ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ.

Высоковольтная изоляция

Внутренняя изоляция – элементы или участки электроизоляционных конструкций в пределах которых изоляционные промежутки заполнены газообразными, жидкими и твердыми диэлектрическими материалами или их комбинацией.

Целесообразность (необходимость) применения твердых, жидких и специальных газообразных диэлектрических материалов обусловлена:

1) **Более высокая электрическая прочность (Ж, Тв, Г диэл.)**

2) **Внутренняя изоляция выполняет функцию механического крепления проводников**

3) **Через внутреннюю изоляцию осуществляется отвод тепла, выделяющегося при прохождении рабочих токов**

Различают кратковременное пробивное напряжение ***$U_{ПР}$*** *и длит*ельное ***$U_{РАБ}$.***

$U_{РАБ}$ *должно воздействовать* длительное время (20-30 лет) без пробоев.

При длительном воздействии *Uраб* происходит старение изоляции.

Причины старения:

1) электрические - частичные разряды, трекинг, изменение γ, tg δ

2) **тепловые** - ускорение химических реакций, увеличение tg δ, уменьшение ρ

3) **механические** - трещины, усталость, разрушение

4) **химические** - окисление, образование радикалов и т. п.

5) **внешняя среда** - влага, ультрафиолетовое лучи, температура

К изоляционным материалам, используемым в качестве внутренней изоляции предъявляются **высокие требования в отношении их электрических, тепловых и механических свойств** (материал должен обеспечивать высокие кратковременную и длительную электрические прочности);

1) Должен иметь высокие пробивные напряженности в области чисто электрического пробоя.

2) Должен иметь малые диэлектрические потери (от них зависит напряжение теплового пробоя).

3) Должны иметь достаточную стойкость к воздействию частичных разрядов, обеспечивать отсутствие газовых включений.

4) Высокие тепловые свойства (теплопроводность и стойкость к тепловому старению) – задают допустимые температуры активных частей оборудования (определяют рабочие режимы – Iраб, токи перегрузки).

5) Высокие механические свойства

6) Технологические свойства (пригодность для обработки)

7) Экологические свойства (не должны содержать токсичных продуктов, поддаваться переработке)

8)Требования экономического характера (низкая стоимость и др.)

Весь комплекс требований к изоляции удовлетворяется при использовании в составе внутренней изоляции **комбинации из нескольких материалов, дополняющих друг друга**:

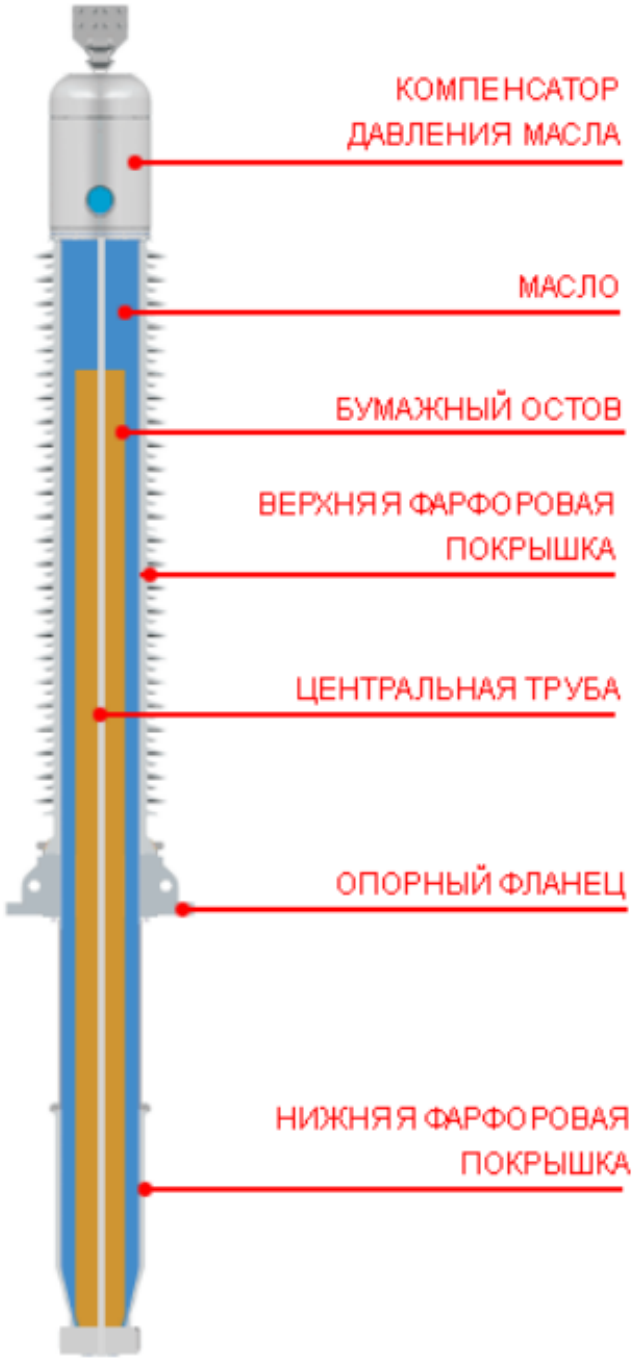
1) **Маслобарерная изоляция (МБИ)**

   Трансформаторное масло и твердый диэлектрик (2-3 мм) в масляных промежутках из электрокартона и кабельной бумаги.
   Повышение эл. прочности на 30 – 50% (250– 300 кв/см)
   (по сравнению с чистым тр. маслом)

2) **Бумажно-маслянная изоляция (БМИ)**

   Основа слои бумаги пропитанные минеральным (трансформаторное, кабельное и др.) маслом.

   Очень высокая кратковременная и длительная электрическая прочность (500 – 600 кв/см в поперечном направлении)


КОМПЕНСАТОР ДАВЛЕНИЯ МАСЛА
МАСЛО
БУМАЖНЫЙ ОСТОВ
ВЕРХНЯЯ ФАРФОРОВАЯ ПОКРЫШКА
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТРУБА
ОПОРНЫЙ ФЛАНЕЦ
НИЖНЯЯ ФАРФОРОВАЯ ПОКРЫШКА

Намотка бумаги на трубу

Термовакуумная сушка

Сборка ввода с БМИ

Вакуумная обработка.
Заливка и пропитка маслом

В начале 60-х годов была разработана твердая – **RBP- изоляция** (до 110 кВ).

Остов изоляции изготавливается намоткой на трубу кабельной бумаги, покрытой изоляционным лаком. Лак склеивает слои бумаги, снаружи остов покрывается эпоксидным компаундом.

Это повысило пожаробезопасность масляного оборудования, однако, электроизоляционные характеристики RBP-изоляции оказались хуже, чем у бумажно-масляной изоляции.

В последние годы наметилась тенденция по замене высоковольтных вводов с бумажно-масляной и RBP-изоляциями на высоковольтные вводы с **твердой RIP-изоляцией.**

RIP-изоляция (*resin impregnated paper* - бумага пропитанная смолой) – изоляционный материал, полученный на основе высушенной в вакууме и пропитанный эпоксидной смолой бумаги.

Применяется в электротехнических установках среднего и высокого напряжения.

Твердая RIP-изоляция - это бумажный остов из электроизоляционной бумаги и пропитанный специальным эпоксидным компаундом под вакуумом намотанный на проводник из алюминия или меди.

В процессе намотки в остов закладываются уравнительные обкладки для выравнивания электрического поля.
Пропитка под вакуумом полностью исключает наличие газовых включений в остове, что позволяет получить высокие изоляционные характеристики RIP-изоляции.

Отличительными особенностями RIP изоляции по сравнению с изоляцией RBP являются небольшие диэлектрические потери (0,25-0,45) и низкий уровень частичных разрядов. **Это позволяет считать RIP изоляцию лучшей внутренней изоляцией для трансформаторных вводов на сегодняшний день.**

Регулирование электрических полей во внутренней изоляции

Цель – повышение эффективности использования изоляции (снижение коэффициента неоднородности электрического поля)

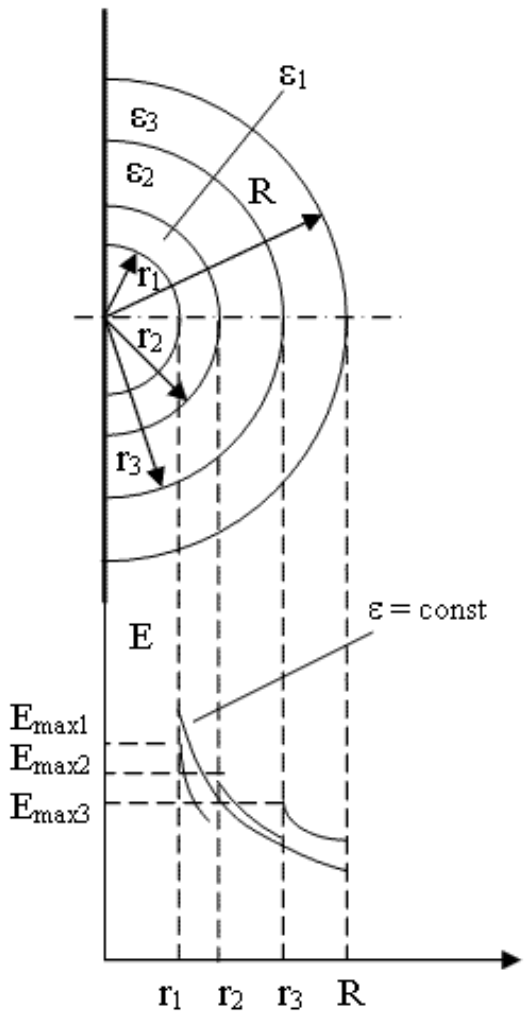
$$k_н = \frac{E_{max}}{E_{ср}} \qquad E_{max} < E_{доп} \qquad d \geq \frac{U_{расч}}{E_{доп}} k_н$$

Способы регулирования:

1) Подбор радиусов кривизны поверхностей электродов.
2) Градирование изоляции
3) Распределение напряжения между электродами с помощью дополнительных конденсаторов.
4) Проводящие и полупроводящие покрытия
5) Профилирование поверхности электродов
6) Секционирование изоляционных конструкций
7) Диэлектрические покрытия электродов
8) Комбинирование изоляционных материалов
9) Расщепленные провода и экраны

Регулирование электрических полей во внутренней изоляции

Градирование изоляции



$$2\pi r_1 \varepsilon_1 E_{1max} = 2\pi r_2 \varepsilon_2 E_{2max} = 2\pi r_3 \varepsilon_3 E_{3max}$$

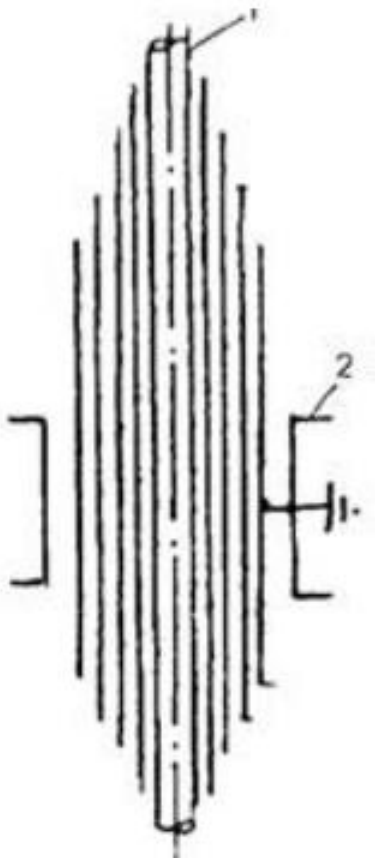
Равенство E_{imax} обеспечивается при: $r_k \varepsilon_k = const$

Электрическое поле при этом становится более однородным.

