

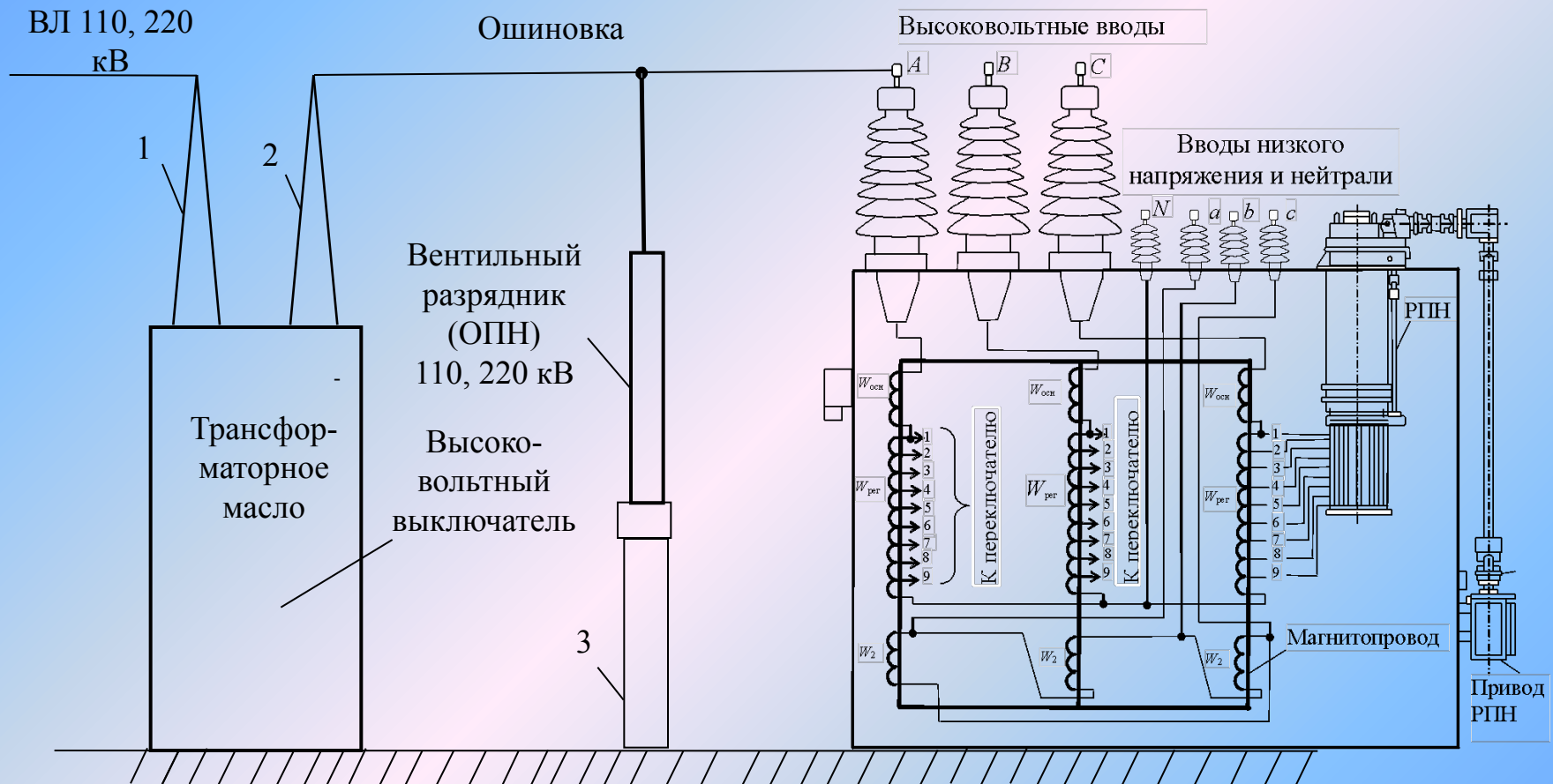
Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский Государственный Энергетический Университет
имени В.И. Ленина»

**Комплексное диагностирование
подстанционного высоковольтного электрооборудования**

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ
РАЗРЯДНИКОВ И ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

140400 Электроэнергетика и электротехника

Схема расположения высоковольтного электрооборудования (для одной фазы) на подстанции 110, 220 кВ



1, 2 - высоковольтные вводы на 110, 220 кВ; 3 – опорный изолятор

Диагностирование

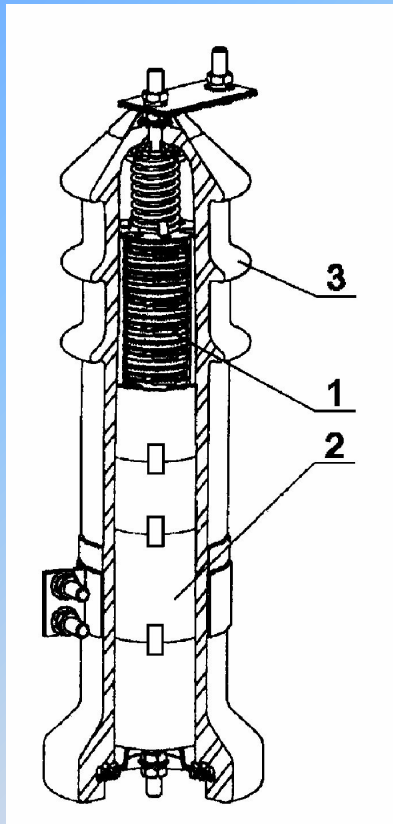
ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика Термины и определения

1. **Объект технического диагностирования** - изделие и (или) его составные части, подлежащие (подвергаемые) диагностированию (контролю)
2. **Техническое состояние объекта** Состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект
3. **Техническая диагностика** - область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов
4. **Техническое диагностирование** - определение технического состояния объекта.

Примечания: 1. Задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (или исправности); прогнозирование технического состояния.

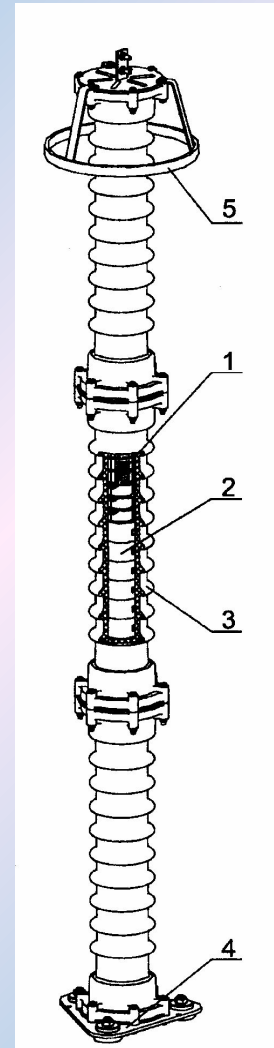
2. Термин «Техническое диагностирование» применяют в наименованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи технического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправности). Термин «Контроль технического состояния» применяется, когда основной задачей технического диагностирования является определение вида технического состояния.

Вентильные разрядники



РВО-6

- 1 – искровые промежутки
- 2 – нелинейные резисторы
- 3 – фарфоровая крышка



Разрядник РВС-110

- 1 – искровые промежутки
- 2 – нелинейные резисторы
- 3 – фарфоровая крышка
- 4 – изоляционная подставка
- 5 – верхняя крышка

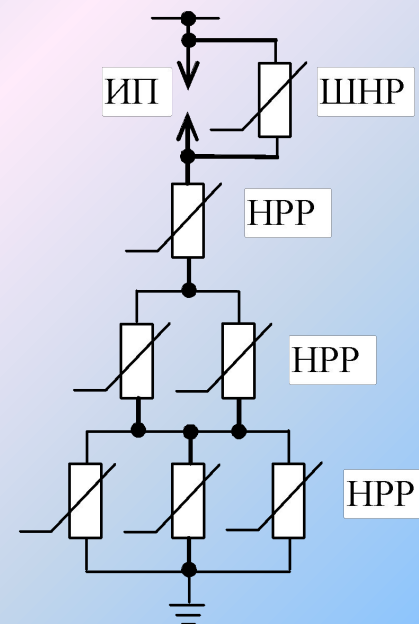
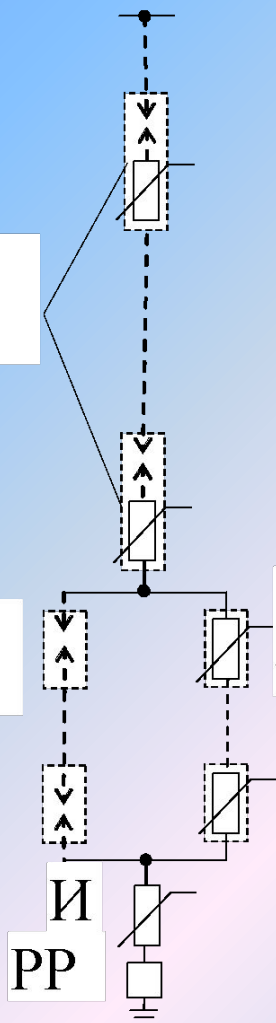
Разрядник РВМК-500

