

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Электротехника, метрология и электроэнергетика»

Г.С. КАСАТКИН, В.В. ФЕДОТОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

*Методические указания
к лабораторным работам*

МОСКВА - 2007

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Электротехника, метрология
и электроэнергетика»

Г.С. КАСАТКИН, В.В. ФЕДОТОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Рекомендовано редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний для студентов
электротехнических специальностей

Москва - 2007

УДК 621.315.5
К-28

Касаткин Г.С., Федотов В.В. Исследование электропроводности твердых диэлектриков: Методические указания к лабораторной работам. - М.: МИИТ, 2007. – 20 с.

Приведены теоретические сведения о влиянии напряжения и степени увлажненности на величины объемной и поверхностной электропроводностей различных диэлектриков, а также об особенностях и основных методах измерения электропроводности. Теоретический и экспериментальный материал необходим для лучшего усвоения дисциплины «Электротехнические материалы».

© **Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2007**

Учебно – методическое издание

Касаткин Георгий Сергеевич, Федотов Виктор Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания к лабораторной работе

Подписано к печати:
усл.-печ.л. 1,5
Заказ:

Формат: 60x84/16
Тираж 200 экз.
Изд. № 83-07

127994, Москва, ул.Образцова, 15
Типография МИИТа

РАБОТА 1
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЁРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния напряжения на электропроводность твердых диэлектриков и особенностей её измерения.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электропроводность твердых диэлектриков обусловлена перемещением под действием приложенного напряжения как ионов самого диэлектрика, так и ионов примесей, содержащихся в нем. Таким образом, различают собственную и примесную электропроводности.

При низких энергетических воздействиях (напряжение, температура и т.п.) перемещаются, в основном, слабо закрепленные ионы примесей. Поэтому электропроводность диэлектриков с примесями больше, чем у тех же диэлектриков без них.

На величину электропроводности твердых диэлектриков влияет также их структура. Так, в пористых диэлектриках, содержащих газовые включения и влагу, электропроводность значительно выше по сравнению с однородными диэлектриками.

Например, целлюлозные волокнистые материалы, к которым относятся дерево и бумага, имеют сравнительно большую гигроскопичность, что связано как с химической природой целлюлозы, содержащей большое число полярных гидроксильных групп – OH, так и с особенностями строения растительных волокон.

В тех случаях, когда требуется особо высокая рабочая температура изоляции, которую органические волокнистые материалы обеспечить не в состоянии, применяют неорганические волокнистые материалы – на основе стеклянного волокна и асбеста.

Дерево в электротехнике применяется для изготовления штанг приводов разъединителей и масляных выключателей, рукояток рубильников, опорных и крепежных деталей трансформаторов высокого и низкого напряжения, пазовых клиньев электрических машин, фанерного шпона для производства клееных материалов, деревянных опор линий электропередачи и связи и т. п. Его недостатки: высокая гигроскопичность, нестандартность свойств, низкая нагревостойкость, горючесть.

Гетинакс представляет собой листовой слоистый прессованный материал, состоящий из двух или более слоев бумаги, пропитанной бакелитом – фенолоформальдегидной термореактивной смолой. Электротехнический гетинакс выпускают восьми марок. В зависимости от марки в качестве связующего вещества применяют фенолоформальдегидные смолы или эпоксидную смолу типа ЭД-16. Пропитка слоев бумаги смолой значительно уменьшает действие влаги на объемное сопротивление гетинакса.

Фенолоформальдегидные смолы, применяемые при производстве слоистых пластиков (гетинакса, текстолита и др.), являются полярными диэлектриками, поэтому их диэлектрическая проницаемость высока ($\epsilon = 5,0 - 6,0$). Эпоксидная смола типа ЭД-16 также является полярным диэлектриком ($\epsilon = 3,3 - 6,0$). Полярность этих смол способствует адсорбции влаги на поверхности слоистых пластиков.

