

Группа ФИЗ-2 Э БИТ 1.1.1

Студенты Бардышев Артём

Машин Егор

Суханкулиев Мухаммет

Шегай Станислав

Преподаватель _____

К работе допущены _____

Работа выполнена _____

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.06

Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков

1. Цель работы.

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Изучить предельную петлю гистерезиса.
2. Измерить зависимость смещения D от напряженности E .

3. Объект исследования.

Сегнетоэлектрический конденсатор (вариконд) ВК2-4.

4. Метод экспериментального исследования.

Экспериментальный метод.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

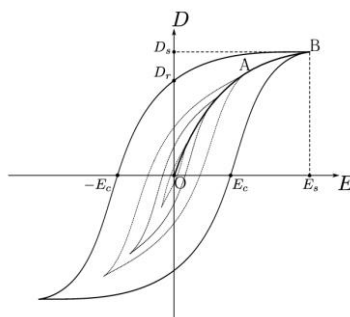


Рисунок 1 – Петля гистерезиса сегнетоэлектрика

Формулы:

1. Модуль вектора электрической индукции \vec{D} равен поверхностной плотности заряда на обкладках:

$$D = \frac{C_1}{S} \cdot U_{C_1}$$

2. Напряженность электрического поля E в сегнетоэлектрике:

$$E = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}$$

3. Тангенс угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектриках:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \oint \frac{D_r dE_c}{D_s E_s}, \text{ где } D_s \text{ и } E_s \text{ в дел.}$$

4. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика:

$$\varepsilon = \frac{D}{\varepsilon_0 E}$$

5. $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$

6. Остаточная поляризация:

$$D_r = P_r + \varepsilon_0 E_c \Rightarrow P_r = D_r - \varepsilon_0 E_c$$

Исходные данные:

$$R_1 = 47 \text{ кОм} \pm 10\%; R_2 = 470 \text{ кОм} \pm 10\%;$$

$$C_1 = 1 \text{ мкФ} \pm 10\%; C_2 = 0.01 \text{ мкФ} \pm 10\%;$$

$$\text{Площадь пластин конденсатора: } S = 500 \text{ мм}^2 \pm 10\%;$$

$$\text{Толщина сегнетоэлектрика: } d = 0.5 \text{ мм} \pm 10\%.$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон
1	СЗ-РМ02	Стенд	0–20 В
2	ИСХ1	Осциллограф	0–20 В

7. Схема установки.

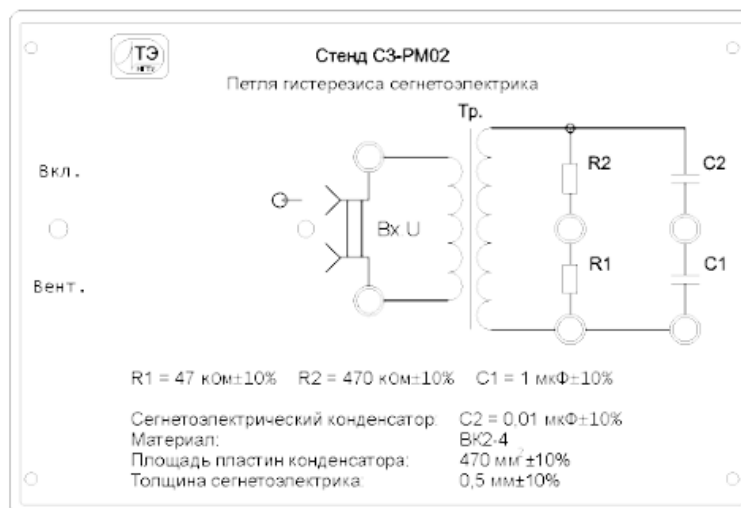


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема установки

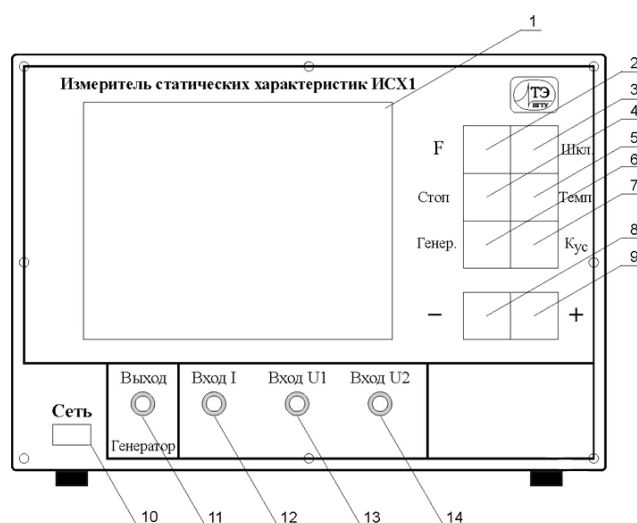


Рисунок 3 – Общий вид панели лицевой панели «ИСХ-1»

