

В последнее время доля продаж заземляемых трансформаторов напряжения классов точности 0,5 и выше резко увеличилась. Этот факт говорит о том, что актуальность темы учета электроэнергии возросла. Также тенденция рынка на сегодняшний день такова, что требуются изделия не только высоких классов точности, но и еще с уменьшенными габаритами.

Возьмем для примера трансформаторы напряжения ЗНОЛПМ (далее ТН). Это заземляемые трансформаторы, которые были спроектированы на базе трансформаторов ЗНОЛП, но с уменьшенными габаритными размерами. Трансформаторы имеют встроенное защитное предохранительное устройство и выпускаются на классы напряжения от 6 кВ до 10 кВ, включительно. Данные изделия комплектуются в трехфазные группы и позиционируются как антирезонансные трехфазные трансформаторы. Антирезонансные свойства ТН подтверждаются как теоретическими выкладками, так и практикой использования этих трансформаторов. Однако, во время эксплуатации в отдельных случаях, возникает ряд вопросов.

Как уже ранее отмечалось, трансформаторы ЗНОЛПМ снабжены защитным предохранительным устройством, которое призвано защищать трансформатор при возникновении аварийных режимов в электрических сетях. Защитное устройство имеет специально подобранный резистор, который играет роль плавкой вставки. При увеличении тока в высоковольтной обмотке выше допустимого значения, резистор разрушается и разрывает цепь трансформатора.

Причин, по которым происходит срабатывание защитного устройства множество, это и межвитковые замыкания в обмотках ВН ТН, и межвитковые замыкания в обмотках НН, и замыкания во вторичных цепях, а также перенапряжения в электрических сетях. С проблемами межвитковых замыканий более или менее все ясно. Эти аварийные режимы легко диагностируются и устраняются. Несколько иная и более сложная ситуация имеется на сегодняшний день с явлением перенапряжений в электрических сетях. На этой проблеме хотелось бы остановиться подробнее.

Перенапряжения в электрических сетях с изолированной нейтралью довольно часто встречающееся явление. Перенапряжения могут быть следствием различных коммутационных процессов, например повреждение оборудования и т.д. Одна из самых распространенных причин возникновения перенапряжений – это однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), однофазные дуговые замыкания на землю (ОДЗ), а в некоторых случаях и перемежающиеся дуговые межфазные замыкания. Все эти процессы объединяет одно понятие – аварийный режим. В сетях 6–35 кВ одно из самых распространенных явлений это однофазные дуговые замыкания на землю. Уровень напряжения при этом составляет величину 2,3–2,5 номинального напряжения сети. Такое увеличение напряжения наблюдается при первом зажигании дуги, однако горение дуги, как правило, сопровождается многократными зажиганиями и погасаниями, что приводит к еще большим перенапряжениям. Опасность дуговых перенапряжений определяется не столько их величиной, сколько длительностью их существования и тем, что они охватывают всю сеть (вследствие относительно низкой частоты протекания), создавая возможность пробоев ослабленных мест изоляции неповрежденных фаз в других точках сети.

Для более полного понимания ситуации хотелось бы раскрыть понятие феррорезонанс.

В цепях с нелинейной катушкой индуктивности, содержащих конденсатор, плавное изменение напряжения может привести к скачкам фазы и основной амплитуды основной гармоники тока, а плавное изменение тока может сопровождаться скачкообразным изменением фазы и амплитуды основной гармоники напряжения. Причиной тому служит наличие нелинейной индуктивности.

На рисунке 1 зависимость напряжения на катушке представлена кривой $U_L(I)$, зависимость напряжения на конденсаторе от тока $U_C(I)$ представлена наклонной прямой. Кривая U имеет зависимость $U = \sqrt{U_L^2 - U_C^2}$

Точка пересечения кривой U' с осью I (ток I_0) соответствует феррорезонансу напряжений, то есть $U_L = U_C$. Но в реальности из-за потерь в стали и в сопротивлении обмотки, а особенно из-за искажения формы кривых тока и напряжения, кривая U имеет вид, как представлено на рисунке 2.

При плавном изменении напряжения возможны скачкообразные изменения тока.

При плавном изменении напряжения U от нуля до U_1 (рисунок 2) ток по фазе отстает от напряжения ($U_L > U_C$), изменение его величины происходит по участку характеристики 0-1. В точке 1 происходит скачок, при котором ток возрастает до значения I_2 , соответствующего точке 2; по фазе теперь ток опережает напряжение ($U_C > U_L$), то есть происходит опрокидывание фазы. Дальнейшее возрастание напряжения до значения U_3 снова вызывает скачок тока, соответствующий переходу из точки 4 в 5.

Некоторому значению напряжения U_2 соответствует три значения тока I_a, I_b, I_c .

