

Отзыв
официального оппонента, кандидата технических наук, доцента
Пановой Евгении Александровны
на диссертацию Банных Павла Юрьевича, выполненную на тему
«Развитие потоковой модели установившихся режимов электрических сетей
в трехфазном и однолинейном представлении»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.02 – «Электрические станции
и электроэнергетические системы»

На отзыв представлена:
диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав с выводами,
заключения, библиографического списка из 106 наименования и одного при-
ложения.

1 Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Банных Павла Юрьевича посвящена разработке алгоритма анализа режимов энергосистем, содержащих несимметричные участки, и соответствующей гибридной трехфазно-однолинейной модели электрической сети, позволяющей отдельные участки схемы моделировать в фазных координатах. Преимуществом использования такой модели энергосистемы для анализа режима является возможность выполнить расчет режима электрической сети в трехфазном и однолинейном представлении в одной вычислительной процедуре. При этом сети высокого напряжения, где несимметрия в установившемся режиме практически не наблюдается, моделируется в однолинейном представлении, а распределительные сети, которые могут содержать однофазные нагрузки, а также одно- и двухфазные ответвления, представляются трехфазной моделью. Это позволяет избавиться от необоснованной вычислительной нагрузки, связанной с избыточностью трехфазных моделей системообразующих сетей.

В свою очередь, применение потоковой модели установившегося режима, на которой основана предложенная в работе гибридная трехфазно-однолинейная модель, дает лучшую сходимость при расчете неоднородных разомкнутых сетей в отличие от традиционным методов расчета установившегося режима, основанных на уравнениях узловых напряжений.

Актуальность темы диссертации Банных П.Ю. обусловлена переходом к концепции интеллектуальных сетей и её внедрением не только на системообразующем уровне, но и на уровне распределительных сетей 6-35 кВ, для которых характерна несимметрия параметров установившегося режима.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 106 наименований и 1 приложения и включает 33 рисунка и 5 таблиц.

Содержание диссертации

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, а также охарактеризована степень её разработанности, представлена цель работы, а также задачи, решение которых потребовалось для достижения поставленной цели, сформулирован объект исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, указаны методы исследования, а также выносимые на защиту положения.

В первой главе выполнен обзор моделей элементов электрической сети в фазных координатах. Приведены трехфазные модели воздушных и кабельных линий электропередачи, силовых трансформаторов с различными схемами соединения обмоток и генерирующих источников, использованные автором в дальнейшем при разработке модели электрической сети. Также в главе приведены допущения, принимаемые при моделировании указанных элементов.

В второй главе выполнен анализ методов расчета параметров установившегося режима электрических сетей. Приведена модификация метода уравнений узловых напряжений для расчета параметров режима в трех фазах, а также их адаптация к расчету разомкнутых сетей.

В третьей главе предложена трехфазная модель установившегося режима, основанная на потоковой модели, которая позволяет учесть наличие замкнутых контуров и узлов генерации. Также, автором предложен способ ускорения расчета режима на основе трехфазной потоковой модели. Сделанные в главе выводы подтверждены вычислительным экспериментом.

В четвертой главе приведено описание гибридной трехфазно-однолинейной потоковой модели. Рассмотрено её использование в задаче расчета установившегося режима и в задаче оценивания состояния. Выполнен численный анализ предложенных моделей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, которые подтверждают решение поставленных задач.

В приложениях содержатся свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в разработке которых автор диссертационной работы принял участие.

3. Соответствие диссертации паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.14.02, а именно пунктам:

п. 6. Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике.

п. 7. Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем.

п. 13. Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике.

4. Методы исследования

В работе применялись методы нелинейного программирования, теоретических основ электротехники, выполнялось моделирование в интерактивной среде MATLAB. Для проведения расчётов использовались программы, разработанные автором, написанные на языках C# и Wolfram Language.

5. Степень обоснованности положений и достоверности полученных результатов

Представленные научные положения являются развитием работ, посвященных разработке однолинейной потоковой модели для расчета и оценивания состояния установившегося режима, которые выполнены на кафедре автоматизированных электрических систем УрФУ. Также обоснованность научных положений и достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием в предложенных алгоритмах анализа режимов известных математических моделей элементов электрической сети в трех фазах. В работе доказана приемлемость погрешности расчета с использованием разработанной модели для инженерных расчетов. Оценка сходимости расчетов с использованием предложенной модели установившегося режима выполнена на тестовых схемах IEEE. Полученные результаты подтверждаются их апробацией на трех международных научно-технических конференциях, а также ежегодных научных семинарах кафедры «Автоматизированные электрические системы» УралЭНИН УрФУ.

6. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Внедрение распределенной генерации и цифровых интеллектуальных распределительных сетей требуют решения задачи оценивания состояния не только в высоковольтных сетях, но и в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ. Это приводит к необходимости разработки новых моделей режимов электроэнергетических систем, которые позволяют учесть одновременно сеть высокого напряжения и распределительные сети, чему и посвящена диссертационная работа. В качестве элементов научной новизны диссертационной работы следует отметить:

1. Автором диссертационной работы предложена модель установившегося режима, позволяющая моделировать сети с одновременным наличием замкнутых и разомкнутых участков, несимметрией нагрузки, узлов генерации, трансформаторов со схемой соединения обмоток Yg/D и неоднородных элементов схемы замещения. Существующие методы расчета установившегося режима в схемах, сочетающих указанные факторы, не обладают сходимостью.

