

Lucrarea nr. 2 - Materiale feroelectrice

① Scopul lucrării și noțiuni teoretice.

- Scopul lucrării - determinarea dependenței de frecvență și temperatură a permittivității complexe relative și studiul efectului piezoelectric pentru materialele ceramice feroelectrice.

• Noțiuni teoretice

La materialele feroelectrice polarizarea are caracter permanent și este direct influențată de temperatură. Vectorul polarizării se caracterizează prin simetrie liniară limită de tip ∞ care conține elementele de simetrie: axă de rotație de ordinul ∞ și o infinitate de plane de oglindire.

O stare deosebit de importantă este starea feromagnetice, aceasta reprezentând o stare de ordine a materiei rezultată spontan din tendința către stabilitate care corespunde unui minim

al energiei libere totale a materialului.

Proprietățile materialelor sunt foarte utile în realizarea condensatoarelor, dar există puține materiale de acest tip.

Temperatura Curie - temperatura la care polarizarea dispare. (T_c)

Există 2 modalități prin care dispare polarizarea:

- (materiale cu tranziție de fază de ordinul I)
prin anularea cu salt a polarizării spontane la T_c
- prin scăderea monotonă și continuă a polarizării spontane la T_c (la materialele cu tranziție de fază de ordinul II).

Structura materialelor ferroelectrice poate fi monocristalină sau policristalină.

Piezoelectricitate

Ca urmare a câmpului electric și a inducției electrice (\vec{E} , respectiv \vec{D}) precum și a tensiunii mecanice și a deformării mecanice relative (\vec{T} , respectiv \vec{S}), acțiunea mecanică se transformă în electricitate iar electricitatea determină

variația sinusoidală a tensiunii mecanice.

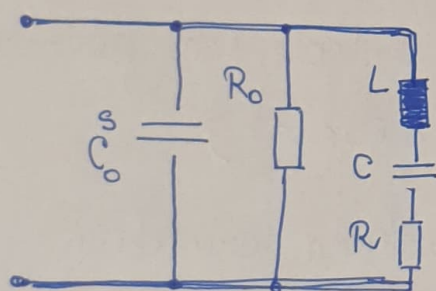
Această proprietate este evidențiată în :

$$[D] = \epsilon_0 \cdot [\epsilon^T] [E] + [d] [I]$$

$$[S] = [d_e] [E] + [s^E] [I]$$

* realizarea sursei de tensiune regenerabilă ↗

Indiferent de forma constructivă și tipul de material piezoelectric, schema electrică echivalentă, general utilizată, a unui rezonator piezoelectric în regiunea rezonanței fundamentale este :



} Reactanță R-C

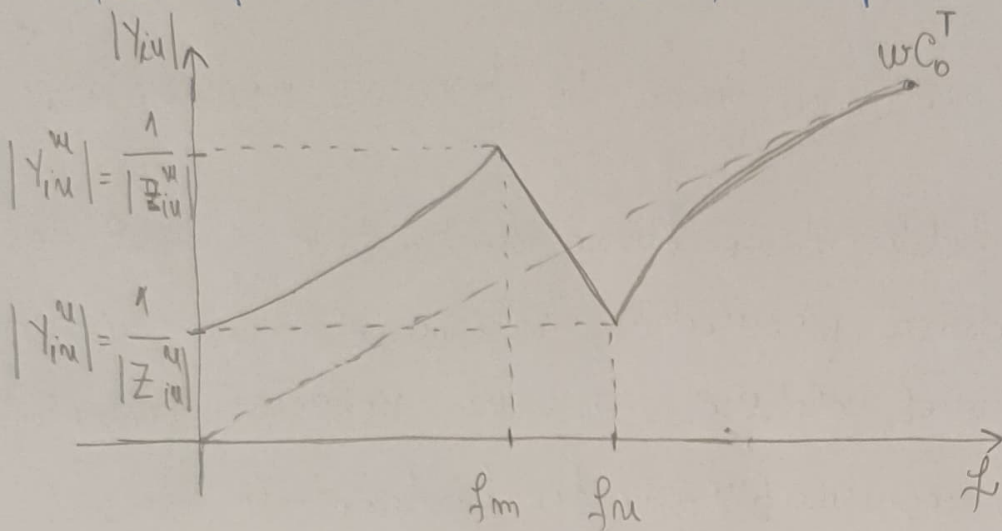
R - rezistența care atenuează oscilația circuitului L-C (det. de pierderi prin saltul electronilor)

* Circuitul serie R-L-C este activ numai în apropierea rezonanței electrice.