В реальных сетях также присутствует емкость, выраженная протяженностью линии электропередачи и не линейная индуктивность, которая выражена трансформатором напряжения, точнее его обмоткой с железом.

При определенных параметрах сети и трансформаторов напряжения, возникает область наиболее вероятного возникновения феррорезонанса. Однако для появления резонанса, необходимо какое-либо перенапряжение в сети.

Из практики известно, что основная доля возникновения перенапряжений в электрических сетях с изолированной нейтралью, приходится на однофазные дуговые замыкания, которые и ведут к выполнению всех условий для существования феррорезонанса.

Явление феррорезонанса обусловлено наличием нелинейной индуктивности катушки со сталью $L_{\Sigma} = U_L / \omega I$. Индуктивность меняется в зависимости от действующего значения тока.

Феррорезонансные процессы, возникающие в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью, опасны не только возможностью возникновения значительных перенапряжений. Довольно часто они приводят к повреждению измерительных трансформаторов напряжения из-за длительного протекания по их обмоткам токов, существенно превышающих номинальные и вызывающих термическое разрушение изоляции обмоток высокого напряжения. Как правило, причиной таких сверхтоков, являются неустойчивые (дуговые) однофазные замыкания на землю.

Феррорезонансный контур в сетях с изолированной нейтралью – это контур нулевой последовательности. При этом появляется нелинейный шунт, который является следствием отсутствия магнитной связи в трехфазной группе между тремя однофазными трансформаторами.

Для снижения влияния феррорезонанса на надежность работы трансформатор ЗНОЛП (ЗНОЛ.06) имеет ряд конструктивных решений. Трехфазные группы 3хЗНОЛП (3хЗНОЛ.06) комплектуются специально подобранными резисторами, которые устанавливаются в цепь заземления трансформатора (RN). Принцип защиты трехфазной группы от воздействия феррорезонанса заключается в следующем. При увеличении тока в обмотке ВН повышается и индукция в магнитопроводе. В итоге магнитопровод насыщается и как следствие индуктивность обмотки ВН резко снижается ($L_{\Sigma} = U_L / \omega I$). Вследствие этого увеличивается падение напряжения на резисторах RN, что собственно приводит к ограничению тока в обмотке ВН. Так же, дополнительной мерой по ограничению тока в обмотке ВН, цепь разомкнутого треугольника устанавливается сопротивление 25 Ом, рассчитанного на длительное протекание тока 4А. В трансформаторах ЗНОЛПМ сопротивление первичной обмотки в разы больше, чем в трансформаторах ЗНОЛП, что позволяет отказаться от применения RN, но в некоторых случаях для повышения антиферрорезонансных свойств завод изготовитель рекомендует их установку.

На сегодняшний день ситуация в электрических сетях, мягко сказать, не благополучная. За последние несколько лет на предприятие поступило ряд претензий от эксплуатирующих организаций, разбирательство по которым велось на месте эксплуатации трансформаторов напряжения.

По результатам посещения объектов можно резюмировать следующее:

1. В ряде случаев потребители не верно эксплуатируют трансформаторы напряжения, в частности, перед вводом в эксплуатацию проводят испытания согласно методике указанной в РД, что является грубым нарушением требований руководства по эксплуатации на данные изделия. Так определение сопротивления изоляции первичной обмотки проводится мегомметром на пределе 2500 В, а не 1000 В. Высоковольтные испытания проводятся без учета требований, которые указаны в руководстве по эксплуатации на заземляемые трансформаторы напряжения с литой изоляцией.

2. Трансформаторы напряжения эксплуатируются в сетях с грубыми нарушениями требований «Правил технической эксплуатации»

«п.5.11.8 Компенсация емкостного тока замыкания на землю дугогасящими реакторами должна применяться при емкостных токах превышающих значения:

Номинальное напряжение, кВ	6	10	15-20	30
Емкостной ток, А	30	20	15	10

В сетях 6-35 кВ с воздушными линиями на железобетонных или металлических опорах для исключения разрушения опор при протекании по ним токов однофазных замыканий дугогасящие реакторы используются уже при токе замыкания более 10 А».

Это требование направлено против возникновения перемежающейся дуги. При однофазных замыканиях на землю с величинами емкостных токов больше, чем сказано выше в сетях с изолированной нейтралью, увеличивается термическое действие дуги, в месте замыкания, что увеличивает вероятность перехода дуги однофазного замыкания на землю в короткое замыкание между фазами. Это ведет к смещению нейтрали.

