

Трансформаторы тока - принцип работы и применение

При эксплуатации энергетических систем часто возникает необходимость преобразования определенных электрических величин в подобные им аналоги с пропорционально измененными значениями. Это позволяет моделировать определенные процессы в электроустановках, безопасно выполнять измерения.

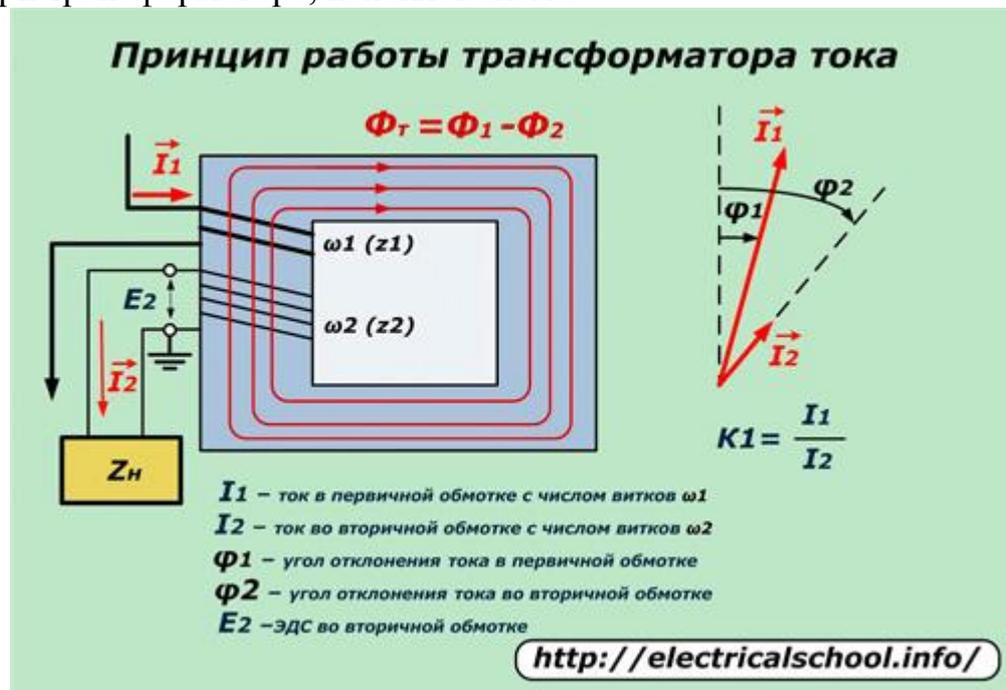


Работа трансформатора тока (ТТ) основана на **законе электромагнитной индукции**, действующего в электрических и магнитных полях, изменяющихся по форме гармоник переменных синусоидальных величин.

Он преобразует первичную величину вектора тока, протекающего в силовой цепи, во вторичное пониженное значение с соблюдением пропорциональности по модулю и точной передачей угла.

Принцип работы трансформатора тока

Демонстрацию процессов, происходящих при преобразованиях электрической энергии внутри трансформатора, поясняет схема.



Через силовую первичную обмотку с числом витков w_1 протекает ток I_1 , преодолевая ее полное сопротивление Z_1 . Вокруг этой катушки формируется магнитный поток Φ_1 , который улавливается магнитопроводом, расположенным перпендикулярно направлению вектора I_1 . Такая ориентация обеспечивает минимальные потери электрической энергии при ее преобразовании в магнитную.

Пересекая перпендикулярно расположенные витки обмотки w_2 , поток Φ_1 наводит в них электродвижущую силу E_2 , под влиянием которой возникает во вторичной обмотке ток I_2 , преодолевающий полное сопротивление катушки Z_2 и подключенной выходной нагрузки Z_H . При этом на зажимах вторичной цепи образуется падение напряжения U_2 .

Величина K_1 , определяемая отношением векторов I_1/I_2 , называется **коэффициентом трансформации**. Ее значение задается при

проектировании устройств и замеряется в готовых конструкциях. Отличия показателей реальных моделей от расчетных значений оценивается метрологической характеристикой — **классом точности трансформатора тока**.

