

Группа М3205

К работе допущен _____

Студент Аврора Степанюк, Виктория
Тросько

Работа выполнена _____

Преподаватель Хвастунов Николай
Николаевич

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.06

Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков

1. Цель работы.

- Определение значений электрического смещения насыщения D_s , остаточной поляризации P_r , коэрцитивной силы E_c для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.
- Расчет диэлектрических потерь за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.
- Получение зависимостей смещения D и диэлектрической проницаемости ε от напряженности электрического поля E .
- Определение значений начальной и максимальной диэлектрической проницаемости.

2. Объект исследования.

Электрические свойства сегнетоэлектриков

3. Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения

4. Рабочие формулы и исходные данные.

$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \frac{\oint D dE}{D_s E_s}$ – тангенс угла потерь. D – электрическая индукция, E – напряженность электрического поля, E_s и D_s – амплитуды напряженности и индукции электрического поля, соответственно.

$D = \sigma = \frac{q}{S} = \frac{C_2 U_{C_2}}{S} = \frac{C_1 U_{C_1}}{S}$ – модуль вектора электрической индукции \vec{D} равен поверхностной плотности заряда на обкладках. C_1 и C_2 – электроёмкость конденсаторов, U_{C_1} и U_{C_2} – напряжение на конденсаторах, S – площадь конденсаторов.

$E = \frac{U_{C_2}}{d} = \frac{U_{C_2}}{d} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}$ – напряженность электрического поля в сегнетоэлектрике. U_{R_1} – напряжение на первом резисторе, d – толщина сегнетоэлектрика, R_1 и R_2 – сопротивление резисторов.

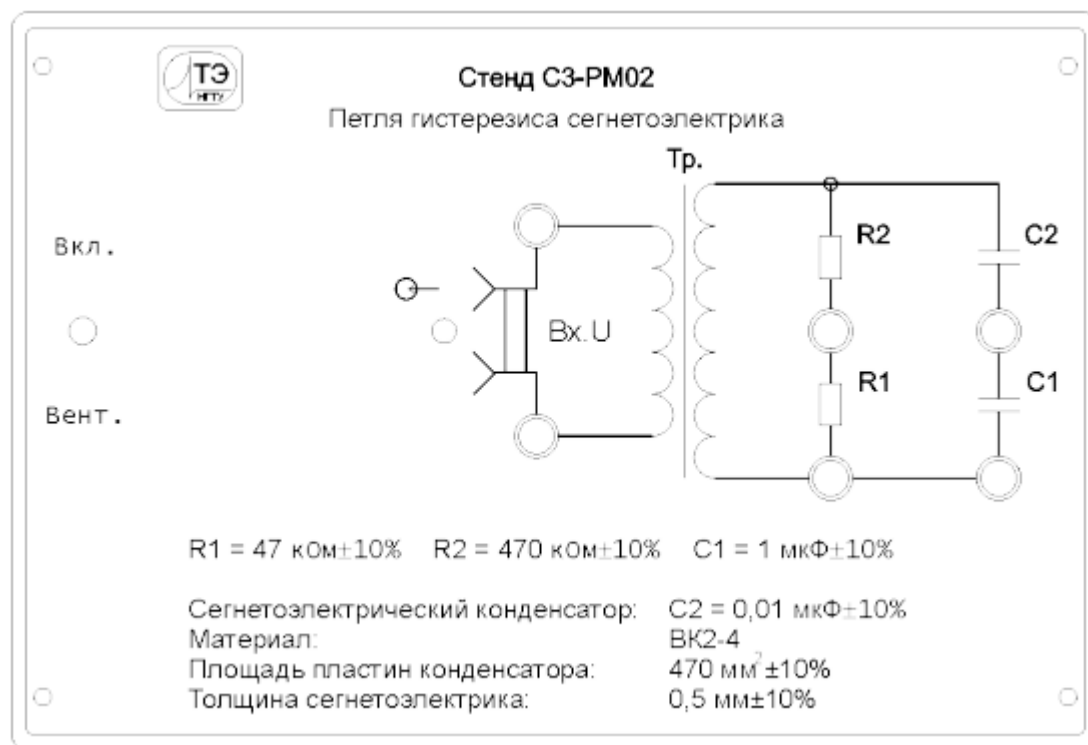
$\varepsilon_1 = \frac{D}{\varepsilon_0 E}$ – диэлектрическая проницаемость. E – напряженность электрического поля, D – электрическая индукция, $\varepsilon_0 = 8,6 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ – электрическая постоянная.

5. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность измерения
1	Измеритель Статистических Характеристик, «ИСХ1»	$I: 0,002 \text{ A}$ $U: 3 \text{ В}$	$I: 0,0000001 \text{ A}$ $U: 0,002 \text{ В}$	$I: \pm 0,0002 \text{ A}$ $U: \pm 0,2 \text{ В}$

6. Схема установки.

Принципиальная электрическая схема установки

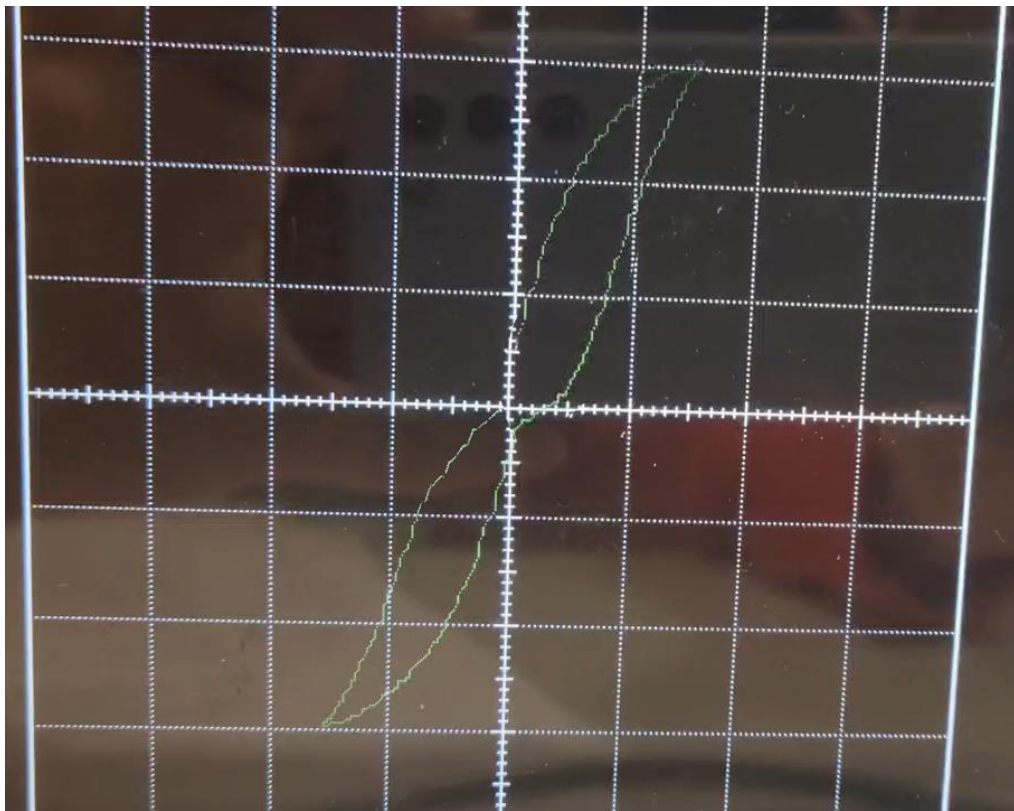


7. Начальные данные

Таблица 1: Параметры установки

Величина	Значение	СИ	Погрешность, %
Установка			
$C_1, \text{мкФ}$	1	0,000001	10
$R_1, \text{кОм}$	47	47000	10
$R_2, \text{кОм}$	470	470000	10
Сегнетоэлектрический конденсатор			
$C_2, \text{мкФ}$	0,01	0,00000001	10
$S, \text{мм}^2$	500	0,0005	10
$d, \text{мм}$	0,5	0,0005	10

8. Результаты прямых измерений и их обработки



Задание 1.

Таблица 2: значения параметров для задания 1

D_s , дел. экрана	D_r , дел. экрана	E_c , дел. экрана	E_s , дел. экрана
3,1	0,5	0,5	3

Задание 2.