ИП – искровой промежуток;
 ШНР – шунтирующий нелинейный резистор;
 НРР – нелинейный рабочий резистор;
 ОЭ – основные элементы;
 ИЭ – искровые элементы;
 ВЭ – вентильные элементы

ОЭ – 17
 элементов

ИЭ – 5
 элементов

ВЭ – 5
 элементов

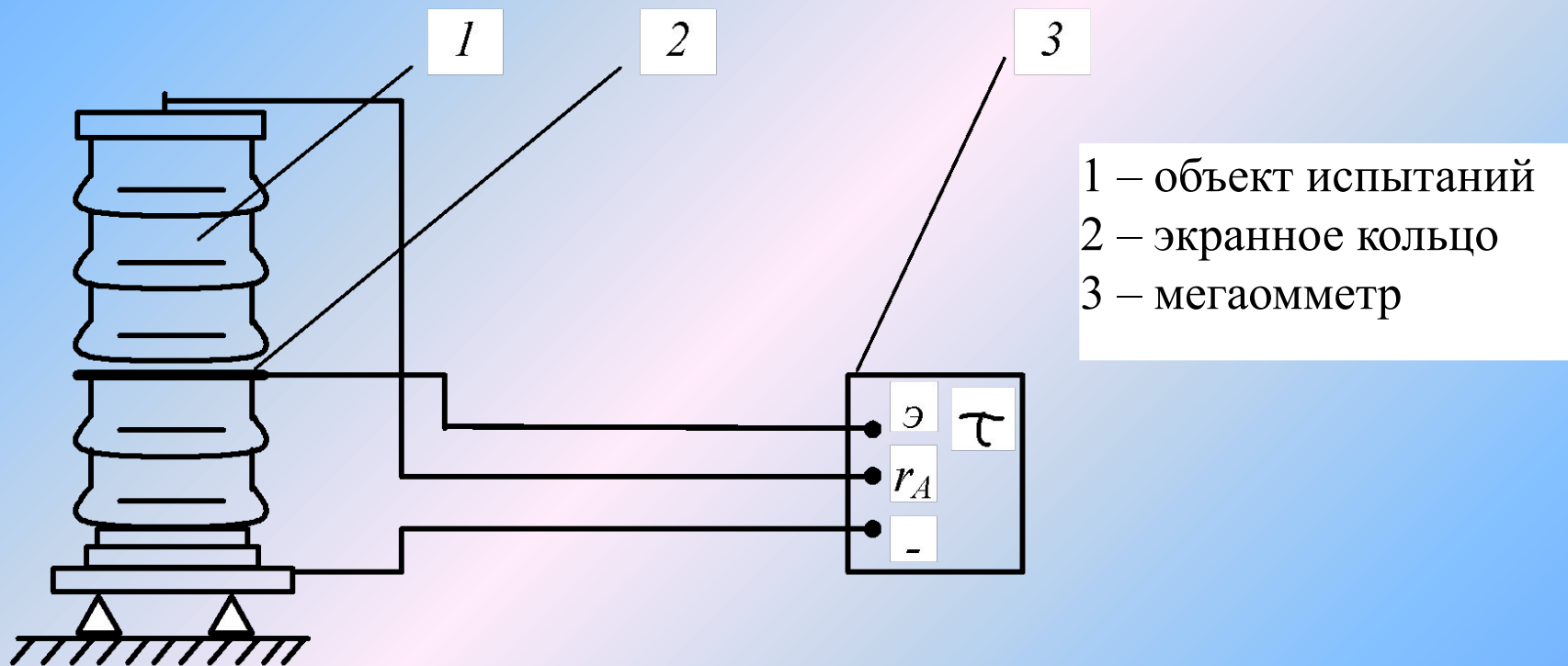


б- имитатор
 И – имитатор;
 РР – регистратор
 срабатывания

Методы диагностики вентиляных разрядников

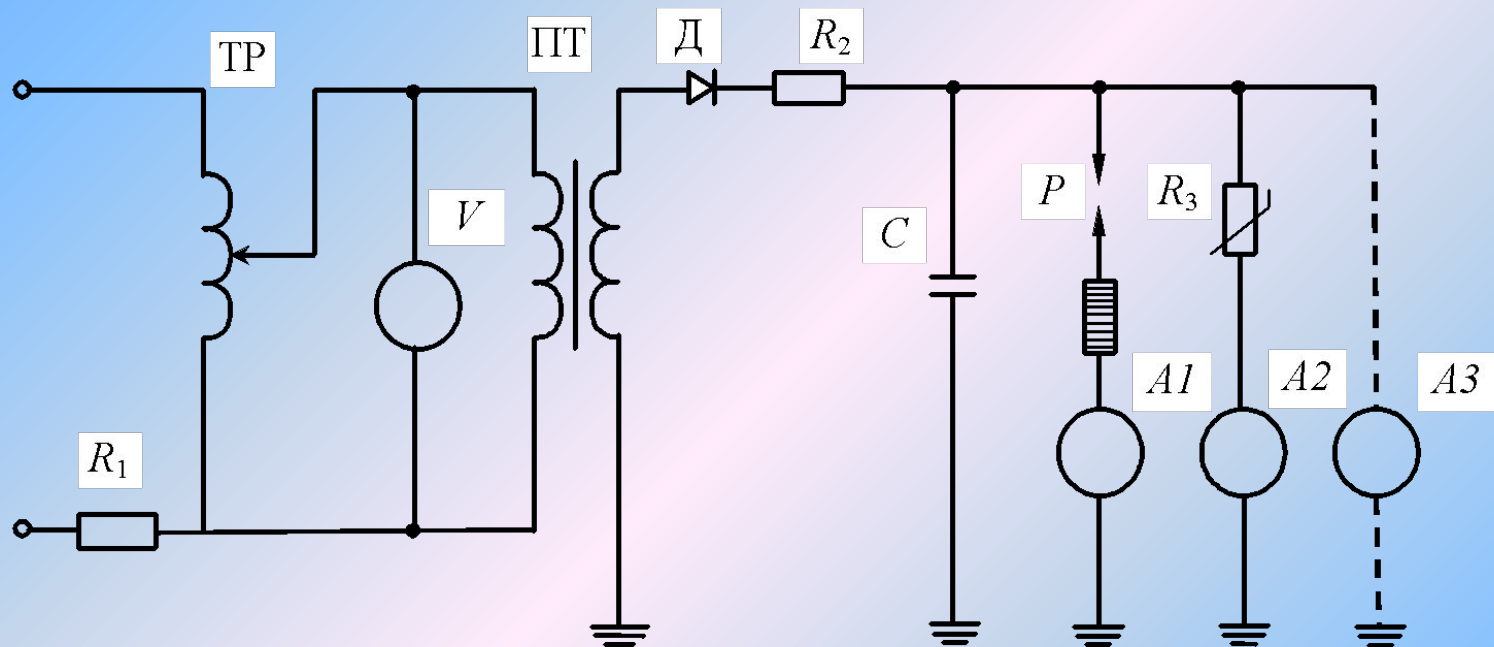
1. Измерение сопротивления. (R)
2. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) у разрядников с шунтирующими сопротивлениями, которые должны соответствовать нормативным значениям.
3. Измерение пробивного напряжения ($U_{пр}$) промышленной частоты 50 Гц.
4. Тепловизионное обследование (с помощью приборов инфракрасной техники с высокой разрешающей способностью по температуре (не ниже 0,5 °C)).

