

Lucrarea 2:MATERIALE FEROELECTRICE

Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este determinarea dependenței de frecvență și temperatură a permitivității complexe relative și studiul efectului piezoelectric pentru materiale ceramice feroelectrice.

Conspectul platformei:

Feroelectricitatea

Materialele cu polarizare spontană sunt materiale care se caracterizează prin existența unui moment electric nenul al unității de volum în absența unui câmp electric exterior. Vectorul polarizație spontană \vec{P}_s se caracterizează prin simetria limită de tip ∞m .

Starea feroelectrică reprezintă o stare de ordine a materiei, rezultată spontan din tendința către stabilitate care corespunde unui minim al energiei libere totale a materialului. Din acest motiv temperatura influențează starea de polarizație spontană prin efectul perturbator. În consecință există o temperatură limită, numită temperatură Curie TC, la care agitația termică distruge starea de ordine dielectrică, materialul pierzând polarizarea sa spontană. După modul în care are loc tranziția de fază la temperatura Curie TC, materialele feroelectrice se împart în două categorii:

- materiale cu tranziție de fază de ordinul I caracterizate prin anularea cu salt a polarizației spontane la TC;
- materiale cu tranziție de fază de ordinul II caracterizate prin scăderea monotonă și continuă a polarizației spontane la TC. Structura materialelor feroelectrice poate fi monocristalină sau policristalină. Indiferent de structura cristalină se constată că în aceste materiale ordinea dielectrică spontană se caracterizează prin formarea de domenii dielectrice în interiorul cărora momentele electrice ale celulelor elementare sunt orientate în aceeași direcție și sens, dar diferite domenii pot avea orientări diferite. Drept rezultat polarizația macroscopică prezentată de material este în general mai mică decât valoarea corespunzătoare orientării homoparalele a tuturor momentelor dipolare elementare, putând fi și nulă.

PIEZOELECTRICITATEA

Materialele feroelectrice care prezintă polarizație remanentă nenulă se caracterizează prin efect piezoelectric direct și invers, care constă în interacțiunea dintre mărimile electrice \vec{E} și \vec{D} și marimile mecanice \vec{T} și \vec{S} .

Rezonatoarele piezoelectrice fac parte din categoria dispozitivelor piezoelectrice funcționale alături de filtrele piezoelectrice, liniile de întârziere piezoelectrice și transformatoarele piezoelectrice.

Metoda de determinare a proprietăților materialelor piezoelectrice se bazează pe faptul că prin aplicarea unui câmp electric sinusoidal de frecvență f punctele materiale ale unei probe piezoelectrice vor oscila elastic forțat cu aceeași frecvență f . Amplitudinea este maxima. Lungimea de unda λ care caracterizează propagarea undei elastic este dată de relația:

$$\lambda = \frac{v_f}{f}$$

Unde v_f - viteza de propagare a undei elastic în materialul piezoelectric

f - frecvența oscilației elastic

Desfășurarea lucrării

2.4.1 Determinarea dependenței de frecvență a permitivității complexe relative

Metoda de masura:

Se utilizează o plachetă din material feroelectric ceramic de tip PZT de suprafață S și grosime

b . Schema electrică echivalentă a probei este compusă dintr-un condensator plan C_0^S și un rezistor R_0 , în paralel.

Valorile condensatorului plan C_0^S și a rezistorului R_0 se măsoară cu ajutorul Analizorului de Rețea E 5061A, într-o gamă de frecvențe date, la temperatura ambiantă.

Se determină permitivitatea relativă reală ϵ' , permitivitatea relativă imaginară ϵ'' și tangenta unghiului de pierderi $\tan \delta_\epsilon$ cu relațiile:

$$\epsilon' = \frac{C_0^S b}{S \epsilon_0}; \tan \delta_\epsilon = \frac{1}{Q_e} \text{ si } \tan \delta_\epsilon = \frac{G_0}{\omega_0 C_0^S} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

unde ϵ_0 este permitivitatea electrică absolută a vidului: $\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12}$ F/m

și $\omega_0 = 2\pi f$ este frecvența unghiulară a semnalului.

