

96 Трансформаторы тока. Устройство и схемы включения. Конструкции.

Устройство и схемы включения трансформаторов тока

Трансформаторы тока применяются для измерения больших токов, когда невозможно непосредственное включение измерительных приборов в контролируемые цепи. Использование трансформаторов тока позволяет устанавливать измерительные приборы на любом расстоянии от контролируемых цепей, концентрируя их в одном месте — на щите или пульте управления.

Трансформатор тока состоит из замкнутого магнитопровода, набранного из тонких литых листов электротехнической стали, и двух обмоток — первичной и вторичной.

Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в линию (рис. 13.21), а его вторичная обмотка замыкается непосредственно на амперметр и цепи тока других измерительных приборов, которые тоже соединяются между собой последовательно, так как ток в них должен быть один и тот же.

Суммарное сопротивление амперметра и цепей тока измерительных приборов относительно мало (обычно меньше 1 Ом), поэтому трансформатор тока работает в условиях, близких к условиям короткого замыкания силового трансформатора.

Изменение тока в первичной обмотке трансформатора вызывает изменение тока в его вторичной обмотке, при этом вторичный ток пропорционален первичному.

Соотношение между токами и витками обмоток трансформатора тока имеет вид

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = K_{т.т.},$$

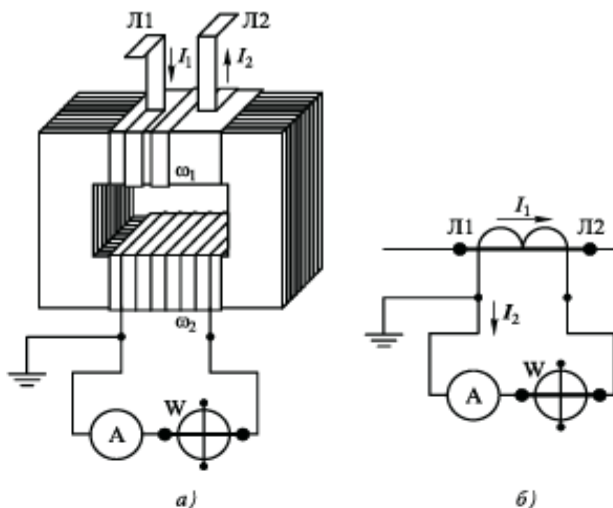


Рис. 13.21. Устройство, схема включения трансформатора тока (а) и его обозначение (б)

где I_1 , I_2 – соответственно первичный и вторичный токи; ω_1 , ω_2 – соответственно число витков первичной и вторичной обмоток; $K_{т.т}$ – коэффициент трансформации.

При этом магнитный поток, создаваемый током вторичной обмотки, направлен против магнитного потока, создаваемого током первичной обмотки, т. е. при их сложении образуется **очень малый** поток, замыкающийся в стали сердечника трансформатора. Когда же поток во вторичной обмотке отсутствует, например **при обрыве ее цепи**, в магнитопроводе трансформатора тока **действует полный магнитный поток**, создаваемый током первичной обмотки, т. е. весь первичный ток оказывается намагничивающим $I_{10}\omega_1 = I_1\omega_1$. Нормально $I_{10}\omega_1$ составляет примерно 0,5 % от $I_1\omega_1$. Многократное же увеличение намагничивающей силы, **вызывающее** очень большое возрастание магнитного потока (**ограниченное насыщением сердечника**), определяет потери в стали приблизительно пропорциональные его квадрату, т. е. **сильное нагревание стали сердечника**, опасное для целостности изоляции, которое в итоге может привести к короткому замыканию на землю высокого напряжения.

Кроме того, увеличение магнитного потока при размыкании вторичной цепи вызывает **появление во вторичной обмотке ЭДС E_2 порядка сотен вольт и до 1,5 кВ** в трансформаторах, рассчитанных на большие токи. Следовательно, возникает **опасность для жизни человека**. **Поэтому, если необходимо отключить измерительные и защитные приборы при включенном трансформаторе тока, концы его вторичной обмотки замыкают накоротко.**

Вторичный номинальный ток во всех трансформаторах тока составляет 5 А (в некоторых специальных случаях – 1 А).

В целях безопасности один зажим вторичной обмотки и стальной кожух трансформатора тока заземляются.

Особенности работы трансформатора тока определяют тем, что у него независимой величиной является не первичное напряжение, а первичный ток I_1 , который в большинстве случаев во много раз больше вторичного тока I_2 , поэтому **число витков первичной обмотки ω_1 должно быть во много раз меньше числа витков вторичной обмотки ω_2** . Для больших токов первичная обмотка выполняется в виде провода, продетого в окно стального сердечника (рис. 13.22).

Напряжение на зажимах первичной обмотки трансформатора тока во много раз меньше его вторичного напряжения (так как $\omega_2 > \omega_1$), а следовательно, если его вторичное напряжение несколько вольт, то первичное часто составляет порядка сотых долей вольта.

