

Список литературы

1. **Косяков А.А., Никитина Е. П.** Техника высоких напряжений. Конспект лекций – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 104 с.
2. **Серебряков А.С.** Электротехническое материаловедение. Проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы: Учеб. пособие для вузов ж.д. транспорта. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008.
3. **Серебряков А.С.** Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. Пособие для вузов. – М.: Маршрут, 2005.
4. **Харченко А.Ф.** Техника высоких напряжений. Изоляция устройств электроснабжения железных дорог: учеб. пособие. –М.:ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 190 с.
5. **Алиев И.И** Электротехнические материалы и изделия. Справочник – М.: Радиософт, 2012
6. **Ройзен О.Г.** Техника высоких напряжений. Учебное иллюстрированное пособие. М.: Маршрут, 2005
7. **Чайкина Л. П.** Техника высоких напряжений: учебник. М. : Маршрут, 2005. – 200 с.
8. **Сухогузов А.П., Косяков А.А., Никитина Е.П.** Материаловедение и техника высоких напряжений. Лабораторный практикум. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008 – 90 с
9. **Никитина Е.П., Косяков А.А., Сухогузов А.П.** Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Техника высоких напряжений». Методические указания с вариантами заданий на контрольные работы – Екатеринбург: УрГУПС, 2012
10. **Никитина Е.П.** Электротехническое материаловедение и Техника высоких напряжений: метод. Указания с вариантами заданий на контрольные работы – Екатеринбург: УрГУПС, 2014
11. Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM–<http://znanium.com/>
12. Электронно-библиотечная система «Лань» –<http://e.lanbook.com/>

- **Разевиг Д.В. Техника высоких напряжений. – М.: Энергия, 1976.– 488 с.**
- **Радченко В.Д. Техника высоких напряжений устройств электрической тяги. – М.: Транспорт, 1975. – 360 с.**
- **Егоров В.В. Техника высоких напряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции. – М.: Маршрут, 2004. – 188 с.**
- **Чайкина Л.П. Техника высоких напряжений. Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта.– М.: Маршрут, 2005. – 229 с.**
- ***Костенко М.В.* Техника высоких напряжений. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.**
- **Закарюкин В.П. Техника высоких напряжений. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. – 137 с.**
- **Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. — М.: ЭНАС, 2002**

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Техника высоких напряжений (ТВН) - наука о характеристиках вещества и процессах в нем при экстремальных электромагнитных воздействиях - высоких напряжениях и сильных токах, а также о технологическом использовании этих процессов.

Основная задача ТВН – создание и обеспечение надежно работающей электрической изоляции установок высокого напряжения.

Основные изучаемые

ВОПРОСЫ:

- Свойства и характеристики изоляционных конструкций электрооборудования высокого напряжения (ВН);
- Условия надежной эксплуатации изоляции высоковольтных установок при воздействии рабочего напряжения, грозовых и внутренних перенапряжений;
- Законы распространения, преломления и отражения электромагнитных волн;
- Процессы в линиях и электроустановках при передаче ВН и при возникновении различного рода перенапряжений;
- Методы защиты линий и электроустановок от перенапряжений.

Основные обозначения

ρ – удельное электрическое сопротивление;

μ – относительная магнитная проницаемость;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость;

δ - угол потерь (магнитных или диэлектрических).

λ - длина волны;

τ – постоянная времени.

МАТЕРИАЛЫ

МАГНИТНЫЕ	ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ	ПРОВОДНИКОВЫЕ	ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ	СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ
СТАЛИ, ФЕРРИТЫ, ПЕРМАЛЛОИ, Сплавы АЛЬНИКО АЛЬНИ	ФАРФОР, СТЕКЛО, БУМАГА, СЛЮДА, ВОЗДУХ, ТР. МАСЛО	МЕДЬ, АЛЮМИНИЙ, БРОНЗА, ЛАТУНЬ	КАРБИД КРЕМНИЯ, ОКИСЬ ЦИНКА	КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО, БЕЛАЯ ЭИАЛЬ, АЛЮМИНИЙ

Диэлектрики

□ По агрегатному состоянию :

- твердые (сланца, бумага, стекло, фарфор);
- жидкие (бензол, кабельное масло, вода);
- газообразные (воздух, водород, азот)

□ По строению : вещества с молекулярной структурой; вещества с ионной структурой

□ По химическому строению : органические, неорганические

□ По степени поляризации: неполярные (нейтральные); полярные; сегнетоэлектрики

□ По механизму поляризации :

- Диэлектрики, обладающие только одним механизмом поляризации:

□ По характеру изменения поляризованности и диэлектрической проницаемости:

линейные (пассивные) и нелинейные (активные)

□ По области использования:

- для защиты (изоляция кабелей и проводов)
- для крепления токоведущих элементов (изоляторы ЛЭП, вводы);
- для изготовления изоляционных конструкций (корпуса приборов, устройств);
- для пропитки (пропитка обмоток машин, трансформаторов, дросселей);
- для накопления электрической энергии (конденсаторы)

Нейтральные диэлектрики

- газы
 - воздух
 - элегаз
 - водород
- жидкости
 - трансформаторное масло
 - бензол
 - бензин
- Твердые вещества
 - парафин
 - полиэтилен
 - полистирол
 - фторпласт 4

Полярные диэлектрики

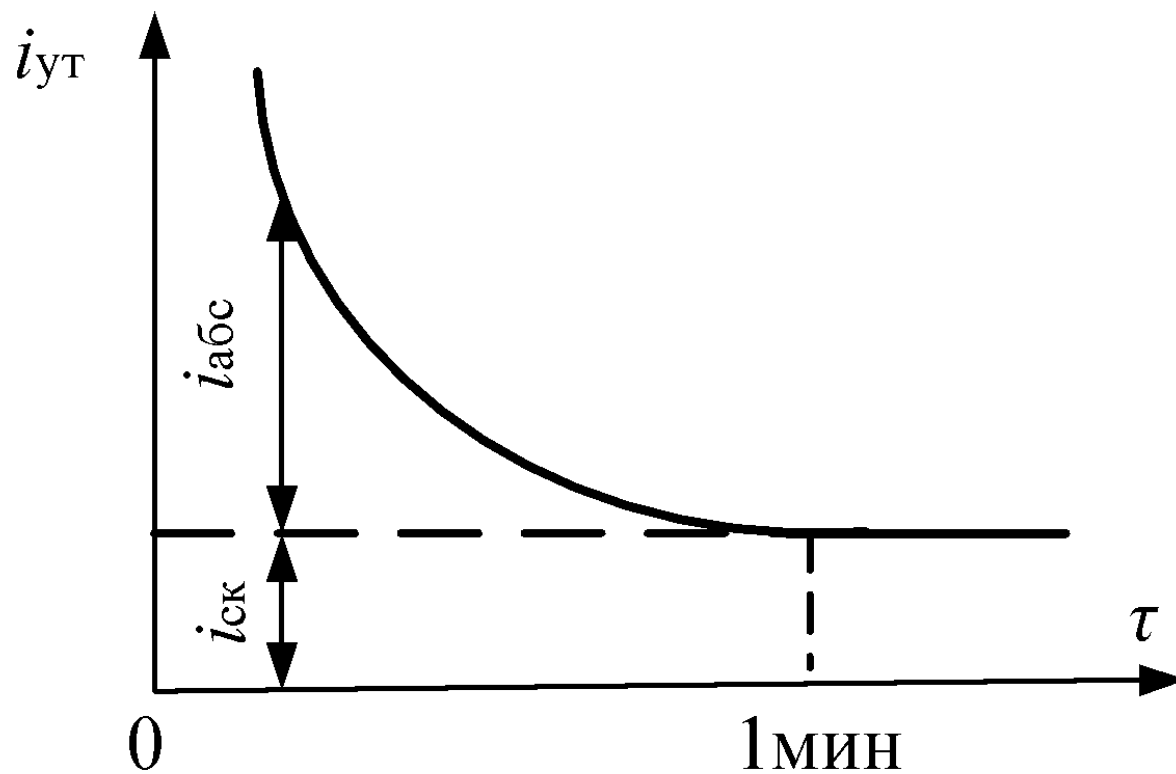
- газы
 - нет
- жидкости
 - Совол
 - Синтетические масла
 - Спирт этиловый
 - Ацетон
 - Вода
- Твердые вещества
 - Бумага
 - Гетинакс
 - Орг. стекло
 - Асбест
 - Микалекс
 - Слюда

Виды токов в изоляции

Изоляция электроустановки служит для предотвращения протекания электрического тока между изолируемыми частями.

В нормальном состоянии через изоляцию могут протекать *три вида токов*:

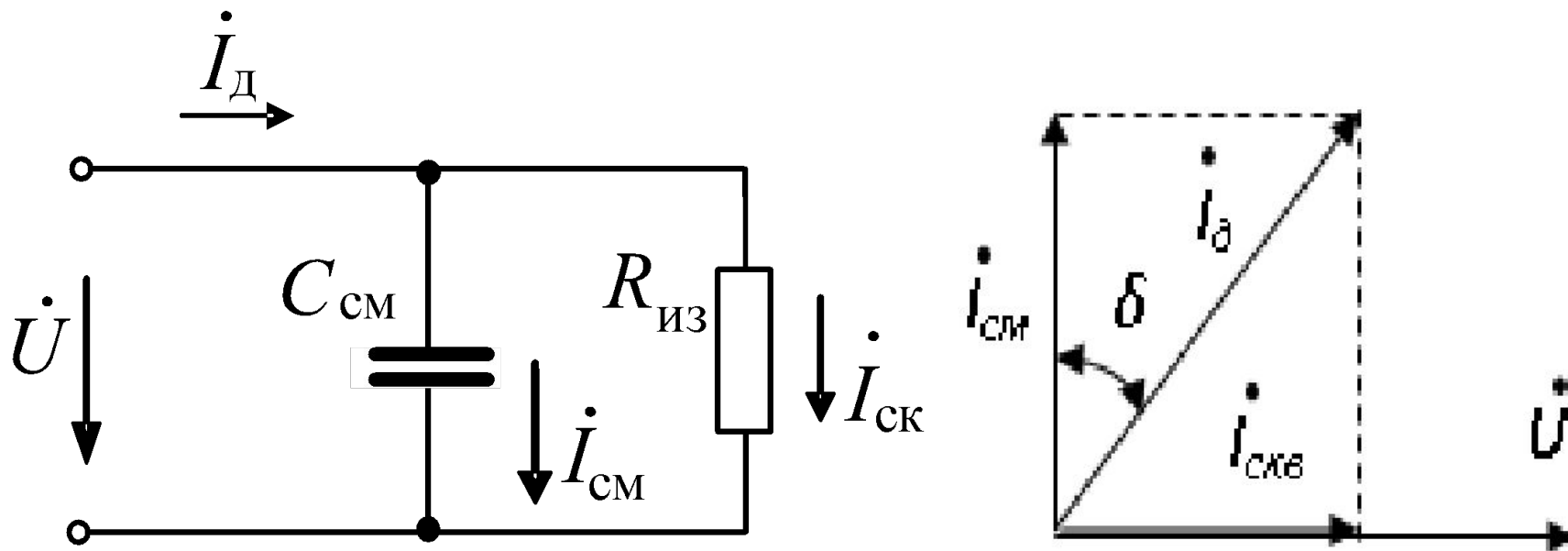
- **емкостные токи** при переменном напряжении, которые зависят от емкости изоляции и могут быть большими по величине;
- **абсорбционные токи** (токи различных видов замедленной поляризации), сказывающиеся при постоянном и при переменном напряжениях;
- **сквозные токи**, чрезвычайно малые по величине, которые протекают при постоянном напряжении через длительное время после его включения.



Зависимость тока утечки через диэлектрик от времени

$$i_{ут} = i_{см} + i_{абс} + i_{ск}$$

$$R_{из} = \frac{U}{I_{ск}}$$



**Схема замещения и векторная
диаграмма нейтрального
диэлектрика**

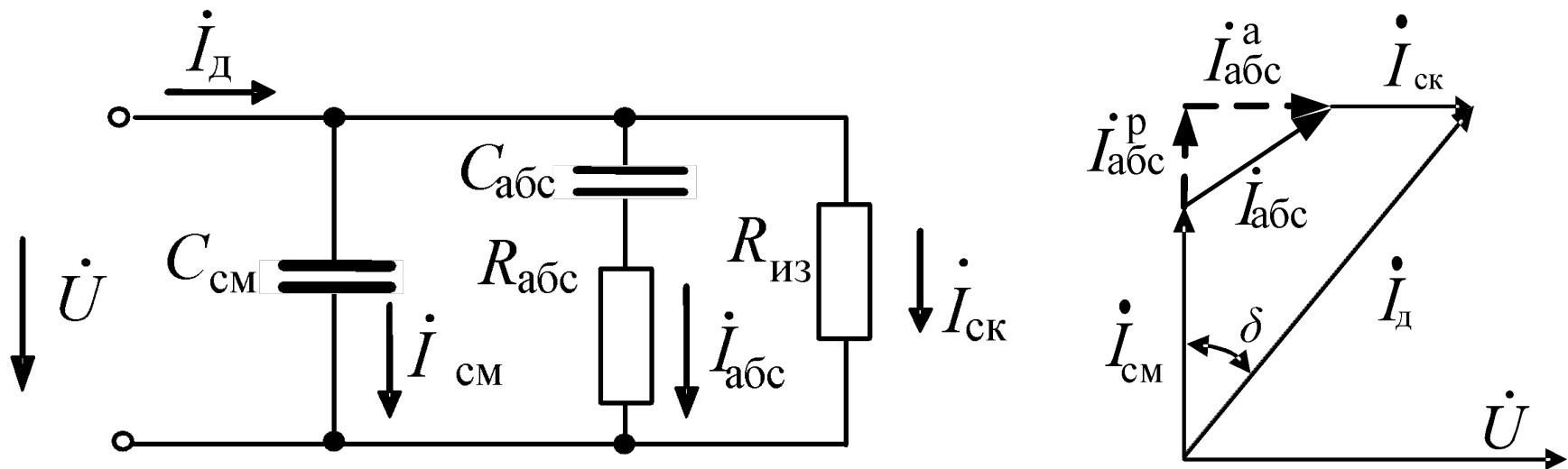
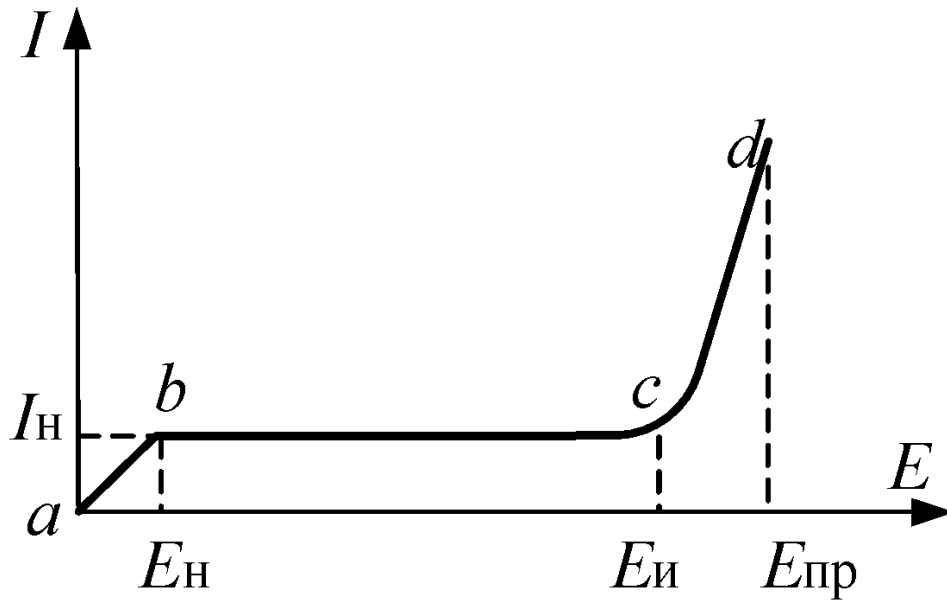
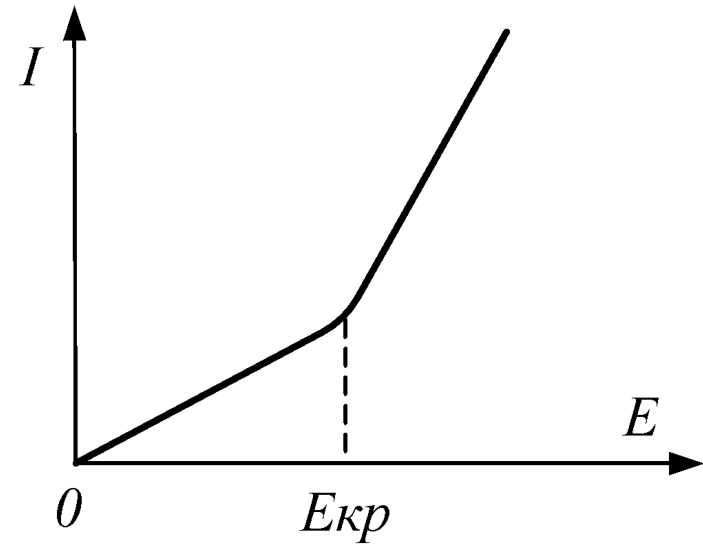


Схема замещения и векторная диаграмма полярного диэлектрика



**ВАХ
воздушного
промежутка**



**Зависимость тока от
напряженности поля в жидких
диэлектриках**

Диэлектрические потери и угол потерь

- **Любая изоляция нагревается** при приложении к ней напряжения. Причиной нагрева являются сквозные токи через изоляцию, нагрев за счет замедленных видов поляризации, ионизация газовых включений в твердой изоляции и неоднородность структуры изоляции.
- **Диэлектрическими потерями** называют мощность нагрева изоляции за счет приложенного к ней напряжения. Диэлектрические потери при переменном напряжении обычно существенно больше, чем при постоянном напряжении той же величины, что и действующее значение переменного напряжения, и основную роль в нагреве на переменном напряжении до начала ионизации чаще всего играют поляризационные потери.
- **Углом диэлектрических потерь** называют угол, дополняющий до 90° угол сдвига фазы между напряжением на изоляции и током через изоляцию. $\text{tg } \delta$ показывает соотношение между активной мощностью нагрева изоляции и реактивной емкостной мощностью в изоляции. Понятие угла диэлектрических потерь применимо только для синусоидальных напряжений и токов.

Виды диэлектрических потерь

Диэлектрические потери по их особенностям и физической природе можно подразделить на четыре основных вида:

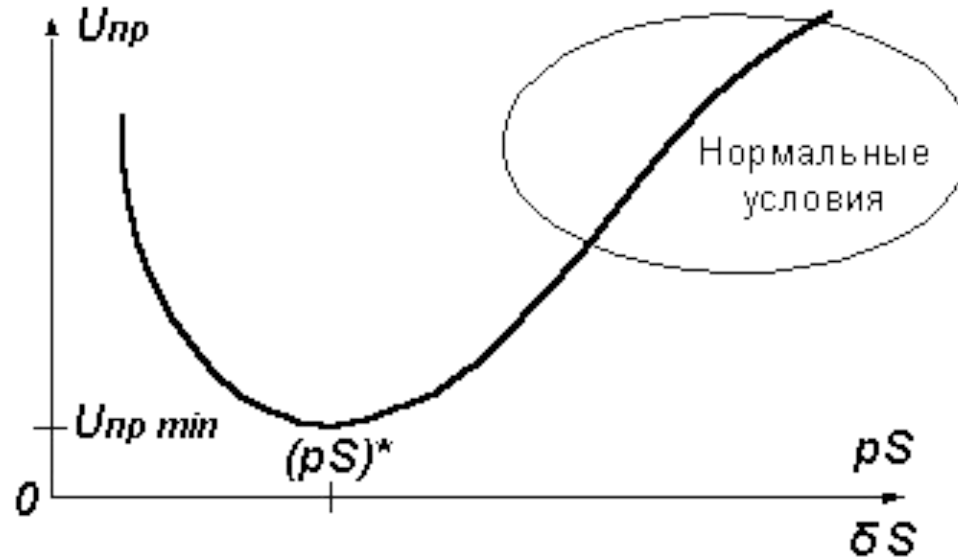
- диэлектрические потери, обусловленные сквозной проводимостью $P_{\text{СКВ}}$;
- диэлектрические потери, обусловленные поляризацией $P_{\text{пол}}$;
- ионизационные диэлектрические потери $P_{\text{ионв}}$;
- диэлектрические потери, обусловленные неоднородностью структуры $P_{\text{неод}}$.

Основные определения:

- **Электрическим пробоем** изоляции называют явление потери изоляцией изоляционных свойств при превышении напряжением на изоляции критического значения. Это значение напряжения называют **пробивным напряжением изоляции** ($U_{пр}$).
- **Электрической прочностью диэлектрика** ($E_{пр}$) называют среднее значение напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке непосредственно перед пробоем, поскольку проще всего измерять и оценивать именно эту величину:
- **Перекрытием** называют разряд по границе раздела двух сред, чаще всего это граница «твердый диэлектрик – газ». Напряжение перекрытия $U_{пер}$ всегда существенно меньше пробивного напряжения $U_{пр}$ чисто газового промежутка с теми же электродами.
- Наиболее изученным является пробой газовых промежутков; механизмы пробоя жидких и твердых диэлектриков отличаются большим разнообразием и значительно более сложны. В то же время именно газовая изоляция (воздух) является основным видом изоляции в электроустановках и изучение поведения ее в электрических полях большой напряженности имеет

Пробивное напряжение газового промежутка с однородным (ОП) и слабонеоднородным (СНП) электрическим полем зависит как от расстояния между электродами, так и от давления и температуры газа. Эта зависимость определяется **законом Пашена**, согласно которому пробивное напряжение газового промежутка с ОП и СНП определяется произведением относительной плотности газа δ на расстояние между электродами S , $U_{пр} = f(\delta S)$.

Относительной плотностью газа называют отношение плотности газа в данных условиях к плотности газа при нормальных условиях (20° С, 760 мм рт. ст.).