Mod de lucru :

Se foloseste o placheta de PZT cu grosimea b se introduce intr-un dispozitiv de proba cu aria armaturilor S

a) Stabilim domeniul de frecventa 300kHz- 40MHz

b) Programam markeri la frecventele de masura

c) Notam datele in tabel

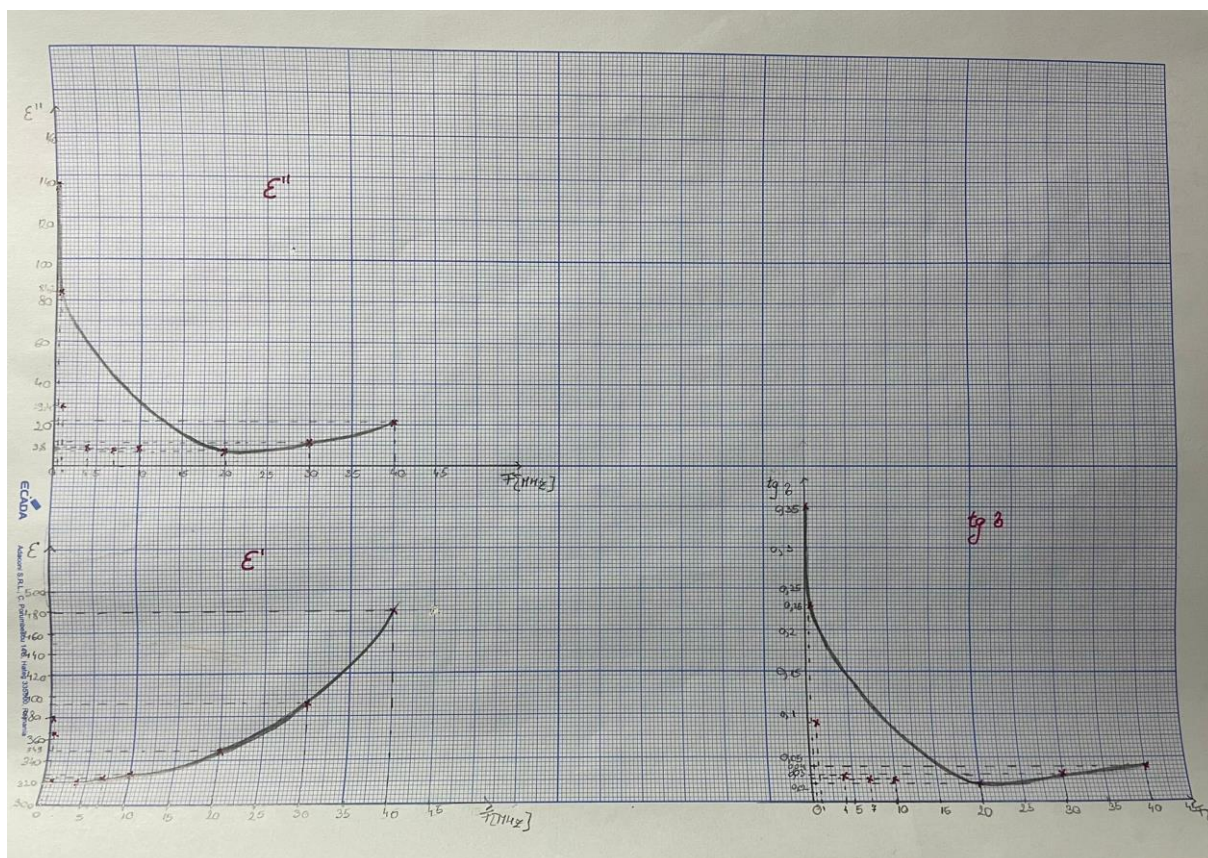
d) Calculam ε' , ε'' , $\operatorname{tg} \delta$

Tabelul 2-1

F [MHz]	0.3	0.5	1	4	7	10	20	30	40
C_0^S [pF]	89.6	86.6	76.2	76	76.7	77.6	82.6	92.7	113.3
G_0 [μ S]	60.5	62.5	43.6	58.3	86.3	126.6	217	510	1250
ε'	379.4	366.7	322.7	321.8	324.8	328.6	349.8	392.6	479.8
ε''	135.9	84.2	29.4	9.8	8.3	8.5	7.3	11.5	21.1
$\operatorname{tg} \delta_\varepsilon$	0.35	0.23	0.09	0.03	0.026	0.026	0.02	0.03	0.04