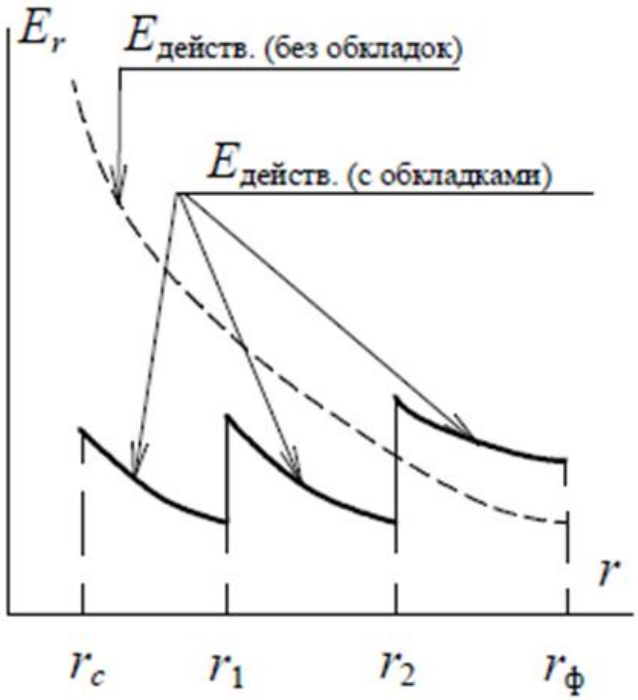
В области повышенных напряженностей электрического поля, (меньших радиусов кривизны), следует размещать электроизоляционные материалы с большими диэлектрическими проницаемостями.

Регулирование электрических полей во внутренней изоляции

Применение конденсаторных обкладок



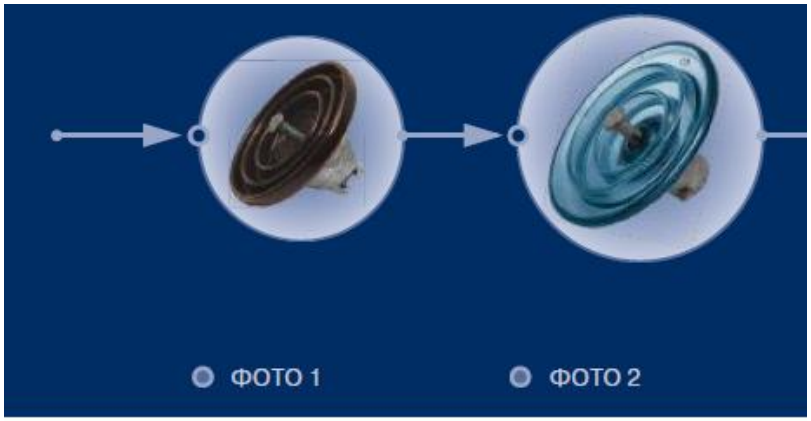
Путем изменения размеров, числа и взаимного расположения конденсаторных обкладок меняется емкость последовательно включенных конденсаторов и **регулируется характер распределения напряжения**



Высоковольтные изоляторы

По назначению изоляторы подразделяется на:
- линейные (штыревые и подвесные (тарельчатые и стержневые))
- станционно-аппаратные (опорные (штыревые и стержневые) и проходные)

Линейные изоляторы



ФАРФОРОВЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ ТИПА ПФ

СТЕКЛЯННЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ ТИПА ПС

Эволюция линейных изоляторов

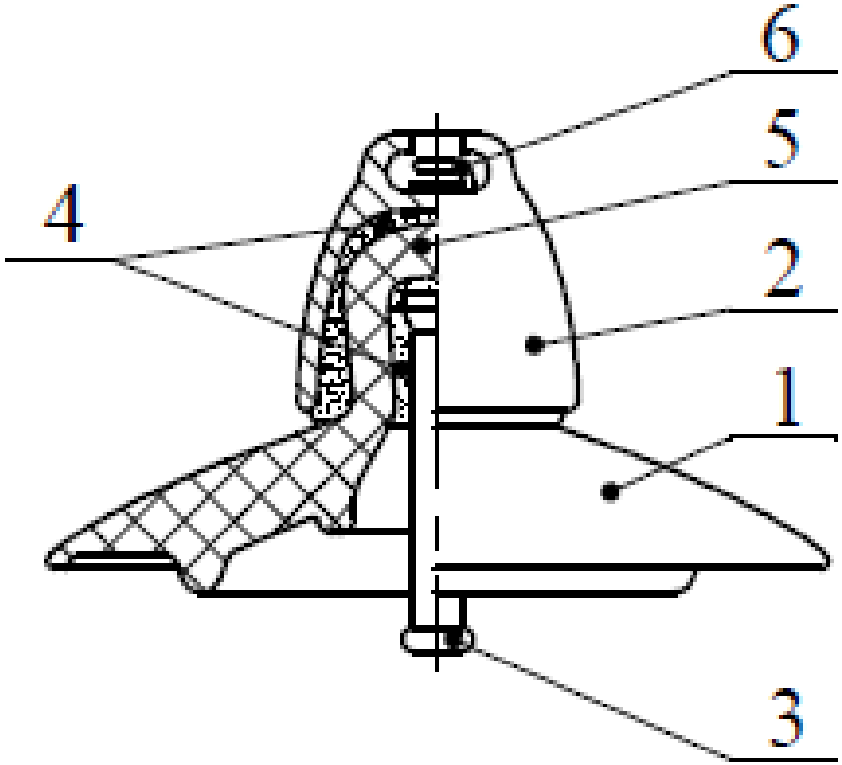
ПОЛИМЕРНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ С КЛЕЕНОЙ («ШАШЛЫЧНОЙ») КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

ПОЛИМЕРНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ С ЦЕЛЬНОЛИТОЙ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

ПОЛИМЕРНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ «ИНСТА» С ЦЕЛЬНОЛИТОЙ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ И ЗАЩИТОЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВЛАГИ САМОГО СЛАБОГО УЗЛА – ВХОДА СТЕРЖНЯ В ОКОНЦЕВАТЕЛЬ

Высоковольтные изоляторы

Линейные изоляторы

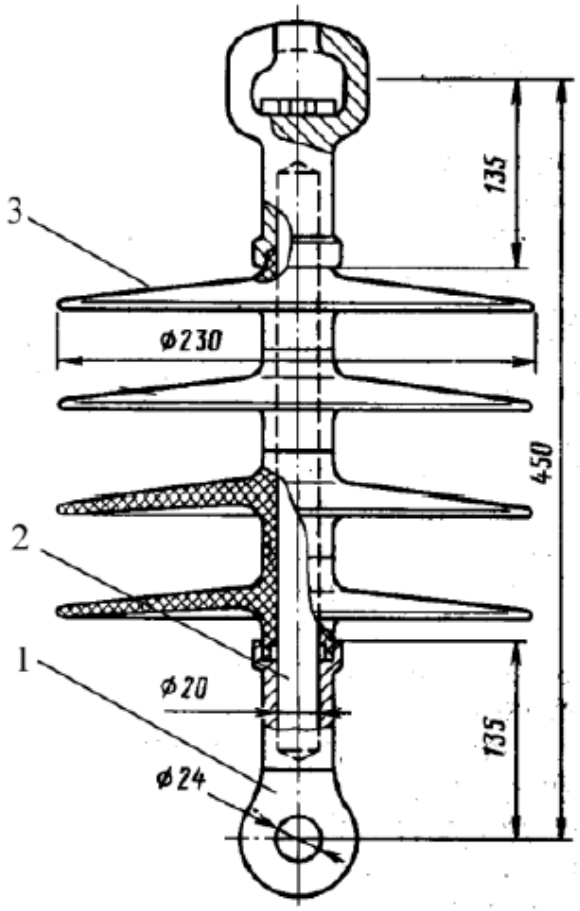


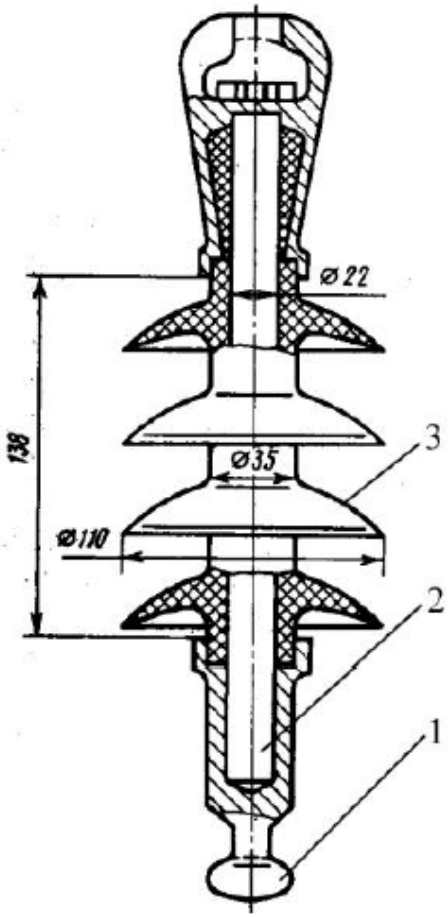
Подвесной шарнирный изолятор с конусной головкой:

1 - тарелка изолятора;
2 - чугунная шапка;
3 - стальной стержень;
4 - цементная замазка;
5 - головка изолятора;
6 - замок

Высоковольтные изоляторы

Подвесные стержневые изоляторы

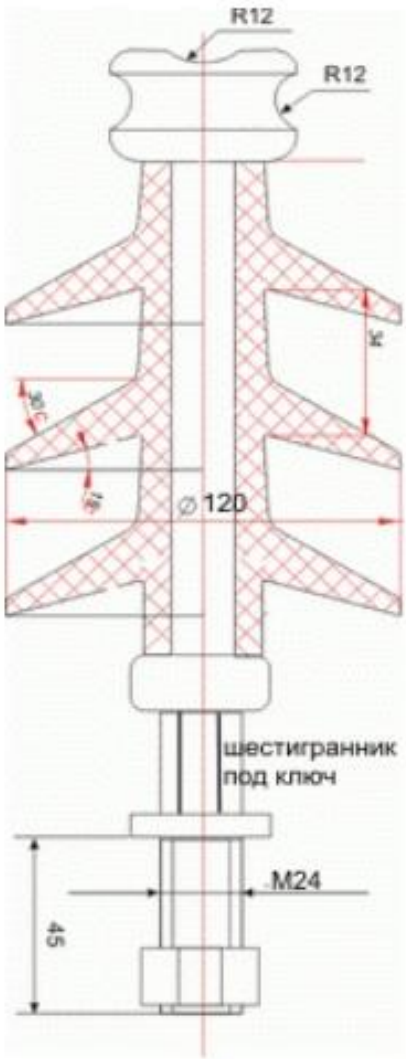




1 - оконцеватель;
2 - стеклопластиковый стержень;
3 – ребро из кремнийорганической резины.

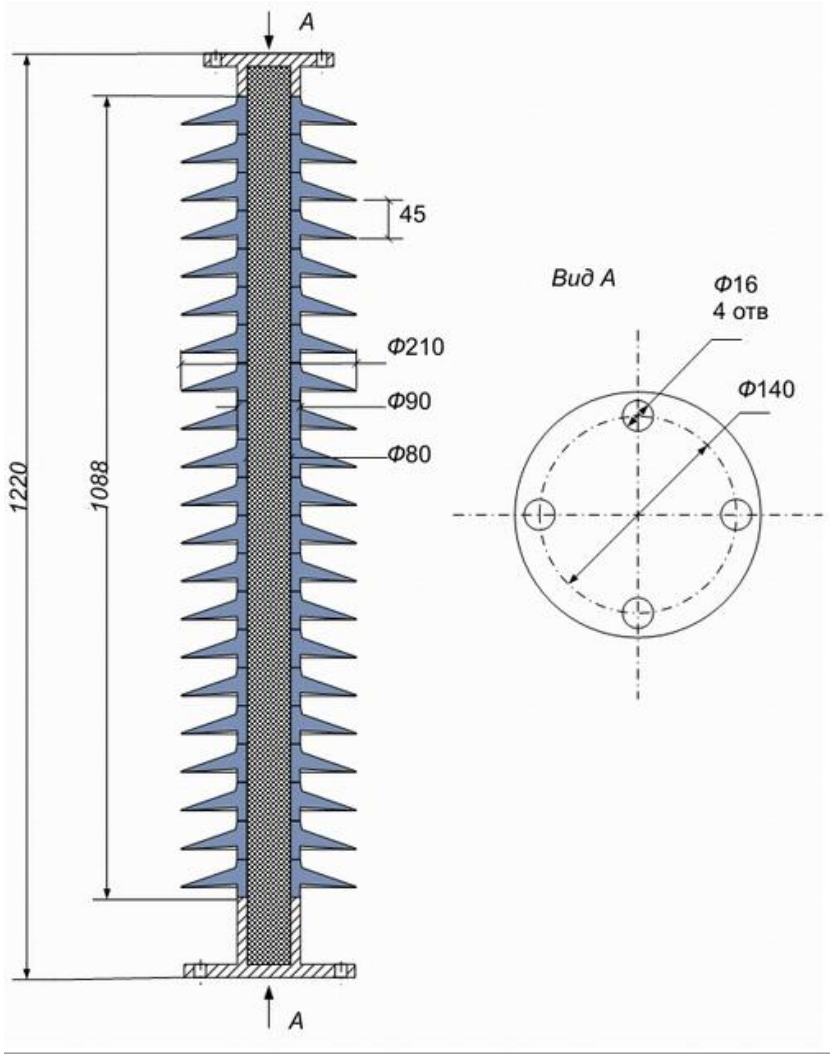
Высоковольтные изоляторы

Опорные линейные штыревые полимерных изоляторов типа ОЛК-12,5-20 УХЛ1 на 20кВ



Высоковольтные изоляторы

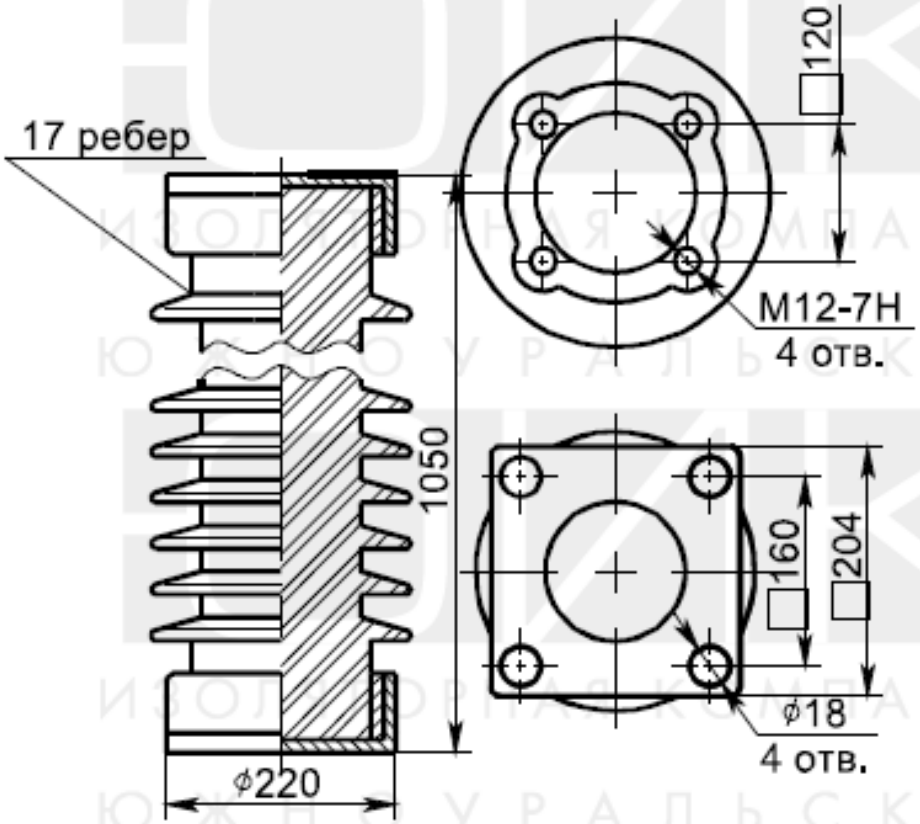
Опорные стержневые полимерные изоляторы на напряжение 110 кВ (ИОСПК-20-110/550-II УХЛ1)



