

Группа 2.1.1 К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Батманов Д. Е. Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Горбенко А. П. 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  $Pr$ , коэрцитивной силы  $E_c$  для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика.
2. Расчет диэлектрических потерь за цикл переполяризации сегнетоэлектрика.
3. Получение зависимостей смещения  $D$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от напряженности электрического поля  $E$ .
4. Определение значений начальной и максимальной диэлектрической проницаемости.

#### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

Определение значений электрического смещения насыщения  $D_s$ , остаточной поляризации  $Pr$ , коэрцитивной силы  $E_c$  для предельной петли гистерезиса сегнетоэлектрика, получение зависимостей смещения  $D$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от напряженности электрического поля  $E$ , определение значений начальной и максимальной диэлектрической проницаемости

#### 3. Объект исследования.

Петля гистерезиса сегнетоэлектрика

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Замер таких величин как напряжение координаты делений на картине петли гистерезиса

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$D = Q = \frac{q}{S} = \frac{C_2 U C_2}{S} = \frac{C_1}{S} U C_1$$

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

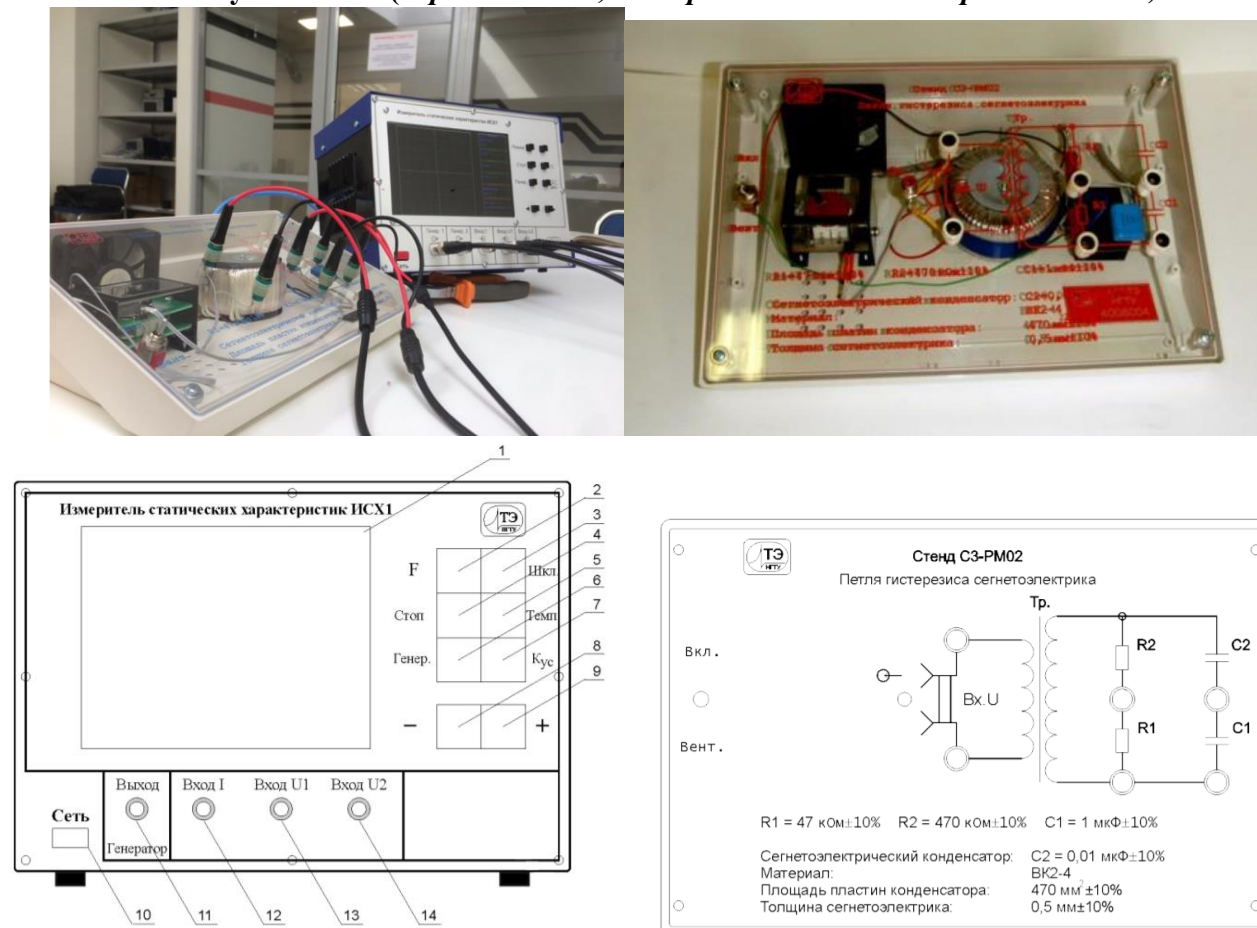
$$\lg \delta = \frac{1}{x} \frac{D d E}{D_s E_s}$$

