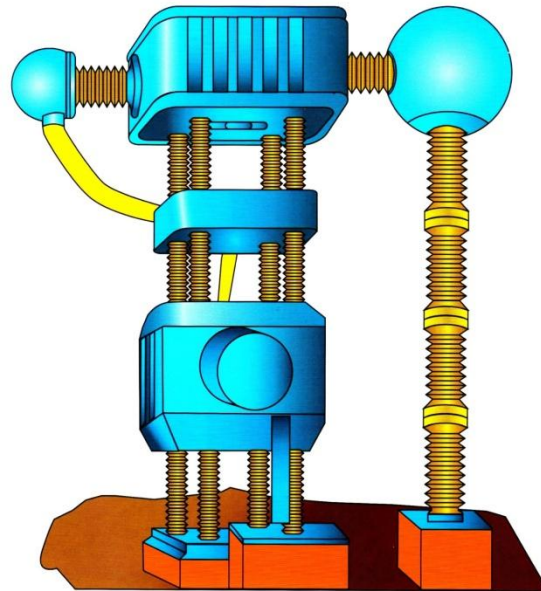


ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Двухступенчатый каскад
на открытой площадке Истринского отделения ВЭИ



Производство фирмы «Тур»
 $U_H = 1,2 \text{ МВ}; I_H = 2 \text{ А}$

ТИПЫ ИСПЫТАНИЙ:

- ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ;
- ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ;
- ПОСЛЕАВАРИЙНЫЕ.

Изоляция нового оборудования на заводе-изготовителе подвергается испытаниям повышенным напряжением.

Совокупность испытательных напряжений, которым подвергается изоляция нового оборудования, принято называть уровнем изоляции оборудования.

Минимальным уровнем изоляции называют совокупность испытательных напряжений, которыми испытывается изоляция периодически в процессе эксплуатации.

Выбор изоляции оборудования производят с учетом характеристик защитных разрядников и других применяемых способов ограничения перенапряжений.

Под ***координацией изоляции*** понимается установление и поддержание в эксплуатации необходимого соотношения между уровнем изоляции и воздействующими на нее напряжениями.

Рабочее напряжение

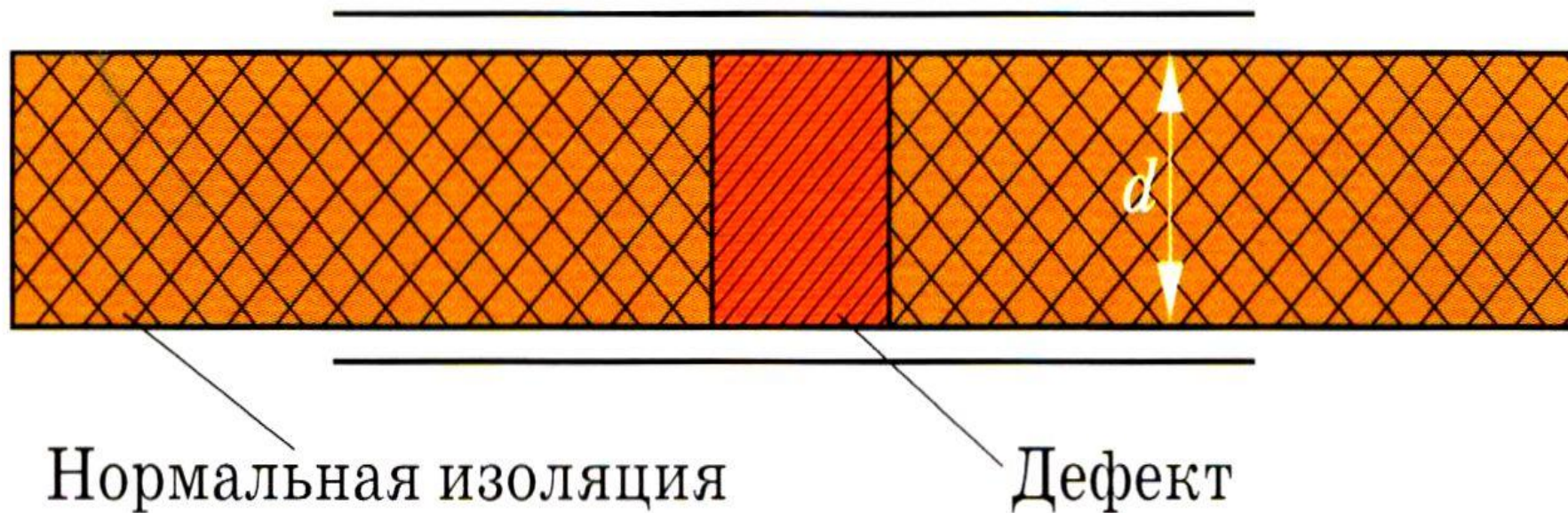
- На изоляцию воздействует прежде всего.
- **Для сетей до 35 кВ, работающих с изолированной или резонансно заземленной нейтралью, расчетным рабочим напряжением является **наибольшее рабочее линейное напряжение сети.****
- Для оборудования, предназначенного для работы в сетях с эффективно заземленной нейтралью, за расчетное рабочее напряжение принимают **наибольшее рабочее фазное напряжение сети.**

Различают четыре основных вида воздействия на изоляцию и четыре процесса старения ИЗОЛЯЦИИ:

- **электрические нагрузки**, связанные с возможной ионизацией при большой напряженности электрического поля - электрическое старение изоляции;
- **тепловые нагрузки**, приводящие к постепенному разложению или появлению трещин в изоляции - тепловое старение изоляции;
- **механические нагрузки**, связанные с возникновением и развитием трещин в твердой изоляции - механическое старение;
- **проникновение влаги из окружающей среды** - увлажнение изоляции.

Фактор	Изменение характеристик изоляции
Увлажнение	<p>Уменьшение сопротивления. Увеличение емкости</p> <p>Увеличение $\text{tg } \delta$</p> <p>Повышение температуры</p> <p>Повышение давления во вводах</p> <p>Снижение пробивного напряжения трансформ. масла</p> <p>Изменение химического состава</p> <p>Частичные разряды (ЧР)</p>
Загрязнение	<p>Уменьшение сопротивления. Увеличение $\text{tg } \delta$</p> <p>Повышение температуры</p> <p>Снижение пробивного напряжения трансформ. масла</p> <p>Изменение химического состава</p> <p>ЧР</p>
Перенапряжения	<p>Пробой изоляции или ЧР</p>
Перегрев	<p>Уменьшение сопротивления. Увеличение $\text{tg } \delta$</p> <p>Повышение давления во вводах</p> <p>Изменение химического состава</p> <p>ЧР</p>
Короткие замыкания	<p>Внешние воздействия на изоляцию</p>

Изоляция с дефектным участком



Дефекты изоляции

сосредоточенные

(трещины, газовые включения, эрозия, увлажнение небольшого объема изоляции)

распределенные

(охватывающие значительный объем или значительную поверхность изоляции).

Профилактические испытания изоляции

**Методы
неразрушающего
контроля**

**Методы
разрушающего
контроля**

Профилактические испытания изоляции электрооборудования производятся обычно после отключения рабочего напряжения.

В последнее время часто применяется контроль за состоянием изоляции без снятия рабочего напряжения под нагрузкой, что обеспечивает непрерывность контроля в процессе эксплуатации и бесперебойность электроснабжения потребителей.

Метод испытания изоляции	Дефекты изоляции		Возможность ошибочного измерения и истолкования результатов испытания	Общая характеристика метода
	выявляемые этим методом	не выявляемые этим методом		
Измерение сопротивления изоляции или тока сквозной проводимости (утечки)	Сквозные проводящие пути	Местные дефекты, не имеющие сквозных проводящих путей; старение изоляции в целом	Небольшая	Один из основных методов
Измерение угла диэлектрических потерь	Увлажнение, процессы, ионизации и старения изоляции в целом	Местные дефекты, единичные слабые места	Небольшая	Один из основных методов
Измерение емкости	Общее увлажнение изоляции	Местные дефекты	Небольшая	Применяется главным образом для контроля влажности трансформаторов и электрических машин
Выявление и измерение частичных разрядов	Процессы ионизации в воздушной полости в результате старения изоляции	Увлажнение	Небольшая	Дополнительный метод, получающий большее применение

Измерение распределения напряжения	Несквозные проводящие пути утечки, частичный пробой	Общее равномерное увлажнение	Имеется небольшая	Основной метод для составных изоляторов (гирлянд, колонок и т. д.)
Приложение повышенного переменного напряжения промышленной частоты	Местные дефекты при снижении электрической прочности	Местные и распределенные, не снизившие пробивное напряжение до уровня испытательного	Небольшая	Применяется для контроля минимального запаса электрической прочности
Приложение высокого постоянного (выпрямленного) напряжения	Местные дефекты при снижении электрической прочности	Местные и распределенные, не снизившие пробивное напряжение до уровня испытательного	Небольшая	Применяется для испытания объектов с большой емкостью (кабелей, конденсаторов, электрических машин)
Приложение импульсного напряжения заданной длительности	Местные дефекты при снижении электрической прочности	Местные не снизившие пробивное напряжение до уровня испытательного	Небольшая	Применяется для испытания объектов на воздействие импульсов перенапряжения

Основные методы неразрушающего контроля:

- Измерение сопротивления
- Измерение токов абсорбции
- Измерение емкости
- Измерение тангенса угла диэлектрических потерь
- Измерение величины и интенсивности частичных разрядов (ЧР)
- Измерение распределения напряжения

Методы разрушающего КОНТРОЛЯ

- Испытания повышенным напряжением промышленной частоты
- Испытания повышенным постоянным или выпрямленным напряжением
- Испытания импульсным напряжением заданной длительности

Методы неразрушающего контроля

**Методы неразрушающего контроля
проводятся при снятом или
пониженном напряжении
(постоянном или переменном) и не
приводят к повреждению изоляции.**

При профилактических испытаниях изоляции широко используются следующие установки и приборы:

1) установки высокого переменного напряжения промышленной частоты;

2) установки высокого постоянного (выпрямленного) напряжения с измерением токов утечки;

3) приборы измерения сопротивления изоляции;

4) мосты высокого напряжения переменного тока;

5) ваттметровые установки;

6) приборы для контроля влажности изоляции;

7) приборы для измерения частичных разрядов в изоляции;

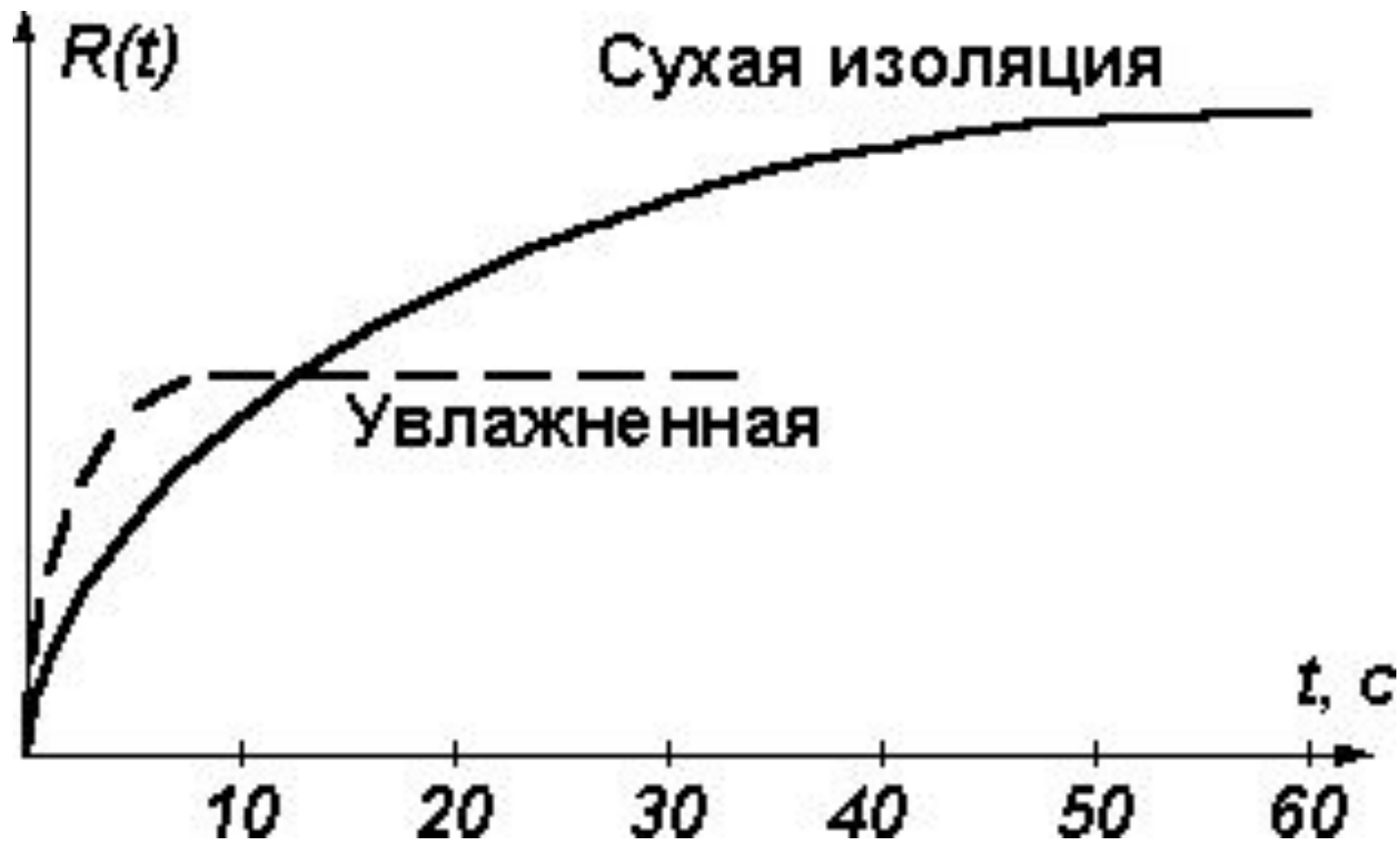
8) осциллографы;

9) ультразвуковые установки.

