

Тема учебного предмета: «Газообразные диэлектрики»

Лабораторная работа № 3

Тема работы: «Определение электрической прочности воздуха»

1. Цель работы

Научиться определять электрическую прочность воздуха.

2. Задание

Определите значение пробивного напряжения воздуха и вычислите его электрическую прочность.

3. Оснащение работы

1. Стенд НТЦ-05.13 «Электротехнические материалы».
2. Модуль №6 «Активный диэлектрик. Прямой пьезоэффект».
3. Ноутбук.
4. Программное обеспечение осциллографа PicoScope 6.
5. Кабель AM-BM USB 2.0.
6. Перемычка.
7. Калькулятор.

4. Основные теоретические сведения

Пробой – потеря электрической прочности под действием напряжённости электрического поля, может иметь место как в образцах различных диэлектриков и систем изоляции, так и в электроизоляционных системах любого электротехнического устройства, от мощных генераторов и высоковольтных трансформаторов до любого бытового прибора. Сочетание в системах изоляции материалов, различных по электрической прочности, может приводить к серьезным осложнениям в эксплуатации самых разнообразных электротехнических устройств, особенно высокого напряжения, где изоляция работает в сильных электрических полях и может возникнуть её пробой.

Причины пробоя бывают различными, поэтому не существует единой универсальной теории пробоя. В любой изоляции пробой приводит к образованию в ней канала повышенной проводимости, достаточно высокой, чтобы произошло короткое замыкание в данном электротехническом устройстве, создающее аварийную ситуацию, по существу выводящую это устройство из строя. Однако в этом отношении пробой может проявлять себя в разных системах изоляции по-разному. В твёрдой изоляции, как правило, канал пробоя сохраняет высокую проводимость после выключения, приведшего к пробую напряжения, явление протекает необратимо. В жидких и газообразных диэлектриках вследствие высокой подвижности частиц, электрическое сопротивление канала пробоя восстанавливается после снятия вызвавшего его напряжения, практически мгновенно.

Пробивное напряжение обозначается $U_{пр}$ и измеряется чаще всего в киловольтах. Электрическая прочность $E_{пр}$ по формуле

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h} \quad (1)$$

где $U_{пр}$ – пробивное напряжение, В.

h – толщина диэлектрика в месте пробоя, мм.

Удобные для практических целей численные значения электрической прочности диэлектриков получаются, если пробивное напряжение выражать в киловольтах, а толщину диэлектрика - в миллиметрах. Тогда электрическая прочность будет в киловольтах на миллиметр. Для сохранения численных значений и перехода к единицам системы СИ используют единицу МВ/м

$$МВ/м = 1 \text{ кВ/мм} = 10^6 \text{ В/м}$$

Напряжение пробоя зависит от температуры и давления газа, расстояния между электродами. При изменении температуры и давления газа, расстояния между электродами изменяется длина свободного пробега заряженных частиц, которая является основным фактором, влияющим на начало развития ударной ионизации. Это также определяет различие электрической прочности газообразных, жидких и твердых диэлектриков. Химический состав газа так же влияет на величину электрической прочности.

Основой развития пробоя газа является ударная и фотонная ионизации. При определенном напряжении электрического пробоя возникает ударная ионизация, приводящая к образованию свободных зарядов и электронных лавин - начало процесса пробоя газов. Фотоионизация обусловлена появлением фотонов в результате возвращения электронов на нижние энергетические уровни. Фотоионизация резко увеличивает скорость развития пробоя.

Пробой жидких диэлектриков происходит в результате ионизационных и тепловых процессов. Одним из главнейших факторов, способствующих пробоем жидкостей, является наличие в них посторонних примесей. Пробой твердых тел может вызываться как электрическими, так и тепловыми процессами.

Тепловой пробой является следствием уменьшения активного сопротивления диэлектрика под влиянием нагрева в электрическом поле, что приводит к росту активного тока и дальнейшему увеличению нагрева диэлектрика вплоть до его термического разрушения.

При длительном действии напряжения пробой может быть вызван электрохимическими процессами, происходящими в диэлектрике под воздействием электрического поля.

Из изложенного следует, что пробой газов - явление чисто электрическое. Поэтому все численные результаты экспериментов по пробоем газов относятся к максимальным (амплитудным) значениям.

Пьезоэлектрики - диэлектрики с сильно выраженным пьезоэлектрическим эффектом. Прямой пьезоэлектрическим эффектом называют явление поляризации

диэлектрика под действием механических напряжений. При обратном пьезоэффекте происходит изменение размеров диэлектрика под действием приложенного электрического поля.

