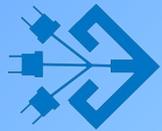


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение



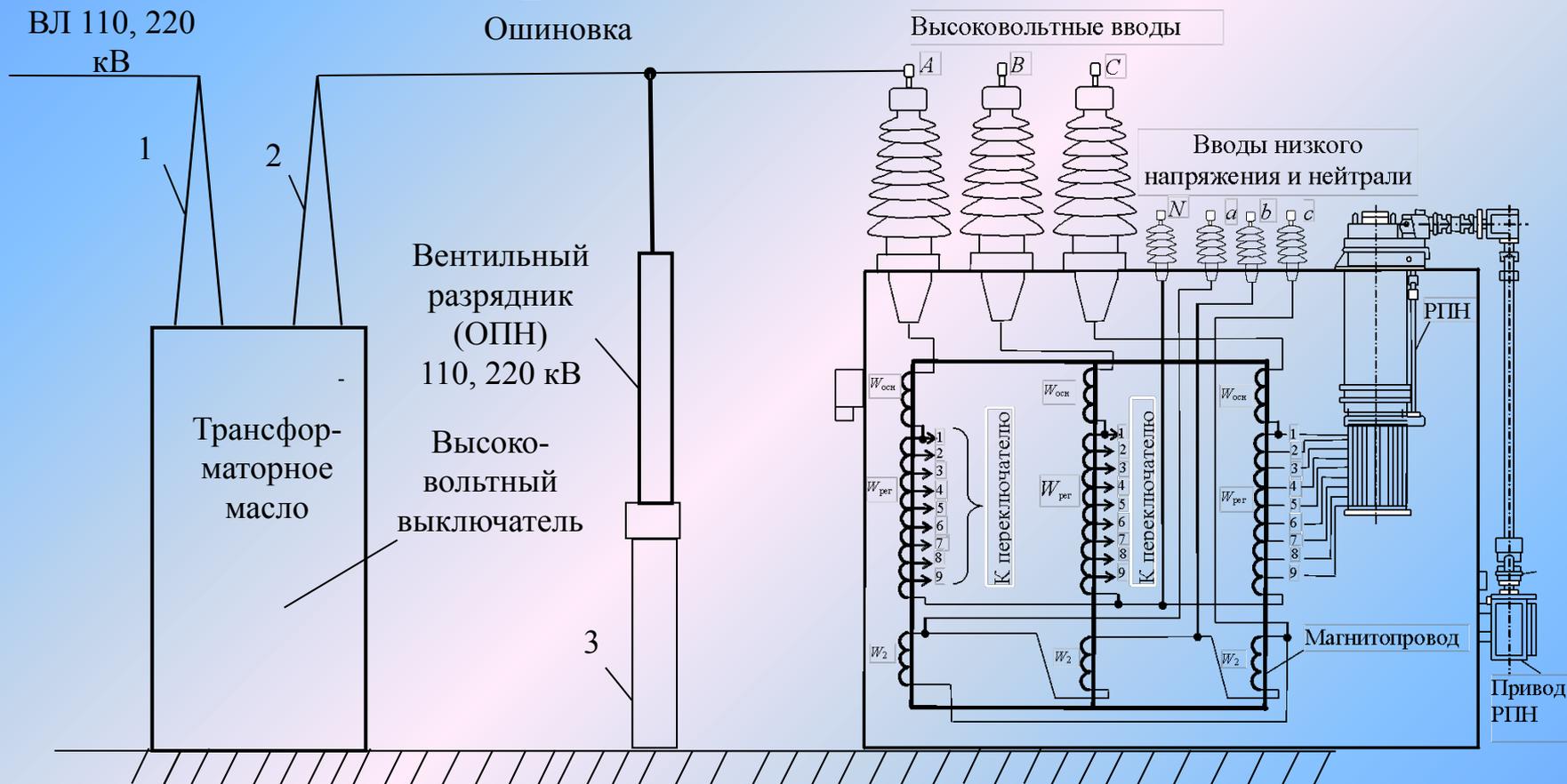
среднего профессионального образования  
«Чебоксарский электромеханический колледж»

**Комплексное диагностирование  
подстанционного высоковольтного электрооборудования**

# **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

140448 Техническая эксплуатация и обслуживание  
электрического и электромеханического оборудования в энергетике

# 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.

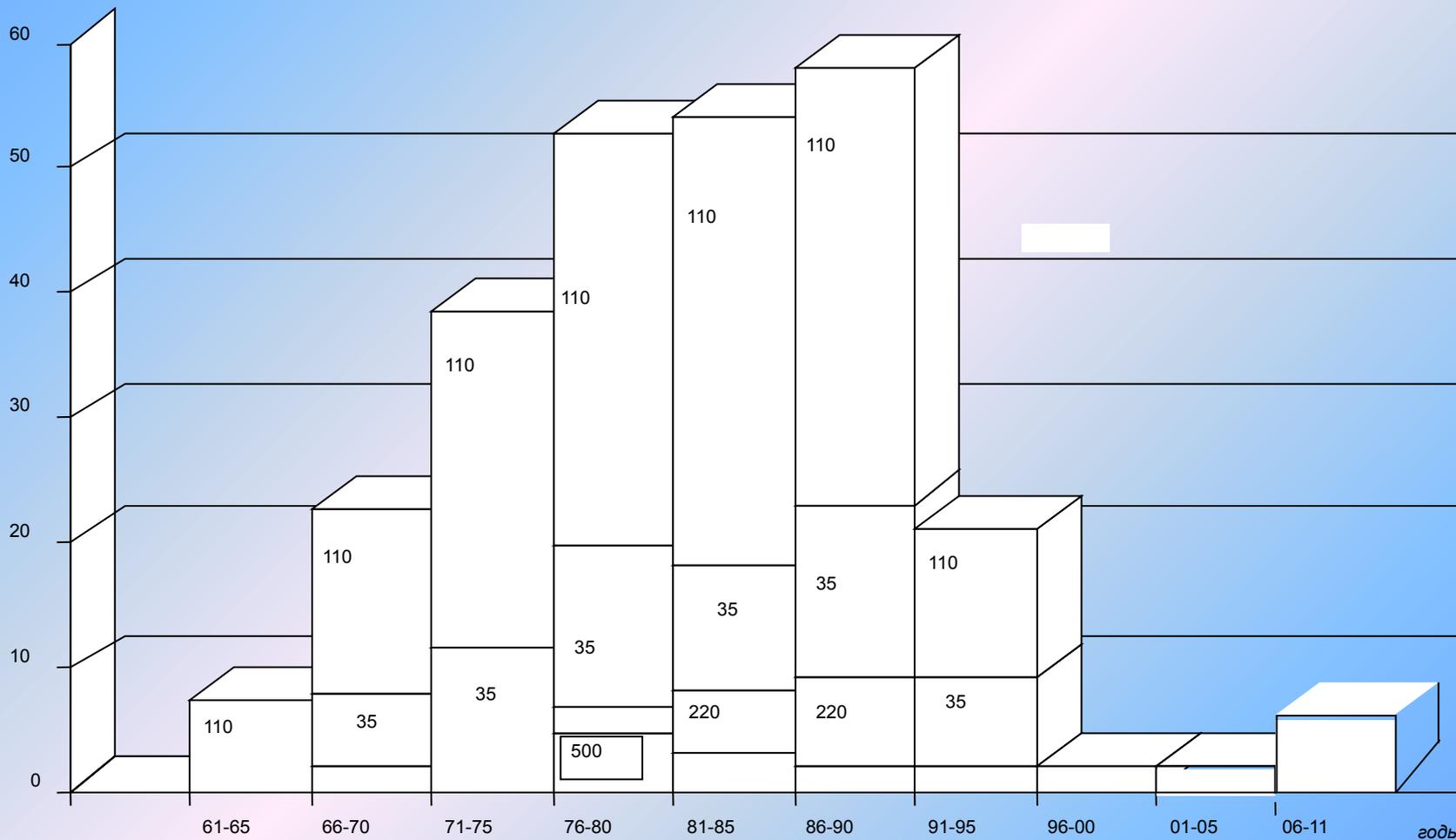
Примечания: 1. Задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (или исправности); прогнозирование технического состояния.