Измерение емкостных токов, токов дугогасящих реакторов, токов замыкания на землю и напряжение смещения нейтрали должно проводиться при вводе в эксплуатацию дугогасящих реакторов и **значительных изменениях режимов сети, но не реже 1 раза в шесть лет.**

В настоящее время в большинстве случаев ни расчетов, ни реальных замеров емкостного тока не производится, даже после значительного увеличения суммарной длины линии электропередач.

3. Сети на класс напряжения 6, 10, 35кВ, в которых установлены трансформаторы напряжения, крайне изношены. Контроль и мониторинг их состояния не ведется. К сожалению, эксплуатирующие организации начинают задумываться о состоянии своих сетей, только по факту возникновения аварийных ситуаций.

Наглядным примером влияния состояния электрических сетей на трансформаторы напряжения может служить опыт эксплуатации ЗНОЛПМ на ОАО «ВАТТ» г. Саранск.

В 2008 году на ОАО «ВАТТ» была внедрена программа АИИСКУЭ, с использованием трансформаторов напряжения ЗНОЛПМ. После введения трансформаторов в работу происходили срабатывания предохранительных устройств, которыми снабжены ЗНОЛПМ. Для выяснения причин срабатывания предохранителей была создана рабочая группа. В результате были даны рекомендации по устранению нарушений выявленных на линиях электропередачи (набросы на провода, нависание веток деревьев над проводами и т.д). также было рекомендовано включить в цепь разомкнутого треугольника сопротивления 25 Ом, рассчитанного на длительное протекание тока 4А. После устранения всех замечаний срабатывания предохранительных устройств прекратились.

Трансформаторы напряжения это специфическое электротехническое изделие, которое наиболее подвержено влиянию перенапряжений в электрических сетях. Частые срабатывания защитных предохранительных устройств говорят о наличии проблем в сетях. Также при разработке новых сетей необходимо на этапе проектирования учитывать и просчитывать возможность возникновения феррорезонанса и принимать меры к его устранению, как того требуют правила устройства электроустановок, а не бороться с ним по факту возникновения проблемы. На сегодняшний день существует несколько путей решения данной проблемы. Применение дугогасящих реакторов гарантирует защиту ТН от повреждения сверхтоками при перемежающихся дуговых замыканиях. Индуктивность реактора, включенного параллельно емкости нулевой последовательности образует контур, в котором исключается существование постоянной составляющей напряжения на нейтрали

после погасания дуги, что тем самым исключает возможность насыщения и повреждения ТН. Это подтверждается опытом эксплуатации компенсированных сетей 6-35кВ, где повреждения ТН из-за протекания сверхтоков при дуговых замыканиях отсутствуют. Таким образом, для исключения повреждений ТН можно использовать дугогасящие реакторы, даже в сетях с малыми токами замыкания. Особенно это касается воздушных сетей с током замыкания порядка единиц – десятков ампер.

Выводы:

Неадекватное содержание электрических сетей ведет к возникновению аварийных режимов работы, что влечет за собой выход из строя электрооборудования.

Для снижения влияния феррорезонансных процессов на работу электрооборудования необходимо принимать меры к их предотвращению. Наиболее эффективными средствами по решению этой проблемы является:

-включение в цепь разомкнутого треугольника сопротивления 25 Ом, рассчитанного на длительное протекание тока 4А.

-включение параллельно емкости нулевой последовательности сети активного сопротивления также играет большую роль в снижении дуговых и феррорезонансных перенапряжений и увеличении надежности работы изоляции оборудования сети.

-заземление нейтрали сети через дугогасящий реактор или через низкоомное активное сопротивление полностью, а высокоомное заземление нейтрали в подавляющем большинстве случаев, исключают возникновение феррорезонанса на измерительных трансформаторах напряжения.

Трансформатор напряжения это высокоиндуктивный электроаппарат, который воспринимает все негативные моменты, связанные с аварийными режимами в электрических сетях. Поэтому решать проблемы связанные с эксплуатацией трансформаторов напряжения необходимо в совокупности, принимая меры не только к повышению потребительских свойств ТН, но и с привлечением эксплуатирующих организаций, которые несут непосредственную ответственность за состояние электрических сетей.