Гетинакс легко поддается механической обработке, а тонколистовые сорта гетинакса хорошо штампуются, особенно в подогретом состоянии. Следует отметить слабую дугостойкость гетинакса. Так, после искрового разряда на поверхности остается науглероженный слой с большой проводимостью. Из гетинакса изготавливают детали радиотехнического и электротехнического назначения.

С ростом напряжения электропроводность диэлектриков обычно растет (их сопротивление падает). Это объясняется рядом причин: увеличением подвижности ионов диэлектрика, образованием в диэлектрике объемных

зарядов, изменением конфигурации включений влаги в порах диэлектрика под действием сил электрического поля, влиянием его контакта с окружающими электродами. При высоких напряжениях может происходить вырывание электронов из металлических электродов и из атомов самого диэлектрика. Создающаяся при этом добавочная электронная проводимость приводит к существенному увеличению полной проводимости.

Поскольку электропроводность твердых диэлектриков невелика, то ток, протекающий через объем диэлектрика – I_V , соизмерим с током, протекающим по его поверхности – I_S (рис.1.1). Поэтому полный ток через диэлектрик

$$I = I_V + I_S \quad (1.1)$$

Следовательно, проводимость диэлектрика $G=I/U$ складывается из объемной $G_V = I_V/U$ и поверхностной $G_S = I_S/U$ проводимостей

$$G = G_V + G_S \quad (1.2)$$

Величины, обратные указанным проводимостям – общее сопротивление диэлектрика R , его объемное – R_V и поверхностное – R_S сопротивления.

$$\frac{1}{R} = G = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_S}, \quad (1.3)$$

откуда

$$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S} \quad (1.4)$$

$$R = \frac{R_v \cdot R_s}{R_z}$$

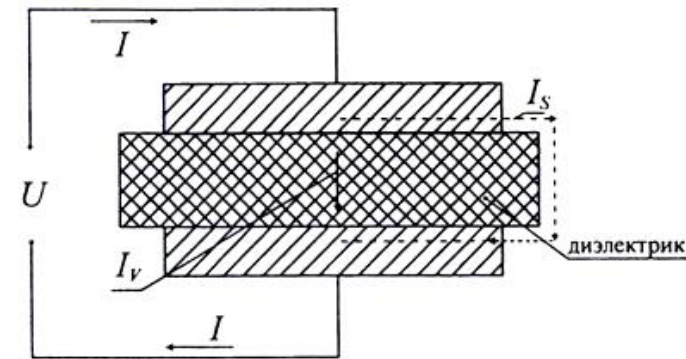


Рис.1.1

Поскольку сопротивления R_V (ток I_V) и R_S (ток I_S) твердого диэлектрика соизмеримы, то необходимо их раздельное измерение. Для этого испытуемый твердый диэлектрик необходимо включать в измерительную цепь с помощью трёх электродов: верхнего (1), нижнего (2), и охранного (3) - рис.1.2. Электрод (3), обычно в форме кольца, служит для разделения объемного и поверхностного токов. Внутренний радиус этого электрода – r_2 , а радиус верхнего цилиндрического электрода – r_1 (рис 1.2). Для создания хорошего электрического контакта на испытуемый диэлектрик наклеиваются листы фольги, вырезанные по форме электродов.

Измерение электропроводности диэлектриков проводятся на постоянном напряжении, так как при включении на переменное напряжение, помимо объемного тока I_V (сквозного тока $I_{СКВ}$), через диэлектрик будет протекать ток абсорбции – $i_{АБС}$, вызванный процессами поляризации.

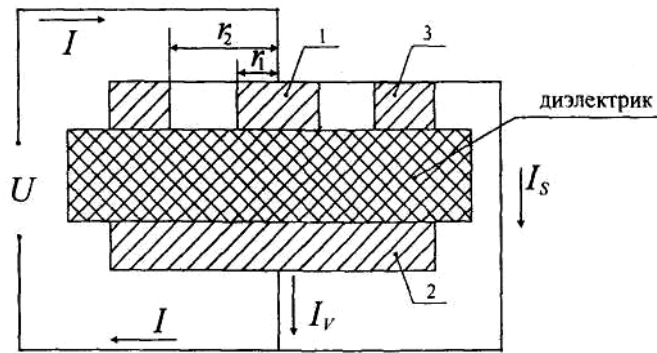


Рис. 1.2.

