

Группа Р32081 К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Пиндюрин К.А и Васильченко Р.А Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Ярошенко В.В Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет лабораторной работе №3.06

### Изучение электрических свойств сегнетоэлектриков

#### Цель работы:

- Определить значения электрического смещения насыщения  $D_s$ , остаточной поляризации  $P_r$ , коэрцитивной силы  $E_c$  для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.
- Рассчитать диэлектрические потери за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.
- Получить зависимость смещения  $D$  и диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля  $E$ .
- Определить значение начальной и максимальной диэлектрической проницаемости.

#### Задачи, решаемые при выполнении работы:

- Подключение и настройка установки
- Определение значений параметров  $D_s$  и  $E_s$ ,  $D_r$ ,  $E_c$  по шкале на экране (предельная петля гистерезиса)
- Фиксирование координат правой вершины предельной петли гистерезиса при последовательном уменьшении напряжения  $U$
- Расчёт значений коэрцитивного поля  $E_c$ , электрической индукции в состоянии насыщения  $D_s$  и остаточной поляризации  $P_r$ .
- Оценка погрешности результатов

#### Объект исследования:

Сегнетоэлектрический конденсатор (вариконд)

#### Метод экспериментального исследования:

Анализ петли гистерезиса с помощью прибора «ИСХ1» (Измеритель Статистических Характеристик)

#### Рабочие формулы и исходные данные:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\pi} \oint \frac{D dE}{D_s E_s}$$

- тангенс угла диэлектрических потерь в сегнетоэлектриках

$$\vec{D} = \vec{P} + \varepsilon_0 \vec{E}$$

- связь между D и E

$$D = \sigma = \frac{q}{S} = \frac{C_2 U_{C_2}}{S} = \frac{C_1}{S} \cdot U_{C_1}$$

- модуль вектора электрической индукции D

$$E = \frac{U_{C_2}}{d} = \frac{U}{d} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}$$

- напряженность электрического поля в сегнетоэлектрик

### Измерительные приборы:

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	ИСХ1 (генератор)	Электронный	[0,2; 17] В	
2	ИСХ1 (экран)	Электронный	[115x85]	1 мм