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.

# Количество установленных трансформаторов в системе энергетики Чувашской Республики по годам

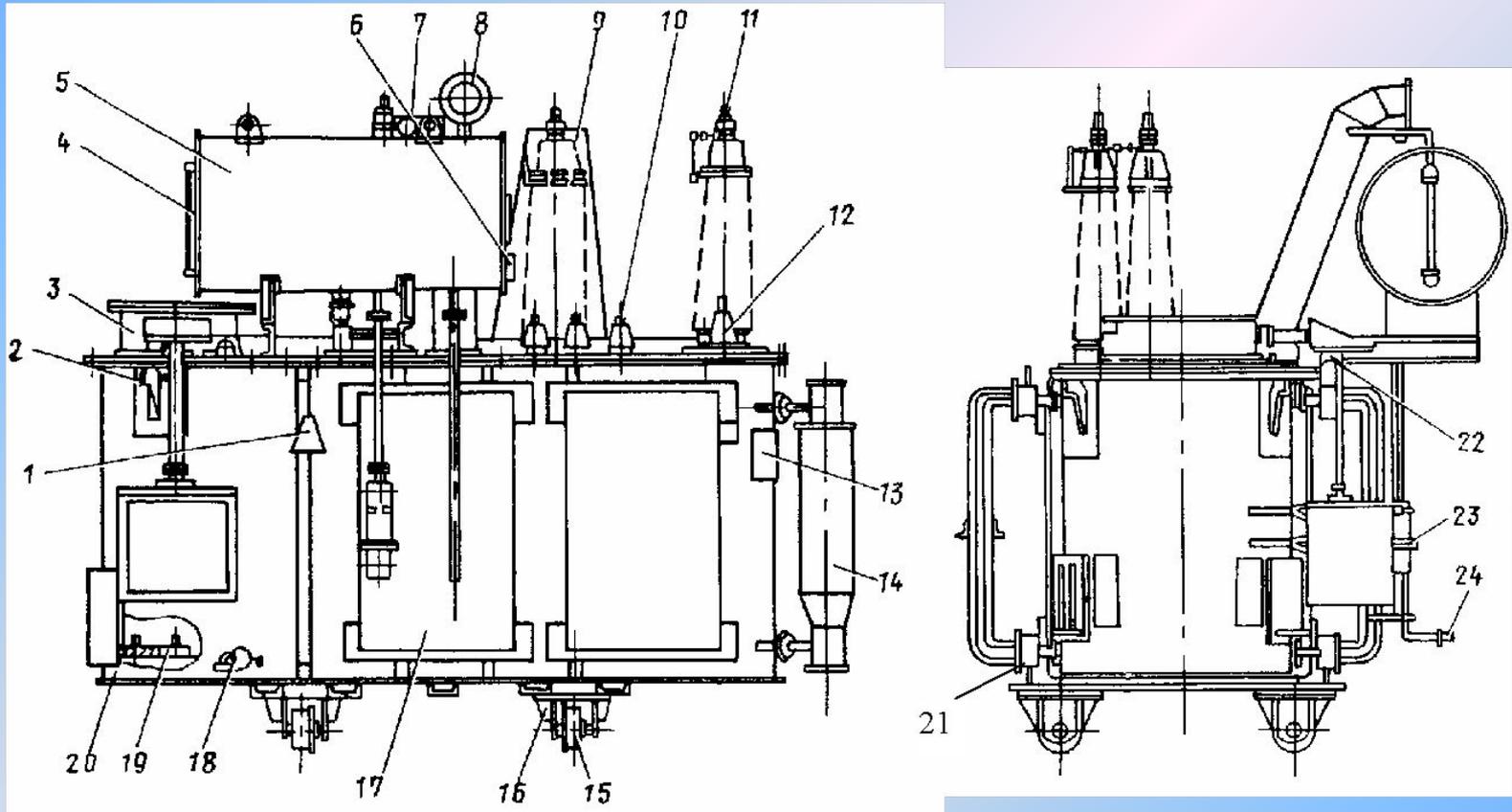
4

Количество трансформаторов 35-500 кВ



# Основные элементы силового трансформатора

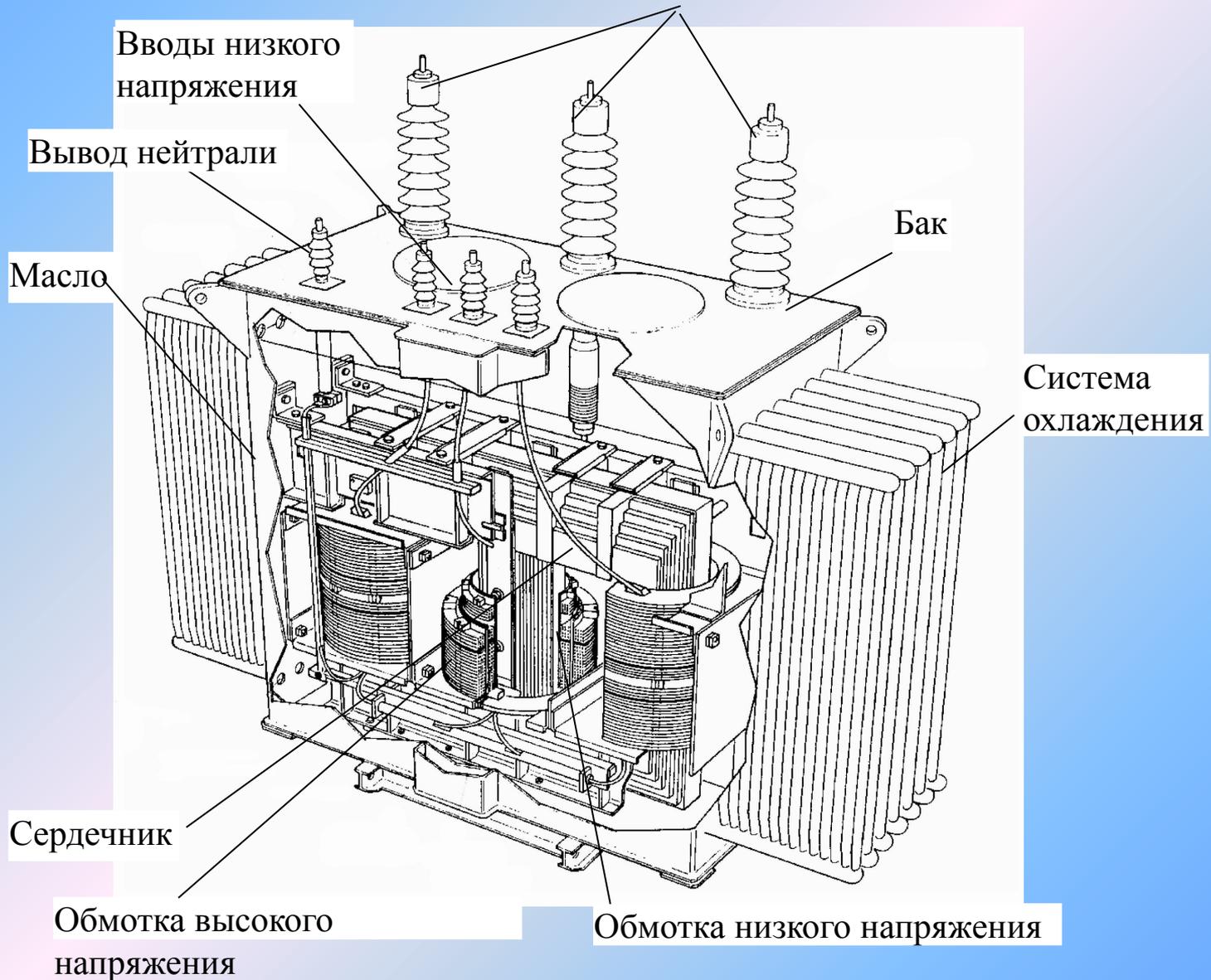
# 5



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

