

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ**

**Методические указания
к лабораторной работе № 43
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания
к лабораторной работе № 43
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель Е.В. Трофимова

УДК 537.226.4(07)

ББК 32.843.4(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 43 по дисциплине «Физика» «Изучение диэлектрических свойств сегнетоэлектриков» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е.В. Трофимова – Уфа, 2013. – 17 с.

В работе изучаются диэлектрические свойства сегнетоэлектриков и определяются основные характеристики керамического сегнетоэлектрика.

В методических указаниях приведены краткая теория, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы и форма отчетности.

Предназначены для студентов, изучающих раздел «Электричество и магнетизм» дисциплины «Физика», на всех реализуемых направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 6. Библ.: 2 назв.

Рецензенты: д-р хим. наук, проф. Кузнецов В.В.
канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С.А.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Диэлектрические свойства веществ. Особенности сегнетоэлектриков.....	5
3.2. Метод измерения.....	11
4. Приборы и оборудование	13
5. Требования по технике безопасности	14
6. Задания	14
7. Методика выполнения заданий	14
8. Требования к содержанию и оформлению отчета	16
9. Контрольные вопросы	16
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	17
Список литературы	17

Лабораторная работа № 43

Изучение диэлектрических свойств сегнетоэлектриков

Введение

Сегнетоэлектрики представляют собой особый класс диэлектрических веществ, их электрические свойства можно сравнить с магнитными свойствами ферромагнетиков. Изучение их свойств представляет интерес с точки зрения углубления понимания действия электрического поля на вещества, а также приобретения навыков обработки графических экспериментальных данных.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешности и достоверности их результатов.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

- анализировать результаты опыта;

- оформлять отчет;

а также **владения**:

- теоретическим материалом;

- навыками измерения физических величин по приборам;

- технологией обработки экспериментальных данных.

1. Цель работы

Изучение поляризации сегнетоэлектриков в зависимости от напряженности электрического поля E , получение кривой $\varepsilon = f(E)$, изучение диэлектрического гистерезиса, определение диэлектрических потерь в сегнетоэлектриках.

2. Задачи

1. Изучить электрические характеристики диэлектриков и особенности сегнетоэлектриков.

2. Экспериментально получить петлю гистерезиса при различных условиях.

3. Обработать результаты эксперимента и получить значения коэрцитивной силы, остаточной поляризации, работы по переполяризации сегнетоэлектрика и зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля.

3. Теоретическая часть

3.1. Диэлектрические свойства веществ. Особенности сегнетоэлектриков

Все вещества по их способности проводить ток подразделяются на проводники, полупроводники и диэлектрики. Диэлектрики практически не проводят электрический ток. Это связано с тем, что они не содержат зарядов, способных направленно перемещаться под действием электрического поля. Диэлектрики состоят из атомов и молекул, в которых электроны прочно связаны с ядром. Но заряженные частицы диэлектрика, безусловно, реагируют на электрическое поле, в котором они оказываются. Внешнее электрическое поле либо упорядочивает ориентацию жестких диполей (ориентационная поляризация в диэлектриках с полярными молекулами), либо приводит к появлению полностью упорядоченных индуцированных диполей (поляризация электронного и ионного смещения в диэлектриках с неполярными молекулами). Во всех этих случаях диэлектрики поляризуются.

Поляризация диэлектрика заключается в том, что под действием внешнего электрического поля суммарный электрический момент молекул диэлектрика становится отличным от нуля.

Количественной характеристикой поляризации диэлектрика служит вектор поляризованности (или вектор поляризации), который равен электрическому моменту единицы объема диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_e}{\Delta V}, \quad (3.1)$$

где $\sum_{\Delta V} \vec{p}_e$ – векторная сумма дипольных электрических моментов всех молекул диэлектрика в физически бесконечно малом объеме ΔV .

У изотропных диэлектриков поляризованность \vec{P} связана с напряженностью электрического поля \vec{E} в той же точке соотношением

$$\vec{P} = \alpha \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (3.2)$$

где α – коэффициент, не зависящий в первом приближении от E и называемый диэлектрической восприимчивостью вещества; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Для описания электрического поля в диэлектриках кроме напряженности \vec{E} и поляризованности \vec{P} используют вектор электрического смещения \vec{D} , определяемый равенством

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (3.3)$$

С учетом (2.2) вектор смещения можно представить в виде

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (3.4)$$

где $\varepsilon = 1 + \alpha$ безразмерная величина, называемая диэлектрической проницаемостью среды. Для всех диэлектриков $\alpha > 0$, а $\varepsilon > 1$.

