

Релейная защита и автоматика систем электроснабжения

Лекция №__

Трансформаторы напряжения.

Составил: Кузнецов Д. Б.

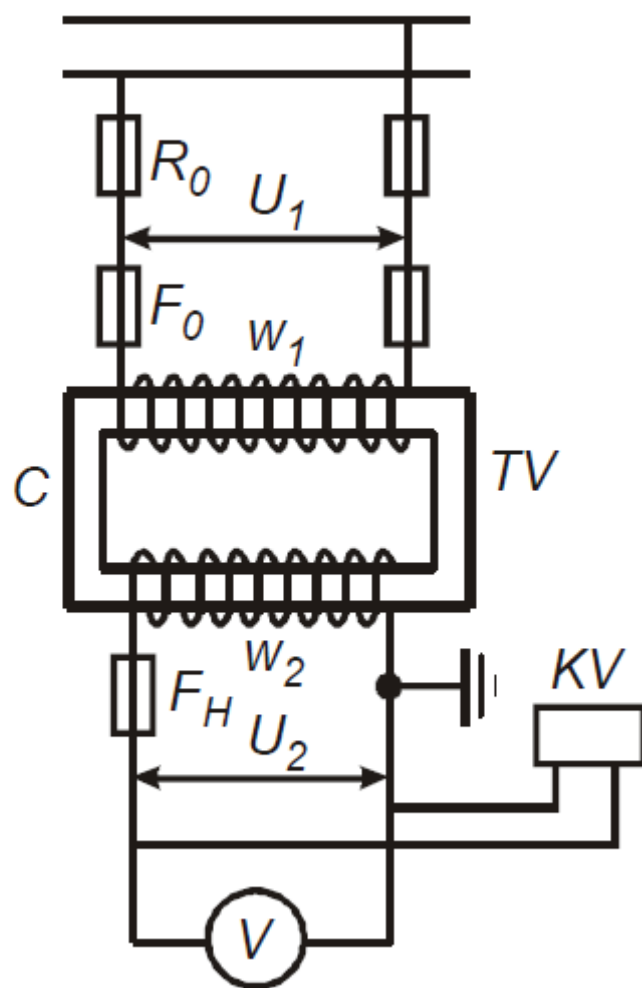


Трансформаторы напряжения 110 кВ



Трансформаторы напряжения 10 кВ

Как и трансформаторы тока, трансформаторы напряжения выполняют две функции: служат для разделения (изоляции) первичных и вторичных цепей, а так же, для приведения величины напряжения к уровню удобному для измерения (стандартное номинальное напряжение вторичной обмотки: 100/57 В). ТН работают в режиме близком к холостому ходу. Трансформатор напряжения (ТН) по принципу



действия и конструктивному выполнению аналогичен силовому трансформатору. Как показано на рис., трансформатор напряжения TV состоит из стального сердечника (магнитопровода) C , собранного из тонких пластин трансформаторной стали, и двух обмоток - первичной и вторичной, изолированных друг от друга и от сердечника.

Первичная обмотка w имеющая большое число витков (несколько тысяч) тонкого провода, включается непосредственно в сеть высокого напряжения, а к вторичной обмотке w_2 имеющей меньшее количество витков (несколько сотен), подключаются параллельно реле и измерительные приборы. Под воздействием напряжения сети по первичной обмотке проходит ток, создающий в сердечнике переменный магнитный поток Φ , который,

пересекая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней ЭДС E , которая при разомкнутой вторичной обмотке (холостой ход ТН) равна напряжению на ее зажимах U_{2x} .

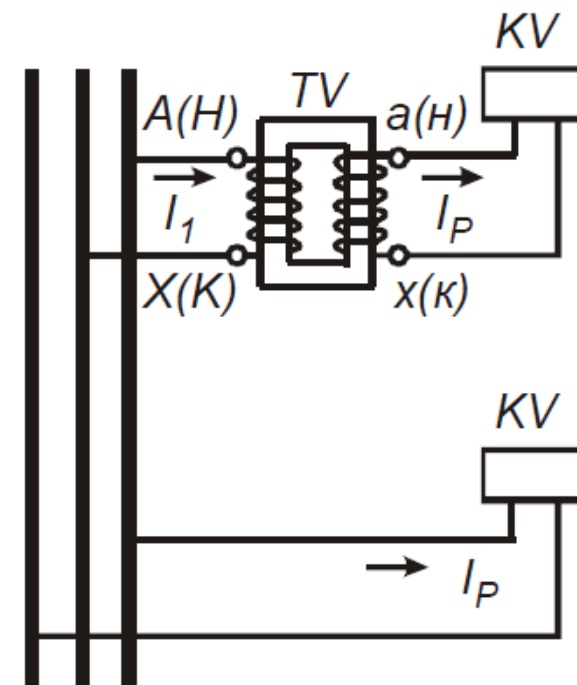
Если ко вторичной обмотке ТН подключена нагрузка в виде реле и приборов, то напряжение на ее зажимах U_2 будет меньше ЭДС на величину падения напряжения в сопротивлении вторичной обмотки.