Există mai multe frecvențe în funcție de tipul de circuit, cele mai importante fiind:

- f_m : frecvența la care modulul admitanței este maxim.
- f_u : frecvența la care modulul — " — " minim.

$$f_m = f_u = f_s \quad ; \quad f_n = f_a = f_p.$$



Rezonatoarele piezoelectrice sunt dispozitive la care impedanța de intrare este puternic dependentă de frecvență ($10^3 < Q < 10^8$)

Materialul cu structură cristalină sunt materiale solide, anizotrope, monocristaline (cuarț , sarea Seignette) sau ceramice policristaline (titanat de bari , titanat de plumb) și care sunt numite materiale piezoelectrice.

2.

Tabel 2-1.

F [MHz]	0.3	0.5	1	4	7	10	20	30	40
C_0^S [pF]	92.596	93.224	83.739	80.240	80.977	81.757	87.747	99.447	123.98
G_0 [μ S]	20.940	63.051	42.563	63.249	92.157	122.03	229.92	542.11	1376.3
ϵ'	543.121	546.814	491.046	470.4744	474.807	479.3937	514.6121	583.4025	727.645
ϵ''	65.1618	117.724	39.72468	14.7561	12.2862	11.38851	10.73068	16.87236	32.1406
$\text{tg } \delta_\epsilon$	0.121	0.224	0.080	0.031	0.024	0.023	0.020	0.029	0.044

Relatii de calcul:

$$\epsilon' = \frac{\frac{C_0^S}{C_0} - 1}{K} + 1 = \frac{\frac{C_0^S \cdot b}{\epsilon_0 \cdot S} - 1}{K} + 1$$

$$\epsilon'' = \frac{\epsilon' \cdot G_0}{\omega_0 \cdot C_0^S}$$

$$\text{tg } \delta_\epsilon = \frac{1}{Q_\epsilon} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

$$b = 4 \text{ mm} \quad S = 176,6 \text{ mm}^2 \quad k = 0.435$$

Graficele de la punctul 2.4.1.2

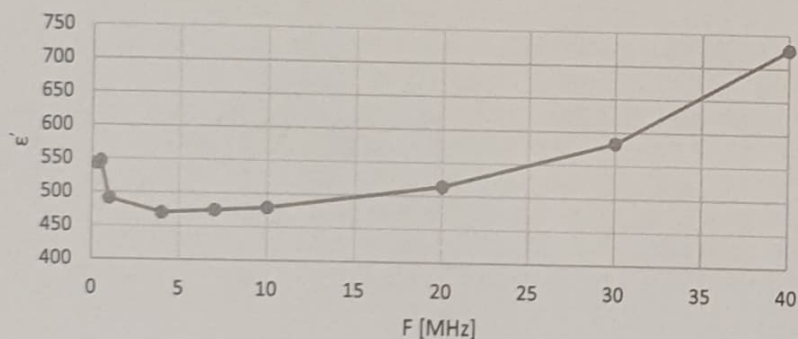
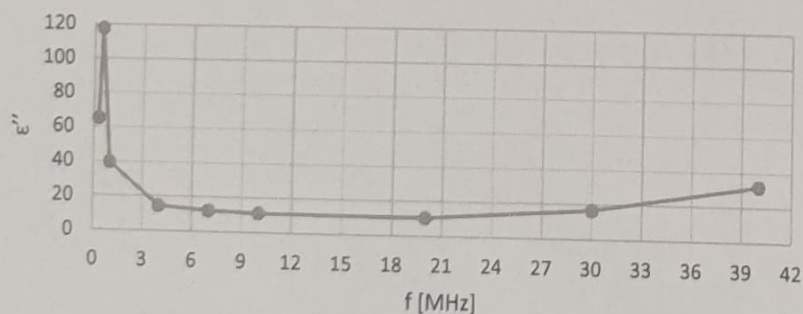
Diagrama ϵ' (F)Diagrama ϵ'' (F)

