

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ



ТН предназначены для передачи сигналов «измерительной информации приборам измерения, защиты, автоматики, сигнализации и управления». ТН понижают высокое напряжение до стандартного значения 100 или 100/ В, а также отделяют цепи измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения, создавая тем самым безопасные условия для обслуживающего персонала.

ТН изготавливаются на все номинальные напряжения и выпускаются в трехфазном и в однофазном исполнении. Для трёхфазных трансформаторов вторичное напряжение принимается равным 100 В, для однофазных, в зависимости от схемы соединения вторичной обмотки 100 В (при соединении обмоток в треугольник), или $100/\sqrt{3}$ (при соединении обмоток в звезду), или $100/3$ (при соединении обмоток в разомкнутый треугольник).

ТН выполняют две основные задачи:

- используются в системах технического и коммерческого учета электроэнергии;
- передают сигнал устройствам релейной защиты о возникновении аварийных режимов, в частности для контроля изоляции в сетях 3–35 кВ.

ТН могут быть предназначены как для решения одной из этих задач, так и для решения обеих задач.

В электроустановках применяются ТН в основном трех типов:

- однофазные незаземляемые трансформаторы;
- однофазные заземляемые трансформаторы;
- трехфазные трансформаторы.

Незаземляемые ТН включаются на линейное напряжение и поэтому применяются только для учета электроэнергии.

Заземляемые однофазные ТН, как правило, имеют дополнительную вторичную обмотку, применяемую для контроля изоляции сети.

Трехфазные ТН также могут иметь дополнительную вторичную обмотку для контроля изоляции сети.

Точность измерений зависит от величины погрешностей ТН, которые определяются рассеянием магнитного потока и потерями в сердечнике. Вектор вторичного напряжения сдвинут относительно вектора первичного напряжения не точно на угол 180° , что определяет угловую погрешность. Таким образом, погрешность зависит от конструкции магнитопровода, магнитной проницаемости стали и от $\cos \phi$ вторичной нагрузки. В конструкции ТН предусматривается компенсация погрешности по напряжению путем некоторого уменьшения числа витков первичной обмотки, а угловой погрешности - за счет специальных компенсирующих обмоток. Следовательно, источником погрешностей ТН являются падения напряжения в сопротивлениях первичной и вторичной обмоток, определяющиеся их потоками рассеяния и активными потерями. Падение напряжения тем больше, чем больше вторичная нагрузка (количество параллельно включенных приборов).

Трансформаторы напряжения имеют два вида погрешностей:

а) по напряжению

$$\Delta U\% = \frac{U_1 - k_{\text{НОМ}} U_2}{U_1} \cdot 100 \qquad k_{\text{НОМ}} = \frac{U_{1\text{ННО}}}{U_{2\text{ННО}}}$$

б) угловую, измеряемую углом δ между векторами напряжений U_1 и повернутого на 180° U_2

Установлены четыре класса точности ТН - **0,2; 0,5; 1, 3**. Область применения различных классов точности та же, что и для трансформаторов тока.

Наименование класса соответствует наибольшей допустимой погрешности по напряжению, выраженной в %. Пределы погрешностей по напряжению и углу (для первых двух классов) отнесены к частоте 50 Гц, нагрузке в пределах от 0,25 до 1,0 номинальной и $\cos \phi = 0,8$. Отклонения первичного напряжения не должны превышать $\pm 10\%$.

ИТН характеризуется номинальной нагрузкой, под которой понимается наибольшая нагрузка, при которой погрешности не выходят за допустимые пределы, установленные для трансформаторов рассматриваемого класса точности.

Нагрузка (мощность) однофазного ТН вторичной цепи (ВА), найденная в предположении, что напряжение вторичных зажимов равно номинальному, определяется выражением

$$S_2 = \frac{U_{2\text{НОМ}}^2}{Z_2}$$

где $Z_2 = \sqrt{R^2 + X^2}$ - полное сопротивление
внешней цепи.

Нагружать ИТН в принципе можно вплоть до его максимальной мощности, т.е. наибольшей мощности, предельно допустимой по условиям нагрева, но при этом увеличивается погрешность измерения, т.е. ТН переходит в более грубый класс точности. Нагрузка ИТН до максимальной мощности допускается, например, для подключения катушек реле и автоматов, сигнальных ламп, осветительных приборов и т.п., в которых точность измерений не имеет значения.