1. графический дисплей;
2. кнопка выбора режима работы «F»;
3. кнопка выбора шкалы «Шкл.»;
4. кнопка запоминания оцифрованного сигнала «Стоп»;
5. кнопка выбора температурного режима «Темп.»;
6. кнопка управления генератором «Генер.»;
7. кнопка выбора коэффициента отклонения «Кус»;
8. кнопка уменьшения выбранной величины «←»;
9. кнопка увеличения выбранной величины «→»;
10. кнопка выключателя «Сеть»;
11. выход генератора;
12. вход тока I;
13. вход напряжения U1;
14. вход напряжения U2;

8. Результаты прямых измерений и их обработки.

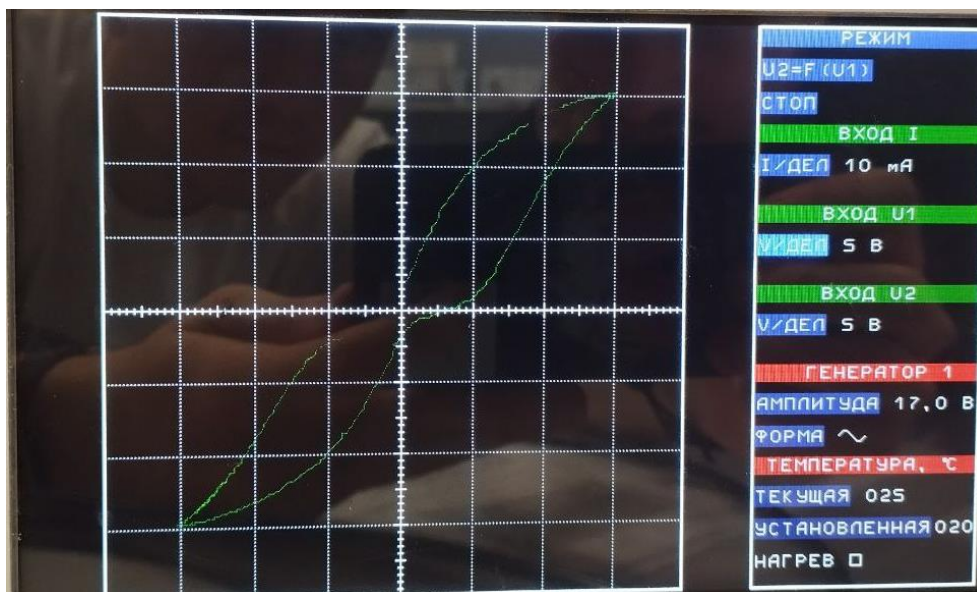


Рисунок 4 – Предельная петля гистерезиса (на фоне мы :D)

PS На рисунке показана «неправильная» петля. Данные с нашей правильной петли:

$$D_s = 2.6 \text{ дел}; E_s = 3 \text{ дел}; D_r = 0.8 \text{ дел}; E_c = 0.6 \text{ дел}.$$

Примерная площадь петли гистерезиса (по сделанной фотографии):

$$S \approx 7.6 \text{ дел}^2$$

Согласно размерности 1 дел = 5 В. Тогда:

$$U_{c1} = 2.6 \cdot 5 \text{ В} = 13 \text{ В}$$

$$U_{R1} = 3 \cdot 5 \text{ В} = 15 \text{ В}$$

Вычислим E_c, D_s, P_r при помощи формул (1, 2):

$$D_s = \frac{0.000001 \text{ Ф}}{0.0005 \text{ м}^2} \cdot 13 \text{ В} = \mathbf{0.026} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$E_c = \frac{47000 + 470000 \text{ Ом}}{47000 \text{ Ом}} \cdot \frac{15 \text{ В}}{0.0005 \text{ м}} = \mathbf{330000} \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Таблица 1 – Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля

