

2962



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Электротехника, метрология и электроэнергетика»

Г.С. КАСАТКИН

ПРОБОЙ ГАЗОВ

*Методические указания
к лабораторным работам*

МОСКВА -- 2009

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Электротехника, метрология и электроэнергетика»

Г.С. КАСАТКИН

ПРОБОЙ ГАЗОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом
университета

в качестве методических указаний для студентов
электротехнических специальностей

МОСКВА – 2009

УДК 621.315.62

К-28

Касаткин Г.С. Пробой газов: Методические указания к лабораторным работам.- М.: МИИТ, 2009.- 27с.

Даны краткие теоретические сведения об особенностях пробоя воздушных промежутков при различных формах окружающих их электродов в условиях переменного и постоянного высоких напряжений.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ОТ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОДОВ

1.1. Цель работы

Изучение особенностей пробоя воздуха в однородных и неоднородных электрических полях.

1.2. Краткие теоретические сведения

1.2.1. Основные газообразные диэлектрики и их свойства

Газы широко применяются в качестве электроизоляционных материалов (диэлектриков). Так, атмосферный воздух является естественной изолирующей средой в большинстве электротехнических конструкций. В воздушных линиях электропередач воздух образует единственную изоляцию между неизолированными проводами линии. У изоляторов, работающих на воздухе, он создает необходимую электрическую прочность по поверхности изоляции. Воздушные искровые промежутки защитных разрядников (роговых, вентильных и других) обеспечивают изоляцию между высоковольтными частями защищаемых установок и землей в нормальных условиях работы, а при возникновении перенапряжений уровень электрической прочности воздушных промежутков определяет напряжение срабатывания разрядников.

Электрическая прочность воздуха $E_{пр}=3$ кВ/мм при нормальных условиях (нормальных давлении, температуре и влажности) и однородном электрическом поле.

Кислород воздуха оказывает окисляющие действие на соприкасающиеся с ним материалы, что особенно сильно проявляется в аппаратах с замкнутым объемами (конденсаторы, трансформаторы, кабели и др.).

Поэтому в газовых конденсаторах часто вместо воздуха используют азот, имеющий практически одинаковую с ним электрическую прочность, но не содержащий кислорода.

В газонаполненных кабелях и конденсаторах широко применяется элегаз (электротехнический газ), химическая формула которого SF_6 . Элегаз не токсичен, химически устойчив и не разлагается при температуре до $800^\circ C$, его электрическая прочность $E_{пр}=7,5 - 8$ кВ/мм, т.е. примерно в 2,5 раза выше, чем у воздуха.

Одинаковую электрическую прочность с элегазом имеет газ хладон 12 (фреон), но уступает элегазу по температурному диапазону и может вызывать коррозию некоторых твердых изоляционных материалов, что следует учитывать при его использовании.

Ряд фторосодержащих газов (CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , C_4F_{10} и др.) а также пары четыреххлористого углерода CCl_4 имеют в 6 - 10 раз большую электрическую по сравнению с воздухом. Небольшая примесь к воздуху этих газов или элегаза и фреона заметно увеличивает его электрическую прочность, что используется в некоторых электрических устройствах высокого напряжения.

1.2.2. Формирование газовых разрядов и их виды

В газе всегда содержится небольшое число свободных заряженных частиц (электронов, отрицательных и поло-

жительных ионов). Разгоняясь под действием электрического поля с напряженностью E , каждая из этих частиц с зарядом q на пути свободного пробега λ между двумя столкновениями с молекулами набирает энергию

$$W=qE\lambda \quad (1.1)$$

При условии $W \geq W_{и-}$ энергии ионизации молекулы, т.е. энергии, необходимой для расщепления её на положительный ион и электрон, происходит процесс ударной ионизации и образования лавины электронов и ионов, а также резкое возрастание тока. В результате в газообразном диэлектрике возникает проводящий канал – стример. Полное перекрытие стримером газового промежутка приводит к его пробую.

При недостаточной величине приложенного напряжения для поддержания проводящего канала возникшего газового разряда необходимо наличие внешнего ионизатора (светового, теплового или другого источника энергии). Такой разряд называется несамостоятельным. При увеличении напряжения проводящий канал может поддерживаться только за счет электрического поля без внешнего ионизатора. Этот разряд называют самостоятельным. Характер разряда в газе зависит от давления, мощности источника напряжения и формы электрического поля.

Различают следующие основные виды газового разряда:

- глеющий - возникает при низких давлениях (несколько десятков миллиметров ртутного столба), когда ток в газовом промежутке не может существенно расти из-за недостаточного числа молекул в единице объёма. Разряд носит многолавиный характер и занимает всё пространство между электродами. Примером такого разряда являются газосветные трубки, лампы дневного света и др.