Измерение сопротивления вентильного разрядника с помощью мегаомметра



- Измерение сопротивления вентильных разрядников и ограничителей перенапряжений позволяет выявить увлажнение внутренних деталей, обрывы цепи шунтирующих резисторов у разрядников и другие грубые дефекты.
- Сопротивление измеряется у аппаратов на напряжение 3 кВ и выше мегаомметром на напряжение 2500 В, а у аппаратов на напряжение до 3 кВ мегаомметром на напряжение 1000 В. У имитаторов пропускной способности сопротивление измеряется мегаомметром на напряжение 2500 В.
- Измерения следует производить после дождливого периода в сухую погоду при температуре выше $+5^{\circ}\text{C}$. В этих условиях лучше выявляются дефекты, связанные с увлажнением внутренних деталей из-за разгерметизации.
- Для исключения погрешности измерений из-за влияния возможных утечек наружная поверхность фарфоровых покрышек должна быть чистой и сухой. При повышенной влажности окружающего воздуха измерения должны производиться с применением экрана. Значение измеренного сопротивления должно соответствовать значениям, указанным в паспорте аппарата или в действующих Нормах испытания электрооборудования.

Схема измерения тока проводимости разрядников с шунтирующими сопротивлениями



ТР – трансформатор регулировочный
ПТ – повышающий трансформатор
Д – диод; C – конденсатор; P – разрядник
 $A_1 - A_3$ – амперметры
 R_1, R_2, R_3 – резисторы

Измерение тока проводимости позволяет выявить увлажнение внутренних деталей разрядников и ограничителей перенапряжений при нарушении их герметичности на ранних стадиях развития дефекта. Выпрямленное напряжение для измерения токов проводимости разрядников получают от испытательной установки соответствующего напряжения. В качестве испытательных установок могут быть использованы установки промышленного изготовления АИИ-70 или АКН-50. Для измерения токов используется магнитоэлектрический микроамперметр типа MI200 или ему подобный с пределами измерения до 1,5 мА класса точности 0,5. Микроамперметр должен включаться в цепь заземления разрядника. Для измерения выпрямленного напряжения применяются киловольтметры типов С-96, С-100 или микроамперметры класса точности 0,5 с добавочным нелинейным резистором типа СН. Сопротивление токоограничивающего резистора R_2 (кОм) выбирается из отношения

$$R_2 \geq U_{исп} / 0,1,$$

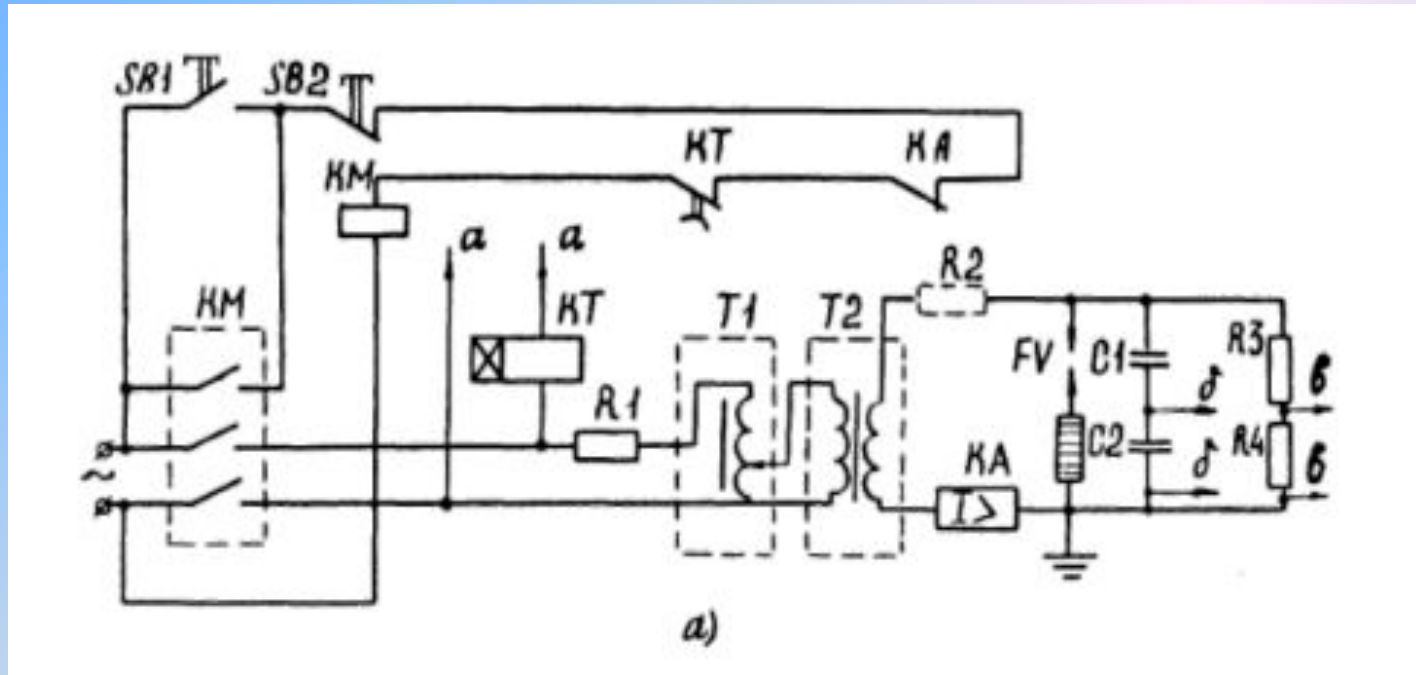
где $U_{исп}$ — значение испытательного напряжения, кВ.

Значение испытательного напряжения может контролироваться также по вольтметру V в первичной цепи испытательного трансформатора. Градуировку этого вольтметра следует производить!» при подключенном разряднике и при напряжении, близком к испытательному (измерение испытательного напряжения по вольтметру в первичной цепи испытательного трансформатора с пересчетом напряжения по коэффициенту трансформации недопустимо, так как при этом не учитываются искажение формы кривой напряжения, а также падение напряжения в обмотках трансформатора и в защитных резисторах).

Результат измерения токов проводимости вентильных разрядников с шунтирующими резисторами в значительной мере зависит от глубины пульсации выпрямленного напряжения.

Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения применяются сглаживающие конденсаторы, значения емкостей которых выбираются в соответствии с таблицей.

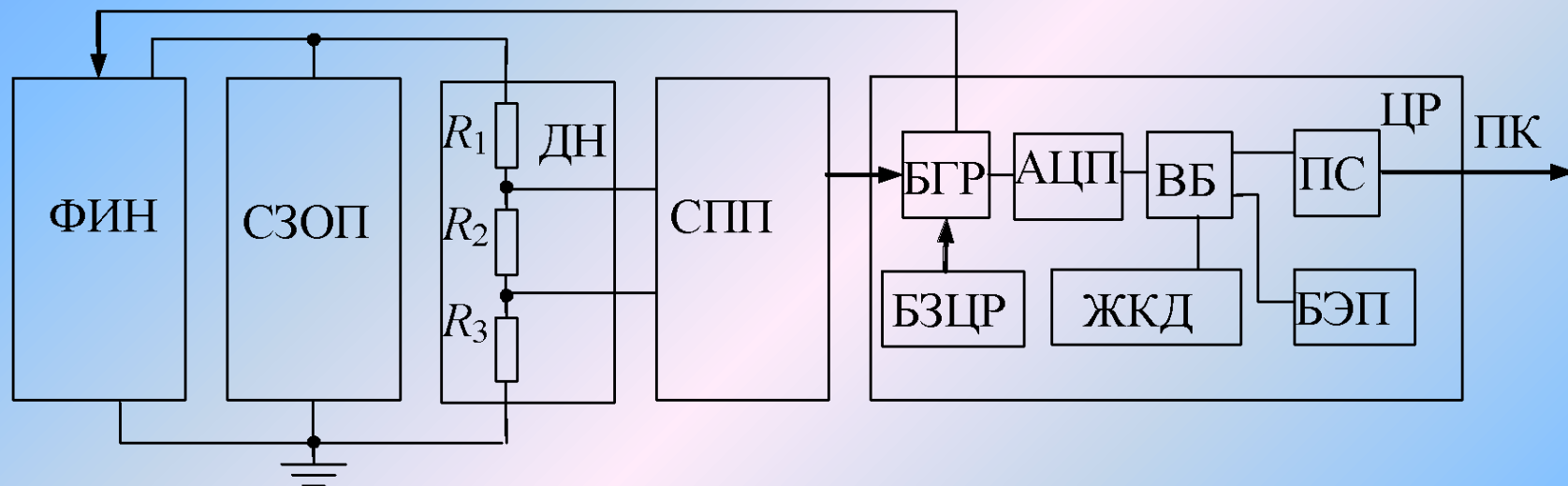
Принципиальная схема испытательной установки для измерения пробивного напряжения вентильных разрядников с шунтирующими сопротивлениями