Вид зависимости закона Пашена

Электроизоляционные материалы (ЭИМ)

– диэлектрики, обладающие высоким значением удельного электрического сопротивления, хорошими физико-химическими и механическими свойствами, и применяемые для изоляции элементов или частей электрооборудования.

- Газы: воздух, элегаз, азот, вакуум;
- Жидкости: нефтяные и природные масла, синтетические жидкости;
- Твердые и твердеющие материалы (органические и неорганические): пластмассы, бумага, картон, стекло, асбест, слюда, лаки и компаунды

Основные физико-химические свойства диэлектриков:

- влажностные (влагостойкость, влагопроницаемость, водопоглощение, гигроскопичность, смачиваемость);
- термические (нагревостойкость, морозостойкость, хладостойкость, стойкость к термоударам, тропикостойкость);
- химические (химикостойкость, коррозионная стойкость, химическая безопасность, токсичность, растворимость);
- стойкость к электромагнитным воздействиям, к радиоактивному

Нагревостойкость – способность материала выдерживать воздействие повышенной температуры в течение времени, сравнимого со сроком нормальной эксплуатации, без разрушения или недопустимого ухудшения его электрических свойств.

- В зависимости от значений допустимых в эксплуатации температур диэлектрики различают по классам нагревостойкости.**

Классы нагревостойкости

Твердые изоляционные

Неорганические диэлектрики

неорганическое стекло, керамика, фарфор, слюда, кварц, неорганические пленки

- Общие свойства:
- повышенная электрическая прочность;
- практическое отсутствие старения на переменном напряжении;
- низкие диэлектрические потери даже в высокочастотных электрических полях;
- стойкость к горению;
- светостойкость; азоностойкость;
- высокая нагревостойкость

Органические диэлектрики

воски, лаки, компаунды, резины, каучуки, бумаги, лакоткани, полимерные материалы

- Общие свойства:
- невысокий класс нагревостойкости (У, А, Е)
- отсутствие старения на постоянном напряжении,
- низкая стоимость и высокая

Изоляция электротехнических установок подразделяется на внутреннюю и внешнюю.

Внутренняя изоляция — это части изоляционной конструкции, в которых изолирующей средой являются жидкие, твердые или газообразные диэлектрики или их комбинация, не соприкасающиеся с атмосферным воздухом и не подверженные влиянию атмосферных и других внешних факторов.

Внешней изоляцией являются воздушные промежутки и поверхность твердой изоляции в атмосферном воздухе, которые подвержены влиянию атмосферных и других внешних факторов.

Высоковольтные изоляторы воздушных линий и подстанций

Изоляторами называют электротехнические изделия, предназначенные для изоляции разнопотенциальных частей электроустановки, то есть для предотвращения протекания электрического тока между этими частями электроустановки, и для механического крепления токоведущих частей.

Классификация изоляторов

- **По расположению токоведущей части** различают опорные, проходные и подвесные изоляторы, назначение которых прямо определяются их названиями.
- **По конструктивному исполнению** изоляторы делятся на тарельчатые (изоляция часть в форме тарелки), стержневые (изоляция часть в виде стержня или цилиндра) и штыревые (изолятор имеет металлический штырь, несущий основную механическую нагрузку).
- **По месту установки** различают линейные изоляторы, используемые для подвески проводов линий электропередачи и контактной сети, и станционные изоляторы, используемые на электростанциях, подстанциях (в том числе и тяговых) и постах секционирования. В последнем плане одни и те же типы изоляторов, например, подвесные тарельчатые, могут быть и линейными, и станционными

Основные характеристики изоляторов

Основными характеристиками изоляторов являются разрядные напряжения, геометрические параметры и механические характеристики, а также номинальное напряжение электроустановки, для которой предназначен изолятор.

К разрядным напряжениям изоляторов относят три напряжения перекрытия и одно пробивное напряжение:

сухоразрядное напряжение $U_{схр}$ - напряжение перекрытия чистого сухого изолятора при напряжении частотой 50 Гц (эффективное значение напряжения);

мокроразрядное напряжение $U_{мкр}$ - напряжение перекрытия чистого изолятора, смоченного дождем, падающим под углом 45° к вертикали, при напряжении частотой 50 Гц (эффективное значение напряжения);

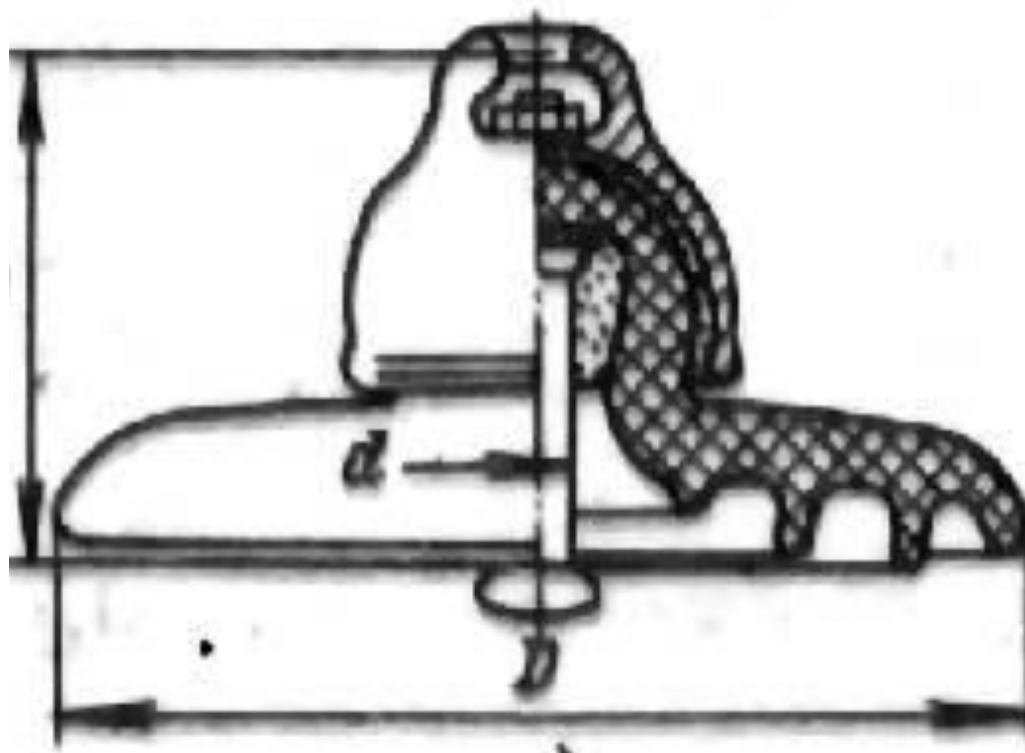
импульсное разрядное напряжение $U_{имп}$ - пятидесятипроцентное напряжение перекрытия стандартными грозowymi импульсами (амплитуда импульса, при которой из десяти поданных на изолятор импульсов пять завершаются перекрытием, а оставшиеся пять не приводят к перекрытию);

пробивное напряжение $U_{пр}$ - напряжение пробоя изоляционного тела изолятора на частоте 50 Гц, редко используемая характеристика, поскольку при пробое вызывает необратимый дефект изолятора и напряжение перекрытия должно быть меньше пробивного напряжения.

Геометрические параметры

Изоляторов:

- **строительная высота H_c** , то есть габарит, который изолятор занимает в конструкции после его установки; у некоторых изоляторов, например, у тарельчатых подвесных, строительная высота меньше реальной высоты изолятора;
- **наибольший диаметр D** изолятора;
- **длина пути утечки** по поверхности изолятора l_y
- **кратчайшее расстояние между электродами по воздуху l_c**
- (сухоразрядное расстояние), от которого зависит сухоразрядное напряжение;
- **мокроразрядное расстояние l_m** , определяемое в предположении, что часть поверхности изолятора стала проводящей из-за смачивания дождем, падающим под углом 45° к вертикали



Эскиз изолятора ПФ-70А

Изоляторы воздушных линий электропередачи чаще всего бывают тарельчатые, штыревые и стержневые. Эти изоляторы спроектированы так, чтобы в сухом состоянии пробивное напряжение превышало пробивное напряжение перекрытия примерно в 1.6 раза, что обеспечивает отсутствие пробоя при перенапряжениях



Изолятор ШФ-10В

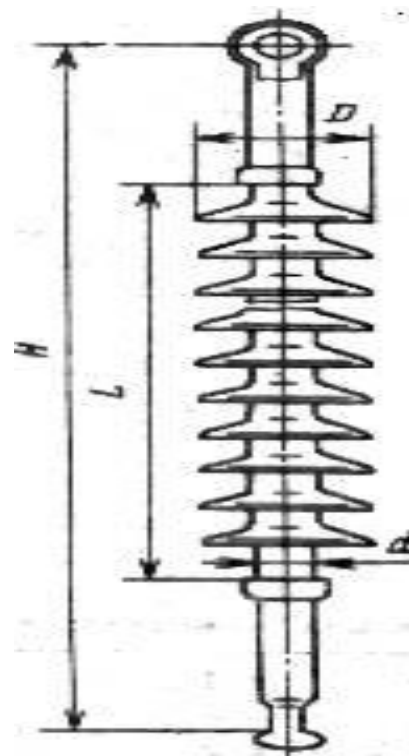
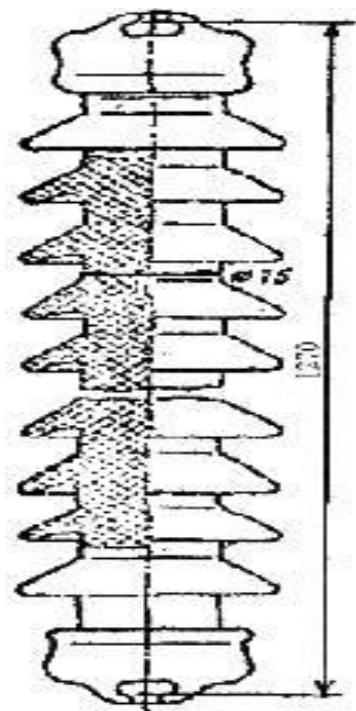
- **Штыревые изоляторы** крепятся на опоре с помощью металлического штыря или крюка.
- (Из-за большого изгибающего усилия на такой изолятор применяют штыревые изоляторы на **напряжения не выше 35 кВ**).

Стекланные изоляторы

- Подвесной стекланный изолятор (ПС) имеет **меньшую массу** (подвесной фарфоровый на 20% больше).
- Стекланные изоляторы **намного прочнее и долговечнее**, а следовательно и **надежнее**.
- Большой популярностью в системе РЖД пользуется изолятор **ПС70**. Данный стекланный изолятор нашел свое применение в распределительных сетях 10 - 500 кВ.
- **Подкатегории:**
 - Изоляторы линейные подвесные
 - Изоляторы штыревые
 - Изоляторы стекланные линейные подвесные
 - Изоляторы стекланные штыревые

Полимерные изоляторы

- Рынок полимерных изоляторов существует с прошлого века, но активная замена фарфоровой и стеклянной изоляции на полимерную ведется с 2005 года. Полимерные изоляторы прошли в своем развитии несколько стадий: начиная от полиолефиновой оболочки и «шашлычного» типа сборки, до кремнийорганической резины и цельнолитого исполнения.
- В настоящий момент полимерные изоляторы присутствуют почти во всех направлениях: линии электропередач, подстанционное оборудование, коммутационное оборудование, электрифицированные железные дороги.
- Полимерные изоляторы, в том числе штыревые изоляторы, обладают рядом преимуществ в сравнении со стеклянными и фарфоровыми.



Стержневой фарфоровый и стержневой полимерный изоляторы

Шесть подгрупп изоляторов для контактной сети:

- **подвесные изоляторы**, (больше всего);
- **фиксаторные изоляторы**, используемые для изоляции фиксаторных узлов;
- **консольные изоляторы**, которые используют в изолированных консолях и которые могут быть тех же марок, что и фиксаторные;
- **секционирующие изоляторы** - особый вид изоляторов, используемых в конструкциях секционных изоляторов (секционные изоляторы, собственно, изоляторами уже не являются, это сборные конструкции для секционирования контактной сети);
- **штыревые изоляторы**, используемые для крепления проводов линий продольного электроснабжения, располагаемых на опорах контактной сети;
- **опорные изоляторы**, используемые в мачтовых разъединителях.

Обозначения изоляторов

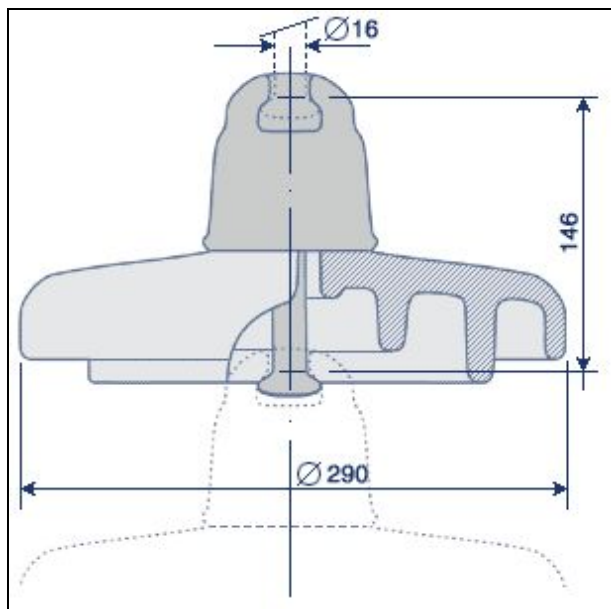
- Условное обозначение изолятора должно содержать тип и шифр изолятора.
В обозначение изоляторов входят:
- Буквы и цифры типа, которые означают:
первая буква — вид изолятора: П -- подвесной; Ш — штыревой
вторая — материал изоляционной детали: С – стекло; Ф – фарфор; ОСК, ФСК, НСФт - стеклопластики;
третья — В, Д, К, С - условное обозначение конфигурации изоляционной детали:
В - с увеличенным вылетом ребра, Д - двукрылая, К - коническая, С - сферическая;
или назначение изолятора: Т — телеграфный, Н — низковольтный, Г — грязестойкий (для подвесных изоляторов)
- цифры:
- у штыревых изоляторов указывают на номинальное напряжение (10, 20, 35) или диаметр внутренней резьбы (для низковольтных), а
- у подвесных — на гарантированную механическую прочность в килоньютонах. цифры - 40, 70 : 400 - класс изолятора;
четвертая, следующая после цифр буква — А, Б, В, Г - индекс модернизации (типоразмер) изолятора (для штыревых)

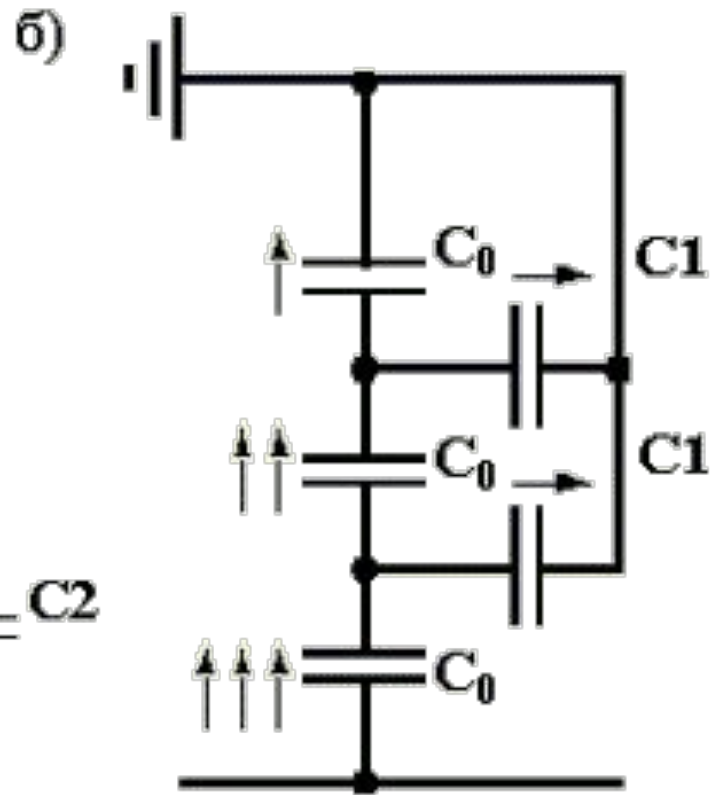
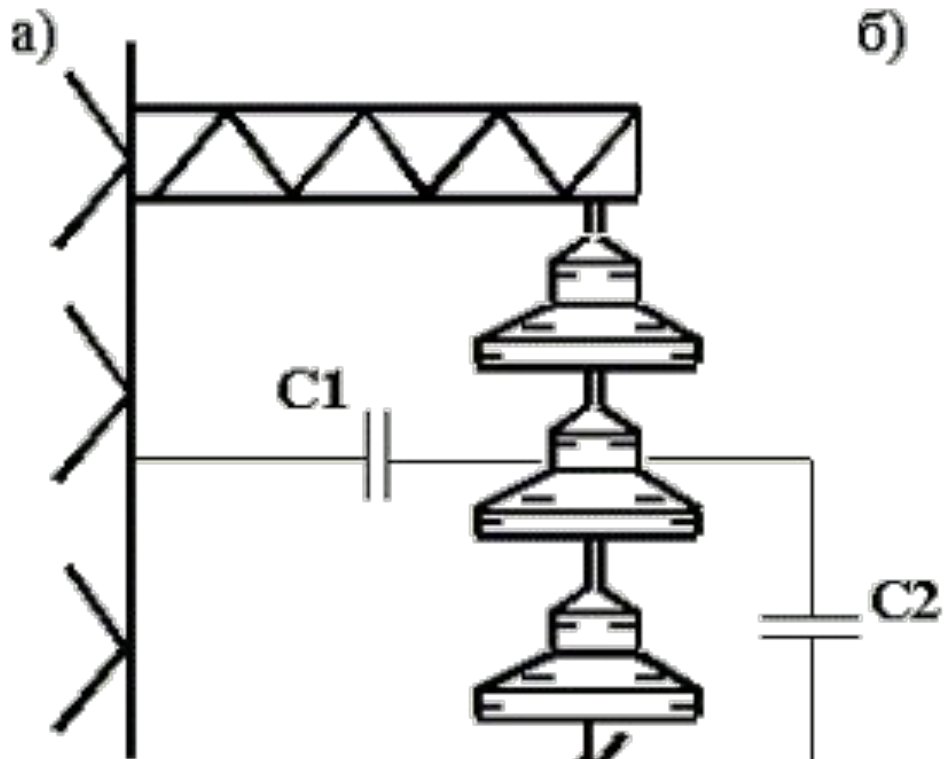
Пример:

изолятор ПСВ -120 - подвесной стеклянный
изолятор с увеличенным вылетом ребра

Минимальная разрушающая сила: 120кН

Масса: 5,6кг





Гирлянда изоляторов и схема замещения гирлянды

КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Основными видами повреждений изоляции контактной сети являются:

- перекрытия изоляторов из-за их загрязнения, пробой изоляторов из-за нарушения изоляционной части,
- перекрытия изоляторов птицами,
- механические изломы стержневых изоляторов.

Этим повреждениям способствуют скрытые дефекты изоляторов, наличие влаги в атмосфере и попадание ее в армировку изолятора, нагрев изоляторов солнечными лучами

(почти 100% случаев пробоя изоляции происходит в теплый период года), загрязнение атмосферы различными химическими веществами, по которым происходит поверхностное перекрытие.