В реальной работе значения токов в обмотках не являются постоянными величинами. Поэтому коэффициент трансформации принято обозначать по номинальным значениям. Например, его выражение $1000/5$ означает, что при рабочем первичном токе 1 килоампер во вторичных витках будет действовать нагрузка 5 ампер. По этим значениям и рассчитывается длительная эксплуатация этого трансформатора тока.

Магнитный поток Φ_2 от вторичного тока I_2 уменьшает значение потока Φ_1 в магнитопроводе. При этом создаваемый в нем поток трансформатора Φ_t определяется геометрическим суммированием векторов Φ_1 и Φ_2 .

Опасные факторы при работе трансформатора тока

Возможность поражения высоковольтным потенциалом при пробое изоляции

Поскольку магнитопровод ТТ выполнен из металла, обладает хорошей проводимостью и соединяет между собой магнитным путем изолированные обмотки (первичную и вторичную), то возникает повышенная опасность получения электротравм персоналом или повреждения оборудования при нарушениях изоляционного слоя.

С целью предотвращения таких ситуаций используется заземление одного из вторичного выводов трансформатора для стекания через него высоковольтного потенциала при авариях.

Эта клемма всегда имеет обозначение на корпусе прибора и указывается на схемах подключения.

Возможность поражения высоковольтным потенциалом при разрыве вторичной цепи

Выводы вторичной обмотки маркируют «И1» и «И2» так, чтобы направление протекающих токов было полярным, совпадало по всем обмоткам. При работе трансформатора они всегда должны быть подключены на нагрузку.

Объясняется это тем, что проходящий по первичной обмотке ток обладает мощностью ($S=UI$) высокого потенциала, которая трансформируется во вторичную цепь с малыми потерями и при разрыве в ней резко уменьшается составляющая тока до значений утечек через окружающую среду, но при этом значительно возрастает падение напряжения на разорванном участке.

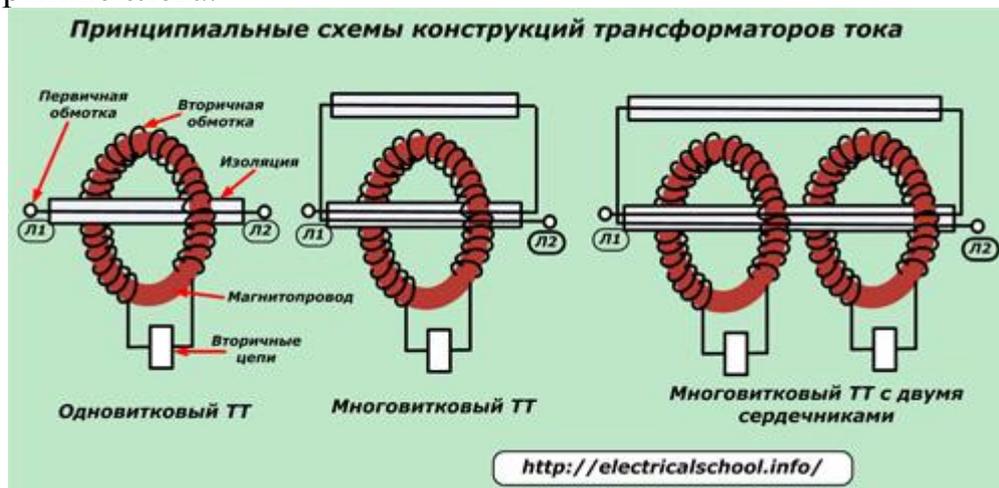
Потенциал на разомкнутых контактах вторичной обмотки при прохождении тока в первичной схеме может достигать нескольких киловольт, что очень опасно.

Поэтому все вторичные цепи трансформаторов тока постоянно должны быть надежно собраны, а на выведенных из работы обмотках или кернах всегда устанавливаются шунтирующие закоротки.

