

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Поляризация и потери в твердых диэлектриках на частоте 50 Гц

Цель работы

Изучение стандартных методов определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков на частоте 50 Гц. Измерение зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения.

Домашнее задание

- 1) Изучить физические основы и характерные черты явлений поляризации и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках.
- 2) Ознакомиться со стандартными методами определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь на частоте 50 Гц.
- 3) Влияние окружающей среды на процессы поляризации и диэлектрических потерь.
- 4) Порядок проведения лабораторной работы, обработка результатов испытаний и оформление отчета о проделанной работе.

Общие положения

Относительная диэлектрическая проницаемость ε является одной из важнейших характеристик электроизоляционных материалов. Ее величина определяет значение емкости образца материала, либо электроизоляционной конструкции (изолятора, конденсатора, электрического кабеля и др.). Определив относительную диэлектрическую проницаемость и умножив ее на диэлектрическую постоянную $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, получаем абсолютную диэлектрическую проницаемость материала ε_a .

Диэлектрическая проницаемость является количественной мерой интенсивности процессов поляризации, протекающих в диэлектрике.

Для определения величины диэлектрической проницаемости электроизоляционного материала обычно применяются образцы в виде плоского конденсатора с круглыми (А и С) и кольцевым (В) электродами (рис.1).

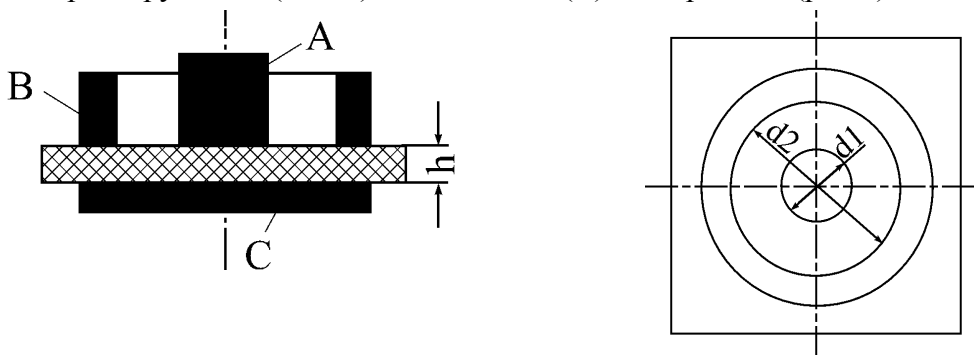


Рис. 1. Схема расположения электродов для измерения удельных сопротивлений плоского образца диэлектрика

Измерив, емкость образца C_x и зная его геометрические размеры, вычисляют диэлектрическую проницаемость исследуемого материала по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{C_x \cdot h}{\varepsilon_0 \cdot S} \quad (1)$$

где C_x – емкость образца в Фарадах; h – толщина образца в м; S – площадь измерительного (центрального) электрода в м².

Под диэлектрическими потерями понимают величину мощности, рассеиваемой электрической изоляции, находящейся в переменном поле. Применяемые электроизоляционные материалы в неодинаковой степени способны к подобному рассеянию. В идеальном диэлектрике под действием приложенного к нему переменного напряжения будет протекать только емкостной ток I_c . В реальном диэлектрике (изоляции) протекающий ток I , наряду с емкостной составляющей I_c , будет иметь и активную составляющую I_a , которая и определяет величину диэлектрических потерь: $P = U \cdot I_a$. Поэтому вектор тока I опережает вектор напряжения U на угол $\varphi < 90^\circ$ (рис.2).

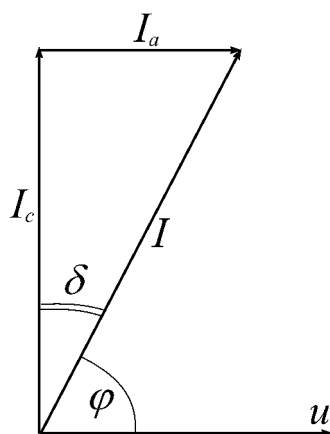


Рис. 2. Векторная диаграмма для параллельной схемы замещения реального диэлектрика (диэлектрика с потерями)

Угол δ , дополняющий угол φ до 90 градусов, называется углом диэлектрических потерь, потому что чем больше этот угол, тем больше составляющая I_a и, следовательно, диэлектрические потери P .

