

Силовые трансформаторы (автотрансформаторы)

Трансформаторы.

Основные элементы конструкции.

Системы охлаждения.

Основные характеристики.

Допустимые перегрузки.

Параллельная работа трансформаторов.

Автотрансформаторы.

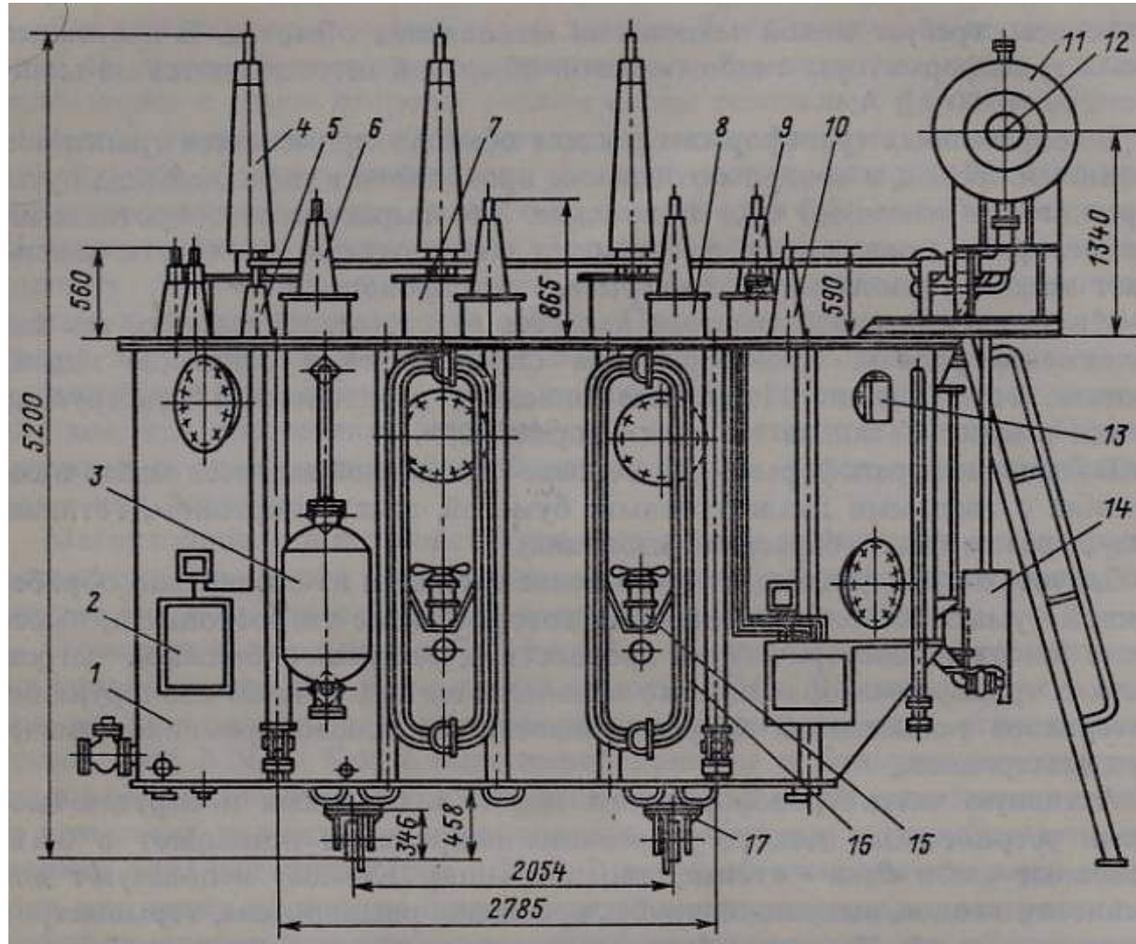
Схемы соединения обмоток (Δ , Y , Z).

Характерные дефекты.

Силовые трансформаторы и автотрансформаторы



Трансформатор ТДТН-16000/110/35/10

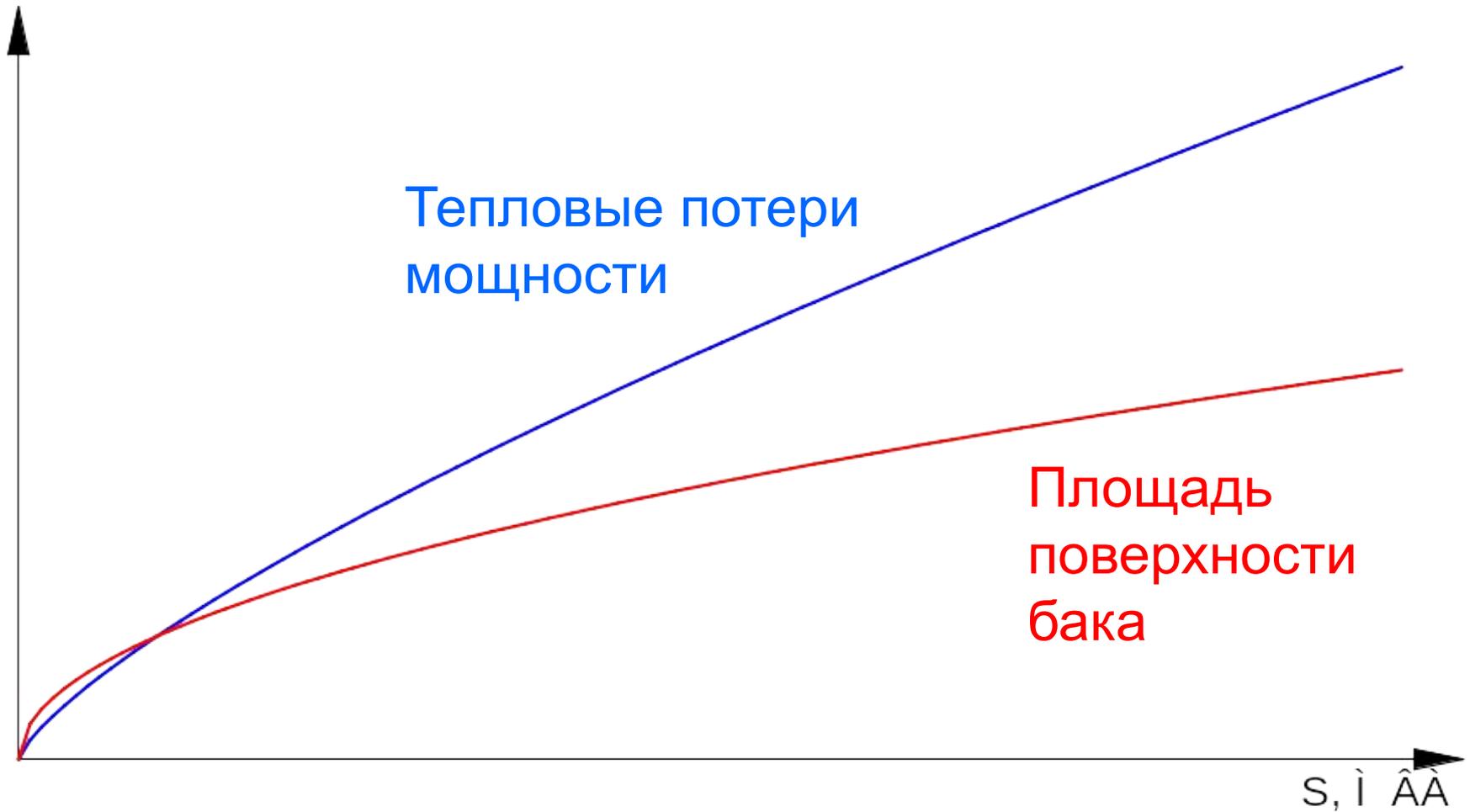


- | | | |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 – бак | 2 – шкаф управления дутьем | 3 – термосифонный фильтр |
| 4 – ввод ВН | 5 – ввод НН | 6 – ввод СН |
| 7 – ИТТ ВН | 8 – ИТТ СН | 9 – ввод 0 ВН |
| 10 – ввод 0 СН | 11 – расширитель | 12 – маслоуказатель |
| 13 – клапан | 14 – привод РПН | 15 – вентиляторы охлаждения |
| 16 – радиатор | 17 – каретка с катками | |

Структура обозначения

А	Автотрансформатор
–	Трансформатор
О	Однофазный
Т	Трехфазный
Р	С расщепленной обмоткой НН
С	Система охлаждения
М	
Д	
Ц	
Н	
Т	Трехобмоточный
–	Двухобмоточный
Н	Наличие РПН
С	Для собственных нужд

Охлаждение трансформаторов



Мощность трансформатора

Охлаждение трансформаторов

Причины нагрева:

- токи в меди обмоток;
- магнитный поток в стали магнитопровода;
- вихревые токи в стали магнитопровода и бака

Последствие нагрева:

старение изоляции

(правило 6 градусов)

Системы охлаждения трансформаторов

- С – естественная воздушная
до 1,6 МВА, до 15 кВ
- М – естественная масляная
до 16 МВА
- Д – естественная масляная + воздушное дутьё
до 80 МВА
- ДЦ – принудительная масляная + воздушное дутьё
от 63 МВА
- Ц – принудительная масляная + водяное охлаждение
от 160 МВА

Системы охлаждения трансформаторов

Сухие трансформаторы	
С	Естественное воздушное при открытом исполнении
СЗ	Естественное воздушное при защищенном исполнении
СГ	Естественное воздушное при герметичном исполнении
СД	Воздушное с принудительной циркуляцией воздуха
Масляные трансформаторы	
М	Естественная циркуляция воздуха и масла
Д	Принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла
МЦ	Естественная циркуляция воздуха, принудительная циркуляция масла с ненаправленным потоком масла
НМЦ	Естественная циркуляция воздуха, принудительная циркуляция масла с направленным потоком масла
ДЦ	Принудительная циркуляция воздуха и масла с ненаправленным потоком масла
НДЦ	Принудительная циркуляция воздуха и масла с направленным потоком масла
Ц	Принудительная циркуляция воды и масла с ненаправленным потоком масла
НЦ	Принудительная циркуляция воды и масла с направленным потоком масла
Трансформаторы с негорючим жидким диэлектриком	
Н	Естественное охлаждение негорючим жидким диэлектриком
НД	Охлаждение негорючим жидким диэлектриком с принудительной циркуляцией воздуха
ННД	Охлаждение негорючим жидким диэлектриком с принудительной циркуляцией воздуха и с

Направленный поток масла (Н)

- Подача масла от охладителей производится, как правило, в промежуток **между стенкой бака и активной частью**.
- Иногда для повышения эффективности охлаждения масло подается направленно в обмотку.
- В этом случае в нижней части бака маслосистема связана бакелитовым патрубком **с нижней ярмовой изоляцией обмотки**.
- Такая система циркуляции масла более эффективна.
- Но при этом резко возрастает степень опасности перегревов при внезапном аварийном прекращении движения масла. При такой конструкции при прекращении движения масла трансформатор нести нагрузку не может.
- При **ненаправленной** циркуляции трансформатор может непродолжительно работать при прекращении движения масла.
- **Ненаправленная** система более надежна и в другом отношении – продукты разложения масла и истирания подшипников не попадают непосредственно в обмотку и не перекрывают изоляционные промежутки, снижая прочность изоляции.
- Вывод: направленную систему циркуляции масла применяют в крайних случаях и обязательно вместе с фильтром тонкой очистки масла.

Жидкие негорючие диэлектрики

Хлордифенилы («Совол», «Совтол», «Калория-2»)

- $\epsilon = 5...6$ вместо 2 у тр.масла
- высокая токсичность
- сильное влияние на озоновый слой

1976 г. – Монреальский Протокол

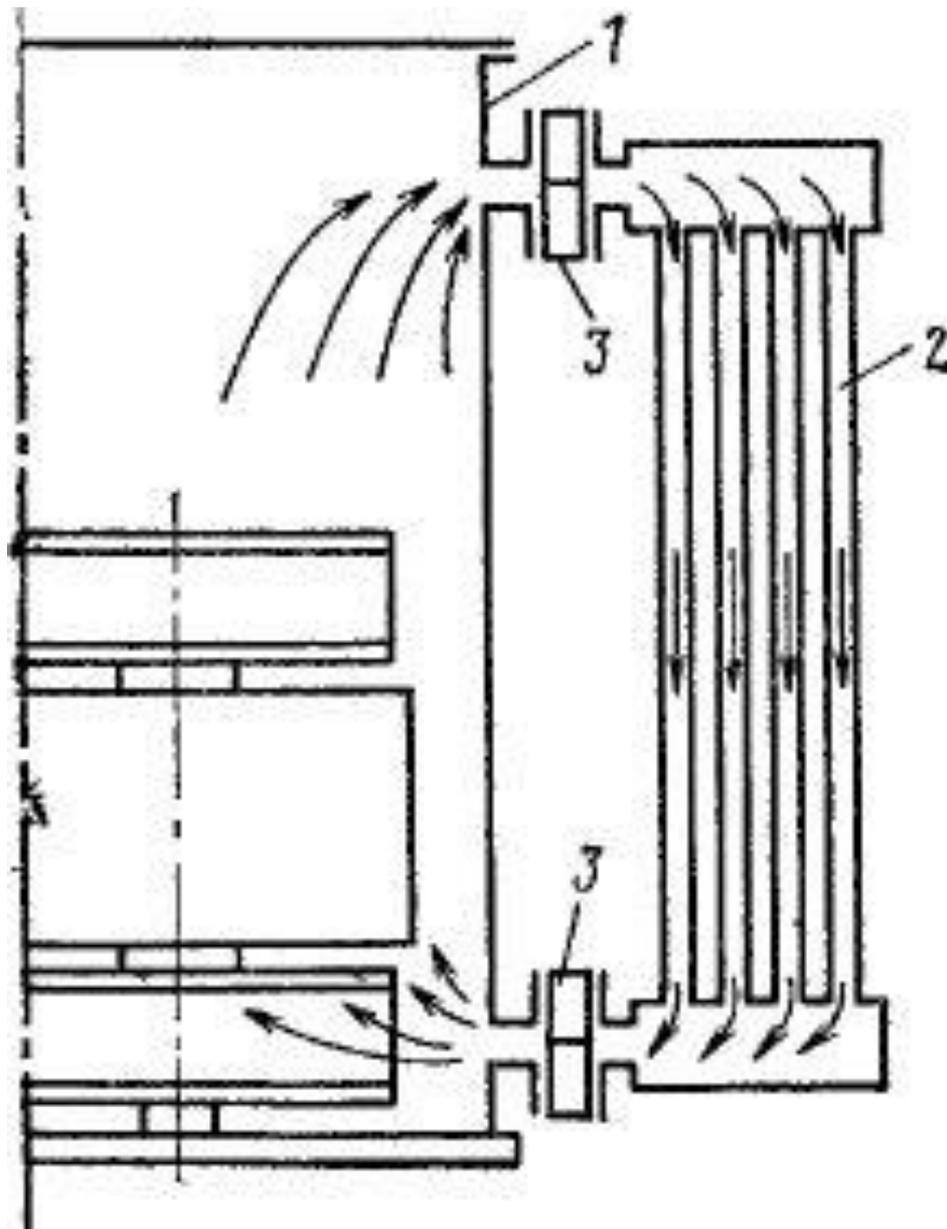
2002 г. – Стокгольмская конвенция

- Великобритания - диэлектрики на основе пентаэритрита («Midel», «Formel NF»)
- Германия - диэлектрики на основе фталевой кислоты («Bayelectrol»)
- Россия - силиконы или кремнийорганические жидкости. («Софэксил»)

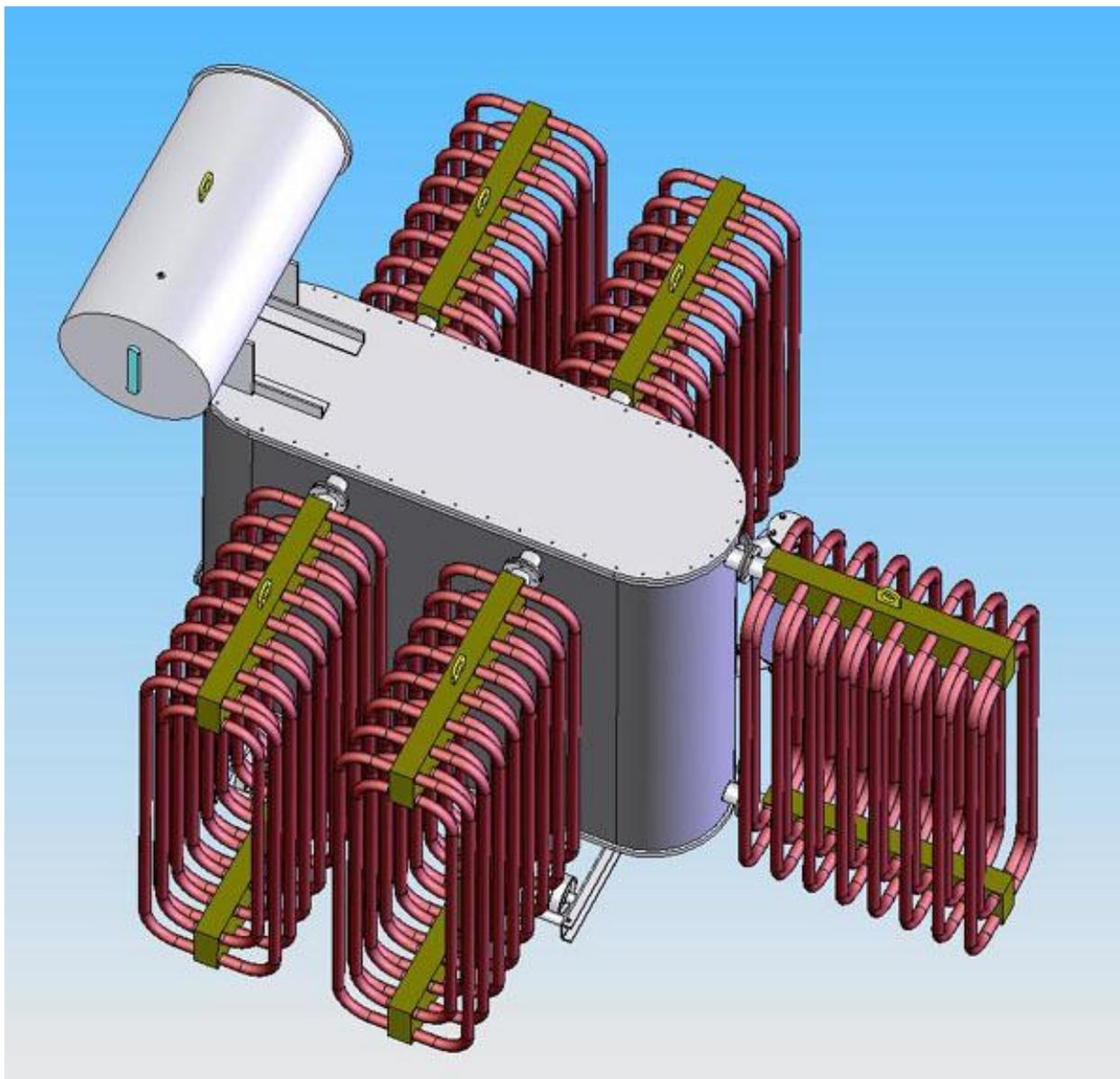
Зарубежные обозначения систем охлаждения

РФ	<i>МЭК</i>	РФ	<i>МЭК</i>
С	<i>AN</i>	ДЦ	<i>OFAF</i>
СЗ и СГ	<i>ANAN</i>	НДЦ	<i>ODAF</i>
СД	<i>ANAF</i>	Ц	<i>OFWF</i>
М	<i>ONAN</i>	НЦ	<i>ODWF</i>
Д	<i>ONAF</i>	Н	<i>LNAN</i>
МЦ	<i>OFAN</i>	НД	<i>LNAF</i>
НМЦ	<i>ODAN</i>	ННД	<i>LF AF</i>

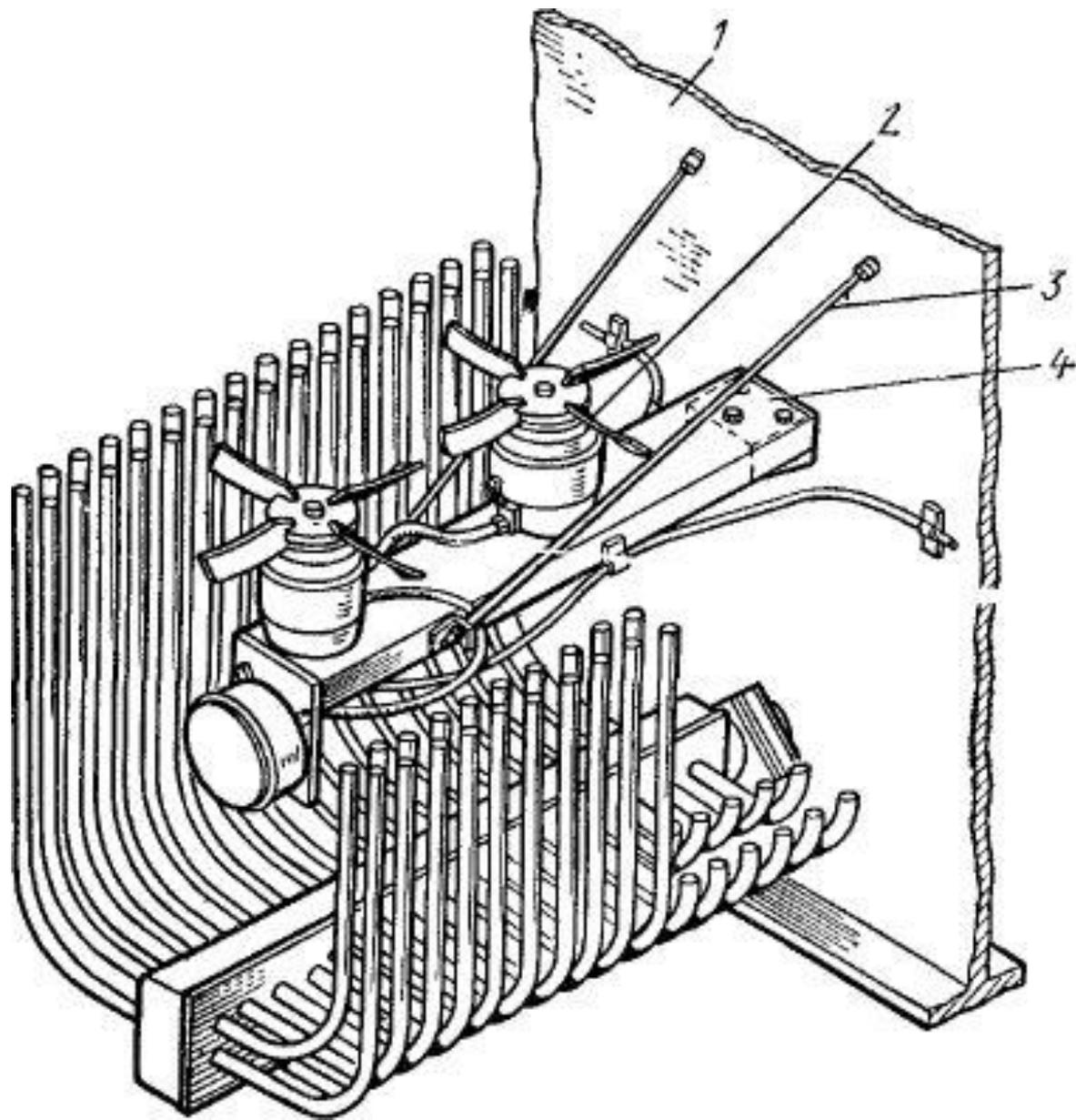
Система охлаждения М



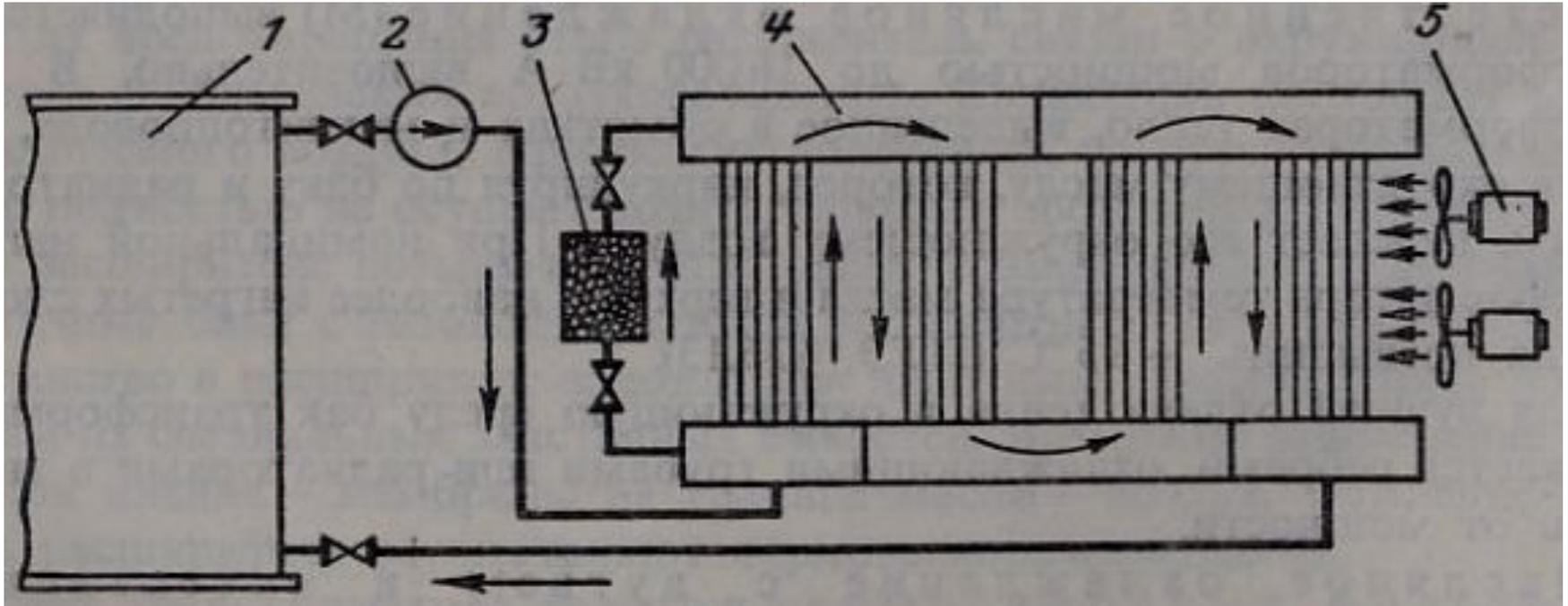
Радиаторы охлаждения трансформатора ТМ-6300/35



Система охлаждения Д



Система охлаждения ДЦ

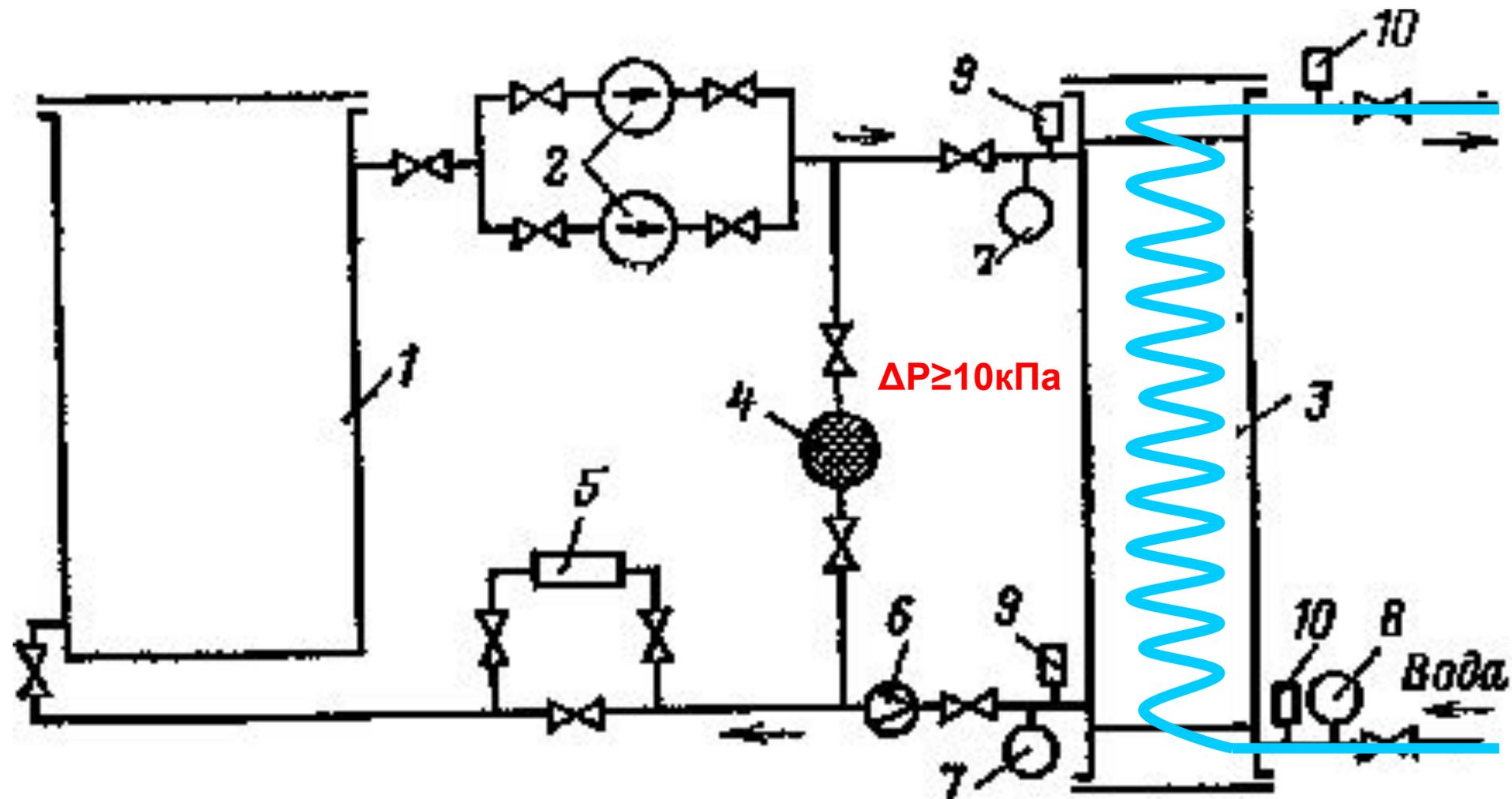


- 1 – бак трансформатора
- 2 – электронасос
- 3 – адсорбный фильтр
- 4 – охладитель
- 5 – вентилятор обдува

Месторасположение маслоохладителей

- Маслоохладители могут навешиваться на стенку бака или располагаться вблизи трансформатора, объединенными в группы охлаждающих устройств (типа ГОУ) на собственном фундаменте.
- Как правило ГОУ используют в тех случаях, когда охладители не могут расположиться на стенке бака трансформатора.
- При навесной системе вибрация работающих насосов и вентиляторов передается на стенку бака. Поэтому у трансформаторов раннего выпуска, имеющих быстроходные вентиляторы (1500 об/мин), вибрация настолько усиливалась, что были случаи нарушения сварных швов и это приводило к течи масла из бака и к отключению трансформатора.
- В современных конструкциях применяются тихоходные вентиляторы (750 об/мин), и поэтому нет опасности повреждения сварных мест на баке трансформатора.

Система охлаждения Ц



- 1-бак трансформатора; 2-электронасос; 3-охладитель;
4-адсорбционный фильтр; 5-сетчатый фильтр;
6-дифференциальный манометр; 7,8-манометры; 9,10-термометры

Требования к системам охлаждения (ПТЭ)

- **Питание электродвигателей устройств охлаждения** должно быть осуществлено, как правило, от двух источников, а для трансформаторов с принудительной циркуляцией масла – с применением АВР.
- **На трансформаторах с системами ДЦ и Ц** устройства охлаждения должны автоматически включаться (отключаться) одновременно с включением (отключением) трансформатора. Принудительная циркуляция масла должна быть непрерывной независимо от нагрузки.
- Не допускается эксплуатация трансформаторов с искусственным охлаждением без включенных в работу **устройств сигнализации о прекращении циркуляции масла, воды или об останове вентиляторов.**

Требования к системам охлаждения (ПТЭ)

- **На трансформаторах с системой Д:**
двигатели вентиляторов должны автоматически:
 - включаться при достижении $t_M = 55^\circ\text{C}$
или номинальной нагрузки независимо от t_M ;
 - отключаться при понижении $t_M = 50^\circ\text{C}$, если при этом $I < I_{ном}$.
- **На трансформаторах с системой Ц:**
система циркуляции воды должна:
 - включаться после включения масляных насосов при температуре верхних слоев масла $\geq 15^\circ\text{C}$;
 - отключаться при понижении температуры масла до 10°C
(если иное не оговорено в заводской документации).

Требования к системам охлаждения (ПТЭ)

- **При номинальной нагрузке t° -ра верхних слоев масла** должна быть:
 - для охлаждения М и Д – не выше 95°C ;
 - для охлаждения ДЦ – не выше 75°C ,
 - для охлаждения Ц – не выше 70°C на входе в маслоохладитель.

Требования к системам охлаждения (ПТЭ)

- **Включение трансформаторов на номинальную нагрузку** допускается:

- для М и Д при любой отрицательной $t_{\text{возд}}$;
- для ДЦ и Ц при $t_{\text{возд}} \geq -25^{\circ}\text{C}$.

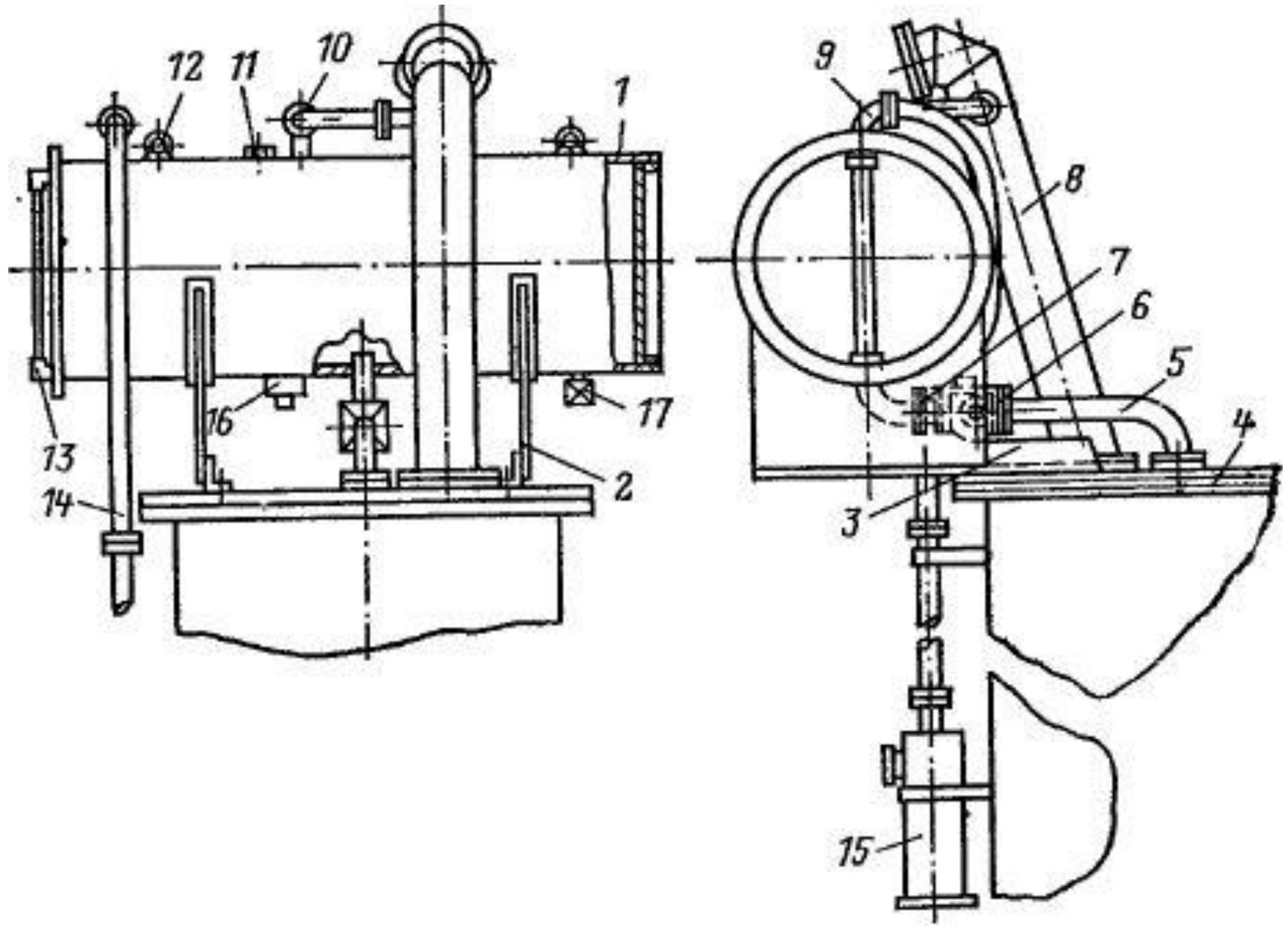
При более низких $t_{\text{возд}}$ трансформатор должен быть предварительно прогрет включением на $0,5S_{\text{ном}}$ без запуска системы циркуляции масла до достижения температуры верхних слоев масла минус 25°C , после чего должна быть включена система циркуляции масла.

- **В аварийных условиях** допускается включение трансформатора на полную нагрузку независимо от температуры окружающего воздуха.