Конструкторские решения, используемые в схемах трансформаторов тока

Любой трансформатор тока, как электротехническое устройство, предназначен для решения определенных задач при эксплуатации электроустановок. Промышленность выпускает их большим ассортиментом. Однако, в некоторых случаях при усовершенствовании конструкций бывает проще использовать готовые модели с отработанными технологиями, чем заново проектировать и изготавливать новые.

Принцип создания одновиткового ТТ (в первичной схеме) является базовым и показан на картинке слева.



Здесь первичная обмотка, покрытая изоляцией, выполнена прямолинейной шиной Л1-Л2, проходящей через магнитопровод трансформатора, а вторичная намотана витками вокруг него и подключена на нагрузку.

Принцип создания многовиткового ТТ с двумя сердечниками, показан справа. Здесь берется два одновитковых трансформатора со своими вторичными цепями и через их магнитопроводы пропускается определенное количество витков силовых обмоток. Таким способом не только усиливается мощность, но дополнительно увеличивается количество выходных подключаемых цепочек.

Три этих принципа могут быть модифицированы различными способами. Например, применение нескольких одинаковых обмоток вокруг одного магнитопровода широко распространено для создания отдельных, независимых друг от друга вторичных цепей, которые работают в автономном режиме. Их принято называть кернами. Таким способом подключают различные по назначению защиты выключателей или линий (трансформаторов) к токовым цепям одного трансформатора тока.

В устройствах энергетического оборудования работают комбинированные трансформаторы тока с мощным магнитопроводом, используемом при аварийных режимах на оборудовании, и обычным, предназначенным для замеров при номинальных параметрах сети. Обмотки, навитые вокруг усиленного железа, используют для работы защитных устройств, а обычные — для измерений тока или мощности/сопротивления.

Их так и называют:

- защитными обмотками, маркируемыми индексом «Р» (релейные);
- измерительными, обозначаемыми цифрами метрологического класса точности ТТ, например, «0,5».

Защитные обмотки при нормальном режиме работы трансформатора тока обеспечивают измерение вектора первичного тока с точностью 10%. Их по этой величине так и называют — «десятипроцентными».

Погрешности измерений

Принцип определения точности работы трансформатора позволяет оценить его схема замещения, показанная на картинке. В ней все значения первичных величин условно приведены к действию во вторичных витках.

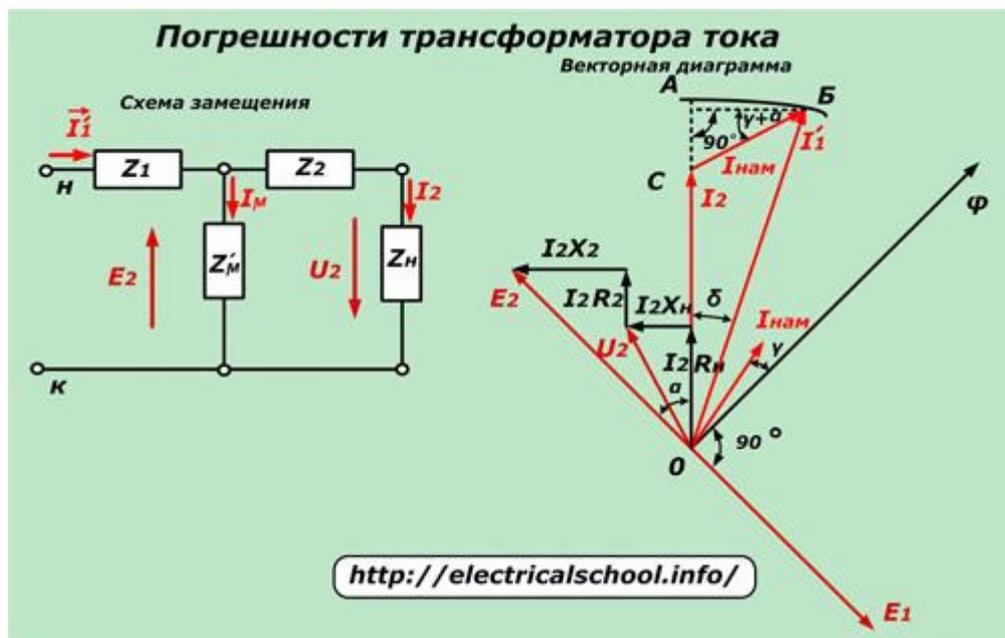


Схема замещения описывает все процессы, действующие в обмотках с учетом энергии, затрачиваемой на намагничивание сердечника током I .