Методы повышения надежности изоляции контактной сети :

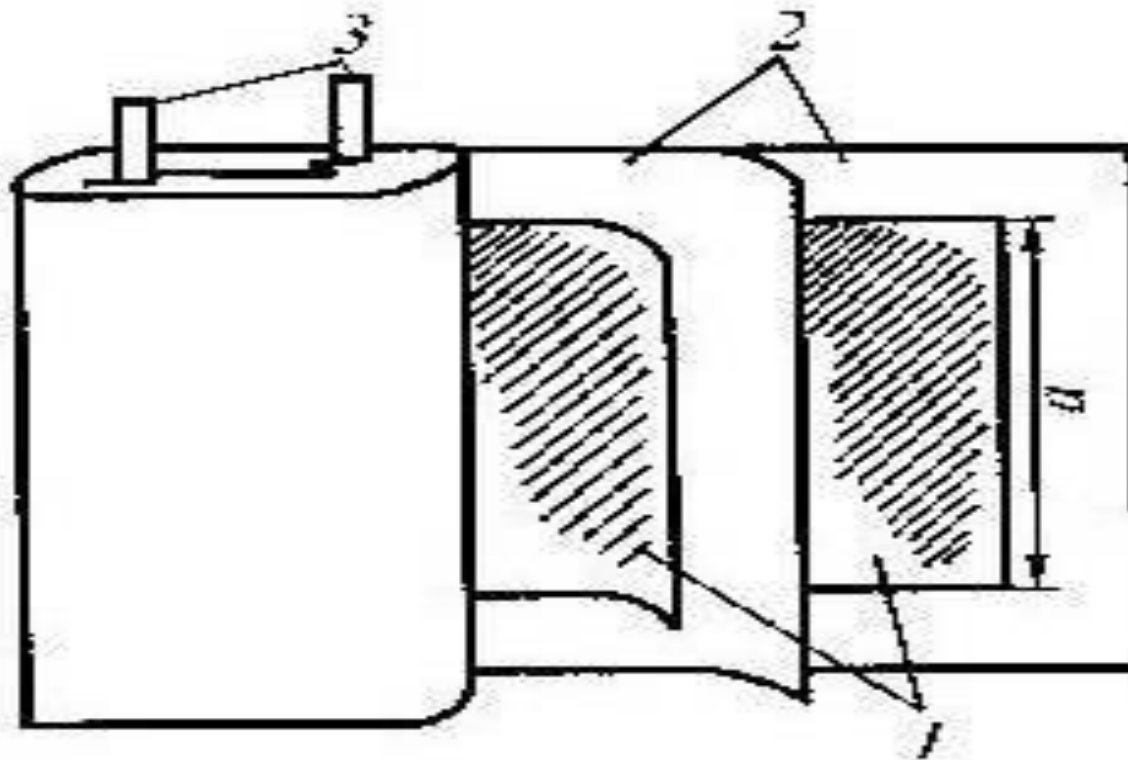
- **усиление изоляции в местах, где наблюдались перекрытия изоляции, путем увеличения числа изоляторов и применением полимерных изоляторов;**
- **обмыв изоляторов струей воды передвижными установ-ками; при малой эффективности обмывки - чистка вручную или замена изоляторов;**
- **временное понижение напряжения в контактной сети в зоне повышенного загрязнения атмосферы с дистанционным контролем изоляции;**
- **покрытие изоляторов гидрофобными пастами и смазочными материалами, рекомендуется в зонах цементных и химических загрязнений**

Силовые конденсаторы

Наиболее часто применяются в следующих случаях:

- в силовых сетях промышленной частоты высокого и низкого напряжений частотой 50 Гц (косинусные конденсаторы, конденсаторы продольной емкостной компенсации, конденсаторы емкостного отбора мощности);
- в силовых установках повышенных частот (электротермические установки частотой до 10 кГц);
- в установках постоянного напряжения (в схемах с инверторами);
- в установках импульсного напряжения

Изоляция силовых конденсаторов



Плоскопрессованная рулонная секция:

1 – электроды из фольги; 2 – слои бумаги;

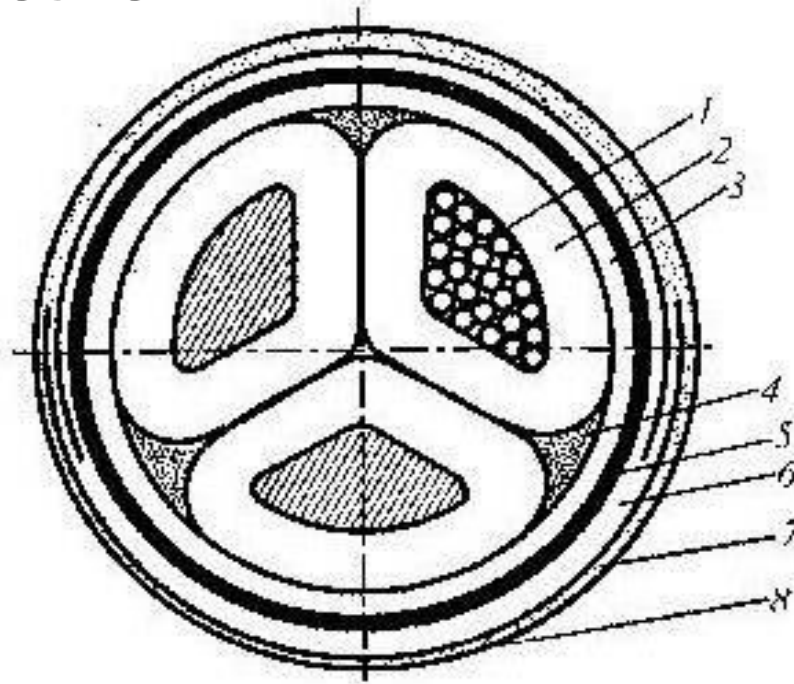
3 - выводы

Высоковольтный кабель

состоит из следующих составных частей:

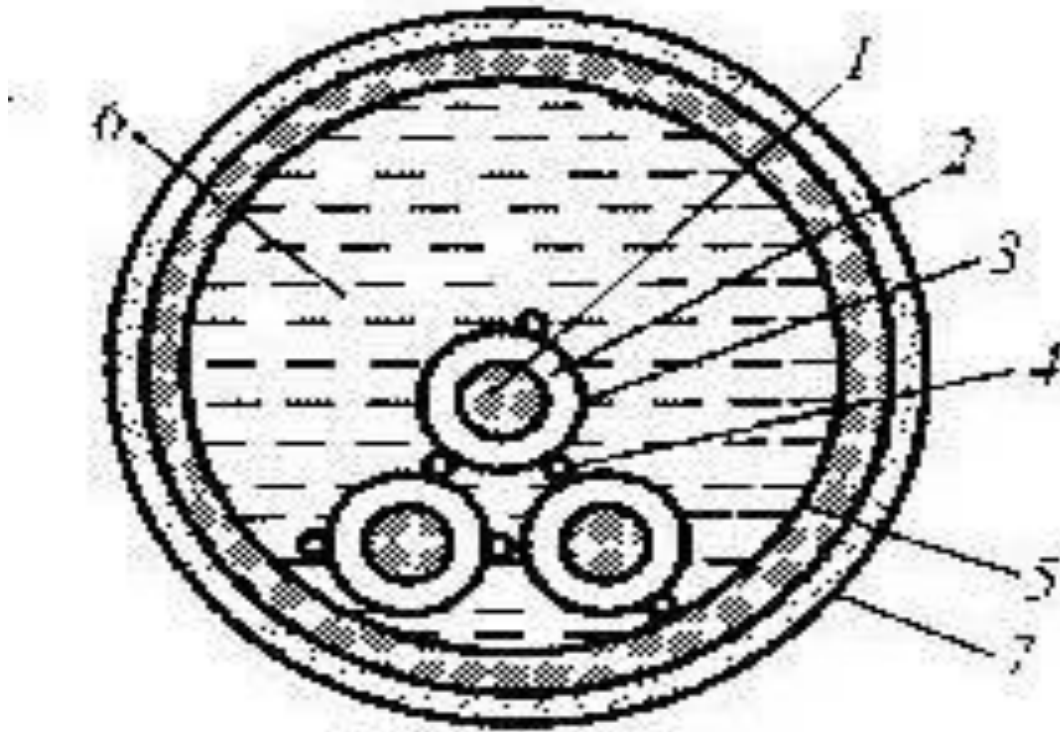
- одна или несколько токопроводящих жил;**
- изоляция (собственная и общая);**
- оболочка из алюминия или свинца для герметизации;**
- броня из стальных лент или проволок для защиты от механических повреждений;**
- покровы из лент кабельной бумаги или пряжи, пропитанные битумом, для защиты от коррозии.**

Изоляции силовых кабелей



Трехжильный кабель с секторными жилами:

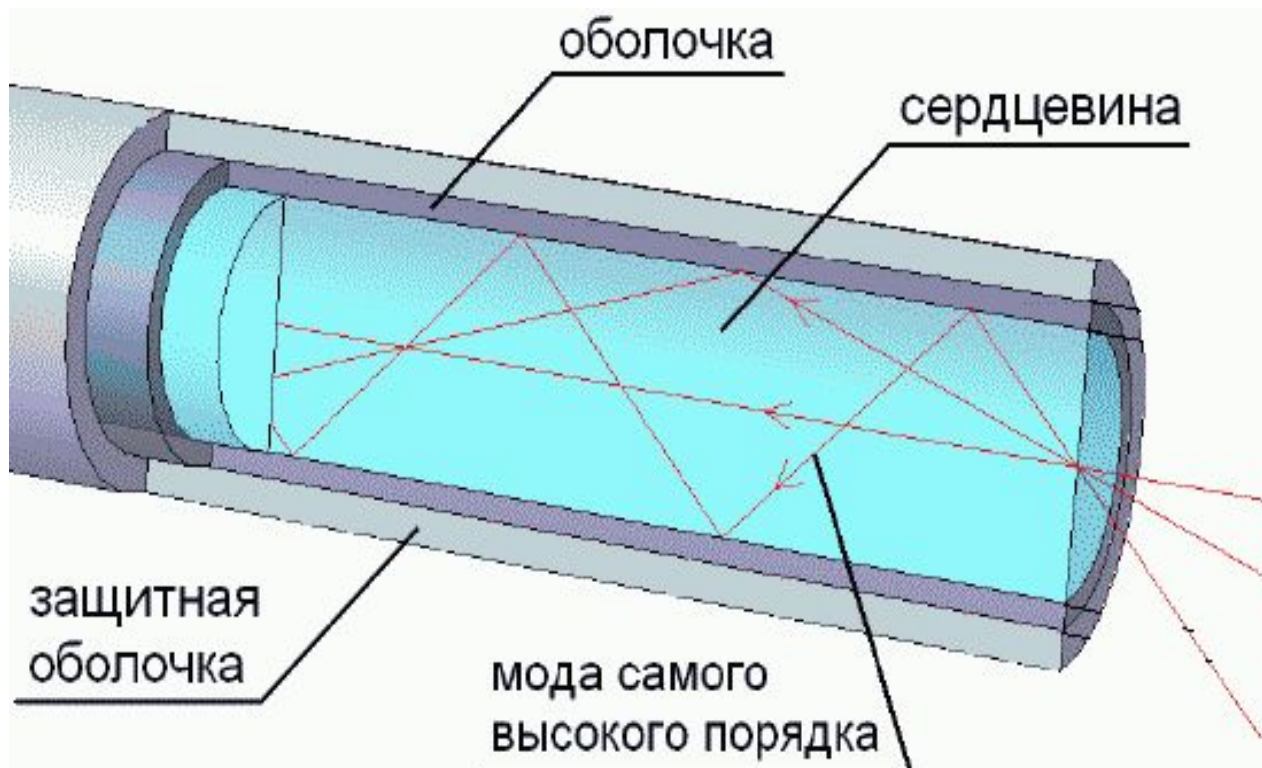
1 – жила; 2 – фазная изоляция; 3 – поясная изоляция; 4 – наполнитель; 5 – оболочка; 6 – подушка под броней из пряжи, пропитанной битумом; 7 – броня из стальных лент; 8 – наружный защитный покров

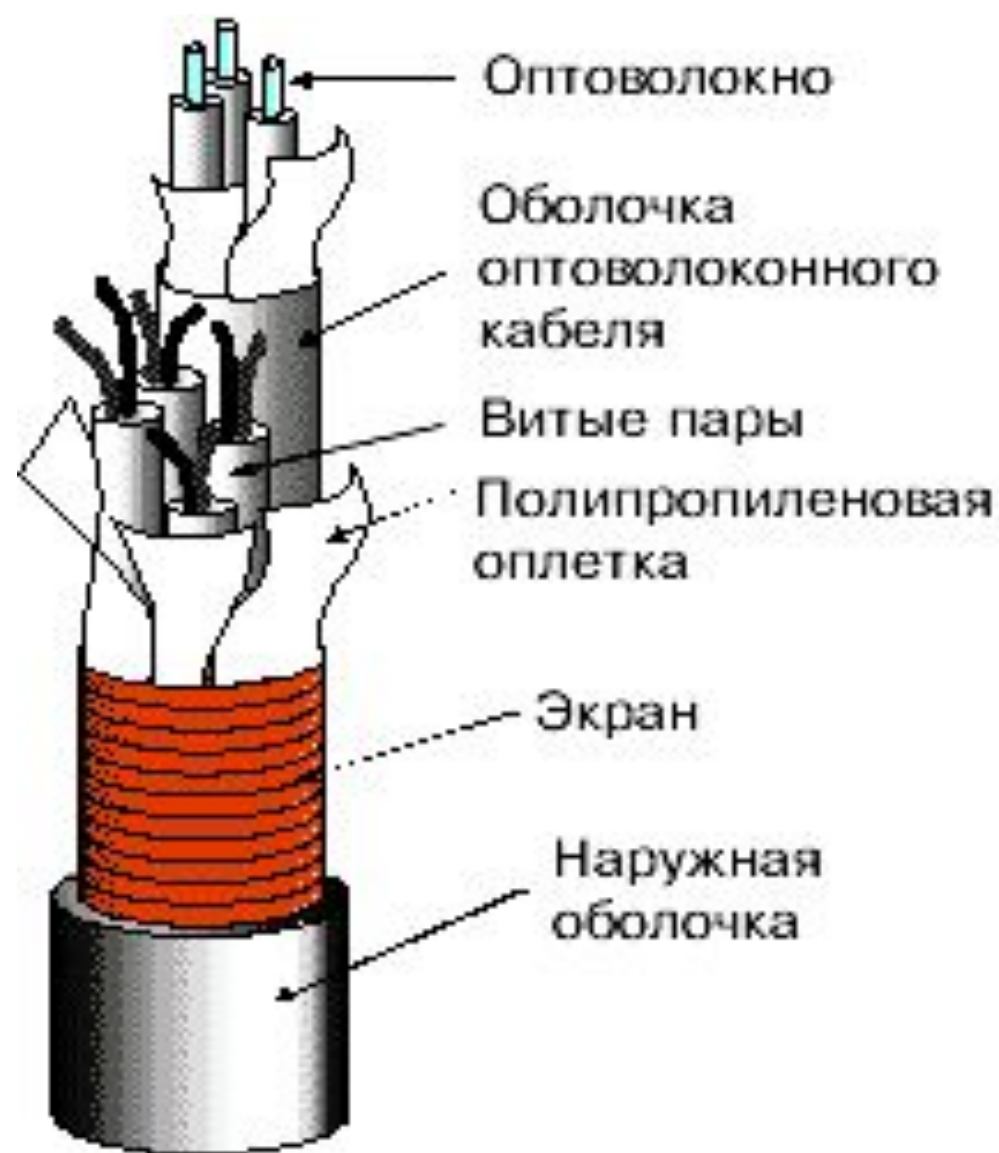


**Маслонаполненный кабель высокого давления в
стальной трубе:**

**1 – жила; 2 – изоляция; 3 – герметизирующие
покровы; 4 – полукруглая проволока; 5 – стальная
труба; 6 – масло; 7 – антикоррозионное покрытие**

Волоконное - оптический кабель (ВОК)





Преимущества волоконно-оптических средств передачи информации

- **Волоконно-оптические линии связи по сравнению с традиционными (кабельными) имеют ряд преимуществ:**
- **большая пропускная способность;**
- **защищенность от внешних электромагнитных воздействий;**
- **отсутствие взаимного влияния между сигналами, передаваемыми по различным оптическим волокнам;**
- **малые потери энергии сигнала при его распространении;**
- **электрическая безопасность;**
- **высокая степень защищенности от несанкционированного доступа;**
- **экономичность;**
- **малые габариты и масса.**

В электросетях применяются силовые трансформаторы : *масляные и «сухие»*

Масляные трансформаторы используют специальную систему охлаждения: трансформатор помещается в баке, заполненном трансформаторным маслом или специальной негорючей жидкостью. (Масло циркулирует под действием конвекции или принудительно между баком и мощным радиатором. Иногда масло охлаждают водой).

«Сухие» трансформаторы используют при малой мощности (до 16000 кВт). Их главное отличие от масляных: отсутствие трансформаторного масла.

Изоляция электротехнических установок подразделяется на внутреннюю и внешнюю.

В эксплуатации на внутреннюю изоляцию электрооборудования воздействуют электрические, тепловые, механические и другие нагрузки. Они вызывают в изоляции сложные процессы, следствием которых является постепенное ухудшение свойств изоляции, именуемое старением.

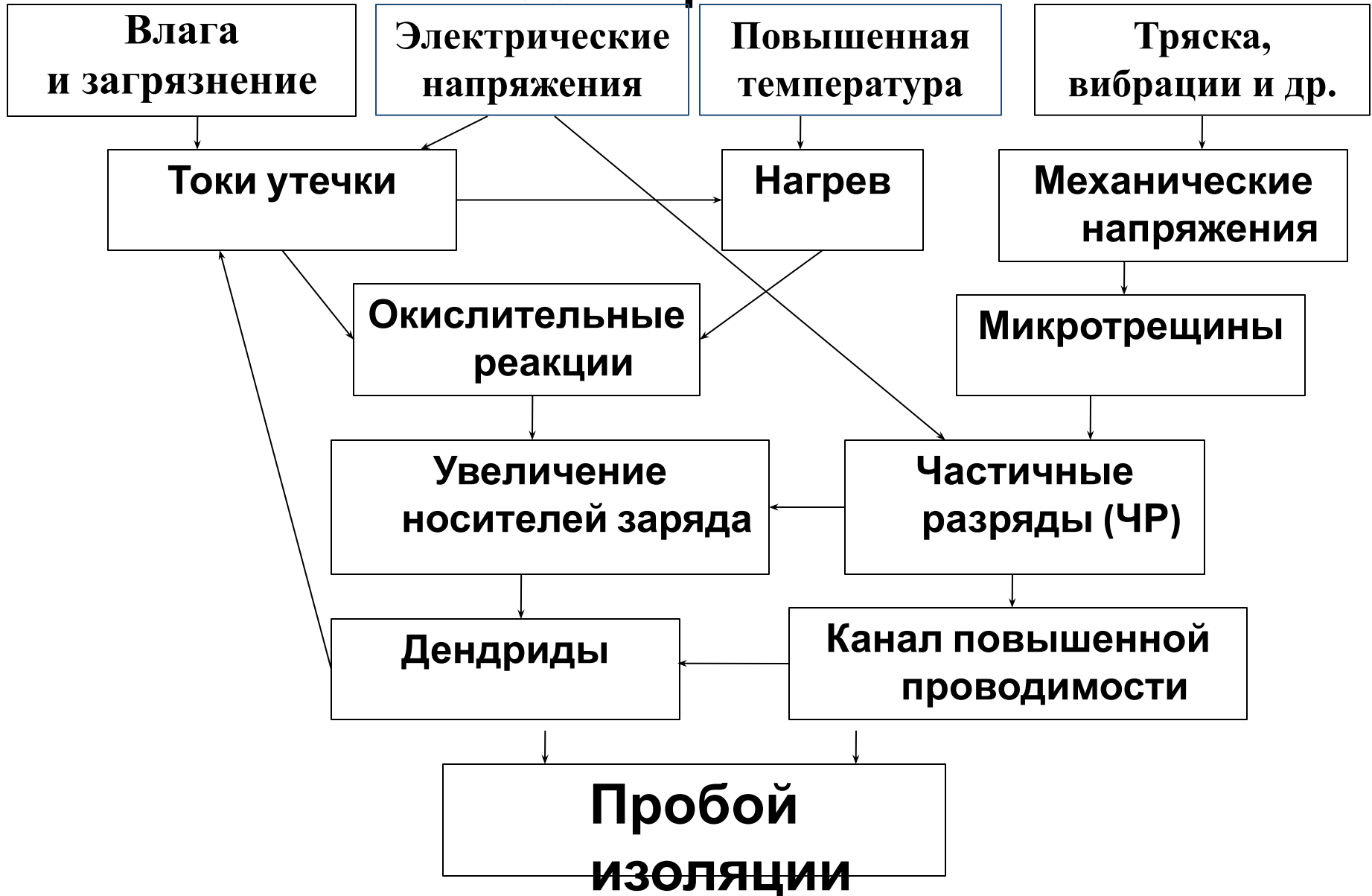
Как правило, изменения свойств изоляции носят необратимый характер и завершаются пробоем.

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.

Старение и пробой

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	Пробой изоляции или ЧР
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	Внешние воздействия на изоляцию

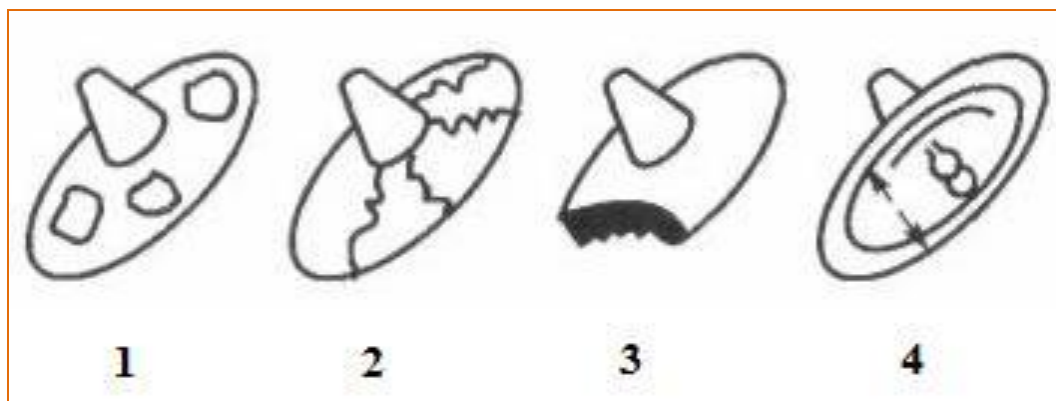
Дефекты изоляции

сосредоточенные

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

распределенные

(охватывающие значительный объем или значительную поверхность изоляции).