Классификация и конструктивные особенности ИТН.

ИТН классифицируется по:

- 1. конструкции – трехфазные и однофазные. Трехфазные ТН применяются на напряжение до 20 кВ, однофазные – на любые напряжения.
- 2. типу изоляции – сухая, масляная, с литой изоляцией.

Масляные ТН применяются на напряжение 6-1150 кВ, как в закрытых, так и в открытых РУ. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод залиты маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

Отечественные заводы изготавливают масляные ТН в стальных кожухах, как однофазными типа **НОМ** или **ЗНОМ**, так и трехфазными типов **НТМК**, **НАМИ** и другие. Буквы в обозначениях означает: **Н** – трансформатор напряжения; **О** – однофазный; **М** – масляный; **З** – с заземленным выводом первичной обмотки; **К** – компенсированный; **И** – для контроля изоляции.

ТН на напряжение 6-10 кВ предназначены для закрытых РУ, а на напряжения 35 кВ и выше для ОРУ и только в однофазном исполнении.

Следует отличать однофазные двухобмоточные ТН: НОМ-6; НОМ-10; НОМ-35 от однофазных трехобмоточных ЗНОМ-6; ЗНОМ-10; ЗНОМ-35 и ЗНОЛ-35. Схема обмоток первых показана на рис 1а.

- Они имеют два вывода ВН и два НН, их можно соединять по схемам открытого треугольника, звезды, треугольника. Обмотка ВН включается на междуфазное напряжение.

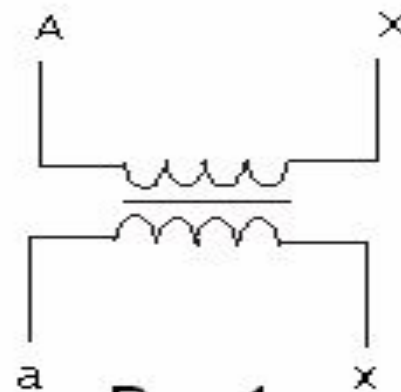


Рис.1.а

- У трансформаторов второго типа (рис. 1б) один конец обмотки ВН заземлен, единственный ввод ВН расположен на крышке, а выводы НН – на боковой стенке бака. Обмотка ВН рассчитана на фазное напряжение, основная обмотка НН - на 100 В, дополнительная обмотка - на 100/3 В. Такие ТН называются заземляемыми и предназначены для измерения напряжения проводов по отношению к земле, линейных напряжений, а также напряжений нулевой последовательности в сетях, работающих с незаземленной или компенсированной нейтралью.

