

УДК 620.9

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Косьян А.М.

Научный руководитель – Артёменко К.И.

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, содержащее от двух до нескольких обмоток, расположенных на общем магнитопроводе, и индуктивно связанных, таким образом, между собой. Служит трансформатор для преобразования электрической энергии переменного тока посредством электромагнитной индукции без изменения частоты тока. Используют трансформаторы как для преобразования переменного напряжения, так и для гальванической развязки в различных сферах электротехники и электроники.

Особенность работы измерительного трансформатора напряжения заключается в том, что его вторичная обмотка всегда оказывается замкнутой на большое сопротивление, и трансформатор работает в режиме, близком к режиму холостого хода, так как подключаемые приборы потребляют незначительный ток.

Измерительные трансформаторы напряжения являются важными элементами любой высоковольтной сети. Основное назначение трансформаторов напряжения – это понижение высокого напряжения, необходимого для питания измерительных цепей, цепей релейной защиты, автоматики и учета. С помощью трансформаторов напряжения осуществляется измерение напряжения в высоковольтных сетях, питание катушек реле минимального напряжения, обмоток напряжения защит, ваттметров, фазометров, счетчиков, а также контроль состояния изоляции сети.

Трансформатор напряжения понижает высокое напряжение до стандартного значения 100 В. И для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения. Первичная обмотка включена на напряжение сети, а к вторичной обмотке присоединены параллельно катушки измерительных приборов и реле. Трансформатор напряжения в отличие от трансформатора тока работает в режиме, близком к холостому ходу, так как сопротивление параллельных катушек приборов и реле большое, а ток, потребляемый ими, невелик.

Для питания вторичных цепей трансформаторы напряжения могут устанавливаться как на шинах подстанции, так и на каждом присоединении. Прежде чем приступить к монтажу, следует провести осмотр трансформатора напряжения и проверить целостность изоляции, исправность швов армировки и уровень масла у масляных трансформаторов. При установке первичная и вторичная обмотки трансформатора напряжения в целях безопасности заворачиваются, поскольку случайное соприкосновении вторичной обмоток с проводами сварки, освещения и т. п. может привести к появлению на выводах первичной обмотки высокого напряжения, опасного для человеческой жизни. Чтобы обслуживание вторичных цепей при эксплуатации было безопасным, обязательно производится заземление вторичной обмотки трансформатора и его корпуса. Таким образом, устраняется возможность перехода высокого напряжения во вторичные цепи при пробое изоляции.

Подключая измерительные приборы и устройства защиты к трансформаторам напряжения, следует учитывать тот факт, что включение большого количества электроприборов приводит к повышению значения тока во вторичной обмотке и увеличению погрешности измерения. Поэтому следите за тем, чтобы полная мощность подключенных приборов к трансформатору напряжения не превышала максимально допустимой мощности нагрузки трансформаторов напряжения, указанной в паспорте. В случае если мощность нагрузки превышает номинальную мощность трансформатора для требуемого класса точности, необходимо установить еще один трансформатор напряжения и часть приборов присоединить к нему.

В зависимости от назначения могут применяться трансформаторы напряжения с различными схемами соединения обмоток. Для измерения трех междуфазных напряжений можно использовать два однофазных двухобмоточных трансформатора соединенных по схеме открытого треугольника, а также трехфазные двухобмоточные трансформаторы обмотки которых соединены в звезду. Для измерения напряжения относительно земли могут применяться три однофазных трансформатора, соединенных по схеме звезда звезда, или трехфазные трехобмоточные трансформаторы. В последнем случае обмотка, соединенная в звезду, используется для присоединения измерительных приборов, а к обмотке, соединенной в разомкнутый треугольник, присоединяется реле защиты от замыканий на землю. Таким же образом в трехфазную группу соединяются однофазные трехобмоточные трансформаторы.