Виды повреждений изоляторов:

- 1 – ожоги на поверхности изоляторов
- 2 – трещины на поверхности изоляторов
- 3 – сколы поверхности изоляторов
- 4 – проворачивание стержня

Профилактические испытания

ИЗОЛЯЦИИ

Методы неразрушающего контроля:

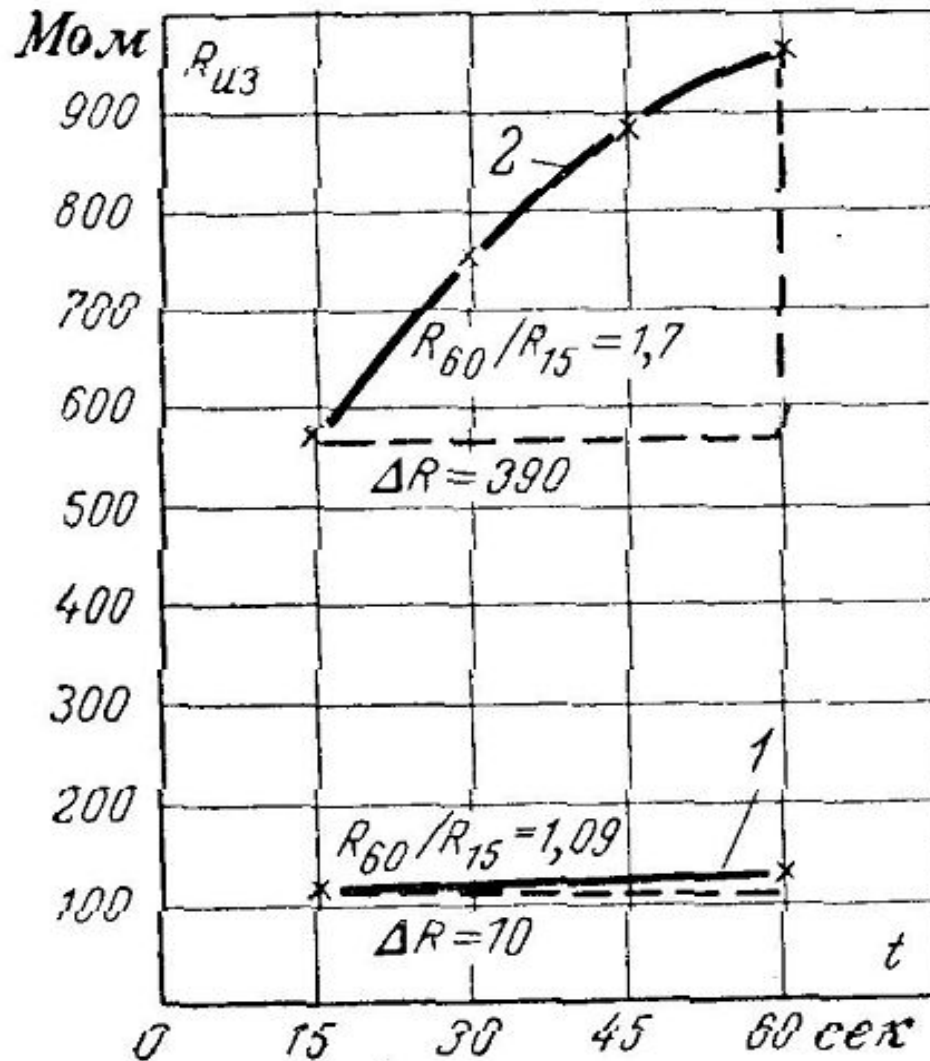
- Измерение сопротивления
- Измерение токов абсорбции
- Измерение емкости
- Измерение тангенса угла диэлектрических потерь
- Измерение величины и интенсивности ЧР
- Измерение распределения напряжения

Методы разрушающего контроля

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

При профилактических испытаниях изоляции широко используются следующие установки и приборы:

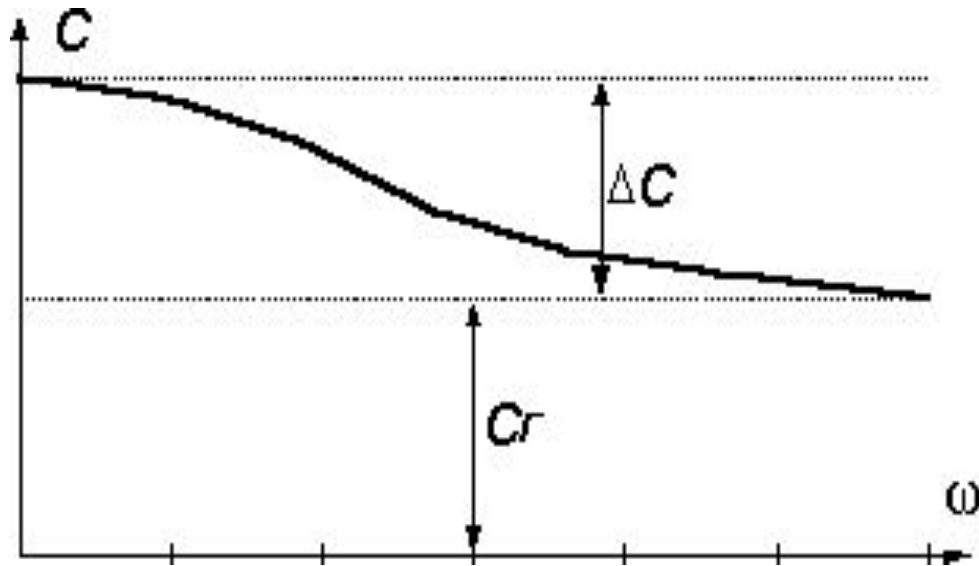
- 1) установки высокого переменного напряжения промышленной частоты;
- 2) установки высокого постоянного (выпрямленного) напряжения с измерением токов утечки;
- 3) приборы измерения сопротивления изоляции;
- 4) мосты высокого напряжения переменного тока;
- 5) ваттметровые установки;
- 6) приборы для контроля влажности изоляции;
- 7) приборы для измерения частичных разрядов в изоляции;
- 8) осциллографы;
- 9) ультразвуковые установки.



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

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

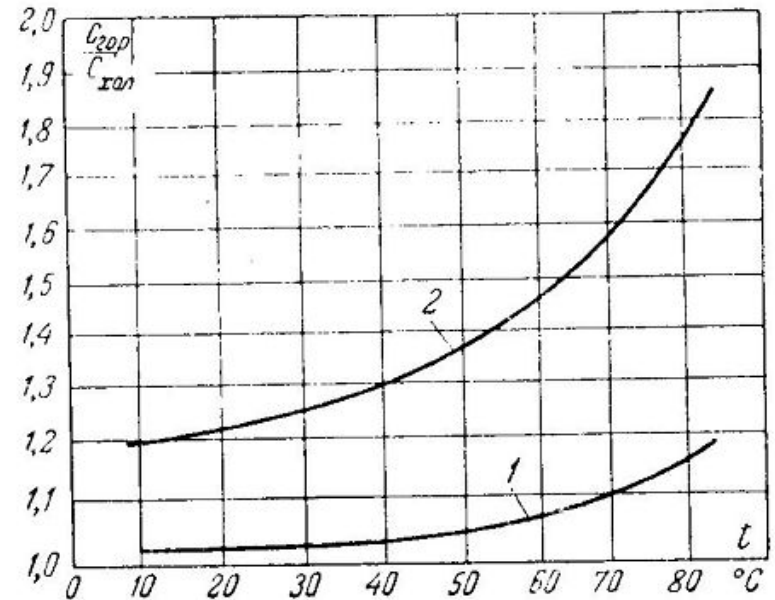
Емкость изоляции при неизменной температуре и частоте является величиной **постоянной**.



Зависимость емкости от частоты для двухслойной изоляции

Кривые зависимости емкости изоляции от температуры.

- 1 — сухая изоляция;**
- 2 — влажная изоляция**



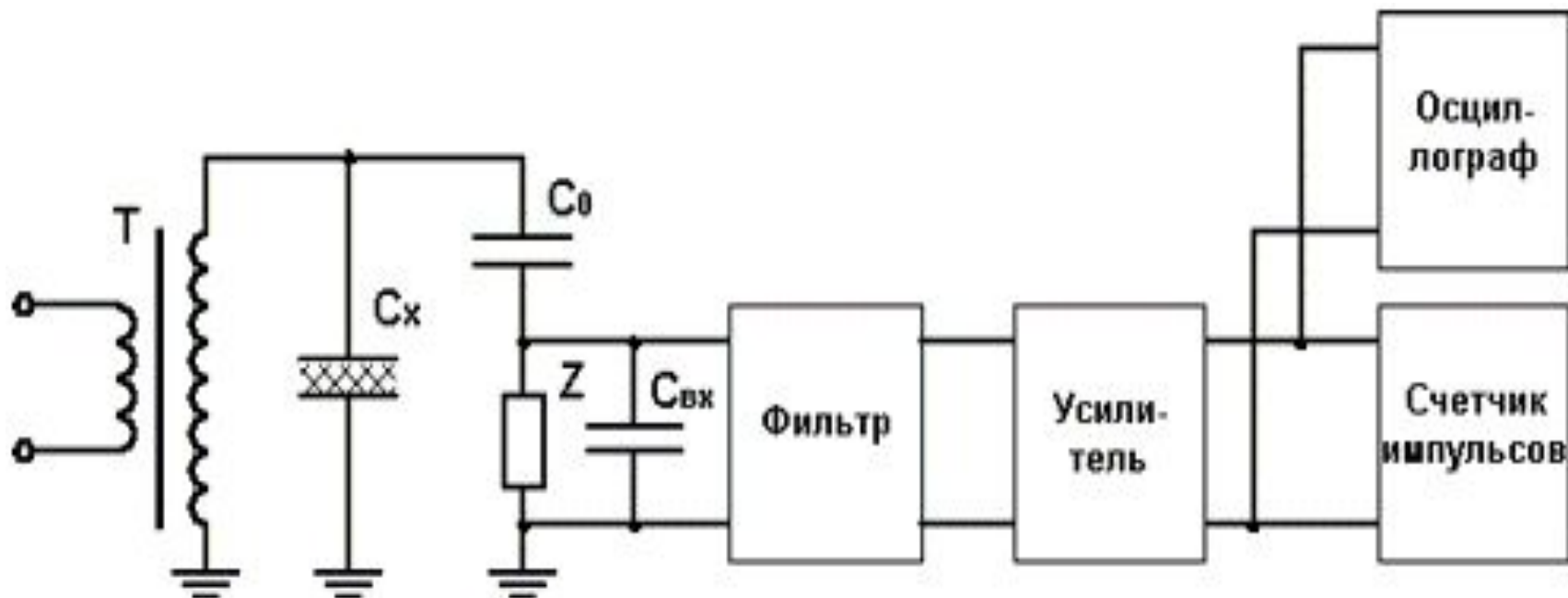


Схема установки контроля частичных разрядов

При $q = 10^{-16} - 10^{-14}$ Кл - происходит относительно медленное старение изоляции (начальные ЧР).

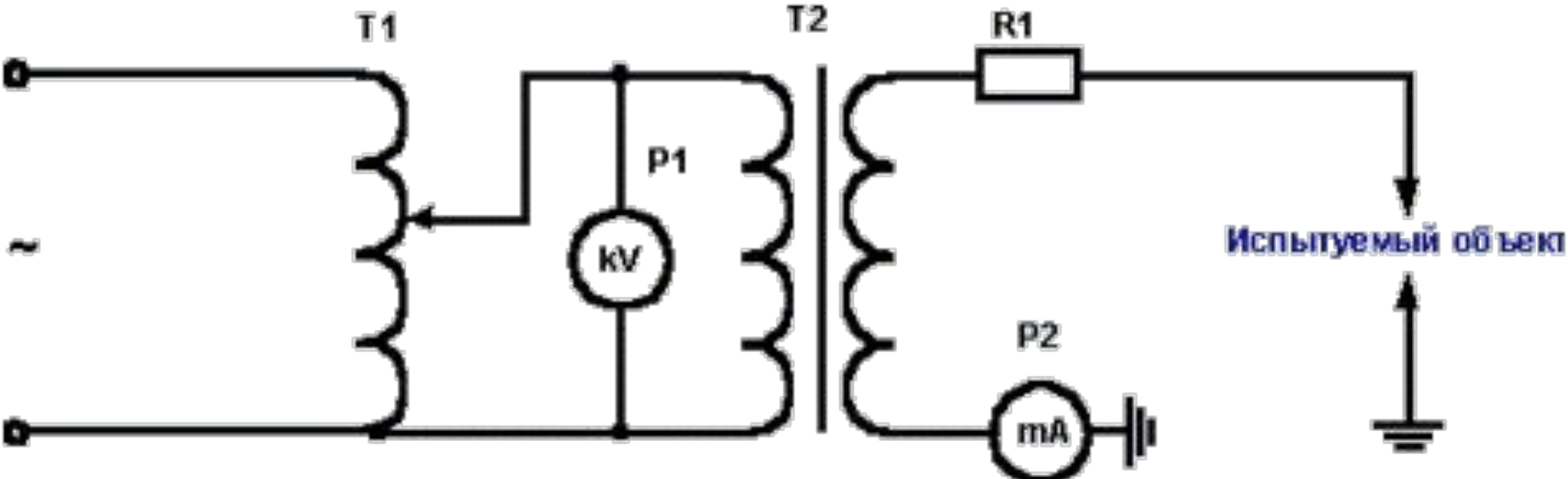
При $q = 10^{-9} - 10^{-6}$ Кл - изоляция разрушается за короткое время и такие частичные разряды недопустимы (критические ЧР).

Испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Основные методики:

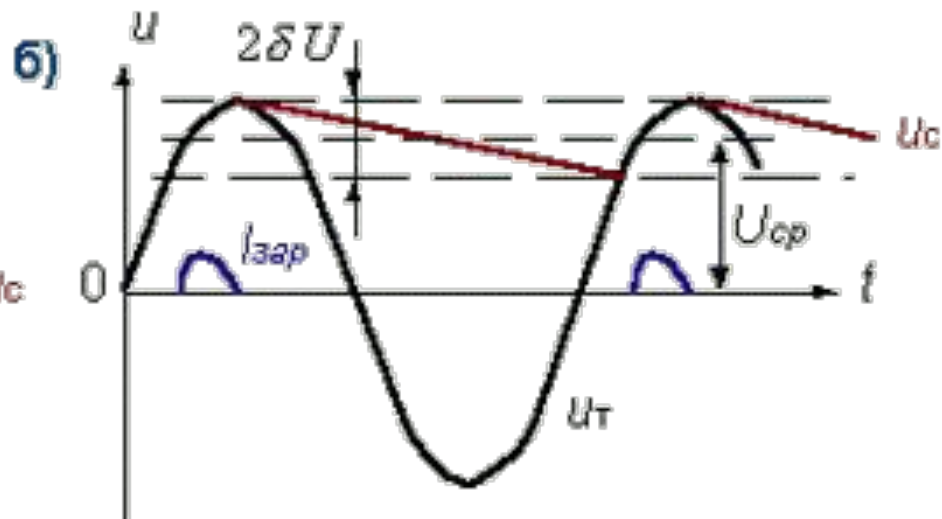
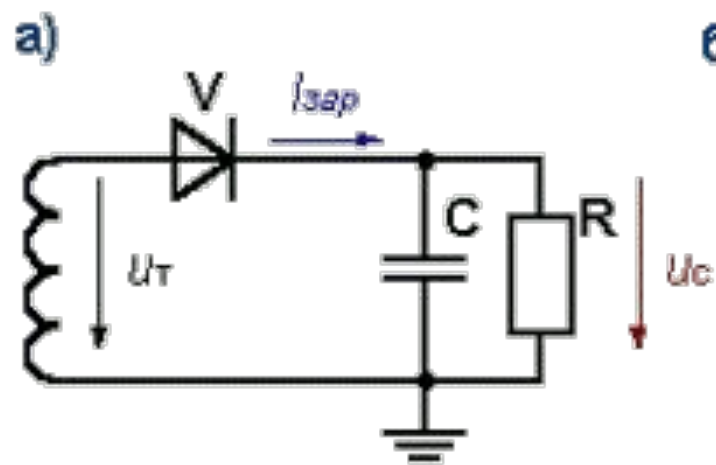
- 1.одноминутное приложение испытательного напряжения;
- 2.определение среднего разрядного напряжения(для самовосстанавливающейся изоляции);
- 3.приложение нормированного испытательного напряжения при плавном его подъеме.

Упрощенная схема испытательной установки переменного напряжения



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. Поэтому при испытаниях изоляции применяют в основном выпрямительные установки.
- **Выпрямительные установки в принципе могут быть поделены на две группы: установки однополупериодного выпрямления и установки, построенные по схемам умножения напряжения.**
- **В однополупериодных выпрямителях** высокое переменное напряжение преобразуется в высокое постоянное напряжение с помощью выпрямителя и сглаживающего устройства.
- **Схемы умножения напряжения:** удвоением напряжения, мостовая схема, позволяют получить высокое постоянное напряжение от источника с гораздо меньшим напряжением, но сравнительно небольшой мощности в сопоставлении с однополупериодным выпрямителем.



Однополупериодный выпрямитель

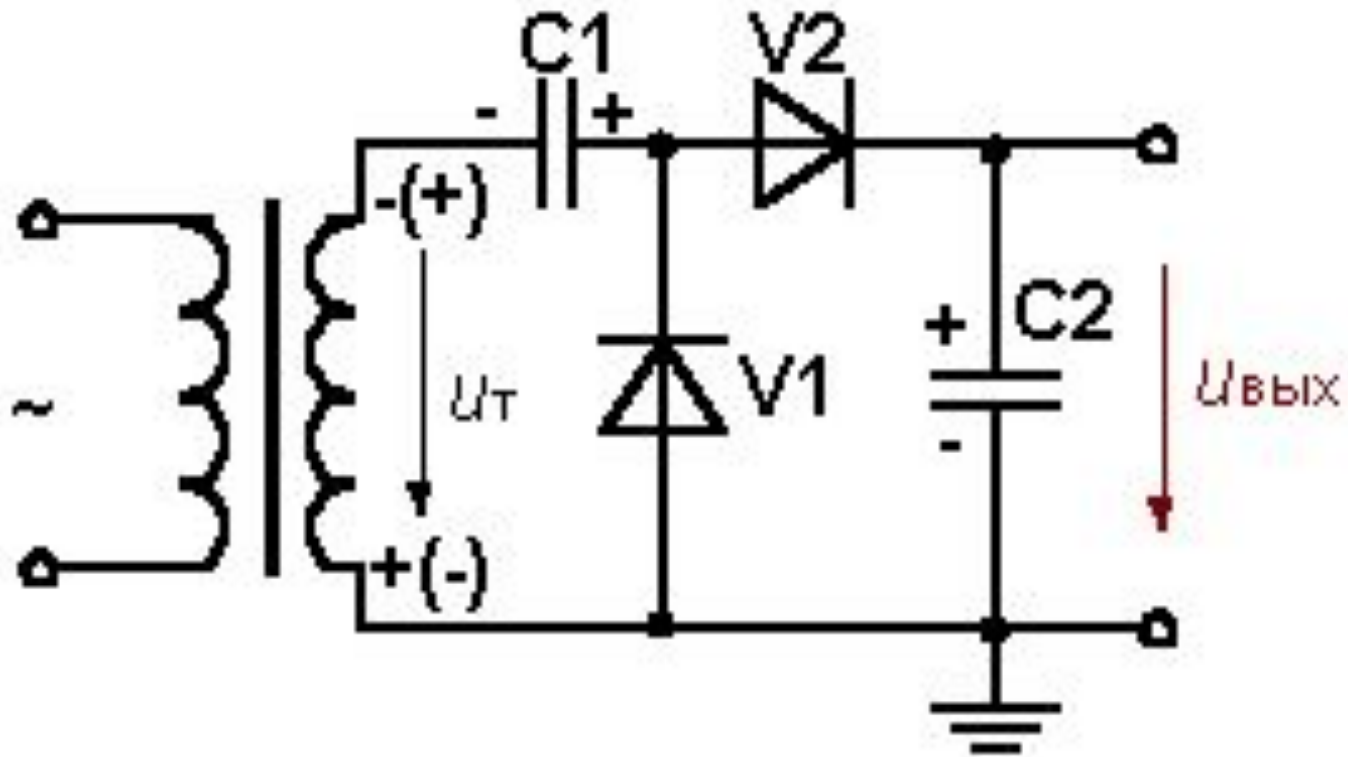


Схема выпрямителя с удвоением напряжения

ГИНЫ и ГИТЫ

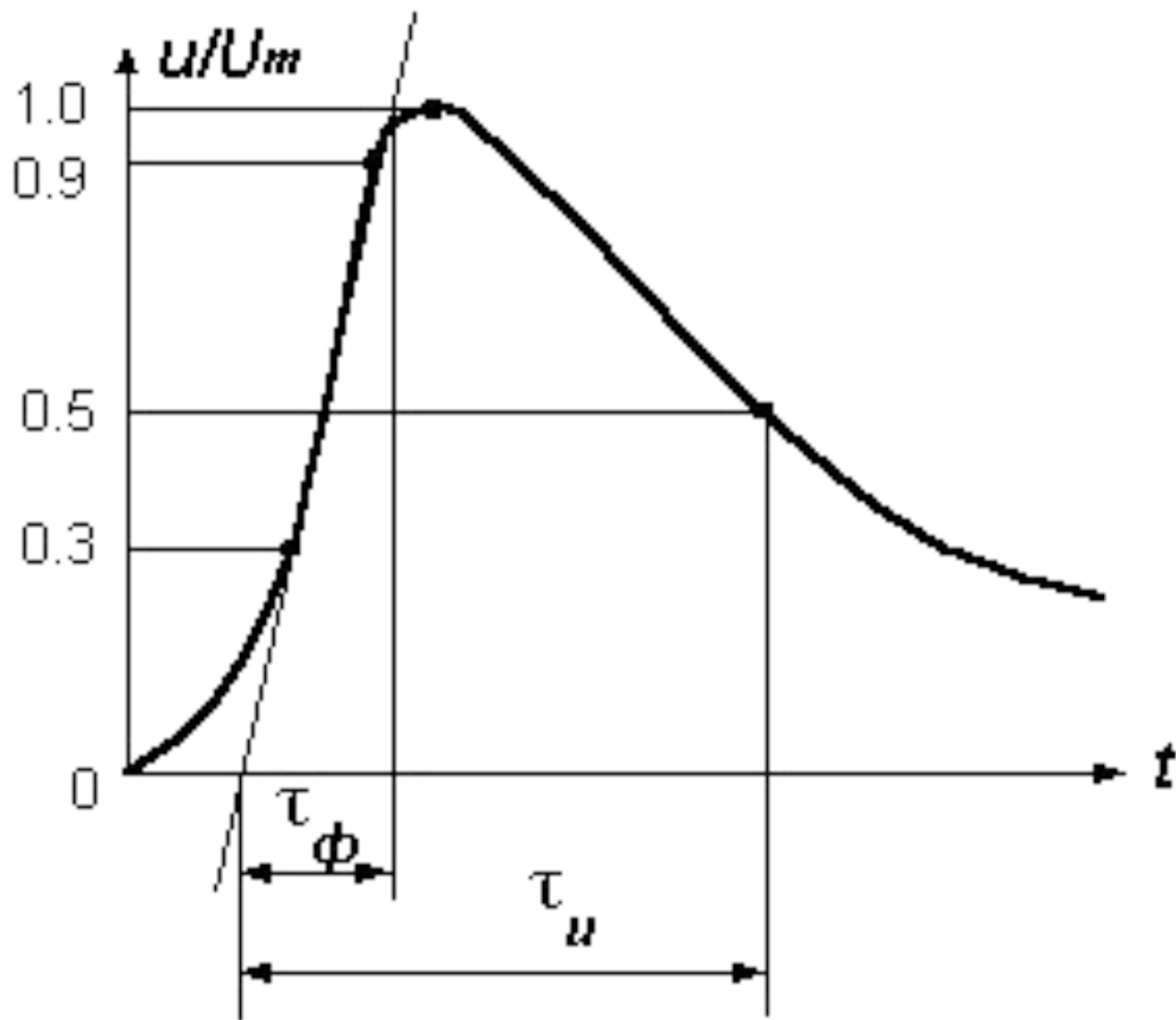
Для создания импульсов определенной
длительности

ГИН:

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

ГИТ:

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



Стандартный грозовой импульс

Генераторы 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 .