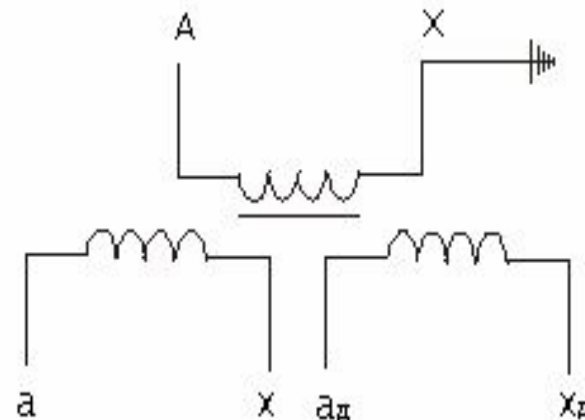


Рис.1.6

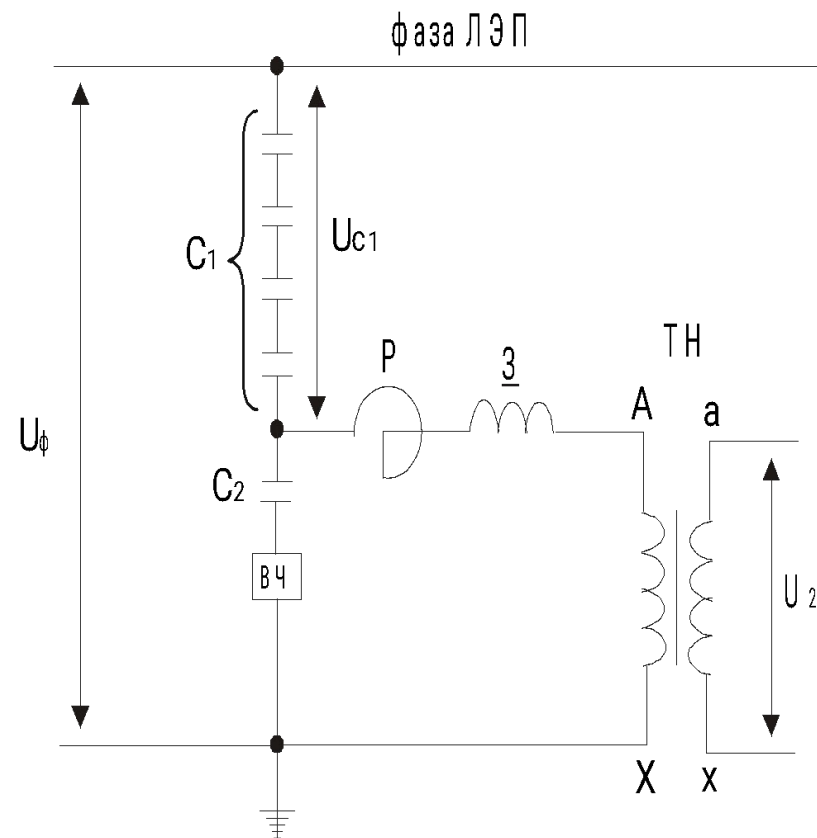
- В настоящее время все более широкое применение находят ТН с литой изоляцией серий **ЗНОЛ.06** и **НОЛ.08**. Заземляемые трансформаторы **ЗНОЛ.06** имеют пять исполнений по напряжению: 6, 10, 15, 20, 24 кВ. Класс точности их доведен до 0,2. Они имеют небольшую массу, могут устанавливаться в любом положении, пожаробезопасны, предназначены для установки в КРУ и комплектных токопроводах, взамен ТН - **НТМИ** и **ЗНОМ**. Трансформаторы **НОЛ.08** предназначены для замены **НОМ-6** и **НОМ-10**.

ТН на 110 кВ и выше изготавливают каскадного типа. Они состоят из нескольких ступеней (трансформаторов), изолированных друг от друга. В таком трансформаторе число ступеней определяется номинальным напряжением и при $U=110$ кВ имеет 2 каскада; при $U=220$ кВ – 4 каскады; $U=330$ кВ – 6 каскадов и т.д. В этих трансформаторах первичная обмотка ВН равномерно распределена по нескольким магнитопроводам (каскадам), благодаря чему облегчается ее изоляция.

- Начало первичной обмотки верхнего каскада (ступени) присоединяют к проводу, напряжение которого должно быть измерено. Конец первичной обмотки нижнего каскада (ступени) присоединяют к заземленному основанию. Они имеют меньшую массу и стоимость по сравнению с обычными ТН, но их погрешность больше, чем у обычных. Каскадные ТН НКФ-330, НКФ- 500 соответствуют классам точности 1 и 3. Заводы выпускают эти трансформаторы для напряжений 110÷500 кВ. Трансформаторы ступеней помещают по два в фарфоровый кожух, наполненный маслом.

- С увеличением напряжения усложняется конструкция каскадных ТН, поэтому в электроустановках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединяемые к конденсаторам высокочастотной связи с помощью конденсатора отбора мощности (см. рис. 2).

Емкость конденсатора $C_1 < C_2$, откуда $U_{C2} \leq U_{C1}$. Напряжение нижней ступени U_{C2} обычно составляет 10 кВ. Поэтому напряжение на нагрузке U_2 подается через трансформатор напряжения. Величина $U_2 = 100/V$. Для того чтобы выходное напряжение U_2 не зависело от величины нагрузки, реактор P настроен в резонанс с емкостью $C_1 + C_2$. При надлежащем выборе элементов, ЕТН может быть выполнен на высокий класс точности (0,2).



- Емкостной делитель С1- С2 используется также для питания высокочастотной защиты ВЧ. Заградительный дроссель 3 препятствует токам высокой частоты проходить в реактор Р и ТН. ТН этой серии обозначаются как НДЕ.
- В настоящее время в электрических сетях 110 кВ и выше используются индуктивные антирезонансные ТН серии НАМИ 110 – 220 – 330 -500 кВ, которые отличаются от емкостных ТН лучшей стабильностью в наивысших классах точности, меньшими погрешностями в переходных процессах, большей нагрузочной способностью и более выгодным соотношением стоимость/качество.