Системы защиты масла от увлажнения и окисления

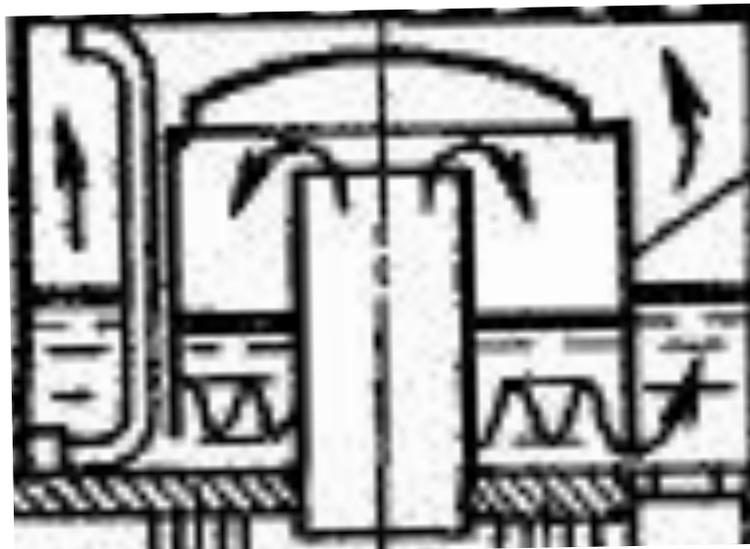
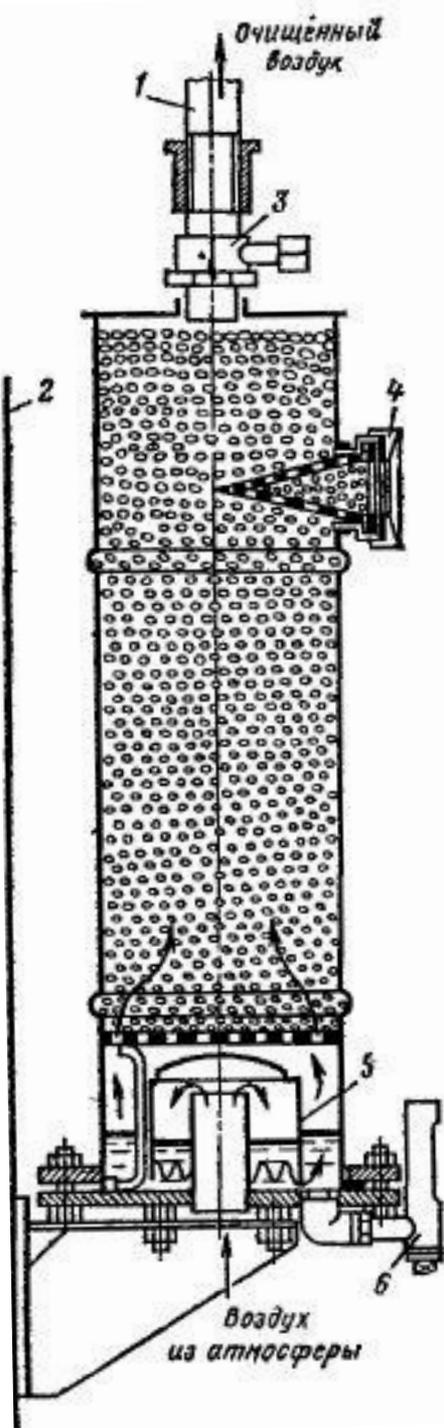
1. Система свободного дыхания (или система с расширителем).
2. Диафрагменная система (плёночная защита).
3. Система защиты с помощью инертного газа под давлением.
4. Система герметичного бака с газовой подушкой.
5. Герметичный бак без расширителей, полностью заполненный маслом

Система свободного дыхания

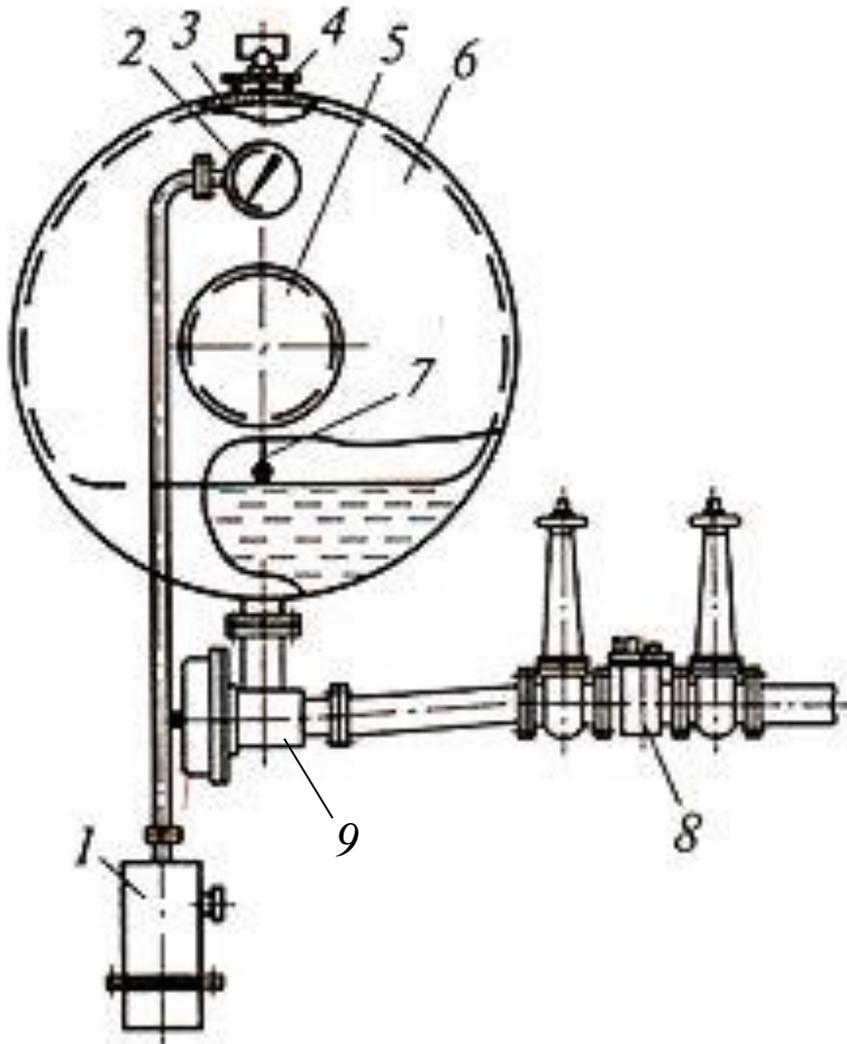


Воздухоосушитель

- 1 - труба для присоединения воздухоосушителя
- 2 - стенка бака
- 3 - соединительная гайка
- 4 - смотровое окно патрона с индикаторным силикагелем
- 5 - масляный затвор
- 6 - указатель уровня масла в затворе

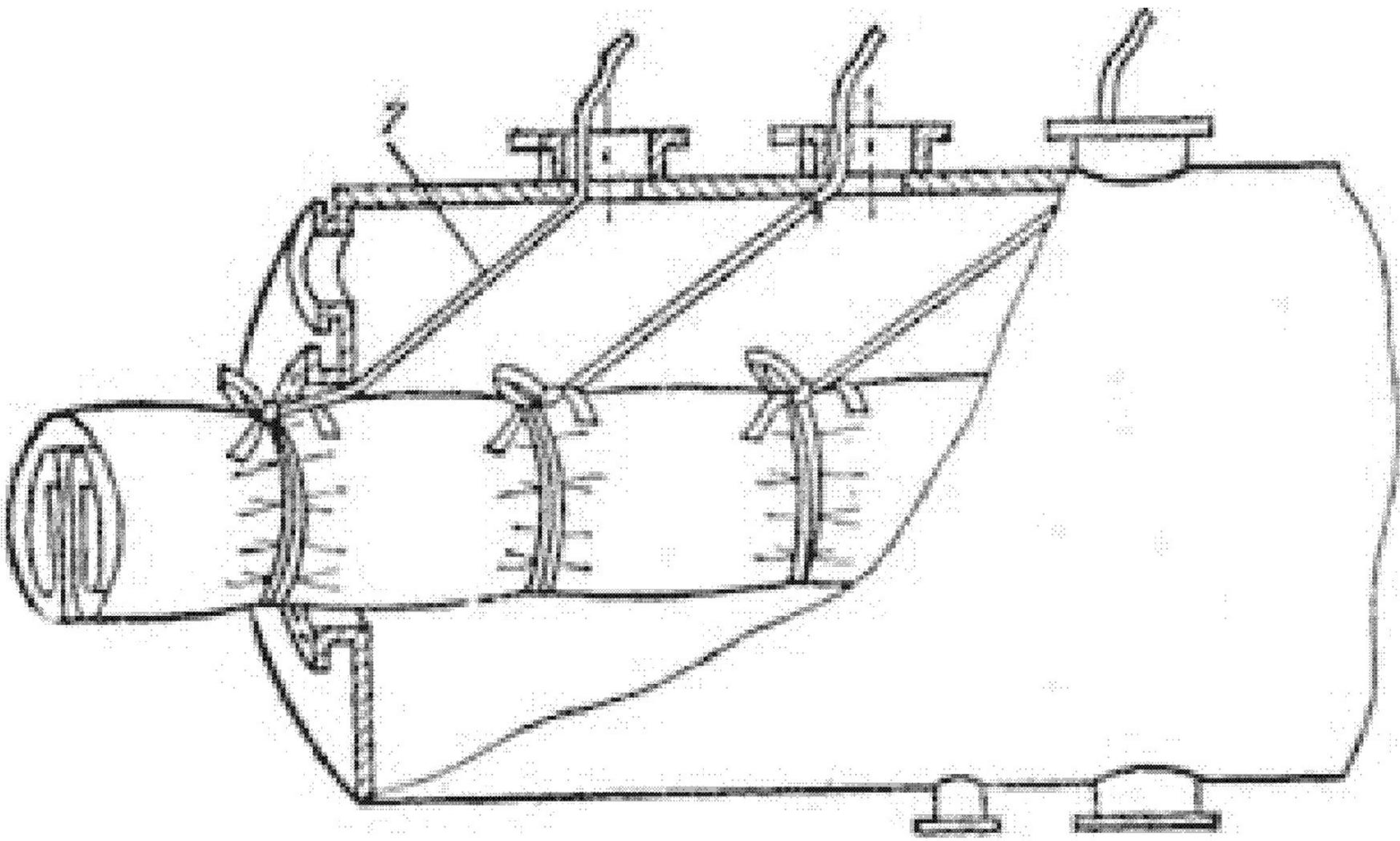


Пленочная защита



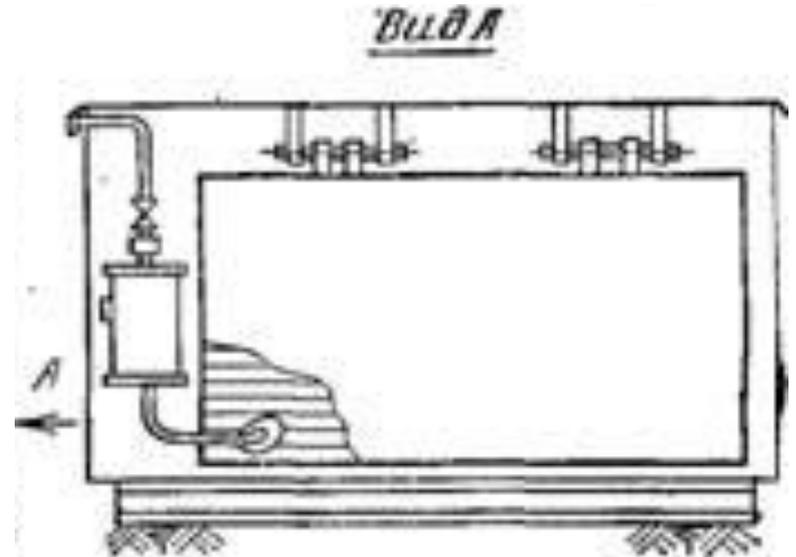
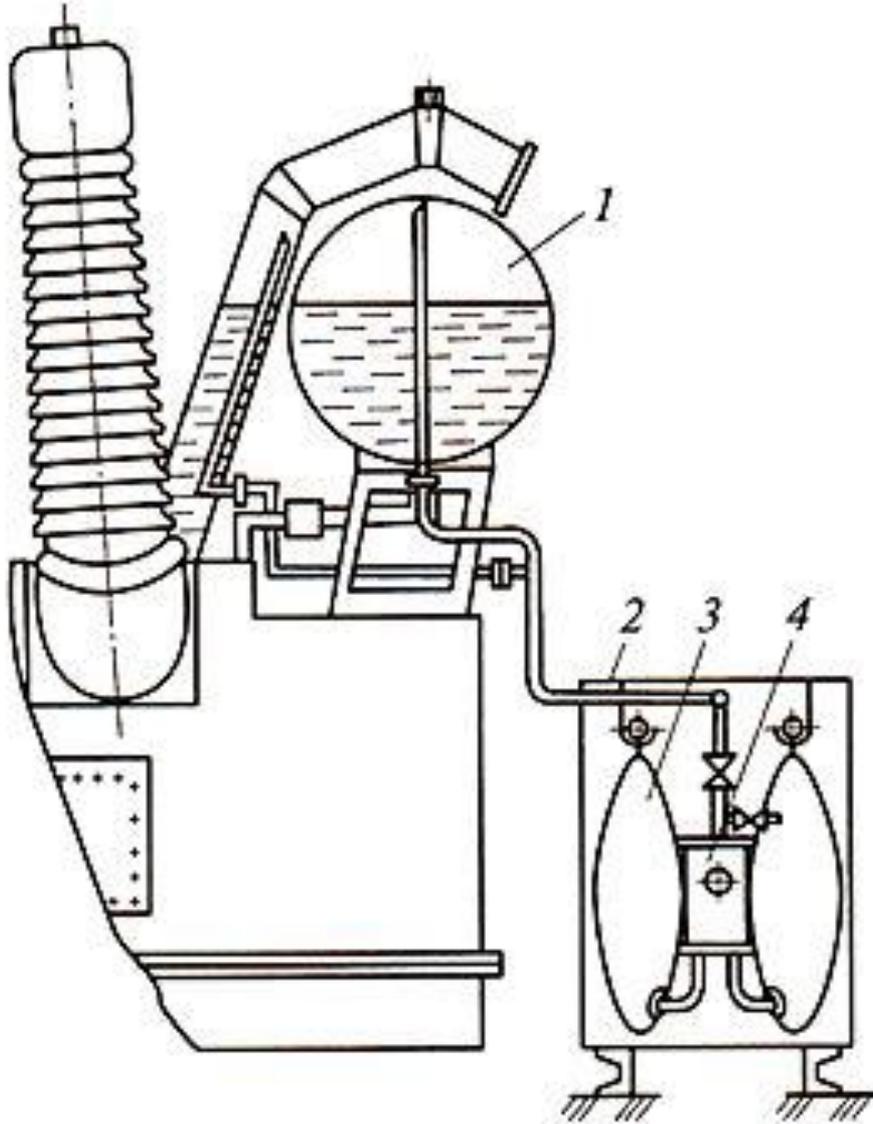
- 1 — воздухоосушитель;
- 2 — стрелочный маслоуказатель;
- 3 — эластичная емкость;
- 4 — соединительный патрубок;
- 5 — монтажный люк;
- 6 — расширитель;
- 7 — реле поплавкового типа;
- 8 — газовое реле
- 9 — отсечной клапан

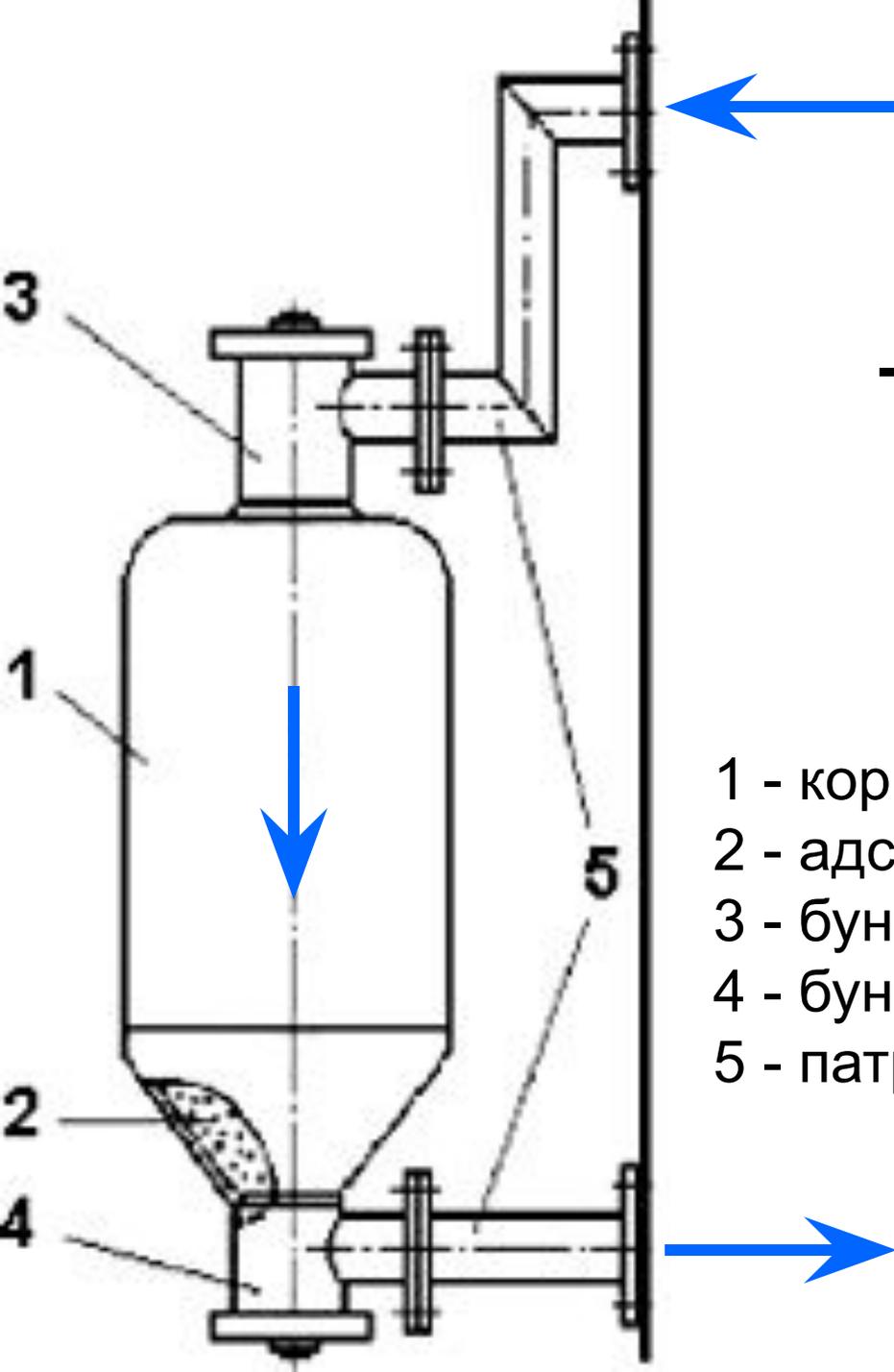
Монтаж эластичной ёмкости



Азотная защита

- 1 - надмасляное пространство расширителя;
- 2 - шкаф;
- 3 - мягкий резервуар;
- 4 - азотоосушитель





Термосифонный фильтр

- 1 - корпус фильтра
- 2 - адсорбент (силикагель или окись Al)
- 3 - бункер для загрузки адсорбента
- 4 - бункер для удаления адсорбента
- 5 - патрубки

Термосифонные фильтры

- Трансформаторы мощностью 1000 кВА и более должны эксплуатироваться с постоянно включенными термосифонными фильтрами.
- Адсорбент:
 - цеолиты
 - силикагель
 - активная окись алюминия с зернами 3-7 мм.
- Ёмкость термосифона = 2 % объема масла.
- Адсорбент заменяют, когда кислотное число масла станет равным 0,1—0,15 мг КОН/г.
- Насыщение адсорбента влагой контролируется по изменению его окраски. Хлористый кобальт. Голубой → розовый
- Использованный адсорбент регенерируется нагреванием до температуры 400...500°С.

Антиокислительные присадки

- Свежее масло содержит смолы, являющиеся естественными антиокислителями.
- Масло, регенерированное адсорбентами, утрачивает их.
- Специальные антиокислительные присадки являются ингибиторами, т.е. замедлителями процесса окисления масла
- Применяют следующие антиокислительные присадки:
 - ионол,
 - амидопирин,
 - пирамидон и др.
- Ионол не извлекается из масла адсорбентами.
- Амидопирин извлекается силикагелем. Поэтому термосифонные фильтры в этом случае загружают только окисью алюминия.

Реле уровня масла

- Реле уровня масла - для контроля количества масла в расширителе.
- Имеет стрелочный указатель для визуальной оценки уровня масла и контактный выход для подключения к цепям сигнализации.
- Реле старые – чашечные, с открытыми контактами.
- Реле новые – поплавковые, с герконами.
- Срабатывание реле уровня масла происходит до срабатывания сигнального элемента газового реле, что позволяет заблаговременно принять меры по устранению неисправности трансформатора.

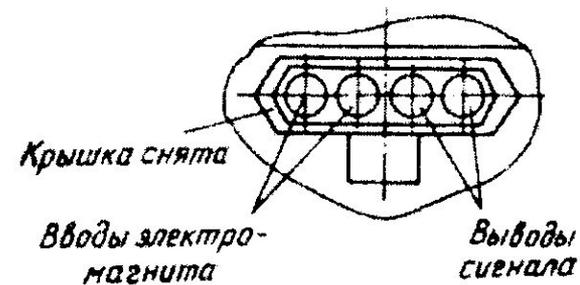
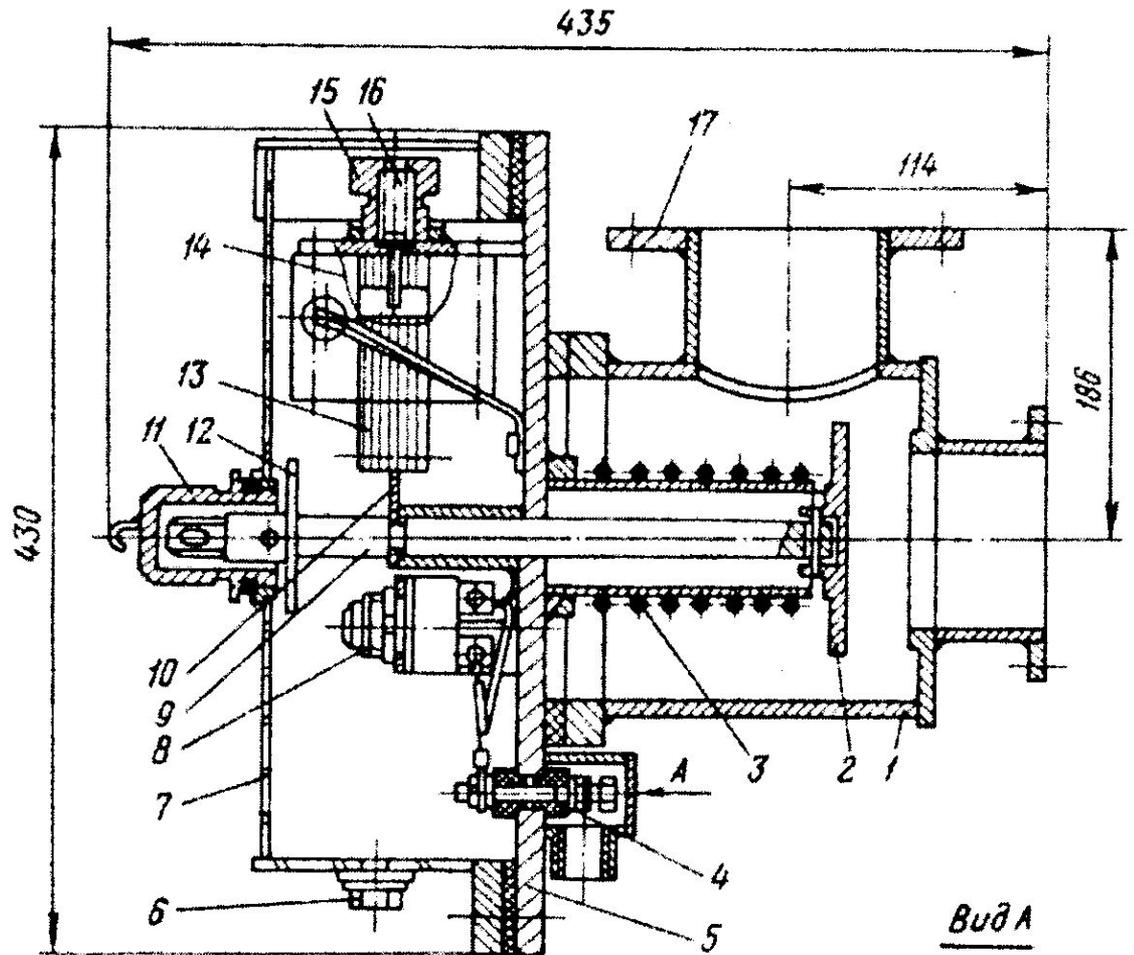
Отсечной клапан ($S \geq 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$)



Отсечной клапан – устройство для перекрытия маслопровода вблизи расширителя для предотвращения развития пожара (в случае его возникновения) вследствие вытекания масла из расширителя на поврежденный трансформатор.

Отсечной клапан

- 1-корпус
- 2-клапан
- 3-пружина
- 4-ввод
- 5-плита
- 6-пробка
- 7-кожух
- 8-кнопка
- 9-тяга
- 10-вилка
- 11-стакан
- 12-диск
- 13-якорь
- 14-обмотка электромагнита
- 15-стакан
- 16-пружина
- 17-фланец для присоединения к расширителю



Газовые и струйные реле

- **Газовые реле** – для защиты трансформатора, имеющего расширитель, от повреждений внутри бака, при которых происходит:
 - выделение газа,
 - снижение уровня масла,
 - возникновение ускоренного потока масла из бака трансформатора в расширитель.
- **Струйные реле** – для защиты контактора РПН от повреждений, сопровождающихся:
 - возникновением ускоренного потока масла из бака контактора в расширитель.

Повреждения в баке

Повреждения в баке трансформатора:

- короткие замыкания (КЗ) между обмотками,
- витковые замыкания,
- «пожар» стали магнитопровода,
- утечка масла из бака,
- неисправности маслонаполненного контактора переключателя ответвлений устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) и др.

Повреждения внутри бака сопровождаются выделением газа

При КЗ происходит ускоренное протекание масла или его смеси с газом из бака аппарата в расширитель.

Нарушение нормальной работы контактора РПН может быть вызвано:

- повреждением изоляции,
- ослаблением пружин механизма,
- старением силовых контактов,

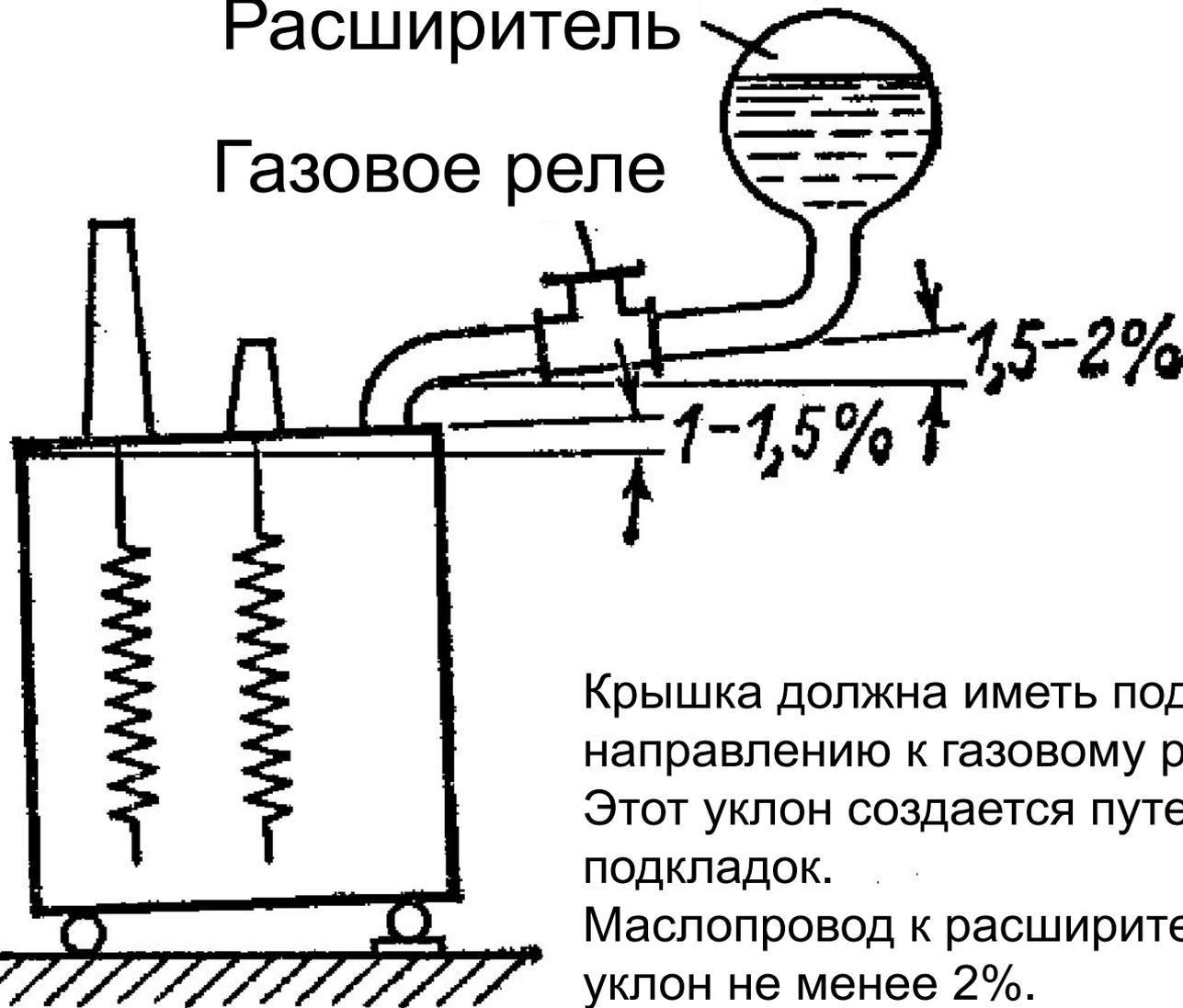
Это ведет к замедлению и нечеткости переключения.

Затянувшаяся дуга сопровождается (с учетом небольшого объема масла в баке контактора) бурным разложением масла. Струя масла в смеси с газом направляется из бака контактора в расширитель.

Установка газового реле

Расширитель

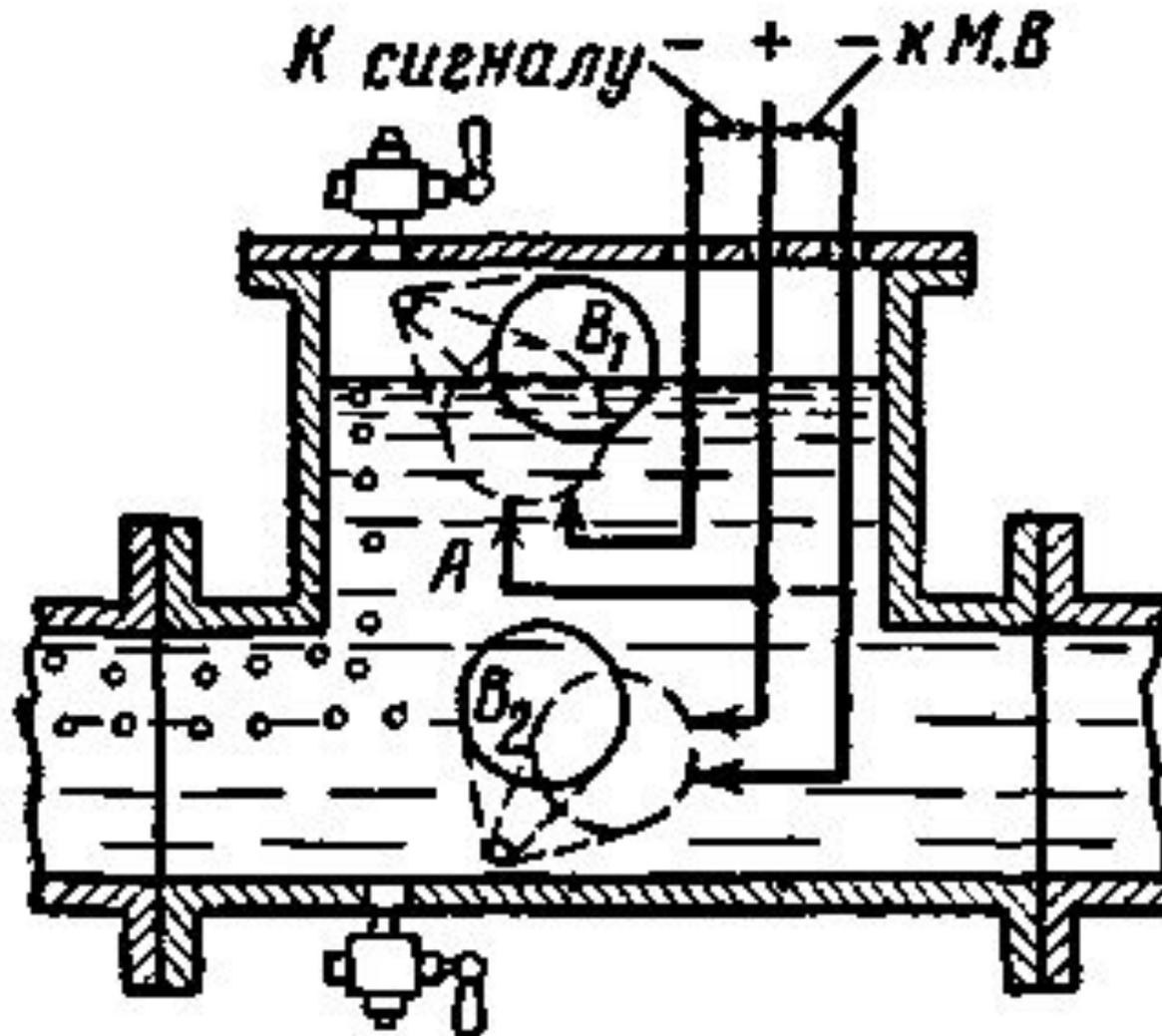
Газовое реле



Крышка должна иметь подъем по направлению к газовому реле не менее 1%. Этот уклон создается путем установки подкладок.

Маслопровод к расширителю должен иметь уклон не менее 2%.

Устройство газового реле



Газовое реле Бухгольца

BF 80/Q

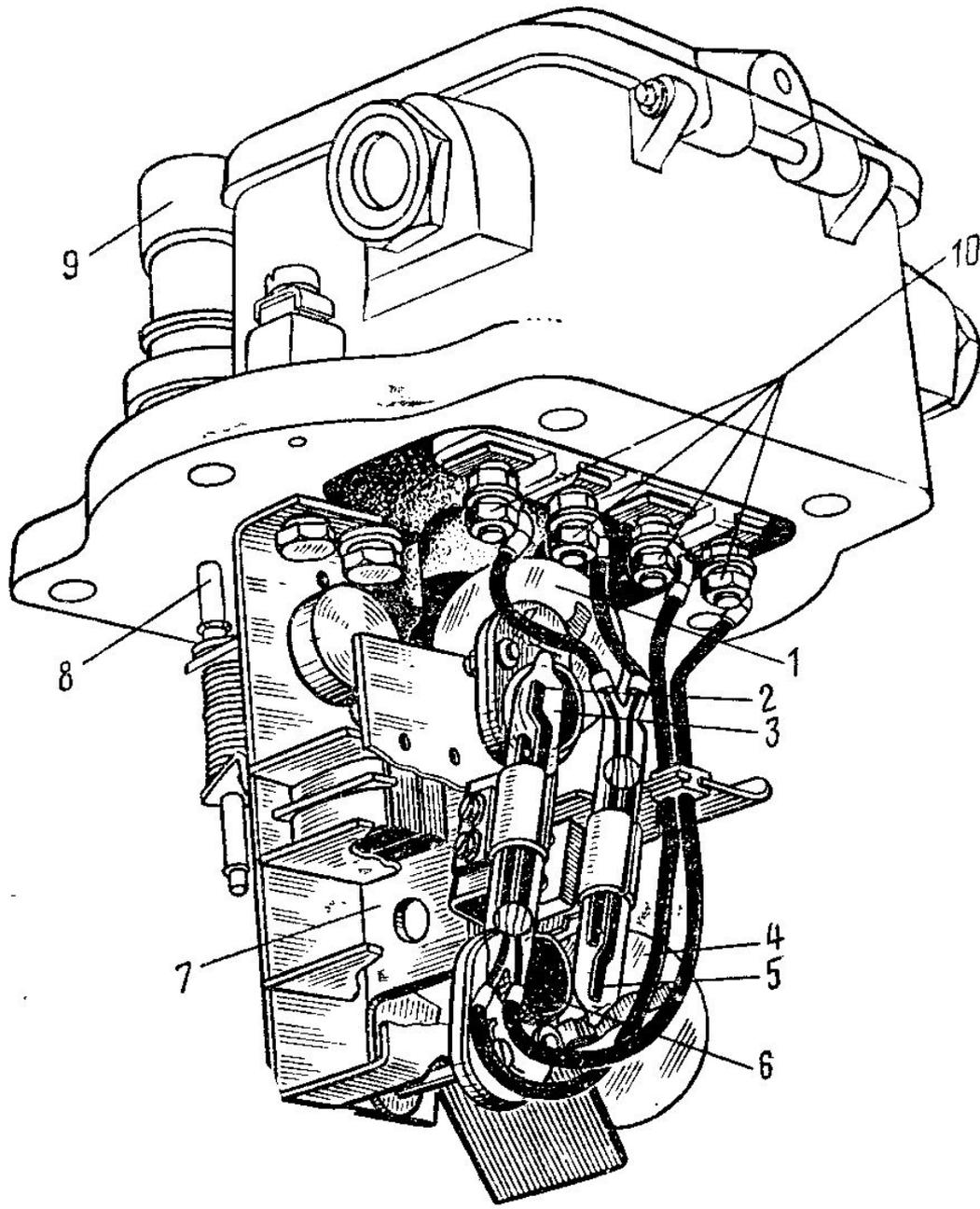
BF 50/10

BF 25/10

URF 25/10



Газовое реле Бухгольца



1-верхний поплавок

2-магнит управления верхнего поплавка

3-трубка с магнитными контактами

4-нижний поплавок

5-трубка с магнитными контактами

6-магнит управления нижнего поплавка

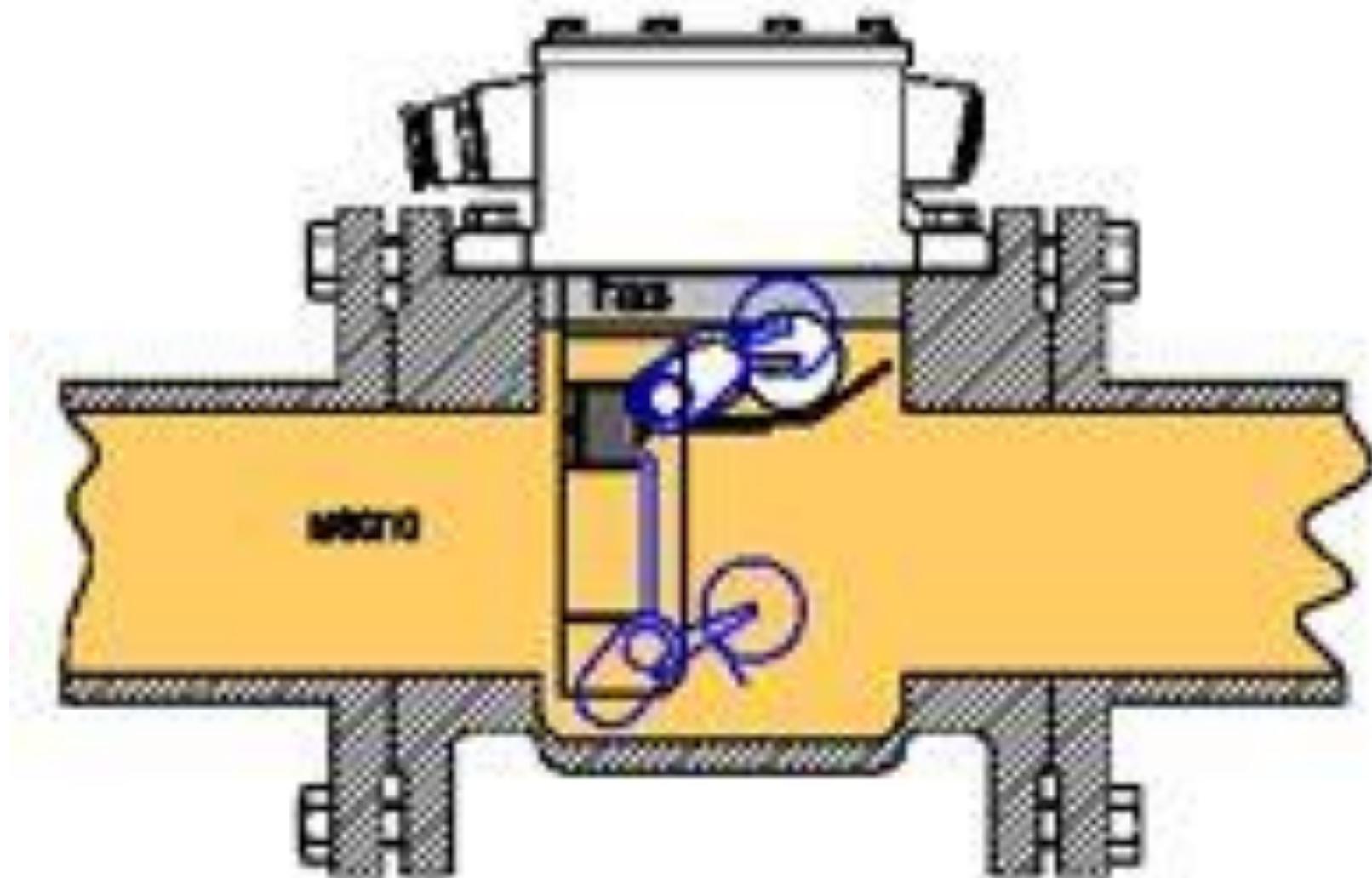
7-пластина, воспринимающая поток масла

8-шток

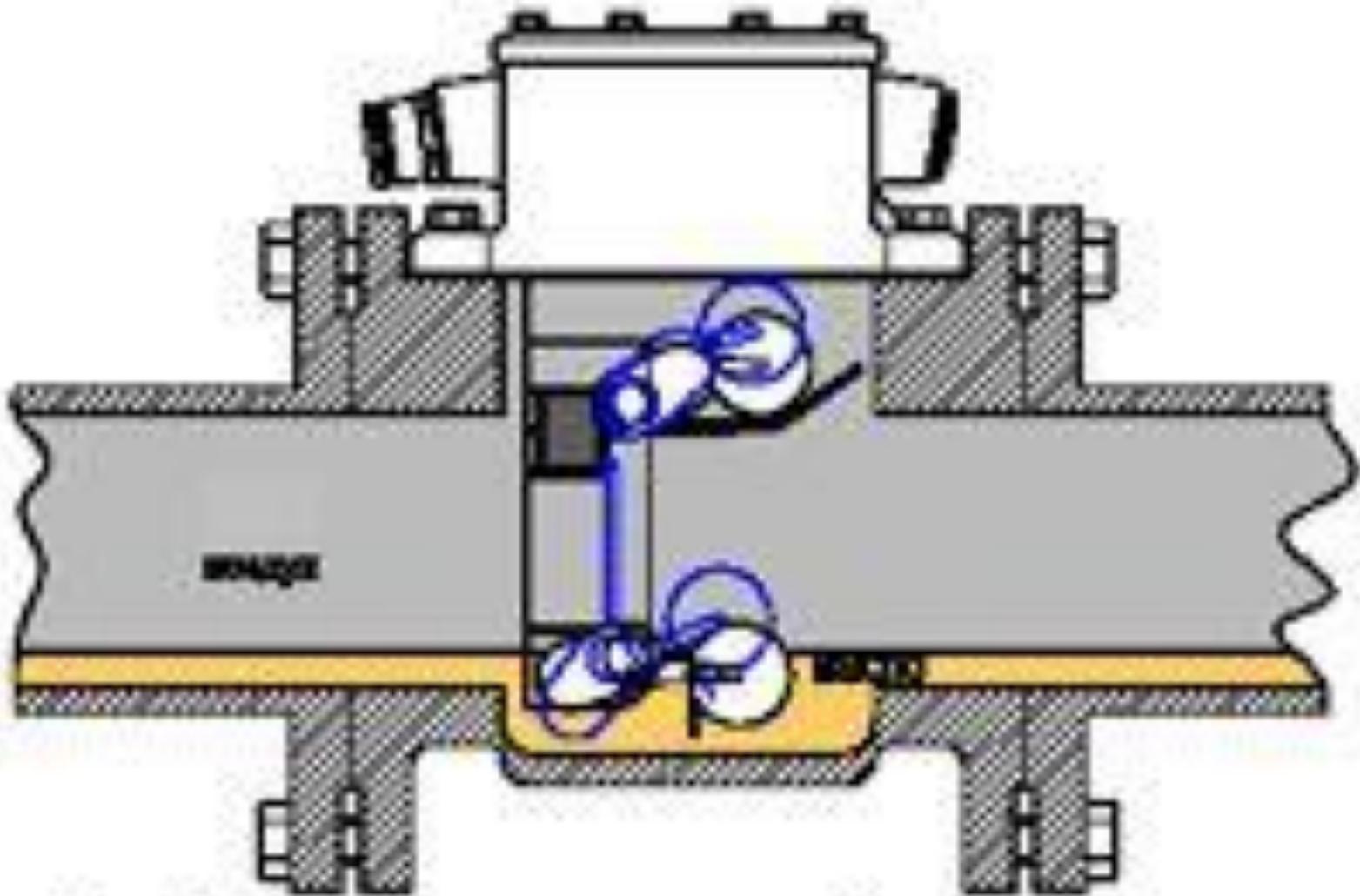
9-предохранительный колпачок

10-коробка с зажимами

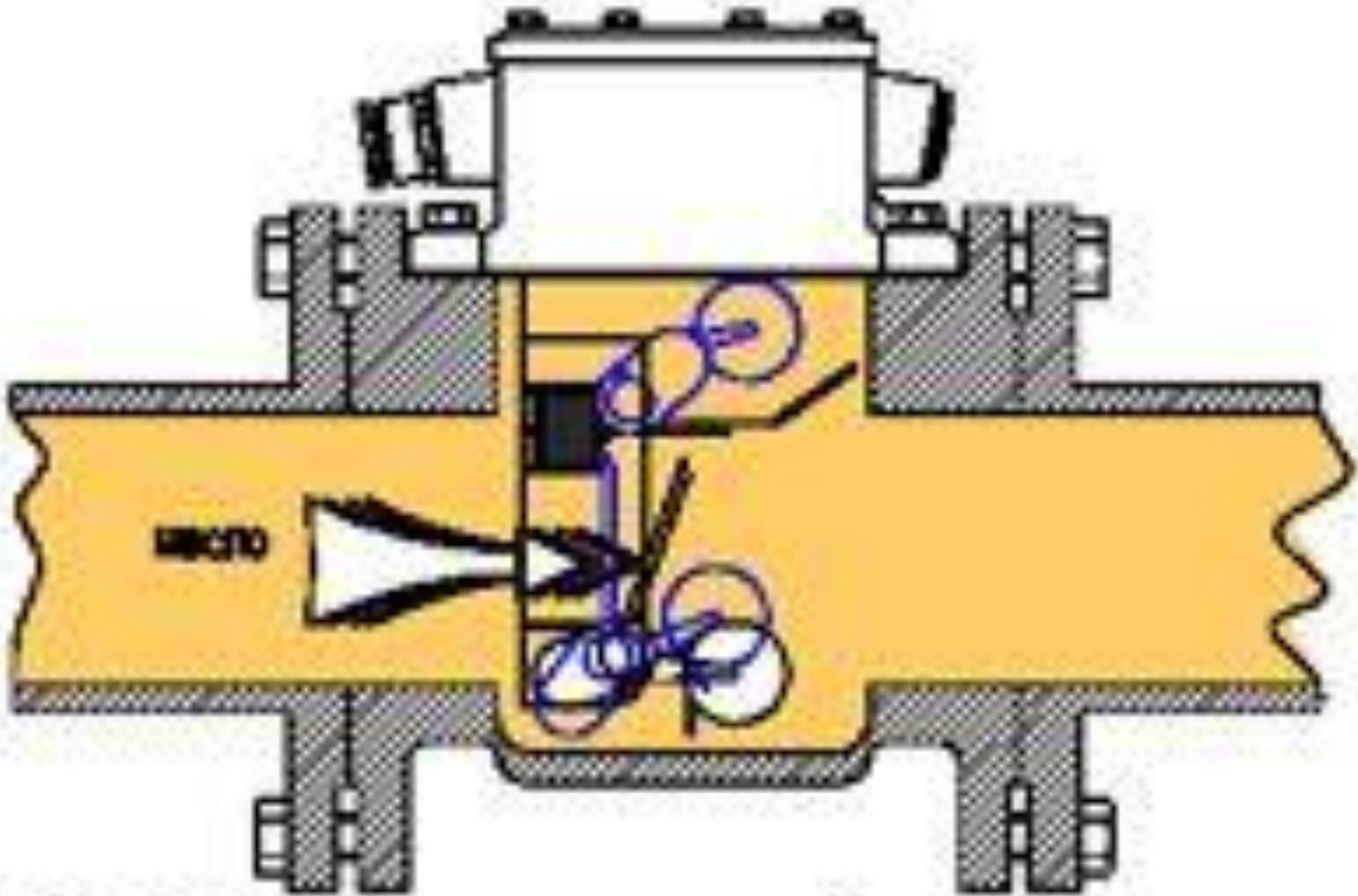
Газовое реле Бухгольца: скопление газа



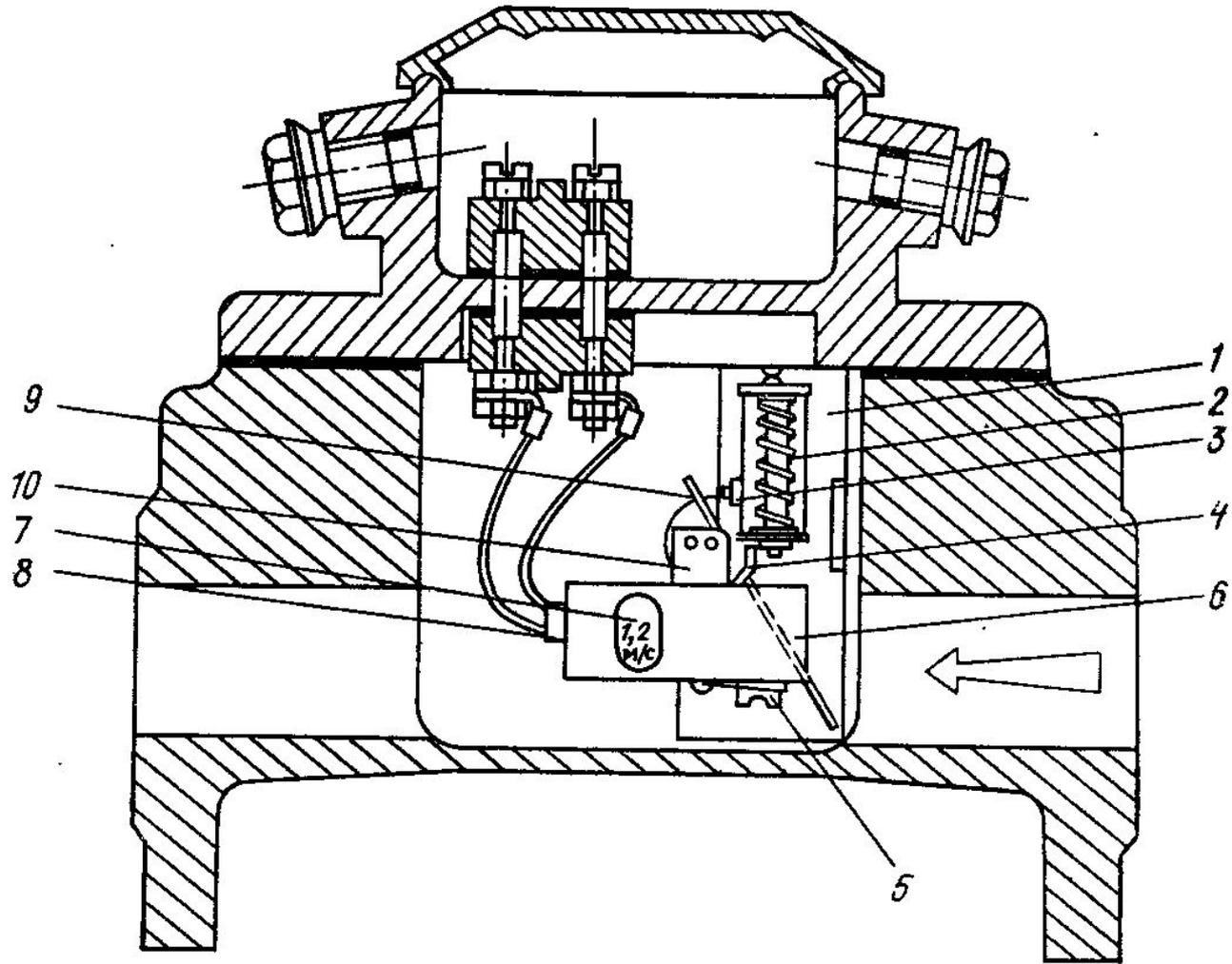
Газовое реле Бухгольца: падение уровня масла