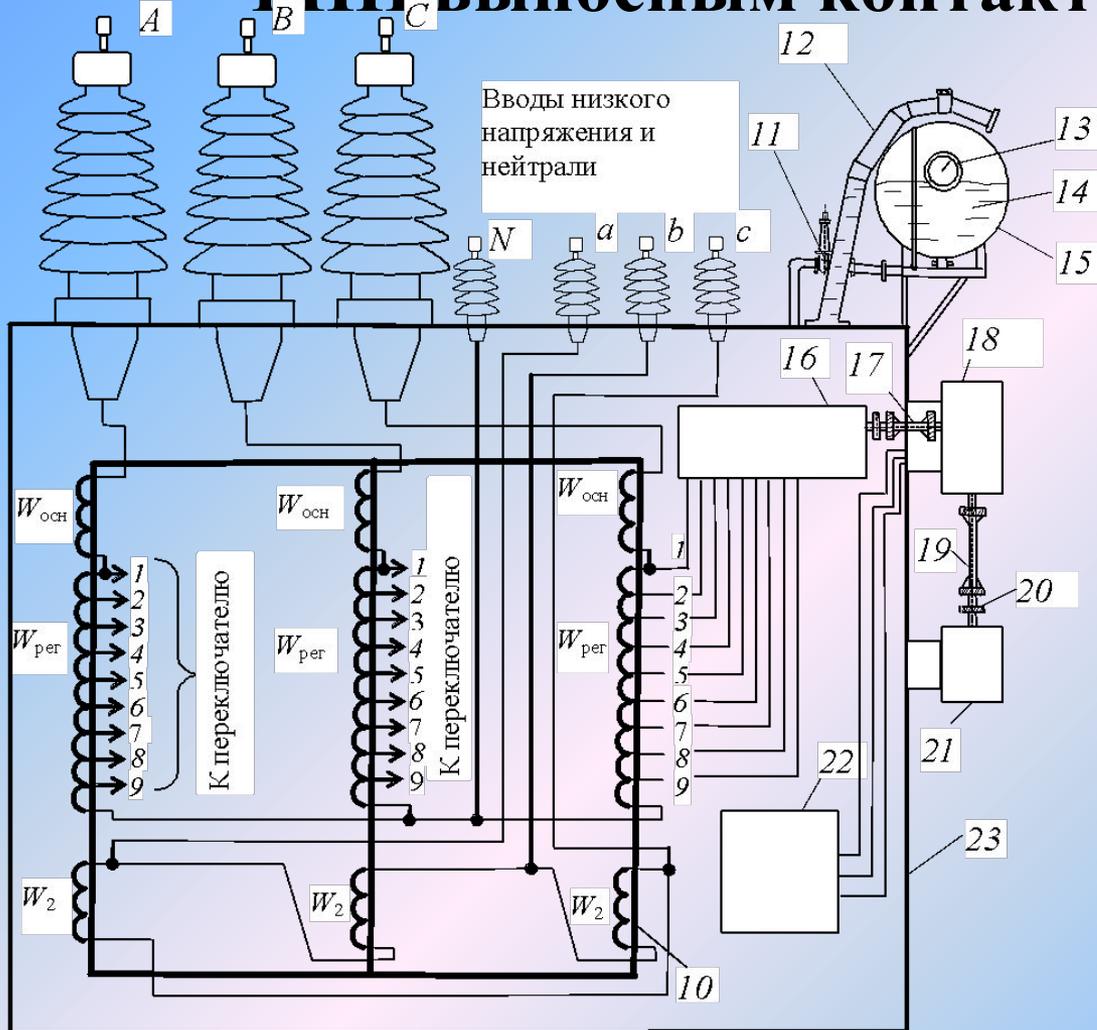
# Общий вид силового трансформатора

6



# Основные элементы силового трансформатора с

## РПН выносным контактором (РПН-12)



- 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;  $W_{осн}$ ,  $W_{рег}$  – соответственно основная и регулировочная обмотка ВН,  $W_2$  – обмотка НН

