

Трансформатор тока

Трансформаторы тока – это трансформаторы, преобразующие токи, протекающие в сети, пропорционально и точно в соответствии с фазами в величины, пригодные для измерения,.

Трансформаторы тока имеют один или несколько ферромагнитных магнитопроводов, состоящих в основном из кремниевой или никелевой стали.

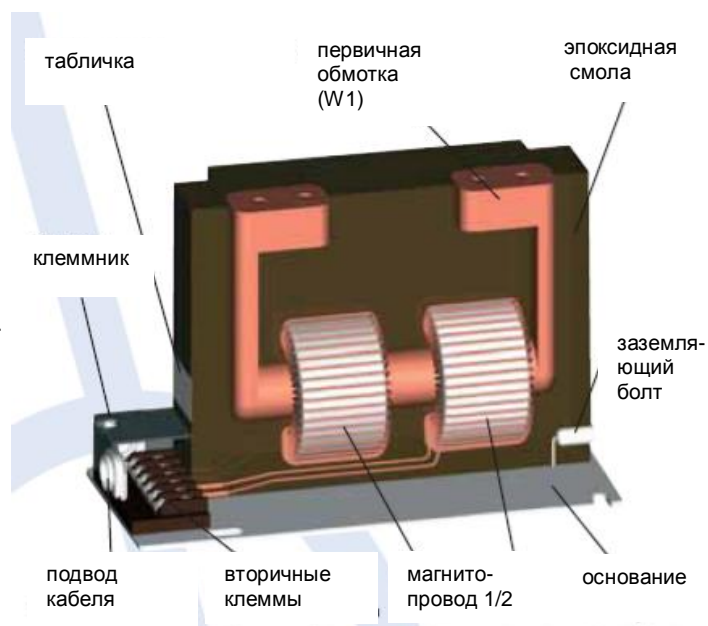
На магнитопровод, равномерно по всему объёму, намотана вторичная обмотка (W2). Это обеспечивает эффективное магнитное взаимодействие первичной и вторичной обмотки. Число витков определяется соотношением первичного и вторичного тока. На магнитопровод вторичной обмотки подаётся потенциал земли.

Первичная обмотка (W1) состоит, в зависимости от номинального первичного тока и номинального тока термической стойкости (I_{th}), из нескольких витков или только из одного витка (первичный провод). Первичная обмотка несёт подлежащий измерению номинальный первичный ток и имеет потенциал, определяемый сборной шиной.

Между первичной и вторичной обмотками лежит полное номинальное напряжение распределительного устройства. Изоляция между первичной и вторичной обмотками должна быть рассчитана на полное номинальное напряжение.

Обе обмотки W1 и W2 погружены целиком в эпоксидную смолу и заливаются вместе с магнитопроводом в один этап на кокельном прессе.

Эпоксидная отливка монтируется на металлическом основании. Вторичные клеммы встроены в отливку и снабжены пластмассовой крышкой, которая может быть опломбирована.



Каждая клемма может быть отдельно заземлена в пределах клеммной коробки. Крышка имеет два или три отверстия для подвода кабеля, что позволяет легко подсоединить провода.

Концы первичной обмотки выводятся из эпоксидной отливки на два плоских медных или латунных контакта („P1/P2“), расположенных на поверхности трансформатора.

Заземление прибора осуществляется через заземляющий болт M8, расположенный на основании, или через непосредственное заземление основания на землю распределительного устройства.

1 Выбор номинальной нагрузки

Особенно при малых номинальных токах и высоких номинальных кратковременных токах термической стойкости трансформатор ограничен по мощности из-за своих размеров и максимальной магнитодвижущей силы. Рекомендуем в данном случае связаться с изготовителем.

Исходя из определённого на практике значения макс. 120 кАВ (первичная МДС) можно использовать или один первичный виток или первичную обмотку, состоящую из нескольких витков.