SB1 - кнопка включения; *SB2* - кнопка отключения; *КМ* - магнитный пускатель; *КТ* - реле времени; *Т1* - регулировочный автотрансформатор РНО-250-10; *Т2* - испытательный трансформатор НОМ-100/25; *R1, R2* - защитные резисторы; *КА* - реле тока; *FV* — вентильный разрядник; *C1, C2* — конденсаторы емкостного делителя напряжения; *R3, R4* — резисторы активного делителя напряжения; *a-a* — к скользящему контакту РНО-250-10; *б-б* — к электронно-лучевому осциллографу; *б-б* - к светолучевому осциллографу;

- В качестве источника испытательного напряжения при определении пробивных напряжений разрядников РВС может быть использован трансформатор НОМ-100/10.
- Для подъема напряжения на испытательном трансформаторе Т2 до пробивного значения в течение допустимого времени используется регулировочный автотрансформатор Т1 типа РНО-250-10, в котором червячный привод и гибкий тросик регулятора, связывающий контактный ролик с рукояткой, заменен жесткой тягой.
- Испытательная установка включается кнопкой включения *SB1* (отключается кнопкой *SB2*).
- Напряжение 220 В контактами кнопки *SB1* кратковременно подается на обмотку магнитного пускателя КМ с самозапитыванием через контакты реле времени КТ и реле тока КА.
- При замыкании контактов магнитного пускателя напряжение 220 В подается на регулировочный автотрансформатор Т1 при минимальном числе витков его обмотки. Подъем напряжения на испытательном трансформаторе Т2 осуществляется быстрым передвижением жесткой тяги регулировочного автотрансформатора.
- При этом скользящим контактом РНО замыкается цепь обмотки реле времени КТ (типа РВ), контактами которого через 0,5 с размыкается цепь питания обмотки магнитного пускателя и происходит отключение испытательной установки от питающей сети.
- Отключение испытательной установки происходит также при разрыве цепи питания обмотки магнитного пускателя контактами реле тока КА типа РТ-40, через обмотку которого протекает сопровождающий ток вентильного разрядника *FV* при пробое его искровых промежутков. Установка реле тока должна быть около 0,2-0,3 А. Для ограничения тока в рабочих резисторах разрядника после пробоя искровых промежутков в цепь питания РНО включается защитный резистор *R1* с значением сопротивления 0,5-1,0 Ом. Защитный резистор может быть включен со стороны испытуемого разрядника, при этом его сопротивление должно быть не менее 150 кОм.
- Для измерения пробивного напряжения на разряднике могут быть использованы электронно-лучевые осциллографы С1-5, ЭО-7 и другие, работающие в режиме безынерционного вольтметра (с отключенной разверткой).
- Измеряемое напряжение подается на пластины явления осциллографа от низковольтного плеча емкостного делителя напряжения С2. При использовании светолучевых осциллографов, например Н-008, Н-115 и других пробивное напряжение может быть измерено от низковольтного плеча омического делителя напряжения *R4*.

Измерение пробивного напряжения вентильных разрядников



ФИН – формирователь импульса напряжения;
СЗОП – средство защиты от перенапряжения;
ДН – делитель напряжения;
 R_1 - R_3 – активные резисторы;
СПП – система подавления помех;
БГР – блок гальванической развязки;
БЗЦР – блок запуска цифровой регистрации;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
ВБ – вычислительный блок;
ЖКД – жидкокристаллический дисплей;
ПС – порт связи;
БЭП – блок энергонезависимой памяти;
ПК – персональный компьютер;
ЦО – цифровой осциллограф

Защитное действие искровых промежутков

- Защитное действие искровых промежутков принято характеризовать коэффициентом гашения

$$k_{\text{гаш}} = \frac{U_{\text{пр}\sim}}{\sqrt{2} U_{\text{гаш}}},$$

- где $U_{\text{пр}\sim}$ — пробивное напряжение искровых промежутков при промышленной частоте.

Чем меньше коэффициент гашения, а следовательно, меньше различие между напряжением пробоя искровых промежутков разрядника и напряжением гашения, тем лучше защитное действие искровых промежутков.

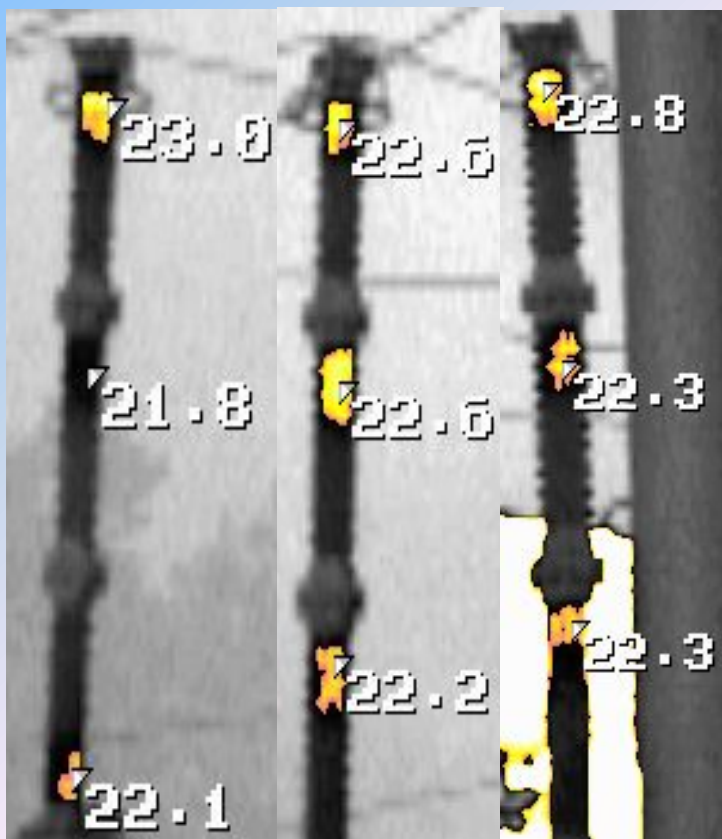
Защитное действие нелинейного резистора разрядника

- принято характеризовать защитным коэффициентом, равным отношению остающегося напряжения к напряжению гашения разрядника:

$$k_{\text{защ}} = U_{\text{ост}} / \sqrt{2} U_{\text{гаш.}}$$

- Чем меньше защитный коэффициент, тем лучше защитные свойства разрядника.

Тепловизионный контроль изображения элементов фаз (А, В, С) вентильных разрядников серии РВС-110 кВ, установленных на подстанциях (а – «Стрелка»; б – «Семеновское»), и их температурное поле. На фазе А перевернут нижний элемент разрядника РВС-110, установленного на подстанции «Стрелка»



A

B

C



A

B

C

За последние годы для оценивания состояния вентильных разрядников стал широко применяться инфракрасный метод диагностики, позволяющий контролировать исправность шунтирующих резисторов и искровых промежутков, герметизацию элементов, степень равномерности распределения рабочего напряжения по элементам разрядников. С помощью тепловизора, определяется превышение температуры каждого элемента над температурой окружающей среды, и на каждом элементе рассчитывается напряжение по формуле:

$$U_n = \frac{U_{\phi} \Delta t_n}{T_p},$$

где U_n — напряжение на элементе разрядника, кВ; U_{ϕ} — фазное напряжение, приложенное к разряднику, кВ; T_p — сумма превышений температуры на всех элементах фазы разрядника °С.

Признак исправного состояния вентильного разрядника с шунтирующими резисторами - верхние элементы в месте расположения шунтирующих резисторов нагреваются одинаково во всех фазах.