- искровой – возникает при кратковременном повышении напряжения в газовом промежутке до пробивного (грозовой разряд). При этом ток в промежутке в начале резко нарастает, а затем быстро падает. Разряд проходит в форме одиночной искры. Такой же разряд может возникнуть при малой мощности источника питания (т.е. источника с большим внутренним сопротивлением). Разрядный ток создает на этом сопротивлении большое падение напряжения, что приводит к резкому снижению напряжения источника питания. Это пониженное напряжение не способно поддерживать ионизированный канал газового разряда и он прерывается. После прекращения разрядного тока напряжение на зажимах источника питания снова повышается ввиду отсутствия падения напряжения на его внутреннем сопротивлении. Вследствие повышения напряжения в газовом промежутке вновь возникает разряд и разрядный ток, создающий падение напряжения на сопротивлении источника, и разрядный канал по указанной ранее причине опять прерывается. Т.е. разряды в этих условиях происходит в форме искр, следующих одна за другой.

- дуговой – возникает при большой мощности источника питания (т.е. источнике с малым внутренним сопротивлением) и является последующей стадией искрового разряда. Такой переход происходит ввиду значительного повышения температуры в условиях большого тока в газе. В результате термоионизации большей части молекул, газ в промежутке приобретает особое состояние, именуемое плазмой, проводимость которой близка к проводимости металлов. Возникшая в газе дуга оплавляет окружающие газовый промежуток металлические электроды и вызывает интенсивную термоэмиссию электронов с их поверхности. Поэтому дуговой разряд поддерживается длительное время, даже при понижении напряжения до значения, меньшего

пробивного. Дуговой разряд возникает в силовых электроустановках при различного рода коммутациях (включение или отключение установки, изменение схемы силовой цепи и т.п.). Для гашения дуги применяют специальные меры (магнитное дутьё, подбор формы электродов и т.д.)

- коронный – возникает в резконеоднородном поле. Ионизация развивается в небольшой области газа вблизи электрода с малым радиусом кривизны (в месте наибольшей напряженности электрического поля). Образование коронного разряда не сопровождается полной потерей газовым промежутком изолирующих свойств, так как напряжённость электрического поля и интенсивность ионизации существенно снижаются. При повышении приложенного к газовому промежутку напряжения коронный разряд переходит в искровой, а при большой мощности источника – в дуговой. Коронный разряд может сопровождаться интенсивным свечением газа. Типичным примером коронного разряда является разряд (“корона”) вблизи проводов высоковольтной воздушной линии электропередачи. Он вызывает значительные потери энергии и коротковолновые излучения (создающие помехи работе соседних линий связи), а интенсивный разряд может вызвать раскачивание проводов линии. Для снижения интенсивности коронного разряда стремятся выровнять электрическое поле в газовом промежутке. С этой целью на линиях электропередач применяют расщепление проводов фаз-прием, при котором каждая фаза передается не одним проводом, а двумя, тремя (чаще всего) или четырьмя проводами. Между расщепленными проводами фаз устанавливаются вдоль всей длины линии металлические стержни (распорки) длиной 40-50 см, которые удерживают на этих расстояниях друг от друга провода каждой фазы. Электрическое поле вблизи расщепленных проводов фаз выравнивается, что затрудняет образование коронных разрядов.

1.2.3. Влияние различных факторов на электрическую прочность газов

1.2.3.1. Влияние неоднородности электрического поля

Разряд газов в однородном, слабонеоднородном и резконеоднородном полях протекает по разному.

Однородным считается электрическое поле, напряженность E во всех точках которого одинакова. Для него отношение максимальной напряженности E_{\max} к средней $E_{\text{ср}}$ равно единице. Такое электрическое поле создается в газовом промежутке между шарами одинакового диаметра “Д” при расстояниях “а” между ними, не больших $0,75Д$ ($a \leq 0,75Д$), и между дисками с закругленными краями. При постепенном увеличении напряженности в результате ударной ионизации происходит пробой всего газового промежутка без предварительных разрядов, причем канал пробоя может возникнуть в любом месте между электродами. Электрическая прочность газового промежутка в однородном поле имеет максимальное значение.

К слабонеоднородным относят электрическое поля, для которых $(E_{\max}/E_{\text{ср}}) \leq 2$. Характерным примерами таких полей являются поля, образованные плоскими дисками с острыми краями, а также шаровыми электродами при расстояниях “а” между ними, несколько больших $0,75Д$. Процесс пробоя здесь развивается также, как и в однородном поле. Однако канал пробоя возникает в местах максимальной напряженности электрического поля (по краям электродов – в случае дисков с острыми краями).

