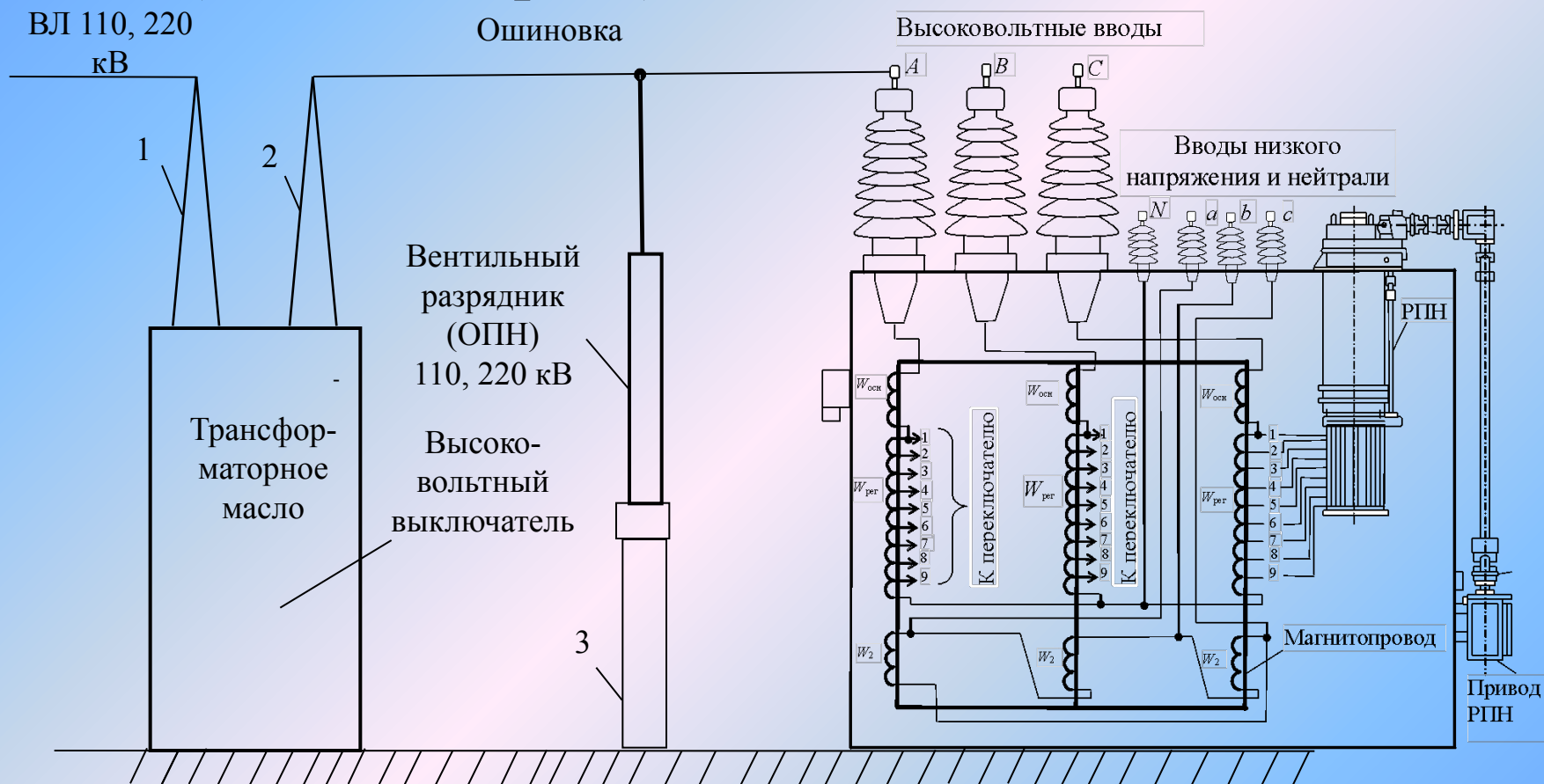


**Комплексное диагностирование
подстанционного высоковольтного электрооборудования**

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

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



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

Диагностирование

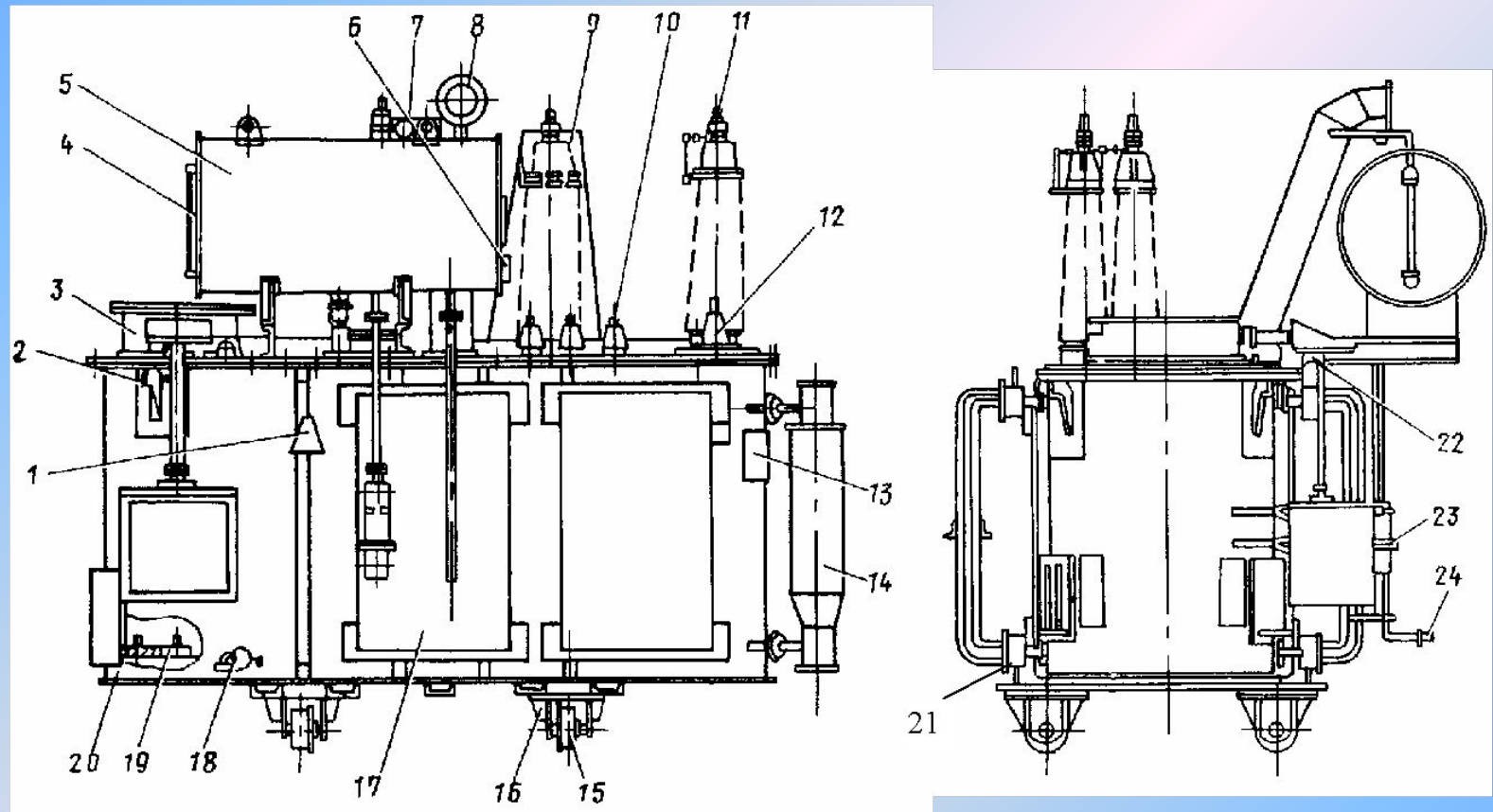
ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика Термины и определения

- 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.