Построенная на ее основе векторная диаграмма (треугольник СВО) свидетельствует, что ток I_2 отличается от значений I_1 на величину $I_{\text{нам}}$ (намагничивания).

Чем выше эти отклонения, тем ниже точность работы трансформатора тока. Чтобы учесть ошибки измерения ТТ введены понятия:

- относительной токовой погрешности, выражаемой в процентах;
- угловой погрешности, вычисляемой длиной дуги АБ в радианах.

Абсолютную величину отклонения векторов первичного и вторичного тока определяет отрезок АС.

Общепромышленные конструкции трансформаторов тока выпускаются для работы в классах точности, определяемых характеристиками 0,2; 0,5; 1,0; 3 и 10%.

Практическое применение трансформаторов тока

Разнообразное количество их моделей можно встретить как в маленьких электронных приборах, размещенных в небольшом корпусе, так и в энергетических устройствах, занимающих значительные габариты в несколько метров. Они разделяются по эксплуатационным признакам.

Классификация трансформаторов тока

По назначению их разделяют на:

- измерительные, осуществляющие передачу токов на приборы измерения;
- защитные, подключаемые к токовым цепям защит;
- лабораторные, обладающие высоким классом точности;
- промежуточные, используемые для повторного преобразования.

При эксплуатации объектов используют ТТ:

- наружного монтажа на открытом воздухе;
- для закрытых установок;
- встроенные в оборудование;
- накладные — надеваемые на проходной изолятор;
- переносные, позволяющие делать замеры в разных местах.

По величине рабочего напряжения оборудования ТТ бывают:

- высоковольтными (более 1000 вольт);

- на значения номинального напряжения до 1 киловольта.

Также трансформаторы тока классифицируют по способу изоляционных материалов, количеству ступеней трансформации и другим признакам.

Выполняемые задачи

Для работы цепей учета электрической энергии, измерений и защит линий или силовых автотрансформаторов используются выносные измерительные трансформаторы тока.

На фото ниже показано их размещение для каждой фазы линии и монтаж вторичных цепей в клеммном ящике на ОРУ-110 кВ для силового автотрансформатора.

Выносные трансформаторы тока силового автотрансформатора стороны 110 кВ на ОРУ



Эти же задачи выполняют трансформаторы тока на ОРУ-330 кВ, но, учитывая сложность более высоковольтного оборудования, они имеют значительно большие габариты.

