

стеме координат, используя выражения (1.1), (1.15), (1.16), (3.3) и данные кривых рис. 3.2]. Определить, в каких пределах следует изменять давление в разрядных камерах *PK1* и *PK2* при снятии зависимости U_0 от p , если максимальное напряжение установки равно 1000 В.

2. Определить из уравнения (3.8) давления воздуха, при которых для используемых в работе коаксиальных систем электродов начальные напряжения минимальны.

3. Определить по уравнению (3.7) минимальные значения начальных напряжений для тех же систем электродов и промежутка с однородным полем.

ЗАДАНИЕ НА ИЗМЕРЕНИЯ

1. Перед началом работы ознакомиться с вакуумной и электрической частями установки, расположением ее элементов и с объектами исследования. Обратит внимание на расположение тех частей установки, которые в процессе работы находятся под напряжением. Ознакомиться с порядком проведения опытов и с правилами безопасности при работе на установке.

2. Снять экспериментальные зависимости $U_0 = f(p)$ в воздухе для двух систем электродов для $r_0 = 0,05$ см и $r_0 = 0,025$ см при двух полярностях напряжения на внутреннем цилиндре в предварительно рассчитанном диапазоне давлений.

3. По экспериментальным данным построить:

а) зависимости U_0 от pS при отрицательной полярности внутреннего электрода. Построение выполнить на одних графиках с расчетными кривыми п. 1 «Задания на предварительную подготовку»;

б) зависимости $E_r r_0 = U_0 / \ln \left(\frac{S}{r_0} + 1 \right)$ от pr_0 при положительной полярности внутреннего электрода разрядных камер *PK1* и *PK2*. Построение выполнить на одном графике в полулогарифмической системе координат;

в) зависимости U_0 от pr_0 при положительной и отрицательной полярностях внутреннего электрода разрядной камеры *PK1*. Построение выполнить на одном графике в полулогарифмической системе координат.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое начальное напряжение?
2. Какой вид имеет кривая зависимости α/E от E/δ ?
3. Какой вид имеет кривая Пашена?
4. Каково приблизительно значение минимального начального напряжения промежутка с однородным полем?
5. Каким уравнением в общем виде выражается связь между начальным напряжением, начальной напряженностью и размерами промежутка?
6. Каков вид функции, выражающей закон подобия разрядов?
7. Почему при низких давлениях при отрицательной полярности электрода γ больше, чем при положительной.

Глава 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Многообразие изоляционных конструкций с твердым диэлектриком может быть сведено к трем характерным случаям. На рис. 4.1, а показано размещение диэлектриков в однородном поле. Поверхность раздела диэлектрика и воздуха расположена вдоль силовых линий электрического поля. На рис. 4.1, б, в показано положение диэлектрика в конструкциях с неоднородным полем. В первом случае (рис. 4.1, б) во всех точках поверхности

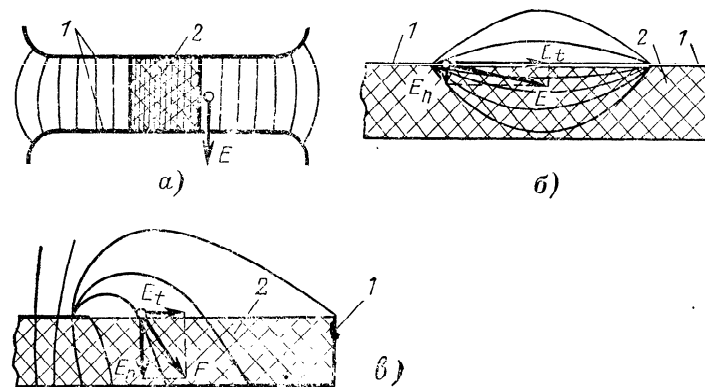


Рис. 4.1. Характерные расположения твердого диэлектрика в электрическом поле.

1 — электроды; 2 — диэлектрик.

диэлектрика, за исключением очень малых ее участков вблизи электродов, тангенциальная составляющая напряженности поля E_t преобладает над нормальной составляющей E_n . В другом случае (рис. 4.1,в), наоборот, нормальная составляющая много больше тангенциальной составляющей напряженности поля.