При включении диэлектрика на постоянное напряжение все виды поляризации заканчиваются обычно через время $t < 60$ с. после подачи напряжения. Поэтому измерение электропроводности следует производить не ранее 1 минуты после включения постоянного напряжения. Через это время t ток I_{ABC} становится равным нулю и сквозь объем диэлектрика будет протекать лишь ток I_V (сквозной ток $I_{СКВ}$).

Итак, особенности измерения электропроводности твердого диэлектрика состоят в необходимости использования трех электродов для его включения в измерительную цепь с целью разделения токов I_V и I_S и раздельного измерения R_V и R_S , а так же проведения измерений на постоянном напряжении и не ранее одной минуты после его подачи для исключения тока абсорбции.

На рис. 1.3 и рис. 1.4 приведены соответственно схемы для измерения объемного R_V и поверхностного R_S сопротивлений твердых диэлектриков. Регулируемое постоянное напряжение получают от выпрямительной установки, включающей однофазный трансформатор (1),

диод (2) и конденсатор (3) для сглаживания пульсаций. Плавное изменение напряжения осуществляется с помощью регулятора напряжения РН, включенного на первичной стороне трансформатора (1). Резистор (4) ограничивает ток при возможном пробое испытуемого диэлектрика или случайном коротком замыкании.

Объемный - I_V (рис. 1.3) и поверхностный I_S (рис. 1.4) токи, протекающие через испытуемый диэлектрик, измеряются амперметром А. Поскольку эти токи незначительны, то их измерение возможно лишь высокочувствительными приборами (гальванометрами или электронными амперметрами, состоящими из механизма магнито-электрической системы и усилителя). Такой метод измерения, позволяющий непосредственно измерять эти малые токи, получил название - метод непосредственного отклонения. Для повышения чувствительности метода измерения по схемам рис. 1.3 и рис. 1.4 проводят на повышенном напряжении порядка единиц киловольт. Величина напряжения U определяется вольтметром V.

Объемное сопротивление R_V испытуемого диэлектрика рассчитывается на основании показаний приборов схемы рис.1.3.

$$R_V = \frac{U}{I_V}$$

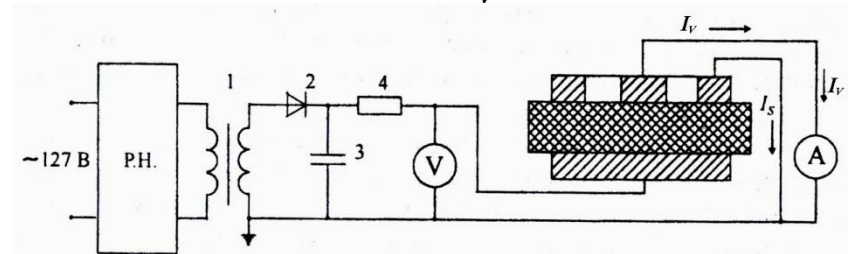


Рис. 1.3

Удельное объемное сопротивление находится следующим образом. При небольшой по сравнению с диаметром верхнего электрода (1) толщине диэлектрика можно считать, что объемный ток проходит по цилиндру, площадь поперечного сечения которого равна πr_1^2 , а высота - толщине диэлектрика h . Тогда

$$\rho_v = \frac{U}{I_v} \cdot \frac{\pi r_1^2}{h}. \quad (1.6)$$

Если h и r_1 выражены в метрах, то размерность ρ_v — Ом·м. Поверхностное сопротивление R_s испытуемого диэлектрика рассчитывается на основании показаний приборов схемы рис. 1.4.