Газовое реле Бухгольца: активный переток масла (и газов)

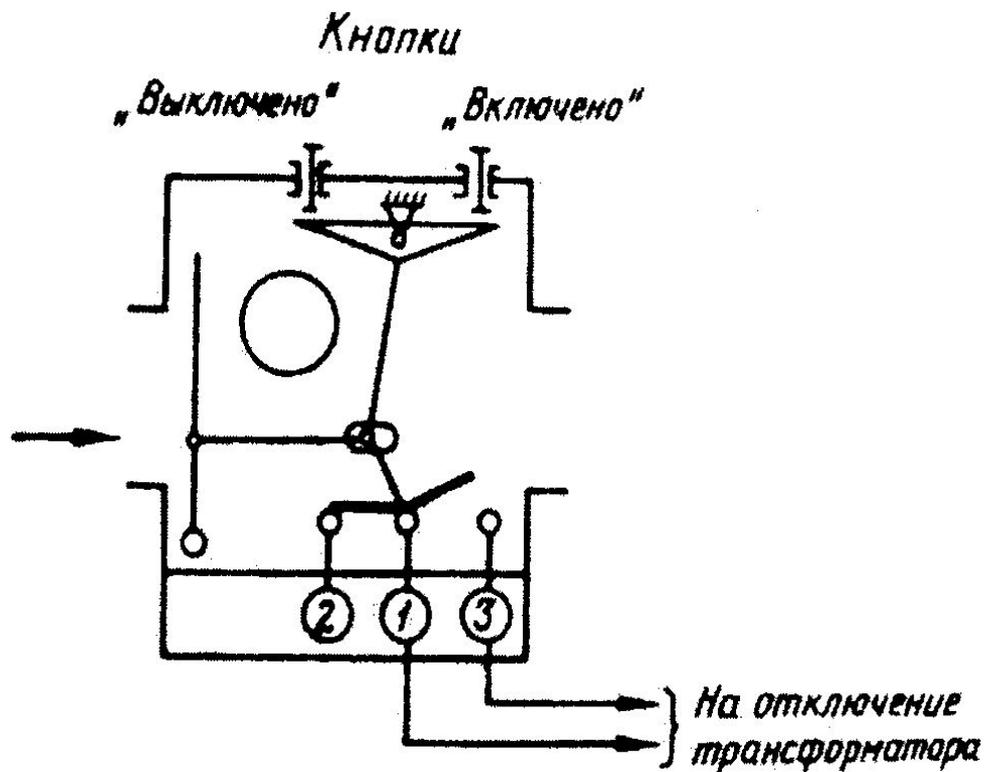


Устройство струйного реле ÜRf-25/10 (Германия)

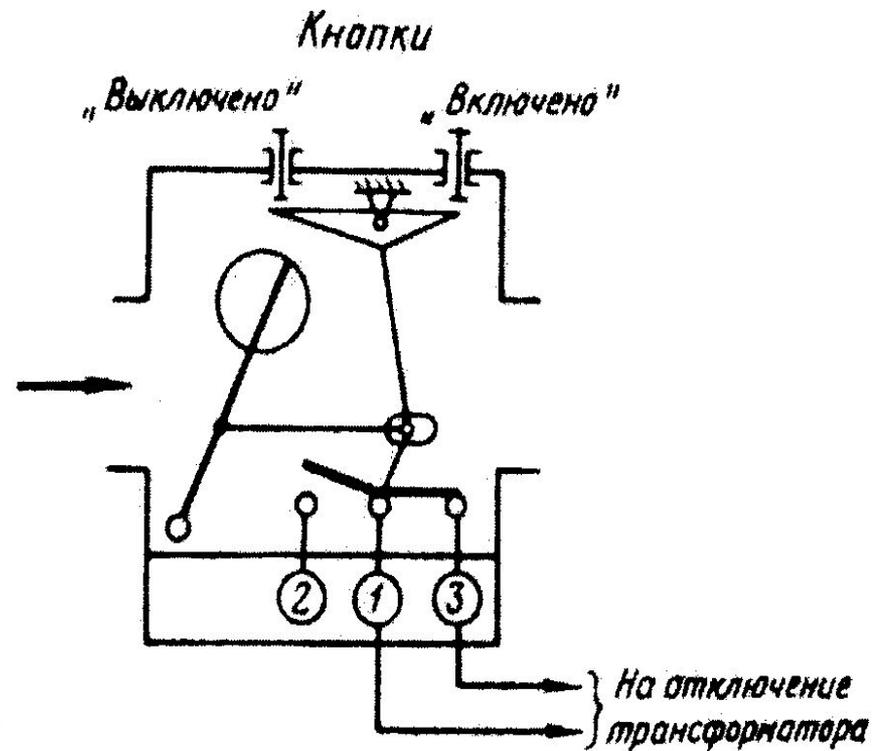


1-скоба, 2-возвратная пружина, 3-выступ, 4-защёлка, 5-винт, 6-груз, 7-окно,
8-геркон, 9-пластина, 10-держатель груза

Струйное реле RS-1000 (Болгария) (функциональная схема)

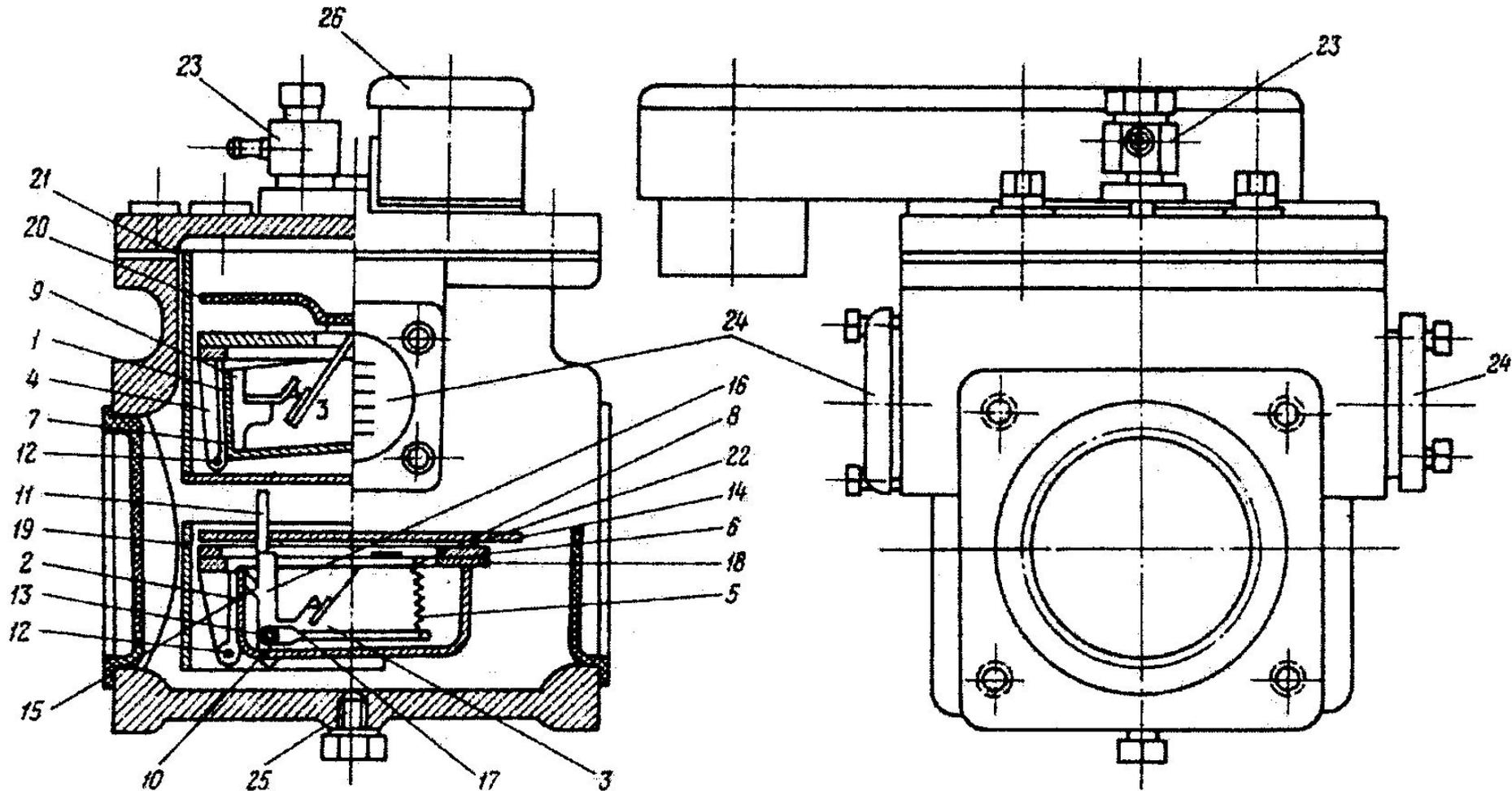


в нормальном режиме



в режиме срабатывания

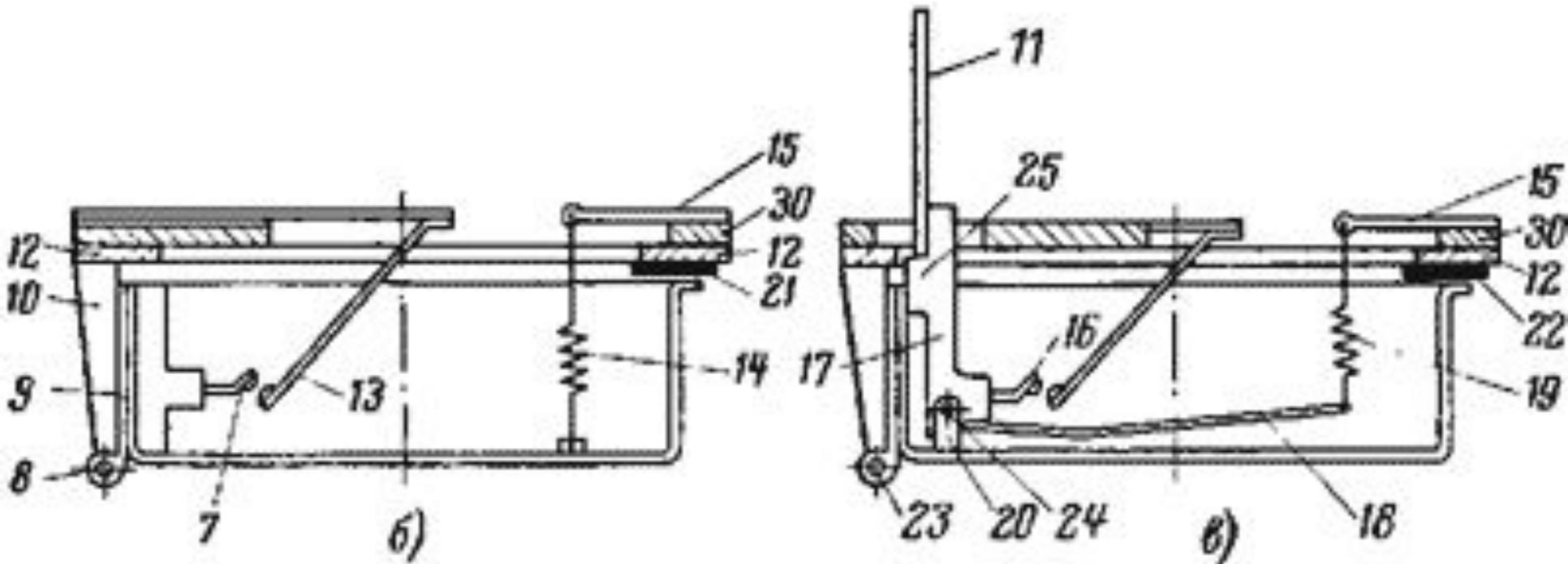
Газовое реле РГЧЗ-66



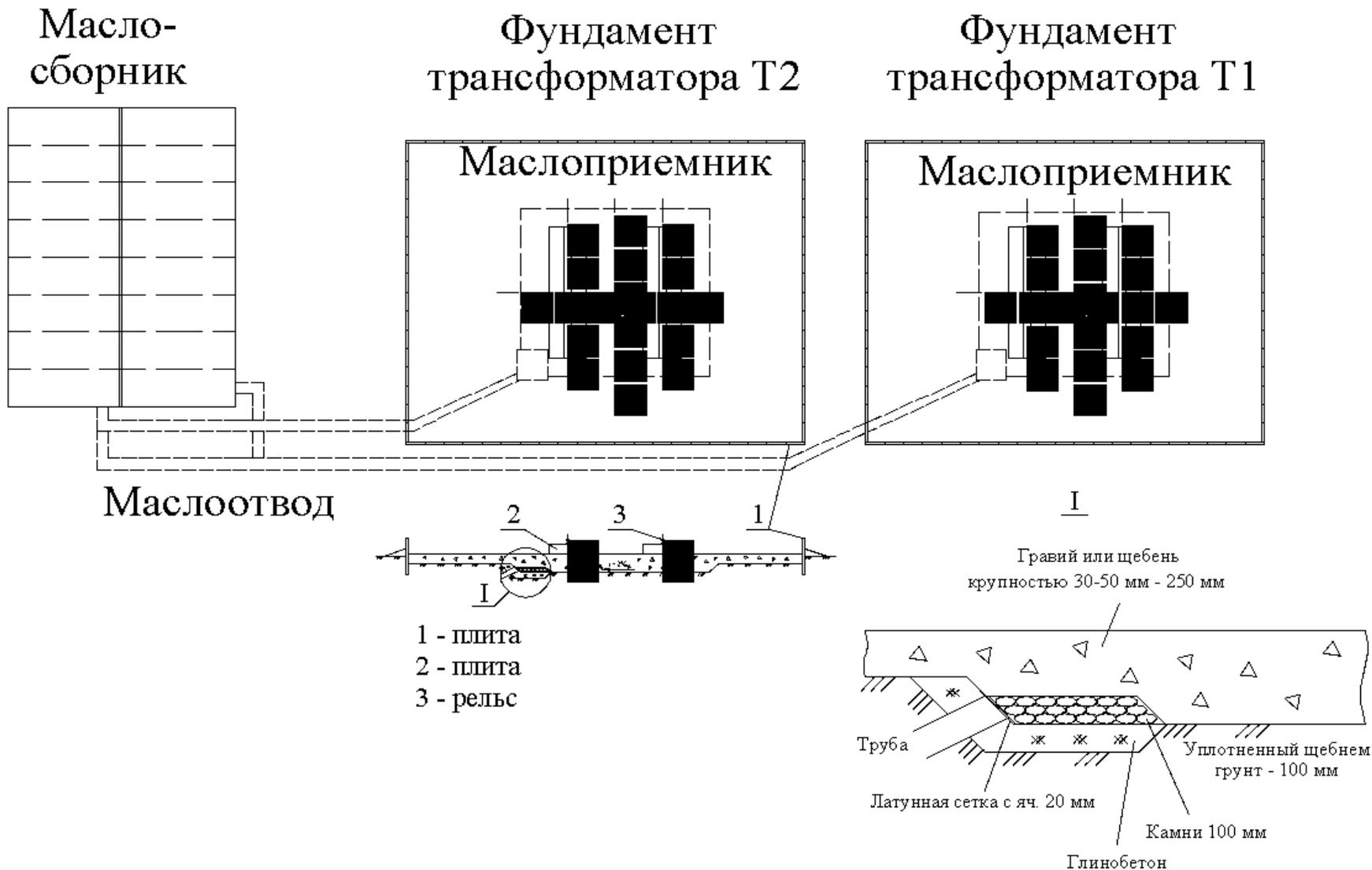
1, 2 — чашки; 3 — контакт; 4, 9, 16 — стойки; 5 — спиральная пружина; 6 — сборочное кольцо; 7, 8 — держатели; 10 — скобообразная стойка; 11 — отключающая пластина; 12, 13 — оси; 14 — прокладка; 15 — выступ; 17 — рычаг; 18 — пластина; 19, 20, 21, 22 — экраны; 23 — кран; 24 — смотровое стекло; 25 — пробка; 26 — коробка выводов

Газовое реле РГЧЗ-66:

б) верхний элемент; в) нижний элемент

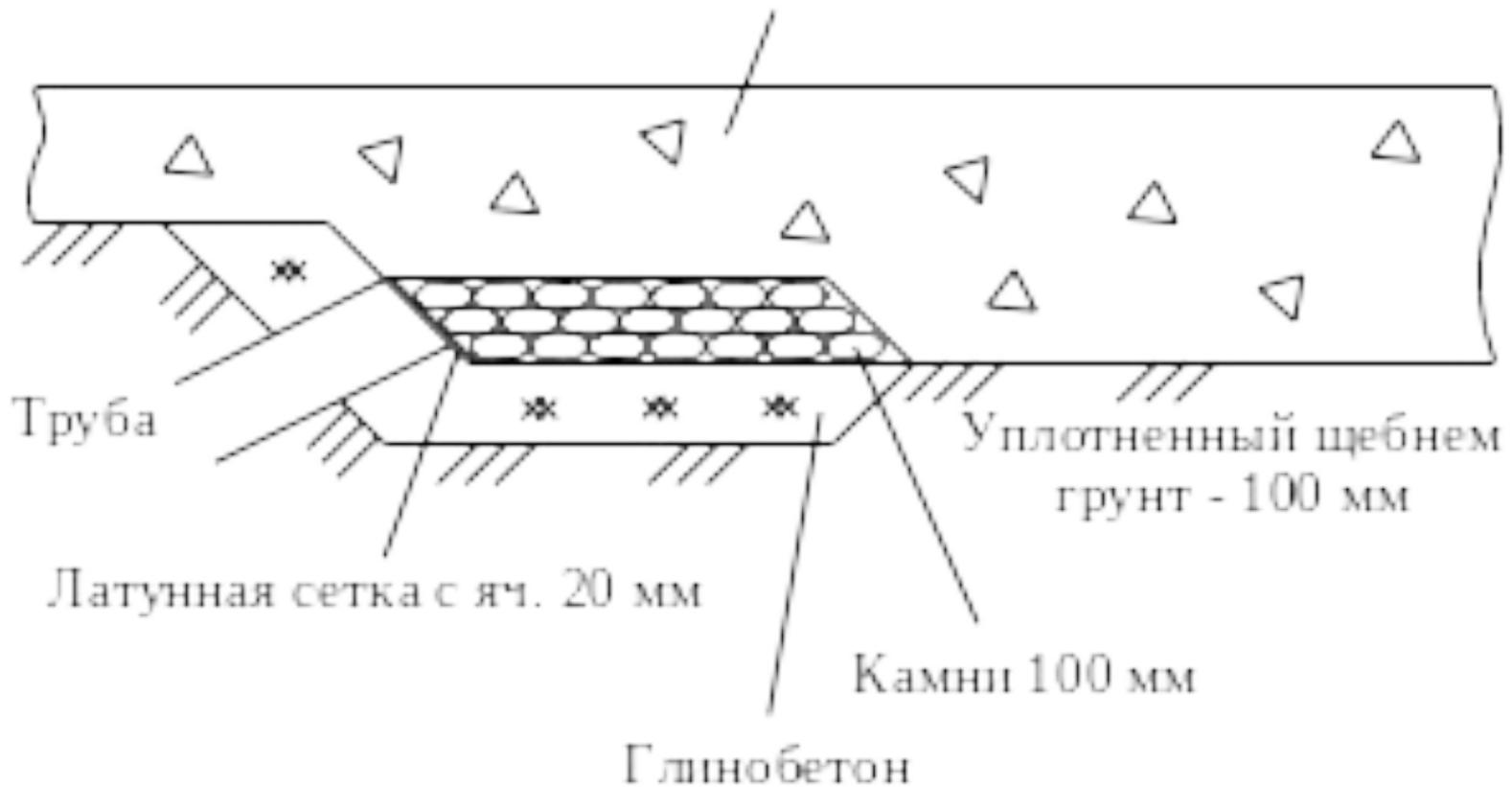


Устройства по сбору и удалению масла силовых трансформаторов



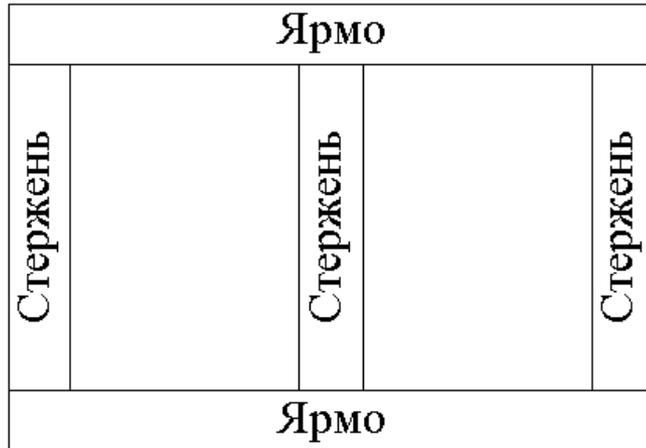
Маслоприёмник

Гравий или щебень
крупностью 30-50 мм - 250 мм

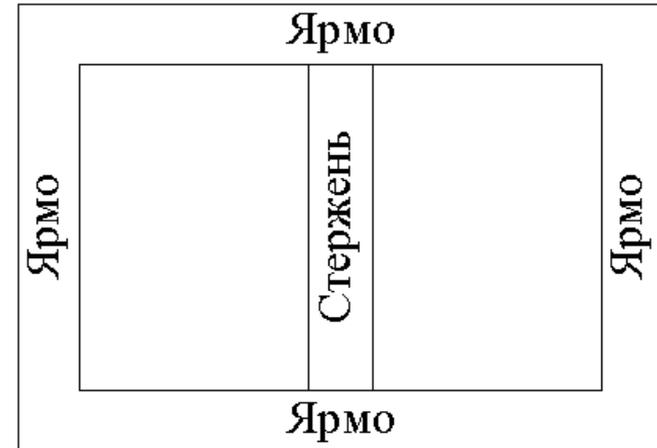


Магнитопровод

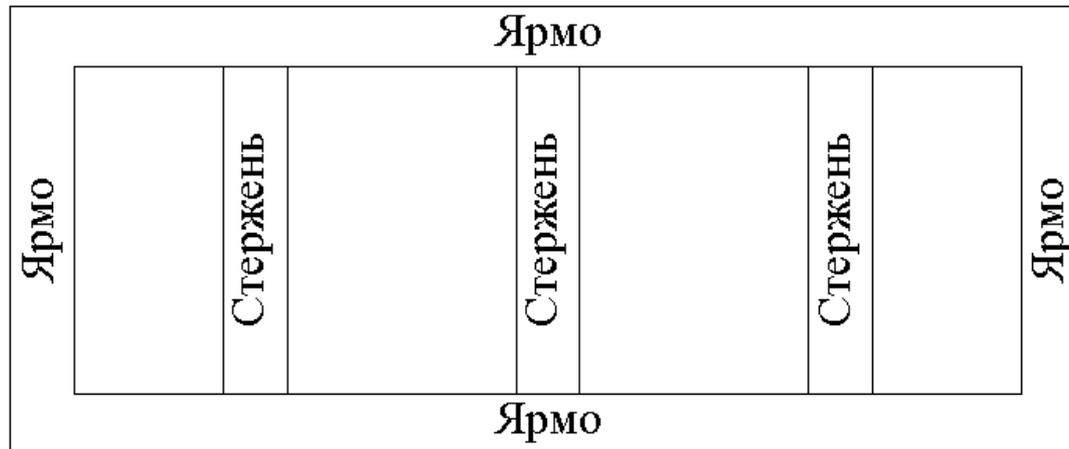
Стержневая конструкция



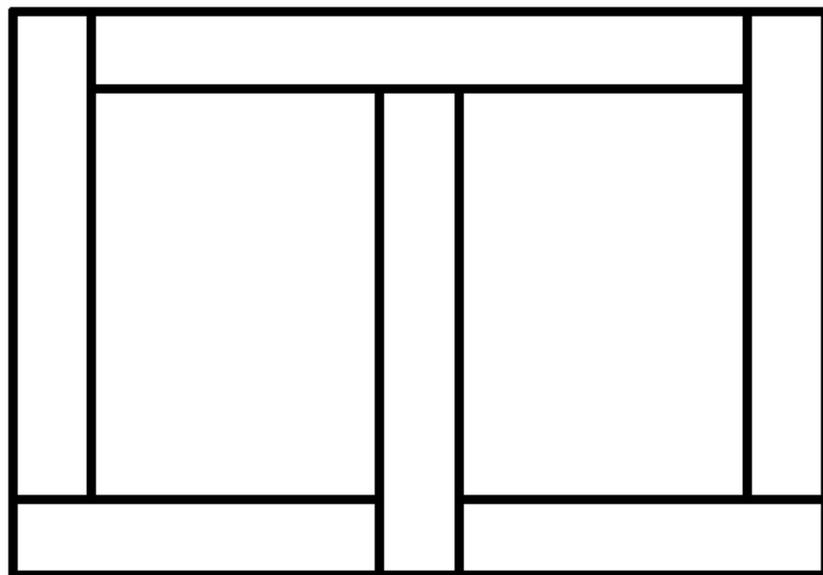
Броневая конструкция



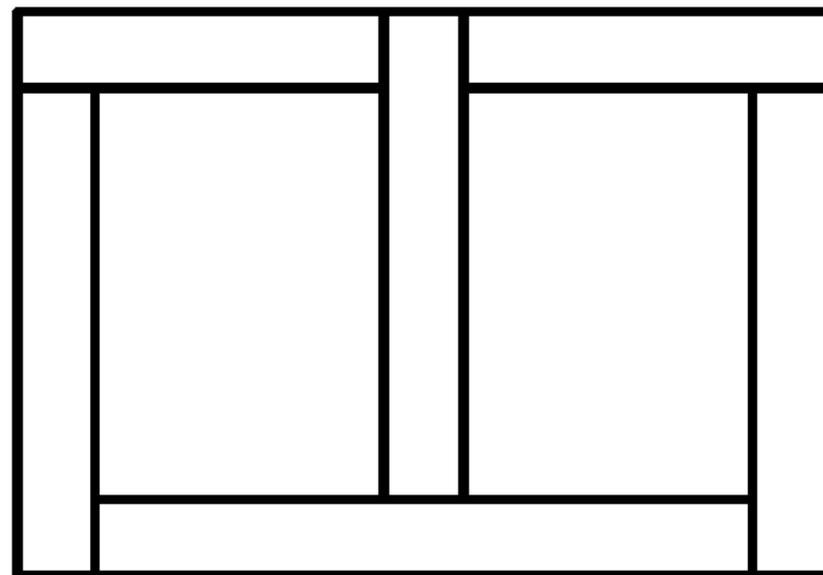
Бронестержневая конструкция



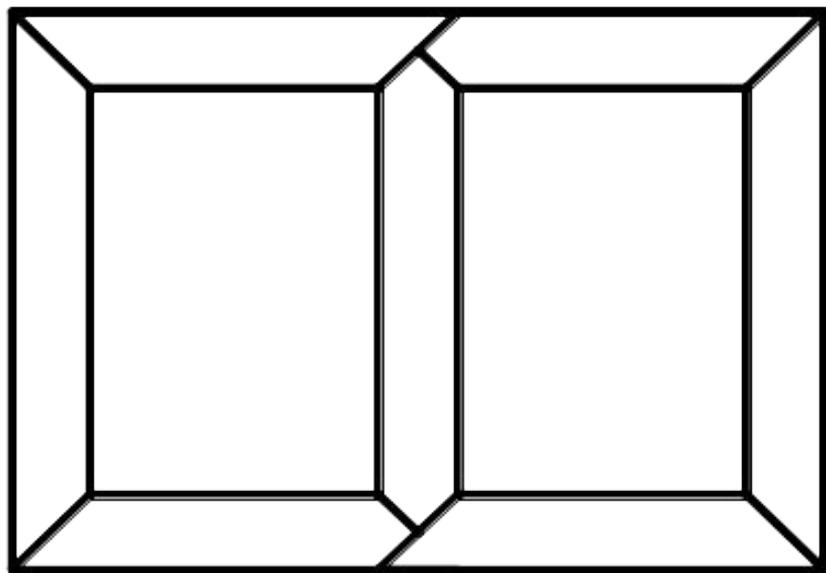
Нечётный слой



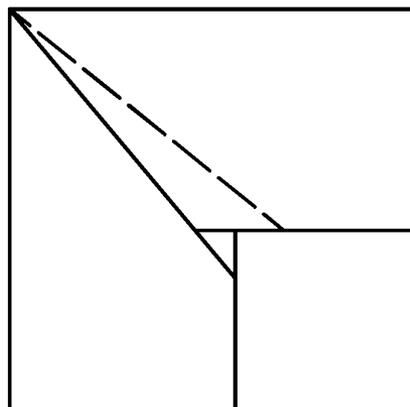
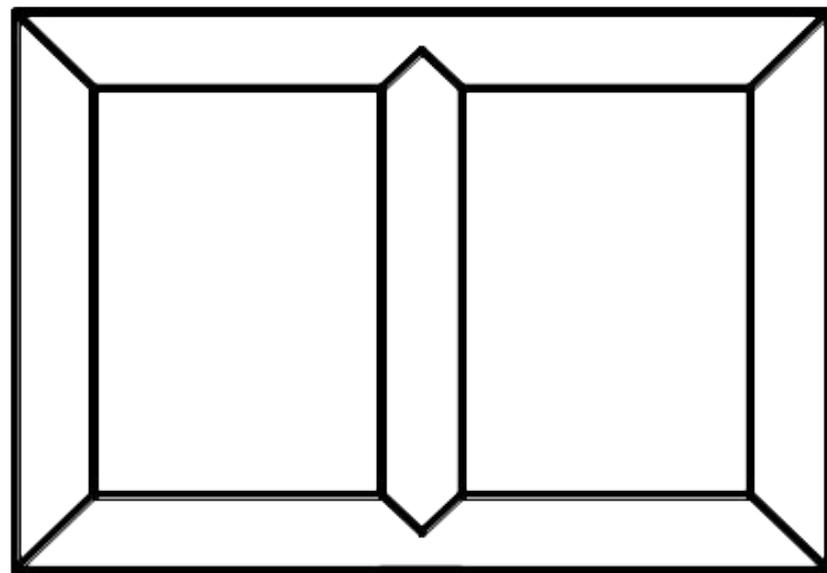
Чётный слой



Нечётный слой

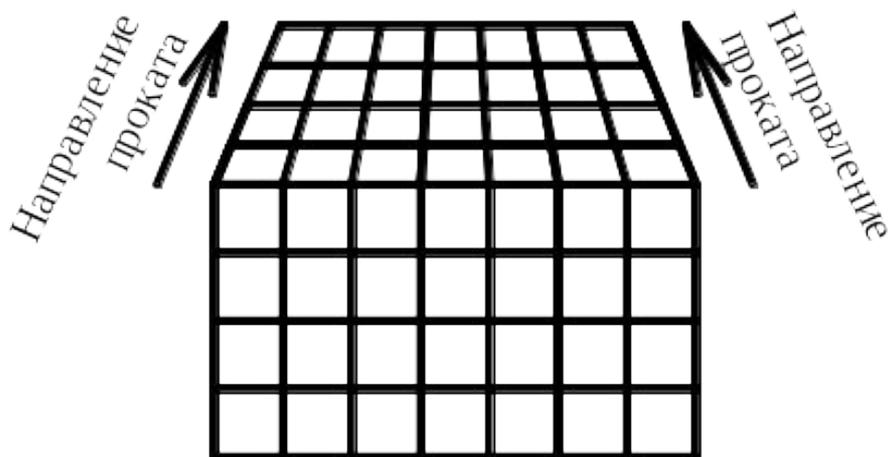


Чётный слой

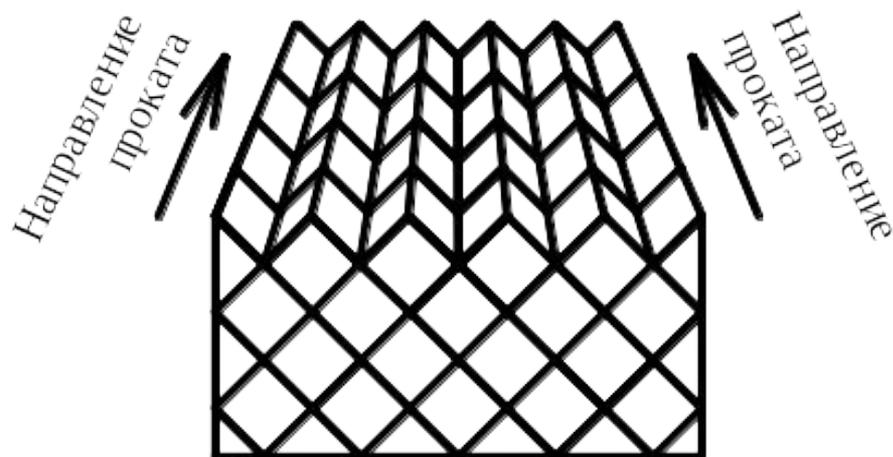


Структура электротехнической холоднокатаной стали

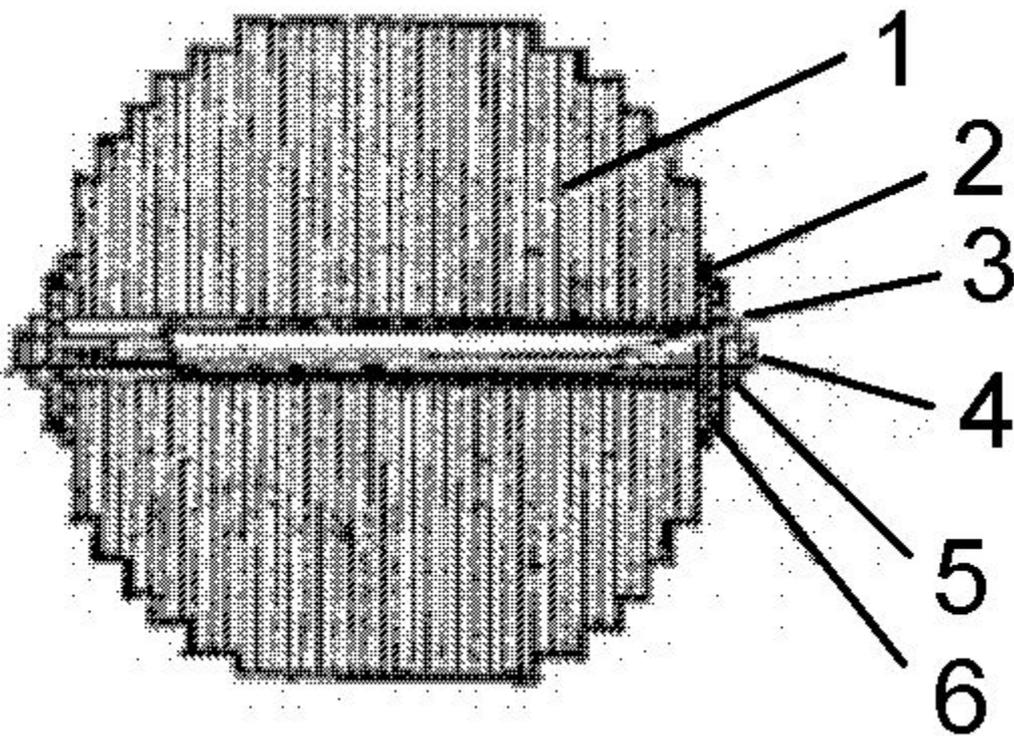
Кубическая текстура



Ребровая текстура

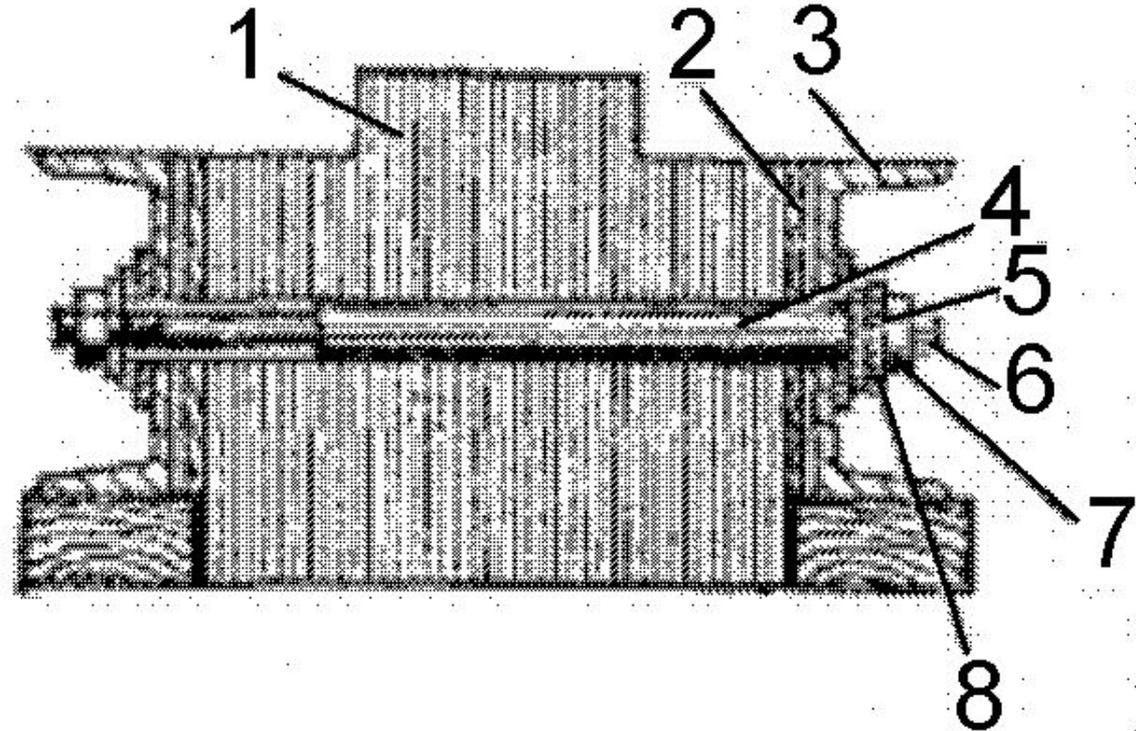


Прессовка магнитопровода СКВОЗНЫМИ ШПИЛЬКАМИ



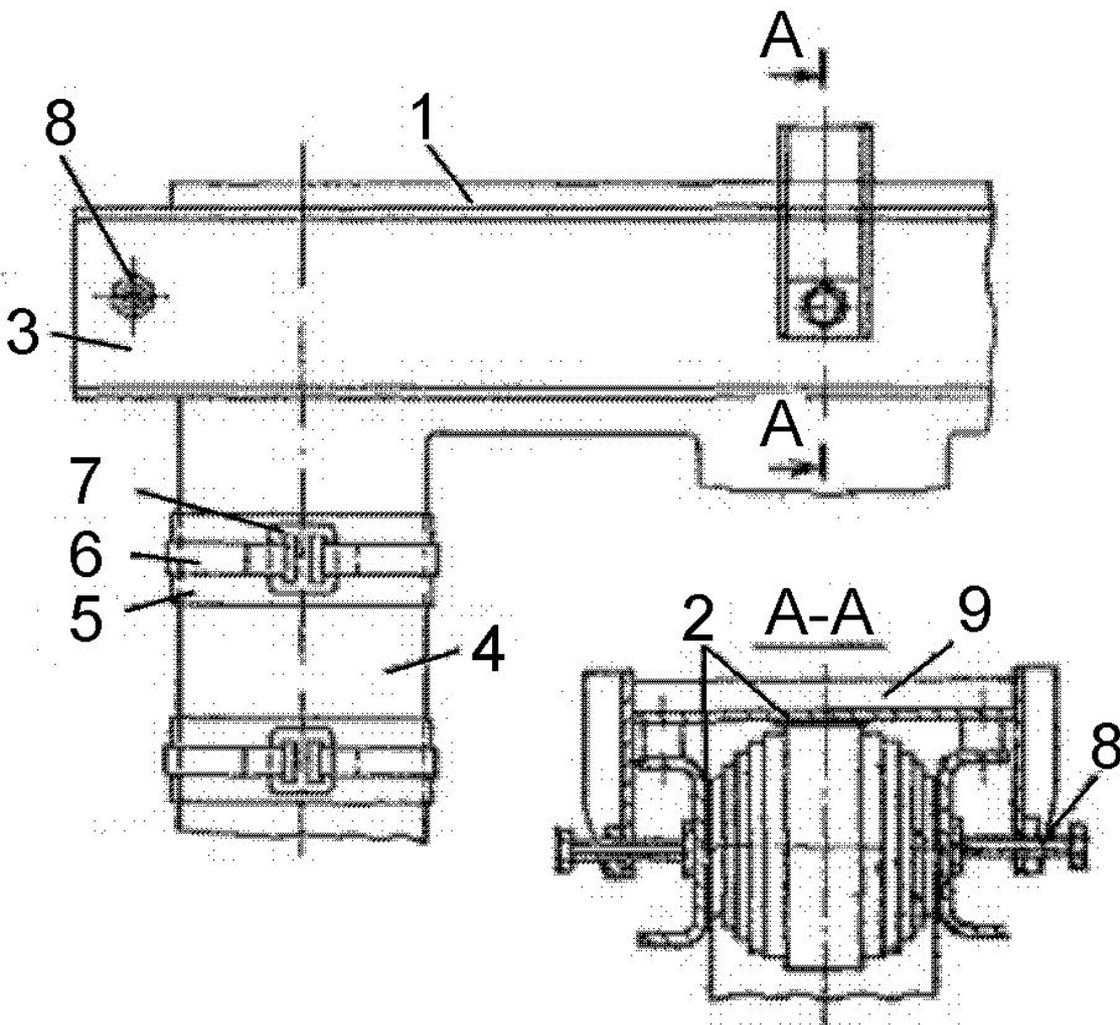
1. стержень магнитопровода
2. изоляционная шайба
3. бумажно-бакелитовая трубка
4. сквозная стяжная шпилька
5. гайка
6. стальная шайба