В зависимости от формы электрического поля главное влияние на характер развития разряда и на значение разрядного напряжения оказывают различные факторы.

1. Диэлектрик, помещенный в однородном поле (рис. 4.1,а), казалось бы, не нарушает постоянства напряженности поля, и поэтому естественно было бы предположить, что пробой такого промежутка может произойти в любом месте и разрядное напряжение окажется таким же, как и для чисто воздушного промежутка. Однако в действительности разряд происходит всегда по поверхности диэлектрика и при напряжении, более низком, чем в воздушном промежутке.

Значительную роль в снижении разрядных напряжений играет адсорбированная диэлектриком влага, в которой содержатся диссоциированные ионы. В электрическом поле сравнительно медленно из-за малой проводимости увлажненного слоя происходит перераспределение зарядов на поверхности диэлектрика. Поле вблизи электродов усиливается, а в середине промежутка ослабляется. В результате этого значение разрядного напряжения уменьшается. Материалы, обладающие большой поверхностной гигроскопичностью (стекло, бакелизированная бумага), дают большее снижение разрядных напряжений, чем малогигроскопичные материалы (парафин, винилпласт). При импульсах электрическое поле в промежутке не успевает существенно исказиться, и поэтому разрядное напряжение снижается в меньшей мере, чем при постоянном и переменном напряжениях.

Помимо увлажнения поверхности диэлектрика большое влияние на значение разрядного напряжения могут оказывать воздушные прослойки между диэлектриком и электродами. В этих микрозазорах из-за разницы в диэлектрических проницаемостях воздуха и диэлектрика создается местное увеличение напряженности поля и возникает ионизационный процесс. Продукты ионизации, выходя на поверхность диэлектрика, создают местное усиление поля, что приводит к значительному (иногда вдвое и больше) снижению разрядного напряжения.

В реальных изоляционных конструкциях твердый диэлектрик редко располагается в однородном поле. Чаще конструкция, показанная на рис. 4.1,а, используется для исследования характеристик разряда по поверхности диэлектрика.

2. Расположение диэлектрика по рис. 4.1,б характерно для опорных изоляторов. Электрическое поле в этой конструкции неоднородно, поэтому разрядные напряжения ниже, чем в случае, показанном на рис. 4.1,а.

Гигроскопические свойства диэлектрика мало влияют на разрядные напряжения опорных изоляторов, поскольку процессы на их увлажненной поверхности могут лишь несколько увеличить и без того значительную неоднородность поля. Неплотное прилегание диэлектрика к электродам в реальных конструкциях устраняется с помощью цементирующих замазок или эластичных прокладок.

Нижний электрод (фланец) опорного изолятора обычно бывает соединен с заземленными конструкциями, имеющими значительные размеры. Вследствие этого напряженность поля у фланца уменьшается и разряд начинается с другого электрода (шпалки), находящегося под высоким потенциалом. Уменьшение напряженности поля вблизи шпалки посредством создания внутреннего экрана позволяет существенно увеличить разрядное напряжение изолятора.

3. В конструкции по рис. 4.1,в, характерной для проходных изоляторов, у короткого электрода при относительно небольшом напряжении возникает коронный разряд в виде полоски ровного и неяркого свечения. При увеличении напряжения область коронирования расширяется и на поверхности диэлектрика появляются многочисленные слабосветящиеся каналы (стримеры), направленные в сторону противоположного электрода.

В рассматриваемой конструкции в отличие от других устройств стримерные каналы имеют значительно большую емкость по отношению к противоположному электроду. Вследствие этого через них проходит сравнительно большой ток. При определенном значении напряжения ток возрастает настолько, что температура стримерных каналов существенно увеличивается и с них становится возможной термическая ионизация. В результате этого каналы разряда преобразуются: сопротивление их резко падает, интенсивность свечения возрастает. Термически ионизированные каналы, развивающиеся по по-

верхности диэлектрика, называются скользящими разрядами.

