ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЯ 3 кВ И ВЫШЕ

ОБЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

ГОСТ 1516.2—76
(СТ СЭВ 1071—78 и СТ СЭВ 1072—78)

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.3.048.027.4 : 621.317.333.6 : 006.354 Группа Е09

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

ГОСТ 1516.2—76*

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЕ 3 кВ И ВЫШЕ

Общие методы испытаний электрической прочности изоляции

Electrical equipment and installations for a.c. voltages 3 kV and higher. General test methods of insulation electrical strength

(СТ СЭВ 1071—78, СТ СЭВ 1072—78)

Взамен ГОСТ 1516—73 в части методов испытаний электрической прочности изоляции

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 6 декабря 1976 г. № 2702 срок введения установлен

с 01.01.78

Проверен в 1986 г. Постановлением Госстандарта от 12.06.86 № 1466 срок действия продлен

до 01.01.92

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на электрооборудование и электроустановки и их части (в дальнейшем — электрооборудование) переменного тока частоты 50 Гц, классов напряжения 3 кВ и выше.

Стандарт устанавливает общие методы и условия испытаний изоляции электрооборудования и содержит указания по обработке результатов испытаний, проводимых напряжением промышленной частоты, грозовым и коммутационным импульсами напряжения.

Стандарт не распространяется на электрические машины.

Стандарт не устанавливает методы специфических испытаний:

внешней изоляции в условиях загрязнения ее поверхности;

изоляции, подвергающейся действию газов, испарений и химических отложений, вредных для изоляции;

внешней изоляции, обусловленные требованием учета конденсации влаги на электрооборудовании категории размещения 2 по ГОСТ 15150—69;

Издание официальное Перепечатка воспрещена

★

* *Переиздание (октябрь 1986 г.) с Изменениями № 1, 2, 3, утвержденными в мае 1979 г., сентябре 1982 г., июне 1986 г. (ИУС 7—79, 1—83, 9—86).*

© Издательство стандартов 1987

изоляции на стойкость в отношении частичных разрядов;
изоляторов потоком искр.

В настоящем стандарте учтены требования Публикации МЭК № 60—1 (1973 г.) и № 60—2 (1973 г.).

Настоящий стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 1071—78 и СТ СЭВ 1072—78.

(Измененная редакция, Изм. № 1, 3).

1. ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

1.1. Расположение объекта испытания на испытательном поле

1.1.1. Объекты испытания должны быть установлены на испытательном поле так, чтобы расстояния до посторонних окружающих предметов — стен, ограждений, источников напряжения, кроме случаев, указанных в п. 1.1.2 и 1.1.3, были не менее 150% наименьшего изоляционного расстояния между заземленными и имеющими высокий потенциал частями объекта испытаний.

При испытании внешней изоляции объектов классов напряжения 500 кВ и выше в стандартах или технических условиях (в дальнейшем — стандартах) должны быть указаны высота заземленного основания объекта испытания, а также расположение и конструкция ошиновки вблизи объекта.

1.1.2. Указанные в п. 1.1.1 расстояния могут быть уменьшены, если на распределение напряжения (электрическое поле) испытываемой изоляции посторонние предметы влияют незначительно, например, при испытании объектов под дождем, при испытании внутренней изоляции, находящейся в металлической оболочке, и в других случаях, указанных в стандартах на отдельные виды электрооборудования. При испытании внутренней изоляции, находящейся в металлической оболочке, допускается установка на время испытания специальных экранов или коронирующих устройств (диски, острия, проволочные спирали и другие приспособления) для предотвращения возникновения сильных стримеров и перекрытия по внешней изоляции. Допускается проводить периодические и приемо-сдаточные, а для объектов классов напряжения 500 кВ и выше — также типовые испытания, при расстояниях до посторонних заземленных окружающих предметов, меньших указанных в п. 1.1.1.

1.1.3. Испытания линейной изоляции должны проводиться на опорах (макетах опор) соответствующего класса напряжения. Провода линий допускается заменять макетами. Длина провода должна быть такой, чтобы были исключены разряды с концов провода на опоры и окружающие предметы, но не менее чем полуторной длины гирлянды в каждую сторону от гирлянды. При длине

провода в каждую сторону большей, чем тройная длина гирлянды, для исключения разрядов с концов провода допускается устанавливать на концах провода кольцевые экраны. При длине гирлянды более 4 м расстояние до посторонних заземленных предметов должно быть не менее тройной длины гирлянды, а при меньшей длине — не менее полуторной.

При испытании элементов линейной изоляции как самостоятельных изделий они должны быть испытаны в соответствии с требованиями стандартов на эти изделия.

1.2. Требования к объекту испытания и последовательность проведения испытаний

1.2.1. Испытания должны проводиться на полностью собранных объектах, кроме случаев, указанных в пп. 1.2.2—1.2.7.

1.2.2. Допускается проводить испытание внешней изоляции на макетах или не полностью собранном объекте без установки частей электрооборудования, не влияющих на электрическую прочность внешней изоляции, а также на макетах с усиленной внутренней изоляцией, например конденсатор связи с уменьшенной емкостью, но с усиленной внутренней изоляцией.

При испытании внешней изоляции электрооборудования под дождем на макетах или не полностью собранных объектах идентичность условий испытания должна обеспечиваться также в отношении непосредственного смачивания дождем отдельных частей макета и полностью собранного объекта и стекания воды с одних частей на другие.

Для трансформаторов тока и напряжения с изолирующим, например фарфоровым кожухом, у которого внутренняя изоляция испытана отдельно, допускается проведение испытаний внешней изоляции на макете, если измерением при пониженном напряжении показано, что распределения напряжения по поверхности изолирующего кожуха трансформатора и макета его внешней изоляции между собой практически не отличаются.

1.2.3. Допускается проводить испытание внутренней изоляции объекта без установки частей или с заменой другими частями, если это не может повлиять на электрическую прочность испытываемой изоляции. Для трансформаторов, реакторов и выключателей, активная часть которых находится в металлическом баке, допускается проводить испытания внутренней изоляции, в том числе газовой, с установленными инвентарными, не подлежащими установке в эксплуатации на данном трансформаторе, реакторе или выключателе, вводами. При этом инвентарный ввод должен быть изготовлен по тем же чертежам, что ввод трансформатора, реактора и выключателя, или может отличаться повышенной электрической прочностью изоляции. Допускается замена инвентарного ввода в случае его повреждения.

Допускается проводить испытания трансформаторов, реакторов и выключателей без установки охладителей и других частей бака, экранированных другими частями относительно вводов.

Допускается проводить периодические и приемо-сдаточные испытания аппаратов без наполнения их баков или резервуаров маслом или другой изолирующей средой, а также с опущенными баками или без баков, если при проведении типового испытания аппарата данного типа установлено, что конструкция изоляции без заполнителя выдерживает испытательное напряжение и что данное испытание эквивалентно испытанию полностью собранного аппарата.

1.2.4. Допускается проводить типовые и периодические испытания на одном элементе полюса или поэлементно в следующих случаях.

На одном элементе полюса коммутационного аппарата проводятся:

типовые испытания под дождем изоляции между разомкнутыми контактами аппаратов класса напряжения 500 кВ и выше, если предварительными исследованиями на аппарате более низкого класса напряжения установлено, что такое испытание эквивалентно испытаниям полностью собранного полюса;

периодические испытания в сухом состоянии и под дождем изоляции между разомкнутыми контактами;

типовые и периодические испытания в сухом состоянии и под дождем изоляции относительно земли аппаратов классов напряжения 330 кВ и выше.

Указанные испытания допускается проводить при условии, что полюс аппарата состоит из нескольких одинаковых элементов: конструктивно законченных изоляционных опорных колонн или подвесок, на каждой из которых расположен один или несколько модулей дугогасительной камеры.

Испытательное напряжение для изоляции между разомкнутыми контактами элемента полюса, соответственно в сухом состоянии или под дождем, должно быть установлено предварительными исследованиями распределения напряжения на полностью собранном полюсе аппарата или на эквивалентной модели полюса с учетом предельно возможной неравномерности.

Поэлементно проводятся типовые и периодические испытания внутренней изоляции делителей напряжения емкостных трансформаторов напряжения, конденсаторов связи и их внешней изоляции в сухом состоянии.

При наличии на верхнем элементе экрана должен быть испытан на макете воздушный промежуток между экраном и заземленными частями. Испытательное напряжение элемента должно быть установлено расчетом для случая предельно возможной неравномер-

ности распределения напряжения по элементам при нормированном допуске на отклонение емкости элементов от номинального значения.

Поэлементно проводят периодические испытания внешней изоляции и типовые и периодические испытания внутренней изоляции каскадных трансформаторов тока и напряжения с фарфоровым кожухом. Испытательное напряжение, прикладываемое к элементу каскадного трансформатора тока или напряжения, должно быть установлено предприятием-изготовителем в соответствии с распределением напряжения по элементам собранного трансформатора, измеренным при пониженном напряжении.

1.2.5. Допускается проводить приемо-сдаточные испытания следующего электрооборудования поэлементно и (или) по отдельным изолирующим частям:

каскадные трансформаторы тока и напряжения, делители напряжения емкостных трансформаторов напряжения, конденсаторы связи — испытываются поэлементно;

крупногабаритные, отправляемые с предприятия-изготовителя в не полностью собранном виде выключатели, отделители с внутренней газовой изоляцией и выключатели нагрузки — испытываются поэлементно и по отдельным изолирующим частям: испытываются отдельные модули (разрывы) и отдельные изолирующие части или их участки (изоляторы, тяги, воздухопроводы и т. д.), а также проверяется соответствие основных изоляционных расстояний чертежам;

разъединители, отделители с видимым промежутком между контактами, короткозамыкатели, заземлители, разъединяющие выключатели нагрузки, предохранители, шинные опоры — испытываются по отдельным изолирующим частям или их участкам, а также проверяется соответствие основных изоляционных расстояний чертежам.

Испытательные напряжения при испытании элементов, отдельных изолирующих частей или их участков должны быть установлены предприятием-изготовителем в соответствии с распределением напряжения, измеренным на полностью собранном объекте, с учетом нормированных допусков на отклонение параметров элементов от их номинального значения.

Примечание. Допускается не проводить испытания элементов опорной и продольной изоляции в виде керамических опорно-стержневых изоляторов и покрышек.

1.2.6. Испытание внешней изоляции электрооборудования, имеющего основные активные части, расположенные в металлической оболочке и присоединяемые через самостоятельные вводы, допускается заменять раздельными испытаниями вводов и воздушных изоляционных промежутков. Вводы должны быть испытаны по

п. 1.2.7. Воздушные изоляционные промежутки должны быть испытаны на макете оболочки или ее крышке, на которых устанавливаются вводы и выступающие части (например, расширитель, выхлопная труба, экраны). Расположение вводов и выступающих частей на макете должно либо соответствовать действительному их расположению для данного типа электрооборудования, либо сочетание формы и расположения частей и изоляционных расстояний, при котором изоляционные промежутки имеют наименьшую электрическую прочность, должны соответствовать наиболее неблагоприятному сочетанию для аналогичного электрооборудования данного класса напряжения. В последнем случае результаты испытания допускается распространять на все типы каждого вида электрооборудования данного класса напряжения.

Испытание воздушных изоляционных промежутков электрооборудования допускается не проводить, если они выбраны для данного типа трансформатора или аппарата на основе специальных исследований и с учетом нормированных допусков на производственные отклонения.

1.2.7. Допускается проводить испытание элемента электрооборудования, например ввода, отдельно от электрооборудования, в котором он применяется, при этом его расположение по отношению к заземленным поверхностям, а также форма и размеры наружных токоведущих частей должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования. Не допускается заменять испытание вводов испытанием отдельных фарфоровых покрышек.

1.2.8. Изоляция коммутационных аппаратов, имеющих дугогасящие, работающие в воздухе, камеры из изолирующего материала, внутренние поверхности которых в процессе гашения дуги становятся проводящими, должна подвергаться испытанию приложением одноминутного испытательного напряжения при замкнутом накоротко промежутке дугогасящей камеры и при электрическом соединении металлических крепежных элементов дугогасящей камеры с соответствующей токопроводящей частью.

1.2.9. Испытание газовой изоляции грозовыми и коммутационными импульсами, а также напряжением промышленной частоты при плавном подъеме должно проводиться при установленном стандартами для данного вида электрооборудования минимальном значении избыточного давления газа. Для изоляции между разомкнутыми контактами воздухонаполненных аппаратов, например выключателей и отделителей, перед каждым приложением напряжения должен осуществляться цикл операций «включение — отключение» без токовой нагрузки, выполненный при нижнем пределе начального избыточного давления, после чего должно устанавливаться минимальное значение избыточного давления газа.

(Измененная редакция, Изм. № 3).

1.2.10. Перед испытанием изоляции в сухом состоянии поверхность изолирующих деталей, находящихся в воздухе, должна быть очищена от загрязнений, а при испытании под дождем — также от жиров (например протиркой спиртом или тринатрийфосфатом Na_3PO_3).

Технологическая обработка внутренней изоляции объекта перед испытанием (например вакуумировка, сушка) должна производиться в соответствии с нормально применяемой предприятием-изготовителем обработкой для данного объекта.

1.2.11. Если изоляция электрооборудования не выдержала типового или периодического испытания, то повторное проведение испытания с неизменной конструкцией и технологией изготовления изоляции допускается в том случае, когда установлено, что:

испытываемая конструкция изоляции не выдержала испытания по причине, не связанной с устройством, размерами конструкции и технологией изготовления изоляции;

повредился инвентарный ввод.

После замены инвентарного ввода должно быть проведено повторное испытание при том виде напряжения и его полярности, при котором произошло повреждение. Если к условиям повторного проведения типового и периодического испытания электрооборудования с неизменной конструкцией и технологией изготовления изоляции должны быть предъявлены дополнительные требования, например для изоляторов — о количестве образцов, подлежащих испытанию, и порядке их отбора, то эти условия должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

1.2.12. Последовательность испытаний отдельными видами напряжения, при необходимости, должна быть установлена в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

1.2.13. Результаты испытаний изоляции должны заноситься в протокол испытаний или в рабочий журнал, в которых должны быть зафиксированы данные наблюдений и измерений, при помощи которых выявляется наличие или отсутствие повреждения испытывающейся изоляции, а также, при невыдерживании испытания, данные о напряжении, при котором произошло повреждение изоляции (значение напряжения, длительность его выдержки до момента обнаружения повреждения, число приложений напряжения, предшествовавших повреждению и т. д.), о месте и характере повреждения изоляции.

1.3. Атмосферные условия

1.3.1. За нормальные атмосферные условия должны быть приняты:

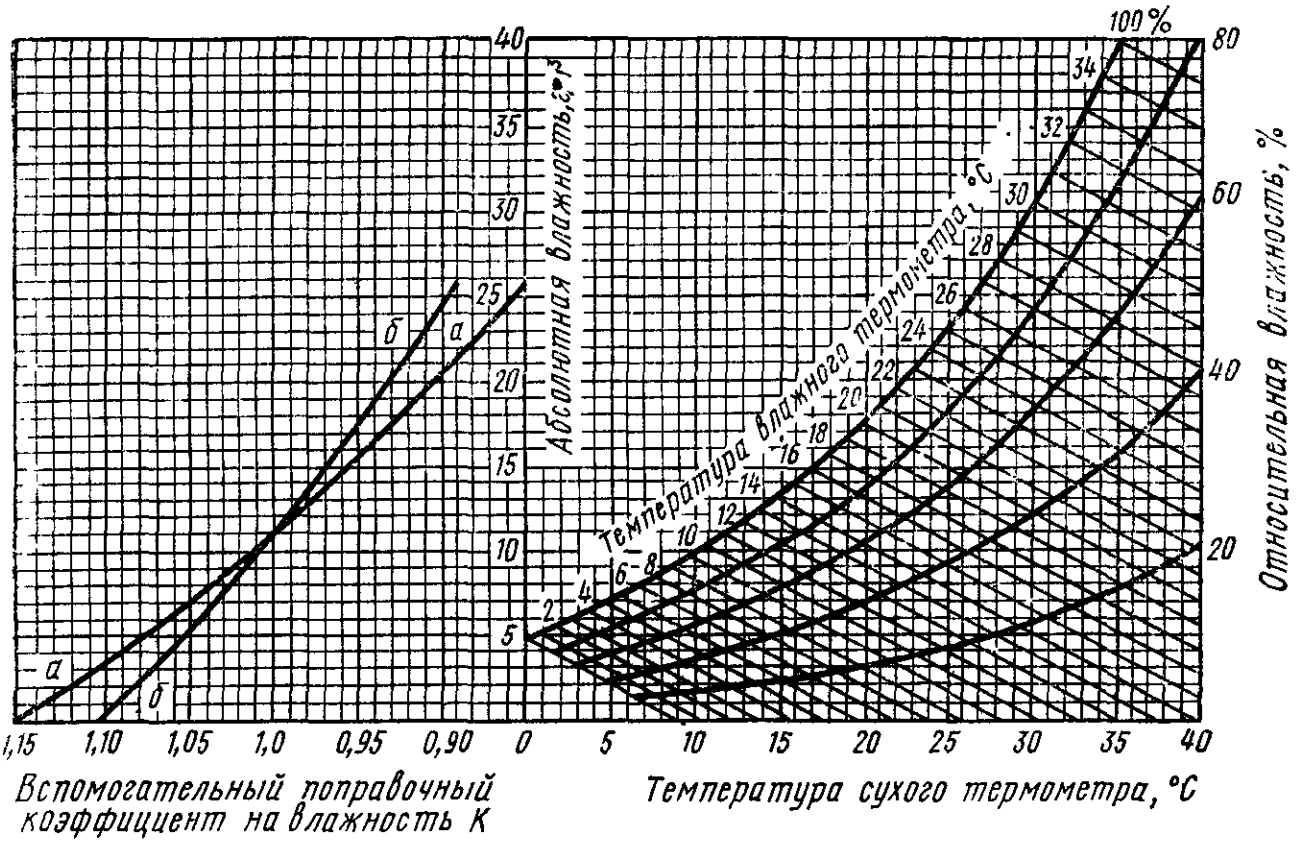
температура воздуха t_0, °С	20
атмосферное давление P_0, Па	101 300 (1013 мбар или 760 мм рт. ст.)
абсолютная влажность γ_0, г/м^3	11

1.3.2. Абсолютная влажность воздуха при испытаниях определяется при помощи психрометра — по показаниям сухого и влажного термометра согласно черт. 1.

Примечание. При испытаниях на открытом воздухе при отрицательной температуре абсолютная влажность воздуха определяется по показаниям волосного гигрометра, проградуированного по психрометру при положительных температурах с экстраполяцией в область отрицательных температур. Допускается использовать данные местного гидрометеоцентра.

1.3.3. Испытание изоляции в закрытых помещениях рекомендуется проводить при температуре окружающего воздуха от 10 до 40°С. Нижний предел допускаемой температуры при испытании внешней изоляции в сухом состоянии минус 10°С.

Испытание внешней изоляции, испытываемой отдельно от внутренней, должно проводиться после того, как испытываемый объект примет температуру помещения, в котором проводится испытание.



Черт. 1

Испытание внешней изоляции, проводимое одновременно с внутренней, допускается проводить при температуре объекта, превышающей температуру помещения, в котором проводится испытание, но находящейся в пределах от 10 до 40°С при условии, что это обстоятельство не снижает электрические характеристики испытываемого объекта.