Сегнетоэлектрики представляют собой особую группу кристаллических диэлектриков, обладающих в отсутствие внешнего электрического поля в определенном интервале температур и давлений спонтанной (самопроизвольной) поляризацией, направление которой может быть изменено электрическим полем и в ряде случаев механическими напряжениями.

1. Сегнетоэлектрики характеризуются очень высокими значениями диэлектрической проницаемости ε . Она может достигать величины порядка 10^3 - 10^6 . Например, диэлектрическая проницаемость сегнетовой соли $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ при комнатной температуре ($\sim 20^\circ\text{C}$) близка к 10000.

2. Особенностью сегнетоэлектриков является нелинейный характер зависимости поляризованности P , а значит, и электрического смещения D от напряженности поля E (рис 3.1). При этом диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков ε оказывается зависящей от E . На рис 3.2 показана зависимость ε от E для сегнетовой соли при температуре 20°C .

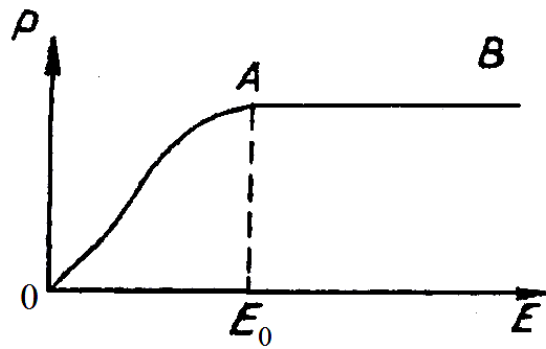


Рис. 3.1

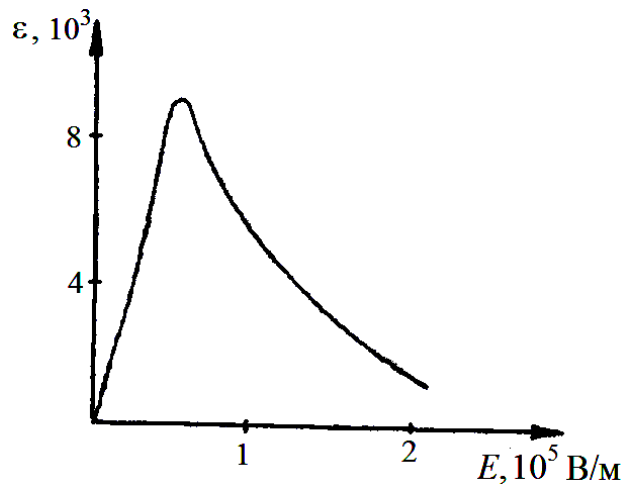


Рис. 3.2

3. Всем диэлектрикам свойственно явление диэлектрического гистерезиса, заключающееся в запаздывании изменения поляризованности P (или смещения D) при изменении напряженности поля E . Это запаздывание связано с тем, что величина P (или D) не только определяется значением поля E , но и зависит еще от предшествовавшего состояния поляризации образца. При циклических изменениях напряженности поля E зависимость поляризованности P и смещения D от напряженности E выражается кривой, называемой петлей гистерезиса (рис. 3.3).

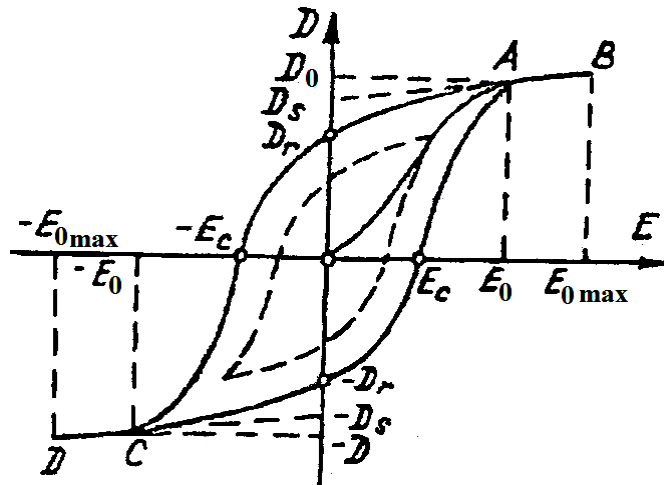


Рис. 3.3

С увеличением поля E смещение D в образце, который первоначально не был поляризован, изменяется по кривой OAB (рис. 3.1 и 3.3). Эта кривая называется начальной или основной кривой поляризации.