Величина электрической прочности газового промежутка в слабонеоднородном поле несколько ниже по сравнению с таким же газовым промежутком однородного поля.

В резконеоднородных полях ($E_{\max}/E_{\text{ср}} > 4$) (стержень-стержень, стержень-диск) ионизация, как указывалось выше, охватывает лишь часть газового промежутка в месте наибольшей напряженности E_{\max} (вблизи острия стержня), где возникает устойчивый коронный разряд, сопровождающийся свечением пробитой части газа. При дальнейшем повышении напряжения произойдет пробой всего промежутка. Электрическая прочность газовых промежутков в резконеоднородных полях имеет минимальное значение.

1.2.3.2. Влияние давления

Характер зависимости пробивного напряжения $U_{\text{пр}}$ газа от давления “Р” показан на рис. 1.1.

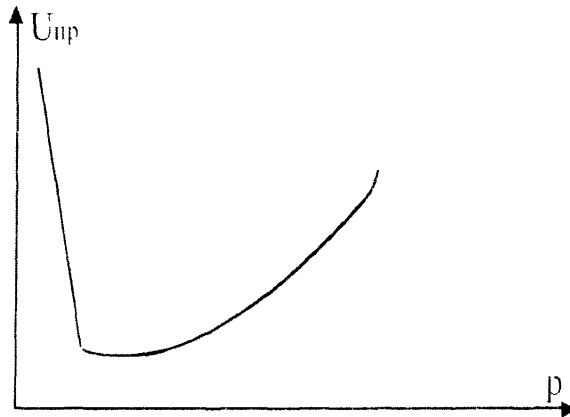


Рис. 1.1. Зависимость пробивного напряжения от давления в газовом промежутке

Увеличение $U_{\text{пр}}$ газового промежутка в области больших давлений объясняется ростом концентрации числа молекул газа в единице объема и сокращением расстояний

между ними. Следовательно, уменьшается длина свободного пробега λ и энергии $W_{и}$ (см. формулу (1.1.)) ионизирующих частиц (прежде всего электронов), что затрудняет процесс ионизации.

Рост $U_{пр}$ в области малых давлений объясняется малым количеством молекул газа в единице объёма и, вследствие этого, малой вероятностью столкновений ионизирующих частиц с молекулами газа. Это также затрудняет процесс ионизации и образование разрядного канала в газе. При полном вакууме, вследствие отсутствия молекул газа в промежутке, ударная ионизация не возникает. Появление лавины электронов и пробой промежутка может произойти в этих условиях только за счет электронов, вырывааемых с поверхности металлических электродов сильным электрическим полем. Электрическая прочность разреженного газа в зависимости от степени приближения к вакууму повышается до $10^3 - 10^4$ кВ/мм. Минимальная электрическая прочность воздушного промежутка имеет место при давлении 6 мм.рт.ст. и составляет 0,025-0,027 кВ/мм. Следовательно, понижение давления воздуха до 6 мм.рт.ст. может вызвать уменьшение его электрической прочности на два порядка по сравнению с прочностью при нормальном давлении (при $P=760$ мм.рт.ст., $E_{1пр}=3$ кВ/мм).

1.2.3.3. Влияние расстояния между электродами

Характер зависимости пробивного напряжения газа от расстояния “а” между электродами (толщины газового слоя) показан на рис.1.2.

