



040005. Исследование диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках.

Цель работы: Определить зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках от температуры.

Требуемое оборудование:

1. Измеритель электропроводности ЛСМ1 – 1 шт.
2. Измерительные кассеты – 3 шт.

Краткое теоретическое введение

Характерным для любого диэлектрика процессом, возникающим при воздействии на него электрического напряжения, является поляризация – ограниченное смещение связанных зарядов или ориентация дипольных молекул.

О явлениях, обусловленных поляризацией диэлектриков, можно судить по значению диэлектрической проницаемости, а также по величине диэлектрических потерь, если поляризация диэлектрика сопровождается рассеянием энергии.

Относительная диэлектрическая проницаемость представляет собой отношение заряда Q , полученного при некотором напряжении на конденсаторе, изготовленном из данного диэлектрика, к заряду Q_0 , который можно было бы получить на конденсаторе тех же размеров и при том же напряжении, если бы между электродами находился вакуум:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + \Delta Q}{Q_0} = 1 + \frac{\Delta Q}{Q_0} \quad (1)$$

Величина относительной диэлектрической проницаемости является безразмерной величиной.

Рассматривая явления поляризации с учетом агрегатного состояния и структуры диэлектрика, следует различать два основных вида поляризации.

К первому виду относится поляризация, протекающая в диэлектрике под воздействием электрического поля практически мгновенно, вполне упруго, без рассеяния энергии. К этому виду относятся электронная и ионная поляризации.

Поляризация второго вида нарастает и убывает замедленно и сопровождается рассеянием энергии в диэлектрике, т. е. нагревом. Поляризация такого вида называется релаксационной. К этому виду относятся дипольно-релаксационная, ионно-релаксационная и электронно-релаксационная, а также миграционная поляризация, возникающая в твердых диэлектриках неоднородной структуры.

В диэлектрике, помещенном в переменное электрическое поле, происходит некоторое выделение энергии. Диэлектрическими потерями называют энергию, рассеиваемую в единицу времени в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающую нагрев диэлектрика.

При изучении поведения диэлектрика с потерями в переменном поле воспользуемся эквивалентной параллельной схемой замещения реального диэлектрика (рис. 1а).

Построим векторную диаграмму токов и напряжений в конденсаторе, включенном под переменное напряжение. Воспользуемся при этом параллельной схемой замещения (рис. 1б).

