



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № ____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы: экспериментальное определение относительной диэлектрической проницаемости различных диэлектриков.

Продолжительность работы: 2 часа

Теоретическое введение.

По тому, как вещества ведут себя в электрическом поле, они делятся на три группы: проводники, полупроводники и изоляторы или диэлектрики. Диэлектрики практически не проводят электрический ток, т.к. все заряды внутри них являются связанными, т.е. входят в состав атомов и молекул. Однако при внесении в электрическое поле диэлектрик создаёт собственное поле, в результате чего наблюдаемое поле изменяется.

Молекулы или атомы диэлектриков можно рассматривать в виде диполей, (рис. 1), дипольный момент которых определяется соотношением

$$\vec{P} = q\vec{l} \quad (1)$$

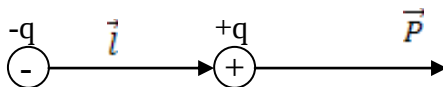


Рис. 1

При отсутствии внешнего электрического поля дипольные моменты различных молекул направлены хаотически, поэтому результирующий дипольный момент равен нулю.

Если внести диэлектрик в электрическое поле, то на дипольные моменты молекул действуют моменты сил $\vec{M}$, стремящиеся ориентировать их в направлении напряженности поля.

$$\vec{M} = [\vec{p}, \vec{E}] \quad (2)$$

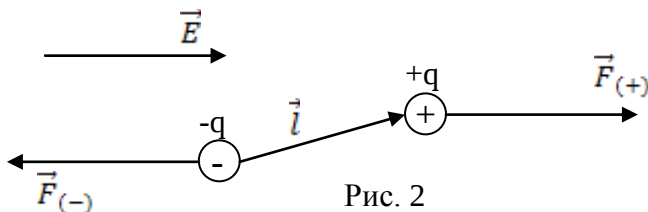


Рис. 2

В результате молекула переориентируется так, что весь объём диэлектрика приобретает дипольный момент, диэлектрик поляризуется.

Такие молекулы называются полярными. Наряду с диэлектриками, состоящими из полярных молекул или атомов, существуют и такие, молекулы или атомы которых не обладают собственным дипольным моментом. К ним относятся вещества, состоящие из атомов, электронное облако в которых распределено сферически симметрично относительно ядра, а также симметричные многоатомные молекулы ($H_2, N_2, O_2, CO_2, CH_4$ и др.).

Такие молекулы и атомы называются неполярными. Во внешнем электрическом поле положительные и отрицательные заряды, входящие в состав неполярных молекул смещаются. Положительные - по направлению напряжённости, а отрицательные - противоположно. В результате этого атом или молекула приобретает дипольный момент. Таким образом, можно заключить, что процесс поляризации диэлектрика связан с наличием у молекул собственного или индуцированного дипольного момента.

Количественно поляризация диэлектрика характеризуется физической величиной называемой поляризованностью.

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{P}}{\Delta V} \quad (3)$$

Где $\sum \vec{P}$ - суммарный дипольный момент некоторого объёма ΔV т.е. поляризованность - это дипольный момент единицы объёма диэлектрика.

Для изотропного диэлектрика поляризованность связана с напряжённостью электрического поля соотношением:

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E} \quad (4)$$

где χ - не зависящая от $\vec{E}$ безразмерная величина, называемая диэлектрической восприимчивостью диэлектрика.

Рассмотрим процесс образования электрического поля в плоском конденсаторе, пространство между обкладками которого заполнено диэлектриком.

Будем считать, что на обкладках конденсатора находится заряд с поверхностной плотностью заряда σ .