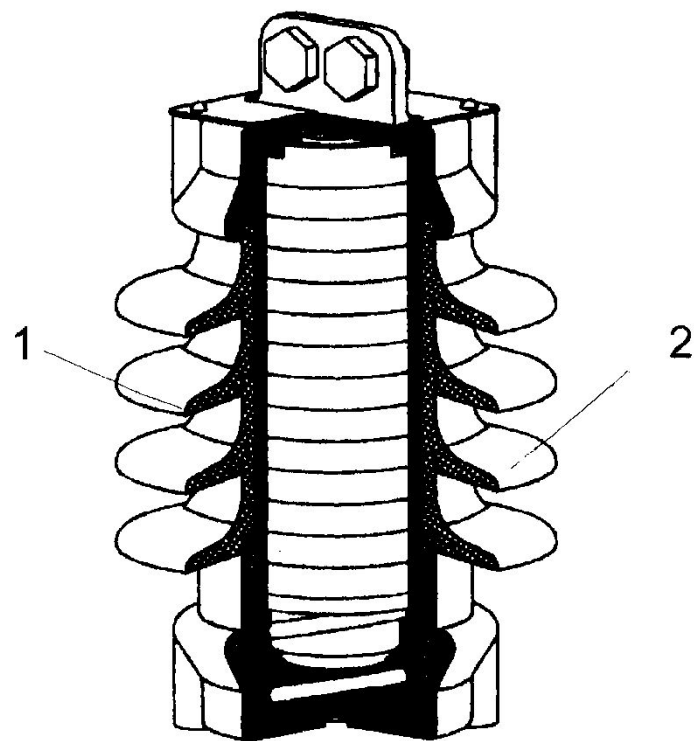
Замыкание искровых промежутков в элементах разрядника вызывают закорачивание ими шунтирующих резисторов. При этом сопротивления элемента и всей фазы разрядника уменьшаются, а ток проводимости увеличивается и сильнее нагревает незакороченные шунтирующие резисторы.

Анализ термограмм элементов разрядников, имевших замкнутые искровые промежутки, показал:

1. Температура и ее распределение по поверхности дефектного элемента зависит от числа и места расположения замкнутых искровых промежутков;
2. В дефектной фазе разрядника происходит более сильный нагрев исправных элементов по сравнению с поврежденными;
3. В дефектной фазе разрядника нагрев элементов выше нежели нагрев соответствующих элементов исправной фазы.

При обрыве шунтирующего резистора в элементе последний имеет более низкую температуру по сравнению с соответствующими элементами остальных фаз разрядника. При наличии в фазе разрядника элемента, имеющего обрыв шунтирующего резистора, наблюдается более интенсивный нагрев других элементов этой фазы разрядника.

Конструкция ОПН



1 – Оксидно-цинковые
резисторы

2 – полимерная крышка

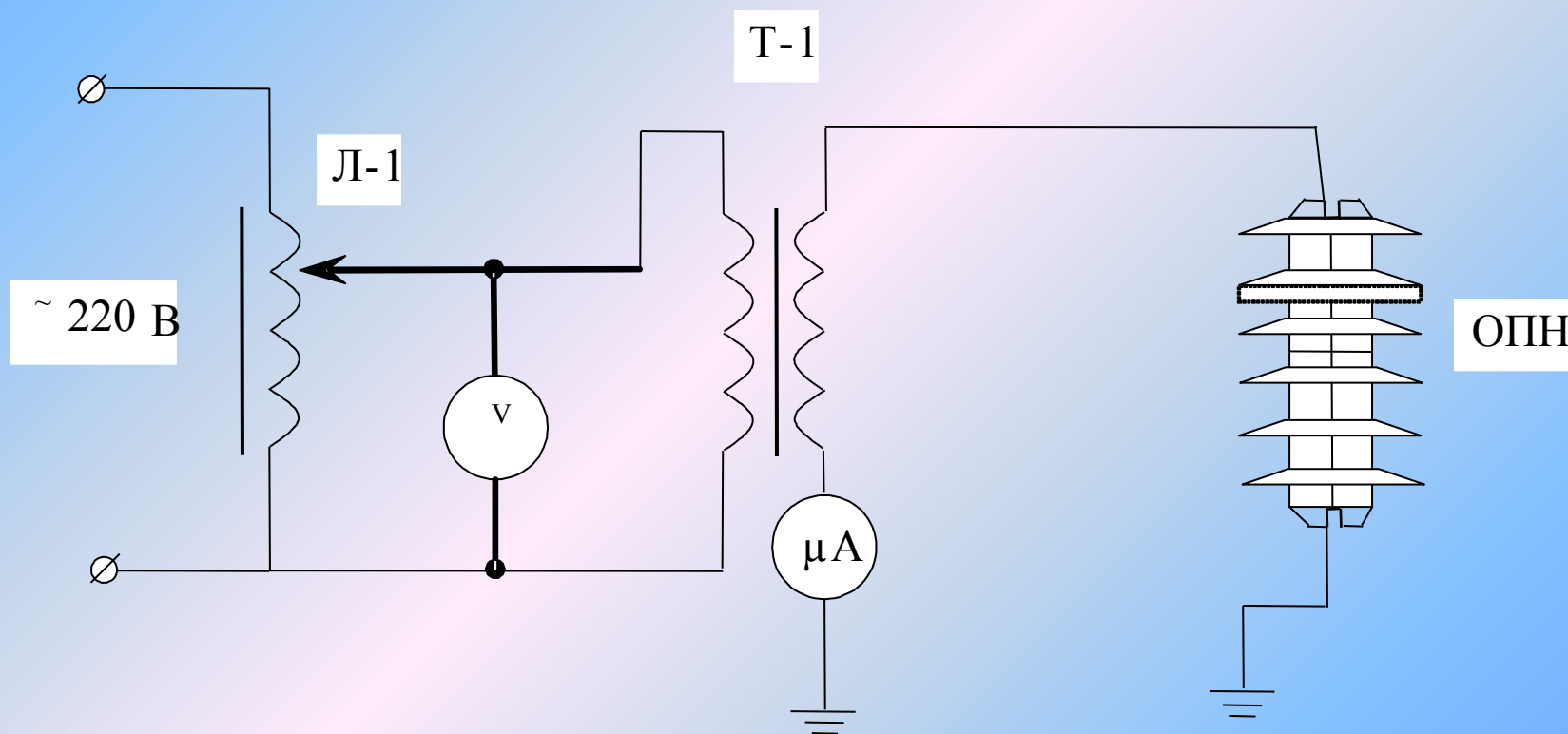
Комплектация ОПН

Тип ограничителя	Число блоков	Число колонок в блоке	Общее число единичных резисторов в НРР
ОПН-110У1, ОПН-110ХЛ1	2	4	496
ОПН-150У1	3	5	855
ОПН-220У1, ОПН-220ХЛ1	4	6	1464
ОПНИ-500У1	6	18	8856
ОПН-750У1	8	30	24000

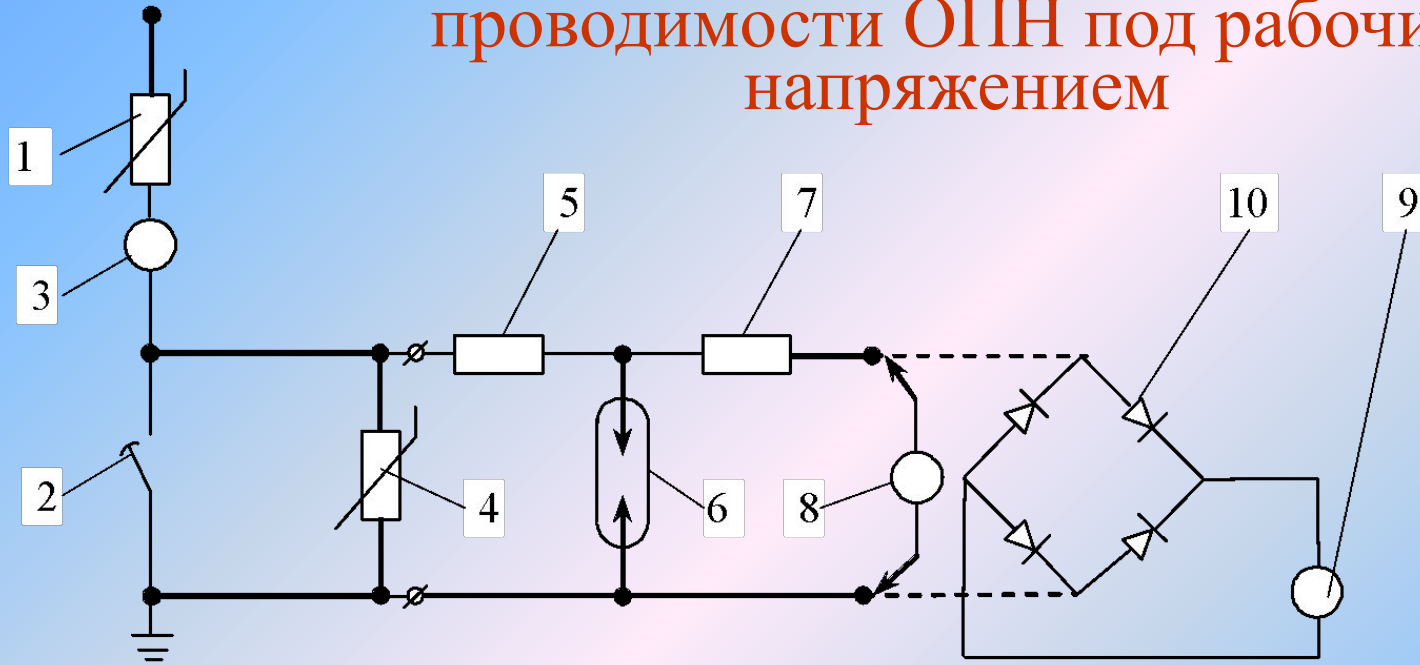
Методы диагностики ОПН

1. Измерение сопротивления. (R)
2. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) ОПН (6-35 кВ) в лабораторных условиях
3. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) ОПН под рабочим напряжением (110-750 кВ)
4. Тепловизионное обследование (с помощью приборов инфракрасной техники с высокой разрешающей способностью по температуре (не ниже 0,5 °C)).

