

# Трансформаторы тока и напряжения

## Назначение

ТТ и ТН высокого напряжения **внутренней и наружной установки** предназначены для

- /// измерения тока,
- /// питания схем релейной защиты,
- /// изолирования измерительных приборов, реле и обслуживающего персонала от **высокого напряжения.**

# Применимость:

- /// в открытых распределительных устройствах;
- /// в герметичных распределительных устройствах сетей переменного и постоянного тока;
- /// в устройствах защиты и регулирования.
- /// /// В токопроводах генераторных распределительных устройств.

ТТ и ТН внутренней установки отличаются от ТТ и ТН наружной установки требованиями к характеристикам окружающей среды.

Различное климатическое исполнение и категория размещения ТТ и ТН устанавливаются **ГОСТ 15543-70**.

Группы ТТ и ТН как внутренней, так и наружной установки весьма разнообразны по конструктивным исполнениям.

Это прежде всего обусловлено различной

✓✓ компоновкой распределительных устройств, их

✓✓ габаритами,

✓✓ способом крепления трансформаторов.

Кроме того, на конструктивное исполнение в известной мере оказывают влияние

✓ номинальные параметры трансформатора. 4

# Трансформаторы тока

**Трансформатором тока называется трансформатор, в котором при нормальных условиях работы вторичный ток пропорционален первичному току и фазовый сдвиг между ними близок к нулю.**

Такое определение принято в **ГОСТе 18685-73**, но оно искажает физическую сущность преобразования тока.

**В ТТ фазовый сдвиг между первичным током и вторичным всегда близок к  $180^\circ$ .**

Первичная обмотка ТТ включается в цепь последовательно (в рассечку токопровода), а вторичная замыкается на измерительный прибор или реле, обеспечивая ток в ней, пропорциональный току в первичной обмотке.

В ТТ высокого напряжения первичная обмотка изолирована от вторичной (от земли) на **полное рабочее напряжение**.

Один конец вторичной обмотки обычно заземляется, поэтому она имеет потенциал, близкий к потенциалу земли.

# Трансформатор тока осуществляет:

1) преобразование переменного тока в ток, приемлемый по значению для непосредственного измерения с помощью стандартных измерительных приборов или для работы реле защиты;

2) изоляцию измерительных приборов и защитных реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепи высокого напряжения.

**ТТ в установках высокого напряжения необходим даже в тех случаях, когда уменьшения тока не требуется.**



# Классификация ТТ

## *По месту установки:*

- а) на открытом воздухе (категория размещения 1 по ГОСТ 15150-69);
- б) в закрытом помещении (категория размещения 3 и 4);
- в) в полостях электрооборудования (категории размещения 2, 3 и 4).

## ***По способу установки:***

- а) проходные, используемые в качестве вводов и устанавливаемые в проемах перегородок, стен или потолков;
- б) опорные, устанавливаемые на опорной плоскости;
- в) встроенные, размещаемые в полостях электрооборудования.

***По числу ступеней в трансформаторе:***

- а) одноступенчатые;
- б) каскадные (многоступенчатые).

***По выполнению первичной обмотки:***

- а) одновитковые;
- б) многовитковые.

***По назначению первичных обмоток:***

- а) для измерения;
- б) для защиты;
- в) для измерения и защиты.

***По числу коэффициентов трансформации:***

а) с одним коэффициентом трансформации;

б) с несколькими коэффициентами трансформации (изменением числа витков первичной или вторичной обмоток, с несколькими вторичными обмотками).

# Основные номинальные параметры ТТ

Номинальное напряжение

Номинальная частота

Номинальный ток первичной обмотки

Номинальный ток вторичной обмотки (1 или 5 А.  
По согласованию с заказчиком допускается 2 и  
2,5 А.)

Коэффициент трансформации

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = n$$

Мощность вторичной цепи в ВА с указанием  $\cos \varphi$   
Обычно  $\cos \varphi = 0,8$  , при котором гарантируется  
класс точности ТТ.

Для отечественных ТТ установлен ряд  
номинальных мощностей вторичной нагрузки:

1; 2; 2,5; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40;  
50; 60; 75; 90; 100; 120.

# Конструкции трансформаторов тока

По типу диэлектрика изоляцию ТТ можно разделить на **твердую** и **бумажно-масляную**. Для напряжений до 35 кВ включительно изоляцию чаще всего выполняют из твердых материалов: фарфор, стекло, эпоксидный компаунд. Эпоксидный компаунд применяется в основном в ТТ внутренней установки.