Прессовка ярма СКВОЗНЫМИ ШПИЛЬКАМИ



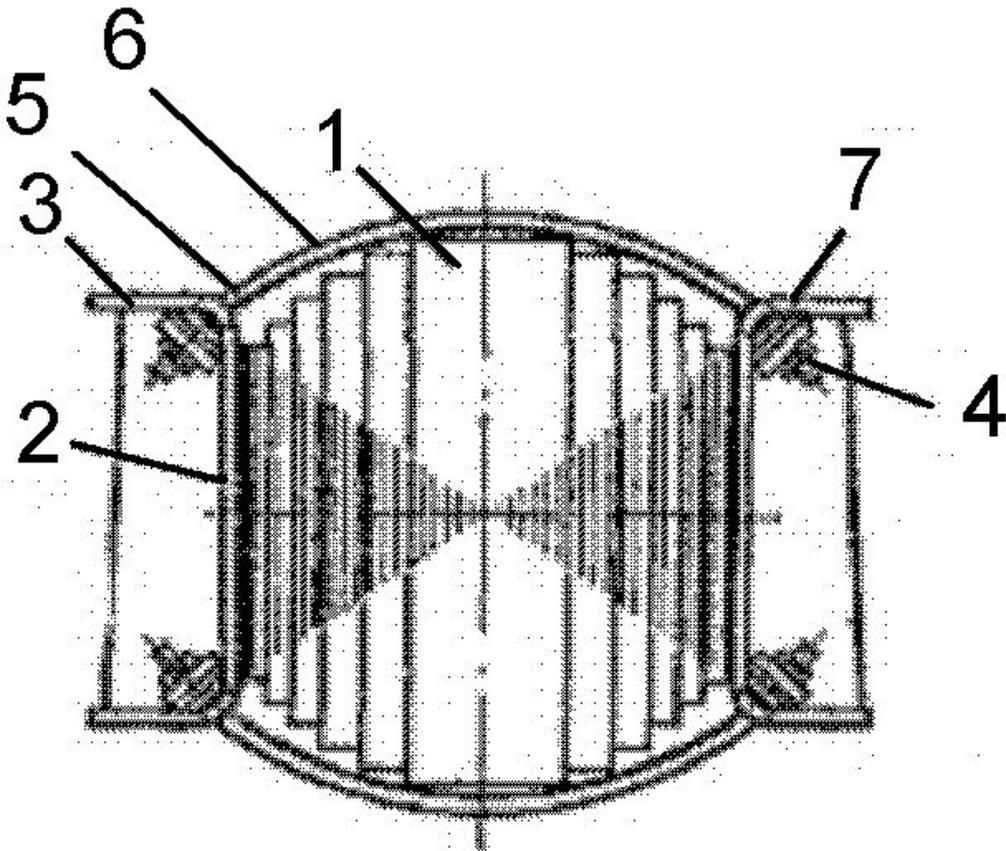
1. ядро;
2. картонная изоляция;
3. ярмовая балка
4. бумажно-бакелитовая трубка;
5. изоляционная шайба;
6. сквозная стяжная шпилька;
7. гайка;
8. стальная шайба

Прессовка ярм внешними шпильками, стержней бандажами



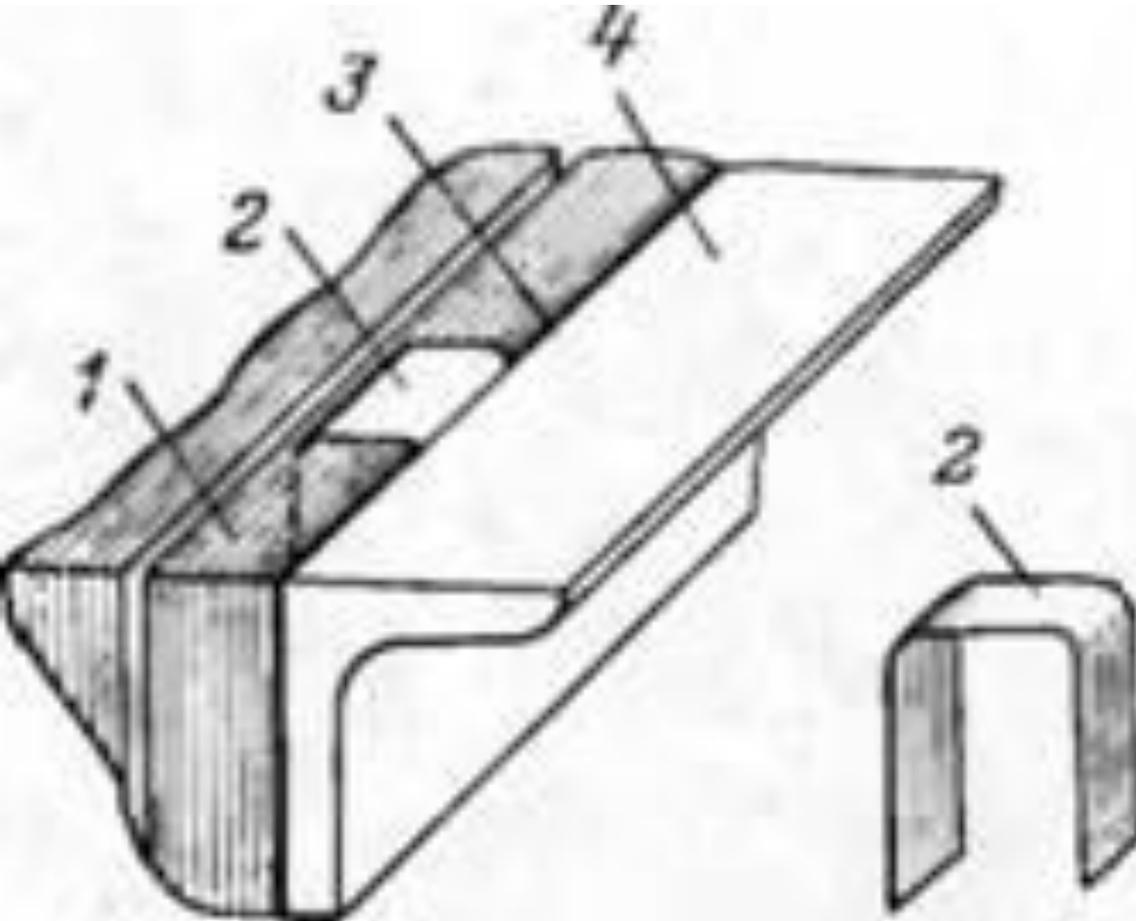
1. ярмо;
2. картонная изоляция;
3. ярмовая балка;
4. стержень магнитопровода;
5. картонная подбандажная изоляция;
6. стальной бандаж;
7. замок бандажа (изоляция);
8. внешняя шпилька;
9. скоба

Прессовка ярма полубандажами



1. ярмо;
2. картонная изоляция;
3. ярмовая балка;
4. гайка;
5. картонная изоляция полубандажа;
6. стальной полубандаж;
7. изоляционная прокладка (стеклотекстолит)

Заземление магнитопровода



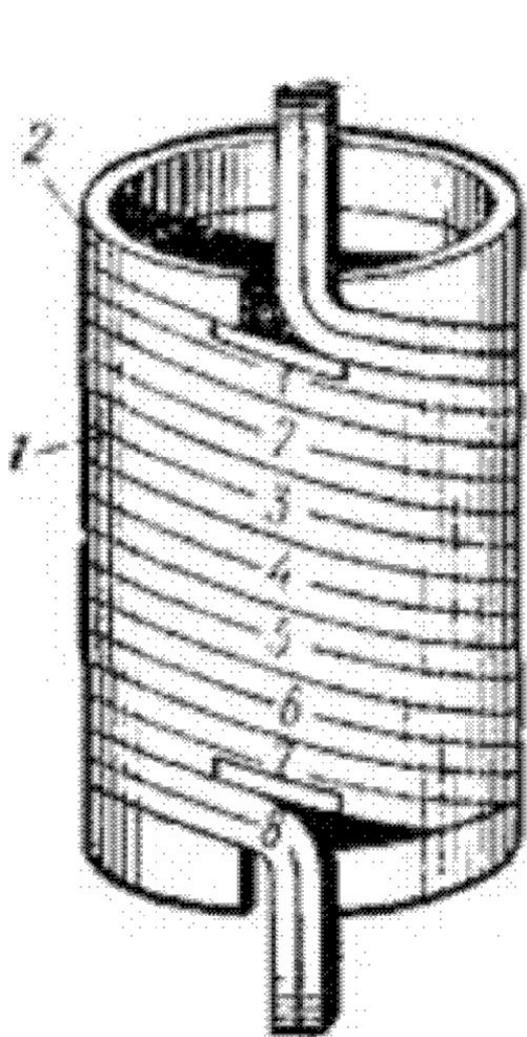
- 1- первый пакет магнитопровода
- 2 - луженая медная лента размерами 0,3x30x120 мм
- 3 -электрокартонная прокладка
- 4 - ярмовая балка стороны низшего напряжения (НН).

Заземление магнитопровода

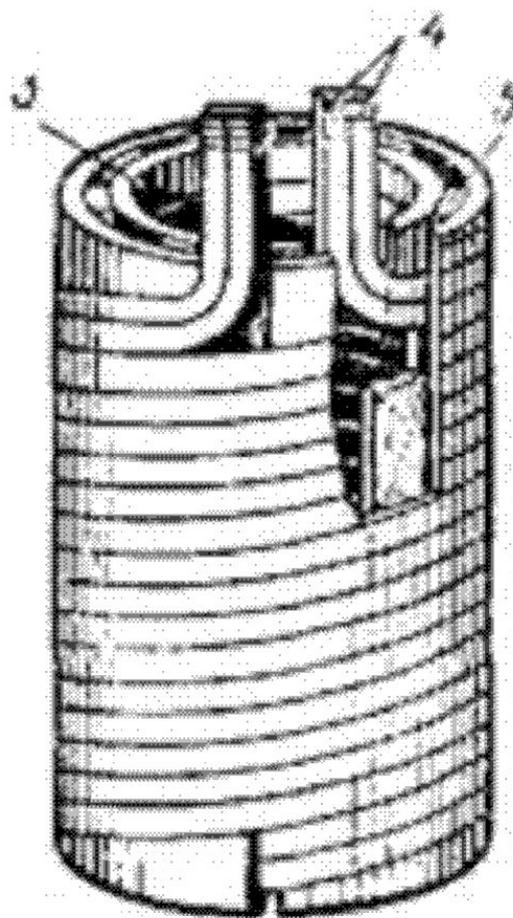
- Во время работы трансформатора между его обмотками и заземленными частями (например, баком) существует электрическое поле. Все металлические части трансформатора, находящиеся в этом поле, заряжаются, т. е. приобретают некоторый потенциал. Между заряженными деталями и заземленным баком возникают разности потенциалов. Несмотря на малую величину, они могут оказаться достаточными для пробоя небольших изоляционных промежутков, разделяющих металлические части.
- Пробои нежелательны, так как они ведут к разложению и порче масла и всегда сопровождаются характерным треском, что вызывает сомнения в исправности изоляции трансформатора. Поэтому магнитопровод и детали его крепления обязательно заземляют, т. е. придают им всем одинаковый потенциал — потенциал бака (земли); возникающие при этом электрические заряды по заземлениям «стекают» с металлических деталей трансформатора в землю.
- Заземляют ярмовые балки, все металлические крепления и детали, за исключением горизонтальных стяжных шпилек, потенциал которых всегда близок к потенциалу стали магнитопровода. Заземление осуществляют с помощью медных лент, вставляемых между пластинами стали магнитопровода и закрепляемых другими концами на ярмовой балке. Верхнюю и нижнюю балки связывают вертикальными стяжными шпильками, а с заземленным баком трансформатора — подъемной шпилькой.
- Возможны различные схемы заземления металлических деталей: они зависят от конструкции магнитопровода, крепления активной части в баке, связи между отдельными деталями. В любом случае выполнение указаний о заземлении отдельных элементов конструкции трансформатора является обязательным.

Обмотки

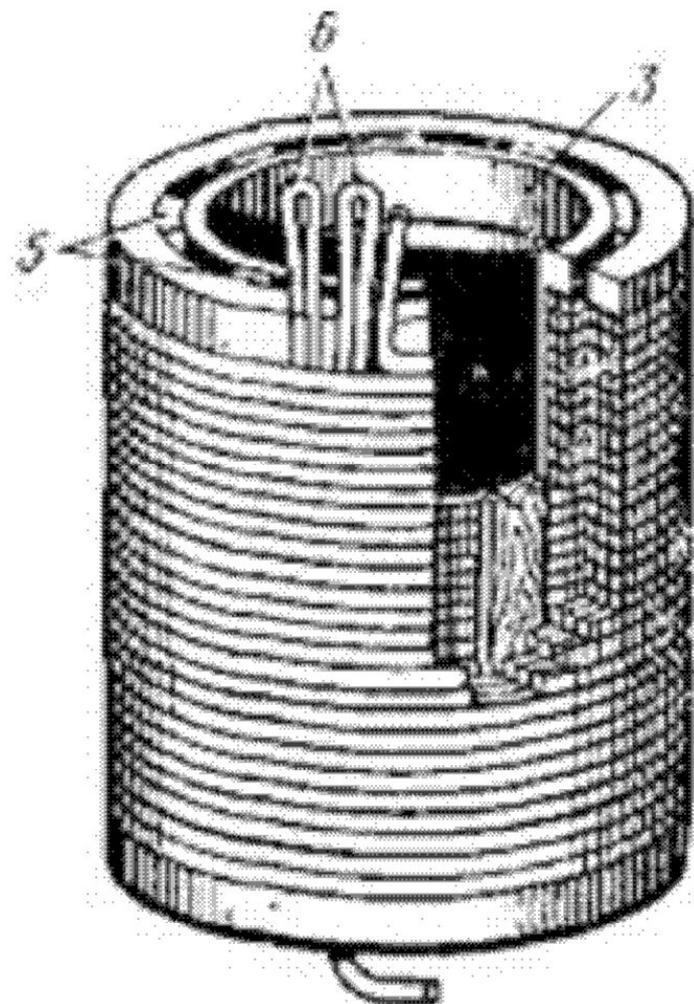
Цилиндрические обмотки



однослойная



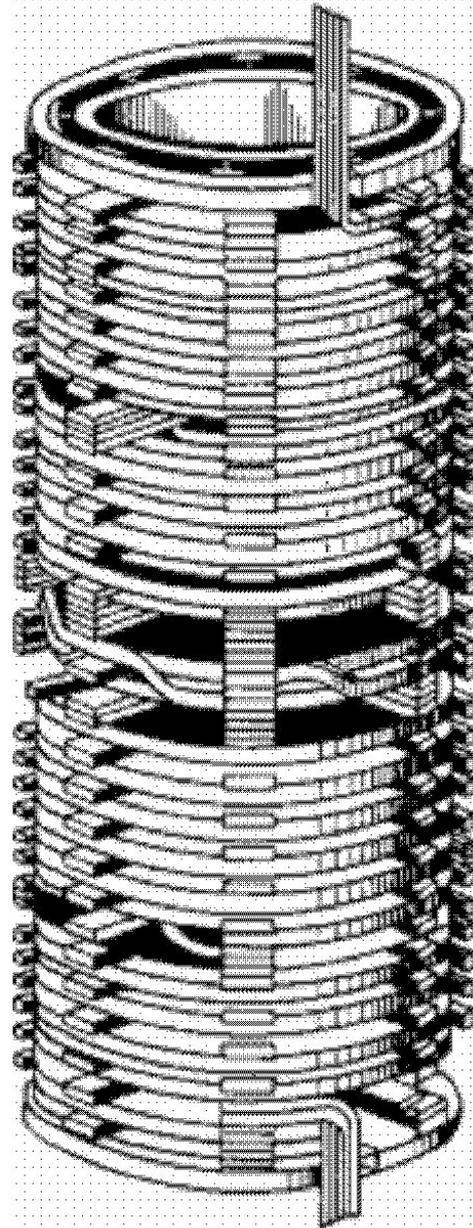
двухслойная



многослойная из круглого провода

1 — витки из прямоугольного провода, 2 — разрезные выравнивающие кольца, 3 — бумажно-бакелитовый цилиндр, 4 — выводной конец первого слоя обмотки, 5 — вертикальные рейки, 6 — внутренние ответвления обмотки

Винтовые (спиральные) обмотки



Емкостная защита трансформатора

Перенапряжения:

- коммутационные
- при замыкании на землю
- **грозовые (!)**

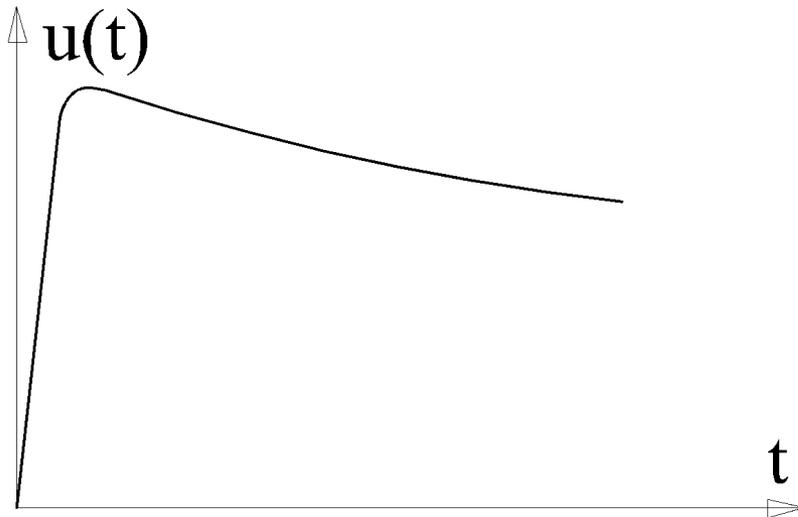
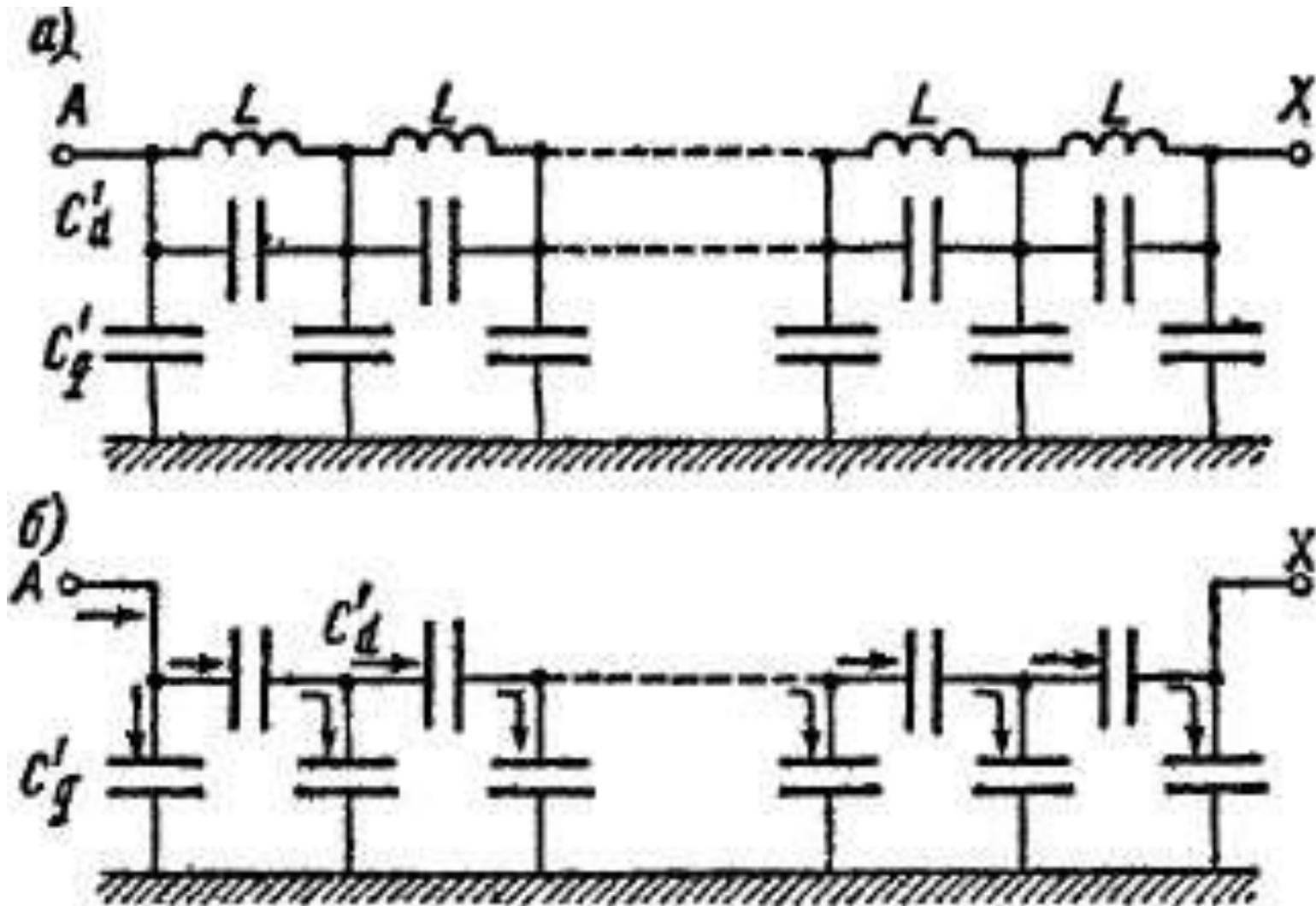
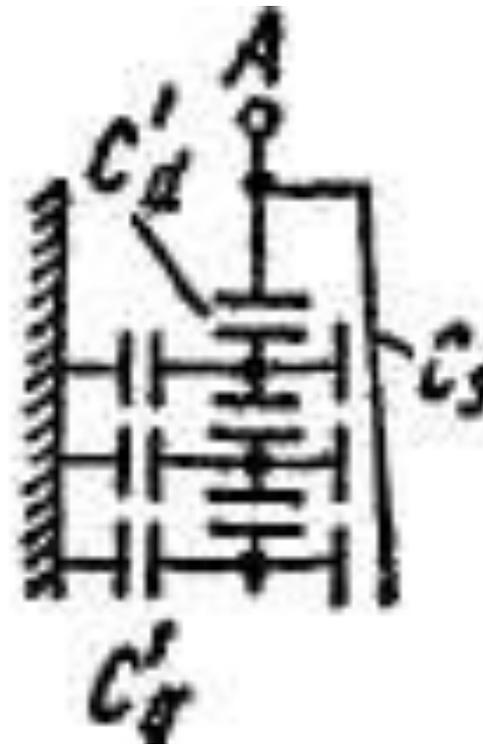
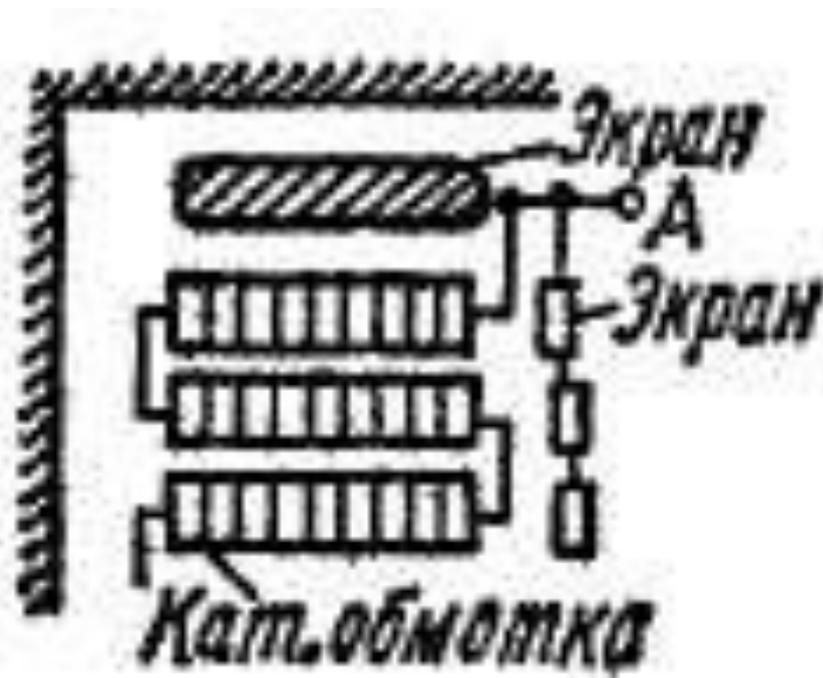


Схема замещения обмоток трансформатора



Экранные кольца:

- в начале обмотки;
- вокруг первых катушек обмотки



Характеристики (авто)трансформаторов

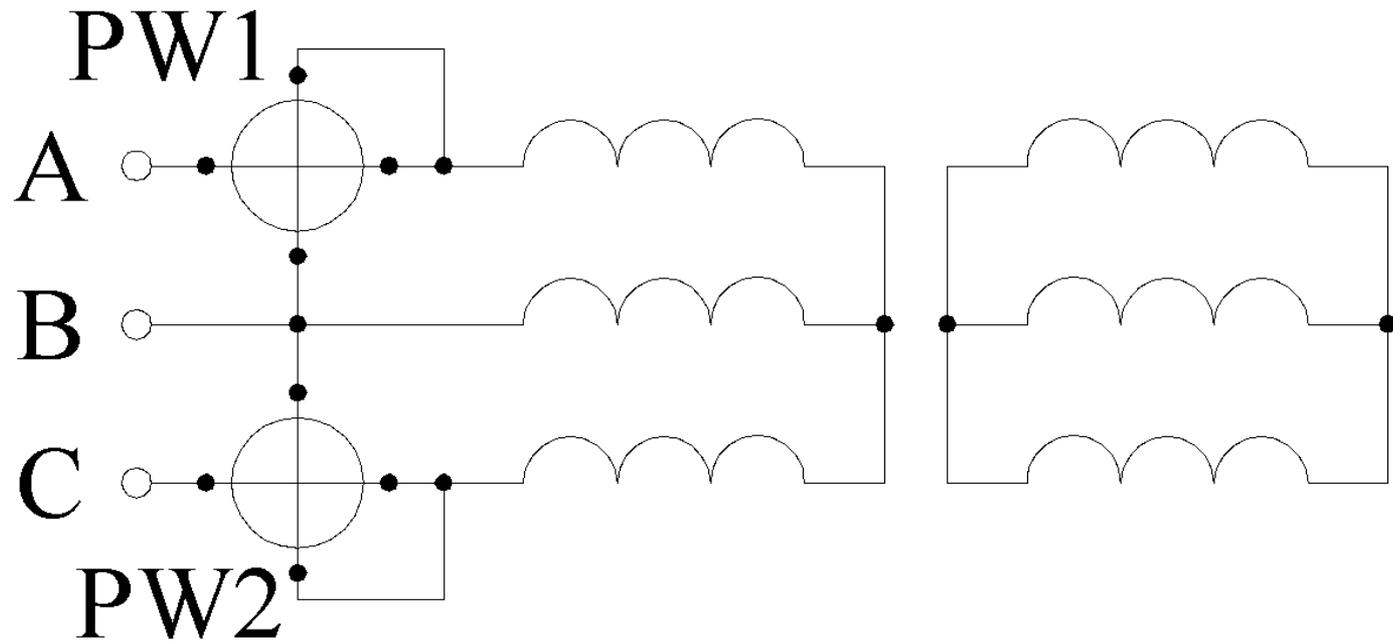
- $S_{\text{НОМ}}$, кВА
- $U_{\text{ВН}}, U_{\text{НН}}, (U_{\text{СН}})$, кВ
- $u_{\text{к}}$, %
- $(u_{\text{КВ-С}}, u_{\text{КВ-Н}}, u_{\text{КС-Н}}, u_{\text{КН-Н}}, \%)$
- $P_{\text{к}}$, кВт
- $(P_{\text{КВ-С}}, P_{\text{КВ-Н}}, P_{\text{КС-Н}}, P_{\text{КН-Н}}, \text{кВт})$
- $P_{\text{х}}$, кВт
- $I_{\text{х}}$, %

Мощности КЗ энергосистем (по ГОСТ 11677-85)

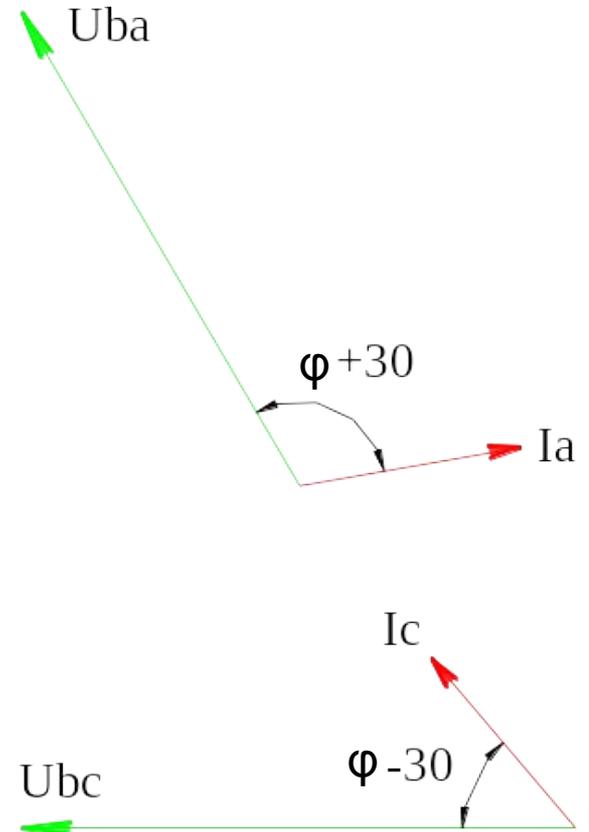
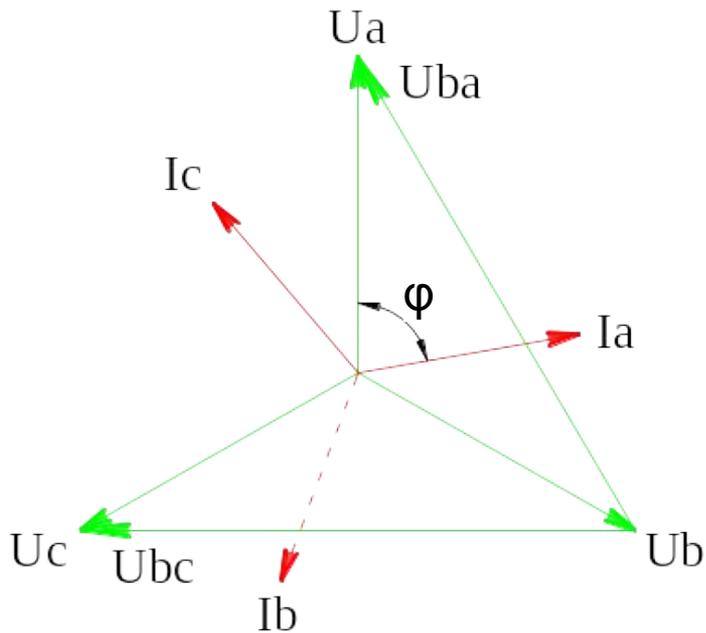
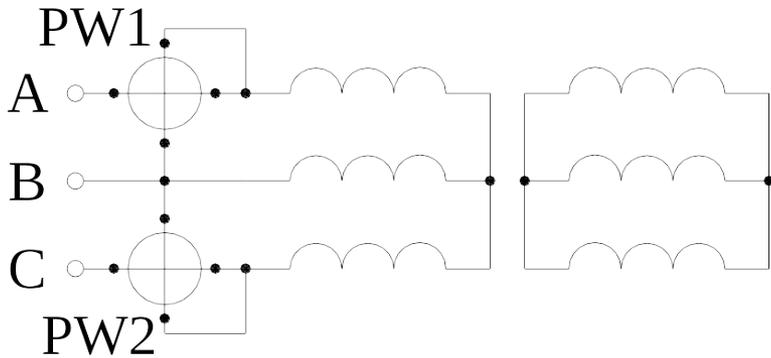
U _{ном} , кВ	S _{кз} , МВА
< 10	2 000 (500*)
10...35	5 000 (2 500*)
110	15 000
220	25 000
330	35 000
500	50 000
750	75 000

* Для трансформаторов с U_{вн} < 110 кВ (за исключением ТСН)

Измерение потерь короткого замыкания методом двух ваттметров



Измерение потерь короткого замыкания методом двух ваттметров



Измерение потерь короткого замыкания методом двух ваттметров

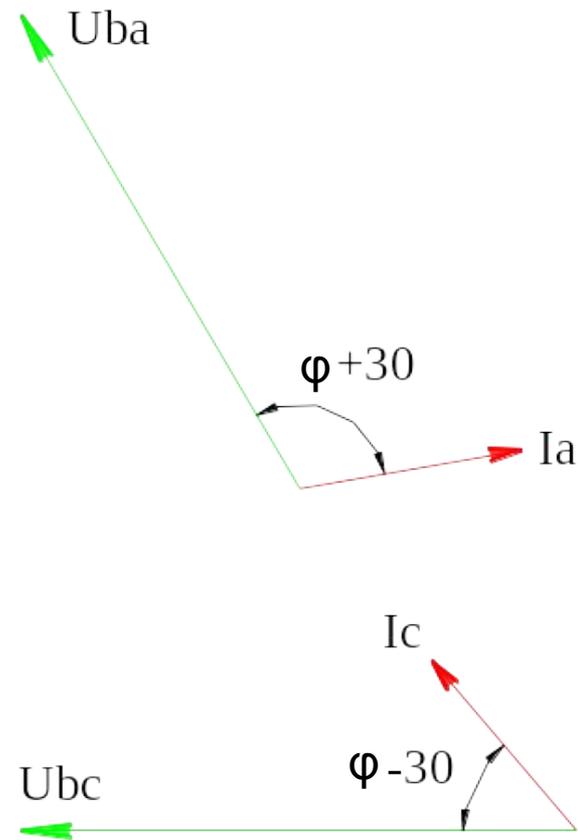
$$P_1 + P_2 =$$

$$= I_a U_{ba} \cos(\varphi + 30) + I_c U_{bc} \cos(\varphi - 30) =$$

$$= I_\phi U_\Delta \cos(\varphi + 30) + I_\phi U_\Delta \cos(\varphi - 30) =$$

$$= I_\phi U_\Delta (\cos(\varphi + 30) + \cos(\varphi - 30)) =$$

$$= I_\phi U_\Delta (\dots? \dots)$$



Измерение потерь короткого замыкания методом двух ваттметров

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha + \beta}{2} \cos\frac{\alpha - \beta}{2}$$

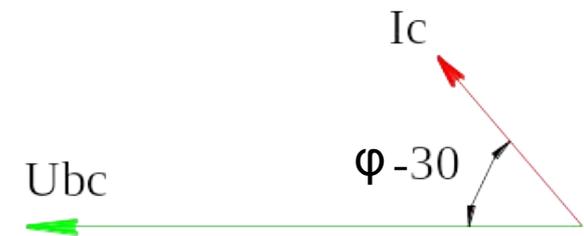
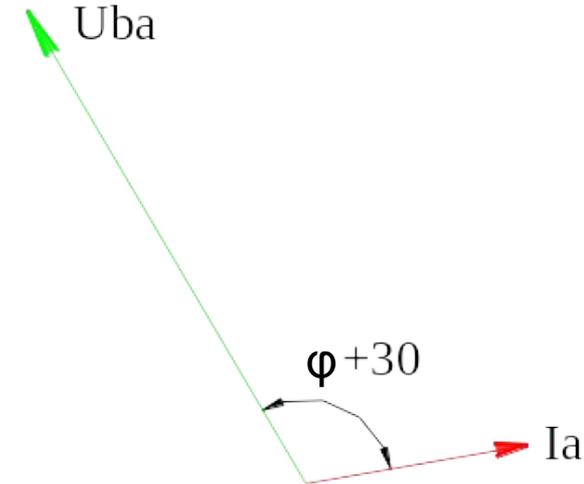
$$\cos(\varphi + 30^\circ) + \cos(\varphi - 30^\circ) =$$

$$= 2\cos\frac{(\varphi + 30^\circ) - (\varphi - 30^\circ)}{2} \cos\frac{(\varphi + 30^\circ) + (\varphi - 30^\circ)}{2} =$$

$$= 2\cos 30^\circ \cos\varphi =$$

$$= 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\varphi =$$

$$= \sqrt{3} \cos\varphi$$



Измерение потерь короткого замыкания методом двух ваттметров

$$P_1 + P_2 =$$

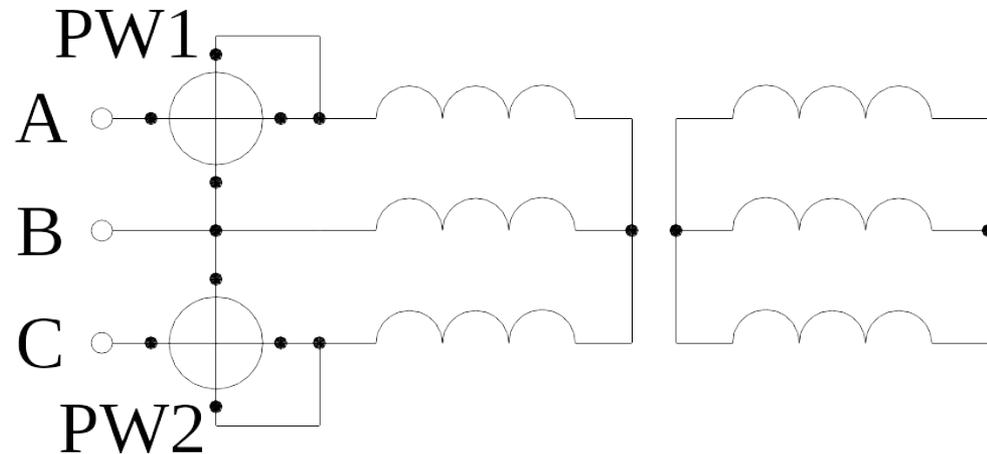
$$= \sqrt{3} I_{\phi} U_{\text{л}} \cos\varphi =$$

$$= \sqrt{3} I_{\phi} \sqrt{3} U_{\phi} \cos\varphi =$$

$$= 3 I_{\phi} U_{\phi} \cos\varphi =$$

$$= 3 P_{1\phi} =$$

$$= P_{3\phi}$$



Нагрузочная способность трансформаторов

ГОСТ 14209-97 «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» 01.01.2002

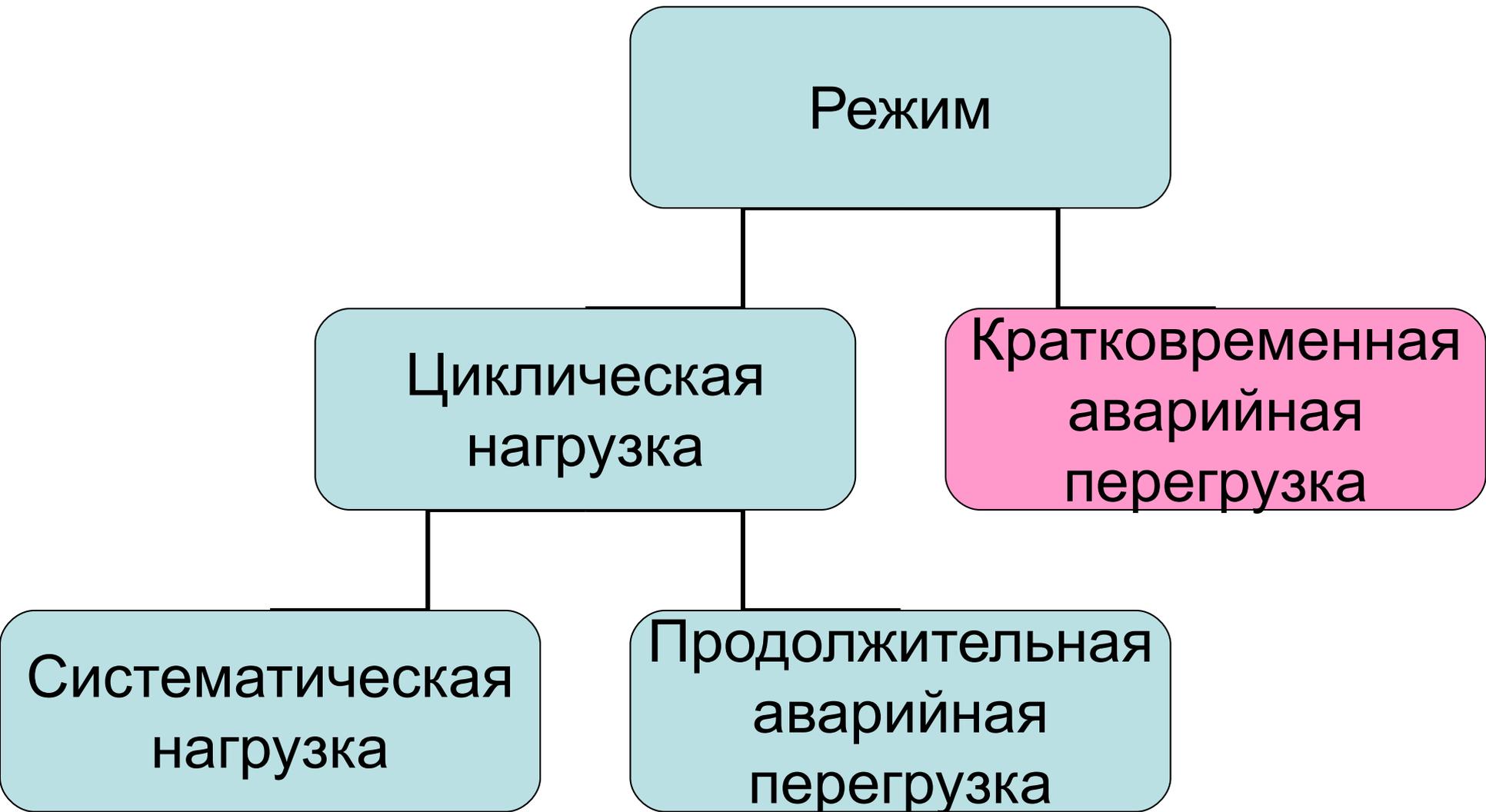
Нагрузки трансформатора:

- номинальные
- допустимые ($I + 5\%$, $U + 10\%$)

Перегрузки трансформатора :

- допустимые систематические
- аварийные

Режимы работы трансформатора



Систематическая нагрузка

- В течение части цикла температура охлаждающей среды может быть более высокой и ток нагрузки превышает номинальный.
- Однако с точки зрения термического износа такая нагрузка эквивалентна номинальной нагрузке при номинальной температуре охлаждающей среды.
- Это достигается за счет понижения температуры охлаждающей среды или тока нагрузки в течение остальной части цикла.
- Периоды с высокой скоростью износа изоляции компенсируются периодами с низкой скоростью износа.