Схема для измерения тока проводимости ОПН в лабораторных условиях



Устройство для измерения тока проводимости ОПН под рабочим напряжением



- 1—ограничитель перенапряжений;
2—нож заземления;
3—регистратор срабатывания;
4—защитный нелинейный резистор;
5,7 - резисторы МЛТ-2, 15 кОм;
6—разрядник Р-350;
8—миллиамперметр переменного тока класса точности 0,5;
9—миллиамперметр постоянного тока класса точности 0,5;
10—диод на ток 10 мА; АБ—зажимы для подключения измерительной схемы

Измерение тока проводимости ограничителя перенапряжений позволяет выявить ухудшение характеристик нелинейных резисторов ОПН, произошедшее в результате нарушения его герметичности или по другим причинам.

Измерение тока проводимости ограничителей перенапряжений перед вводом в эксплуатацию производится с помощью миллиамперметра переменного тока при напряжении промышленной частоты 73 кВ действующего для ограничителей ОПН-110 VI и 100 кВ действующего для остальных типов ограничителей.

Измерения тока проводимости в процессе эксплуатации производятся без отключения ОПН от сети с помощью устройства, поставляемого заводом-изготовителем вместе с каждой фазой ОПН.

Перед началом испытаний производится внешний осмотр ограничителя. При наличии на ограничителе трещин фарфора и фланцев, загрязнений фарфоровых покрышек, неисправностей подводящих и заземляющих шин, а также при сработавшем предохранительном клапане измерения тока проводимости производить не разрешается.

Подключение измерительного устройства необходимо производить в следующей последовательности:

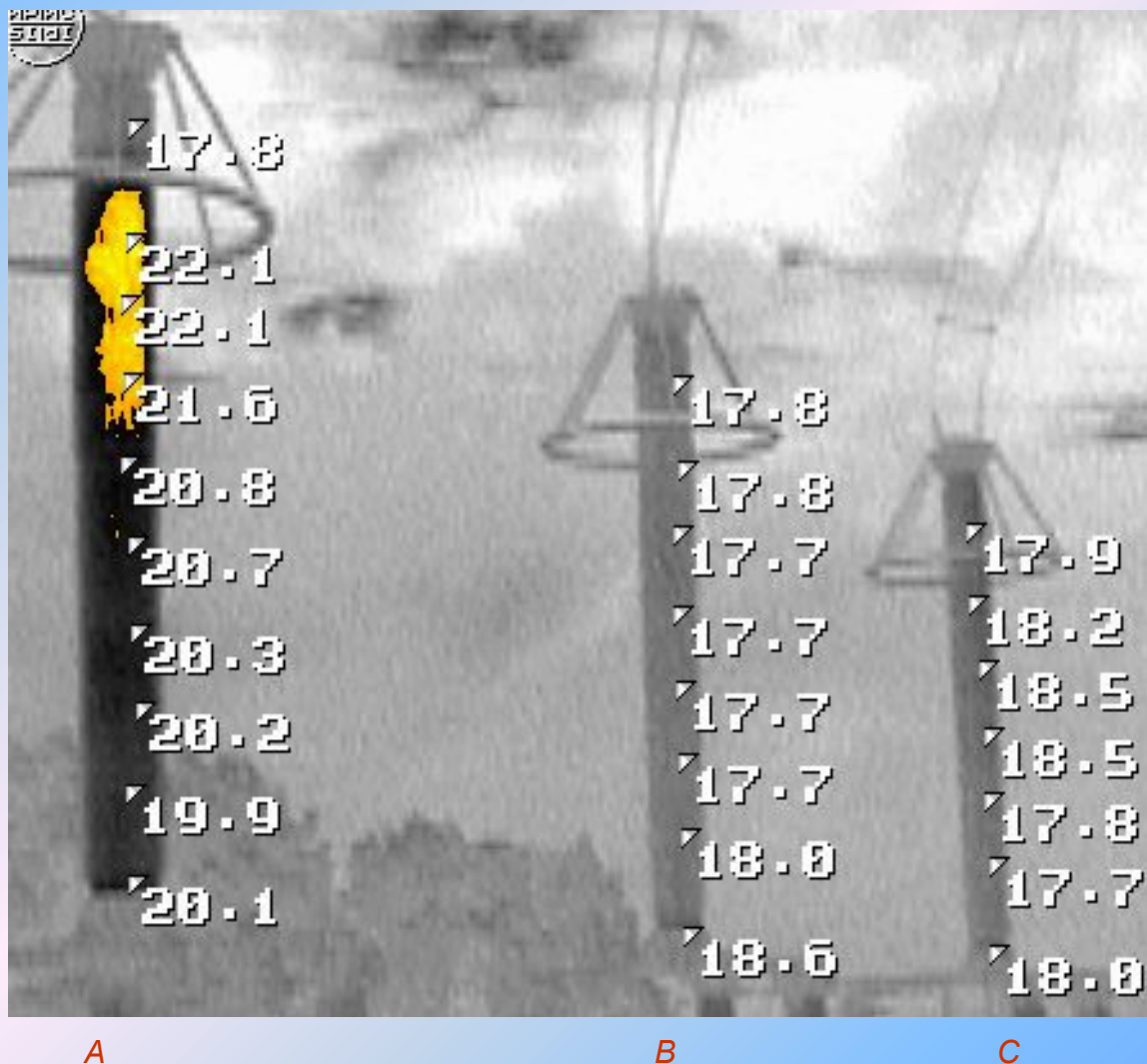
- подключается к зажимам измерительная схема;
- размыкается нож заземления с помощью высоковольтной штанги;
- производится измерение тока проводимости и фиксируется напряжение на шинах распределительного устройства, а также температура окружающего воздуха;
- замыкается заземляющий нож с помощью высоковольтной штанги.

Все измерения должны производиться при положительной температуре не ниже 5°C в сухую погоду.

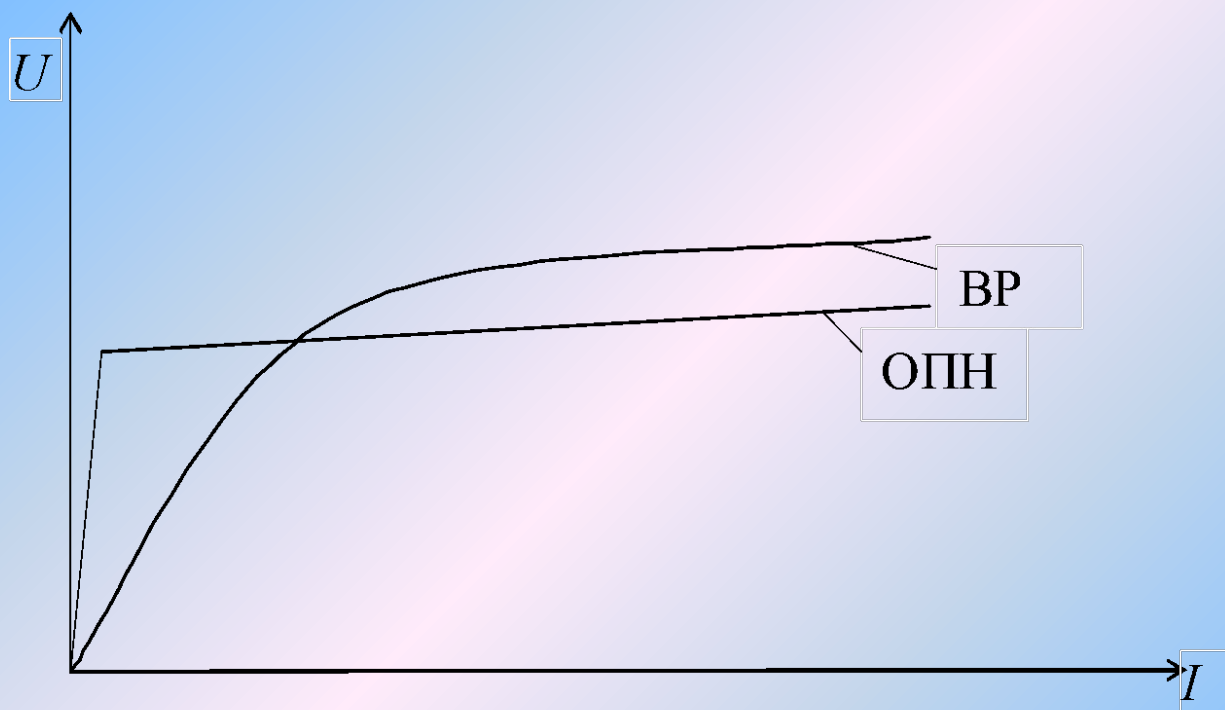
Если при измерении тока проводимости под рабочим напряжением окажется, что измеренное значение тока существенно меньше тока, полученного при вводе ограничителя в эксплуатацию, это означает, что защитный резистор неисправен и его необходимо заменить.