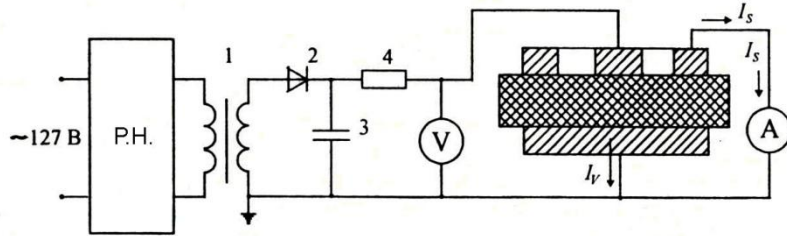


Рис. 1.4.

$$R_s = \frac{U}{I_s}. \quad (1.7)$$

При определении удельного поверхностного сопротивления ρ_s необходимо учитывать, что поверхностный ток протекает по радиусам от внутреннего электрода 1 (с радиусом r_1) к внешнему электроду 3 (охранное кольцо с внутренним радиусом r_2) и поверхностная плотность тока не остается постоянной. Поэтому вначале определяется поверхностное сопротивление на бесконечно малой длине dr на расстоянии r от центра электродов

$$dR_s = \rho_s \frac{dr}{2\pi r}. \quad (1.8)$$

Поверхностное сопротивление на участке от r_1 до r_2 будет равно

$$R_s = \rho_s \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{2\pi r} = \frac{\rho_s \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} = \frac{U}{I_s}. \quad (1.9)$$

Удельное поверхностное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$\rho_s = \frac{U}{I_s} \cdot \frac{2\pi}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \approx \frac{U}{I_s} \cdot \frac{\pi(r_1 + r_2)}{r_2 - r_1}, \quad (1.10)$$

где r_2 - внутренний радиус охранного кольца.

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s измеряется в Омах.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Ознакомиться со схемой измерительной установки и ее монтажным исполнением.

3.2. Ознакомиться с правилами эксплуатации электронного прибора Е6-13А, работающего в режиме измерения постоянного тока (см. приложение 1).

3.3. Собрать схему рис. 1.3 или рис. 1.4. и установить испытуемый диэлектрик.

3.4. С помощью автотрансформатора подвести к испытуемому диэлектрику нужное напряжение. Величины напряжений устанавливать равными 500; 1000; 1500 и 2000 В.

3.5. По истечении одной минуты с момента подачи напряжения измерить ток через диэлектрик прибором Е6-13А. При работе с переключателем пределов прибора необходимо быть внимательным и не допускать выхода стрелки его индикатора за пределы шкалы.

3.6. После окончания каждого измерения переключатель пределов прибора следует возвращать в исходное положение.

3.7. Измерения провести для указанных руководителем занятий диэлектриков.

3.8. Рассчитать по измеренным величинам токов I_V и I_S значения удельных сопротивлений ρ_V и ρ_S (формулы (1.6) и (1.10)).

3.9. Результаты измерений и расчетов свести в табл.3.1

Таблица 3.1

Результаты измерений и расчетов значений I_V , I_S , ρ_V и ρ_S

Наименование диэлектрика	Измерено						Вычислено	
	r_1 , м	r_2 , м	h , м	U , В	I_V , А	I_S , А	ρ_V , Ом·м	ρ_S , Ом

3.10. По полученным данным построить зависимости $\rho_V = f(U)$ и $\rho_S = f(U)$.

4.4. На основании каких выражений определяются ρ_V и ρ_S и в каких единицах они измеряются?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серябряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. - 280 с

2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.Б., Тареев Б.М. "Электротехнические материалы". -Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 304 с.

3. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. "Испытание электроизоляционных материалов и изделий. - Л.: Энергия, 1980. - 216 с.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Объяснить характер полученных зависимостей ρ_V и ρ_S от напряжения.

4.2. Почему при измерении электропроводности твердых диэлектриков необходима система из трех электродов?

4.3. Почему измерения электропроводности твердых диэлектриков следует проводить на постоянном напряжении и не ранее одной минуты после его подачи?

РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЁРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния адсорбции влаги на величину поверхностного сопротивления твердых диэлектриков и способов защиты их от увлажнения.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Влажностные свойства твердых диэлектриков

Твердые диэлектрики, используемые в электроустановках в качестве изоляционных материалов, в большей или меньшей степени гигроскопичны, т.е. обладают способностью поглощать влагу из окружающей среды. На поверхности диэлектрика водяные пары конденсируются в виде капель влаги или целых водяных пленок. Конденсация водяных паров на поверхности материала называется адсорбцией.

Присутствие даже малых количеств воды значительно уменьшает сопротивление диэлектрика (увеличивает его электропроводность). Вода является сильно полярной жидкостью ($\epsilon = 88$) с низким удельным сопротивлением порядка $10^3 - 10^4$ Ом·м. Уменьшению сопротивления диэлектрика способствуют также диссоциация на ионы содержащихся в воде примесей и

диссоциация молекул самого диэлектрика вследствие их взаимодействия с диполями воды.

Степень увлажнения диэлектрика зависит от его строения, структуры, степени очистки и обработки поверхности. Поэтому влияние влаги на поверхностную электропроводность определяется природой диэлектрика.

Удельная поверхностная электропроводность тем ниже, чем слабее полярность молекул диэлектрика, чем чище его поверхность и чем лучше она отполирована. Присутствие загрязнений на поверхности относительно мало сказывается на удельной поверхностной электропроводности не смачиваемых водой диэлектриков, но сильно влияет на электропроводность смачиваемых.

Способность твердых диэлектриков смачиваться водой (или другой жидкостью) характеризуется краевым углом смачивания β капли воды, нанесенной на их поверхность. Для смачиваемых поверхностей $\beta < 90^\circ$ (рис.2.1), для несмачиваемых $\beta > 90^\circ$ (рис.2.2).

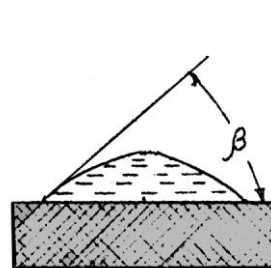


Рис. 2.1

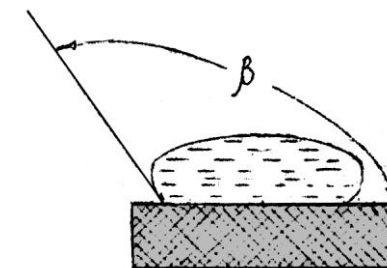


Рис. 2.2

Чем меньше угол β , тем сильнее выражена смачиваемость диэлектрика.

Молекулы полярных диэлектриков активно взаимодействуют с диполями воды (притягивают диполи). Это приводит к тому, что поверхность таких диэлектриков

обильно смачивается водой, которая стремится занять как можно большую поверхность в виде сплошной плёнки.

Особенно сильно влияние влаги на величину поверхностной электропроводности стекла. Большинство технических стекол относится к группе частичного растворимых в воде диэлектриков. Вследствие воздействия влаги и щелочной реакции на их поверхности образуется пленка электролита, что значительно увеличивает их электропроводность.

Стойкость к воздействию влаги (гидролитическая стойкость) стекол зависит от их химического состава. Бесщелочные кварцевые стекла обладают наивысшей среди стекол гидролитической стойкостью.

На основе стекла (в виде тканей, нитей, лент) и полимерных связок из эпоксидных, кремнийорганических и других синтетических смол изготавливают композиционные диэлектрики-стеклопластики. Полимерная связка увеличивает гидролитическую стойкость стеклопластиков по сравнению со стеклянной основой.

Кроме влаги к поверхности полярных диэлектриков легко прилипают различные загрязнения, что также приводит к увеличению электропроводности.

Для диэлектриков с нейтральным и слабополярным молекулярным строением характерна очень незначительная величина адсорбции влаги, ввиду малых сил притяжения диполей воды нейтральными и слабополярными молекулами. К разряду таких диэлектриков относится ряд пластических масс (полистирол, фторопласт и др.), а также некоторые слоистые пластики (гетинакс и текстолит).