Если уменьшать напряженность внешнего поля из точки B (рис. 3.3), то сначала смещение уменьшается по кривой BA (т.е. на участке BA гистерезис отсутствует), а затем (от точки A) изменение смещения отстает от изменения напряженности. Когда напряженность поля $E = 0$, сегнетоэлектрик остается поляризованным, величина электрического смещения, равная D_r , называется остаточным смещением. Для снятия остаточного смещения к сегнетоэлектрику необходимо приложить электрическое поле противоположного направления с напряженностью $-E_c$. Величину E_c принято называть коэрцитивным полем.

Если максимальное значение напряженности поля таково, что спонтанная поляризация достигает насыщения, то получается петля гистерезиса, называемая петлей предельного цикла (сплошная кривая на рис. 3.3). Если же при максимальной напряженности поля насыщение не достигается, то получается так называемая петля частного цикла, лежащая внутри предельного цикла (пунктирная кривая на рис. 3.3). Частных циклов поляризации может существовать бесконечное множество, но при этом максимальные значения смещения D частных циклов всегда лежат на основной кривой поляризации OA .

4. Сегнетоэлектрические свойства сильно зависят от температуры. Для каждого сегнетоэлектрика существует такая температура T_c , выше которой его сегнетоэлектрические свойства исчезают, и он превращается в обычный полярный диэлектрик. Температура T_c называется точкой Кюри.

Все характерные свойства сегнетоэлектриков связаны с существованием у них спонтанной (самопроизвольной) поляризации. Спонтанная поляризация означает, что макроскопические области (т.е. содержащие очень большое количество атомов) кристалла поляризованы до насыщения, т.е. электрические моменты всех молекул вещества в этих областях направлены одинаково. Такое состояние связано с электрохимическими особенностями данных веществ. Эти области спонтанной поляризации называют доменами, их линейные размеры не превышают 10^{-6} м.

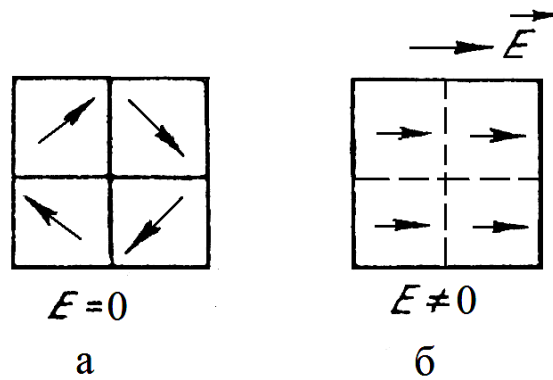


Рис. 3.4

В отсутствии внешнего электрического поля поляризованность всех доменов различна по направлению, поэтому в целом кристалл оказывается неполяризованным. Это показано на рис. 3.4, а, где схематически изображены домены образца, стрелками показаны направления спонтанной поляризации различных доменов. Под влиянием внешнего электрического поля в многодоменном кристалле происходит переориентация спонтанной поляризации. Этот процесс осуществляется: а) смещением доменных стенок (домены, поляризованность которых составляет острый угол θ с внешним полем, растут за счет доменов, у которых $\theta > \frac{\pi}{2}$); б) поворотом электрических моментов доменов в направлении поля; в) образованием и прорастанием зародышей новых доменов, электрические моменты которых направлены по полю.

Перестройка доменной структуры, происходящая при наложении и увеличении внешнего электрического поля, приводит к появлению и росту суммарной поляризованности P кристалла (нелинейный участок OA на рис. 3.1 и 3.3).

При некоторой напряженности поля (в точке A) во всем кристалле устанавливается единое направление спонтанной поляризации, совпадающее с направлением поля (на рис. 3.4, б). Говорят, что кристалл становится однодоменным с направлением спонтанной поляризации, параллельным полю. Это состояние называется насыщением.

