РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Лекции: 32 ч

Практики: 24 ч

Лабораторные: 16 ч

Самост.: 108 ч

<u>Экзамен</u>

Васильев Алексей Сергеевич

к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

Лекция 8

Защита трансформаторов

Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)

Разновидности трансформаторов



Блочный трансформатор на электростанции



ОДЦ 417000/500

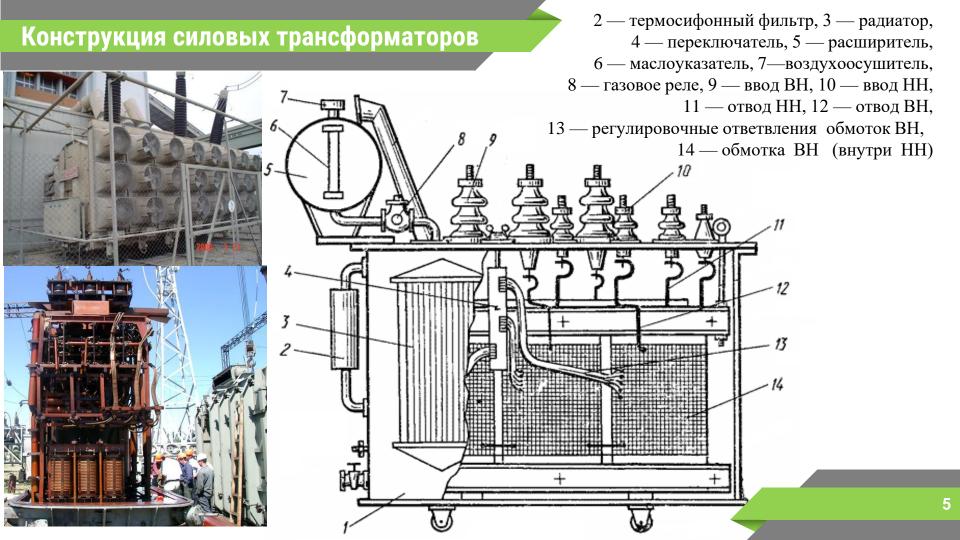
Разновидности трансформаторов



Однофазный АТ на ПС



Понизительный трансформатор



Повреждения трансформаторов и автотрансформаторов

Междуфазное К3.

«Пожар стали»

- КЗ одной или двух фаз на землю.
- КЗ между витками одной фазы (межвитковое).
- Замыкание между обмотками разных напряжений. _{Магнитопровод}
- K3 на вводах, ошиновке и в кабелях (междуфазное и на землю).

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ

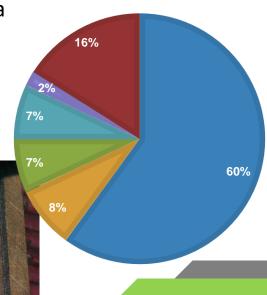
■Витковая изоляция

оляция Отводы

■Вводы

■Главная изоляция

нитопровод ■Иное



Нарушения нормальных режимов работы Т и АТ

Существуют режимы работы трансформаторов и автотрансформаторов, которые являются нежелательными:

- сверхтоки, проходящие через Т при внешних КЗ.
- перегрузка.
- выделение из масла горючих газов.
- понижение уровня масла.
- повышение температуры масла.

Такие режимы не приводят непосредственно к отказу, а лишь повышают его вероятность, ускоряют износ изоляции обмоток и деградацию масла.

Типы РЗ, предусмотренные для защиты Т от повреждений и ненормальных режимов в соответствии с ПУЭ в зависимости от класса напряжения и мощности:

- токовая отсечка;
- МТЗ или МТЗ с комбинированным пуском напряжения;
- токовая защита обратной последовательности;
- дифференциальная защита;
- дистанционная защита;
- ТЗ нулевой последовательности;
- газовая защита.

TC3

- 1. **От повреждений внутри кожуха**, сопровождающихся выделением газа и (или) понижением уровня масла **газовая защита** с действием на сигнал и отключение:
- для трансформаторов мощностью 6300 кВА и более;
- для внутрицеховых понижающих трансформаторов мощностью 630 кВА и более;
- для трансформаторов мощностью 1000–4000 кВА, если отсутствует быстродействующая защита.