Проникновение влаги в поры органических (дерево и др.) и неорганических (мрамор, фарфор и др.) пористых

диэлектриков приводит к увеличению их электропроводности, в том числе и поверхностной.

Решающим фактором, определяющим величину поверхностной электропроводности твердых диэлектриков, является относительная влажность окружающей среды. Особенно резко увеличиваются поверхностная электропроводность (уменьшается ρ_s) при значениях относительной влажности, превосходящих 70%.

2.2. Способы снижения влияния влаги на поверхностную электропроводность твердых диэлектриков

Адсорбция влаги и загрязнения на поверхностях изоляционных конструкций - изоляторов, высоковольтных вводов и др., изготовленных на базе различных твердых диэлектриков, приводят к увеличению поверхностной электропроводности (росту токов утечки). При неблагоприятных условиях (дождь, увлажненные загрязнения) на поверхностях изоляционных конструкций, работающих на открытом воздухе, могут возникать частичные разряды в форме электрической дуги. Под влиянием таких разрядов поверхность диэлектрика может обуглиться, а на ней образоваться проводящие следы-треки, снижающие электрическую прочность изоляционных конструкций.

Для усиления влагостойкости и трекинговой стойкости твердых диэлектриков производят очистку их поверхностей от загрязнений и нанесение защитных покрытий. В качестве последних применяют влагостойкие кремнийорганические лаки, пасты, вазелины и силиконовые смеси, которые наносят в виде тонкого слоя на поверхность диэлектрика, или специальные защитные чехлы.

Поверхность фарфоровых изоляторов покрывают тонким слоем глазури - влагостойкого материала. Такой фарфор называют глазурованным.

Кремнийорганические вазелины и пасты представляет светло-серую высоковязкую массу, имеют постоянную вязкость в широкой диапазоне температур (от минус 65° до + 200°С) и обладают высоким удельным сопротивлением и электрической прочностью. Частицы загрязнений оседают в нанесенном на поверхность слое вазелина или пасты и оказываются изолированными друг от друга, что уменьшает влияние загрязнений на поверхностную электропроводность твердого диэлектрика.

Защитные покрытия применяют и на изоляторах электрифицированных железных дорог. В наиболее неблагоприятных условиях работают изоляторы контактной сети, расположенные в длинных "мокрых" тоннелях, городских и прибрежных районах.

Для защиты полимерных изоляторов на основе стеклопластиков, получивших в настоящее время широкое распространение на контактной сети, применяют дополнительно защитные чехлы. Эти чехлы выполняют из фторопласта-4 или кремнийорганической резины с развитой поверхностью, что позволяет удлинить путь токов утечки и повысить мокроразрядное напряжение изоляторов.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Описание лабораторной установки

Исследование влажностных свойств твердых диэлектриков проводятся в специальном стеклянном

приборе с притертой крышкой-эксикаторе за счет налитой в него дистиллированной воды.

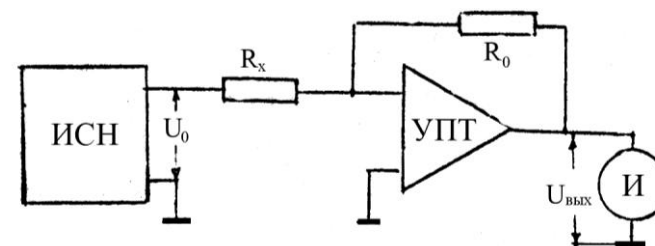


Рис.2.3

Для измерения сопротивлений диэлектриков в данной работе используется электронной омметр (тераомметр).