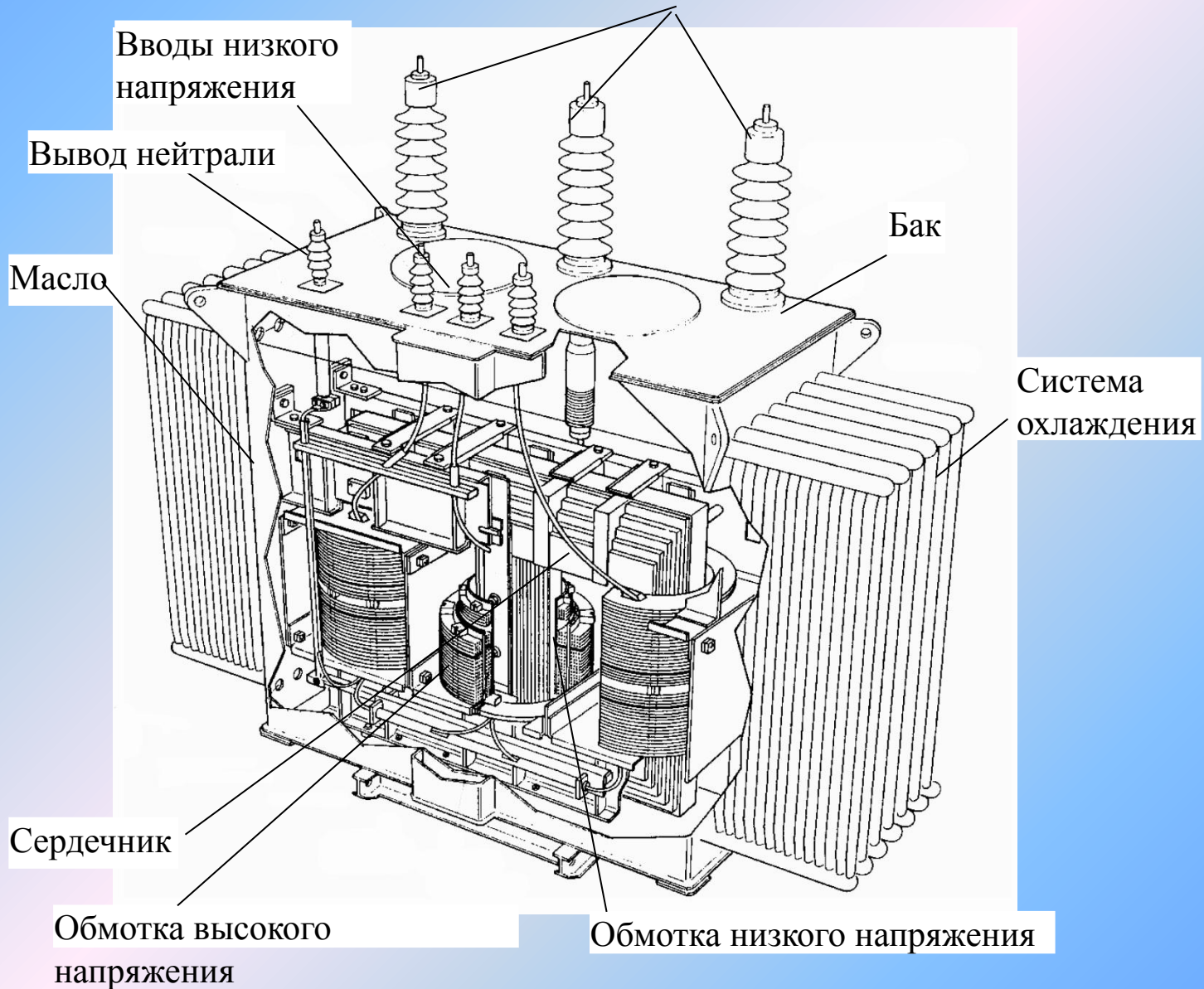
2. Термин «Техническое диагностирование» применяют в наименованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи технического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправности). Термин «Контроль технического состояния» применяется, когда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