Если рассчитывать мощность по следующей формуле:

$$P_N = \frac{(AW)^2 \cdot Q_{Fe} \cdot K}{l_{Fe}} \text{ [VA]}$$

AW первичная сила намагничивания - ампервитки

Q_{Fe} сечение магнитопровода (мм^2)

K постоянная величина

l_{Fe} длина магнитопровода (см)

то становится понятным, что при увеличении вдвое силы намагничивания мощность возрастает в четыре раза. Но мощность ограничена зависимостью МДС от тока динамической стойкости (I_{dyn}). Причиной этого является силовое воздействие электрического поля, которое в случае короткого замыкания пытается симметризовать витки первичной обмотки друг против друга. Кроме того максимальная мощность трансформатора ограничена его габаритными размерами.

2. Определения

2.1. Номинальный ток (I_N)

Первичный и вторичный номинальные токи (I_{PN} , I_{SN}) - это токи, на которые трансформатор рассчитан и которые определяют его. Вторичный ток (I_{SN}) выбирается обычно или 1 А или 5 А. Первичный ток (I_{PN}) зависит от сети и задаётся эксплуатационщиком. По техническим и в особенности по экономическим соображениям, особенно при больших измерительных расстояниях, выбирается ток в 1 А, чтоб максимально снизить номинальную нагрузку.

$$P_N = I^2 \cdot R + P_B$$

2.2 Номинальный длительный ток термической стойкости (I_D)

Номинальный длительный ток термической стойкости (I_D) - это значение длительного тока в первичной обмотке, при котором температура нагрева не превышает заданное значение, при этом ко вторичной обмотке подсоединяется номинальная нагрузка. По нормативам ток I_D берётся равным номинальному току I_N . Но его величину можно определить и в несколько раз превышающую номинальный ток.

2.3 Номинальный кратковременный ток термической стойкости (I_{th})

Номинальный кратковременный ток термической стойкости (I_{th}) представляет собой эффективное значение первичного тока длительностью в 1 сек или 3 сек при коротком замыкании, при замкнутых накоротко концах вторичной обмотки, температурную нагрузку которого должен выдерживать трансформатор.

2.4 Номинальный ток динамической стойкости (I_{dyn})

Это амплитудное значение первичного тока, силовое электромагнитное воздействие которого должен выдерживать трансформатор при закороченной вторичной обмотке без электрических или механических повреждений.

2.5 Номинальная мощность (S_N)

Это значение реактивной мощности в ВА, при которой трансформатор тока выдерживает класс точности при номинальной силе тока вторичной обмотки (I_{SN}) и при номинальной нагрузке.

2.6 Номинальная нагрузка (Z_N)

Это реактивная нагрузка приборов, подключённых ко вторичной обмотке, включая все подводящие провода, при которой трансформатор напряжения должен выдерживать заданные граничные значения классов.

2.7 Допустимые погрешности

Суммарная погрешность обмоток для измерения должна быть выше 10%, только тогда будет обеспечена защита подключённых приборов.

Для обмоток для защиты суммарная погрешность составляет макс. 5% (5P) и 10% (10P), это необходимо для обеспечения срабатывания защиты.

2.8 Номинальный коэффициент безопасности приборов (F_s)

Это отношение первичного тока номинальной допустимой погрешности к номинальному первичному току.

3 Трансформатор тока для измерений

Это трансформаторы тока, предусмотренные для подключения счётчиков и прочих очень точных измерительных приборов.

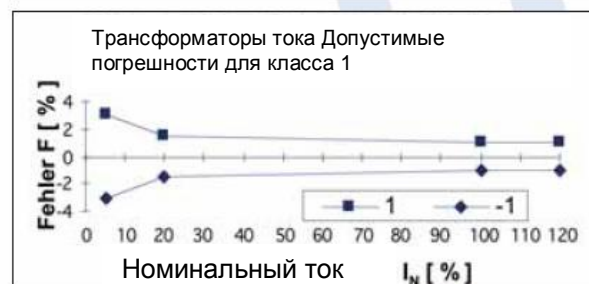
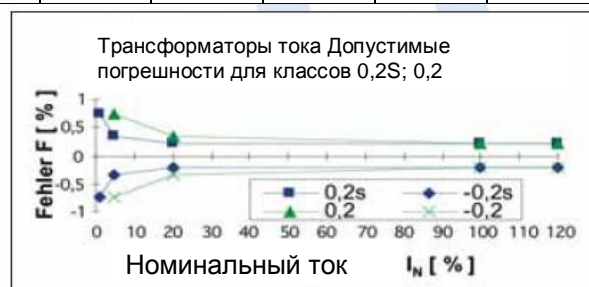
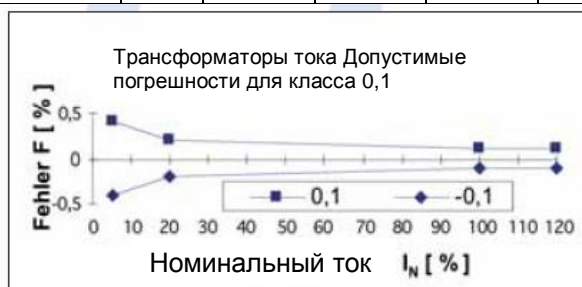
Если по первичной обмотке трансформатора тока протекает ток короткого замыкания, то температурная нагрузка на подсоединённые приборы тем ниже, чем ниже коэффициент безопасности приборов.