Трансформаторы тока ВЛ-330 кВ на ОРУ-330

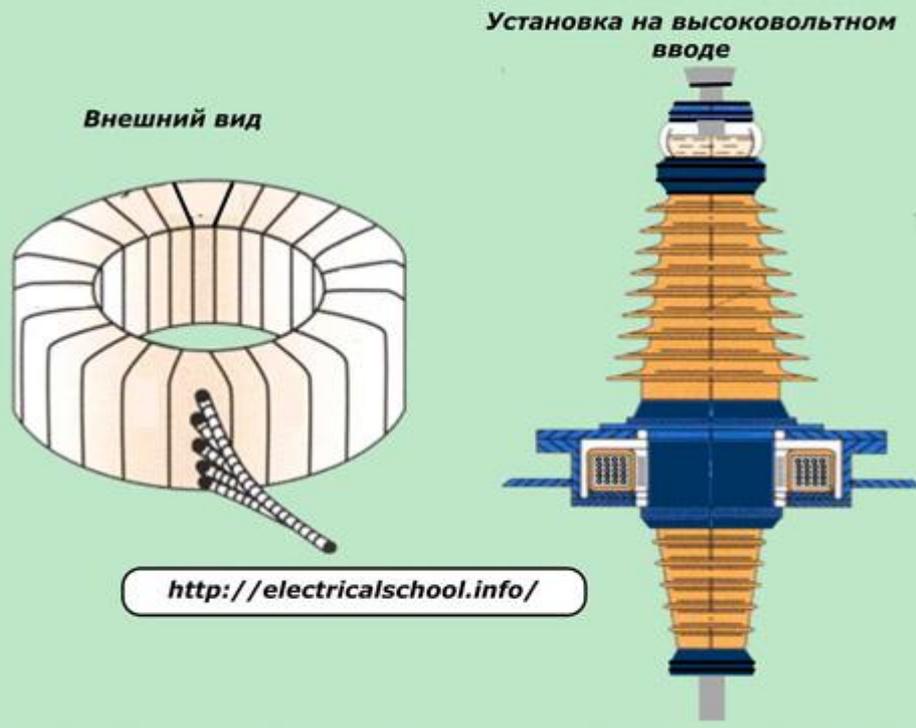


На энергетическом оборудовании часто применяют встроенные конструкции трансформаторов тока, которые размещают прямо на корпусе силового объекта.

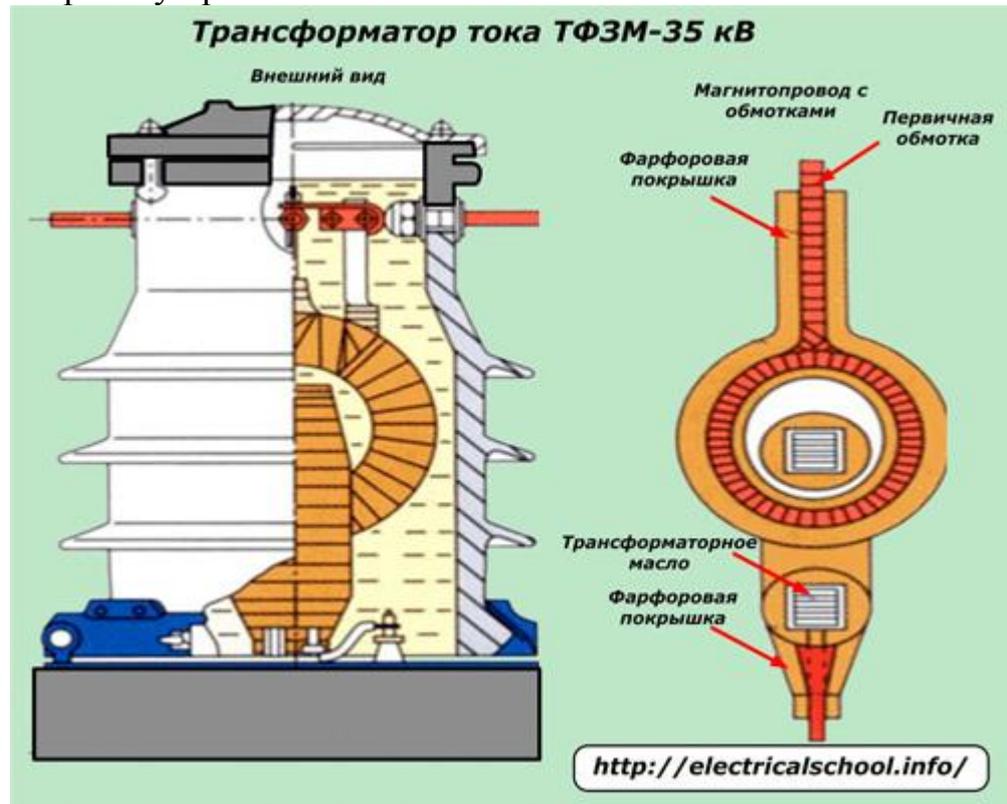


Они имеют вторичные обмотки с выводами, размещаемыми вокруг высоковольтного ввода в герметичном корпусе. Кабели от зажимов ТТ проложены к прикрепленным здесь же клеммным ящикам.

