

**МЕТРОЛОГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В СЕТЯХ 3-35 КВ. ДРУГИЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С МЕТРОЛОГИЕЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

	Эткинд Л.Л., к.т.н, главный конструктор ОАО "Свердловский завод трансформаторов тока". Телефон (3432) 23-65-08, факс 12-52-55 E-mail: cztt@cztt.etel.ru/ design@cztt.etel.ru
--	---

Функциональным назначением трансформаторов напряжения согласно ГОСТ 1983-2001 "Трансформаторы напряжения. Общие технические условия" является передача измерительной информации приборам измерения, защиты, автоматики, сигнализации и управления.

По этому стандарту метрологические характеристики нормируются в следующих рабочих условиях применения:

- частота переменного тока - $(50 \pm 0,5)$ Гц;
- мощность активно-индуктивной нагрузки при коэффициенте мощности

где $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора в данном классе точности, В·А;

$U_{1ном}$ - номинальное значение первичного напряжения трансформатора, В;

U_1 - значение первичного напряжения, подведенного к трансформатору, В;

- изменение напряжения в диапазоне:

0,8-1,2 номинального напряжения - для трансформаторов для измерения,
0,02-1,9 номинального напряжения - для трансформаторов для защиты;

- качество напряжения - по ГОСТ 13109-97 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения".

В реальной эксплуатации фактические рабочие условия применения отличаются от указанных в ГОСТ 1983-2001. А именно:

- частота переменного тока зачастую не соответствует нормированным значениям;
- мощности нагрузки и коэффициенты мощности нагрузки в значительной степени отличаются от нормированных;
- напряжение сети по своему значению и качеству также, как правило, не соответствует требуемым нормам в основном из-за имеющих место перенапряжений в сети.

В сетях 3-35 кВ согласно ПУЭ, п.1.2.16, нейтраль, как правило,

изолирована, либо заземлена через дугогасящие реакторы.

Работа заземляемых электромагнитных трансформаторов напряжения в таких сетях в значительной степени затруднена из-за процессов, происходящих в этих сетях при неблагоприятных сочетаниях емкости электрической сети по отношению к земле и нелинейной индуктивности трансформаторов напряжения.

Неблагоприятное соотношение ёмкостей фаз сети относительно земли и заземленных нелинейных индуктивностей трансформаторов напряжения приводит к возникновению феррорезонансных процессов, которые сопровождаются перенапряжениями, значительно превышающими нормированные значения, которые в первую очередь ухудшают метрологические характеристики - трансформаторы напряжения не обеспечивают необходимый класс точности как для измерений, так и для защиты. Кроме того, феррорезонансные процессы зачастую приводят к выходу из строя заземляемых электромагнитных трансформаторов напряжения, поскольку незатухающие феррорезонансные процессы приводят к перевозбуждению трансформаторов напряжения, длительному протеканию сверхтоков в обмотках высокого напряжения. При этом плотности тока достигают совершенно недопустимых значений - до нескольких десятков ампер на квадратный миллиметр.

Различают три вида феррорезонанса - субгармонический, автопараметрический и стойкий. Остановившись на физической сущности этих процессов в данном докладе не следует, поскольку они подробно освещены в технической литературе. Необходимо остановиться на наиболее характерных примерах проявления феррорезонансных процессов, на мерах, применяемых для защиты от феррорезонанса, и которые необходимо применять.

Повреждаемость заземляемых электромагнитных трансформаторов напряжения из-за феррорезонансных перенапряжений достаточно высока. Особенно она высока в сетях 35 кВ. По опыту ОАО "Свердловский завод трансформаторов тока" (ОАО "СЗТТ") повреждение трансформаторов напряжения ЗНОЛЭ-35 и ЗНОЛ-35 составляет около 10%. Отказов трансформаторов напряжения в сетях 6 и 10 кВ из-за резонансных перенапряжений значительно меньше.

Два примера повреждения заземляемых трансформаторов напряжения производства ОАО "СЗТТ".

1984 год. Завод промышленных тракторов, г. Чебоксары. На предприятии две подстанции 10 кВ, питающие литейное производство. На обеих подстанциях применены заземляемые трансформаторы напряжения производства ОАО "СЗТТ", но на одной подстанции применена электромашинная компенсация реактивной мощности, а на другой - ёмкостная. На первой подстанции трансформаторы напряжения эксплуатировались благополучно в течение длительного периода, на второй - вышли из строя при пуске подстанции в эксплуатацию. В порядке эксперимента трансформаторы напряжения со старой подстанции были сняты и установлены на новой подстанции вместо поврежденных. Сразу после включения они стали перегреваться. Этот пример свидетельствует о необходимости применения специальных мер по рассогласованию

параметров сети и трансформаторов напряжения при емкостной компенсации реактивной мощности.

Другой пример. 2001 год. ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург, Свердловская ТЭЦ, подстанция "Литейная" - ЗРУ-35 кВ и литейный цех - РУ-35 кВ.

Массовые выходы из строя заземляемых электромагнитных трансформаторов напряжения 35 кВ практически сразу после первых включений ненагруженного силового трансформатора ЭТЦН-32000/35 вакуумными выключателями.

Однолинейная принципиальная электрическая схема питания трансформатора ЭТЦН-32000/35 приведена на рисунке 1.

На рисунке 2 приведена принципиальная электрическая схема RC-цепочки, примененной в схеме для защиты силового трансформатора ЭТЦН-32000/35, питающего литейную установку "Печь - ковш".