Высоковольтные изоляторы

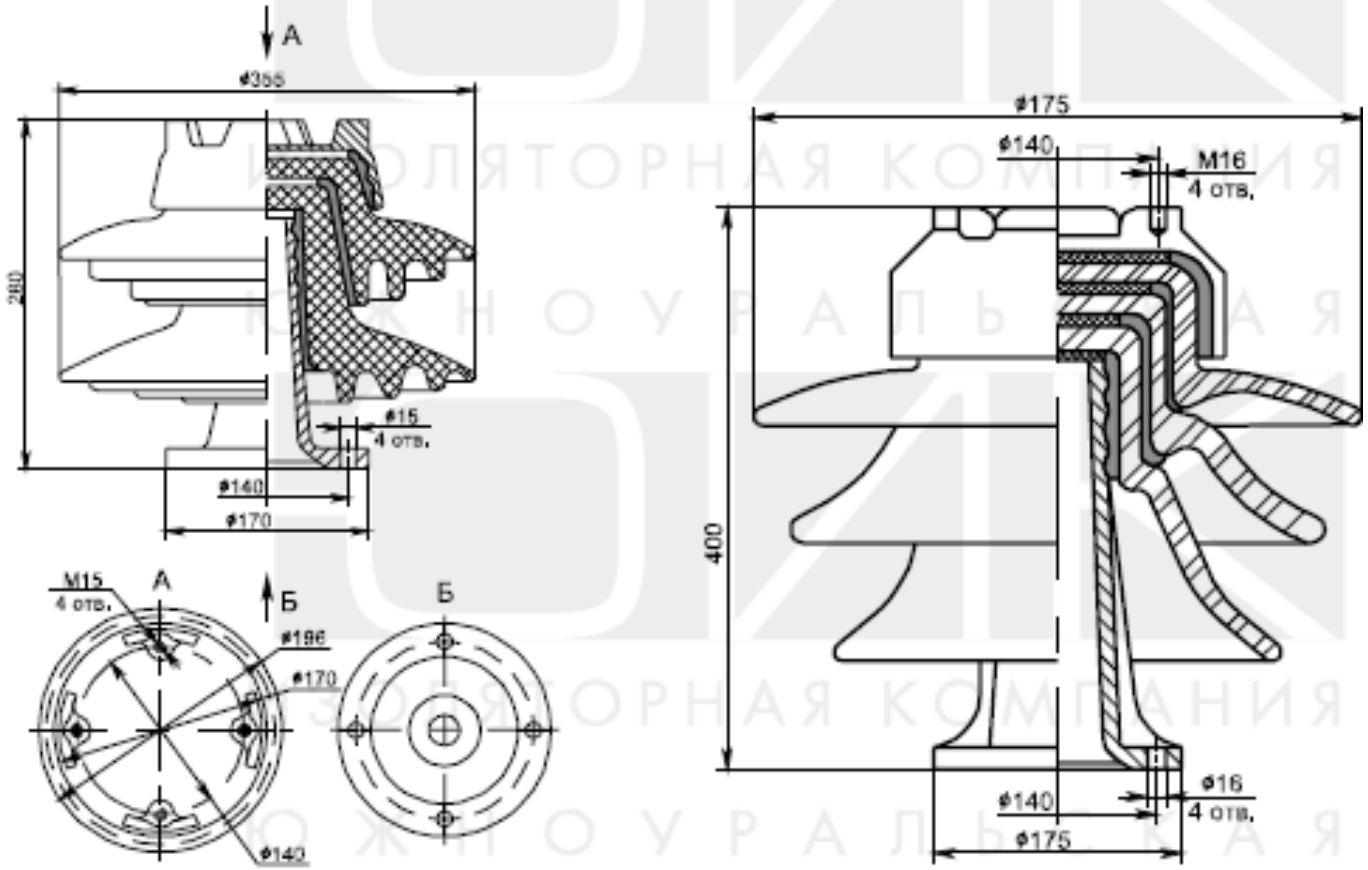
Изоляторы фарфоровые опорно-стержневые

ИОС НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ /110 КВ/



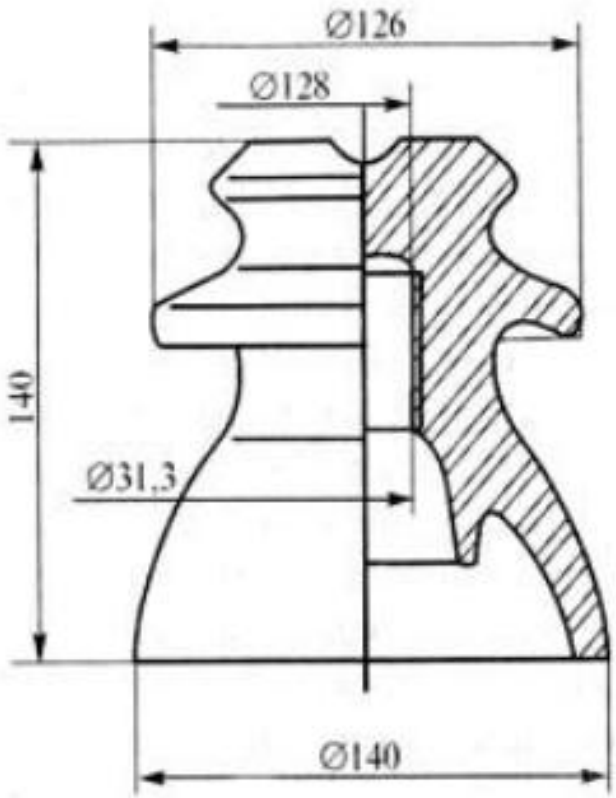
Высоковольтные изоляторы

Изоляторы фарфоровые опорно-штырьевые (ОНШ /20; 35 КВ/)
(используются в тех случаях, когда требуется большая механическая прочность на изгиб)



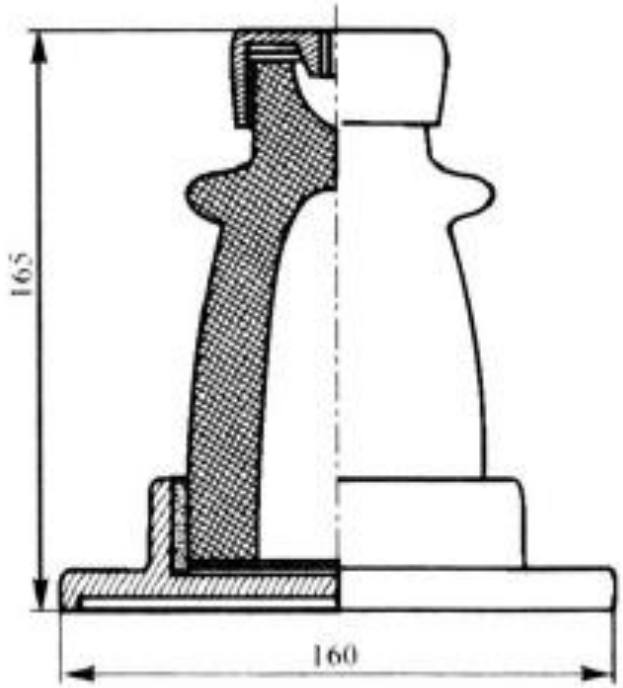
Высоковольтные изоляторы

Штыревой линейный изолятор типа ШФ-10Г

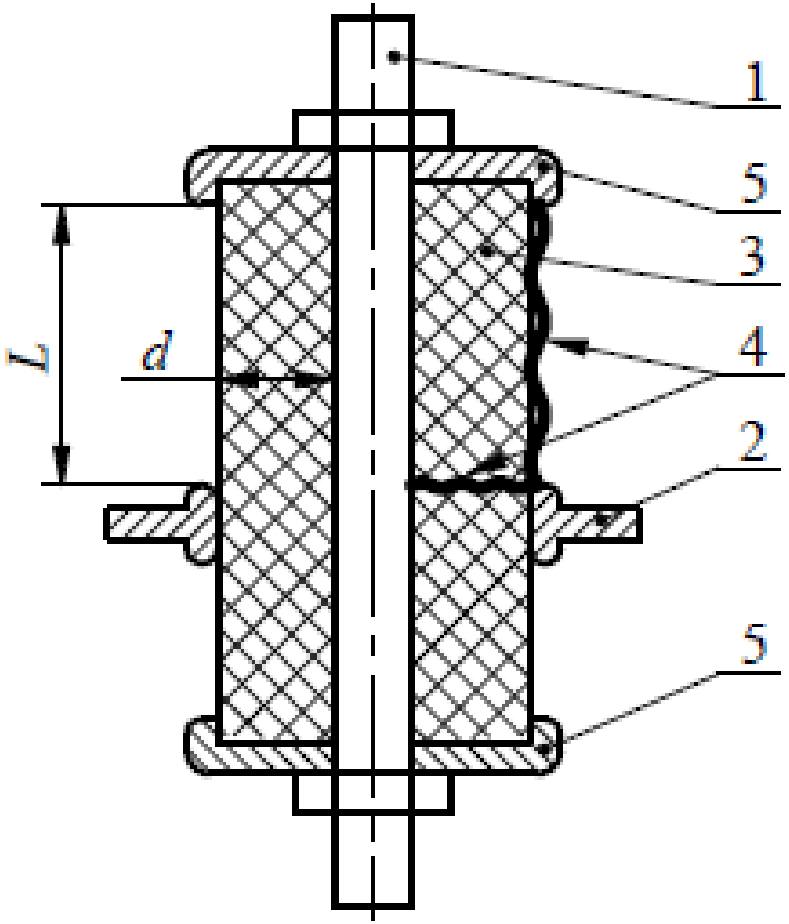


Высоковольтные изоляторы

Опорный изолятор типа ОФ для работы в помещении
на напряжение 6 кВ



ПРОХОДНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ



Конструктивная схема проходного изолятора:

1 - токоведущий стержень (труба)

2 - заземленный фланец

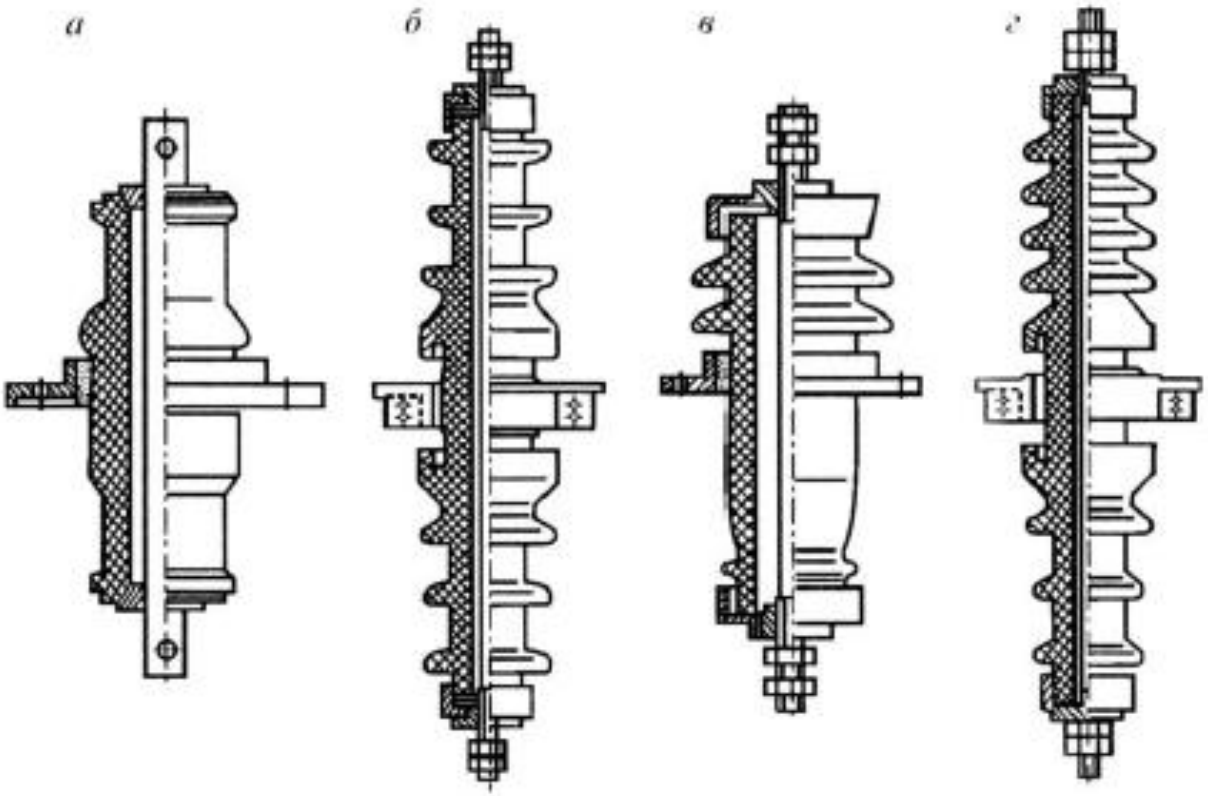
3 - твердая изоляция

4 - пути пробоя ($U_{пр} > U_{пер}$)

5 - высоковольтные фланцы

Высоковольтные изоляторы

Проходные изоляторы



а и б —для работы в помещении;
в и г — для работы на открытом воздухе;

а и в — на 6 кВ;
б и г — на 35 кВ

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВВОДЫ

Высоковольтные вводы - проходные изоляторы на 110 кВ и выше.

