

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

Н.Ю. Рубан, Ю.С. Боровиков, М.В. Андреев  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС

В силу единства и параллельности производства, транспортировки, распределения и потребления электрической энергии все оборудование (первичные двигатели, генераторы, трансформаторы, линии электропередач и т.д.) электроэнергетических систем (ЭЭС) объединено непрерывным спектром квазиустановившихся и переходных процессов в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах их работы. Ввиду недопустимости натурального моделирования процессов, особенно аварийных, необходимую для проектирования, исследования и эксплуатации оборудования ЭЭС, в том числе для адекватной настройки противоаварийной автоматики (ПА), информацию о процессах в ЭЭС можно получить только путем моделирования, преимущественно математического. Однако адекватная модель реальной ЭЭС, даже с учетом допустимого эквивалентирования, всегда содержит жесткую, нелинейную, систему дифференциальных уравнений чрезвычайно большой размерности, решение которой при существующем сугубо численном подходе ограничено условиями применимости методов их численного интегрирования [1-4]. Согласно теории методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений данные условия ограничивают: жесткость, дифференциальный порядок и интервал решения [5, 6]. В результате обеспечение необходимой обусловленности связано с неизбежностью упрощения математических моделей оборудования и ЭЭС в целом и, тем более средств ПА, и ограничения интервала решения. Кроме того, всегда неизвестной остается присущая численному интегрированию дифференциальных уравнений методическая ошибка [7, 8]. Совокупность указанных обстоятельств приводит к часто неприемлемой достоверности результатов подобного моделирования и связанными с этим ошибками в определении условий работы оборудования, функционирования ПА и её настройки [9]. Отмеченные факторы наличия проблемы подтверждаются проведенными в России и за рубежом верификациями такого моделирования. В рамках существующего подхода, связанного с необходимостью существенного упрощения даже основного, особенно электросетевого оборудования, воспроизводимого статическими моделями исключается возможность достаточно полного и достоверного воспроизведения непрерывного спектра квазиустановившихся и переходных процессов в ЭЭС и детального моделирования ПА, необходимых для исследования условий её функционирования и определения её всережимной настройки. Единственным путём решения обозначенной проблемы является предлагаемый в данном проекте принципиально альтернативный комплексный подход, позволяющий исключить все препятствия для эффективного решения обозначенной проблемы.

В соответствие с предлагаемым комплексным подходом к решению проблемы для каждого ее выявленного аспекта применяются и разрабатываются необходимые для их радикального решения методы и средства:

1. Для обеспечения достоверности решения описывающих процессы в оборудовании и ЭЭС в целом систем дифференциальных уравнений, независимо от жесткости, дифференциального порядка используется непрерывное параллельное методически точное неявное интегрирование дифференциальных уравнений на неограниченном интервале.
2. Для осуществления метода непрерывного неявного интегрирования дифференциальных уравнений используется параллельная цифро-аналоговая структура.
3. Для адекватного воспроизведения различных продольно-поперечных коммутаций их реализация осуществляется на модельном физическом уровне.
4. Для взаимодействия модельного и математического уровней используется преобразование непрерывных математических переменных в соответствующие модельные физические величины.
5. Для обеспечения естественного взаимодействия моделируемого оборудования ЭЭС и неограниченной наращиваемости размерности воспроизводимой ЭЭС, объединение моделируемого оборудования осуществляется на физическом уровне.

Реализация данного подхода к решению обозначенной проблемы позволяет создать высокоадекватный модельный аналог любой реальной ЭЭС, осуществляющий бездекомпозиционное непрерывное воспроизведение единого спектра квазиустановившихся и переходных процессов в реальном времени на неограниченном интервале с гарантированной приемлемой точностью в оборудовании и ЭЭС в целом, включая средства противоаварийной автоматики. В качестве инструментальной основы для создания модельного аналога планируется использовать разработанный в Томском политехническом университете Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС). Поскольку ВМК РВ ЭЭС позволяет получить достаточно полную и достоверную информацию по всему значимому спектру квазиустановившихся и переходных процессов в оборудовании и ЭЭС в целом, то становится возможным проводить исследование влияния на функционирование средств ПА особенностей спектра квазиустановившихся и переходных процессов.

Совокупность вышесказанного формирует перечень задач, решение которых необходимо для достижения обозначенной цели:

1. Анализ современного состояния исследуемой проблемы влияния спектра переходных процессов в электроэнергетических системах на функционирование средств противоаварийной автоматики, а также выявление причин, препятствующих её решению.
2. Разработка и обоснование концепции адекватного моделирования средств противоаварийной автоматики, а также принципов построения и структуры средств её осуществления, обеспечивающих устранение причин, препятствующих решению исследуемой проблемы.

3. Создание экспериментальных средств и методики реализации концепции адекватного моделирования противоаварийной автоматики.
4. Разработка программы экспериментальных исследований влияния спектра переходных процессов в электроэнергетических системах на функционирование противоаварийной автоматики.
5. Проведение в соответствии с программой экспериментальных исследований на примере конкретного типа противоаварийной автоматики и анализ результатов, подтверждающих достижение поставленной цели проекта.

Решение данных задач позволяет приступить к разработке методики все-режимной настройки средств противоаварийной автоматики конкретного типа, обеспечивающей их надежное все-режимное функционирование и, как следствие снижение уровня аварийности в ЭЭС.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука» № 3901 (2.1655.2016 от 01.01.2016), тема: «Разработка и исследование гибридной модели вставки не-синхронной связи электроэнергетических систем».

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Холл Дж., Уатт Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: Пер. с англ. / Под ред. А.Д. Горбунова. – М.: Мир, 1979. – 312 с.
2. Бабушка И., Витасек Э., Прагер М. Численные процессы решения дифференциальных уравнений: Пер. с англ. / Под ред. Г.И. Марчука. М.: Мир, 1969. – 368 с.
3. Ракитский Ю.В., Устинов С.М., Черноруцкий И.Г. Численные методы решения жестких систем – М.: Наука, 1979. – 208 с.
4. Хайрер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и алгебро-дифференциальные задачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 612 с.
5. Dahlquist G. Convergence and stability in the numerical integration of ordinary differential equations, Math. Scand., 4, 33-53.
6. Lambert J. D. Computational methods in ordinary differential equations. - N. Y., 1973. London–New York–Sydney–Toronto, John Wiley and Sons, Ltd., XV + 278 pp
7. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: Высш. шк., 2001. – 382 с.
8. Хеминг Р.В. Численные методы: Пер. с англ. / Под ред. Р.С. Гутера. М: Наука, 1968. – 400 с.
9. Погосян Т.А. Погрешность расчетов электромеханических переходных процессов в электрических системах // Электричество. -1984. -№3. - С.54-56.