Проведенное сравнение параметров сети и заземляемых трансформаторов напряжения ЗНОЛЭ-35 и ЗНОЛ-35, оценка режимов работы сети, после которых трансформаторы напряжения выходили из строя, свидетельствуют о наличии значительных перенапряжений, поскольку:

- индуктивное сопротивление насыщения трансформаторов напряжения и емкостное сопротивление сети относительно земли одного порядка - $X_L \approx 13000 \text{ Ом}$; $X_C \approx 9000 \text{ Ом}$ (при расчетах не учитывались параметры остального электрооборудования), что является предпосылкой феррорезонансных перенапряжений;
- включение трансформатора ЭТЦН-32000/35 производилось на холостом ходу вакуумными выключателями, что вызывает значительные коммутационные перенапряжения [1].

О каких метрологических характеристиках заземляемых электромагнитных трансформаторов напряжения, не говоря уже об их высокой повреждаемости, можно судить при таких режимах работы сети?

На практике применяются различные схемные решения по защите заземляемых трансформаторов напряжения от перенапряжений:

- заземление нейтрали обмоток высокого напряжения через резисторы различных значений - от низкоомных до высокоомных;
- включение резисторов в разомкнутый треугольник трансформаторов напряжения;
- включение высокоомных резисторов между питающей сетью и обмотками высокого напряжения трансформаторов напряжения;
- применение антирезонансных трансформаторов напряжения НАМИ;
- другие технические решения, например замена в НАМИ заземляемой электромагнитной фазы емкостным делителем [2], применение электромагнитных трансформаторов напряжения с ненасыщаемой магнитной системой.

Все эти меры не способствуют обеспечению требуемых метрологических характеристик для высокоточных измерений и не дают должного эффекта,

поскольку являются борьбой со следствием, а не с причиной.

Прежде всего должен быть пересмотрен подход к нейтрали сетей 3-35 кВ в части её заземления. Так, в мировой практике широко применяется резистивное заземление нейтрали в сетях среднего напряжения, что повышает надежность работы электрических сетей в том числе и заземляемых трансформаторов напряжения. Российские энергетики также приходят к выводу о необходимости резистивного заземления нейтрали [3]. Соответствующие изменения необходимо внести в п.1.2.16 ПУЭ.

Еще об одном подходе к измерительным трансформаторам. Речь идет о трансформаторах тока. Очень часто поступают претензии от потребителей по вольт-амперным характеристикам вторичных обмоток трансформаторов тока. Выставляются требования по сходимости этих характеристик в пределах не более 10% для однотипных трансформаторов тока с одинаковым коэффициентом трансформации. Если для защитных обмоток, питающих дифференциальные защиты, такое требование оправдано и приемлемо, то для измерительных обмоток трансформаторов тока оно совершенно не обосновано, поскольку основным критерием пригодности измерительной обмотки для целей измерения является соответствие ее токовых и угловых погрешностей требуемому классу точности. Такие претензии заводом не принимаются и приниматься не будут.

Другое дело для защитных обмоток, например, для обмоток, питающих дифференциальную защиту. В этом случае необходима специальная выборка трансформаторов, и заказчик должен при заказе трансформаторов тока указывать требование по вольт-амперным характеристикам.

Дело в том, что вольт-амперные характеристики зависят от магнитных свойств магнитопровода, которые для различных партий материала магнитопровода различны.

Для примера приведены в таблицах 1 и 2 контрольные точки защитных обмоток, снятые при расчетном напряжении, равном 230 В, для трансформаторов тока ТШЛ10-3000/5, изготовленных в разное время из двух разных партий электротехнической стали марки 3407.

Таблица 1

U, В	230									
I _{нам} , А	0,045	0,042	0,042	0,045	0,045	0,045	0,042	0,04	0,045	0,045

Таблица 2

U, В	230							
I _{нам} , А	0,032	0,036	0,04	0,035	0,03	0,03	0,032	0,031

Из сравнения значений токов намагничивания видно, что их отличие для

разных партий превышает требуемое по [4]. Даже внутри одной партии это отличие в ряде случаев превышает 10%, хотя порядок значений один и тот же. Поэтому выполнение требования п.7.4 [4] при массовом производстве без специальной выборки практически невозможно. Как указывалось выше, такую выборку завод готов производить, если это требуется заказчику, за отдельную плату.

ОАО "СЗТТ" обратился в Департамент научно-технической политики и международного сотрудничества ОАО "ФСК ЕЭС" с просьбой при очередном пересмотре [4] внести соответствующие изменения в п.7.4, а также дал предложения по изменению ряда других пунктов, касающихся измерительных трансформаторов тока и напряжения, на что получено принципиальное согласие.

Литература

1. Г.Н. Александров "Теория применения ОПН для ограничения перенапряжений". Новости электротехники. №6(12), 2001. с.14-15.
2. А.В. Журахівській, Ю.А. Кенс, З.М. Бахор, Р.В. Мезинський "Підвищенн експлуатаційної надійності трансформаторів напруги в мережах з ізольованою нейтраллю". Энергетика и электрификация. №6, 1999. с.35-39.
3. Г.А. Евдокунин, С.В. Гудилин, А.А. Корепанов "Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ". Электричество №12, 1998. с.8-22.
4. "Объем и нормы испытаний электрооборудования". М.Энас.1998.

ПРИМЕЧАНИЕ

Система Свердловэнерго

Рисунок 1. Принципиальная схема и характеристики элементов схемы электроснабжения установки "Печь-ковш"

Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема R C - цепочки трансформатора ЭТЦН-32000/32