



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Лекция № 7

Преподаватель: Никитин Дмитрий Сергеевич
доцент ОЭЭ ИШЭ, к.т.н.

ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗРЯДНИКОВ, ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ, ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Общие требования к эксплуатации генераторов закреплены в следующих документах:

1) **ПТЭЭСС. Глава XXXIV** «Требования к эксплуатации РУ».

ПТЭЭСС. Глава XLII «Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений».

2) **ПУЭ. Глава 4.2** «Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ»:

- Защита от грозовых перенапряжений
- Защита вращающихся электрических машин от грозовых перенапряжений
- Защита от внутренних перенапряжений

Глава 1.5. «Учет электроэнергии». Учет с применением измерительных трансформаторов

Глава 1.6. «Измерения электрических величин».

3) ГОСТы:

Ограничители перенапряжения

ГОСТ Р 52725-2021. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ.

ГОСТ Р 55630-2013. Перенапряжения импульсные и защита от перенапряжений в низковольтных системах переменного тока.

ГОСТ 34883-2022. Устройства защиты от повышенного напряжения промышленной частоты (УЗНПЧ) бытового и аналогичного назначения

ГОСТ Р 53735.5-2009. Разрядники вентильные и ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ

3) ГОСТы:

ГОСТ Р 70507.X-2024

Серия стандартов под общим наименованием «*Трансформаторы измерительные*» состоит из следующих частей:

- часть 1. Общие технические условия;
- часть 2. Технические условия на трансформаторы тока;
- часть 3. Технические условия на трансформаторы напряжения;
- часть 4. Технические условия на комбинированные трансформаторы;
- часть 5. Технические условия на емкостные трансформаторы напряжения;
- часть 6. Дополнительные общие технические условия на электронные измерительные трансформаторы;
- часть 7. Технические условия на электронные трансформаторы напряжения;
- часть 8. Технические условия на электронные трансформаторы тока;
- часть 9. Технические условия на автономные устройства сопряжения с шиной процесса;
- часть 10. Технические условия на комбинированные электронные измерительные трансформаторы;
- часть 11. Технические условия на маломощные измерительные трансформаторы (датчики);
- часть 12. Технические условия на средства измерения показателей качества электроэнергии.

4) Наиболее релевантные действующие стандарты организаций:

- РД (Руководящий документ) 34.45-51.300-97 (РАО ЕЭС России). Объем и нормы испытаний электрооборудования
- СТО ПАО «Россети» 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы тока и напряжения предназначены для измерения тока и напряжения, питания схем релейной защиты и автоматики, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Несмотря на изменение элементной базы релейной защиты и автоматики измерительные трансформаторы по-прежнему остаются первичными датчиками тока и напряжения. Это в полной мере относится и к современным микропроцессорным защитам. От работы измерительных трансформаторов зависит не только точный учет электроэнергии, отпускаемой потребителям, но и бесперебойность их электроснабжения, сохранность электрооборудования, особенно при коротких замыканиях. Правильная работа измерительных трансформаторов, используемых для релейной защиты и автоматики, необходима для надежного их функционирования.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Электромагнитные измерительные трансформаторы являются одной из разновидностей первичных преобразователей тока и напряжения. В настоящее время разработаны и создаются другие виды первичных измерительных преобразователей, например оптико-электронные преобразователи.

Требования к **точности** измерительных трансформаторов устанавливаются в зависимости от вида нагрузки, их назначения и других условий. Поэтому трансформаторы следует выбирать с учетом требуемого класса точности. Измерительные трансформаторы разнообразны и по конструктивному исполнению, что обусловлено различной компоновкой распределительных устройств, их габаритами, способами крепления и т.п. Кроме того, конструктивное исполнение трансформаторов тока и напряжения зависит от их номинальных параметров.

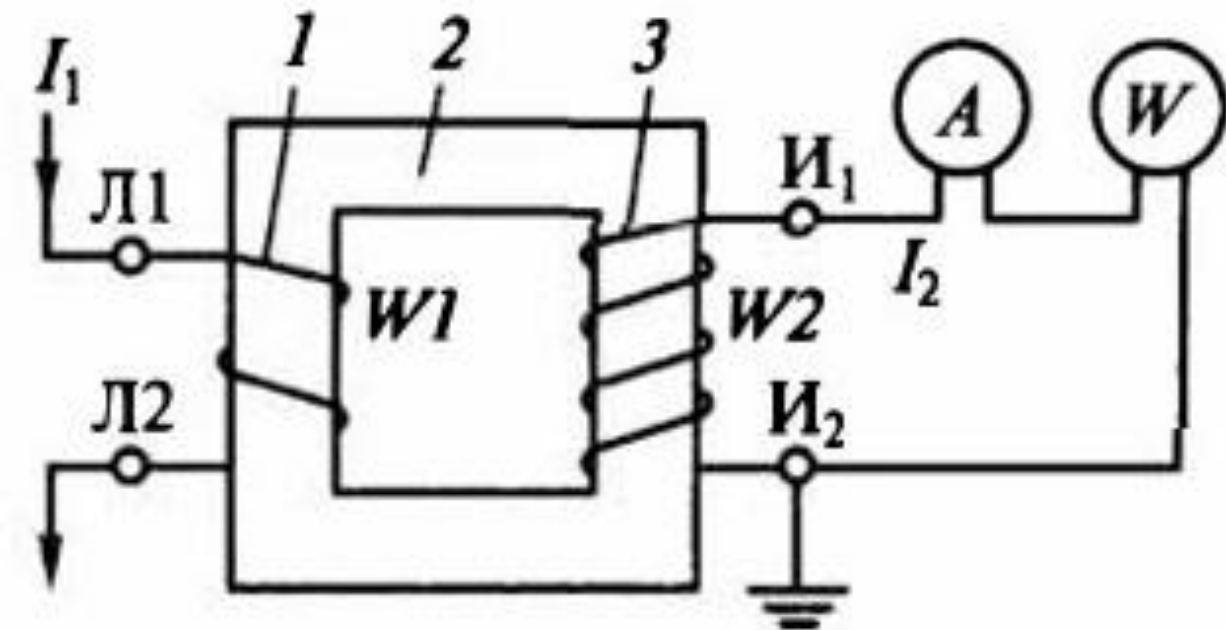
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Трансформатор тока имеет замкнутый магнитопровод 2 и две обмотки – первичную 1 и вторичную 3. Первичная обмотка включается последовательно в цепь измеряемого тока I_1 , ко вторичной обмотке присоединяются измерительные приборы, обтекаемые током I_2 . Трансформатор тока характеризуется номинальным **коэффициентом трансформации**

$$K_I = I_{1\text{ном}}/I_{2\text{ном}},$$

$I_{1\text{ном}}$ и $I_{2\text{ном}}$ – номинальные значения первичного и вторичного тока соответственно.

Значения номинального вторичного тока приняты равными 5 и 1 А.