3.1 Класс точности

Это максимально допустимая относительная погрешность по току. Обычно трансформаторы тока рассчитаны на диапазон измерений от 5% до 120% значения первичного номинального тока. (Для классов 0,2S и 0,5S диапазон измерений 1% до 120%)

Допустимые значения погрешности измерений трансформаторов тока по току (F_i) и по углу (δ_i) по МЭК 60044 - 1

Класс точности	Погрешность по току при % от номинального тока					Погрешность по углу при % от номинального тока				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
Трансформатор тока для измерений										
0,1	-	0,4	0,2	0,1	0,1	-	15	8	5	5
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,2		0,75	0,35	0,2	0,2	-	30	15	10	10
0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30
0,5	-	1,5	0,75	0,5	0,5	-	90	45	30	30
1	-	3,0	1,5	1,0	1,0	-	180	90	60	60
Трансформатор тока для защиты										
5 P	-	-	-	1	-	-	-	-	60	-
10 P	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-



4 Трансформатор тока для защиты

Трансформаторы тока, предназначенные для защиты, имеют в обозначении букву «Р»

4.1 Специальные исполнения

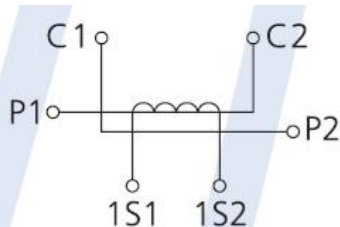
По желанию заказчика могут быть изготовлены трансформаторы тока с расширенным диапазоном измерений, например на 200%. В этом случае класс точности будет обеспечен при токах до 200% от номинального тока.

5. Возможность переключения трансформаторов тока

Если есть необходимость изменить коэффициент трансформации, например в связи с планированием расширения мощностей, то имеется возможность предусмотреть переключение по первичной или вторичной стороне.

5.1 Переключение по первичной стороне

Переключение по первичной стороне возможно только для трансформаторов с несколькими первичными витками в соотношении 1:2. В этом случае максимально возможный номинальный ток составляет $2 \times 600\text{A}$

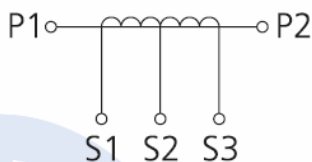


C1 – C2 малый ном. ток
P1/C1 – P2/C2 большой ном. ток

Переключение производится через накладки возле первичных выводов через параллельное или последовательное включение первичной обмотки. Мощности, коэффициент безопасности приборов, а также вторичные внутренние сопротивления остаются при переключении по первичной стороне без изменений.

5.2 Вторичные отпайки

Вторичные отпайки специально для высоких токов осуществляются переключением по вторичным обмоткам. Мощность или коэффициент безопасности приборов изменяются линейно по отношению к первичному номинальному току.



