

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Нижегородский
государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»,
д-р физ.-мат. наук, профессор

_____ Куркин А.А.

«11» января 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» на диссертационную работу Солдатова Александра Вячеславовича **«Многопараметрическая дифференциальная защита от однофазных замыканий на землю статора генератора, работающего на сборные шины»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы (технические науки)

Актуальность темы исследования

Особенностью защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) обмотки статора генератора, работающего на сборные шины, является существование гальванической связи с другими генераторами и электрической сетью потребителей. Наличие гальванической связи усложняет обеспечение селективности и делает невозможным использование защит, контролирующих гармоники напряжения нулевой последовательности.

Защиты от ОЗЗ, контролирующие высшие гармоники фазных токов, обладают более широкой информационной базой. Разработка такой защиты связана с решением технологически сложной задачи точного измерения слабых информационных сигналов на фоне преобладающей основной гармоники. Теоретические и практические задачи, связанные с разработкой многопараметрической дифференциальной защиты генератора, работающего на сборные шины, ранее не рассматривались, поэтому диссертационная работа Солдатова А.В., целью которой является разработка селективной цифровой защиты, чувствительной к ОЗЗ в любой точке обмотки статора генератора, работающего на сборные шины, несомненно является актуальной.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (76 наименований) и приложений. Общий объем составляет 120 страниц, в том числе основного текста 112 страницы, 37 рисунков, 9 таблиц.

Анализ содержания диссертационной работы

В первой главе диссертационной работы подробно рассмотрены физические основы возникновения гармоник в генераторной сети. Отмечено, что синхронный генератор является источником нечетных высших гармоник, главным образом из-за нелинейности его магнитной системы. Предложена универсальная модель электрической сети, использующая представление параметров элементов сети и электрических величин в относительных единицах и позволяющая анализировать с единых позиций информационную ценность гармоник тока генератора различной частоты для защит от ОЗЗ.

Во второй главе развиваются отдельные разделы информационной теории защит от ОЗЗ статора генератора. Исследованы алгоритмы, использующие различные информационные сигналы (основную гармонику тока, основную и 3-ю гармоники напряжения нулевой последовательности, низкочастотную гармонику, инжектируемую в сеть, и высшие гармоники тока) и выявлены наиболее перспективные алгоритмы для применения в новых поколениях защит от ОЗЗ статора генератора, работающего на сборные шины. Обоснована эффективность алгоритмов, основанных на контроле высших гармоник токов фаз и субгармоники, искусственно инжектируемой в сеть.

В третьей главе предложена многопараметрическая дифференциальная защита от ОЗЗ генератора, работающего на сборные шины. Описаны главные преимущества разрабатываемой защиты, заключающиеся в ее абсолютной селективности, достигаемой благодаря применению свойства индивидуальности групп гармоник и контролю множества параметров высших гармоник дифференциального тока. Показано, что информационное содержание гармоник одной группы обогащает информационную ценность гармоник других групп, повышая чувствительность и селективность защиты. Сформулирована методика оценки разрешающей способности тракта АЦП. Разработан метод активно-адаптивного распознавания «слабого» информационного сигнала на фоне доминирующего фонового сигнала на основе применения общей теории адаптивного структурного анализа сигналов. Показано, что метод может быть использован для селективного выделения отдельных высших гармоник тока на фоне существенно преобладающей основной гармоники в условиях широкого диапазона изменения частоты сети.

В четвертой главе рассмотрены практические вопросы разработки многопараметрической дифференциальной защиты от ОЗЗ статора генератора. Приведены

результаты испытаний тракта активно-адаптивного распознавания и детали проекта по установке защиты в опытную эксплуатацию на Казанской ТЭЦ-2.

Значимость полученных автором диссертации результатов для релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем

Значимость для теории заключается в следующем:

1. Предложена универсальная модель сети с генераторами и сформулированы свойства индивидуальности групп гармоник, позволяющие разработать методику расчета любых гармоник токов в различных точках сети.

2. Разработка отдельных разделов информационной теории алгоритмов защит от ОЗЗ статора генератора, работающего на сборные шины, позволяет восполнить пробелы в теории защит генераторов от ОЗЗ.

Значимость для практики заключается в следующем:

1. Разработанные алгоритмы многопараметрической дифференциальной защиты от ОЗЗ генератора, работающего на сборные шины, могут быть использованы в защитах от ОЗЗ другого оборудования и линий электропередачи.

2. Предложенный метод активно-адаптивного распознавания сигналов может быть применен при проектировании прецизионных трактов АЦП цифровых устройств РЗА нового поколения.

3. Получено 7 патентов и авторских свидетельств на результаты интеллектуальной деятельности, связанные с разработкой алгоритмов многопараметрической дифференциальной защиты от ОЗЗ.

4. Разделы информационной теории алгоритмов защит от ОЗЗ статора генератора используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. Н.И. Ульянова».

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых микропроцессорных систем защиты стационарного оборудования и электрической сети 6-35 кВ, обладающих повышенной чувствительностью и селективностью.