# 1. Шинные трансформаторы тока

## Трансформаторы тока типа ТНШЛ 0,66

**ТНШЛ 0,66**





Предназначены для встраивания в КРУ и служат для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам или устройствам защиты и управления, в установках переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением до **0,66 кВ** включительно.

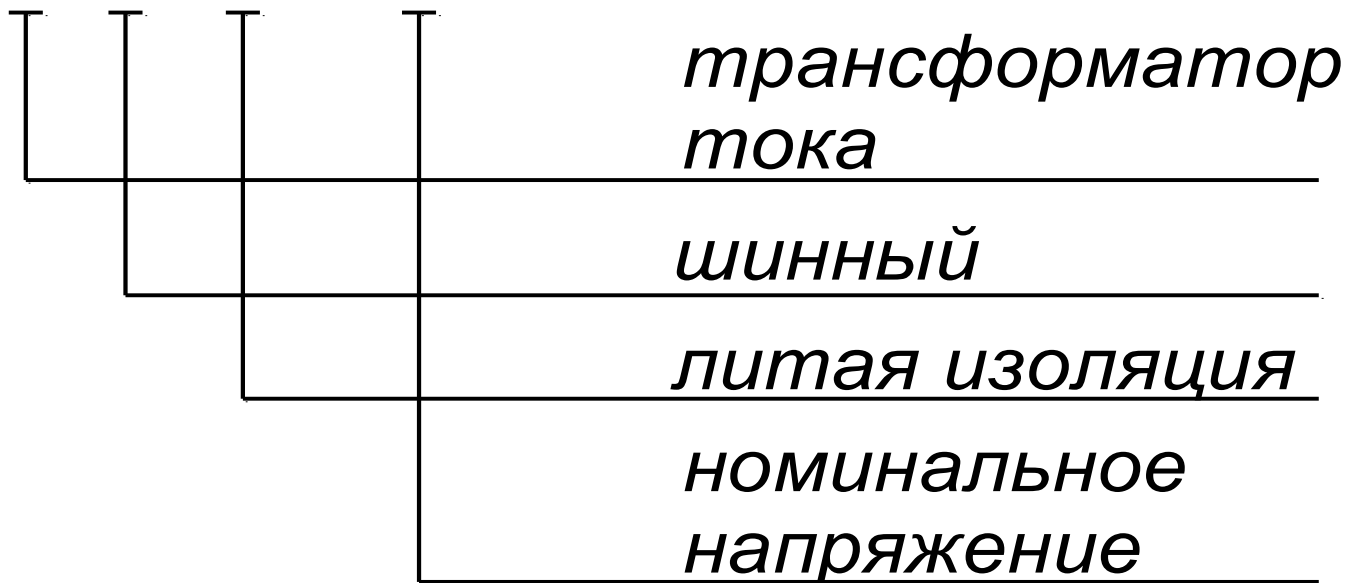
Изготавливаются на токи первичной цепи **800 — 10000 А**, токи вторичной цепи **5 А**.

Номинальные классы точности **0,5 и 3**. Изоляция литая на основе эпоксидной смолы.

# Трансформатор тока типа ТШЛ-10



## *ТШЛ 10*



Предназначен для питания цепей защиты и управления, для изолирования цепей вторичного тока от высокого напряжения в электрических установках переменного тока на класс напряжения до **10 кВ**.

Трансформаторы применяются для встраивания в закрытые шинопроводы и КРУ.

Изготавливаются на токи первичной цепи **1000 — 5000 А**, токи вторичной цепи **5 А**. Номинальные классы точности **0,5 и 10Р**.

Изоляция литая на основе эпоксидной смолы с наполнителем (кварцевый песок).