Испытание внутренней изоляции, испытываемой отдельно от внешней, должно проводиться при температуре объекта, равной

температуре помещения, или при более высокой температуре, значение которой должно быть указано в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

Если испытываемый объект, например трансформатор тока, встраиваемый в токопровод, размещенный в кожухе, предназначен для работы при верхнем рабочем значении температуры окружающего воздуха выше 45°С, то допускается испытывать его изоляцию при верхнем рабочем значении температуры. При этом не должна вводиться поправка на окружающую температуру, а должна вводиться только поправка на давление и влажность по п. 1.4.

Испытание внешней изоляции в сухом состоянии в закрытых помещениях должно проводиться при относительной влажности не более 80%.

Примечание. При испытании, проводимом на открытых площадках, допускается проведение испытания при температуре окружающего воздуха от минус 20 до плюс 40°С и относительной влажности более 80%. Испытания на открытых площадках должны проводиться при отсутствии осадков в виде дождя, тумана, мокрого снега, а также росы на поверхности испытываемой изоляции.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

1.4. Поправки на атмосферные условия

1.4.1. При испытании внешней изоляции при атмосферных условиях, отличающихся от нормальных, должны вводиться указанные ниже поправки на атмосферные условия.

Нормированное испытательное напряжение при нормальных атмосферных условиях $U_{и0}$ должно приводиться к атмосферным условиям, существующим при испытании, по формуле

$$U_{ни} = U_{н0} \frac{K_p K_t}{K_\gamma}. \qquad (1)$$

Разрядное напряжение внешней изоляции, измеренное при испытании, $U_{ри}$ должно приводиться к нормальным атмосферным условиям по формуле

$$U_{р0} = U_{ри} \frac{K_\gamma}{K_p K_t}. \qquad (2)$$

Выдерживаемое напряжение, определенное при испытании, $U_{ви}$ должно приводиться к нормальным атмосферным условиям по формуле

$$U_{в0} = U_{ви} \frac{K_\gamma}{K_p K_t}, \qquad (3)$$

где в формулах (1), (2) и (3)

$U_{ни}$ — нормированное испытательное напряжение, приведенное к атмосферным условиям, существующим при испытании;

$U_{р0}$ — разрядное напряжение, приведенное к нормальным атмосферным условиям;

$U_{в0}$ — выдерживаемое напряжение, приведенное к нормальным атмосферным условиям;

$K_р$, K_t — соответственно поправочные коэффициенты на давление и температуру воздуха, значения которых даны в п. 1.4.2;

K_v — поправочный коэффициент на абсолютную влажность воздуха, значения которого указаны в п. 1.4.3.

В протоколе испытания внешней изоляции должны быть указаны атмосферные условия (температура воздуха, атмосферное давление и абсолютная влажность воздуха), при которых проводилось испытание, а также должны быть указаны введенные поправки на атмосферные условия.

1.4.2. Поправочные коэффициенты на давление и температуру $K_р$ и K_t определяются по формулам:

$$K_р = \left(\frac{P}{P_0}\right)^m ; \qquad (4)$$

$$K_t = \left(\frac{293}{273 + t}\right)^n , \qquad (5)$$

где P и t — соответственно атмосферное давление и температура (°С) при испытании;

P — нормальное атмосферное давление;

m и n — показатели степени, значения которых зависят от вида испытания и испытательного напряжения, длины разрядного промежутка и его конфигурации (пп. 1.4.2.1; 1.4.2.2; 1.4.3).

1.4.2.1. При испытании внешней изоляции в сухом состоянии в формулах (4) и (5) показатель степени $m=n$, и произведение коэффициентов $K_р \cdot K_t$ определяется по формуле

$$K_р K_t = \left(a \cdot \frac{P}{273 + t}\right)^n , \qquad (6)$$

где P и a — соответственно давление и коэффициент, зависящий от единиц, в которых измеряется давление:

$a=0{,}00289$, если P выражено в Па;

$a=0{,}289$, если P выражено в мбар;

$a=0{,}386$, если P выражено в мм рт. ст;

t — температура воздуха, °С;

n — показатель степени, определяемый по табл. 1 и черт. 2.

Допускается произведение коэффициентов $K_р \cdot K_t$ определять по упрощенной формуле

$$K_р \cdot K_t = \left[1 + n\left(\frac{P}{P_0} - 1\right)\right] \frac{293}{293 + n(t - 20)} , \qquad (6а)$$

где P_0 и P — нормальное атмосферное давление и давление в условиях опыта соответственно;

t — температура в условиях опыта, °С.

1.4.2.2. При испытании внешней изоляции под дождем напряжением промышленной частоты и коммутационными импульсами в формуле (5) $n=0$ и $K_t=1$, а K_p определяется по формуле (4) при $m=0{,}5$ независимо от длины разрядного промежутка.

Допускается K_p определять по упрощенной формуле

$$K_p=0{,}5+\frac{P}{2P_0}, \qquad (7)$$

где P_0 и P — нормальное атмосферное давление и давление в условиях опыта соответственно.

1.4.3. Поправочный коэффициент на абсолютную влажность K при испытании внешней изоляции в сухом состоянии определяется в зависимости от вида изоляции и напряжения по формуле

$$K_\nu = K^w \qquad (8)$$

Допускается K_ν определять по упрощенной формуле

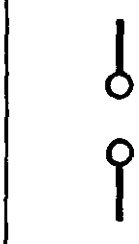
$$K_\nu = 1-w(1-K), \qquad (8а)$$

где w — показатель степени, определяемый по табл. 1 и черт. 2;

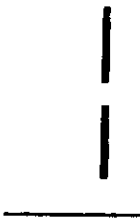
K — вспомогательный поправочный коэффициент на влажность, определяемый по черт. 1 и табл. 1.

Таблица 1

Показатели степени, m, n и w в формулах (4—10а) для определения поправочных коэффициентов на давление K_p, температуру K_t и влажность K_ν при испытании внешней изоляции в сухом состоянии

Вид испытательного напряжения	Форма электродов	Полярность	Поправки на давление и температуру	Поправки на влажность	
			Показатели степени m и n	Вспомогательный коэффициент K	Показатель степени w
Переменное напряжение			1,0	1,0	0
			Черт. 2, кривая *а*	Черт. 1, кривая *а*	Черт. 2, кривая *б*

Продолжение табл. 1

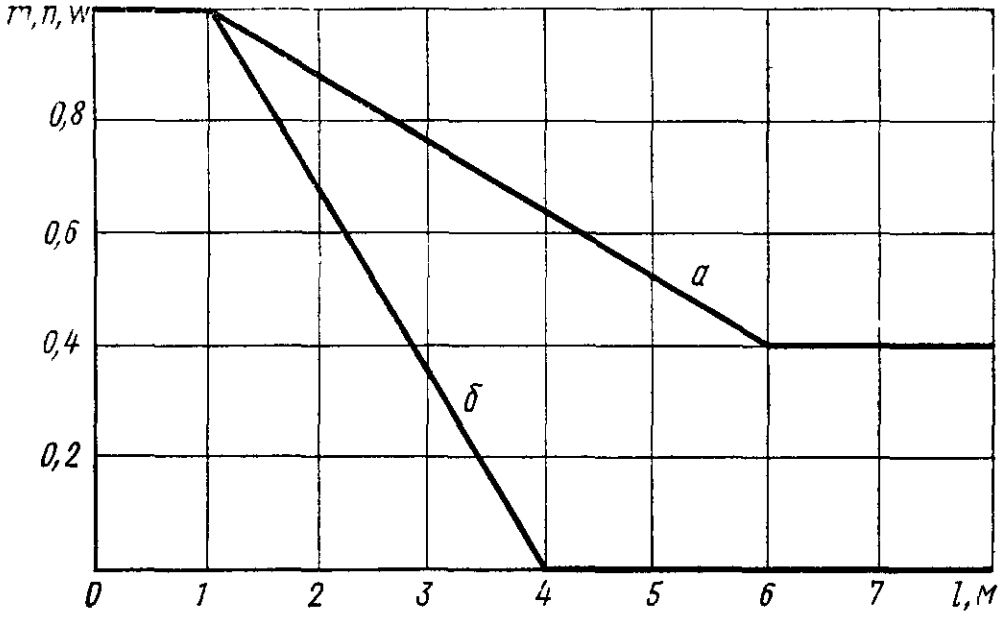
Вид испытательного напряжения	Форма электродов	Полярность	Поправки на давление и температуру	Поправки на влажность	
			Показатели степени m и n	Вспомогательный коэффициент K	Показатель степени w
Колебательный коммутационный импульс		+ —	1,0	1,0	0
Колебательный коммутационный импульс		+	Черт. 2, кривая *а*	Черт. 1, кривая *а*	Черт. 2, кривая *б*
		—	0		0
Апериодический коммутационный импульс		±	1,0	1,0	0
		+	Черт. 2, кривая *а*	Черт. 1, кривая *б*	Черт. 2, кривая *а*
		—	0		0
Грозовой импульс		±	1,0	1,0	0
		+		Черт. 1, кривая *б*	1,0
		—			0,8
		+			1,0
		—			0

— промежутки воздушные стержень—стержень и другие изоляционные конструкции с резко неоднородным, но приблизительно симметричным электрическим полем: подстанционные и линейные подвесные изоляторы, линейные штыревые изоляторы, изоляция между разомкнутыми контактами, а также между соседними полюсами выключателя, разъединителя, отделителя и других аппаратов;

— промежутки воздушные стержень—плоскость и другие изоляционные конструкции с резко неоднородным асимметричным электрическим полем: изоляция аппаратов между токопроводящими и заземленными частями, изоляторы опорные, проходные без применения регулирования поля (изоляторы до 35 кВ), а также изоляторы других типов, применяемые в трансформаторах и аппаратах;

— изоляционные конструкции с относительно однородным электрическим полем, изоляционные конструкции с регулированием поля с помощью специальных обкладок и применением объемных экранов. вводы, испытываемые отдельно, эталонные конденсаторы, емкостные трансформаторы напряжения.

Показатели степени m, n и w для определения поправочных коэффициентов на давление (K_p), температуру (K_t) и влажность (K_y) по табл. 1



Черт. 2

Примечание. При длинах промежутков l большем 8 м значения m, n и w соответствуют горизонтальным участкам кривых $а$ и $б$ при $l>6$ м и $l>4$ м соответственно.

При испытании внешней изоляции под дождем поправочный коэффициент на влажность не вводится ($K_y=1$).

Примечание. При испытательном напряжении, максимальное значение которого U менее 141 кВ, поправочный коэффициент на абсолютную влажность K_y определяется по формуле

$$K_y = 1+(K^w-1)\frac{U}{141}. \qquad (9)$$

При срезанном импульсе с предразрядным временем T_c менее 10 мкс коэффициент K_γ определяется по формуле

$$K_\gamma = 1 + 0{,}1 T_c (K^w - 1). \qquad (10)$$

При испытательном напряжении, максимальное значение которого U менее 141 кВ, а предразрядное время T_c менее 10 мкс, коэффициент K_γ определяется по формуле

$$K_\gamma = 1 + 0{,}1 T_c (K^w - 1) \frac{U}{141} \qquad (10а)$$

Пример применения формул (9) и (10а)

Максимальное значение срезанного грозового импульса $U_{рн} = 110$ кВ, предразрядное время $T_c = 3$ мкс,

$$K^w = 1{,}06, \quad K_p K_t = 1{,}01.$$

Поправка на влажность с учетом максимального значения напряжения и предразрядного времени должна быть:

$$K_\gamma = 1 + 0{,}1 \cdot 3 (1{,}06 - 1) \frac{110}{141} = 1{,}014.$$

Таким образом,

$$U_{р0} = 110 \frac{1{,}014}{1{,}01} \approx 110{,}4 \text{ кВ}.$$

2. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ГРОЗОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. Определение значения испытательного напряжения и параметров импульса

2.1.1. За значение испытательного напряжения полного импульса принимается максимальное значение напряжения импульса.

За значение испытательного напряжения срезанного импульса (разрядного напряжения) принимается:

максимальное значение напряжения импульса, если разряд произошел на максимуме напряжения и за ним;

напряжение в момент разряда (среза), если разряд произошел на фронте импульса.

Сказанное выше относительно определения значения испытательного напряжения относится также к случаю наличия вблизи максимума импульса колебаний с периодом более 2 мкс (черт. 3*а*) или единичного выброса напряжения длительностью более 1 мкс (черт. 3*б*). Максимальное значение напряжения определяется по средней кривой, если в области максимума имеются колебания с периодом не более 2 мкс (черт. 3*в*) или единичный выброс длительностью не более 1 мкс (черт. 3*г*).

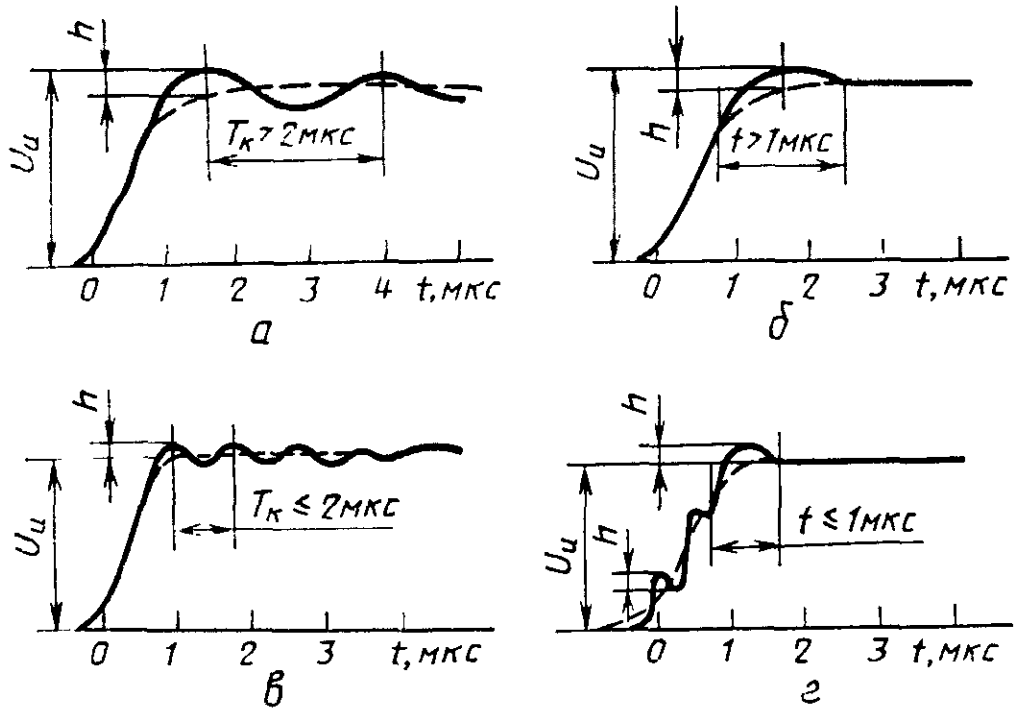
(Измененная редакция, Изм. № 3).

2.1.2. Перед приложением к испытываемому объекту нормированного испытательного напряжения полного или срезанного им-

пульса должна быть произведена градуировка испытательной установки — генератора импульсов напряжения (ГИН) — при присоединенном объекте с помощью пикового вольтметра и делителя напряжения или шарового разрядника.

При испытании объектов с самовосстанавливающейся изоляцией градуировка производится при напряжении 90÷100% нормированного испытательного; при испытании объектов с несамовосстанавливающейся изоляцией, например трансформаторов или реакторов — при напряжении не менее 60% нормированного.

Определение значения испытательного напряжения грозового импульса при наличии колебаний и выбросов



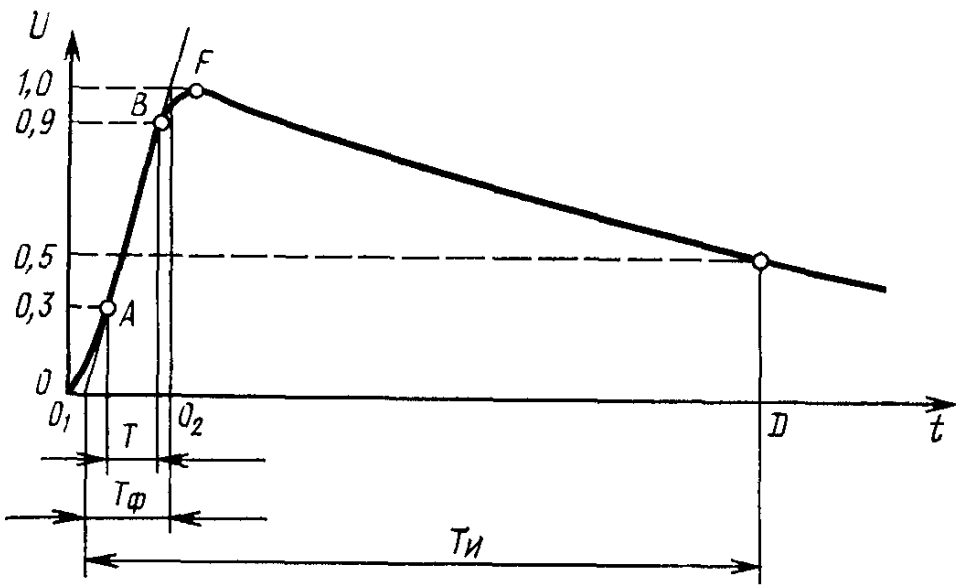
Черт. 3

При испытании объектов с несамовосстанавливающейся изоляцией рекомендуется снять градуировочную кривую ГИН при отключенном объекте, или при включенном объекте приложить промежуточные импульсы с напряжениями, равными примерно 75 и 90% нормированного напряжения и измерить их по показаниям пикового вольтметра или по осциллограммам. На основании этих данных пересчетом определяется градуировка ГИН при подключенном объекте вплоть до напряжения равного нормированному испытательному напряжению. При отсутствии калиброванного измерительного устройства с делителем в процессе градуировки ГИН определяется масштабный коэффициент пикового вольтметра, а при отсутствии последнего — масштаб осциллограмм. Окончательное определение значения приложенного напряжения при испытании нормированным напряжением производится по показаниям пикового вольтметра или по осциллограммам.

2.1.3. Длительность фронта импульса $T_ф$ определяется как время, превышающее в 1,67 раза интервал времени T между моментами, когда напряжение составляет 30 и 90% своего максимального значения (точки A и B на черт. 4). При наличии колебаний на фронте точки A и B следует брать на средней кривой. При линейной временной развертке длительность фронта импульса равна длине отрезка O_1O_2, и определяется графически, как показано на черт. 4.

2.1.4. Длительность полного импульса $T_и$ определяется как интервал времени между условным началом импульса O_1, находящимся левее точки A (черт. 4) на отрезок времени, равный 0,3 длительности фронта, и моментом на спаде импульса, когда напряжение понизилось до половины максимального значения. При линейной временной развертке длительность импульса равна длине отрезка $O_1Д$, которая определяется графически, как показано на черт. 4.