Принципиальная блок-схема прибора показана на рис.2.3. Измеряемое сопротивление R_x присоединяется к известному образцовому сопротивлению R_0 , образуя делитель, питаемый от источника стабилизированного напряжения U_0 (ИСН). На выходе усилителя постоянного тока (УПТ) с большим коэффициентом усиления (высоким входным сопротивлением и обратной связью) включен прибор магнитоэлектрической системы (И), измеряющий входное напряжение $U_{\text{вых}}$. Шкала этого магнитоэлектрического прибора (И) градуируется непосредственно в значениях измеряемого сопротивления

$$R_x = \frac{U_0 R_0}{U_{\text{вых}}}$$

Образцы исследуемых диэлектриков подключаются к тераомметру с помощью трех электродов: верхнего в форме цилиндра (1) с радиусом r_1 , нижнего (2) и охранного кольца (3) с внутренним радиусом r_2 . Охранное кольцо служит для разделения объемного (I_V) и поверхностного (I_S) токов, протекающих по исследуемому твердому диэлектрику. Сопротивления на пути этих токов: объемное R_V и поверхностное R_S измеряются по схемам рис 2.4. и рис.2.5.

Удельные сопротивления исследуемых твердых диэлектриков толщиной h определяются на основании измеренных величин R_V и R_S по формулам:

$$\rho_V = \frac{R_V \pi r_1^2}{h}, \quad (2.1)$$

$$\rho_S = \frac{R_S \pi (r_2 + r_1)}{r_2 - r_1}, \quad (2.2)$$

где ρ_V - удельное объемное сопротивление диэлектрика, Ом·м;

ρ_S - удельное поверхностное сопротивление диэлектрика, Ом.

3.2. Порядок выполнения работы

3.2.1. Ознакомиться с приведенной в приложении 2 инструкцией по эксплуатации электронного тераомметра Е6-ІЗА, работающего в режиме измерения сопротивлений в диапазоне $10^6 - 10^{13}$ Ом.

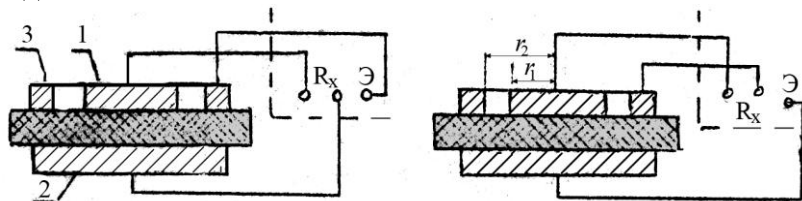


Рис. 2.4

Рис. 2.5

3.2.2. Собрать схему рис.2.4 и установить испытуемый диэлектрик.

3.2.3. После проверки схемы подготовить согласно инструкции прибор Е6-ІЗА для измерения сопротивлений в диапазоне $10^6 - 10^{13}$ Ом.

3.2.4. Измерить сопротивление R_V установленного диэлектрика.

3.2.5. Повторить измерения R_V для всех указанных руководителем занятий твердых диэлектриков.

3.2.6. Рассчитать по измеренным величинам R_V значения их удельных объемных сопротивлений ρ_V согласно формуле (2.1.).

3.2.7. Собрать схему рис.2.5. и установить испытуемый диэлектрик.

3.2.8. После проверки схемы поместить испытуемый диэлектрик вместе с тремя электродами на специальную подставку внутри эксикатора и закрыть его крышку.

3.2.9. Производить измерения сопротивления R_S установленного диэлектрика через каждые 1 - 2 мин в течение 5 - 10 мин. После каждого измерения тераомметр не выключать, а внимательно следить за его показаниями и вовремя переключать предел измерения.

3.2.10. Произвести аналогичные измерения R_S того же твердого диэлектрика с нанесенным на его поверхность влагостойким защитным покрытием.

3.2.11. Повторить измерение R_S для всех указанных руководителем занятий твердых диэлектриков.

3.2.12. Рассчитать по измеренным величинам R_S твердых диэлектриков значения их удельных поверхностных сопротивлений ρ_S согласно формуле (2.2).

3.2.13. Результаты измерений и расчетов свести в табл.2.1.

4.5. В чем состоит принцип работы тераомметра?

Таблица 2.1
Результаты измерений и расчетов сопротивлений твердых диэлектриков

Наименование диэлектрика	Измерено						Вычислено	
	r_1 , м	r_2 , м	h , м	t , мин	R_V , Ом	R_S , Ом	ρ_V , Ом·м	ρ_S , Ом

3.2.14. По полученным данным построить зависимости $\rho_S = f(t)$ для испытанных твердых диэлектриков. . .