Они содержат внешнюю и внутреннюю изоляцию.

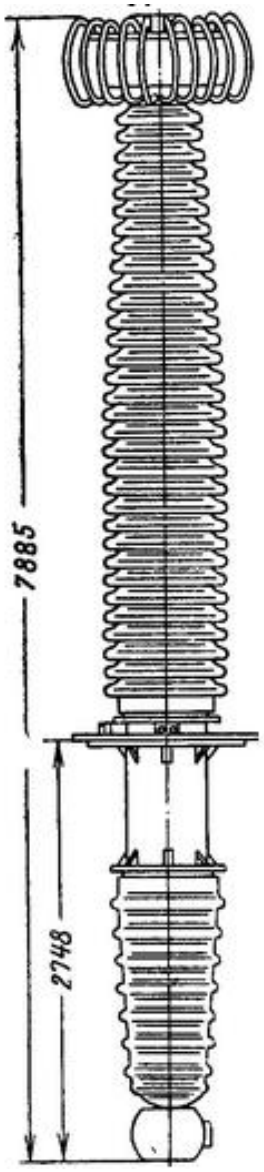
Внешняя изоляция - фарфоровая покрышка.

Внутренняя изоляция - участки изоляции в теле ввода.

Маслобарьные вводы - U_H =110-150 кВ

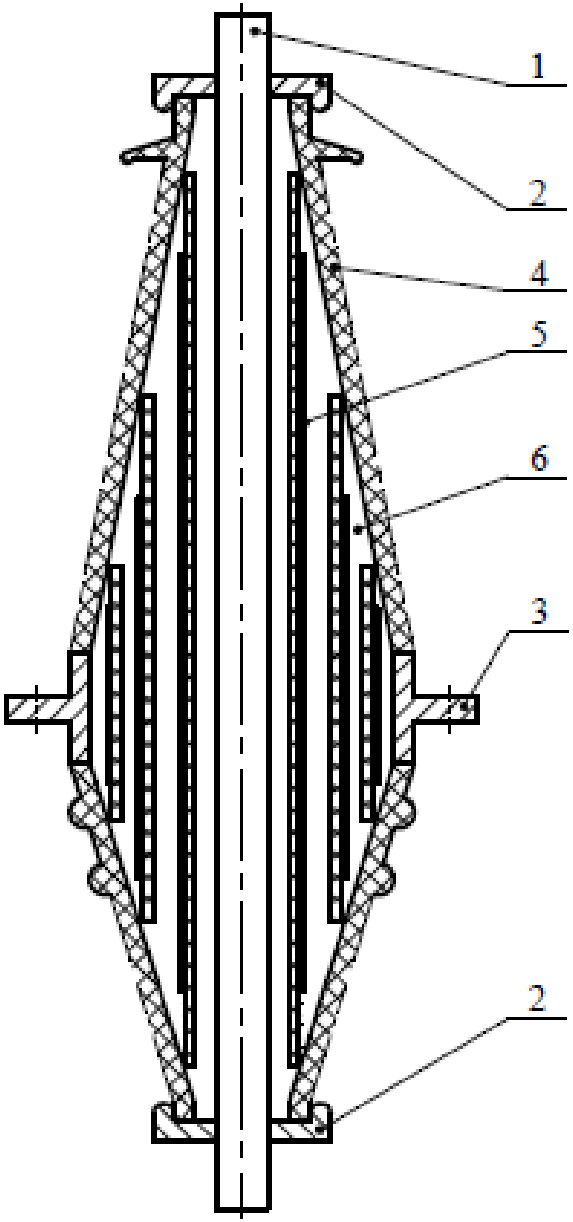
Бумажномасляные вводы - для $U_H \geq 220$ *кВ*

Вводы с RIP-изоляцией – до 500 кВ



Маслонаполненный ввод типа МТП-500 кВ.

Маслобарьный ввод



Конструктивная схема маслобарьерного ввода:
1 — токопровод (стержень),
2 — высоковольтный фланец,
3 — заземленный фланец,
4 — фарфоровая рубашка,
5 — барьеры с обкладками,
6 — масло

Электрическое поле выравнивается металлическими обкладками (фольга на барьерах).

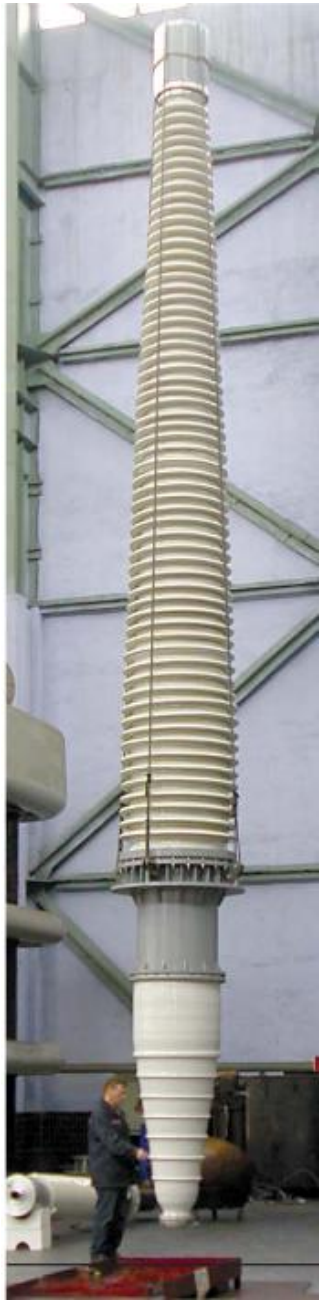
В результате $U_{пр}$ повышается в ~ 2,5 раза.

Бумажно-маслянный ввод

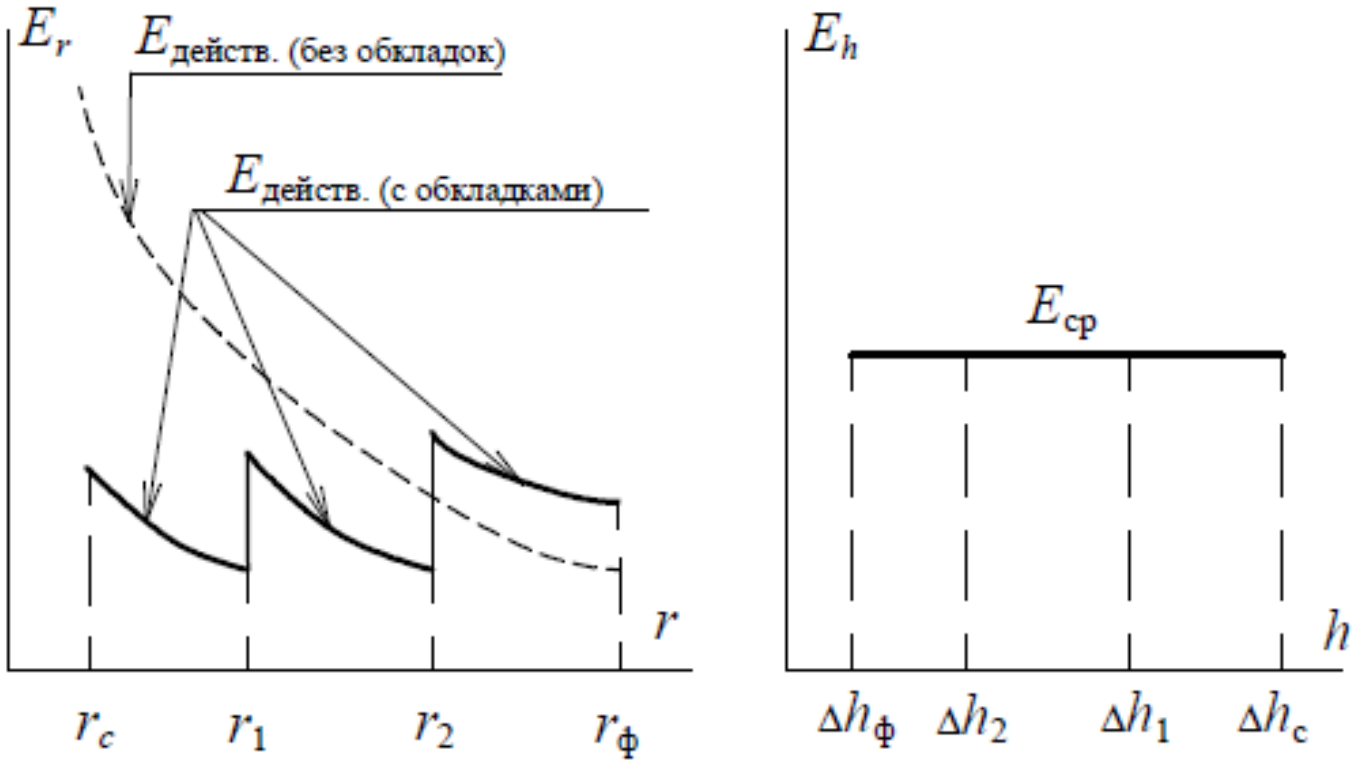
Внутренняя бумажно-масляная изоляция является основной конструктивной частью ввода.

Представляет собой размещенный в масле изоляционный остов, который формируется намоткой на центральную или намоточную трубу электроизоляционной бумаги с разделением на слои проводящими уравнительными обкладками.