Полный грозовой импульс



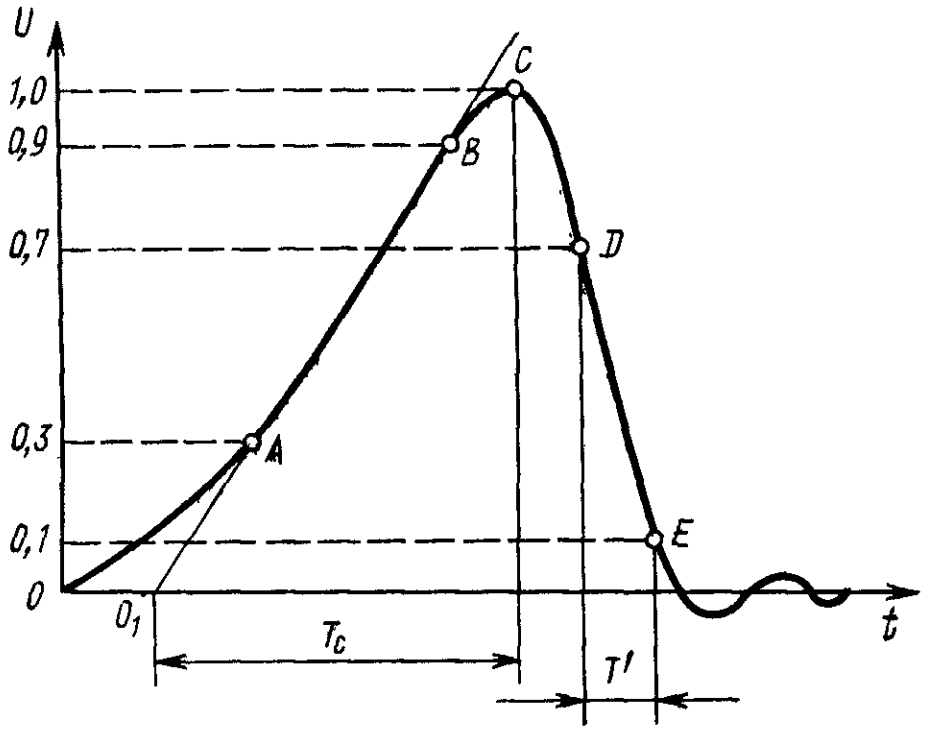
Черт. 4

2.1.5. Момент среза импульса определяется как момент времени начала резкого изменения формы импульса напряжения вследствие быстрого снижения напряжения (точка C на черт. 5 и 6).

2.1.6. Предразрядное время T_c определяется как интервал времени между условным началом импульса O_1 и моментом среза (черт. 5 и 6).

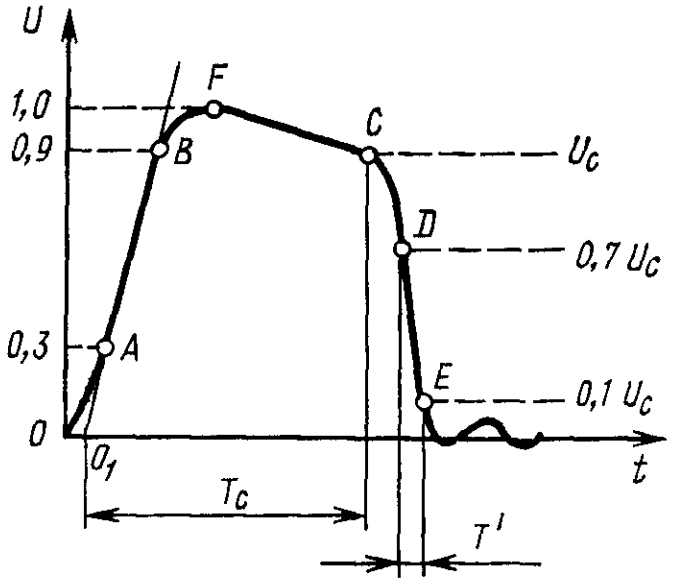
2.1.7. Длительность среза импульса $T^1_{дс}$ определяется как время, превышающее в 1,67 раза интервал времени T^1 между моментами, когда напряжение на срезе составляет 70 и 10% значения напряжения U_c в момент среза (точки D и E на черт. 5 и 6).

Грозовой импульс, срезанный на фронте



Черт. 5

Грозовой импульс, срезанный на спаде импульса



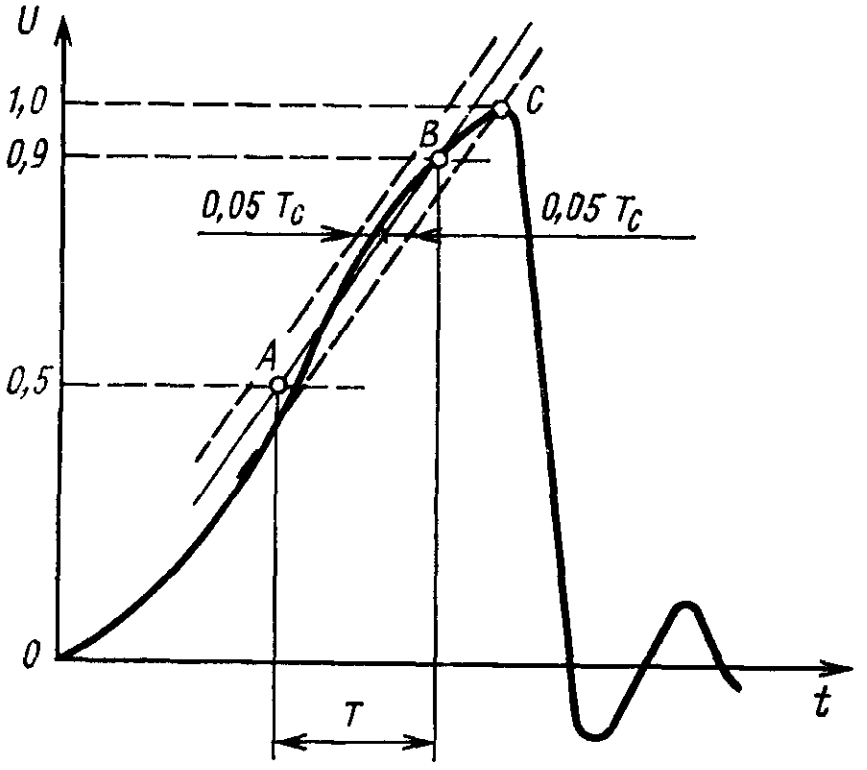
Черт. 6

2.1.8. Крутизна среза определяется как частное от деления напряжения в момент среза на длительность среза.

2.1.9. Коэффициент перехода напряжения через нулевое значение определяется как отношение максимального значения первого полупериода колебаний после среза напряжения к максимальному значению срезного импульса.

2.1.10. Импульс, скорость нарастания напряжения которого остается приблизительно постоянной до момента среза, считается с линейным фронтом, если фронт импульса в интервале времени между моментами, когда напряжение составляет 50 и 100% значения напряжения в момент среза, находится между двумя прямыми, параллельными прямой AB и отстоящими от нее на интервал времени, равный 0,05 предразрядного времени T_c (черт. 7). Точки A и B — точки пересечения с горизонталями, соответствующими 50 и 90% значения напряжения в момент среза, прямой, наилучшим образом заменяющей часть фронта импульса в интервале времени между моментами, когда напряжение составляет 50 и 90% значения напряжения в момент среза.

Импульс с линейным фронтом



Черт. 7

Предразрядное время T для импульса с линейным фронтом определяется как время, превышающее в 2,5 раза интервал времени T между указанными точками A и B.

2.1.11. Скорость нарастания напряжения импульса с линейным фронтом определяется по формуле

$$S = \frac{U_c}{T_c}, \qquad (11)$$

где U_c — напряжение в момент среза;

T_c — предразрядное время.

2.2. Стандартный грозовой импульс напряжения

2.2.1. Стандартный полный грозовой импульс должен иметь следующие параметры, определяемые по пп. 2.1.3—2.1.4 и черт. 4:

длительность фронта $T_ф$, мкс	1,2±0,36
длительность импульса $T_и$, мкс	50±10
допуск на максимальное значение импульса, %	±3

Обозначение импульса: «1,2/50».

Допускается применять апериодический импульс с наложенными колебаниями и единичными выбросами напряжения при условии, что максимальные отклонения напряжения h (черт. 3) от средней кривой вследствие колебаний и выбросов не превышают вблизи максимума импульса 5% максимального значения напряжения, определенного по п. 2.1.1, а в начальной части фронта (при напряжении менее половины его максимального значения) — 25%.

Допускается проведение испытания силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и реакторов колебательным импульсом, параметры основной части которого (до первого перехода напряжения через нуль) соответствуют требованиям, предъявляемым к стандартному импульсу, а наибольшее из максимальных значений остальной части импульса не превышает 50% максимального значения основной части импульса.

Примечания:

1. При испытании объектов, имеющих большую емкость, допускается увеличение длительности фронта импульса до 3 мкс.

2. При испытании объектов, имеющих малую индуктивность, допускается применять полный импульс с уменьшенной длительностью.

3. Проведенное до введения в действие настоящего стандарта типовое испытание электрооборудования импульсом 1,5/40 считается равноценным испытанию импульсом 1,2/50 с тем, однако, чтобы очередное периодическое испытание этого электрооборудования было проведено импульсом 1,2/50.

(Измененная редакция, Изм. № 1, 3).

2.2.2. Стандартный срезанный грозовой импульс должен представлять собой полный импульс, определенный по п. 2.2.1, срезанный при предразрядном времени 2—5 мкс.

Предразрядное время при испытаниях внутренней изоляции силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и реакторов должно быть от 2 до 3 мкс.

В тех случаях, когда необходимо учитывать параметры среза по пп. 2.1.6—2.1.9 или часть из них, например при испытании трансформаторов, то значения, допуски, а также требования к воспроизводимости этих параметров должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

При испытании силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и реакторов в качестве срезающего устройства могут применяться, например управляемые или неуправляемые шаровые разрядники. При применении неуправляемых шаровых разрядников допускается увеличение длительности фронта импульса, при этом срез должен производится на фронте при напряжении, равном 0,75—0,9 максимального значения несрезанного импульса. Срезаемый импульс может быть апериодическим (его длительность не нормируется) или колебательным.

При испытании аппаратов, изоляторов, конденсаторов и трансформаторов тока в качестве срезающего устройства должен применяться стержневой разрядник.

При испытании самовосстанавливающейся изоляции допускается не пользоваться срезающим устройством.

2.2.3. Параметры импульсов должны контролироваться при включенном объеме при напряжении не менее 60% испытательного при помощи осциллографа и делителя напряжения.

Параметры импульсов должны определяться по пп. 2.1.1—2.1.11 и должны контролироваться при каждом испытании, кроме случаев, когда последовательно испытывается серия идентичных объектов.

При испытании внутренней изоляции форма каждого импульса при нормированном значении испытательного напряжения должна проверяться путем осциллографирования.

2.3. Испытание внутренней изоляции, кроме газовой

2.3.1. Испытание внутренней изоляции, кроме газовой, должно проводиться трехударным методом: приложением к испытываемому объекту 3 импульсов нормированного испытательного напряжения для каждого вида импульса — полного и срезанного, и для каждой полярности — положительной и отрицательной.

Интервал времени между приложениями напряжения должен быть не менее 1 мин. При испытании аппаратов и проходных изоляторов, в изоляции которых есть закрытые воздушные полости, интервал между отдельными приложениями импульсов должен быть не менее 2 мин.

Изоляция считается выдержавшей испытание, если во время испытания не наблюдалось полного разряда или недопустимых повреждений (п. 2.3.2).

При испытании полным импульсом допускается параллельно испытываемому объекту присоединять шаровой разрядник с раз-

рядным напряжением 115—120% прикладываемого испытательного напряжения в случае испытания силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и реакторов и 105—110%—в случае испытания другого электрооборудования. При испытании на шаровом разряднике не должно быть разряда.

2.3.2. При испытании силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и реакторов для обнаружения недопустимых повреждений изоляции в качестве основного метода должен применяться метод, основанный на изменении при повреждении изоляции формы электромагнитных колебаний в обмотках при приложении к испытываемой обмотке импульса напряжения. Наличие недопустимых повреждений изоляции устанавливается на основе рассмотрения комплекса признаков, которые должны устанавливаться в стандартах на это электрооборудование.

При испытании аппаратов, изоляторов, конденсаторов и трансформаторов тока для обнаружения недопустимых повреждений изоляции должны быть рассмотрены следующие признаки:

искажение формы приложения импульса;

выход пузырьков газа на поверхность зеркала заполняющей жидкости;

отсутствие разряда на срезающем промежутке и на внешней изоляции при испытании срезанными импульсами напряжения при наличии среза напряжения на осциллограмме приложенного импульса;

существенная разница между значениями емкости и (или) в кривых зависимости тангенсов угла диэлектрических потерь от напряжения, измеренных до и после импульсного испытания конденсаторов, трансформаторов тока напряжением 20 кВ и выше с основной жидкой и твердой изоляцией (за исключением фарфоровой) и вводов со слоистой изоляцией;

отрицательные результаты испытания напряжением промышленной частоты, проводимого после испытания грозовыми импульсами, при этом одноминутное испытательное напряжение, используемое в качестве критерия выдерживания импульсного испытательного напряжения, должно прикладываться в течение 1 мин независимо от вида изоляции.

2.3.3. Допускается проведение испытания приложением импульсов только одной полярности, если для данного вида испытываемой изоляции полярность импульсов практически не влияет на ее электрическую прочность, например, допускается испытание внутренней изоляции масляных трансформаторов и реакторов проводить при отрицательной полярности.

Допускается также проведение испытания приложением только одного вида импульса (полного или срезанного) и одной полярности, при которых по данным ранее проведенных исследований или

испытаний данного вида испытываемой изоляции импульсная прочность оказалась наименьшей. Полярность и форма импульса, при которых должны проводиться такие испытания, должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

2.4. Испытание внешней изоляции и внутренней газовой, а также одновременное испытание внешней и внутренней изоляции

2.4.1. Испытание внешней изоляции, проводимое отдельно от внутренней, совместное испытание внешней и внутренней, испытание газовой изоляции объектов, имеющих элементы несамовосстанавливающейся изоляции, должно проводиться 15- ударным методом: приложением к объекту пятнадцати импульсов нормированного испытательного напряжения для каждого вида импульса (полного и срезанного) и для каждой полярности (положительной и отрицательной).

Объект считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло ни одного полного разряда или недопустимого повреждения по п. 2.3.2 в несамовосстанавливающейся изоляции (внешней и внутренней) и произошло не более двух полных разрядов из каждой серии 15 импульсов в газовой или внешней самовосстанавливающейся изоляции.

При испытании внешней изоляции должны учитываться требования п. 1.4.1.

Испытание газовой изоляции должно проводиться с учетом требований п. 1.2.9.

Испытания полным и срезанным импульсами самовосстанавливающейся внешней и газовой изоляции допускается заменять одним испытанием полным импульсом. В этом случае испытания проводятся без срезающего устройства (п. 2.2.2).

Испытания и оценку результатов следует проводить в следующей последовательности:

к испытываемому объекту прикладываются полные импульсы с максимальным значением, равным нормированному значению испытательного напряжения срезанного импульса;

если на испытываемом объекте произойдет не более двух разрядов, то изоляция считается выдержавшей испытание как полным, так и срезанным импульсами, и отдельные испытания при нормированных полном и срезанном импульсах проводить не следует;

если произошло более двух полных разрядов и предразрядное время не более чем для двух из них будет менее 2 мкс, то изоляция считается выдержавшей испытание срезанным импульсом, и должны быть проведены отдельно испытания нормированным испытательным напряжением полного импульса.

Примечания:

1. Если при испытании газовой изоляции полный разряд произошел при приложении последнего импульса, то необходимо приложить еще один импульс при этом полный разряд должен отсутствовать.

2. При испытании внешней изоляции допускаются частичные разряды во внутренней изоляции при условии, что испытываемый объект выдержал испытания внутренней изоляции.

При указанных условиях допускается также применять меры по устранению частичных разрядов во внутренней изоляции, если это не вносит искажения в электрическое поле внешней изоляции, а также повышать прочность газовой изоляции повышением давления газа.

2.4.2. Испытание внешней и газовой изоляции объектов, у которых электрическая прочность элементов с несамовосстанавливающейся изоляцией существенно выше испытываемой, должно проводиться методом 50%-ного разрядного напряжения или 15-ударным методом по п. 2.4.1.

Изоляция считается выдержавшей испытание методом 50%-ного разрядного напряжения, если нормированное испытательное напряжение с вероятностью выдерживания 90% или нормированное 50%-ное разрядное напряжение меньше или равно, соответственно, фактически выдерживаемому $U_{90\,ф}$ или оценочному 50%-ному разрядному напряжению $\overline{U}_{50}$.

При испытании внешней изоляции к значению 50%-ного разрядного напряжения должны вводиться поправки на атмосферные условия по п. 1.4.1.

При нормированном стандарте отклонения $\sigma_н$ фактически выдерживаемое напряжение определяется по данным результатов испытания по формуле

$$U_{90ф}=\overline{U}_{50}(1-1{,}3\sigma_н). \qquad (12)$$

Определение $\overline{U}_{50}$ при нормированном стандарте отклонения выполняется способом «вверх—вниз», приведенном в справочном приложении 1, п. 3.1.

Стандарт отклонения $\sigma_н$ при грозовом импульсном напряжении для внешней изоляции принимается равным 0,03, а для элегазовой аппаратной изоляции — при давлении $3 \div 4 \cdot 10^5$ Па — 0,05.

Определение выдерживаемого напряжения в том случае, когда стандарт отклонения не нормирован, например для изоляции сжатым воздухом, приведено в справочном приложении 1.

2.4.3. Допускается проведение испытания внешней и газовой изоляции приложением импульсов только одной полярности и одного вида импульса (полного или срезанного) с учетом изложенного в п. 2.3.3.