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Какие факторы влияют на величину поверхностной электропроводности твердых диэлектриков?

4.2. Как оценивается смачиваемость твердых диэлектриков и от чего зависит её величина?

4.3. Что такое адсорбция и у каких твердых диэлектриков она происходит наиболее сильно?

4.4. Каковы способы усиления влагостойкости и трекинговостойкости твердых диэлектриков и высоковольтных изоляторов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.Б., Тареев Б.М. "Электротехнические материалы". -Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 304 с.
2. Потапов В.Д. и др. Полимерные материалы в устройствах контактной сети. -М.: Транспорт. 1988. -224с.
3. Серябряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. - 280 с

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Инструкция по эксплуатации прибора Е6 - I3A в
режиме измерения постоянного тока

П1.1. Нажать кнопку замыкателя входа - "уст. 0" и кнопку "сеть вкл".

При этом должна светиться индикаторная лампочка. Указатель прибора должен установиться на нулевую отметку шкалы в течение 1 мин. Точная установка указателя на нулевую отметку шкалы производится при необходимости рукояткой "Уст. 0 точно"

П1.2. Перевести кнопку замыкателя входа - "уст. 0" в отжатое положение.

П1.3. Измерение тока через испытуемый диэлектрик производить путем изменения положения переключателя поддиапазонов от 10^6 до 10^{13} Ом. Отсчет числа делений α , на которое отклонился указатель прибора, производить по линейным (равномерным) шкалам прибора. Величина измеренного тока I определяется по формуле:

$$I = \alpha \frac{I_k}{\alpha_k},$$

где α_k - конечное число делений используемой шкалы прибора;

I_k - величина измеряемого тока при отклонении указателя прибора на α_k , определяемая по табл. П.1.

Таблица П.1

Соответствие положения переключателя
поддиапазонов прибора значению тока I_k

Положение переключателя поддиапазона, Ом	10^6	$3 \cdot 10^6$	10^7	$3 \cdot 10^7$	10^8	$3 \cdot 10^8$	10^9
I_k, A	10^{-4}	$3 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}	$3 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
Положение переключателя поддиапазона, Ом	$3 \cdot 10^9$	10^{10}	$3 \cdot 10^{10}$	10^{11}	$3 \cdot 10^{11}$	10^{12}	10^{13}
I_k, A	$3 \cdot 10^{-8}$	10^{-8}	$3 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	$3 \cdot 10^{-10}$	10^{-10}	10^{-11}

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Инструкция по эксплуатации прибора Е6 - IЗА в режиме измерения сопротивлений от 10^6 до 10^{13} Ом

П.2.1. Произвести измерения в соответствии с пунктами П.1.1. и П.1.2. Приложения 1.

П.2.2. Путем изменения положения переключателя поддиапа-зонов добиться чтобы указатель прибора находился в пределах рабочего участка одной из обратных нелинейных шкал (две верхние шкалы). Рабочий участок отмечен на этих шкалах сплошной линией, проведенной под делениями шкалы.

П.2.3. При положениях переключателя поддиапазонов $10^6, 10^7, \dots, 10^{13}$ отсчет числа делений α , на которое отклонился указатель, следует производить по верхней шкале, а при положениях $3 \cdot 10^6, 3 \cdot 10^7, \dots, 3 \cdot 10^{11}$ - по второй сверху шкале прибора.

П.2.4. Величину измеряемого сопротивления R_X определить по формуле $R_X = \alpha \cdot 10^n$,

где n - показатель степени поддиапазона сопротивления, соответствующий положению переключателя.

СОДЕРЖАНИЕ

РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЁРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ.....		3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ		3
.....		3
2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ		3
.....		3
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ		9
.....		9
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ		10
РАБОТА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТВЁРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ.....		11
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ		11
2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ		11
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ		14
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ		17
ПРИЛОЖЕНИЕ 1		18
ПРИЛОЖЕНИЕ 2		19