Диэлектрические потери P (Вт) в образце электроизоляционного материала или в изоляции какой-либо конструкции с емкостью C (Ф) при действующем значении переменного синусоидального напряжения U (В) и круговой частоте переменного напряжения ω (сек⁻¹) вычисляются по формуле:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

Отсюда следует, что потери определяются величиной тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, являющегося важной характеристикой как диэлектриков, так и изоляции конструкций (конденсаторов, электрических машин и пр.), в особенности работающих при высоких напряжениях и частотах.

И тангенс угла диэлектрических потерь, и диэлектрическая проницаемость диэлектриков зависят от различных факторов, например, частоты приложенного напряжения, температуры диэлектрика и пр. Ярко выраженная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от

величины приложенного напряжения наблюдается у изоляции, содержащей газы (при достаточном их объеме).

Описание лабораторной установки

Задачей данной лабораторной работы является определение величины диэлектрической проницаемости образцов некоторых диэлектриков (стекла, стеклотекстолита) и снятие зависимостей $tg\delta$ от величины приложенного напряжения для конденсаторов, у которых в качестве диэлектрика служат стекло, стеклотекстолит и два листа стекла с воздушным промежутком. Последний образец имитирует твердую изоляцию, содержащую газы.

Определение емкости образца C_x (а следовательно и величины диэлектрической проницаемости) и $tg\delta$ при высоких напряжениях и частоте 50 Гц производится с помощью четырех плечевого моста, выполненного по схеме Шеринга (рис. 3).

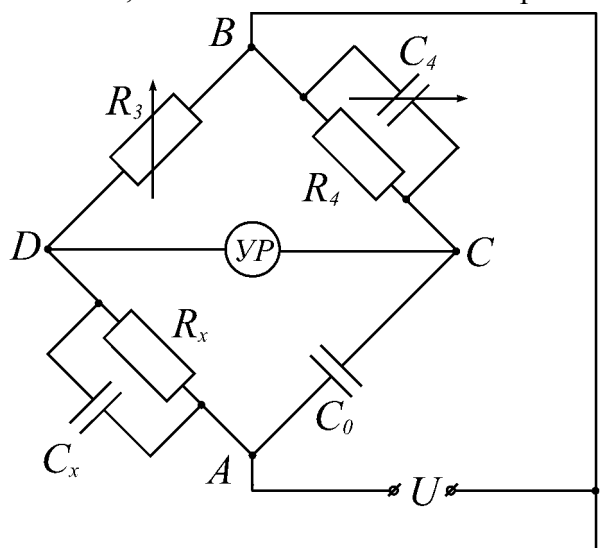


Рис. 3. Схема моста Шеринга

В плечо моста AD включается испытуемый образец в виде конденсатора, который можно представить в виде эквивалентной схемы замещения с параллельно включенными эквивалентной емкостью образца C_x и сопротивлением R_x . В плечо моста AC включен эталонный воздушный конденсатор емкостью C_0 , практически не имеющий потерь мощности. Плечом моста BD является переменный безреактивный резистор R_3 , а плечо BC состоит из параллельно соединенных резистора с известным сопротивлением R_4 и переменного конденсатора C_4 . К вершинам моста AB подключен источник переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц, а к вершинам CD – указатель равновесия УР. В качестве указателя равновесия часто используется электроннолучевой индикатор. На горизонтальные пластины электронно-лучевой трубки подается напряжение, пропорциональное напряжению, приложенному к образцу; на вертикальные – напряжению на измерительной диагонали моста. При рассогласованном мосте на экране отображается эллипс, расположенный под углом к горизонтальной оси. Подбором соответствующих величин сопротивления R_3 и емкости C_4 достигают равновесия моста, при котором имеет место равенство напряжений по величине и по фазе, приложенных к вершинам моста C и D . В этот момент достигается равенство потенциалов вершин измерительной диагонали CD , и на экране электронно-лучевого индикатора отображается горизонтальная прямая (эллипс вырождается в горизонтальную прямую). Этот принцип измерения реализован в лабораторных установках. В виртуальном лабораторном стенде