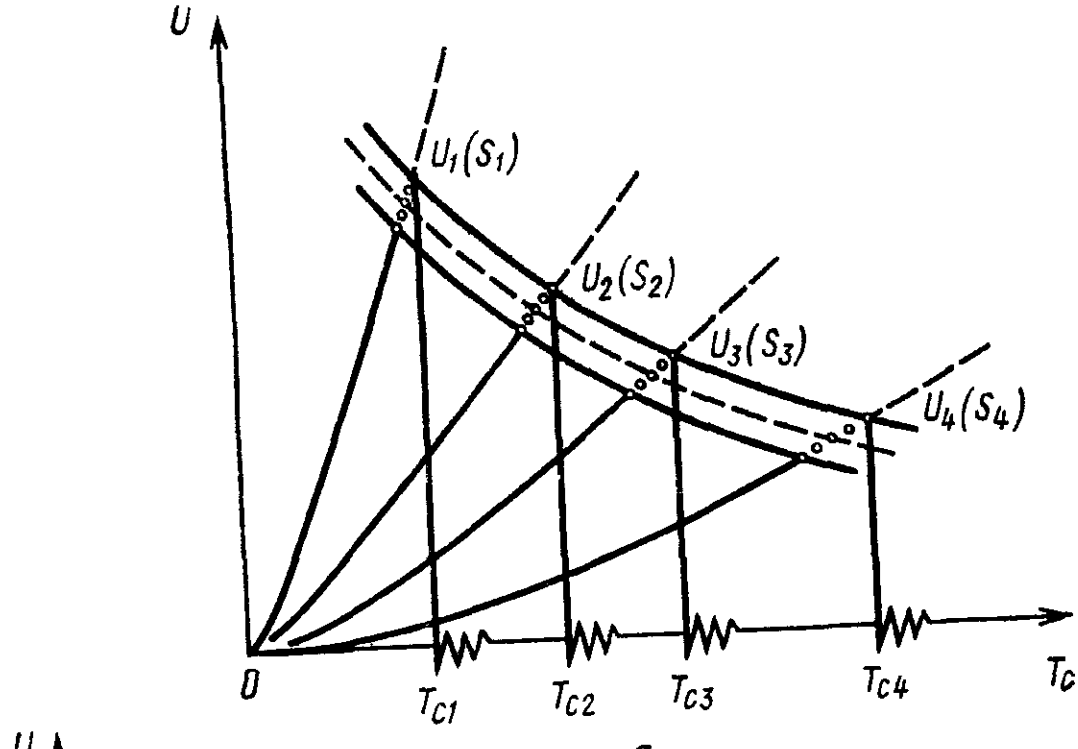
2.5. Вольт-секундные характеристики изоляции

2.5.1. Вольт-секундная характеристика при импульсах с линейным фронтом, например для вентильных разрядников, опреде-

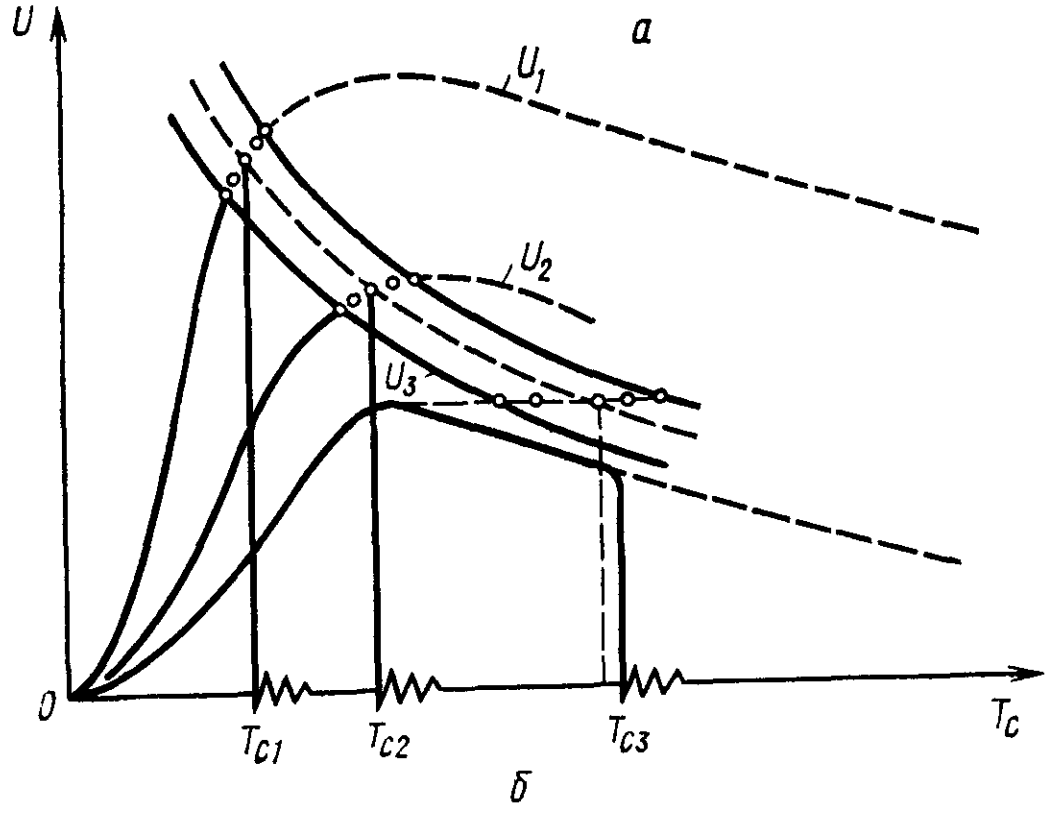
ляется путем приложения к изоляции серии импульсов напряжения, отвечающих требованиям п. 2.1.10, у которых примерно равными ступенями изменяется скорость нарастания напряжения S на фронте импульса по п. 2.1.11, и вызывающих полный разряд на объекте испытания.

При этом необходимо, чтобы полный разряд на изоляции происходил всегда на фронте импульса в его линейной части.

Вольт-секундные характеристики



а



б

Черт. 8

Для каждого импульса по осциллограмме определяется разрядное напряжение и предразрядное время T_c по п. 2.1.10. Число ступеней нарастания скорости напряжения должно быть не менее четырех, а число импульсов на каждой ступени — не менее 5.

По полученным экспериментальным точкам строятся верхняя и нижняя огибающие кривые, а также средняя кривая, приведенные на черт. 8*а*. В стандартах на отдельные виды электрооборудования должны быть даны указания об использовании тел или иных кривых или отдельных точек.

2.5.2. Вольт-секундная характеристика при стандартных грозовых импульсах напряжения определяется путем приложения к изоляции серии импульсов напряжения, отвечающих требованиям п. 2.2 и вызывающих полный разряд на объекте испытания.

Для каждого импульса по осциллограмме определяется разрядное напряжение по п. 2.1.1 и предразрядное время T_c по п. 2.1.6. Число ступеней изменения напряжения должно быть не менее четырех, а число импульсов на ступени — не менее 5.

Построение вольт-секундной характеристики и указания по использованию тех или иных кривых или отдельных точек приведены на черт. 8*б* и в п. 2.5.1.

3. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ КОММУТАЦИОННЫМ ИМПУЛЬСОМ НАПРЯЖЕНИЯ

3.1. Определение значения испытательного напряжения и параметров импульса

3.1.1. При испытании изоляции электрооборудования применяются следующие формы коммутационного импульса:

апериодический импульс (черт. 9);

колебательный импульс, представляющий собой затухающие колебания напряжения около нулевого значения (черт. 10*а*) или вокруг составляющей более низкой частоты (черт. 10 *б*).

Применение апериодического или колебательного импульсов и их параметры должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

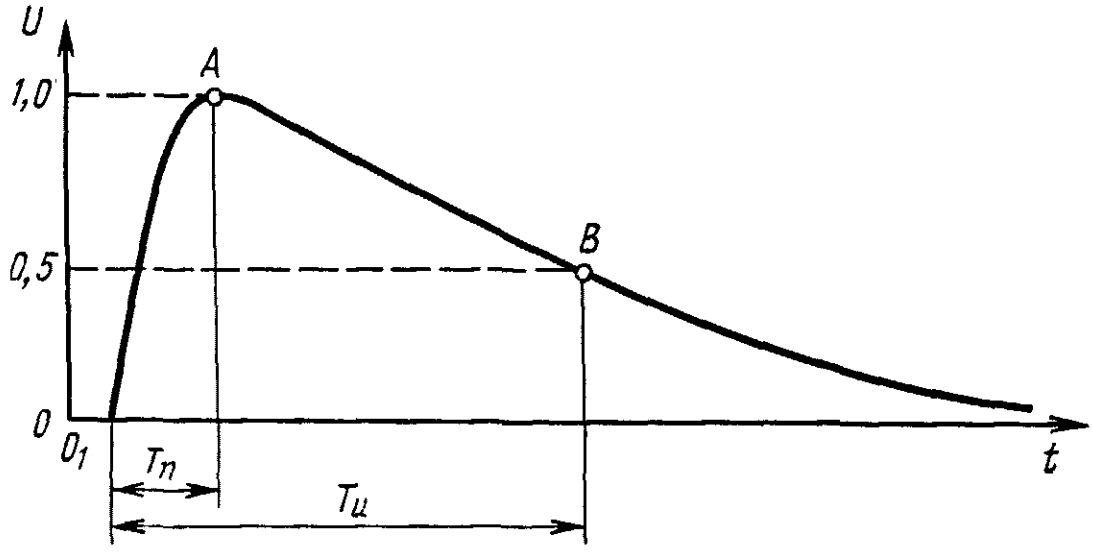
3.1.2. За значение испытательного напряжения принимается максимальное значение напряжения импульса.

За значение разрядного напряжения принимается максимальное значение напряжения импульса, если разряд произошел на максимуме напряжения и за ним, и напряжение в момент разряда (среза), если разряд произошел на подъеме напряжения (фронте).

3.1.3. Время подъема импульса $T_п$ определяется как интервал времени между моментами, когда напряжение равно нулю (начало импульса O_1) и когда оно достигнет своего максимального значения А (черт. 9 и 10).

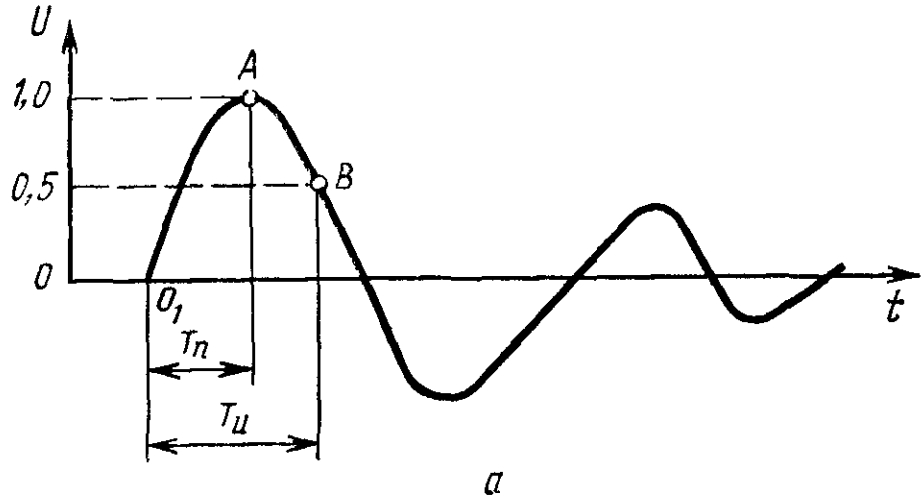
3.1.4. Длительность импульса $T_и$ определяется как интервал времени между началом импульса O_1 и моментом, когда напря-

Апериодический коммутационный импульс

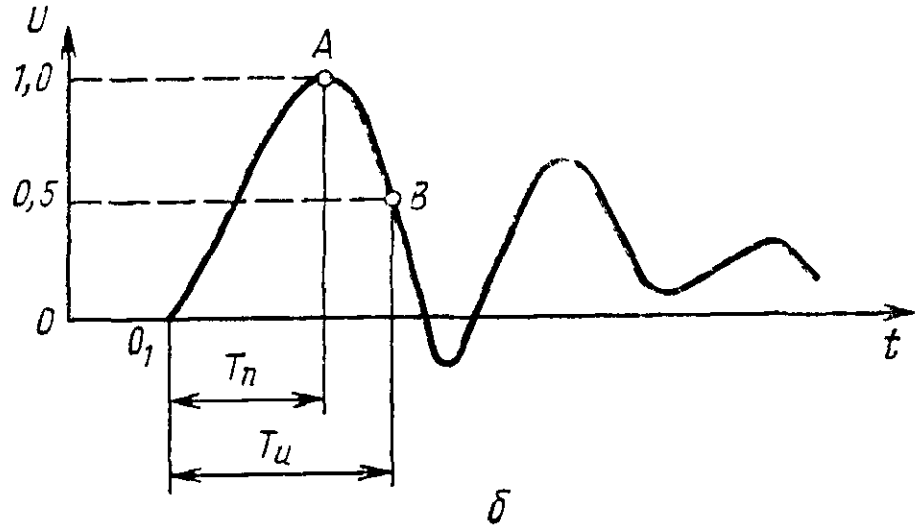


Черт. 9

Колебательный коммутационный импульс



а



б

Черт. 10

жение понизилось до половины максимального значения (черт. 9 и 10).

Примечание. При испытании внутренней изоляции силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и шунтирующих реакторов длительность импульса $T_и$ определяется как интервал времени между началом импульса O_1 и первым переходом напряжения через нулевое значение.

3.2. Параметры стандартных коммутационных импульсов

3.2.1. Стандартный апериодический коммутационный импульс должен иметь следующие параметры, определяемые по пп. 3.1.3—3.1.4 и черт. 9:

время подъема $T_п$, мкс	250±50
длительность импульса $T_и$, мкс	2500±1500
допуск и максимальное значение, импульса, %	±3

Обозначение импульса: «250/2500».

Указанным апериодическим импульсом может проводиться испытание всех видов изоляции классов напряжения до 500 кВ включительно.

Допускается применение апериодических импульсов 100/2500, 500/2500 и 1000/5000 с допусками: на время подъема ±20%, на длительность ±60% и на максимальное значение ±3%. Необходимость применения этих импульсов должна быть указана в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

3.2.2. Стандартный колебательный коммутационный импульс должен иметь форму, указанную на черт. 10*а*. Полярность импульса определяется полярностью первого полупериода. Параметры импульса должны быть следующими:

а) для газовой изоляции, испытываемой отдельно от внешней, линейной изоляции, в том числе гирлянд изоляторов:

время подъема, мкс	4000±1000
длительность импульса $T_и$, мкс	7500±2500
допуск на максимальное значение импульса, %	±3

Обозначение импульса: «4000/7500».

При испытании газовой и внешней линейной изоляции допускается применение импульса, приведенного на черт. 10*б* с параметрами, указанными для стандартного колебательного импульса;

б) для газовой изоляции, испытываемой отдельно от внешней, и внутренней изоляции силовых трансформаторов:

время подъема, мкс, не менее	100
длительность импульса, мкс, не менее	1000
допуск на максимальное значение импульса, %	±3

Обозначение импульса: «100/1000»;

в) для внутренней изоляции шунтирующих реакторов:

время подъема, мкс, не менее	50
длительность импульса, мкс, не менее	500
допуск на максимальное значение импульса, %	±3

Обозначение импульса: «50/500».

Примечание. При испытании внутренней изоляции силовых трансформаторов допускается применение импульса 50/500, используемого для испытания шунтирующих реакторов.

3.2.3. Форма и параметры коммутационного импульса, которым должна испытываться та или иная изоляция, а также отношение максимального значения второго полупериода к максимальному значению первого, если оно влияет на результаты испытания, должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

3.2.4. Требования к испытательным установкам в отношении значения суммарной емкости объекта и дополнительной емкости такие же, как и при испытании напряжением промышленной частоты по п. 4.1.3.

Примеры схем для генерирования коммутационных импульсов, а также параметры этих схем и методы их расчета приведены в справочном приложении 2.

3.3. Проведение испытания

3.3.1. Испытание внутренней изоляции, кроме газовой, апериодическим коммутационным импульсом (п. 3.2.1) или колебательным импульсом (п. 3.2.2) должно проводиться трехударным методом так же, как для полного грозового импульса напряжения по пп. 2.1.2, 2.3.1 и 2.3.3.

При испытании аппаратов, трансформаторов тока и изоляторов наличие недопустимых повреждений устанавливается на основе рассмотрения комплекса признаков, изложенных в п. 2.3.2 только в части полного грозового импульса.

3.3.2. Испытание внешней изоляции в сухом состоянии, проводимое отдельно от внутренней, совместное испытание внешней и внутренней, испытание газовой изоляции должны проводиться по методам, указанным в пп. 2.1.2, 2.4.1—2.4.3 настоящего стандарта только в части полного грозового импульса.

Примечание. При определении фактически выдерживаемого напряжения элегазовой изоляции аппаратов при испытаниях коммутационным импульсом в формуле (12), п. 2.4.2 $\sigma_н$ берется равной 0,05, а при испытании внешней изоляции $\sigma_н$ берется равной значению, приведенному в табл. 2. Для специфических изоляционных конструкций, существенно отличающихся от приведенных в табл. 2, и для изоляции сжатым воздухом σ определяется по опытным данным.

3.3.3. Испытание внешней изоляции под дождем проводится 15-ударным методом: приложением к объекту пятнадцати импульсов для каждой полярности — положительной и отрицательной. Интервал времени между приложениями напряжения должен быть не менее 1 мин.

При испытании должны учитываться требования пп. 1.4.1, 1.4.2.

Объект считается выдержавшим испытание, если во время испытания произошло не более двух перекрытий. Если во время ис-

Таблица 2

Виды промежутков	$\sigma_н$
1. Кольцо (экран) — плоскость (земля), в том числе при наличии опорной конструкции из изоляторов в этом промежутке	0,06
2. Стержень — плоскость (неэкранированный нож разъединителя против заземленной плоскости)	0,08
3. Кольцо — кольцо, горизонтально расположенные (между экранами разъединителя):	
между экранами разомкнутых контактов	0,06
между экранами соседних полюсов	0,05
4. Провод в пролете — земля	0,04
5. Провод — провод в пролете	0,03
6. Провод — провод параллельно и в пересечении на подстанции	0,05
7. Провод — опора, экран — опора, экран — траверса	0,06

пытания произошло более двух перекрытий, испытание повторяется при тех же самых условиях. Объект считается выдержавшим испытание, если при повторном испытании произошло не более двух перекрытий.

3.3.3.1. При испытании изоляции под дождем расположение объекта во время испытаний, структура дождя, угол его падения должны быть такими же, как и при испытании напряжением промышленной частоты по п. 4.4.2.

3.3.3.2. Испытание изоляции под дождем проводится при соблюдении следующих условий в отношении силы дождя, температуры и удельного сопротивления воды;

средние вертикальная и горизонтальная составляющие силы дождя должны быть каждая 1,0—1,5 мм/мин;

предельные значения для отдельных измерений силы дождя— 0,5—2,0 мм/мин;

температура воды, измеренная в водосборнике, не должна отличаться от окружающей температуры на ±10°С;

удельное сопротивление воды, приведенное к 20°С, должно быть равно 100±15 Ом·м. Поправки к сопротивлению на температуру воды должны определяться по формуле (15), п. 4.4.3.

Если по техническим причинам заданное удельное сопротивление воды не может быть получено, допускается использовать воду с меньшим удельным сопротивлением. Значение этого сопротивления должно быть указано в протоколе испытаний.

Напряжение к объекту должно прикладываться после предварительного пребывания его не менее 15 мин под дождем с удельным сопротивлением воды, удовлетворяющим требованиям настоящего пункта. В указанное время может входить время, затраченное на регулировку и измерение силы дождя. Время предварительного пребывания объекта под дождем может быть снижено, но

должно быть не менее 5 мин, если, например, проводятся повторные испытания после интервала времени не более 30 мин.

3.3.3.3. Измерение силы дождя должно выполняться так же, как при испытании напряжением промышленной частоты по п. 4.4.4, однако с измерением не только вертикальной, но и горизонтальной составляющей силы дождя при помощи водосборника с горизонтальными и вертикальными отверстиями площадью каждое 100—750 см^2, при этом вертикальные отверстия должны быть обращены к струям дождя.

4. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

4.1. Общие требования

4.1.1. Форма кривой напряжения на объекте испытания должна быть практически синусоидальной, и оба полупериода близки по форме друг к другу:

отношение амплитудного значения напряжения к действующему должно быть равно $\sqrt{2}\pm0{,}07$;

частота напряжения должна быть 50 ± 5 Гц, кроме случаев испытания внутренней или внешней изоляции трансформаторов и реакторов индуктированным напряжением, когда допускается более высокая частота, но не более 400 Гц.

Примечания:

1. Отношение амплитудного значения напряжения, к действующему определяется с помощью делителя напряжения, измерительного трансформатора напряжения и других измерительных устройств по показаниям вольтметров, измеряющих амплитудное и действующее значения напряжения.

2. При испытании объектов приложенным напряжением контроль формы испытательного напряжения может не производиться:

если по расчету суммарное действующее значение напряжения высших гармоник не превышает 5% основной гармоники;

если испытания проводится при токе, который лежит в диапазоне токов, для которых при ранее проведенных испытаниях было установлено, что требования к форме напряжения выполняются.

3. **Исключен.**

4. Для объектов, испытываемых индуктированным напряжением, необходимость контроля формы напряжения и допустимые отклонения от нормированной формы напряжения должны быть указаны в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

4.1.2. За значение испытательного напряжения принимается условное действующее значение напряжения, определенное делением измеренного амплитудного значения на $\sqrt{2}$.

Допустимое отклонение между нормированным и измеренным значением $\pm1\%$.

При испытании от внешнего источника при испытательных напряжениях ниже 150 кВ допускается значение испытательного напряжения определять по его измеренному действующему значению с помощью, например электростатического вольтметра, если

отношение амплитудного значения к действующему лежит в пределах $\sqrt{2}\pm0{,}028$.