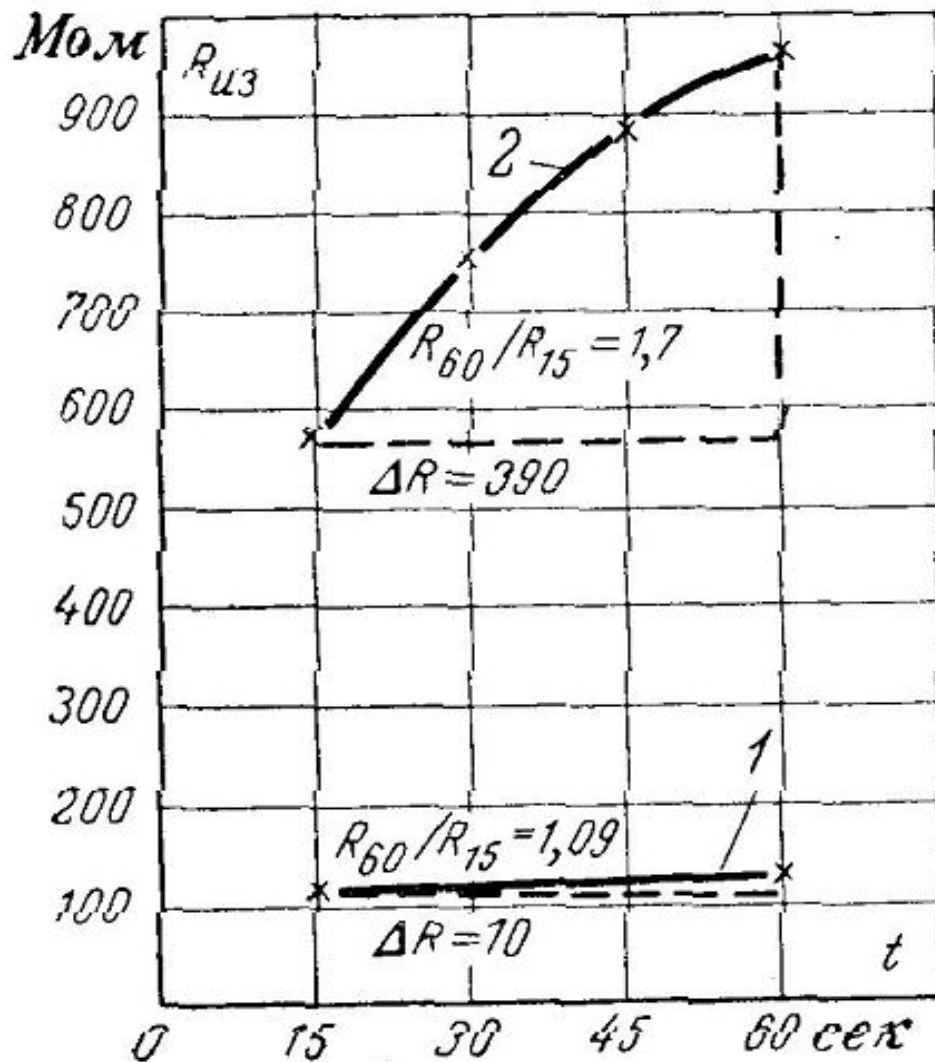
Измерение сопротивления ИЗОЛЯЦИИ

является одним из простейших, но эффективных методов контроля состояния изоляции, позволяющих фиксировать один из самых распространенных дефектов изоляции - ее увлажнение, приводящее к существенному нагреву при переменном напряжении из-за увеличения сквозной электропроводности диэлектрика и увеличения поляризационных потерь.

Измерение сопротивления изоляции позволяет контролировать как сплошное увлажнение изоляции, так и увлажнение только одного из слоев в слоистой изоляции.



Зависимость сопротивления от времени при сухой и увлажненной изоляции



Зависимость величины, сопротивления изоляции от времени.
 1- для увлажненной обмотки трансформатора; 2 — для обмотки трансформатора после сушки ее.

Коэффициент абсорбции

$$K_{\text{абс}} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

Если $K_{\text{абс}} < 1,3$, то изоляция недопустимо увлажнена и требуется ее сушка.

Коэффициент абсорбции обычно является показателем увлажнения изоляции при температурах ниже 35..40 °С. При более высокой температуре возрастает ток сквозной проводимости и коэффициент абсорбции и для сухой, и для влажной изоляции приближаются к единице.

Метод контроля изоляции путем измерения угла диэлектрических потерь

Позволяет выявить следующие дефекты изоляции:

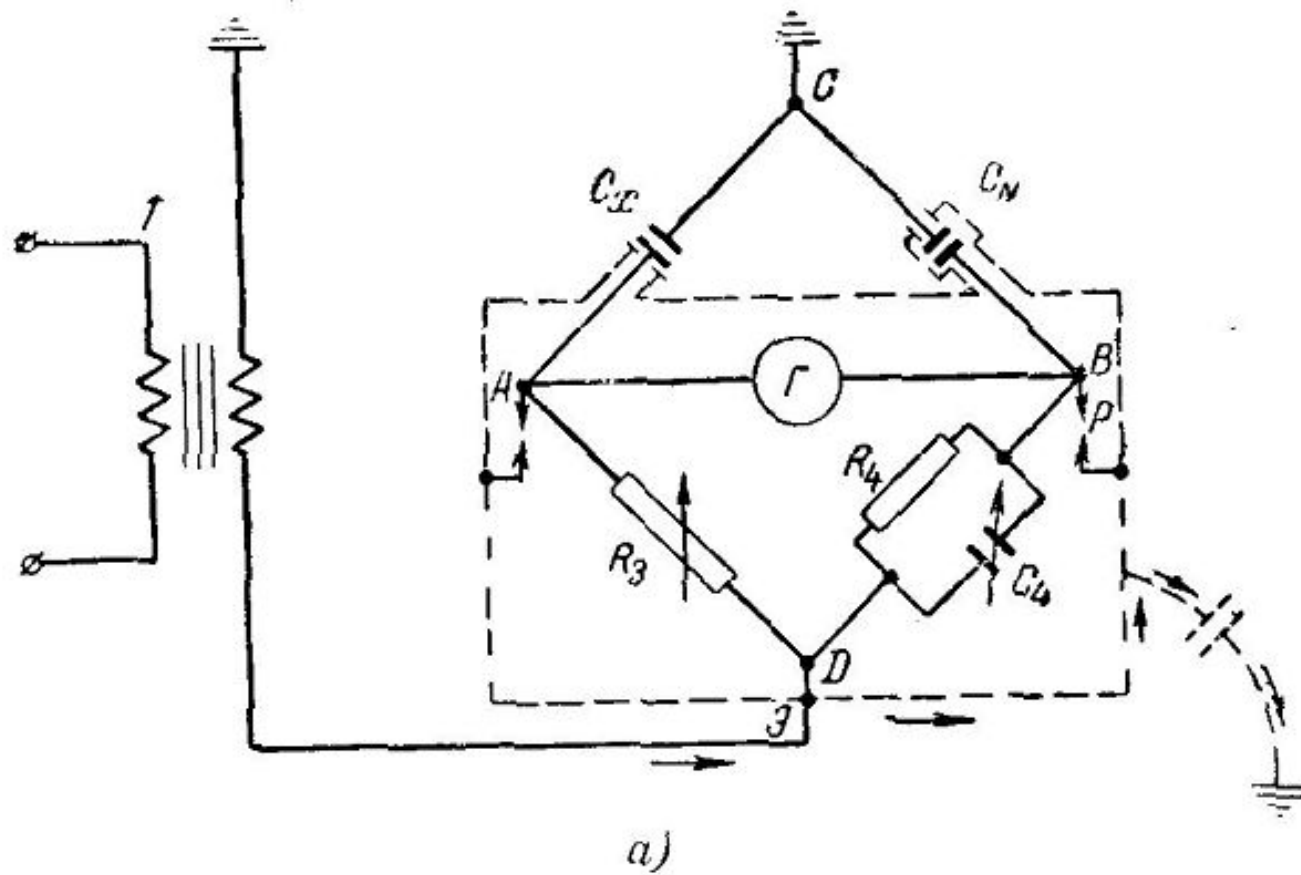
- увлажнение,
- воздушные (газовые) включения,
- неоднородность и загрязнение.

Измерение величины угла диэлектрических, а не величины самих диэлектрических потерь, имеет свои преимущества:

- а) величина $\operatorname{tg} \delta$ как характеристика материала изоляции не зависит от размеров объекта, но позволяет обнаруживать возникающие дефекты в изоляции, особенно если они распространены по всему объему;
- б) величина $\operatorname{tg} \delta$ может быть непосредственно

Величина $tg\delta$

- в объектах небольшой емкости (вводы, трансформаторы тока, тяги и др.) может характеризовать не только общее состояние изоляции, но и наличие развивающихся местных дефектов в ней.
- В объектах с большой емкостью (крупные генераторы, трансформаторы, кабели и т. п.) местные дефекты не изменяют значение $tg\delta$ и измерения дают среднее по объему изоляции значение угла потерь, характеризующее общее старение или увлажнение ее.



Принципиальная схема перевернутого моста.

Увлажнение изоляции выявляется при измерении зависимости $\text{tg } \delta$ от температуры изоляции.

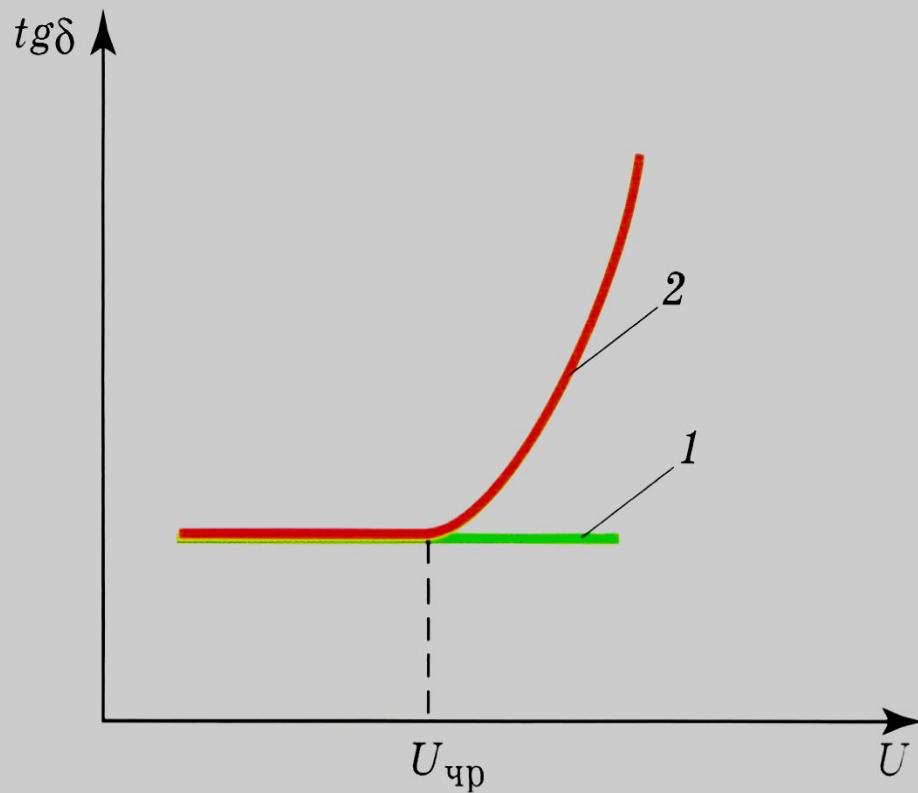
При повышении температуры изоляции $\text{tg } \delta$ возрастает, при этом $\text{tg } \delta$ сухой изоляции возрастает более круто, чем увлажненной.

Для сравнения результатов измерения значение $\text{tg } \delta$ приводят обычно к температуре 20° С. (Зона устойчивых измерений $\text{tg } \delta$ лежит в интервале температур + 10÷+40° С.)

Газовые включения в изоляции выявляются при измерении зависимости $\tan \delta$ от величины приложенного к изоляции напряжения.

Такая зависимость называется кривой ионизации. При наличии в изоляции газовых включений кривая $\tan \delta = f(U)$ имеет резкий излом при напряжении начала ионизации. Для нормальной работы электроустановки точка ионизации должна лежать значительно выше рабочего напряжения изоляционной конструкции.