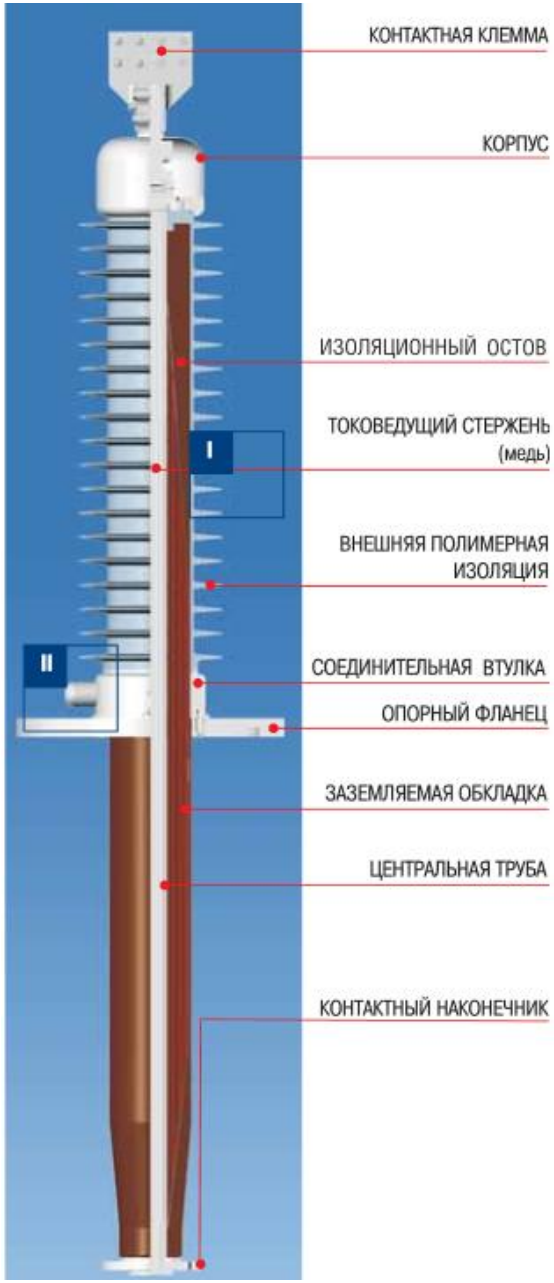
Бумажно-маслянный ввод



Ввод 1150 кВ без верхнего и нижнего экранов



Распределение напряженности электрического поля в радиальном (а) и аксиальном (б) направлениях ввода:
rc — радиус токопровода (стержня);
r1 — радиус первой обкладки (фольги);
r2 — радиус второй обкладки (фольги);
rф — радиус обкладки у фланца (заземлена);
Δhc — длина уступа изоляции у стержня;
Δh1 — длина уступа на первом барьере;
Δh2 — длина уступа на втором барьере;
Δhф — длина уступа на барьере у фланца



Вводы с RIP-изоляцией

Не содержат масла и могут устанавливаться под любым углом.

В качестве внешней изоляции помимо традиционной фарфоровой покрышки по желанию заказчика может устанавливаться изолятор из силиконовой резины, что обеспечивает высокую ударопрочность и сейсмостойкость.

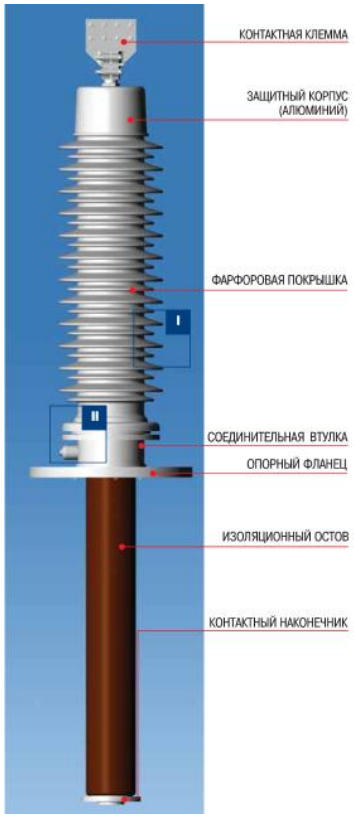
Вводы с RIP-изоляцией

Высоковольтные вводы с RIP-изоляцией обладают высокой огнеупорностью и практически устраняют риск пожара. Даже при пробое внутри бака силового трансформатора высоковольтный ввод с RIP-изоляцией препятствует поступлению кислорода внутрь бака и, соответственно, возгоранию трансформаторного масла.

В эксплуатации высоковольтные вводы с RIP-изоляцией требуют минимального ухода, а именно, чистка фарфора по мере его загрязнения и измерение tgб и емкости с периодичностью один раз в шесть лет.

Расчетный срок службы таких вводов 40 лет и более при минимальных объемах технического обслуживания.

В настоящее время RIP-изоляция - лучшая внутренняя изоляция для высоковольтных вводов до класса напряжения 500 кВ.



Элегазовые вводы

Элегаз обладает высокой электрической прочностью, дугогасящей и теплоотводящей способностью.

Элегаз крайне инертен химически и при отсутствии в нем примесей абсолютно безвреден для человека.

Применяются в в/в установках с элегазовой изоляцией.

(+)
Негорючесть
Отсутствие взрывоопасности
Компактность

Изоляция высоковольтных конденсаторов

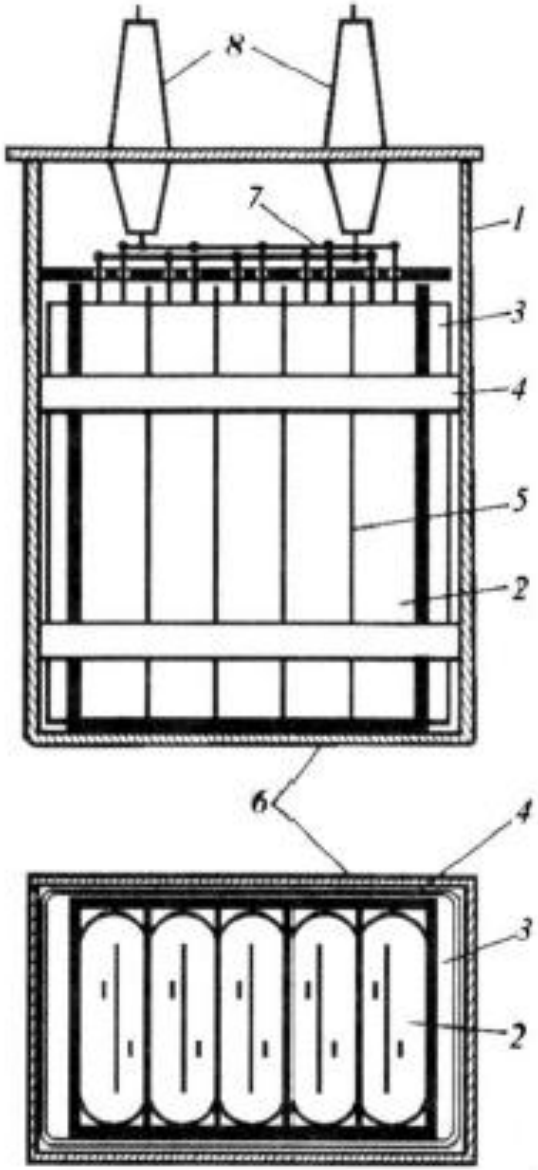
В герметизированном корпусе 1 расположены плоскопрессованные рулонные секции 2, стянутые между металлическими щеками 3 с помощью хомутов 4.

Между секциями установлены изолирующие прокладки 5 из электрокартона.

Изоляция 6 от корпуса выполнена из электрокартона или кабельной бумаги.

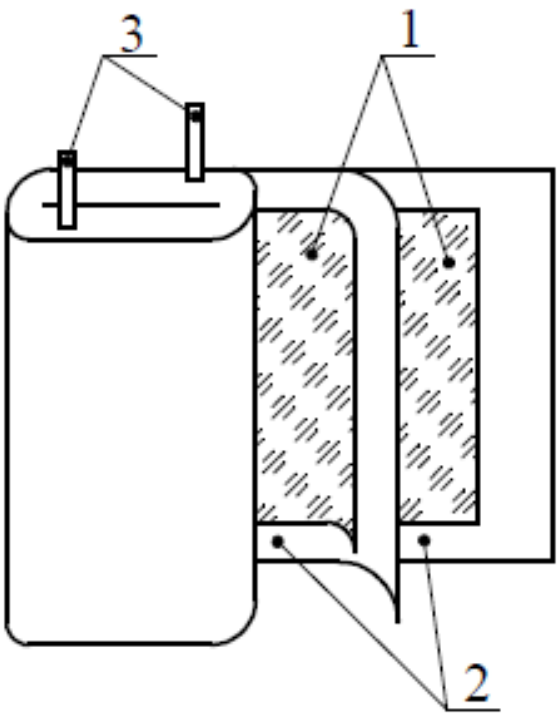
Отдельные секции соединяются перемычками 7 в параллельную, последовательную или смешанную схему в зависимости от рабочего напряжения и требуемой емкости.

Конденсатор имеет два вывода (8).



Изоляция высоковольтных конденсаторов

Секция представляет собой спирально намотанный рулон из лент диэлектрика и алюминиевой фольги, выполняющей роль электродов.



Устройство секции высоковольтного конденсатора: 1 — фольга;
2 — диэлектрик (слои бумаги, пленки);
3 — выводы

Изоляция кабелей

Силовые кабели высокого напряжения выполняются трех типов:

1) **кабели с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой на напряжение до 35 кВ** (рабочая напряженность *$E_{РАБ}$=2…3 кВ/мм);*

2) **кабели с бумажной изоляцией с пропиткой маслом под давлением - маслонаполненные кабели**:
2…3 атм —низкое давление (*$E_{РАБ}$=3…5 кВ/мм);*
4…5 атм — среднее давление ($E_{РАБ}$=6…8 кВ/мм);
8…15 атм — высокое давление (*$E_{РАБ}$=10…15 кВ/мм);*