Примечание. При испытании многообмоточных силовых трансформаторов одноминутным напряжением промышленной частоты, индуктированным в испытуемом трансформаторе, указание о допустимом отклонении между нормированным и измеренным значением относится к напряжению линейного конца обмотки ВН относительно земли.

(Измененная редакция, Изм. № 2, 3).

4.1.3. Действующее значение установившегося тока короткого замыкания на стороне высшего напряжения испытательной установки при напряжении испытания должно быть не менее 1 А, кроме случаев, указанных в примечаниях 1—3. При испытании изоляции, кроме газовой, суммарная емкость испытываемого объекта и дополнительной емкости (делителя напряжения, измерительного шарового разрядника, а также специальной добавочной емкости) должна быть не менее 1000 пФ.

Соответствие испытательной установки требованию настоящего пункта должно быть установлено расчетом тока короткого замыкания. Результаты расчета тока при номинальном напряжении испытательного трансформатора должны быть внесены в паспорт испытательной установки с указанием значения сопротивления защитного резистора, к которому отнесено значение тока.

В целях защиты испытываемого объекта от случайного чрезмерного повышения напряжения параллельно испытываемому объекту допускается присоединять через защитный резистор шаровой разрядник с пробивным напряжением, равным 110—120% испытательного.

Примечания:

1. При испытании внутренней изоляции и в сухом состоянии внешней установившийся ток короткого замыкания испытательной установки допускается меньше 1 А, но не менее 0,3 А.

2—4. **Исключены.**

5. Если сопротивление защитного резистора, включенного между испытываемым объектом и испытательным трансформатором, не превышает 1 кОм, емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом может рассматриваться как одна из составляющих дополнительной емкости.

4.1.1—4.1.3. **(Измененная редакция, Изм. № 1).**

4.1.4. Скорость подъема напряжения до $^1/_3$ испытательного может быть произвольной (напряжение, равное указанному, может быть приложено толчком, дальнейшее повышение напряжения должно быть плавным и быстрым, но позволяющим при напряжении более $^3/_4$ испытательного производить отсчет показаний измерительного прибора. После достижения требуемого значения напряжения без выдержки (при плавном подъеме) или после выдержки (одноминутное) должно быть быстро снижено или до нуля, или при значении, равном $^1/_3$ или менее испытательного, про-

изведено отключение. Указанный способ подъема напряжения относится также к случаю определения разрядного напряжения.

Примечания:

1. При испытании внешней изоляции под дождем время подъема напряжения от 75 до 100% должно быть 10—15 с.

2. При испытании некоторых видов электрооборудования может применяться видоизмененная методика подъема и снижения напряжения, например задержка на спуске или подъеме напряжения для измерения характеристик частичных разрядов при испытании трансформаторов возбуждением, или более высокая скорость подъема напряжения при испытании разрядников с шунтирующим сопротивлением, а также внешней изоляции трубчатых разрядников. Видоизмененная методика подъема и снижения напряжения должна быть указана в стандартах на отдельные виды электрооборудования.

4.2. Испытание внутренней изоляции

4.2.1. Испытание внутренней изоляции должно проводиться методом одноминутного напряжения — однократным приложением к ней нормированного испытательного напряжения с выдержкой его в течение нормированного времени, указанного в пп. 4.2.4 и 4.2.5.

Изоляция считается выдержавшей испытание, если во время испытания не наблюдалось полного разряда или недопустимых повреждений.

При испытании изоляции масляных силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения и масляных реакторов наличие недопустимых повреждений устанавливается на основе рассмотрения комплекса признаков, например изменение показаний приборов (амперметра, вольтметра), разряд на защитном шаровом промежутке, частичное повреждение изоляции, отмечаемое по звуку разрядов в баке и выделению газов или дыма.

При испытании изоляции аппаратов, трансформаторов тока, изоляторов и конденсаторов наличие недопустимых повреждений устанавливается на основе рассмотрения следующих признаков:

потрескивания;

изменения показаний приборов, например амперметра или вольтметра;

разряда на защитном шаровом промежутке;

существенной разницы между значениями емкостей и (или) между кривыми зависимости тангенсов угла диэлектрических потерь от напряжения, измеренных до и после испытания конденсаторов, трансформаторов тока напряжением 20 кВ и выше с основной жидкой или твердой (кроме фарфоровой) изоляцией и вводов со слоистой изоляцией.

Примечания:

1. При приемо-сдаточных испытаниях аппаратов допускаются единичные частные разряды в масле (потрескивание), если они не вызывают изменение режима в испытательной установке (изменений показаний приборов, разряда на защитном шаровом промежутке и т. п.) и отсутствуют при проведении повторного испытания.

2. При приемо-сдаточных испытаниях баковых масляных выключателей классов напряжения 110 кВ и выше допускаются единичные частичные разряды в масле, если они не вызывают изменения режима в испытательной установке (изменений показаний приборов, разряда на защитном шаровом промежутке и т. п.), появляются лишь по достижении полного значения испытательного напряжения и не появляются при проведении повторного испытания напряжением, равным 95% нормированного испытательного, при длительности его выдержки, равной 30 с.

4.2.2. Не допускаются скользящие разряды или стримерная корона в воздухе вдоль поверхности твердой органической изоляции, если они во время испытания вызывают остаточные повреждения поверхности изоляции. При приемо-сдаточных испытаниях не допускается появление стримерной короны или скользящих разрядов, если они не наблюдались при типовом испытании.

Примечание. При испытании внутренней изоляции допускается возникновение слабой стримерной короны в воздухе и слабых скользящих разрядов по внешней поверхности фарфора.

4.2.3. Если при испытании внутренней изоляции произошло перекрытие внешней изоляции при напряжении, приведенное значение которого выше на 5% нормированного для внешней изоляции, то допускается повторить приложение напряжения. При этом должны быть приняты меры к повышению прочности внешней изоляции, устраняющие возможность ее перекрытия в течение времени испытания.

4.2.4. При испытании по п. 4.2.1 силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения, шунтирующих и заземляющих реакторов приложенным напряжением длительность выдержки испытательного напряжения должна быть равна 1 мин. При испытании изоляции напряжением, индуктированным в трансформаторах и реакторах, при частоте f до 100 Гц включительно длительность выдержки испытательного напряжения должна быть равна 1 мин, а при частоте f более 100 Гц длительность выдержки испытательного напряжения t в секундах должна быть уменьшена в соответствии с формулой

$$t=60\cdot\frac{100}{f}, \qquad (13)$$

но не должна быть меньше 15 с.

4.2.5. При испытании по п. 4.2.1. изоляции электрооборудования, кроме указанного в п. 4.2.4, длительность выдержки испытательного напряжения должна быть равна 1 мин. Она должна быть изменена на 5 мин для классов изоляции 220 кВ и ниже, если основная изоляция состоит из органических твердых материалов (кроме бумажно-масляной изоляции) или кабельных масс.

Аппараты классов напряжения 220 кВ и ниже со смешанной изоляцией, например выключатели, имеющие деревянные, текстолитовые, бумажно-бакелитовые, стеклотекстолитовые детали, пред-

назначенные для продолжительной работы под полным рабочим напряжением (например тяги), допускается испытывать в течение 1 мин, при условии, что детали из изолирующих материалов органического происхождения испытывались до сборки в течение 5 мин.

Допускается проводить испытание деталей по частям или их участкам, если предварительными исследованиями установлена доля напряжения, приходящаяся на испытываемую часть.

4.3. Испытание внешней изоляции в сухом состоянии и внутренней газовой, а также одновременные испытания внешней и газовой изоляции

4.3.1. Испытание внешней изоляции, проводимое отдельно от газовой, совместное испытание внешней и газовой, испытание газовой изоляции объектов, имеющих элементы несамовосстанавливающейся изоляции, должно проводиться методом трехкратного приложения напряжения при плавном подъеме. Нормированное испытательное напряжение должно прикладываться к объекту путем повышения его до нормированного значения без последующей выдержки, в соответствии с п. 4.1.4. Испытание должно повторяться три раза с интервалом между приложениями не менее 1 мин.

Объект считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло ни одного полного разряда. В случае одного разряда испытание должно быть повторено при шести приложениях напряжения; изоляция считается выдержавшей испытание, если при повторном испытании не произошло ни одного разряда.

При испытании внешней изоляции должны учитываться требования п. 1.4.1.

Примечания:

1. Внутренняя воздушная изоляция сухих трансформаторов должна испытываться одноминутным напряжением по пп. 4.2.1 и 4.2.2.

2. При испытании изоляционных конструкций, собираемых из отдельных армированных элементов, не допускается полное перекрытие между арматурой отдельных элементов, если параллельно с элементами включены емкости значением более 1000 пФ каждая.

3. При испытании внешней изоляции применимы допущения п. 2.4.1, примечание 2.

4.3.2. Испытание внешней и газовой изоляции объектов, у которых электрическая прочность элементов с несамовосстанавливающейся изоляцией существенно выше испытываемой, должно проводиться методом среднего разрядного напряжения или методом трехкратного приложения напряжения при плавном подъеме по п. 4.3.1.

Изоляция считается выдержавшей испытание методом среднего разрядного напряжения, если нормированные испытательные напряжения с вероятностью выдерживания 90% или среднее разрядное напряжение меньше или равно соответственно фактически выдерживаемому $U_{90ф}$ или оценочному среднему разрядному напряжению изоляции $\bar{U}_{ср}$.

При испытании внешней изоляции к значению среднего разрядного напряжения должны вводиться поправки на атмосферные условия по п. 1.4.1.

При нормированном стандарте отключения $\sigma_н$ фактически выдержимаемое напряжение определяется по данным результатов испытания по формуле

$$U_{90ф} = \bar{U}_{ср}(1 - 1{,}3\sigma_н). \quad (14)$$

Определение $\bar{U}_{ср}$ выполняется по способу 100%-ного разряда, приведенному в справочном приложении 1, п. 3.3.

Стандарт отклонения $\sigma_н$ для внешней изоляции и при давлении $3 \div 4 \cdot 10^5$ Па для элегазовой аппаратной изоляции принимается равным 0,03. Стандарт отклонения для изоляции сжатым воздухом, а также для внешней изоляции изоляционных конструкций, у которых разрядные характеристики могут существенно отличаться от разрядных характеристик типовых электродных устройств (стержень—плоскость, стержень—кольцо, стержень—стержень, кольцо—плоскость, кольцо—кольцо), должен указываться в технических условиях на отдельные виды электрооборудования или определяться по опытным данным. Способы его определения по опытным данным приведены в справочном приложении 1, п. 3.3.

Определение выдерживаемого напряжения в том случае, когда стандарт отклонения не нормирован, дано в справочном приложении 1.

4.4. Испытание внешней изоляции под дождем

4.4.1. Испытание внешней изоляции под дождем должно проводиться методом трехкратного приложения напряжения при плавном подъеме. По этому методу напряжение прикладывается к объекту путем повышения его до нормированного значения без последующей выдержки в соответствии с п. 4.1.4. Испытание должно повторяться три раза с интервалом между приложениями напряжения не менее 1 мин.

Объект считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло ни одного полного перекрытия. В случае одного перекрытия испытание должно быть повторено при шести приложениях напряжения; изоляция считается выдержавшей испытание, если при повторном испытании не произошло ни одного полного перекрытия.

При испытаниях должны учитываться требования пп. 1.4.1, 1.4.2.

4.4.2. Испытываемый объект должен быть установлен в свое рабочее положение и на него должен падать равномерный дождь капельной структуры под углом 45° к горизонтали. Зона действия дождя должна перекрывать габарит испытываемого объекта.

Напряжение должно прикладываться к объекту после предварительного пребывания его в течение не менее 1 мин под дождем с нормированным удельным сопротивлением воды.

Примечания:

1. Если в рабочем положении объекта (изолятора) его ось симметрии не вертикальна, должны быть проведены испытания при двух направлениях дождя относительно объекта:

при падении дождя на наклонный объект в направлении, параллельном вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии объекта;

в направлении, перпендикулярном к этой плоскости.

2. Если данный объект имеет несколько рабочих положений, то испытание под дождем допускается проводить только для одного положения объекта, соответствующего наиболее низкому значению электрической прочности при испытании под дождем.

4.4.3. Испытание под дождем должно проводиться при силе дождя (среднее значение ее вертикальной составляющей из всех измерений), равной $3\pm0{,}3$ мм/мин, и удельном сопротивлении воды, равном 100 ± 10 Ом·м, измеренном при температуре воды 20°С или приведенном к 20°С.

Приведение удельного сопротивления воды ρ_t при температуре воды t°С к температуре 20°С производится по формуле

$$\rho_{20}=\rho_t\cdot\alpha, \qquad (15)$$

где α — поправочный коэффициент для определения удельного сопротивления воды в зависимости от температуры, определяемое по черт. 11.

4.4.4. Силу дождя следует измерять около оси объекта (или его испытываемой части) как можно ближе к объекту, но так, чтобы в водосборник не попадали отраженные капли воды. Измерения выполняются у верхней, средней и нижней точек объекта или только у средней, если высота объекта менее 100 см. Водосборник следует перемещать вверх и вниз вблизи точки измерения. При испытании объектов с горизонтальными размерами больше 2 м измерения должны быть выполнены в двух или трех местах в горизонтальной плоскости, причем в каждом из этих мест — у верхней, средней и нижней точек объекта или только у средней точки.

Значения, измеренные для каждой из точек, не должны отличаться более чем на 25% от среднего значения.

Определение силы дождя должно выполняться посредством измерения в течение не менее 30 с вертикальной составляющей при помощи водосборника с горизонтальным отверстием площадью от 100 до 750 см^2.

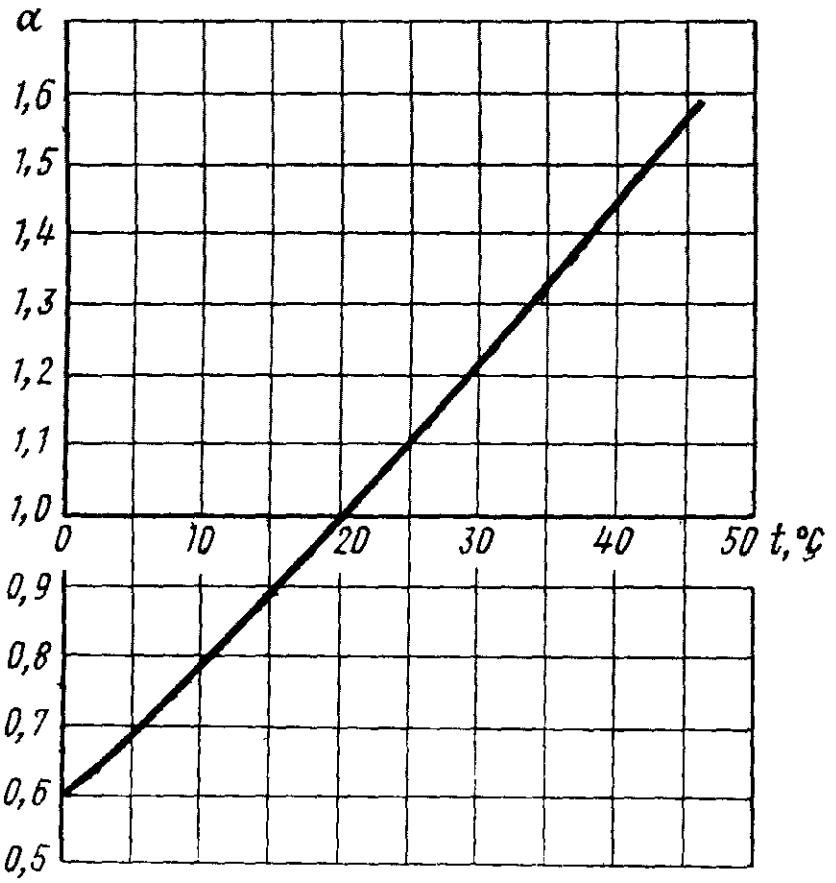
4.5. Испытание изоляции на стойкость к тепловому пробою

4.5.1. Для проверки стойкости изоляции в отношении теплового пробоя при типовых испытаниях в тех случаях, когда тепловой пробой возможен, например при основной волокнистой органической изоляции, должно проводиться испытание приложением к изо-

ляции нормированного напряжения, выдерживаемого до установившегося значения тангенса угла диэлектрических потерь.

Тепловой режим должен быть эквивалентен режиму при номинальном токе электрооборудования.

Поправочный коэффициент для определения удельного сопротивления воды в зависимости от температуры



Черт. 11

Для вводов силовых трансформаторов, шунтирующих и токоограничивающих реакторов, а также выключателей, предназначенных для работы в условиях погружения одного из концов ввода в горячее масло, указанный эквивалентный режим допускается осуществлять при погружении соответствующей части ввода в горячее масло, при этом температура окружающего воздуха должна быть от 15 до 20°С. Температура масла, окружающего ввод, должна быть равна 90±2°С в любой точке по высоте погруженной части ввода.

4.5.2. Указанное в п. 4.5.1 испытание проводится, как правило, на собранных изделиях. В технически обоснованных случаях допускается проводить испытание на отдельных деталях (например изоляторах, в том числе вводах, воздухопроводах, штангах, тягах) и узлах.

4.6. Испытание внешней изоляции на отсутствие видимой короны

Испытание на отсутствие видимой короны должно проводиться в сухом состоянии в затемненном помещении, а на открытых площадках — в ночное время. Определение отсутствия видимой короны должно выполняться визуально или с помощью фотографирования.

При визуальном определении наблюдению должно предшествовать 30-минутное пребывание наблюдателя в темноте.

Определение отсутствия видимой короны с помощью фотографирования должно выполняться с помощью фотоаппарата при полностью открытой диафрагме, объектив которого имеет максимальное относительное отверстие не менее 1: 3,5. При этом должна применяться фотопленка чувствительностью не ниже 250 единиц ГОСТ. При невозможности полного затемнения фотографирование испытуемого объекта должно проводиться на фоне черного экрана.

При визуальном определении для выявления возможных мест коронирования напряжение на испытуемом объекте поднимают плавно до 110—120% нормированного значения напряжения видимой короны, а затем снижают до нормированного значения, а при фотографировании напряжение поднимают до нормированного значения и выдерживают его 5 мин, в течение которых экспонируется фотопленка. Объект считается выдержавшим испытание, если при нормированном значении напряжения отсутствовала или наблюдалась визуально или на фотографии только слабая корона без значительных стримеров, возникающих в отдельных точках.

5. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

5.1. Измерения напряжения при испытаниях по методам настоящего стандарта должны проводиться по ГОСТ 17512—82.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

1. Общие положения

1.1. Развитие электрического разряда по своей природе подчинено статистическим закономерностям, так как зависит от случайных процессов: наличие тех или иных локальных неоднородностей, начальных электронов в том или ином месте и т. д. Поэтому каждому значению воздействующего напряжения соответствует определенная вероятность разряда. Кроме того, ошибки измерения тоже подвержены случайному разбросу. В связи с этим обработка результатов испытаний статистическими методами дает более точные и полные сведения о результатах испытаний.

В большинстве случаев зависимость вероятности разряда от амплитуды воздействующего напряжения с достаточной для практических целей точностью соответствует нормальному закону распределения. В частности, экспериментами показано, что эта зависимость для импульсных напряжений при длине воздушных разрядных промежутков порядка 1 м и более хорошо описывается этим законом при изменении вероятности разряда от нескольких процентов до 95—98%. Для газовой изоляции возможность применения нормального закона ограничена пределами изменения вероятности разряда 10—90%.

Статистический метод может применяться только в тех случаях, когда последующие разряды не вызывают заметных изменений в состоянии испытываемого объекта, то есть когда результаты каждого приложения напряжения являются независимыми от предыдущих. Последнее имеет место при испытании внешней самовосстанавливающейся изоляции и при испытании газовой изоляции.