на горизонтальные и вертикальные пластины подаются потенциалы с вершин моста C и D . При неуравновешенном мосте на экране отображается эллипс с вертикальной и горизонтальной осями. При равновесии эллипс отображается в виде точки в центре экрана индикатора. Зафиксировав значения R_3 и C_4 в момент равновесия, можно вычислить величины измеряемых параметров $\operatorname{tg}\delta_x$ и C_x по следующим формулам:

$$\operatorname{tg}\delta_x = \omega R_4 C_4 \quad (3)$$

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_x} \quad (4)$$

В мосте Шеринга резистор R_4 берется равным $\frac{10000}{\pi}$ Ом, емкость $C_0 = 50$ пФ. Тогда при частоте 50 Гц и емкости C_4 , измеренной в микрофарадах, согласно формуле (3) получим:

$$\operatorname{tg}\delta_x = \omega R_4 C_4 = 2\pi \cdot 50 \cdot \frac{10000}{\pi} \cdot C_4 \cdot 10^{-6} = C_4 \quad (5)$$

$$\operatorname{tg}\delta_x = C_4 \quad (6)$$

где величина емкости C_4 выражена в мкФ.

Если исследуемый образец имеет $\operatorname{tg}\delta \leq 0,1$, то его емкость C_x с достаточной точностью можно подсчитать по более простой формуле, чем формула (4):

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3} \quad (7)$$

Определив емкость C_x образца в виде плоского конденсатора, по формуле (1) вычисляют величину диэлектрической проницаемости ε испытываемого материала.

Виртуальная лабораторная работа состоит из вкладки «Задание» (рис. 4), на которой размещается информация об образцах и условиях проведения эксперимента и вкладок виртуальных стендов с виртуальными приборами (рис. 5).

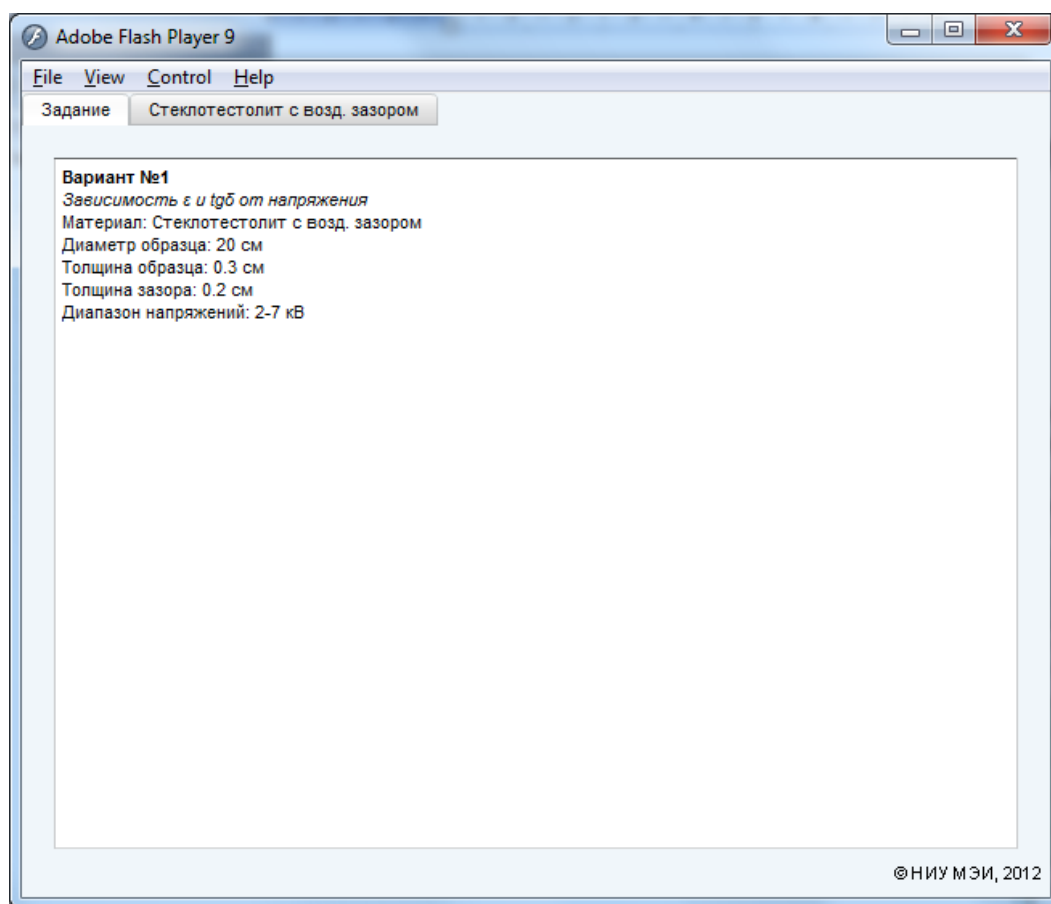


Рис. 4. Вкладка «Задание» виртуальной лабораторной работы (зависимость диэлектрических потерь и поляризации от напряжения)