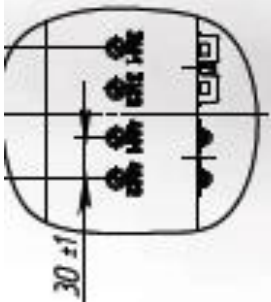
## 2. Проходные трансформаторы тока

### Трансформаторы тока ТПОЛ-20 и ТПОЛ-35

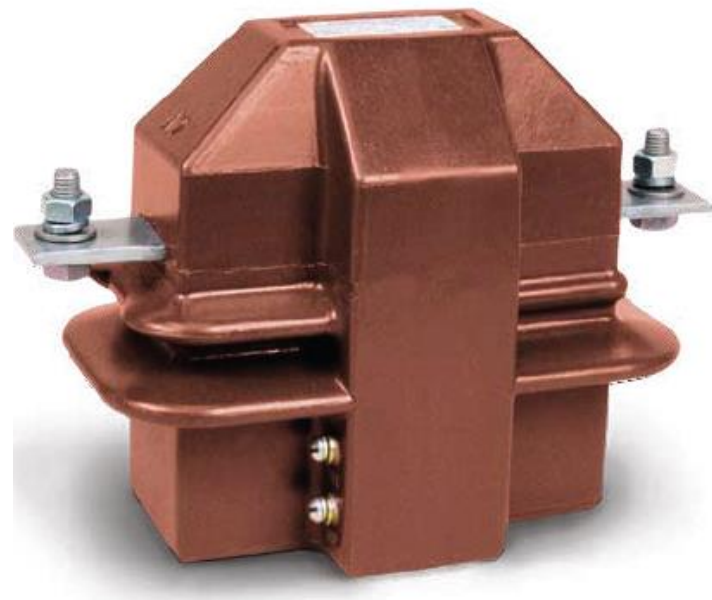
Предназначены для передачи сигнала силовой цепи к измерительным приборам, устройствам защиты и управления в закрытых распределительных устройствах на номинальное напряжение 20 и 35 кВ.

# ТПОЛ-20

|  |                           |
|--|---------------------------|
|  | трансформатор<br>тока     |
|  | проходной                 |
|  | одновитковый              |
|  | литая изоляция            |
|  | номинальное<br>напряжение |



# ТТ типа ТОЛК 6



Предназначены для встраивания высоковольт-ные взрывобезопасные КРУ в сетях 6 кВ угольных и сланцевых шахт, **опасных по газу и пыли**. Служат для измерения тока и питания устройств релейной защиты. Изготавливаются на токи первичной цепи 50 — 600 А, ток вторичной цепи 5 А.

## 4. ТТ встроенного типа

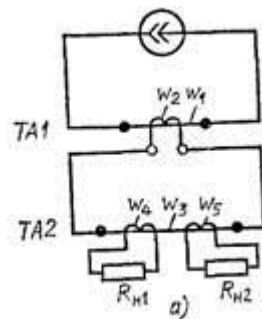
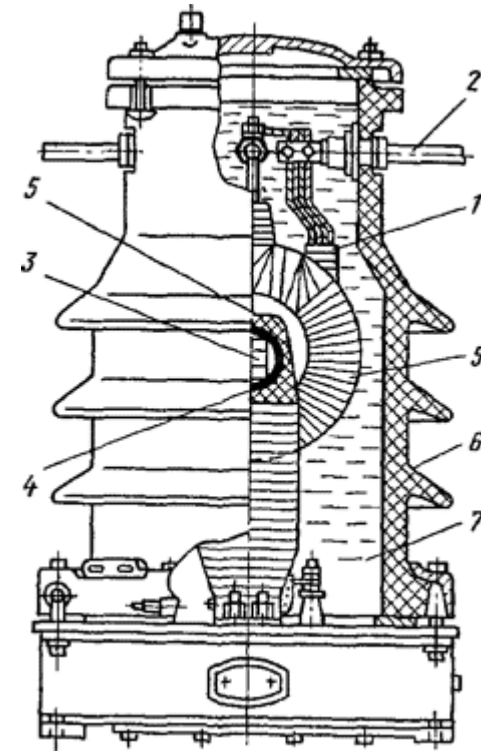
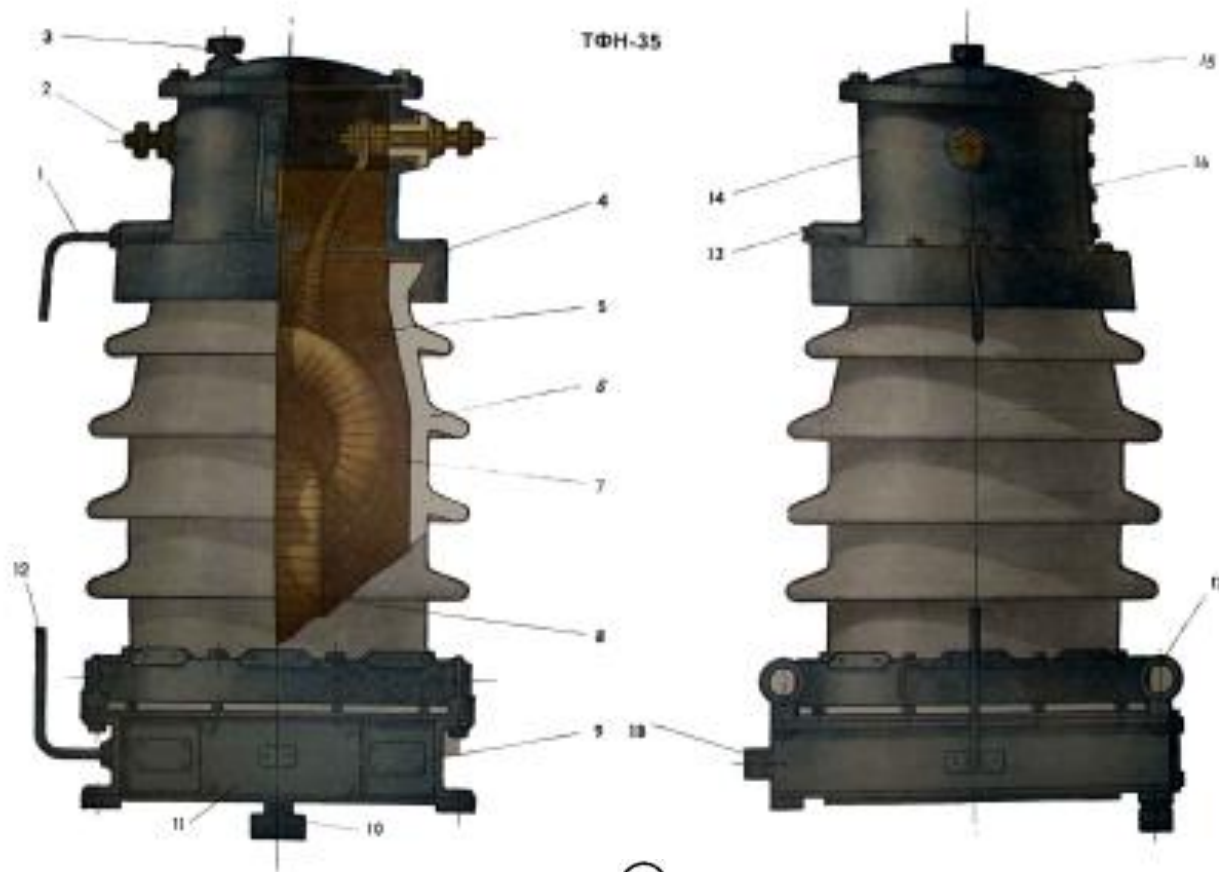
### ТТ типа ТВ