Однако поскольку это падение напряжения невелико, оно не учитывается и пересчет первичного напряжения на вторичное производится по формулам:

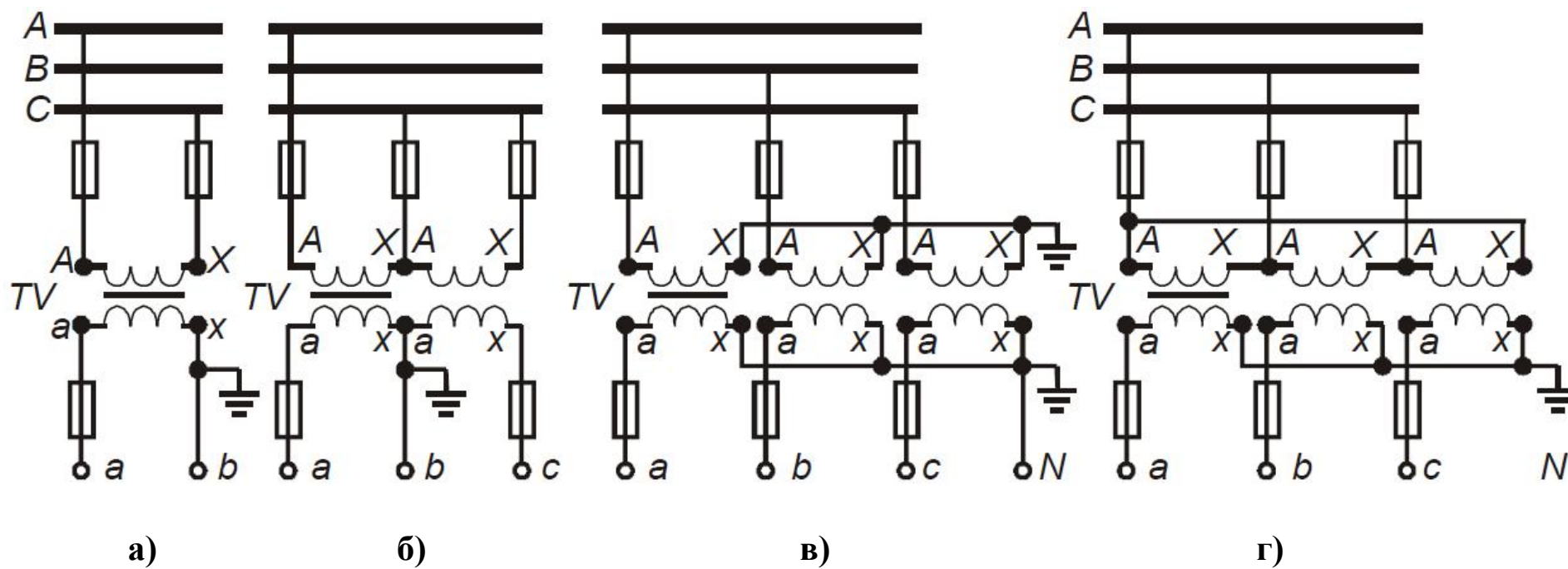
$$U_1 = U_2 K_U ;$$

$$U_2 = \frac{U_1}{K_U} .$$

Для правильного соединения между собой вторичных обмоток ТН и правильного подключения к ним реле направления мощности, ваттметров и счетчиков заводы-изготовители обозначают (маркируют) выводные зажимы обмоток определенным образом: начало первичной обмотки - A , конец - X ; начало основной вторичной обмотки - a , конец - x ; начало дополнительной вторичной обмотки - a_∂ , конец - x_∂ .



Основные схемы соединения обмоток однофазных ТН.



На рис. *а* дана схема включения одного ТН на междуфазное напряжение. Эта схема применяется, когда для защиты или измерений достаточно одного междуфазного напряжения.

На рис. *б* приведена схема соединения двух ТН в открытый треугольник, или в неполную звезду. Эта схема, получившая широкое распространение, применяется, когда для защиты или измерений нужно иметь два или три междуфазных напряжения.

