

Резюме проекта, выполненного

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 5/итоговый

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.579.21.0045

Тема: «Разработка автоматизированного узла регулирования транспортных потоков мощности в интеллектуальной распределительной электрической сети»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика (ЭЭ)

Критическая технология: Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии

Период выполнения: 26.08.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 144.60 млн. руб.

Бюджетные средства 78.30 млн. руб.,

Внебюджетные средства 66.30 млн. руб.

Получатель: Открытое акционерное общество "Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Тольяттинский Трансформатор"

Ключевые слова: Активно-адаптивная электрическая сеть, интеллектуализация сети, системы электроснабжения, устройство регулирования потоков мощности, фазоповоротное устройство, универсальный конвертор, микропроцессорная система управления, имитационные модели, экспериментальный образец

1. Цель проекта

Цель работы:

разработка новых типов быстродействующих силовых полупроводниковых устройств регулирования потоков мощности в активно-адаптивных электрических сетях;

разработка научно-технических решений по созданию автоматизированного узла регулирования транспортных потоков мощности (АУРТПМ) с микропроцессорной системой управления на основе современных технологий проектирования устройств силовой электроники и цифровых систем управления, предназначенного для интеллектуализации процесса передачи и распределения электрической энергии в активно-адаптивных электрических сетях и обеспечения высокого уровня надежности и экономичности систем электроснабжения потребителей.

Задачи проекта: анализ научно-технической литературы и патентный поиск по тематике исследования; анализ современной элементной базы силовой и цифровой электроники, потенциально пригодной для применения в составе быстродействующих высоконадёжных устройств управления потоками мощности; исследование характеристик устройств управления потоками мощности различных топологий, выбор схемотехнических решений; создание имитационных моделей электроэнергетической системы, АУРТПМ и его системы управления для исследования электромагнитных процессов; разработка алгоритмов управления АУРТПМ; изготовление экспериментального образца АУРТПМ; проведение исследований принятых технических решений на экспериментальном образце АУРТПМ.

2. Основные результаты проекта

1) В ходе выполнения ПНИ была предложена концепция построения АУРТПМ для применения в магистральных и распределительных электрических сетях на базе фазоповоротных устройств с полупроводниковым коммутатором, которые являются одними из наиболее востребованных, технически и экономически эффективных инструментов активно-адаптивных электрических сетей.

2) Разработаны методические рекомендации по проектированию АУРТПМ, технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции. Проведены маркетинговые исследования с целью изучения перспектив коммерциализации интеллектуальной деятельности, полученных при выполнении текущего ПНИ.

3) Разработан принципиально новый алгоритм управления полупроводниковым преобразователем, позволивший обеспечить безаварийное функционирование АУРТПМ при всех возможных режимах работы сети, как в автоматическом режиме, так и

под управлением оператора.

4) Разработан принципиально новый способ управления тиристорным коммутатором, обеспечивший повышенную надежность и управляемость АУРТПМ в целом.

5) На специально разработанных аналитических и имитационных моделях исследованы электромагнитные процессы в АУРТПМ во всех возможных режимах работы, на основе чего сформулированы требования к оборудованию АУУРТПМ: трансформаторам, полупроводниковому преобразователю, цифровой системе управления, и входящему в ее состав регулятору АУРТПМ.

6) На основе разработанных и проверенных на моделях алгоритмах создано программное обеспечение системы управления АУРТПМ, которое учитывает особенности функционирования АУРТПМ в составе энергосистемы.

7) Разработан и изготовлен экспериментальный образец АУРТПМ (рис.1), позволяющий на практике отработать разработанные алгоритмы управления и программно-аппаратное обеспечение системы управления. Экспериментальный образец АУРТПМ изготовлен на основе отечественной компонентной базы силовой электротехники и полупроводниковой электроники, и является инновационным средством исследования электромагнитных процессов в быстродействующих устройствах управления потоками электроэнергии в условиях функционирования, приближенных к реальным. Экспериментальный образец АУРТПМ имеет следующие характеристики:

- Установленная мощность - 620 кВА.