# **Диагностика цепей обмоток силовых трансформаторов в режиме когда трансформатор отключён**

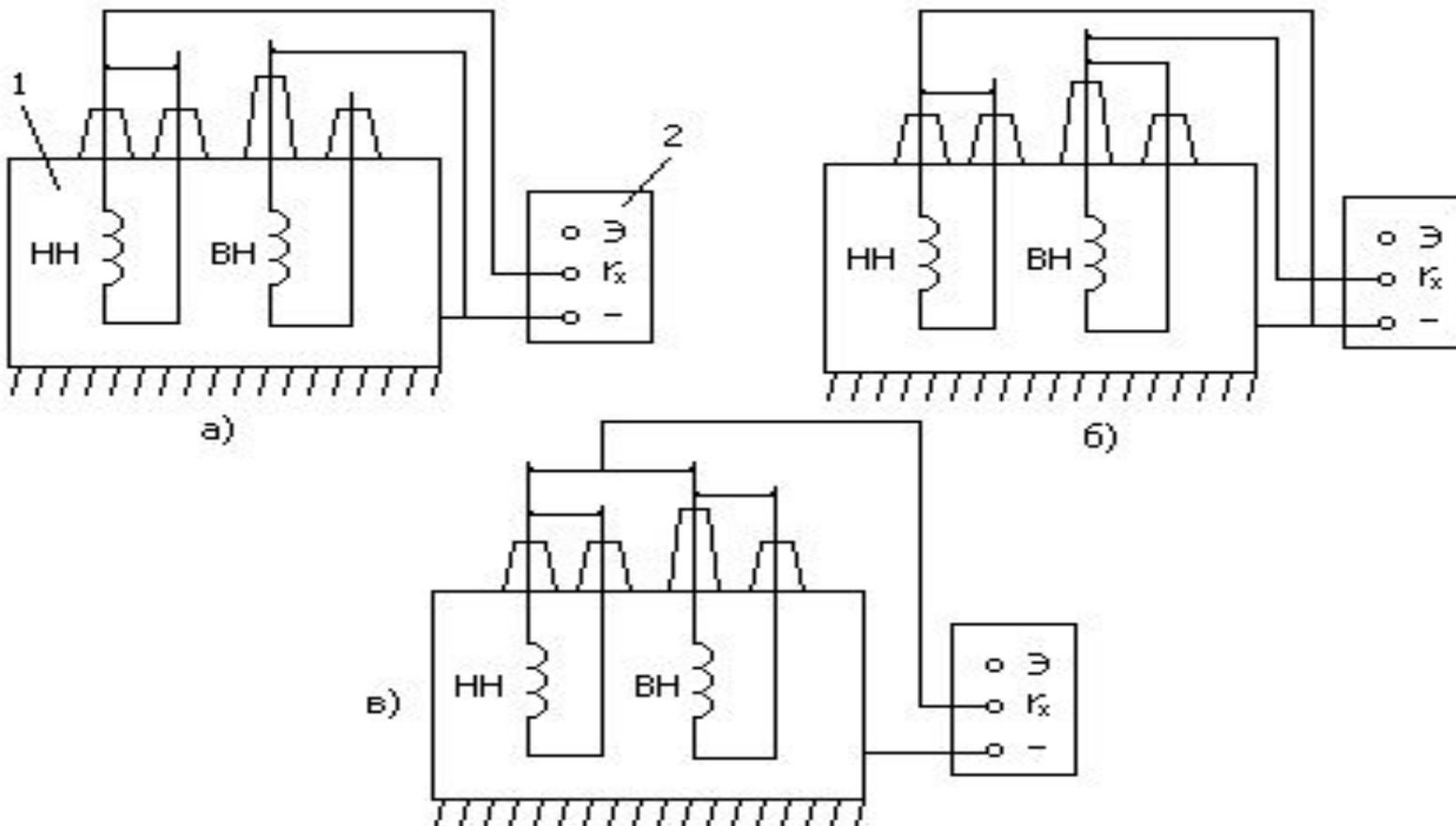
- **1. Измерение сопротивления изоляции**
- **2. Определение сопротивления постоянному току**
- **3. Определение диэлектрических потерь**
- **4. Измерения коэффициента трансформации**
- **5. Измерения силы тока и потерь холостого хода**
- **6. Измерения сопротивления короткого замыкания обмоток**
- **7.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

10



а - HH-бак; б - BH-бак; в - (BH+HH)-бак; 1-трансформатор; 2-мегаомметр

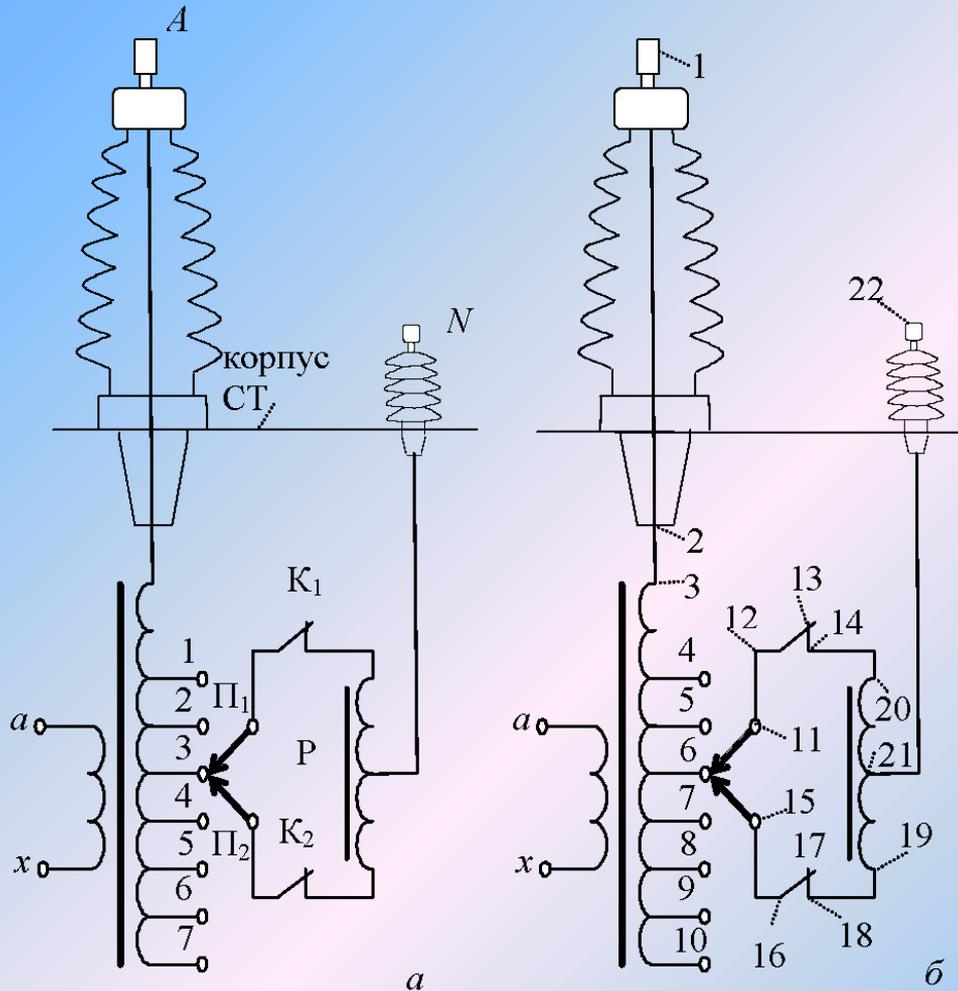
Измерения производят мегаомметром на 2500 В