№	Физические величины							
	$U, \text{В}$	$K_x, \text{В/дел}$	$K_y, \text{В/дел}$	$X, \text{дел}$	$Y, \text{дел}$	$E, \text{В/м}$	$D, \text{Кл/м}^2$	ε
1.	17	5	5	3	2,6	330000	0,026	8902,59
2.	15	5	5	2,5	2,4	275000	0,024	9861,33
3.	13	5	5	2,2	2,2	242000	0,022	10272,21
4.	11	5	5	2	2	220000	0,02	10272,21
5.	9	5	5	1,6	1,6	176000	0,016	10272,21
6.	7	5	5	1,2	1,1	132000	0,011	9416,20
7.	5	5	5	0,9	0,6	99000	0,006	6848,14
8.	4,4	5	5	0,8	0,5	88000	0,005	6420,13
9.	3,8	5	5	0,7	0,3	77000	0,003	4402,38

10.	3,2	5	5	0,6	0,3	66000	0,003	5136,11
11.	2,6	5	5	0,5	0,2	55000	0,002	4108,89
12.	2	5	5	0,4	0,1	44000	0,001	2568,05
13.	1,4	5	5	0,25	0,05	27500	0,0005	2054,44
14.	0,8	5	5	0,15	0,02	16500	0,0002	1369,63
15.	0,2	5	5	0,03	0,01	3300	0,0001	3424,07

Значения E, D, ε вычислили по формулам 1, 2, 4.

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Чтобы найти P_r и $tg\delta$ нужно найти посчитать D_r , при этом $U_{C_1} = 0.8 \cdot 5 \text{ В} = 4 \text{ В}$

Так же $U_{R_1} = 0.6 \cdot 5 \text{ В} = 3 \text{ В}$ (понадобится позже).

$$D_r = \frac{0.000001 \text{ Ф}}{0.0005 \text{ м}^2} \cdot 4 \text{ В} = 0.008 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Из формулы (6) имеем:

$$P_r = 0.008 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} - 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 330000 \frac{\text{В}}{\text{м}} \approx \mathbf{0.008} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Так же из (3) находим:

$$tg\delta = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{0.008 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \cdot 330000 \frac{\text{В}}{\text{м}}}{2.6 \cdot 3} \approx \mathbf{107.74}$$

10. Расчет погрешностей измерений

$$\Delta C_1 = 0.1 \cdot C_1$$

$$\Delta U_{C_1} = 0.5$$

$$\Delta S = 0.1 \cdot S$$

$$\Delta D_s = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{S} \cdot U_{C_1}\right) \cdot \Delta C_1\right)^2 + \left(\frac{C_1}{S} \cdot \Delta U_{C_1}\right)^2 + \left(\left(-\frac{C_1}{S^2} \cdot U_{C_1}\right) \cdot \Delta S\right)^2}$$

$$\Delta D_s$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{1}{0.0005} \cdot 13\right) \cdot 0.000001 \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{0.000001}{0.0005} \cdot 0.5\right)^2 + \left(\left(-\frac{0.000001}{0.0005^2} \cdot 13\right) \cdot 0.0005 \cdot 0.1\right)^2}$$

$$\approx \mathbf{0.004}$$

$$\Delta E_c$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{R_2}{R_1^2} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}\right) \cdot \Delta R_1\right)^2 + \left(\left(\frac{1}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}\right) \cdot \Delta R_2\right)^2 + \left(\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{d}\right) \cdot \Delta U_{R_1}\right)^2 + \left(\left(-\frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d^2}\right) \cdot \Delta d\right)^2}$$

$$\Delta E_c$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{470000}{47000^2} \cdot \frac{3}{0.0005}\right) \cdot 4700\right)^2 + \left(\left(\frac{1}{47000} \cdot \frac{3}{0.0005}\right) \cdot 47000\right)^2 + \left(\left(\frac{47000 + 470000}{47000} \cdot \frac{1}{0.0005}\right) \cdot 0.3\right)^2 + \left(\left(-\frac{47000 + 470000}{47000} \cdot \frac{3}{0.0005^2}\right) \cdot 0.00005\right)^2}$$

$$\approx \mathbf{12614.28}$$

$$\Delta D_r$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{1}{0.0005} \cdot 4\right) \cdot 0.000001 \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{0.000001}{0.0005} \cdot 0.5\right)^2 + \left(\left(-\frac{0.000001}{0.0005^2} \cdot 4\right) \cdot 0.0005 \cdot 0.1\right)^2}$$

$$\approx 0.0015$$

$$\Delta P_r = \sqrt{((1)\Delta D_r)^2 + ((\varepsilon_0) \cdot \Delta E)^2 + ((E) \cdot \Delta \varepsilon_0)^2}$$

$$\Delta P_r = \sqrt{(0.0015)^2 + ((8.85 \cdot 10^{-12}) \cdot 12614.28)^2 + ((330000) \cdot 0.00000005 \cdot 10^{-12})^2}$$