Продолжительная аварийная перегрузка

- Причина – продолжительный выход из строя элементов сети, которые могут быть восстановлены только после достижения установившейся температуры трансформатора.
- Это не обычное рабочее состояние.
- Оно возникает редко, однако может длиться в течение недель или месяцев и вызывать значительный термический износ.
- Тем не менее такая нагрузка не должна быть причиной аварии вследствие термического повреждения или снижения электрической прочности изоляции трансформатора.

Кратковременная аварийная перегрузка

- Чрезвычайно высокая нагрузка, вызванная непредвиденными воздействиями, приводящим к значительным нарушениям нормальной работы сети.
- Температура ННТ проводников достигает опасных значений и в некоторых случаях происходит временное снижение электрической прочности изоляции.
- Однако на короткий период времени этот режим может быть предпочтительнее других.
- Такую перегрузку необходимо быстро снизить или на короткое время отключить трансформатор во избежание его повреждения.
- Допустимая продолжительность такой нагрузки меньше тепловой постоянной времени трансформатора и зависит от достигнутой температуры до перегрузки.
- Обычно продолжительность перегрузки составляет до 0,5 ч.

Воздействие перегрузок

1. Снижение срока службы
2. Опасность кратковременных воздействий
3. Опасность длительных воздействий

1. Снижение срока службы

- **Номинальный срок службы** - это условная величина, принимаемая для непрерывной постоянной нагрузки при нормальной температуре охлаждающей среды и номинальных условиях эксплуатации.
- Номинальный срок службы обычно 25-30 лет.
- **Реальный срок службы** трансформатора сильно зависит от исключительных воздействий:
 - перенапряжения;
 - короткие замыкания;
 - аварийные перегрузки.
- Нагрузка и температура охлаждающей среды, превышающие номинальную, вызывают ускоренный износ и заключают в себе некоторую степень риска.

1. Снижение срока службы

Перегрузка трансформатора приводит к следующему:

- а) **температура** обмоток, отводов, соединений, изоляции и масла увеличивается и может превысить допустимые значения;
- б) возрастают **потоки рассеяния**, образуются вихревые токи, повышается нагрев металлических частей;
- в) добавочные **потоки рассеяния** ограничивают эксплуатационные возможности магнитной системы при высокой индукции;
- г) с изменением температуры изменяется содержание **влаги и газа** в изоляции и масле;
- д) **вводы, переключатели, концевые заделки кабеля и трансформаторы тока** также подвергаются повышенным нагрузкам, что ограничивает возможности их применения.

2. Опасность кратковременных воздействий

- а) Основная опасность – снижение электрической прочности изоляции вследствие **выделения пузырьков газа** в местах с высокой электростатической напряженностью, т.е. в обмотках или соединениях.
- В бумажной изоляции пузырьки газа могут скапливаться при внезапном повышении температуры ННТ до 140...160°C.
 - Допускается резкое, до 180°C, повышение температуры металлических частей, находящихся в масле, но непосредственно не соприкасающихся с изоляцией.
- б) Временное ухудшение механических свойств при повышенной температуре может снизить стойкость трансформатора при КЗ.
- в) При повышении давления во вводах может произойти пробой вследствие утечки масла. Если температура изоляции превышает 140 °С, то во вводах также может происходить скопление газов.
- г) При расширении масла может произойти его перелив из расширителя.
- д) Переключение очень больших токов переключателем может быть опасным.

3. Опасность длительных воздействий

- а) **Скорость термического износа** изоляции проводников повышается по правилу 6°C . Если такое воздействие продолжается достаточно долго, может произойти сокращение ресурса трансформатора.
- б) Интенсивно изнашиваются и другие изоляционные материалы, а также **проводники и механические части**.
- в) Переходное сопротивление контактов **переключающих устройств** может увеличиться и в конечном итоге вызвать недопустимый их перегрев.
- г) **Уплотняющие материалы** в трансформаторе при повышенной температуре становятся более хрупкими.

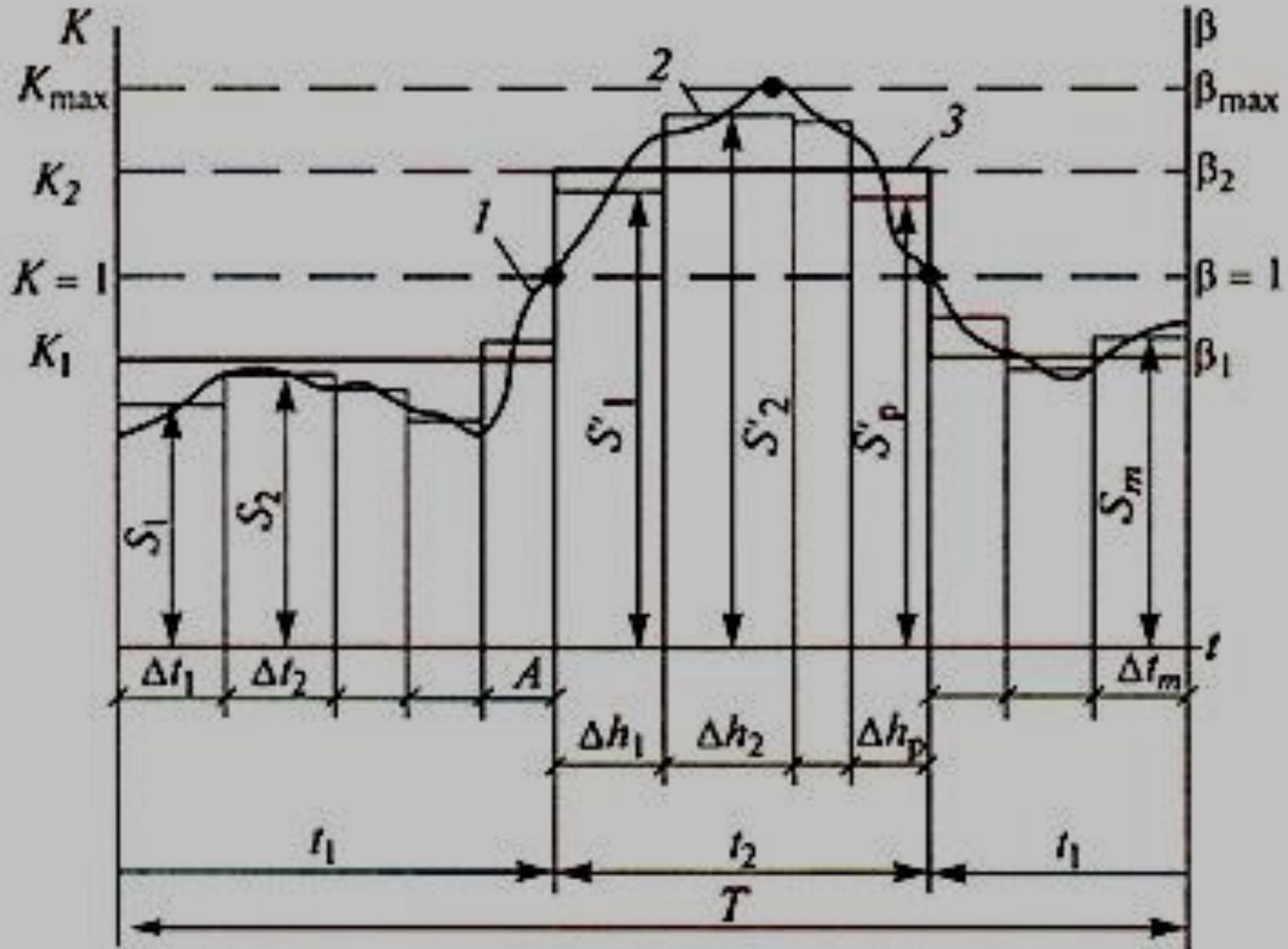
Типы трансформаторов по ГОСТ 14209-97

1. Распределительные – $S_{ном} \leq 2\,500$ кВА;
 $U_{ном} \leq 35$ кВ;
2. Средней мощности – $S_{ном} \leq 100\,000$ кВА;
3. Большой мощности – $S_{ном} > 100\,000$ кВА.

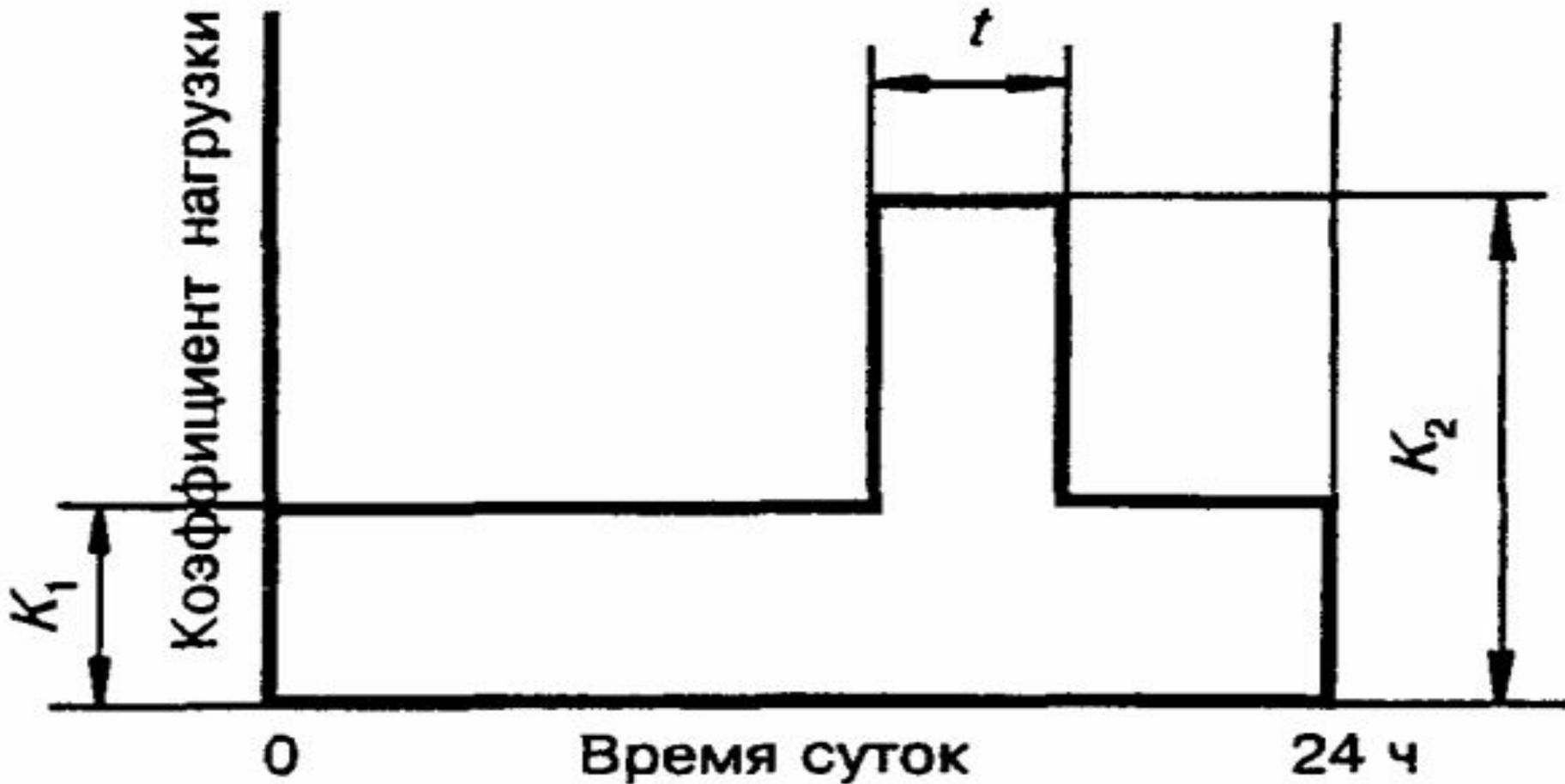
Предельные токи и температуры для различных режимов нагрузки

Тип нагрузки	Трансформаторы		
	распределительные	средней мощности	большой мощности
Режим систематических нагрузок			
Ток, отн. ед.	1,5	1,5	1,3
Температура ННТ и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	140	140	120
Температура масла в верхних слоях, °С	105	105	105
Режим продолжительных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	1,8	1,5	1,3
Температура ННТ и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	150	140	130
Температура масла в верхних слоях, °С	115	115	115
Режим кратковременных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	2,0	1,8	1,5
Температура ННТ и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	–	160	160
Температура масла в верхних слоях, °С	–	115	115

Построение двухступенчатого, эквивалентного по износу изоляции, графика нагрузки



Построение двухступенчатого, эквивалентного по износу изоляции, графика нагрузки



Пример 1 (прямая задача)

По известному трансформатору и недогрузке
найти допустимую перегрузку

Дано: $S_{ном} = 2 \text{ МВА}$

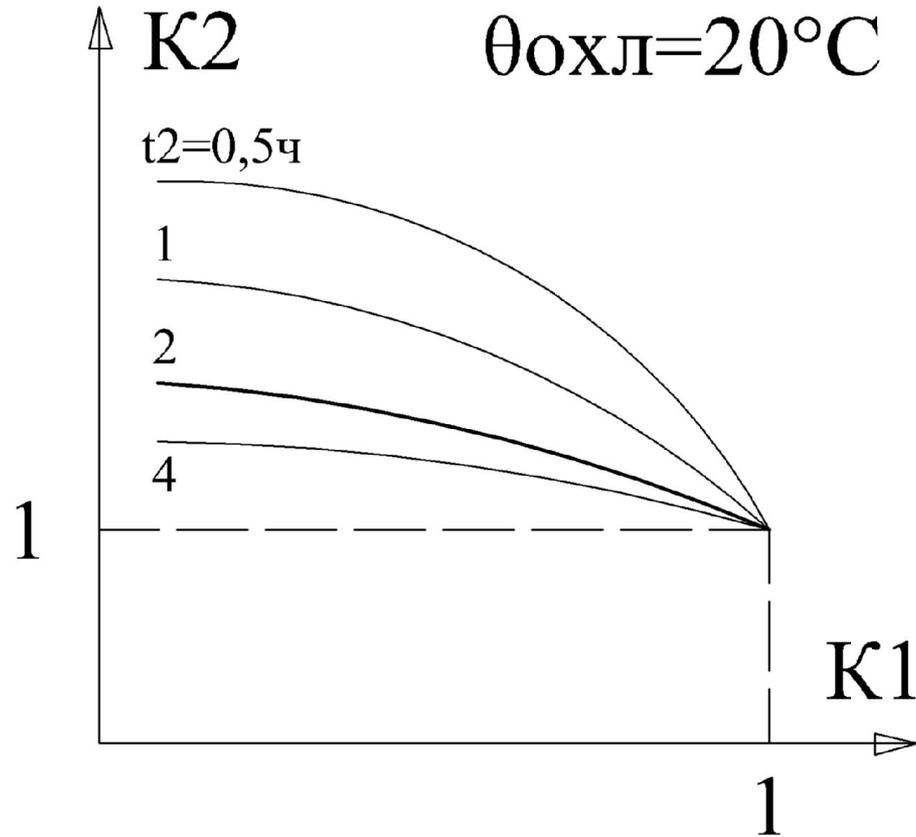
$$S_1 = 1 \text{ МВА}$$

$$t_2 = 2 \text{ ч}$$

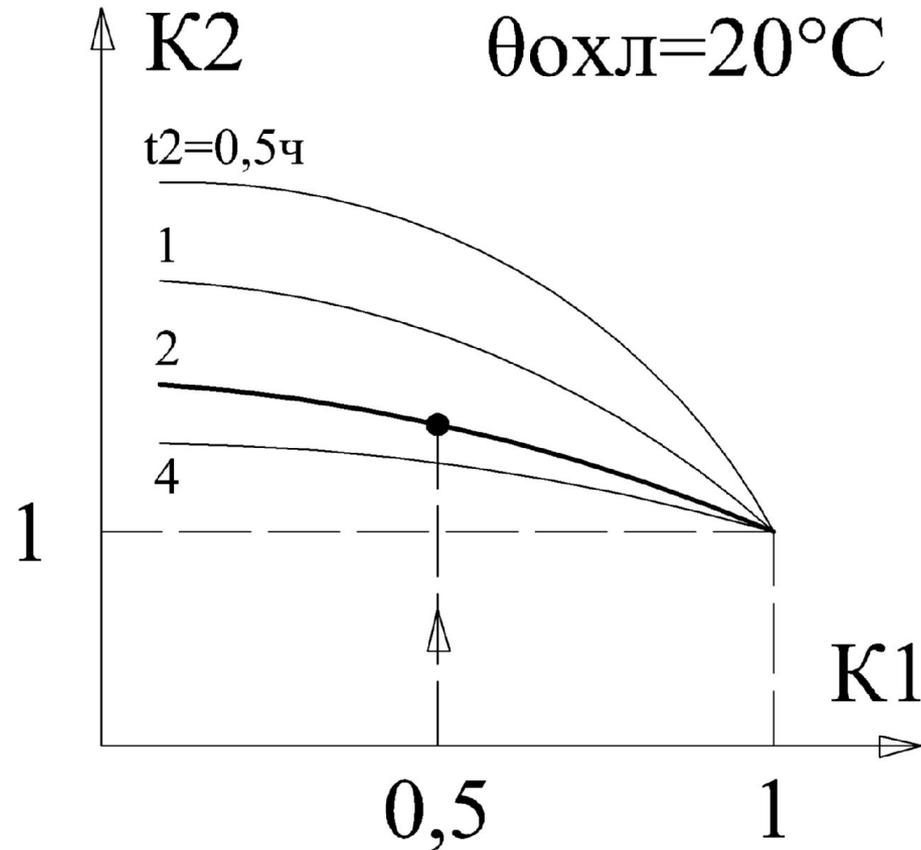
$$\theta_{охл} = 20^\circ\text{C}$$

Найти: $S_2 = ?$

Пример 1 (шаг 1)

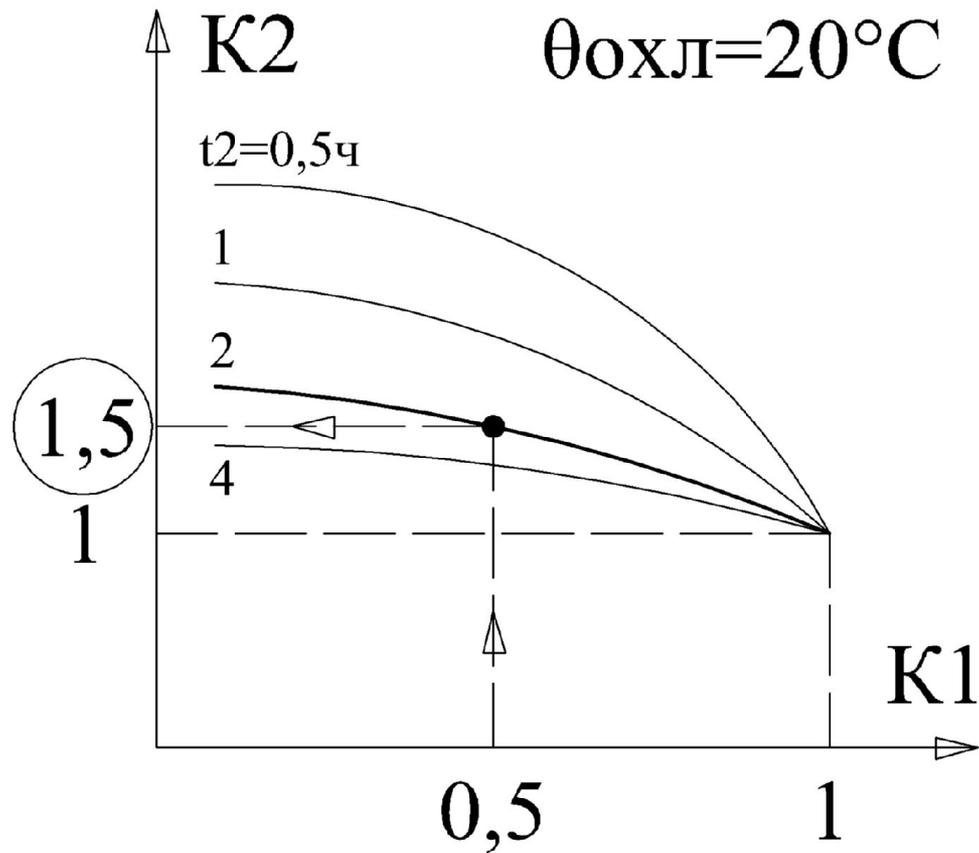


Пример 1 (шаг 2)



$$K_1 = S_1 / S_{\text{НОМ}} = 1/2 = 0,5$$

Пример 1 (шаг 3)



$$S_2 = K_2 \cdot S_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ МВА}$$

Пример 2 (обратная задача)

По известным недогрузке и перегрузке найти допустимую мощность трансформатора

Дано: $S_1 = 1000$ кВА

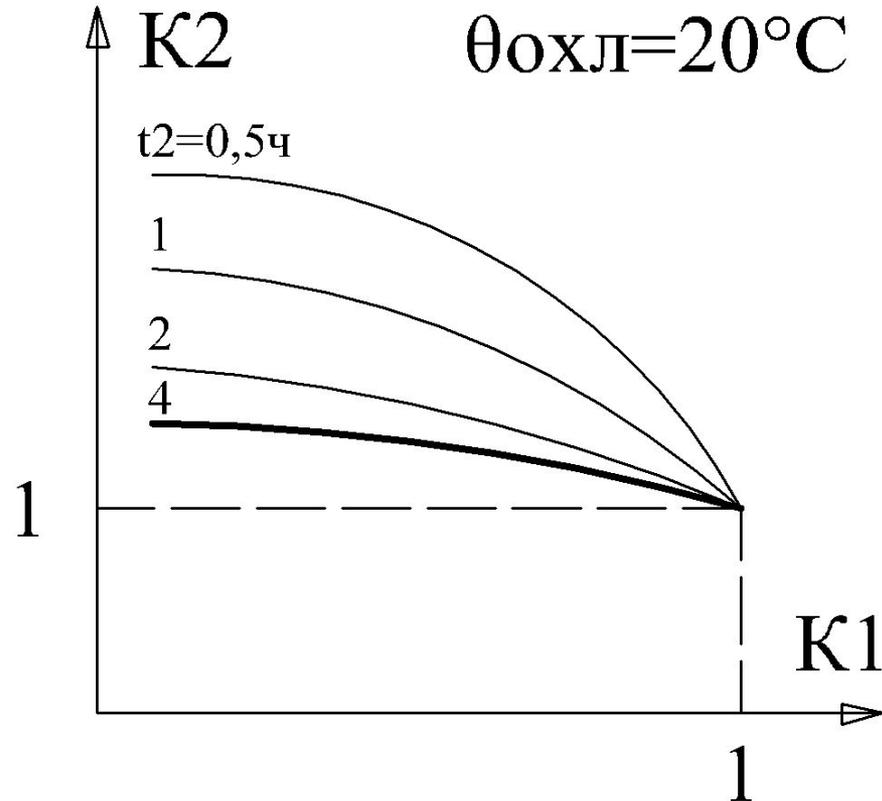
$S_2 = 1750$ кВА

$t_2 = 4$ ч

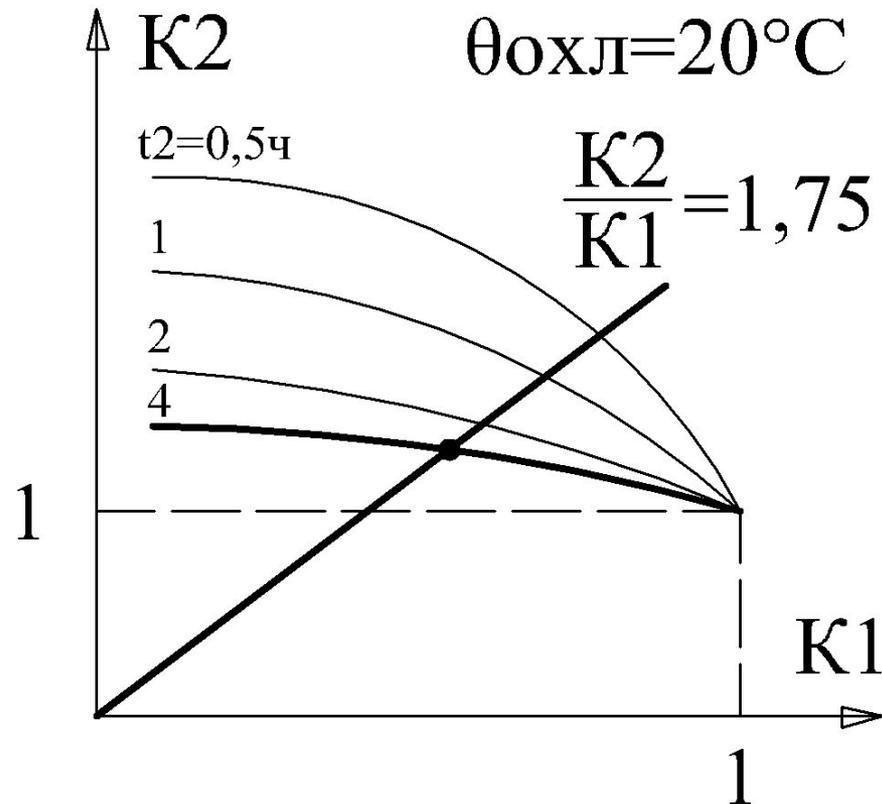
$\theta_{\text{охл}} = 20^\circ\text{C}$

Найти: $S_{\text{ном}} = ?$

Пример 2 (шаг 1)

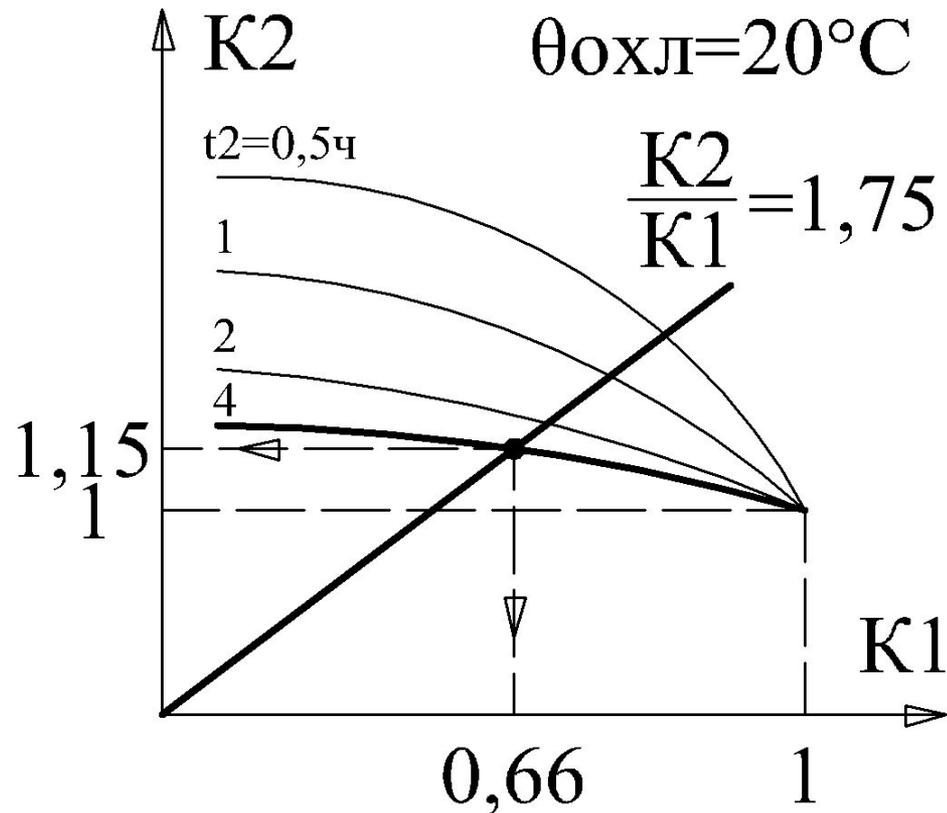


Пример 2 (шаг 2)



Строим прямую, для которой
 $K_2/K_1 = 1,75$

Пример 2 (шаг 3)



$$S_{\text{НОМ}} = S_1 / K_1 = 1000 / 0,66 = 1500 \text{ кВА или}$$

$$S_{\text{НОМ}} = S_2 / K_2 = 1750 / 1,15 = 1500 \text{ кВА}$$

«Правило 6-и градусов»

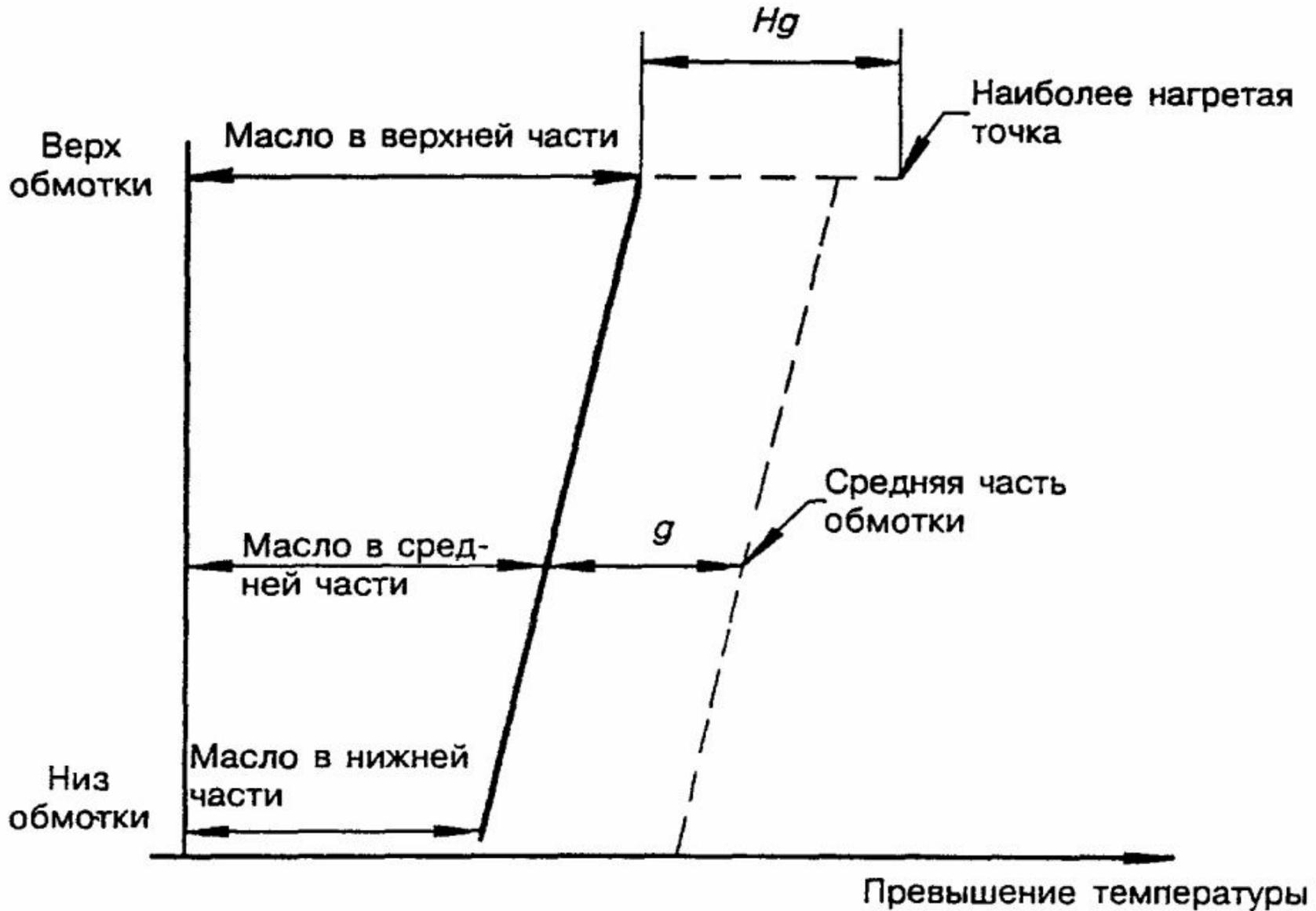
На каждые 6°С увеличения температуры наиболее нагретой точки, износ изоляции возрастает в два раза

Темп., °С	Ресурс, о.е.
80	8
...	...
92	2
98	1
104	0,5
...	...
140	0,008

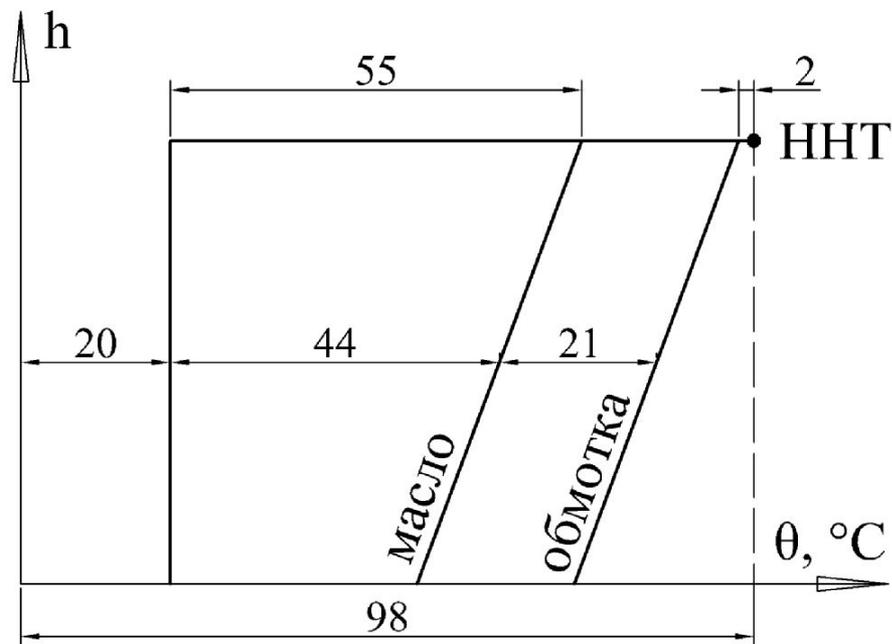
Наиболее нагретая точка (ННТ)

- Это наиболее нагретый внутренний слой одной из верхних катушек.
- В общем случае место расположения ННТ зависит от конструкции обмоток и распределения температуры масла в обмотке вдоль ее высоты и не всегда совпадает с самой верхней катушкой обмотки.
- В большинстве случаев это первая или вторая от верха катушка обмотки.
- Температура наиболее нагретой точки всегда больше средней температуры верхней катушки.
- Появились возможности непосредственного измерения температуры ННТ.
Датчик температуры + оптоволокно.