### Схема установки:

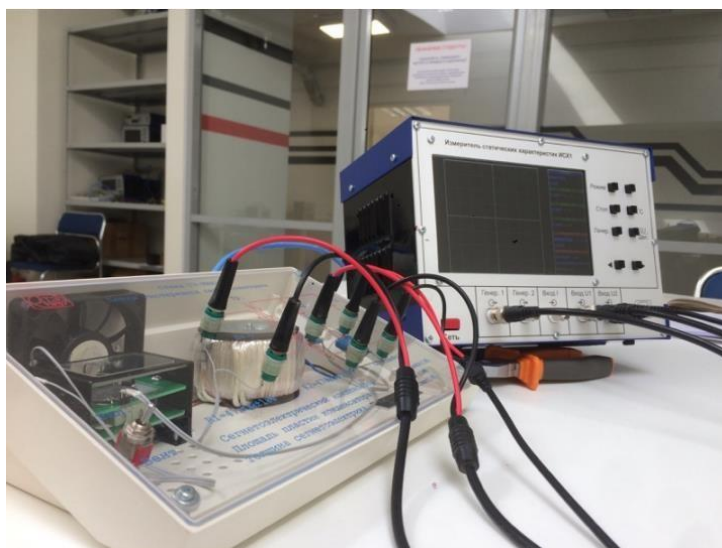


Рисунок 1. Общий вид лабораторной установки

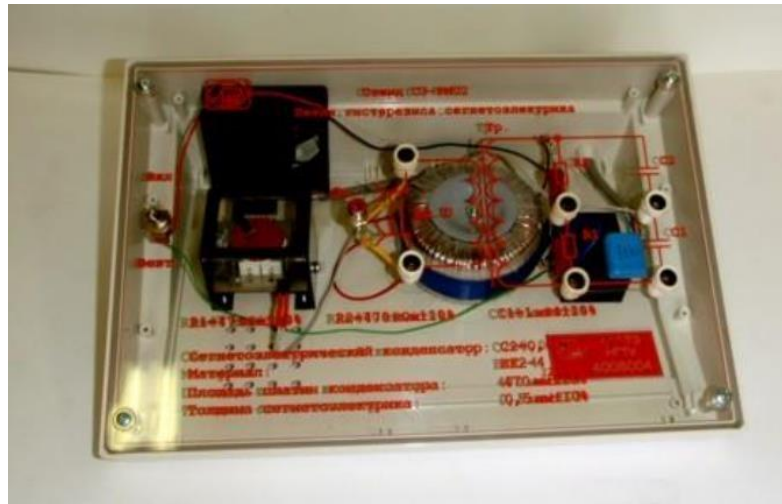


Рисунок 2. Внешний вид стенда C3-PM02

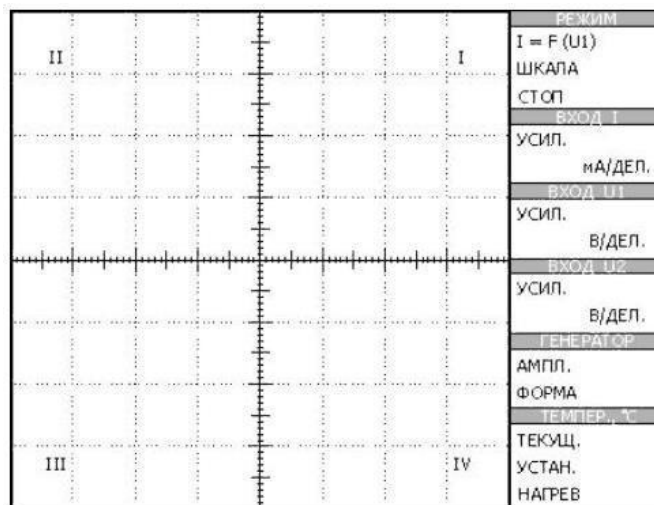


Рисунок 3. Экран дисплея «ИСХ1»

### Задание 1:

$$R_1 = 47 \text{ кОм} \pm 10\%$$

$$R_2 = 470 \text{ кОм} \pm 10\%$$

$$C_1 = 1 \text{ мкФ} \pm 10\%$$

$$C_2 = 0.01 \text{ мкФ} \pm 10\%$$

$$S = 500 \text{ мм}^2$$

$$d = 0.05 \text{ мм}$$

### Задание 2:

Таблица 1: Зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля

Физические величины									
№	U, В	K <sub>x</sub> , В/дел	K <sub>y</sub> , В/дел	X, дел	Y, дел	E, В/м	D, Кл/м2	ε, Ф/м	q, нКл
1	17	5	5	27	33	340000	0.2290	76090	168.3168
2	16	5	5	25	31	320000	0.1939	68481	158.4158

3	15	5	5	23	29	300000	0.1773	66769	148.5149
4	14	5	5	22	26	280000	0.1797	72510	138.6139
5	13	5	5	21	23	260000	0.1418	61633	128.7129
6	12	5	5	19	21	240000	0.1247	58698	118.8119
7	11	5	5	18	18	220000	0.1000	51361	108.9109
8	10	5	5	17	15	200000	0.0727	41089	99.0099
9	9	5	5	14	13	180000	0.0600	37665	89.1089
10	6	2	2	24	10	120000	0.0349	32871	59.4059
11	4	1	1	32	9	80000	0.0182	25681	39.6040
12	2	0.5	0.5	33	6	40000	0.0082	23195	19.8020
13	1	0.2	0.1	32	8	20000	0.0035	19566	9.9010
14	0.6	0.2	0.1	24	6	12000	0.0015	13696	5.9406
15	0.4	0.1	0.05	32	7	8000	0.0017	23968	3.9604
16	0.2	0.05	0.02	30	8	4000	0.0006	16631	1.9802

### Обработка результатов измерений:

$$E = U/d = 17 / (0.05 * 10^{-3}) = 340 * 10^3 \text{ В/м}$$

$$D = \varepsilon \varepsilon_0 E = 0.2289 \text{ Кл/м}^2$$

$$q = (C_1 * C_2) * U / (C_1 + C_2) = 168.317 \text{ нКл}$$

$$\varepsilon = 1 + \chi_e$$

$$P = \chi_e \varepsilon_0 E = (\varepsilon - 1) \varepsilon_0 E = 76089 * 8.85 * 10^{-12} * 34 * 10^4 = 0,228951801 \text{ В/м}$$

$$\varepsilon_{\text{нач}} = 21342 \text{ Ф/м (из графика)}$$

$$\varepsilon_{\text{макс}} = 76090 \text{ Ф/м (из графика) (E для него = 340000 В/м)}$$

### Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений):

$$\Delta E = 34027$$

$$E(\text{относительная погрешность}) = 10\% \Delta D = 0,032$$

$$D(\text{относительная погрешность}) = 14\%$$

$D(E)$

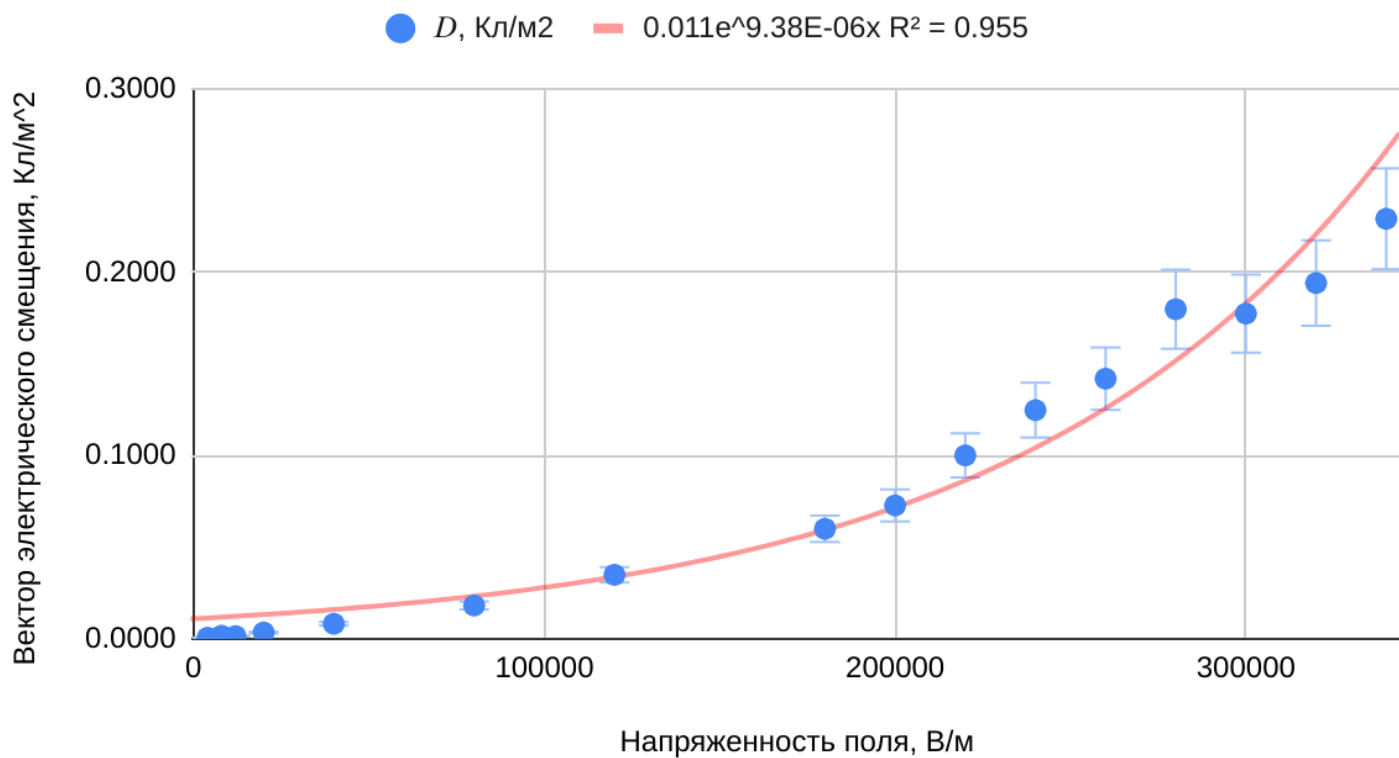


Рисунок 1. График зависимости модуля вектора электрического смещения от напряжённости поля