2. От повреждений на выводах и внутренних повреждений:

- трансформаторы мощностью 6300 кВА и более продольная дифференциальная защита
- для трансформаторов мощностью до 6300 кВА токовая отсечка. Если токовая отсечка не проходит по условиям чувствительности, то дифференциальная защита может быть установлена на трансформаторах меньшей мощности, но не менее 1000 кВА.

- 3. От токов внешних коротких замыканий должны быть установлены следующие защиты с действием на отключение:
- для трансформаторов мощностью до 1000 кВА MT3 или MT3 с комбинированным пуском напряжения,
- для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более токовая защита обратной последовательности (ТЗОП);
- **дистанционная защита** на понижающих автотрансформаторах напряжением 220 кВ и более, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

- 4. **От возможной перегрузки** на трансформаторах мощностью 400 кВА и более следует предусматривать **МТЗ** с действием на сигнал или на разгрузку и на отключение.
- 5. **От токов внешних замыканий на землю** при наличии заземленной нейтрали для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более устанавливается ТЗ нулевой последовательности, если это необходимо по условиям дальнего резервирования.

1. Токовая ступенчатая защита

Первая ступень – токовая отсечка (ТО) без выдержки времени. Первичный ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока КЗ на других сторонах Т.

?Что это означает?

Вторая ступень — MT3 с блокировкой по напряжению. Дополняет ТО. Действует при КЗ на выводах и в соединениях с выключателем. Защищает трансформатор от перегрузок при внешних КЗ.

Недостаток МТЗ: недостаточная чувствительность к витковым замыканиям, недостаточное быстродействие при многофазных повреждениях в обмотке.

Расчет уставок ТСЗ

TO
$$I_{171}^{I} = K_{\text{orc}1} I_{K171}^{(3)} \quad K_{\text{orc}1} = 1.4$$

при K7
$$K_{q_{171}} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{171}^{1}} \ge 2$$

MT3 с блокировкой по U

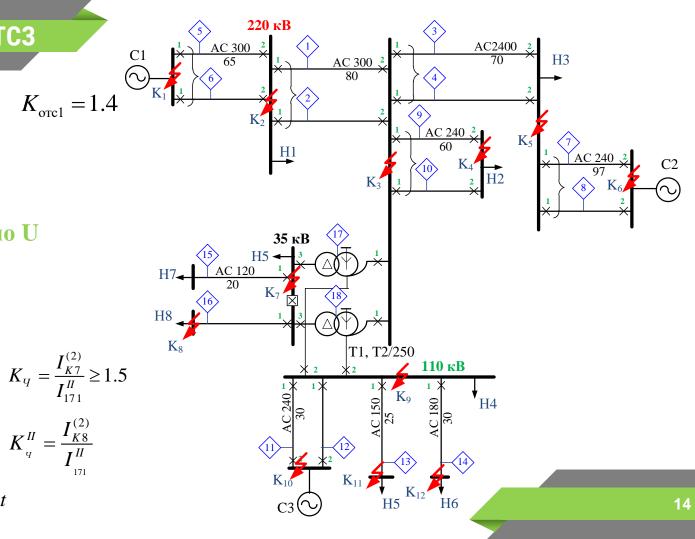
$$I_{171}^{\mathrm{II}} = \frac{K_{\text{orc2}}}{K_B} I_{\text{pa6.max}}$$

$$K_{\text{ore1}} = 1.2$$

В режиме ближнего резервирования

$$K_{q}^{II} = \frac{I_{K8}^{(2)}}{I_{171}^{II}}$$

$$t_{C3} = t_{H \max} + \Delta t$$



МТЗ трансформаторов с блокировкой по напряжению

Блокировка предназначается для повышения чувствительности защиты при дальнем резервировании. $^{\mathrm{OT}}_{-}^{TV}$ KV2

$$U_{C3\,KV1} = \frac{U_{\min}}{K_H K_B} \approx 0.65 U_{\text{\tiny HOM}}$$

$$K_H = 1.2$$
 $K_R = 1.2$

$$U_{\min} = (0.85 - 0.9) \,\mathrm{U}_{\scriptscriptstyle \mathrm{HOM}}$$

KA1, KA2 – реле тока типа РТ-40 (РСТ-13)