Принципиальная схема многовиткового трансформатора тока:

1 – первичная обмотка;

2 – магнитопровод;

3 – вторичная обмотка

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Коэффициент трансформации трансформаторов тока не является строго постоянной величиной и может отличаться от номинального значения вследствие погрешности, обусловленной наличием тока намагничивания.

Токовая погрешность определяется по выражению

$$\Delta I \% = \frac{K_1 I_2 - I_1}{I_1} 100.$$

Погрешность трансформатора тока зависит от его конструктивных особенностей: сечения магнитопровода, магнитной проницаемости материала магнитопровода, средней длины магнитного пути, значения $I_1 w_1$.

В зависимости от предъявляемых требований выпускаются трансформаторы тока с классами точности 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Указанные цифры представляют собой токовую погрешность в процентах номинального тока при нагрузке первичной обмотки током 100-120 % для первых трех классов и 50-120 % для двух последних.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Для трансформаторов тока классов точности 0,2; 0,5 и 1 нормируется также **угловая погрешность**. Погрешность трансформатора тока зависит от вторичной нагрузки (сопротивление приборов, проводов, контактов) и от кратности первичного тока по отношению к номинальному. Увеличения нагрузки и кратности тока приводят к увеличению погрешности.

При первичных токах, значительно меньших номинального, погрешность трансформатора тока также возрастет.

Трансформаторы тока класса 0,2 применяются для присоединения точных лабораторных приборов,

класса 0,5 – для присоединения счетчиков денежного расчета,

класса 1 – для всех технических измерительных приборов,

классов 3 и 10 – для релейной защиты.

Кроме рассмотренных классов, выпускаются также трансформаторы тока со вторичными обмотками типов Д (для дифференциальной защиты), З (для земляной защиты), Р (для прочих релейных защит).

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Токовые цепи измерительных приборов и реле имеют малое сопротивление, поэтому трансформатор тока нормально работает в режиме, близком к режиму КЗ. Если разомкнуть вторичную обмотку, магнитный поток в магнитопроводе резко возрастет, так как он будет определяться только МДС первичной обмотки. В этом режиме магнитопровод может нагреться до недопустимой температуры, а на вторичной разомкнутой обмотке появится высокое напряжение, достигающее в некоторых случаях десятков киловольт.

Из-за указанных явлений **не разрешается размыкать вторичную обмотку** трансформатора тока при протекании тока в первичной обмотке.

При необходимости замены измерительного прибора или реле предварительно замыкается накоротко вторичная обмотка трансформатора тока (или шунтируется обмотка реле, прибора).

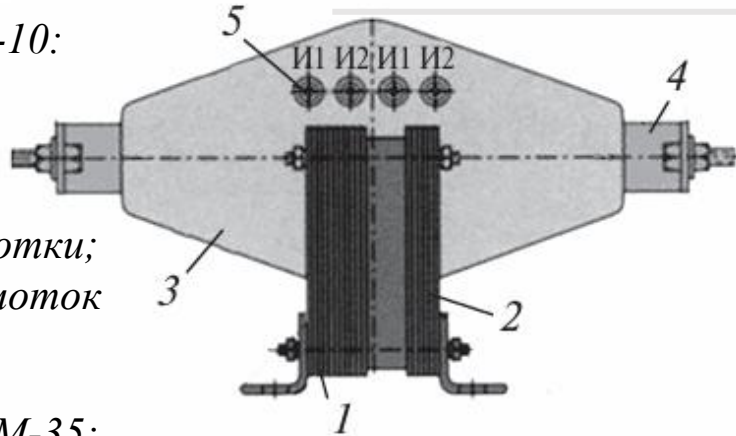
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Конструктивно трансформаторы тока выполняются или как самостоятельные однофазные аппараты, или в виде встроенных аппаратов (например, во вводы выключателей, трансформаторов). В зависимости от параметров, назначения, места и способа установки трансформаторы тока различаются формой и видом конструкции, материалом изоляции, числом вторичных обмоток, расположением выводов и т.п.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

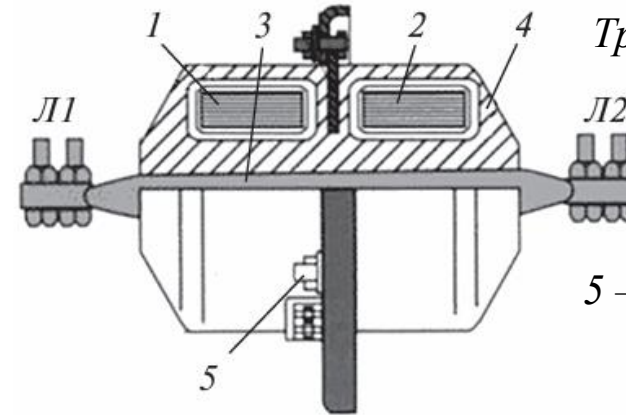
Трансформатор тока ТПЛ-10:

- 1 — сердечник;
2 — сердечник класса 0,5;
3 — литой корпус;
4 — выводы первичной обмотки;
5 — выводы вторичных обмоток



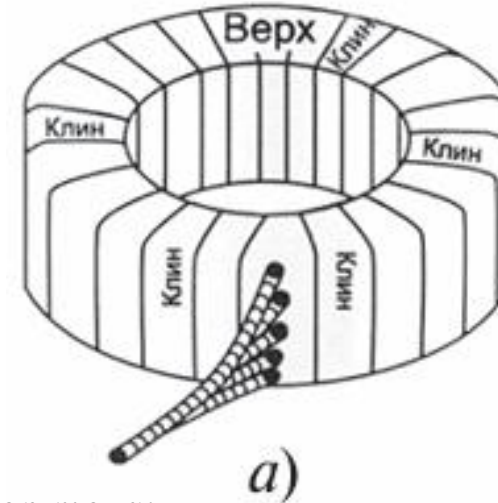
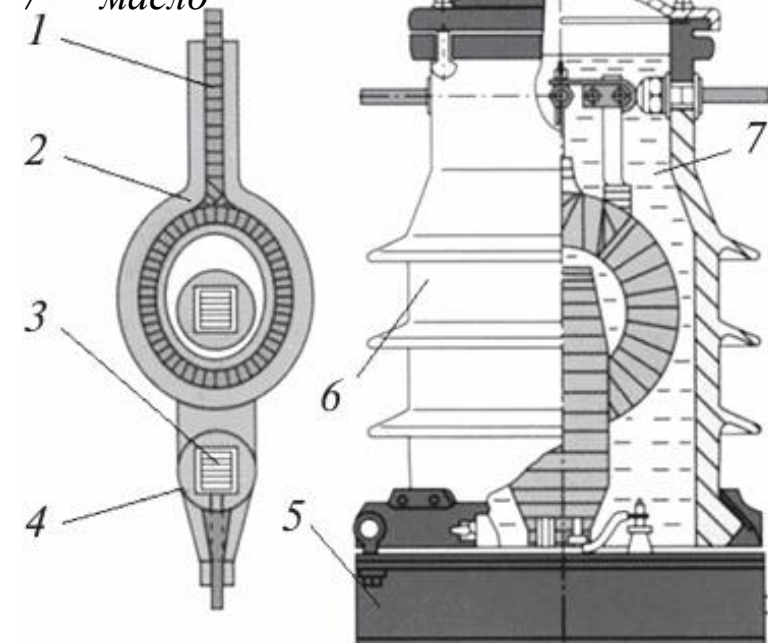
Трансформатор тока ТПОЛ-10:

- 1, 2 — сердечники;
3 — стержень первичной обмотки;
4 — литой корпус;
5 — выводы вторичных обмоток

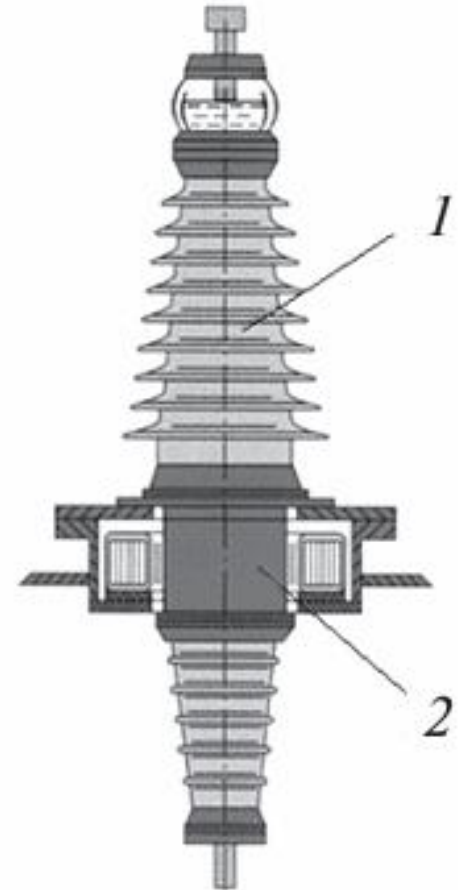


Трансформатор тока ТФЗМ-35:

- 1 — первичная обмотка; 2 — изоляция; 3 — магнитопровод вторичной обмотки; 4 — вторичная обмотка; 5 — коробка выводов вторичной обмотки; 6 — фарфоровый изолятор; 7 — масло

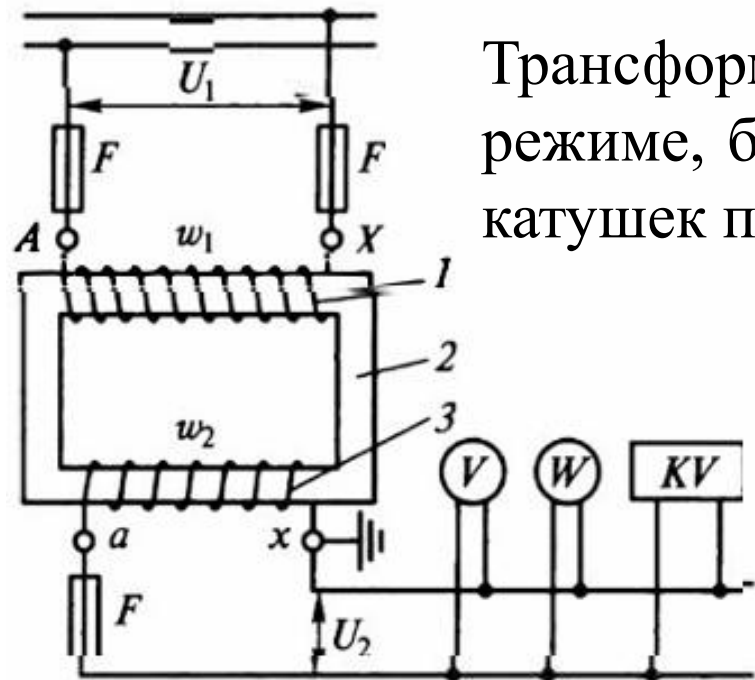


- Встроенный трансформатор тока:
а — внешний вид
б — установка трансформатора тока 2 на вводе 1 высокого напряжения



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Трансформатор напряжения предназначен для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100 или $100/\sqrt{3}$ В и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения. На схеме включения однофазного трансформатора напряжения первичная обмотка включена на напряжение сети U_1 , а ко вторичной обмотке (напряжение U_2) присоединены параллельно катушки измерительных приборов и реле. Для безопасности обслуживания один выход вторичной обмотки заземлен.



Трансформатор напряжения в отличие от трансформатора тока работает в режиме, близком к холостому ходу, так как сопротивление параллельных катушек приборов и реле большое, а ток, потребляемый ими, невелик.

Схема включения трансформатора напряжения:

- 1 – первичная обмотка;*
- 2 – магнитопровод;*
- 3 – вторичная обмотка*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Номинальный коэффициент трансформации определяется следующим выражением:

$$K_U = \frac{U_{1 \text{ ном}}}{U_{2 \text{ ном}}},$$

где $U_{1 \text{ ном}}$, $U_{2 \text{ ном}}$ — номинальные первичное и вторичное напряжение соответственно.

Рассеяние магнитного потока и потери в сердечнике приводят к **погрешности** измерения

$$\Delta U\% = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_2} 100.$$

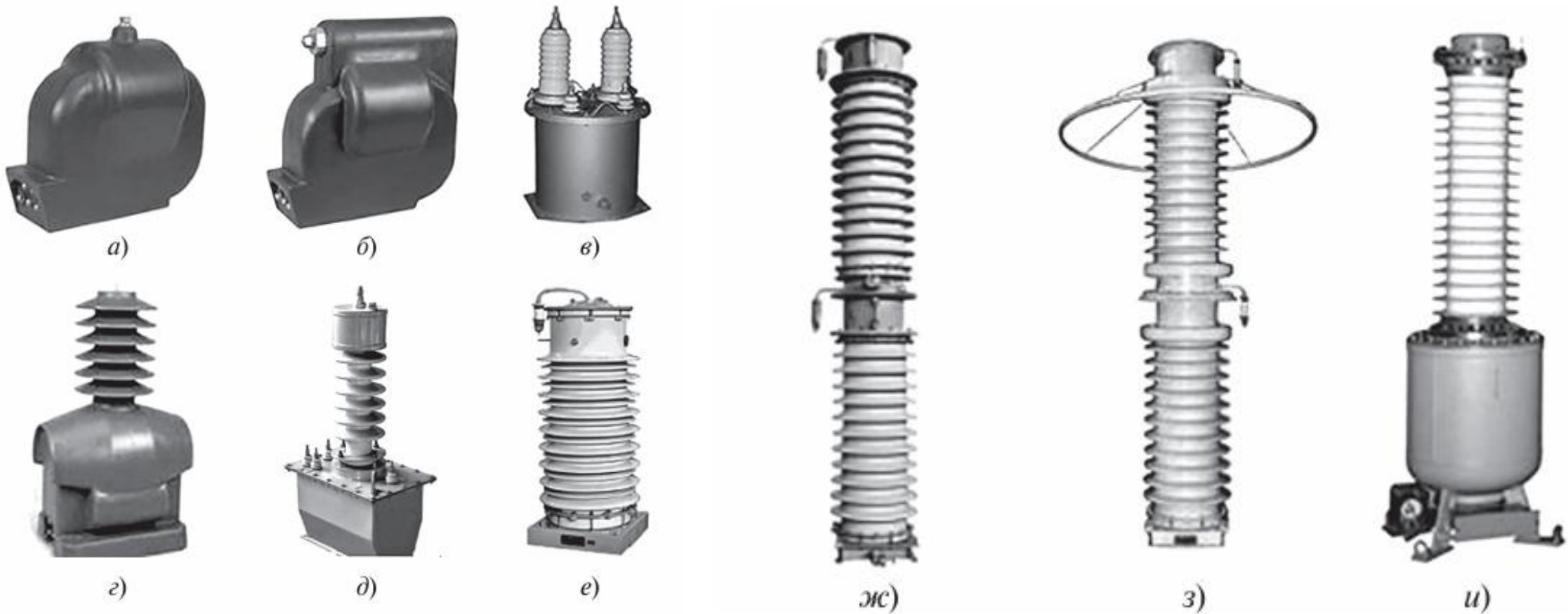
Так же как и в трансформаторах тока, вектор вторичного напряжения сдвинут относительно вектора первичного напряжения не точно на угол 180° . Это определяет угловую погрешность.

