

УДК 621.3.022

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Сырокваш Е. В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Трансформаторы тока широко используются для измерения электрического тока и в устройствах релейной защиты электроэнергетических систем, в связи с чем на них накладываются высокие требования по точности. Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением, часто составляющим сотни киловольт.

К трансформаторам тока предъявляются высокие требования по точности. Как правило, трансформатор тока выполняют с двумя и более группами вторичных обмоток: одна используется для подключения устройств защиты, другая, более точная для подключения средств учёта и измерения.

Трансформаторы тока (ТТ) в неустановившемся режиме существенно искажают информацию о состоянии защищаемого объекта, подводимую к устройству защиты. Полная погрешность ТТ при наличии в первичных токах апериодических составляющих в первые 2–5 периодов после возникновения КЗ может достигать 80–90 % и более. Основным фактором, определяющим искажение вторичного тока ТТ, является его ток намагничивания. Он достигает наибольших значений при наличии апериодических составляющих в первичном токе и остаточной индукции в сердечнике и совпадении их знаков.

Математическое описание ТТ, входящее в состав комплексных математических моделей релейной защиты (РЗ), предназначенных для оценки их ожидаемого поведения в переходных режимах защищаемого объекта, должно составляться с учетом реальных условий работы ТТ и их конструктивных особенностей. К ним относятся:

- схемы соединения вторичных обмоток – звезда с нулевым проводом, треугольник, дифференциальные схемы и т. п.;
- значения вторичных нагрузок, при необходимости с учетом их неодинаковости в различных фазах, наличия нелинейных индуктивностей в составе нагрузки и т. п.;
- характеристики намагничивания сердечника с возможностью задания остаточных индукций, учета динамики процесса перемагничивания;
- учет конструктивных особенностей – обычное или каскадное исполнение, наличие немагнитных зазоров в магнитопроводе и другое.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.

Для питания токовых цепей РЗ применяются ТТ простейшей конструкции без каких-либо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки. Устройство ТТ этого типа в общем случае с небольшим немагнитным зазором в сердечнике.

В переходном режиме падение напряжения в нулевом проводе оказывает существенное влияние на форму кривой вторичных токов. Поэтому математическое моделирование

трехфазной группы ТТ этого вида необходимо выполнять с учетом сопротивлений нулевого провода и включенных в него нагрузок.

Трехфазные группы ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов. Вторичные нагрузки в этом случае соединяются в звезду без нулевого провода.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп ТТ, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи. В защитах синхронных генераторов, высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин – более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду. Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератор-трансформатор содержат несколько групп ТТ с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит целесообразно использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединений каждой трехфазной группы ТТ. Наиболее просто это осуществляется при одинаковых нагрузках отдельных фаз в плече защиты, когда группа ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.