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТН.

В трехфазной системе измерению подлежат:

- линейные напряжения;
- фазные напряжения (напряжения относительно земли);
- напряжение нулевой последовательности, появляющееся при замыкании на землю.

Напряжение нулевой последовательности используют для релейной защиты, а в сетях с незаземленной или компенсированной нейтралью - для сигнализации однофазных замыканий.

В зависимости от назначения могут применяться ТН с различными схемами соединения обмоток.

Один однофазный ТН (рис.3) применяется в однофазных и трехфазных установках, когда достаточно иметь междуфазное напряжение между какими – либо фазами (для включения вольтметров, частотомеров, катушек нулевого напряжения ручных приводов выключателей, реле напряжения и т.д.).

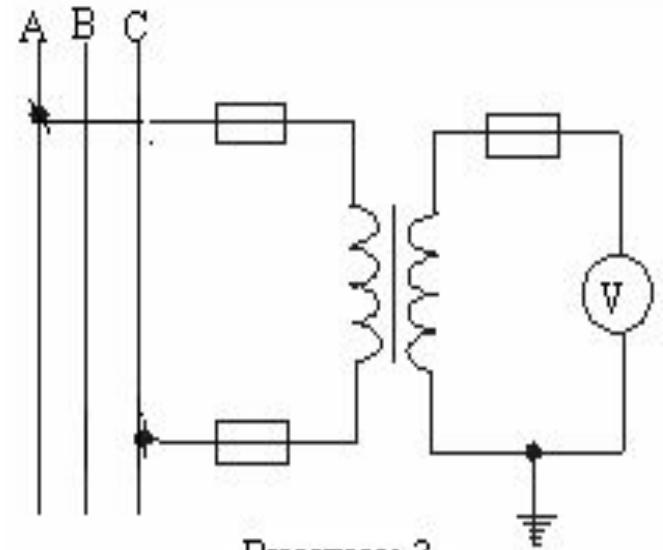


Рисунок 3

- В тех случаях, когда основную нагрузку ТН составляют счетчики и ваттметры целесообразна схема из двух однофазных ТН, включенных в неполный (открытый) треугольник (рис.4). Эта схема применяется при необходимости

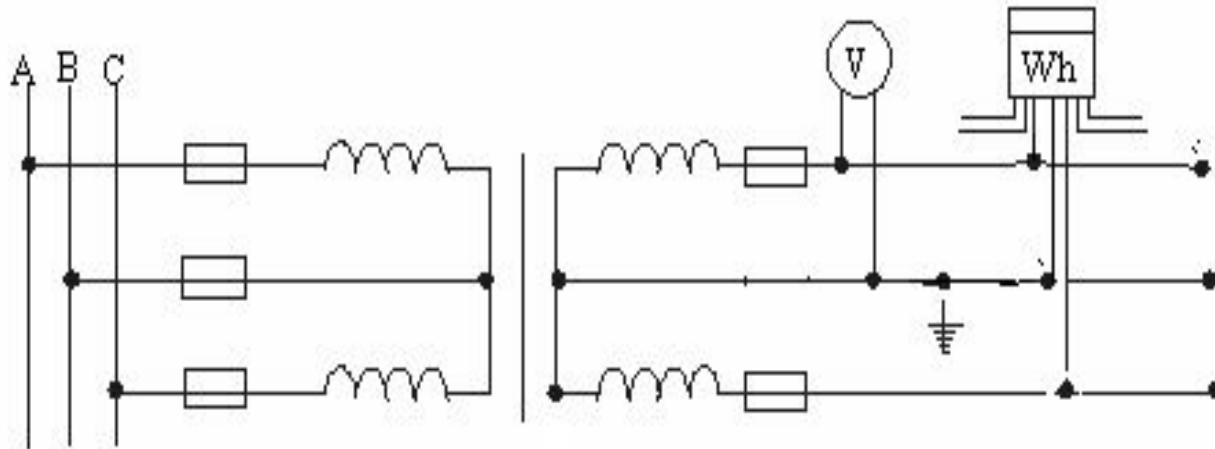


Рис.4

включения измерительных приборов и реле только на междуфазные напряжения (фазные напряжения в этом случае измерить нельзя).