В данной лабораторной работе используется неоднородное электрическое поле между электродами в форме острия. При повышении напряжения между электродами возникает явление электрического пробоя, искра, которая затем переходит в дугу, если источник напряжения имеет достаточную мощность.

Характер зависимости электрической прочности воздуха от расстояния между электродами представлен на рисунке 1.

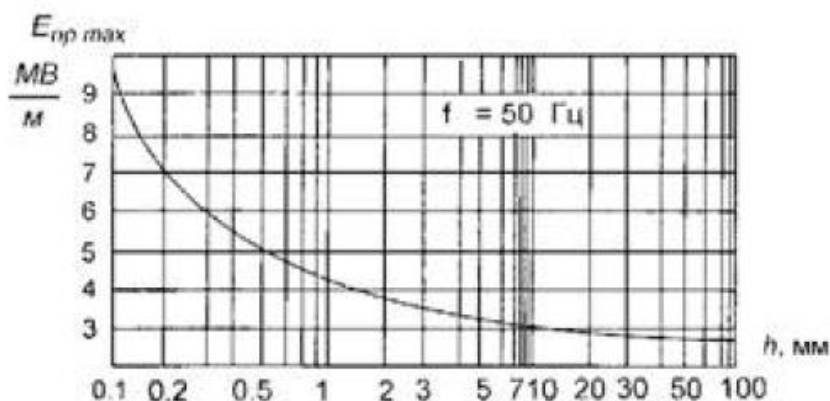


Рисунок 1 – Характер зависимости электрической прочности воздуха от расстояния между электродами

Пробой газа в неоднородном электрическом поле происходит при меньшем напряжении по сравнению с пробоем того же слоя газа в однородном электрическом поле. Вначале наступает неполное электрическое разрушение слоя газа у электрода с меньшим радиусом, так как у его поверхности наблюдаются наибольшие напряженности электрического поля. При повышении напряжения возникает разряд в виде короны. При дальнейшем повышении напряжения корона переходит в искровой разряд, а при достаточной мощности источника - в дуговой.

5. Порядок выполнения работы

5.1 Изучите основные теоретические сведения.

5.2 Согласно рисунку 2 выполните электрические соединения для сборки схемы пикового детектора импульса напряжения пьезоэлемента.

!!! Монтаж схемы производить при отключенном питании.

5.3 После проверки правильности соединений схемы преподавателем, включите стенд нажатием кнопки SB1.

5.4 Запустите программу «PicoScope». Установите развертку на 10 мкс, установите развертку канала «А» ± 20 В. Установите тип измерения «Максимум» (вкладка «Измерения»). Установите в панели инструментов «Триггеры» - один. Панель инструментов «Триггеры» определяет, когда осциллографическое устройство должно начать захват данных.

5.5 Задайте усилие для катапульты $F = 25$ Н. Для этого установите указатель на первое деление (крайнее правое) шкалы катапульты, при этом усилие равно 25 Н. Цена деления 4 Н.

5.6 Придайте ускорение катапульте, как показано на рисунке 2, и понаблюдайте, произошел ли пробой.

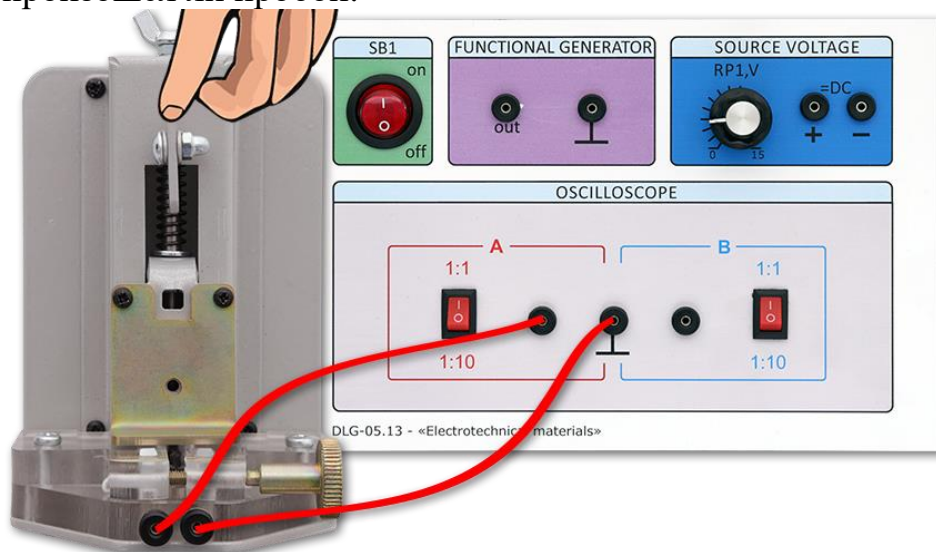


Рисунок 2 – Схема соединения пикового детектора импульса напряжения пьезоэлемента