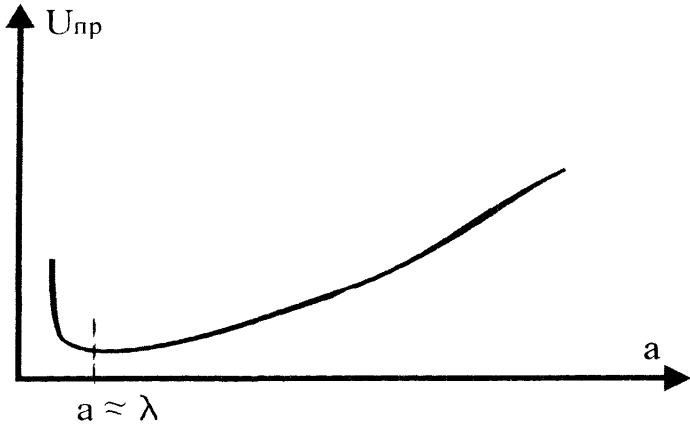


Рис.1.2. Зависимость пробивного напряжения газа от толщины его слоя

Увеличение $U_{пр}$ при малых величинах “а”, соизмеримых с длиной свободного пробега λ ионизирующих частиц, называют эффектом тонких слоев. При нормальном давлении $P=760$ мм.рт.ст.) и температуре ($T=293K$) длина свободного пробега различных газов составляет $(5-10) \cdot 10^{-6}$ см. Эффект тонких слоев при $a \approx \lambda \approx (5-10) \cdot 10^{-6}$ см объясняется малой вероятностью столкновений свободных электронов с молекулами газа из-за того, что часть этих электронов успевает пересечь малый газовый промежуток $a \approx \lambda$ без соударений с молекулами газа. Для воздуха, находящегося в нормальных условиях ($P=760$ мм.рт.ст. и $T=293$ K), электрическая прочность при толщине $a=5 \cdot 10^{-4}$ см увеличивается до 7 кв/мм вместо 3 кв/мм при $a=1$ см, т.е. более, чем в 2 раза.

Подобие кривых $U_{пр}=f(p)$ (рис.1.1) и $U_{пр}=f(a)$ (рис.1.2) для газовых промежутков было экспериментально установлено французским исследователем Пашеном. Он также доказал, что $U_{пр}$ газа зависит от величины произведения давления газа (p) на расстояние (a) между электродами

$U_{\text{пр}}=f(pa)$. Эта зависимость получила название закона Пашена (закона подобия), который формулируется так: “если длин(a) газового промежутка и давление (P) газа изменяются так, что их произведение остаётся постоянным (т.е. обратно пропорционально друг другу), то величина пробивного напряжения $U_{\text{пр}}$ не меняется”.

В некоторых электротехнических устройствах (кабели и др.) с целью увеличения электрической прочности применяют газовую изоляцию, находящуюся под повышенным или пониженным давлением.

1.2.4. Испытательная установка и построение градуировочной кривой трансформатора.

Шаровые разрядники широко используются в качестве простого средства измерения высоких напряжений с погрешностью $\leq 3\%$. Такая погрешность измерения достигается при условии однородного электрического поля между шарами (т.е. при $a \leq 0,75 D$, см. подпункт 1.2.3.1).

На основе результатов исследований шаровых разрядников составлены стандартные таблицы МЭК (международной электротехнической комиссии). В этих таблицах даны пробивные напряжения $U_{\text{про}}$ для различных диаметров шаров “ D ” от 2 до 200 см, причем каждому диаметру соответствует допустимый диапазон, расстояний “ a ” между шарами ($a \leq 0,75D$), в котором обеспечивается минимальная погрешность измерения. Величины $U_{\text{про}}$ указаны в таблицах для воздуха при температуре $T=20^\circ \text{C}$ и давлении 760 мм.рт.ст. В случае отклонения температуры и давления от нормальных значений вводится поправочный коэффициент δ , учитывающий относительную плотность воздуха и равный:

$$\delta = 0,386p / (273 + T), \quad (1.2)$$

где p – давление, в мм.рт.ст.;

T – температуре в градусах Цельсия.

Величины пробивных напряжений $U_{ПР}$ определяется с учетом δ

$$U_{ПР} = \delta U_{ПРО}, \quad (1.3)$$

где $U_{ПРО}$ – величины пробивных напряжений, взятые из таблицы МЭК.

Для шаров диаметром $D=12,5$ см, используемых в данной работе, величины $U_{ПРО}$, при различных расстояниях “а” между ними приведены в табл.1.1

Таблица 1.1
Пробивные напряжения искровых промежутков “а” шарового разрядника с диаметром шаров 12,5 см

а, см	0,5	1	1,5	2	2,6	3
$U_{ПРО,кВ}$	16,8	31,7	45,5	59,0	75,0	85,0

С помощью шарового измерительного разрядника можно построить градуировочную кривую высоковольтного трансформатора испытательной лабораторной установки, схема которого изображена на рис.1.3.

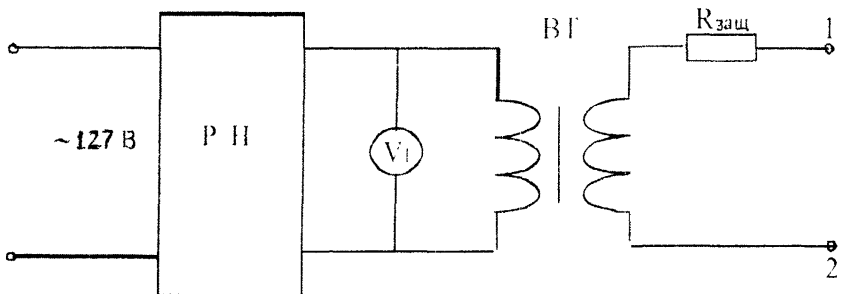


Рис.1.3. Схема испытательной установки

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

РН – регулятор напряжения;

ВТ – высоковольтный испытательный трансформатор;

V_1 – вольтметр, измеряющий напряжение U_1 на низковольтной обмотке трансформатора ВТ;

$R_{\text{заш}}$ – защитный резистор, ограничивающий ток при пробое воздушного промежутка;

1 и 2 – клеммы, к которым подключаются металлические электроды различных форм.

