

УДК 621.316.11.027.5.014.7

Ю.В. Мельникова (6 курс, каф. ЭнЭл), В.А. Стефановский (инж.),  
Л.А. Кучумов, к.т.н., проф.

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ, МИНИМИЗИРУЮЩИХ УЩЕРБЫ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 КВ

В последние годы наблюдается рост числа исследований, направленных на совершенствование сетей с изолированной нейтралью [1...3]. В комплексе предлагаемых мероприятий особое внимание уделяют совершенствованию способов компенсации емкостной составляющей тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) с помощью специальных управляемых дугогасящих реакторов (ДГР) и применению резистивного заземления нейтрали. Наблюдаемые на практике резонансные усиления в режимах ОЗЗ высших гармоник, когда эффективное значение этих гармоник тока в месте повреждения часто превышает уровень, считающийся допустимым для первой гармоники, стимулировали проведение соответствующих исследований этих малоизученных явлений [4].

Специалисты кафедры ЭСиС принимали участие в обследовании большого количества электрических сетей 6-10 кВ промышленных предприятий и разработали соответствующие рекомендации по совершенствованию режимов нейтралей этих сетей. На основании полученного опыта признано целесообразным проведение следующего комплекса расчетно-экспериментальных исследований, предшествующих выработке конкретных рекомендаций:

- изучение схем и параметров всех участков электрических сетей 6-10 кВ, находящихся под напряжением, с последующим расчетом емкостно-активных параметров сопротивления изоляции на землю, уровней токов ОЗЗ и режимов нейтралей;
- оценка существующих условий компенсации емкостной составляющей тока с помощью ДГР (ступенчатая или автоматическая настройка ДГР, ведется ли периодическое или непрерывное наблюдение за параметрами электрической сети);
- оформление аналитического расчета результирующего сопротивления изоляции на землю и, соответственно, токов ОЗЗ в электронных таблицах, являющихся, по существу, версией кабельных журналов, позволяющих легко отслеживать текущие изменения параметров и оперативно получать результирующие токи и сопротивление изоляции на землю, распределение токов нулевой последовательности при произвольно выбранном месте замыкания;
- проведение экспериментальных замеров токов замыкания безопасным для оборудования косвенным методом, заключающимся в подключении к фазе сети калиброванной емкости. Разработанный алгоритм и программа расчета позволяют по информации только о модулях фазных напряжений до и после подключения емкости достаточно точно определить активную и реактивную составляющие токов ОЗЗ (сопротивления изоляции);
- анализ существующих защит нулевой последовательности, действующих на сигнализацию или отключение (отключение обычно применяется только для конечных электропотребителей типа электродвигателей). Особое внимание уделяется условиям, обеспечивающим селективную работу защит в условиях стопроцентной компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ. Следует оценить возможность внедрения в исследуемой электрической сети резистивного заземления нейтрали для повышения эффективности работы токовых защит по нулевой последовательности и более сложных защит, реагирующих на направление потока активной мощности нулевой последовательности. Надежность селективного определения повреждения

участка сети позволяет перейти на принцип быстрого отключения участка сети с ОЗЗ с организацией подачи питания на обесточенного потребителя за счет быстродействующего ввода резервного питания;

- построение и анализ частотных характеристик (ЧХ) возможных контуров однофазных замыканий, для чего предусмотрены специальные приемы расчета. Частота, при которой появляется экстремум ЧХ контура с минимальным сопротивлением, является резонансной частотой. Можно ожидать, что в токе ОЗЗ будут доминировать высшие гармоники с частотой, близкой к резонансной;
- расчетно-экспериментальное определение параметров источников гармонических возмущений в нормальном режиме, знание которых используется для оценки уровней высших гармоник в токах замыкания;
- составление трехфазных математических моделей исследуемой электрической сети с использованием универсального программного комплекса «ГАММА» [5] с внесением эквивалента гармонических возмущений, имитирующих реально существующие возмущения. Алгоритмы расчета высших гармоник в этих моделях базируются на известном методе гармонического баланса. Корректно учитываются зависимости активных сопротивлений, индуктивностей и емкостей расчетной схемы от частоты гармоники. Математические модели позволяют оперативно проводить многовариантные расчеты при любых вариантах построения исследуемой сети. В результате можно получить прогнозы уровней высших гармоник в токах ОЗЗ. Имеющийся опыт сопоставления расчетных и фактических данных свидетельствует о большой достоверности подобных прогнозов.

Приведенный «сценарий» анализа режимов нейтрали с дополнительно выполненными в некоторых случаях натурными опытами металлического замыкания на землю с осциллографированием всех высокочастотных процессов при помощи современных цифровых осциллографов был применен в системах электроснабжения крупнейших предприятий Северо-Запада.

Выполнение вышеизложенного комплекса расчетов и измерений позволяет дать обоснованные технические рекомендации по повышению надежности электроснабжения исследуемого предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Черников А.А. Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью. М.: Энергия, 1974. 96с.
2. Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей. - Киев: Наук. думка, 1985.-264 с.
3. Шабад М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ. Конспект лекций. – СПбГТУ, ПЭИПК, 1997.
4. Кузнецов А.А. Исследование резонансных процессов на высших гармониках в несимметричных режимах работы систем электроснабжения. – Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. /СПбГТУ СПб, 2000, 16 с.
5. Кучумов Л.А., Картасиди Н.Ю., Кузнецов А.А., Пахомов А.В., Харлов Н.Н. Применение метода гармонического баланса для расчетов несинусоидальных и несимметричных режимов в системах электроснабжения // Электричество, №12, 1999.