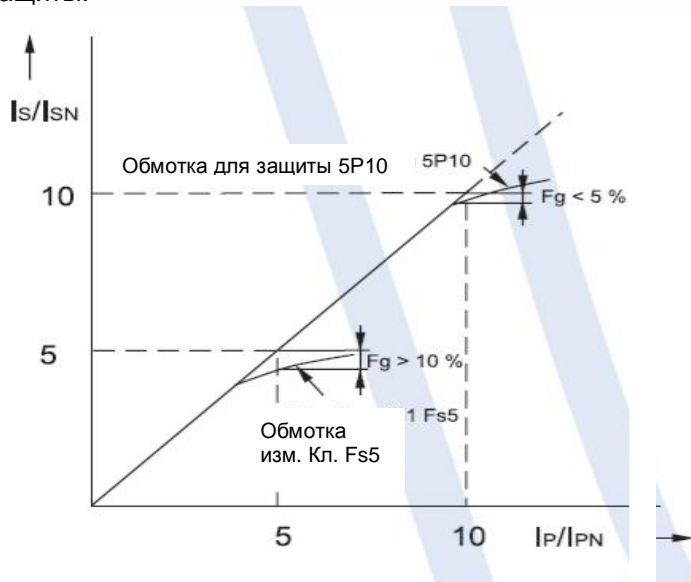
S1 – S3: большой ток S1 – S2: малый ток

6 Поведение при сверхтоках

При сверхтоках номинальный вторичный ток растёт прямо пропорционально первичному номинальному току до номинального граничного значения.

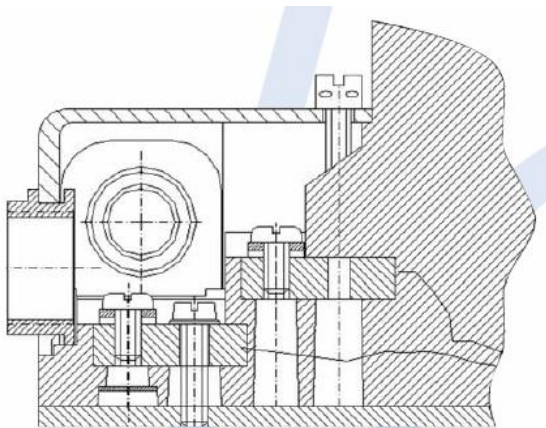
Указанные допустимые погрешности обеспечиваются только при указанных номинальных нагрузках. Если рабочая нагрузка отличается от номинальной, то изменяется коэффициент безопасности

приборов для обмоток для измерений или номинальная предельная кратность для обмоток для защиты.



7. Эксплуатация и заземление

Не допускается эксплуатация вторичных обмоток в разомкнутом состоянии, поскольку особенно при больших токах и мощных магнитопроводах на вторичных контактах может возникнуть высокое напряжение.



Вторичный отсек с клеммой для заземления трансформатора тока

Все металлические части трансформатора, которые не находятся под напряжением должны быть заземлены через заземляющий болт. Кроме того концы вторичной обмотки должны быть обязательно заземлены

8 Ёмкостные делители напряжения

В современных распределительных устройствах нового поколения стремятся к тому, чтоб двери и крышки открывались только при полном отсутствии напряжения. Это достигается при помощи индикатора, расположенного на фронтальной панели устройства.

Указатель напряжения состоит из ёмкостного делителя, который делит напряжение U между проводником L и землей на части U_1 и U_2 , и индикатора, расположенного между клеммой S_k и землей.

Диапазон измерения

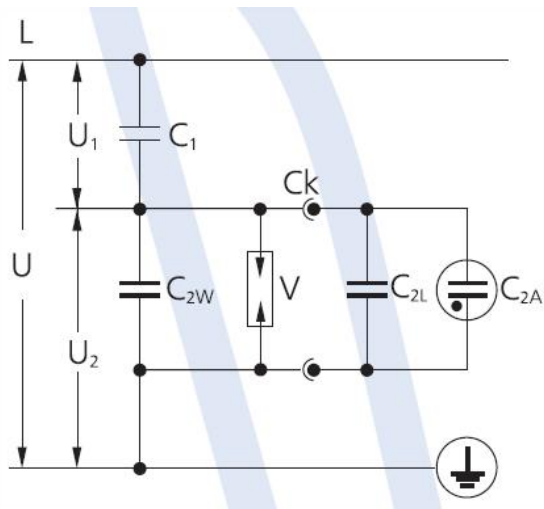
При $0,01 \times U_N$ не даёт показаний

с $0,4 \times U_N$ даёт точные показания

Все опорные трансформаторы тока могут быть по желанию заказчика снабжены ёмкостными делителями, подходящими под соответствующий индикатор.

