**Трансформаторы напряжения**

Измерительные трансформаторы напряжения применяются, как правило для контроля наличия и величины напряжения в высоковольтных (более 6 кВ) сетях и выполняют две основных функции:

1. преобразование измеряемой величины до уровней, соответствующих необходимым для цепей контроля, управления и защиты;
2. гальваническую развязку силовых высоковольтных сетей и цепей контроля, управления и защиты.

Дополнительное преобразование измеряемой величины с помощью трансформатора напряжения неизменно приводит к появлению погрешности измерения по величине и фазе. Однако, этот недостаток с лихвой компенсируется предоставляющимися возможностями построения систем зашиты, и контроля на низковольтной стороне, что значительно упрощает построение схем, снижает требования к классу изоляции приборов измерения и защиты, соответственно многократно снижая их стоимость и габариты. К тому же, технологические и инженерные решения, применяемые при изготовлении измерительных трансформаторов напряжения, позволяют достичь необходимого для контроля и защиты класса точности.

При передаче сигналов из высоковольтных в низковольтные цепи особенно актуальным становится вопрос гальванической развязки высоковольтных цепей и элементов защиты, контроля и управления. Попадание высокого потенциала в эти цепи чревато, как выходом из строя системы в целом, так и возникновением поражения электрическим током штатного и обслуживающего персонала.

Соответственно, для измерительных трансформаторов напряжения особую актуальность приобретают конструкторские решения надежной изоляции между обмотками и цепями с разным потенциалом, предусматривающие, в идеале, изоляцию даже в случае пробоя изоляции высоковольтной обмотки.

**Принцип действия трансформаторов напряжения**

Принципиально, конструкция и работа измерительного трансформатора напряжения аналогичны силовым трансформаторам.

В конструкции измерительных трансформаторов различают изолированные первичные и вторичные обмотки, объединенные магнитной цепью – сердечником из ферромагнитного материала. Переменное напряжение первичной обмотки (высоковольтной стороны) приводится к необходимой величине посредством выбора необходимого коэффициента трансформации.

Единственным существенным отличием в их работе является тот факт, что для измерительного трансформатора не имеет места передача потока мощности. Таким образом, оптимальным режимом его работы можно считать режим холостого хода. В связи с этим для измерительных трансформаторов практически не имеет смысла понятие КПД.

Еще одним отличием является наличие жестких требований по минимальным искажениям выходного сигнала и отсутствию (в идеале) фазового сдвига между напряжениями первичной и вторичной обмотки. Выполнение этих требований определяет режимы работы трансформатора (используются только линейные участки петли перемагничивания сердечника, компенсируются паразитные емкостные связи обмоток, принимаются меры по снижению величины индуктивностей рассеивания), и его конструктивные особенности.

Эти же требования определяют и предпочтительные схемы включения измерительных обмоток в многофазных системах, и необходимость возникновения паразитных явлений, таких как феррорезонанс.

Об особенностях работы и правил эксплуатации измерительных трансформаторов напряжения говорит глава 1.5 Правил эксплуатации электроустановок. При выполнении всех указанных в Правилах требований, обеспечивается безопасность и точность измерений.

**Функции трансформаторов**
Трансформатор представляет собой устройство, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока без изменения частоты систем (системы) переменного тока, что в свою очередь обеспечивает энергию для токовой обмотки измерительных приборов или реле, отражая нормальные параметры эксплуатации и неисправности электрооборудования.

Трансформаторы преобразуют напряжения переменного тока и/или гальваническую развязку в таких областях как электроэнергетика, электроника, радиотехника. выполняют нормализацию и миниатюризацию устройств во вторичной сети, таким образом, данные устройства отличаются небольшой и легкой конструкцией, низкой стоимостью, простой установкой. Дистанционное измерение и контроль могут осуществляться низковольными тонкими контрольными кабелями. Когда в основной цепи происходит короткое замыкание, трансформатор позволяет защитить устройства от повреждения высоким током во вторичной цепи.