$\epsilon(E)$

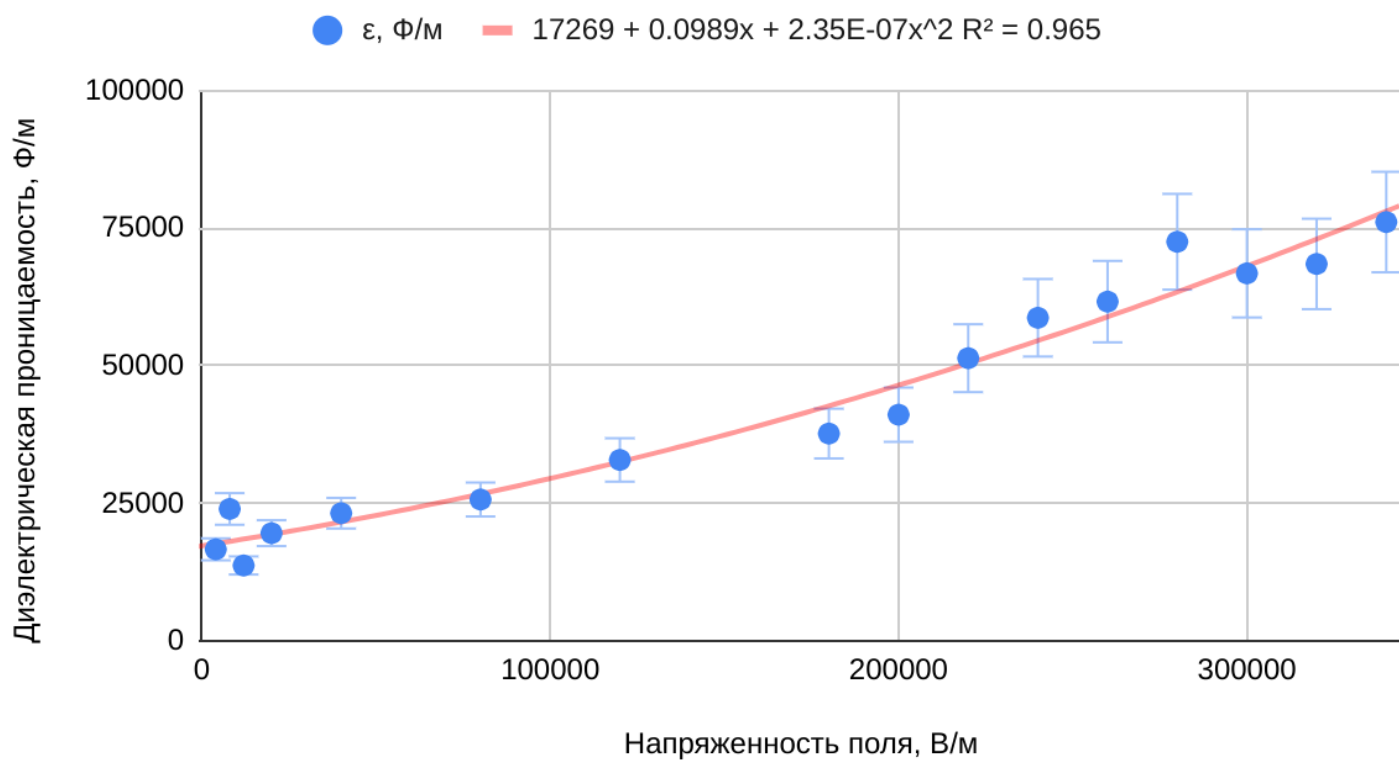


Рисунок 2. График зависимости диэлектрической проницаемости от напряжённости поля

**Окончательные результаты:**

$$E_c = 340000 \pm 34027 \text{ В/м}$$

$$D_s = 0,229 \pm 0,032 \text{ В/м}$$

$$P_r = 0,005 \text{ В/м}_{\text{нач}} = 21342 \text{ Ф/м}$$

$$\text{макс} = 76090 \text{ Ф/м (из графика)} \quad (E \text{ для него} = 340000 \text{ В/м})$$

**Выводы и анализ результатов работы:**

В данной лабораторной работе мы изучили свойства сегнетоэлектриков, на примере сегнетоэлектрический конденсатор (вариконд). Мы нашли значения  $D_r$  и  $E_c$ , которые характеризуют значения остаточной поляризации и коэрцитивное поле. Мы нашли зависимость вектора электрического смещения ( $D$ ) от напряженности поля ( $E$ ). Получили нелинейную зависимость. Мы нашли значение насыщения ( $E_s$ ) и поляризации ( $D_s$ ) для предельной петли гистерезиса.