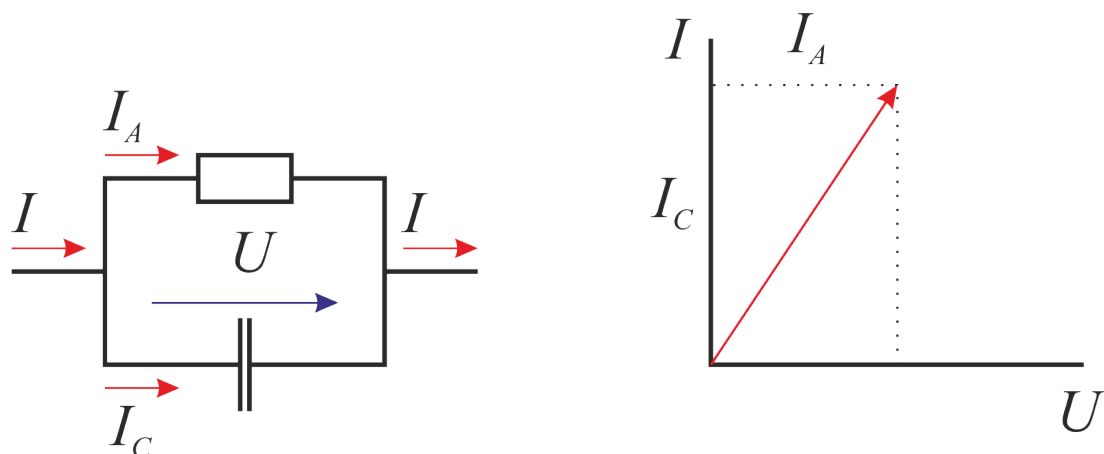


Рис.1

Если бы в диэлектрике конденсатора мощность совсем не рассеивалась («идеальный диэлектрик»), то вектор тока I опережал бы вектор напряжения U точно на 90° , а ток был бы чисто реактивным I_C . Но в реальном диэлектрике наряду с реактивным током имеет место ток активный (ток потерь). Таким образом, полный ток, складывающийся из двух токов (активного и реактивного), опережает напряжение на угол φ , несколько меньший 90° , т.е. величина угла φ связана с величиной активного тока (тока потерь). Чем больше I_A , тем сильнее угол φ отклоняется от 90° . Но в качестве характеристики потерь взят не сам угол φ , а угол δ , дополняющий угол φ до 90° , т.е. $\delta = 90 - \varphi$.

Угол δ называют **углом диэлектрических потерь**. Чем больше этот угол, тем больше (при прочих равных условиях) диэлектрические потери.

Обычно в качестве параметра материала дают **величину тангенса угла потерь**. Очевидно, что тангенс угла потерь равен отношению активного и реактивного токов:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_A}{I_C} \quad (2)$$

Легко получить выражение для величины диэлектрических потерь P в участке изоляции, обладающем емкостью C . Из рис. 1 очевидно, что $P = UI_C \operatorname{tg} \delta$.

Подставляем сюда значение силы тока через участок изоляции с емкостью C : $I_C = U \omega C$ ($\omega = 2\pi f$ – угловая частота), имеем: $P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$.

Диэлектрические потери по их особенностям и физической природе делятся на четыре основных вида.

1. Диэлектрические потери, обусловленные поляризацией.
2. Диэлектрические потери, обусловленные сквозной электропроводимостью.
3. Ионизационные диэлектрические потери.
4. Диэлектрические потери, обусловленные неоднородностью структуры.

Диэлектрики, построенные из неполярных молекул (полиэтилен, полистирол) и обладающие только электронной поляризацией, имеют наименьшее значение диэлектрической проницаемости. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости неполярных диэлектриков определяется изменением числа молекул в единице объема. В диэлектриках, обладающих электронной поляризацией, диэлектрические потери невелики и обусловлены, как правило, только сквозной электропроводностью и наличием примесей.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь может быть вычислена по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\varepsilon f \rho} \quad (3)$$

где f – частота приложенного напряжения, Гц; ρ_V – удельное сопротивление диэлектрика.

Диэлектрические потери, обусловленные электропроводностью, возрастают с температурой по экспоненциальному закону вида

$$P_t = A e^{-\frac{B}{kT}} \quad (4)$$

где A, B – постоянные материала.

Диэлектрики, представляющие собой ионные кристаллы с плотной упаковкой частиц, обладают ионной и электронной поляризацией и имеют величину диэлектрической проницаемости, лежащую в широких пределах. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости ионных кристаллов в большинстве случаев имеет положительное значение, вследствие того что при повышении температуры наблюдается не только уменьшение плотности вещества, но и возрастание поляризуемости кристаллической решетки, причем влияние этого фактора сказывается на величине температурного коэффициента сильнее, чем изменение плотности

В кристаллических структурах с плотной упаковкой ионов (слюда, кварц) при отсутствии примесей, искажающих решетку, диэлектрические потери весьма малы. При повышенных температурах в таких веществах появляются потери от электропроводности. В диэлектриках ионной структуры с неплотной упаковкой ионов (электротехнический фарфор) наблюдаются также потери, связанные с релаксационной поляризацией.

У диэлектриков с дипольными молекулами (поливинилхлорид, полиамиды, материалы на основе целлюлозы) зависимость от температуры проявляется значительно резче и характеризуется наличием максимума. В низкотемпературной области ориентация молекул в большинстве случаев невозможна из-за значительной вязкости. При повышении температуры ориентация диполей облегчается, что приводит к возрастанию диэлектрической проницаемости.

Методика проведения эксперимента



Рис. 2

В настоящей работе используется измеритель индуктивности и емкости ЛСМ1 (рис. 2). С его помощью можно определить емкость конденсатора, индуктивность катушек, а также тангенс угла потерь.

