

М. С. Шаралапов – студент кафедры электротехники и технической диагностики
С. И. Бардинский (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Реализуемая в Российской Федерации политика энергосбережения, а также растущая стоимость электрической энергии требуют все большей и большей эффективности ее учета. Для создания и эксплуатации таких систем учета и измерения требуются не только дополнительные капиталовложения, но и решение ряда технических задач. Низшим уровнем в иерархии автоматизированных систем учета и контроля является уровень информационно-измерительного комплекса (ИИК). Он включает в себя измерительные трансформаторы, счетчики электрической энергии, вторичные цепи измерительных трансформаторов и устройства контроля изоляции. Трансформаторы тока и напряжения составляют неотъемлемую часть любого современного электрического устройства, служащего для производства, преобразования и передачи электрической энергии и входящего в информационно-измерительный комплекс [3]. Создание устройств учета и измерения, способных выдерживать высокие напряжения, нецелесообразно для изготовления, ввиду высокой стоимости и больших размеров. В связи с этим измерительные приборы включаются через промежуточные трансформаторы – измерительные трансформаторы [2]. Чем выше напряжение и мощность системы, тем ответственнее роль трансформаторов, так как от правильности их работы зависит бесперебойное снабжение электроэнергией промышленных предприятий, жилых домов, больниц и т. п.

Особенность российских электрических сетей 10(6) кВ, не имеющих глухого заземления нейтрали, состоит в том, что они могут некоторое время работать с однофазным замыканием на землю. При этом изменяются только напряжения отдельных фаз относительно земли, а треугольник междуфазных напряжений остается неизменным. Это позволяет потребителям никак не реагировать на наличие замыкания на землю и продолжать работу в обычном режиме, а электросетевое эксплуатационное предприятие обязано найти и отремонтировать поврежденный участок. Выполнение этой задачи во многом зависит от типа используемых трансформаторов напряжения (ТН).

Применяемые в настоящее время ТН делятся на заземляемые и незаземляемые. Незаземляемые ТН, в отличие от заземляемых, не имеют соединений первичной обмотки с землей. Заземляемые ТН, помимо междуфазных напряжений, могут трансформировать напряжения отдельных фаз относительно земли и тем самым контролировать изоляцию сети. Указанное обстоятельство определило сферу использования этих видов ТН в сетях 10(6) кВ: незаземляемые ТН преимущественно устанавливаются непосредственно на стороне высокого напряжения (ВН) силовых потребительских трансформаторов в ТП 10(6) кВ, а заземляемые – на сборных шинах центров питания (ЦП) и распределительных пунктах (РП).

Незаземляемые ТН включаются между фазами сети и бывают либо однофазными (типа НОЛ, НОМ), либо трехфазными (типа НТМК). Они имеют только одну вторичную обмотку с наивысшим классом точности 0,2 или 0,5, что вполне приемлемо для питания коммерческих счетчиков электроэнергии. При этом следует помнить, что класс точности ТН гарантируется только при определенных условиях эксплуатации. В частности, фактическая нагрузка при $\cos\varphi = 0,8$ должна быть симметричной и находиться в пределах от 25 до 100% от номинальной мощности. Если фактическая нагрузка меньше 25%, что характерно для применения электронных счетчиков с малым потреблением, то ее следует искусственно увеличить. Если же она больше 100%, то ТН переходит в низший класс точности.

Заземляемые трансформаторы напряжения включаются между фазами сети и землей и также производятся в однофазном (типа ЗНОЛ) или трехфазном (например, НТМИ, НАМИ, НАМИТ) исполнении. Заземляемые трехфазные ТН выполняют все функции незаземляемых ТН плюс контроль изоляции сети. Для этого, помимо выводов трех фаз А, В и С у основной вторичной обмотки, они имеют вывод нейтрали. Кроме того, имеется еще дополнительная обмотка.

При нормальном симметричном режиме фазные напряжения A_0 , B_0 и C_0 равны $57,8 (100/\sqrt{3})$ В,

междуфазные АВ, ВС и СА равны 100 В, а на выводах дополнительной вторичной обмотки имеется небольшое напряжение небаланса. При однофазных металлических замыканиях сети на землю одно из фазных напряжений снижается до нуля, а два других повышаются до 100 В. Междуфазные напряжения сохраняются неизменными, а напряжение дополнительной вторичной обмотки повышается до 100 В.

Наивысший класс точности заземляемых ТН при измерении междуфазных напряжений также составляет 0,2 или 0,5 при симметричной нагрузке от 25 до 100% от номинальной с $\cos \varphi = 0,8$. Однако согласно ГОСТ 1983-2001 он не гарантируется при однофазном замыкании сети на землю. В этом отношении заземляемые трансформаторы уступают незаземляемым. [1]

Класс точности ТН при измерении фазных напряжений может быть снижен до 3,0, т.к. в данном случае они предназначены для питания щитовых вольтметров контроля изоляции и не используются для питания счетчиков электрической энергии.

Незаземляемые измерительные трансформаторы напряжения представляют собой трансформаторы малой мощности (обычно менее 1 кВА) с большим количеством витков тонкого провода обмотки ВН. Необходимый класс точности обеспечивается точностью намотки числа витков обмоток (амплитудная погрешность) и выбором сниженного значения номинальной индукции в стали магнитопровода (угловая погрешность). При высоких номинальных индукциях применяется коррекция угловой погрешности (НТМК).