Diagrama $\text{tg } \delta \epsilon (F)$

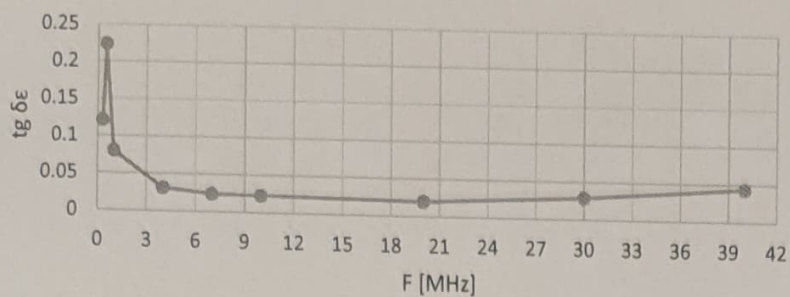
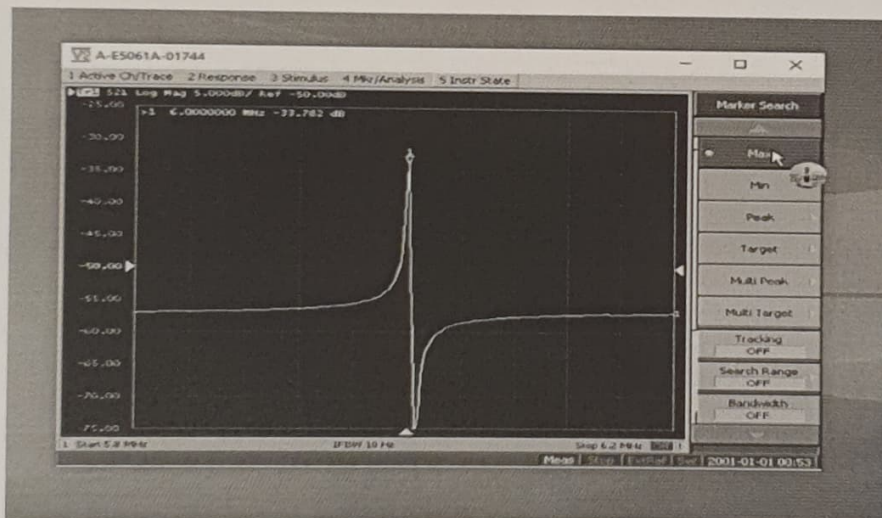
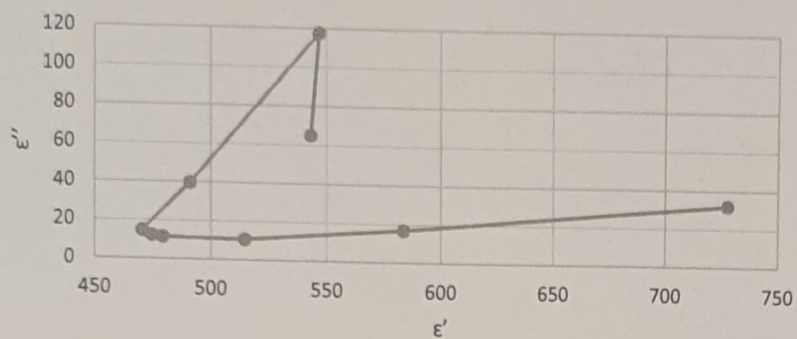
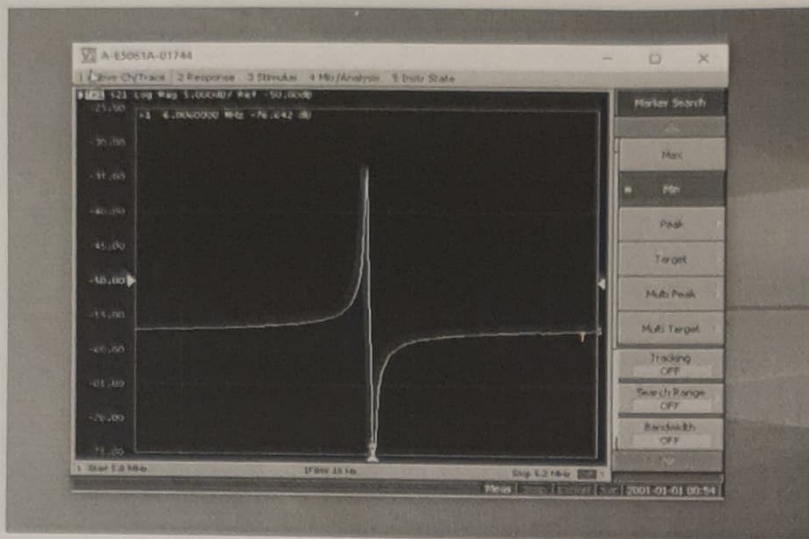


Diagrama Cole - Cole





3.