Оценка состояния ограничителя перенапряжении осуществляется путем сопоставления измеренного значения тока проводимости с предельно допустимыми значениями этого параметра, указанными в действующих Нормах испытания электрооборудования.

Изображения ограничителя перенапряжения ОПН-500 (фаз *A*, *B*, *C*), установленного на Волжской ГЭС и их температурные поля, полученные с помощью тепловизора, свидетельствующие о наличии дефекта на фазе *A*. Снимок выполнен при температуре окружающего воздуха +13 °С



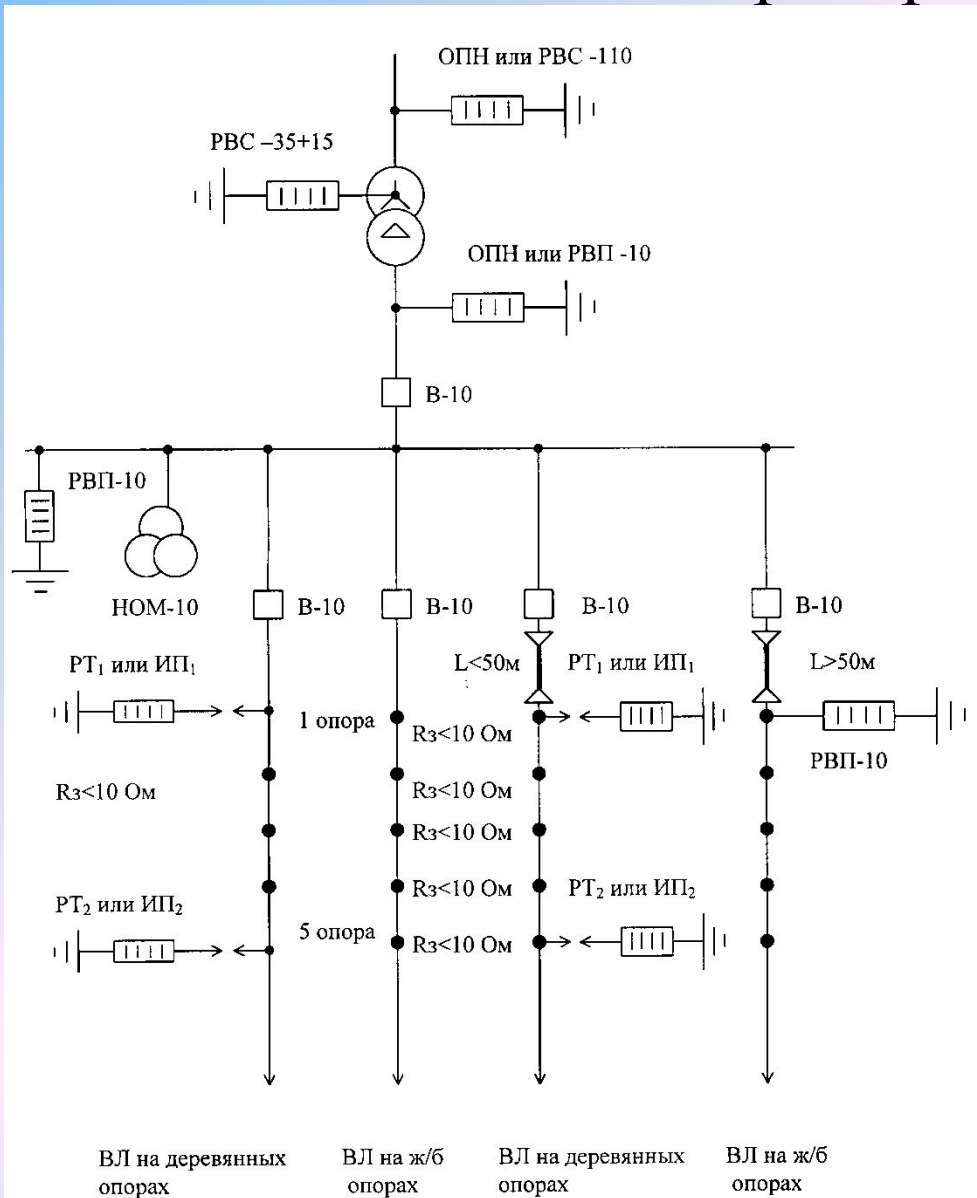
Вольт-амперные характеристики средств защиты от перенапряжения



ОПН – нелинейный ограничитель перенапряжения; ВР – вентильный разрядник

- вольтамперная характеристика вентильного разрядника нелинейна — падает с увеличением значения. Это свойство позволяет пропустить большой ток при меньшем падении напряжения.
- Вольтамперная характеристика ограничителя состоит из 3 участков:
 - область малых токов;
 - область средних токов;
 - область больших токов.
- В первой области варисторы работают под рабочим напряжением, не превышающим наибольшее допустимое рабочее напряжение (сопротивление варисторов велико, через них протекает очень малый ток проводимости). В режим средних токов варистор переходит при возникновении перенапряжения в сети. При этом на границе 1 и 2 областей происходит перегиб ВАХ, сопротивление варисторов существенно уменьшается и через них протекает кратковременный импульс тока. Варистор поглощает энергию импульса и рассеивает её в окружающее пространство в виде тепла. За счёт поглощения энергии, импульс перенапряжения резко падает. Третья область для ограничителя является аварийной, сопротивление варисторов в ней вновь резко возрастает.

Защита электрооборудования от грозových волн, набегающих с линий электропередач



Контрольные вопросы

1. Методы диагностики вентильных разрядников.
2. Методы диагностики ОПН.
3. Принцип действия ОПН.
4. Принцип действия вентильного разрядника.
5. Нарисуйте вольтамперную характеристику ОПН и поясните ее.
6. Начертите схему измерения тока проводимости разрядников с шунтирующими сопротивлениями.
7. Чему равен коэффициент гашения?
8. Чему равен защитный коэффициент?

Ответы на контрольные вопросы

1. Методы диагностики вентиляных разрядников

1. Измерение сопротивления. (R)
2. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) у разрядников с шунтирующими сопротивлениями, которые должны соответствовать нормативным значениям.
3. Измерение пробивного напряжения ($U_{пр}$) промышленной частоты 50 Гц.
4. Тепловизионное обследование (с помощью приборов инфракрасной техники с высокой разрешающей способностью по температуре (не ниже $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)).

2. Методы диагностики ОПН.

1. Измерение сопротивления. (R)
2. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) ОПН (6-35 кВ) в лабораторных условиях
3. Измерение токов проводимости ($I_{пр}$) ОПН под рабочим напряжением (110-750 кВ)
4. Тепловизионное обследование (с помощью приборов инфракрасной техники с высокой разрешающей способностью по температуре (не ниже 0,5 °C)).

