

УДК 621.311

ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Станевич Р.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Калентионок Е.В.

В этой статье проведем разъяснение необходимости проведения испытаний трансформаторов на стойкость к токам короткого замыкания. Выясним схему, состав оборудования и рассмотрим метод проведения испытаний, а также выявим пути для усовершенствования проведения опытов на электродинамическую стойкость трансформаторов.

Согласно ГОСТ 11677-85, силовые трансформаторы должны выдерживать внешние короткие замыкания в эксплуатации на любом ответвлении обмотки при любых сочетаниях сторон питания. Поэтому перед вводом в эксплуатацию трансформаторов необходимо провести типовые испытания на стойкость к коротким замыканиям.

Типовые испытания проводят для одного трансформатора из каждой новой серии. Также 1 раз в несколько лет проводят такие испытания для каждого типа силовых трансформаторов.

Суть испытания заключается в том, что на одну из обмоток подают напряжение, а вторую обмотку закорачивают. Если в опыте короткого замыкания значение подводимого напряжения составляет 4-7% от $U_{ном}$ (из паспортных данных), то при испытании на стойкость к КЗ напряжение составляет до 100% от номинального. Токи до 20 раз превышают номинальные. Создаются значительные электродинамические усилия в обмотках и магнитопроводе. Отсюда и названия – электродинамические испытания, электродинамическая стойкость. Трансформатор не прошёл проверку, если после опыта были повреждены элементы трансформатора.

Ключевым параметром опыта на электродинамическую стойкость является испытательный ток короткого замыкания:

$$I_{исп} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}(z_m + z_c)}, \text{ кА}, \quad (1)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение трансформатора, кВ;

z_m - сопротивление трансформатора, приведенное к рассматриваемой обмотке, Ом;

z_c - сопротивление короткого замыкания сети, Ом.

Более мощные трансформаторы имеют меньшее сопротивление, и согласно формуле 1 необходимо более высокое значение испытательного тока. Для трансформаторов мощностью менее 1 МВ·А (менее 3,15 МВ·А, разработанных после 01.01.91) сопротивление короткого замыкания сети не учитывают.

Сопротивление короткого замыкания трансформатора z_m , Ом, определяют по формуле:

$$z_m = \frac{U_{к\%} \cdot U_{ном}^2}{100S_{ном}}, \quad (2)$$

где $U_{к\%}$ - расчетное значение напряжения короткого замыкания ответвления, приведенное к номинальной мощности трансформатора на основном ответвлении, %;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора на основном ответвлении, МВ·А.

При испытаниях допускается принимать измеренное значение сопротивления короткого замыкания трансформатора.

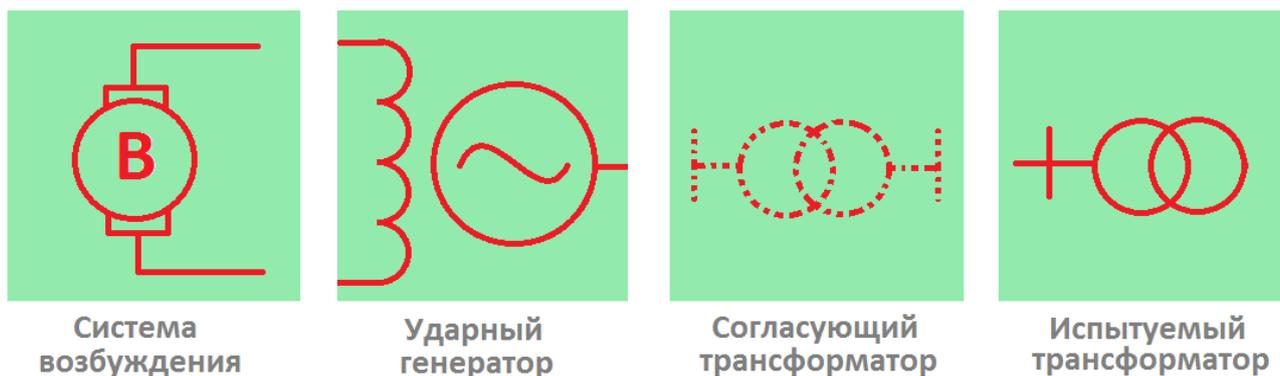


Рисунок 1 – Основные элементы стенда электродинамических испытаний.

Система возбуждения ударного генератора должна обеспечить высокую скорость приращения ЭДС генератора во время опыта КЗ. Достигается форсированием возбуждения.

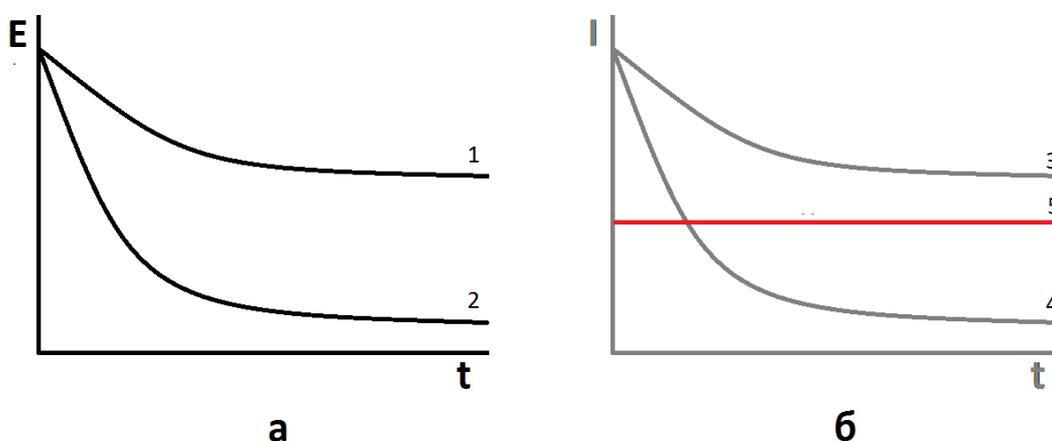


Рисунок 2 - ЭДС ударного генератора (а) и ток в цепи (б) во время проведения испытания: 1, 2 – ЭДС генератора при наличии и без форсировки возбуждения; 3, 4 – ток в цепи при наличии и без форсировки возбуждения; 5 – необходимый испытательный ток для конкретной модели трансформатора