Таблица 3: Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля

Физические величины								
№	U , В	$K_x, \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$K_y, \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	X , дел	Y , дел	$E, \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$	$D, \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$	ϵ
1	17	5	5	3	3,1	330	31000	10614,62
2	15	5	5	2,7	2,8	297	28000	10652,67
3	13	5	5	2,3	2,4	253	24000	10718,83
4	11	5	5	1,9	1,9	209	19000	10272,21
5	9	2	2	4	3	176	12000	7704,16
6	7	2	2	3,1	1,7	136,4	6800	5633,15
7	5	2	2	2,2	0,7	96,8	2800	3268,43
8	4,4	1	1	3,9	1,1	85,8	2200	2897,29
9	3,8	1	1	3,4	0,8	74,8	1600	2416,99
10	3,2	1	1	2,4	0,6	52,8	1200	2568,05
11	2,6	1	1	2,3	0,4	50,6	800	1786,47
12	2	0,5	0,5	3,6	0,6	39,6	600	1712,03
13	1,4	0,5	0,5	2,4	0,3	26,4	300	1284,03
14	0,8	0,2	0,2	3,5	0,4	15,4	160	1173,97
15	0,6	0,05	0,05	3,2	0,3	3,52	30	963,02

9. Расчет результатов косвенных измерений

Для предельной петли гистерезиса найдем значение коэрцитивного поля $E_c \approx 2.5 \text{ В}$, $P_r \approx D_r \approx 0,5 \text{ В}$.

Площадь петли $S_{\text{петли}} \approx 3,2 \text{ дел.} = 160 \text{ В}^2$.

Тогда найдем тангенс угла диэлектрических потерь:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \frac{\oint D d E}{D_s E_s} = 0,1095$$

Пример вычисления смещения и напряженности для первого замера (последующие представлены в таблице 3):

$$D_1 = \frac{C_1 U_{C_1}}{S} = 31000 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$$

$$E = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d} = 330 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{D_1}{\varepsilon_0 E_1} = 10614,62$$

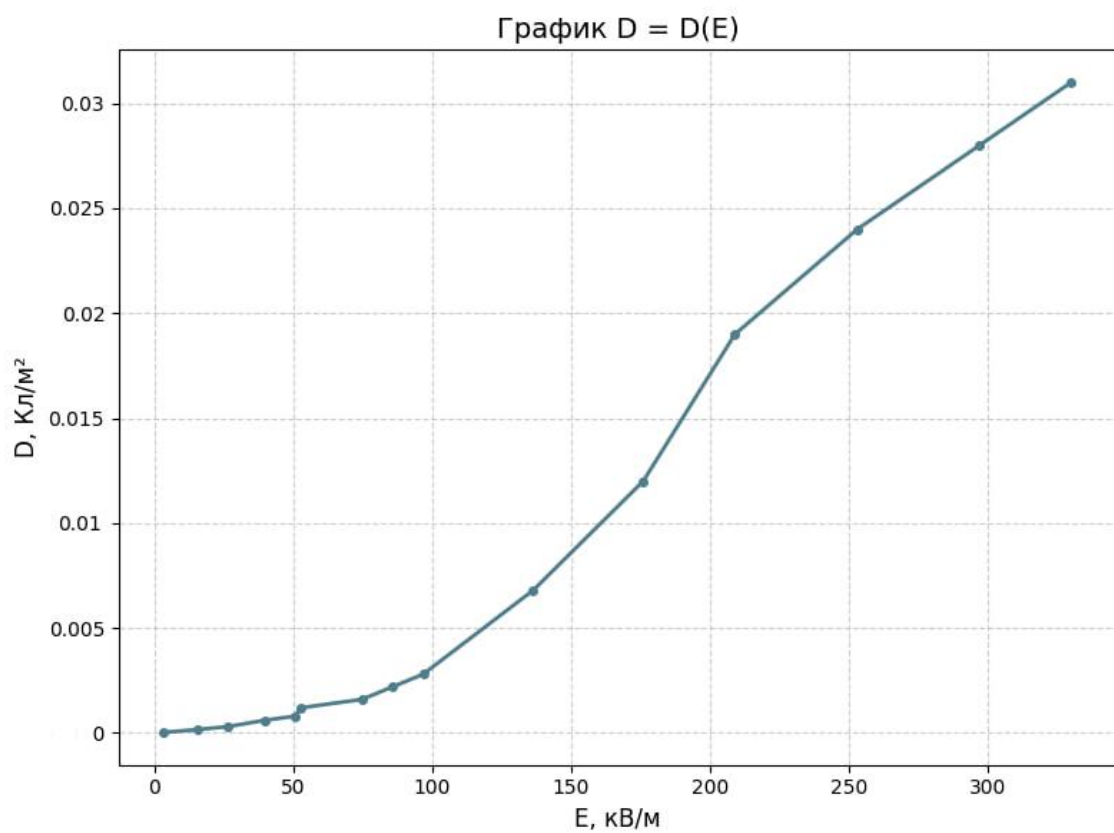
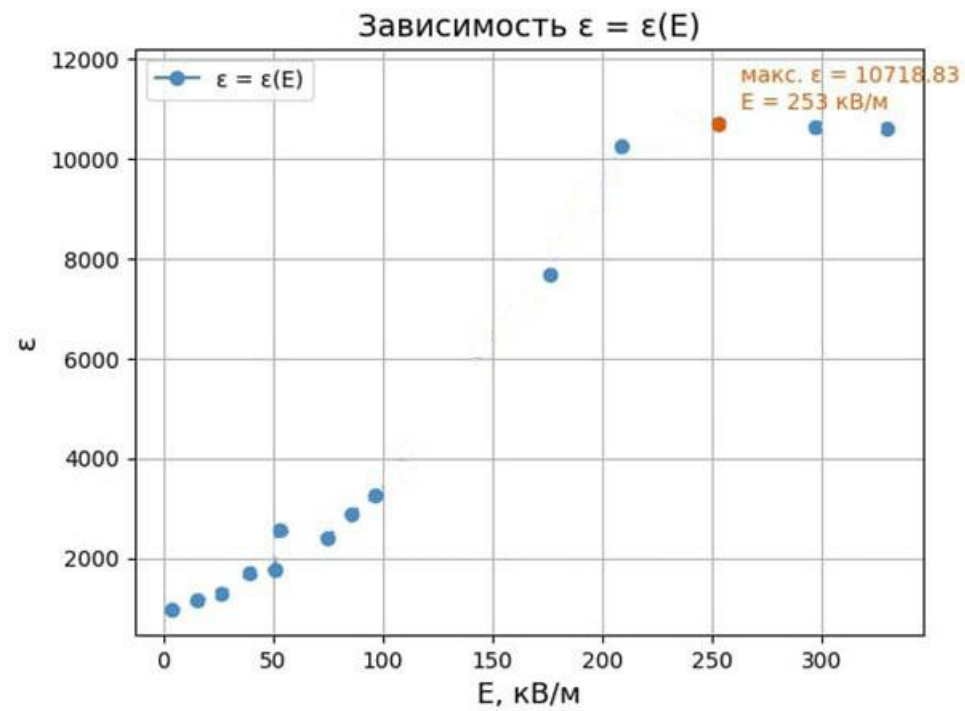
10. Расчет погрешностей измерений.