Зависимость тангенса угла изоляции от напряжения



- 1 — нормальная изоляция;
2 — изоляция с дефектными включениями

ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Емкость изоляции при неизменной температуре и частоте является величиной постоянной. Поэтому скачкообразное изменение величины емкости указывает на наличие в изоляции дефектов — хорошо проводящих по объему посторонних включений, шунтирующих часть изоляции.

Для оценки посторонних включений в изоляции в виде увлажнения используется:

- зависимость емкости изоляции от частоты приложенного напряжения
- зависимость емкости от температуры.

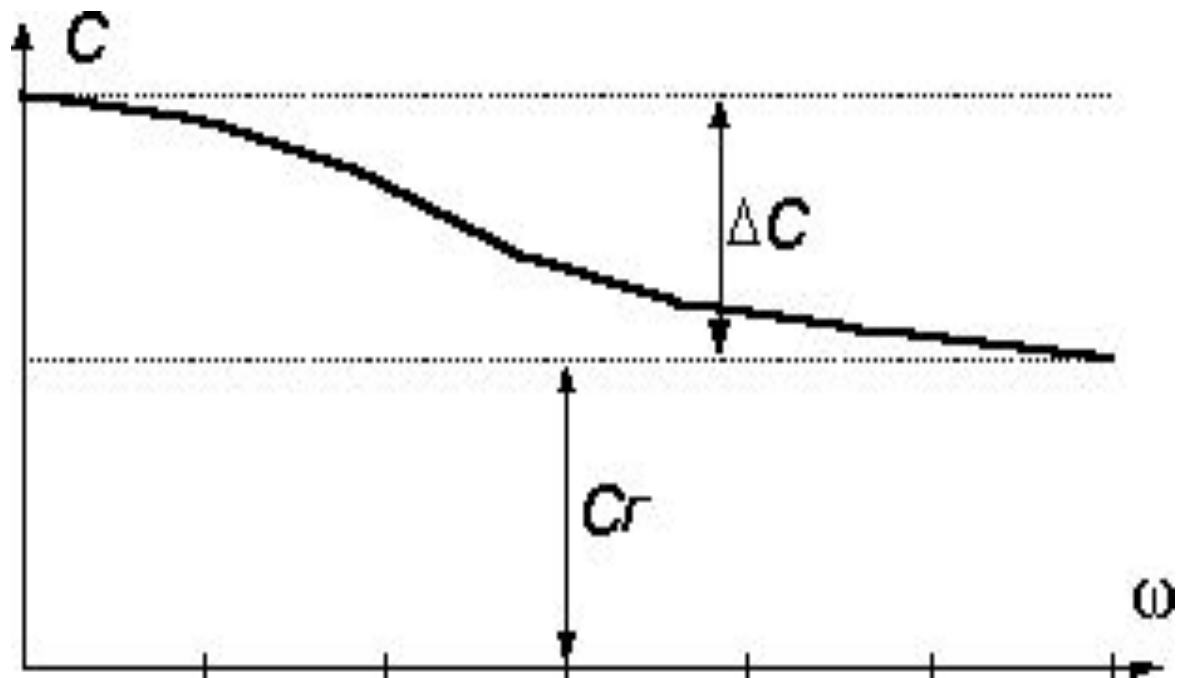
Зависимость емкости изоляции от частоты приложенного напряжения

Измерение емкости объекта на двух частотах f_1 и f_2 при температуре 10—20° С позволяет судить о степени увлажнения изоляции. Измерение емкости производят на частотах $f = 2$ Гц и $f = 50$ Гц, т. е. имеют соответственно значения емкостей C_2 и C_{50} . С уменьшением частоты емкость изоляции объекта возрастает и оказывается тем выше, чем больше содержится в изоляции посторонних включений.

О качестве изоляции судят по отношению C_2/C_{50} : чем это отношение меньше, тем изоляция лучше.

Для сухой изоляции величина емкости C_2 должна отличаться от C_{50} не более, чем в 1,2—1,3 раза, т. е.

$$\frac{C_2}{C_{50}} \leq 1,2—1,3.$$



**Зависимость емкости от частоты для
двухслойной изоляции**

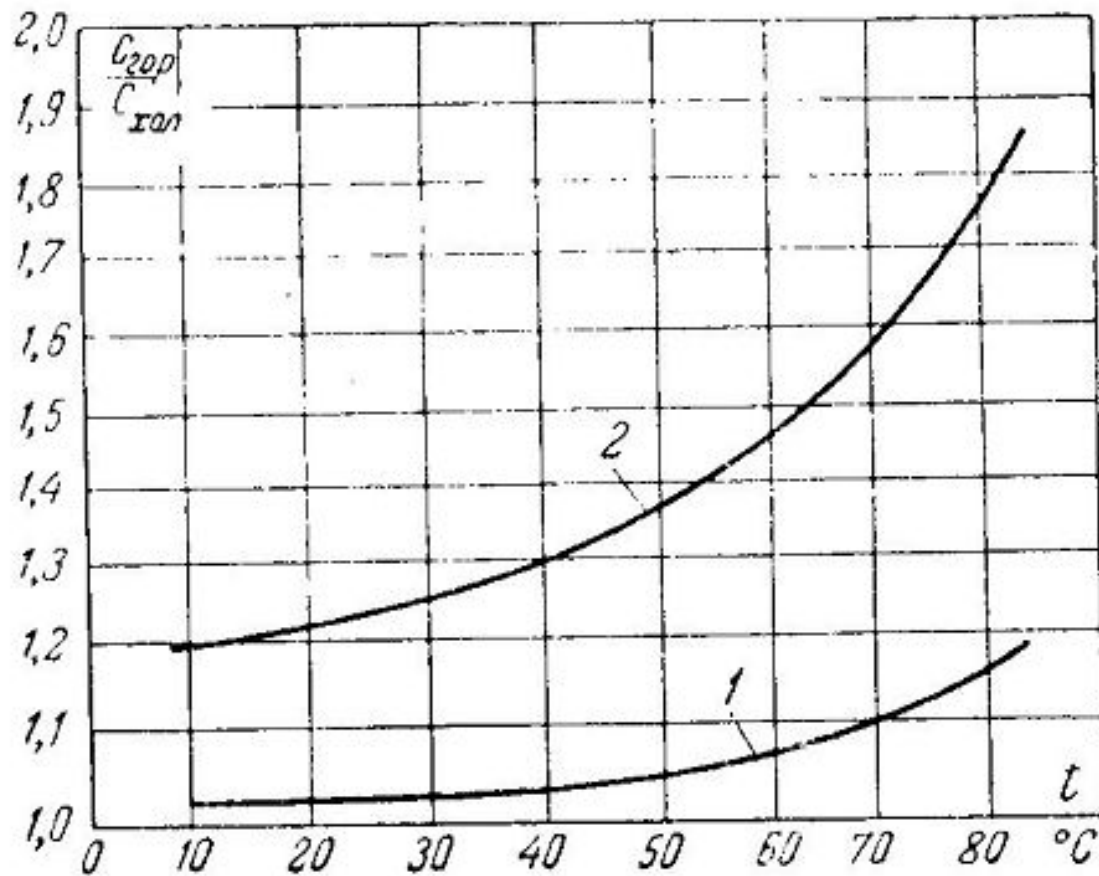
Степень увлажнения изоляции может быть также оценена по изменению емкости в зависимости от температуры.

Емкость сухой изоляции с ростом температуры изменяется мало.

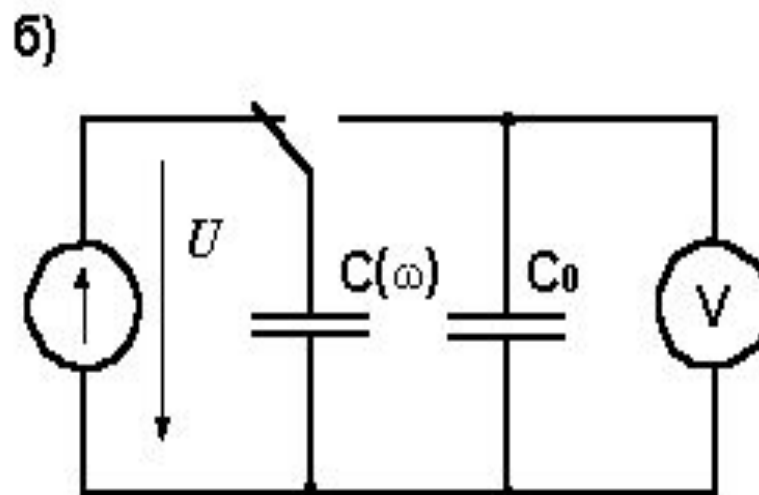
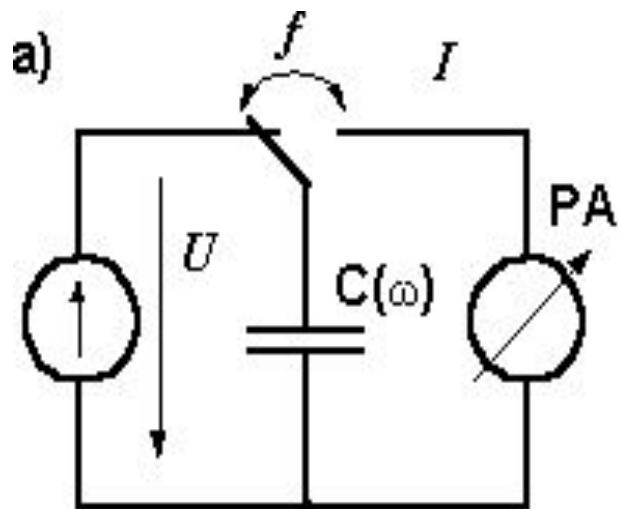
Емкость увлажненной изоляции с повышением температуры значительно возрастает.

Если измерить емкость изоляции в холодном

$C_{\text{хол}}$ и нагретом $C_{\text{гор}}$ состояниях, то разница емкостей $C_{\text{гор}} - C_{\text{хол}}$ в интервале температур $10-80^{\circ}\text{C}$ для сухой изоляции не превышает 20%, а для увлажненной изоляции эта разница резко возрастает, особенно в



**Кривые зависимости емкости изоляции от температуры.
 1 — сухая изоляция; 2 — влажная изоляция**



Принципиальное устройство приборов емкостного контроля увлажнения

Переключатель в схеме а периодически подключает испытуемую изоляцию к источнику постоянного напряжения, заряжая емкость изоляции, а затем - к цепи с гальванометром PA , через который емкость изоляции разряжается. (По такому принципу работают приборы контроля влажности серии ПКВ).

Измерение интенсивности частичных разрядов в изоляции

Если в изоляции имеются дефекты в виде воздушных целостей (каверн), то при приложении к изоляции повышенного напряжения в этих полостях возникают внутренние разряды.

Эти разряды называются частичными, так как образование сквозной искры ограничивается твердым диэлектриком, окружающим воздушную полость.

В этом случае полный пробой изоляции может и не произойти, так как оставшаяся часть изоляции выдерживает рабочее (а иногда и испытательное) напряжение.

В ряде случаев ЧР возникают в изоляции при рабочем напряжении. Под их действием происходит постепенное разрушение микрообъемов изоляции, размеры газового включения растут в направлении электрического поля, и этот процесс завершается пробоем изоляции. Мощные ЧР вызывают в изоляции образование проводящего канала и снижают механическую прочность твердой изоляции. Поэтому интенсивные ЧР при рабочем напряжении не допустимы.

Закономерности развития частичных разрядов в твердой изоляции с газовым пузырем можно проиллюстрировать схемой замещения:

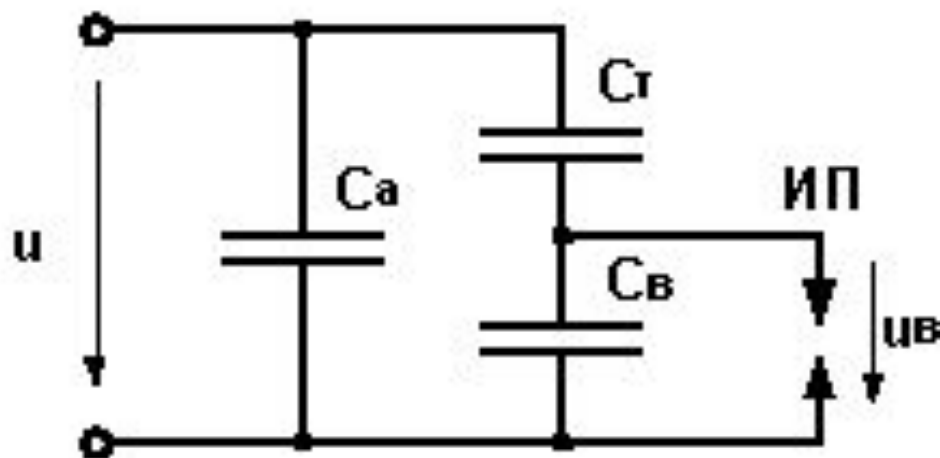
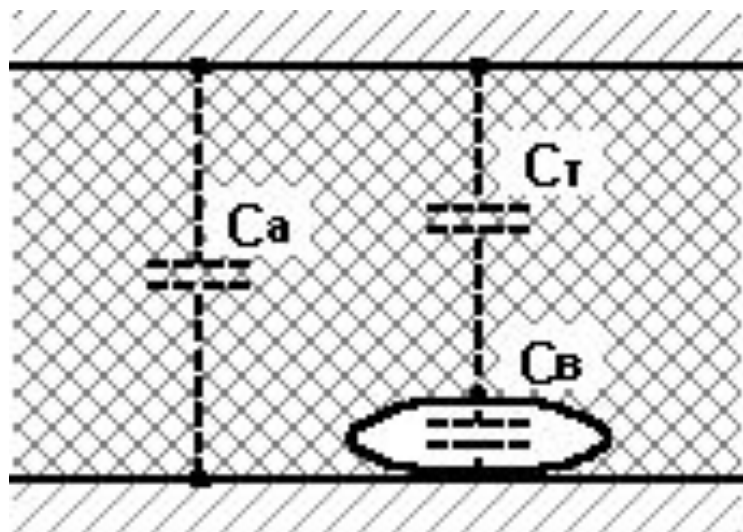
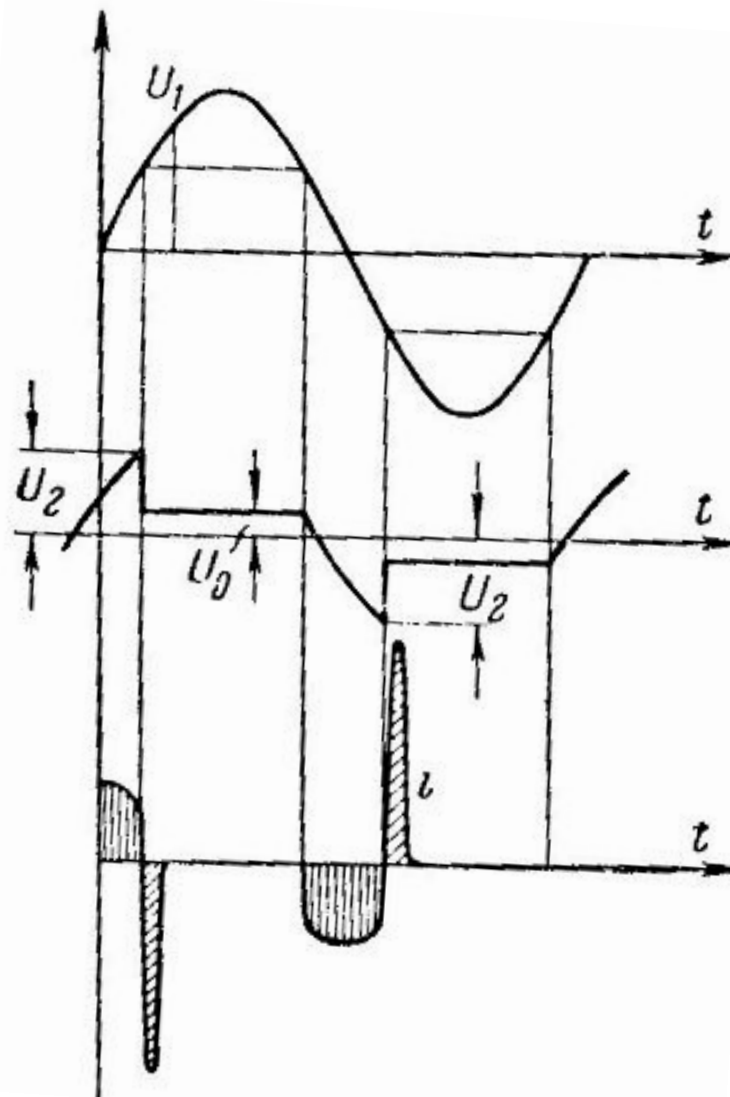


Схема развития частичных разрядов в газовом включении

$C_{\text{в}}$ - емкость газового включения, C_{Γ} - емкость части изоляции, включенной последовательно с газовым включением, C_a - емкость оставшегося массива изоляции



Напряжение и ток во внутренней полости изоляции при частичных разрядах.

U_1 — напряжение зажигания разряда в первом полупериоде; U_2 — напряжение зажигания в последующие полупериоды; U_0 — остаточное напряжение на полости; i — бросок тока

За меру интенсивности
единичного ЧР принимают так
называемый кажущийся заряд :

$$q = \Delta U \cdot Cx$$

**интенсивность многократных
частичных разрядов определяется
средним током частичных разрядов:**

$$I_{\text{ЧР}} = n_f \cdot q$$

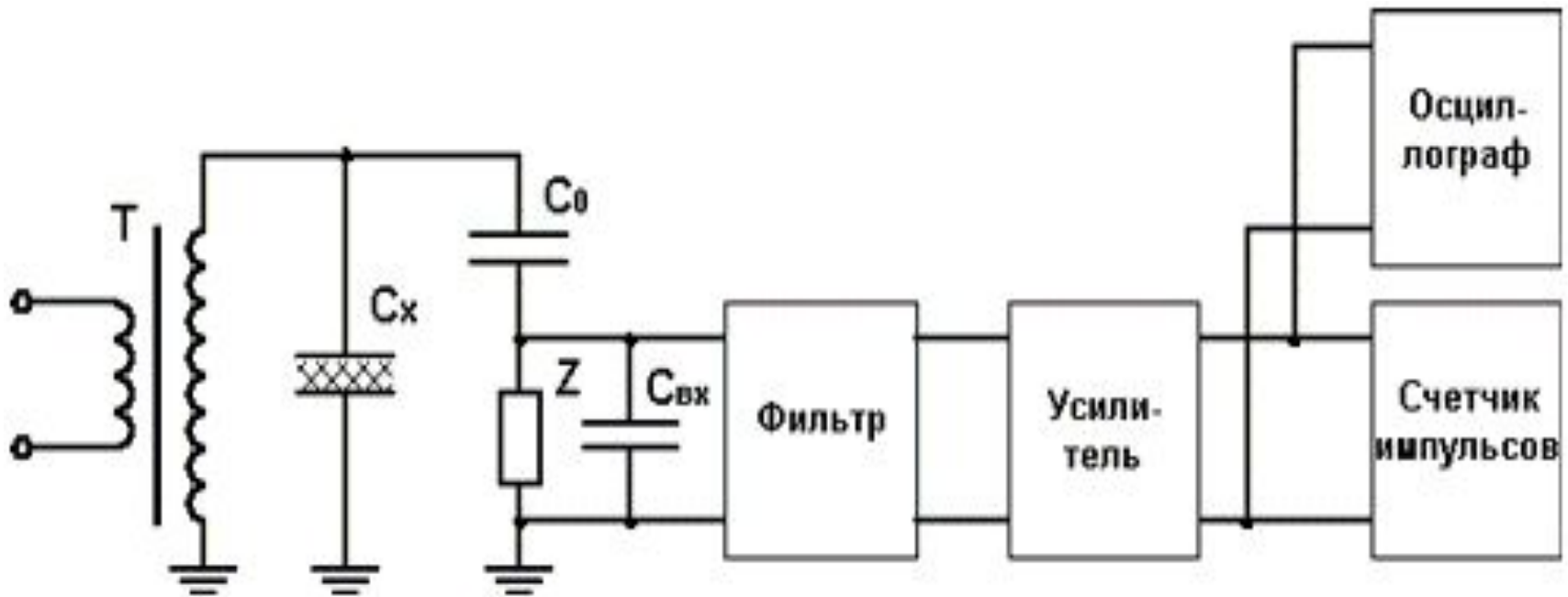


Схема установки контроля частичных разрядов

Опытным путем установлено, что при Q равном:

$10^{-16} \dots 10^{-14}$ Кл - происходит относительно медленное старение изоляции (*начальные ЧР*).

$10^{-9} \dots 10^{-6}$ Кл - изоляция разрушается за короткое время и такие частичные разряды недопустимы (*критические ЧР*).

Испытания изоляции **повышенным напряжением**

Критерий:

**отсутствие на испытуемом
объекте недопустимого
повреждения изоляции.**

Испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Основные методики:

- 1.одноминутное приложение испытательного напряжения;**
- 2.определение среднего разрядного напряжения (испытания для самовосстанавливающейся изоляции);**
- 3.приложение нормированного испытательного напряжения при плавном его подъеме.**

- **Одноминутное приложение испытательного напряжения – наиболее часто применяемая методика.**
- **Электрическая изоляция любого узла (агрегата и т.д.) должна выбираться такой, чтобы она нормально выдерживала испытательное напряжение в течение одной минуты переменного тока частотой 50 Гц.**

Испытательные напряжения для изоляции низковольтного оборудования

Номинальное напряжение электроустановки В	Номинальное напряжение для изоляции, В	Испытательное напряжение (действующее значение), кВ
12,24	до 24	0,5
36, 48, 60	до 60	1,0
110, 127, 220	до 220	1,5
380, 440, 500	до 500	2,0
600, 660	до 660	2,5
750	до 750	3,0

Аппарат испытательный диодный АИД-70/50

**Аппарат испытательный диодный
АИД-70/50 служит для испытания
изоляции силовых кабелей и твердых
диэлектриков выпрямленным
электрическим напряжением, а также для
испытания твердых диэлектриков
синусоидальным электрическим
напряжением частотой 50 Гц.**