Из рисунка 2 следует логическая цепочка:

- отсутствие (недостаточная кратность) форсировки возбуждения;
- мгновенное снижение ЭДС генератора при коротком замыкании в цепи;
- невозможно поддерживать уровень испытательного тока на протяжении всего опыта.

Ударный генератор - это специальный синхронный генератор, у которого режим КЗ является не аварийным, а рабочим.

Особенности ударного генератора:

- меньшее значение переходного и сверхпереходного сопротивлений;
- усиленное механическое крепление обмоток статора;
- рассчитан на работу менее 1с.

Согласующий трансформатор применяется в том случае, когда номинальные напряжения генератора и трансформатора не совпадают.

Особенности:

- низкий уровень $U_k\%$;
- гибкость регулирования напряжения: ПБВ с кратностью 10-20%, возможность переключения схем соединения обмоток с звезды на треугольник и наоборот.

Испытуемый трансформатор подключают к испытательному стенду той стороной, которая соответствует уровню напряжения собранной схемы стенда.

К стенду могут быть подключены все 3 фазы. Можно испытывать трансформатор пофазно. Во втором случае можно испытать более мощный трансформатор.

Алгоритм проведения испытаний:

- измерение характеристик (X, R и др.) трансформатора;
- проведение 5 зачетных опытов КЗ. Время проведения по ГОСТ 20243 составляет 0.5 – 1 с;
- повторное снятие характеристик трансформатора и осмотр элементов трансформатора;
- анализ измеренных характеристик и осмотра.

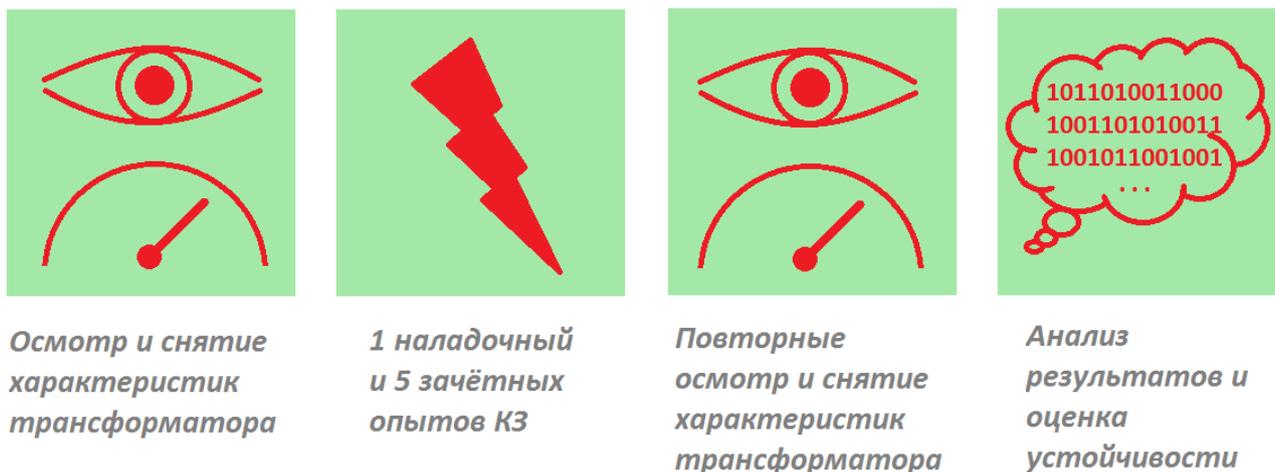


Рисунок 3 – Алгоритм проведения испытаний

Усовершенствование проведения испытаний тесно связано с внедрением новых измеряемых характеристик трансформатора.



Рисунок 4 – Дополнительные измеряемые характеристики для оценки стойкости трансформатора к токам короткого замыкания

Кривые шума и вибрации, а также индикацию замыкания обмотки на корпус снимают во время опытов КЗ. Реакцию обмоток на импульсный ток малого напряжения измеряют до и после опыта. Увеличение числа снимаемых характеристик, а также усовершенствование проведения испытаний гарантируют высокий уровень контроля качества продукции. Это позволяет выявить возможные дефекты, чтобы еще до массового производства продукции устранить их.

Литература

1. Трансформаторы силовые. Общие технические характеристики. ГОСТ 11677-85 / М.: ИПК Издательство стандартов. 1985. – 38 с.
2. Трансформаторы силовые. Методы испытаний на стойкость при коротких замыканиях. ГОСТ 20243-74 / М.: ИПК Издательство стандартов. 1974. – 14 с.
3. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях: сборник статей / под ред. А.И. Лурье – М.: «Знак». 2005. - 520 с.
4. Трансформаторы силовые масляные: рабочая методика испытаний на стойкость при коротком замыкании: научная работа / утв. В.А. Хабаров – МЭТЗ им. В.И. Козлова, 1989. – 20 с.
5. Исследование режимов работы установки для динамических испытаний трансформаторов, автоматических выключателей и панелей: научная работа / Ю. Румянцев, Э. Сварко – БПИ, 1964. – 18 с.