Падение напряжения на каналах скользящих разрядов невелико, поэтому почти все напряжение оказывается приложенным к непокрытой части промежутка. Длина скользящих разрядов очень быстро увеличивается с повышением напряжения, и процесс завершается полным перекрытием промежутка между электродами.

Чем больше значение тока в канале скользящего разряда, тем выше проводимость канала и напряжение на непокрытой части промежутка, тем быстрее растет длина скользящего разряда и ниже оказывается напряжение перекрытия.

При переменном напряжении ток определяется емкостью канала разряда по отношению к противоположному электроду. Очевидно, чем больше емкость, тем ниже должно быть разрядное напряжение, конечно, при постоянстве расстояния между электродами по поверхности диэлектрика.

В качестве величины, характеризующей емкость канала, принимается удельная поверхностная емкость, т. е. емкость единицы поверхности, по которой развивается разряд, по отношению к противоположному электроду. Поскольку удельная поверхностная емкость обратно пропорциональна толщине диэлектрика, разрядное напряжение может быть выражено как

$$U'_p = k_l d^m. \quad (4.1)$$

При неизменных толщине и материале диэлектрика разрядное напряжение зависит от расстояния l между электродами по поверхности диэлектрика

$$U''_p = k_d l^n; \quad (4.2)$$

в общем случае

$$U_p = k d^m l^n. \quad (4.3)$$

В (4.1) — (4.3): k_l , k_d , k , m , n — постоянные для рассматриваемой конструкции величины.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И ОБЪЕКТОВ ИСПЫТАНИЯ

Принципиальная электрическая схема установки представлена на рис. 4.2. Источником напряжения промышленной частоты служит испытательный трансформатор T_p на 100 кВ (действующее значение) типа ТВО-140/50, имеющий номинальный коэффициент транс-

формации $n=525$. Напряжение его регулируется с помощью автотрансформатора AT_p и измеряется на стороне низшего напряжения вольтметром V . Резистор R служит для защиты трансформатора от больших токов и большой крутизны среза напряжения при перекрытии объекта испытаний Ob или пробое измерительного разрядника $ИР$. Шары измерительного разрядника укреплены на изолирующей конструкции, которая позволяет менять расстояние между ними и определять его, не выключая напряжения.

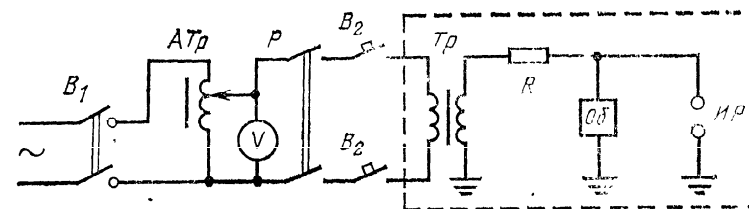


Рис. 4.2. Принципиальная схема установки.

Выключатель B_1 служит для коммутации напряжения испытательной установки. Выключатель (автоматический) B_2 предназначен для дистанционного отключения и включения трансформатора высокого напряжения T_p , а рубильник P — для создания видимого разрыва в цепи его питания.

Часть, установки, работающая при высоком напряжении (обведена пунктиром на рис. 4.2), расположена на испытательном поле, которое оборудовано устройством для заземления выводов высокого напряжения. Двери ограждения испытательного поля снабжены блокировкой, контакты которой включены в цепи управления выключателем B_2 . Предусмотрена возможность затемнения испытательного поля.

Для изучения разрядных напряжений в однородном поле используется промежуток между двумя дисками с закругленными краями (рис. 4.1, а). В промежуток помещаются диэлектрические цилиндры разной высоты, сделанные из гигроскопичного и малогигроскопичного материалов.

Разрядные напряжения по поверхности диэлектрика в неоднородном поле с преобладающей тангенциальной составляющей напряженности изучаются на конструкции, показанной на рис. 4.3. Electroды представляют со-

бой металлические кольца 1. В качестве твердого диэлектрика используется стеклянная трубка 2. Одно из колец служит одновременно для крепления стеклянной трубки к изолятору, другое может перемещаться по поверхности трубки, при этом изменяется расстояние l

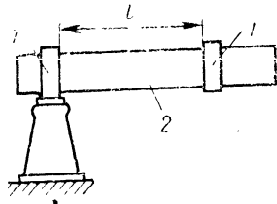


Рис. 4.3. Макет опорного изолятора.