Tabel 2-2

T [°C]	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
C_0^S [nF]	1.47	1.5	1.52	1.66	1.71	1.89	2	2.15	2.36	2.5	2.7	2.9	3.1	3.6	3.9	4.2
G_0 [μ S]	1.08	1.34	4	4.2	4.6	4.9	5	5.3	5.6	5.7	6.1	6.6	7.2	5.2	5.2	6.3
ϵ'	8641.6	8817.9	8935.5	9758.7	10052.6	11111	11757.7	12639.6	13874.3	14697.5	15873.4	17049.3	18225.2	21165	22928.8	24692.7

160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
4.5	4.8	5.1	5.3	5.5	5.6	5.7	5.6	5.5	5.39	5.19	4.97	4.74	4.47	4.24	3.98	3.75	3.57	3.35
6	6	7.1	7.3	8.3	8.7	9.1	9.5	9.7	10.07	10.37	10.71	11.07	11.52	11.99	12.39	13.3	13.96	15
26456.5	28220.4	29984.2	31160.2	32336.1	32924	33512	32924	32336.1	31689.3	30513.4	29219.9	27867.6	26280.1	24927.9	23399.2	22046.9	20988.6	19695.1

Relatii de calcul:

$$\varepsilon' = \frac{\frac{C_0^s}{K} - 1}{\frac{C_0^s}{K} + 1} = \frac{\frac{C_0^s \cdot b}{K} - 1}{\frac{C_0^s \cdot S}{K} + 1}$$

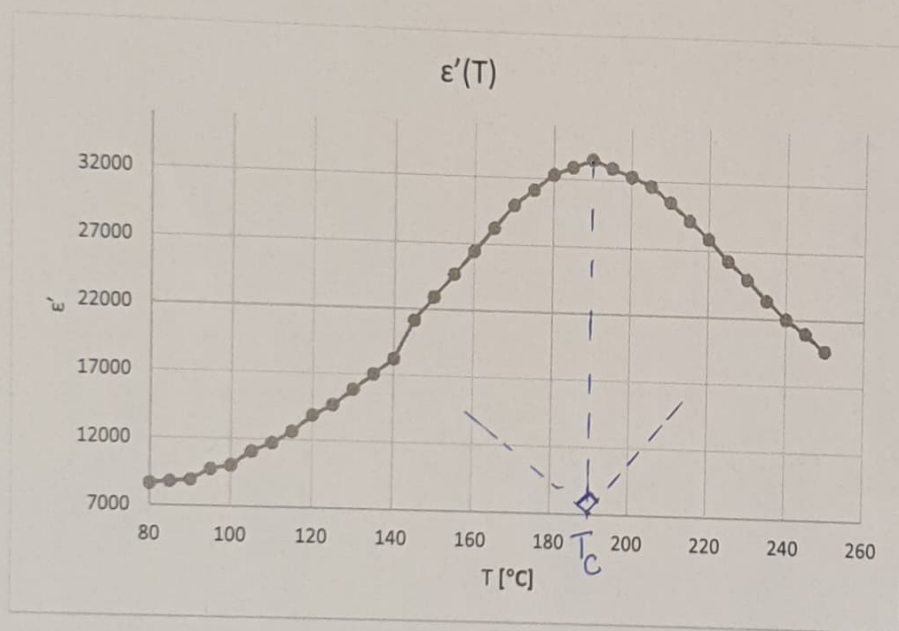
$$b = 4\text{mm}, S = 176,6\text{mm}^2, k = 0.435$$