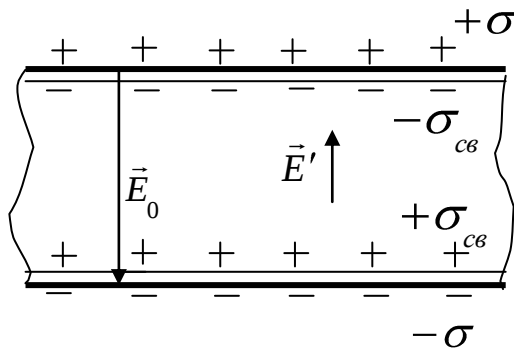


Рис. 3

Если между обкладками будет вакуум, то напряженность

$$\text{электрического поля } E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (5)$$

Поместим между обкладками конденсатора однородный диэлектрик, как показано на рис. 3. Под действием внешнего электрического поля диэлектрик поляризуется. На боковых поверхностях образуются некомпенсированные связанные заряды с поверхностной плотностью заряда $\sigma_{св}$, причём, вблизи положительно заряженной пластины конденсатора они будут отрицательные, а вблизи отрицательной - положительные. Эти заряды создадут своё электрическое поле с напряжённостью $\vec{E}'$, направленное противоположно $\vec{E}_0$. Поэтому внутри диэлектрика напряжённость электрического поля определяется соотношением:

$$E = E_0 - E', \quad (6)$$

где

$$E' = \frac{\sigma_{св}}{\varepsilon_0} \quad (7)$$

Учитывая (5), (6), и (7) можно получить

$$E = \frac{\sigma - \sigma_{св}}{\varepsilon_0} \quad (8)$$

но $\sigma_{св} = \chi \varepsilon_0 E$

Подставим это значение в формулу (8), получим

$$E = E_0 - \chi E$$

откуда

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\varepsilon} \quad (9)$$

Где $\mathcal{E} = 1 + \chi$ называется относительной диэлектрической проницаемостью среды. В данном случае мы убедились, что $\mathcal{E}$ показывает во сколько раз напряженность поля внутри диэлектрика меньше чем в вакууме.

Метод определения относительной диэлектрической проницаемости.

В данной работе для определения относительной диэлектрической проницаемости диэлектрика используется эффект резонанса напряжений в цепи переменного тока, в которую последовательно с генератором включены активное сопротивление R , катушка с индуктивностью L и конденсатор емкости C .

Принципиальная схема установки приведена на рис. 4

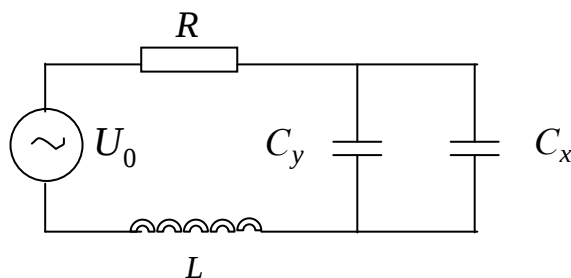


Рис. 4

U_0 - максимальная ЭДС генератора, C_y и C_x - конденсаторы переменной ёмкости.

Зависимость амплитуды сила тока I_0 и разности фаз φ между током и напряжением от частоты генератора ω даются выражениями:

$$I_0 = \frac{u_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - 1/\omega C\right)^2}},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R},$$

где $C = C_x + C_y$.

Из этих выражений видно, что сила тока достигает максимума $I_{0\max} = \frac{u_0}{R}$ при частоте,

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (10)$$

которая называется резонансной частотой контура. В момент резонанса амплитуды напряжения на индуктивности и ёмкости равны между собой и также достигают максимальных значений, во много раз превышающих ЭДС генератора.

Определив резонансную частоту $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ и зная индуктивность катушки, из соотношения (10) можно вычислить ёмкость системы конденсаторов. $C = \frac{1}{\omega_0^2 L}$.

Ёмкость конденсатора C_y можно менять поворотом одной из пластин, причём зависимость ёмкости от угла поворота известна и даётся в виде графика.

Ёмкость плоского конденсатора C_x определяется по формуле

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (11)$$

где ε_0 - электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м,

$\mathcal{E}$ -относительная диэлектрическая проницаемость исследуемого диэлектрика,

S – площадь пластин, d – расстояние между пластинами.