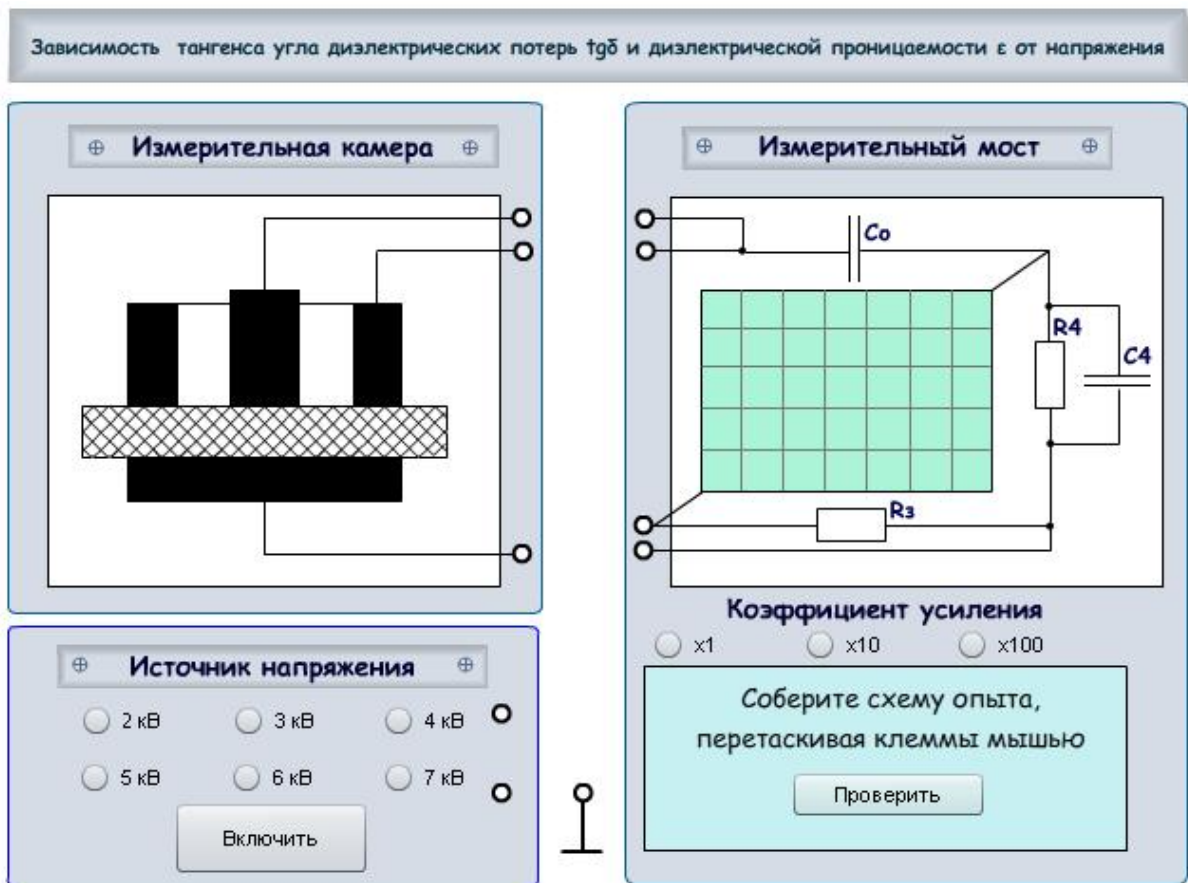


Рис. 5. Виртуальный лабораторный стенд для измерения зависимости объемного сопротивления от напряжения

Виртуальный лабораторный стенд включает в себя: камеру с испытуемым образцом, регулируемый источник напряжения, измерительный мост, к которому подключается испытуемый образец и источник напряжения, а также клеммы для создания электрических соединений. На мосте располагаются элементы настройки R_3 и C_4 переключатели коэффициента усиления электронно-лучевого индикатора. Регулировкой коэффициента усиления осуществляется настройка чувствительности моста.