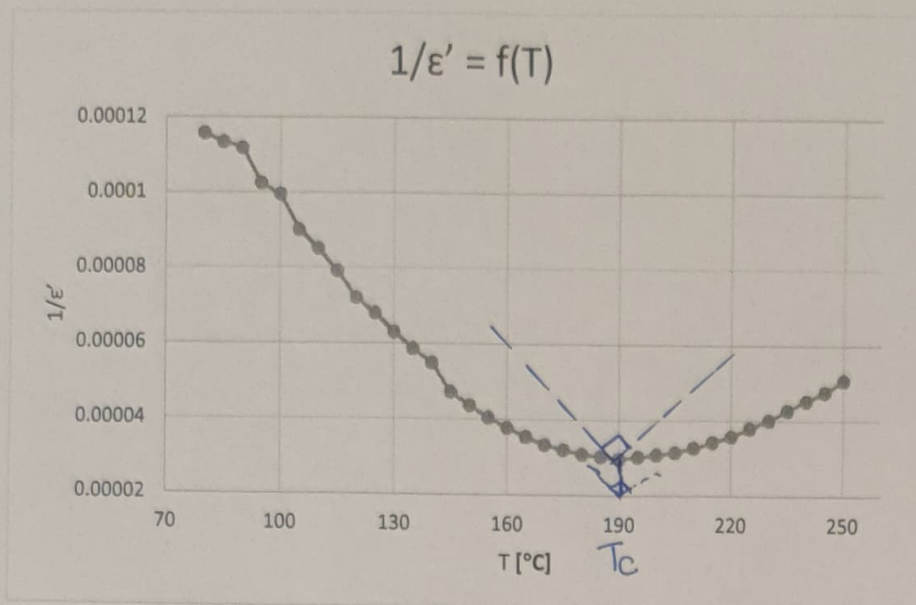
$$T_c = 190^\circ\text{C}$$

Calculăm A_0 pentru $T = 80^\circ\text{C}$, $\varepsilon' = 8641,6$

$$T < T_c \Rightarrow \varepsilon' = \frac{1}{4 \varepsilon_0 A_0 (T_c - T)} \Rightarrow A_0 = \frac{1}{4 \varepsilon' (T_c - T)} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot 8641,6 \cdot 110} = 2,629 \cdot 10^{-7} \quad (A_0 - \text{constantă fenomenologică})$$





- *Determinare temperatura Curie T_c* : din punctul de minim al graficului $1/\epsilon' = f(T)$ se duc tangentele la grafic pe axa temperaturilor. Intersectia celor doua tangente reprezinta temperatura Curie, temperatura la care ordinea de stare a materialului feroelectric se distruge avand polarizatia 0.

4. *Efectul piezoelectric* consta in interactiunea dintre marimile electrice (intensitatea curentului electric, inducta electrica) si marimile mecanice (tensiunea mecanica si deformatia mecanica relativa) ; este specific materialelor feroelectrice care prezinta polarizatie remanenta nula.

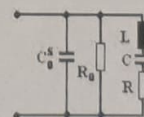
Sistemul de ecuatii care descrie cantitativ efectul piezoelectric in domeniul liniar, de semnal mic si regim armonic este :

$$[D] = \epsilon_0 [\epsilon^T] [E] + [d] [T]$$

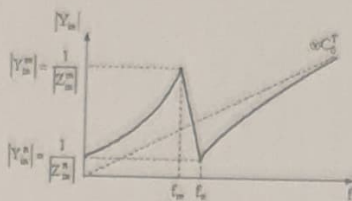
$$[S] = [d_r] [E] + [s^E] [T]$$

Proprietatile materialelor piezoelectrice se determina printr-o metoda dinamica de rezonanta care se bazeaza pe faptul ca prin aplicarea unui camp electric sinusoidal de frecventa f , punctele materiale ale unei probe vor oscila elastic forat cu aceasi frecventa f .

Indiferent de forma constructivă și tipul de material piezoelectric, schema electrică echivalentă, general valabilă, a unui rezonator piezoelectric în regiunea rezonanței fundamentale este :