Зависимость вероятности разряда от напряжения $P(U)$ при нормальном законе распределения однозначно определяется параметрами: $U_{ср}$ (среднее значение) и σ (стандарт отклонения).

При определении параметров распределения из экспериментальных данных (из выборки) в силу ограниченного числа опытов параметры будут справедливы только в определенных пределах изменения вероятности и с определенной вероятностью. Эти параметры в отличие от указанных выше обычно обозначаются через:

$\overline{U}_{ср}$ — оценочное значение среднего разрядного напряжения;

$\overline{U}_{50}$ — оценочное значение 50%-ного разрядного напряжения;

S — оценочное значение стандарта отклонения.

1.2. Основной задачей статистической обработки результатов испытания изоляции является определение выдерживаемого (фактического) напряжения с нормированными вероятностями выдерживания и надежностью (доверительной вероятностью). Сравнение этого напряжения с нормированным определяет результат испытания.

В общем случае условиями успешнего испытания являются:

$$U_{но} \leqslant U_{во} = U'_{50} \ (1 - n\sigma'), \tag{1}$$

$$U_{но} \leqslant U_{во} = U''_{ср} \ (1 - n\sigma'), \tag{1а}$$

где $U_{но}$ — нормированное испытательное напряжение;

$U_{во}$ — выдерживаемое напряжение испытываемого объекта;

U'_{50}, $U_{ср}$ — соответственно наименьшее значение 50%-ного и среднего разрядных напряжений в доверительном интервале при заданной точности определения U_{50} и $U_{ср}$;

σ' — наибольшее значение в относительных единицах стандарта отклонения в доверительном интервале при заданной точности определения α;

n — коэффициент, определяемый вероятностью выдерживания; при нормированной вероятности выдерживания 90% n равно 1,3, а при 50% — n равно 0.

Погрешность определения стандарта отклонения в настоящем стандарте нормируется значением не более 0,2 при доверительной вероятности 95%, а среднего 50%-ного разрядных напряжений — 0,02 при той же доверительной вероятности.

В том случае, когда значение стандарта отклонения нормировано и при испытании определяется только оценочное значение среднего $\overline{U}_{ср}$ или 50%-ного разрядного напряжения $\overline{U}_{50}$, σ' в формулах 1 и 1*а* берется равной $\sigma_н$, а $U'_{ср}$ и U'_{50} — соответственно равными $\overline{U}_{ср}$ и $\overline{U}_{50}$.

Способы определения $\overline{U}_{50}$, U'_{50}, $\overline{U}'_{ср}$, $U'_{ср}$ и σ' даны в пп. 3.1, 3.2 и 3.3 приложения.

2. Классификация и общая характеристика статистических способов испытания

Наиболее широкое распространение для определения 50%-ного разрядного напряжения, среднего разрядного напряжения и стандарта отклонения нашли три способа испытания, названные условно:

1. способ «вверх — вниз»;
2. ступенчатый способ;
3. способ 100%-ного разряда.

2.1. При испытании способом «вверх — вниз» к объекту последовательно прикладывается серия импульсов одинаковой формы, напряжение каждого из которых увеличивается или уменьшается по сравнению с напряжением предшествующего импульса на постоянное значение. Если при приложении предшествующего импульса напряжения на объекте испытания был отмечен полный разряд, то напряжение последующего импульса уменьшается, если же полного разряда не было, то напряжение последующего импульса увеличивается.

При проведении испытания по этому способу требуется наименьшее число опытов для определения 50%-ного разрядного напряжения с заданной точностью, поэтому способ «вверх — вниз» применяется, главным образом, в тех случаях, когда значение стандарта отклонения нормировано и требуется определить только 50%-ное разрядное напряжение.

2.2. При ступенчатом способе испытания к объекту на каждой ступени (уровне) напряжения прикладывается серия одинаковых по значению и по форме напряжений и определяется относительное число разрядов на каждой ступени напряжения (частость).

Таким способом выполняются, главным образом, испытания грозовым и коммутационным импульсами в тех случаях, когда требуется определение значений стандарта отклонения и 50%-ного разрядного напряжения.

2.3. При испытании способом 100%-ного разряда к объекту многократно прикладывается непрерывно возрастающее напряжение до разряда или импульс с достаточно большим максимальным значением, всегда приводящим к разряду, и при каждом приложении регистрируется напряжение, при котором происходит разряд. По указанному способу могут выполняться испытания при переменном и импульсных напряжениях. В последнем случае разряд должен происходить всегда на фронте импульса.

3. Проведение испытания и анализ результатов

3.1. При испытании способом «вверх — вниз» для определения 50%-ного разрядного напряжения (п. 2.1) берется разность между соседними ступенями напряжения δ, равная от 0,5 до 2σ, где σ — стандарт отклонения.

Результат испытаний представляется в виде ряда возрастающих значений напряжения U_0, U_1, .. U_i,.... U_m, следующих через равные интервалы напряжений δ и соответствующих этим значениям напряжений чисел разрядов n_0, n_1,... n_i, ... n_m и неразрядов n'_0, n'_1,...n'_1,....n'_m.

При испытании срезанным импульсом следует принимать, что на данной ступени напряжения имел место разряд, если предразрядное время оказалось меньше нормированного. При испытании целесообразно пользоваться осциллографом с запоминающим устройством, так как предразрядное время в этом случае может быть быстро определено непосредственно в процессе испытания.

Если суммарное число разрядов N меньше суммарного числа неразрядов N', то оценочное значение 50%-ного разрядного напряжения $\overline{U}_{50}$ определяется по формуле

$$\overline{U}_{50}=U_0+\delta\left(\frac{A}{N}-\frac{1}{2}\right), \tag{2}$$

где U_0 — ступень напряжения, при которой прикладывалось два или более импульсов;

N и A — определяются по формулам:

$$N=\sum_{i=0}^{i=m} n_i, \qquad A=\sum_{i=0}^{i=m} i\cdot n_i$$

Если суммарное число неразрядов меньше суммарного числа разрядов, то

$$\overline{U}_{50}=U_0+\delta\left(\frac{A'}{N'}+\frac{1}{2}\right), \tag{3}$$

где N' и A' — определяются по формулам:

$$N'=\sum_{i=0}^{i=m} n'_i, \qquad A'=\sum_{i=0}^{i=m} i\cdot n'_i.$$

Необходимое число опытов (число приложений импульсов) для определения 50%-ного разрядного напряжения с заданной точностью и доверительной вероятностью 95% при $0{,}5\sigma\leqslant\delta<2\sigma$ и определение погрешности 50%-ного разрядного напряжения, если число опытов превышает значение, необходимое для определения U_{50} с заданной погрешностью, производится по приближенным формулам:

$$N+N'=4\left(\frac{\sigma_н}{\Delta\overline{U}_{50}}\right)^2, \tag{4}$$

$$\Delta\overline{U}_{50}=\frac{2\sigma_н}{\sqrt{N+N'}} \tag{4а}$$

где $\sigma_н$ — относительное значение нормированного стандарта отклонения;

$\Delta\overline{U}_{50}$ — относительная погрешность определения 50%-ного разрядного напряжения.

3.2. Испытание ступенчатым способом для определения стандарта отклонения и 50%-ного разрядного напряжения (п. 2.2) может выполняться двумя способами:

определением относительного числа разрядов на нескольких различных ступенях напряжения;

только при двух значениях U_1 и U_2 соответствующих относительным числам разрядов 0,1 и 0,9.

Первый способ более прост по проведению эксперимента, но обработка экспериментальных данных требует трудоемких вычислений по сложным формулам. Этот способ предпочтителен, если имеется готовая программа обработки экспериментальных данных на ЭВМ.

При испытании срезанным импульсом за разряды следует принимать случаи, когда предразрядное время оказалось меньше нормированного. В этой связи при таких испытаниях целесообразно пользоваться осциллографом с запоминающим устройством.

Второй способ, который часто называют способом «двух точек», выполняется в следующей последовательности:

а) производится приближенная оценка $\overline{U_{50}}$ приложением в начале 4—6 импульсов на ступени при различных значениях напряжения, а затем 10 импульсов на той ступени напряжения, где были разряды и неразряды, затем делается, если необходимо, корректировка понижением или повышением напряжения;

б) при напряжении $U_2=\overline{U_{50}}(1+1{,}3\sigma)$, где σ — относительное значение ожидаемого стандарта отклонения, определяется относительное число разрядов h (частость разряда) при промежуточном числе приложений напряжения (ударов), равном 20;

сли оно оказалось в пределах от 0,85 до 0,95 то испытание продолжается до получения 100 ударов. Уточненное значение h при 100 ударах также должно лежать в указанных пределах, в противном случае делается необходимая корректировка. После определения точки U_2 аналогичное испытание выполняется для определения второй точки U_1, соответствующей частости разряда от 0,05 до 0,15, то есть при напряжении $\overline{U_{50}}(1-1{,}3\sigma)$ определяется частость разряда h при промежуточном числе ударов и т. д.

Общее число ударов, равное 200, достаточно для получения заданной погрешности определения σ и 50%-ного разрядного напряжения по п. 1.2 при относительном значении σ не более 0,1, то есть в подавляющем числе случаев.

При больших значениях σ суммарное число необходимых ударов может быть определено по приближенной формуле

$$N=7{,}7\left(\frac{\sigma}{\Delta\overline{U}_{50}}\right)^2. \qquad (5)$$

При заданном значении $\Delta\overline{U}_{50}=0{,}02$ и доверительной вероятности 95%

$$N=1{,}92\cdot 10^4\,\sigma^2, \qquad (5а)$$

где σ — относительное значение ожидаемого стандарта отклонения;

$\Delta\overline{U}_{50}$ — относительная погрешность определения $\overline{U}_{50}$.

Полученные значения U_1 и U_2 наносятся на вероятностную сетку, как показано на чертеже. Масштаб сетки на оси абсцисс преобразован таким образом, чтобы нормальное распределение представлялось на ней в виде прямой линии. Через указанные две точки проводится прямая линия. Значение S определяется как разность напряжений, соответствующих относительным числам разрядов h, равным 0,5 и 0,16 (см. чертеж), а $\overline{U_{50}}$ — как напряжение, соответствующее $h=0{,}5$.

По полученным значениям $\overline{U_{50}}$ и S, а также значениям $\Delta S=0{,}2S$ и $\Delta\overline{U}=0{,}01\overline{U_{50}}$ при относительном значении $0{,}025<S<0{,}05$, $\Delta S=0{,}2S$ и $\Delta\overline{U}=0{,}02\overline{U_{50}}$ при относительном значении $0{,}05<S<0{,}10$ определяются U_{50}, U'_{50}, σ и σ' по формулам:

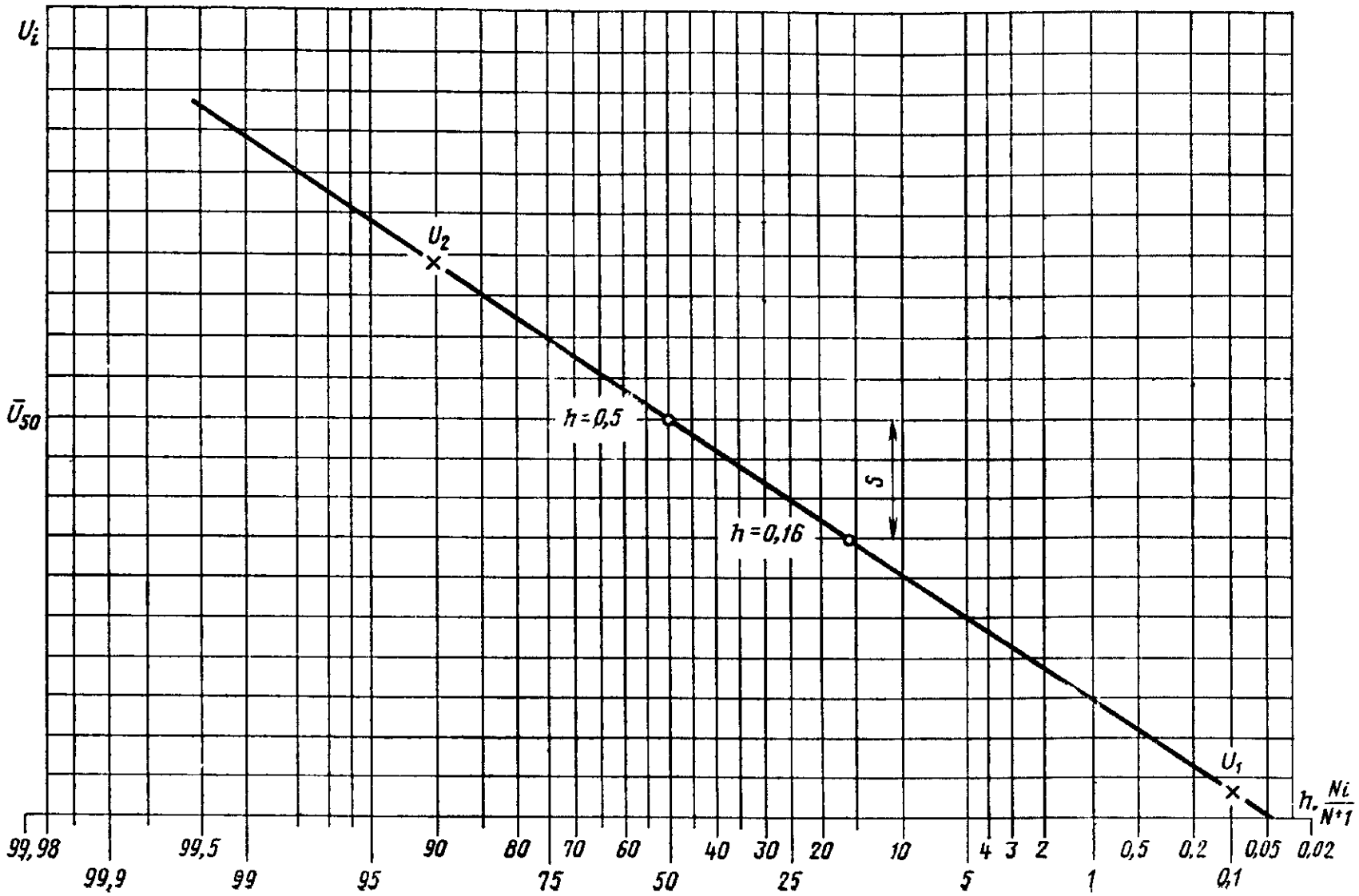
$$\overline{U_{50}}-\Delta\overline{U}\leqslant U_{50}\leqslant\overline{U_{50}}+\Delta\overline{U}, \qquad (6)$$

$$U'_{50}=\overline{U_{50}}-\Delta U, \qquad (6а)$$

$$\frac{S-\Delta S}{\overline{U_{50}}}\leqslant\sigma\leqslant\frac{S+\Delta S}{\overline{U_{50}}}, \qquad (7)$$

$$\sigma'=\frac{S+\Delta S}{\overline{U_{50}}}. \qquad (7а)$$

Затем U'_{50} и σ' подставляется в формулу (1) для определения выдерживаемого напряжения и результата испытания.


U_i
$\bar{U}_{50}$
U_2
$h=0,5$
$h=0,16$
S
U_1
$h, \frac{Ni}{N+1}$
99,98
99,9
99,5
99
90
95
80
75
70
60
50
40
30
25
20
10
5
4
3
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02

3.3. При испытании способом 100%-ного разряда (п. 2.3) результаты испытаний представляют из себя серию из N значений разрядных напряжений U_i. Из этих разрядных напряжений определяется $\overline{U}_{ср}$ и абсолютное значение S_a по формулам:

$$\overline{U}_{ср}=\frac{1}{N}\sum_{1}^{N}u_i, \tag{8}$$

$$S_a^2=\frac{1}{N-1}\sum_{1}^{N}(U_i-\overline{U}_{ср})^2 \tag{9}$$

Для получения общей картины и исключения случайных ошибок, результаты испытаний могут быть представлены графически на вероятной сетке. Для этого значения разрядных напряжений располагаются в порядке возрастания и нормируются.

Затем значение $\frac{N_i}{N+1}$ в процентах наносится на вероятностную сетку по оси абсцисс в функции от U_i (см. чертеж), где N_i — число разрядов при напряжениях, равных и меньших U_i, а N — общее число приложений напряжения.

Если стандарт отклонения не нормирован, то по полученным значениям $\overline{U}_{ср}$ и S_a определяются среднее разрядное напряжение $U_{ср}$ и абсолютное значение стандарта отклонения σ_a по формулам:

$$\overline{U}_{ср}-\frac{S_a t_P}{\sqrt{N}}\leqslant U_{ср}\leqslant\overline{U}_{ср}+\frac{S_a t_P}{\sqrt{N}}, \tag{10}$$

$$S_a\sqrt{\frac{N-1}{\chi^2_{P/2}}}\leqslant\sigma_a\leqslant S_a\sqrt{\frac{N-1}{\chi^2_{(1-P/2)}}}, \tag{11}$$

где t_P, $\chi^2_{P/2}$, $\chi^2_{(1-P/2)}$ являются функцией числа опытов N и доверительной вероятности; при доверительной вероятности 95% они определяются по таблице.

По полученным значениям $\overline{U}_{ср}$ и σ_a определяются $U'_{ср}$ и σ'_a по формулам:

$$\overline{U}'_{ср}=\overline{U}_{ср}-\Delta\overline{U}, \tag{12}$$

$$\sigma'_a=S_a\sqrt{\frac{N-1}{\chi^2_{(1-P/2)}}}. \tag{13}$$

При числе опытов, равном 15, и доверительной вероятности равной 95%:

$$U'_{ср}=\overline{U}_{ср}-0{,}55S_a, \tag{12а}$$

$$\sigma'_a=1{,}58S_a. \tag{13а}$$

Затем $U'_{ср}$ и относительное значение стандарта отклонения $\sigma'=\frac{\sigma'_a}{\overline{U}_{ср}}$ подставляются в формулу (1а) для определения выдерживаемого напряжения и результата испытания.

N	$t_P/\sqrt{N}$	$\sqrt{\frac{N-1}{\chi^2_{P/2}}}$	$\sqrt{\frac{N-1}{\chi^2_{(1-P/2)}}}$
5	1,24	0,60	2,87
10	0,72	0,69	1,83
15	0,55	0,73	1,58
20	0,47	0,76	1,46
30	0,37	0,80	1,34
40	0,32	0,82	1,28
50	0,28	0,84	1,25

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

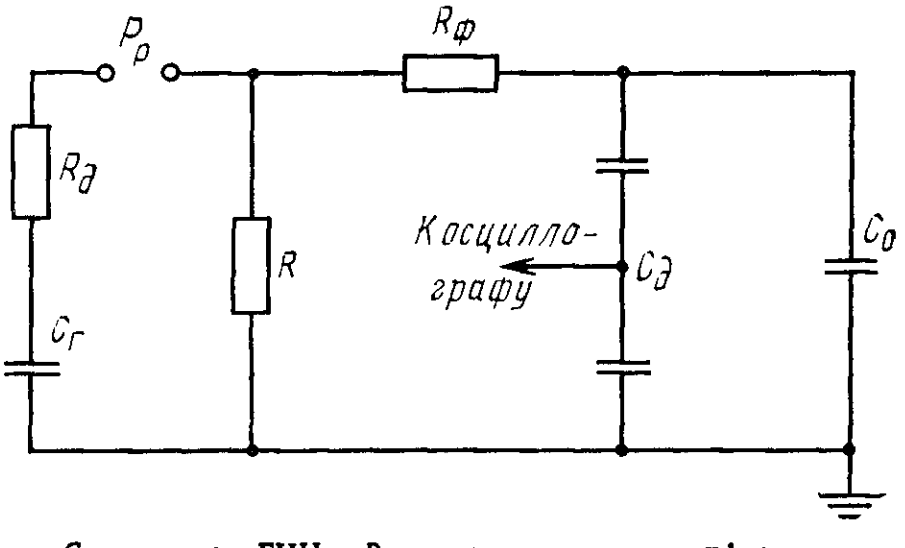
Справочное

СХЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ГЕНЕРИРОВАНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ

1. Схемы установок для получения апериодического импульса

1.1. При испытании объектов с емкостной характеристикой (выключатели, разъединители, вводы трансформатора тока, опорные изоляторы, гирлянды изоляторов и т. д.) рекомендуется в качестве источников апериодических коммутационных импульсов использовать генераторы импульсов напряжения (ГИН), используемые в настоящее время для генерирования грозовых импульсов (черт. 1).