Основные элементы силового трансформатора

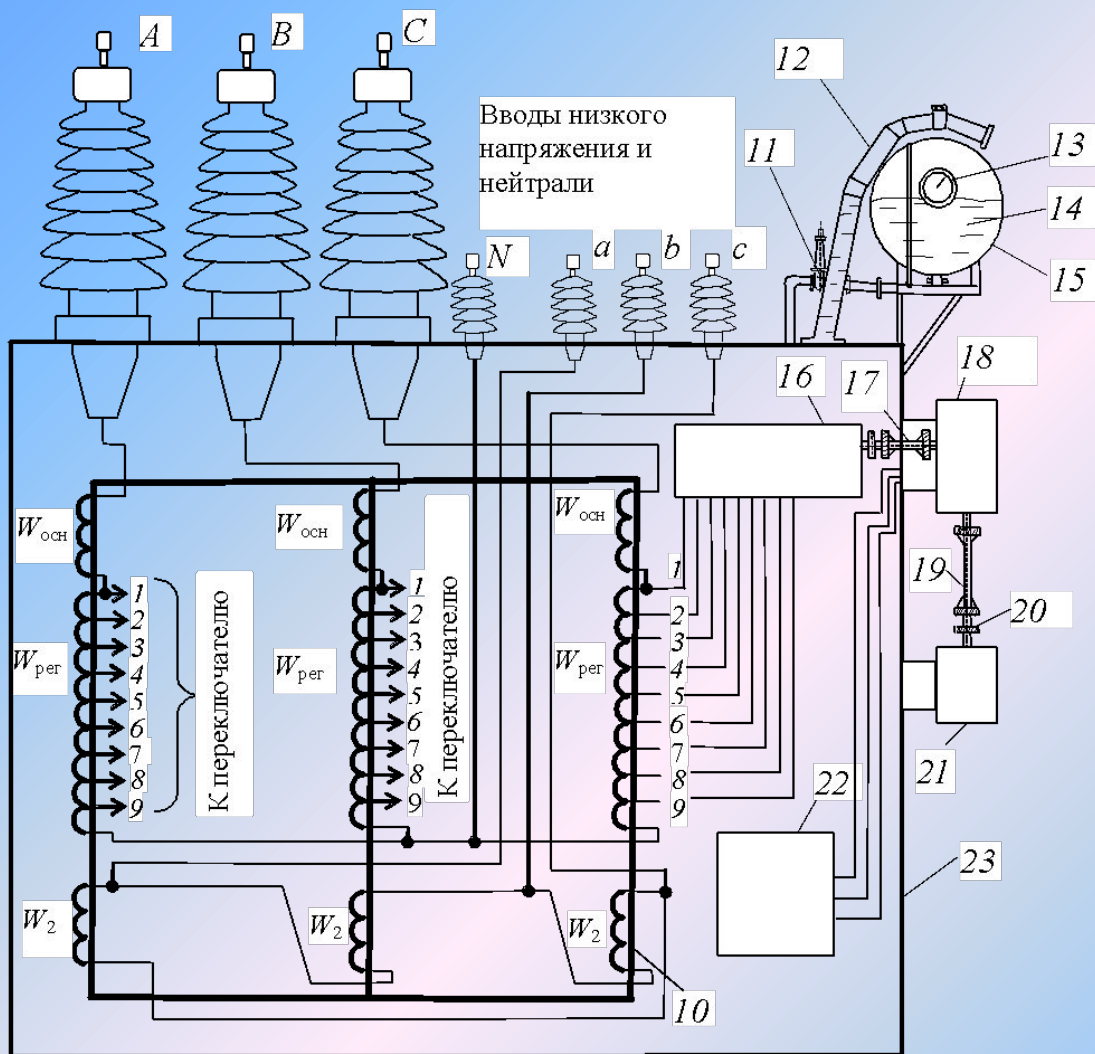


1 – термосигнализатор; 2 – крюк для подъема трансформатора; 3 – регулятор напряжения; 4 – маслоуказатель; 5 – расширитель; 6 – реле уровня масла; 7 – патрубок для соединения предохранительной трубы с расширителем; 8 – предохранительная труба; 9 – цилиндр для защиты ввода во время транспортировки; 10 – ввод НН; 11 – ввод ВН; 12 – ввод нейтрали; 13 – щиток изделия; 14 – фильтр термосифонный; 15 – каток; 16 – каретка; 17 – радиатор; 18 – пробка для отбора пробы масла; 19 – планка; 20 – бак трансформатора; 21 – задвижка для слива масла; 22 – газовое реле; 23 – воздухоосушитель; 24 – кран для доливки масла

Общий вид силового трансформатора



Основные элементы силового трансформатора с РПН выносным контактором (РНТ-13)



- 1-9—ответвления регулировочной обмотки $ВН$;
- 10 – магнитопровод;
- 11 – газовое реле;
- 12 – выхлопная труба;
- 13 – маслоуказатель;
- 14 – трансформаторное масло;
- 15 – расширитель;
- 16 – переключатель;
- 17 – горизонтальный вал;
- 18 – контактор;
- 19 – вертикальный карданный вал;
- 20 – нониусная муфта;
- 21 – привод РПН;
- 22 – реактор;
- 23 – бак трансформатора; $W_{осн}$, $W_{пер}$ – соответственно основная и регулировочная обмотка $ВН$, W_2 – обмотка $НН$

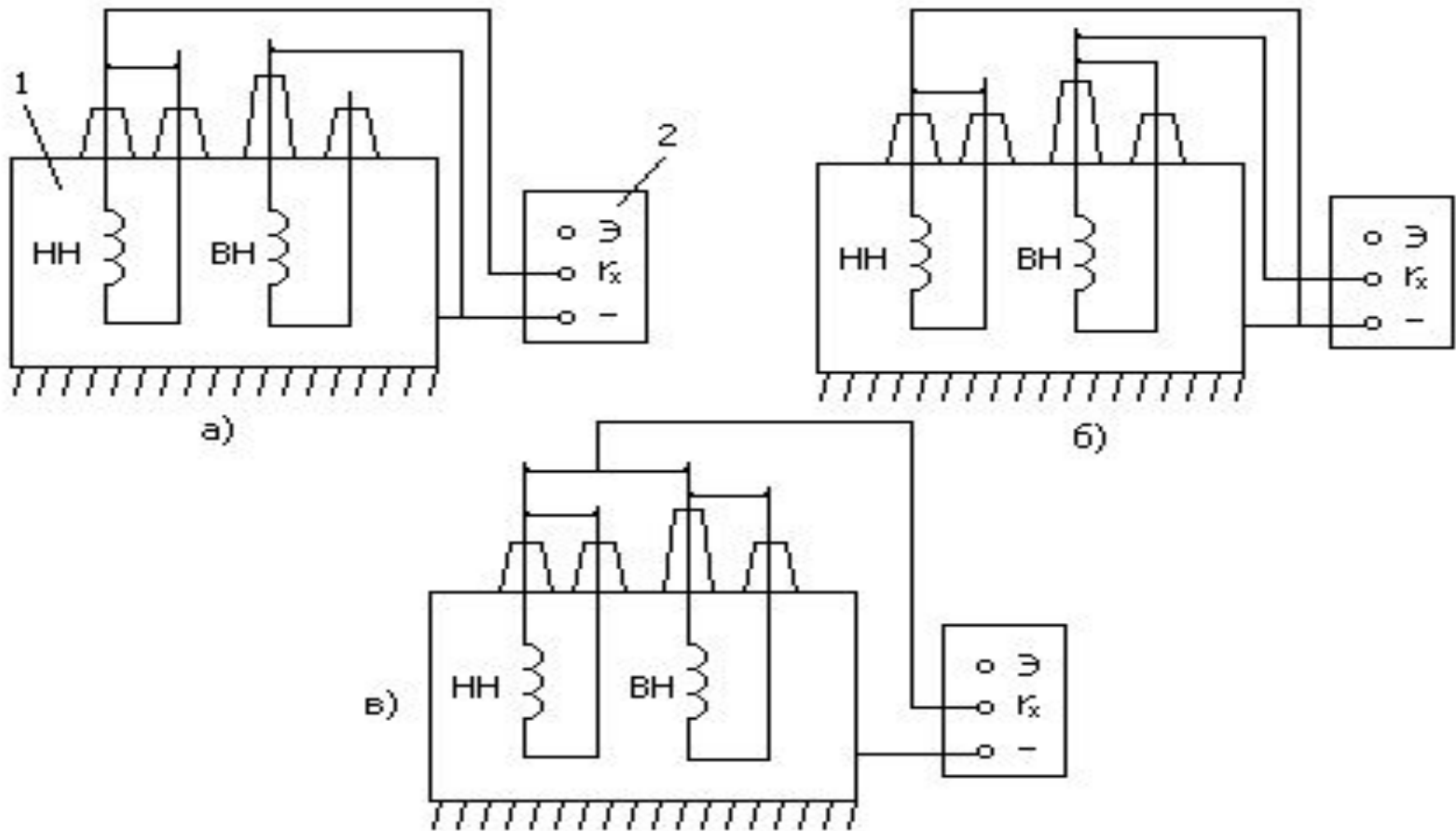
Диагностика цепей обмоток силовых трансформаторов в режиме когда трансформатор отключён

- 1. Измерение сопротивления изоляции**
- 2. Определение сопротивления постоянному току**
- 3. Определение диэлектрических потерь**
- 4. Измерения коэффициента трансформации**
- 5. Измерения силы тока и потерь холостого хода**
- 6. Измерения сопротивления короткого замыкания обмоток**
- 7. Физико- химический анализ трансформаторного масла**

Физико- химический анализ трансформаторного масла

1. Определение пробивного напряжения
2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь
3. Определение механических примесей (класса чистоты)
4. Определение температуры вспышки
5. Измерение влагосодержания (количественный и качественный)
6. Определение водорастворимых кислот (ВРК)
7. Определение кислотного числа (КОН)
8. Определение общего гасосодержания
9. Хроматографический анализ
10. Определение фурановых соединений
11. Определение стабильности против окисления