# Определение сопротивления постоянному току 11

*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*

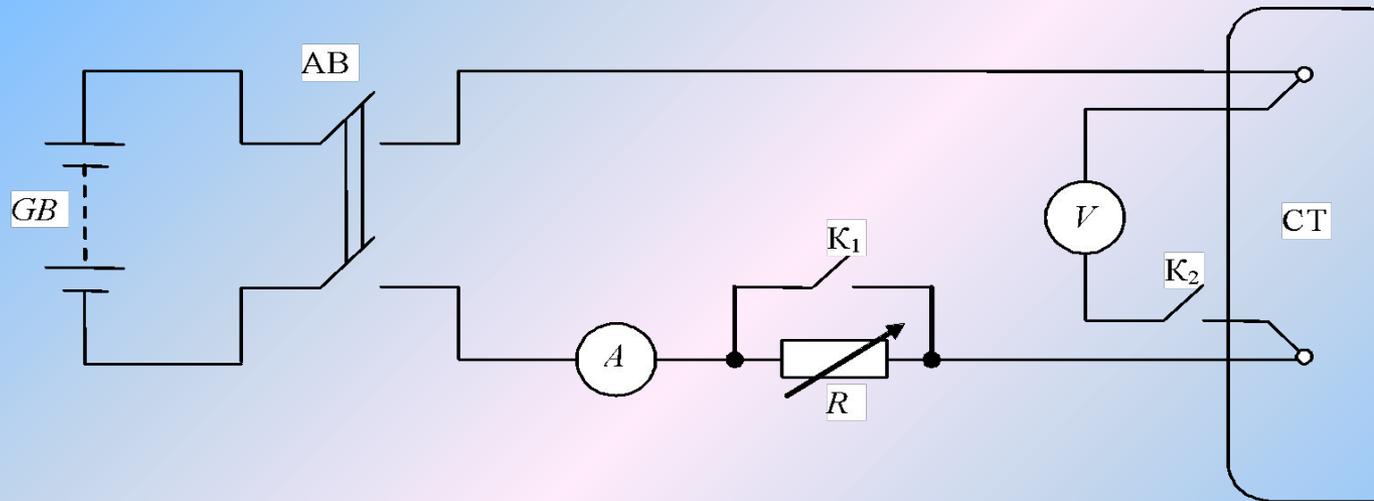
# Элементы СТ одной фазы с реакторным РПН (возможные местоположения дефектов)



а) 1÷7 ответвления  
регулирующей обмотки;  
 $K_1, K_2$  – контакты  
контактора;  
 $\Pi_1, \Pi_2$  – контакты  
переключателя;  
P – реактор;

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

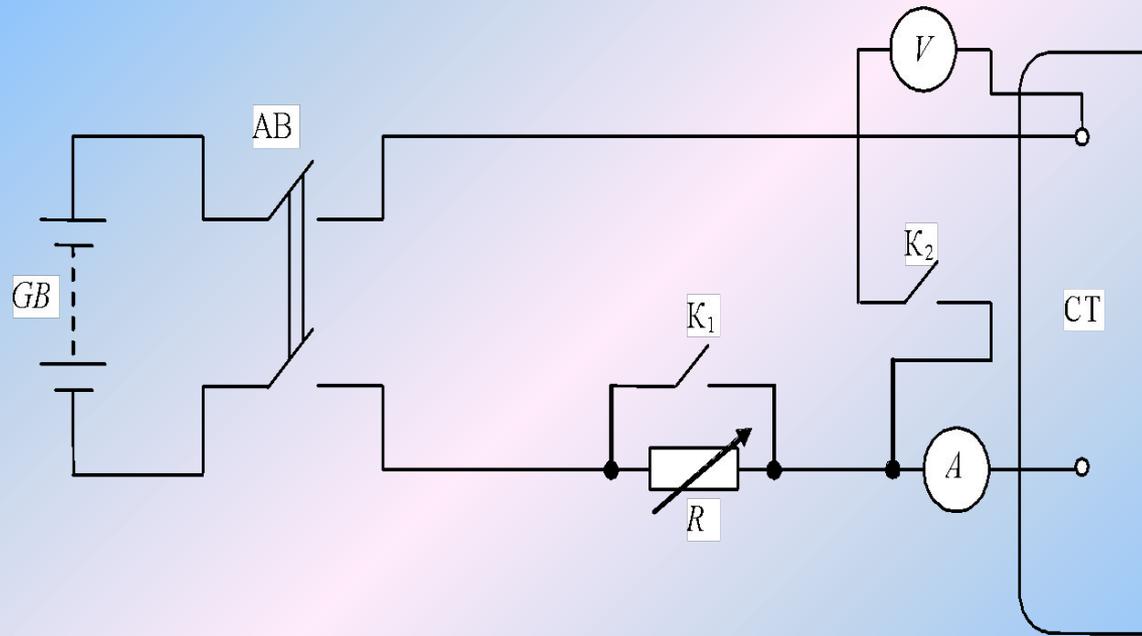
# Схема измерения малых сопротивлений постоянному току СТ: (до 10 Ом)



*GB* – аккумулятор;  
*AB* – автомат;  
*K*<sub>1</sub>, *K*<sub>2</sub> – 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;

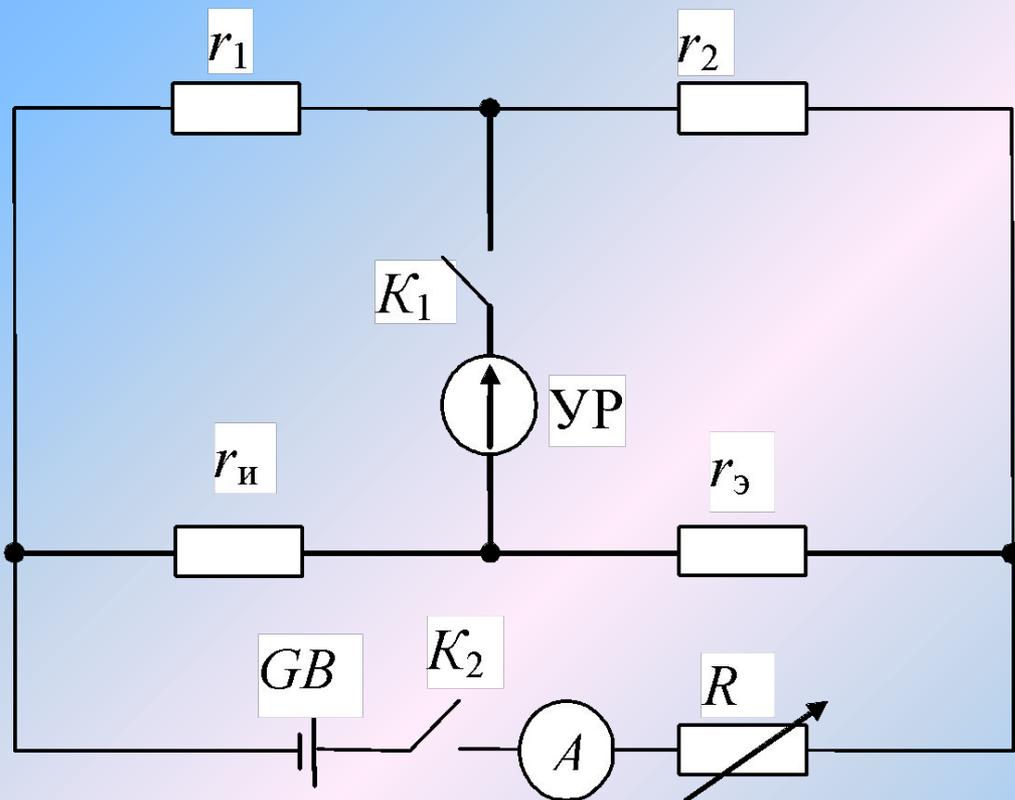
$K_1, K_2$  – ключи;