Схема испытательной установки для генерирования апериодического коммутационного импульса при испытании объектов с емкостной характеристикой



$C_г$—емкость ГИН; $R_д$—сопротивление демпферных резисторов ГИН; $R_ф$—сопротивление фронтового резистора; R—сопротивление разрядного резистора; $C_д$—общая емкость делителя напряжения; $P_р$—шаровой разрядник; $C_о$—емкость испытываемого объекта

Черт. 1

Обычно $C_г \gg C_1$, где $C_1 = C_д + C_о$ — суммарная емкость делителя и испытываемого объекта, а $R \gg R_д + R_ф$. Параметры схемы $R_д$ и R при заданных значениях времени подъема напряжения $T_п$ и длительности импульса $T_и$ и могут быть определены по приближенным формулам:

$$R_д + R_ф \simeq \frac{1}{3} T_п \frac{C_г + C1}{C_г C1}, \quad (1)$$

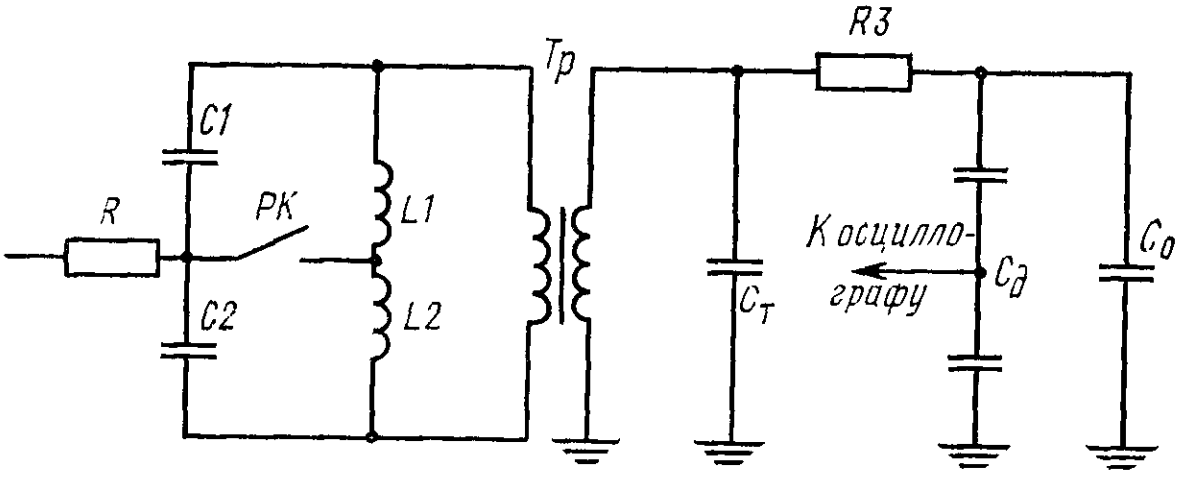
$$R \simeq 1{,}4 T_и \frac{1}{C_г + C1}. \quad (2)$$

Обычно значение $R_д$ берется равным сумме сопротивлений демпферных резисторов ГИН при использовании его для генерирования грозовых импульсов. Окончательный подбор параметров схемы выполняется на основании осциллограмм напряжения, снимаемых в процессе настройки генератора с подключенным объектом испытания.

2. Схемы установок для получения колебательного импульса

2.1. При испытании объектов приложенным колебательным импульсом напряжения рекомендуется применять схемы на основе испытательного трансформатора (каскада трансформаторов) или генератора импульсных напряжений. При этом при применении испытательного трансформатора может быть применена схема, основанная на возбуждении первичной обмотки трансформатора от двух встречно включенных колебательных контуров (черт. 2), либо схема с непосредственным разрядом батареи конденсаторов на указанную обмотку (черт. 3). Принцип работы и приближенный расчет параметров схем даны в пп. 2.1.1 и 2.1.2, а при использовании генератора импульсных напряжений — в п. 2.1.3.

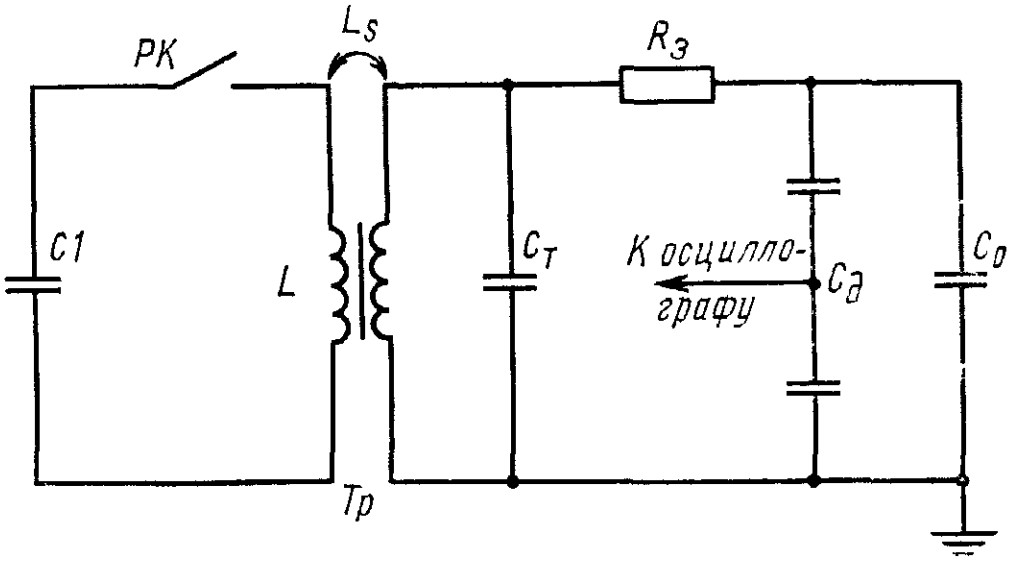
Схема испытательной установки для генерирования колебательного импульса с помощью испытательного трансформатора, возбуждаемого от колебательных контуров



C1 и *C2*—емкости батарей конденсаторов (обычно C1=C2); *L1* и *L2*—индуктивности колебательных контуров; *РК*—коммутационное устройство; $T_р$—испытательный трансформатор (каскад трансформаторов); $R_з$—сопротивление защитного резистора; $C_т$—емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом; $C_д$—общая емкость делителя напряжения; *R*—сопротивление резистора зарядного устройства; $C_о$—емкость испытываемого объекта

Черт. 2

Схема испытательной установки для генерирования колебательного импульса с помощью испытательного трансформатора, возбуждаемого разрядом конденсаторной батареи на обмотку НН



C1—емкость батареи конденсатора; *РК*—коммутационное устройство; $T_р$—испытательный трансформатор (каскад трансформаторов); *L*—индуктивность обмотки испытательного трансформатора; L_s—индуктивность рассеяния испытательного трансформатора; $C_т$—емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом; $C_д$—общая емкость делителя напряжения; $R_э$—сопротивление защитного резистора; $C_о$—емкость испытываемого объекта

Черт. 3

2.1.1. Схема установки, приведенная на черт. 2, работает следующим образом. Предварительно заряжаются до одинакового напряжения батареи конденсаторов с емкостями *C1* и *C2*. В момент запуска схемы включением коммутационного устройства *РК* начинается разряд конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 во встречно включенных колебательных контурах *C1—L1* и *C2—L2*. Собственные частоты колебательных контуров выбираются существенно различными и на обмотку НН трансформатора $T_р$ подается импульс колебательного затухающего напряжения, плавно нарастающий с нуля. Соответственно на обмотке ВН трансформатора генерируется затухающий импульс колебательного напряжения (коммутационный импульс, черт. 4).

Обычно принимается *C1=C2*, причем значение емкости *C1* должно быть существенно больше (примерно в 10 раз) приведенной суммарной емкости обмотки ВН трансформатора и ее внешней цепи $C'_т$ (емкости обмотки ВН трансформатора вместе с вводом, емкости делителя напряжения и емкости испытываемого объекта), то есть

$$C1 = 10\left(\frac{U_{вн}}{U_{нн}}\right)^2 C'_т, \qquad (3)$$

где $U_{вн}$ и $U_{нн}$ — соответственно номинальные напряжения обмоток ВН и НН испытательного трансформатора.

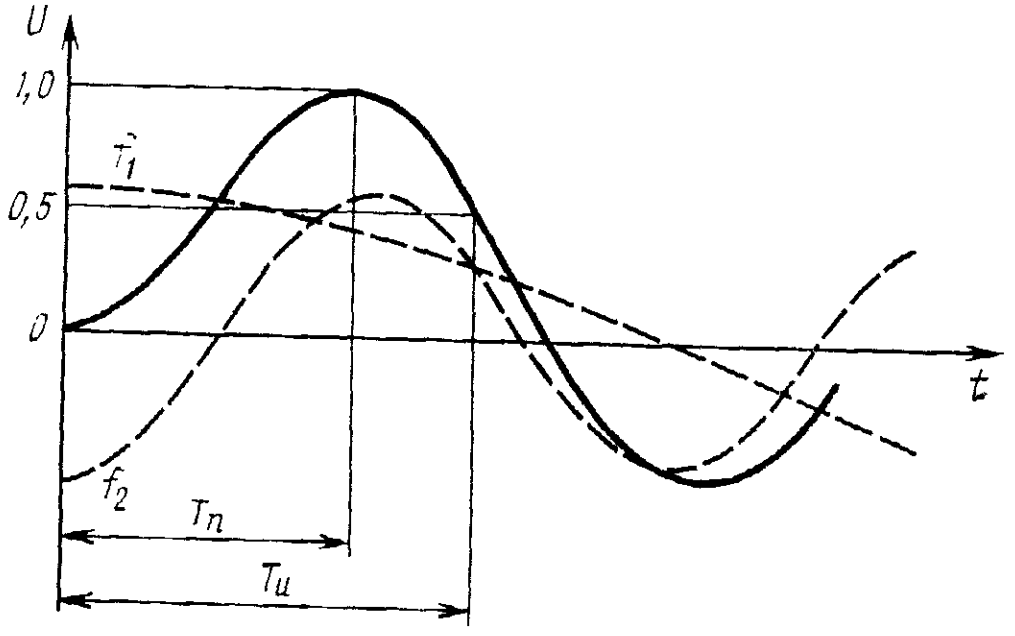
Емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом $C_т$ определяется по формуле

$$C_т = 0{,}5\ C''_т, \qquad (4)$$

где $C''_т$ — емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом, измеренная с помощью моста измерения емкостей и индуктивностей.

Соотношение между собственными частотами колебательных контуров обычно принимается равным $f_2 = (3 \div 5) f_1$.

При этом время подъема напряжения $T_п \simeq 0{,}4 T_2$, где T_2 — период колебаний более высокой частоты (f_2).



Черт. 4

Значения индуктивности *L2* и *L1* определяются по формулам:

$$L2 = \frac{T_п^2}{4\pi C_2 \cdot 0{,}4^2} = \frac{T_п^2}{6{,}3C2}; \quad (5)$$

$$L1 = (3—5)^2 L2. \quad (6)$$

Напряжение батареи конденсаторов с емкостями *C1* и *C2* зависит от напряжения обмотки НН трансформатора U_1, определяется по формуле

$$U_{C1} = U_{C2} = (0{,}7 \div 1{,}0)\, U_1 \sqrt{2}. \quad (7)$$

В качестве коммутационного устройства могут быть использованы управляемый шаровой разрядник, быстродействующий контактор, тиристорная схема и другие коммутационные аппараты.

Окончательный подбор параметров испытательной установки для получения импульса напряжения заданной формы производится опытным путем при подключенном испытуемом объекте по осциллограммам напряжения, снимаемым в процессе настройки схемы с подключенным объектом.

2.1.2. Схема установки, приведенная на черт. 3, работает следующим образом. При разряде предварительно заряженного конденсатора емкостью *C1* на обмотку НН, включаемого с помощью коммутационного устройства *PK*, возникают колебания напряжения двух частот. Одна из них f_1 определяется частотой колебания контура, образованного индуктивностью намагничивания трансформатора *L* и параллельным соединением емкостей, подключенных к обмоткам ВН и НН трансформатора, а другая f_2 определяется частотой колебания контура, образованного последовательным соединением емкостей на сторонах ВН и НН трансформатора и индуктивностью рассеяния трансформатора L_s.

Напряжение на выходе трансформатора U_2 без учета затухания определяется по формуле

$$U_2 \simeq U_1 \frac{U_{вн}}{U_{нн}} \frac{C'1}{C'1 + C'_т} (\cos 2\pi f_1 t — \cos 2\pi f_2 t), \quad (8)$$

где U_1 — напряжение на батарее конденсаторов $C1$;

$U_{вн}$ и $U_{нн}$ — соответственно номинальные напряжения обмоток ВН и НН испытательного трансформатора;

$C'1$ — емкость батареи конденсаторов, приведенная к обмотке ВН;

$C'_т$ — суммарная емкость обмотки ВН трансформатора и ее внешней сети (емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом, емкость делителя напряжения и емкость испытываемого объекта). Емкость обмотки ВН трансформатора вместе с вводом $C_т$ определяется по формуле 4. Обычно $f_2 \gg f_1$ и необходимую емкость батареи конденсаторов для получения заданной формулы импульса следует определять по приближенной формуле

$$C1 = \frac{T_п^2}{\pi^2 L_s}, \qquad (9)$$

где $C1$ — емкость батареи;

L_s — индуктивность рассеяния трансформатора;

$T_п$ — время подъема напряжения.

2.1.3. Схемы установки генератора колебательного коммутационного импульса на основе ГИНа с двумя зарядными ветвями приведены на черт. 5. В этом режиме вместо разрядных сопротивлений включаются индуктивности $L1 \div L6$ (черт. 5*а*). Закорачиваются демпфирующие сопротивления, изменяется полярность зарядного напряжения конденсаторов, расположенных в верхней части ГИНа. После пробоя разрядников $P1 \div P6$ образуется цепочка последовательно соединенных колебательных контуров, разбитых на две половины, и включенных встречно. Частоты собственных колебаний контуров выбираются существенно различными и на выходе установки генерируется импульс колебательного затухающего напряжения, аналогичный приведенному на черт. 4. Для обеспечения четкой работы шаровых разрядников используются трехэлектродные шаровые разрядники — тригатроны.

Необходимое значение индуктивностей $L1$, $L2 \div L6$ выбирается исходя из требуемой формы импульса и параметров импульсного генератора (емкости ступени С). Для получения пологих импульсов напряжения вместо индуктивностей в одной из половин генератора включают соответственным образом подобранные активные сопротивления (черт. 5*б*).

В режиме генератора апериодических импульсов (грозовых) индуктивности шунтируются разрядными сопротивлениями.

Пример расчета параметров схемы

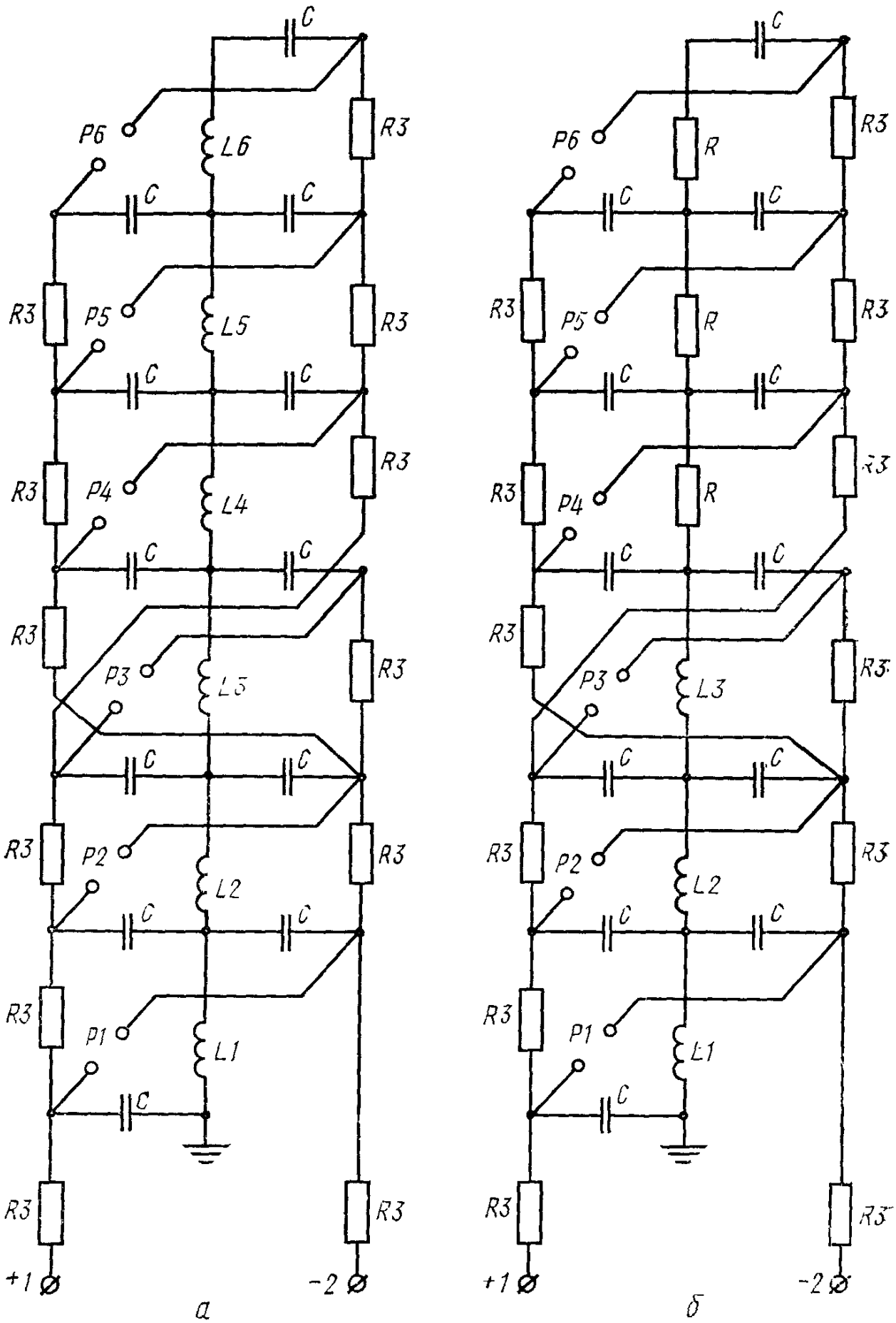
Необходимо получить коммутационный импульс 4000/7500 мкс при использовании импульсного генератора на номинальное напряжение $U = 2400$ кВ, запасаемая энергия $W = 192$ кДж, емкость ступени 0,78 мкФ, номинальное напряжения ступени 200 кВ. Необходимые значения индуктивностей $L1 \div L3$ (рис. 5*б*) составит

$$L = \frac{T_п^2}{4\pi^2 \cdot C1 \cdot 0{,}4^2} = \frac{(4000 \cdot 10^{-6})^2}{4\pi^2 \cdot 0{,}78 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}4^2} \cong 2{,}33 \text{ Гн}.$$

Разрядные сопротивления должны иметь значение

$$R = \frac{T_п}{0{,}1C} = \frac{4000 \cdot 10^{-6}}{0{,}1 \cdot 0{,}78 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ кОм}.$$

2.2. При испытании трансформаторов индуктированным напряжением рекомендуется применять схемы, основанные на принципе разряда конденсаторной батареи на обмотку НН испытуемого трансформатора непосредственно (черт. 6) или через промежуточный трансформатор (черт. 7).


