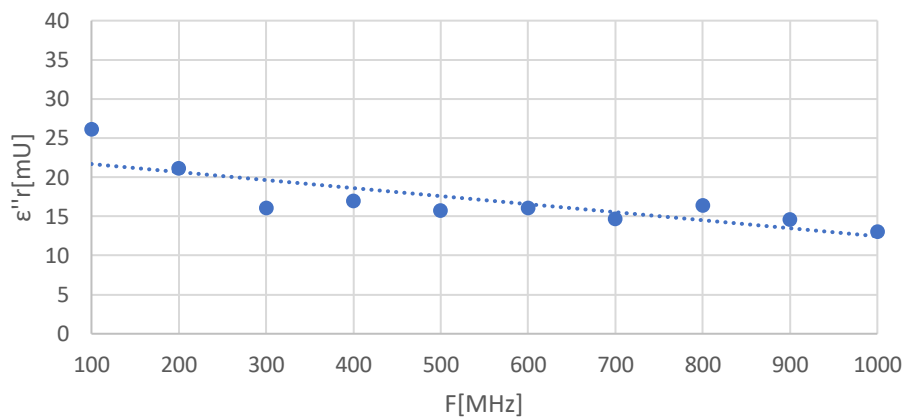


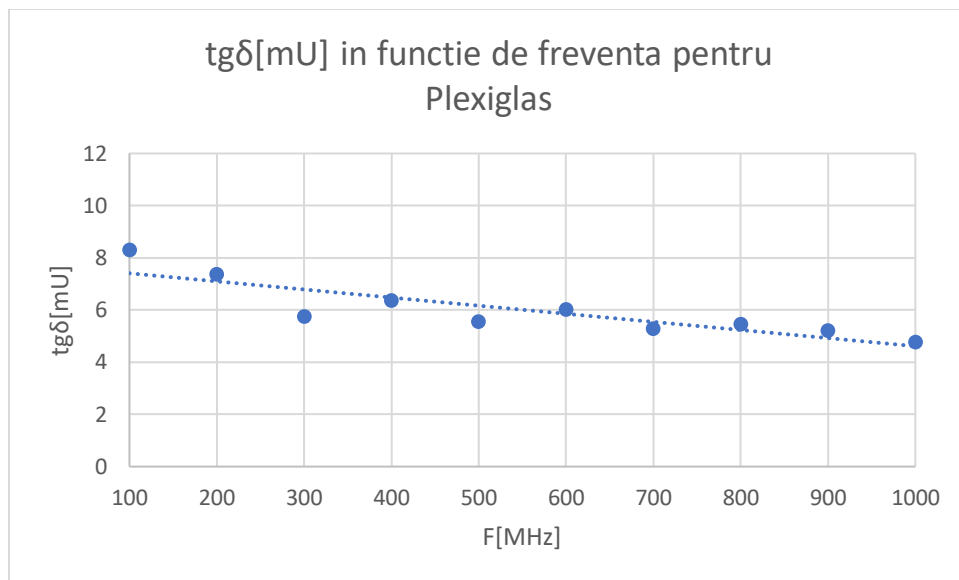
Din cele trei grafice se poate observa ca valorile raman relativ constante o data cu cresterea in freventa , se poate afirma ca materialul Pertinax este destul de stabil.

$\epsilon'_r[\text{mU}]$  in functie de frecventa pentru  
Plexiglas

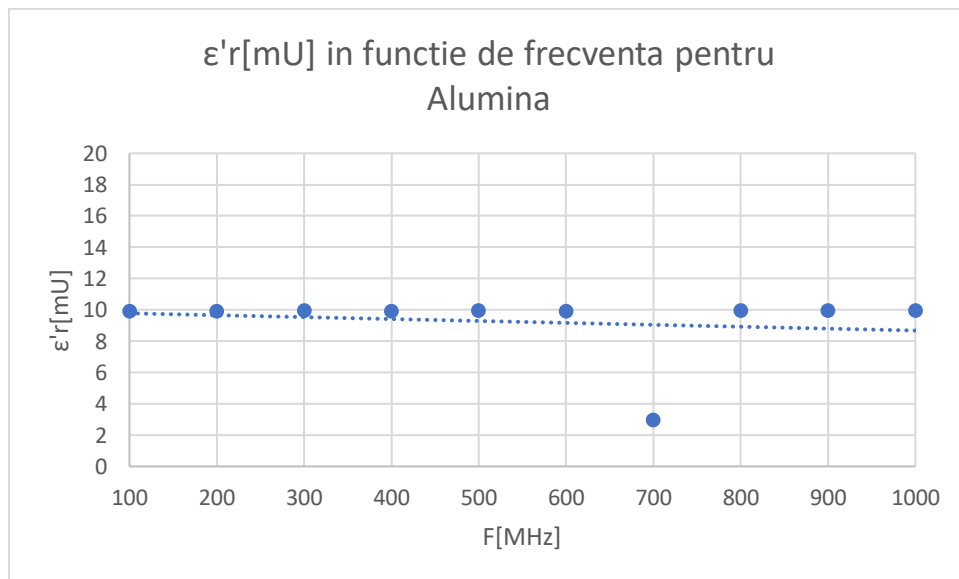


$\epsilon''_r[\text{mU}]$  in functie de frecventa pentru  
Plexiglas





In acest caz pentru Plexiglas valorile sunt destul de constante dar nu la fel de constate ca ale sticlotextolitului ceea ce l face a fi mai putin instabil.



Pentru restul graficelor , acestea nu s au realizat datorita zgomotului si valorilor negative.

Se poate observa ca pentru  $\epsilon'_r[\text{mU}]$  , Alumina este clar un material stabil , valoarea de la 700MHz fiind luata in considerare ca eroare de masurare.

Material	$\epsilon'_r1, \epsilon'_r2, \epsilon'_re / F[\text{MHz}] \rightarrow$	100	500	800
Pertinax( $g=0.95\text{mm}$ )	$\epsilon'_r1$	5.52275	5.09302	5.02611
Sticlotextolit( $g=1\text{mm}$ )	$\epsilon'_r2$	4.967	4.88838	4.97808
Sandwich pertinax+sticlotextolid( $g = 1.95\text{mm}$ )	$\epsilon'_re(\text{masurat})$	5.24268	4.96926	4.8693
Sandwich pertinax+sticlotextolid	$\epsilon'_re(\text{calculat})$	5.23727	4.99123	5.00260

Sandwich pertinax+sticlotextolid	$\epsilon'_{re}(\text{masurat}) - \epsilon'_{re}(\text{calculat})$	0.00541	-	-
			0.02197	0.13330

**Caculele realizate din tabel conform formulei:**

$$\epsilon'_{re}(\text{calculat}) = (g_1 + g_2) / (g_1 / \epsilon'_{r1} + g_2 / \epsilon'_{r2})$$

$$\epsilon'_{re}(\text{calculat}) = (0.95 + 1) / (0.95 / 5.2275 + 1 / 4.967)$$

$$\epsilon'_{re}(\text{calculat}) = 5.23727$$

**Comentarii/Observatii:**

-Valorile masurate fata de cele calculate sunt relative apropiate , diferenta dintre aceasta fiind datorata erorii umane din timpul laboratorului, neluand o valoare exact corecta.