- Эта схема дешевле, чем схема из трех однофазных ТН. Токовые обмотки этих приборов присоединяют к ИТТ, включенным в фазы А и С. Тогда, обмотки напряжения должны быть присоединены к зажимам ИТН «ав» и «вс». Такое единообразие в подключении измерительных приборов облегчает монтаж и проверку вторичных цепей и является общепринятым. Эта схема позволяет также измерить два линейных напряжения - U_{AB} и U_{BC} . (НОМ; НОС; НОЛ).

Для измерения трех линейных напряжений, предпочтительна схема, изображенная на рис. 5 (НТМК) или схема из трех однофазных ТН соединенных по схеме $Y-Y_0$. Эта схема используется и тогда, когда мощность двух однофазных ТН недостаточна в выбранном классе точности.

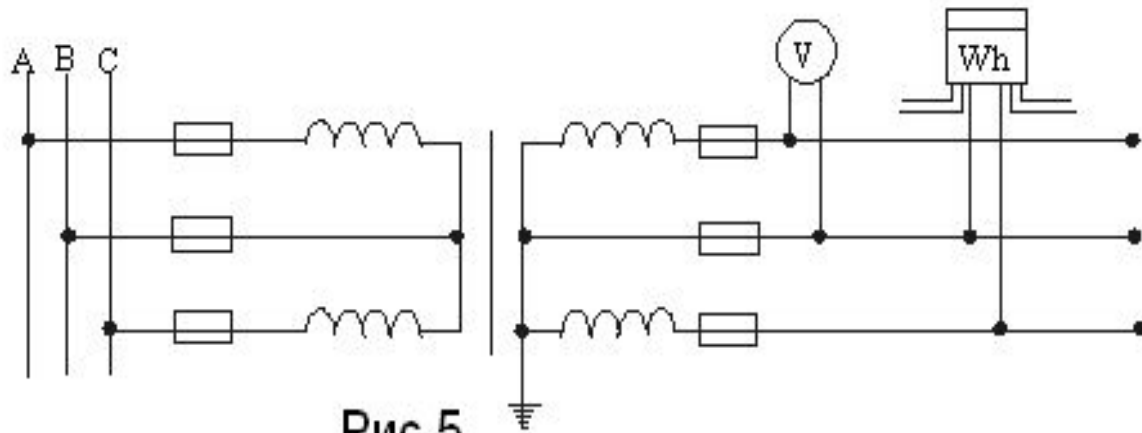


Рис.5

СИГНАЛИЗАЦИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ.