Рассматривая конструкцию заземляемых ТН, стоит отметить, что они также имеют большое число витков тонкого провода обмотки ВН и малую предельную мощность. Малая мощность ТН легла в основу широко распространенного представления о том, что они не могут сколько-нибудь существенно повлиять на режим работы основной сети 10(6) кВ, которая питает потребителей суммарной мощностью в тысячи и десятки тысяч кВА.

Исходя из этого представления, конструировались все ТН для сетей 10(6) кВ. При дальнейших исследованиях выяснилось, что выгоднее для каждой отдельной первичной обмотки, включенной между фазой сети и землей, иметь свой магнитопровод, т.е. перейти к трехфазной группе однофазных трансформаторов. В литом исполнении изоляции – это группа трех ТН типа ЗНОЛ-10(6), а в масляном исполнении – это три однофазных ТН в одном баке (типа НТМИ-10(6)-66). У этих ТН междуфазные вторичные напряжения АВ, ВС и СА образуются, как геометрическая разность двух соседних фазных напряжений A_0 , B_0 и C_0 . При однофазных замыканиях сети на землю, когда рабочее напряжение отдельных фаз превышает 120% от номинального, междуфазные напряжения могут терять высокий класс точности.

В процессе эксплуатации заземляемых ТН выявились три режима, приводящие либо к ненормальной работе ТН, либо к их повреждению. Первый режим характерен для работы заземляемых ТН на ненагруженных шинах ЦП или РП. Малый емкостный ток замыкания шин на землю на частоте 50 Гц компенсируется намагничивающим током одной из фаз ТН. Напряжение на этой фазе повышено, и сталь магнитопровода близка к насыщению. Напряжение остальных фаз понижено. В результате создается ложное впечатление о замыкании одной из фаз на землю. Так как в феррорезонанс может войти любая из трех фаз, «ложная земля» может «переходить» с одной фазы на другую. Обычно в таком режиме ТН не повреждается. Чтобы устранить явление «ложной земли», достаточно включить на дополнительную обмотку активное сопротивление 25 Ом. Второй режим возникает при однофазных дуговых замыканиях на землю в сельских сетях. Благодаря воздушным линиям, они имеют небольшой (до 10А) ток замыкания на землю и открытую перемежающуюся дугу, подверженную действию ветра, что способствует ее попеременному зажиганию и гашению. В таком режиме емкость нулевой последовательности сети в бестоковую паузу перемежающейся дуги разряжается через ТН, насыщая его магнитопроводы и перегревая обмотки. Повторное зажигание дуги вновь заряжает емкость, которая затем в бестоковую паузу дуги разряжается через ТН. Такой процесс может длиться несколько минут или даже часов, в результате чего ТН нередко повреждается. Третий режим может возникнуть как в воздушных, так и в кабельных сетях. Это устойчивый гармонический феррорезонанс на частоте 50 Гц между емкостью нулевой последовательности сети и нелинейной индуктивностью намагничивания трехфазного трехстержневого потребительского силового трансформатора 10(6)/0,4 кВ с изолированной нейтралью обмотки ВН. Режим феррорезонанса возможен при замыкании на землю одной фазы малонагруженно-

го трансформатора 20 – 400 кВА с последующим перегоранием плавкой вставки предохранителя. Напряжение нулевой последовательности сети при этом может достигать трехкратных значений, в результате чего повреждение ТН наступает менее чем за одну минуту. Наличие в сети одного или даже нескольких заземляемых ТН не может погасить данный вид феррорезонанса. Он срывается только после повреждения одного из ТН. [1]

После того, как попытки эффективной защиты измерительных трансформаторов от повреждений не увенчались успехом, в 80-х годах прошлого столетия стали разрабатываться антирезонансные ТН. Принцип их работы заключается в том, что они сами не вступают в феррорезонанс (первый режим), устойчивы к перемежающейся дуге (второй режим) и к «внешнему» феррорезонансу в сети (третий режим). Правда, достичь полной антирезонансности разработчикам удалось не сразу. Так, первенец из этой серии НАМИ-10 У2 был несимметричен и иногда вступал в субгармонический (16,6 Гц) феррорезонанс с емкостью небольших сетей (первый режим), хотя в остальных режимах он был устойчив. Антирезонансные ТН других типов, например, ЗНОЛ-10 с высокоомными резисторами в нейтрали или НАМИТ-10-2, тоже не вполне устойчивы в одном или двух режимах. Степень их антирезонансности еще нуждается в дополнительной проверке.

Исходя из написанного выше, следует сделать вывод, что наиболее приемлемыми для электропитающих организаций, учитывающих электроэнергию и контролирующей изоляцию в сетях 10(6) кВ, являются антирезонансные заземляемые ТН. Для учета электроэнергии у потребителей достаточно применять незаземляемые ТН. [1]

Библиографический список

1. М. Зихерман. Трансформаторы напряжения для сетей 6(10) кВ. Причины повреждаемости. «Новости электротехники» №1(25) 2003г.
2. Дымков А.М. Кибель В.М. Тишенин Ю.В. Трансформаторы напряжения. М.: Энергоиздат. 1975.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987.