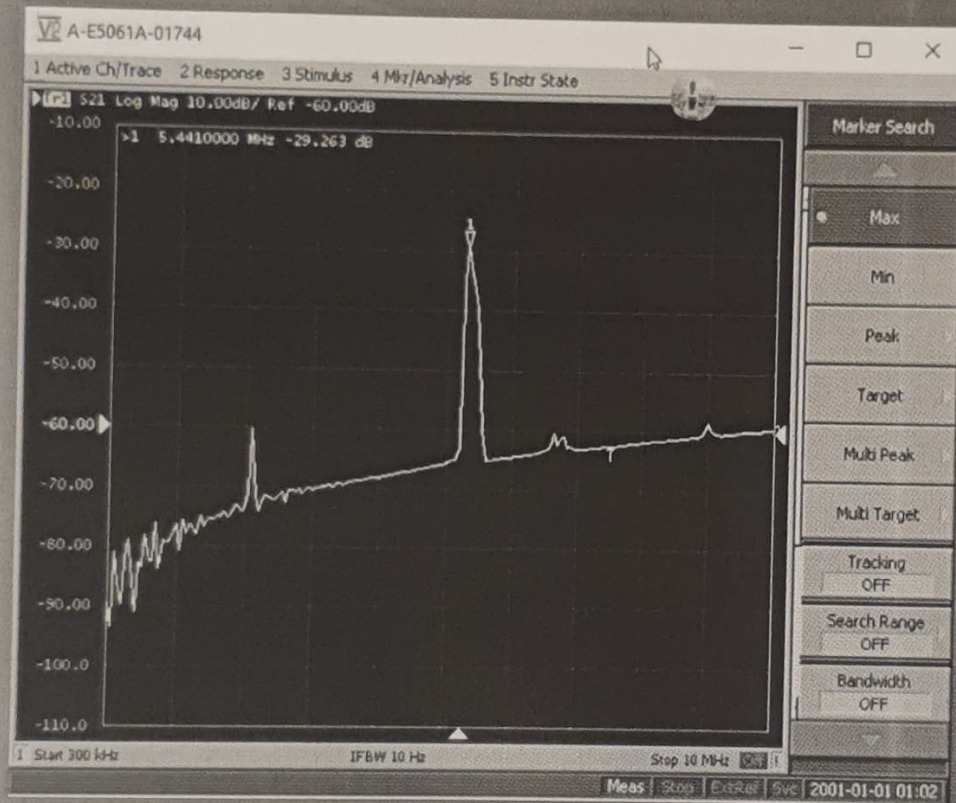


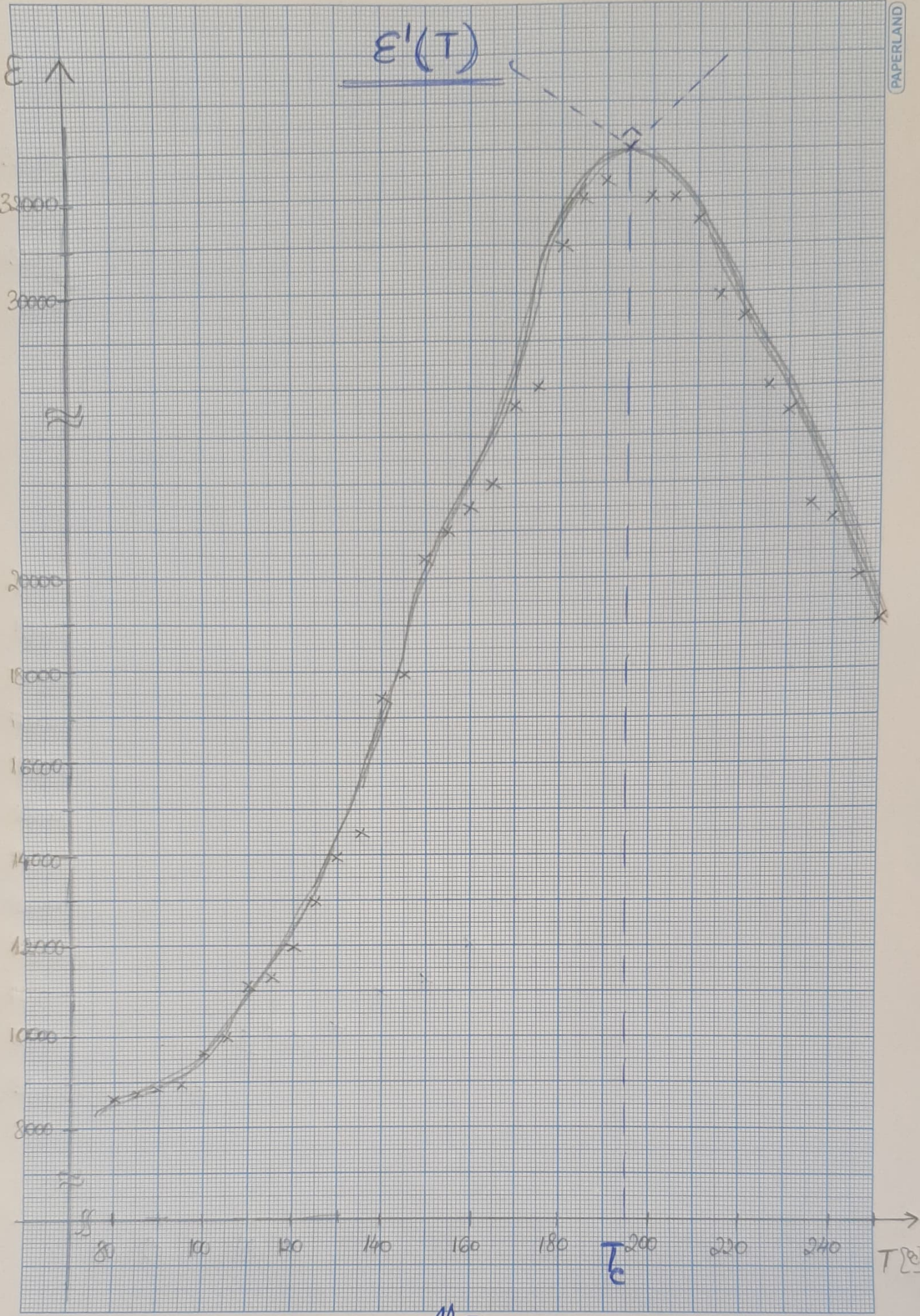
Caracteristica de frecvență a modulului admitanței de intrare a unui rezonator piezoelectric ceramic este foarte importantă. Aceasta este evidențiată în graficul:



În graficul de mai jos este reprezentată frecvența maximă a oscilațiilor pentru un filtru ceramic.