Formule folosite:

$$\varepsilon' = \frac{bC_0^S}{S\varepsilon_0}; \quad \operatorname{tg} \delta_\varepsilon = \frac{G_0}{\omega_0 C_0^S} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$



2.4.2 Determinarea dependentei de temperatura a permitivitatii complexe relative

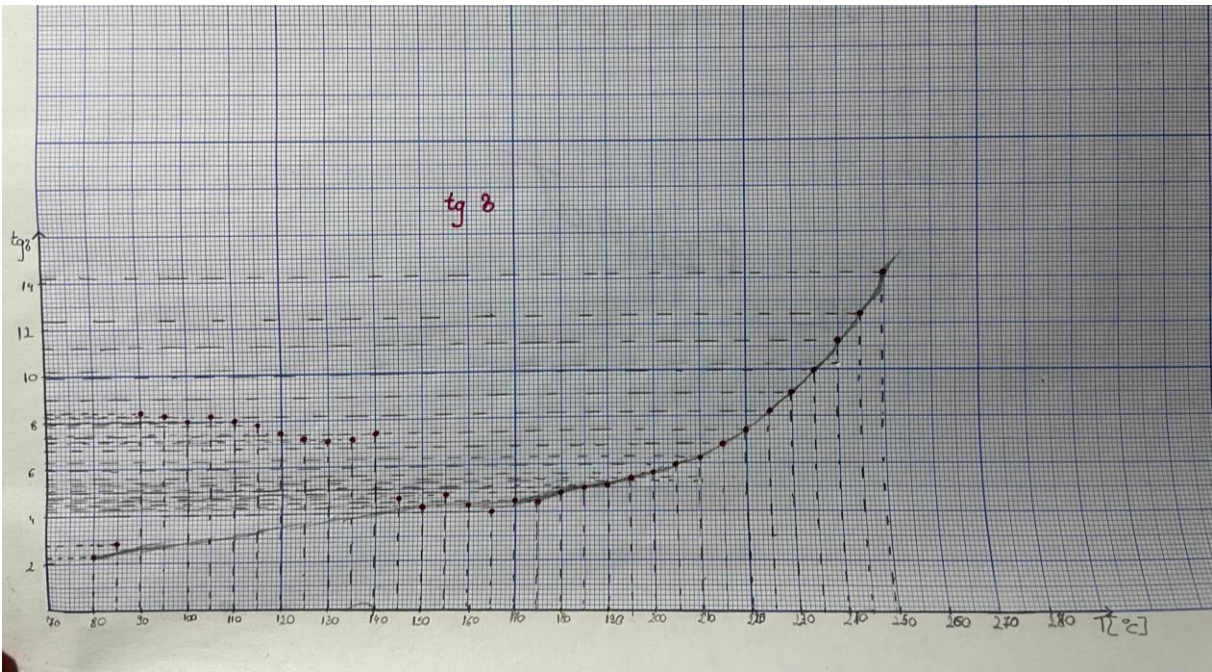
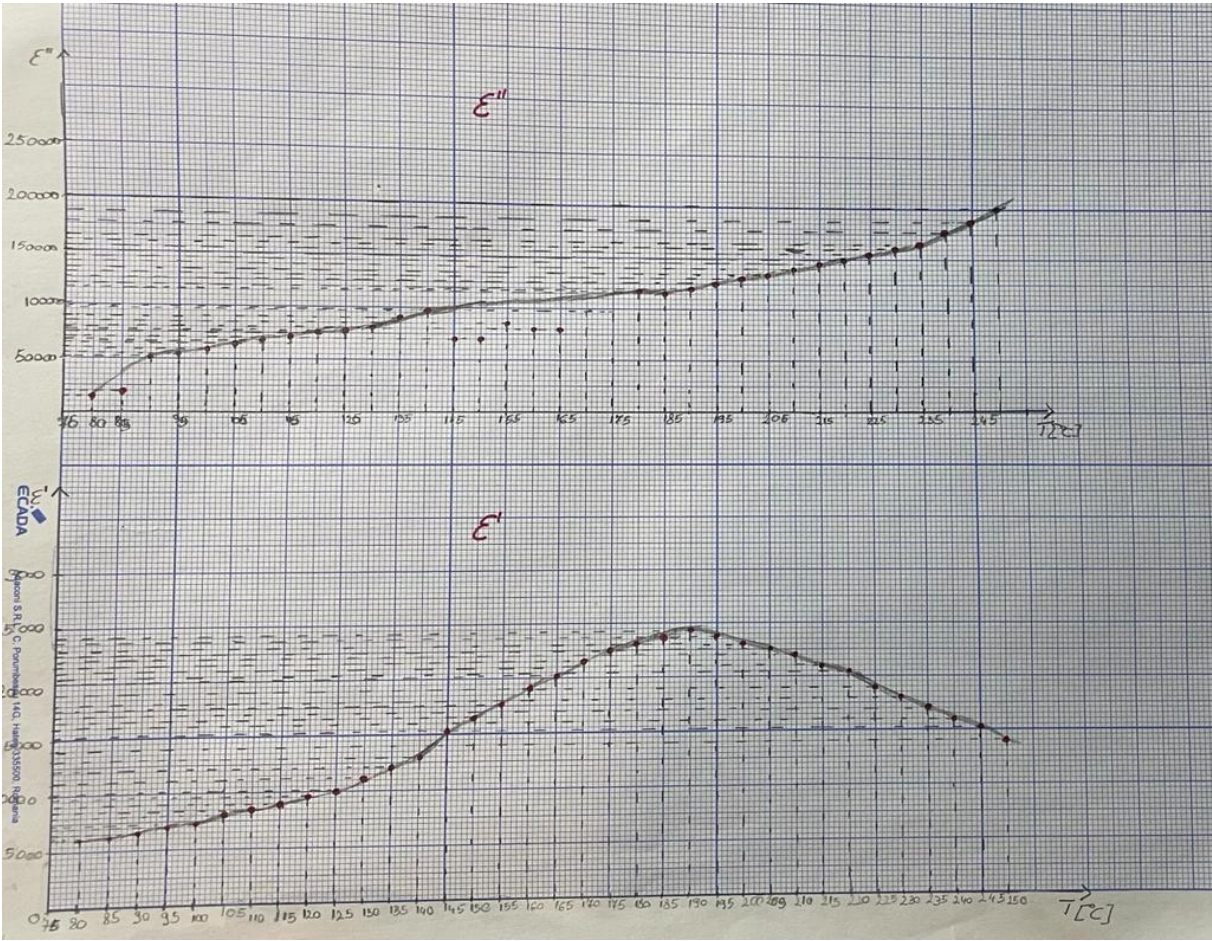
Metoda de masura