Встраиваются в масляные выключатели или силовые трансформаторы. Трансформаторы типа ТВ-220-IV встраиваются в элегазовые выключатели. Работают в среде масла. Номинальный первичный ток от 300 А до 8000 А.

# 5. ТТ наружной установки

## ТФН-35





## **ТТ типа ТФНУ-66**

Трансформатор наружной установки, применяется в открытых распределительных устройствах и предназначен для передачи сигнала силовой цепи к измерительным приборам и устройствам защиты и управления в сетях переменного тока частотой 50 и 60 Гц с заземленной нейтралью.

**Номинальное напряжение 66 кВ.**

**Масса трансформатора 830 кг.**

Трансформатор тока **ТФНУ-66** — опорного типа, состоит из первичной и вторичной обмоток, изолированных кабельной бумагой и помещенных в фарфоровую крышку, заполненную трансформаторным маслом. Первичная обмотка представляет собой петлю и имеет две секции, соединяемые последовательно или параллельно, благодаря чему трансформатор можно включать на токи 200 и 400, 600 и 1200 А соответственно.

Выводы первичной обмотки укреплены в стенках фарфоровой крышки. Секции переключают перестановкой контактных перемычек, расположенных снаружи крышки.

**Вторичная обмотка состоит из трех обмоток, изолированных друг от друга и заключенных в общую бумажную изоляцию. Две из них предназначены для релейной защиты, одна (класса точности 0,5) — измерительная.**

На крышке трансформатора имеется воздухоосушитель, предназначенный для очистки от влаги и пыли воздуха, попадающего в трансформатор.

Опорой трансформатора, на которой монтируются элементы его конструкции, является цоколь. Крепление фарфоровой крышки к цоколю — механическое. Уплотнение соединений достигается прокладкой из маслостойкой резины. Слив и отбор масла осуществляется через масловыпускной патрубок.

Коробка вторичных выводов расположена на одной из стенок цоколя.



**Трансформатор тока  
110 кВ типа ТФМ**  
(изготовитель ОАО  
холдинговая компания  
"ЭЛЕКТРОЗАВОД", г.  
Москва).

# ТТ ТФН-500



# Трансформатор тока наружной установки типа ТРН-500 и ТРН-750

Предназначены для питания цепей измерительных приборов и релейной защиты и применяются в сетях переменного тока напряжением **500** и **750 кВ**, частотой **50 Гц** с большим током замыкания на землю.