Площадь петли гистерезиса определяет работу по поляризации единицы объема сегнетоэлектрика за один цикл изменения электрического поля. Убедимся в этом: рассмотрим сегнетоэлектрик, расположенный внутри плоского конденсатора. Элементарная работа, совершаемая при поляризации диэлектрика и связанная с переносом заряда dq с одной пластины на другую, равна

$$dA = dq (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$ между обкладками конденсатора можно найти, зная напряженность поля E и расстояние между пластинами l ,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = El.$$

Величину переносимого заряда dq найдем, учитывая, что:

1) поверхностная плотность свободного заряда на обкладках конденсатора σ равна абсолютному значению вектора смещения D , $\sigma = D$;

2) при изменении напряжённости поля \vec{E} будет меняться и вектор \vec{D} , тогда элементарный заряд равен

$$dq = d(\sigma S) = S \cdot d\sigma = S dD,$$

где S – площадь обкладок.

Искомая работа dA равна

$$dA = S \cdot l \cdot E \cdot dD = V \cdot E \cdot dD, \quad (3.5)$$

где $V = S \cdot l$ – объём диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами конденсатора.

Учитывая выражение (3.3), элементарную работу можно рассчитывать по формуле

$$dA = V(\vec{E} \cdot d(\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P})) = \varepsilon_0 V(\vec{E} \cdot d\vec{E}) + V(\vec{E} \cdot d\vec{P}). \quad (3.6)$$

Полная работа по поляризации диэлектрика, совершаемая при изменении напряженности поля от E_1 до E_2 и соответственно вектора поляризации от P_1 до P_2 , будет равна

$$A = \int_1^2 dA = \varepsilon_0 V \int_{E_1}^{E_2} (\vec{E} \cdot d\vec{E}) + V \int_{P_1}^{P_2} (\vec{E} \cdot d\vec{P}). \quad (3.7)$$

Первое слагаемое в последнем выражении определяет изменение энергии электрического поля в вакууме, второе – при поляризации диэлектрика. Величина $\int_{P_1}^{P_2} (\vec{E} \cdot d\vec{P}) = A_n / V$ равна работе по

поляризации единицы объема диэлектрика. При наблюдении петли гистерезиса величина P меняется циклически, в этом случае интеграл $\oint (\vec{E} \cdot d\vec{P})$ определяет работу по переполяризации единицы объема диэлектрика

$$A_{n/n} = \oint (\vec{E} \cdot d\vec{P}). \quad (3.8)$$

Работа по переполяризации сегнетоэлектрика отражает диэлектрические потери энергии в нем.

3.2. Метод измерения

Измерения диэлектрических характеристик керамического сегнетоэлектрика проводят по схеме, изображенной на рис. 3.5.