Измерение сопротивления изоляции



а -НН-бак; б -ВН-бак; в -(ВН+НН)-бак; 1-трансформатор; 2-мегаомметр

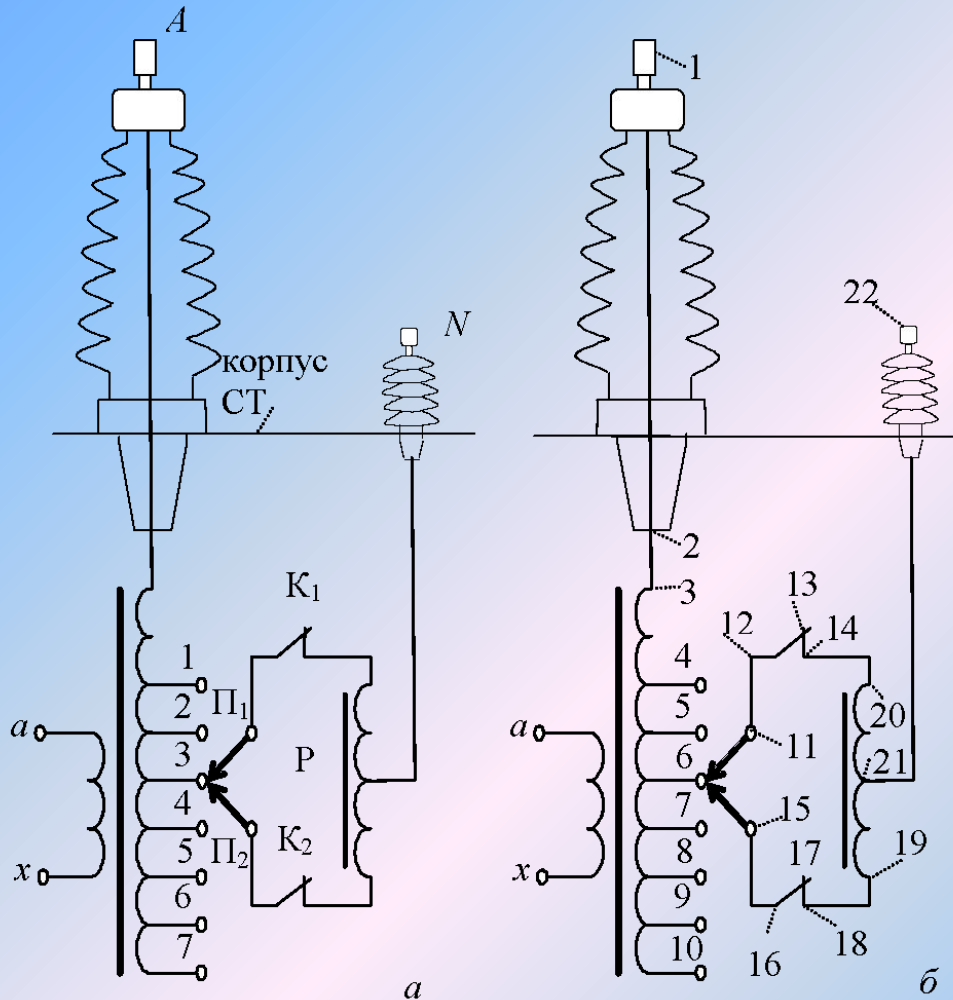
Измерения производят мегаомметром на 2500 В

Определение сопротивления постоянному току

Наиболее характерными дефектами, которые обнаруживаются при этом измерении, являются:

- 1) обрыв одного или нескольких из параллельных проводов в отводах;*
- 2) нарушение пайки;*
- 3) недоброкачественный контакт присоединения отводов обмотки к вводам;*
- 4) недоброкачественный контакт в переключателях ПБВ или устройствах РПН;*
- 5) неправильная установка привода ПБВ;*
- 6) обрыв токоограничивающих резисторов быстродействующих РПН*

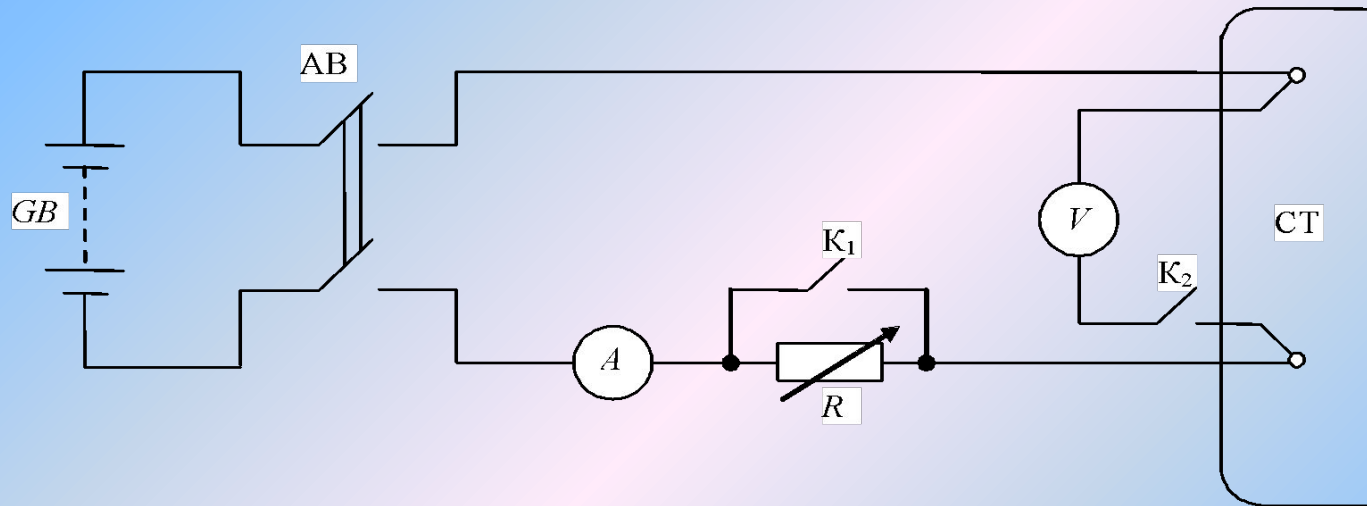
Элементы СТ одной фазы с реакторным РПН (возможные местоположения дефектов)



а) 1÷7 отводы
регулирующей обмотки;
 K_1, K_2 – контакты
контактора;
 Π_1, Π_2 – контакты
переключателя;
Р – реактор;