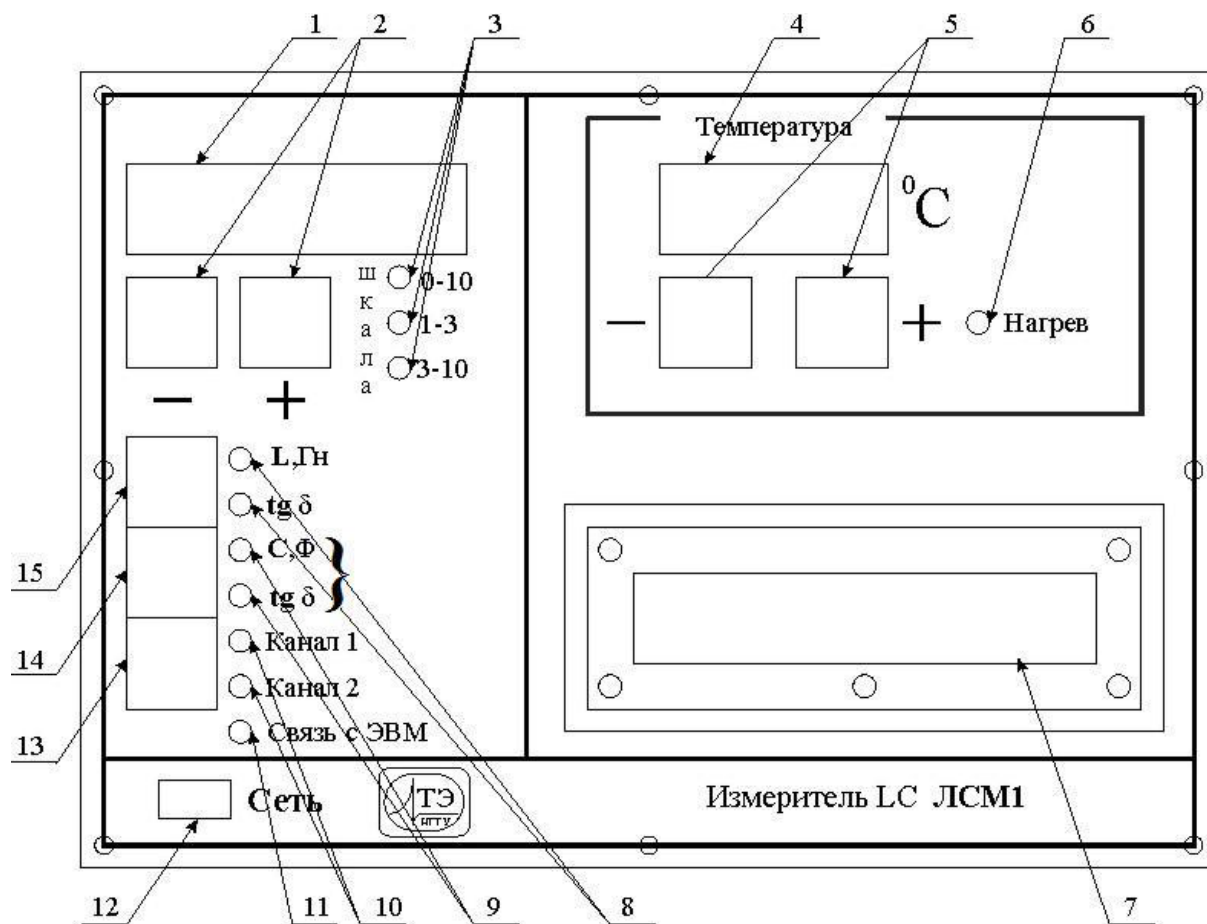


Рис. 3

На передней панели прибора (рис 3) расположены:

- 1 – индикатор результата измерения;
- 2 – кнопки выбора поддиапазона; емкости;
- 3 – индикатор шкалы;
- 4 – индикатор температуры;
- 5 – кнопки выбора температуры;
- 6 – индикатор нагрева;
- 7 – термокамера;
- 8 – индикаторы режима измерения измерения емкости;
- 9 – индикаторы режима измерения;
- 10 – индикатор выбора канала;
- 11 – индикатор связи с ЭВМ;
- 12 – кнопка выключателя «Сеть»;
- 13 – кнопка переключения канала;
- 14 – кнопка переключения режима индуктивности;
- 15 – кнопка переключения режима емкости.