$$\epsilon = \frac{D}{\epsilon_0 E}$$

## 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Информационное поле	Цифровой	От 0 до 4 делений	0,1 дел

## 7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 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  $U_1$ ;
14. вход напряжения  $U_2$

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 1 –

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1timY6v\\_rSzISKMwCFT2s8u0dENN72SwwOijI6phIsxk/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1timY6v_rSzISKMwCFT2s8u0dENN72SwwOijI6phIsxk/edit?usp=sharing)

## 9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Рассчитаем значение электрической индукции в состоянии насыщения  $D_s$  по формуле

$$D = \sigma = \frac{q}{S} = \frac{C_2 U_{C_2}}{S} = \frac{C_1}{S} \cdot U_{C_1}, \quad (1)$$

$$D_s = \frac{C_1}{S} \cdot U_{C_1} = 0.024 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$E = \frac{U_{C_2}}{d} = \frac{U}{d} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{U_{R_1}}{d}. \quad (2)$$

Рассчитаем значение коэрцитивного поля  $E_c$  по формуле

$$E_c = 308000 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем значение остаточной поляризации  $P_r$ :

$$P_r = D_r \approx 5 \text{ мКл/м}^2$$

По формулам (1) и (2) и записанных в Таблице 1 значений коэффициентов усиления  $K_x$  и  $K_y$  заполним колонки  $E$  и  $D$ , рассчитав значения напряженности электрического поля и электрической индукции

Рассчитаем значения диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика для всех значений напряженности электрического поля по формуле

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

Для первого измерения:

$$\varepsilon = 8800,777$$

Найдем с помощью графика  $\varepsilon = \varepsilon(E)$  максимальное значение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_{\text{макс}}$

$$\varepsilon_{\text{макс}} = 8800,777$$

$\varepsilon_{\text{нач}} \approx 2310,2$  - значение получено путем экстраполяции графика

Определим напряженность  $E$ , которому соответствует  $\varepsilon_{\text{макс}}$

$$E = 184000 \text{ В/м}$$

## 10. Расчет погрешностей:

Абсолютная погрешность определяется ценой деления осциллографа:

$$\Delta D_s = \Delta P_r = \frac{2}{3} \cdot 0.1 = 0.067 \text{ дел}$$

$$\Delta E_c = 8320 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\Delta D_s = \Delta P_r = 0.677 \frac{\text{мКл}}{\text{м}^2}$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_{E_c} = \frac{\Delta E_c}{E_c}; \varepsilon_{E_c} = \frac{8320}{308000} = 0.27 = 27\%$$

$$\varepsilon_{D_s} = \frac{\Delta D_s}{D_r}; \varepsilon_{D_s} = \frac{0.67}{20} = 0.034 = 3,4\%$$

$$\varepsilon_{P_r} = \frac{\Delta P_r}{P_r}; \varepsilon_{P_r} = \frac{0.67}{5} = 13,4\%$$

### 11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

График 1. Зависимость вектора электрического смещения от напряжённости  $D = D(E)$