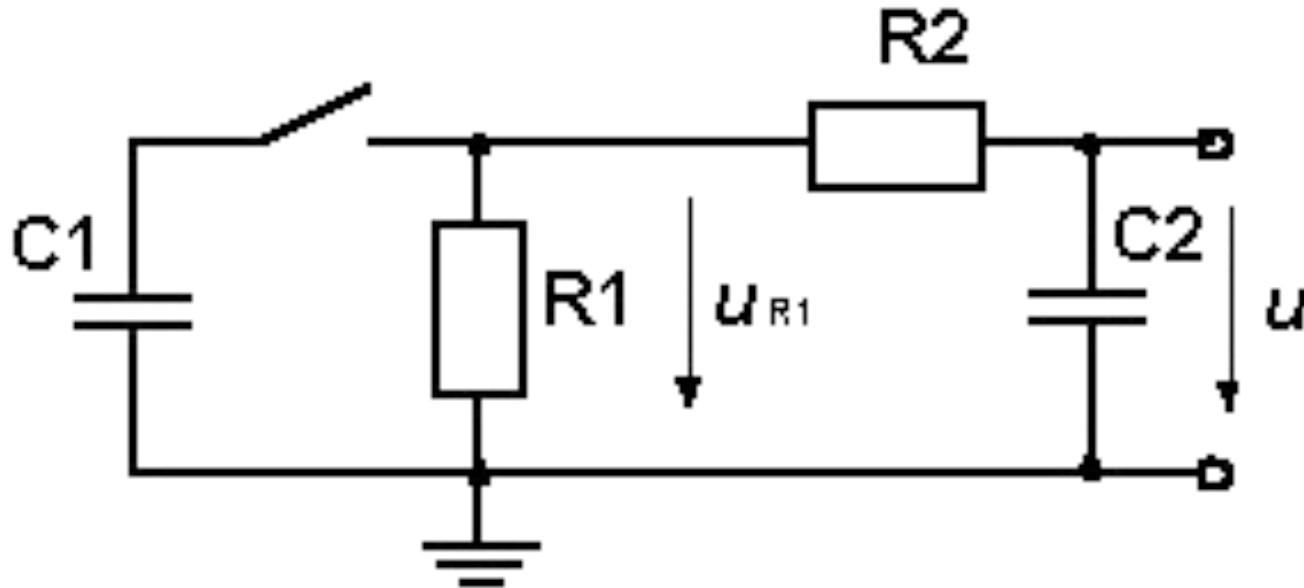
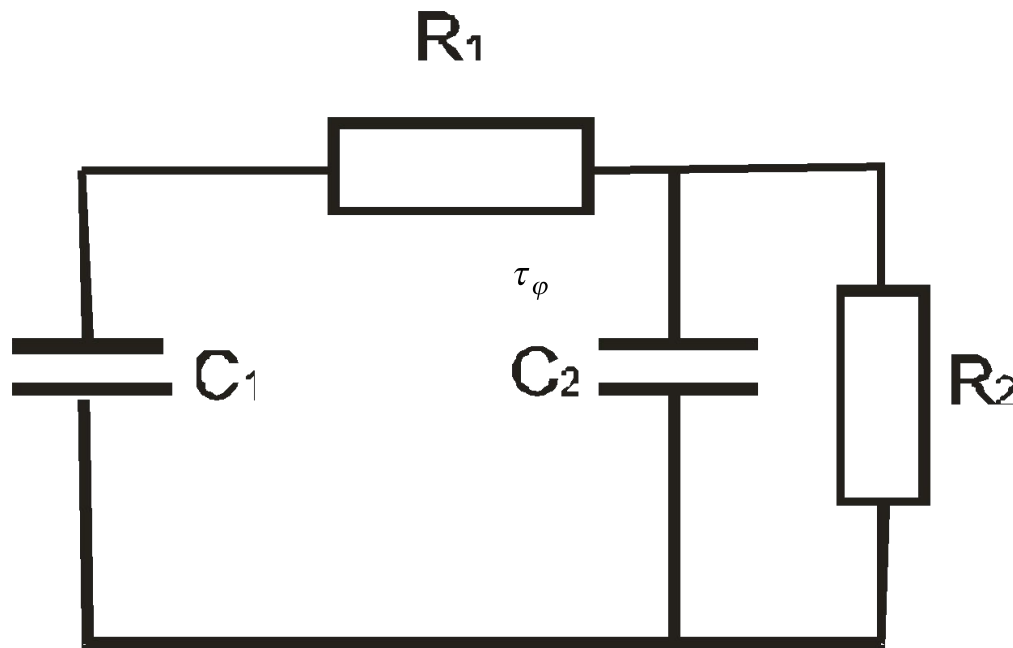


Схема одноступенчатого ГИН

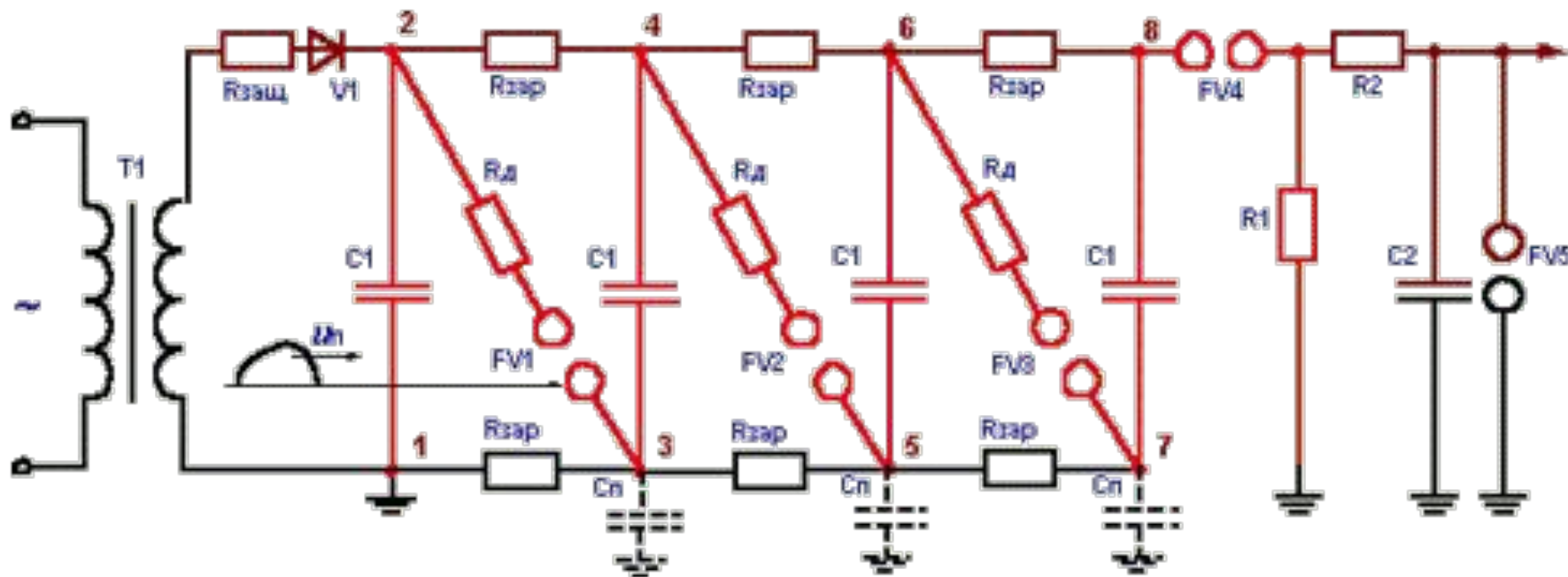
(Такие схемы ГИН применяют при напряжениях менее 100 кВ).

Длительность фронта волны в ГИНе определяется параметрами схемы замещения:

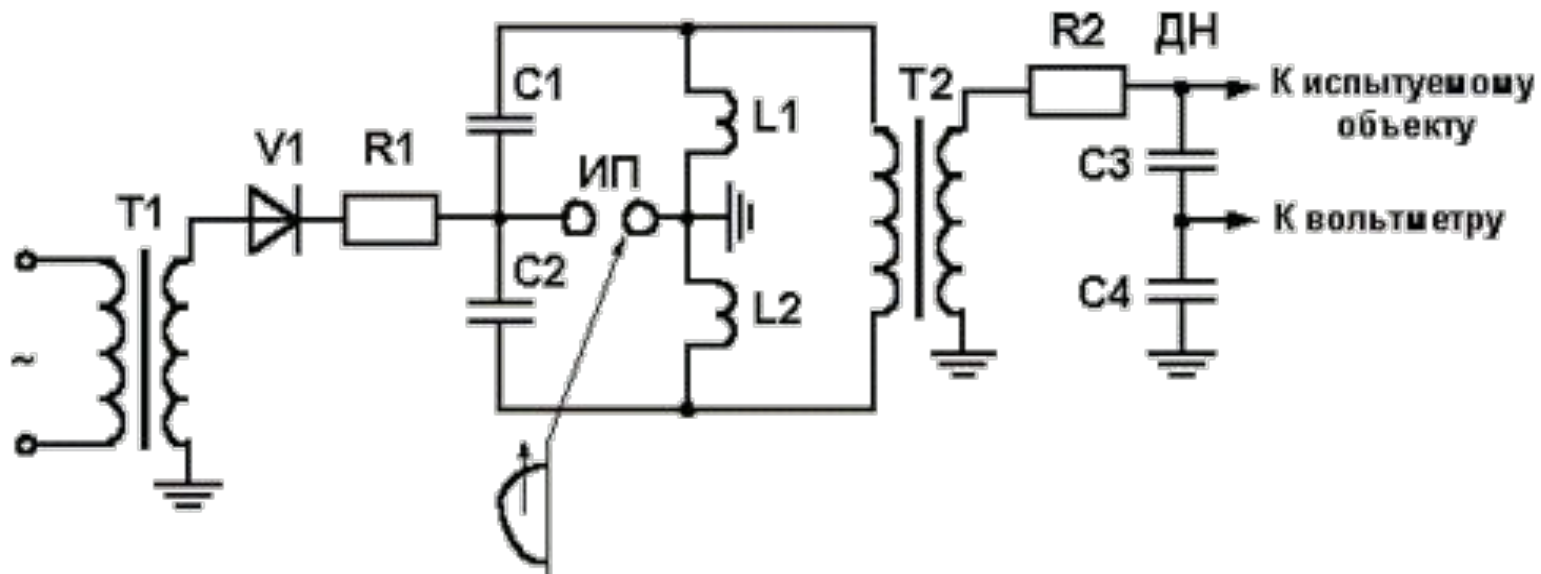
где C_1 – емкость ГИН, R_1 – зарядное сопротивление ГИН, R_2 – разрядное сопротивление ГИН, C_2 – емкость объекта (разрядная емкость)



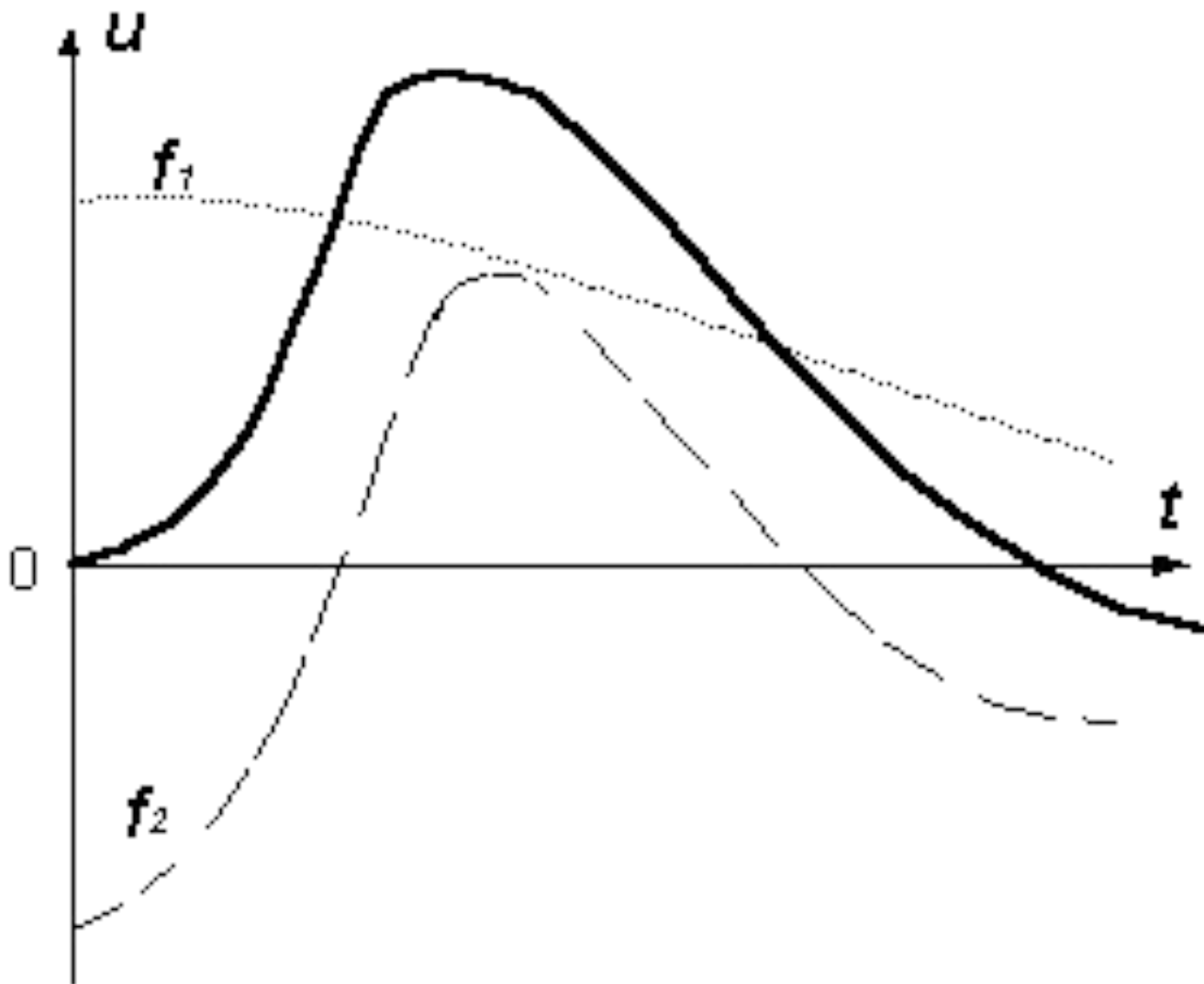
$$\tau_\Phi = 3,25 R_1 C_2$$



**Схема четырехступенчатого
ГИНа**



**Схема генератора
коммутационных импульсов**



**Форма выходного импульса
генератора**

Измерение высоких постоянных напряжений

Для измерения высоких постоянных напряжений используется три основных метода:

- измерение с помощью измерительного шарового разрядника,**
- измерение электростатическим вольтметром,**
- измерение с помощью добавочных резисторов.**

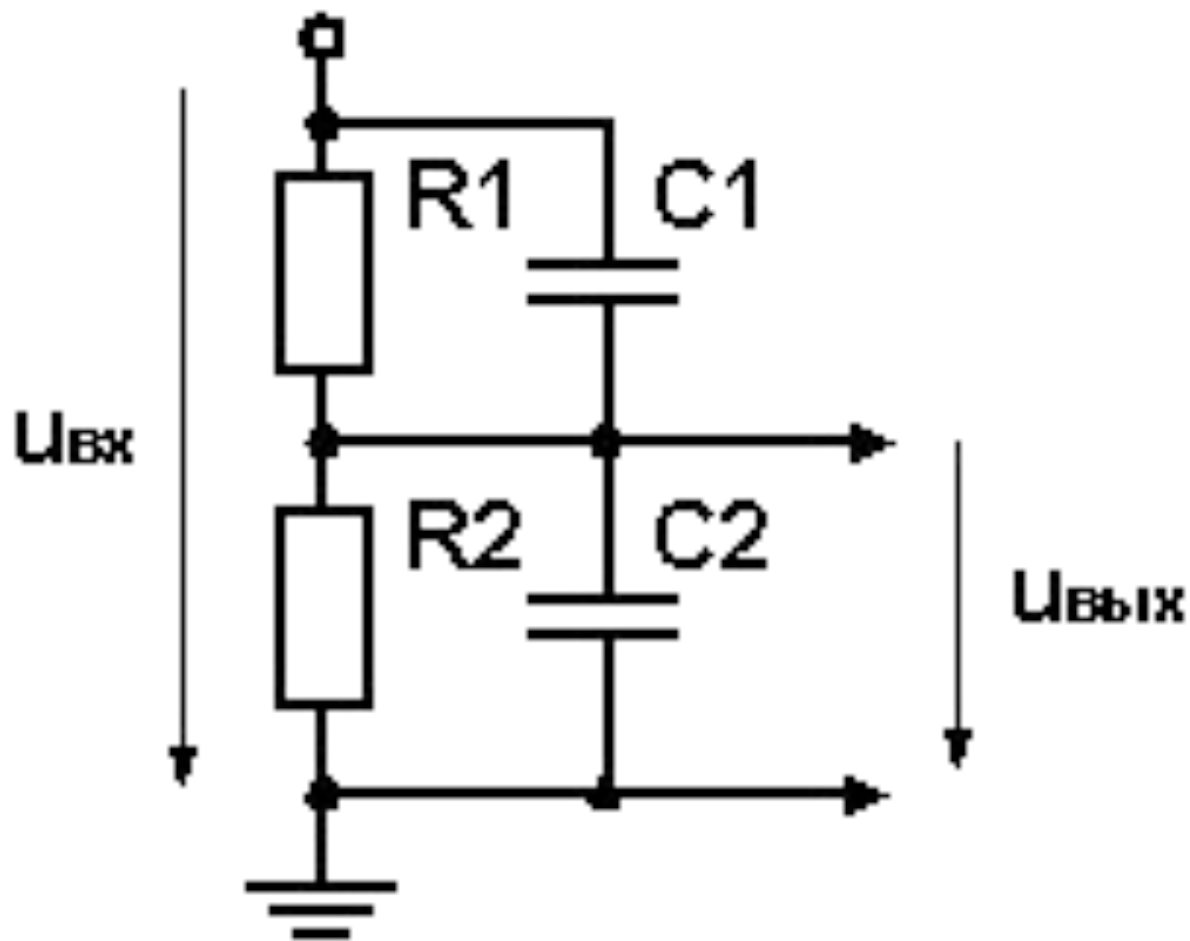
Измерение высоких переменных напряжений

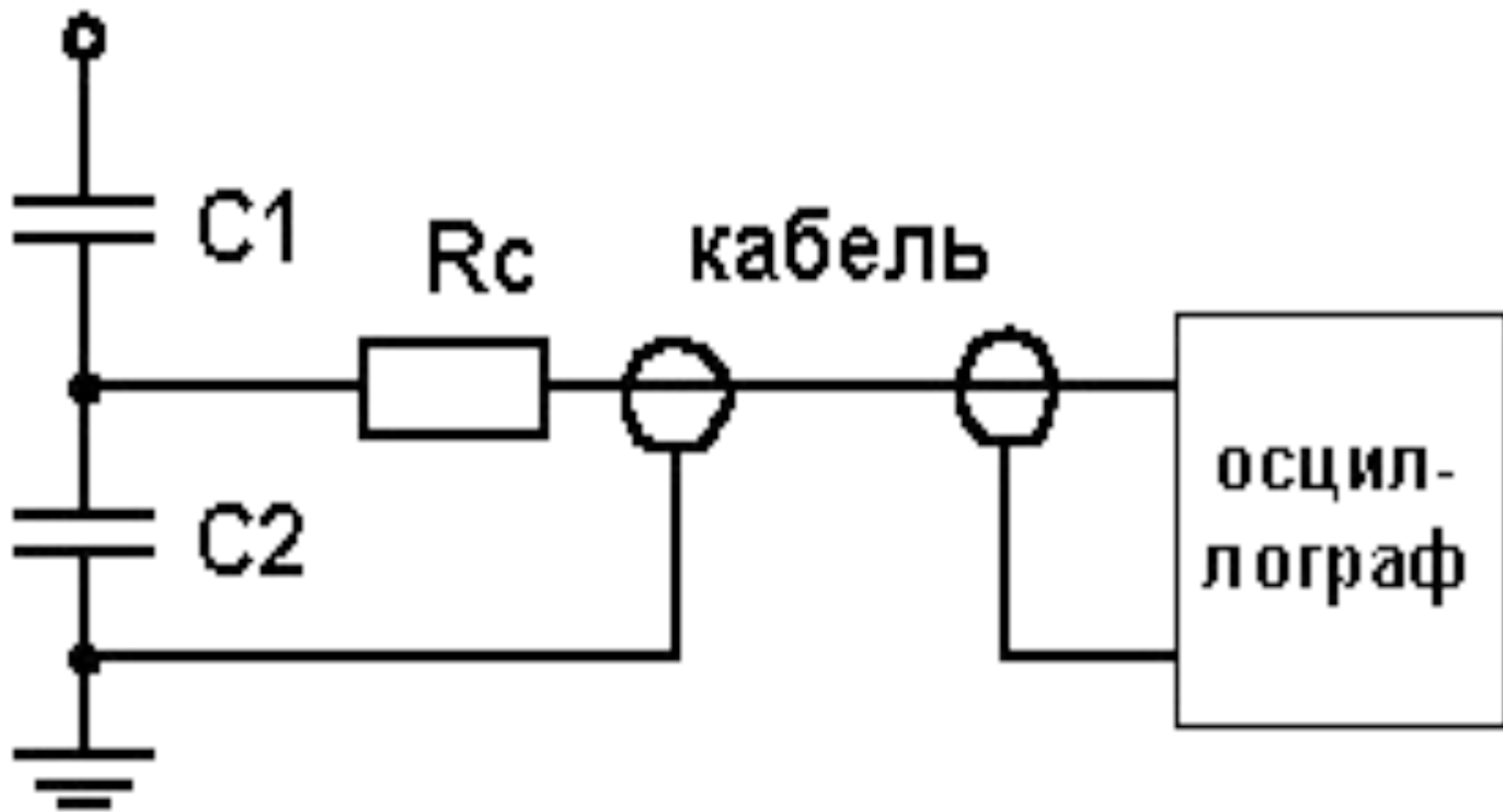
- **Измерительный шаровой разрядник** является универсальным измерительным прибором, пригодным и для измерения **амплитуды** переменного напряжения.
- **Электростатический вольтметр** принципиально пригоден для измерения эффективного значения переменного напряжения.
- **Емкостные делители напряжения** позволяют измерять высокие переменные напряжения с помощью низковольтных вольтметров, обеспечивая точное повторение формы высокого напряжения на низковольтном выходе. Последнее требование важно в случае контроля гармонического состава переменного напряжения.
- **Омические делители** на основе резисторов на переменном напряжении **не пригодны** ввиду наличия паразитных емкостей, что требует применения резисторов со сравнительно небольшим сопротивлением и большой рассеиваемой мощностью; индуктивные делители обладают нелинейностью параметров и паразитными емкостными и омическими свойствами
- В испытательных установках переменного напряжения измерения высокого напряжения производятся путем **измерения напряжения первичной обмотки испытательного трансформатора** с пересчетом по коэффициенту трансформации.