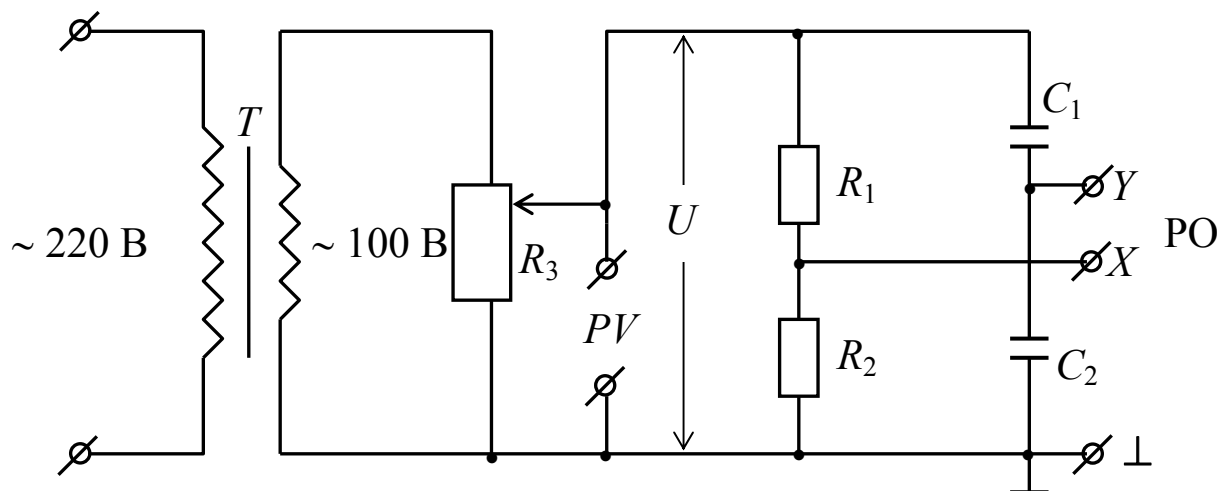


Рис. 3.5

Напряжение, снимаемое со вторичной цепи понижающего трансформатора T (220/100), через потенциометр R_3 подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R_1 и R_2 . Параллельно делителю R_1 и R_2 включены последовательно два конденсатора, образующие емкостной делитель: исследуемый керамический сегнетоэлектрический конденсатор C_1 и эталонный конденсатор C_2 . Вольтметр PV обеспечивает измерение величины напряжения, подаваемого на делители R_1 , R_2 и C_1 , C_2 .

Осциллограф PO служит для наблюдения и изучения поляризации сегнетоэлектрического конденсатора C_1 при подаче на него переменного гармонического напряжения.

На вертикально отклоняющие пластины осциллографа подается напряжение U_y с эталонного конденсатора C_2 , причём

$$U_y = \frac{q}{C_2},$$

где q – заряд на обкладках конденсатора C_2 , включённого последовательно с C_1 . При последовательном соединении конденсаторов заряды на их обкладках одинаковы, поэтому величину q можно найти по характеристикам конденсатора C_1

$$q = \sigma S,$$

где σ – поверхностная плотность заряда на обкладках конденсатора C_1 , равная в свою очередь абсолютному значению вектора электрического смещения \vec{D} поля в сегнетоэлектрике, S – площадь

пластин конденсатора C_1 . С учётом всего этого

$$q = DS \quad \text{и} \quad U_y = DS/C_2. \quad (3.9)$$

Таким образом, на вертикально отклоняющие пластины осциллографа подаётся сигнал, пропорциональный электрическому смещению в сегнетоэлектрике.

На горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подаётся напряжение U_x , снимаемое с сопротивления R_2 , причём

$$U_x = IR_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2,$$

где U – напряжение, измеряемое цифровым вольтметром PV .

Величину этого напряжения можно менять потенциометром R_3 . Напряжение $U = U_{C1} + U_{C2}$, при этом $U_{C1} = q/C_1$ и $U_{C2} = q/C_2$. Конденсаторы подбирают так, что $C_1 \ll C_2$. Тогда $U_{C1} \gg U_{C2}$ и $U \approx U_{C1}$, т.е. цифровой вольтметр измеряет напряжение, подаваемое на конденсатор C_1 с сегнетоэлектриком. Принимая электрическое поле внутри конденсатора однородным, можно считать, что

$$U = U_{C1} = El, \quad (3.10)$$

где E – напряжённость электрического поля в конденсаторе C_1 (или в сегнетоэлектрике), l – толщина сегнетоэлектрика.

В итоге можно утверждать, что

$$U_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} El, \quad (3.11)$$

т.е. на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подаётся сигнал, пропорциональный напряжённости электрического поля в исследуемом сегнетоэлектрике.

Таким образом, на экране осциллографа будет представлена зависимость между электрическим смещением D и напряжённостью E поля в сегнетоэлектрике.

Зная чувствительность K_x и K_y осциллографа, по осям x и y можно найти величины

$$U_x = K_x \cdot x \quad \text{и} \quad U_y = K_y \cdot y, \quad (3.12)$$

где x и y – отклонения электронного луча по осям x и y . Из соответствия (3.9) и (3.10) с учётом (3.11) можно найти

$$D = \frac{C_2 K_y}{S} y \quad \text{и} \quad E = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{K_x}{l} x. \quad (3.13)$$

Из соотношений (3.4), (3.10) и (3.13) можно получить значение диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика

$$\varepsilon = \frac{D}{\varepsilon_0 E} = \frac{C_2 l K_y}{S \varepsilon_0 U} y = \frac{C_2 l R_2 K_y y}{S \varepsilon_0 (R_1 + R_2) K_x x} \quad (3.14)$$

и изучить зависимость ε (E), измеряя отклонения y при разных U . Работу по переполяризации единицы объёма сегнетоэлектрика можно рассчитать по формуле (3.8), которая для рассматриваемого случая преобразуется следующим образом. В сегнетоэлектрике всегда $P \gg \varepsilon_0 E$, тогда $\vec{D} \approx \vec{P}$ и $A = \oint (\vec{E} \cdot d\vec{D})$. Учитывая (2.13) и одинаковое направление векторов \vec{E} и \vec{D} , получим

$$A = \frac{C_2 K_y}{S} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{K_x}{l} \oint x dy = \text{const} \cdot \Sigma, \quad (3.15)$$

т.е. работа по переполяризации единицы объёма сегнетоэлектрика пропорциональна площади Σ петли гистерезиса. Эта площадь выражается в квадратных делениях.