В процессе работы частота генератора $f_r = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ остаётся постоянной, Это соответствует

резонансу в цепи при отключенном конденсаторе C_x . При включении конденсатора C_x резонанса наблюдаться не будет, т.к. общая ёмкость изменится. Для того чтобы вновь наблюдать резонанс напряжений необходимо уменьшить ёмкость конденсатора C_y на величину равную C_x .

Таким образом ёмкость конденсатора C_x может быть вычислена по формуле: $C_x = C - C_y$, где C – это максимальная ёмкость C_y .

Используя соотношение (II) можно рассчитать относительную диэлектрическую проницаемость диэлектрика $\mathcal{E}$:

$$\mathcal{E} = \frac{C_x d}{\mathcal{E}_0 S}$$

Оборудование и схема установки.

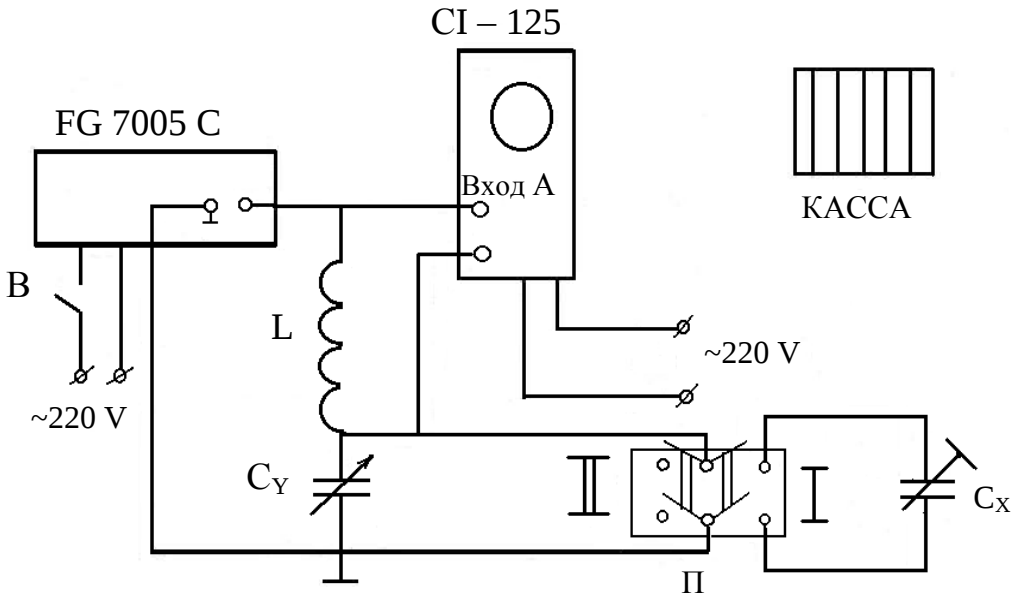


Рис. 5

- Электронный осциллограф CI – 125
- Генератор стандартных сигналов FG7005C
- Конденсатор переменной емкости C
- Исследуемый конденсатор C_x с одной подвижной пластиной
- Набор диэлектриков «КАССА»
- Катушка индуктивности L
- Переключатель П
- Выключатель В

Порядок выполнения работы.

Предупреждение:

1. Питание установки включается только с разрешения преподавателя.
2. В процессе работы запрещается прикасаться к элементам питания схемы.

Подготовка к работе осциллографа С1-125

1. Подключить шнур питания в сеть переменного напряжения 220 в. Включить осциллограф кнопкой «СЕТЬ».
2. Установить верхний ряд переключателей в положение

НОРМ	А	→→→	X1	АВТ	—	^
------	---	-----	----	-----	---	---

3. На канале А установить чувствительность входа («Y/дел») 0,5.
4. Установить «время/дел» равным 200 μ s. Диапазон «время/дел» включить в положение μ s (загорится индикатор « μ s»).
5. Переключатель над разъемом А установить в положение «~» (переменная составляющая).
6. По истечении 2-3 минут на экране осциллографа должна появиться линия развертки.
7. Ручкой « $\updownarrow$ » (над переключателем «V/дел» канала Б) выставить линию развертки оси x по центру экрана осциллографа.