$$\Delta_{D_1} = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial C_1} \Delta_{C_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial S} \Delta_S\right)^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial U_{C_1}} \Delta_{U_{C_1}}\right)^2} = \sqrt{2900^2 + 2900^2 + 500^2} = 4131,59 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$$

Таблица 3: Погрешности вычислений

№	$\Delta_E, \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$	$\Delta_D \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$	Δ_ε
1	47,12	4820	1715
2	39,05	4510	1900
3	34,5	3990	1923
4	29,8	3500	1935
5	24	2780	1958
6	18,5	1910	1675
7	13,1	1050	1385
8	11,9	490	670
9	9,8	360	580
10	8,7	225	428
11	6,6	155	330
12	5,4	105	320
13	4,1	60	250
14	2,8	30	135
15	1,2	15	210

11. Графики.



12. Окончательные результаты.

$$\epsilon_{\text{нач}} = 789,17 \pm 247,11$$

$$\epsilon_{\text{макс}} = 10718,83$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе данной работы мы исследовали параметры предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика. Получили значения коэрцитивного поля, электрического смещения насыщения, остаточной поляризации, криволинейные зависимости смещения и диэлектрической проницаемости напряженности электрического поля.

Мы получили тангенс угла электрических потерь, из значения которого можно найти и сам угол. $\delta = \arctg(0,1095) = 0,109$ радиан – значение угла небольшое, что говорит о низком уровне потерь.

Результаты эксперимента наглядно подтверждают нелинейность диэлектрических свойств сегнетоэлектриков, что подтверждает их уникальность как отдельного класса материалов.

14. Замечания, полученные в процессе работы

1. Экспериментальные точки не соединяются на графике. (график зависимости $\varepsilon = \varepsilon(E)$).