Измерение высоких импульсных напряжений

- **Измерительный шаровой разрядник** пригоден и для измерения максимального значения напряжения стандартного грозового импульса. При измерении амплитуды импульса подбирают такое расстояние между шарами разрядника, при котором из десяти поданных импульсов пять закончатся пробоем, а оставшиеся пять - нет.
- Другим способом измерения импульсных напряжений является применение **делителей напряжения с низковольтным импульсным вольтметром или осциллографом**. Делитель напряжения может быть омическим, емкостным или емкостно-омическим. Основной характеристикой делителя является коэффициент деления. Другой важной характеристикой делителя является частотная характеристика, представляющая собой зависимость коэффициента деления от частоты.

Емкостно-омический делитель напряжения





**Емкостный
делитель
напряжения**

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Перенапряжением называют всякое превышение напряжением амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Длительность перенапряжения может составлять от единиц микросекунд до нескольких часов. Воздействие перенапряжения на изоляцию может привести к ее пробое.

Основные характеристики перенапряжения:

- **максимальное значение;**
- **кратность перенапряжения, равная отношению максимального значения перенапряжения к амплитуде наибольшего допустимого рабочего напряжения;**
- **время нарастания перенапряжения;**
- **длительность перенапряжения;**
- **число импульсов в перенапряжении;**
- **широта охвата сети;**
- **повторяемость перенапряжения.**

Классификация перенапряжений:

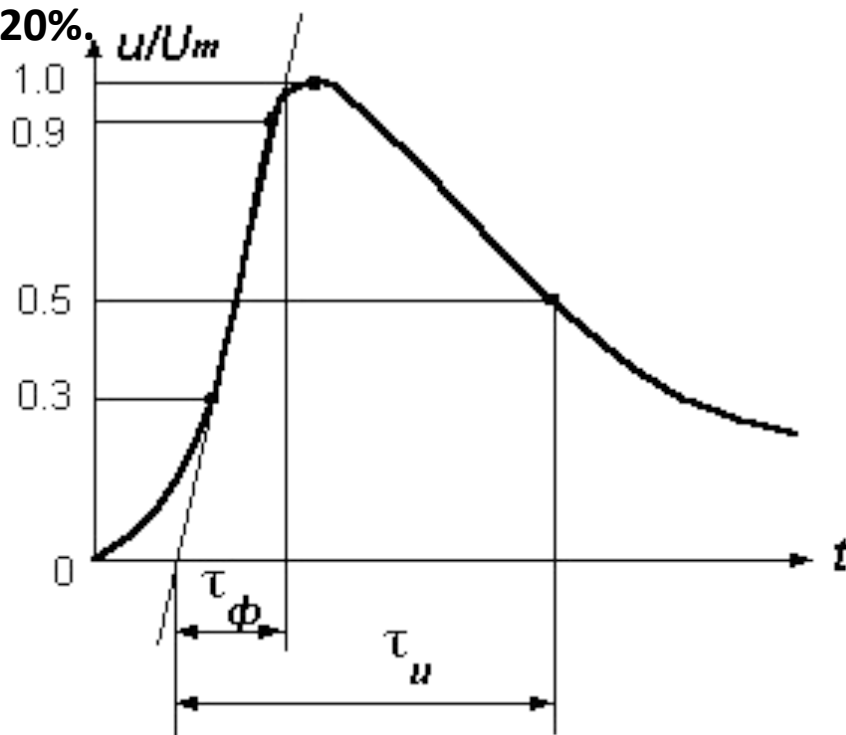
По месту приложения напряжения различают:

- - фазные перенапряжения;
- - междофазные перенапряжения;
- - внутрифазные перенапряжения например, между витками катушки трансформатора, между нейтралью и землей);
- - между контактами коммутационных аппаратов.

По причинам возникновения перенапряжения подразделяются на:

- **внешние** - от разрядов молнии (атмосферные перенапряжения) и от воздействия внешних источников;
- **внутренние** - возникающие при резонансных явлениях, при авариях и при коммутациях элементов электрической цепи.

ГОСТ 1516.2-97 определяет время нарастания импульса напряжения и длительность импульса. Для выделения наиболее значимой части импульса на его фронте проводят прямую линию через точки, соответствующие 0.3 и 0.9 амплитуды импульса и по пересечению этой линией оси абсцисс и линии максимального значения импульса определяют длительность фронта τ_{ϕ} , а по времени достижения спада импульса до половины максимального значения определяют длительность импульса $\tau_{и}$. Для стандартного грозового импульса $\tau_{\phi} = 1.2$ мкс + 30%, $\tau_{и} = 50$ мкс + 20%.



**Определение параметров
апериодического импульса**

Атмосферные

перенапряжения

- *прямые удары молнии* в оборудование (ПУМ), при которых даже на заземленных сооружениях возникают большие потенциалы.
- *Индуктированные перенапряжения* возникают вследствие индуктивной и емкостной связи канала молнии с токоведущими и заземленными частями электрической сети. Величина индуктированных перенапряжений меньше, чем при прямых ударах молнии, и они **опасны только для сетей до 35 кВ** при ударе молнии вблизи линии.

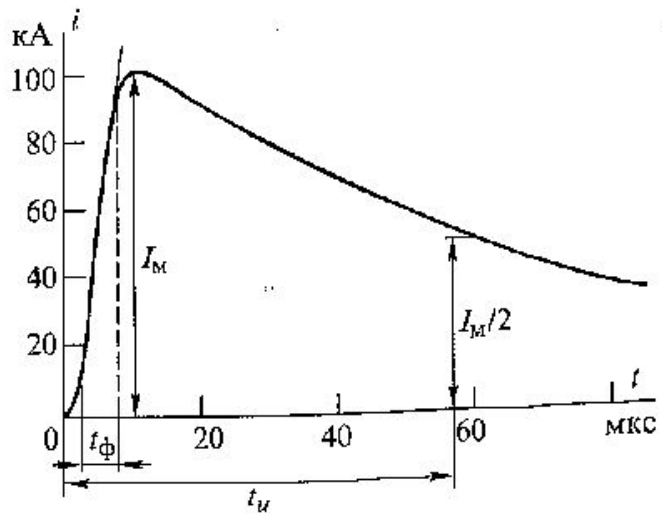
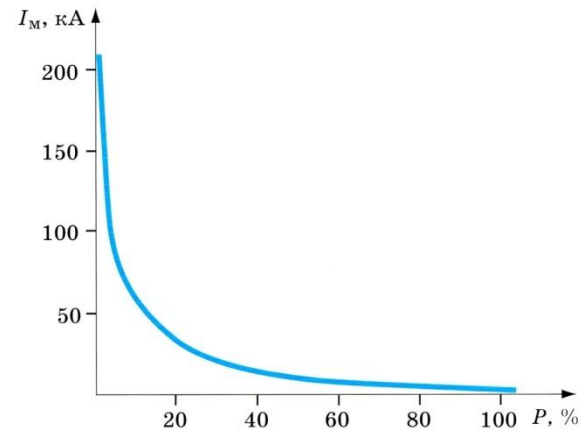
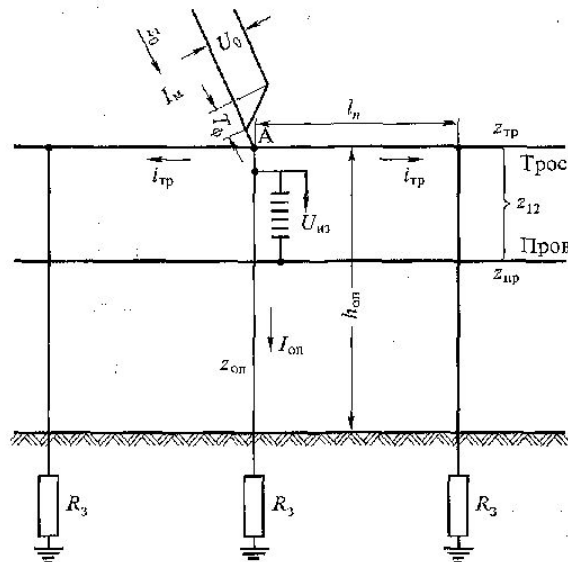


Рис. 1.6. Импульсная волна тока молнии

Кривая вероятности токов молнии



P — вероятность возникновения амплитуды тока (напряжения)



Распределение токов при прямом ударе молнии в трос

Молниеотводы

Стержневые

- Трубчатые (высота до 10 метров); устанавливаются на зданиях, на различных конструкциях подстанций и т.п.;
- Составные (высота около 40 метров); располагаются отдельно и обычно имеют составную ферму.

Тросовые

В виде двух стальных проводов, протянутых над рабочими проводами.

(Защитная зона между двумя тросами возрастает в следствие их взаимного влияния).

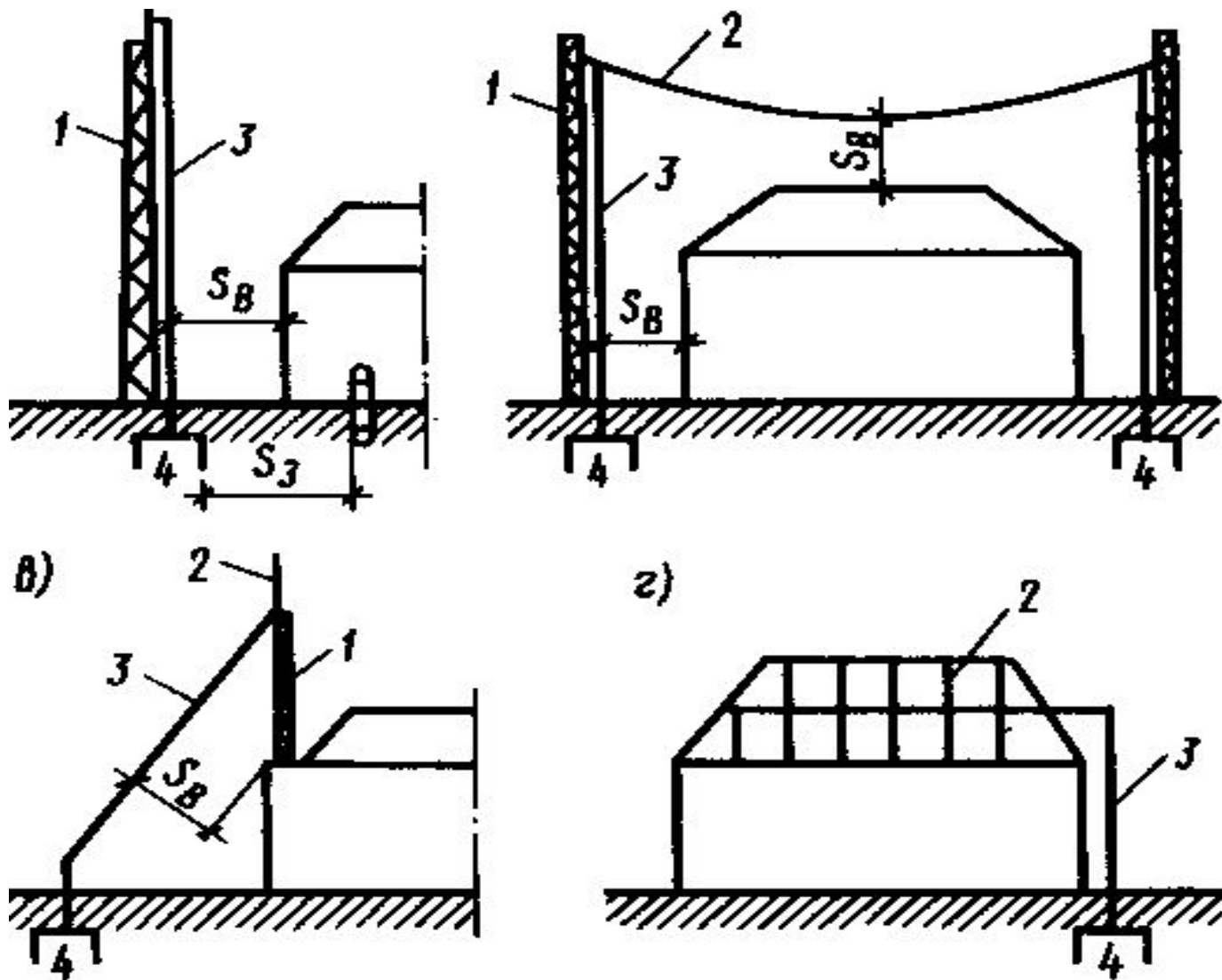


Рис. 18.5. Молниеотводы

Молниеотвод — устройство, воспринимающее удар молнии и отводящее ее ток в землю.

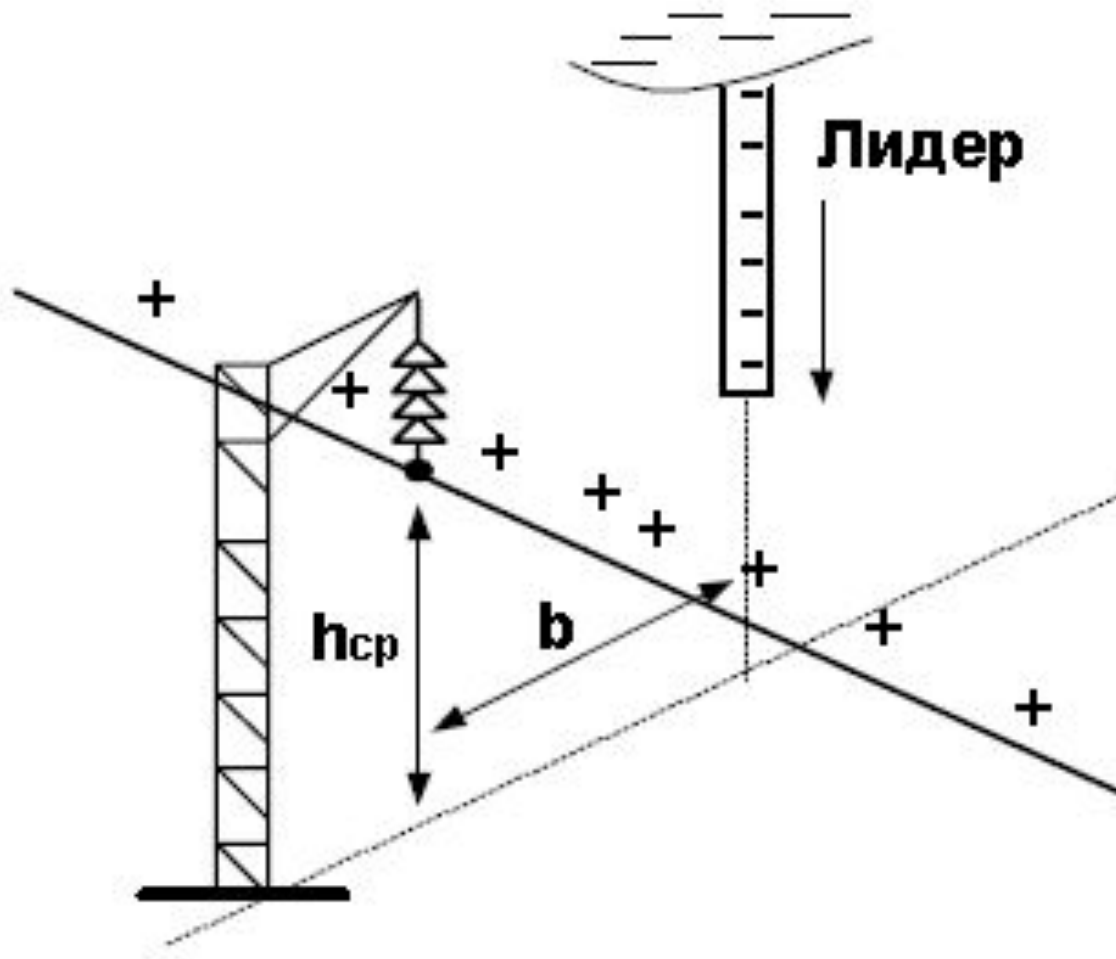
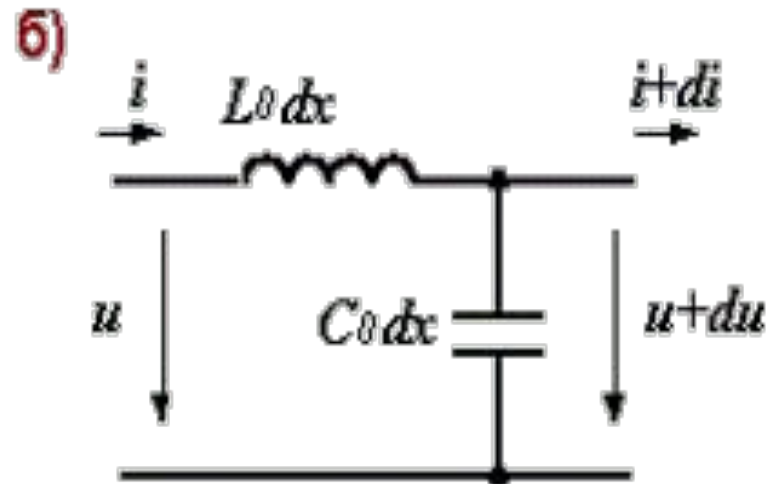
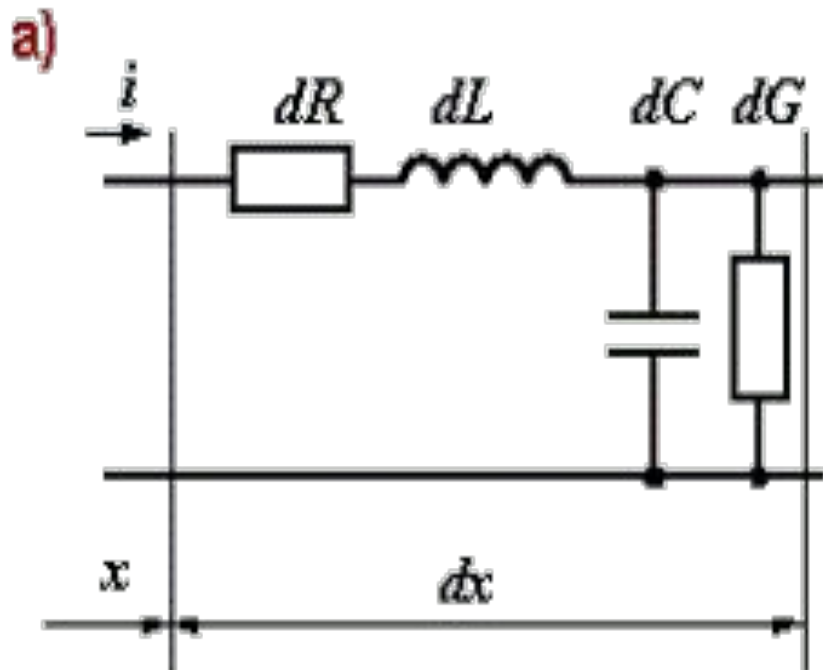


Схема появления индуктированного перенапряжения



**Схема замещения участка линии
длиной dx**

Первичные **параметры линии**

$$dL = L_0 dx,$$

$$dC = C_0 dx,$$

L_0 (Гн/км) - это индуктивность линии длиной 1 км, заземленной на конце;
 C_0 (Ф/км) - емкость изолированной от земли линии длиной 1 км.

Однородная линия - линия, у которой провод одинаков по всей длине и параллелен поверхности земли.

Первичные параметры однородной линии не зависят от длины линии l и от времени распространения волны t .

$$L_0 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \frac{2h}{r}$$

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{r}}$$

где h – высота расположения линии над землей,
 r – радиус провода.

$$\dot{i} = \frac{u}{Z_0} \text{ - закон Ома для линии (если нет процесса отражения)}$$

Волновое сопротивление
линии без потерь:

$$Z_0 = Z_B = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

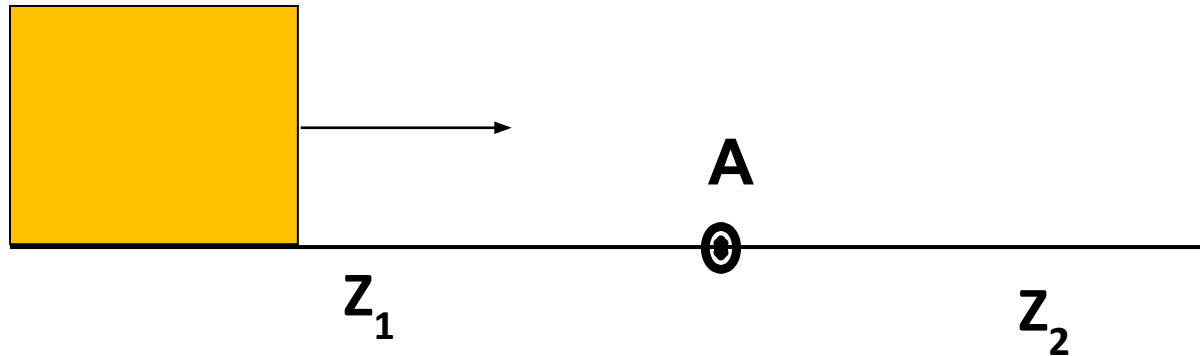
Волновое сопротивление линии определяется высотой подвеса провода над землей и его радиусом и для воздушных ЛЭП равно:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{4\pi^2 \varepsilon_0}} \cdot \ln \frac{2h}{r} = 138 \lg \frac{2h}{r}$$

где h – высота расположения линии над землей,
 r – радиус провода

Скорость распространения волны:

$$v_{\text{в}} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{1}{Z_{\text{в}} C_0} = \frac{Z_0}{L_0}$$



A – узловая точка, где волна испытывает изменение.