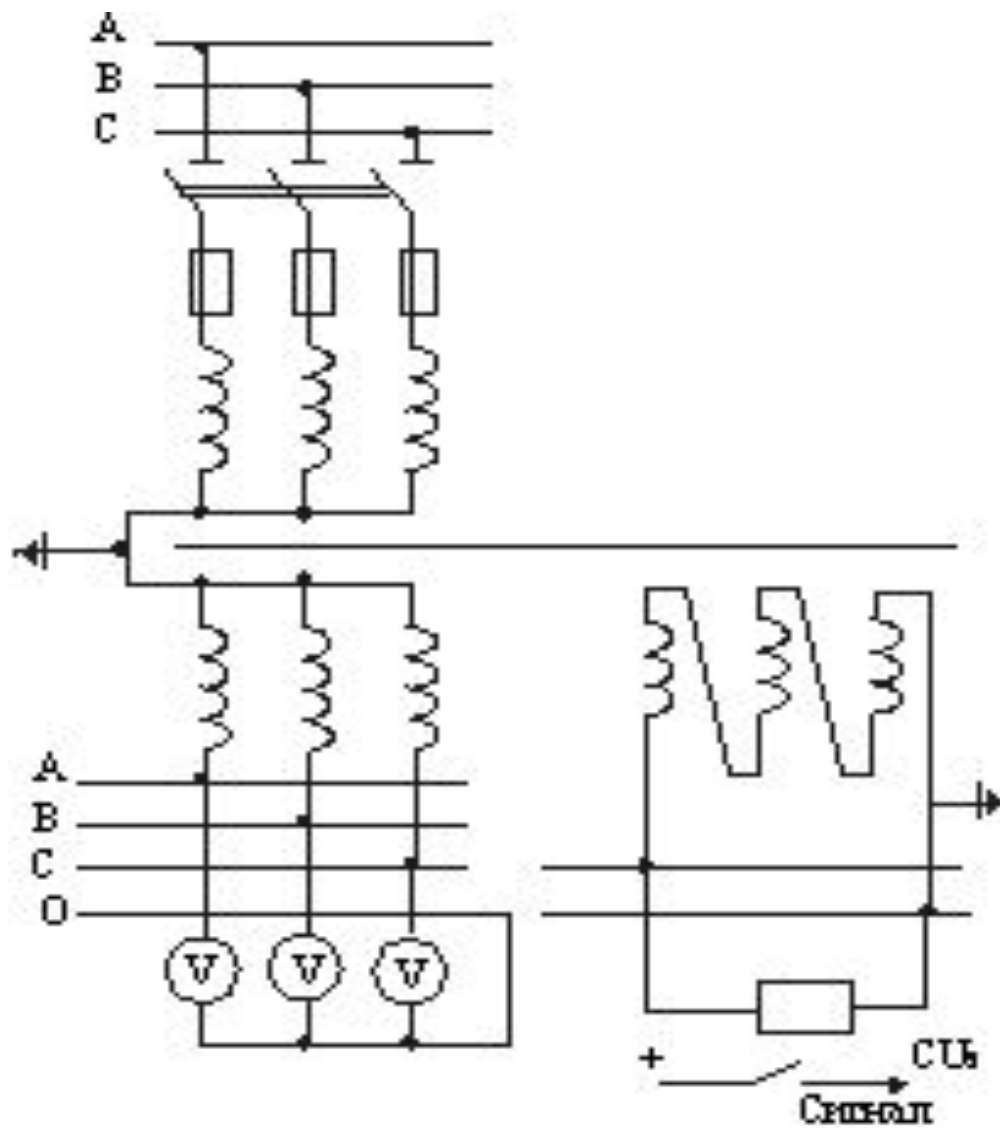
Поскольку сети с изолированной нейтралью небольшой протяженности, а так же сети с резонансно-компенсированной нейтралью могут относительно продолжительное время работать с замыканием фазы на землю, релейную защиту от повреждений этого вида выполняют, как правило, с действием на сигнал. Сигнализация замыканий на землю может быть неселективной и селективной. Неселективная сигнализация извещает обслуживающий персонал о возникновении замыкания на землю без указания присоединения, на котором произошло нарушение изоляции, селективная – с указанием поврежденного присоединения.

Обмотки соединяют по схеме звезда-звезда-разомкнутый треугольник (см. рис.5)

Основная вторичная обмотка служит для присоединения трех вольтметров для контроля изоляции, но может быть использована одновременно и для питания других измерительных приборов и реле защиты.

Вспомогательная вторичная обмотка служит для звукового или светового контроля при появлении однофазного замыкания на землю. В нормальном режиме на концах разомкнутого треугольника напряжение равно нулю, при замыкании фазы на землю – 3U_Ф, что соответствует появлению напряжения нулевой последовательности.

Схема соединения обмоток ИТН ИТМИ



Если в цепь треугольника включить реле повышения напряжения, то при замыкании на землю оно сработает, включая предупреждающий сигнал. По показаниям вольтметров можно установить, какая из фаз повреждена.

На подстанциях при наличии нескольких секций или двойной системе сборных шин ИТН устанавливаются на каждой секции или системе шин. Комплект же из трех вольтметров предусматривается один на все РУ данного напряжения и снабжается переключателем, позволяющим подключать их на каждую секцию или систему шин.

На п/ст с небольшим числом присоединений напряжением 6-10 кВ допускается установка одной неселективной сигнализации замыканий на землю с отысканием места повреждения путем поочередных кратковременных отключений присоединений. В установках с большим числом присоединений рекомендуется применять селективную сигнализацию замыканий на землю.

Для этой цели на каждом присоединении устанавливаются измерительный трансформатор тока (ИТТ) нулевой последовательности – ТНП. Такой трансформатор имеет магнитопровод, через окно которого проходит кабель или токопроводы всех трех фаз.