**Принцип работы трансформатора тока**
Как правило, количество витков первичной обмотки трансформатора тока меньше вторичной, таким образом, трансформатор тока можно рассматривать в качестве преобразователя. Принцип работы такой же, как и у трансформатора напряжения, условия эксплуатации похожи на условия замыкания накоротко в трансформаторе напряжения. Первичная обмотка трансформатора тока подключена к основной цепи, получающий измеряемый ток I1, в то время как вторичная обмотка соединена с токовой катушкой амперметра или ваттметра с низким собственным сопротивлением, получающий ток вторичной обмотки I2. Электромагнитные параметры и положительные направления определяются электромеханикой.

**Класс точности трансформаторов тока**
Точность - это максимальная погрешность, когда ток первичной обмотки соответствует номинальному значению и нагрузка вторичной обмотки находится в пределах допустимого диапазона. Трансформаторы тока с различным классом точности должны использоваться для различных измерительных приборов. Например, расчетные и измерительные трансформаторы тока имеют класс точности в пределах от 0,1 до 0,5, в то время как амперметры, контролирующие ток нагрузки входных и выходных цепей, как правило, оборудованы трансформаторами тока с классом точности от 1,0 до 3,0.

**Применение трансформаторов тока**
Монтаж трансформаторов тока должен соответствовать принципу последовательного подключения. Первичная обмотка должна быть подсоединена последовательно с измеряемой цепью, в то время как вторичная обмотка подключается последовательно со всеми приборами нагрузки.

В соответствии со значением измеряемого тока необходимо выбрать соответствующий коэффициент преобразования для минимизации погрешности. Вторичная обмотка должна быть заземлена в случае повреждения системы изоляции, высокое напряжение в первичной обмотке может перейти во низковольтную вторичную обмотку и вызвать несчастный случай или аварию вследствие отказа оборудования.

Вторичная обмотка не должна быть незамкнута.

Для устройств регистрации неисправностей и сбоев измерительных приборов, реле, выключателей, трансформаторы тока с 2-8 вторичной обмоткой должны быть установлены в цепях генераторов, трансформаторов напряжения, выходных шинах, секционных выключателях шин, байпас выключателях и т.д. Система заземления токов большой силы обычно идет с 3-х фазной установкой, а система заземления низкого тока может использовать 2-х или 3-фазную конфигурацию в зависимости от практических условий.

**О точности трансформаторов**
Классы точности трансформаторов: 0.2, 0.2S, 0.5, 0.5S. В нормальных условиях эксплуатации, погрешность трансформатора должна быть в пределах заданного диапазона.

**Трансформаторы тока (для измерения)**
Что касается измерительных трансформаторов тока с классом точности 0,1, 0,2, 0,5 или 1, в при омическом значении нагрузки вторичной обмотки в пределах 25% - 100% от номинального значения нагрузки, токовая и фазовая погрешность номинальной частоты должна быть в пределах, указанных в нижеследующей таблице.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Класс точности | Токовая погрешность (± %) (при номинальном первичном токе) (%) | Фазовая погрешность (при номинальном первичном токе) (%) |
| ±мин | ±crad |
| 5 | 20 | 100 | 120 | 5 | 20 | 100 | 120 | 5 | 20 | 100 | 120 |
| 0.1 0.2 0.5 1 | 0.4 0.75 1.5 3.0 | 0.2 0.35 0.75 1.5 | 0.1 0.2 0.5 1.0 | 0.1 0.2 0.5 1.0 | 15 30 90 180 | 8 15 45 90 | 5 10 30 60 | 5 10 30 60 | 0.45 0.9 2.7 5.4 | 0.24 0.45 1.35 2.7 | 0.15 0.3 0.9 1.8 | 0.18 |