4. Приборы и оборудование

1. ФПЭ-02 – модуль;
2. PV – цифровой вольтметр;
3. РО – осциллограф.

На рис. 4.1 приведена структурная схема, с помощью которой изучаются свойства сегнетоэлектриков. В модуле ФПЭ-02 собрана схема, изображенная на рис. 3.5.

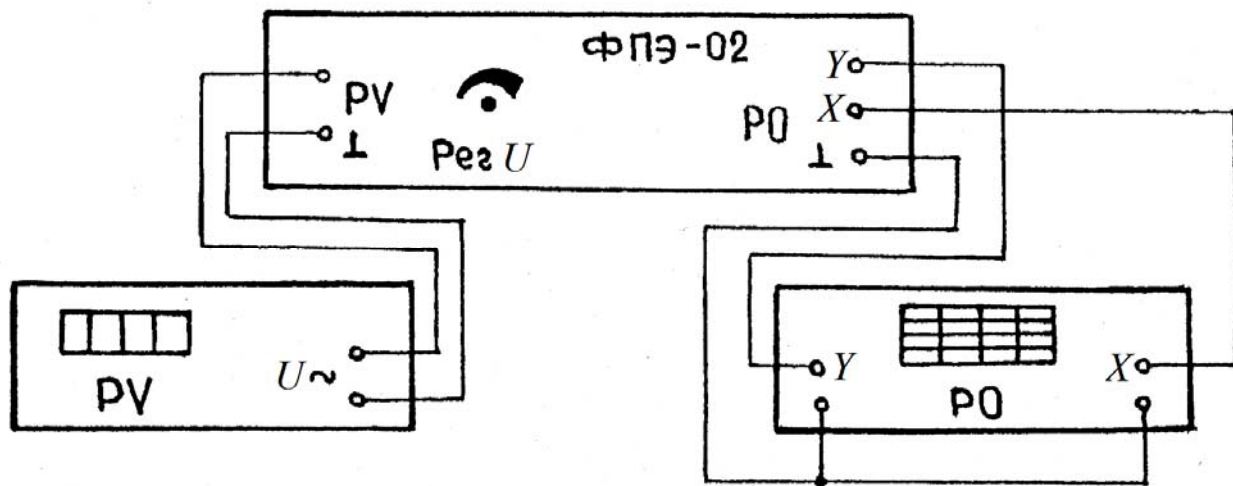


Рис. 4.1

На передней панели модуля имеются: 1) ручка «Рег U » потенциометра R_3 ; 2) гнезда «PV» – для подключения вольтметра; 3) гнезда «РО» («Y», «X», «L») – для подключения осциллографа. От источника питания на схему поступает напряжение сети ~ 220 В, 50 Гц.

5. Требования по технике безопасности

Все приборы экспериментальной установки подключаются к клеммам специального стенда, который в свою очередь подключается к источнику напряжения 220 В. Токоведущие части установки закрыты, что исключает случайное прикосновение к ним. Стенд заземлен.

При выполнении работы необходимо:

1. внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием;
2. проверить изоляцию токоведущих проводов и замкнутость электрической цепи установки;
3. не загромождать рабочее место посторонними предметами;
4. не оставлять без присмотра включенную лабораторную установку;
5. сообщать преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях;
6. по окончании работы отключить установку от сети и убрать рабочее место.

6. Задания

1. Определить коэрцитивную силу, остаточную поляризацию, работу по переполяризации сегнетоэлектрика.
2. Определить зависимость диэлектрической проницаемости ϵ сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля.

7. Методика выполнения заданий

Задание 1. Определить коэрцитивное поле, остаточную поляризацию, работу по переполяризации сегнетоэлектрика.