Трансформаторы тока **ТРН-500** выпускаются на номинальный первичный ток **1000-2000 А** при номинальном вторичном токе, равном **1 А**.

Трансформаторы этого типа — опорные маслонаполненные двухступенчатые каскадные. Обмотки трансформаторов рывовидного типа. Внутренняя изоляция выполнена бумажно-масляной. Роль внешней изоляции ступени выполняет опорная фарфоровая крышка. Каждая ступень трансформатора представляет собой самостоятельный элемент.

**Масса ТТ типа ТРН-500 — 7 т, ТРН-750 — 9 т.**



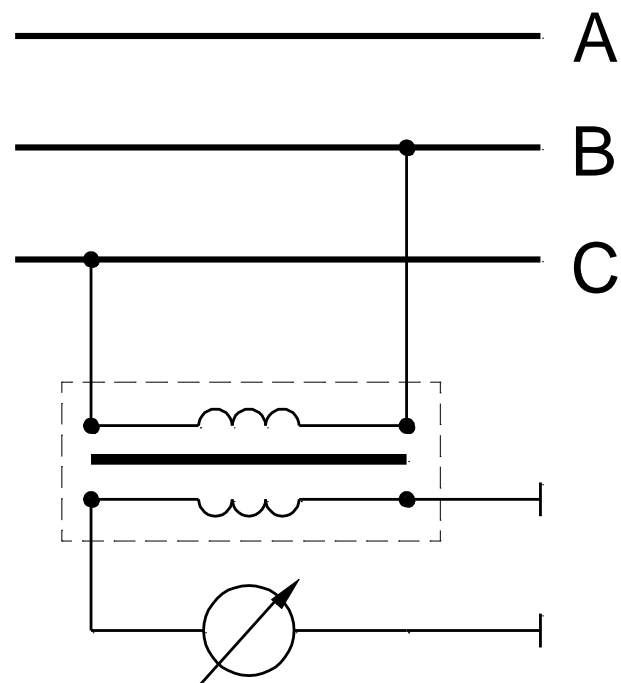
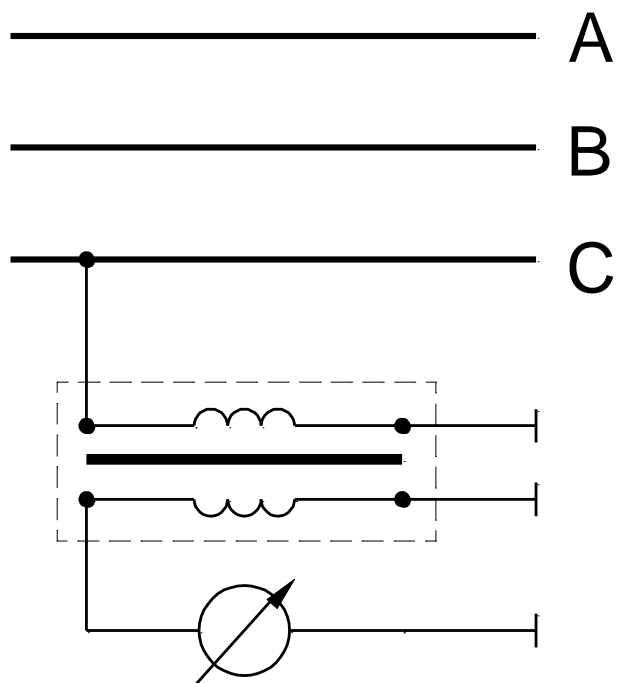
# Трансформаторы напряжения

Трансформатором напряжения (ТН) называется измерительный трансформатор, в котором при нормальных условиях вторичное напряжение практически пропорционально первичному и фазовый сдвиг между ними близок к нулю.

# ТН осуществляет:

- 1) **Преобразование** высокого напряжения переменного напряжения в напряжение, приемлемое для **непосредственного измерения измерительными приборами, для работы релейной защиты или устройств автоматики и сигнализации.**
- 2) **Изоляцию** измерительных приборов и защитных реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепи высокого напряжения.

ТН подключается одним концом к фазному проводу, а другим - к земле, либо обоими концами первичной обмотки — к фазовым проводам линии.



Первичная обмотка ТН включается в цепь высокого напряжения **параллельно**, а ко вторичной обмотке подключаются измерительные приборы, цепи автоматики, релейной защиты и сигнализации.