- К вторичной обмотке трансформатора подключается реле тока. В нормальном режиме фазные токи каждого присоединения представляют симметричную систему, т.е. $I_A + I_B + I_C = 0$, поэтому магнитный поток в магнитопроводе трансформатора равен нулю и ток в обмотке отсутствует. При замыкании провода на землю эта сумма больше нуля, и во вторичной обмотке трансформатора появляется ток нулевой последовательности поврежденной фазы. Для этих целей могут быть применены и другие устройства.

Особо следует отметить заземление первичной обмотки у ИТН, предназначенных для измерения напряжений относительно земли. Только при заземлении нуля первичной обмотки, при замыкании какой либо фазы на землю, магнитный поток в сердечнике этой фазы равен нулю, т.к. первичная обмотка оказывается замкнутой через землю накоротко. При отсутствии этого заземления изменений в распределение магнитных потоков при замыкании на землю не было бы.

Заземление вторичных обмоток ИТН необходимо для безопасности на случай пробоя изоляции с обмотки ВН на вторичную обмотку.

Для защиты ИТН от К.З. во вторичных цепях предусматривают плавкие предохранители на стороне НН в незаземленных проводах. ИТН до 35 кВ включительно снабжаются также предохранителями со стороны ВН для их защиты. Для напряжений 110 кВ и выше, как правило, устанавливаются разъединители, т.к. отсутствуют предохранители необходимой отключающей способности.

ВЫБОР ИТН

- **ТН выбирают по:**
- номинальному напряжению - $U_n \geq U_{уст}$;
- конструкции и схеме соединения обмоток;
- 3. классу точности - для счетчиков денежного расчета – 0,5; щитовых измерительных приборов – 1; для большинства реле 3,5;
- 4. вторичной нагрузке – $S_{2н} \geq S_{2расч}$,

где **$S_{2н}$** – номинальная мощность, в выбранном классе точности (из каталога). Для однофазных ИТН, соединенных в Y, за $S_{2н}$ берется суммарная мощность всех трех фаз; для однофазных трансформаторов, соединенных по схеме открытого треугольника – удвоенная мощность одного трансформатора.

- **$S_{2расч}$** – нагрузка измерительных приборов и реле, присоединенных к ИТН, ВА. Она подсчитывается на весь трансформатор в целом, но с отдельным определением активной и реактивной составляющих полной мощности.

- Для упрощения расчетов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда

$$S_{2расч}^2 = \sum S_{приб} \cdot \cos\varphi_{приб} \cdot \cos\varphi)^2 + (\sum S_{приб} \cdot \sin\varphi_{приб})^2 = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}$$

- Если $S_{2расч} > S_{2н}$, то устанавливают второй трансформатор и часть приборов присоединяют к нему.
- Сопротивление соединительных проводов при подсчете $S_{2расч}$ не учитывают в виду их малости. Но оно создает дополнительную потерю напряжения, увеличивая погрешность. Согласно ПУЭ потеря напряжения в проводах к счетчикам не должна превышать 0,5 %, а к щитовым измерительным приборам – 3%.

- При определении потерь напряжения учитывают лишь активное сопротивление, т.к. индуктивное мало и им пренебрегают. По условиям механической прочности сечение проводов не должно быть меньше 1,5 мм² для медных и 2,5 мм² для алюминиевых проводов.
- **$\Delta U = IR$**

- В последнее время для замены трансформаторов серии НТМИ началось изготовление трансформаторов серии НАМИ – 10 (антирезонансный). Напряжение первичных обмоток составляет 6 и 10 кВ, а основных вторичных обмоток – 100 В. ИТН – НАМИ обеспечивает измерение трех линейных, трех фазных напряжений и напряжений нулевой последовательности.
- Готовится серийный выпуск литых ИТН типов НОЭЛ – 6, НОЭЛ – 10 взамен НОЛ – 08 и типов ЗНОЭ – 6 и ЗНОЭЛ – 10 взамен ЗНОЛ – 6.

- Новые трансформаторы имеют незначительные отличия по габаритам, но рассчитаны на большую максимальную мощность и номинальные мощности при различных классах точности.
- В ячейках напряжением 110 и 220 кВ применяются элегазовые ТН типа ЗНОГ (заземляемый однофазный, с газовой изоляцией). В ячейках КРУЭ трансформатор напряжения герметично присоединяется к элегазовым элементам и может устанавливаться вертикально или горизонтально.