3) **кабели с монолитной полимерной изоляцией (полиэтилен, фторопласт и др.).**

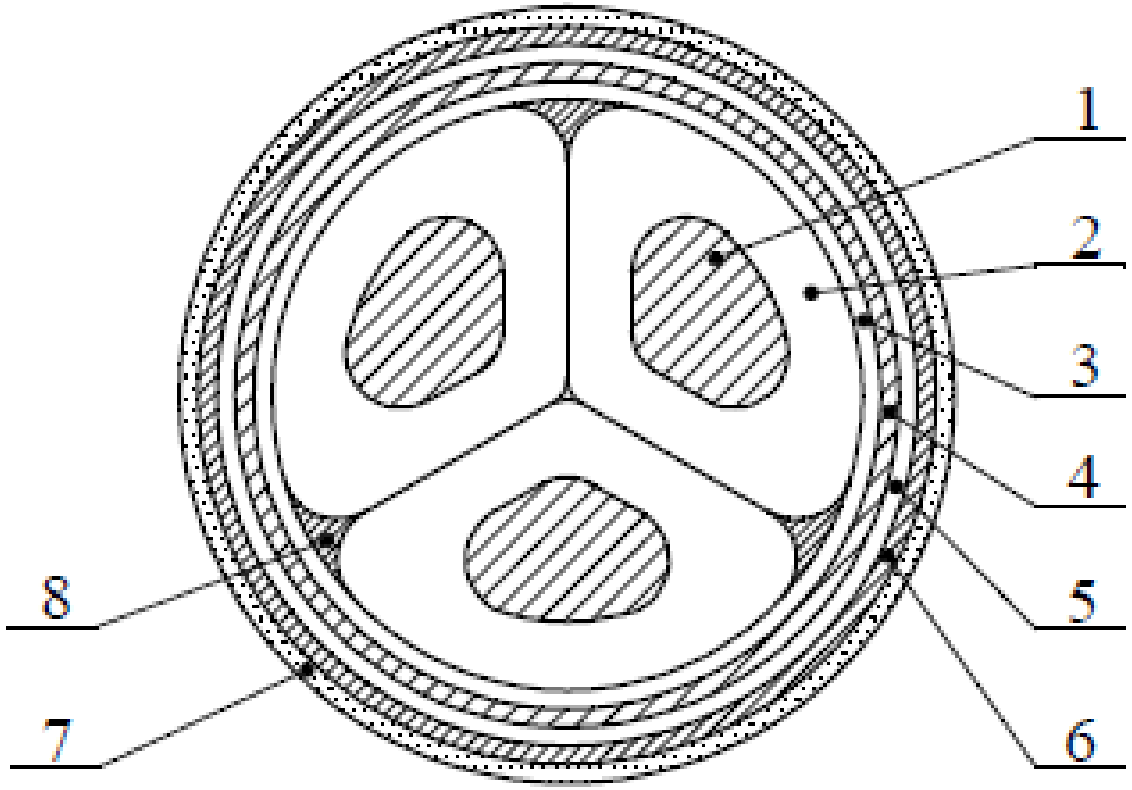


Схема устройства изоляции кабелей до 35 кВ:

1 — жила,
*2 — **фазная изоляция**,*
*3 — **поясная изоляция**,*
4 — герметичное покрытие,
5 — подушка,
6 — броня,
7 — антикорозионное покрытие,
8 — наполнитель (джут)

Высоковольтная изоляция

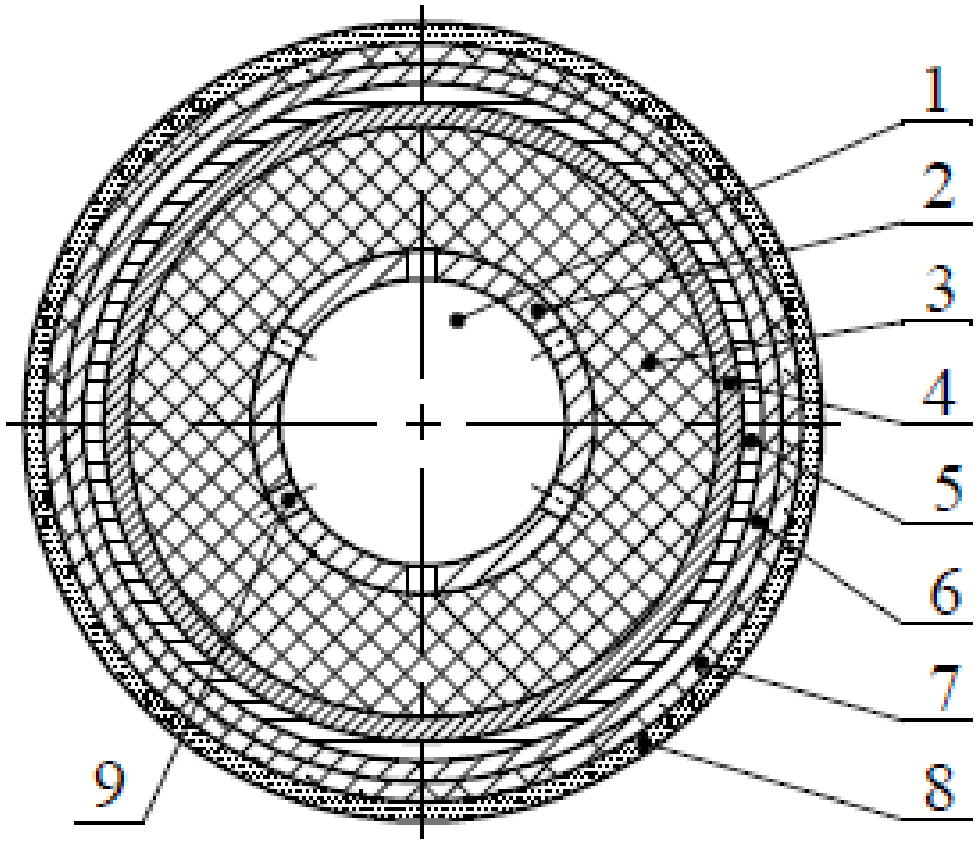


Схема устройства изоляции кабеля 110 кВ:

1 — масляный канал,
2 — перфорированная токоведущая жила,
3 — бумажно-масляная изоляция,
4 — полупроводящий слой,
5 — герметичное покрытие,
6 — подушка,
7 — броня,
8 — антикорозийное покрытие,
9 — отверстия для прохода масла в изоляцию

Кабели сверхвысокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена сверхвысокого напряжения

Синтетический полимер заменяет натуральные изолирующие материалы, такие как бумага, минеральное масло и резина. Полиэтилен обладает отличными электрическими характеристиками, но его максимальная рабочая температура составляет 70 градусов по Цельсию из-за его термопластичных свойств.

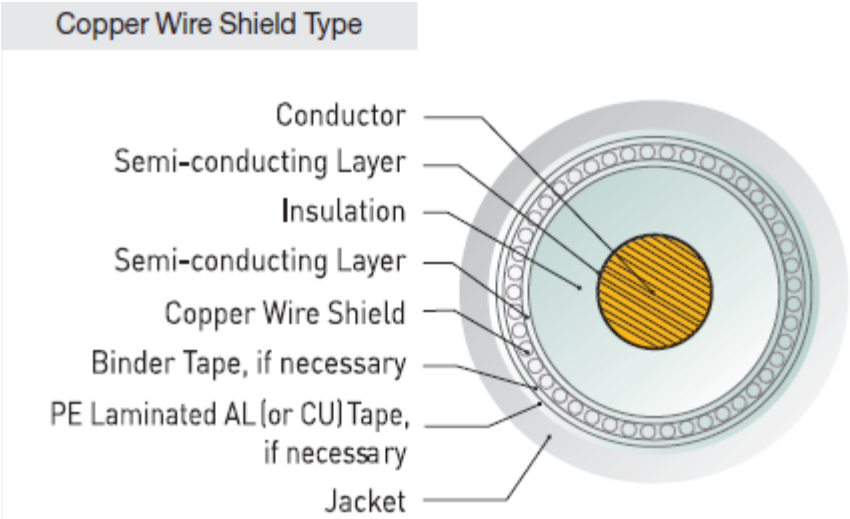
Полиэтилен преобразуется в сшитый полиэтилен (XLPE) в результате химической реакции сшивки.
Сшитый полиэтилен является термоактивным пластиком - его рабочая температура доходит до 90 градусов.

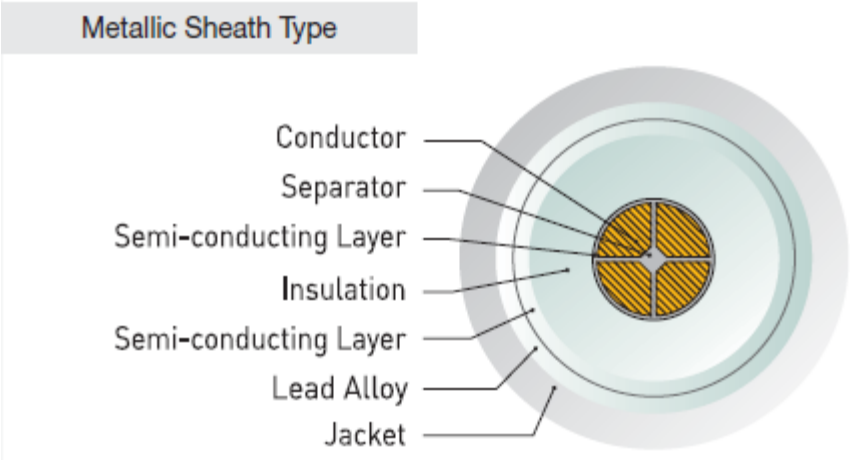
Для электрических кабелей, чем выше рабочая температура, тем эффективней происходит передача электрического тока. Благодаря отличным электрическим характеристикам и высокой рабочей температуре, сшитый полиэтилен стал самым ходовым материалом при изготовлении изоляции для электрических кабелей.

http://www.taihan.com/ru/product/ru/

Изоляция из сшитого полиэтилена, медный проводник, одножильный кабель (66 кВ, 154 кВ, 345 кВ)