$R$  – реостат

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

# Принципиальная схема одинарного моста постоянного тока:

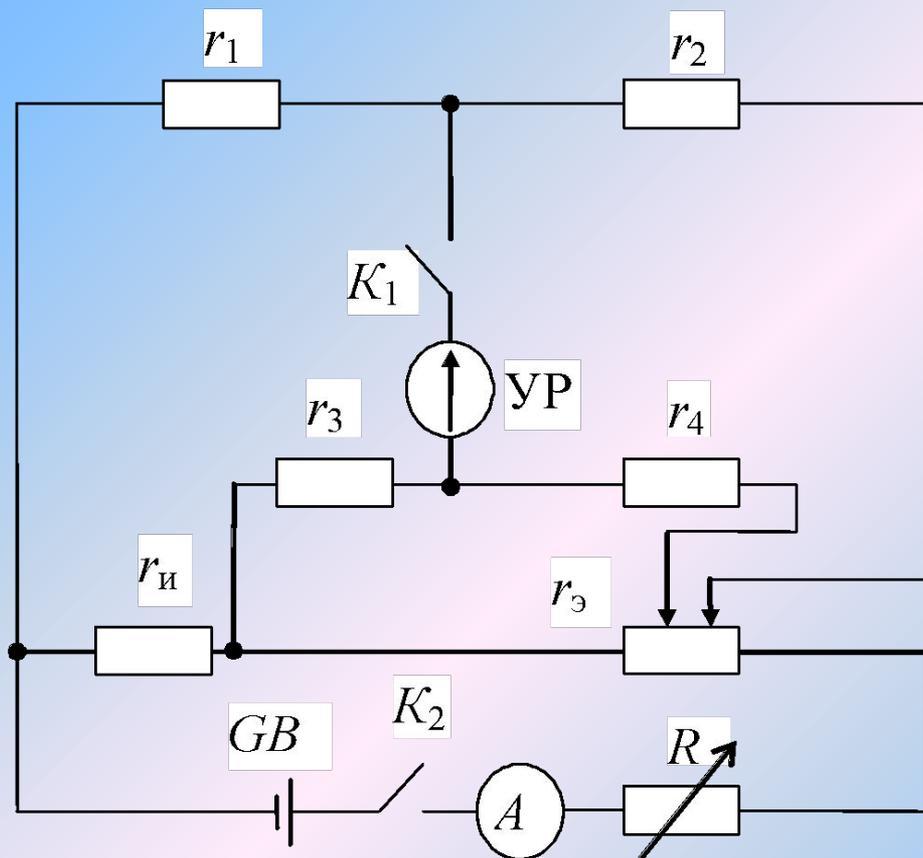
Данная схема применяется для измерения больших сопротивлений (1 Ом и более)



УР – указатель равновесия;  
r<sub>и</sub> – измеряемое сопротивление;  
GB – аккумулятор;  
K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub> – ключи;  
R – реостат

# Принципиальная схема двойного моста постоянного тока

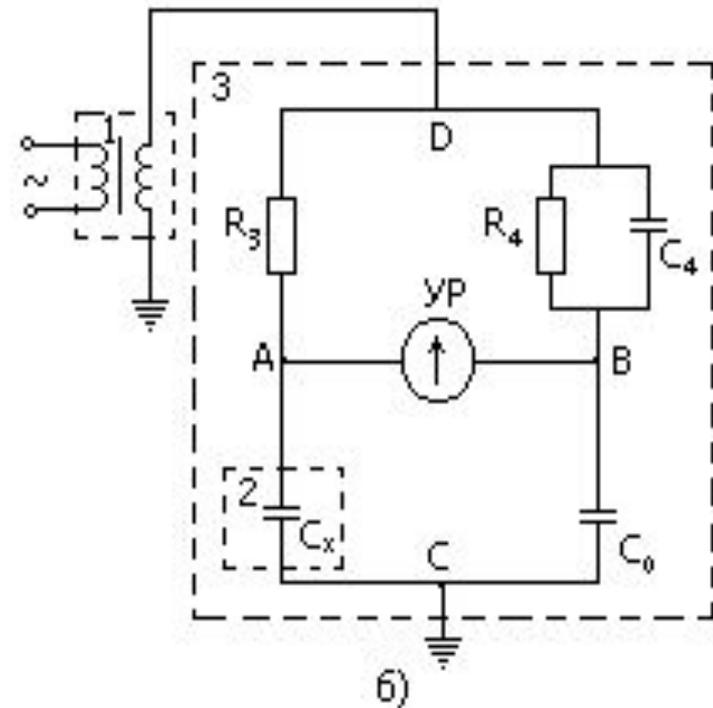
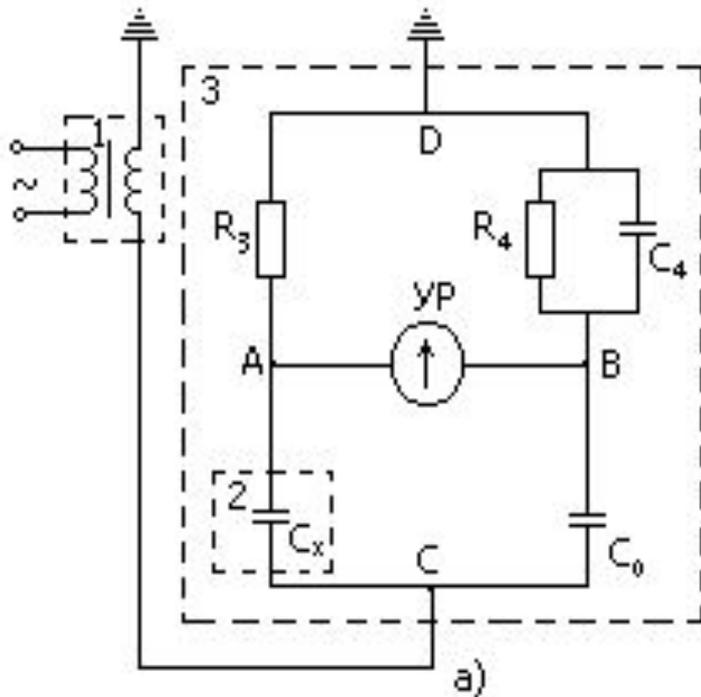
Данная схема применяется для измерения малых сопротивлений (менее 1 Ом)