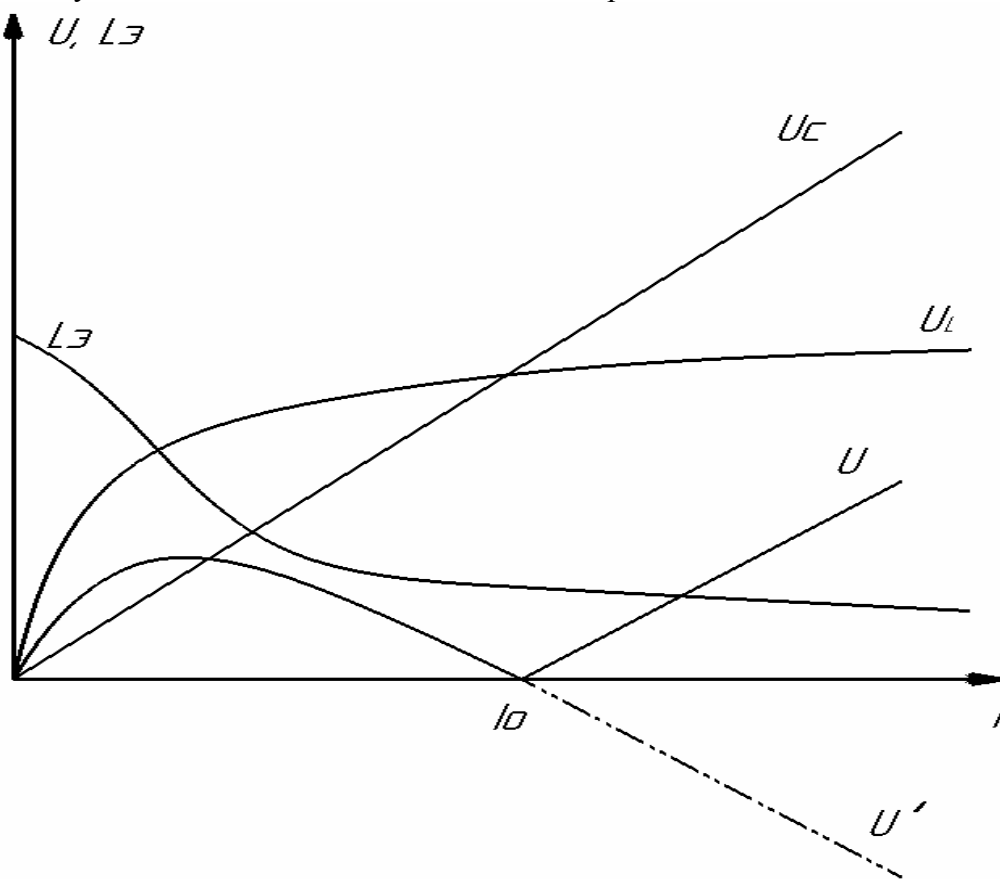


Рисунок 1

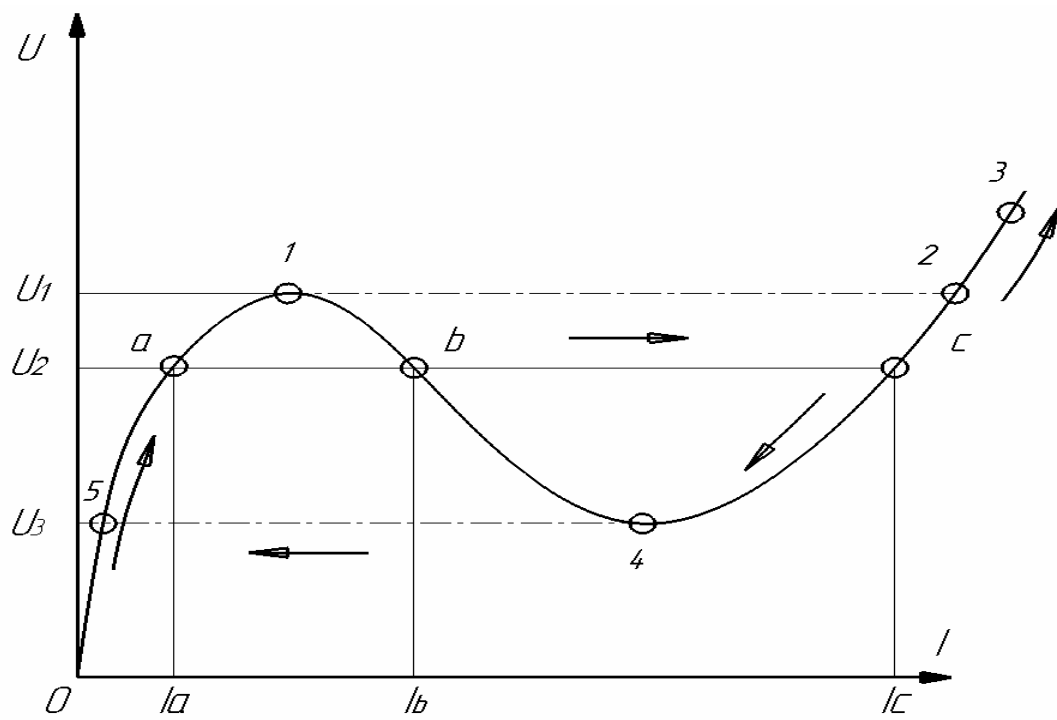


Рисунок 2