- s-au deplasat 2 puncte în dreptul filtrului ceramic și s-a introdus filtru între cele 2 puncte rezultând un filtru trece bandă - la 0.707 din amplitudine bandă trebuie să fie cât mai îngustă, cele 2 paliere de cadere cât mai abrupte iar stabilitate per filtru trebuie să fie mare
- materialele ceramice asigură o bună stabilitate





$$\frac{1}{\epsilon'}(T)$$

1/3

$\cdot 10^{-5}$

13

11

9

7

5

3

1

80

100

120

140

160

180

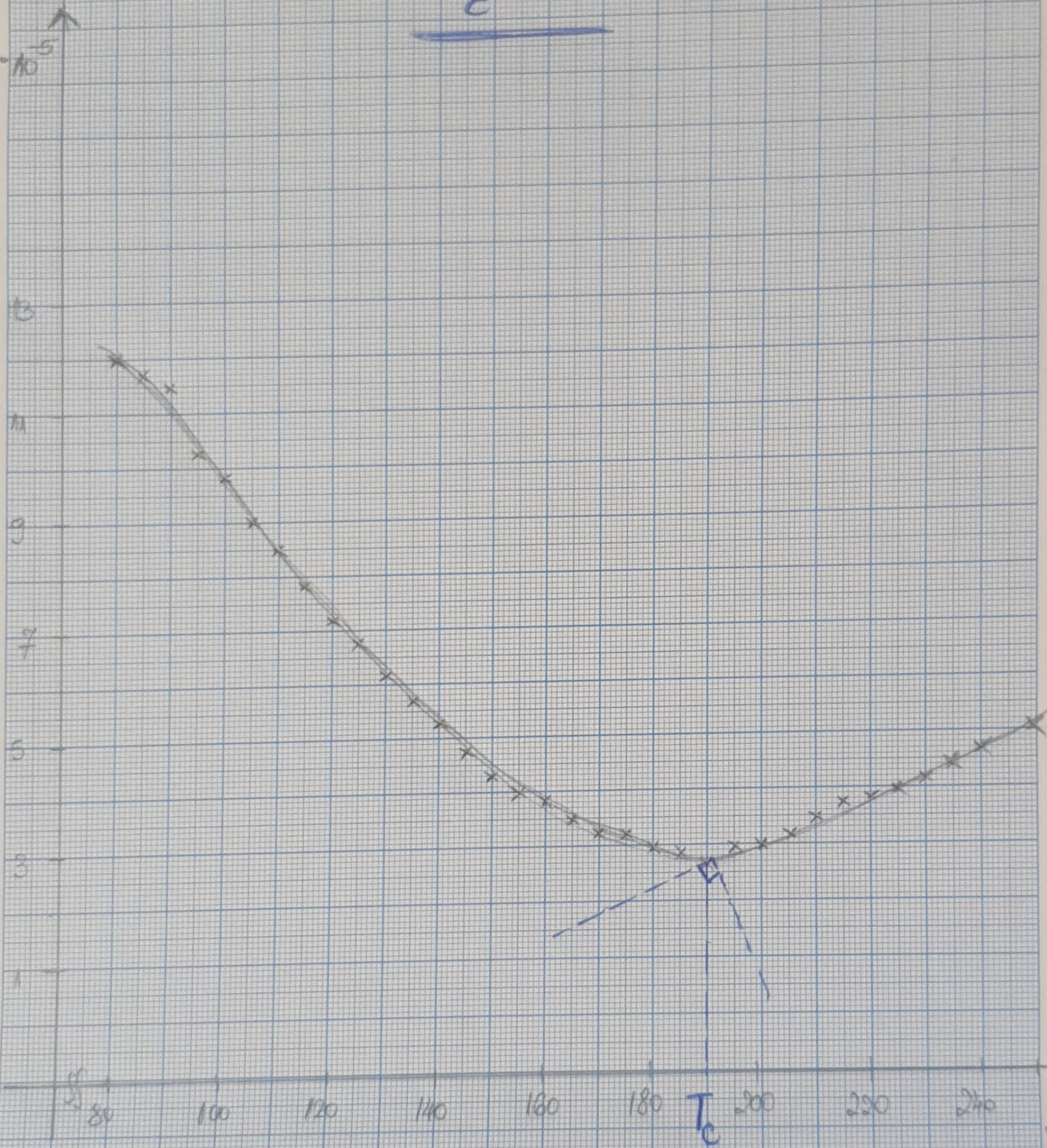
200

220

240

T_c

PAPERLAND



⑤ Concluzii, comentarii personale și răspunsuri la întrebări.