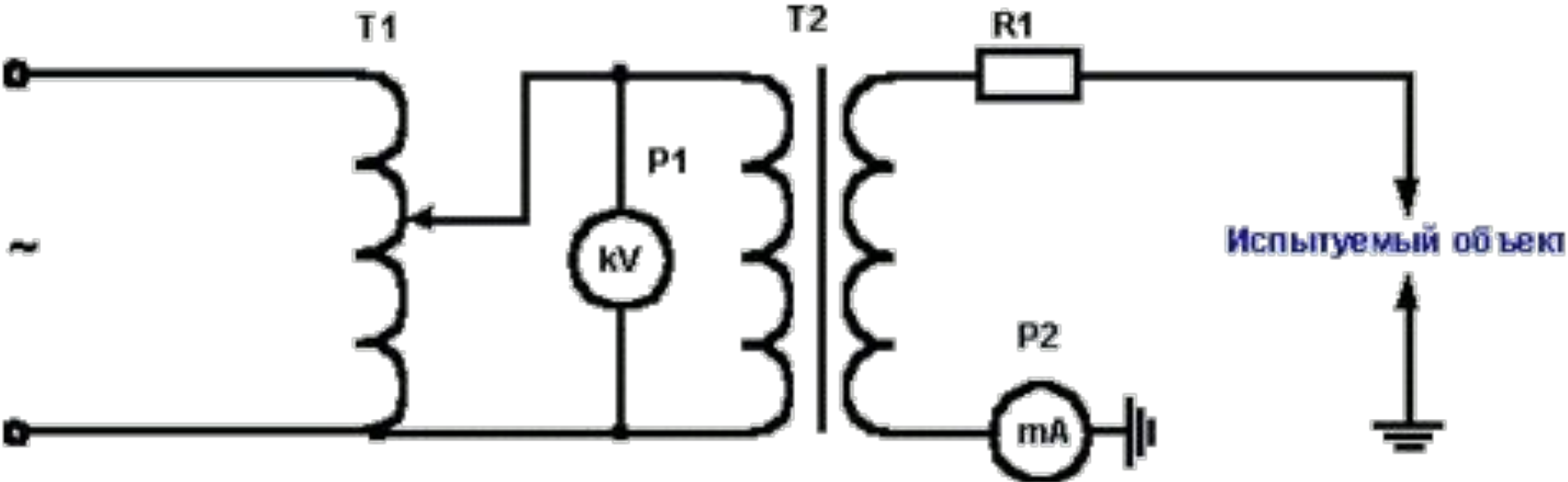
Аппарат испытательный диодный АИД-70/50



Аппарат испытательный диодный Скат-70

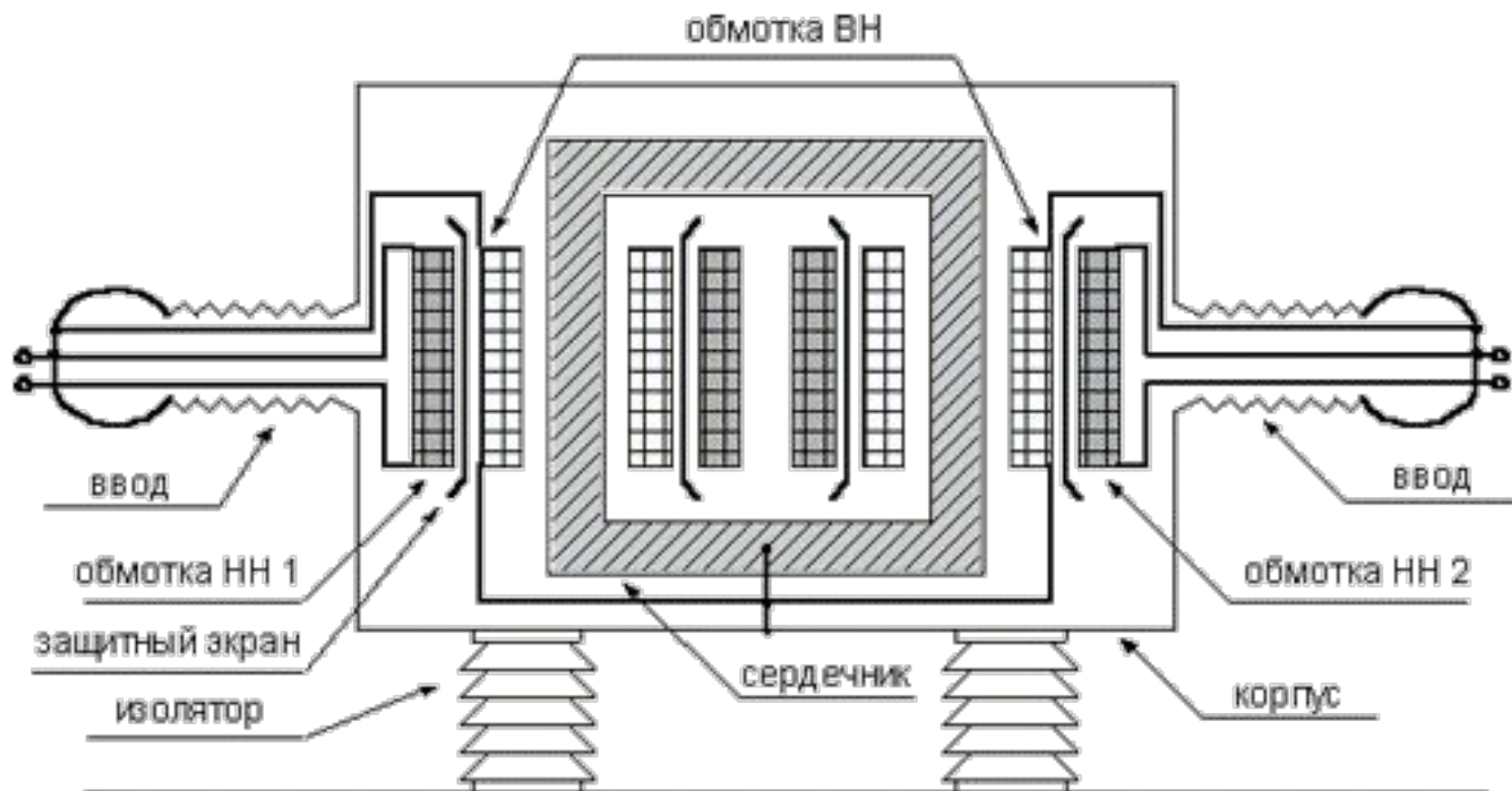
(замена АИД-70, АИП-70, УКД-70, АИИ-70 для испытания изоляции силовых кабелей выпрямленным напряжением 70 кВ и для испытания твердых диэлектриков синусоидальным напряжением 50 кВ).

Упрощенная схема испытательной установки переменного напряжения



Испытательные установки высокого переменного напряжения

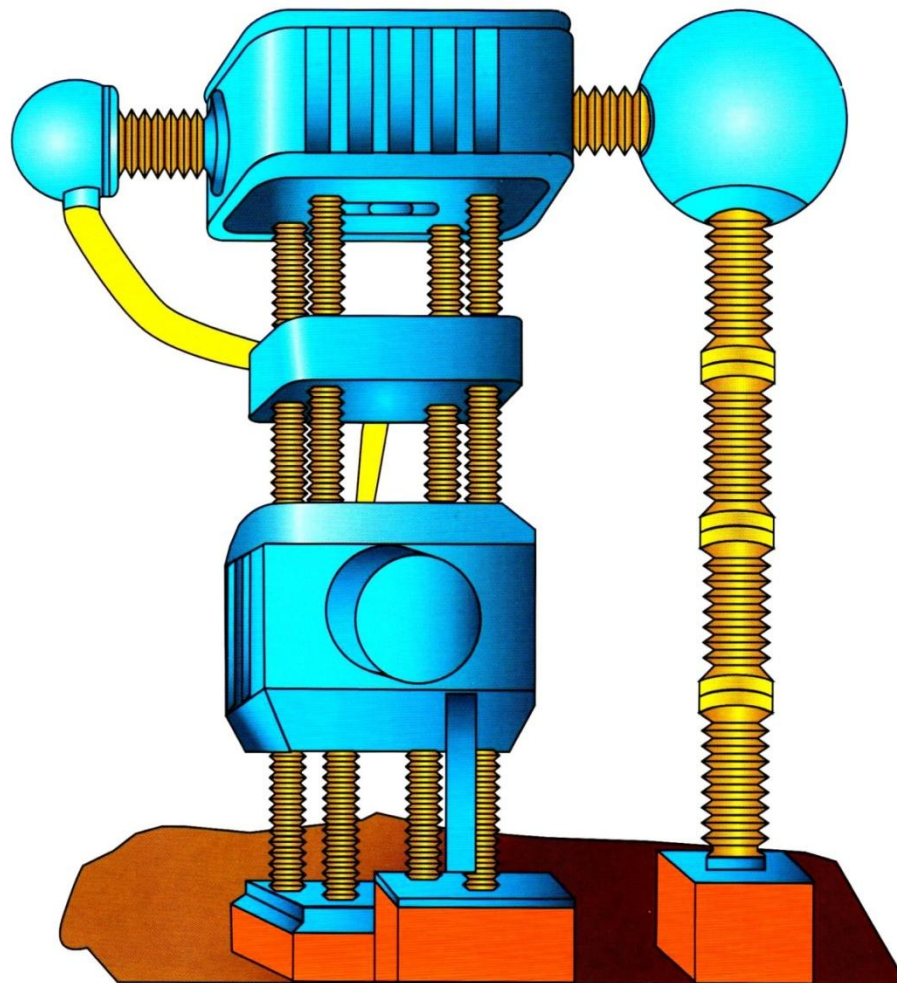
- Испытательные установки высокого переменного напряжения предназначены для получения высокого регулируемого переменного напряжения, с помощью которого испытывают изоляцию повышенным напряжением.
- Основным узлом установки является испытательный трансформатор, отличающийся от силового трансформатора аналогичного класса напряжения малой мощностью, ограниченным временем включения, малым запасом электрической прочности изоляции.
- Испытательные трансформаторы имеют большой коэффициент трансформации и значительную индуктивность рассеяния. Испытательные трансформаторы большей частью являются однофазными и выполняются в трех модификациях: в изолирующем корпусе, в металлическом корпусе с одним вводом и в металлическом корпусе с двумя вводами.



Испытательный трансформатор с двумя вводами

Каскадные испытательные трансформаторы

Двухступенчатый каскад
на открытой площадке Истринского отделения ВЭИ



Производство фирмы «Тур»

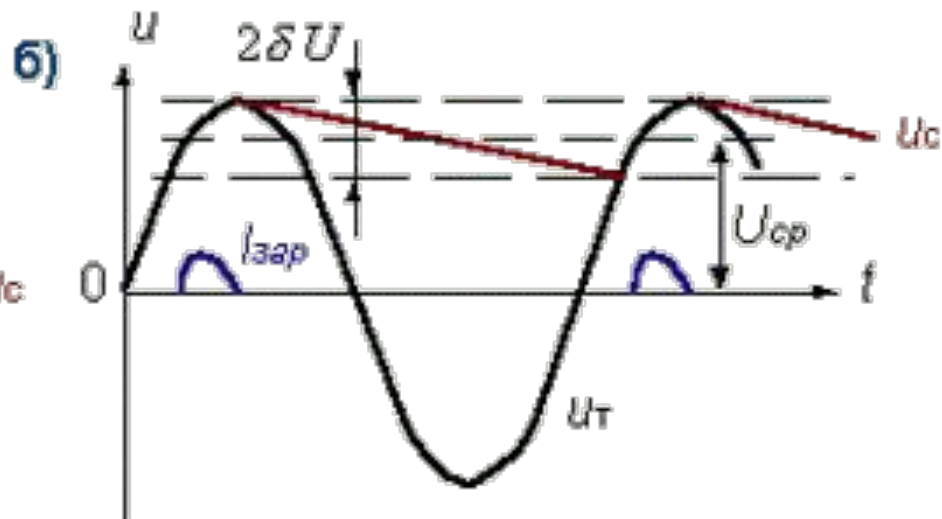
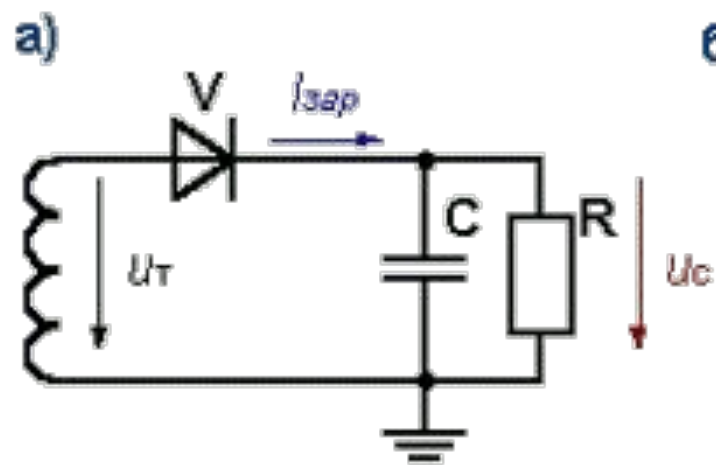
$U_H = 1,2 \text{ МВ}; I_H = 2 \text{ А}$

Испытательные установки высокого постоянного напряжения

- Для получения высокого постоянного напряжения используют выпрямительные установки и электростатические генераторы. (Последние позволяют получать наиболее высокие напряжения - вплоть до 30 МВ - но при малых токах, не более 1 мА).
- При испытаниях изоляции применяют в основном выпрямительные установки.
- Выпрямительные установки могут быть поделены на две группы:
 1. установки однополупериодного выпрямления,
 2. установки, построенные по схемам умножения напряжения.

В однополупериодных выпрямителях

высокое переменное напряжение преобразуется в высокое постоянное напряжение с помощью выпрямителя и сглаживающего устройства.



Однополупериодный выпрямитель

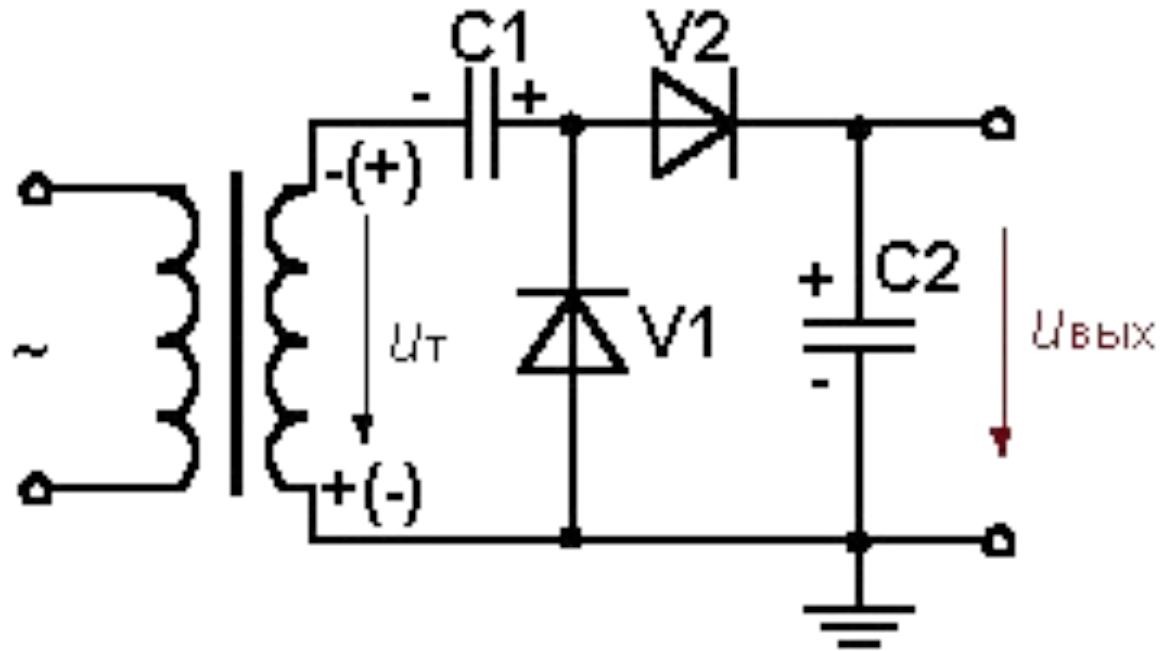


Схема выпрямителя с удвоением напряжения

В этой схеме обратное напряжение на каждом из диодов равно удвоенной амплитуде напряжения трансформатора.