ZV2 – фильтре-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М

KV1 – реле минимального напряжения типа PH-54(PCH-13)

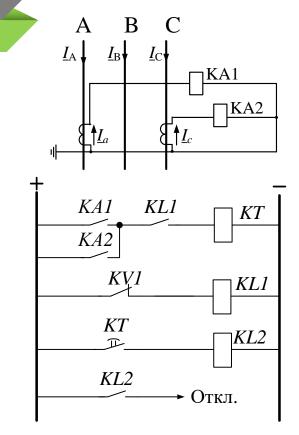
KV2

ZV2

KV1

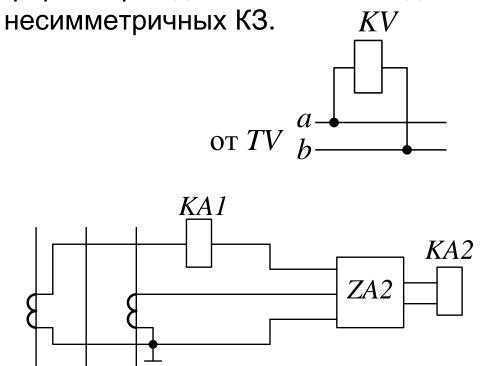
 $U_{C3 \, KV2} = 0.06 U_{non}$

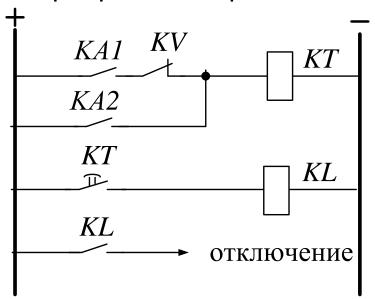
KV2 – реле максимального напряжения



2. Токовая защита обратной последовательности трансформаторов

Устанавливается на повышающих трансформаторах и автотрансформаторах для обеспечения дальнего резервирования при





2. Расчет уставок ТЗОП Т и АТ

 Условие 1: отстройка от максимального тока небаланса на выходе ФТОП при реальных перегрузках

$$I_{2C3} = (0,1-0,2)I_{\text{HOMT}}$$

Не согласуется с резервными защитами линий

$$K_{\rm q} < 1.5$$

• Условие 2: согласуется по чувствительности с защитами смежных линий: ТЗОП (если есть), ТЗНП, МТЗ, Дист. защита.

$$I_{2C3} = K_{\rm otc} I_{\rm 2pacy}$$

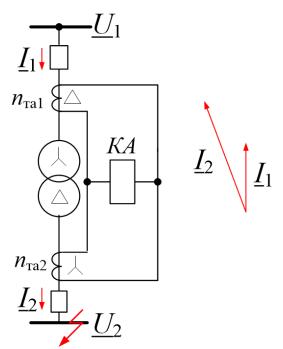
 $I_{2\text{расч}}$ — ток обр. посл. через защиту 1, когда защита 2 находится на грани срабатывания при двухфазном КЗ в конце зоны

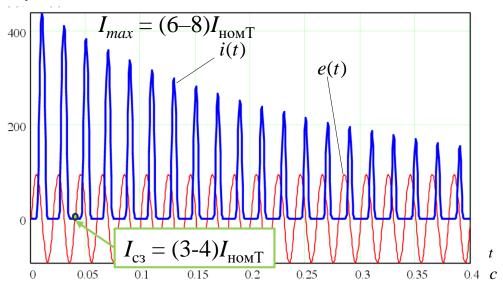
$$K_{\rm q} = I_{\rm 2pacq}/I_{\rm 2C3} > 1.2$$

3. Дифференциальная защита трансформаторов

Особенности дифференциальной защиты трансформаторов:

- Учитывается различие коэффициентов трансформации ТА1 и ТА2;
- Учитывается соединение обмоток ВН и НН (звезда-треугольник);
- Выполняется блокировка при броске тока намагничивания.