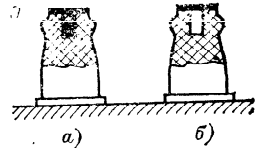


Рис. 4.4. Опорные изоляторы.
а — с внутренним экраном Э;
б — без него.

между электродами. Влияние внутреннего экрана на разрядное напряжение изучается на опорных изоляторах, один из которых имеет такой экран (рис. 4.4).

Для изучения поверхностного разряда в неоднородном поле с большой нормальной составляющей напряженности внутрь стеклянной трубки 1 помещается металлическая трубка 2 (рис. 4.5) таким образом, чтобы внутренний конец ее находился примерно посередине стеклянной трубки. Напряжение подается между кольцом 3 и металлической трубкой. Перемещая кольцо по поверхности стекла, можно изменять расстояние l между электродами. Удельная поверхностная емкость в этом устройстве не изменяется.

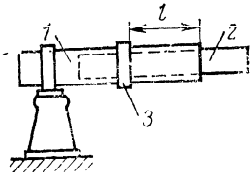


Рис. 4.5. Макет проходного изолятора.

Влияние удельной поверхностной емкости на развитие разряда изучается с помощью устройства, показанного на рис. 4.6. Electroдами разрядника промежутка в этом устройстве служат полусфера ПС, на которую подается напряжение, и заземленная металлическая пластина с круглым вырезом П₁. Electroды прижаты к тонкому листу диэлектрика Д (стекло или гетинакс). Разрядное расстояние между электродами $l=20$ см. Вторая заземленная металлическая пластина П₂ может устанавливаться на разных расстояниях от поверхности

диэлектрика, указываемых специальной шкалой Ш, и служит для изменения удельной поверхностной емкости.

ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Рассчитать разрядные напряжения промежутков с однородным полем длиной 1, 2 и 3 см (см. гл. 1).

2. Показать примерный ход зависимостей, подлежащих экспериментальному изучению. При этом сравнить ожидаемые зависимости пп. 3а и 3б; 4а и 5а «Задания на измерения».

3. Показать, какой вид должны иметь зависимости пп. 5а и 5б в логарифмической системе координат и как по этим зависимостям определить постоянные k_1 , m , k_d , n формул (4.1) и (4.2).

ЗАДАНИЕ НА ИЗМЕРЕНИЯ

1. Перед началом работы ознакомиться со схемой установки, расположением ее элементов и объектов испытания, с порядком проведения измерений и правилами безопасной работы на установке.

2. Определить действительный коэффициент трансформации испытательного трансформатора при емкостной нагрузке. С этой целью собрать схему рис. 4.2 и установить между шарами измерительного разрядника расстояние 2 см. Поднять напряжение до пробоя разрядника. Непосредственно перед пробоем измерить с помощью вольтметра V напряжение на первичной стороне трансформатора U_1 . Напряжение U_{2m} определяется как разрядное напряжение измерительного разрядника по градуировочной кривой или таблице (см. приложение 4). Коэффициент трансформации вычисляется как $U_{2m}/(\sqrt{2}U_1)$.

Сравнить измеренный коэффициент трансформации с номинальным и объяснить причину различия между ними.

(Примечания: 1. Во время измерения коэффициента трансформации поправку на относительную плот-

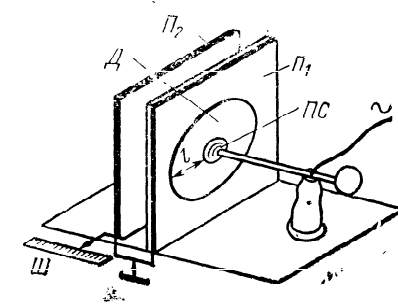


Рис. 4.6. Устройство для изучения влияния удельной поверхностной емкости на развитие разряда.

ность воздуха вводить не следует. В этом случае при его использовании в пп. 3—5 для пересчета показаний вольтметра V с низшей стороны трансформатора на высшую напряжения U_p , $U_{ск}$, U_k будут приведены к нормальным атмосферным условиям.