Измерительный мост и источник напряжения имеют кнопки включения. Для выполнения измерений необходимо собрать схему соединений. Соединения осуществляются с помощью мыши перетаскиванием контактов. Позиционируем указатель мыши на первый контакт соединения, кликаем левую кнопку мыши и удерживая ее, протаскиваем указатель мыши на второй контакт соединения, отпускаем левую кнопку. В случае правильного соединения появляется электрическое соединение. Для завершения сборки схемы необходимо нажать кнопку «Проверить». Если схема собрана неправильно, то появляется сообщение «Схема собрана неправильно», необходимо отменить собранную схему и повторить процедуру сборки вновь. После того, как собрана схема следует включить источник напряжения и измерительный мост. Следует задать с помощью выбора переключателя напряжение, при котором будет проводиться измерение. (рис. 6).

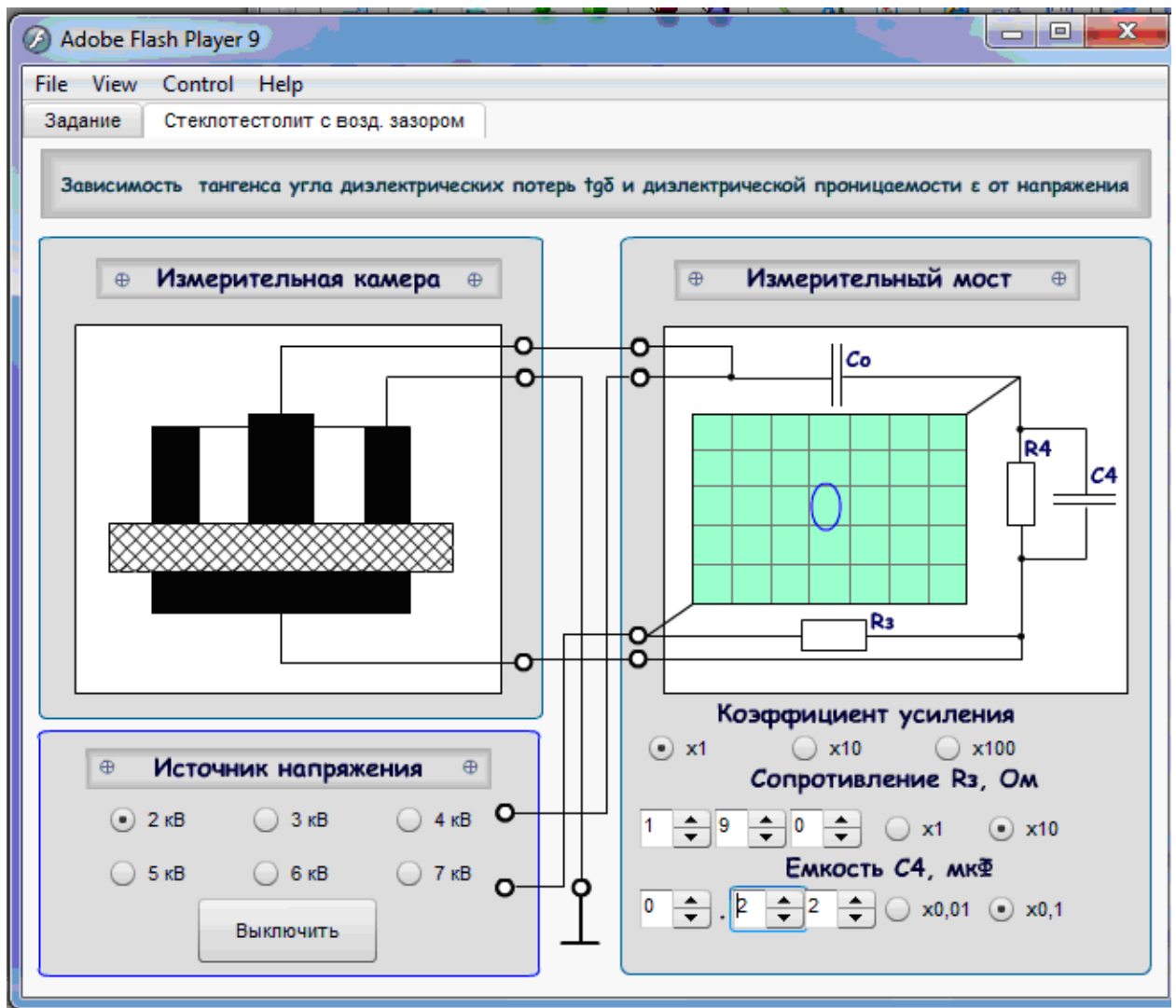


Рис. 6. Виртуальный лабораторный стенд подготовлен для проведения измерений зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения

Выбор испытательного напряжения осуществляется с помощью переключателя на виртуальном источнике напряжения. Задание R_3 , C_4 осуществляется с помощью элементов управления измерительного моста. Для расширения диапазонов измерения имеются делители. Для получения значения измеряемого параметра показание прибора следует умножить на значение делителя. Например для приведенного примера показание R_3 будет равно $190 \cdot 10 = 1900$ Ом, соответственно $C_4 = 0.48 \cdot 0.1 = 0.048$ мкФ. В начале измерений следует установить минимальную чувствительность моста, с тем, чтобы эллипс помещался на экране-индикаторе. Минимальной чувствительности соответствует коэффициент усиления равный 1. Уравновешиваем мост – добиваемся максимального уменьшения малой и большой оси эллипса. Увеличиваем коэффициент усиления. Снова уравновешиваем мост. Ограничиваемся коэффициентом усиления, при котором значения R_3 и C_4 меняются мало.

Рабочее задание и порядок проведения работы

Лабораторная работа проводится по следующей схеме:

1. Авторизоваться на учебно-методическом комплексе «Виртуальные лабораторные работы по курсу ЭТМ» (<http://etm.mpei.ru>). Загрузить

- виртуальную лабораторную работу «Поляризация и потери в твердых диэлектриках на частоте 50 Гц». Перейти к вкладке «Задание» на виртуальном лабораторном стенде и ознакомиться с выданным для выполнения заданием.
2. Собрать схему, перетаскивая соответствующие клеммы на виртуальном стенде. После сборки схемы необходимо включить стенд, регулируемый источник переменного напряжения, цифровой мост для измерения R_3 , C_4 .
 3. Рассчитать зависимости $tg\delta$ и ε , измерив значения R_3 , C_4 для напряжений, указанных в задании. Подготовить для отчета таблицу с измеренными и рассчитанными параметрами. Построить график зависимости $tg\delta$ и ε от напряжения.
 4. Сделать письменные выводы по проделанной работе, объяснив полученные зависимости. Подготовить отчет в формате текстового процессора Microsoft Word по проделанной работе в соответствии с установленными требованиями. Отчет должен включать в себя:

- титульный лист с наименованием лабораторной работы, названием кафедры, Ф.И.О. студента и преподавателя;
- конкретное задание, номер варианта;
- основные формулы и соотношения, по которым проводился расчет;
- таблицы (протоколы) с результатами экспериментов и рассчитанными $tg\delta$ и ε ;
- графики, полученных зависимостей;
- краткие письменные выводы, объясняющие соответствие (или несоответствие) полученных зависимостей теоретическим.

Графические зависимости оформляются с помощью средств построения графиков Excel, либо с помощью любых других программ построения графиков.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды поляризации, протекающие в твердых диэлектриках. Понятие диэлектрической проницаемости.
2. Какие виды поляризации сопровождаются потерями?
3. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь и мощность диэлектрических потерь?
4. Методика измерений тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.
5. Что представляют собой стеклотекстолит, текстолит, электрокерамика, конденсаторные стекла?

Литература

1. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. Изд-во: Маршрут, 2005, 356 с.
2. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учебник. Лань, 2001, 185 с.
3. Конструкционные и электротехнические материалы / под ред. В.А.Филикова. М.:Высшая школа, 1990, 294 с.
4. Электронные учебники по курсу «Электротехническое материаловедение». НИУ МЭИ, <http://ftemk.mpei.ac.ru/ctlw/LocalContent.aspx?id=etmTut>
5. Бородулин В.Н., К.В.Елизаров К.В., Сутченков А.А., Тихонов А.И. Методические указания по курсу Электротехническое материаловедение. Под ред А.И. Тихонова; М.: Изд-во МЭИ, 1997. 32с. Электронное учебное пособие.

6. Бородулин В.Н., К.В.Елизаров К.В., Сутченков А.А., Тихонов А.И. Задачи компьютерного учебно-контролирующего комплекса. Учебное пособие по курсу Электротехническое Материаловедение. М.: Изд-во МЭИ, 1999. 42с. Электронное учебное пособие.