Высоковольтная изоляция





Изоляция трансформаторов

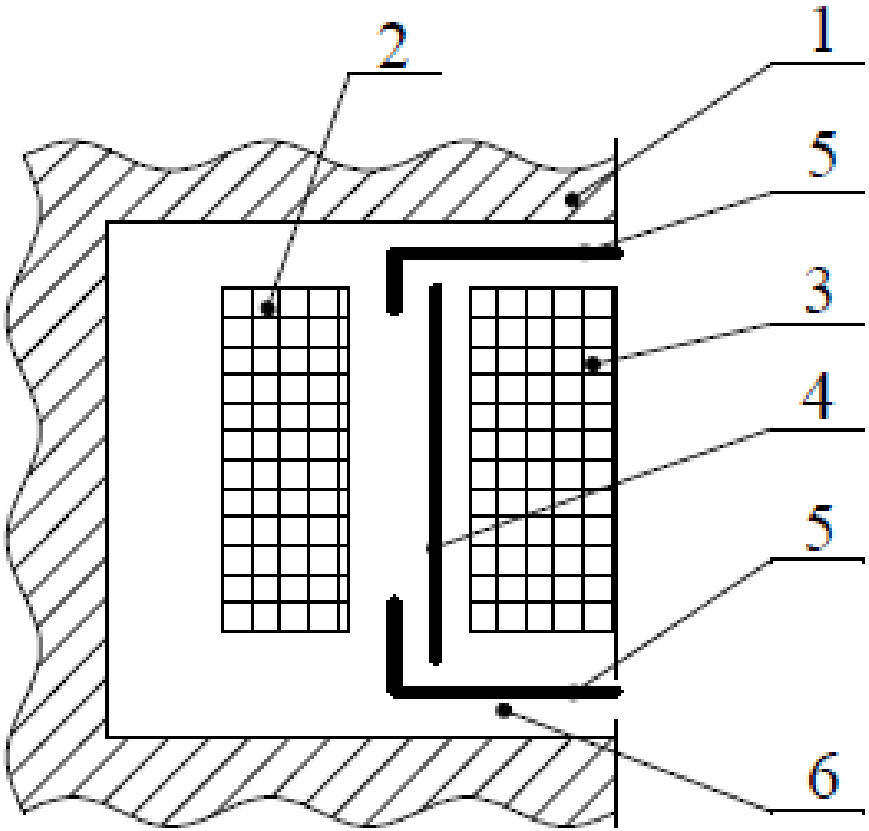


Схема устройства изоляции высоковольтного трансформатора:
1 — магнитопровод,
2 — низковольтная обмотка (НВ),
3 — высоковольтная обмотка (ВВ),
4 — барьер,
5 — щитки электроизоляции, *6 — масло*

Изоляция электрических машин

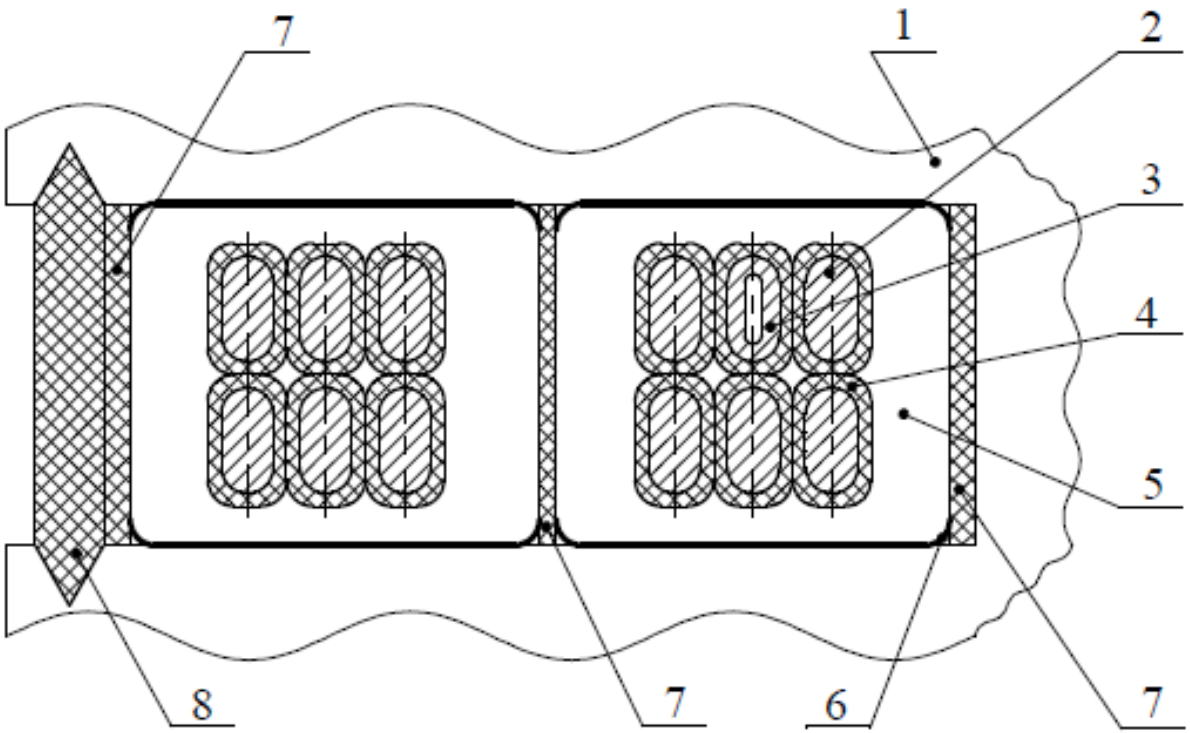
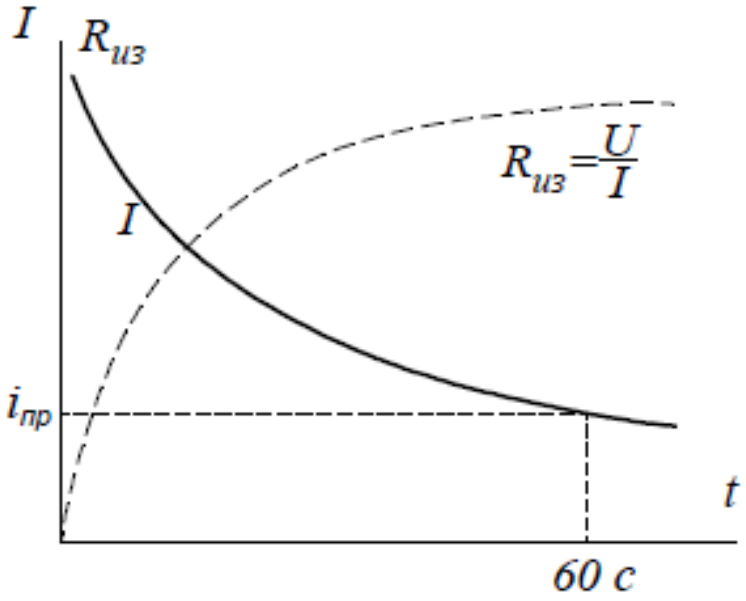


Схема устройства высоковольтной изоляции электрической машины:

1 — статор,
2 — проводник сплошной,
3 — проводник полый,
*4 — **витковая (продольная) изоляция,***
*5 — **главная корпусная изоляция**,*
6 — полупроводящее покрытие,
7 — прокладки,
8 — клин

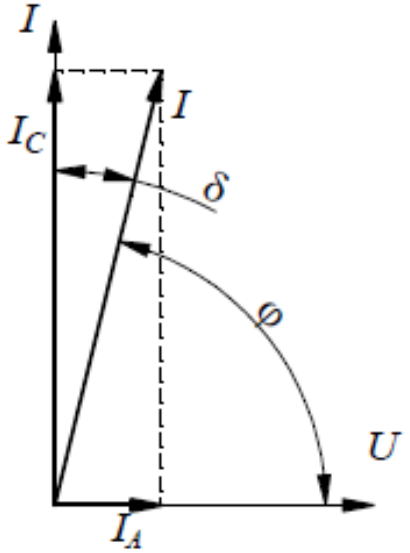
Профилактические испытания изоляции

№ п/п	Метод испытания изоляции	Дефекты, выявляемые этим методом	Общая характеристика метода
1	Измерение сопротивления изоляции	Свозные проводящие пути или пробой	Один из основных методов
2	Измерение tgδ	Процессы ионизации и старения изоляции в целом	Один из основных методов
3	Измерение емкости	Общее увлажнение изоляции	В основном для контроля влажности трансформаторов и электрических машин
4	Определение наличия частичных разрядов	Процессы ионизации в воздушных полостях	Дополнительный метод (получает все большее распространение)
5	Измерение распределения напряжения	Частичный пробой, несквозные пути утечки	Основной метод для гирлянд изоляторов
6	Приложение повышенного напряжения	Местные дефекты при снижении электрической прочности	Контроль минимального запаса электрической прочности

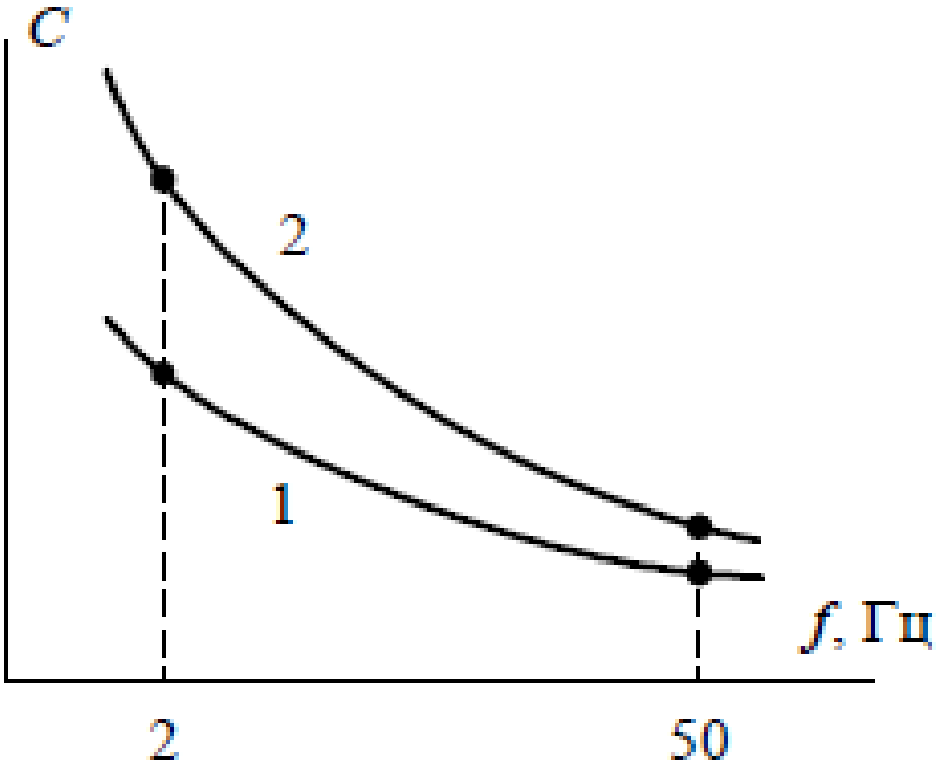


Изменение тока утечки и сопротивления изоляции во времени

Векторная диаграмма токов через диэлектрик с потерями



где
Ia — активная составляющая тока через диэлектрик;
Ic — реактивная составляющая тока через диэлектрик.



Зависимость емкости изоляции от частоты:
1 — сухая изоляция,
2 — увлажненная изоляция