

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Материалы  
IX Всероссийской научно-технической  
конференции

---

---

*ИТЭЭ-2014*

---

---

ЧЕБОКСАРЫ

2014

нальных составляющих, будут меняться во времени, в связи с чем в оценке начальной фазы возникает смещение. Значение смещения зависит линейно от момента времени вычисления оценки и отклонения частоты гармоники от номинального значения. Свойства ортогональных составляющих и вычисляемых на их основе оценок амплитуды и начальной фазы не зависят от метода их определения.

#### Литература

Лямец Ю.Я. Разложение входных величин релейной защиты на ортогональные составляющие / Ю.Я. Лямец, Н.В. Подшивалин // Известия РАН. Энергетика. — 1986. — № 3. — С. 62–70.

В.И. Антонов, В.А. Наумов, А.В. Солдатов, Н.Г. Иванов  
(Чебоксары, ЧГУ, НПП«ЭКРА»)

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ТОКА СЕТЕЙ 110-750 КВ

Измерительные органы цифровых систем релейной защиты и автоматики (РЗА), использующие классический фильтр Фурье для определения основной гармоники тока, имеют быстроедействие не более одного периода промышленной частоты. Одним из путей повышения быстрогодействия является использование методов обработки сигнала на окне наблюдения менее одного периода промышленной частоты, например методов структурного анализа [1].

Основой структурного анализа является адаптивная модель сигнала. Из-за структурной неопределенности сигнала порядок адаптивной модели приходится брать заведомо больше порядка распознаваемого сигнала [2]. Поэтому для повышения распознающей способности структурного анализа желательно знать верхнюю границу порядка сигнала.

Настоящая работа посвящена анализу режимов электрических сетей 110–750 кВ с точки зрения характера и структуры сигналов тока на входе РЗА.

В сети с нелинейной нагрузкой (выпрямители, дуговые печи, статические компенсаторы реактивной мощности, инверторы и т.д.) ток наряду с основной гармоникой будет содержать высшие гармоники. Поскольку в России отсутствуют требования к содержанию высших гармоник в токе, то для оценки уровня высших гармоник можно использовать нормы стандарта [3]. Согласно им в сетях высокого напряжения действующее значение гармоник с номерами до 11 не превышает 7,5% и 1,875% основной гармоники для нечетных и четных гармоник соответственно. В сетях сверхвысокого и ультравысокого напряжения те же параметры будут равны 3,0% и 0,75% соответственно.

В стандарте [3] нормируется содержание гармоник и более высоких порядков, однако их влияние на работу РЗА устраняют специальные фильтры нижних частот измерительного тракта. Амплитудно-частотная характеристика этих фильтров выбирается таким образом, чтобы все гармоники с частотой выше частоты Найквиста были подавлены. Поэтому можно считать, что максимальная частота гармоники во входных сигналах РЗА не превышает половины частоты дискретизации сигнала.

При коротком замыкании (КЗ) в токе может появиться аperiodическая и затухающие периодические слагаемые. Постоянная времени аperiodической слагаемой может быть от 0,15 до 0,35 с при КЗ на шинах электрической станции и от 0,02 до 0,08 с – при КЗ на шинах подстанции [4]. Частоты затухающих периодических слагаемых могут быть как ниже, так и выше частоты основной гармоники [5]. В токе КЗ в сетях с протяженными линиями электропередачи число затухающих гармонических слагаемых значительно, но энергия свободного процесса сосредоточена в основном в аperiodической слагаемой и затухающей периодической слагаемой самой низкой частоты. Остальные слагаемые по уровню обычно слабы, а их частоты превышают частоту Найквиста [6].

Таким образом, порядок входного сигнала РЗА при КЗ зависит от класса напряжения и колеблется от 3 до 5. Наличие высших гармоник повышает порядок сигнала. Максимальная частота гармоники определяется частотой Найквиста.



#### Литература

1. Антонов В.И. Структурный анализ входных сигналов цифровых систем релейной защиты и противоаварийной автоматики // *Электротехника*. – 1995. – № 6.
2. Антонов В.И. Эффективные структурные модели входных сигналов цифровой релейной защиты и автоматики / В.И. Антонов, В.А. Наумов, А.И. Фомин // *Электричество*. – 2012. – № 11.
3. IEEE Std 519-1992. IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems.
4. Ленков Ю.А. Выбор коммутационных аппаратов и тоководущих частей распределительных устройств электрических станций и подстанций / Ю.А. Ленков, Г.Х. Хожин. – Павлодар: Изд-во ПГУ, 2002.
5. Лосев С.Б. Расчет электромагнитных переходных процессов для релейной защиты в линиях большой протяженности / С.Б. Лосев, А.Б. Чернин. – М.: Энергия, 1972.
6. Soon yeol Nam, Sang Hee Kang, Jong Keun Park. Patent US 6597160 B2. Method for measuring fundamental frequency component of fault current and voltage signal.

А.В. Солдатов, В.И. Антонов, В.А. Наумов, Н.Г. Иванов  
(Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ)

#### ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ

В последние годы основные исследования, связанные с защитами от замыканий на землю в сетях генераторного напряжения, направлены на исключение зоны нечувствительности при замыканиях на землю в обмотке статора генератора вблизи нейтрали, а также на повышение чувствительности и селективности защит при перемежающихся дуговых замыканиях (ПДЗ) [1]. Предпринятые исследования и разработки привели к созданию

большого разнообразия защит от данного вида повреждений [2], однако практически все они не способны обеспечить необходимый уровень технического совершенства при работе в сетях с широким диапазоном изменения частоты.

В настоящем докладе рассматриваются условия работы и особенности реализации защит от замыканий на землю в электрических сетях с широким диапазоном изменения частоты.

Сети генераторного напряжения традиционно эксплуатируются в режиме с изолированной или компенсированной нейтралью. Токи нулевой последовательности промышленной частоты, возникающие при замыканиях одной фазы на землю в таких сетях, малы и неразличимы на фоне токов небаланса. Поэтому для обеспечения 100%-ной защиты обмотки статора генератора от замыканий на землю в качестве информационных слагаемых используют составляющие, частота которых отличается от промышленной. Как правило, ими являются высшие гармоники или субгармоника, специально инжектируемая в сеть. Уровень таких слагаемых слабо различим на фоне преобладающей составляющей основной гармоники промышленной частоты. Поэтому для выделения слабых слагаемых используют аналоговые фильтры с высокой добротностью.

Однако существуют сети, в которых частота основной гармоники меняется в широких пределах [3]. Примером таких сетей являются сети гидроаккумулирующих станций (ГАЭС). Их особенность заключается в том, что гидроагрегаты ГАЭС могут работать, в зависимости от суточных колебаний нагрузки, как в качестве генераторов, так и двигателей или синхронных компенсаторов. Изменение частоты в диапазоне от 2 до 60 Гц является для них нормальным режимом работы. Положение усугубляется и тем, что в этих сетях высшие гармоники имеют значительный уровень [4]. Связано это с работой тиристорного преобразователя частоты, посредством которого гидроагрегат подключается к электроэнергетической системе.

Известен еще один режим, сопровождающийся широким изменением частоты, – режим электрического торможения генератора. Возможность такого торможения обязательно предусматривается для гидрогенераторов мощностью более 50 МВт как обязательное техническое мероприятие [5], необходимое для