**В ТН первичная обмотка изолирована от вторичной на полное напряжение.**

Первичная обмотка может иметь один или оба выводных конца изолированными от земли на полное рабочее напряжение.

**Один выводной конец вторичной обмотки всегда заземляется.**

**Классификация ТН производится по следующим признакам.**

***По способу подключения к цепи:***

- а) непосредственному (электромагнитные ТН);
- б) через емкость (емкостные ТН).

***По числу ступеней трансформации:***

- а) одноступенчатые;
- б) многоступенчатые (каскадные).

**Одноступенчатые ТН изготавливаются на напряжение до 35 кВ, многоступенчатые — 110 кВ и выше.**

## ***По числу обмоток:***

- а) двух обмоточные;
- б) трехобмоточные.

## ***По числу фаз:***

- а) однофазные;
- б) трехфазные.

**Трехфазные ТН изготавливают на напряжение до 35 кВ.**

## ***По способу охлаждения:***

- а) сухие (с естественным воздушным охлаждением);
- б) масляные.

## ***По роду установки:***

- а) внутренней;
- б) наружной.

# Основные номинальные параметры ТН

1. Номинальное первичное напряжение.
2. Номинальная частота.
3. Номинальное вторичное напряжение.

Номинальные напряжения основных вторичных обмоток **100 В** для однофазных ТН, включаемых на напряжение между фазами, и  $100/\sqrt{3}$  для однофазных ТН, включаемых на напряжение между фазой и землей.



4. Номинальный коэффициент трансформации, равный отношению первичного и вторичного номинальных напряжений.

5. Нагрузка ТН — это суммарная полная мощность, потребляемая приборами, подключенными ко вторичной обмотке.

6. Номинальная нагрузка — это мощность нагрузки, при которой погрешности ТН не выходят за установленные пределы.

7. Класс точности. По ГОСТ 1983-77 для ТН установлены классы точности: **0,2; 0,5; 1; 3.**

ТН класса точности **3** и грубее используются в цепях релейной защиты.

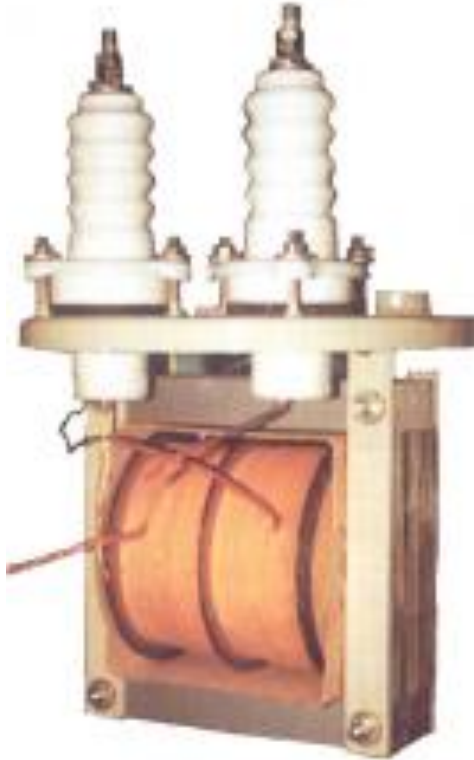


ЗНОЛ 35 Б

ТН типа **ЗНОЛ-35Б**,  
заземляемый.  
Предназначен для  
питания  
электрических  
измерительных  
приборов, цепей  
защиты и  
сигнализации в  
электроустановках  
переменного тока  
частоты 50 или 60 Гц.

## 2. Маслонаполненные ТН

### ТН серии НОМ



Обычно имеют сердечник броневое типа.

Аналогичную конструкцию имеет трансформатор НОМ-10. Форма баков трансформаторов НОМ-6 и НОМ-10 круглая.

ТН типа НОМ-6.



Трансформатор  
напряжения однофазный  
масляный  
трехобмоточный на  
напряжение 35 кВ типа  
**НОМ-35** для открытых  
установок.

Номинальное напряжение  
обмотки НН 100 В,  
масса 92 кг (изготовитель  
ОАО "Электrozавод",  
г. Москва).

Трансформаторы типа **ЗНОМ** имеют один высоковольтный вывод, второй вывод первичной обмотки заземлен (соединен с корпусом).



ТН типа **ЗНОМ-35** для наружной установки.

### 3. Масляные каскадные ТН

Эти трансформаторы содержат от двух до четырех каскадов.



Трансформатор напряжения однофазный каскадный масляный трехобмоточный на напряжение 110 кВ типа НКФ-110. Номинальное напряжение обмотки НН 100 В, масса 800 кг (изготовитель ОАО "Электrozавод", г. Москва).