На рис. *в* приведена схема соединения трех ТН в звезду. Эта схема также получила широкое распространение и применяется, когда для защиты или измерений нужны фазные напряжения, или же фазные и междуфазные напряжения одновременно.

На рис. *г* приведена схема соединения трех ТН треугольник - звезда. Эта схема обеспечивает повышенное напряжение на вторичной стороне, равное ~ 173 В. Такая схема, в частности, используется для питания электромагнитных корректоров напряжения устройств автоматического регулирования возбуждения генераторов.

Первичные и вторичные основные обмотки соединены в звезду. Дополнительные вторичные обмотки соединены в схему разомкнутого треугольника (на сумму фазных напряжений). Такое соединение применяется для получения напряжения нулевой последовательности, необходимого для включения реле напряжения и реле направления мощности защиты от однофазных КЗ в сети с заземленными нулевыми точками трансформаторов, и для сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сети с изолированными нулевыми точками трансформаторов. Как известно, сумма трех фазных напряжений в нормальном режиме, а также при двух-трехфазных КЗ равна нулю. Поэтому, в указанных условиях напряжение между точками $O_1—O_2$ на рис. равно нулю (практически между этими точками имеется небольшое напряжение: 0,5-2 В, которое называется напряжением небаланса). При однофазном КЗ в сети с заземленными нулевыми точками трансформаторов (сети 110 кВ и выше) фазное напряжение поврежденной фазы становится равным нулю, а геометрическая сумма фазных напряжений двух неповрежденных фаз оказывается равной фазному напряжению.

В сети с изолированными нулевыми точками трансформаторов (сети 35 кВ и ниже) при однофазных замыканиях на землю напряжения неповрежденных фаз относительно земли становятся равными фазному напряжению, а их геометрическая сумма оказывается равной утроенному фазному напряжению. Для того чтобы в последнем случае напряжение на реле не превосходило номинального значения, равного 100 В, у ТН, предназначенных для сетей, работающих с изолированными нулевыми

точками трансформаторов, вторичные дополнительные обмотки, соединяемые в схему разомкнутого треугольника, имеют увеличенные в 3 раза коэффициент трансформации, например 6000/100/3 В.

Напряжение нулевой последовательности может быть

также получено от специальных обмоток трехфазных ТН.

В конструкции, показанной на рис., специальные обмотки расположены на крайних стержнях пятистержневого

сердечника и соединены между собой последовательно.

В нормальном режиме, а также при двух- и трех фазных КЗ,

когда сумма фазных напряжений равна нулю, магнитный

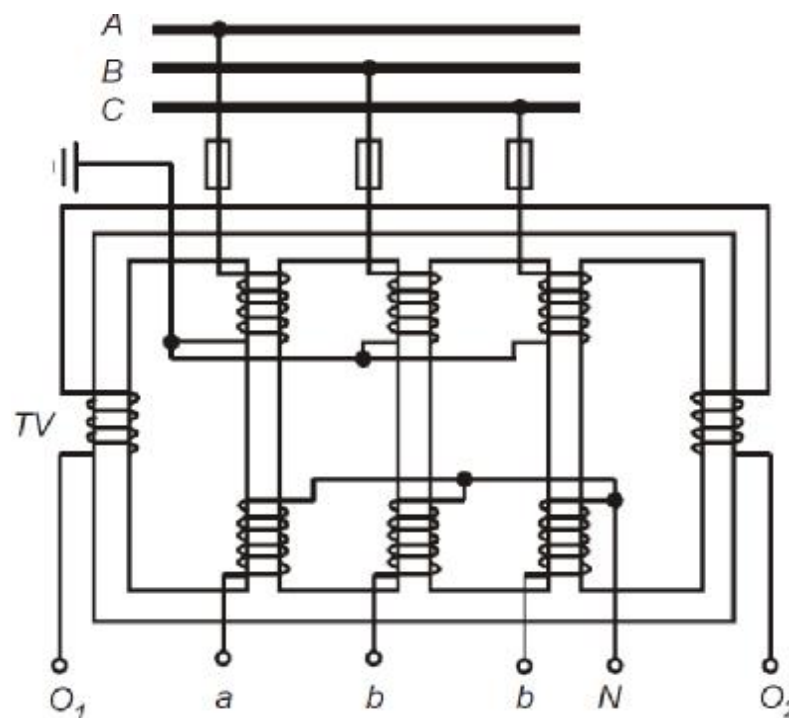
поток в крайних стержнях отсутствует, и поэтому напря-