В зависимости от номинальной погрешности различают классы точности 0,2; 0,5; 1; 3. Погрешность зависит от конструкции магнитопровода, магнитной проницаемости стали и от $\cos\varphi$ вторичной нагрузки.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

В конструкции трансформаторов напряжения предусматривается компенсация погрешности по напряжению путем некоторого уменьшения числа витков первичной обмотки, а также компенсация угловой погрешности за счет специальных компенсирующих обмоток. Суммарное потребление обмоток измерительных приборов и реле, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, не должно превышать номинальную мощность трансформатора напряжения, так как в противном случае это приведет к увеличению погрешностей.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ



Общий вид измерительных трансформаторов напряжения:

а — ЗНОЛ-10; б — ЗНОЛП-10; в — ЗНОМ-10;

г — ЗНОЛ-35; д — ЗНОМ-35; е — НКФ-35;

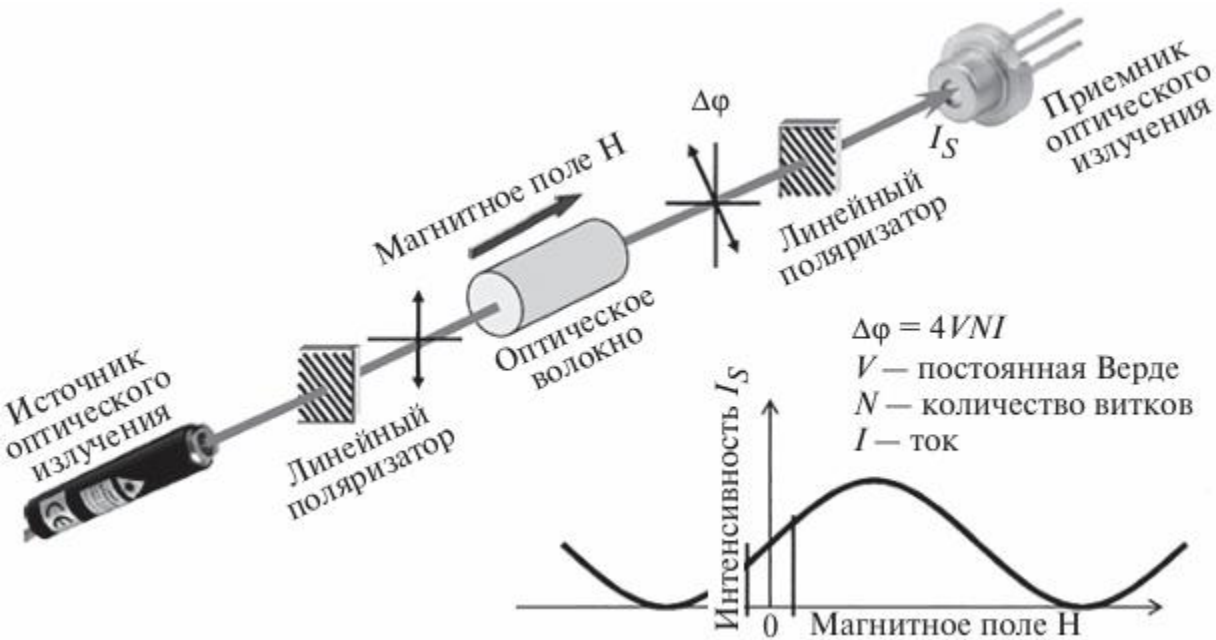
ж — НКФ-220; з — НКФ-330; и — НОГ-110 (элегазовый)

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время широко применяют оптико-электронные измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Принцип действия **оптико-электронного трансформатора тока** основан на использовании продольного магнитооптического эффекта Фарадея, который заключается в том, что при распространении линейно поляризованного света через вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света. Измерение тока оптическим трансформатором тока основано на эффекте Фарадея и использует отражение световой волны в конце оптического волокна. Это обеспечивает независимость выходного сигнала датчика от температурных воздействий и механических вибраций.

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



Продольный магнитооптический эффект Фарадея



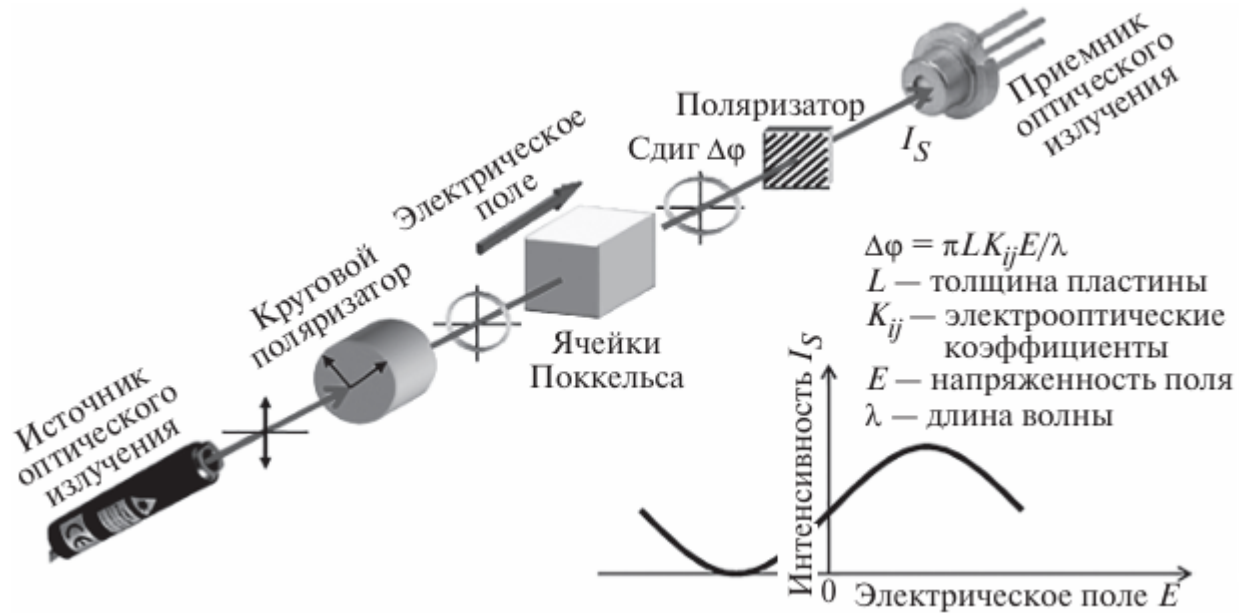
Функциональная схема оптического трансформатора тока