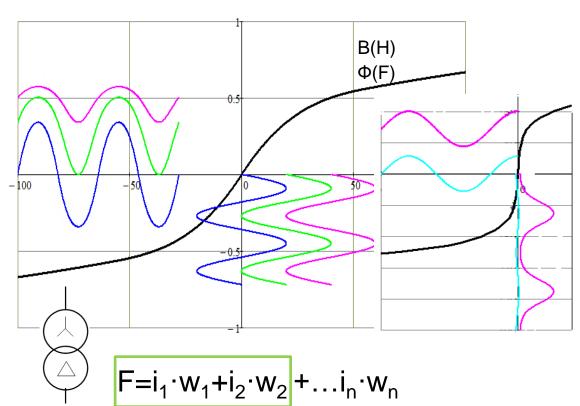




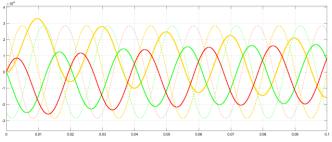
Бросок тока намагничивания при включении трансформатора на XX (одна фаза)

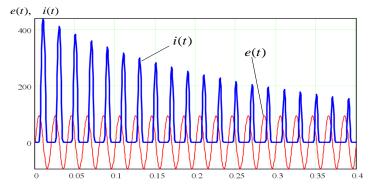
ПП длится несколько секунд

Использование промежуточного HTT



Переходный процесс в RL-цепи





Бросок тока намагничивания при включении трансформатора на XX (одна фаза)

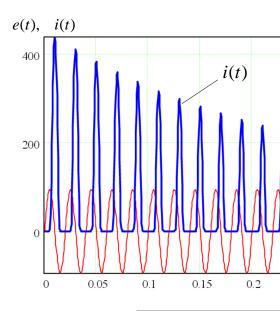
Отстройка РЗ от броском тока намагничивания

Применяются следующие методы отстройки от броска тока намагничивания:

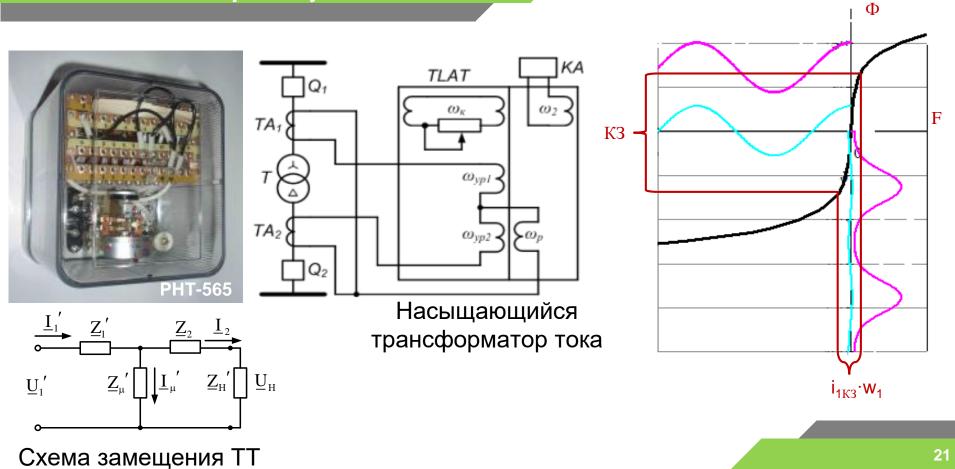
- 1. Загрубление РЗ по току срабатывания (с учетом времени действия РЗ: чем выше быстродействие защиты, тем выше ток срабатывания);
- 2. Использование промежуточного насыщающегося трансформатора тока (HTT);
- 3. Использование торможения;
- 4. Выявление различий форм тока и напряжения (ЯРЭ-2201).