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

# Определение диэлектрических потерь

12



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

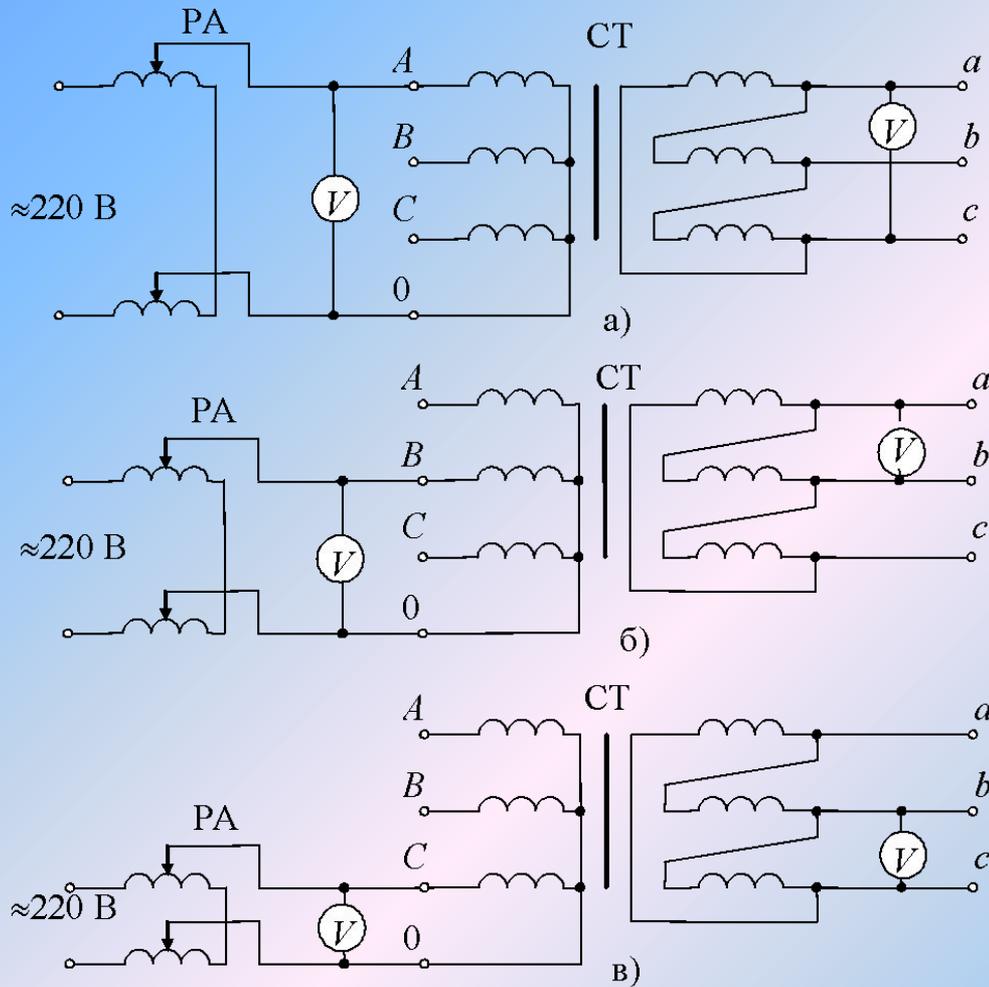
## Измерения коэффициента трансформации

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

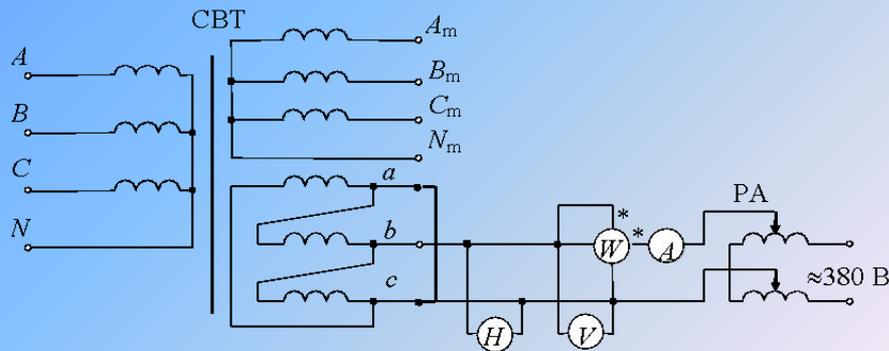
Измерения производятся с целью выявления:

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

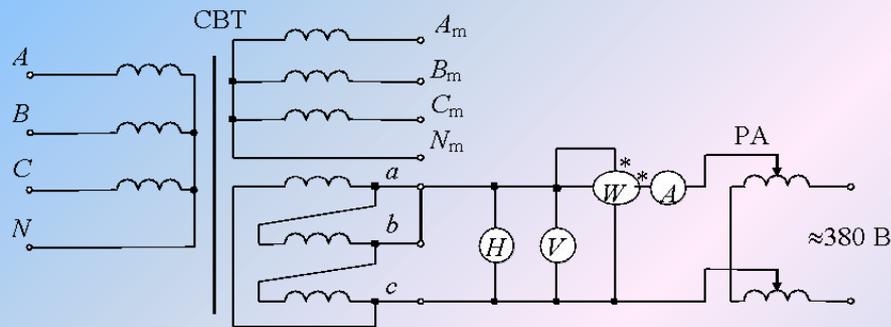
Измерения производят для СВТ мощностью 10000 кВ · А и более перед пуском в эксплуатацию, а также в течение срока службы трансформатора