б) 1÷22 – точки
расположения контактов,
где возможен плохой
контакт

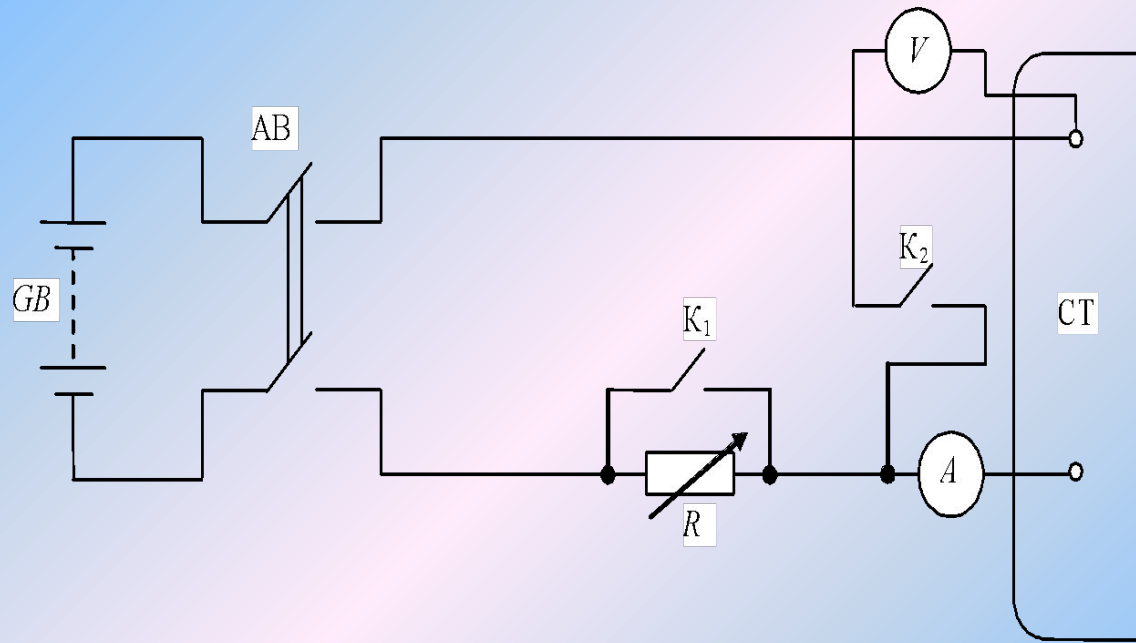
Схема измерения малых сопротивлений постоянному току СТ: (до 10 Ом)



GB – аккумулятор;
AB – автомат;
*K*₁, *K*₂ – ключи;
R – реостат

$$r_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_B}}$$

Схема измерения больших сопротивлений постоянному току СТ (менее 10 Ом)



GB – аккумулятор;

AB – автомат;

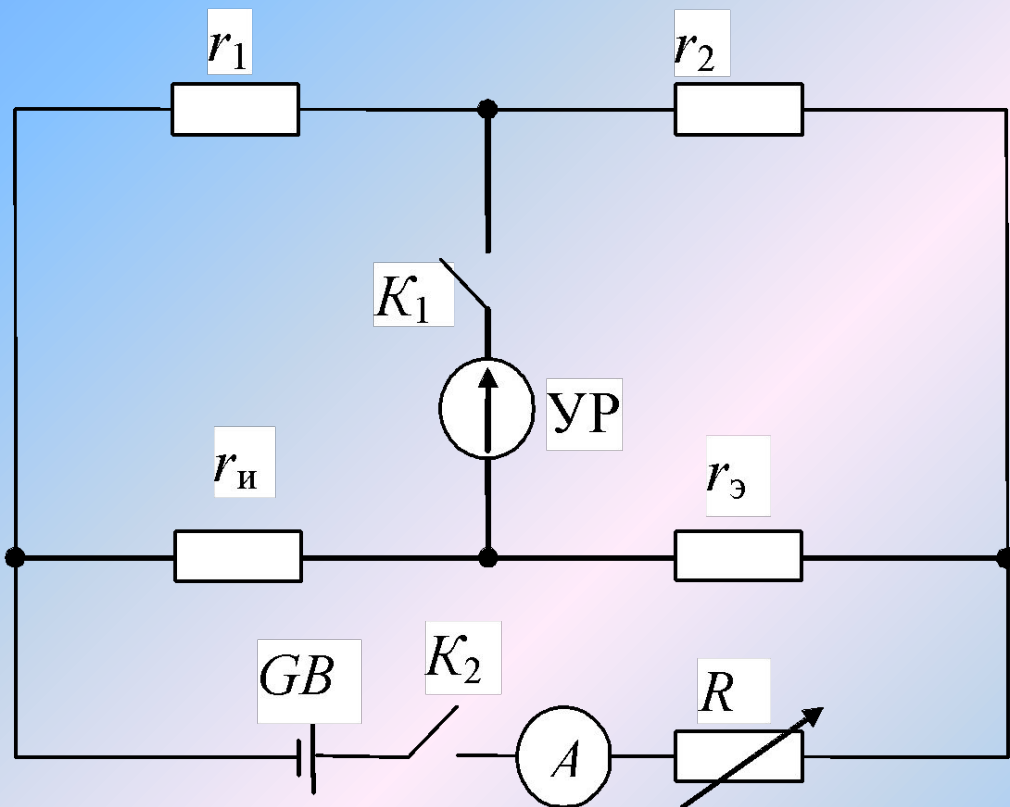
K_1, K_2 – ключи;

R – реостат

$$r_x = \frac{U}{I} - (r_A + r_{np}),$$

Принципиальная схема одинарного моста постоянного тока:

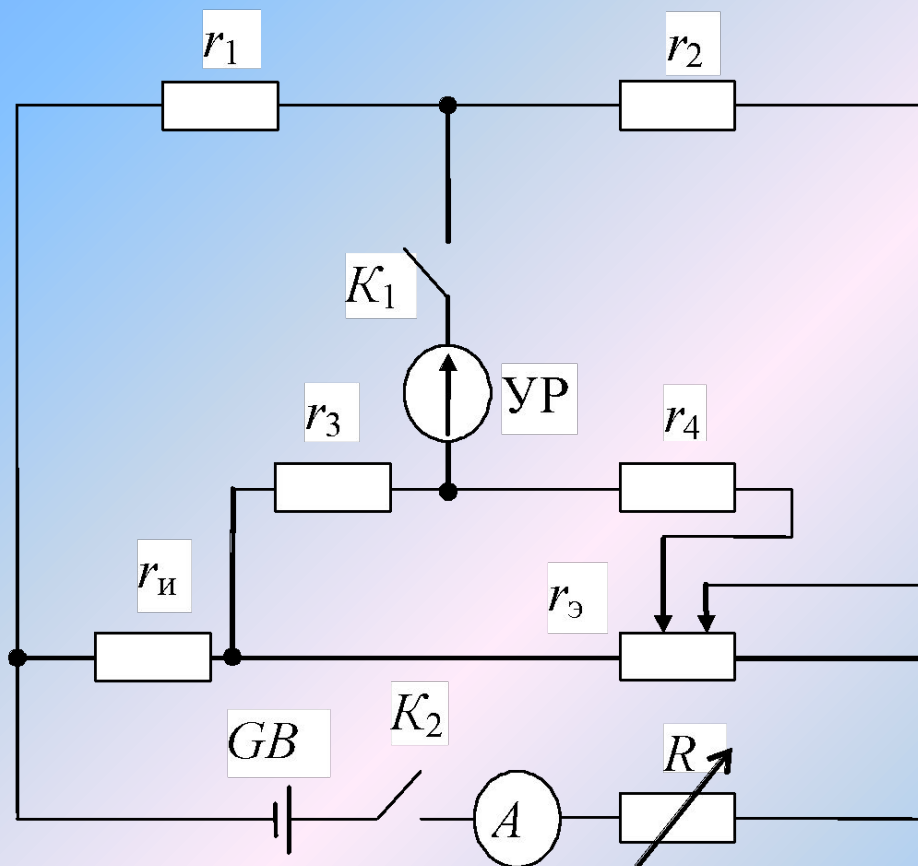
Данная схема применяется для измерения больших сопротивлений (1 Ом и более)