$$I_{max} = (6-8)I_{\text{HomT}}$$

$$I_{C3} = (3-4)I_{\text{HOMT}}$$

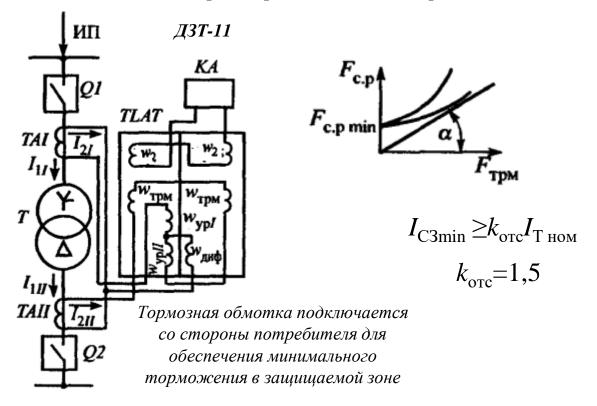


Использование промежуточного HTT



Принципы торможения защиты

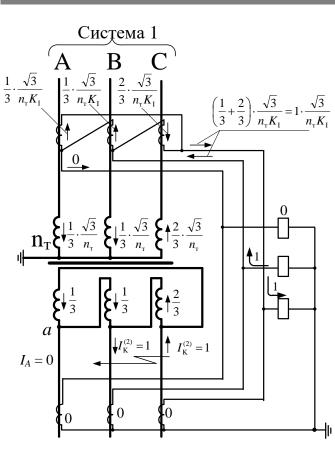
Торможение — автоматическое загрубление уставки защиты при близком внешнем КЗ или броске тока намагничивания для предотвращения ложного срабатывания из-за насыщения трансформаторов тока



Цифровые защиты:

торможение выполняется за счет выделения 2-ой гармоники в токе (теорема Фурье)

Принципы торможения защиты

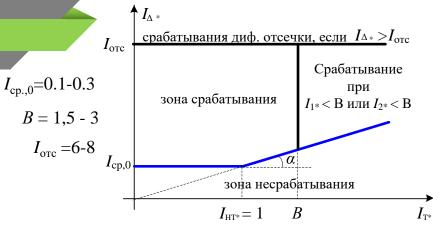




Внешнее КЗ



Внутреннее КЗ



Характеристика срабатывания цифровой дифференциальной защиты I_{T^*} — тормозной ток,

 I_{T^*} — тормозной ток, I_{A^*} — дифференциальный ток

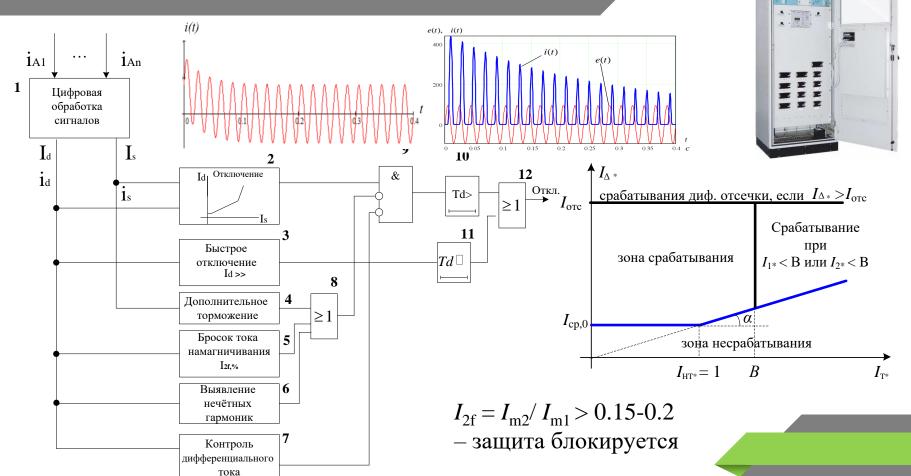
$$oldsymbol{I}_{\Delta} = \left| \dot{oldsymbol{I}}_1 + \dot{oldsymbol{I}}_2
ight|$$
 дифференциальный ток

$$I_T = \sqrt{|\dot{I}_1| \cdot |\dot{I}_2| \cos(\varphi)}$$
, тормозной ток (НПП ЭКРА)

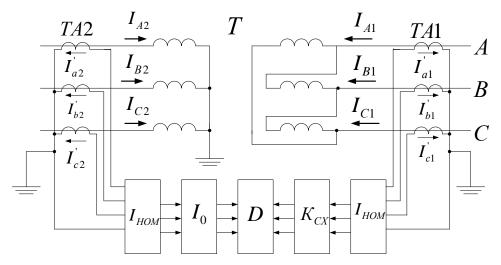
$$I_{\rm T} = 0$$
 при $90^{\rm o} < \varphi < 270^{\rm o}$

$$I_{\mathrm{T}} = |\underline{I}_1| + |\underline{I}_2|$$
 тормозной ток (Сименс)