Ёмкостной делитель заливается в эпоксидный корпус. Ёмкость C_{2W} выводится на клемму в клеммной коробке, обозначенной C_K . Параллельно с выходным контуром на вторичной стороне подключён разрядник, выполняющий функцию установленного места разрыва, ограничивающего напряжение.

Принципиальная схема



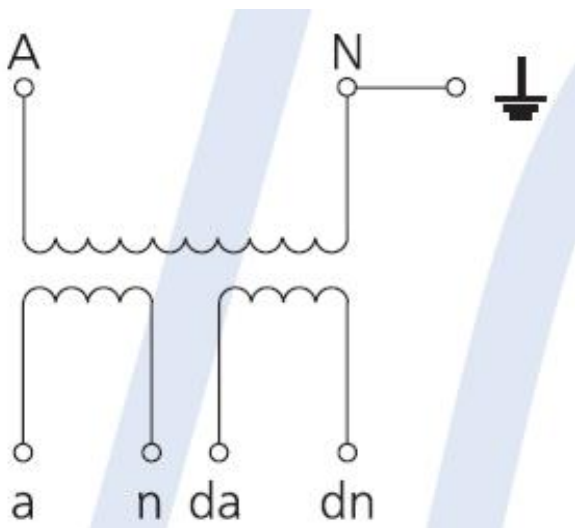
- C_{2A} индикатор
- C_1 верхняя ёмкость
- C_{2W} нижняя ёмкость
- C_{2L} ёмкость вода
- C_K клемма
- L фазное напряжение
- U напряжение фаза - земля
- U_1 частичное напряжение C_1
- U_2 частичное напряжение C_2 - индикатор
- V разрядник

При заказе трансформатора с ёмкостным делителем необходимо указать реальное рабочее напряжение (U_N)
 (например $U_m = 24\text{kV}$, $U_N = 15\text{kV}$)

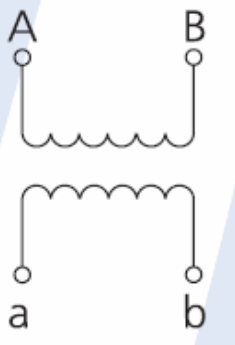
Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения - это трансформаторы, преобразующие высокие напряжения пропорционально и точно в соответствии с фазами в величины, пригодные для измерения. Трансформаторы напряжения имеют единственный магнитопровод и могут быть выполнены с одной или несколькими вторичными обмотками. Заземляемые трансформаторы напряжения по желанию помимо измерительной или защитной обмотки могут быть выполнены с дополнительной обмоткой для регистрации замыкания на землю.

Трансформаторы напряжения могут быть выполнены и как заземляемые трансформаторы для измерения напряжения фаза-земля и как незаземляемые трансформаторы для измерения напряжения фаза-фаза.

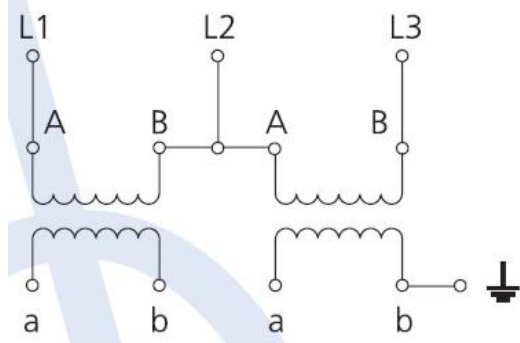


Принципиальная схема заземляемого трансформатора напряжения с дополнительной вторичной обмоткой