ГИНЫ и ГИТЫ

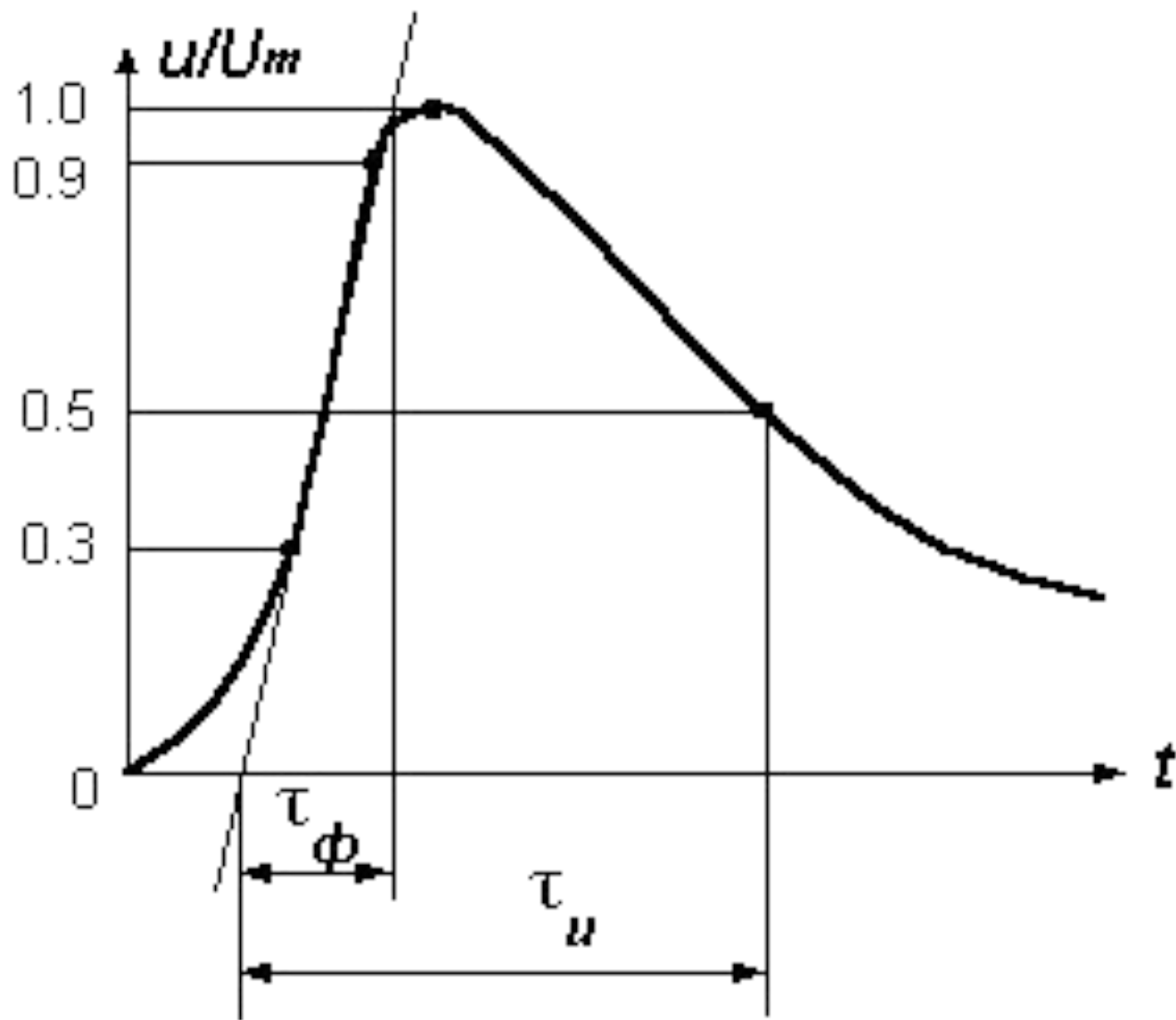
Применяются для создания импульсов
определенной длительности

«ГИН»:

напряжение 1 кВ –десятки МВ,
ток 1А — единицы кА;

«ГИТ»:

напряжение 1 кВ –200кВ,
ток 10кА –десятки МА.



Стандартный грозовой импульс

Генераторы коммутационных импульсов

- При коммутациях высоковольтных цепей возникают импульсы перенапряжений, имеющие время нарастания до 1000 микросекунд и длительность до полуспада порядка нескольких миллисекунд.
- Для испытаний устойчивости изоляции к таким перенапряжениям используются **генераторы коммутационных импульсов**, построенные по разнообразным схемам.

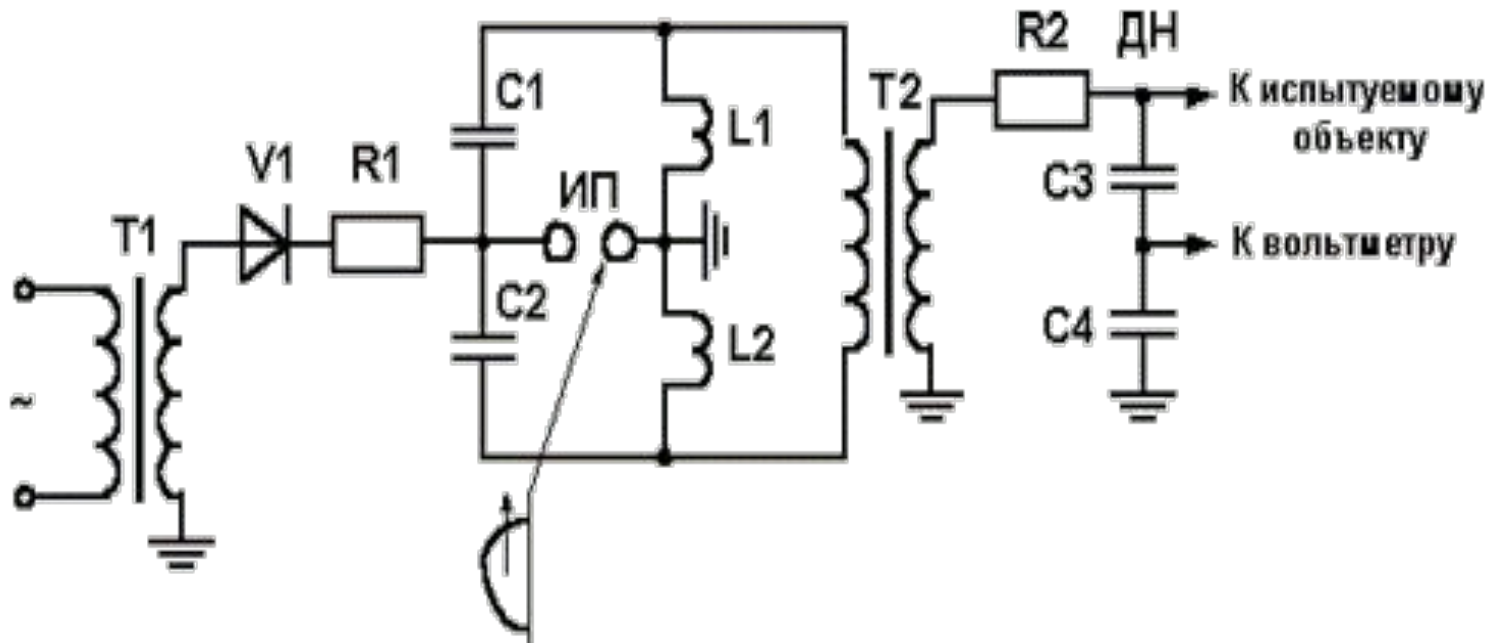
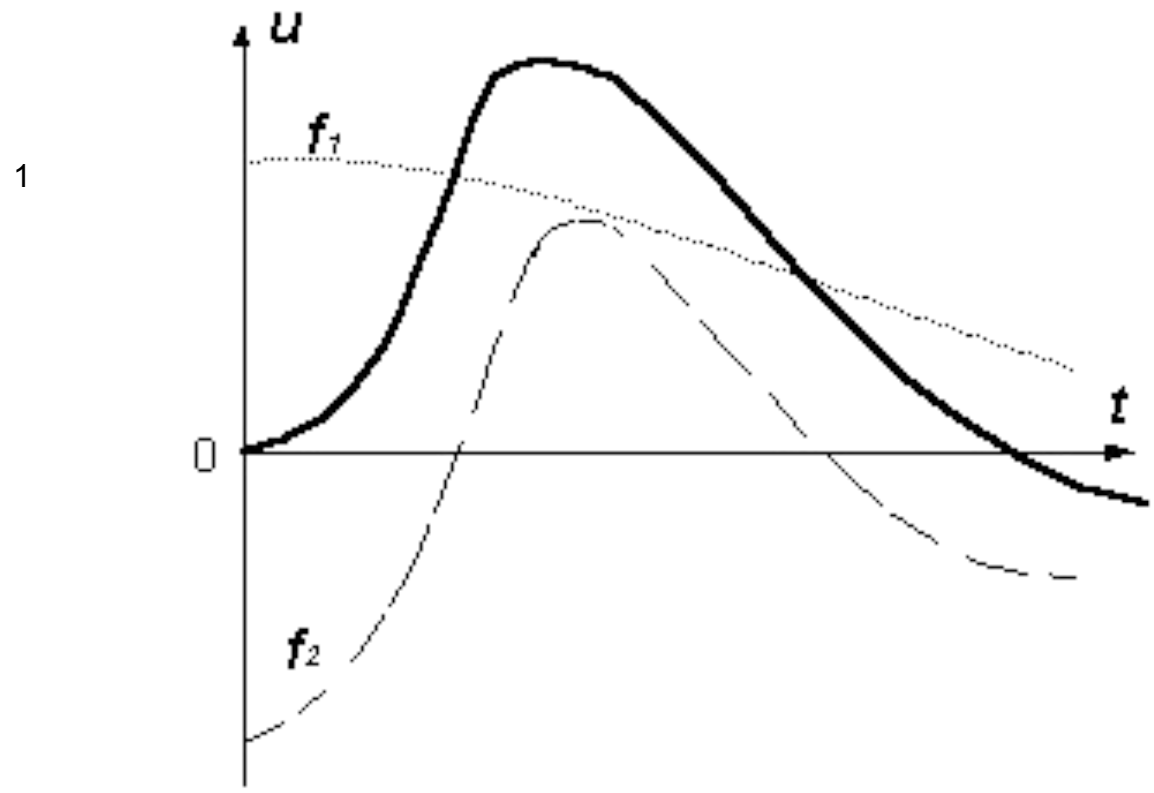


Схема генератора коммутационных импульсов

Конденсаторы $C1$ и $C2$ этой схемы заряжаются от высоковольтного выпрямителя $V1$. Запуск производится путем подачи поджигающего импульса напряжения на искровой промежуток ИП. После пробоя этого промежутка в двух отдельных контурах $L1$ $C1$ и $L2$ $C2$ начинаются затухающие колебания. Частоты контуров выбраны таким образом, чтобы $f_2 = (3..5)f_1$. Импульсный трансформатор $T2$ дополнительно увеличивает напряжение, причем на его вторичной обмотке создается разность напряжений двух контуров.

±
±
±
±
±



Форма выходного импульса генератора коммутационных импульсов

Испытания коммутационными импульсами проводятся аналогично испытаниям грозовыми импульсами. Стандартными коммутационными импульсами по ГОСТ 1516.2-97 являются апериодический импульс длительностью $2.5 + 0.5$ мс с фронтом $250 + 50$ мкс и колебательный импульс длительностью $7.5 + 2.5$ мс с фронтом $4.0 + 1.0$ мс.

Генераторы импульсных напряжений (ГИН)

Стандартный грозовой импульс в емкостном ГИН *получают* путем разряда высоковольтного конденсатора на резистор, а сравнительно пологий фронт в 1.2 мкс формируют за счет заряжения вспомогательного конденсатора C2.

Минимальное количество элементов ГИН без учета зарядного устройства и коммутатора составляет четыре .

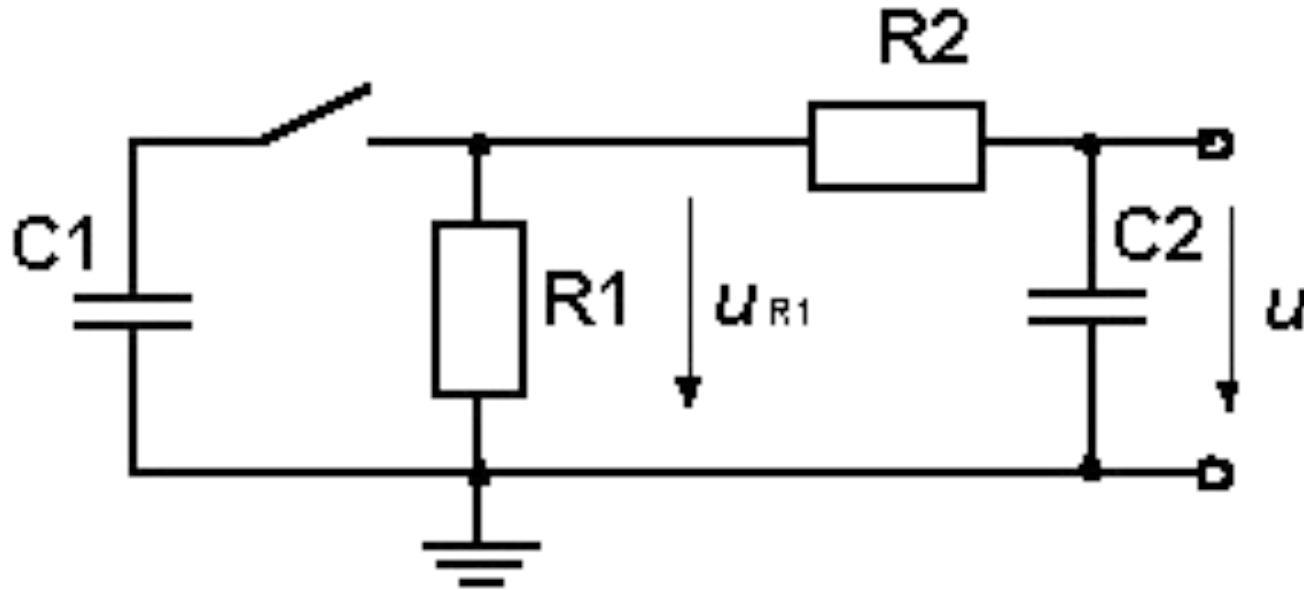


Схема одноступенчатого ГИН

(Такие схемы ГИН применяют при напряжениях менее 100 кВ).