C
P6
L6
R3
C
C
R3
P5
L5
R3
C
C
R3
P4
L4
R3
C
C
R3
P3
L5
R3
C
C
R3
P2
L2
R3
C
C
R3
P1
L1
C
R3
R3
+1
-2
а
C
P6
R
R3
C
C
R3
P5
R
R3
C
C
R3
P4
R
R3
C
C
R3
P3
L3
R3
C
C
R3
P2
L2
R3
C
C
R3
P1
L1
C
R3
R3
+1
-2
б

Черт. 5

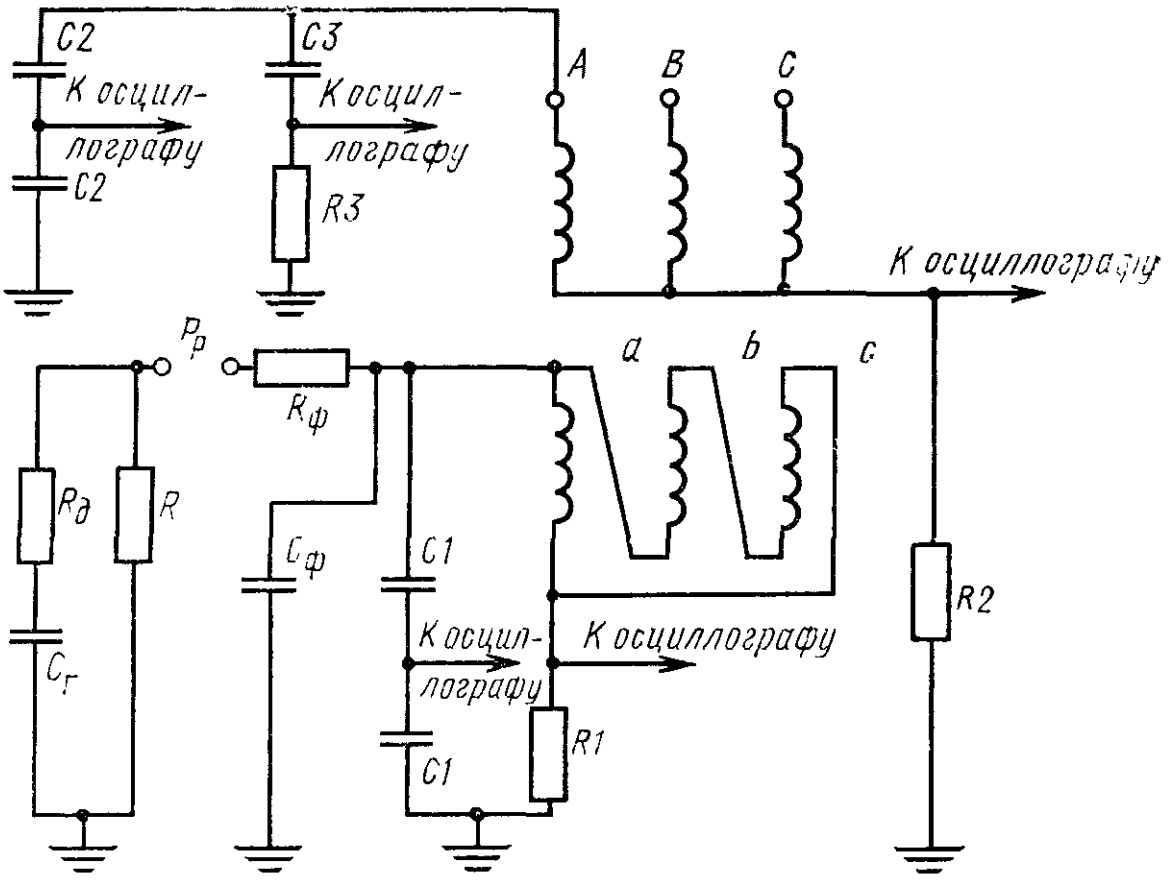
Схема испытания, представленная на черт. 6, позволяет получить колебательный импульс, форма первого полупериода которого может быть сделана близкой к форме апериодического импульса. Недостатком этой схемы является наличие искровых промежутков ГИН, работа которых создает помехи при измерении уровня частичных разрядов.

Схема испытания, представленная на черт. 7, свободна от указанных выше помех вследствие применения вентиля и гашения помех в промежуточном трансформаторе.

Вследствие насыщения стали магнитопровода длительность импульса как для схемы черт. 6, так и черт. 7 ограничена. Длительность импульса может быть увеличена, если подать предварительно импульс противоположной полярности с амплитудой порядка 60% испытательного напряжения.

Вследствие насыщения стали магнитопровода, индуктивность трансформатора зависит как от величины, так и от времени воздействия, приложенного напряжения. Это обстоятельство не позволяет выполнить расчет параметров импульса с приемлемой точностью.

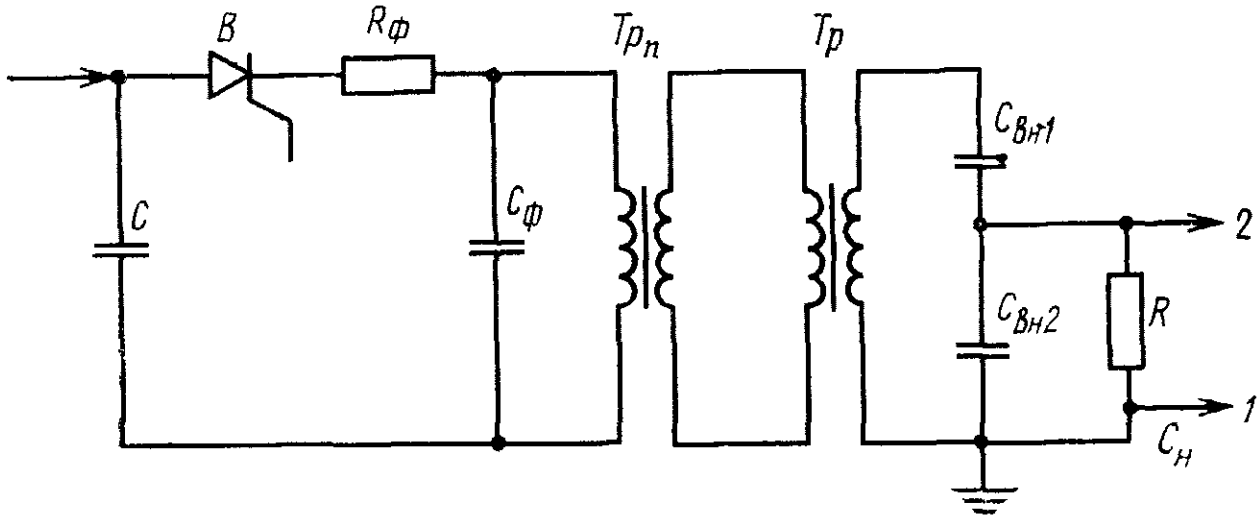
Схема испытания трансформатора коммутационным импульсом с использованием ГИН



$R_д$—сопротивление демпферных резисторов (ГИН); $C_г$—емкость генератора импульсных напряжений (ГИН); $R_ф$—сопротивление фронтового резистора; R—сопротивление зарядного резистора (ГИН); $P_р$—шаровой разрядник; $C_ф$—фронтовая емкость; $C1$—емкость делителя НН; $C2$—емкость делителя ВН; $C3$ и $R3$—емкость и сопротивление резистора схемы регистрации частичных разрядов; $R1$ и $R2$—сопротивление резисторов для осциллографирования токов обмотки НН и ВН

Черт. 6

Схема испытания трансформатора коммутационным импульсом, основанная на разряде конденсаторной батареи на обмотку НН через промежуточный трансформатор



C—емкость конденсаторной батареи; *B*—управляемый вентиль на импульсный ток 1÷3 кА и обратное напряжение 15÷40 кВ; $R_ф$—сопротивление фронтового резистора; $C_ф$—фронтовая емкость; $T_р$—испытуемый трансформатор; $T_{рп}$—промежуточный трансформатор с переменным коэффициентом трансформации; $C_{вн1}$ и $C_{вн2}$—емкости ввода высшего напряжения испытываемого трансформатора; *R*—сопротивление измерительного резистора; $C_н$—емкость измерительного конденсатора; *1*—схема измерения параметров коммутационного импульса; *2*—схема измерения уровня частичных разрядов

Черт. 7

Время подъема напряжения в схемах, представленных на черт. 6 и 7, регулируется с помощью величин $R_ф$ и $C_ф$. Время подъема напряжения для схемы черт. 6 приближенно можно определить по формуле

$$T_п = 2{,}7\frac{(R_д + R_ф)(C_о + C_ф + C1)}{1 + \frac{C_о}{C_г}}, \qquad (10)$$

где $R_д$ и $R_ф$ — соответственно сопротивление демпферных и фронтового резисторов;

$C_о$ — суммарная, приведенная к стороне НН, емкость обмотки ВН и ее внешней цепи (емкость обмотки ВН трансформатора с вводом, емкость делителя напряжения);

$C_г$ — емкость ГИН;

$C_ф$ — фронтовая емкость;

$C1$ — емкость делителя НН.

В случае схемы, представленной на черт. 6, для устранения высокочастотных колебаний должно быть выполнено условие

$$R_д + R_ф \geqslant 2\sqrt{\frac{L_s}{C_о}}, \qquad (11)$$

где L_s — индуктивность рассеяния трансформатора, приведенная к стороне НН.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

ПОЯСНЕНИЕ ТЕРМИНОВ

Термин	Определение
1. Класс напряжения электрооборудования	По ГОСТ 1516.1—76
2. Внутренняя изоляция	Твердая, жидкая, газообразная изоляция (или их комбинация) внутренних частей электрооборудования, не подвергающаяся непосредственному влиянию атмосферных и других внешних воздействий (загрязнение, увлажнение, воздействие животных)
3. Внутренняя газовая изоляция	Внутренняя изоляция, в которой основной изолирующей средой является специальный газ или воздух, изолированный от окружающего пространства. Примечание. Основные отличием газовой изоляции от других видов внутренней изоляции является ее самовосстанавливаемость
4. Внешняя изоляция	Воздушные промежутки и поверхность твердой изоляции в атмосферном воздухе, которые подвергаются влиянию атмосферных и других внешних воздействий (загрязнение, увлажнение, воздействие животных)
5. Линейная изоляция	Изоляция проводов воздушных линий электропередач отиносительно заземленных предметов, а также между соседними проводами
6. Самовосстанавливающаяся изоляция	Изоляция, полностью восстанавливающая свои изолирующие свойства после полного разряда
7. Несамовосстанавливающаяся изоляция	Изоляция, теряющая или неполностью восстанавливающая свои изолирующие свойства после полного разряда
8. Полный разряд	Электрический разряд, полностью шунтирующий изоляцию между электродами и вызывающий снижение напряжения между электродами практически до нуля
9. Искровой разряд	Полный разряд в газовом или жидком диэлектрике
10. Перекрытие	Полный разряд в газовом или жидком диэлектрике вдоль поверхности твердого диэлектрика
11. Пробой	Полный разряд в твердом диэлектрике

Термин	Определение
12. Испытательное напряжение	Напряжение заданной формы и длительности, которое прикладывается к изоляции для определения какой-либо ее характеристики
13. Разрядное напряжение	Испытательное напряжение, которое вызывает полный разряд
14. Нормированное испытательное напряжение	Испытательное напряжение, нормированное по значению
15. Выдерживаемое напряжение	Испытательное напряжение, вероятность полного разряда при котором не выше заданного значения
16. Импульс напряжения (импульс)	Кратковременное напряжение, характеризуемое подъемом напряжения до максимального значения и последующим снижением напряжения
17. Полный грозовой импульс напряжения (Полный грозовой импульс)	Импульс, характеризуемый повышением напряжения до максимального значения за время от долей микросекунды до нескольких десятков микросекунд и последующим менее быстрым снижением напряжения до нуля
18. Срезанный импульс напряжения (срезанный импульс)	Импульс, у которого скорость снижения напряжения существенно больше скорости изменения напряжения в момент времени, непосредственно предшествующей моменту среза
19. Импульс с линейным фронтом (грозовой или коммутационный)	Импульс, характеризуемый возрастанием напряжения с примерно постоянной скоростью до момента среза
20. Коммутационный импульс напряжения (Коммутационный импульс)	Импульс, характеризуемый подъемом напряжения до максимального значения за время от нескольких десятков до нескольких тысяч микросекунд и последующим снижением напряжения
21. Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты (одноминутное напряжение)	Испытательное напряжение промышленной частоты, прикладываемое к изоляции с выдержкой, как правило, в течение 1 мин или в определенных случаях другого времени, но не более 5 мин
22. Плавный подъем напряжения промышленной частоты	Непрерывное возрастание напряжения промышленной частоты с заданной скоростью от нуля до перекрытия или до определенного значения с последующим быстрым снижением его до нуля без выдержки
23. Вольт-секундная характеристика	Зависимость разрядного напряжения от предразрядного времени, определенная при воздействии на изоляцию импульсов одинаковой формы с различной амплитудой
24. Частичный разряд	Электрический разряд, шунтирующий часть изоляции и не вызывающий значительного изменения напряжения между электродами

Термин	Определение
25. Апериодический импульс напряжения (апериодический импульс)	Импульс, форма которого может быть описана суммой двух экспоненциальных функций
26. Колебательный импульс напряжения (колебательный импульс)	Импульс, представляющий собой затухающие колебания напряжения около нулевого значения или около другой составляющей
27. Испытательное напряжение промышленной частоты	Синусоидальное напряжение, как правило, с частотой в диапазоне от 40 до 62 Гц, а также в определенных случаях синусоидальное напряжение повышенной частоты до 400 Гц
28. Амплитудное значение испытательного напряжения промышленной частоты	Амплитудное значение напряжения, без учета небольших высокочастотных колебаний, возникающих, например, вследствие частичных разрядов
29. Действующее значение напряжения промышленной частоты	Корень квадратный из среднего арифметического квадратов значений напряжения за время одного периода
30. 50%-ное разрядное напряжение	Испытательное напряжение, вероятность полного разряда при котором равна 0,5

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие условия испытаний 2
1.1. Расположение объекта испытания на испытательном поле . 2
1.2. Требования к объекту испытания и последовательность проведения испытаний 3
1.3. Атмосферные условия 7
1.4. Поправки на атмосферные условия 9
2. Испытание изоляции грозовыми импульсами напряжения . 14
2.1. Определение значения испытательного напряжения и параметров импульса 14
2.2. Стандартный грозовой импульс напряжения 19
2.3. Испытание внутренней изоляции, кроме газовой 20
2.4. Испытание внешней изоляции и внутренней газовой, а также одновременное испытание внешней и внутренней изоляции . 22
2.5. Вольт-секундные характеристики изоляции 23
3. Испытание изоляции коммутационным импульсом напряжения 25
3.1. Определение значения испытательного напряжения и параметров импульса 25
3.2. Параметры стандартных коммутационных импульсов . . . 27
3.3. Проведение испытания 28
4. Испытание изоляции напряжением промышленной частоты . 30
4.1. Общие требования 30
4.2. Испытание внутренней изоляции 32
4.3. Испытание внешней изоляции в сухом состоянии и внутренней газовой, а также одновременные испытания внешней и газовой изоляции 34
4.4. Испытание внешней изоляции под дождем 35
4.5. Испытание изоляции на стойкость к тепловому пробою . . 36
4.6. Испытание внешней изоляции на отсутствие видимой короны 38
5. Измерение напряжения при проведении испытаний . . . 38
Приложение 1. Статистическая обработка результатов испытания 39
1. Общие положения 39
2. Классификация и общая характеристика статистических способов испытания 40
3. Проведение испытания и анализ результатов . . 40
Приложение 2. Схемы испытательных установок для генерирования коммутационных импульсов 45
1. Схемы установок для получения апериодического импульса 45
2. Схемы установок для получения колебательного импульса 46
Приложение 3. Пояснение терминов 53

Редактор *Р. Г. Говердовская*
Технический редактор *Э. В. Митяй*
Корректор *С. И. Ковалева*

Сдано в наб. 04.02.87 Подп. в печ. 30.03.87 3,5 усл. п. л. 3,625 усл. кр.-отт. 4,05 уч.-изд. л. Тираж 8000 Цена 20 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., д. 3.
Вильнюсская типография Издательства стандартов, ул. Миндауго, 12/14. Зак. 1512.

Изменение № 4 ГОСТ 1516.2—76 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции

Утверждено и введено в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 03.10.89 № 3010
Дата введения 01.07.90

Пункт 4.4.1 изложить в новой редакции: «4.4.1. Испытание внешней изоляции под дождем должно проводиться методом одноминутного напряжения или методом трехкратного приложения напряжения при плавном подъеме. Применение одного из этих методов — в соответствии с указаниями ГОСТ 1516.1—76. При испытаниях должны учитываться требования пп. 1.4.1, 1.4.2.

(Продолжение см. с. 184)

При испытании методом одноминутного напряжения к испытуемому объекту должно быть однократно приложено нормированное испытательное напряжение с выдержкой его в течение 1 мин. Объект считается выдержавшим испытание, если не произошло полного перекрытия в течение выдержки испытательного напряжения. Если произошло перекрытие во внешней самовосстанавливающейся изоляции, испытание должно быть повторено в тех же условиях еще только один раз. Если при повторном приложении испытательного напряжения не произошло полного перекрытия, объект считается выдержавшим испытания. Испытание должно проводиться при расположении объекта, структуре, интенсивности и угле падения дождя, параметрах воды, как указано в пп. 3.3.3.1—3.3.3.3. Допускается проведение испытаний также при условиях, указанных в пп. 4.4.2—4.4.4.

(Продолжение см. с. 185)

(Продолжение изменения к ГОСТ 1516.2—76)

При испытании методом трехкратного приложения напряжения при плавном подъеме напряжение должно прикладываться к объекту путем повышения его до нормированного значения без последующей выдержки в соответствии с п. 4 1.4. Испытание должно повторяться три раза с интервалом между приложениями напряжения не менее 1 мин. Объект считается выдержавшим испытание, если во время испытания не произошло ни одного полного перекрытия. В случае одного перекрытия во внешней самовосстанавливающейся изоляции испытание должно быть повторено при шести приложениях напряжения; изоляция считается выдержавшей испытания, если при повторном испытании не произошло ни одного полного перекрытия. Испытание должно проводиться при условиях, указанных в пп. 4.4.2—4.4.4».

(ИУС № 1 1990 г.)

Цена 20 коп.

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица			Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
Частота	герц	Hz	Гц	$с^{-1}$
Сила	ньютон	N	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	$с \cdot А$
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$м^{-2} кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$м^{-2} кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд · ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грэй	Gy	Гр	$м^2 \cdot с^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$м^2 \cdot с^{-2}$

gost.e-ecolog.ru