• Concluzii :

Materialurile feromagnetice feroelectrice au proprietăți asemănătoare celor dielectrice. Vectorul polarizație spontană \vec{P}_s depinde de intensitatea câmpului electric la materialul dielectric, având caracter spontan. În ceea ce privește materialele studiate în această lucrare vectorul polarizație depinde de temperatură și are caracter permanent. Această remarcă ajută la alegerea materialelor potrivite anumitor tipuri de echipamente, constituind o descriere importantă între subiectele studiate până în acest moment.

• Comentarii personale :

Pentru a reuși să cream circuite, dispozitive care să funcționeze indiferent de condițiile medii sau mecanice este necesară o bună cunoaștere a proprietăților materialelor.

Ex: materialele ceramice - oferă stabilitate

- Introducere și probleme

- ① • Elemente de simetrie cristale dielectrice din clasa mm :
- axă de rotație de ordin ∞ pe care se află dreapta suport a vectorului \vec{P}_s .
 - o infinitate de plane de oglindire care conțin această dreaptă.

Face parte din sistemul cristalografic triclinic.

- Elemente de simetrie cristale dielectrice din clasa $3m$:

- axă de rotație de ordin 3 pe care se află dreapta suport a vectorului \vec{P}_s .
- o infinitate de plane de oglindire care conțin această dreaptă.

Face parte din sistemul cristalografic trigonal, biterginal - piramidal.

- Elemente de simetrie cristale din clasa $6mm$:

- axă de rotație de ordin 6.
- o inf. de plane de oglindire.

Face parte din sistemul cristalografic hexagonal, bihexagonal - piramidal.

② Configurație tensor de permeabilitate -

- cristal de niobat de litiu (clasa de simetrie $3m$)

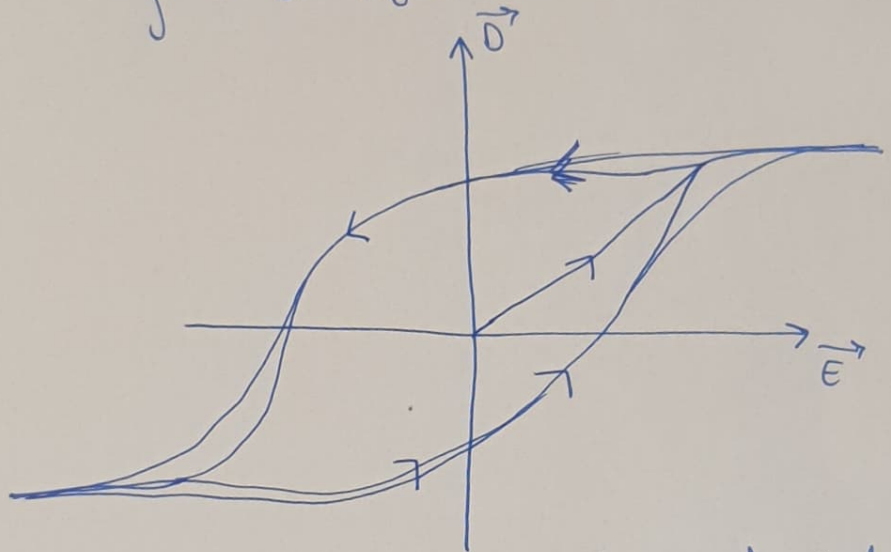
$$[\epsilon'] = \begin{bmatrix} \epsilon'_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon'_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon'_{33} \end{bmatrix}$$

③ Dependența de tip histeresis a inducției electrice de intensitatea câmpului electric (materiale feroelectrice)

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$$

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

$$\Rightarrow \vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}$$



- fenomenul prin care starea unui sistem depinde de stările precedente prin care a trecut și nu numai de cauza care a determinat acea stare.

④ Diferența dintre materialele ferroelectrice cu tranziție de fază de ordinul I și cele de ordinul II este modul în care se manifestă polarizarea spontană. La materialele de grupa I este caracteristică anularea cu salt a polarizării spontane la T_c , iar la cele de grupa II-a este evidențiată scăderea monotonică și continuă a polarizării la T_c (temp. Curie).