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

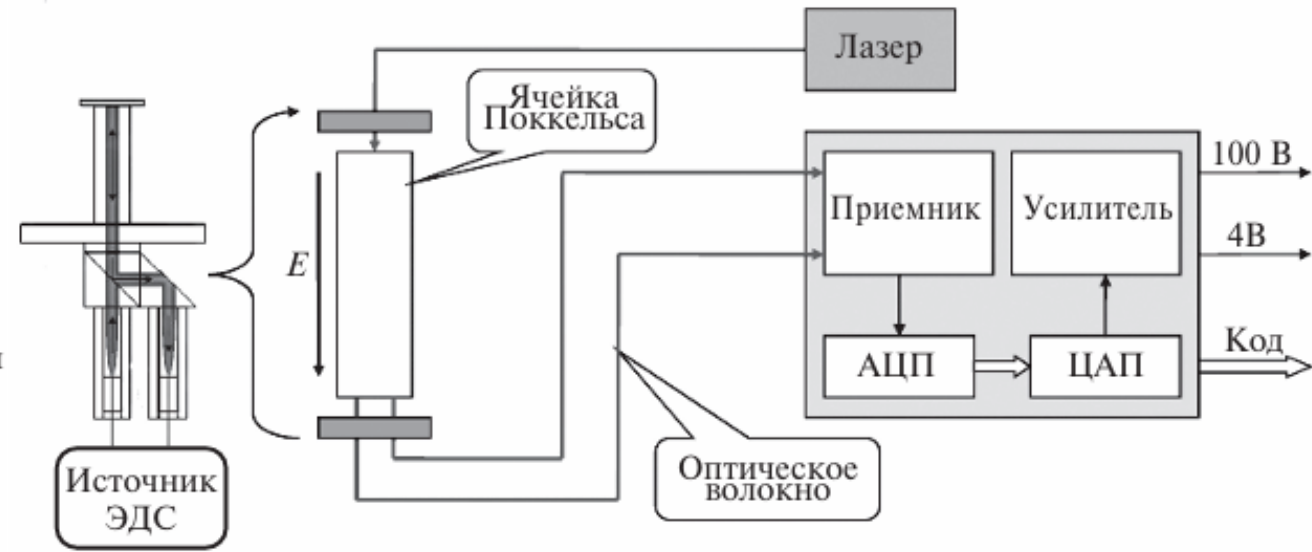
Принцип действия **оптико-электронного трансформатора напряжения** основан на использовании линейного электрооптического эффекта Поггеля — явления возникновения двойного луче преломления в оптической среде при наложении постоянного или переменного электрического поля.

Измерение напряжения основано на измерении электрического поля ячейкой Поггеля с использованием двухканального метода, обеспечивающего устойчивость к колебаниям температуры, вибраций и изменению интенсивности света от лазерного источника.

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



Линейный электрооптический эффект Поккельса



Функциональная схема измерительного оптического трансформатора напряжения

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



а)



б)



в)

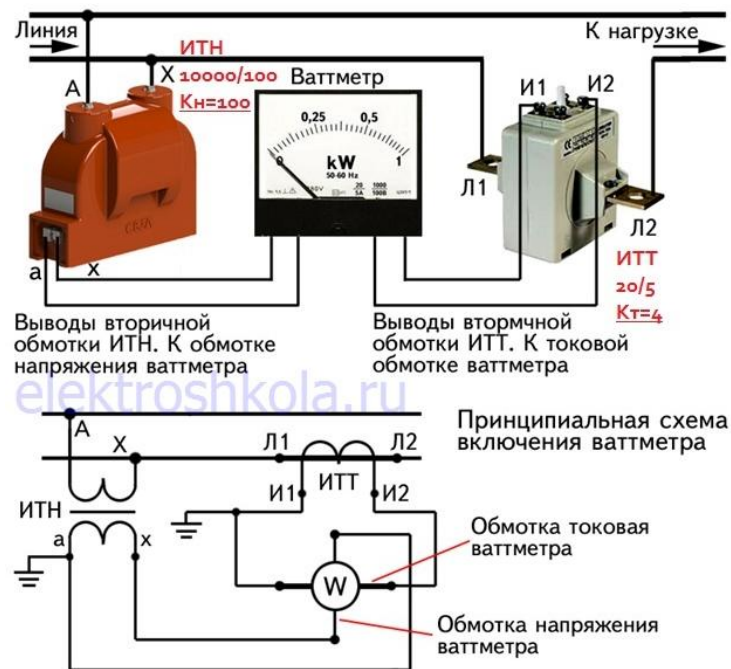
*Оптические измерительные трансформаторы:
а — трансформатор тока;
б — трансформатор напряжения;
в — комбинированный трансформатор тока и
напряжения*

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Обозначение выводов обмоток трансформаторов тока

Выводы первичной обмотки обозначаются Л1 и Л2. Выводы вторичных обмоток обозначаются буквой И. Перед ней стоит номер обмотки, а цифра в индексе обозначает номер вывода: начала (1), ответвления (2) или конца (2 или 3). При направлении первичного тока от Л1 к Л2 вторичный ток во внешней цепи (по приборам) проходит от И1 к И2.

Подключение ИТ и ТН



Обозначение выводов обмоток трансформаторов напряжения

Фазный вывод первичной обмотки ТН обозначается буквой А и присоединяется к одной из фаз сети. Заземляющий вывод первичной обмотки ТН обозначается буквой Х и присоединяется к земле. Начало и конец первой вторичной обмотки обозначаются а1 и х1 соответственно, второй вторичной обмотки а2 и х2 .

Выводы дополнительной вторичной обмотки обозначаются ад и хд.

Вторичные обмотки трех фаз соединяются в звезду с выведенной нейтралью, а дополнительные – в разомкнутый треугольник. Номинальное междофазное вторичное напряжение обычно составляет 100В.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ввод в эксплуатацию новых измерительных трансформаторов и измерительных трансформаторов, прошедших восстановительный или капитальный ремонт

Перед монтажом новых измерительных трансформаторов выполнить по документам проверку соответствия климатического исполнения трансформаторов тока и напряжения условиям эксплуатации.