# Схема измерения силы тока и потерь ХХ

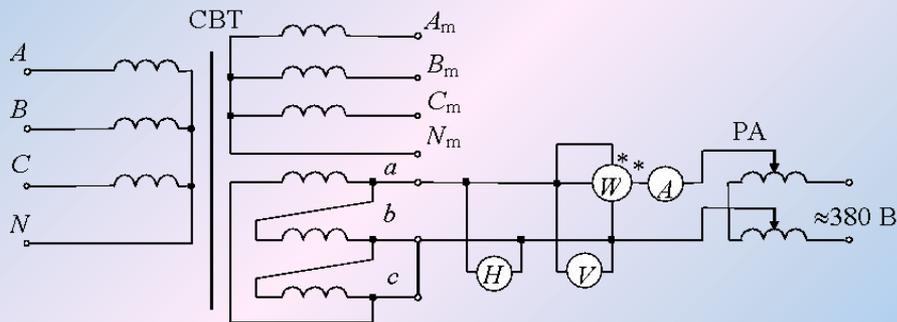
16



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 $Z_k$

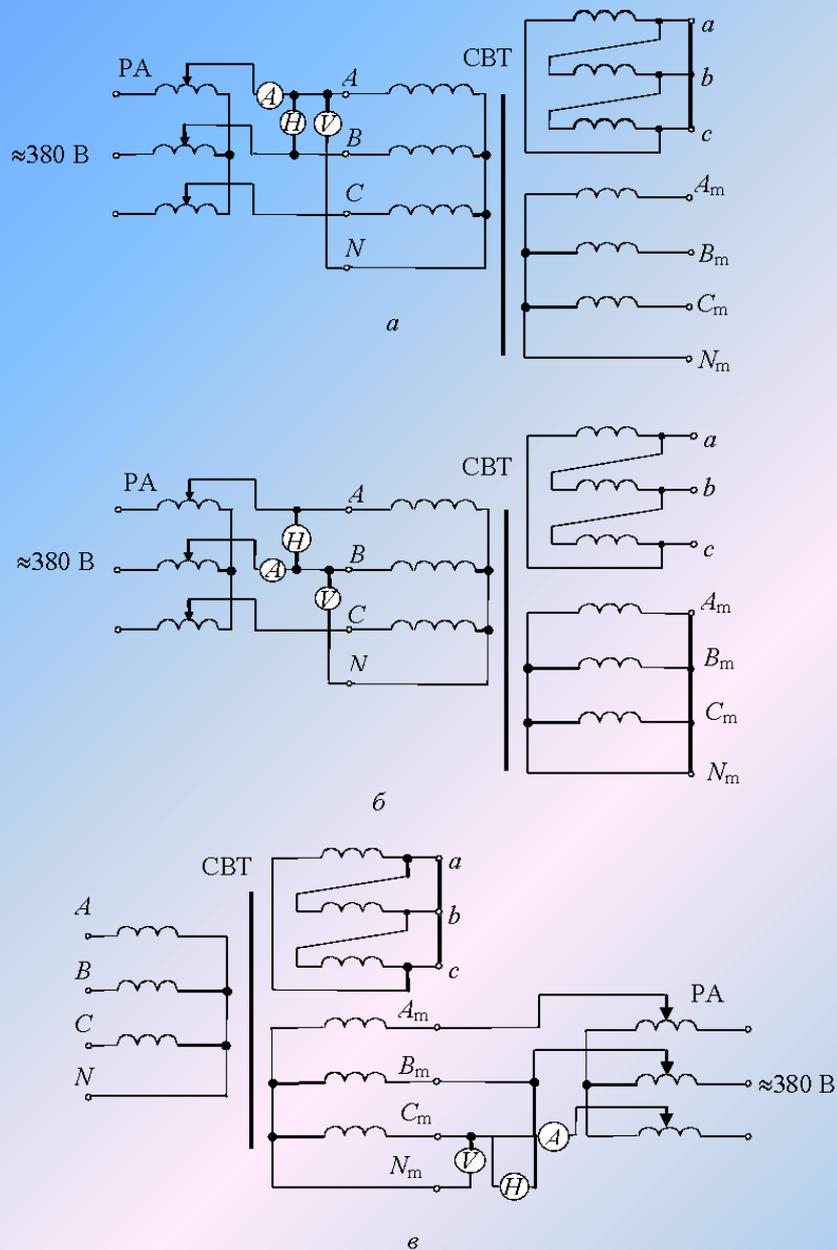


Схема и группа соединения трансформатора  $Y_n/Y_n$  ( $\Delta-0-11$ ):

*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 %.

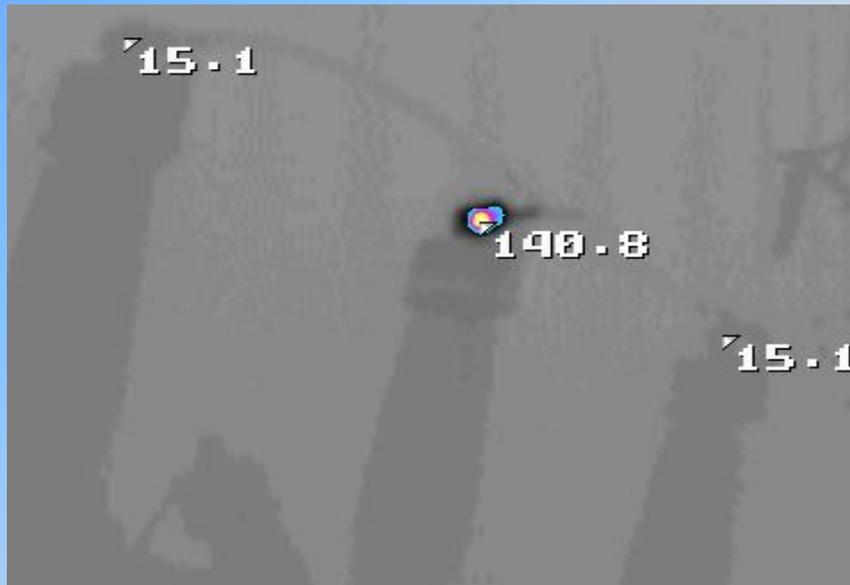
# Методы диагностирование СТ под рабочим напряжением

- 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

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.



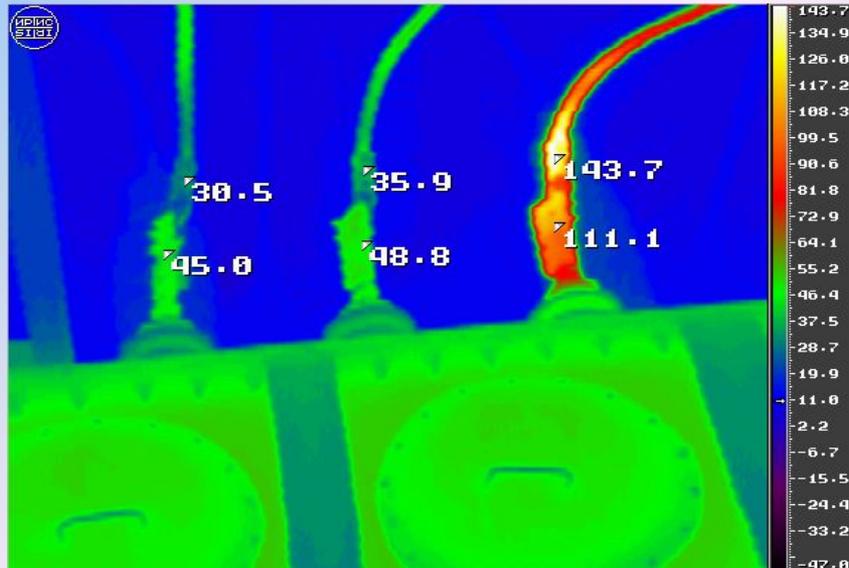
П/ст «Шоркистры» (Южные электрические сети)

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.



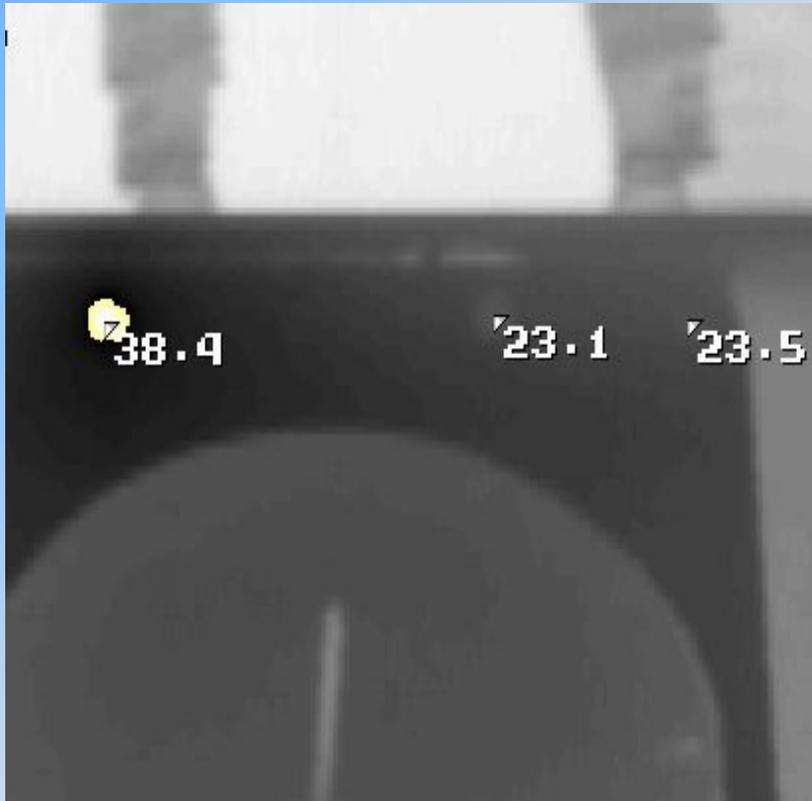
Термограмма вводов на стороне обмотки 6 кВ силового трансформатора 110 кВ на п/ст «Студенческая»

# Подстанция «Западная» Т-2

## Северные электрические сети

21

**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