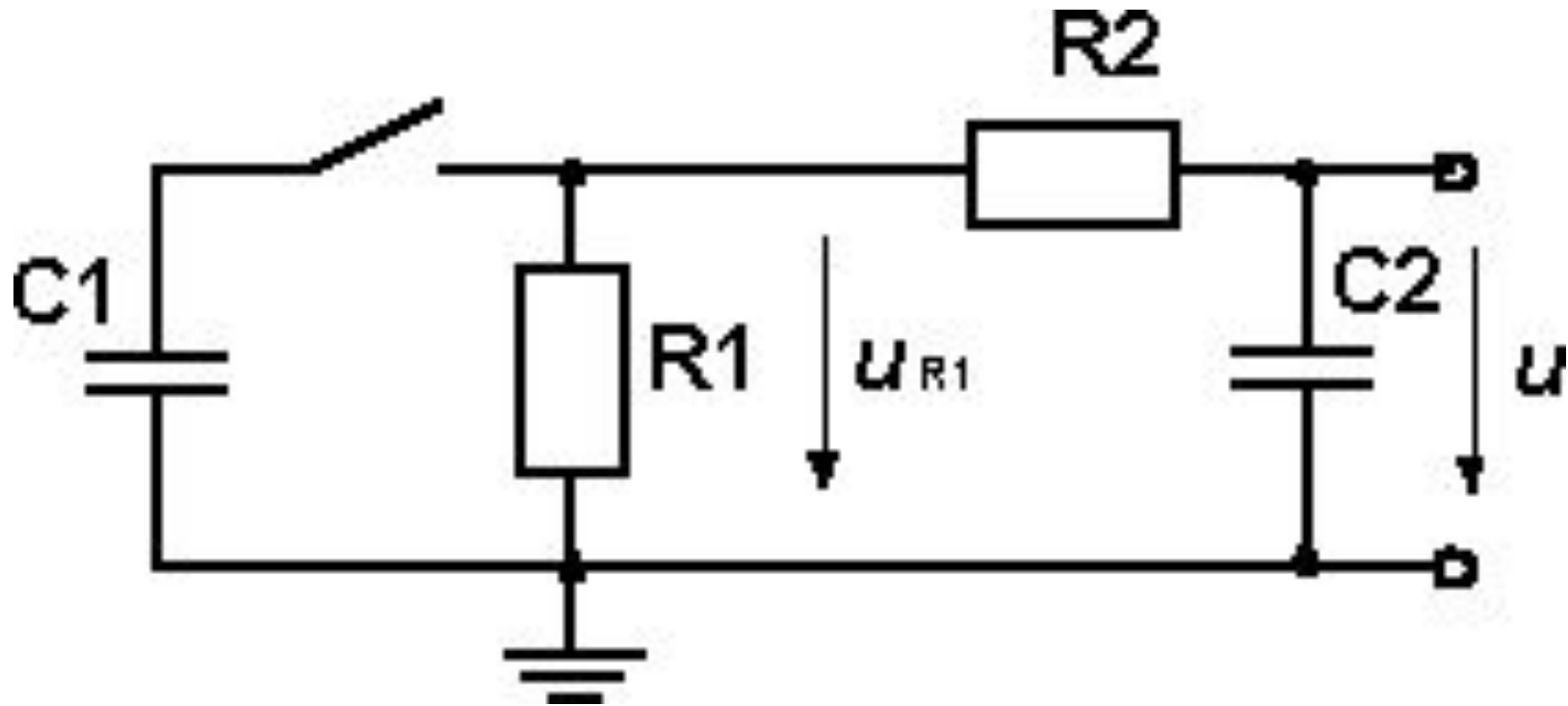


Схема одноступенчатого ГИНа

Схема одноступенчатого ГИНа содержит основной предварительно заряженный конденсатор C1, основной разрядный резистор R1 и элемента формирования фронта C2 и R2. Для формирования стандартного грозового импульса требуется, чтобы постоянная времени разряда основного конденсатора $\tau_1 = C1 \cdot R1$ была много больше постоянной времени заряжения конденсатора фронта $\tau_2 = C2 \cdot R2$.

Время заряда ($t_{\text{зар}}$)

может составлять от 1с до 1мин. (
в зависимости от уровня
напряжения)

Время разряда ($t_{\text{разр}}$):

$$t_{\text{разр.}} = 10^{-6} t_{\text{зар.}}$$

Защитное и зарядное сопротивления

Защитное и зарядное сопротивления определяют время и величину тока при заряде емкостей.

Защитное сопротивление устраняет возникновение переходного процесса при заряде.

По величине защитное сопротивление значительно больше, чем зарядное сопротивление.

Получение импульсов высокого напряжения с использованием сравнительно низковольтных зарядных устройств и конденсаторов возможно при использовании многоступенчатых (каскадных) схем ГИИ.

В многоступенчатой схеме несколько конденсаторов заряжаются от зарядного устройства параллельно, а при разряде переключаются в последовательное соединение со сложением напряжений на них. Переключение обычно производится с помощью искровых промежутков.

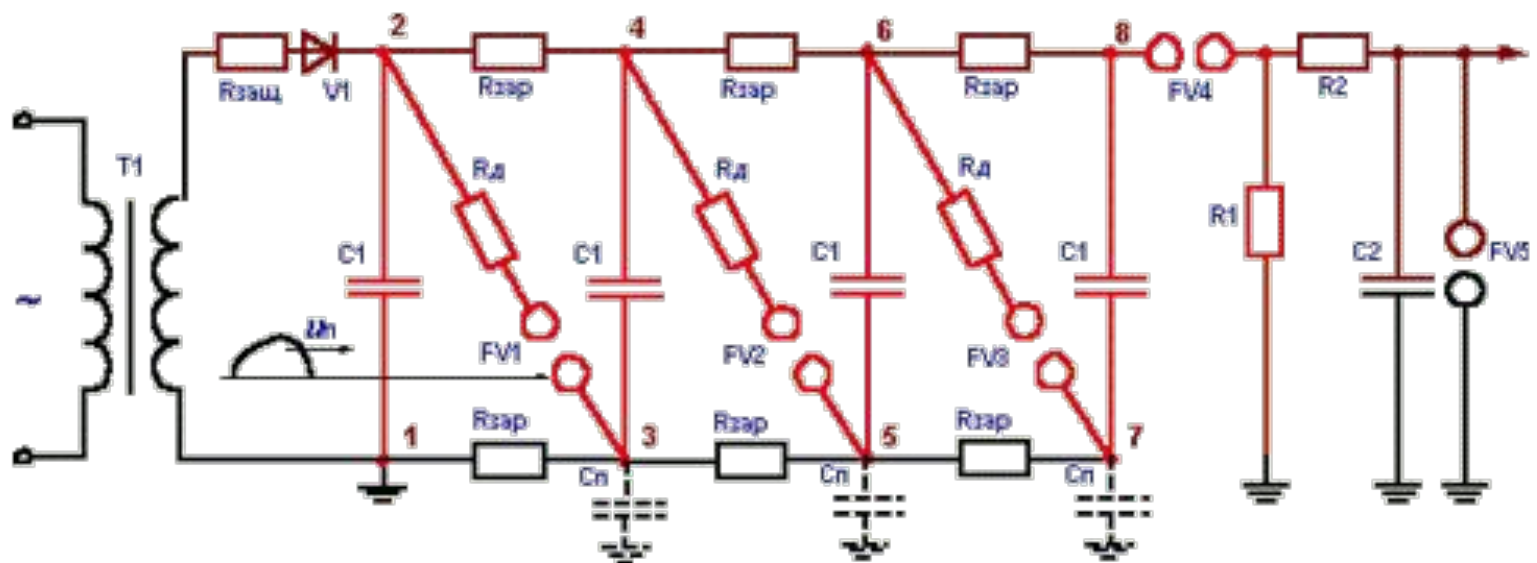
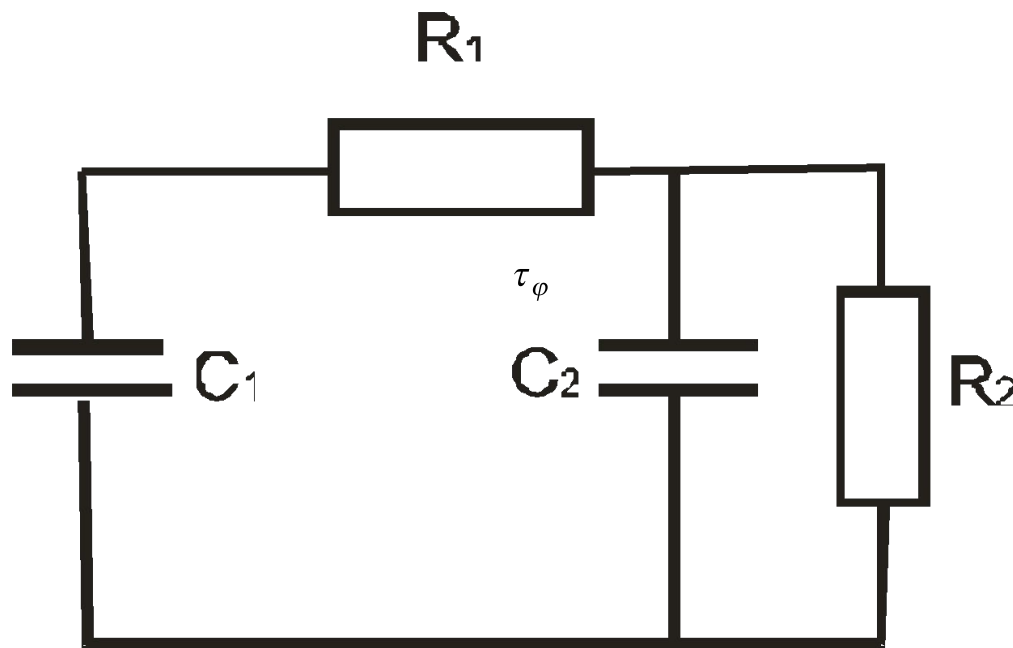


Схема четырехступенчатого
ГИН

Длительность фронта волны в ГИНе определяется параметрами схемы замещения:

где C_1 – емкость ГИН, R_1 – зарядное сопротивление ГИН, R_2 – разрядное сопротивление ГИН, C_2 – емкость объекта (разрядная емкость)



$$\tau_\Phi = 3,25 R_1 C_2$$

Измерения в установках высокого напряжения

В установках ВН для измерений амплитудных, действующих, импульсных напряжений чаще всего применяются следующие измерительные устройства :

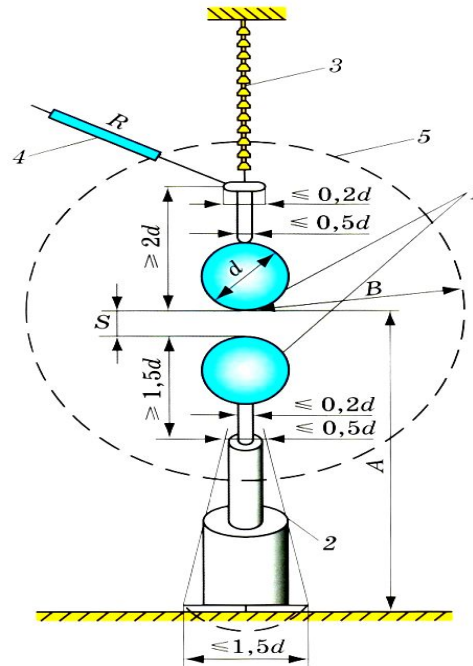
- Высоковольтные вольтметры (электростатические вольтметры высокого напряжения, диодные пиковые вольтметры, генерирующие вольтметры);**
- Вольтметры НН с делителями или трансформаторами напряжения;**
- Измерительные шаровые разрядники;**
- Клидонографы и регистраторы перенапряжений;**
- Делители напряжения (емкостные, омические, смешанные) и шунты;**
- Электронные осциллографы с различными делителями и трансформаторами напряжения.**

Измерение высоких постоянных напряжений:

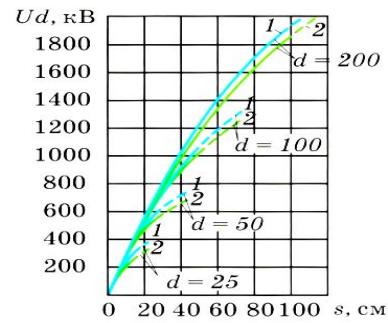
- *Измерительный шаровой разрядник*
- *Электростатические вольтметры*
- *Измерение с помощью магнитоэлектрического измерительного механизма*

Шаровой измерительный разрядник

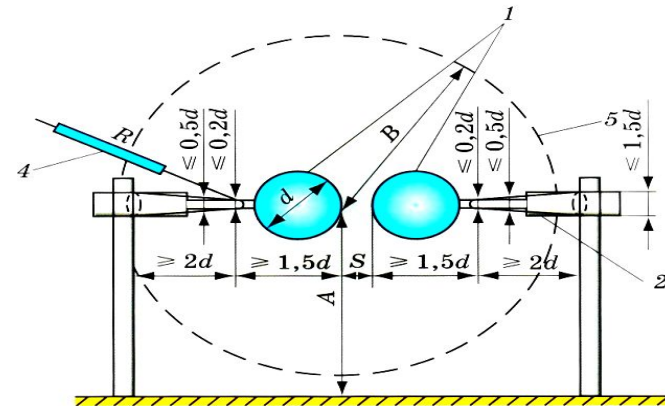
с вертикальным расположением электродов



- 1 — шары;
- 2 — держатель шара;
- 3 — изолятор;
- 4 — ввод высокого напряжения через демпферное сопротивление;



с горизонтальным расположением электродов



- 5 — сферическое пространство, в пределах которого не должно находиться никаких металлических предметов, за исключением ввода высокого напряжения

Зависимость разрядных напряжений U_d шарового разрядника с одним заземленным шаром от расстояния между шарами s при различных диаметрах шаров d , при температуре воздуха 20°C , давлении $101,3\text{ кПа}$:

- 1 — импульсное напряжение положительной полярности;
- 2 — переменное, постоянное и импульсное напряжение отрицательной полярности

Измерение высокого постоянного напряжения с помощью магнитоэлектрического измерительного механизма

- Измерение высокого постоянного напряжения проще всего проводить с помощью ***магнитоэлектрического измерительного механизма***, включенного последовательно с высоковольтным ***добавочным резистором*** с большим сопротивлением.
- Магнитоэлектрический механизм обладает высокой чувствительностью среди измерительных механизмов электромагнитного плана, что позволяет ограничиться очень небольшими токами в измерительной цепи.

