

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кароматулло Азизовича Махмудова «Исследование однофазного автоматического повторного включения в четырёхпроводных трёхфазных линиях сверхвысокого напряжения», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 «Электроэнергетика»

Основная цель диссертационной работы заключается в разработке способов и алгоритмов для осуществления успешного однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) в четырёхпроводных трёхфазных линиях. Поставленная цель достигается созданием методического и вычислительного инструмента, включая разработку системы моделей, методов и средств решения задач, учитывающих особенности режимов протяжённых четырёхпроводных трёхфазных линий.

Актуальность диссертационной работы

Четырёхпроводная трёхфазная линия электропередачи (ЧТЛ) имеет такую же пропускную способность, как и двухцепная линия, а по условию надёжности она может переходить в трёхфазный режим работы с передачей не менее 50% исходной максимальной мощности, подобно двухцепной линии.

Для внедрения ЧТЛ должен быть проведён комплекс исследований, какой в своё время был осуществлён для традиционных трёхфазных линий. В частности, эти исследования должны включать анализ схемно-режимных характеристик в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах, разработку систем защиты от внутренних перенапряжений, решение вопросов релейной защиты, обоснование ОАПВ для ликвидации неустойчивых наиболее вероятных однофазных отказов, оценку экологического влияния такой линии и ряд других вопросов.

Актуальным вопросом является исследование способов ликвидации неустойчивых однофазных повреждений на ЧТЛ в паузу ОАПВ, ввиду их наибольшей вероятности возникновения.

Научная новизна и практическая ценность диссертационной работы

Научная новизна диссертации состоит в создании методических основ для расчета вторичных токов дуги в линиях сверхвысокого напряжения в режиме бестоковой паузы ОАПВ и в разработке эффективных способов

ОАПВ для успешного гашения дуги подпитки, базирующихся на использовании управляемых шунтирующих реакторов, а также с применением автоматического шунтирования фазы или полуфазы ЧТЛ.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке программ для расчета вторичных токов дуги и восстанавливающихся напряжений в паузу ОАПВ в ЧТЛ и предложенных рекомендациях для осуществления успешного ОАПВ.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математического аппарата теории волновых процессов в многопроводных линиях высокого напряжения, а также программной реализацией в среде Mathcad разработанной методики анализа режимов в ЧТЛ с использованием двух различных методов, дающих совпадающие результаты.

Общая характеристика диссертации и личный вклад автора

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объем – 133 страниц, в т.ч. 13 таблиц, 78 рисунков. Список литературы содержит 66 наименований.

Большинство представленных в работе материалов получено лично автором.

Во введении, как это и требуется, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, практическая ценность и достоверность результатов работы, описана структура диссертации в целом.

В первой главе даётся обзор путей повышения пропускной способности и надёжности линий сверхвысокого напряжения (СВН) традиционного типа, включая обычные ВЛ, компактные и сверхкомпактные ВЛ, ВЛ с резервной фазой, нетрадиционные ВЛ переменного тока, которые в свою очередь делятся на шестифазные ВЛ, управляемые самокомпенсирующиеся ВЛ и четырёхфазные ВЛ. Диссертант отмечает, что основной недостаток вышеупомянутых линий, исключая ВЛ с резервной фазой и четырёхфазные ВЛ, состоит в том, что при возникновении наиболее вероятных однофазных устойчивых отказов, линия должна полностью выводиться из работы. Этот факт даёт преимущество линиям постоянного тока, которые при однополюсных устойчивых повреждениях могут работать на одном полюсе с передачей до 50% от максимальной мощности. Недостаток линии с резервной фазой состоит том, что резервная фаза используется лишь в кратковременных аварийных режимах, а остальное время остается отключенной. Относительно четырёхфазных ВЛ отмечается

необходимость использования для их работы специальных трансформаторов Скотта СВН, которые в настоящее время в мире не производятся.