По конструкции различают трехфазные и однофазные трансформаторы. Трехфазные трансформаторы напряжения применяются при напряжении до 18 кВ, однофазные – на любые напряжения. По типу изоляции трансформаторы могут быть сухими, масляными и с литой изоляцией.

Для обеспечения нормальной работы, измерительный трансформатор напряжения должен быть защищен от токов короткого замыкания со стороны нагрузки, поскольку они вызывают перегрев и повреждение изоляции обмоток трансформаторов напряжения, а также приводят к возникновению короткого замыкания в самом трансформаторе. С этой целью во всех не заземленных проводах устанавливаются автоматические выключатели. Кроме этого во вторичных цепях трансформатора напряжения предусматривается установка рубильника, для создания видимого разрыва электрической цепи. Защита первичной обмотки от повреждений выполняется при помощи предохранителей.

В электроэнергетике находят применение два типа трансформаторов напряжения: электромагнитные трансформаторы напряжения при напряжении 330 кВ и емкостные трансформаторы напряжения в установках 500 кВ и выше.

Основными факторами, вызывающими искажения вторичных напряжений электромагнитных т, являются падения напряжения в обмотках от намагничивающего тока и токов нагрузки, а также переходные процессы во вторичных цепях. В установившихся режимах с синусоидальными напряжениями эти факторы обуславливают отклонения вторичного напряжения от расчетных значений в пределах, определяемых классом точности трансформаторов напряжения, то есть 0,5–1 %. В переходных режимах количественные искажения вторичных напряжений хотя и могут превышать указанные значения, но не выходят за пределы 5–10 %, допустимые для устройств. Длительность протекания переходных процессов в цепях вторичной нагрузки при обычном ее составе не превышает 1–2 периодов. Выполненные исследования показывают, что при пониженных напряжениях, имеющих место в режимах короткого замыкания, электромагнитные трансформаторы напряжения не выносят заметных качественных искажений во вторичные напряжения, обеспечивая практически идеальное преобразование входных сигналов.

Емкостные трансформаторы напряжения содержат, кроме емкостного делителя напряжения и выходного электромагнитного трансформатора напряжения, дроссель, настроенный в резонанс с конденсаторами делителя, и мощный активно-индуктивный демпфер для подавления субгармонических автоколебаний. Имеются предложения о включении в состав демпфера полупроводниковых корректирующих элементов для уменьшения погрешностей.

Наличие в составе емкостного трансформатора напряжения довольно мощных накопителей энергии емкостного и индуктивного характера обуславливает более интенсивные и длительные электромагнитные переходные процессы в его цепях, чем у электромагнитных трансформаторов напряжения. Эти процессы особенно сильно проявляются при коротких замыканиях, близких к месту установки защиты, когда первичные напряжения скачкообразно уменьшаются до очень малых значений. Математические модели емкостные трансформаторы напряжения должны содержать полное описание составных

элементов с учетом нелинейностей намагничивающего контура выходного трансформатора и демпфирующего устройства.

В установках напряжением до 330 кВ применяются трехобмоточные однофазные трансформатор напряжения, первичные обмотки которых подключаются на фазные напряжения относительно земли, образуя схему полной звезды с заземленной нейтралью. Одна группа обмоток низшего напряжения также соединяется в звезду и несет основную нагрузку трансформатора напряжения, состоящую из цепей напряжения измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики. Другая группа вторичных обмоток соединяется в разомкнутый треугольник и питает сравнительно небольшую нагрузку, образованную цепями напряжения устройств релейной защиты и сигнализации замыканий на землю. В нормальном режиме эти обмотки фактически не нагружены и переходный процесс в них при коротком замыкании не оказывает заметного влияния на напряжения основных обмоток. Исходя из этого, при математическом влиянии обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник, и трансформатор напряжения рассматриваются как двухобмоточные.

Однофазный трансформатор напряжения аналогичен по конструкции и математическому описанию однофазному силовому трансформатору малой мощности.

### Литература

1. Романюк, Ф.А. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем / Ф.А. Романюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 173 с.