Для построения градуировочной кривой высоковольтного трансформатора – зависимости $U_{\text{пр}}=f(U_1)$ при различных величинах “а” воздушного промежутка разрядника измеряют вольтметром V_1 значения напряжения U_1 на его низковольтной обмотке в момент пробоя шарового разрядника.

Величины $U_{\text{пр}}$ для соответствующих значений “а” рассчитывают на основании выражений (1.2) и (1.3) с учетом результатов измерений давления “Р” и температуры “Т” воздуха в помещении лаборатории и значений $U_{\text{про}}$, определенных по табл.1.1.

Построенная зависимость $U_{\text{пр}}=f(U_1)$ позволяет определять напряжения на высоковольтной обмотке трансформатора по измеренной вольтметром V_1 величине напряжения на его низковольтной обмотке.

1.3. Экспериментальная часть работы

1.3.1. Ознакомиться с испытательной лабораторной установкой и порядком построения градуировочной кривой высоковольтного трансформатора, описанными в пункте 1.2.4.

1.3.2. Подключить к клеммам 1 и 2 трансформатора (рис.1.3) шаровые электроды и установить расстояние “а” между ними, равное 0,5 см.

1.3.3. Плавно повышая напряжение поворотом рукоятки автотрансформатора, определить его величину U_1 по вольтметру V_1 (см. рис. 1.3) в момент пробоя воздушного промежутка между шарами.

1.3.4. Произвести измерения напряжений U_1 для расстояний $a=1; 1,5$ и 2 см.

1.3.5. Измерить величины давления “Р” и температуру “Т” воздуха в помещении лаборатории и рассчитывать по формуле (1.2) коэффициент “ δ ”.

1.3.6. Определить по формуле (1.3) величины пробивных напряжений $U_{пр}$ для всех расстояний “а” с учетом значений $U_{про.}$ указанных в табл.1.1, и рассчитанного коэффициента “ δ ”

1.3.7. Результаты измерений и расчетов записать в табл.1.2.

Таблица 1.2
Величины пробивных напряжений шарового разрядника

а, см	U_1 , в	Р, мм рт ст	Т, °С	δ	$U_{про.}$ кВ	$U_{пр.}$ кВ
-------	-----------	-------------	-------	----------	---------------	--------------

1.3.8. На основании полученных данных построить градуировочную кривую трансформатора – зависимость $U_{пр}=f(U_1)$

1.3.9. Поочередно подключая к клеммам “1 и 2” трансформатора (см. рис.1.3) металлические электроды в виде: дисков с закругленными краями (— ⊃ ⊂ —), дисков с острыми краями (— | —) и заостренных стержней (⇒ ⇐) определять напряжения U_1 в моменты пробоя воздушных промежутков “а” между ними при “а”=1,2 и 3 см.

1.3.10. Для всех измеренных величин U_1 определить по построенной градуировочной кривой трансформатора значения пробивных напряжений.

1.3.11. Полученные данные записать в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Значения пробивных напряжений воздушных промежутков при различной форме окружающих их электродов

а, см	-) (-		- -		→ ←	
	$U_1, В$	$U_{пр}, кВ$	$U_1, В$	$U_{пр}, кВ$	$U_1, В$	$U_{пр}, кВ$

1.3.12. На основании данных табл. 1.3. построить в одних координатных осях зависимости $U_{пр}=f(a)$ для всех указанных в ней электродов.

1.4. Контрольные вопросы.

1.4.1. Каковы основные газообразные диэлектрики, их свойства и применение?

1.4.2. Каковы основные виды газового разряда и их особенности?

1.4.3. Чем объясняется различие электрической прочности газовых промежутков при различных формах электродов?

1.4.4. Как и почему влияют давление и расстояние между электродами газового промежутка на его пробивное напряжение?

1.4.5. Как и для какой цели строится градуировочная кривая трансформатора - зависимость $U_{пр}=f(U_1)$?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005, - 280 с.
2. Богородицкий Н.П. и др. «Электротехнические материалы». – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОЛЯРНОСТИ В РЕЗКОНЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ.