Диссертант рассматривает новый вариант четырёхпроводной трёхфазной линии электропередачи с полуфазами, которая имеет повышенную пропускную способность, соизмеримую с пропускной способностью двухцепной трехфазной линии, и повышенную надёжность, позволяющую передавать в послеаварийных режимах не менее 50% исходной максимальной мощности. Эти свойства достигаются за счёт того, что одна фаза выполняется в виде двух полуфаз, любая из которых в аварийных режимах используется как резервная фаза, а в средней части обычных фаз для симметрирования режима включены устройства продольной компенсации (УПК).

В диссертации доказывается, что при отсутствии УПК из-за разной конструкции фаз возникает недопустимая несимметрия режима. УПК, которые обеспечивают допустимый уровень несимметрии, имеют степень компенсации порядка 50%.

Во второй главе диссертантом предлагаются расчетные схем и алгоритмы для анализа вторичных токов дуги и восстанавливающихся напряжений в ЧТЛ.

Режиму ОАПВ соответствует расчётная схема, которая включает в свой состав участки ЧТЛ и сопутствующие элементы, к которым относятся шунтирующие реакторы (ШР) по концам линии, устройства продольной компенсации в средней части рабочих фаз, линейные выключатели и элемент, характеризующий дуговое замыкание.

В главе предлагается оригинальный алгоритм для определения вторичных токов дуги.

Для представления уравнений ЧТЛ в фазных координатах приводится решение уравнений линии в модальных координатах, после чего определяются матричные коэффициенты ЧТЛ, связывающие режимные переменные по концам участка линии.

Рассматривается П-образная схема замещения ЧТЛ, которая является полезной в следующей главе при рассмотрении схемы подпитки дуги.

В третьей главе анализируется ОАПВ при ликвидации неустойчивых аварий в ЧТЛ. В качестве используемых устройств рассматриваются нерегулируемые и регулируемые ШР и при автоматическом шунтировании фазы - шунтирующие выключатели.

Использование нерегулируемых ШР позволяет обеспечить паузу ОАПВ длительностью до 1,2 сек при авариях на фазах. При авариях на полуфазах имеет место устойчивая дуга, что требует перехода на трёхфазный режим работы линии.

Более эффективно применение ОАПВ при использовании управляемых ШР, поскольку такие устройства имеют пофазно регулируемые параметры.

Условия для успешного гашения дуги в паузу ОАПВ выполняются во всех случаях, и длительность паузы ОАПВ оказывается минимальной, равной 0,5 сек.

Если для компенсации зарядной мощности в нормальном режиме используются нерегулируемые ШР, то диссертант предлагает для успешного гашения дуги применять ОАПВ с автоматическим шунтированием фазы. В этом случае также обеспечивается успешное ОАПВ длительностью 0,5 сек.

В четвертой главе рассматриваются динамические переходы для оценки углов отклонения δ в паузу ОАПВ, которые рассчитываются с помощью угловых характеристик нормального режима, режимов ОКЗ и ОАПВ и послеаварийного режима.

В главе показано, что длительность искомой паузы ОАПВ и угол δ являются взаимосвязанными параметрами, совместный анализ которых позволяет найти зависимость вторичных токов дуги от максимального угла и соответственно искомую паузу ОАПВ.

В работе предложен алгоритм совместного анализа динамической устойчивости отправной станции и режима на линии в паузу ОАПВ с определением зависимости вторичного тока дуги от угла δ , найденного в процессе динамического перехода.

В пятой главе рассматривается вопрос усовершенствования адаптивного ОАПВ в ЧТЛ. Разработанные в нашей стране и за рубежом адаптивные ОАПВ применительно к традиционным линиям снижают вероятность включения фазы в конце цикла ОАПВ на неустранившееся однофазное КЗ или повторно возникающую дугу, но полностью не исключают такой ситуации.

Предлагается способ, в котором путём предварительных расчётов определяются на линии две зоны, примыкающие к отправной станции и приёмной системе. Осуществляется кратковременное одностороннее включение аварийной фазы со стороны отправной станции, если короткое или дуговое замыкание обнаружено во второй зоне, примыкающей к приёмной системе и соответственно одностороннее включение аварийной фазы со стороны приёмной системы, если замыкание обнаружено в первой зоне, примыкающей к отправной станции.