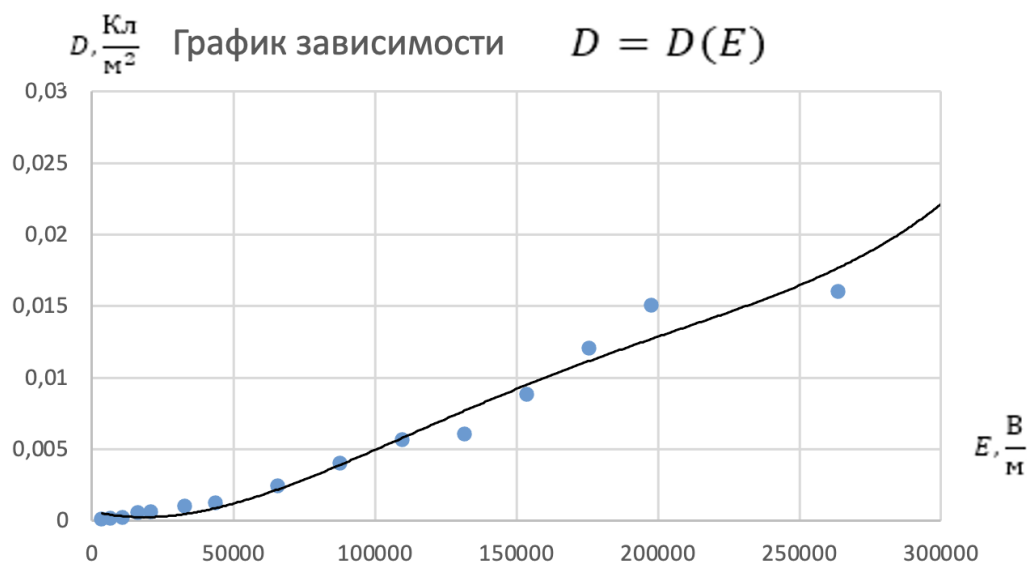
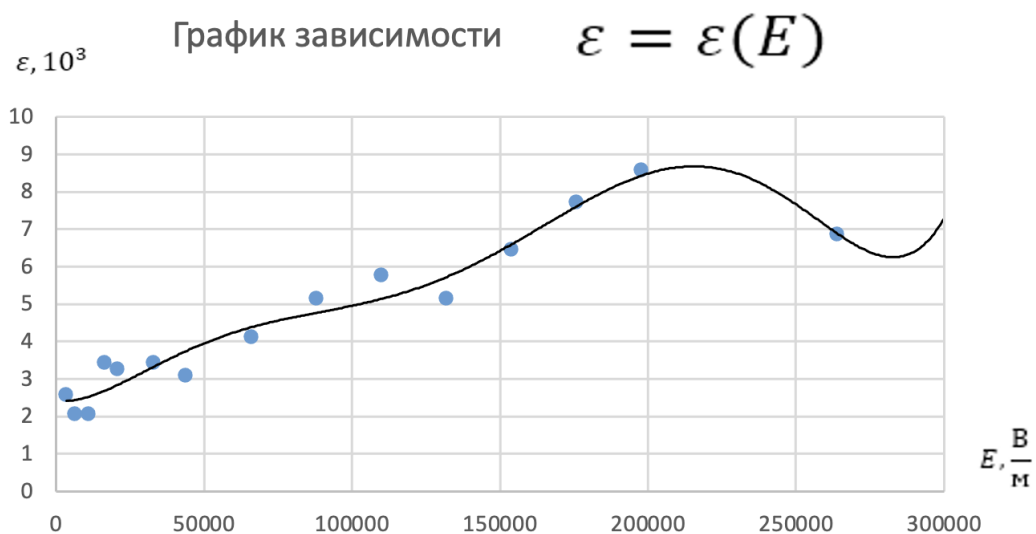


График 2.

Зависимость диэлектрической проницаемости от напряжённости  $\varepsilon = \varepsilon(E)$



### 13. Выводы и анализ результатов работы.

Зависимость электрической индукции (смещения) от напряжённости электрического поля в сегнетоэлектрике нелинейная: сначала функция медленно растёт, затем её рост ускоряется, а потом плавно начинает замедляться.

Диэлектрическая проницаемость так же зависит нелинейно от напряжённости – сначала с ростом напряжённости растёт и диэлектрическая проницаемость, но в какой-то момент она достигает своего максимального значения и далее медленно убывает.