

ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора технических наук, профессора
Куликова Александра Леонидовича на диссертационную работу
Шендера Сергея Евгеньевича

на тему: «Централизованная защита дальнего резервирования в
электрической сети на основе синхронизированных векторных измерений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика

1. Актуальность темы

Применение синхронизированных векторных измерений (СВИ) в электрических сетях различного класса напряжений позволяет решать ряд важных задач цифровой релейной защиты (РЗ). В частности использование СВИ способствует существенному повышению технического совершенства РЗ в условиях достаточно больших временных задержек ее срабатывания. Существующие защиты дальнего резервирования в некоторых схемно-режимных условиях имеют низкую чувствительность к удаленным коротким замыканиям (КЗ), а также большую выдержку времени на линиях электропередачи (ЛЭП) с ответвлениями, том числе близкими к концам линии, из-за отстройки от действия защит ошиновки на ответвительных подстанциях.

Поэтому диссертационная работа Шендера С. Е., целью которой является разработка централизованной системы дальнего резервирования, позволяющей с помощью синхронизированных векторных измерений источников питания выявить поврежденную линию и разрешить работу защит дальнего резервирования на смежных с ней линиях, является несомненно актуальной.

2. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в решении проблемы согласовании ступеней дальнего резервирования, возникающей в определенных схемно-режимных ситуациях.

В представленной Шендером С.Е. диссертационной работе к результатам, обладающими научной новизной, следует отнести:

- метод фиксации скачкообразного изменения режима по данным СВИ, отличающийся возможностью отстроить централизованную защиту дальнего резервирования от электромеханических переходных процессов;
- способ локализации повреждения по данным СВИ, включающий моделирование режимов КЗ в различных точках контролируемой электрической сети по измеренным напряжениям в отдельных точках этой сети, а также определение невязки (функция рассогласования) между расчётными и измеренными токами в отдельных точках этой сети для каждого из моделируемых режимов работы;

- структуру устройства централизованной защиты дальнего резервирования с использованием СВИ на источниках питания для частично наблюдаемой электрической сети;
- алгоритмы контроля срабатывания централизованной защиты дальнего резервирования и разрешения срабатывания ступеней дальнего резервирования для существующих терминалов РЗ, а также для отдельного устройства, разрешающего срабатывание существующего терминала РЗ.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методов фиксации скачкообразного изменения режима и локализации точки короткого замыкания в распределительной сети 110 – 220 кВ по данным синхронизированных векторных измерений, реализация данных методов посредством программного обеспечения, позволяющего автоматизировать расчёты и вычисления. Помимо этого, вклад автора состоит в предложениях по структуре централизованной защиты дальнего резервирования с использованием СВИ.

3. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая ценность заключается в разработке методов фиксации скачкообразного изменения режима по данным СВИ, а также локализации точки КЗ в распределительной сети 110-220 кВ, которые могут применяться как в рамках реализации централизованной защиты, так и в виде самостоятельных модулей для решения таких задач как ОМП и выявление переходного процесса в электрической сети.

Практическая значимость полученных результатов связана с решением проблем повышения чувствительности и быстродействия, а также обеспечения селективности защит дальнего резервирования в сложносвязанных электрических сетях 110-220 кВ.

4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием методов решения систем линейных уравнений, контроля производных по времени параметров электрического режима и контроля режима работы электрической сети.

Достоверность полученных выводов определена результатами численных тестов, проведенных на математической модели, признанной научным сообществом.

Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в целом обоснованными.

5. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертационная работа Шендера С.Е. отвечает критериям «Положения о

присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», утвержденного Приказом ректора ФГАОУ ВО УрФУ от 8 мая 2024 г. №450/03. В ней соблюдены следующие требования:

5.1. Цель работы, а именно: *разработка системы дальнего резервирования, позволяющей с помощью синхронизированных векторных измерений источников питания выявить поврежденную линию и разрешить работу защит дальнего резервирования на смежных с ней линиях*, – достигнута. Диссертационная работа является законченной научно-квалифицированной работой, так как содержит решение научной и практической задачи, имеющей существенное значение для развития электроэнергетики страны.

5.2. Диссертация написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе ее автора в науку. У соискателя имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Предложенные соискателем научно-практические решения аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов.

5.3. Основные результаты диссертационной работы Шендера С.Е. представлены в 7 опубликованных научных работах, из них 2 – в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, а также одна в издании, входящем в международную базу цитирования Scopus. Результаты обсуждались на международных научных конференциях.

5.4. В диссертационной работе соискателя сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов научной деятельности.

5.5. Тема и содержание диссертационной работы Шендера С.Е. соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика по следующим пунктам:

– п.8. «Разработка и обоснование алгоритмов и принципов действия устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики для распознавания повреждений, определения мест и параметров повреждающих (возмущающих) воздействий в электрических сетях»;

– п.10. «Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, электрических сетей и систем электроснабжения»;

– п.11. «Разработка методов мониторинга и анализа режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид»;

– п.16. «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического

регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике».

6. Анализ содержания диссертации

Представленная диссертационная работа включает введение, 4 главы, заключение, библиографический список из 116 наименований, содержит 127 страниц, 10 таблиц и 40 рисунков.

Во введении раскрыта актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость результатов, выносимые на защиту положения.

В первой главе выполнен анализ способов резервирования в электрических сетях, выявлены особенности построения РЗ дальнего резервирования, а также принципов согласования ее ступеней. Дополнительно реализовано сопоставление методов ОМП в контексте задачи обнаружения ЛЭП с КЗ, особое внимание уделено ОМП с применением технологии СВИ.