Se determină variația cu temperatura a capacității C_0^S și a conductanței $G_0 = 1/R_0$ unei probe de PZT fixată în interiorul unui cuptor. Cuptorul este încălzit cu o rezistență aflată în peretii cuptorului. Rezistența de încălzire este alimentată de la rețea prin intermediul unui autotransformator. Temperatura din interiorul cuptorului se determină cu ajutorul termometrului. Proba este fixată cu ajutorul a două tije de ceramică. Prin aceste două tije trec două fire de conexiune, conectate la o punte RLC care măsoară elementele C_0^S și G_0 ale probei.

Tabelul 2-2.

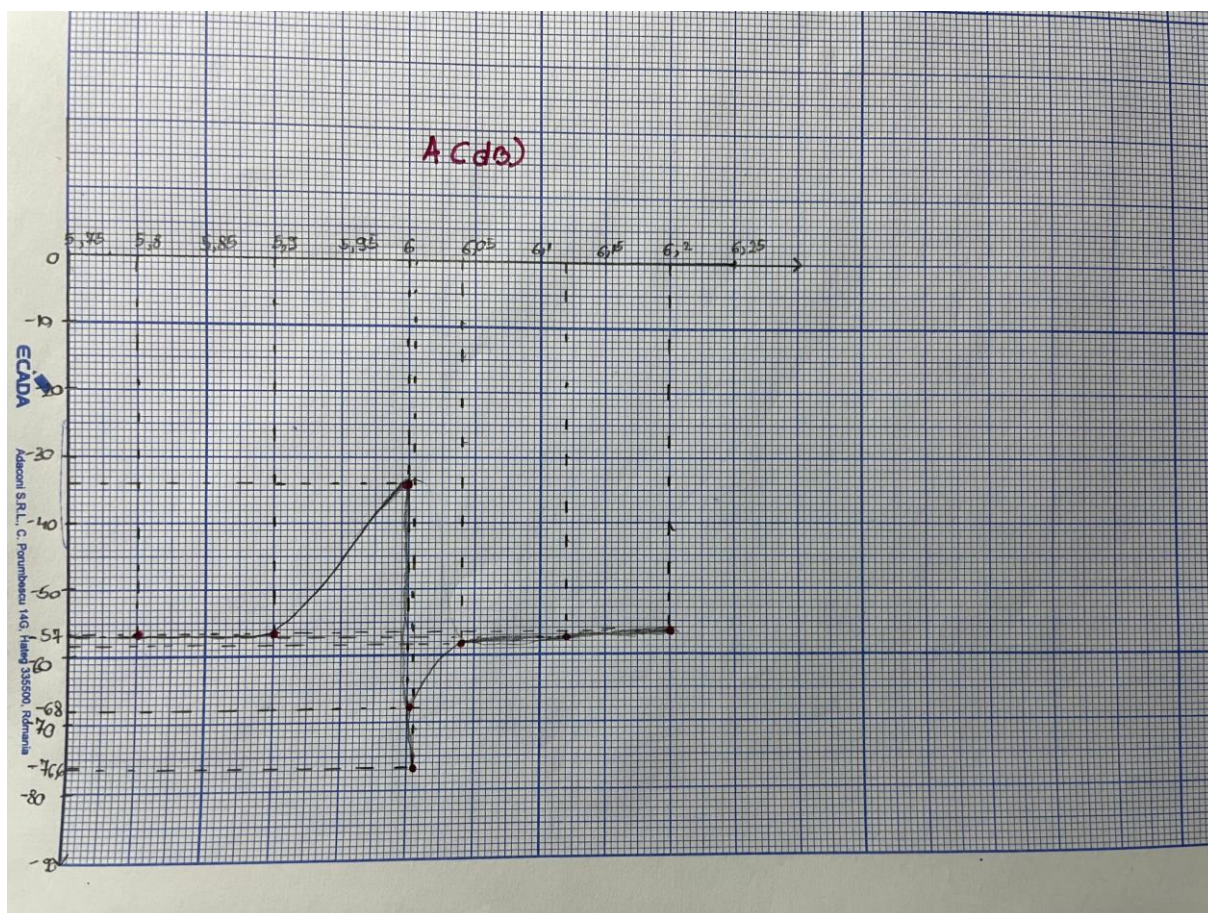
T [°C]	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
C ₀ ^S [nF]	1.47	1.5	1.52	1.66	1.71	1.89	2	2.15	2.36	2.5	2.7	2.9	3.1	3.6	3.9	4.2
G ₀ [μS]	1.08	1.34	4	4.2	4.6	4.9	5	5.3	5.6	5.7	6.1	6.6	7.2	5.2	5.2	6.3
ε'	6224.5 9	6351. 63	6436. 31	7029. 13	7240. 85	8003. 05	8468. 83	9104	9993. 22	10586	11432 .9	12279.8 1	13126.6 9	15243. 9	16514. 22	17784. 6
ε"	14564. 22	1807 0.45	5394 1.58	5663 8.68	6203 2.19	6607 8.86	6742 6.85	7147 2.53	75518 .23	76866 .71	82260 .84	89003.2 8	97094.3 7	70124. 09	70124. 08	84958. 29
tgδ _ε	2.33	2.82	8.38	8.3	8.05	8.25	7.96	7.85	7.55	7.26	7.19	7.24	7.39	4.6	4.24	4.77

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
19054. 9	20325 .2	2159 5.53	22442 .41	2328 9.3	237 12.7	2413 6.18	23712 .7	23289 .3	22823 .51	21976 .63	21045 .05	20071 .1	18927 .85	17953 .9	16853	1587 9.1	15116 .87	1418 5.3
80912. 33	80912 .42	9844 3.63	98443 .58	1118 29.1	117 322. 2	1227 17.2	12811 1.1	13080 8.1	13579 8.6	13984 3.9	14442 8.5	14928 3.4	15535 1.3	16168 9.1	16708 4.8	17935 6.6	1882 56.5	2022 80.5
4.24	3.98	4.55	4.38	4.8	4.94	5.08	5.4	5.61	5.95	6.36	6.86	7.43	8.21	9.01	9.92	11.29	12.4 5	14.2 6