жении на специальных обмотках нет. При однофазных КЗ

или замыканиях на землю сумма фазных напряжений не

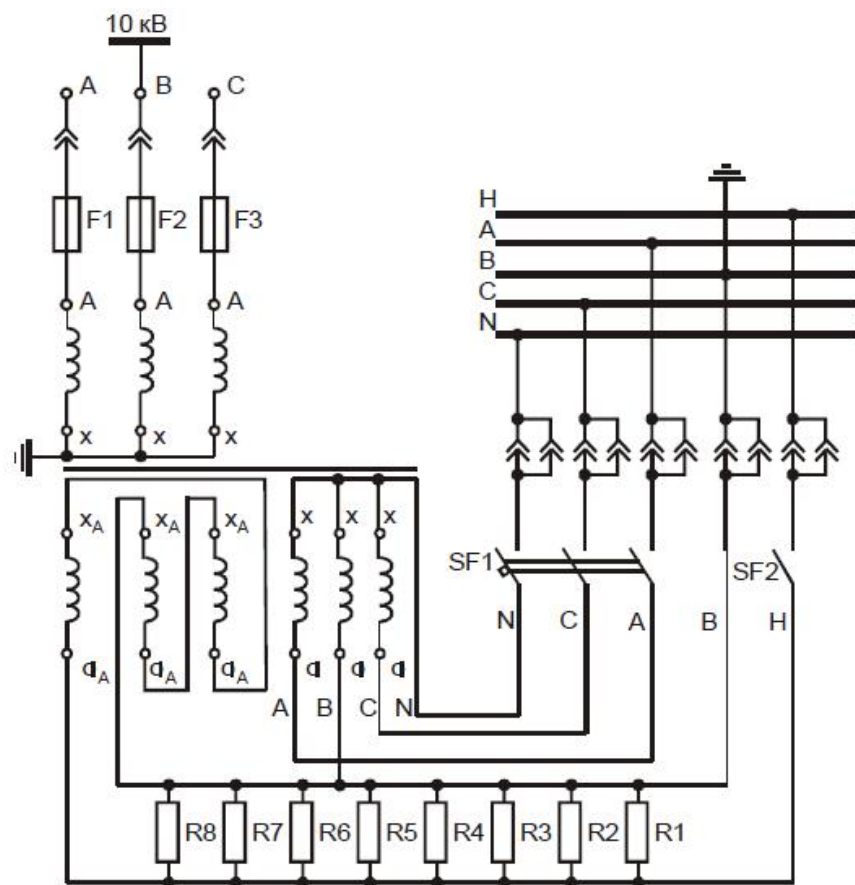
равна нулю. Поэтому магнитный поток замыкается по крайним стержням и индуцирует напряжение на специальных обмотках.

Заземление первичных обмоток необходимо для того, чтобы при однофазных КЗ или замыканиях на землю в сети, где установлен ТН, реле и приборы, включенные на его вторичную обмотку, правильно измеряли напряжение фаз относительно земли, Вторичные обмотки ТН подлежат обязательному



заземлению независимо от схемы их соединений. Это заземление является защитным, обеспечивающим безопасность персонала при попадании высокого напряжения во вторичные цепи. Обычно заземляется нулевая точка звезды или один из фазных проводов - как правило, фазы «В» - для удобства проверки правильности включения электросчетчиков. В проводах, соединяющих точку заземления с обмотками ТН, не должно быть коммутационных и защитных аппаратов (рубильников) переключателей, автоматических выключателей, предохранителей и т. д.). Сечение заземляющего провода должно быть не менее 4 мм^2 (по меди).

Ниже приведены принципиальные схемы включения цепей напряжения к трансформаторам напряжения типа ЗхЗНОЛ - 6(10) и НАМИТ - 6(10) - 2. Для защиты трансформаторов напряжения со стороны ВН обычно используются высоковольтные предохранители.(например, ПКТ-10, ПКТ-35). Для защиты вторичных обмоток трансформаторов напряжения от перегрузок и КЗ применяются автоматические выключатели с отсечкой 3,5/н.