Конструкция встроенного трансформатора тока

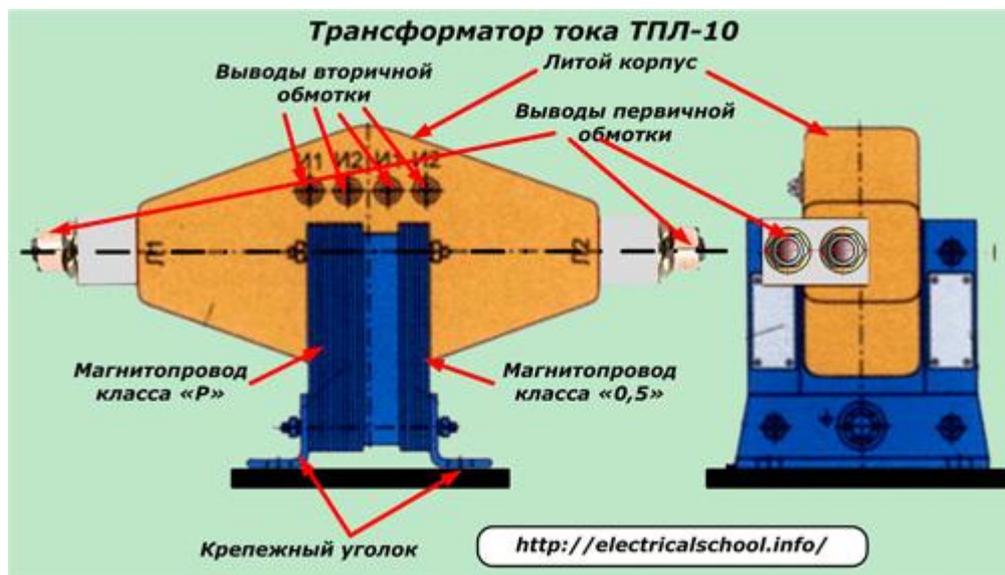


Внутри высоковольтных трансформаторов тока чаще всего в качестве изолятора используется специальное трансформаторное масло. Пример такой конструкции показан на картинке для трансформаторов тока серии ТФЗМ, рассчитанной на работу при 35 кВ.



До 10 кВ включительно используются твердые диэлектрические материалы для изоляции между обмотками при изготовлении корпуса.

Примером может служить трансформатор тока марки ТПЛ-10, используемый в КРУН, ЗРУ и других видах распределительных устройств.



Пример подключения вторичной токовой цепи одного из кернов защит REL 511 для выключателя линии 110 кВ демонстрирует упрощенная схема.



Неисправности трансформатора тока и способы их отыскания

У включенного под нагрузку трансформатора тока может нарушиться электрическое сопротивление изоляции обмоток или их проводимость под действием теплового перегрева, случайных механических воздействий либо из-за некачественного монтажа.

В действующем оборудовании чаще всего повреждаются изоляция, что приводит к межвитковым замыканиям обмоток (снижению передаваемой мощности) или возникновению токов утечек через случайно созданные цепи вплоть до КЗ.

С целью выявления мест некачественного монтажа силовой схемы периодически проводятся осмотры работающей схемы тепловизорами. На их основе своевременно устраняются дефекты нарушенных контактов, уменьшается перегрев оборудования.

Проверку отсутствия межвитковых замыканий осуществляют специалисты лабораторий РЗА:

- снятием вольтамперной характеристики;
- прогрузкой трансформатора от постороннего источника;
- замерами основных параметров в рабочей схеме.

Они же анализируют величину коэффициента трансформации.

При всех работах оценивается соотношение между векторами первичных и вторичных токов по величине. Отклонения их по углу не осуществляется из-за отсутствия высокоточных фазоизмерительных устройств, которые применяются при поверках трансформаторов тока в метрологических лабораториях.

Высоковольтные испытания диэлектрических свойств возложены на специалистов лаборатории службы изоляции.