2. Предложенная модель позволяет моделировать системообразующую сеть однофазной, а распределительную сеть, для которой характерно наличие несимметрии, в фазных координатах в рамках одной вычислительной процедуры, что сокращает размерность решаемой задачи.

3. Автором предложен алгоритм ускорения расчета установившегося режима с использованием разработанной модели, что актуально при проведении вариантовых расчетов схемы с различными нагрузками.

7. Практическая значимость и использование результатов диссертационной работы

В рамках диссертационной работы были разработаны программы для ЭВМ, которые могут быть использованы для расчёта режимов распределительных сетей на базе трехфазных моделей. Кроме того, результаты исследований были использованы при разработке программно-технического комплекса для управления цифровой подстанцией, разработанного в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 года».

8. Отличие выполненных исследований от других работ

Модели установившегося режима, представленные в существующих работах, не обладают сходимостью для расчетных схем, содержащих замкнутые контуры и радиальные распределительные сети, узлы генерации, трансформаторы со схемой соединения обмоток Yg/D и несимметричную нагрузку. Автором же разработана модель, обладающая сходимостью при наличии в схеме указанных признаков. Также автором предложен алгоритм ускорения расчета установившегося режима с использованием потоковой модели.

В работе предложена гибридная трехфазно-однолинейная модель установившегося режима, которая отличается возможностью учета несимметричных элементов в схеме замещения и позволяет рассмотреть наличие несимметрии в нескольких участках сети.

9. Личный вклад автора

Автором расширена разработанная на кафедре автоматизированных электрических систем УрФУ потоковая модель для решения задач расчета установившегося режима, а также её адаптация к трехфазным моделям элементов электрической сети. Предложенные автором модели и алгоритмы реализованы в оригинальном программном обеспечении, разработанном в соавторстве с П.Ю. Банных.

10. Публикации основных результатов диссертационной работы

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, и 2 статьи в изданиях, индексируемых в наукометрических системах Scopus и Web of Science.

11. Замечания

1. В главе 1 на рисунке 1.7, поясняющем схему замещения кабеля, для обозначения емкостной и активной проводимости между экранами жил кабеля и землей использованы те же обозначения, что и для активной и емкостной проводимости между жилой и экраном фазы A , что затрудняет восприятие иллюстрации.

2. В формуле (1.40) допущена опечатка. Умножение матрицы **DI** на матрицу коэффициентов трансформации **AU** не позволит получить матрицу **BI** (выражение 1.42).

3. Выражение (2.10) искажает логику выводов, сделанных в источнике, на который ссылается автор. В указанном источнике принято, что разность углов фазных напряжений в начале и конце коротких линий распределительной сети равна нулю, что и показано в выражении (2.7). Данная разность обозначена символом δ_{km} . Тогда $\cos(\delta_{km})$ не может быть равен нулю.

4. Предложенную автором модель установившегося режима следует дополнить возможностью учета средств регулирования напряжения (РПН трансформаторов, БСК).

5. Погрешность расчета напряжений с использованием ГТО оценена на основе сравнения их с эталонным трехфазным расчетом. Рекомендуется сравнить результаты расчета установившегося режима на основе предложенной модели с параметрами режима, измеренными в условиях действующего объекта.

6. Обосновывая актуальность задачи разработки ГТО (стр. 100) автор указывает, что в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ коэффициенты несимметрии токов и напряжений по обратной и нулевой последовательностям могут достигать соответственно 30 и 40%. Такие величины характерны скорее для сетей напряжением 0,4 кВ.

Высказанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и носят характер уточнений и пожеланий.

12. Соответствие диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа П.Ю. Банных содержит решение задачи анализа несимметричных режимов энергосистем, что имеет значение для развития теории анализа и оценивания состояния установившихся режимов энергосистем. Диссертационная работа характеризуется внутренним единством, полученные результаты полностью соответствуют цели работы и поставленным задачам. В работе выделен личный вклад автора. Так как при разработке алгоритма анализа установившегося режима в трехфазном представлении использованы известные трехфазные модели элементов электрической сети, то автором сделаны ссылки на авторов источников использованных материалов. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и представлены на научных конференциях. Таким образом, диссер-

тационная работа П.Ю. Банных полностью соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ.

13. Общее заключение

В целом диссертационная работа является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, обладающей всеми необходимыми признаками. Работа выполнена на актуальную тему, разработанные математические модели и алгоритмы характеризуются научной новизной. Полученные в работе результаты имеют практическую значимость. Сформулированные автором выводы являются обоснованными и достоверными.

В работе предложена трехфазно-однолинейная модель установившегося режима, которая значительно повышает точность расчетов, а также разработан алгоритм ускорения расчета установившегося режима. Результаты работы использованы при разработке программ для ЭВМ, а также программно-технического комплекса управления цифровой подстанцией.

Диссертация оформлена по общепринятой структуре, изложение материалов соответствует требованиям рукописным научным работам.

Основываясь на сказанном выше, считаю, что диссертационная работа полностью отвечает требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ", а её автор Банных Павел Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,
доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий
Магнитогорского государственного технического университета
им. Г.И. Носова,
кандидат технических наук,
доцент

Панова Евгения Александровна

Сведения:

23.01.2020

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Юридический адрес: Россия, 455000 Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38.

Телефон: (3519) 29-85-81

Эл. адрес: ea.panova@magtu.ru