УР – указатель равновесия;
 $r_{и}$ – измеряемое сопротивление;
GB – аккумулятор;
K₁ и K₂ – ключи;
R – реостат

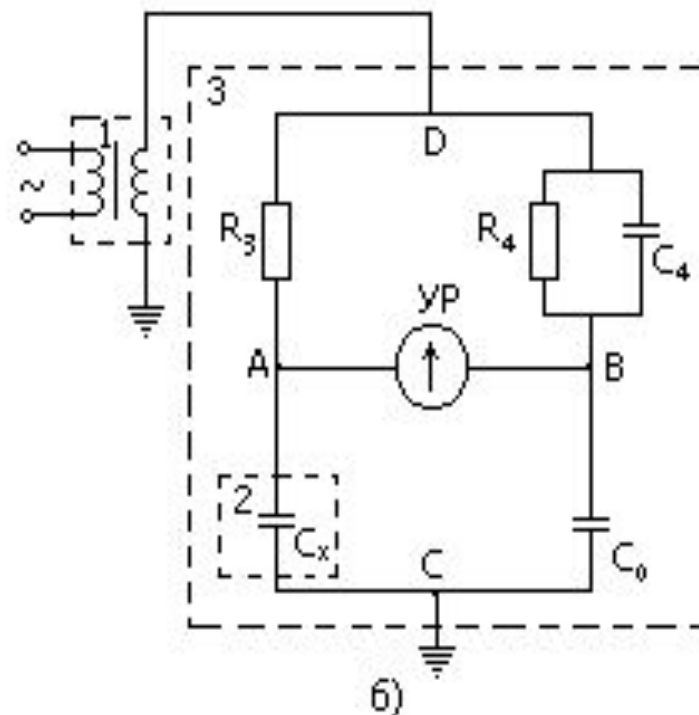
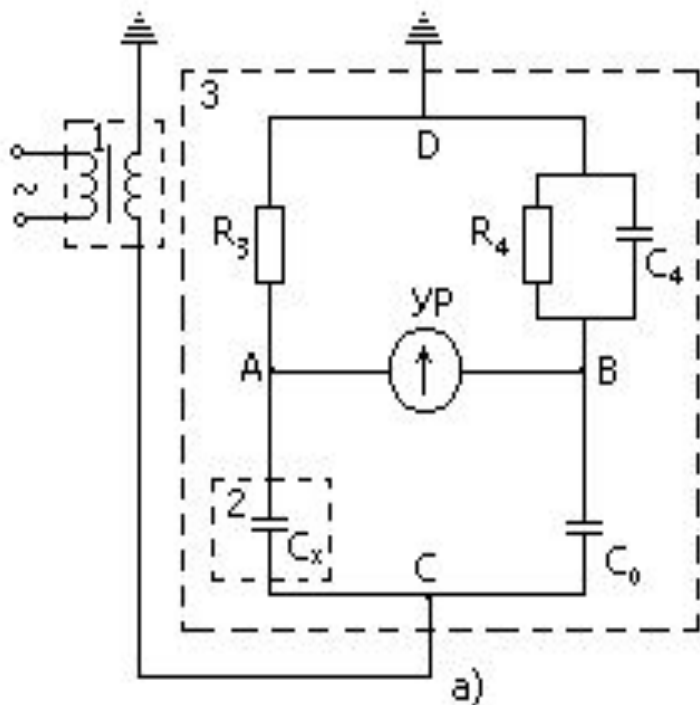
Принципиальная схема двойного моста постоянного тока

Данная схема применяется для измерения малых сопротивлений (менее 1 Ом)



УР – указатель равновесия;
 $r_{и}$ – измеряемое сопротивление;
GB – аккумулятор;
 K_1 и K_2 – ключи;
R – реостат

Определение диэлектрических потерь



а-нормальная; б-перевернутая

1-источник напряжения; 2-испытуемый объект;

3-измерительный мост; C_x -емкость испытуемого объекта;

C_0 -емкость образцового конденсатора; УР-указатель равновесия моста;

R_3, R_4, C_4 - элементы моста.

- Контроль изоляции по $\text{tg}\delta$ позволяет:**
- дать усредненное состояние диэлектрика;
 - обнаружить общее увлажнение изоляции, старение материала;
 - определить разрушение изоляции в результате длительной ионизации

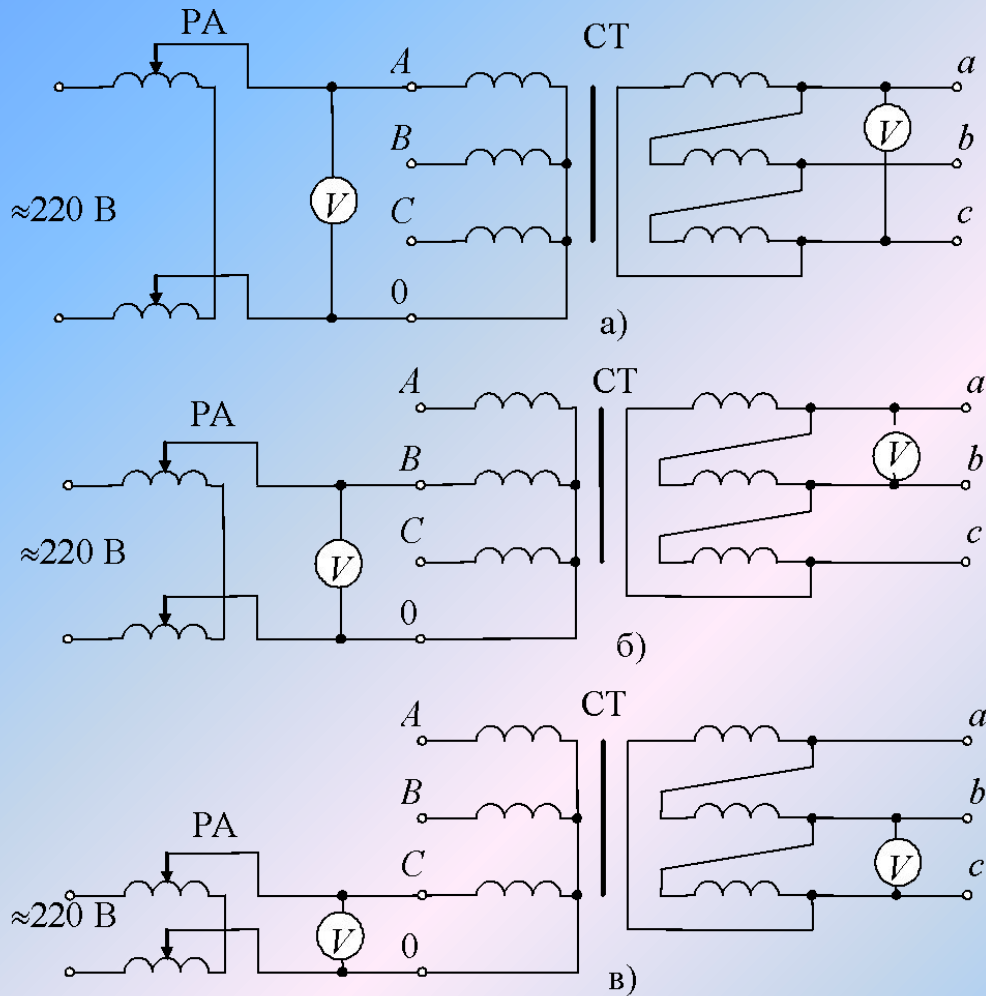
Измерения коэффициента трансформации

Путём измерения коэффициента трансформации могут выявляться следующие отклонения:

1. Неправильное подсоединение отводов РПН;
2. Неправильная установка привода ПБВ.