Сравните полученную осциллограмму с осциллограммой, представленной на рисунке 3, в случае наличия существенных помех повторите эксперимент.

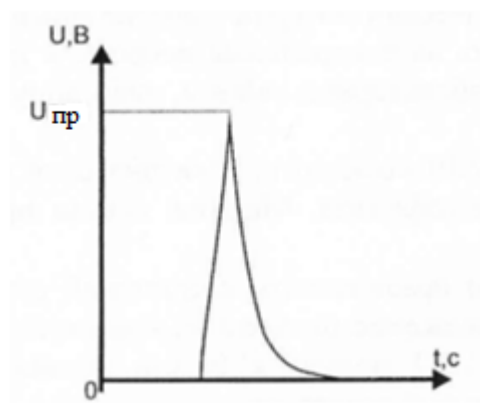


Рисунок 3 – Зависимость $U_{np}=f(t)$ на экране осциллографа

5.7 По полученной осциллограмме определите значение пробивного напряжения U_{np} и занесите в таблицу 1. Повторите пункты 5.6, 5.7 еще несколько раз при том же усилии, занося данные в таблицу 1, затем вычислите среднее значение напряжения $U_{np,ср.}$.

5.8 Изменяя (увеличивая) усилие, т.е. смещая указатель через одно деление (до 3-го), повторяйте пункты 5.6, 5.7, пока не произойдет пробой. Результаты измерений запишите в таблицу 1 отчета.

5.9 Рассчитайте электрическую прочность воздуха E_{np} по формуле (2)

$$E_{np} = \frac{U_{np,ср}}{h} \quad (2)$$

Расстояние между электродами h принять равным 2 мм. Результаты расчета запишите в таблицу 1 отчета.

5.10 После завершения измерений отключите стенд кнопкой SB1.

5.11 Разберите схему, предоставьте комплект в полном составе и исправности преподавателю.

5.12 Оформите отчет по рекомендуемой форме.

6. Форма отчета о работе

Лабораторная работа № ____

Номер учебной группы ____

Фамилия, инициалы обучающегося _____

Дата выполнения работы _____

Тема работы _____

Цель работы _____

Задание: _____

Оснащение работы: _____

Результаты выполнения работы: _____

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п.п	F, H	U_{np}, B	$U_{np.cр}, B$	$E_{np}, B/мм$
1	25			
2				
3				
1	29			
2				
3				
1	33			
2				
3				

$$E_{np1} = \dots$$

$$E_{np2} = \dots$$

$$E_{np3} = \dots$$

Ответы на контрольные вопросы:

1.

2.

3.

4.

5.

Вывод: _____

7. Контрольные вопросы и задания

1. Опишите процесс возникновения электрического пробоя газа.
2. Опишите физические явления, сопровождающие электрический пробой газообразного и твердого диэлектрика.
3. Дайте определению понятию «Пьезоэлектрики». Поясните причину возникновения прямого и обратного пьезоэффекта.
4. Объясните увеличение электрической прочности газов при уменьшении расстояния между электродами.
5. Спрогнозируйте последствия сочетания в системах изоляции материалов, различных по электрической прочности.

8. Рекомендуемая литература

1. Берлин, В.И. Материаловедение: учебник для техникумов / В. И. Берлин, П.С. Костяев, К.Д. Шапкин. – М.: Транспорт, 1979. – 382 с.
2. Гелин, Ф. Д. Материаловедение: пособие с элементами программирования для металлистов / Ф. Д. Гелин, Э. И. Крупицкий, И. П. Позняк. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 269 с.
3. Журавлева, Л.В. Электроматериаловедение: учебник для нач. проф. образования / Л. В. Журавлева. – М.: Издательский центр “Академия”, 2008. – 352 с.
4. Красько, А.С., Павлович С.Н. Электроматериаловедение: учеб. пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович. – Минск: РИПО, 2012. – 210 с.