Волна, распространяющаяся к точке A по линии с волновым сопротивлением Z_1 , называется падающей.

Волна, распространяющаяся от точки A по линии с волновым сопротивлением Z_2 , называется преломленной.

Возмущение, связанное с преломлением волны в точке A, распространяющееся в виде волны

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

- коэффициент преломления волны перенапряжения (характеризует волну, движущуюся по линии в направлении от узловой точки А к концу линии).

$$\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

- коэффициент отражения волны перенапряжения (характеризует волну, движущуюся по линии в направлении противоположном падающей волны).

Частные случаи

Разомкнутый конец линии:

коэффициент преломления равен 2,
коэффициент отражения равен 1,
т.е. напряжение в точке А увеличивается в 2 раза и энергия магнитного поля переходит в энергию электрического поля.

Короткозамкнутый конец линии:

коэффициент преломления равен 0,
коэффициент отражения равен минус 1,
т.е. напряжение проходит через точку А без изменения и энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля.

Равные волновые сопротивления Z_1 и Z_2 :

напряжение проходит через точку А без изменения и нет преломленной и отраженной волн.

Волновые процессы в обмотках трансформаторов

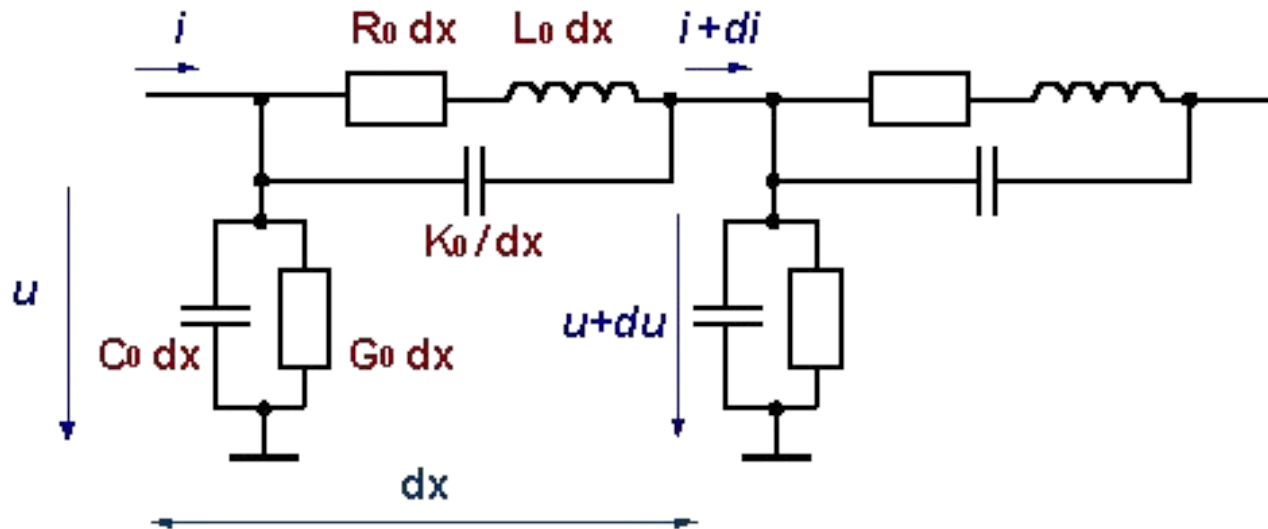


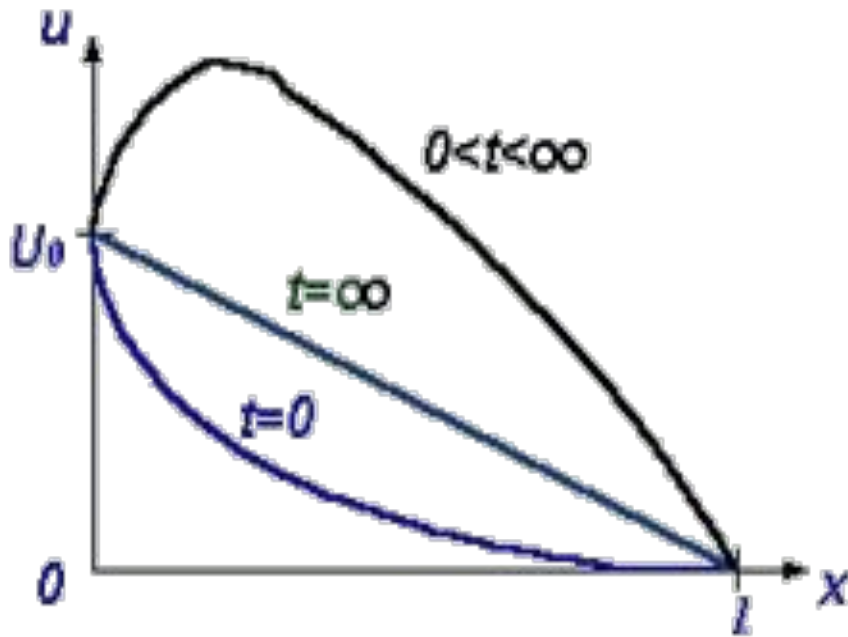
Схема замещения обмотки трансформатора

K_0 - емкость между соседними витками на единицу длины, Ф·м,

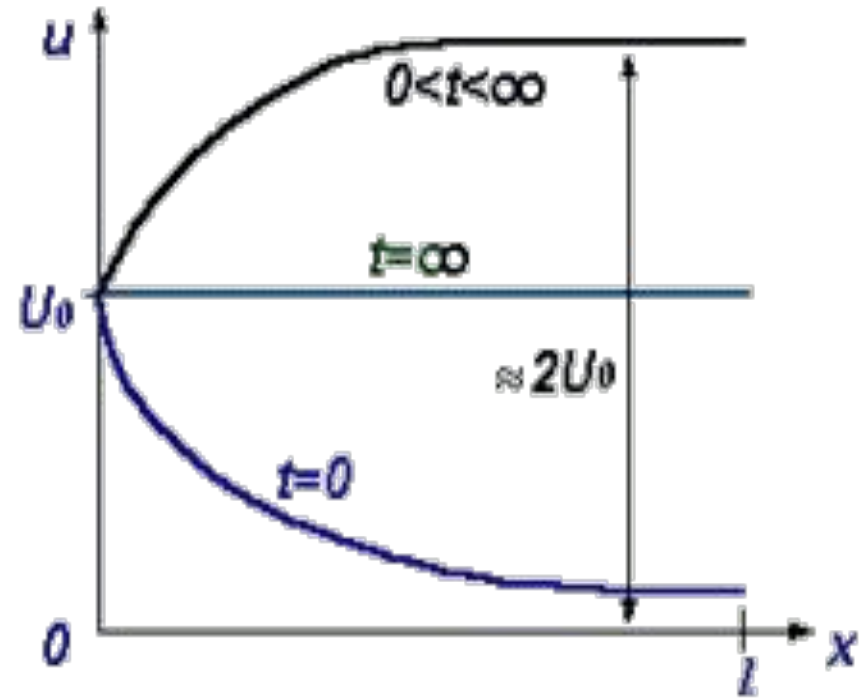
C_0 - емкость между витками и сердечником на единицу длины, Ф/м, L_0 – индуктивность на единицу длины, учитывающая э. д.с. самоиндукции витка и э.д.с. взаимоиндукции между соседними витками, Гн·м,

R_0, G_0 – определяют активные потери в обмотке и изоляции.

а)



б)



Распределение напряжения на главной изоляции трансформатора:

а) при заземленной нейтрали;

б) при изолированной нейтрали.

Внутренние перенапряжения:

- ***Квазистационарные перенапряжения***
(продолжаются от единиц секунд до десятков минут):
 - режимные,
 - резонансные,
 - феррорезонансные.
- ***Коммутационные перенапряжения***
(возникают при переходных процессах и быстрых изменениях режима работы сети: при работе коммутационных аппаратов, при коротких замыканиях и при прочих резких изменениях режима, за счет энергии, запасенной в емкостных и индуктивных элементах. Наиболее часто такие перенапряжения имеют место при коммутациях линий, индуктивных элементов, конденсаторных батарей.

-

Меры по уменьшению перенапряжения емкостного эффекта.

- Подключение к линии трансформаторов снижает емкостный эффект линии в основном за счет насыщения стали трансформатора при повышенном напряжении,
 - снижение напряжения за счет тока холостого хода при номинальном режиме обычно невелико.
- Уменьшение длины участков линий уменьшает перенапряжения емкостного эффекта.
- При больших длинах участков линии (более 300 км) и малой мощности связываемых систем на линии обычно устанавливают шунтирующие реакторы, компенсирующие емкостный ток линии.

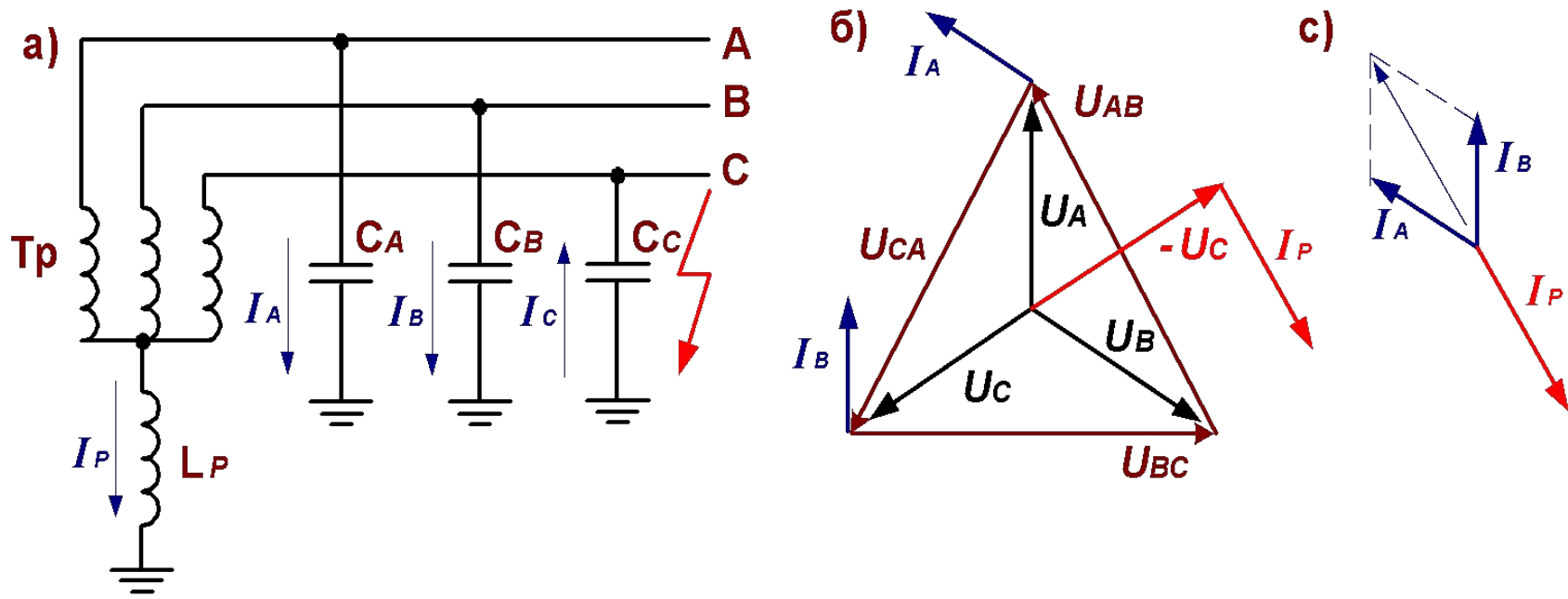


Схема включения дугогасящего реактора (а), векторная диаграмма напряжений (б) и сумма токов (с)

Если токи I_A и I_B одинаковы и соблюдается условие:

$$\omega L_P = \frac{1}{\omega (C_A + C_B + C_C)}$$

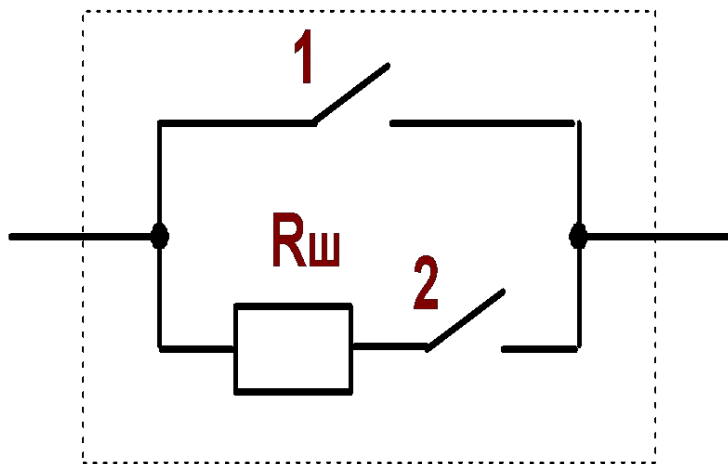
то сумма токов I_A , I_B и I_P , равная току I_C , будет равна нулю, и дуга установившегося тока короткого замыкания в этом случае не сможет возникнуть.

Коммутационные перенапряжения возникают при *включении и отключении ненагруженной линии*, при котором на квазистационарное перенапряжение за счет емкостного эффекта накладываются затухающие колебания на емкости и индуктивности линии, частота которых зависит от длины линии.

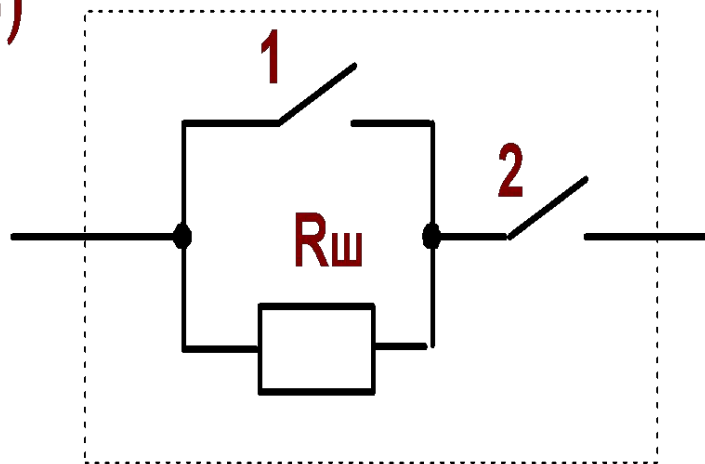
Для снижения этого типа перенапряжений используют следующие меры:

- **шунтирующие резисторы с двухступенчатым включением, сначала с резистором сопротивлением 600..1200 Ом, а затем через 10..20 мс шунтирование этого резистора ;**
- **применение выключателей, позволяющие выбирать наиболее благоприятный момент включения;**
- **использование вентильных разрядников и ОПН для ограничения перенапряжений;**
- **секционирование линий на участки длиной не более 250..300 км.**

a)



б)



**Схемы выключателя с
шунтирующим резистором**

Защитные мероприятия

Все мероприятия по защите от перенапряжений делятся на две группы:

- ❖ превентивные меры снижения перенапряжений:
- ✓ применение выключателей с шунтирующими резисторами;
- ✓ применение выключателей без повторных зажиганий дуги между контактами при их разведении;
- ✓ применение грозозащитных тросов и молниеотводов;
- ✓ заземление опор линий электропередачи;
- ✓ емкостная защита изоляции обмоток трансформаторов и реакторов;
- применение емкостных элементов для снижения перенапряжений.
- ❖ защита оборудования с помощью защитных (коммутационных) средств, к которым относят:
- ✓ разрядники,
- ✓ шунтирующие реакторы с искровым соединением,
- ✓ нелинейные ограничители перенапряжений(ОПН).

Коммутационные средства защиты от перенапряжений

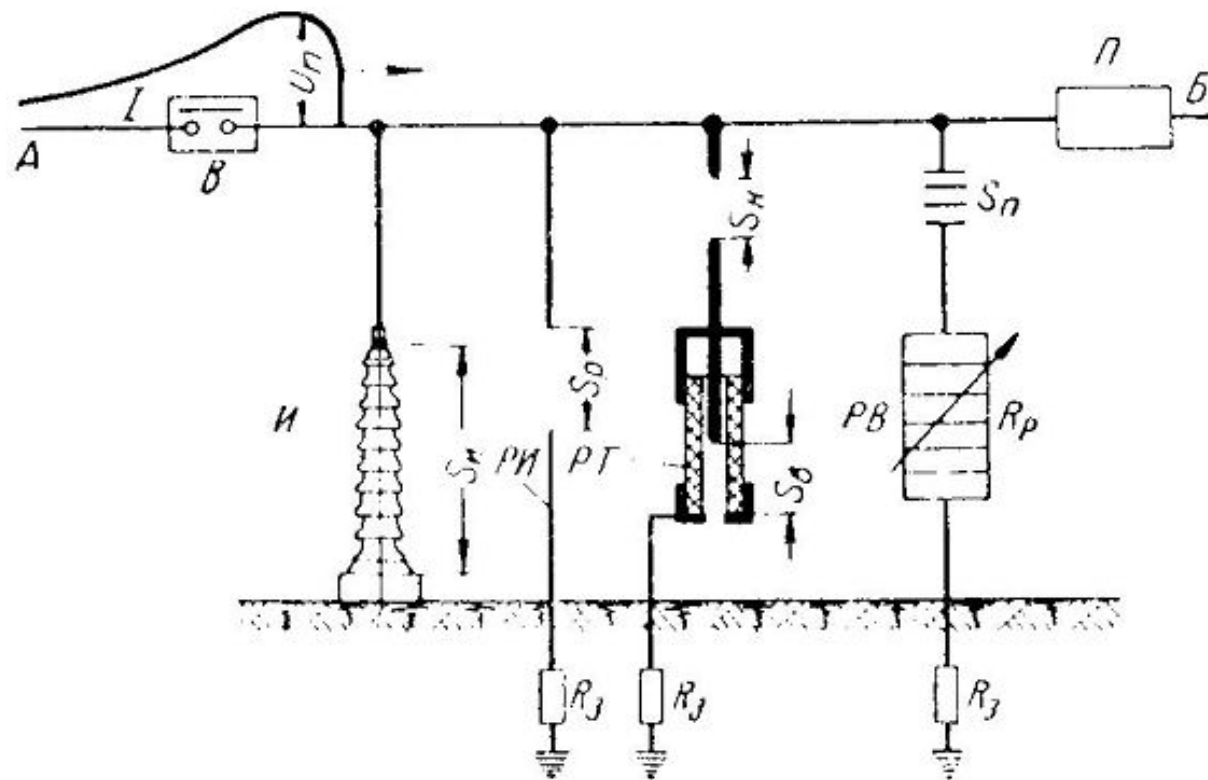
Коммутационные (звщитные) средства защиты от перенапряжений срабатывают и соединяют защищаемую цепь с заземлением в случае, когда перенапряжение в точке их установки превышает некоторую критическую величину.

К этим средствам относят:

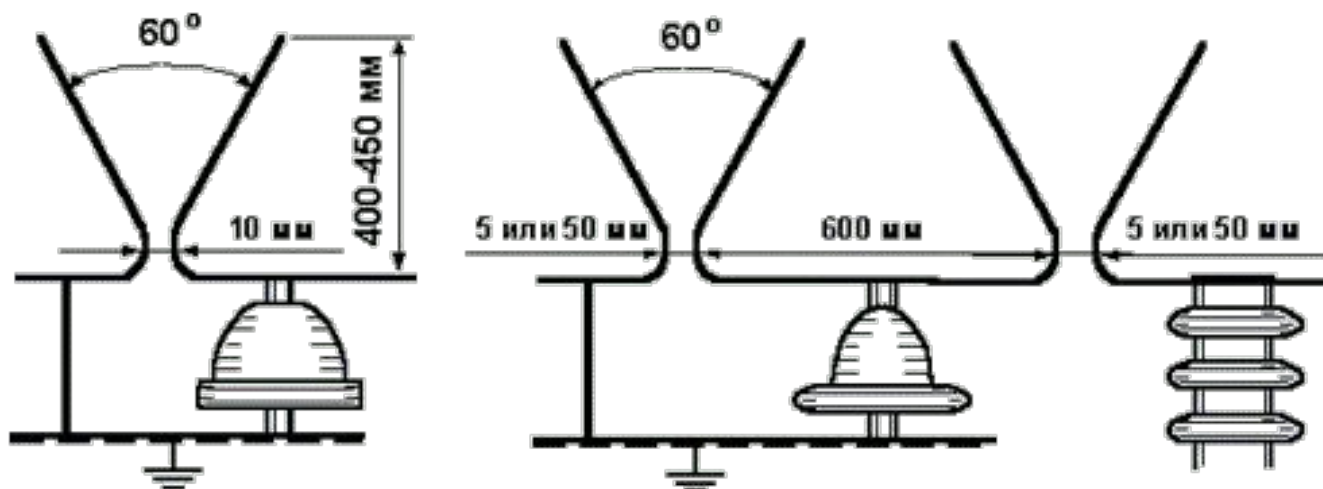
- разрядники,
- шунтирующие реакторы с искровым соединением,
- нелинейные ограничители перенапряжений(ОПН).