Во время текущей эксплуатации этим измерением выявляется витковое замыкание обмоток.

Схема измерения Кт



Для определения коэффициента трансформации трехфазного двухобмоточного трансформатора (схема и группа соединения $Y_n/\Delta-11$) при однофазном возбуждении:

- а – измерение на фазе A ,
- б – измерение на фазе B ;
- в – измерение на фазе C ;

РА – регулируемый автотрансформатор; СТ – испытуемый силовой трансформатор

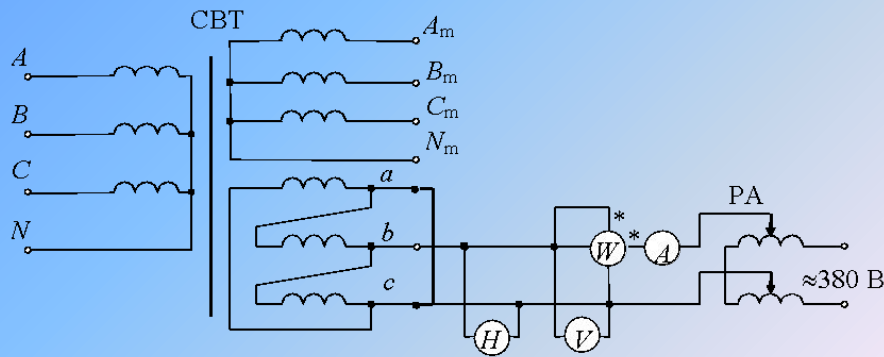
Измерения силы тока и потерь холостого хода

Измерения производятся с целью выявления:

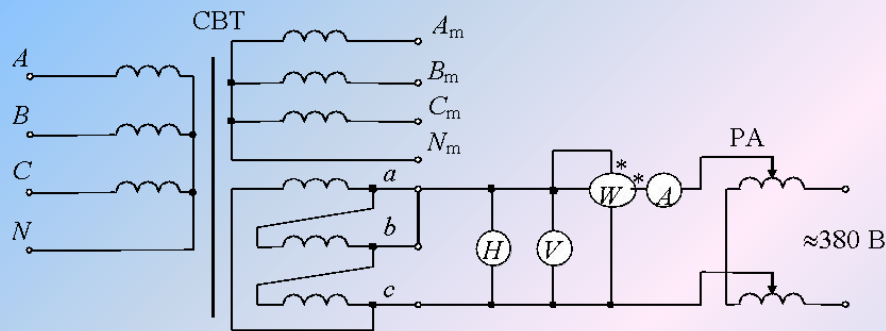
1. Возможных витковых замыканий в обмотках
2. Замыканий магнитопровода на бак трансформатора
3. Замыканий в элементах магнитопровода

Измерения производят для СВТ мощностью 10000 кВ · А и более перед пуском в эксплуатацию, а также в течение срока службы трансформатора

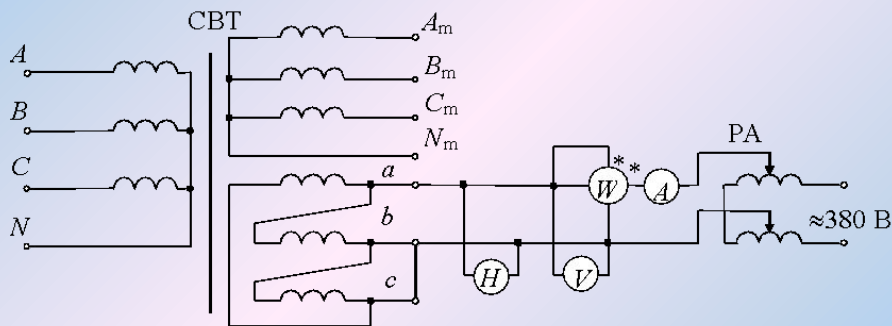
Схема измерения силы тока и потерь ХХ



а) Измерение I: закорочена фаза a , возбуждены фазы b и c



б) Измерение II: закорочена фаза b , возбуждены фазы a и c



в) Измерение III: закорочена фаза c , возбуждены фазы a и b

Эти испытания производятся для трансформаторов мощностью 10000 кВА и более

При отсутствии дефекта в трехфазном трансформаторе потери P'_{bc} и P'_{ab} при допустимом отклонении 5% практически равны.

Потери P'_{ac} на 25-50% (в зависимости от конструкции и числа стержней магнитопровода трансформатора) больше потерь P'_{bc} и P'_{ab} .

Измерения полного сопротивления короткого замыкания обмоток (Z_k)

Измерения необходимо производить:

- 1) перед вводом в эксплуатацию;
- 2) при капитальных ремонтах;
- 3) после протекания через трансформатор токов более $0,7$ расчетного тока короткого замыкания (к.з.) трансформатора.

Данное измерение необходимо проводить для **диагностики механических деформаций обмоток** трансформаторов и автотрансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше мощностью 125 МВ · А и более.

Схема измерения Z_k

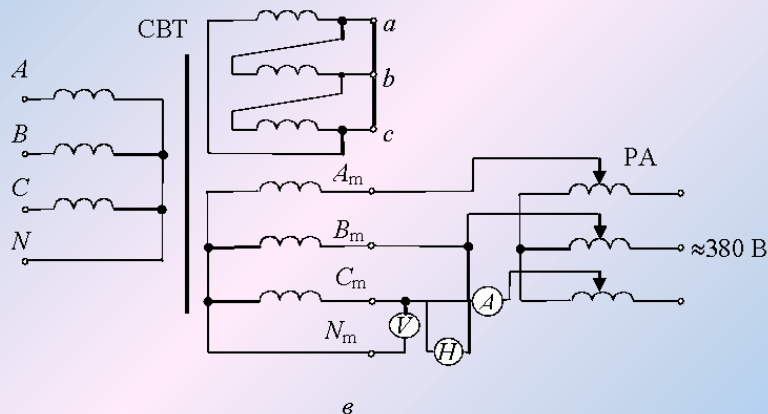
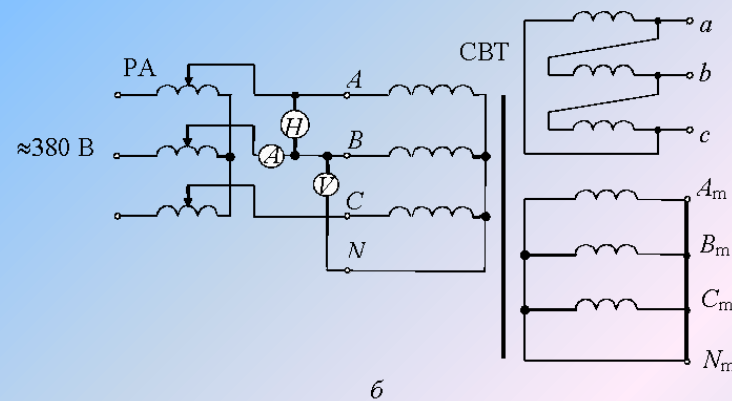
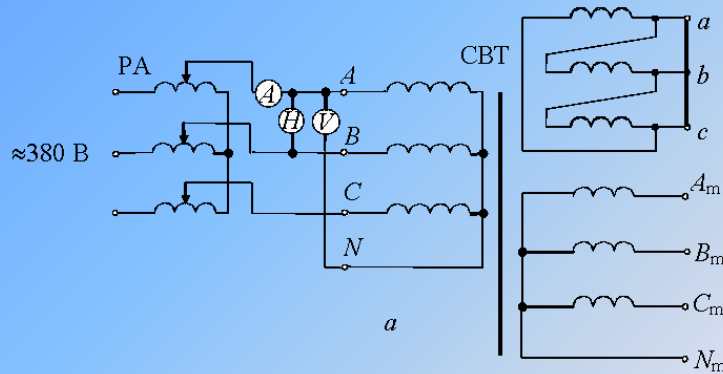