ТН типа НДЕ-750-72У1.



## ЗАДАНИЕ

### Часть 1. Проверка правильности выбора трансформатора тока

| № п/п | Мощность трансформатора, кВА | Мощность нагрузки изменяется от указанной до номинальной | Коэффициент трансформации тр-ра тока |
|-------|------------------------------|--|--------------------------------------|
| 10    | 250, 10/0,4 кВ               | 70   | 75/5                                 |

### Часть 2. Расчет нагрузки трансформатора тока

| №п/п | Междуфазная нагрузка, ВА |          |          | Длина кабеля до трансформатора напряжения, м | Сечение кабеля, мм <sup>2</sup> |
|------|--------------------------|----------|----------|--|---------------------------------|
|      | $S_{ab}$                 | $S_{bc}$ | $S_{ca}$ |  |                                 |
| 10   | 33                       | 33       | 38       | 25   | 2,5                             |

## 1. Проверка правильности выбора трансформатора тока

Проверить правильно ли выбраны трансформаторы тока при выполнении учета электроэнергии на силовом трансформаторе.

| № п/п | Мощность трансформатора, <u>кВА</u> | Мощность нагрузки изменяется от указанной до номинальной | Коэффициент трансформации <u>тр-ра</u> тока |
|-------|-------------------------------------|--|---|
| 10    | 250, 10/0,4 <u>кВ</u>               | 70   | 75/5  |

**Задача 1.** Необходимо выполнить учет электроэнергии на силовом трансформаторе 250 кВА, 10/0,4 кВ. Мощность нагрузки трансформатора изменяется от 70 кВА до номинальной. Ячейка трансформатора оборудована трансформаторами тока с  $K_1=75/5$  (коэффициент трансформации в виде отношения номинальных первичного и вторичного токов). Требуется проверить их пригодность (правильно ли выбраны ТТ).  
Номинальный первичный ток трансформатора по стороне 10 кВ

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} =$$

Ток минимальной нагрузки

$$I_{1\min} = \frac{S_{\min}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} =$$

Вторичный ток при номинальной нагрузке

$$I_{2\text{ном}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{K_1} =$$

Согласно ПУЭ при максимальной нагрузке присоединения вторичный ток должен составлять не менее 40% от номинального тока счетчика. Номинальный вторичный ток равен 5А.

$$5\text{А} \cdot 100\%$$

$$0,96\text{А} \cdot x\% \cdot 5/100 = 0,96/x \cdot 5 \cdot x = 0,96 \cdot 100 \quad x = 96/5 \quad x = 19,2$$

Отношение вторичного тока к номинальному в процентах составит:  
 $(0,96/5) \cdot 100\% = 19,25 < 40\%$  – условие не выполняется.

Вторичный ток при минимальной нагрузке

$$I_{2\min} = \frac{I_{1\min}}{K_1} =$$

Согласно ПУЭ при минимальной нагрузке присоединения вторичный ток должен составлять не менее 5% от номинального тока счетчика. Номинальный вторичный ток равен 5А.

Отношение вторичного тока к номинальному в процентах составит:  
 $(0,27/5) \cdot 100\% = 5,39 > 5\%$  – условие выполняется, но можно лучше.

Таким образом, трансформатор тока нужно заменить трансформатором тока 30/5.

Тогда вторичный ток при номинальной нагрузке

$$I_{2ном} =$$

А отношение вторичного тока к номинальному в процентах составит:  
 $(2,405/5) \cdot 100\% = 48,1 > 40\%$  – условие выполняется.

Вторичный ток при минимальной нагрузке

$$I_{2min} = \frac{I_{1min}}{K_1} =$$

Отношение вторичного тока к номинальному в процентах составит:  
 $(0,67/5) \cdot 100\% = 0,135 \cdot 100 = 13,5 > 5\%$  – условие выполняется

Вывод: Трансформатор тока представляет собой вспомогательный аппарат, в котором вторичный ток практически пропорционален первичному току и предназначенный для включения измерительных приборов и реле в электрические цепи переменного тока. Трансформаторы тока служат для преобразования тока любого значения и напряжения в ток, удобный для измерения стандартными приборами (5 А), питания токовых обмоток реле, отключающих устройств, а также для изолирования приборов и обслуживающего их персонала от высокого напряжения.