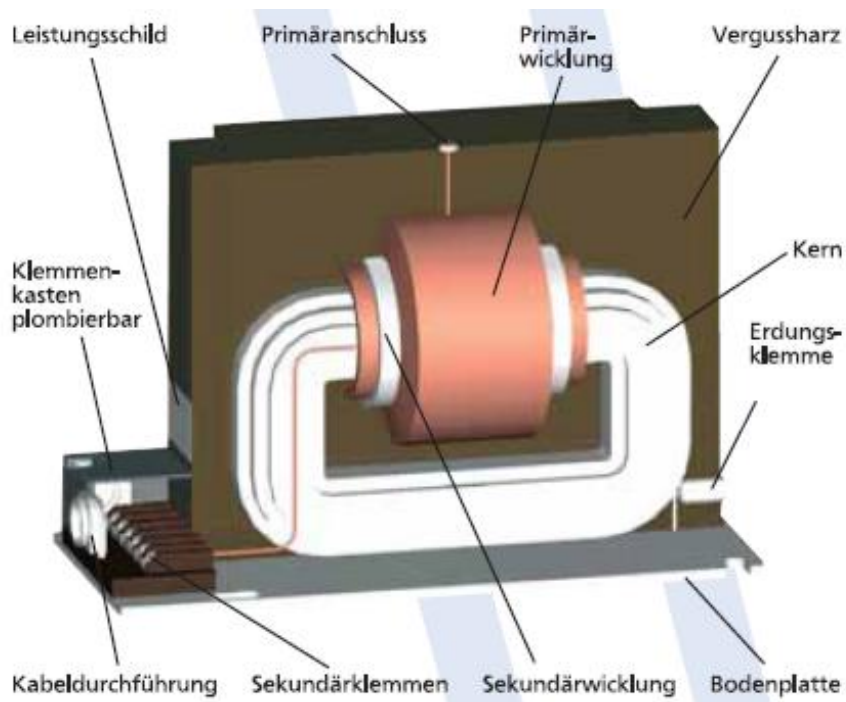
Принципиальная схема незаземляемого трансформатора напряжения

1 Схема подсоединения двух незаземляемых трансформаторов напряжения



При применении двух незаземляемых трансформаторов напряжения, соединённых по схеме V, необходимо обратить внимание на то, что из двух трансформаторов заземляется только одна вторичная обмотка. Только так можно избежать короткого замыкания между обоими трансформаторами по вторичной стороне.

2 Конструкция



Трансформаторы напряжения имеют ферромагнитный магнитопровод. У заземляемого трансформатора напряжения вторичные обмотки наматываются прямо на заземлённый магнитопровод. У незаземляемого трансформатора напряжения между вторичной и высоковольтной обмотками приложено напряжение, равное половине фазного. Соответственно изоляция должна быть на это напряжение рассчитана. Изоляция между вторичными обмотками рассчитана на испытательное напряжение в 3 кВ.

Высоковольтная и вторичные обмотки погружены целиком в эпоксидную смолу и заливаются вместе с магнитопроводом в один этап на кокельном прессе.

Эпоксидная отливка монтируется на цельном металлическом основании.

Вторичные клеммы встроены в отливку и снабжены пластмассовой крышкой, которая может быть опломбирована. Каждая клемма может быть отдельно заземлена в пределах клеммной коробки. Крышка имеет два или три отверстия для подвода кабеля, что позволяет легко подсоединить провода..

Конец высоковольтной обмотки трансформатора выводится наружу через муфту, у незаземляемых трансформаторов через две муфты (размер винта M10).

Заземление приборов производится болтом M8, расположенным на плате или при необходимости непосредственно присоединением платы к земле распреустройства.

3 Определения

3.1 Максимальное напряжение для электрооборудования (U_m)

Эффективное значение (кВ) максимального напряжения фаза-фаза, на которое рассчитана изоляция трансформатора напряжения.

3.2 Номинальное напряжение (U_N)

Напряжение, указанное на паспортной табличке трансформатора как первичное (U_{PN}) и вторичное (U_{SN}). Если трансформатор напряжения подключён между фазой и землёй, то расчётным напряжением ($U/\sqrt{3}$) считается напряжение между фазой и нейтралью.

3.3 Расчётное передаточное отношение (K_N)

Расчётный коэффициент трансформации трансформатора напряжения это отношение первичного номинального напряжения ко вторичному.

3.4 Погрешность по напряжению (F_U) и погрешность по углу (δ_U)

Погрешность по напряжению и погрешность по углу при номинальной частоте и при 25% и 100 % номинальной нагрузки при $\cos \beta = 0,8$ (индуктивно) в пределах между 80 и 120 % номинального напряжения не должны превышать значения в нижестоящей таблице.