Tabelul 2-3.

			f_m		f_n			
$f(\text{MHz})$	5.8	5.9	6	6.004	6.006	6.04	6.12	6.2
$A(\text{db})$	-57	-56.9	-33.9	-68	-76.6	-58.6	-57.3	-56.9



Concluzie

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

Întrebări și probleme

1. Prezentați elementele de simetrie caracteristice cristalelor dielectrice din clasele de simetrie **mm**, **3m** și **6mm**. Căror sisteme cristalografice le aparțin aceste cristale?

Elementele de simetrie caracteristice cristalelor dielectrice din clasa de simetrie **mm**, **3m** și **6mm** sunt planul de simetrie, axa de simetrie și centrul de simetrie.

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie mm prezinta :

- o axa de rotatie de ordin 1
- plane de reflexie care contin aceasta dreapta
- sistem cristalin

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie $3mm$ prezinta :

- o axa de rotatie de ordin 3
- plane care contin aceasta dreapta

Cristalele dielectrice din clasa de simetrie $6mm$ prezinta :

- o axa de rotatie de ordin 6
- plane care contin aceasta dreapta
- sistem cristalin hexagonal

2. Să se determine configurația concretă a tensorului de permitivitate pentru cristalul de niobat de litiu care face parte din clasa de simetrie **3m**.

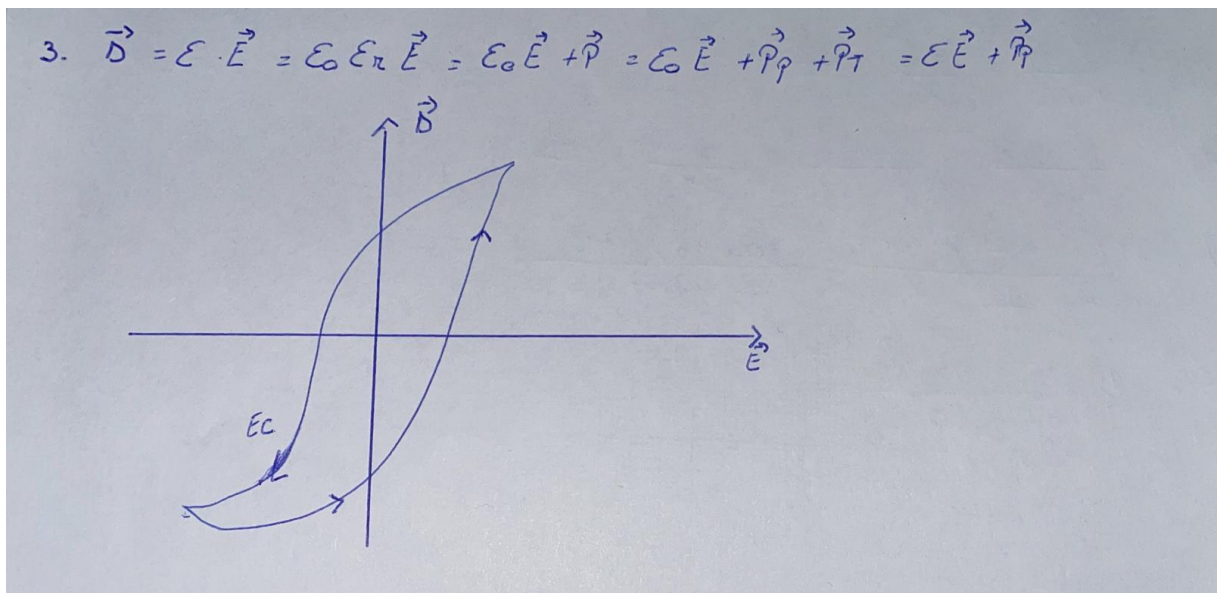
Handwritten solution for the permittivity tensor $[\epsilon']$ of a crystal with $3m$ symmetry. The tensor is shown as a 3x3 matrix with diagonal elements ϵ'_{11} , ϵ'_{22} , and ϵ'_{33} , and all off-diagonal elements are zero. Below the matrix, a note states: "Cristalul de niobat de litiu are axa de simetrie 3mm și 3 plane de simetrie care conțin dreapta". At the bottom, the formula $\epsilon' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{\eta a}$ is written.

$$2. [\epsilon'] = \begin{bmatrix} \epsilon'_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon'_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon'_{33} \end{bmatrix}$$

Cristalul de niobat de litiu are axa de simetrie 3mm și 3 plane de simetrie care conțin dreapta

$$\epsilon' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{\eta a}$$

3. Să se prezinte dependența de tip histerezis a inducției electrice (\vec{D}) de intensitatea câmpului electric (\vec{E}) caracteristică unui material ferroelectric.