Увеличение сопротивления вторичной цепи трансформаторов тока почти не влияет на первичный ток I_1 , а вызывает лишь увеличение намагничивающей силы $I_1\omega_1$ и уменьшение $I_2\omega_2$, так как чем больше сопротивление вторичной цепи, тем больше должны быть ЭДС E_2 и магнитный поток, ее наводящий. Но чем больше E_2 , тем больше нарушается основное условие точной работы трансформатора тока: $I_1\omega_1 \ll I_2\omega_2$. Поэтому в трансформаторах тока должно указываться максимально допустимое сопротивление в цепи вторичной обмотки, обеспечивающее допустимые погрешности, т. е. это сопротивление тем меньше, чем выше точность трансформатора тока.

Точность измерений зависит от погрешности (ошибки) самих измерительных трансформаторов и присоединяемых к ним приборов.

Погрешности измерений трансформаторов тока разделяются на погрешности по коэффициенту трансформации, т. е. по напряжению или току, и угловые.

Погрешность по коэффициенту трансформации влияет на вторичные напряжения или токи при заданных первичных величинах. От нее зависит правильность показаний приборов, подсоединенных ко вторичной обмотке измерительных трансформаторов.

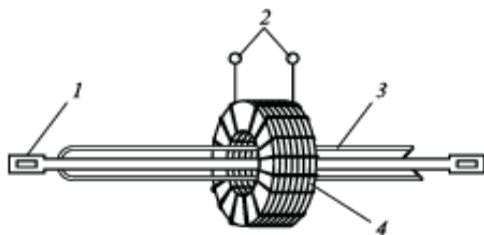


Рис. 13.22. Проходной трансформатор тока:

1 – первичная обмотка; 2 – зажимы вторичной обмотки; 3 – изолирующий цилиндр; 4 – сердечник

Угловая погрешность, влияющая только на показания приборов ваттметрового типа (ваттметры, фазометры, счетчики, реле мощности), определяется: постоянными факторами, зависящими от конструктивных параметров трансформатора (электрического сопротивления обмоток, магнитного сопротивления магнитопровода и др.), и переменными факторами, зависящими от эксплуатационных условий, т. е. от параметров нагрузки вторичной обмотки трансформатора.

Погрешности измерительного трансформатора определяют его класс точности, т. е. классам точности 0,2; 0,5; 1; 3; 10 соответствуют определенные значения допустимых погрешностей (в процентах) при номинальных токах. В промышленных установках используются преимущественно трансформаторы тока классов точности 0,5; 1; 3, для включения измерительных приборов служат трансформаторы классов точности 0,5 и 1, а трансформаторы третьего класса точности обычно применяются для включения приборов релейной защиты и простейших измерительных приборов (щитовых вольтметров, амперметров). При включении приборов через измерительные трансформаторы возникает погрешность, обычно не превышающая 1 % от измеряемой величины.

Трансформаторы тока выбирают по следующим параметрам: номинальному напряжению, рабочему току, классу точности вторичной обмотки, а также значениям термической и динамической устойчивости при прохождении токов короткого замыкания.

Трансформаторы тока в распределительных устройствах обеспечивают:

- расширение пределов измерительных приборов с токовыми обмотками (амперметров, ваттметров, счетчиков);

- питание токовых обмоток реле, а в некоторых случаях обмоток отключающих устройств приводов силовых выключателей;

- отделение вторичных цепей от первичных.

Последний фактор имеет особое значение, так как определяет безопасность обслуживающего персонала. Вторичные обмотки трансформаторов тока и их корпуса, как правило, соединяют с землей.

Для правильного соединения нескольких трансформаторов тока в общую схему и присоединения к ним приборов необходимо знать их полярность, т. е. соответствуют ли начало и конец первичной обмотки началу и концу вторичной обмотки, для чего их маркируют: начало первичной обмотки, включаемой в линию, обозначают Л1, а ее конец – Л2; начало и конец вторичной обмотки обозначают соответственно И1 и И2.

В зависимости от характера нагрузки, задач измерения и видов релейной защиты в линиях трехфазного тока измерительные трансформаторы устанавливают на одной, двух или трех фазах.