Примечание:

Остальные ручки осциллографа при выполнении работы не трогать!!!

Подготовка к работе генератора FG7005C:

1. Включить шнур питания в розетку.
2. Включить прибор (кнопка «POWER»).
3. Нажать кнопку диапазона измерений «1 М».
4. Выбрать синусоидальную форму сигнала (кнопка ~ «FUNCTION»).
5. Нажать кнопку «ATT».
6. Прогреть осциллограф генератора не менее 15 минут.

Примечание:

Остальные ручки генератора при выполнении работы не трогать!!!

Определение относительной диэлектрической проницаемости различных диэлектриков.

1. Переключатель П поставить в положение II.
2. Установить указатель подвижной пластины конденсатора C в положение, соответствующее максимальной емкости.
3. Изменяя ручкой “FREQUENCY” частоту генератора в пределах установленного диапазона, добиться чёткого резонанса, что определяется по максимальной амплитуде напряжения на экране осциллографа.
4. Ручкой “AMPL” отрегулировать вертикальное усиление так, чтобы амплитуда сигнала не выходила за пределы экрана осциллографа (не более 40 мм.).

5. Отstopорить подвижную пластину исследуемого конденсатора C_x и отвести её вправо на 15-20 мм.
6. Между пластинами конденсатора C_x установить диэлектрик (материал диэлектрика указывает преподаватель).
7. Приблизить подвижную пластинку вплотную к установленному диэлектрику, приложив при этом небольшое усилие, и заstopорить её stopорным винтом.
8. Установить переключатель П в положение I. При этом конденсатор C_x будет подключен параллельно к конденсатору C . Увеличение общей ёмкости колебательного контура приведёт к нарушению резонанса. Амплитуда на экране осциллографа резко уменьшается.
9. Чтобы восстановить резонанс необходимо плавным поворотом рукоятки подвижной пластины конденсатора C_y против часовой стрелки добиться максимальной амплитуды сигнала на экране осциллографа.
10. Записать значение n , т.е. деление шкалы конденсатора C_y против красной визирной линии.
11. Для более точного отсчёта величины n повторить действия, указанные в пунктах 9, 10 ещё 4 раза. Из пяти измерений найти среднее значение n
12. Зная среднее значение n , по графику $C_y(n)$ (на стене) найти величину ёмкости C_y .

13. Из уравнения $C_{\max} = C_x + C_y$ определить величину ёмкости C_x , где $C_{\max} = 150 \text{ PF}$.
14. С помощью штангенциркуля измерить площадь S одной из пластин конденсатора C_x .
15. Отstopорить подвижную платину конденсатора C_x , вынуть диэлектрик и штангенциркулем измерить его величину d в четырёх точках. Найти среднее значение d .
16. Из формулы $C_x = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ найти относительную диэлектрическую проницаемость данного диэлектрика ϵ , где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м}$, S – в м^2 , d – в метрах, C_x – в фарадах.
17. Повторить опыты с другими диэлектриками согласно пунктам 1-16. Найти соответствующее значение ϵ .
Материалы диэлектриков указывает преподаватель.

Примечание: Перед началом каждого последующего опыта с другими диэлектриками переключатель II должен быть в положение II.

18. По окончании работы и проверки результатов измерений преподавателем, выключить “В” и тумблёры “СЕТЬ” на осциллографе и генераторе поставить в положение “выключено”. Нажать красную кнопку на электрошите.
19. Диэлектрики разместить в кассе согласно номерам.

20. Штангенциркуль и кассу сдать лаборанту.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называют диэлектриками? Типы диэлектриков.
2. Что такое поляризованность диэлектрика?
3. Объяснить физический смысл относительной диэлектрической проницаемости среды. От чего она зависит?
4. Что такое резонанс напряжений в колебательном контуре?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т.И. Трофимова. Курс физики, М.,-Высш.шк.,1994, §§ 87, 88, 94, 150.
2. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела, М.,-Высш.шк., 1985, §§ 9,1-9,4.