Класс точности	Погрешность по напряжению (%)	Погрешность по углу (мин)
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1	1	40

3.5. Номинальная мощность (S_N)

Значение реактивной мощности, при которой трансформатор напряжения обеспечивает класс точности при номинальном напряжении (U_{SN}) и номинальной нагрузке.

3.6 Номинальная нагрузка (S_N)

Реактивное сопротивление подсоединённого ко вторичной обмотке прибора, включая все вводы, при котором трансформатор напряжения выдерживает все заданные граничные значения класса.

3.7 Термическая предельная мощность (S_{th})

Термическая предельная мощность это значение реактивной мощности, которое может быть снято с контактов вторичной обмотки при первичном номинальном напряжении, без превышения допустимой температуры нагрева.

3.8 Термическая номинальная предельная мощность обмотки регистрации замыкания на землю

Термическая номинальная предельная мощность обмотки регистрации замыкания на землю задаётся в вольтамперах (ВА). После соединения обмоток трёх заземляемых трансформаторов разомкнутым треугольником (последовательное соединение) они оказываются под нагрузкой только при коротком замыкании. Поэтому термическая номинальная предельная мощность обмотки определяется на ограниченный срок действия, к примеру 8 часов.

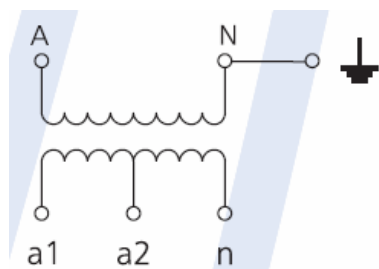
3.9 Номинальный коэффициент напряжения

Номинальный коэффициент напряжения определяется наибольшим напряжением, возникающим при эксплуатации, которое зависит от сети и от условий заземления.

Для заземляемого трансформатора напряжения номинальный коэффициент напряжения обычно берётся $1,9 U_N$ при времени приложения 8 часов и $1,2 U_N$ при постоянной работе.

3.10 Переключение

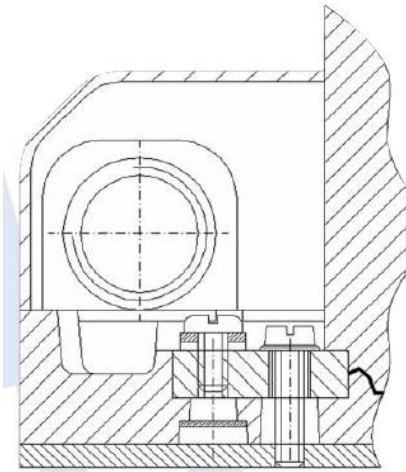
Переключение на трансформаторах напряжения с различными первичными номинальными напряжениями может производиться из-за диэлектрических требований только по вторичной стороне.



5.4. Эксплуатация и заземление

В отличие от трансформаторов тока трансформаторы напряжения нельзя эксплуатировать при замкнутых накоротко вторичных контактах. Заземляющая клемма первичной обмотки (N) эффективно заземлена в клеммнике и во время работы категорически запрещается удалять это соединение.

Каждая вторичная обмотка может быть отдельно заземлена в клеммнике через основание.

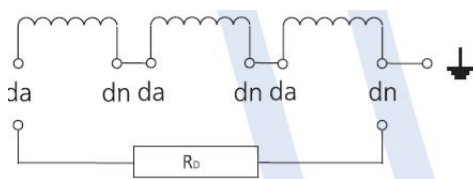


Вторичный отсек с клеммой для заземления трансформатора напряжения

5.5 Феррорезонанс

В электрических установках, особенно в сетях с изолированной нейтралью при гашении заземления на землю или из-за коммутационных процессов с применением заземляемых трансформаторов напряжения могут возникать феррорезонансные колебания. Между ёмкостями (C_e) и индуктивностью трансформатора (L_w) образуется колебательный контур. Это приводит к резким возрастаниям напряжения, приводящим магнитопровод в состояние насыщения и возможной электрической перегрузке высоковольтной обмотки. Следствием этого может быть перегрев и разрушение трансформатора.

Определённую помощь можно получить через гашение дополнительной обмотки трёх соединённых разомкнутым треугольником трансформаторов.



Указание: во избежание короткого замыкания необходимо удостовериться, что в разомкнутом треугольнике заземлён только один конец.