При выборе измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) при замене на новые необходимо осуществлять проверку совместимости их параметров с реальными условиями работы энергообъекта в составе энергосистемы (учет реального характера апериодической составляющей тока короткого замыкания, учет реальной нагрузки, подключенной к вторичной обмотке ТТ, проверка по характеристикам намагничивания возможности дифференциальной схеме с другими ТТ и т.п.).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При вводе в эксплуатацию масляные ТТ должны пройти проверку:

- внешний осмотр;
- расконсервацию;
- проверку уровня масла;
- измерение пробивного напряжения масла;
- измерение $\text{tg}\delta$ масла при 20°C , 70°C и 90°C ;
- измерение влажности масла;
- измерение сопротивления главной изоляции и изоляции вторичных обмоток (мегаомметром на 2,5 и 1,0 кВ соответственно);
- измерение $\text{tg}\delta$ главной изоляции при напряжении 10 кВ;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току в соответствии;
- проверку полярности первичных и вторичных обмоток;
- снятие кривой намагничивания каждой вторичной обмотки;
- измерение коэффициента трансформации.

При вводе в эксплуатацию масляные ТН должны пройти проверку, которая включает в себя:

- внешний осмотр;
- расконсервацию;
- проверку уровня масла;
- измерение пробивного напряжения масла;
- измерение влажности масла;
- измерение $\text{tg} \delta$ масла при 20°C , 70°C и 90°C ;
- измерение сопротивления изоляции первичной обмотки и каждой вторичной обмотки относительно корпуса и других обмоток (мегаом-метром 2,5 и 1,0 кВ);
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;
- измерение тока и потерь холостого хода при номинальном напряжении каждой ступени;
- проверку полярности первичных и вторичных обмоток;
- измерение коэффициента трансформации каждой ступени в отдельности;
- определение потери напряжения от ТН до нагрузки включая защитный автомат;
- определение нагрузки на каждую из обмоток трансформаторов напряжения.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

После принятия решения о вводе в эксплуатацию:

- установить демонтированные на время транспортировки отдельные съемные части измерительного трансформатора;
- установить трансформатор на фундаменте согласно заводской инструкции с проверкой вертикальности (каждую ступень отдельно);
- закрепить анкерные болты и подключить заземление к специальному болту, имеющемуся на основании. Заземление только через анкерные болты не допускается;
- подсоединить первичную обмотку так, чтобы ее выводы не испытывали изгибающих усилий от подводящих проводов;
- подключить вторичные цепи и, при необходимости, запломбировать клеммную коробку.

Завести на каждый трансформатор эксплуатационную документацию, в частности регистрационную карту, куда регулярно заносятся результаты профилактических работ, обследований и испытаний в течение всего срока службы трансформатора. Иметь техническое описание, инструкцию по эксплуатации и паспорт завода-изготовителя.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В течение первого года эксплуатации у трансформатора могут проявляться дефекты, не замеченные на заводе-изготовителе и при вводе трансформатора в эксплуатацию. Объем необходимых испытаний такой же, как и при вводе трансформатора в эксплуатацию. Испытания следует проводить через 1 год после включения.

В течение всего срока службы обслуживание измерительного трансформатора производится в соответствии с РД 34.45-51.300-97 и инструкцией завода-изготовителя. При сроках эксплуатации, превышающих нормативные, с учетом динамики изменения параметров, характеризующих состояние изоляции и механическое состояние, периодичность испытаний ТТ и ТН должна быть изменена (вплоть до ежегодной).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Узел	Контролируемый параметр	Стандарты, примечания
Изоляция обмоток	Сопротивление изоляции обмоток: - первичной; - вторичных при отсоединенных вторичных цепях; - промежуточных.	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 153-34.0-35.301-2002 [1]; [3]; Приложение А. Измерения проводить при температуре изоляции не ниже 10°C
	Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции первичной обмотки.	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 153-34.0-35.301-2002 [1]; [3]; Приложение Б. Измерения целесообразно проводить только в теплое время года при дневных температурах окружающего воздуха не ниже 20°C.

Перечень контролируемых показателей трансформаторов тока

Узел	Контролируемый параметр	Стандарты, примечания
Изоляция обмоток	Контроль изоляции под рабочим напряжением (при наличии устройства присоединения для измерения под рабочим напряжением)	РД 34.45-51.300-97 [4].
Обмотка	Сопротивление обмоток постоянному току	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение В.
Магнитопровод	Характеристика намагничивания вторичных обмоток	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 153-34.0-35.301-2002 [1]; [3]; Приложение Г
Перегрев обмоток или изоляции	Тепловизионный контроль	РД 34.45-51.300-97 [4]
Трансформаторное масло	Пробивное напряжение	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4]
	Кислотное число	ГОСТ 5985-79 [7] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Температура вспышки в закрытом тигле	ГОСТ 6356-75 [8] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Температура вспышки в открытом тигле	ГОСТ 6356-75 [8] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Влагосодержание	ГОСТ 1547-84 [6] РД 34.43.107-95 [9] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание механических примесей	ГОСТ 6370-83 [10] (Класс чистоты по ГОСТ 17216-71) [11] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Тангенс угла диэлектрических потерь	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	ГОСТ 6307-75 [12] РД 34.45-51.300-97 [4].

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Перечень контролируемых показателей трансформаторов напряжения

Электромагнитный трансформатор напряжения

Узел	Контролируемый параметр	Стандарты, примечания
Изоляция обмоток	Сопротивление изоляции обмоток: - первичной; - вторичной при отсоединенных вторичных цепях; - промежуточных.	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение И.
Обмотка	Сопротивление обмоток постоянному току	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение В.
	Ток и потери холостого хода при номинальном напряжении	РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение К.
Перегрев обмоток или изоляции	Тепловизионный контроль	РД 34.45-51.300-97 [4].
Трансформаторное масло	Пробивное напряжение	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Кислотное число	ГОСТ 5985-79 [7] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Температура вспышки в закрытом тигле	ГОСТ 6356-75 [8] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Влагосодержание	ГОСТ 1547-84 [6] РД 34.43.107-95 [9] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание механических примесей	ГОСТ 6370-83 [10] (Класс чистоты по ГОСТ 17216-71) [11] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Тангенс угла диэлектрических потерь	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	ГОСТ 6307-75 [12] РД 34.45-51.300-97 [4].