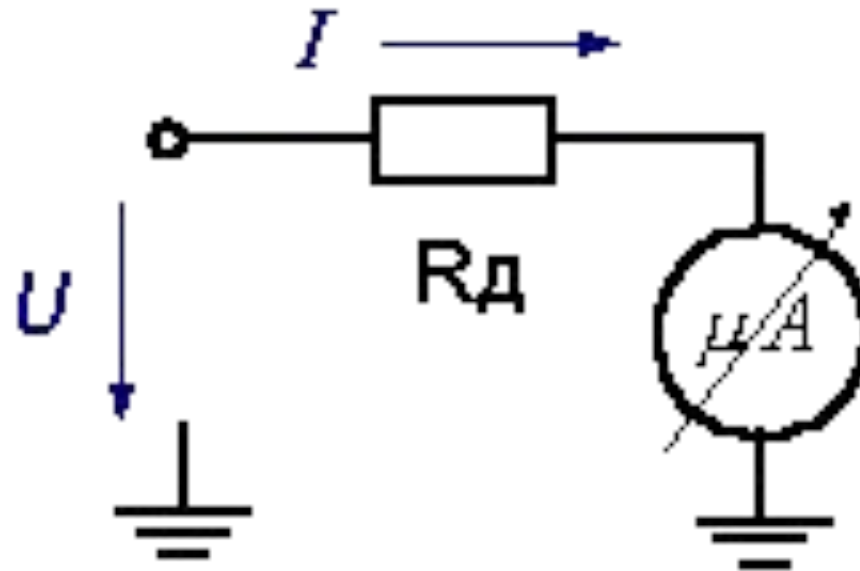


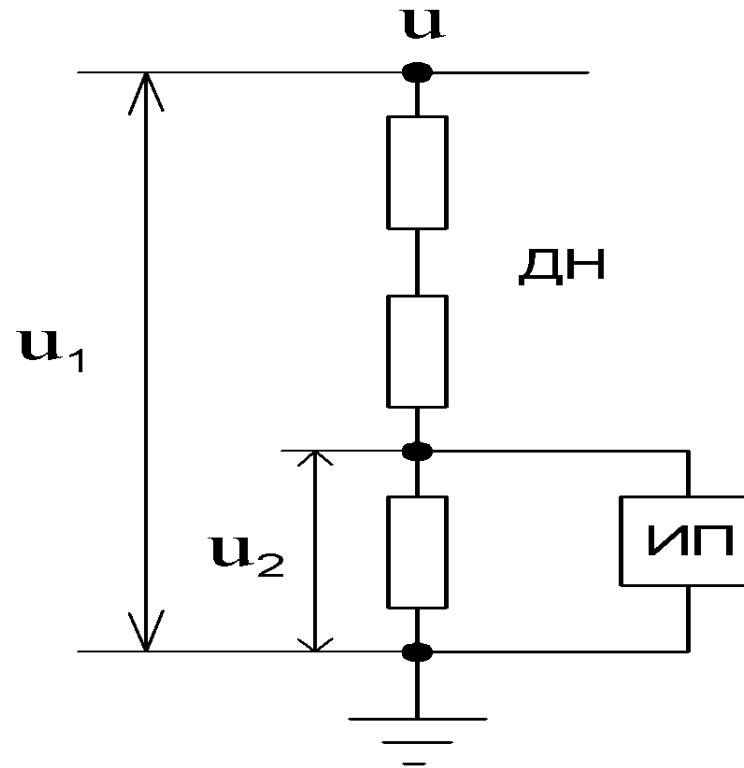
Схема измерения высокого напряжения магнитоэлектрическим прибором с добавочным резистором

Измерения напряжения в условиях эксплуатации

- наиболее распространенным методом измерения напряжения является применение ***низковольтных вольтметров с трансформаторами напряжения.***
- Этот метод обеспечивает высокую точность измерений, однако высшие гармоники приводит к достаточно большим погрешностям.

Измерение высоких импульсных напряжений

- *Измерительный шаровой разрядник* (пригоден и для измерения максимального значения напряжения стандартного грозового импульса).
- *Применение делителей напряжения с низковольтным импульсным вольтметром*
- *Осциллографы.*



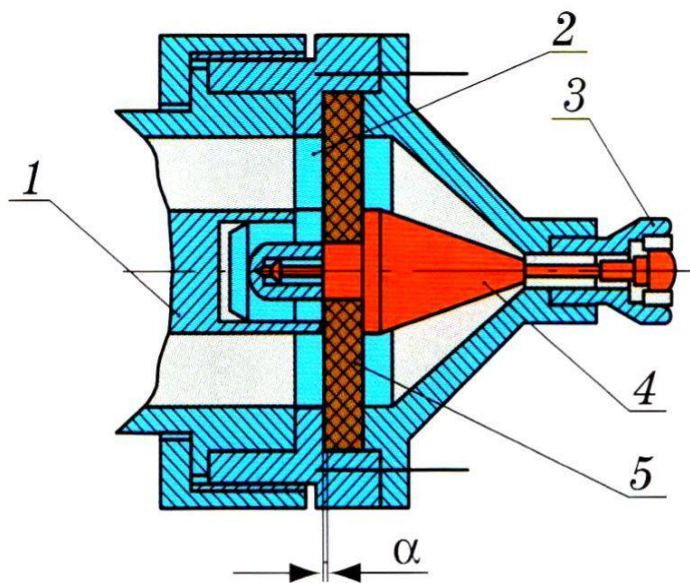
**Схема омического делителя
напряжения**

Отношение напряжения на входе делителя U_1 к напряжению на измерительном приборе U_2 называется коэффициентом деления делителя :

$$K_D = \frac{U_1}{U_2}$$

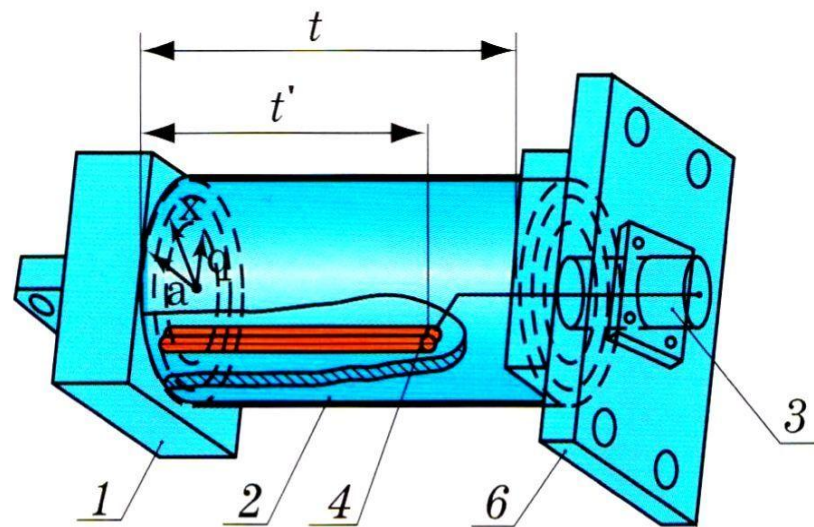
Шунты для измерения токов до 100 кА

с плоским фольговым
измерительным элементом



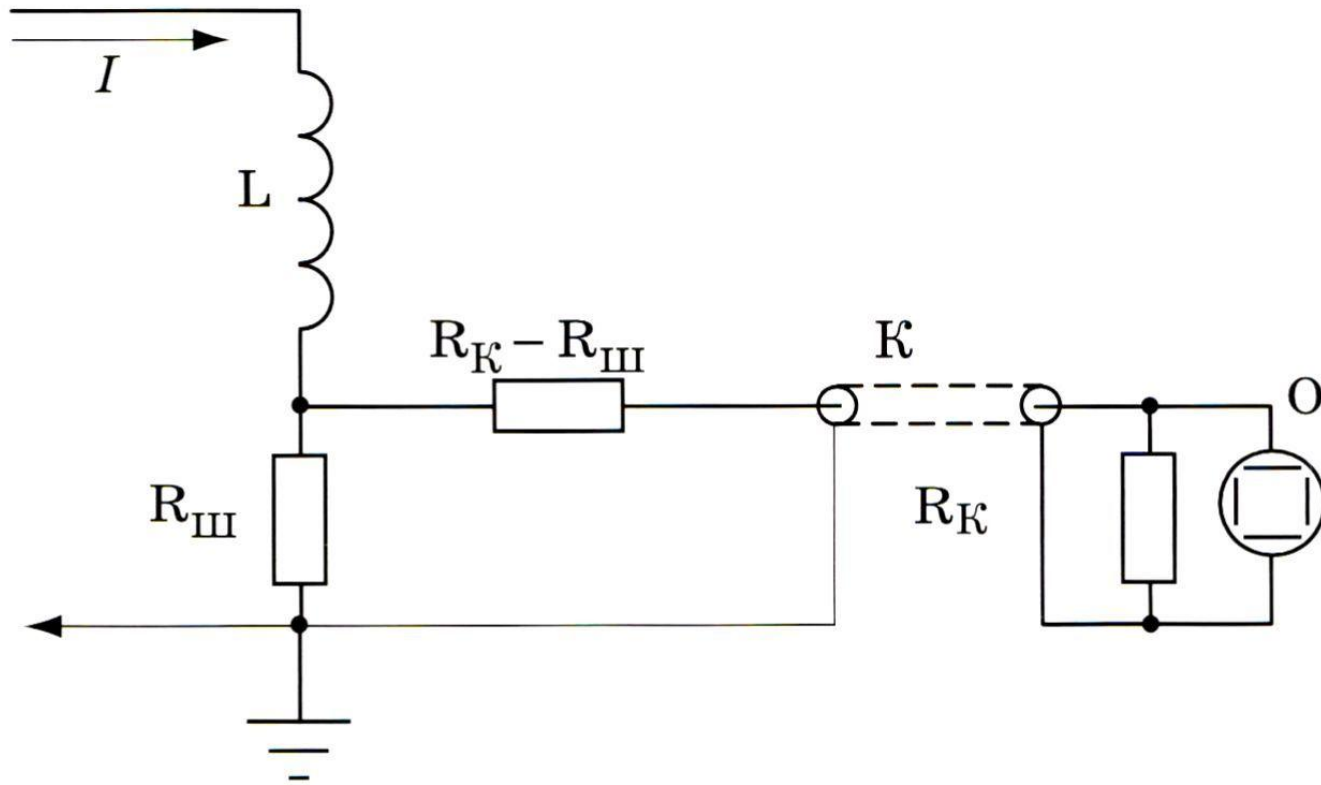
1, 6 — подводы тока;
2 — шайба или цилиндр из металла
с высоким удельным сопротивлением;

компенсированный
коаксиальный



3 — коаксиальные разъемы;
4 — провод с измерительным сигналом;
5 — изолятор

Схема измерительной цепи с шунтом



Электронный осциллограф – это один из наиболее совершенных приборов, позволяющих фиксировать и измерять быстро изменяющиеся процессы, длительность которых измеряется микро- и наносекундами.

Современные электронные осциллографы часто используются с делителями напряжения.

Для исследования процессов в изоляции и других элементах низковольтного и высоковольтного оборудования в настоящее время широко используется персональные компьютеры и микроконтроллеры. Информация с датчиков поступает на компьютер или микроконтроллер, обеспечивая измерение или постоянный контроль параметров с высокой точностью.

В условиях современного железнодорожного транспорта неразрушающий контроль и диагностика (НКД) является одним из основных средств по обеспечению безопасности движения.

На всей сети железных дорог РФ созданы специализированные центры неразрушающего контроля (НЕС), оснащенные тысячами съёмных и мобильных средств электромагнитного (ЭМ) и ультразвукового (УЗ) контроля.

На сегодняшний день основными средствами дефектоскопии на ЖД транспорте являются электромагнитные и акустические дефектоскопы, устанавливаемые на съёмных тележках и на выгонах-дефектоскопах.