2. Поскольку емкость нагрузки определяется в данной установке в значительной мере емкостью соединительных проводов, действительный коэффициент трансформации может определяться при отключенных объектах испытания.)

3а. Определить разрядные напряжения воздушных промежутков длиной l , равной 1, 2 и 3 см между дисками с закругленными краями см. рис. 4.1,а. (Длина промежутков устанавливается по шаблонам.)

3б. Определить разрядные напряжения промежутков с помещенным между электродами твердым диэлектриком. Для этой цели используются цилиндры высотой l , равной 1, 2, 3 и 4 см (сначала из гигроскопичного, а затем из малогигроскопичного диэлектрика).

По результатам опытов построить графики $U_p=f(l)$. Определить средние разрядные градиенты напряжения $E_{ср}=U_p/l$ и построить графики $E_{ср}=f(l)$.

4а. Пользуясь устройством, показанным на рис. 4.3, определить разрядные напряжения по поверхности диэлектрика в зависимости от расстояния между электродами l . Размер l устанавливать в пределах от 4 до 12 см.

По результатам опытов построить графики $U_p=f(l)$ и $E_{ср}=f(l)$.

4б. Измерить разрядные напряжения опорных изоляторов с внутренним экраном и без него (рис. 4.4). Определить средние разрядные градиенты напряжения.

5а. Пользуясь устройством, показанным на рис. 4.5, определить разрядные напряжения по поверхности диэлектрика в зависимости от расстояния между электродами l . Размер l устанавливать в пределах от 4 до 12 см.

По результатам опытов построить кривые $U_p=f(l)$ и $E_{ср}=f(l)$. Построение выполнять на одних графиках с данными опытом по п. 4а.

Зависимость $U_p=f(l)$ построить также в логарифмических координатах, пользуясь этим построением, определить значения коэффициентов k_1 и n в уравнении (4.2).

5б. Пользуясь устройством, показанным на рис. 4.6, определить напряжение возникновения короны U_k , напряжения возникновения скользящих разрядов $U_{ск}$ и разрядное напряжение U_p при разных значениях удельной поверхностной емкости. Для изменения удельной поверхностной емкости заземленную плоскость P_2 устанавливать на расстоянии d , равном 2, 3, 4, 5 и 6 см от поверхности диэлектрика.

По полученным данным построить графики U_k , $U_{ск}$ $U_p=f(d)$, а также график $E_{ср}=U_p/l=f(d)$.

Зависимость $U_p=f(d)$ построить в логарифмических координатах и, пользуясь этим построением, определить значения коэффициентов k_1 и m в уравнении (4.1).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, почему коэффициент трансформации испытательного трансформатора при емкостной нагрузке отличается от номинального.
2. При каких условиях определенный по п. 2 «Задания на измерения» коэффициент трансформации может оказаться меньше номинального?
3. Покажите, что результаты измерения оказываются приведенными к нормальным атмосферным условиям, если не вводить поправку на них при определении коэффициента трансформации.
4. Чем можно объяснить, что разрядные напряжения в опытах по п. 3а не совпадают с результатами расчетов?
5. Каким образом в опытах по п. 3б можно было бы устранить влияние неплотного прилегания диэлектрических цилиндров к электродам?
6. Какой материал по данным опыта п. 3б более гигроскопичен и чем можно это объяснить?
7. Сопоставьте средние разрядные градиенты, полученные в опытах по пп. 3б и 4а, и объясните результаты сопоставления.
8. Поясните влияние экрана в опыте п. 4б. Какие еще применяют меры для повышения разрядного напряжения опорных изоляторов?
9. Сопоставьте результаты опытов пп. 4а и 5а и объясните полученное различие.
10. Проанализируйте, как изменяются U_k , $U_{ск}$ и U_p в опытах п. 5б при увеличении d . Объясните ход этих зависимостей.
11. К какой величине будет приближаться $E_{ср}$, если увеличивать d (п. 5б)?
12. Какие применяются меры для увеличения напряжения перекрытия проходных изоляторов?