2.1. Цель работы

Изучение особенностей пробоя воздушного промежутка между заостренным стержнем и плоским диском с острыми краями при различной полярности напряжения на стержне.

2.2. Краткие теоретические сведения

Условия работы изоляции существенно зависят от формы электрического поля. В неоднородном поле эти условия значительно тяжелее, чем в однородном. Характерным примером резконеоднородного поля является электрическое поле, созданное между электродами: заостренный стержень-диск.

Развитие газового разряда в резконеоднородном поле существенно отличается от протекания этого процесса в

однородных и слабонеоднородных полях. В этом случае разрядное напряжение меньше пробивного. Самостоятельный разряд охватывает только часть газового промежутка, возникает коронный разряд и ток через промежуток ограничивается емкостным сопротивлением неионизированной его части. При повышении приложенного к газовому промежутку напряжения коронный разряд переходит в дуговой или искровой (см. пункт 1.2.3.).

В резконеоднородном поле, созданном в газовом промежутке между стержнем и плоским диском, значения коронного и пробивного напряжений зависят от полярности электродов, ввиду возникновения в результате ударной ионизации объемных зарядов.

Процесс ударной ионизации начинается при любой полярности электродов в зоне наибольшей напряженности электрического поля в газовом промежутке, т.е. вблизи стержня. Закон начального распределения величины напряженности электрического поля в промежутке между электродами изображен пунктирными кривыми на рис. 2.1 и 2.2.

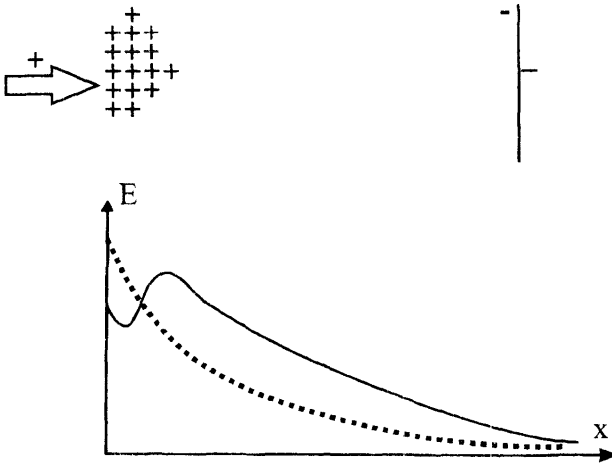


Рис. 2.1. Распределение напряженности электрического поля в промежутке между электродами: стержень (+) и диск (-)

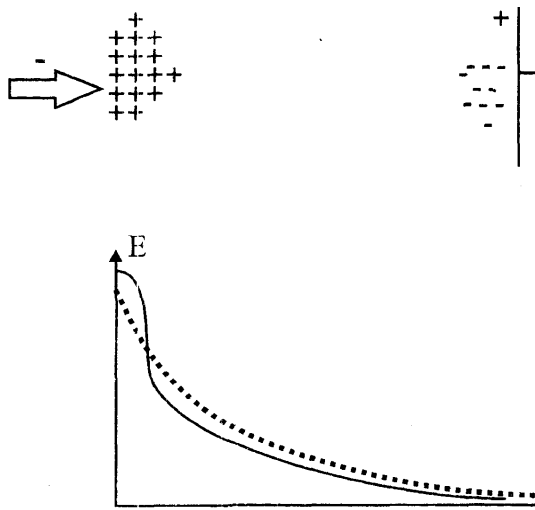


Рис. 2.2. Распределение напряженности электрического поля в промежутке между электродами: игла (-) и диск (+)

В случае положительной полярности напряжения на стержне образовавшиеся вблизи стержня в результате ударной ионизации лавины свободных электронов устремляются к стержню.

Оставшиеся в хвосте лавин малоподвижные положительные ионы образуют объемный заряд (рис. 2.1.), медленно смещающийся в сторону диска. Этот объемный заряд выравнивает и ослабляет поле вблизи стержня и усиливает его в остальной части промежутка (острие стержня как бы приближается по направлению к диску).

При отрицательной полярности стержня электронные лавины движутся к диску в зону с меньшей напряженностью. Здесь большинство свободных электронов захватываются нейтральными молекулами газа и образуются отрицательные ионы.

Вблизи стержня остаются положительные ионы, образующие объемный заряд. Отрицательные ионы рассеи-

ваются в остальной части газового промежутка и из-за малой плотности существенного влияния на электрическое поле не оказывают. Положительный объемный заряд усиливает поле у стержня и ослабляет его в направлении к диску.