Трансформатор напряжения 3*ЗНОЛ-10 и схема его подключения

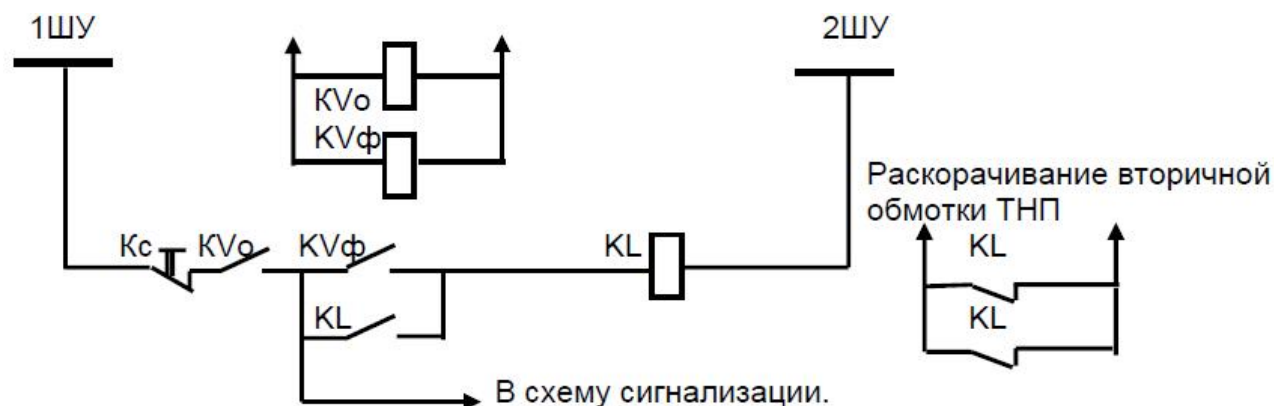


Трансформатор напряжения НАМИТ-6.



14

В схемах указаны меры, которые предпринимаются для защиты сети от самопроизвольного смещения нейтрали при феррорезонансе трансформатора напряжения. Феррорезонанс возникает в случае, когда емкость, какой либо фазы в сети компенсируется индуктивностью трансформатора напряжения, в этой фазе напряжение меняет знак и



Резисторы **R1-R8** 200 Ом, 75 Вт, включаемые на разомкнутый треугольник трансформатора 3*ЗНОЛ, предназначены для защиты от самопроизвольных смещений нейтрали при феррорезонансе ТН. В сети, где такая опасность отсутствует, резисторы устанавливать не требуется.

При появлении феррорезонанса (трансформатор НАМИТ) его дополнительная вторичная обмотка должна быть раскорочена, и ее индуктивность выводит сеть из состояния феррорезонанса. Операция раскорачивания производится либо с помощью ключа, либо специальной схемой автоматики, см. рис. Время работы в таком режиме не ограничено.

Погрешности трансформаторов напряжения.

Точность работы трансформаторов напряжения оценивается погрешностями:

- погрешность в напряжении (или в коэффициенте трансформации), под которой понимается отклонение действительного коэффициента трансформации от номинального;
- погрешность по углу, под которой понимается угол сдвига вторичного напряжения относительно первичного.

В зависимости от предельно допустимых погрешностей, ТН подразделяются на классы точности. Один и тот же ТН в зависимости от нагрузки, подключенной к его вторичной обмотке, может работать с различным классом точности. Поэтому, в каталогах и паспортах на ТН указываются два значения мощности: номинальная мощность в вольт-амперах, при которой ТН может работать в гарантированном классе точности, и предельная мощность, с которой ТН может работать с допустимым нагревом обмоток. Предельная мощность ТН в несколько раз превышает номинальную. Так, у ТН типа НОМ-6 с коэффициентом трансформации 6000/100 для класса точности 1% номинальная мощность составляет 50 ВА, а предельная - 300 ВА. Кроме рассмотренных выше основных погрешностей, возникающих при трансформации первичного напряжения на вторичную сторону, на работу релейной защиты и точность измерений влияют так же дополнительные погрешности от падения напряжения в кабелях от ТН до места установки панелей защиты или измерений. Поэтому, согласно требованиям ПУЭ, сечение жил кабелей

должно выбираться так, чтобы падение напряжения в указанных цепях не превышало: 3 % - для релейной защиты; 2 % - для фиксирующих измерительных приборов; 1,5 % - для щитовых измерительных приборов; 0,25-0,5 % - для счетчиков. Следует заметить, что заземленные точки обмоток ТН, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, должны выводиться разными жилами. Потери напряжения определяются по известным сопротивлениям жил контрольных кабелей и значениям проходящих по ним токов нагрузки:

$$\Delta U = \kappa_x I_x R + \kappa_2 I_2 R_2 + \dots + \kappa_n I_n R_n$$

где

$\kappa_x, \kappa_2, \kappa_n$ - коэффициенты для пересчета фазного падения напряжения на междуфазное

(при питании нагрузки по трем фазам $\kappa = \sqrt{3}$, а при питании по двум жилам нагрузки, включенной на междуфазное напряжение, $\kappa = 2$).