Относительно измерительных трансформаторов тока с классом точности 0,2 S и 0,5 S: при омическом значении нагрузки вторичной обмотки в пределах 25% -100% от номинального значения нагрузки, токовая и фазовая погрешность номинальной частоты должна быть в пределах, указанных в нижеследующей таблице.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Класс точности | Токовая погрешность (± %) (при номинальном первичном токе) (%) | Фазовая погрешность (при номинальном первичном токе) (%) |
| ± мин | ± crad |
| 1 | 5 | 20 | 100 | 120 | 1 | 5 | 20 | 100 | 120 | 1 | 5 | 20 | 100 | 120 |
| 0.2S | 0.75 | 0.35 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 30 | 15 | 10 | 10 | 10 | 0.9 | 0.45 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 0.5S | 1.5 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 90 | 45 | 30 | 30 | 30 | 2.7 | 1.35 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |

**Трансформаторы напряжения (для измерения)**

При нагрузке в пределах 25% -100% от номинального значения, с частотой при номинальном значении, напряжении в пределах 80% -120% от номинального значения, и коэффициенте мощности 0,8 (запаздывание), погрешность напряжения и фазовая погрешность измерительного трансформатора напряжения должны быть в пределах, указанных в нижеследующей таблице.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс точности | Погрешность напряжения (± %) | Фазовая погрешность | Допустимый диапазон первичного напряжения | Допустимый диапазон вторичной нагрузки |
| ± ' | ±crad |
| 0.1 | 0.1 | 5 | 0.15 | (0.8-1.2) U In | (0.25-1.0) S n cos φ 2 =0.8 (задержка) |
| 0.2 | 0.2 | 10 | 0.3 |
| 0.5 | 0.5 | 20 | 0.6 |
| 1 | 1 | 40 | 1.2 |
| 3 | 3 | не установлено | не установлено |

**Примечание:** при нескольких вторичных обмотках, из-за взаимного влияния между обмотками, каждая из них должна отвечать требованиям соответствующего класса точности в диапазоне 25% - 100% номинальной выходной мощности, в то время как другие катушки работают в диапазоне 0-100% от номинального выходного значения. Мы можем проводить измерения только по предельным значениям для обеспечения эффективного результата. Только при случайной краевой нагрузке, влияние на другие вторичные обмотки можно упустить.

**Трансформаторы тока (для защиты)**
Точность защитных трансформаторов тока оценивается в процентах от предельно допустимой полной погрешности при номинальном точном предельном значении первичного тока. Обозначается буквой Р, что означает защиту. Существует норматив точности 5P и 10P трансформаторов тока. Например, точность 5P10 означает, что при первичном токе в 10 раз от номинального первичного тока, полная погрешность катушки может быть меньше 5%. Число 10 - коэффициент предела. Пределы погрешности приведены в нижеследующей таблице.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Класс точности | Токовая погрешность (%) (при номинальном первичном токе) | Фазовая погрешность (при номинальном первичном токе) | Полная погрешность (%)(при номинальном первичном токе) |
| ' | ±crad |
| 5 P 10 P | 1 3 | 60 - | 1.8 - | 5 10 |

**Трансформатор напряжения (для защиты)**
Точность защитного трансформатора напряжения оценивается в процентах от предельно допустимой погрешности напряжения при напряжении в диапазоне от 5% от номинального напряжения до соответствующего предельного напряжения от номинального точного коэффициента напряжения. Обозначается буквой Р, что означает защиту. Класс точности для защитных трансформаторов напряжения: 3P и 6P. Пределы погрешности приведены в нижеследующей таблице.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Класс точности | Погрешность напряжения (± %) | Фазовая погрешность |
| ± | ± crasd |
| 3 P 6 P | 3.0 6.0 | 120 240 | 3.5 7 |

**Примечание:** Если трансформатор идет с двумя раздельными вторичными обмотками, из-за их взаимовлияния, пользователь должен указать диапазон выхода на каждой катушке. Верхний предел каждого диапазона выхода должен соответствовать стандартному значению номинальной мощности, при этом каждая катушка должна соответствовать собственным требованиям к точности в диапазоне выхода, другая же катушка может быть загружена в пределах от 0 до 100% от верхнего предельного значения выхода. Измерения могут производиться только на предельные значения для обеспечения эффективного результата. Если диапазон не указан, диапазон выхода каждой катушки будет находиться в пределах 25% - 100% от номинального выходного значения.