Схема и группа соединения трансформатора Y_n/Y_n ($\Delta-0-11$):

а – обмотки ВН - НН (измерение на фазе *A*);

б – обмотки ВН-СН (измерение на фазе *B*);

в – обмотки СН - НН (измерение на фазе *C*)

Значения Z_k , измеренные в процессе эксплуатации и после капитального ремонта не должны превышать исходные более, чем на 3 %.

У трехфазных трансформаторов дополнительно нормируется различие значений Z_k по фазам на основном и крайних ответвлениях. Оно не должно превышать 3 %.

Методы диагностирование СТ под рабочим напряжением

1. Тепловизионный контроль
2. Виброконтроль
3. Измерения частичных разрядов
4. Определение содержания растворённых в масле газов,
5. Контроль влажности и температуры в трансформаторе
7. Акустический
8. Определение наиболее нагретых точек с помощью волоконно-оптических датчиков
9. Контроль высоковольтных вводов под рабочим напряжением, путем сравнения проводимостей и угла потерь между фазами
10. Измерение индукции магнитного поля вдоль бака трансформатора
11. Контроль характеристик электромагнитного излучения СВЧ-диапазона
12. Оценка механического состояния устройств РПН по частотному методу, по изменению тока или нагрузки электродвигателя привода устройства, оценка износа контактов по измерению концентрации нетрадиционных газов в масле бака устройства РПН, а также по определению разницы температур в баке устройства РПН и основном баке трансформатора

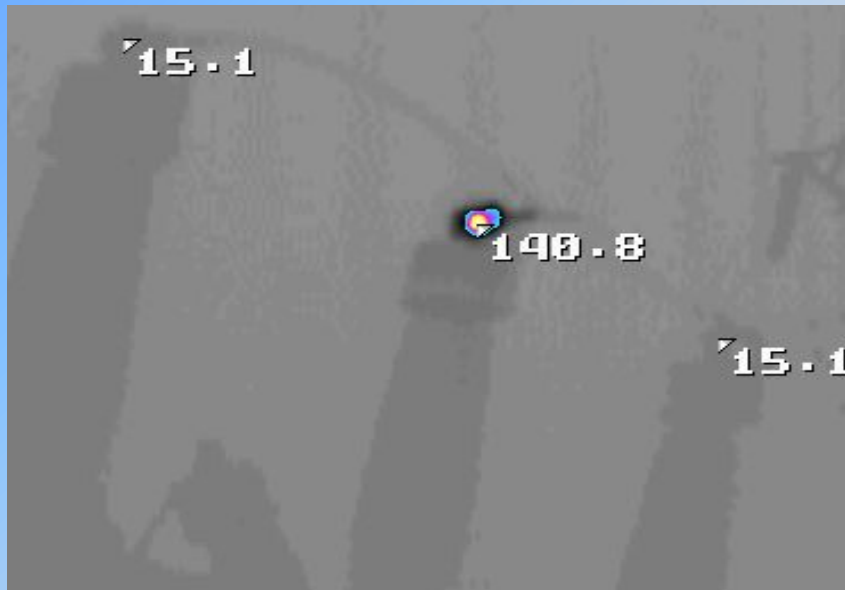
Тепловизионный контроль

фиолетовый (380÷450 нм),
синий (450÷480 нм),
голубой (480÷510 нм),
зеленый (510÷575 нм),
желтый (575÷585 нм),
оранжевый (585÷620 нм)
красный (620÷760 нм).

При проведении ИК–контроля должны учитываться следующие факторы:

- электромагнитные (значение токовой нагрузки, тепловая инерция, магнитные поля, нагрев индукционными токами, коронирование);
- окружающая среда (атмосфера, солнечное излучение, скорость ветра, дождь и снег);
- расстояние до объекта и угол наблюдения;
- тепловое отражение;
- коэффициент излучения материала;
- солнечная радиация и т.п.

Тепловизионный контроль



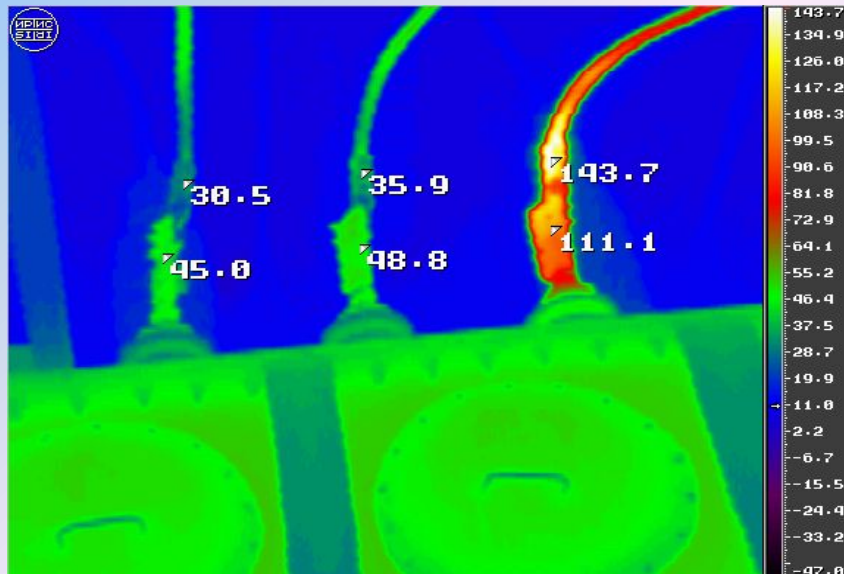
П/ст «Шоркистры» (Южные электрические сети)

Ввода («С», «В», «А»)

Дефект: нагрев аппаратного зажима ввода ф. «В» $\Delta T = 125,7^{\circ}\text{C}$.

Рекомендации: вывести в ремонт и отрегулировать контактное соединение.

Заключение: аварийный дефект требует немедленного устранения.



Термограмма вводов на стороне обмотки 6 кВ силового трансформатора 110 кВ на п/ст «Студенческая»

Подстанция «Западная» Т-2

Северные электрические сети

**Болт напротив ввода обмотки НН ф.
«С»**



**Дефект: нагрев болта, соединяющего
бак трансформатора с крышкой
 $\Delta T = 15,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$.**

**Причина: нагрев вызван
короткозамкнутым контуром
образованным внутри бака
трансформатора.**

**Заключение: Необходимо провести
тепловизионное обследование
трансформатора через 6 месяцев.
Немедленно отобрать пробу масла на
ХАРГ. Предусмотреть вскрытие
трансформатора на лето 2004 года.**

Спасибо за внимание