Структурная схема дифференциальной защиты Т



Цифровая корректировка измеряемых фазных токов в ДЗ



Блоки $I_{\text{ном}}$ устраняют различие номинальных токов по сторонам Т и неодинаковость номинальных токов Т и ТА умножением токов I_{a} , I_{b} , I_{c} с обеих сторон на корректирующие коэффициенты $k_{\text{ном}1}$ и $k_{\text{ном}2}$

$$k_{nom1} = \frac{\sqrt{3}I_{nomTA1}U_{nom1}}{S_{nom}}, k_{nom2} = \frac{\sqrt{3}I_{nomTA2}U_{nom2}}{S_{nom}}$$

Блок I_0 устраняет небаланс при внешних однофазных КЗ (см. далее).

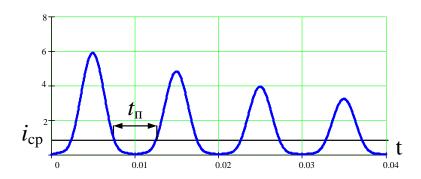
D – измерительный элемент.

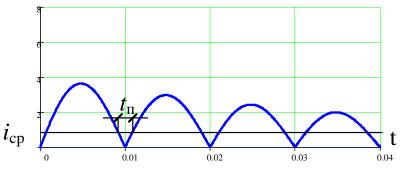
Блок $K_{\rm ex}$ учитывает сдвиг по фазе и изменения по модулю сравниваемых токов, вносимые различием схем включения обмоток силового трансформатора.

Дифференциальная защита с реле ДЗТ-21

Торможение осуществляется за счет время-импульсного принципа – анализ длительности пауз $t_{\rm n}$ в дифференциальном токе в сочетании с торможением от составляющей второй гармоники тока намагничивания:







Выпрямленный рабочий ток при броске тока намагничивания

$$I_{\rm C3} = 0.3I_{\rm Tnom}$$

Выпрямленный рабочий ток при внутреннем КЗ

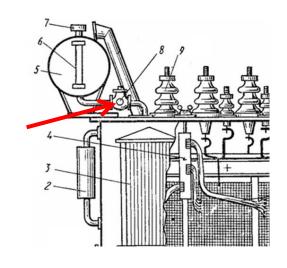
Газовая защита трансформаторов

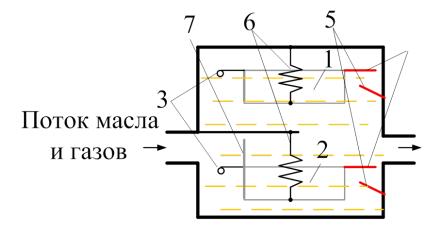
Газовое реле (РГЧЗ-66) устанавливается в маслопровод между баком и расширителем трансформатора. Принцип действия - явление газообразования

в баке трансформатора.

Обязательна для T с S >= 6,3 MBA с масляной системой охлаждения.

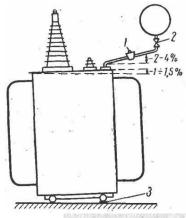
Реагирует на все виды повреждений внутри бака. Возможны ложные срабатывания при попадании воздуха в бак.





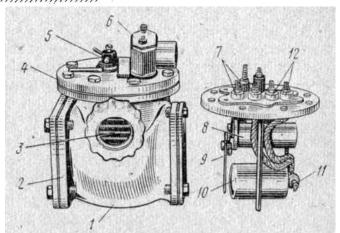
- 1, 2 плоскодонные алюминиевые чашки,
- 3 неподвижные оси,
- 4 подвижные контакты,
- 5 неподвижные контакты,
- 6 пружины;
- 7 лопасть.

Установка газового реле



1 — газовое реле; 2 — кран; 3 — подкладки для создания необходимого уклона

Реле ПГ-22





1 – корпус, 2 – фланец, 3 – смотровое окно, 4 –крышка, 5 – кран для выпуска скопившихся в реле газов, 6 – коробка зажимов, 7 – зажимы цепи сигнализации, 8 и 10 – верхний и нижний поплавки, 9 – ртутный контакт цепи сигнализации, 11 – ртутный контакт цепи отключения, 12 – зажимы цепи отключения.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич vasilevas@tpu.ru

ТПУ – Томск 2022 г.