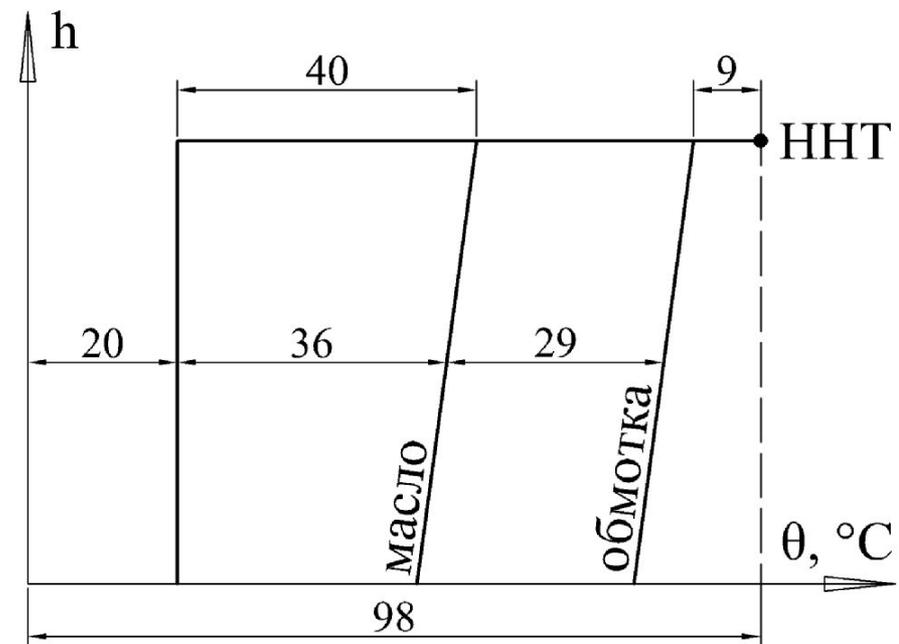
Тепловая диаграмма трансформатора



Тепловая диаграмма трансформатора



Системы охлаждения М и Д

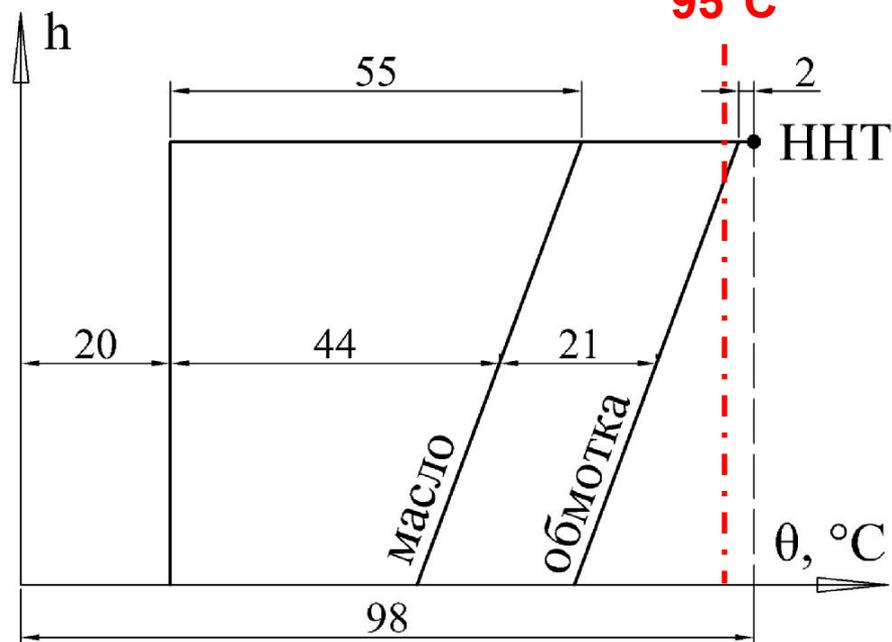


Системы охлаждения ДЦ и Ц

Тепловая диаграмма трансформатора

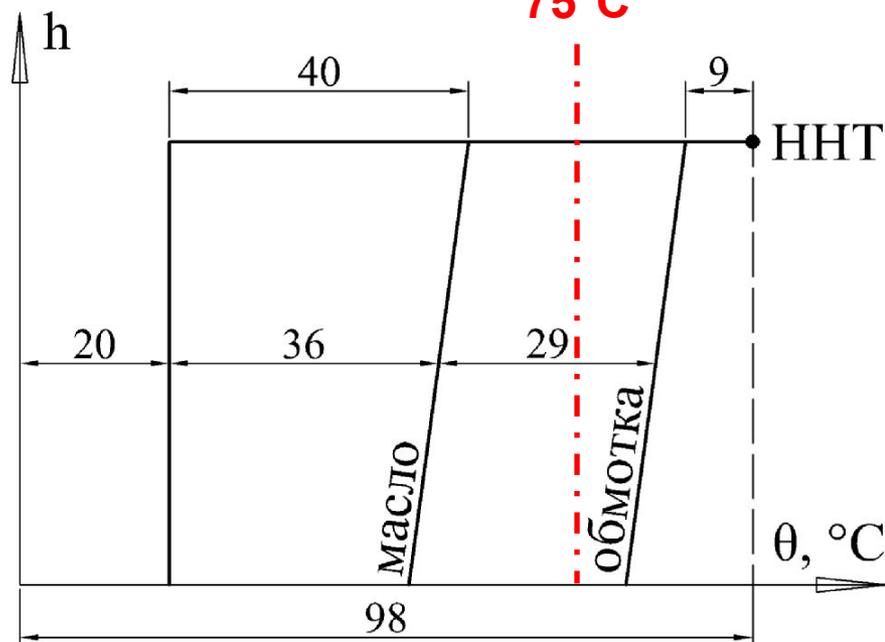
Максимальная температура верхних слоев масла при номинальной нагрузке

95°C



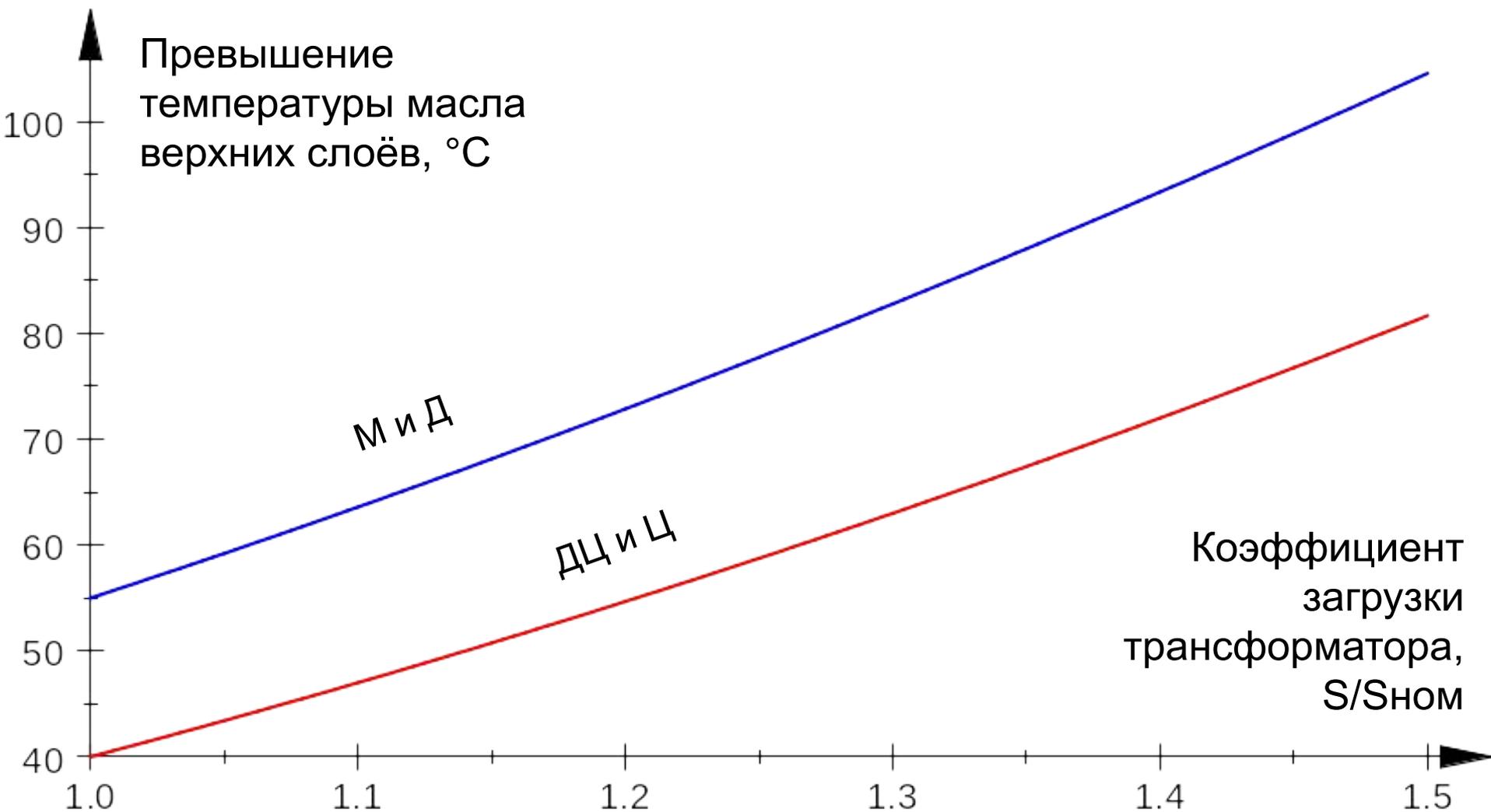
Системы охлаждения М и Д

75°C

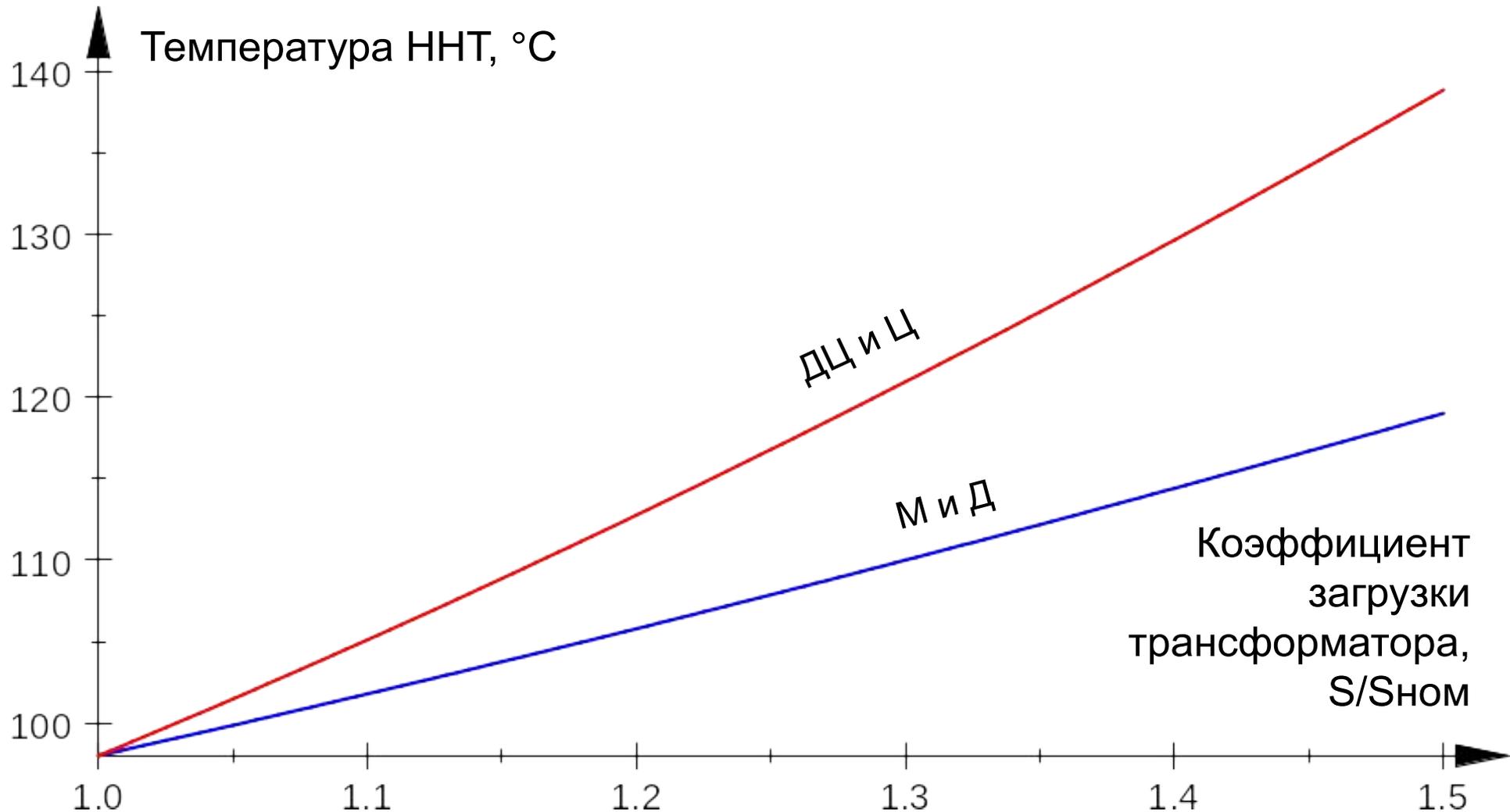


Системы охлаждения ДЦ и Ц

Как меняется температура верхних слоёв масла при перегрузках?



Как меняется температура ННТ при перегрузках?



Величина и длительность аварийных перегрузок трансформатора

Сухие трансформаторы					
Нагрузка	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Длительность, мин	60	45	32	18	5
Масляные трансформаторы					
Нагрузка	1,3	1,45	1,6	1,75	2,0
Длительность, мин	120	80	45	20	10

Параллельная работа трансформаторов

Необходимость параллельной работы:

- 1) резервирование электроснабжения при авариях;
- 2) резервирование электроснабжения при ремонтах;
- 3) уменьшение потерь в периоды малых нагрузок подстанции путем отключения части параллельно работающих трансформаторов.

Нагрузка должна распределяться между трансформаторами пропорционально их $S_{ном}$.

Условия параллельной работы:

- 1) одинаковые группы соединений обмоток;
- 2) равные первичные и вторичные номинальные напряжения (0,5%);
- 3) равные напряжения короткого замыкания (10%);
- 4) соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3.

Пример неравномерного распределения нагрузки между трансформаторами

Снагр.сумм = 740 кВА

$$S_{1\text{НОМ}} = 180 \text{ кВА} \quad S_{2\text{НОМ}} = 240 \text{ кВА} \quad S_{3\text{НОМ}} = 320 \text{ кВА}$$

$$u_{к1} = 5,4\% \quad u_{к2} = 6\% \quad u_{к3} = 6,6\%$$

$$S_1 = 202 \text{ кВА} \quad S_2 = 243 \text{ кВА} \quad S_3 = 295 \text{ кВА}$$

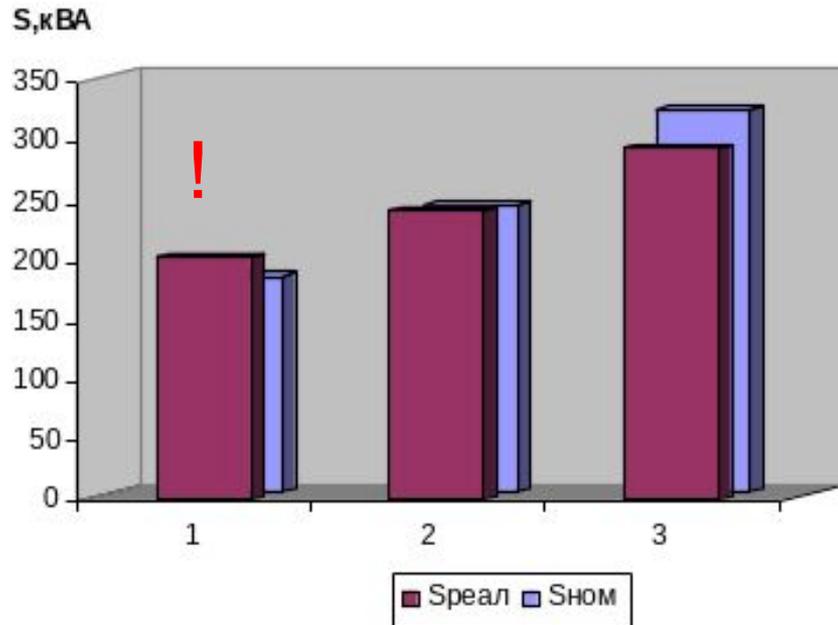
перегружен на 12%

недогружен на 8%

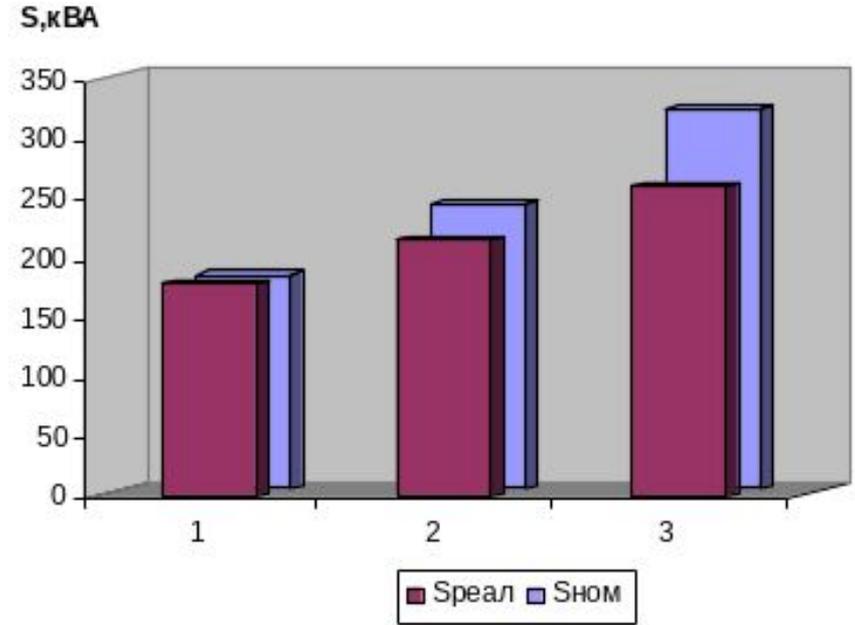
Необходимо снизить нагрузку до **Снагр.сумм = 660 кВА**

80 кВА установленной мощности недоиспользовано!

Было



Стало



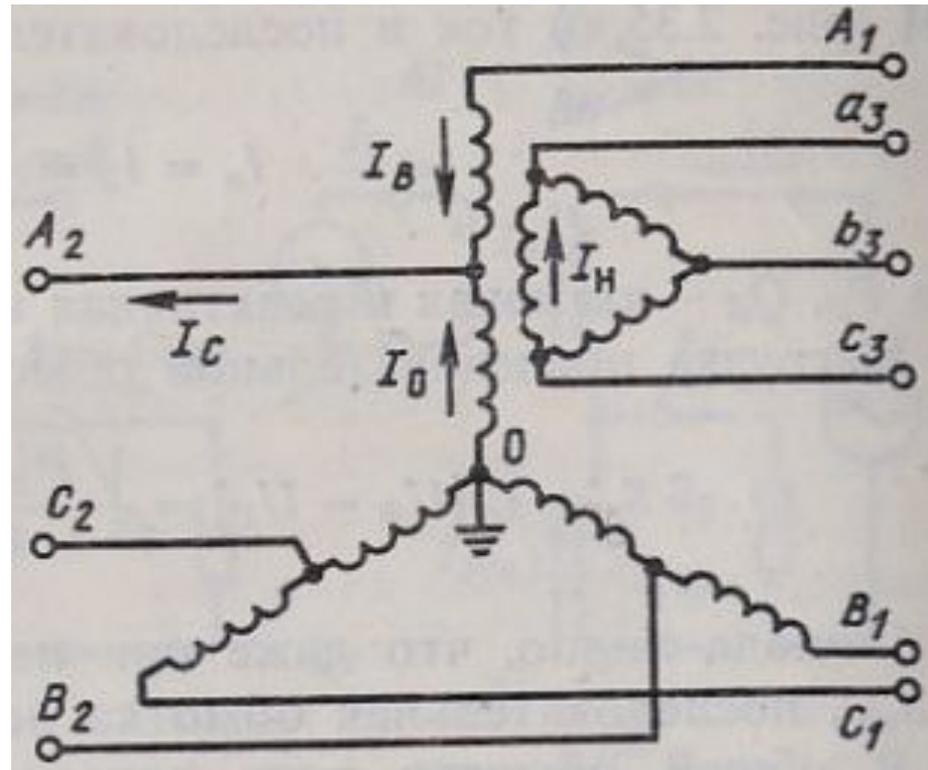
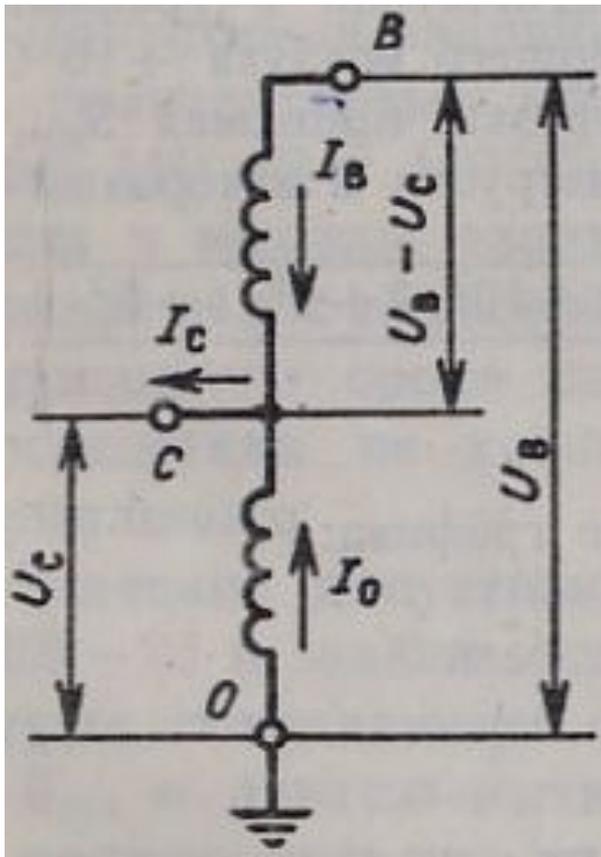
Вывод:

Для параллельной работы необходимы
одинаковые u_k .

Автотрансформаторы

Однофазный

Трёхфазный



Особенности автотрансформаторов

Преимущества:

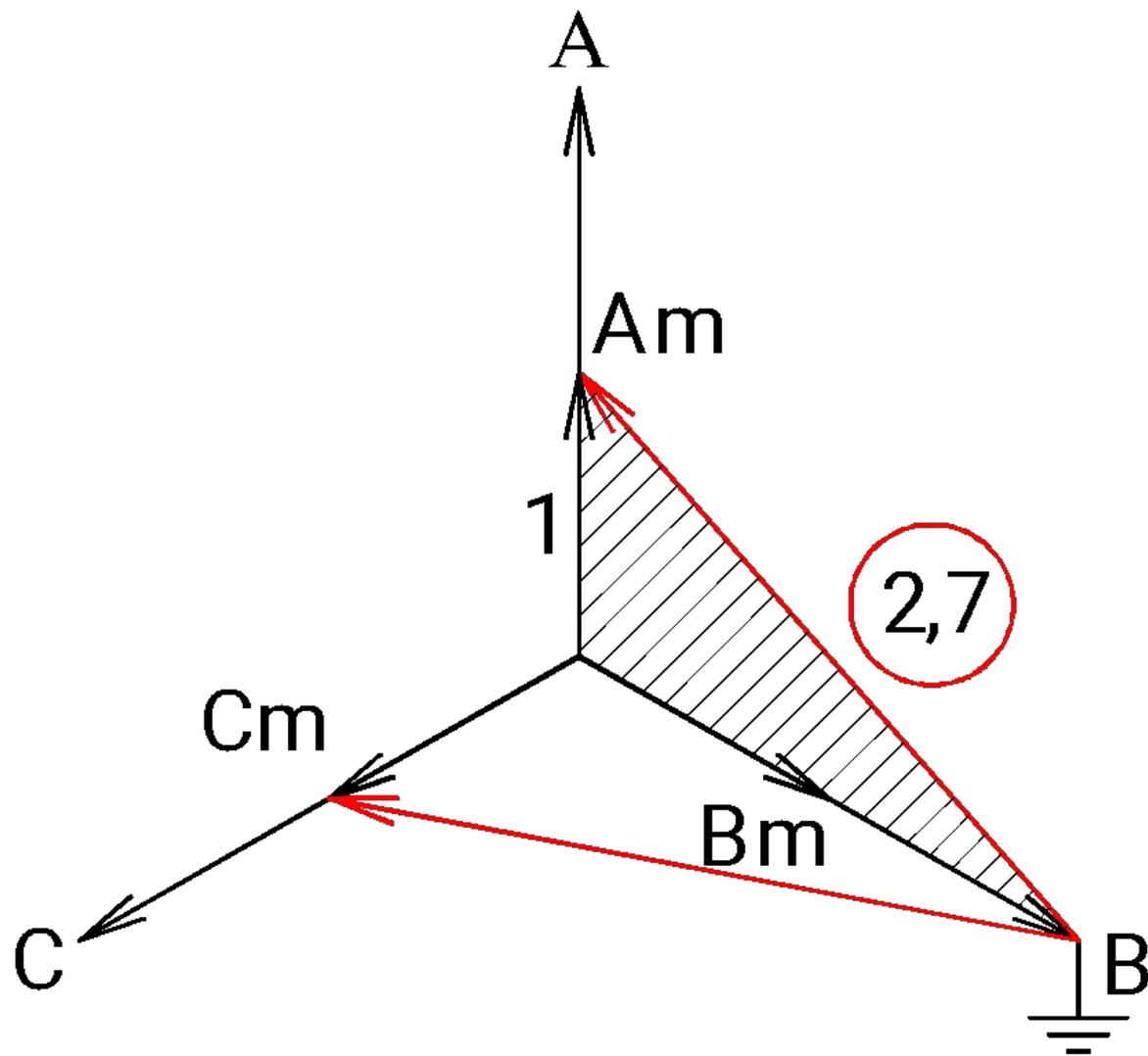
- меньший расход токоведущих частей (медь);
- меньший расход изоляционных материалов;
- меньший расход магнитных материалов (сталь);
- меньшие масса и габариты;
- меньшие потери и больший к.п.д.;
- легче охлаждаются

Особенно, если $U_{вн}$, $U_{сн}$ **одного порядка**.

Недостатки:

- необходимо заземлять нейтраль ($\uparrow I^{(1)}$);
- сложно регулировать напряжение;
- гальваническая связь между обмотками (переход перенапряжений между обмотками);
- ограничение по режимам передачи мощности.

Нейтраль АТ обязательно заземляется.
Иначе – **большие перенапряжения** в сети
СН при замыкании на землю в сети ВН



Режимы работы нейтралей

Режимы нейтрали:

- изолированная;
- резонансно заземленная;
- эффективно заземленная ($K_{зз} \leq 1,4$);
- глухозаземленная.

Выбор режима нейтрали

- 35 кВ и ниже – изолированная или резонансно заземленная;
- 110 кВ – глухозаземленная или эффективно заземленная;
- 220 кВ и выше – только глухозаземленная.

Нейтраль	Достоинства	Недостатки
Изолированная	<p><u>1.</u> Малые токи замыкания.</p> <p><u>2.</u> При $K^{(1)}$ не искажается треугольник линейных напряжений. Потребители, включенные на Ул, продолжают нормально работать.</p> <p><u>3.</u> РЗ – на двух ИТТ. Защита дешевле.</p>	<p><u>1.</u> При $K^{(1)}$ U неповрежденных фаз повышается в 1,7 раза. Изоляция дороже и массивнее.</p> <p><u>2.</u> Возможно второе замыкание в другой точке $K^{(1,1)}$, $K^{(2)}$, $K^{(3)}$. Ограничение 2 часа.</p> <p><u>3.</u> Возможно замыкание через дугу.</p>
Глухозаземленная	<p><u>1.</u> Чувствительность защит</p> <p><u>2.</u> Быстрота отключения</p> <p><u>3.</u> Отсутствие дуги</p>	<p><u>1.</u> Большие токи КЗ на землю. Токоведущие части и контур заземления дороже и массивнее.</p> <p><u>2.</u> Потребители перестают работать.</p> <p><u>3.</u> РЗ – на трех ИТТ. Защита дороже.</p>

Режимы работы автотрансформаторов

1. Автотрансформаторный:

$$В \rightarrow С$$

$$С \rightarrow В$$

2. Трансформаторный:

$$В \rightarrow Н \quad Н \rightarrow В$$

$$С \rightarrow Н \quad Н \rightarrow С$$

3. Комбинированный:

$$В \rightarrow С, Н \quad С, Н \rightarrow В$$

$$С \rightarrow В, Н \quad В, Н \rightarrow С$$

Режимы работы АТ

Пример:

АТДЦТН - 125000 / 220 / 110 / 11

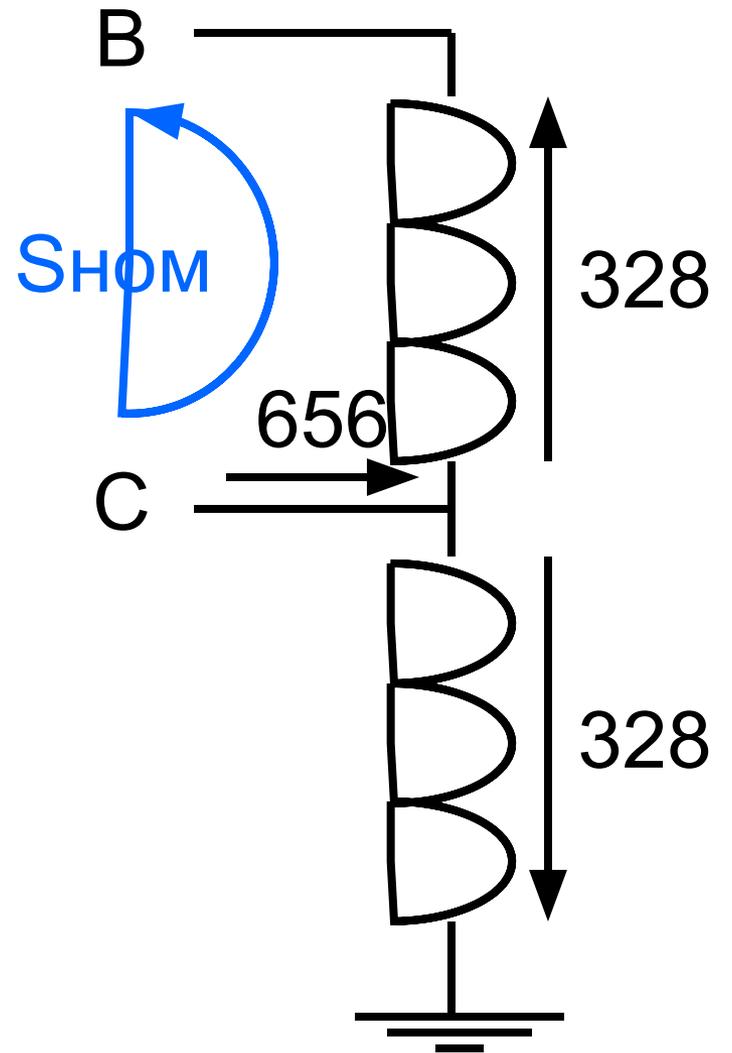
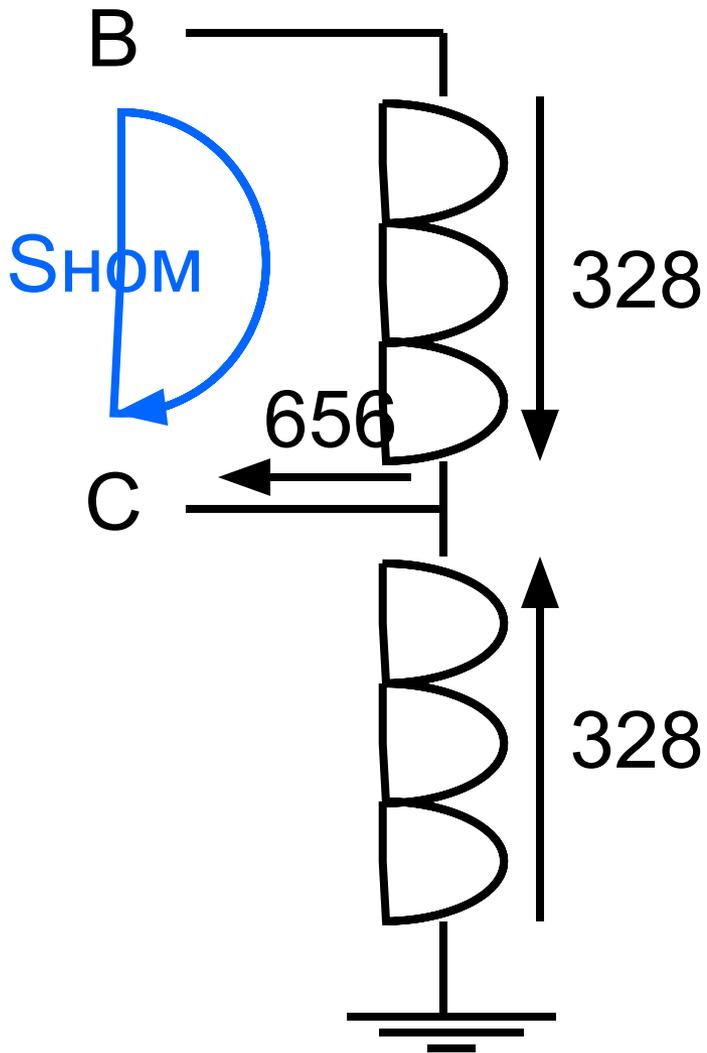
$S_{нн.ном} = 62\ 500$ кВА

$I_{вн.ном} = 125\ 000 / (1,73 \cdot 220) = 328$ А

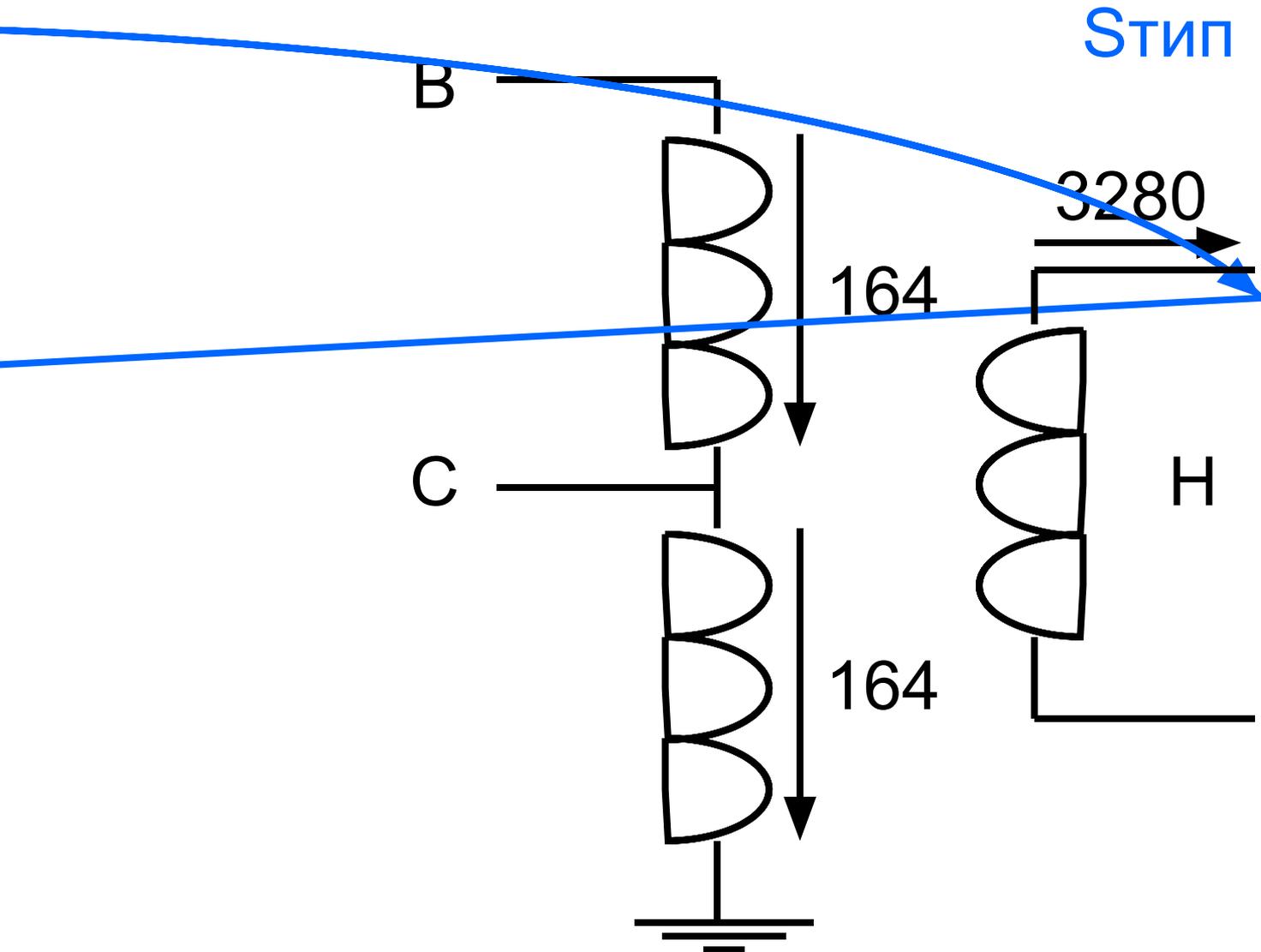
$I_{сн.ном} = 125\ 000 / (1,73 \cdot 110) = 656$ А

$I_{нн.ном} = 62\ 500 / (1,73 \cdot 11) = 3280$ А

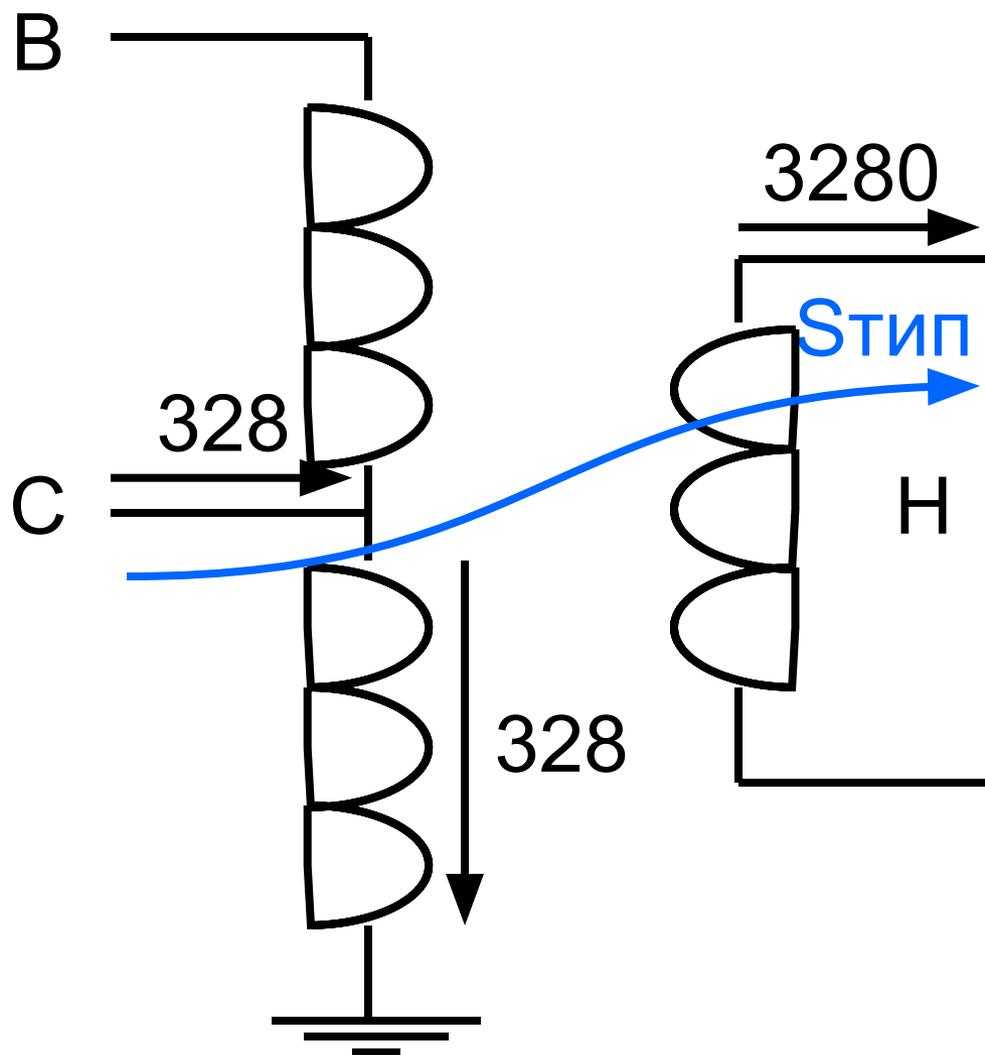
1. Автотрансформаторный режим



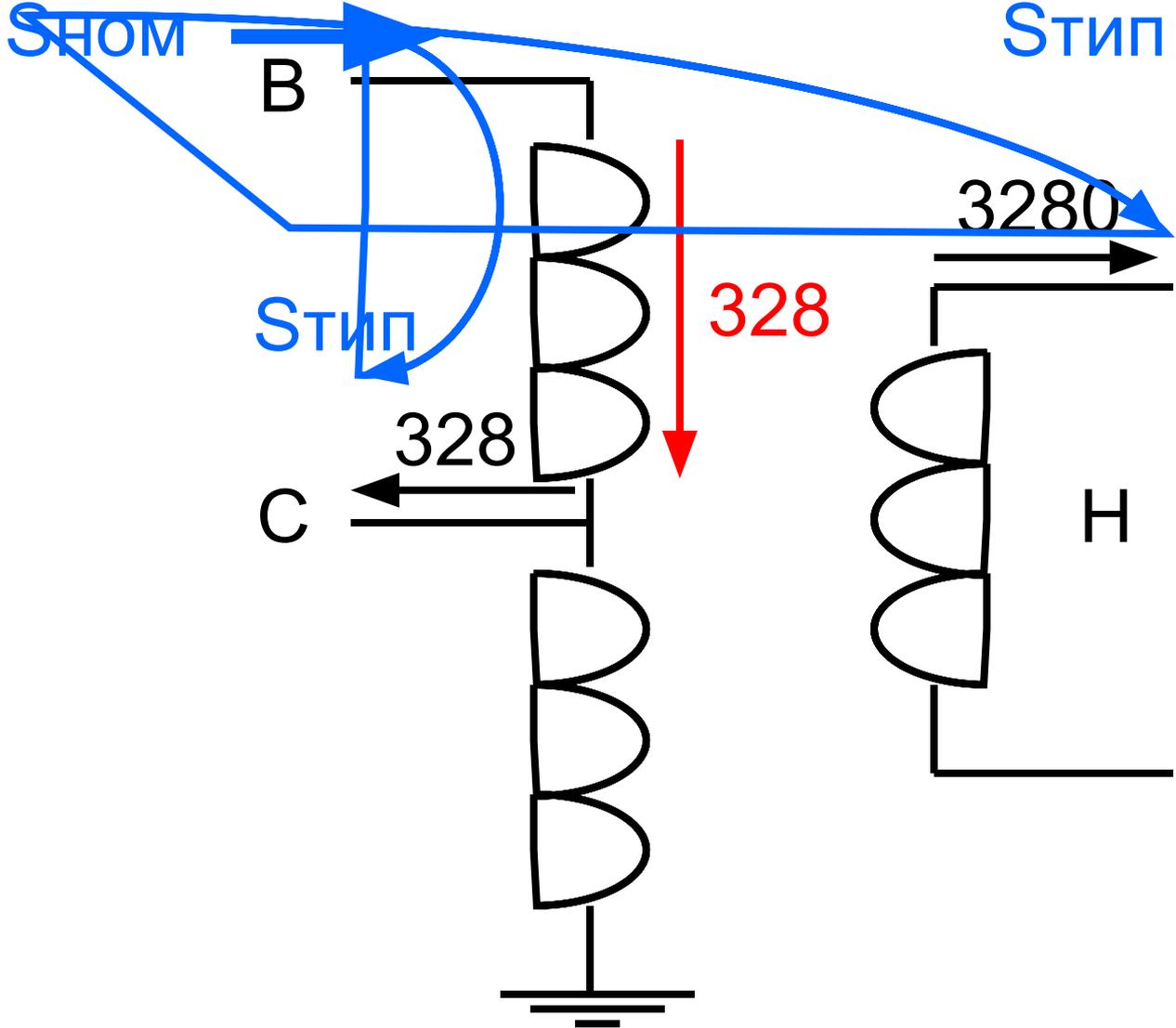
2а. Трансформаторный режим (В→Н)



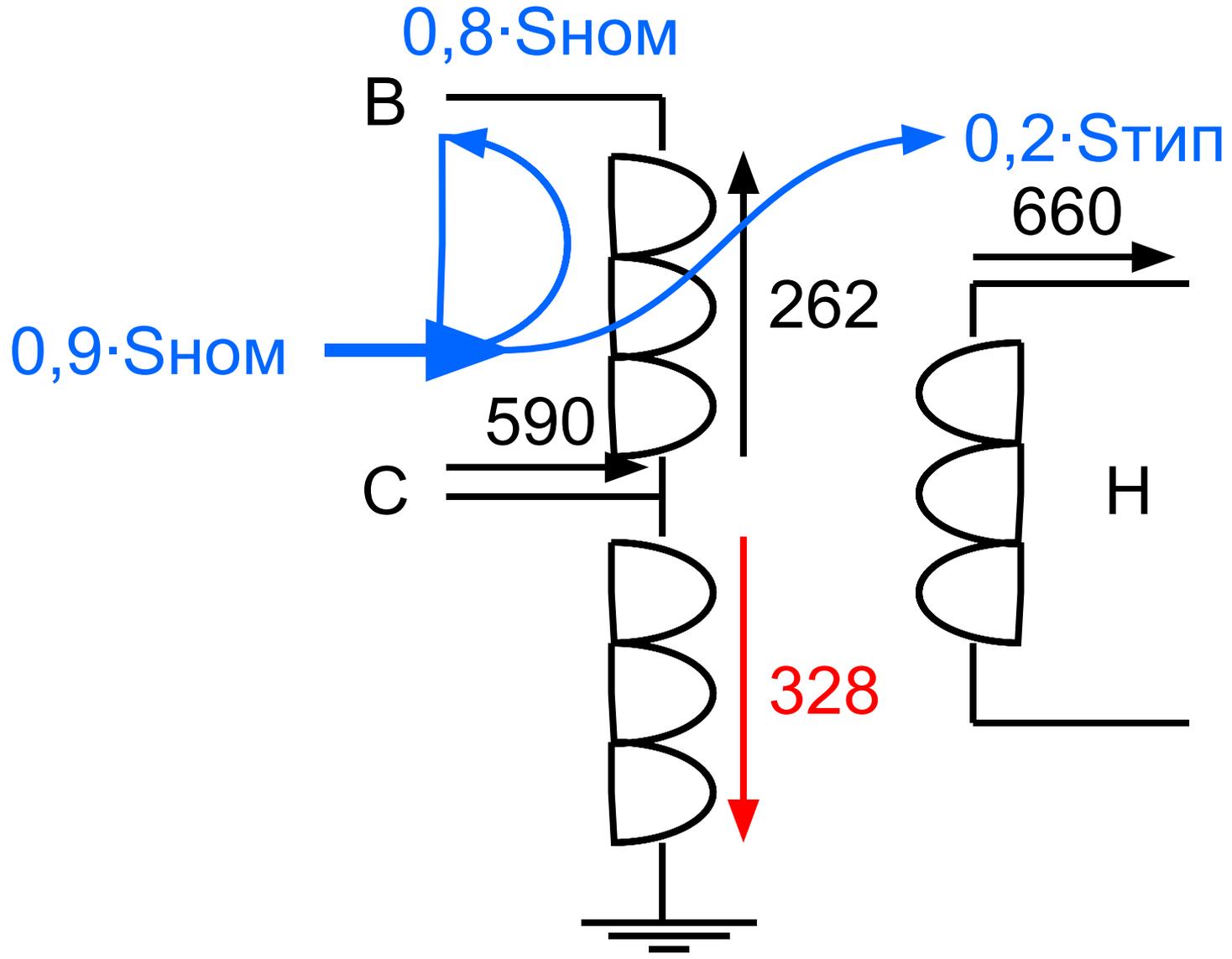
26. Трансформаторный режим (С→Н)