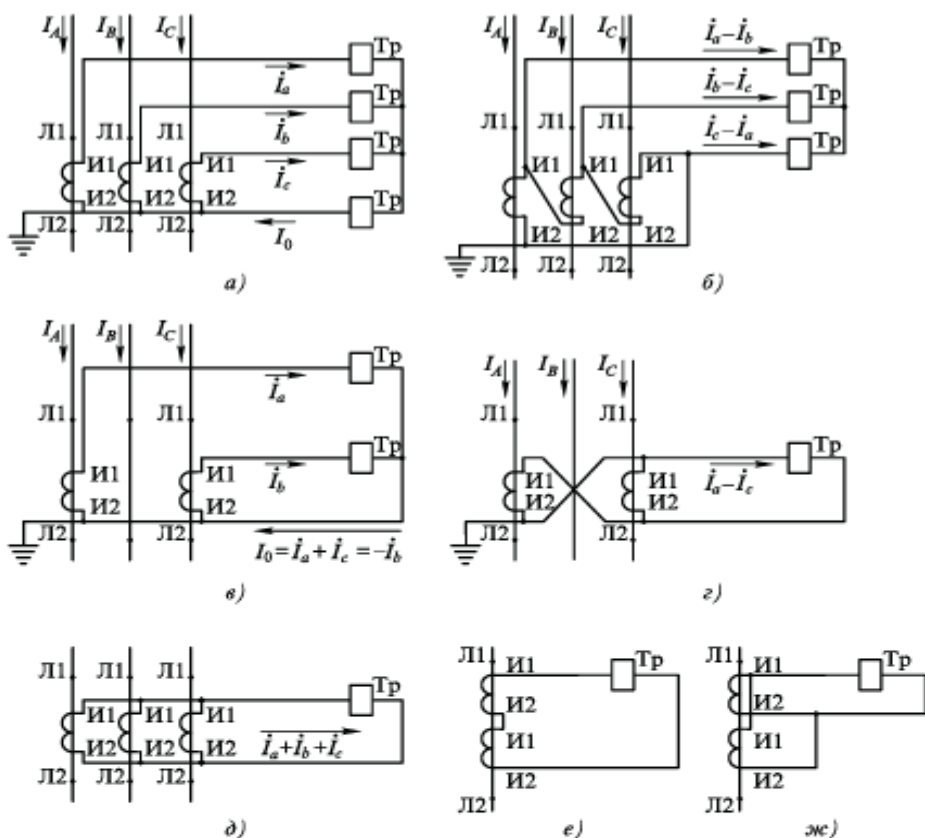


Рис. 13.23. Схемы соединения трансформаторов тока:

а – полная звезда; *б* – треугольник; *в* – неполная звезда; *г* – на разность токов; *д* – на сумму трех токов; *е* – последовательное соединение двух обмоток одной фазы; *ж* – параллельное соединение двух обмоток одной фазы

Различные схемы соединения трансформаторов тока приведены на рис. 13.23. Из них схемы полная звезда и треугольник применяются при необходимости контроля тока во всех трех фазах линии (например, в некоторых видах релейных защит); схема неполная звезда и схема на разность токов двух фаз – в сетях с изолированной нейтралью, а схема на сумму трех токов – в релейных защитах от замыканий на землю.

Если со вторичных обмоток двух трансформаторов одной фазы необходимо получить возможно большую мощность, применяется их последовательное соединение, а параллельное соединение тех же обмоток позволяет увеличить ток во вторичной цепи.

Конструкции трансформаторов тока

По конструкции трансформаторы тока подразделяют на опорные, проходные, шинные, встроенные, разъемные и втулочные.

В зависимости от числа витков первичной обмотки различают одно- и многovitковые трансформаторы тока, а также с одной вторичной обмоткой или несколькими. При монтаже РУ на напряжение 6... 10 кВ применяют трансформаторы тока с литой и фарфоровой изоляцией, а при напряжениях до 1 кВ – с литой, хлопчатобумажной и фарфоровой.

Одновитковые трансформаторы тока (рис. 13.24, а) конструктивно проще, имеют меньшие размеры, дешевле и более устойчивы при коротких замыканиях, чем многovitковые. Существенным их недостатком является невысокая точность при измерении малых токов. Применяются они для внутренней установки на первичные токи от 400 до 6000 А.

В основном многovitковые трансформаторы с одним сердечником (рис. 13.24, б) применяются для внутренней установки на номинальные первичные токи от 5 до 600 А и для наружной установки на токи от 1000 до 2000 А.

В многovitковых трансформаторах тока с двумя сердечниками каждый из сердечников имеет свою вторичную обмотку, а первичная обмотка у них общая (рис. 13.24, в), т. е. получается как бы сдвоенный трансформатор тока. Каждая вторичная обмотка такого трансформатора рассчитана на определенную номинальную нагрузку, при которой он будет работать в пределах своего класса точности. Обычно одну из вторичных обмоток используют для включения измерительных приборов, а другую – для реле защиты. При этом обмотки могут быть одинаковых или разных классов точности.

В некоторых случаях трансформаторы тока (на 110 кВ и выше) изготавливают с тремя и четырьмя сердечниками.

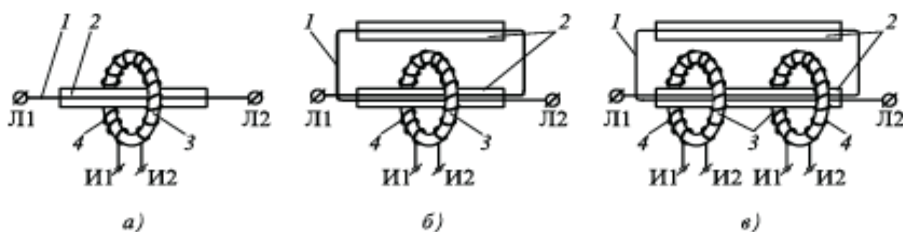


Рис. 13.24. Принципиальные схемы трансформаторов тока:

а – одновиткового; б – многovitкового с одним сердечником; в – многovitкового с двумя сердечниками; 1 – первичная обмотка; 2 – изоляция; 3 – сердечник; 4 – вторичная обмотка