Обычно трансформатор тока выбирается с условием, чтобы его вторичный ток не превышал 110% номинального. С другой стороны, трансформаторы тока, выбранные с завышенными коэффициентами трансформации с учетом тока КЗ, при малых вторичных токах имеют повышенные погрешности. Согласно ПУЭ при максимальной нагрузке присоединения вторичный ток должен составлять не менее 40% от номинального тока счетчика, а при минимальной – не менее 5%.

Таким образом трансформатор тока был выбран неправильно. Так как номинальный ток вторичной обмотке указан в паспортной табличке и равен 5А, то обратимся к принятой для ТТ шкале номинальных первичных токов: 1,5,10,15,20,30,40,50,75 и т.д. Выбрав вторичный ток = 30А получаем трансформатор с коэффициентом трансформации  $K=30/5$

## 2. Расчет нагрузки трансформатора тока

Определить нагрузку на трансформатор напряжения и падение напряжения в кабеле. Сравнить с допустимыми значениями.

| №п/п | Междуфазная нагрузка, ВА |          |          | Длина кабеля до трансформатора напряжения, м | Сечение кабеля, мм <sup>2</sup> |
|------|--------------------------|----------|----------|--|---------------------------------|
|      | $S_{ab}$                 | $S_{bc}$ | $S_{ca}$ |  |                                 |
| 10   | 33                       | 33       | 38       | 25   | 2,5                             |

Для трехфазного трансформатора напряжения определяется мощность нагрузки  $S_{TH}$  каждой из фаз по формуле

$$S_{TH} = 0,58S_{\max \text{ мф}} + 0,42S_{\min \text{ мф}}$$

где  $S_{\max \text{ мф}}$  и  $S_{\min \text{ мф}}$  - наибольшая и наименьшая мощности междуфазной нагрузки.

Из трех вычисленных таким образом нагрузок берется наибольшая  $S_{THmax}$  и проверяется неравенство  $3S_{THmax} \leq S_{ном}$ .

Наиболее загружена фаза *c*. Мощность ее нагрузки

$$S'_{TH} = 0,58 \cdot 38 + 0,42 \cdot 33 = 22,04 + 13,86 = 35,9 \text{ ВА}$$

Расчетная нагрузка трансформатора напряжения  $S_{TH} = 3S'_{TH} = 3 \cdot 35,9 = 107,7 \text{ ВА}$ , т.е. не превышает допустимую.

Сопротивление соединительных проводов определяется по формуле

$$R_{np} = \frac{\ell}{\gamma * s}$$

где  $\ell$  – длина провода между трансформатором тока и счетчиком, м;  $\gamma$  – удельная проводимость; для меди  $\gamma = 53 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$ , для алюминия  $\gamma = 32 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$ ;  $s$  – сечение провода,  $\text{мм}^2$ . В токовых цепях сечение медных проводов должно быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$ , алюминиевых – не менее  $4 \text{ мм}^2$ .

Сопротивление алюминиевого провода

$$R_{np} = \frac{25}{32 \cdot 2,5} = 0,313 \text{ Ом}$$



Определяется ток нагрузки  $I_{TH}$  фазы с:

$$I_n = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3}U_{ном}}$$

Ток нагрузки в фазе с

$$I_n = \frac{35,9}{100\sqrt{3}} = 0,207 \text{ A.}$$

Согласно ПУЭ сечение и длина проводов и кабелей в цепях напряжения расчетных счетчиков выбираются таким образом, чтобы потери напряжения в этих цепях составляли не более 0,25% номинального напряжения. При номинальном напряжении 100 В потеря напряжения в вольтах численно совпадает с потерей напряжения в процентах.

Определяется падение линейного напряжения  $\Delta U$  для трехфазного трансформатора напряжения:

$$\Delta U = \sqrt{3}I_n R_{np}$$

Падение напряжения в соединительных проводах

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0,207 \cdot 0,313 = 0,112 \text{ В, или } 0,11\% < 0,25\% \text{ что допустимо.}$$

Вывод: Измерительные трансформаторы напряжения – это промежуточные трансформаторы, через которые включаются измерительные приборы при высоких напряжениях. Благодаря этому измерительные приборы оказываются изолированными от сети, что делает возможным применение стандартных приборов (с переградуированием их шкалы) и тем самым расширяет пределы измеряемых напряжений. Нагрузка на трансформатор и падение напряжения в кабеле не превышают допустимые.



TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ  
XO'JALIGINI MEXANIZATSIYALASH  
MUHANDISLARI INSTITUTI



**Е'ТИВОРИГИЗ UCHUN RAHMAT!**  
**Благодарю за внимание!**



Бабаев Азиз Галибович



+ 998 71 237 1968



Старший препод. "Электроснабжение и возобновляемые  
источники энергии"