Характер распределения напряженности в газовом промежутке между стержнем и диском после появления объемных зарядов для различных полярностей электродов изображен сплошными кривыми на рис. 2.1 и 2.2.

Искажение электрического поля между электродами в силу возникновения положительного объемного заряда оказывает влияние на процесс развития разряда.

Ослабление напряженности электрического поля вблизи стержня при положительной полярности и усиление её при отрицательном стержне затрудняет развитие коронного разряда в первом случае и облегчает – во втором. Поэтому напряжение возникновения коронного разряда в газовом промежутке между стержнем и диском при положительной полярности стержня выше, чем при отрицательном стержне. Однако полный пробой газового промежутка между электродами в случае отрицательного стержня происходит при большем напряжении, чем при его положительной полярности. Это объясняется понижением напряженности в пространстве между объемным зарядом и диском при отрицательном стержне и, следовательно, затруднением развития канала пробоя в направлении к диску. При положительном стержне этот процесс облегчается ввиду усиления напряженности между объемным зарядом и диском.

Для увеличения электрической прочности газового промежутка в резконеоднородном поле применяют барьеры, представляющие собой тонкую пластинку изолирующего материала.

Влияние барьера на процесс развития разряда в газовом промежутке объясняется также появлением объемных зарядов, изменяющих поле между электродами.

В случае положительной полярности стержня образующиеся при ударной ионизации положительные ионы оседают на барьере и, растекаясь по его поверхности, выравнивают поле в газовом промежутке. Кривые распределения напряженности электрического поля в промежутке, до и после внесения в него барьера, изображены на рис. 2.3. соответственно пунктирной и сплошной линиями.

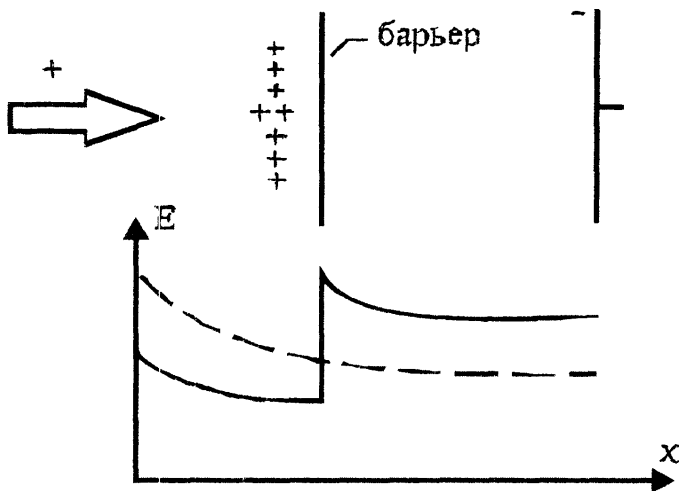


Рис. 2.3 Распределение напряженности электрического поля в промежутке между электродами: стержень (+) и диск (-) при наличии изоляционного барьера

Как видно на рис. 2.3. после внесения барьера напряженность поля в зоне стержень-барьер падает, а за барьером несколько возрастает.

При отрицательной полярности стержня свободные электроны, образующиеся при ударной ионизации, захватываются молекулами газа и оседают в виде отрицательных ионов на барьере.

Кривая распределения напряженности электрического поля внесения барьера для этой полярности близка к кривой, изображенной на рис. 2.3.. При отрицательной полярности стержня внесение барьера незначительно влияет на электрическую прочность газового промежутка, в то время как при положительной полярности, величина пробивного напряжения может возрасти в 2 – 2,5 раза.

Величина электрической прочности газового промежутка между стержнем и диском при наличии в нем барьера зависит от места расположения барьера между электродами.

Электрическая прочность материала самого барьера не оказывает существенного влияния. Метод увеличения электрической прочности газовой изоляции с помощью барьеров нашел широкое распространение в электротехнических устройствах, например, в трансформаторах и кабелях.

В качестве барьеров используют тонкие слои твердых диэлектриков изоляционной бумаги, пленочных материалов.

Определение пробивного $/U_{11P}/$ и коронного $/U_K/$ напряжений при изменении величины воздушных промежутков между стержнем и плоскостью при их различной полярности производится с помощью установки, с высоковольтным ламповым диодом, схема которой изображена на рис. 2.4.