Во второй главе разрабатывается структура централизованной защиты дальнего резервирования в частично наблюдаемой электрической сети с применением векторных измерений. Обсуждаются основные принципы построения централизованной защиты дальнего резервирования, приводятся критерии и область применения предлагаемой РЗ. Анализируются особенности передачи данных при реализации разработанной централизованной защиты.

В третьей главе формируется методическое обеспечение предлагаемой централизованной защиты. Описываются методы фиксации скачкообразного изменения режима и локализации точки КЗ, в частности: описывается принцип действия, приводятся необходимые математические выражения, исследуются характеристики разработанных методов. Обсуждаются алгоритм контроля срабатывания централизованной защиты дальнего резервирования и разрешения срабатывания ее ступеней, а также его реализация в существующем локальном микропроцессорном устройстве РЗ и в промежуточном устройстве в связке с локальным устройством РЗ.

В четвертой главе Осуществляется проверка работоспособности предлагаемой структуры централизованной защиты дальнего резервирования. Описывается тестовая исследуемая электрическая сеть, её модель, а также представлены результаты вычислительных экспериментов. Отмечается, что применение централизованной защиты дальнего резервирования позволяет избежать необходимости согласования ступеней резервных защит посредством выдержек времени и зон пусковых органов.

В заключении сформулированы выводы, которые соответствуют цели и задачам, поставленным в диссертационной работе.

7. Вопросы и замечания по содержанию диссертации

На обсуждение предлагается вынести следующие вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы:

1. По мнению оппонента, целесообразно было бы включить в первую главу диссертации анализ особенностей реализаций РЗ с использованием СВИ, в том числе технических решений, связанных с резервированием РЗ.

Для такого анализа целесообразно было бы использовать в том числе и отечественные источники, например, [Фадке Арун Г., Торп Джеймс С. Синхронизированные векторные измерения и их применение. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. –320 с., глава 10 «Системы защиты с комплексными векторами на входе»].

2. Одним из перспективных направлений развития распределительных электрических сетей является проектирование цифровых районов электрических сетей (РЭС), например, [СТО 34.01-21-005-2019 Цифровая электрическая сеть. Требования к проектированию цифровых распределительных электрических сетей 0,4-220 кВ. Дата введения: 29.03.2019].

Каким образом, предполагается реализовать предложенную централизованную защиту дальнего резервирования с учетом цифровых РЭС в условиях широкого применения реклоузеров?

3. В заключении диссертации и автореферата указано, что «время идентификации типа и места короткого замыкания для одной точки при тестировании на исследуемой сети составило 23 секунды на Intel Core i9 в электрической сети из семи узлов». Очевидно, что время реализации централизованной защиты дальнего резервирования слишком велико.

Какие меры по повышению быстродействия ОМП ЛЭП в централизованной защите автор предполагает применить? Планируется ли использование альтернативных способов ОМП ЛЭП, обладающих большим быстродействием, в разработанной защите дальнего резервирования?

4. В тексте диссертации и автореферата отсутствуют численные показатели выигрыша предложенной централизованной защиты дальнего резервирования по сравнению с существующими техническими решениями, в том числе и при исследовании тестовых схем районов электрических сетей.

5. Из главы 3 (п.3.1) не ясно, каким образом выбирается уставка при реализации метода фиксации скачкообразного изменения режима по данным СВИ токов и напряжений на источниках питания в электрической сети?

6. Из текста диссертации не понятно, обеспечивает ли предложенная защита дальнего резервирования с использованием СВИ резервирование отключений при КЗ за трансформаторами ответственных подстанций? Хватает ли чувствительности у предложенной защиты?

7. В электрических сетях направлением развития коммуникационных протоколов МЭК 61850 являются протоколы R-GOOSE и R-SV, действие которых выходит за пределы цифровых подстанций. Предполагается ли

использовать эти протоколы обмена информации в централизованной защите дальнего резервирования совместно со СВИ? Какие дополнительные преимущества защиты при этом можно получить?

8. Замечания редакционного характера:

– не в полной мере соблюдены требования к оформлению списка литературы;

– в тексте автореферата и диссертации имеются случаи не полного пояснения к переменным, используемым в формульных выражениях и рисунках;

– имеются случаи отсутствия знаков препинания, в том числе в математических выражениях;

– не все введенные сокращения внесены в список сокращений и расшифрованы (например, «ФСИР», рис. 3.7 диссертации, стр. 76).

Однако указанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы.

8. Общее заключение

Диссертационная работа Шендера С.Е. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, обладающей актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью полученных результатов. В диссертационной работе решена важная научная и практическая задача, заключающаяся в разработке системы дальнего резервирования, позволяющей с помощью синхронизированных векторных измерений источников питания выявить поврежденную линию и разрешить работу защит дальнего резервирования на смежных с ней линиях.

Полученные соискателем результаты базируются на корректном использовании методов математического моделирования режимов электрических сетей, получении и обработки экспериментальных данных.

Содержание диссертационной работы подробно отражает последовательность решения поставленных задач. Текст диссертационной работы изложен грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы диссертационного исследования представлены в объеме, достаточном для понимания, доступно и репрезентативно. Сделанные в работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации Шендера С.Е. соответствует диссертационной работе по основным квалификационным признакам.

В целом диссертационная работа Шендера С.Е. на тему *«Централизованная защита дальнего резервирования в электрической сети на основе синхронизированных векторных измерений»*, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является актуальной,

обладает научной новизной и практической значимостью полученных результатов, соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика, а также требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ».

Шендер Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Официальный оппонент

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

 Куликов Александр Леонидович


18 ноября 2024 г.

Тел. (моб): +7(910) 791-26-56

E-mail: inventor61@mail.ru

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


Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.24

Телефон: +7(831) 436-63-07

E-mail: nntu@nntu.ru, Web-сайт: <https://www.nntu.ru/>

*Член секретарь
Ученого совета*



 У.Н. Мерзханов