Отдельные разделы информационной теории алгоритмов защит от ОЗЗ статора генератора, изложенные в диссертационной работе, также целесообразно использовать при чтении лекций по курсам «Основы интеллектуальной энергетики» направления подготовки бакалавров 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника», «Системы и сети распределенной генерации», «Управляемые системы передачи электроэнергии» направления подготовки магистров 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

На обсуждение выносятся следующие вопросы и замечания

1. Во второй главе диссертации исследованы основные информационные признаки, которые могут использоваться для дифференциальных защит от ОЗЗ статора генератора, в том числе применяемые в существующих устройствах.

Однако анализ отечественных и зарубежных технических решений, особенностей, достоинств и недостатков защит генераторов в диссертационной работе отсутствует.

Считаем, что такой анализ необходимо было сделать в первой главе диссертационной работы, чтобы в полной мере соотнести разработки автора с известными и перспективными вариантами исполнения защит генераторов.

2. По нашему мнению, не в полной мере корректна постановка задачи на стр. 63 диссертации, связанная с увеличением разрешающей способности тракта АЦП при оценке высшей гармоники на фоне преобладающей основной гармоники.

Известно, что решение такой задачи обеспечивается простым увеличением разрядности АЦП, либо включением перед АЦП специальных аналоговых фильтров, подавляющих составляющую промышленной частоты (в том числе при ее отклонениях от номинальных значений).

Важно, что при этом необходимо выбирать число разрядов АЦП, не исходя из уровня требуемого динамического диапазона (выражение 3.28 диссертации), а исходя из отношения сигнал/шум, обеспечиваемого в процессе квантования, например, [Рибейро Пауло Ф., Дуке Карлос А., Да Силвейра Пауло М., Серкейра Аугусто С. Обработка сигналов в интеллектуальных сетях энергосистем. – М.: ТЕХНОСФЕРА. 2020. стр. 113], т.е. 6 дБ на разряд. Такое аналого-цифровое преобразование позволяет адекватно воспроизвести совокупности гармоники основной частоты и высших гармоник, а под шумом здесь подразумевается шум квантования.

С этой точки зрения, отношение сигнал/шум, например выражение (3.22), следует трактовать, как отношение сигнал/помеха.

3. В ходе исследований, изложенных в главе 3, рассматривался ли вариант цифровой обработки сигналов на основе Фурье-фильтрации, предполагающий подстройку коэффициентов фильтра с учетом отклонений частоты? Какими преимуществами и недостатками обладает адаптивный структурный анализ по сравнению с таким вариантом цифровой обработки сигналов?

4. Оригинальный информационный базис сигналов, разработанный автором и предназначенный для выявления ОЗЗ в обмотке статора генератора, позволяет определять поврежденный участок (например, графические зависимости 2.7-2.10 диссертации).

Почему функция определения места повреждения не реализована в разработанном терминале ЭКРА 200?

5. В многопараметрической дифференциальной защите от ОЗЗ статора генератора, работающего на сборные шины, на базе микропроцессорного терминала РЗА, выпускаемого ООО НПП «ЭКРА», вычисление фазных дифференциальных токов

выполняется цифровым способом. Однако вычисление фазных дифференциальных токов в аналоговом виде позволяет существенно снизить уровень основной гармоники в токе и, как следствие, уменьшить динамический диапазон токов, контролируемых защитой, и существенно упростить измерение высших гармоник дифференциальных токов. Почему выбрано именно такое техническое решение?

6. Редакционные замечания, связанные с наличием опечаток, отсутствием пояснений некоторых величин, входящих в математические выражения и др.

Список литературы состоит из 76 источников, причем более 75% из них публикации автора. Следовало бы дополнить литературу работами авторов, отмеченных во введении диссертации и автореферате.

Отмеченные замечания не изменяют несомненной положительной оценки диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842.

В соответствии с п. 9 диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития электроэнергетики страны.

В соответствии с п. 10 диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

В соответствии с п. 11, 12, 13 основные научные результаты исследований опубликованы в 52 работах, из них 16 в рецензируемых научных изданиях, их количество соответствует требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В соответствии с п. 14 диссертационная работа содержит ссылки на источники заимствования материалов и на работы других авторов. В диссертации отмечен личный вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве.

Заключение

Диссертационная работа Солдатова Александра Вячеславовича «Многопараметрическая дифференциальная защита от однофазных замыканий на землю статора генератора, работающего на сборные шины», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития электроэнергетики страны.

Диссертация соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842.

На основании вышеизложенного считаем, что Солдатов Александр Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Отзыв на диссертацию Солдатова А.В. «Многопараметрическая дифференциальная защита от однофазных замыканий на землю статора генератора, работающего на сборные шины» обсуждён и одобрен на заседании кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», протокол № 5 от «11» января 2022 г.

Профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

д-р. техн. наук, профессор

Куликов Александр Леонидович

Заведующий кафедрой «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

канд. техн. наук, доцент

Севостьянов Александр Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Телефон: +7 (831) 436-23-25; факс: +7 (831) 436-94-75; e-mail: nntu@nntu.ru

web-сайт: <https://www.nntu.ru/>

Подпись Куликова
Ст. диспетчер
11.01.2022

Севостьянов А.А. заверено.
Куликов М.А.