$$\approx \mathbf{0.0015}$$

11. Графики

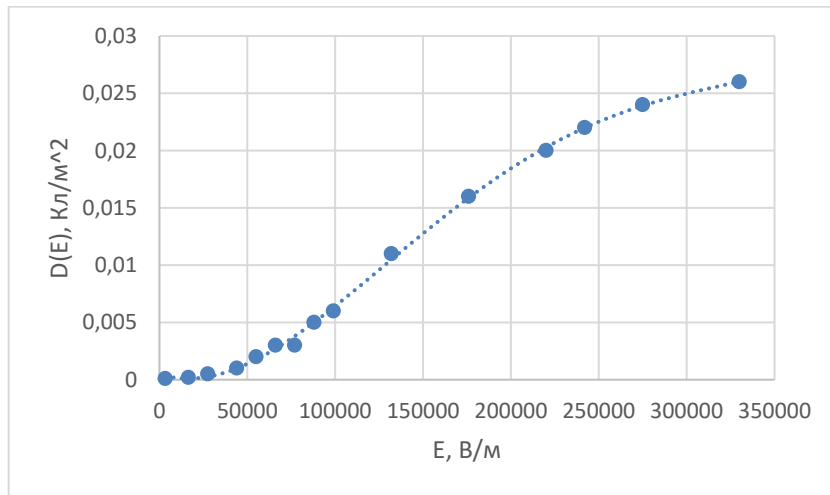


Рисунок 5 – График зависимости $D = D(E)$

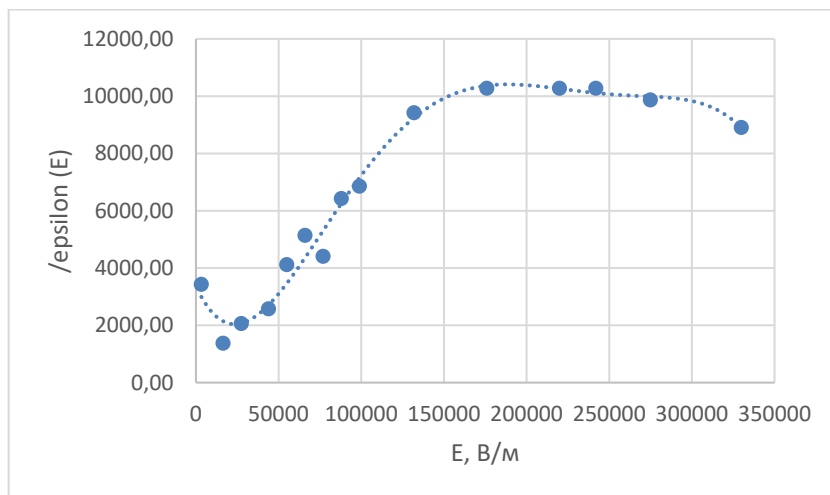


Рисунок 6 – График зависимости $\varepsilon = \varepsilon(E)$

12. Окончательные результаты.

$D_s \approx 0.026 \pm 0.004 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$ – Электрическая индукция в состоянии насыщения (электрическое смещение напряжения);

$E_c \approx 330000 \pm 12614.28 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ – Коэрцитивное поле;

$P_r \approx 0.008 \pm 0.0015 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$ – Остаточная поляризация;

$tg\delta \approx 107.74$ – Тангенс угла диэлектрических потерь;

$S \approx 7.6$ дел² – Примерная площадь петли гистерезиса;

$\varepsilon_{max} \approx 10300 \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ – Максимальная диэлектрическая проницаемость;

$\varepsilon(0) \approx 2000 \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ – Минимум диэлектрической проницаемости.

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе эксперимента была изучена петля гистерезиса, изучены некоторые свойства сегнетоэлектриков, такие как поляризация под действием электрического поля и влияние потенциала поля на этот процесс: чем сильнее поле – тем сильнее смещение D , но зависимость не линейна как у проводников и диэлектриков.

Список использованных источников

1. Электромагнетизм. Основные законы / Иродов И.Е., ISBN 978-5-00101-498-0, Издательство "Лаборатория знаний" 10-е изд.
2. [Методические указания по лабораторной работе 3.06](#)
3. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 5 т. Том 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие для вузов / И. В. Савельев. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 344 с. — ISBN 978-5-8114-9248-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/189298>
4. Физика. Обработка экспериментальных данных: Учебно-методическое пособие: Для студ. 1,2 и 3-го курсов всех спец. и направлений очной и заочной форм обучения/ В.В. Курепин, И.В. Баранов. - СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012.- 56 с.