Для защиты линий и оборудования подстанций от перенапряжений наиболее часто используют:

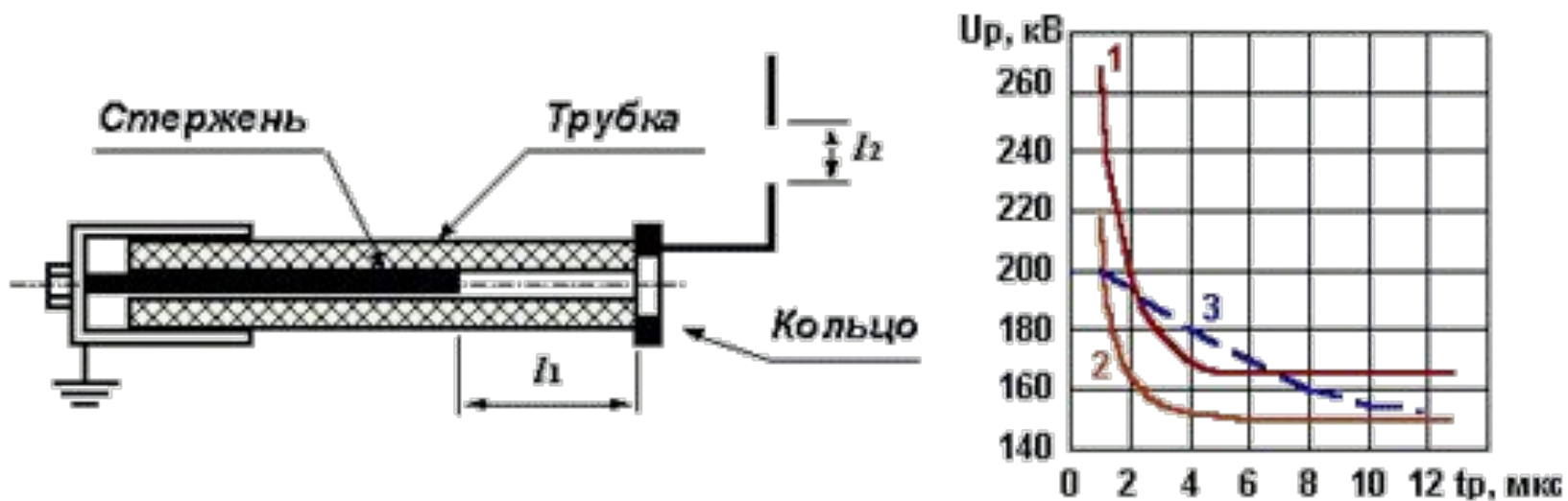
- **искровые промежутки, разрядники и ОПН для защиты отдельных точек на линии;**
- **тросы и заземления опор на линиях;**
- **роговые разрядники, трубчатые разрядники на контактной сети;**
- **молниеотводы;**
- **разрядники и ОПН на подстанциях;**
- **в отдельных случаях – конденсаторы для снижения грозовых перенапряжений.**



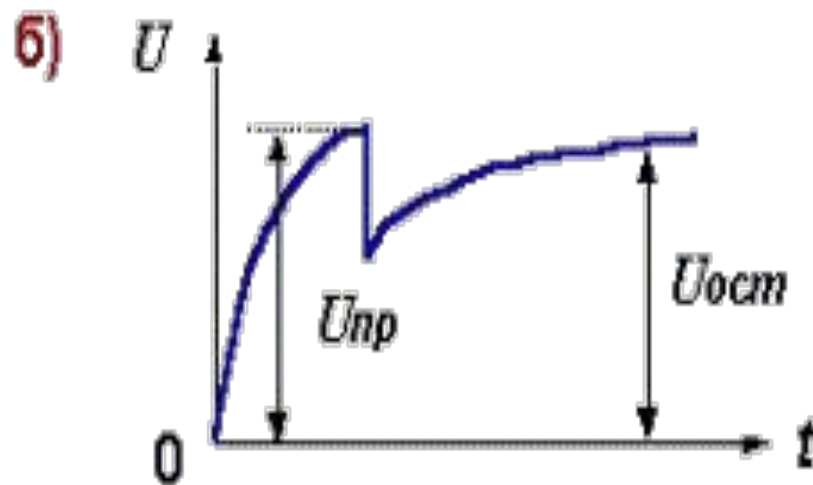
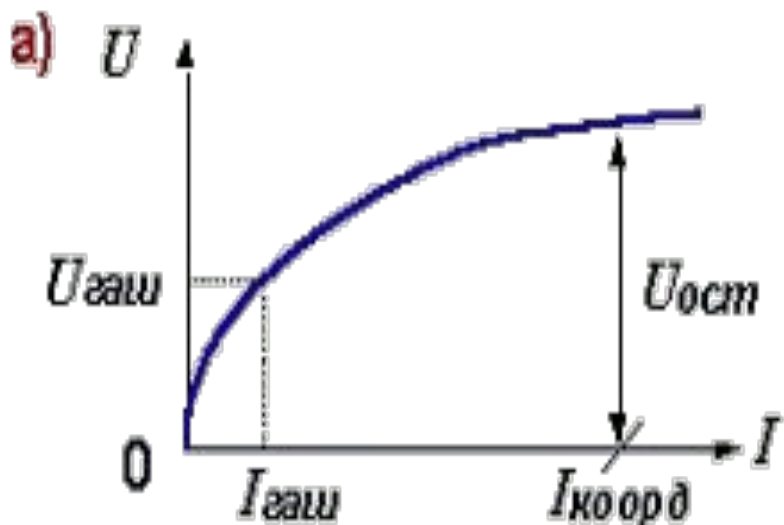
Принципиальная схема защиты от перенапряжений с помощью разрядников



**Роговые разрядники,
применяемые на контактной сети**



**Устройство трубчатого разрядника и
вольт-секундные характеристики
разрядника РТФ-35/0.8-5 при $l_2=60$ мм (1),
 $l_2=40$ мм (2), рогового разрядника 2x50 мм (3)**



**Вольтамперная характеристика резистора
вентильного разрядника (а) и напряжение на
вентильном разряднике при его
срабатывании (б)**

Функция отключения характеризуется **напряжением гашения** - это наибольшее напряжение промышленной частоты на разряднике, при котором надежно обрывается сопровождающий ток (ток гашения).

Еще одной характеристикой разрядника является его **пропускная способность**, то есть минимальное количество нормированных импульсов тока, который разрядник должен выдержать без существенного изменения его свойств. Это количество обычно равно 20.

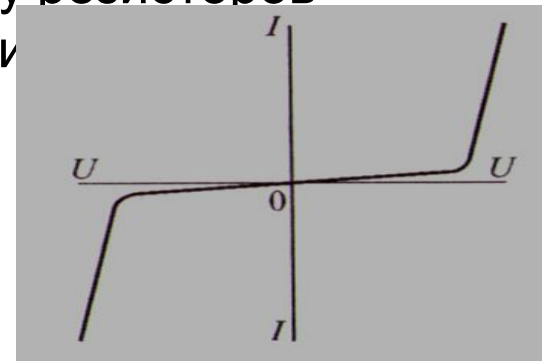
Таким образом, и защитная функция, и отключение короткого замыкания

определяется как икровой промежуток

Ограничители перенапряжений (ОПН)

Основным недостатком вентиляционного разрядника является сравнительно **невысокая нелинейность** резисторов на основе карбида кремния. Значительно большей нелинейностью обладают резисторы на основе окиси цинка.

Высоконелинейные оксидно-цинковые резисторы выпускаются в виде дисков. **ОПН** выполняется путем последовательного и параллельного включения таких резисторов. При рабочем напряжении через одну параллельную колонку резисторов протекает ток в доли миллиампера, и необходимая промежуток отпадает.



Вольт - амперная
характеристика
нелинейного оксидно -
цинкового варистора

Ограничители перенапряжений (ОПН)

- Выполненные на основе окиси цинка ОПН позволяют ограничивать коммутационные перенапряжения на уровне $(1,65-1,8) U_{\phi}$ а грозовых - на уровне $(2,2-2,4)U_{\phi}$.
- **Высоконелинейные оксидно-цинковые резисторы** выпускаются в виде дисков диаметром от 28 до 85 мм. ОПН выполняется путем последовательного и параллельного включения таких резисторов. При рабочем напряжении через одну параллельную колонку резисторов протекает ток в доли миллиампера, и необходимость в искровом промежутке отпадает.

Заземление – надежное искусственное соединение с землей некоторых частей электроустановки, с целью безопасного обслуживания и для нормальной работы электроустановки.

Заземление

Рабочее

(для обеспечения нормальной работы электроустановки)
Рабочее заземление м.б. «глухим» или через сопротивление (активное или индуктивное), предохранитель, ИП.

Защитное

(безопасное обслуживание)
Защитное заземление м.б. только «глухим»

Заземление грозозащиты

(рабочее заземление) обеспечивает отвод тока молнии в землю от разрядников, опор ЛЭП, стержней молниеотводов и тросов. Заземление грозозащиты чаще всего выполняется присоединением молниеотводов к заземлителям подстанции, РУ и т.д.

Сопротивление заземление грозозащиты не должны превышать 10 –30 Ом.

Заземляющее устройство

состоит из заземляющих электродов (заземлителя) и соединительных проводов

Основной характеристикой заземляющего устройства является его *сопротивление*, определяемое как отношение потенциала на зажиме заземлителя к току, стекающему через заземлитель. Потенциал определяется по отношению к удаленной точке земли. Сопротивление заземлителя зависит от конструкции и размеров, удельного сопротивления земли, а также от величины и формы стекающего с него тока.

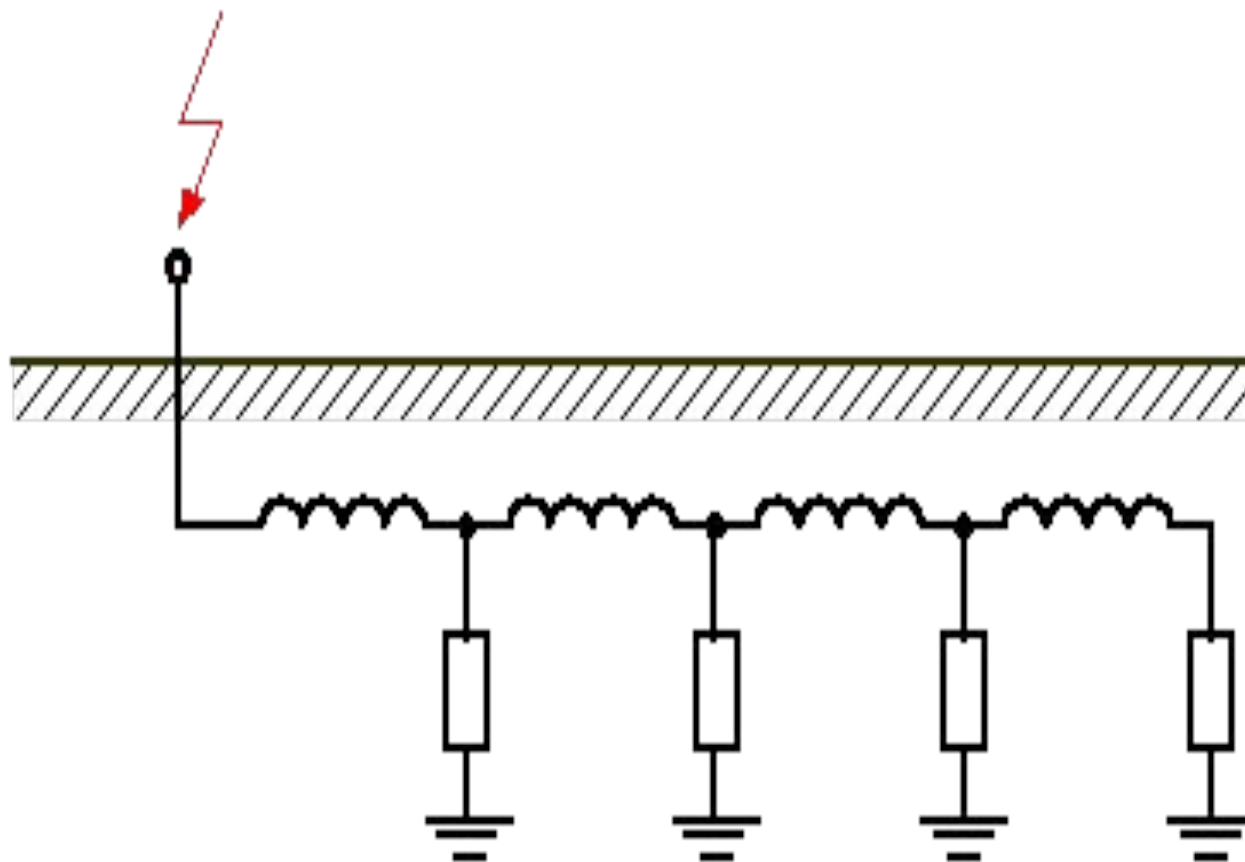


Схема замещения протяженного
заземлителя

В качестве одиночных заземлителей обычно выбираются трубы, полосовая или уголковая сталь.

Существуют эмпирические формулы для расчета сопротивлений простых вертикальных и горизонтальных заземлителей, учитывающие их форму, геометрические размеры, глубину залегания в земле и удельное сопротивление грунта.

Расчетные формулы для вычисления стационарных сопротивлений

Горизонтальный заземлитель

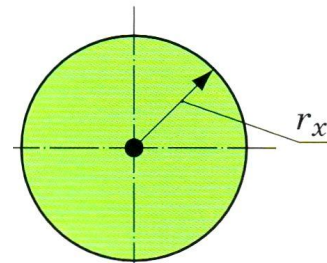
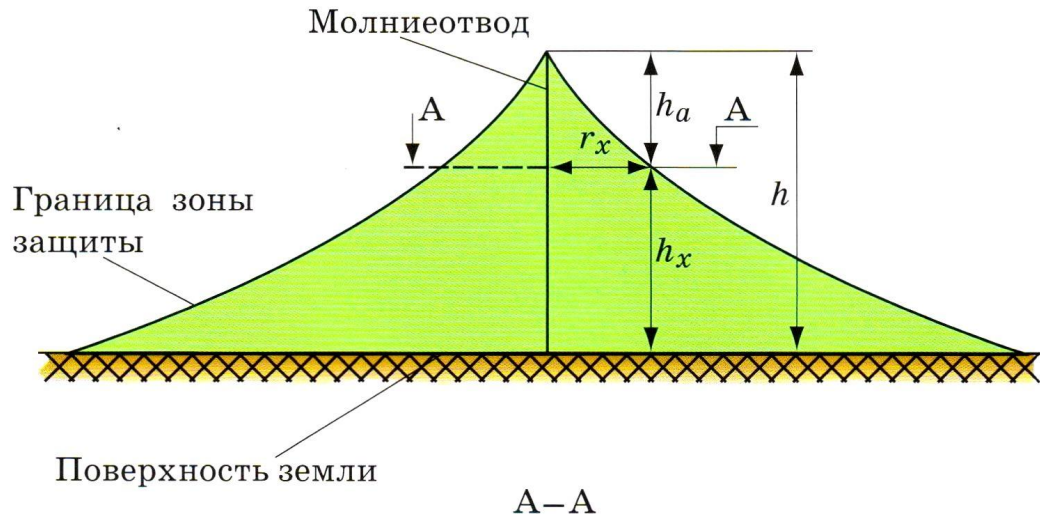
$$R_0 = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d} \quad \text{- круглое сечение}$$

$$R_0 = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{4l}{b} \quad \text{- прямоугольное сечение}$$

Вертикальный заземлитель

$$R_{BO} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{t} \quad \text{- круглое сечение}$$

Зона защиты одиночного молниеотвода



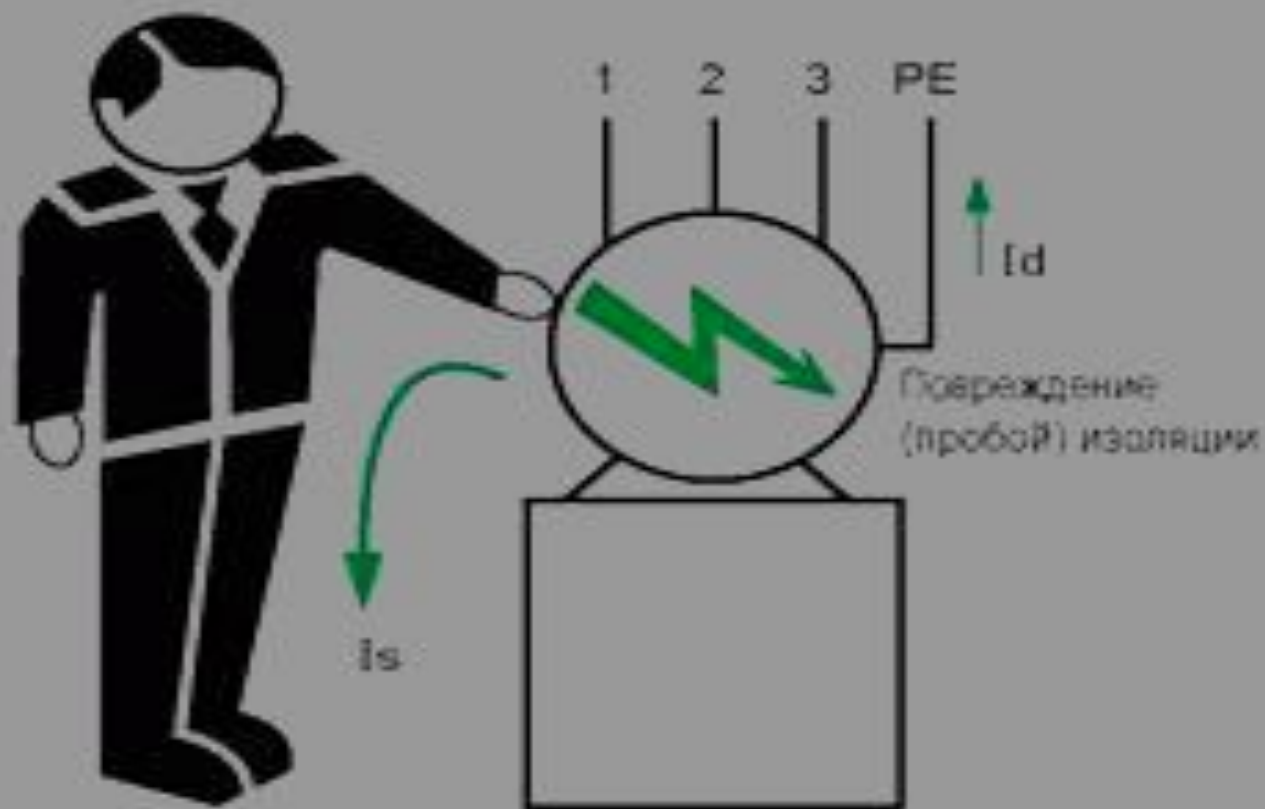
Радиус зоны защиты на высоте h_x

$$r_x = h_a \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} p,$$

где коэффициент $p = 1$ при $h \leq 30$ м;

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{h}} \text{ при } h > 30 \text{ м}$$

- Для обеспечения грозоупорности линий электропередачи и подстанций 6 – 500 кВ импульсные сопротивления заземляющих устройств не должны превышать 10 – 15 Ом.
- Величина сопротивления контура заземления устройств с изолированной нейтралью установок НН должна быть не более 4 Ом.
- Величина сопротивления контура заземления для мощных силовых установок ВН с токами замыкания на землю более 500 А должна быть
- не более 0,5 Ом.
- Величина сопротивления контура заземления (например, тяговой подстанции) будет иметь максимальное значение зимой.



I_s : ток при повреждении (пробое) изоляции

Напряжение прикосновения будет тем ниже, чем ближе находится человек к заземлителю.

Кривая 2 представляет изменение $U_{\text{пр}}$.

Наибольшее значение напряжение прикосновения будет иметь, если человек, если он стоит на расстоянии 0,7 м от бака выключателя (или трансформатора).

Если человек не касается бака, а просто находится вблизи него, то разность потенциалов правой и левой ног определяет напряжение шага $U_{\text{ш}}$.

По мере удаления от заземлителя величина $U_{\text{ш}}$ уменьшается.

Средства защиты

- Средства защиты от поражения электрическим током (электрозащитные средства);
- Средства защиты от электрических полей повышенной напряженности (коллективные и индивидуальные)
- Средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Основные принципы грозозащиты линий и контактной сети

- Высокую надежность грозозащиты воздушных линий электропередачи обеспечивают следующие мероприятия:
 - - подвеска грозозащитных тросов с достаточно малыми углами защиты;
 - - снижение импульсного сопротивления опор;
 - - повышение импульсной прочности изоляции линий и снижение вероятности установление дуги (в частности, этому способствует использование деревянных траверс и опор);
 - - применение изолированной нейтрали или дугогасящего реактора;
 - - использование автоматического повторного включения линий.

Контактные сети постоянного тока

- ***На контактной сети постоянного тока*** роговые разрядники или ОПН устанавливаются:
 - - у анкеровок проводов контактной сети;
 - - на неизолирующих и изолирующих сопряжениях контактной сети;
 - - у искусственных сооружений при анкеровках контактной сети;
 - - на питающих линиях у мест присоединения к контактной сети.

Контактные сети переменного тока

- ***На контактной сети переменного тока*** роговые разрядники или ОПН устанавливают:
 - - с обеих сторон у изолирующих сопряжений и нейтральных вставок;
 - - у мест присоединения по каждому пути автотрансформаторных пунктов 2х25 кВ;
 - - у отсасывающих трансформаторов;
 - - на конце консольных участков контактной сети, состоящих из двух или более анкерных участков;
 - - у мест присоединения питающих линий к контактной сети (при наличии на фидерах тяговой подстанции ОПН-25 разрядники не устанавливают);
 - - в местах, подверженных частым грозовым разрядам, у анкерных проводов контактной сети по решению службы электроснабжения железной дороги.