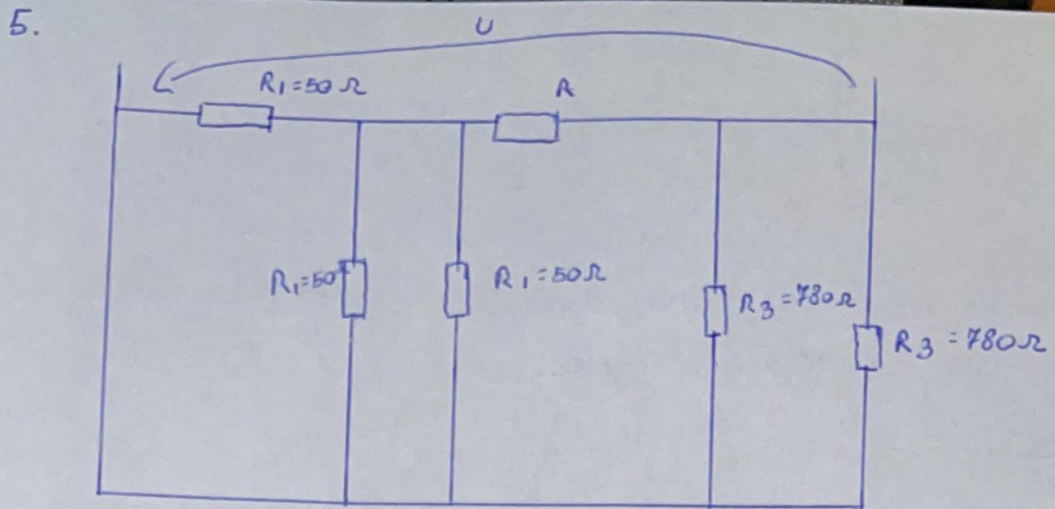
4. Prin ce proprietăți fizice diferă materialele feroelectrice cu tranziție de fază de ordinul I de materialele feroelectrice cu tranziție de fază de ordinul II?

În funcție de modul în care are loc tranziția de fază la temperatura Curie T_C , materialele feroelectrice se împart în două categorii :

- Materiale cu tranziție de fază de ordin I caracterizate prin anularea cu salt a polarizării spontane la T_C
- Materiale cu tranziție de fază de ordin II caracterizate prin scăderea monotona și continuă a polarizării spontane la T_C

5. Pe baza rezultatelor măsurărilor efectuate la punctul 2. 2.3.b să se calculeze impedanța corespunzătoare a rezonatorului măsurat la frecvențele f_n și f_m și să se precizeze ce reprezintă aceste impedanțe. Pentru aceasta trebuie ținut cont de următoarele:

- 0dB corespunde unei tensiuni de 226mV.
- În paralel cu cele două rezistențe de 780Ω este prezentă și impedanța de intrare a portului 2 a analizorului de rețele în valoare de 50Ω .



$$R_{p1} = \frac{R_3 R_3}{R_3 + R_3} = \frac{R_3^2}{2R_3} = \frac{780}{2} = 390 \Omega$$

$$R_{p2} = \frac{R_1 R_1}{R_1 + R_1} = \frac{R_1^2}{2R_1} = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_{p2}}{R_1 + R_{p2}} = \frac{50 \cdot 25}{50 + 25} = \frac{50 \cdot 25}{75} = \frac{50}{3} \Omega$$

$$R_e = \frac{\left(R + \frac{50}{3}\right) \cdot R_{p1}}{R + \frac{50}{3} + R_{p1}} = \frac{(50 + 3R) \cdot 390}{50 + 3R + 3 \cdot 390}$$

$$R_e = \frac{19500 + 1170R}{3R + 1220}$$