Определены границы зон на линии 500 кВ длиной 500 км и необходимые уставки для надёжной идентификации металлического или дугового повреждения.

Заключение содержит основные выводы, сформулированные по результатам исследований. Они обобщают теоретические и практические

результаты.

Апробация диссертационной работы и публикации

Основные положения работы докладывались на четырёх международных научно-технических конференциях и научных семинарах.

По результатам исследований опубликовано: 22 печатных работы, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных изданий ВАК РФ, 5 статей, входящих в наукометрическую базу Web of Science и Scopus, 11 статей в сборниках международных и всероссийских конференций и сборнике научных трудов. Получено 2 патента на изобретение Российской Федерации. Внедрение результатов диссертационного исследования подтверждено тремя актами.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. В нормальных режимах в ЧТЛ симметрирование осуществляется за счёт УПК в нетранспонированной линии. В послеаварийном режиме в линии без транспозиции возникнет значительная несимметрия, как в обычных трёхфазных линиях. Каким образом решается проблема несимметрии в послеаварийных режимах?

2. В работе рассматривается установка УПК в средней части линии. Более экономично было бы установить УПК по концам линии.

3. Предлагаются разные конструкции фаз и полуфаз, что усложняет конструкцию линии в целом и соответственно её сооружение. Почему диссертант отказался от варианта с одинаковой конструкцией фаз и полуфаз?

4. В главе 5 неудачно используется понятие адаптивного ОАПВ при предложении способа выявления устойчивой аварии на линии путём её одностороннего включения. Поэтому главу следовало бы озаглавить «Способ одностороннего включения линии для выявления устойчивой аварии».

5. В работе при расчёте различных несимметричных режимов используется матричный метод с представлением элементов схемы в фазных координатах. При этом разрывы на выключателях моделируются большим сопротивлением 10^6 Ом, а шунтирующие выключатели моделируются шунтами проводимостью 10 См. На каком основании выбраны такие величины и не повлияет значительный разброс параметров элементов матриц на точность расчетов?

6. Обоснована ли необходимость применения модального метода решения матричных уравнений длинной линии, если результатом расчета являются величины в фазных координатах?

Заключение

Приведённые замечания не снижают актуальности и значимости научно-квалификационной работы К.А. Махмудова. В ней, на основании выполненных автором исследований, разработаны теоретические положения

в области моделирования и проведен анализ ОАПВ в четырёхпроводных трёхфазных линиях, совокупность которых можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для электроэнергетики. Работа выполнена с учётом передовых позиций научно-технического прогресса в сфере электроэнергетика и отражает современные тенденции их развития.

Диссертация написана хорошим языком, автореферат и публикации автора полностью раскрывают её содержание. Работа прошла широкую апробацию на всероссийских конференциях и семинарах.

Считаю, что представленная работа «Исследование однофазного автоматического повторного включения в четырёхпроводных трёхфазных линиях сверхвысокого напряжения» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.4.3 "Электроэнергетика", а её автор Кароматулло Азизович Махмудов заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по названной специальности.

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор по науке – заведующий отделом систем релейной защиты и автоматики Общества с ограниченной ответственностью Научно – производственного предприятия «ЭКРА»

Дони Николай Анатольевич

06.09.2023

	Дони Николай Анатольевич
учёная степень, учёное звание	кандидат технических наук, старший научный сотрудник
полное и сокращённое наименование организации	Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА» (ООО НПП «ЭКРА»)
Место нахождения	428020, Чувашская республика – Чувашия, г. Чебоксары, пр-кт И. Я. Яковлева, д. 3, 428020
Телефон	+7 (835) 222-01-30
Адрес электронной почты	doni_na@ekra.ru

Отзыв получен 19.09.2023г. *Султанов А.А.*
 С отзывом ознакомлен 20.09.2023г. *Махмудов К.А.*