Емкостной трансформатор напряжения

Узел	Контролируемый параметр	Стандарты, примечания
Емкостной делитель	Каждый отдельный конденсатор в составе делителя	Сопротивление изоляции. РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; Величина емкости РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; Тангенс угла диэлектрических потерь РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; Тепловизионный контроль под рабочим напряжением РД 34.45-51.300-97 [4]
Электромагнитное устройство	Изоляция обмоток	Сопротивление изоляции обмоток: - первичной; - вторичных при отсоединенных вторичных цепях; - промежуточных. РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение И.
	Обмотка	Сопротивление обмоток постоянному току РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение В.
	Магнитопровод	Ток и потери холостого хода при номинальном напряжении. РД 34.45-51.300-97 [4]; РД 34.35.305 [2]; [3]; Приложение К.
Трансформаторное масло	Пробивное напряжение	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Кислотное число	ГОСТ 5985-79 [7] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Температура вспышки в закрытом тигле	ГОСТ 6356-75 [8] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Влагосодержание	ГОСТ 1547-84 [6] РД 34.43.107-95 [9] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание механических примесей	ГОСТ 6370-83 [10] (Класс чистоты по ГОСТ 17216-71 [11]) РД 34.45-51.300-97 [4].
	Тангенс угла диэлектрических потерь	ГОСТ 6581-75 [5] РД 34.45-51.300-97 [4].
	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	ГОСТ 6307-75 [12] РД 34.45-51.300-97 [4].

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Неисправности находящихся в работе измерительных трансформаторов могут быть определены либо визуально, либо по показаниям контрольно-измерительных приборов.

Признаками неисправностей могут быть:

- несоответствие уровня масла или давления элегаза температуре окружающей среды;
- разрушение или поверхностное перекрытие изоляции; необычный гул, треск и бульканье масла внутри аппарата;
- разрушение мембраны для трансформаторов с элегазовой изоляцией;
- выделение дыма;
- различие в величинах напряжений или токов по фазам, что обычно связано с витковыми замыканиями или обрывами в обмотках. превышение температуры нагрева отдельных узлов сверх допустимых (по результатам тепловизионного контроля).

Периодичность осмотра должна быть установлена главным инженером предприятия.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Любая неисправность ТТ или ТН через некоторое время приведет к повреждению аппарата, если его вовремя не отключить. Повреждение масляных трансформаторов обычно сопровождается взрывом. Радиус разлета осколков может достигать 100 м и более.

Измерительный трансформатор, у которого обнаружены признаки начальной стадии повреждения, должен быть немедленно отключен.

В случае возникновения неисправности измерительного трансформатора необходимо доложить диспетчеру ОАО «СО ЕЭС» (изолированно работающей энергосистемы) и по согласованию с ним:

- у трансформатора напряжения: выполнить операции в цепях напряжения устройств РЗА в соответствии с инструкцией, отключить трансформатор с низкой стороны, отключить разъединитель трансформатора.
- у трансформатора тока: отключить присоединение или выключатель, в цепи которого находится неисправный трансформатор тока.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Если неисправность обнаружена, а аппарат все еще находится под напряжением, то необходимо принять меры безопасности – удалить людей из опасной зоны, определить границы опасной зоны, опасную зону оградить.

Недопустимо отключение трансформатора напряжения разъединителем после возникновения феррорезонансного процесса.

При возникновении пожара на трансформаторе он должен быть отключен, если не отключился от действия релейной защиты, и заземлен. Персонал должен вызвать пожарную охрану и далее действовать по определенному плану пожаротушения. Запрещается сливать масло из корпуса, т.к. это может привести к распространению огня на его обмотку и затруднить тушение пожара.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Внутренние повреждения маслонаполненных трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН) очень часто приводят к тяжёлым последствиям вследствие пожара и значительного выделения копоти и, как следствие, к короткому замыканию в измерительных цепях.

Трансформатор, у которого обнаружены признаки повреждения, должен быть немедленно выведен из работы. Признаками повреждения измерительного трансформатора являются:

- перегорание подряд двух-трех плавких вставок на стороне высокого напряжения ТН, при этом усиление плавких вставок не допускается;
- недопустимый нагрев трансформатора;
- наличие течи масла из трансформатора или выводов;
- потрескивание и шум внутри трансформатора;
- запах гари и появление дыма из трансформатора;
- наличие искр или разряда между корпусом и обмоткой, либо выводами и корпусом.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Повреждения во вторичных цепях измерительных трансформаторов, влекущие за собой неправильные показания системы измерения, могут повлечь за собой работу оборудования в недопустимом режиме или ложно укажут на аварийное состояние установки и дезориентируют оперативный персонал.

При наличии признаков повреждения ТН следует произвести операции с цепями защиты и автоматики согласно инструкции по обслуживанию устройств РЗА, сообщить НСАЭС и принять срочные меры к отключению трансформатора напряжения.

При повреждении ТТ возможны как ложная работа релейной защиты, так и её отказ, повреждение изоляции и, как следствие, однофазное замыкание на землю. Поэтому при обнаружении повреждения ТТ присоединение с дефектным ТТ следует отключить для ремонта.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Действия оперативного персонала

При появлении неисправности в цепях ТН секции 6 кВ необходимо:

- вывести АВР секции 6 кВ;
- отключить автоматы групповой защиты минимального напряжения в релейном отсеке ТН;
- отключить автомат вторичной обмотки ТН;
- выкатить тележку ТН в ремонтное положение и осмотреть ТН;
- проверить целостность предохранителей первичной обмотки, а также отсутствие обрывов обмотки;
- при необходимости вызвать персонал РЗАИ или ремонтного подразделения.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Разрядники и ограничители перенапряжения служат для ограничения напряжения, появляющегося на шинах и аппаратах высокого напряжения при коммутационных и атмосферных перенапряжениях. Для защиты электрооборудования переменного тока применяют трубчатые и вентильные разрядники.

Трубчатый разрядник представляет собой дугогасительную трубку из полихлорвинила, с разных концов которой закреплены электроды. Один электрод заземлен, а второй находится на небольшом расстоянии от защищаемого участка (расстояние регулируется в зависимости от напряжения защищаемого участка). При возникновении перенапряжения пробиваются промежутки: между разрядником и защищаемым участком и между двумя электродами. В результате пробоя в трубке возникает интенсивная газогенерация. Газ, вытекая через выхлопное отверстие, образует продольное дутье, достаточное для гашения дуги. Трубчатый разрядник, как правило, срабатывает 7—8 раз, после чего газогенерирующая трубка уже не обеспечивает требуемого давления и дугогасящей способности. Для подсчета числа срабатываний на разрядниках установлены указатели срабатывания.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Вентильный разрядник — электрический аппарат, основными элементами которого являются искровой промежуток и нелинейный последовательный резистор. Вентильные разрядники включаются последовательно между токоведущим проводом и землей параллельно защищаемой изоляции. При воздействии на разрядник импульса грозового перенапряжения его искровой промежуток пробивается и через разрядник начинает протекать ток, т.е. разрядник вводится в работу. Напряжение, при котором пробиваются искровые промежутки, называется пробивным напряжением разрядника. После пробоя искрового промежутка напряжение на разряднике, а значит и на защищаемой им изоляции снижается до значения, равного произведению импульсного тока на сопротивление последовательно включенного резистора. Это напряжение называется остающимся напряжением, его значение не остается постоянным, а изменяется вместе с изменением импульсного тока, проходящего через разрядник. В течение всего времени работы разрядника остающееся напряжение не должно повышаться до значения, опасного для защищаемой изоляции. После прекращения протекания импульсного тока через разрядник продолжает проходить ток, обусловленный напряжением промышленной частоты. Этот ток называется сопровождающим. Искровые промежутки разрядника должны обеспечить надежное гашение дуги сопровождающего тока при первом прохождении его через нуль.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) являются эффективным средством защиты оборудования электрических сетей. Данные аппараты обладают достаточно высокими эксплуатационными свойствами и надежностью. Нелинейные ограничители перенапряжений предназначены для использования в качестве основных средств защиты электрооборудования станций и сетей среднего и высокого классов напряжения переменного тока промышленной частоты от коммутационных и грозовых перенапряжений. Они применяются для защиты:

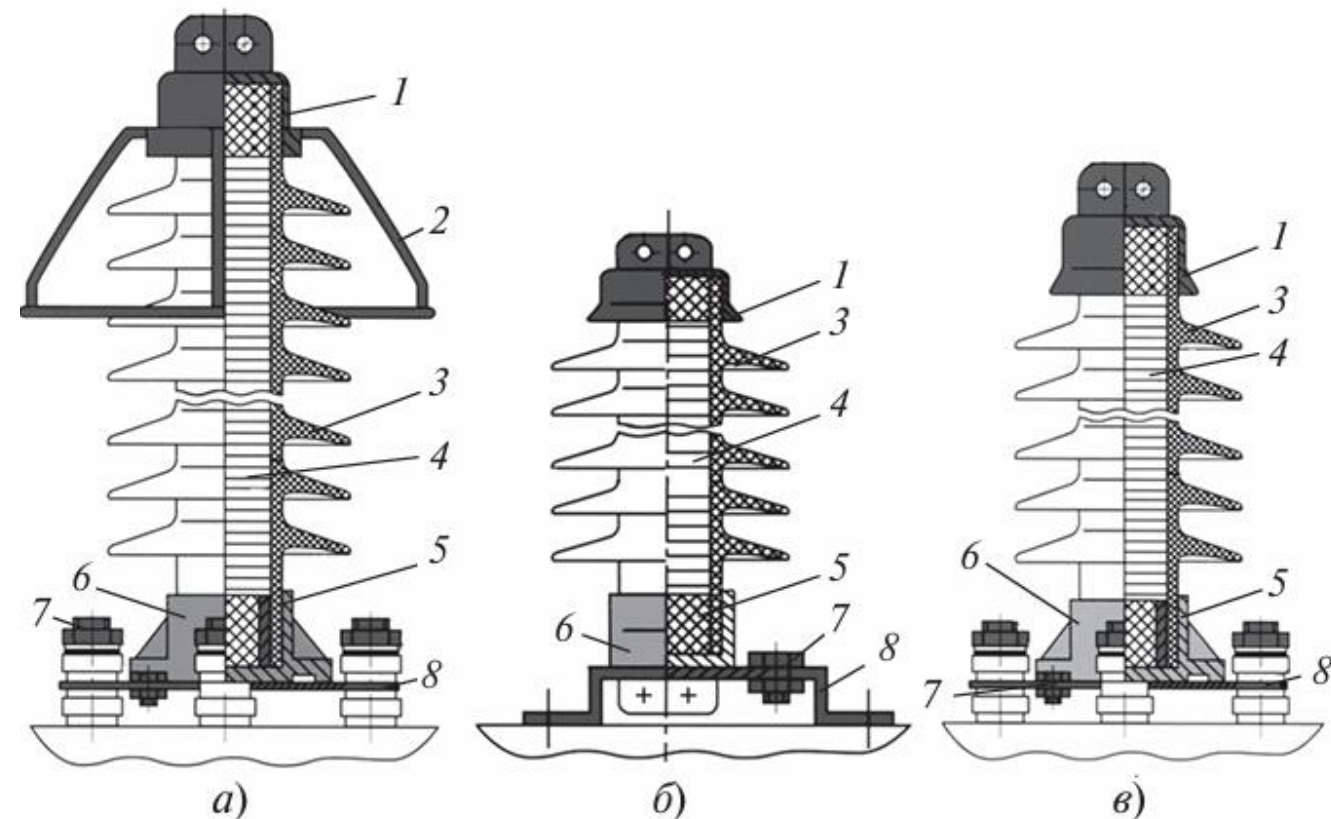
- электрооборудования подстанций открытого и закрытого типа;
- кабельных сетей;
- воздушных линий электропередачи;
- генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей сетей собственных нужд электростанций и промышленных предприятий.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Конструктивно ограничитель перенапряжения представляет собой высоконелинейное сопротивление объемного типа (варистор), заключенный в высокопрочный герметизированный корпус.

При возникновении волн перенапряжения сопротивление варисторов изменятся на несколько порядков (от тысяч до десятков ом) с соответствующим возрастанием тока от миллиампер при воздействии рабочего напряжения до тысяч ампер при воздействии волны перенапряжения. Этим свойством варисторов и объясняется защитное действие ограничителя перенапряжения, а их вольт-амперная характеристика позволяет реализовать низкий защитный уровень для всех видов перенапряжений и отказаться от использования искровых промежутков, характерных для традиционных разрядников, со всеми вытекающими отсюда преимуществами.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ



Нелинейные ограничители перенапряжений:

а — 110 кВ; б — 3—20 кВ; в — 35 кВ:

*1 — верхний фланец; 2 — экран; 3 — крышка;
4 — резистор; 5 — полимерная композиция; 6 —
нижний фланец; 7 — болт заземления; 8 — основание*



ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Защита от перенапряжений на объекте электроэнергетики должна эксплуатироваться в соответствии с требованиями ПТЭЭСС, если иной набор и (или) порядок действий не установлен технической документацией организации-изготовителя элементов защиты от перенапряжений или проектной документацией на объект электроэнергетики.

На объектах электроэнергетики должно быть обеспечено наличие сведений и документов по устройствам защиты от перенапряжений каждого РУ и ВЛ.

Владельцем объекта электроэнергетики должны регистрироваться случаи грозовых отключений и повреждений ВЛ, оборудования РУ и ТП. Владальцем объекта электроэнергетики должны проводиться: ежегодная проверка состояния и готовности защиты от перенапряжений РУ и ВЛ к противодействию грозовым и внутренним перенапряжениям по графику, установленному техническим руководителем; оценка надежности грозозащиты и разработка мероприятий по повышению ее надежности с учетом результатов вышеуказанной проверки и имеющихся у владельца объекта электроэнергетики данных о случаях грозовых отключений и повреждений ВЛ и оборудования.

Ограничители перенапряжений и вентильные разрядники всех напряжений должны быть постоянно включены. В ОРУ допускается отключение на зимний период (или отдельные его месяцы) вентильных разрядников, предназначенных только для защиты от грозовых перенапряжений, в районах с ураганым ветром, гололедом, резким изменением температуры и интенсивным загрязнением.