Для включения прибора необходимо нажать кнопку 12 “Сеть” (рис. 3), при этом загорится индикатор результата измерения 1, индикатор выбора температуры 4, индикаторы 8, 9, 10.

Исследуемые образцы находятся в измерительной кассете ИК1. Для ее установки в прибор необходимо поднять шторку 11, установить кассету с образцами в термокамеру прибора до упора. При этом шторка должна опуститься.

Установите кнопкой 14 требуемый режим измерения (емкость или тангенс угла потерь). Кнопками 2 установите требуемый диапазон.

Кнопкой 13 установите требуемый канал для измерения. Контроль выбора канала осуществляется с помощью индикатора 10.

С помощью кнопок 5 устанавливается требуемое значение температуры термокамеры. При первом нажатии кнопки на индикаторе 4 высветится установленное значение температуры. При повторном нажатии кнопки произойдет коррекция устанавливаемой температуры. Через 2 с после завершения установки индикатор 4 перейдет в режим отображения текущей температуры. Для отключения терморегулятора необходимо установить температуру менее 30 °С. При этом на экране высветится сообщение

Сообщения, выдаваемые прибором

При работе прибора на индикаторе 1 могут отображаться следующие сообщения:

L – измеряемая величина *C* ниже выбранного диапазона;

H – измеряемая величина *C* выше выбранного диапазона;

P – измеряемое значение тангенса потерь *C* выше выбранного диапазона;

A – при измерении активная составляющая больше реактивной ($tg\delta > 1$).

Зная величину емкости конденсатора, его геометрическую форму и размеры, можно вычислить величину диэлектрической проницаемости диэлектрика конденсатора.

$$\varepsilon = \frac{Ch}{\varepsilon_0 S} \quad (5)$$

Рекомендуемое задание

1. Установите картридж в прибор. Включите кнопку 7 “Сеть” (рис. 3). При комнатной температуре измерьте *C* и $tg\delta$ диэлектрика на фиксированной частоте при комнатной температуре. Для этого кнопкой 9 установите требуемый 1 канал для измерения. Контроль выбора канала осуществляется с помощью индикатора 10. Кнопками 2 установите требуемый диапазон измерения *C* и $tg\delta$. По полученным результатам измерения рассчитать значение ε .

2. Провести измерение температурной зависимости ε . С помощью кнопок 5 установите требуемое значение температуры термокамеры. Измерения *C* и $tg\delta$ производите по следующему температурному ряду: комнатная, 40, 60, 80, 100 °С. **Рекомендуется соблюдать интервал между измерениями 10 мин для стабилизации показаний прибора при нагреве образца.** По полученным значениям рассчитать ε . По окончании измерений отключите терморегулятор. Для этого необходимо установить температуру менее 30 °С. При этом на экране высветится сообщение «OFF». **Осторожно выньте образец из термокамеры.**

3. Постройте график зависимости $\varepsilon=f(T)$. Для тангенса потерь построить зависимость $\ln(tg\delta)=f(1/T)$, выполнив линейную аппроксимацию экспериментальных точек, и определить эффективную энергию активации носителей заряда.

Список используемых источников

Материаловедение. Конструкционные и электротехнические материалы. Материалы и элементы электронной техники. Методические указания к лабораторным работам №1-4 для студентов II курса ЭМФ, РЭФ / В.Н. Гаревский И.Л. Новиков, Р.П. Дикарева, Т.С. Романова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 74 с.

февраль 2016

630092 г. Новосибирск пр. Карла Маркса 20, НГТУ,
НИЛ ТЕХНИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА (НИЛ ТЭ)

тел.: (383)-3460677

[http: www.nil.opprib.ru](http://www.nil.opprib.ru)

e-mail: lab@opprib.ru