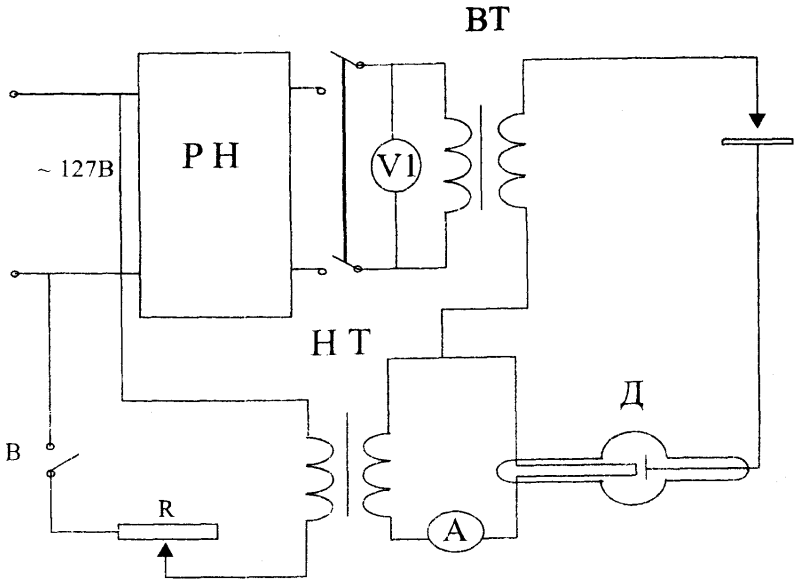


Рис. 2.4. Схема испытательной установки

На этом рисунке приняты следующие обозначения:
РН – регулятор напряжения;
ВТ – высоковольтный трансформатор;
НТ – трансформатор цепи накала Д;
 V_1 – вольтметр, измеряющий напряжение U_1 на низковольтной обмотке трансформатора ВТ;
А – амперметр, измеряющий ток в цепи накала лампового диода;
В – выключатель в цепи накала диода;
R – реостат для регулировки тока в цепи накала.

2.3.7. По данным табл. 2.2. построить в одних координатных осях графики зависимостей $U_{2к}=f(a)$ и $U_{2пр}=f(a)$ для обеих полярностей стержня.

2.3.8. Поместить в воздушный промежуток $a=4$ см. между стержнем и диском барьер из тонкого твердого диэлектрика на расстоянии $L=0,5$ см от диска и измерить – величину пробивного напряжения при положительной полярности стержня. При пробое необходимо возможно быстрее выключить напряжение, чтобы барьер не успел загореться. Если отверстие, пробитое в барьере, мало, то можно производить несколько пробоев без замены диэлектрика барьера.

2.3.9. Прodelать 5-6 опытов для обеих полярностей стержня, увеличивая каждый раз расстояние «L» между барьером и диском на 0,5 см и сохраняя неизменной величину воздушного промежутка между стержнем и диском, равную 4 см.

2.3.10. Полученные результаты записать в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Величины пробивных напряжений промежутка стержень – диск при наличии в нем барьера

L, см	→ –	→ –	→ –
	– –	– –	– +
	$U_{1пр}$, В	$U_{2пр}$, кВ	$U_{1пр}$, В
			$U_{2пр}$, кВ

2.3.11. По полученным данным построить в одних координатных осях графики $U_{2пр}=f(L)$ для обеих полярностей стержня.

2.4. Контрольные вопросы.

2.4.1. Каковы особенности газового разряда в резко-неоднородном поле?

2.4.2. Чем объясняется различие пробивных напряжений и напряжений возникновения короны в газовом промежутке между стержнем и плоским диском при различных полярностях стержня?

2.4.3. Как влияет наличие барьера на пробивное напряжение газового промежутка между стержнем и плоским диском при различной полярности стержня?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Богородицкий Н.П. и др. «Электротехнические материалы». Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 304 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ОТ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОДОВ	3
1.1. Цель работы	3
1.2. Краткие теоретические сведения	3
1.2.1. Основные газообразные диэлектрики и их свойства	3
1.2.2. Формирование газовых разрядов и их виды	4
1.2.3. Влияние различных факторов на электрическую прочность газов	8
1.2.4. Испытательная установка и построение градуировочной кривой трансформатора	12
1.3. Экспериментальная часть работы	14
1.4. Контрольные вопросы	16
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОЛЯРНОСТИ В РЕЗКОНЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ	17
2.1. Цель работы	17
2.2. Краткие теоретические сведения	17
2.3. Экспериментальная часть работы	23
2.4. Контрольные вопросы	26

Георгий Сергеевич Касаткин

Пробой газов

методические указания
к лабораторным работам

Подписано в печать 11.03.09. Формат 60×84/16 Тираж 200 экз.

Усл. —печ. л.- 1,75

Заказ № 54

Изд. № 85-09

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Типография МИИТа