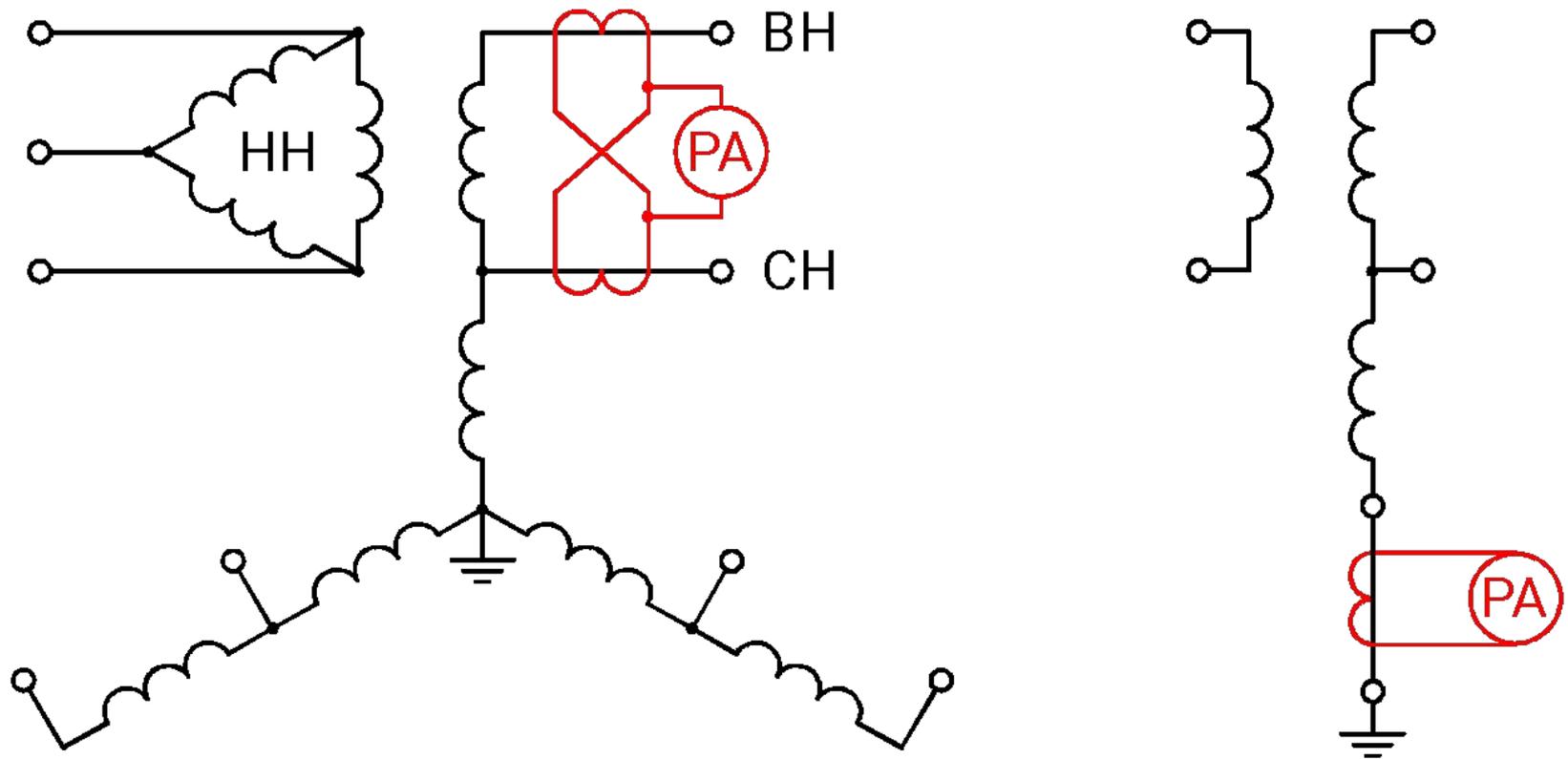
За. Комбинированный режим (B→C,H)



3б. Комбинированный режим (C→B,H)

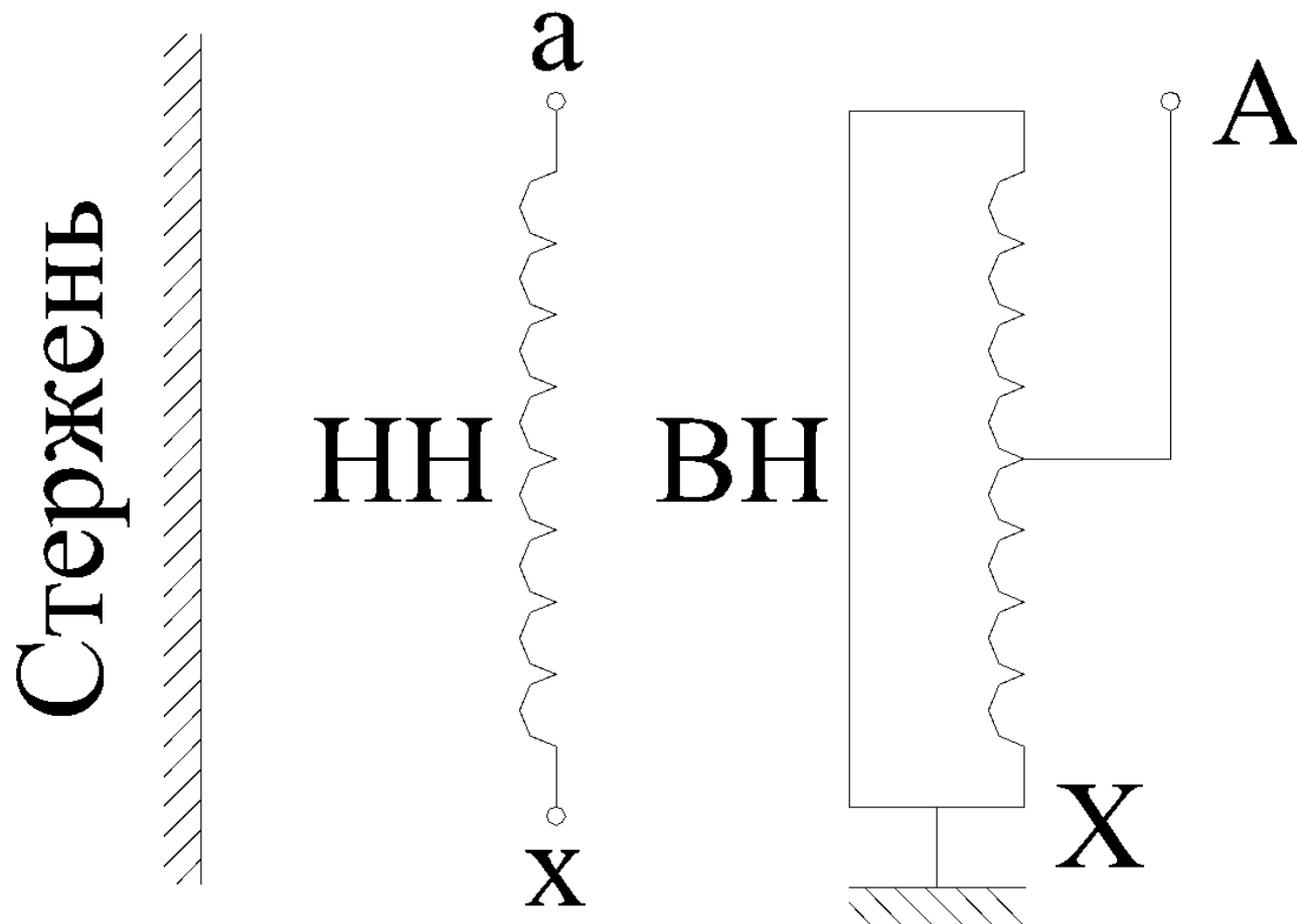


Измерение тока в общей обмотке

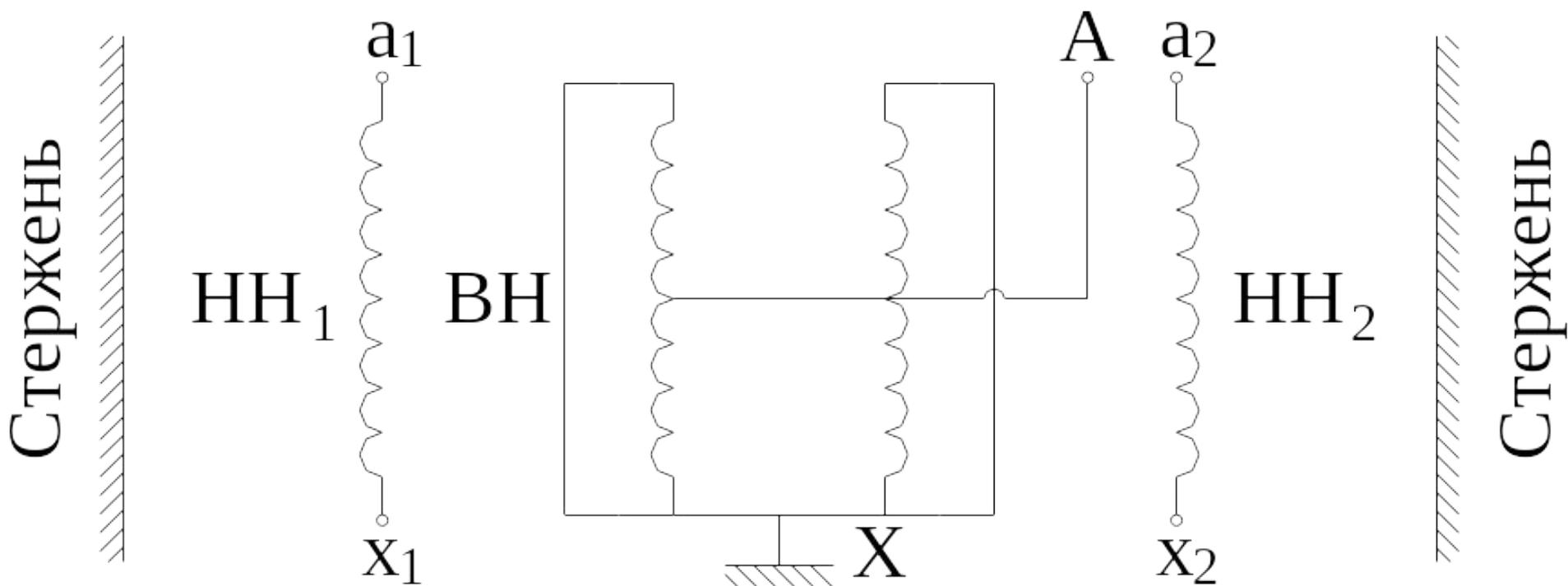


Если к обмотке НН подключен генератор, синхронный компенсатор или нагрузка, то необходимо контролировать ток общей обмотки.

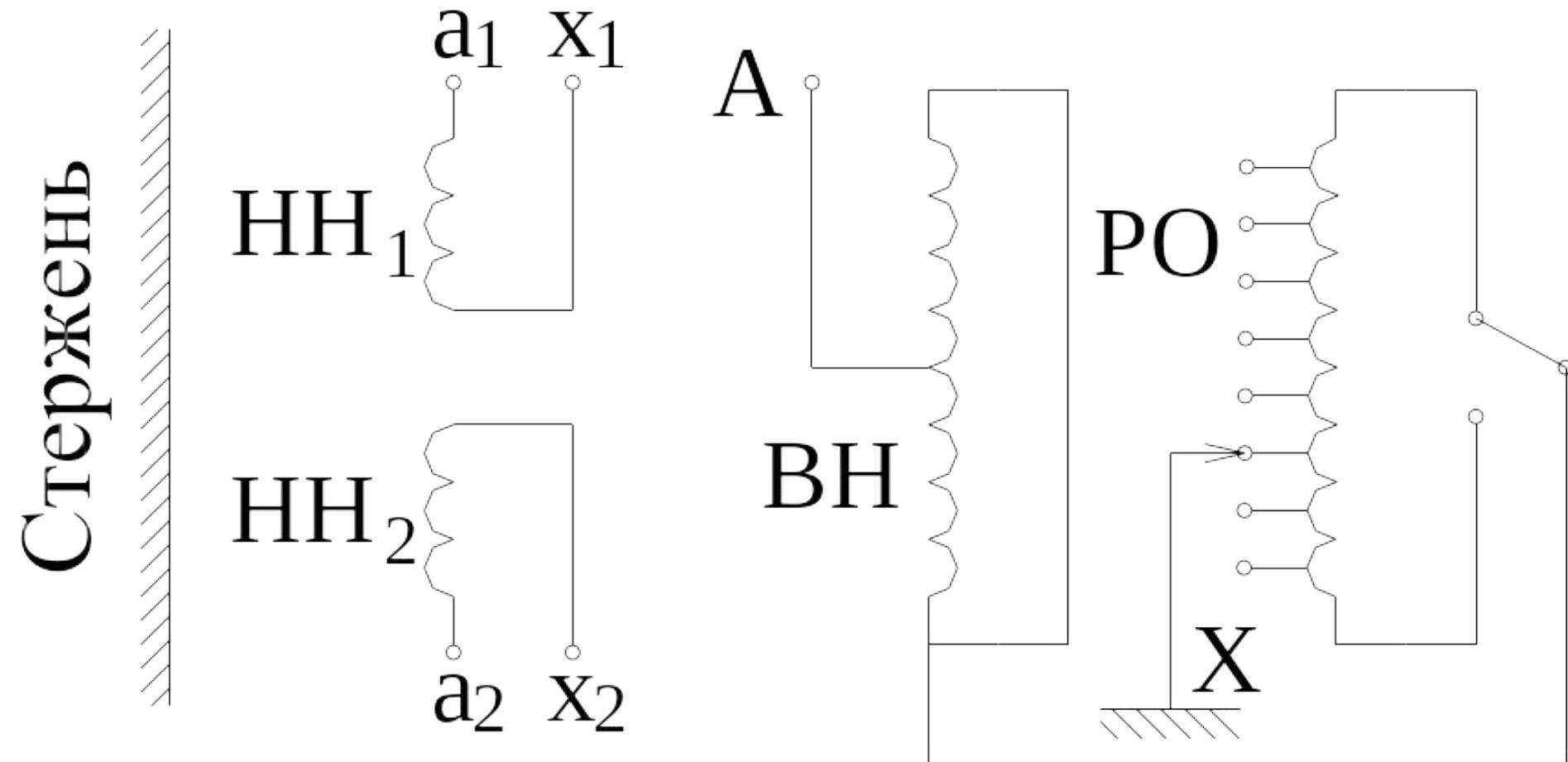
Расположение обмоток трансформаторов: трёхфазные двухобмоточные 220-500 кВ



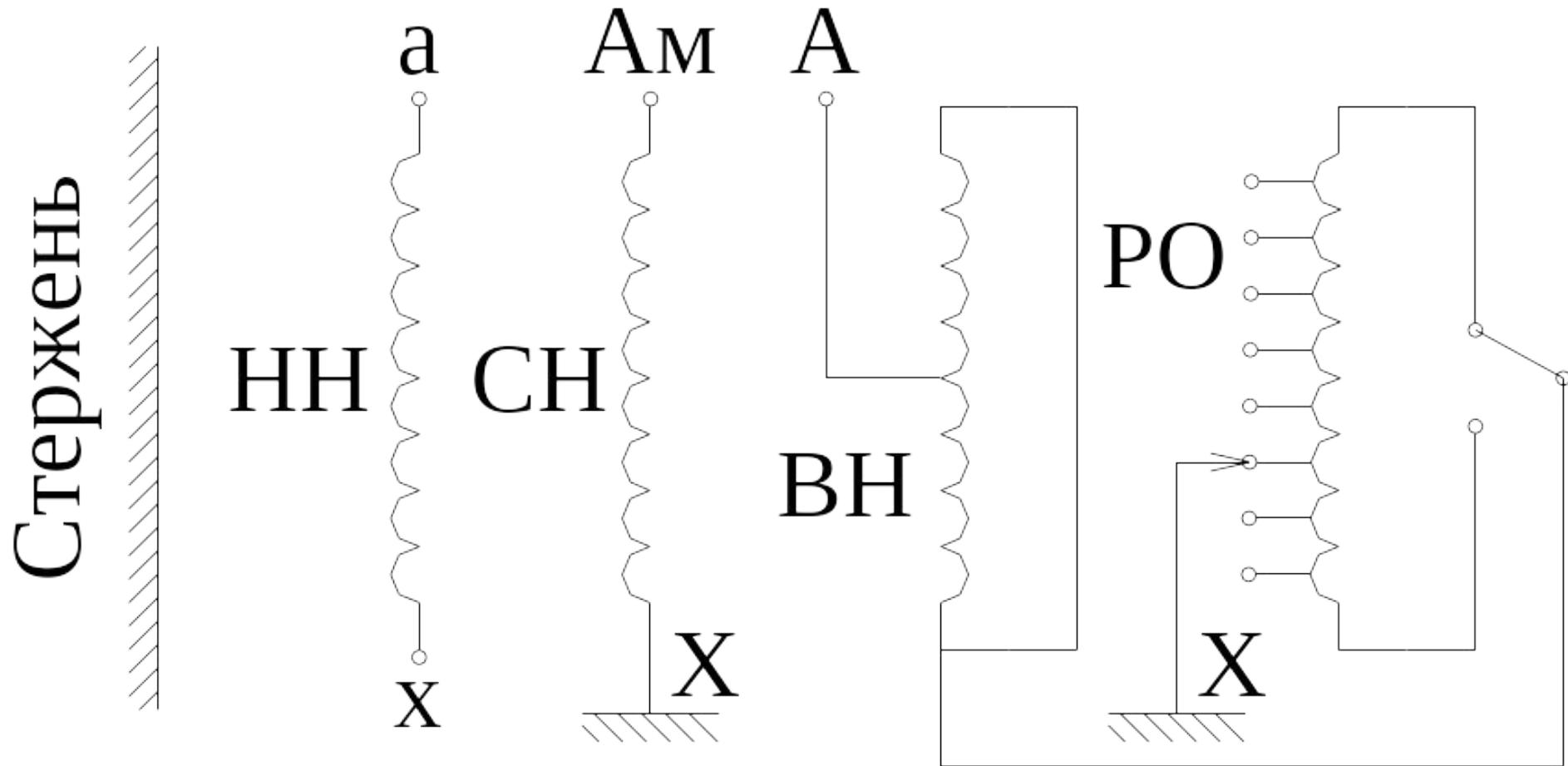
Расположение обмоток трансформаторов:
однофазные двухобмоточные
500-750 кВ с расщеплением обмотки НН



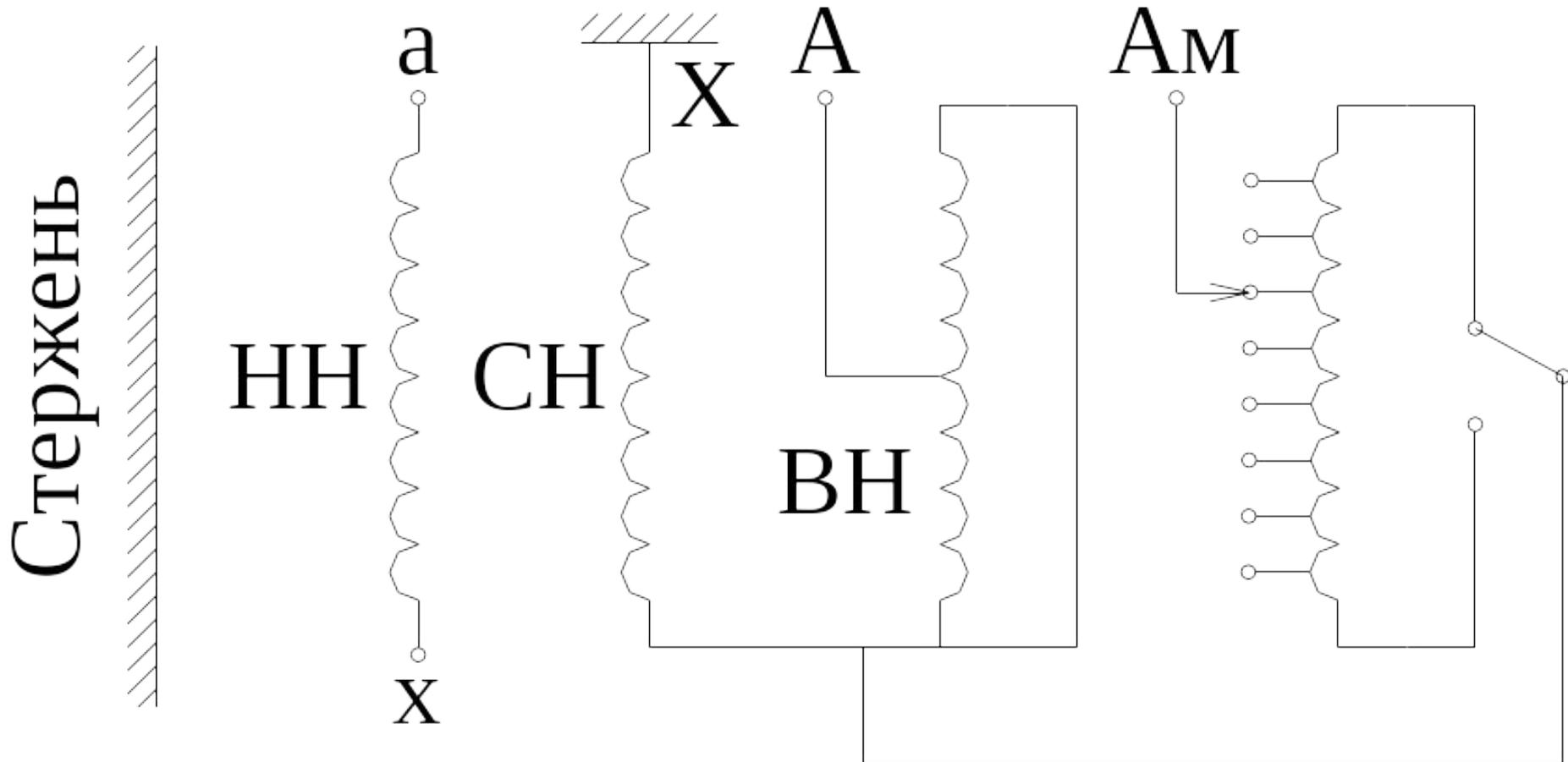
Расположение обмоток трансформаторов:
двухобмоточные 220-330 кВ, с расщеплением
обмотки НН, с регулированием на стороне ВН



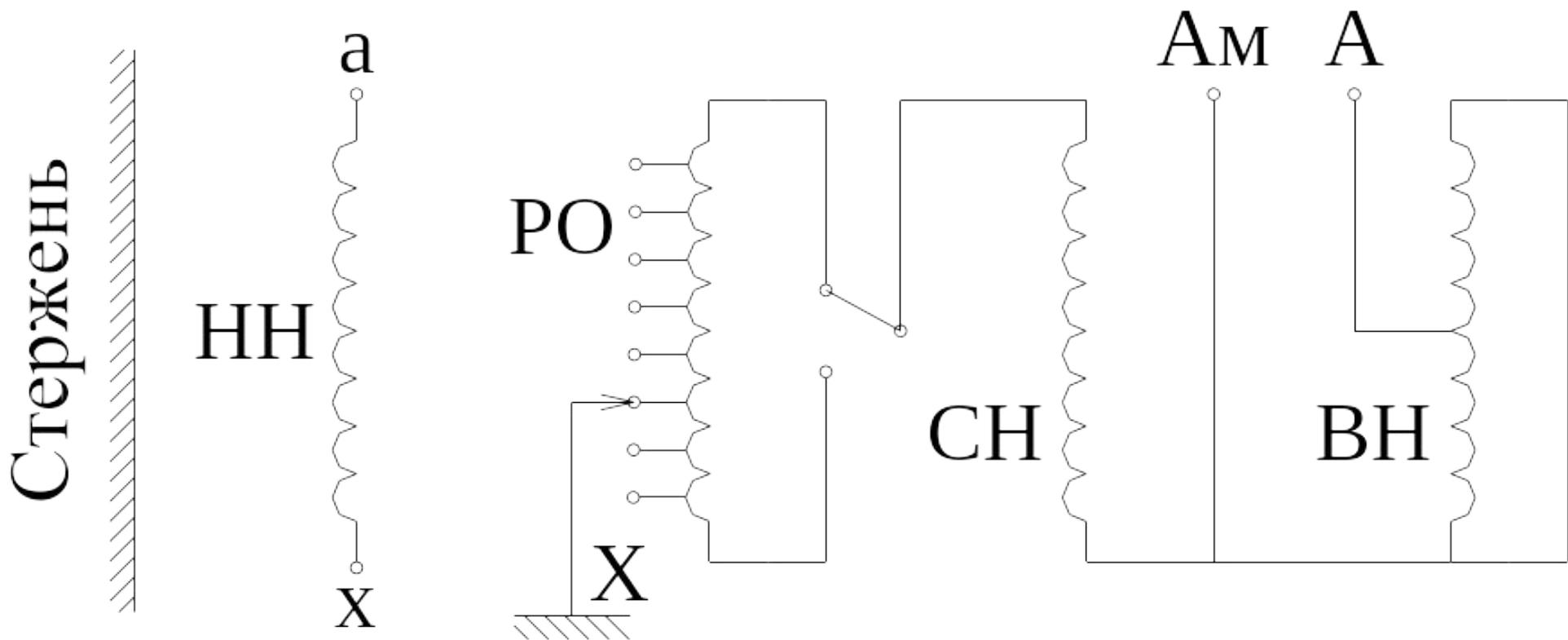
Расположение обмоток трансформаторов:
трёхобмоточные 220 кВ,
с регулированием на стороне ВН



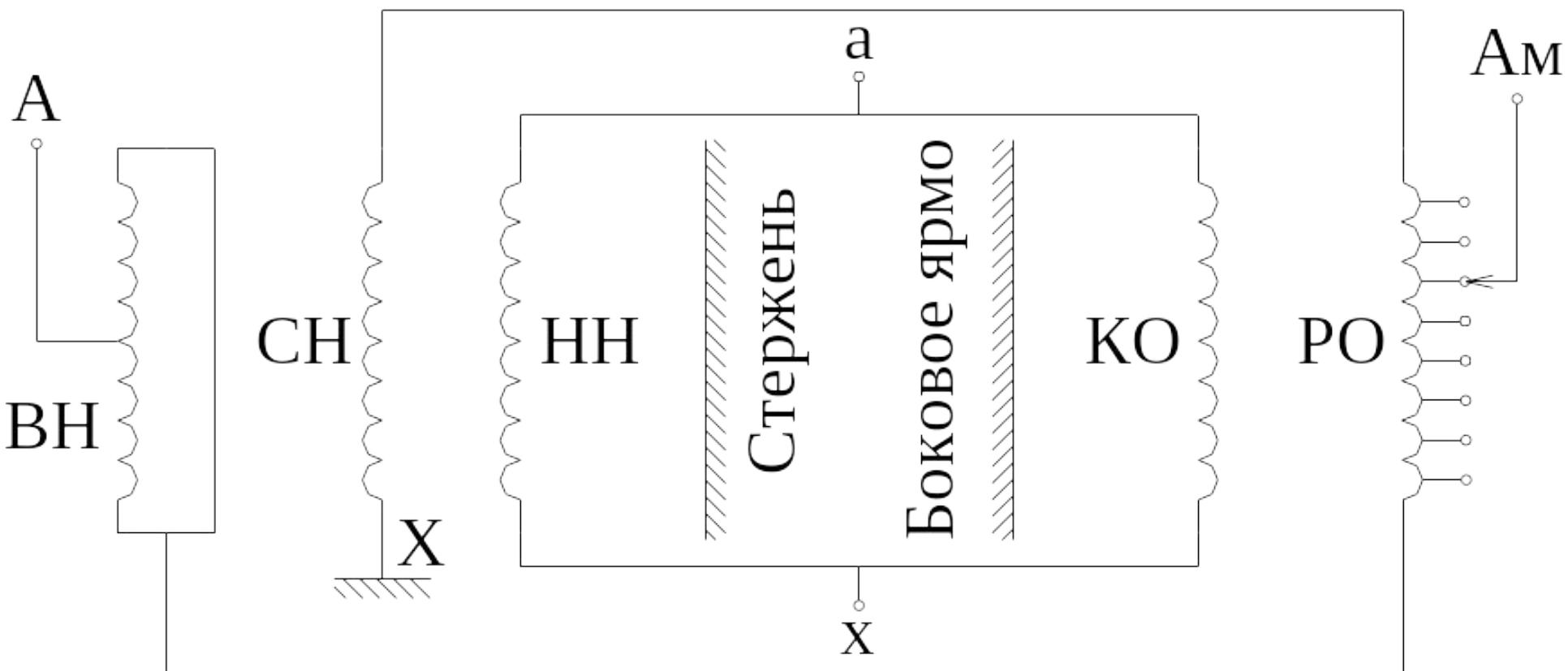
Расположение обмоток автотрансформаторов:
трёхфазные 220-330 кВ
с регулированием на стороне СН



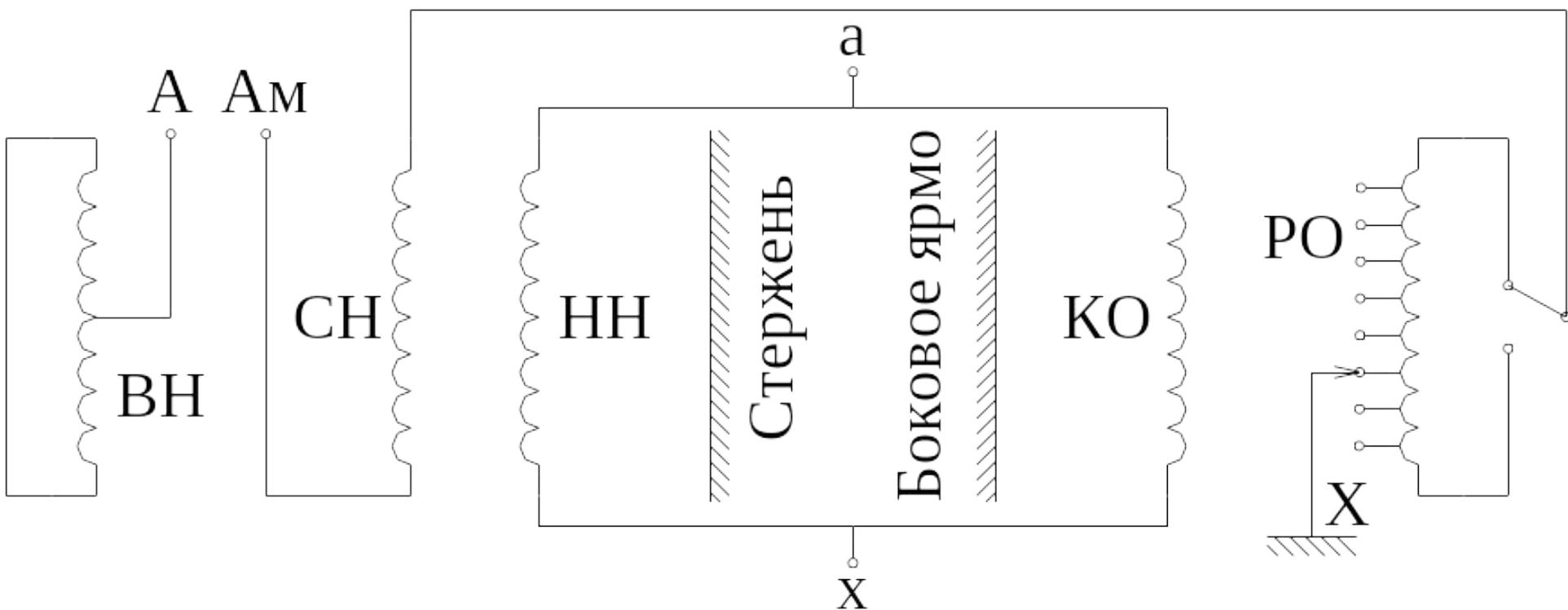
Расположение обмоток автотрансформаторов:
трёхфазные 750 кВ
с регулированием в нейтрали



Расположение обмоток автотрансформаторов:
однофазные 500 кВ
с регулированием на стороне СН



Расположение обмоток автотрансформаторов: однофазные 750 кВ с регулированием в нейтрали



Схемы соединения
обмоток трансформаторов:
 Δ , Y , Y_n , Z_n

Режимы работы нейтралей

Режимы нейтрали:

- изолированная;
- резонансно заземленная;
- эффективно заземленная;
- глухозаземленная.

Выбор режима нейтрали

- 35 кВ и ниже – изолированная или резонансно заземленная;
- 110 кВ – глухозаземленная или эффективно заземленная;
- 220 кВ и выше – только глухозаземленная.

Нейтраль	Достоинства	Недостатки
Изолированная	<p><u>1.</u> Малые токи замыкания.</p> <p><u>2.</u> При $K^{(1)}$ не искажается треугольник линейных напряжений. Потребители, включенные на Ул, продолжают нормально работать.</p> <p><u>3.</u> РЗ – на двух ИТТ. Защита дешевле.</p>	<p><u>1.</u> При $K^{(1)}$ U неповрежденных фаз повышается в 1,7 раза. Изоляция дороже и массивнее.</p> <p><u>2.</u> Возможно второе замыкание в другой точке $K^{(1,1)}$, $K^{(2)}$, $K^{(3)}$. Ограничение 2 часа.</p> <p><u>3.</u> Возможно замыкание через дугу.</p>
Глухозаземленная	<p><u>1.</u> Чувствительность защит</p> <p><u>2.</u> Быстрота отключения</p> <p><u>3.</u> Отсутствие дуги</p>	<p><u>1.</u> Большие токи КЗ на землю. Токоведущие части и контур заземления дороже и массивнее.</p> <p><u>2.</u> Потребители перестают работать.</p> <p><u>3.</u> РЗ – на трех ИТТ. Защита дороже.</p>

1) $U = 110$ кВ и выше

Yн

- Есть возможность заземлить нейтраль.
- Внутренняя изоляция выполняется из расчета фазной ЭДС, т.е. в 1,73 раз меньше линейной.

2) $U = 6, 10, 35$ кВ

а) Y

- Есть возможность заземления нейтрали через ДГК или резистор.
- Внутренняя изоляция выполняется из расчета фазной ЭДС, т.е. в 1,73 раз меньше линейной.

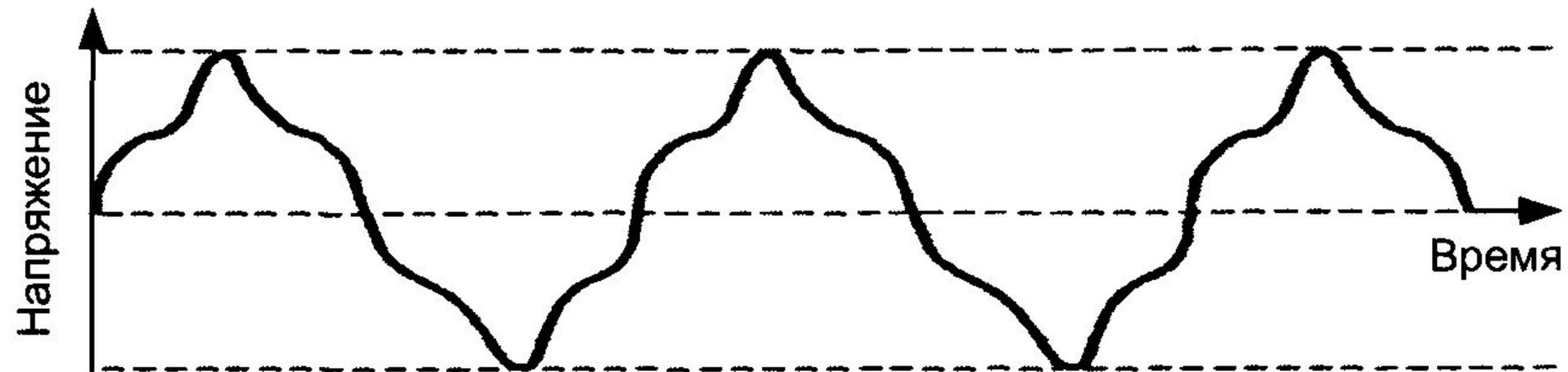
б) Δ

- Создаётся замкнутый контур для токов 3, 6, 9 ... гармоник, которые при этом не выходят во внешнюю сеть.
- Сечение обмотки выполняется из расчета фазного тока, т.е. в 1,73 раз меньше линейного.

О высших гармониках

- Средство передачи энергии в трансформаторе – магнитный поток.
- Он влияет на ЭДС и поэтому должен быть синусоидальным.
- Синусоида – самая плавная периодическая кривая.
- Требования по синусоидальности напряжения включены в ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
- Нормируются:
 - коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения
 - коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения (гармоники от 2-й до 40-й включительно)

Несинусоидальность напряжения



Требования ГОСТ 13109-87

Нечетные гармоники, не кратные 3, при $U_{ном}$, кВ			Нечетные гармоники, кратные 3**, при $U_{ном}$, кВ			Четные гармоники при $U_{ном}$, кВ		
n*	0,38	6...20	n*	0,38	6...20	n*	0,38	6...20
	Коэффициент n-й гарм. составляющей, %			Коэффициент n-й гарм. составляющей, %			Коэффициент n-й гарм. составляющей, %	
5	6,0	4,0	3	5,0	3,0	2	2,0	1,5
7	5,0	3,0	9	1,5	1,0	4	1,0	0,7
11	3,5	2,0	15	0,3	0,3	6	0,5	0,3
13	3,0	2,0	21	0,2	0,2	8	0,5	0,3
17	2,0	1,5	>21	0,2	0,2	10	0,5	0,3
19	1,5	1,0				12	0,2	0,2
23	1,5	1,0				>12	0,2	0,2
25	1,5	1,0						
> 25	$0,2+1,3 \times 25/n$	$0,2+0,8 \times 25/n$						

* Номер гармонической составляющей напряжения.

** Нормально допустимые значения, приведенные для n, равных 3 и 9, относятся к однофазным электрическим сетям. В трехфазных трехпроводных электрических сетях эти значения принимают вдвое меньшими приведенных в таблице.

Допустимые значения коэффициента несинусоидальности K_U

Нормально допустимое значение при $U_{\text{ном}}$, кВ				Предельно допустимое значение при $U_{\text{ном}}$, кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8%	5%	4%	2%	12%	8%	6%	3%

$$K_U = \sqrt{K_{U(2)}^2 + K_{U(3)}^2 + \dots + K_{U(40)}^2}$$

Особенности нечетных гармоник

1. Третьи гармоники в фазах А, В, С синфазны (подобны нулевой последовательности).
2. Пятые гармоники имеют обратное чередование В, А, С (подобны обратной последовательности).
3. Повышенная частота.
4. Повышенная амплитуда.

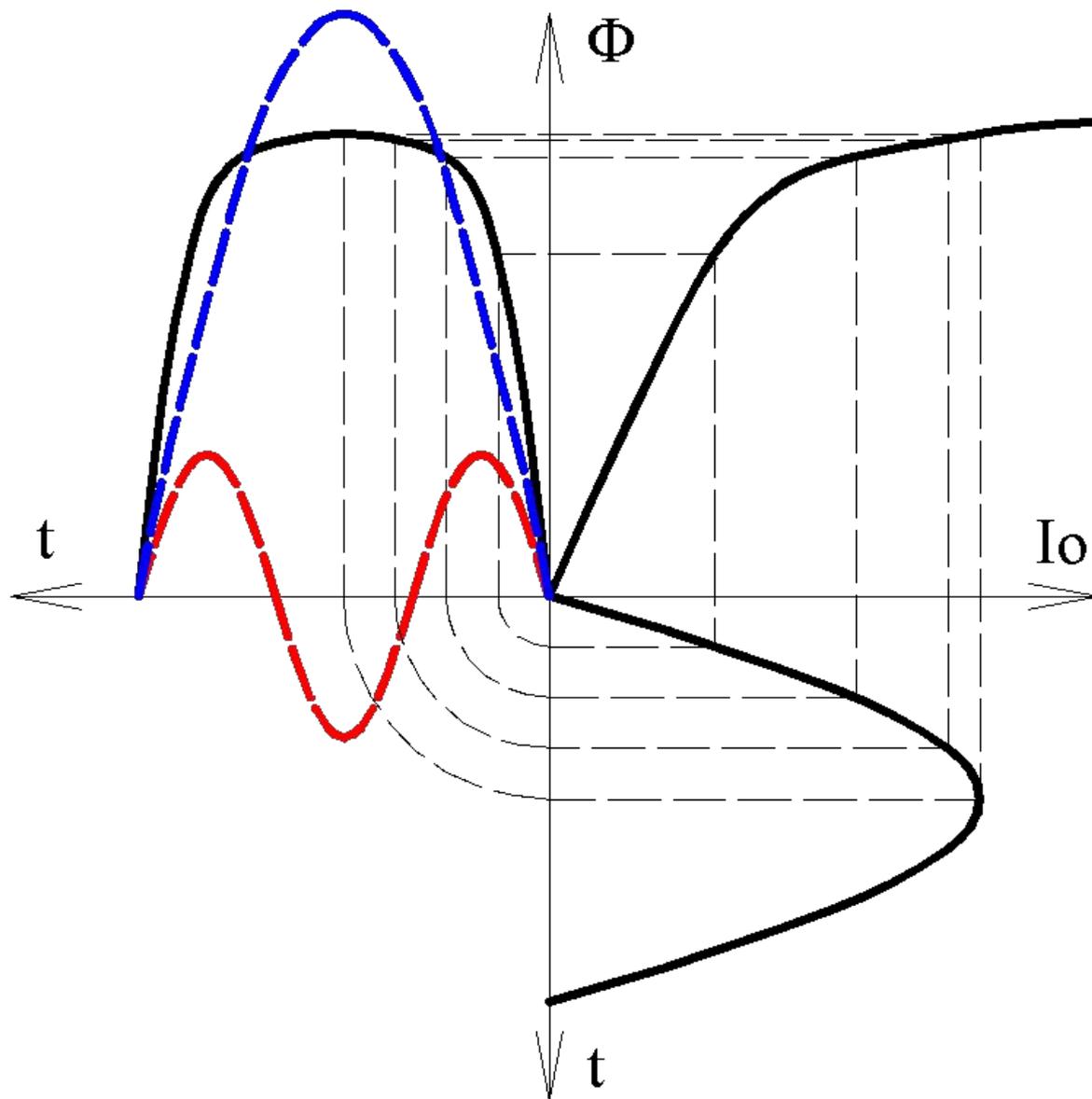
Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования

1. Появляется ток в нейтральном проводе.
2. В трансформаторах не уравновешены магнитные потоки.
3. Во вращающихся машинах возникают добавочные потери. Торможение и вибрация ротора.
4. В конденсаторах - добавочные потери и дополнительный нагрев.
5. Резонанс емкостей и индуктивностей на высоких частотах.
6. Отклонение напряжения. См. ГОСТ 13109-87.
7. Нарушение работы УРЗиА.
Наиболее распространены ложные срабатывания защит, основанных на измерении сопротивлений.
8. Нарушение работы индукционных приборов измерения мощности и учета электроэнергии.
9. Искажение сигналов в линиях связи.