1. Проверить целостность соединений блоков экспериментальной установки в соответствии с рис. 4.1.
2. Установить ручку «напряжение» на панели кассеты ФПЭ-02 в крайнее левое положение.
3. Включить осциллограф, кассету ФПЭ-02 и цифровой вольтметр.
4. Установить род работы вольтметра в положение « $\sim U$ », нажать кнопку «АВП». На осциллографе переключатель TIME/DIV – в положение « $x - y$ ». Ручками POSITION $\updownarrow \leftrightarrow$ привести изображение в центр экрана.
5. Поворачивая ручку «напряжение» на панели кассеты ФПЭ-02, получить на экране петлю гистерезиса.

6. Изменяя положение ручки «напряжение» на панели кассеты и чувствительность осциллографа переключателями VOLTS/DIV добиться, чтобы полная петля занимала большую часть экрана.

7. Измерить координаты x и y нескольких точек полученной петли гистерезиса, результаты измерений занести в табл. 7.1. Чувствительность осциллографа по осям x и y определять по положению переключателей VOLTS/DIV.

8. По полученным результатам начертить на миллиметровой бумаге петлю гистерезиса и измерить ее площадь в квадратных делениях.

9. По формулам (3.13) рассчитать остаточную поляризацию D_r и коэрцитивную силу E_c сегнетоэлектрика (см. рис. 3.3).

10. По формуле (3.15) рассчитать работу по переполяризации сегнетоэлектрика. Для вычислений использовать следующие данные: $C_2 = 0,047 \text{ мкФ} \pm 10\%$, $R_1 = 470 \text{ кОм} \pm 5\%$, $R_2 = 20 \text{ кОм} \pm 5\%$, $d = 5 \text{ мм} \pm 10\%$, $l = 1,5 \text{ мм} \pm 10\%$ (d – диаметр обкладок, l – толщина сегнетоэлектрика).

Таблица 7.1

Оси	Чувствительность, В/дел	Координаты, дел					Остаточная поляризация, Кл/м ²	Коэрцитивная сила, В/м	Работа, Дж/м ³
x									
y									

Задание 2. Определить зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика от напряженности электрического поля.

11. Регулятор «напряжение» на панели кассеты поставить в положение, близкое к максимальному.

12. Установить петлю на всей площади экрана осциллографа.

13. Измерить напряжение U на сегнетоэлектрике цифровым вольтметром. Результаты записать в табл. 7.2.

14. Измерить координату y_0 , соответствующую точке A (рис. 3.3) насыщения поляризации сегнетоэлектрика. В табл. 7.2 записать измеренное значение y_0 и чувствительность k_y .

15. Уменьшить напряжение U , снова измерить значения k_y , y_0 и U для новой петли. Если нет насыщения, то измерить координату y_0 , соответствующую вершине петли.

16. Измерения по п. 15 провести еще 5 раз для различных значений U .

17. Рассчитать величину диэлектрической проницаемости по формуле (3.14) для всех измеренных значений U .

18. Построить график зависимости $\epsilon(U)$.

Таблица 7.2

U									
K_y									
Y_0									
ϵ									

8. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткий конспект теоретической части с расчетными формулами.
3. Экспериментальные данные, представленные в табл. 7.1, 7.2.
4. Расчеты коэрцитивной силы, остаточной поляризации и работы по переполяризации сегнетоэлектрика.
5. График зависимости диэлектрической проницаемости от приложенного напряжения.
6. Вывод по результатам работы.

9. Контрольные вопросы

1. Какие существуют типы диэлектриков?
2. Что такое поляризованность диэлектрика?
3. Что такое вектор электрического смещения?
4. Что такое домены, и как они ведут себя в электрическом поле?
5. Что называют петлей гистерезиса?
6. Что такое остаточная поляризация и коэрцитивная сила? Как их определить по петле гистерезиса?
7. Как свойства сегнетоэлектрика зависят от температуры?
8. Какую физическую величину количественно определяет площадь петли гистерезиса?
9. Как зависит диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика от напряженности поля?

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел понятием поляризации диэлектриков, особенностями электрических свойств сегнетоэлектриков;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- правильно построил кривую гистерезиса и зависимость $\varepsilon(E)$;
- составил отчет, соответствующий требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 4 т. – Т.2. – М.: КноРус, 2012. – С. 74-79, 85-88, 98-99.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2012. – С. 160-164, 166-167.

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания
к лабораторной работе № 43
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12