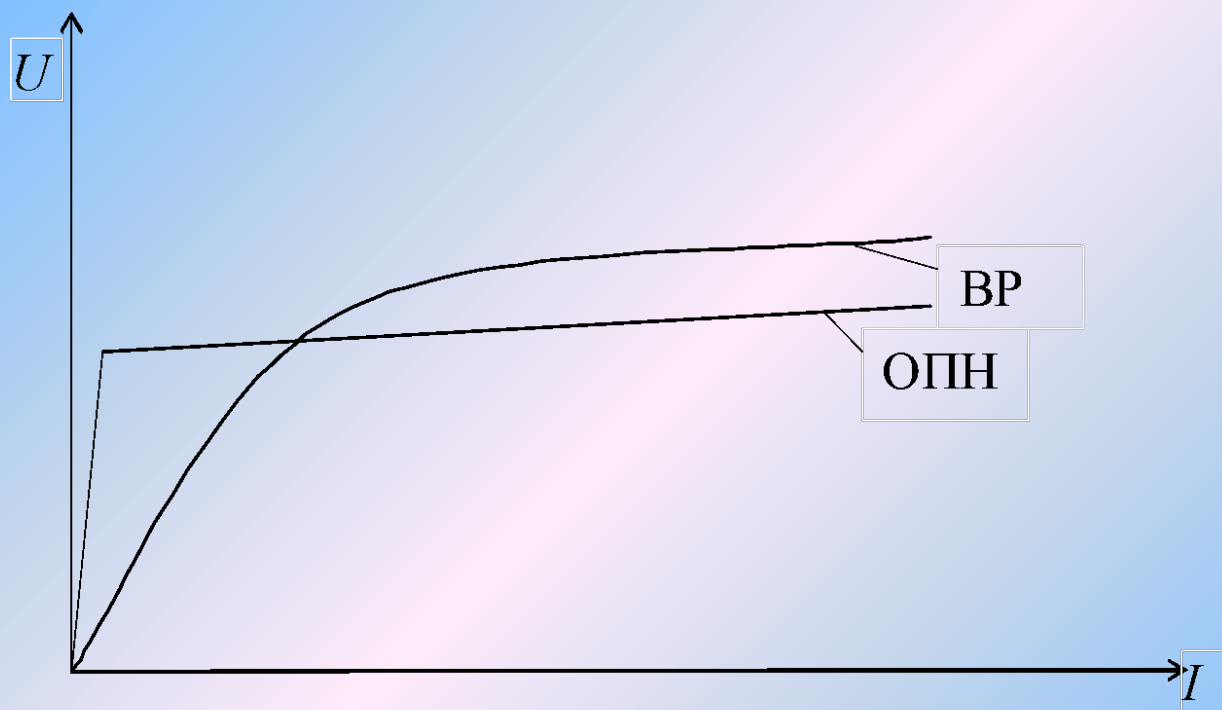
3. Принцип действия ОПН.

- Защитное действие ограничителя перенапряжений обусловлено тем, что появление опасного для изоляции перенапряжения, вследствие высокой нелинейности резисторов через ограничитель перенапряжений протекает значительный импульсный ток, в результате чего величина перенапряжения снижается до уровня, безопасного для изоляции защищаемого оборудования.
- В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель имеет емкостный характер и составляет десятые доли миллиампера. Но при возникновении перенапряжений резисторы ОПН переходят в проводящее состояние и ограничивают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемой электроустановки. Когда перенапряжение снижается, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние.

4. Принцип действия вентильного разрядника.

Принцип действия вентильного разрядника основан на преобразовании тока. В первую очередь напряжение подается на пластины. За магнитные помехи отвечает резистор. Конденсаторный блок пропускает через себя ток только в одном направлении. Весь процесс преобразования происходит в модуляторе. На выходе получается переменный ток с частотой не ниже 20 Гц.

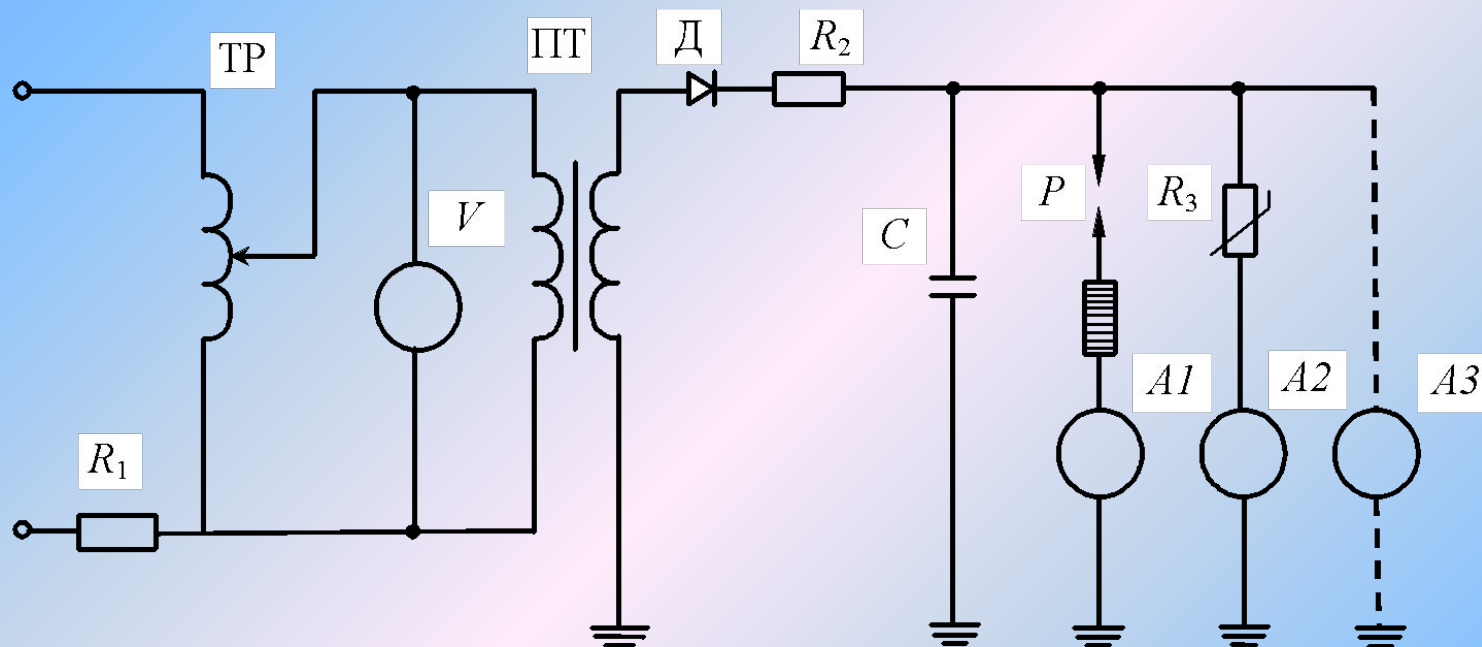
5. Вольтамперная характеристика ОПН и ее пояснение.



ОПН – нелинейный ограничитель перенапряжения; ВР – вентильный разрядник

- вольтамперная характеристика вентильного разрядника нелинейна — падает с увеличением значения. Это свойство позволяет пропустить большой ток при меньшем падении напряжения.
- Вольтамперная характеристика ограничителя состоит из 3 участков:
 - область малых токов;
 - область средних токов;
 - область больших токов.
- В первой области варисторы работают под рабочим напряжением, не превышающим наибольшее допустимое рабочее напряжение (сопротивление варисторов велико, через них протекает очень малый ток проводимости). В режим средних токов варистор переходит при возникновении перенапряжения в сети. При этом на границе 1 и 2 областей происходит перегиб ВАХ, сопротивление варисторов существенно уменьшается и через них протекает кратковременный импульс тока. Варистор поглощает энергию импульса и рассеивает её в окружающее пространство в виде тепла. За счёт поглощения энергии, импульс перенапряжения резко падает. Третья область для ограничителя является аварийной, сопротивление варисторов в ней вновь резко возрастает.

6. Схема измерения тока проводимости разрядников с шунтирующими сопротивлениями.



ТР – трансформатор регулировочный
ПТ – повышающий трансформатор
Д – диод; C – конденсатор; P – разрядник
 $A_1 - A_3$ – амперметры
 R_1, R_2, R_3 – резисторы

7. Чему равен коэффициент гашения?

Защитное действие искровых промежутков принято характеризовать коэффициентом гашения

$$k_{\text{гаш}} = \frac{U_{\text{пр}\sim}}{\sqrt{2} U_{\text{гаш}}},$$

где $U_{\text{пр}\sim}$ пробивное напряжение искровых промежутков при промышленной частоте.

8. Чему равен защитный коэффициент?

Защитное действие нелинейного резистора разрядника принято характеризовать защитным коэффициентом, равным отношению остающегося напряжения к напряжению гашения разрядника:

$$k_{\text{защ}} = U_{\text{ост}} / \sqrt{2} U_{\text{гаш.}}$$

Спасибо за внимание