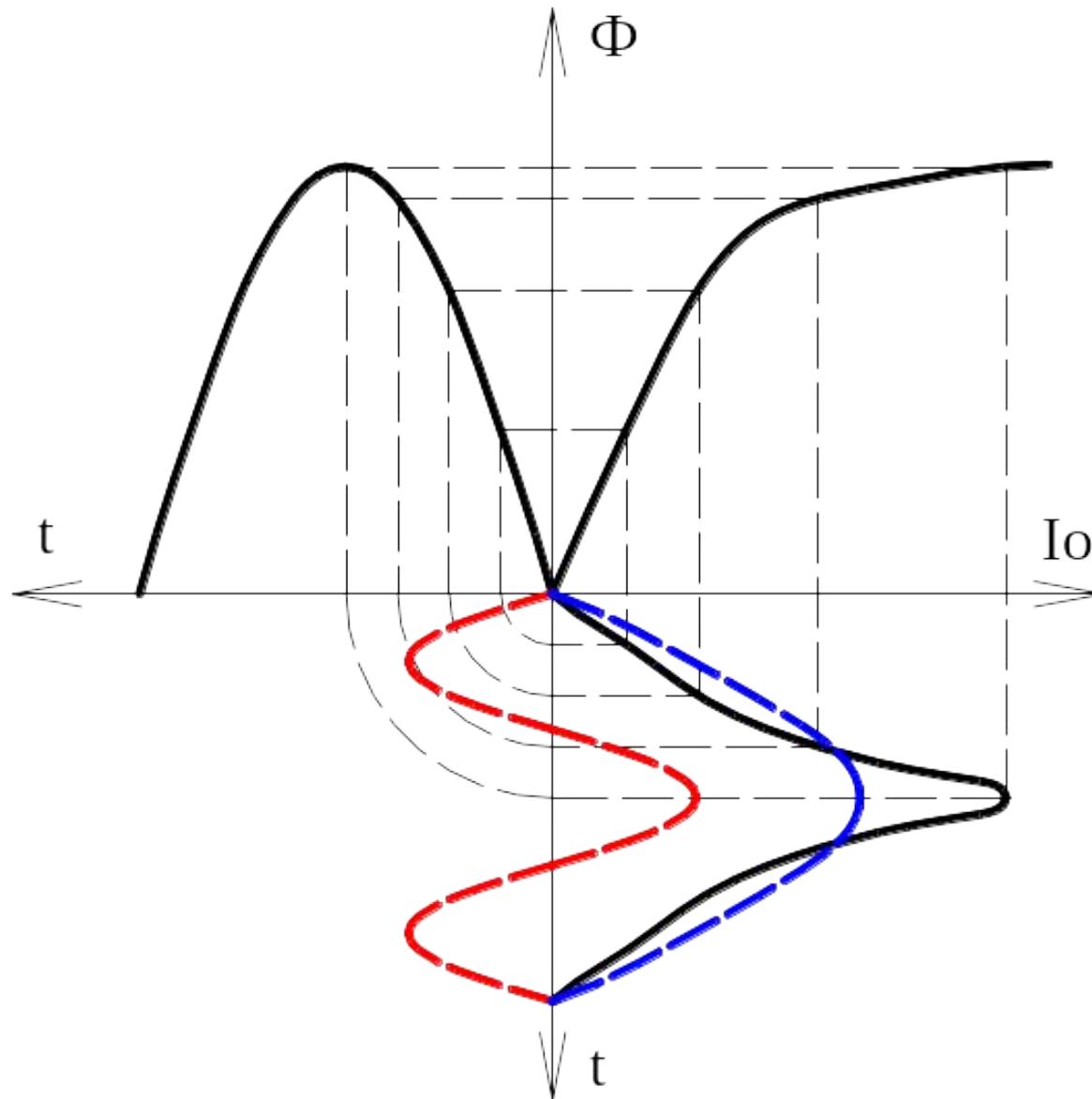
Причины несинусоидальности

1. Генерация
2. Передача и преобразование (трансформаторы)
3. Потребление с нелинейной нагрузкой:
 - Вентильные преобразователи.
 - Силовое электрооборудование с тиристорным управлением.
 - Дуговые и индукционные электропечи.
 - Люминесцентное освещение.

Несинусоидальный магнитный поток при синусоидальном токе намагничивания



Несинусоидальный ток намагничивания при синусоидальном магнитном потоке



$$3) U = 0,4 \text{ кВ}$$

а) Y_n

- Заземление нейтрали – электробезопасность:

Если при замыкании на землю фазы С человек коснется фазы В, то он **кратковременно** оказывается под **фазным** напряжением, а не **длительно** под **линейным** (как это было бы в сети с изолированной нейтралью)

б) Z_n

- Выравнивание напряжений при несимметричной нагрузке.

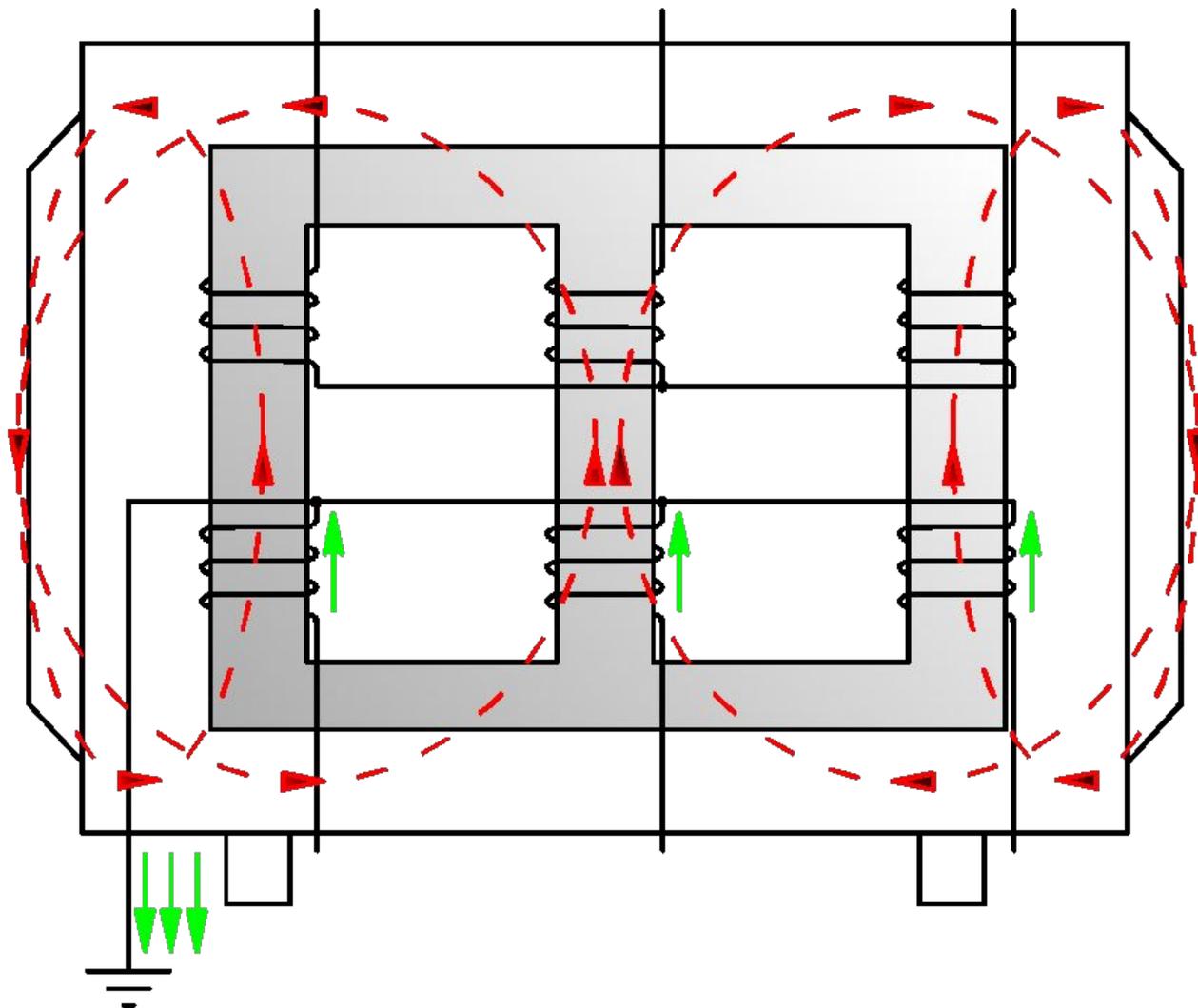
Распределительные трансформаторы 6(10)/0,4 кВ

Схемы соединения обмоток:

- Д/У_н
- У/У_н
- У/З_н



Y/Y_H



Д/У_Н

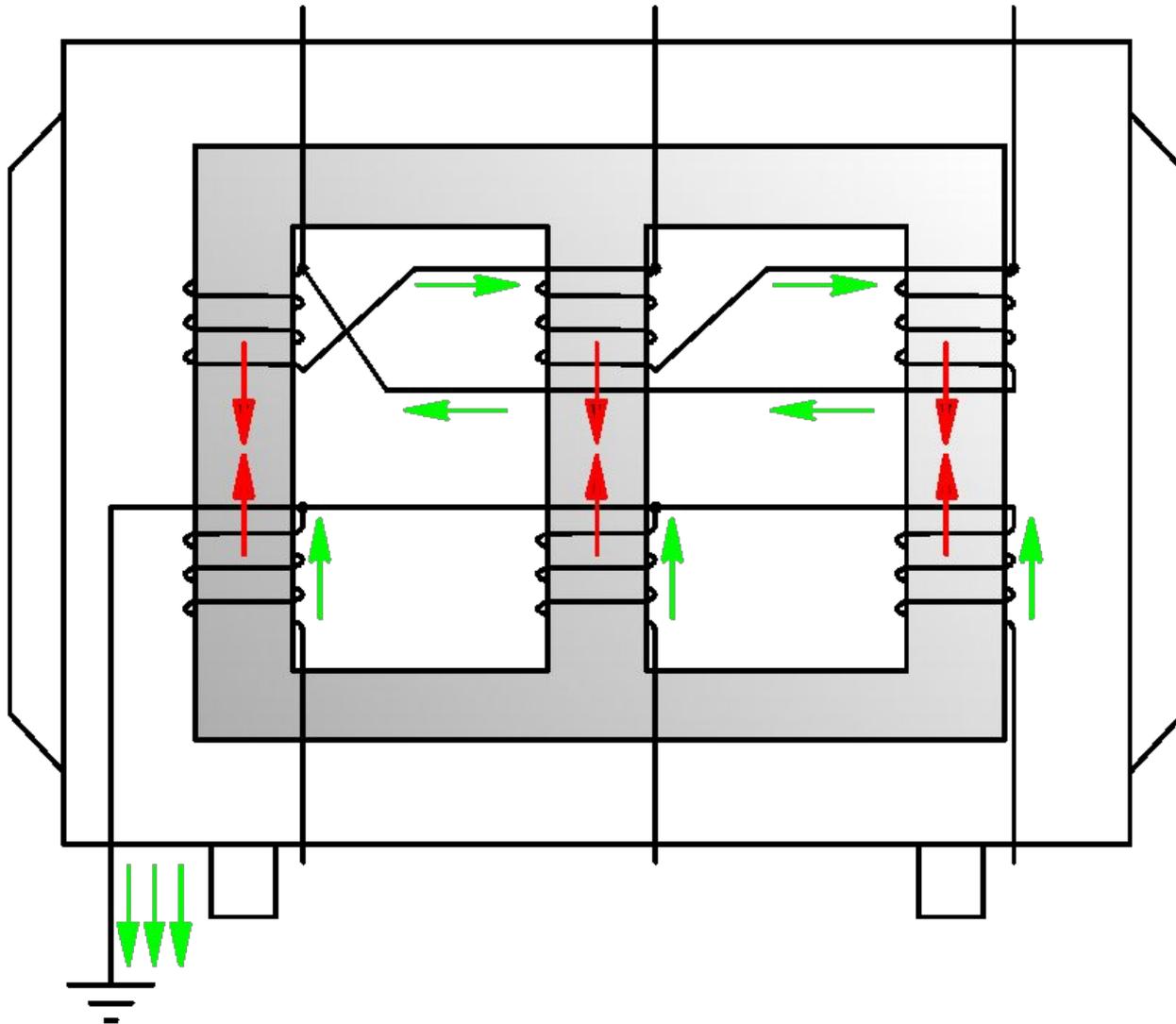
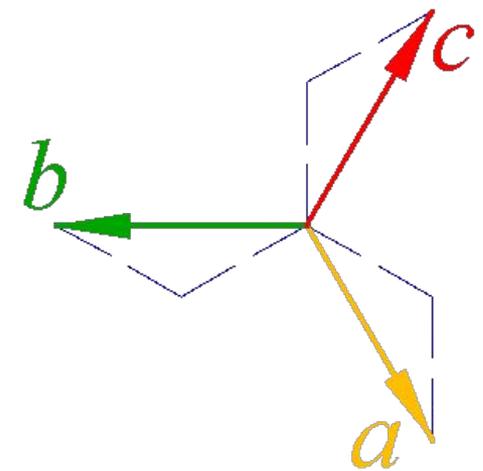
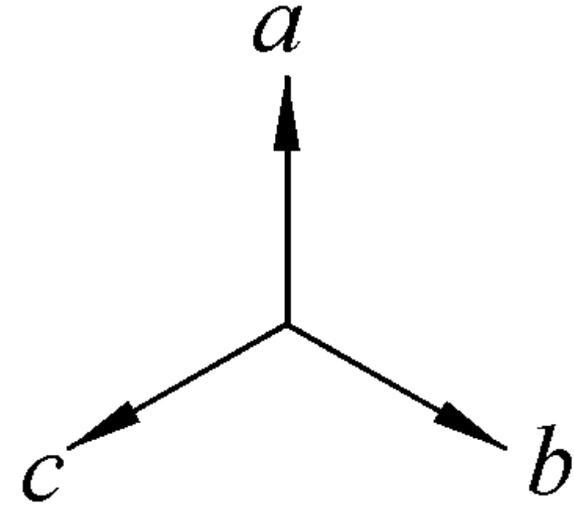
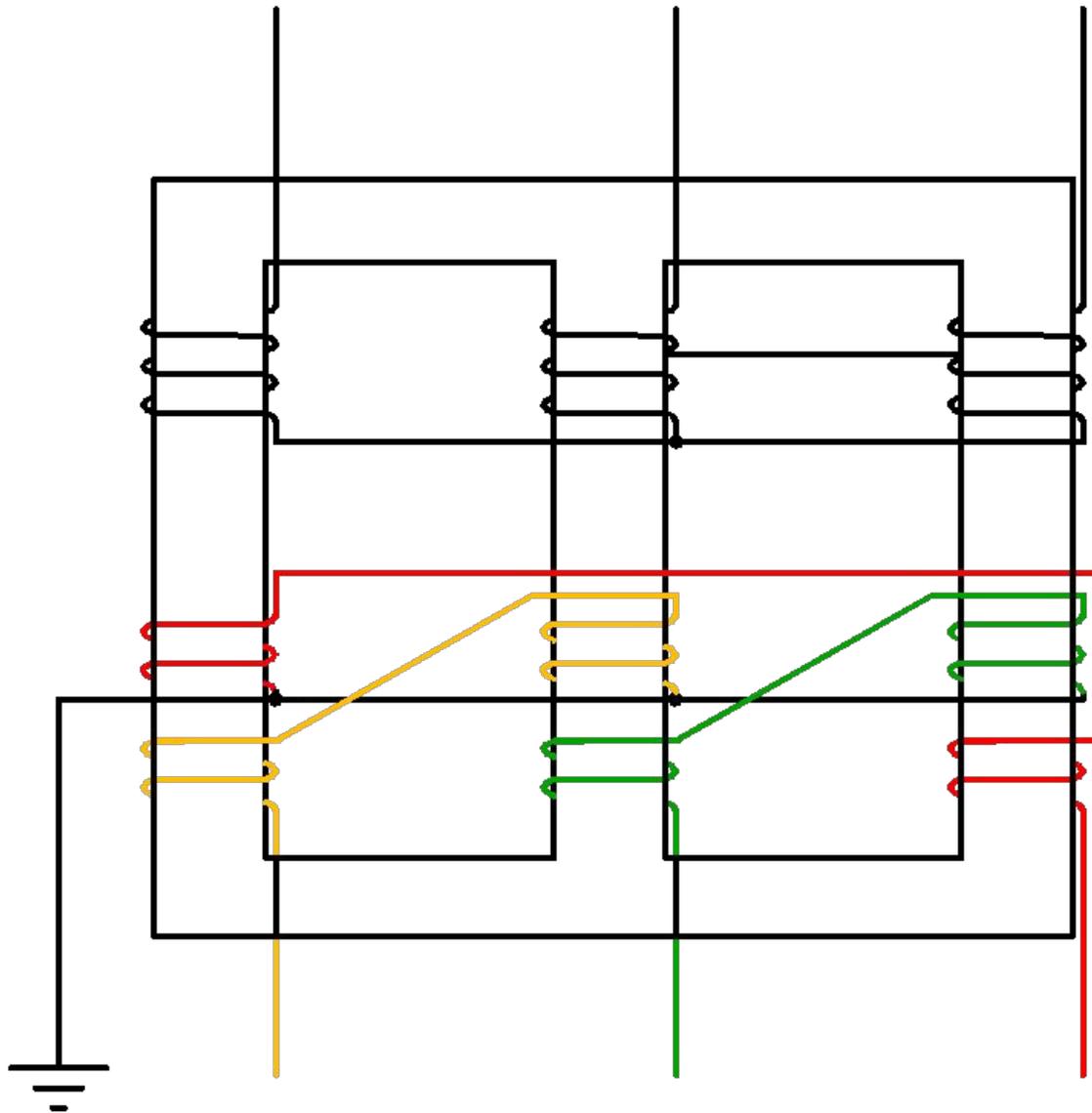


Схема соединения «зигзаг»

Y/Z_H



Y/Z_H

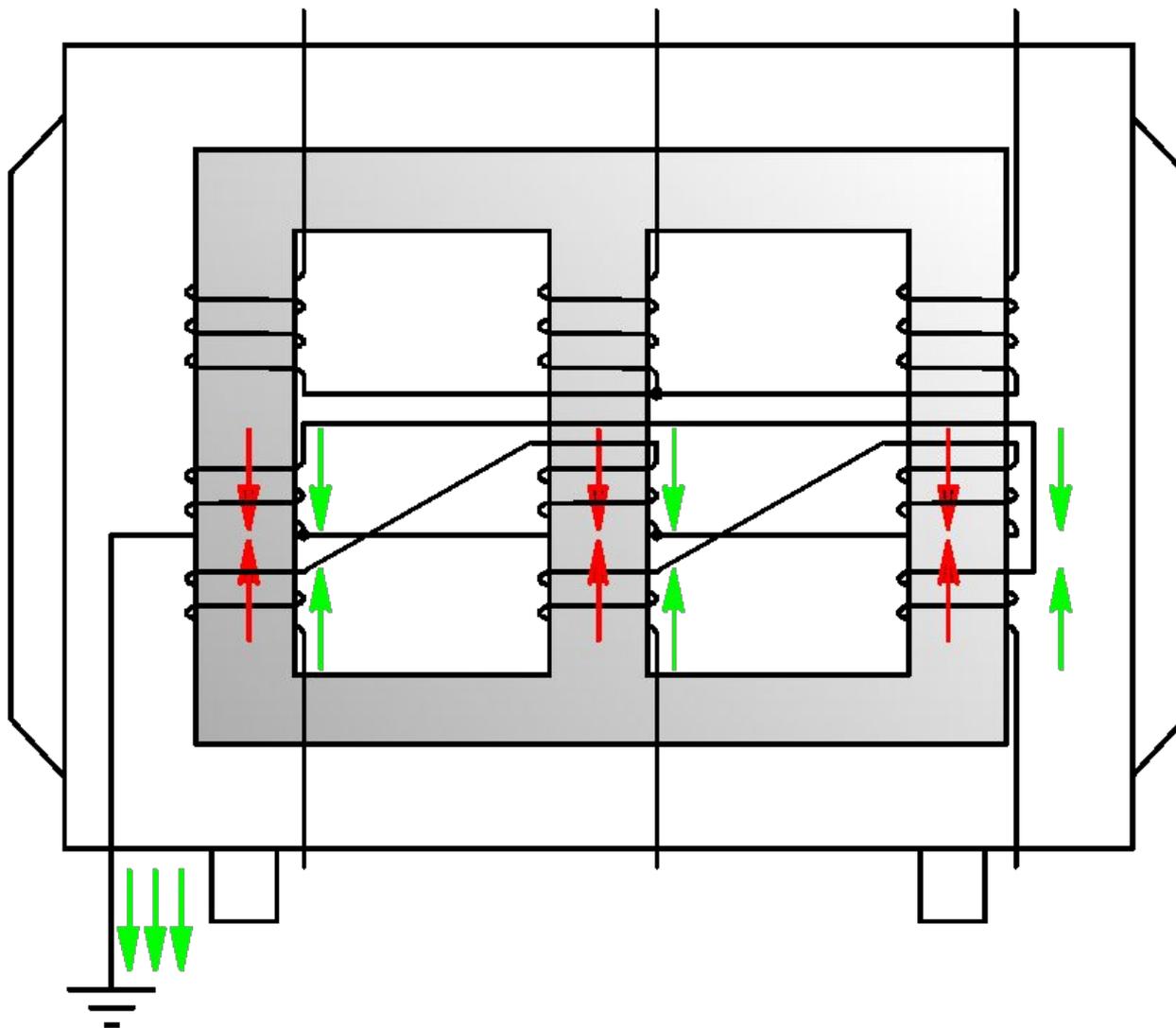
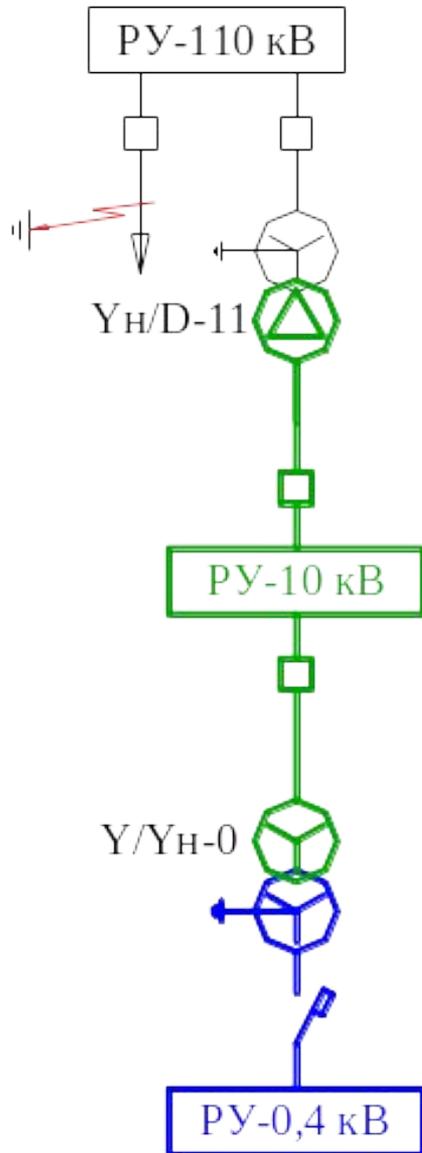


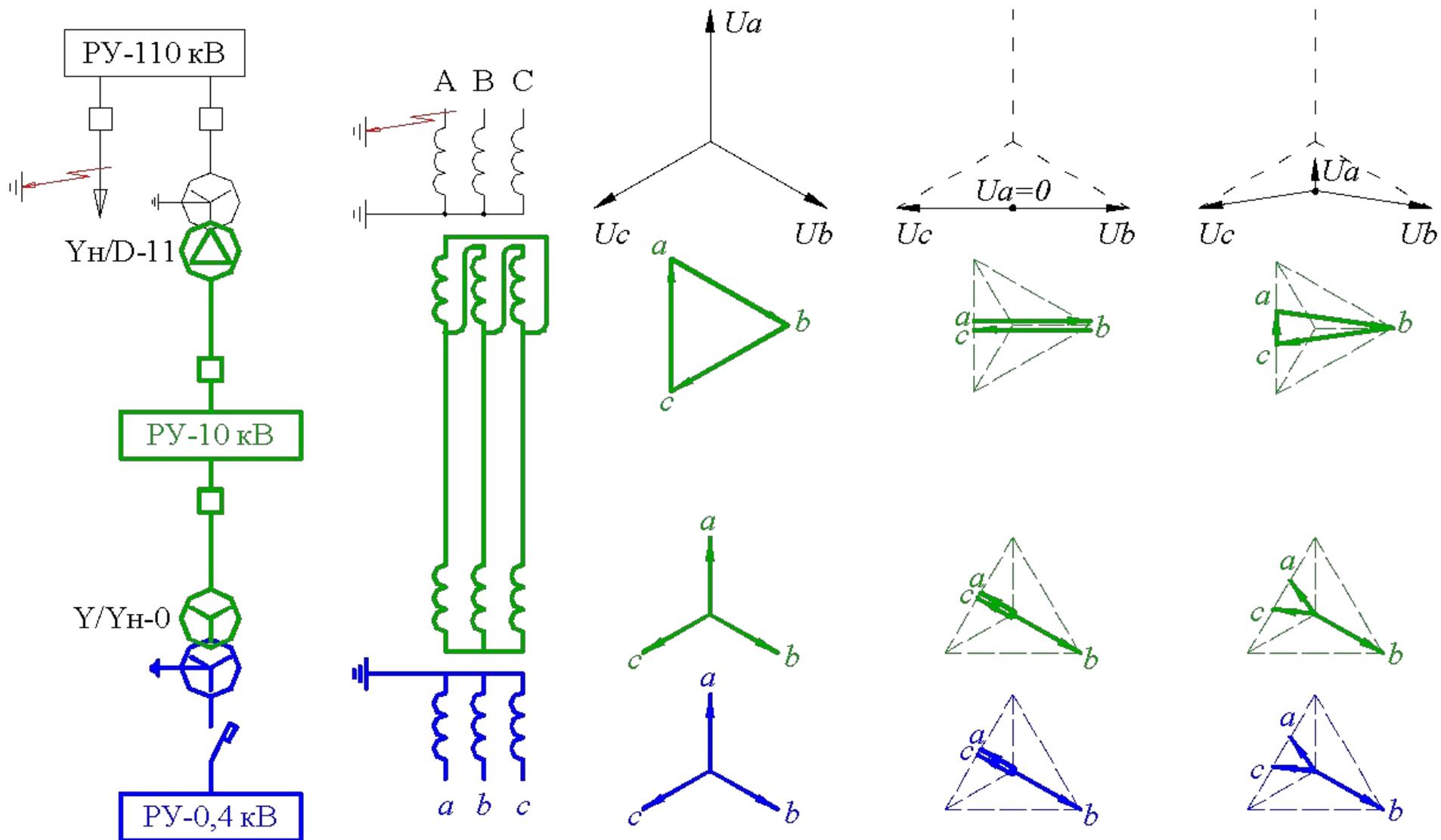
Схема соединения	Y/Yн	$\Delta/Yн$	Y/Zн
Z_0/Z_1	$\approx 10-100$	≈ 1	< 1
$I_k^{(1)}$ по сравнению с $I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} < I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} \approx I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} > I_k^{(3)}$
Возможность применения компенсации емкостных токов	да	нет	да
Преимущества	Возможность применения компенсации емкостных токов. Хорошее токоограничение, обеспечение стойкости коммутационной аппаратуры.	Простота расчета токов 1-фазного КЗ. Определенность в сопротивлениях нулевой последовательности. Простота обеспечения чувствительности защитных аппаратов.	Возможность применения компенсации емкостных токов. Простота обеспечения чувствительности защитных аппаратов.
Недостатки	Смещение нейтрали и искажение напряжений при несимметричной нагрузке. Сложность обеспечения чувствительности защитных аппаратов.	Большие токи 1-фазного КЗ. Невозможность применения компенсации емкостных токов.	Большие токи 1-фазного КЗ. Усложнение РЗ.
Области применения	Трансформаторы 400 кВА и выше при необходимости ограничения тока однофазного КЗ.	Трансформаторы 25-1000 кВА при отсутствии необходимости их применения для компенсации емкостных токов	Трансформаторы 25-250 кВА при необходимости их применения для компенсации емкостных токов

Трансформация напряжений при несимметричных КЗ



- Дано: $K^{(1)}$ фазы А на $U=110$ кВ
- Найти: $U_A, U_B, U_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ на $U=0,4$ кВ

Трансформатор 10/0,4 кВ Y/YH-0



Трансформатор 10/0,4 кВ D/YH-11

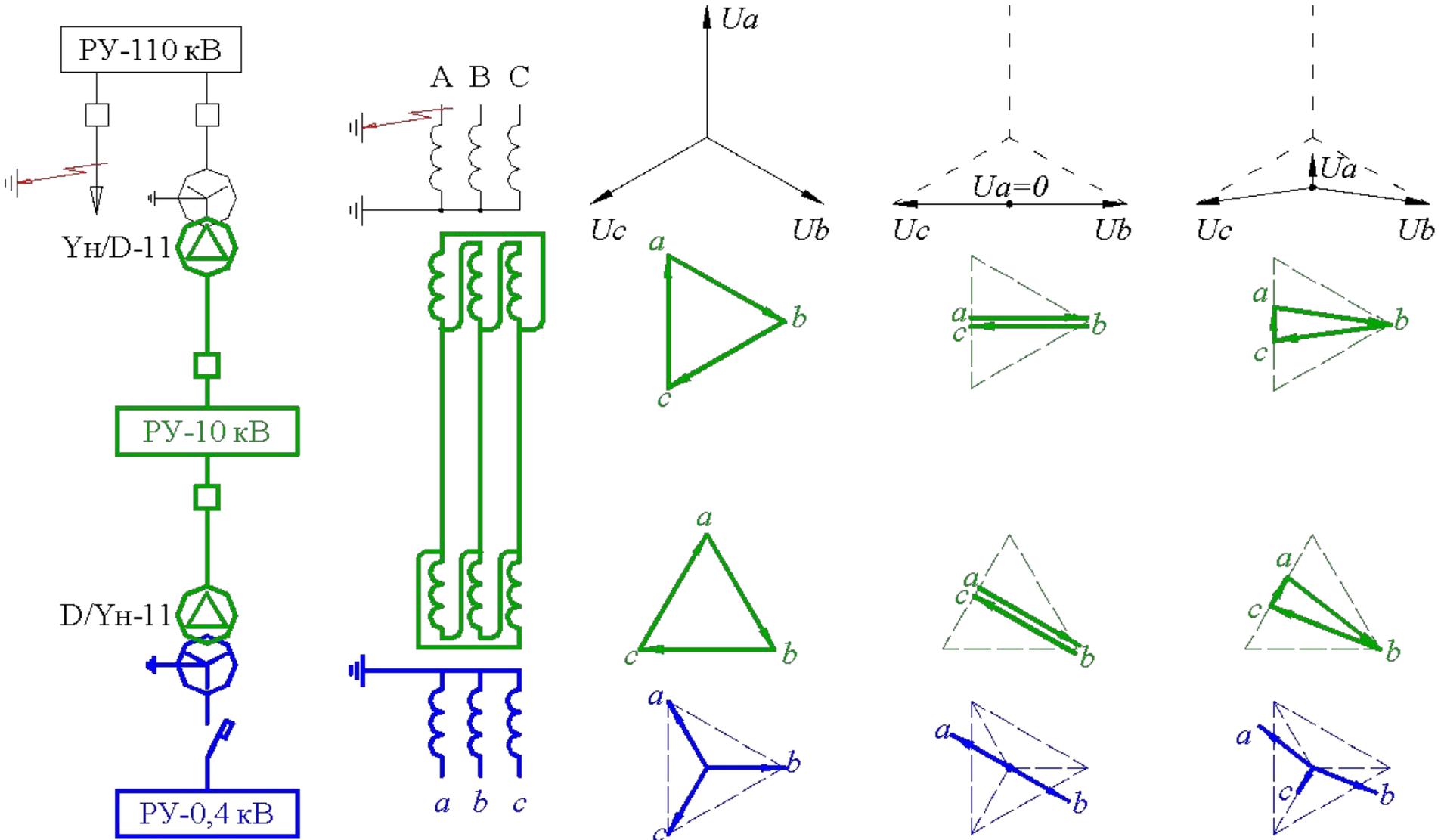
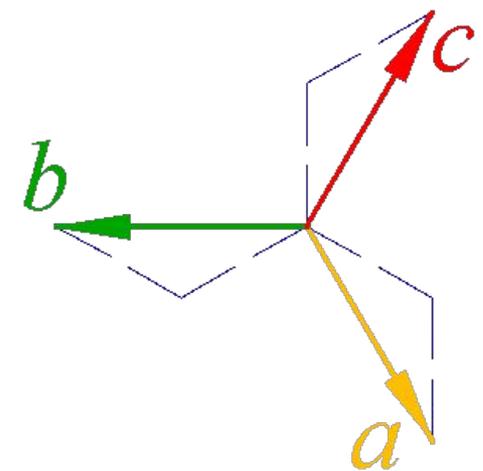
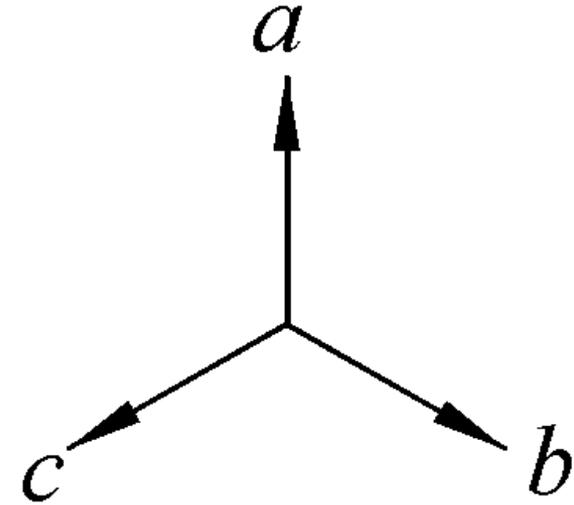
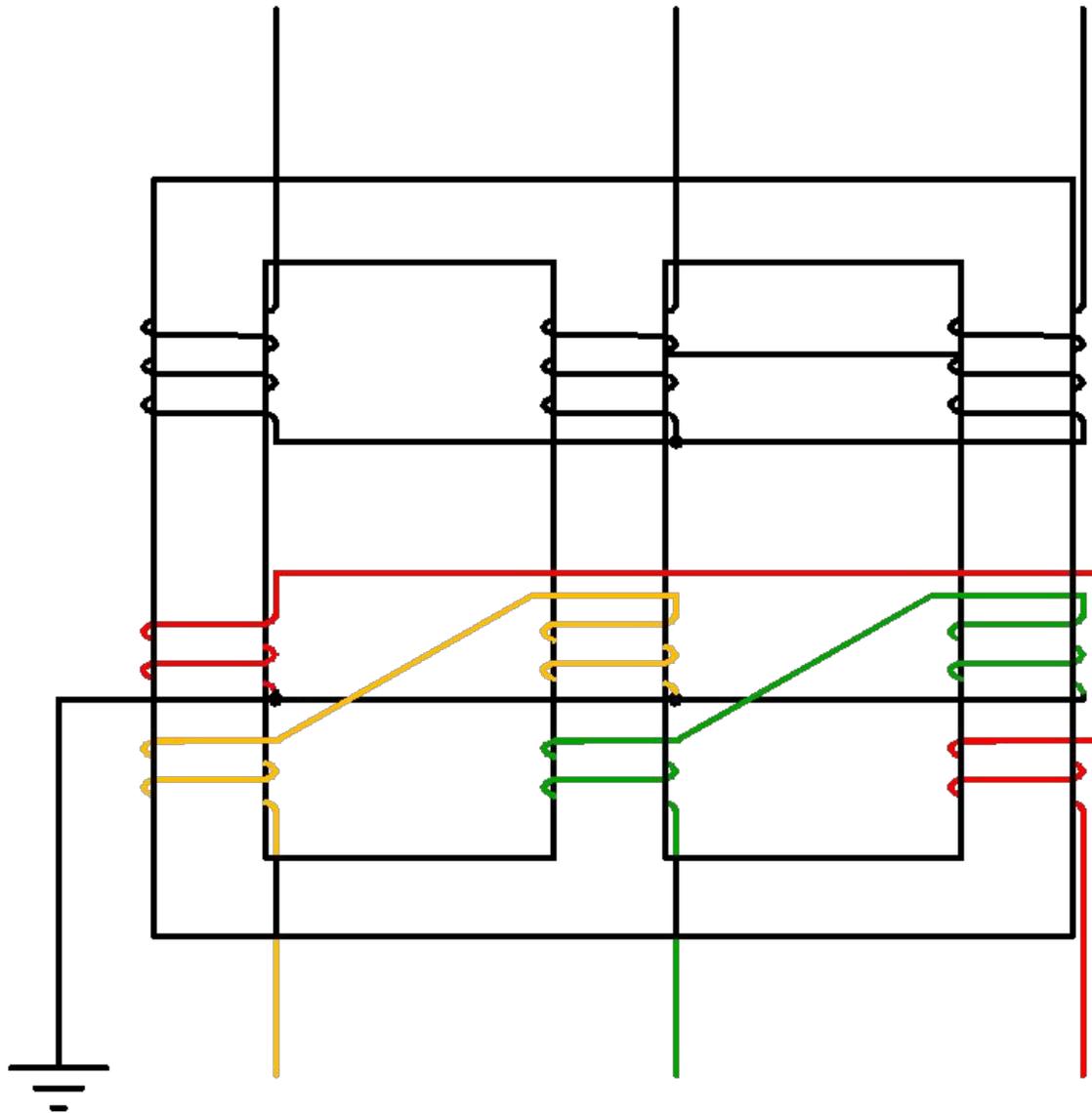
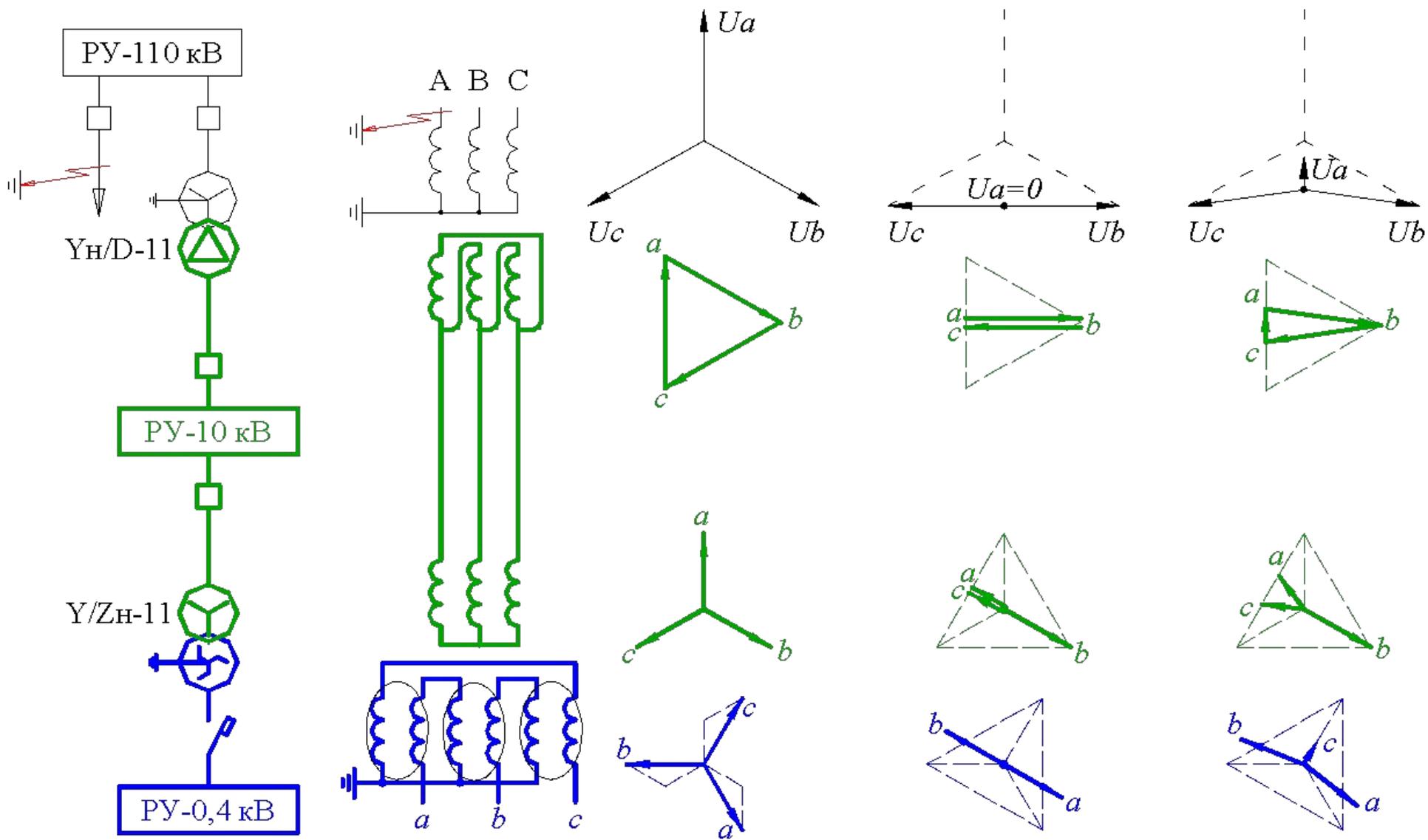


Схема соединения «зигзаг»

Y/Z_H



Трансформатор 10/0,4 кВ Y/ZH-11



Дефекты трансформаторов

Обмотки

- нарушение изоляции между параллельными ветвями
- нарушение главной или продольной изоляции
- ослабление прессовки и деформация
- уменьшение размеров охлаждающих каналов
- ослабление, окисление контактных соединений

Магнитопровод

- ослабление прессовки
- повреждение межлистовой изоляции
- повреждение изоляции узлов стяжки и прессовки (стяжные шпильки, бандажи)

Переключающее устройство

- ослабление, нарушение контактных соединений
- механический износ деталей
- старение масла в контакторе
- повреждение изоляции токоведущих частей

Бак

- утечка масла
- нагрев потоками рассеяния

Масло

- увлажнение, загрязнение
- старение

Система охлаждения

- повреждение в маслососе
- отказ двигателя вентилятора
- засорение труб и межтрубного пространства

Система заземления активной части

- обрыв в цепи заземления

Вводы

- механический износ
- нарушение изоляции
- загрязнение

Процентное соотношение повреждений трансформаторов

Упуск масла	23
Вводы	22
Обмотки	16
РПН	13,5
Течь масла	11
Вандализм	9
Система охлаждения	5
Магнитопровод	0,5

Повреждаемость трансформаторов (выборка за 1998-2002 гг.)



Нормативные документы

Номер ГОСТ	Наименование	Дата введения
11677-85	Трансформаторы силовые. Общие технические условия	01.07.1986
3484.1-88	Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний	30.08.1988
14209-97	Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов	01.01.2002
30830-2002	Трансформаторы силовые. Общие положения	01.01.2004

Производители силовых трансформаторов

- **ОАО «Запорожтрансформатор»**
69600, Украина, г. Запорожье,
Днепропетровское шоссе, 3,
Тел: +38 (061) 270-33-09
www.ztr.ua; office@ztr.ua
- **ПРУП «Минский электротехнический завод им. В. И. Козлова»**
220037, Беларусь, г. Минск,
Уральская улица, д. 4
Тел: 230-11-22, факс: 230-80-80
www.metz.by, metz@land.ru
- **ОАО ХК «Электрозавод»**
107023, г. Москва, ул. Электрозаводская, 21
Тел: (495) 777-82-25, (495) 777-82-26
www.elektrozavod.ru; info@elektrozavod.ru
- **ООО "Тольяттинский Трансформатор"**
445601, Самарская область, г. Тольятти,
ул. Индустриальная, д. 1
Тел: (8482) 26-22-40, 75-99-10, 22-19-74, 75-99-11
www.transformator.com.ru, tez@infopac.ru
- **ОАО «Уралэлектротяжмаш»**
620057, г. Екатеринбург, ул. Шефская, д. 60, оф. 79
Тел: (343) 333-28-57; (343) 335-68-16; 8-922-20-40001
www.uetm.ru, uetmsbit@mail.ru

Силовые трансформаторы (автотрансформаторы)

Трансформаторы.

Основные элементы конструкции.

Системы охлаждения.

Основные характеристики.

Допустимые перегрузки.

Параллельная работа трансформаторов.

Автотрансформаторы.

Схемы соединения обмоток (Δ , Y , Z).

Характерные дефекты.