- Электропитание - 3-х фазная сеть 380 В, 630 А.

- Номинальное рабочее напряжение АУРТПМ - 10 кВ.

- АУРТПМ установлен в линию электропередачи, на концах которой имеются источники напряжения $10 \text{ кВ} \pm 6\%$ с регулируемым фазовым сдвигом ± 20 эл.град.

- Диапазон изменения фазового сдвига выходного напряжения АУРТПМ - ± 20 эл.град.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили соответствие экспериментального образца предъявляемым к нему требованиям, а также подтвердили адекватность и работоспособность принятых ранее технических решений по основным характеристикам и алгоритмам управления АУРТПМ. Экспериментально доказана принципиальная работоспособность предложенного в настоящем ПНИ и обладающего научной новизной мирового уровня решения по построению АУРТМП.

Стоит отметить, что разработанный в ходе выполнения ПНИ экспериментальный образец позволит в дальнейшем проводить широкий круг экспериментов, связанных с исследованием процессов не только в АУРТМП, но и любых других управляемых устройствах регулирования режимов работы линии электропередачи. Экспериментальный образец позволяет исследовать процессы как в самих устройствах, так и анализировать влияния тестируемых устройств на режимы работы линии электропередачи. К основным таким экспериментам можно отнести:

- Реализация различных способов управления устройствами;

- Разработка, отладка и верификация математических и имитационных моделей, используемых при проектировании устройств, на их физических моделях в реальных режимах работы линии электропередачи;

- Проверка и отладка моделей самих устройств, исследование их характеристик при различных параметрах режима линии электропередачи;

- Исследование переходных процессов как в самих устройствах, так и линии электропередачи, связанных с управлением режимами работы устройств;

- Отладка алгоритмов диагностики, защиты и наладки устройств в условиях эксплуатации максимально приближенных к реальным;

- Проверка работы программно-аппаратного обеспечения системы управления устройств в различных режимах работы;

- Проверка методики проведения пуско-наладочных работ устройств в местах их установки в линии электропередачи.

Научная новизна результатов заключается в разработке новых типов быстродействующих силовых полупроводниковых устройств регулирования потоков мощности в активно-адаптивных электрических сетях, а также оригинальных способах и алгоритмах управления полупроводниковым преобразователем и АУРТПМ в целом, в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении эффективности применения АУРТПМ для управления режимами работы линии электропередачи.

Выполненные исследования в полной мере позволили достичь заявленные цели и задачи проекта и получить результаты, соответствующие существующим научным концепциям в данной области, подтвержденные многосторонними экспериментальными и теоретическими данными.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Изобретение, патент № 2601419 "Вторичный источник питания", РФ.

Изобретение, заявка № 2016145990 от 24.11.2016 "Способ управления фазопоротным устройством", РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Назначение - Результаты выполняемого ПНИ предназначены для создания технической основы разработки, исследования и оптимизации полупроводниковых преобразовательных устройств для активно-адаптивных сетей с целью повышения надёжности, управляемости, энергоэффективности и функциональности работы электроэнергетических систем с подобными устройствами.

Область применения – включает широкий диапазон классов напряжений: от 220-380 В промышленной сети до электроэнергетических систем, включающих распределительные и магистральные электрические сети классов 6 кВ и выше. Так, например, применение АУРТПМ для управления режимами работы в линиях высокого напряжения 110-220 кВ позволит управлять потоками мощности в параллельных линиях электропередачи и ограничивать токи в линии электропередачи в нормальных и аварийных режимах работы. В сетях 6-35 кВ АУРТПМ позволит стабилизировать напряжения у удаленных

потребителей линии электропередачи. В сетях низкого напряжения (220-380 В) АУРТПМ способно регулировать мощности в нагрузках при применении технологии энергосбережения (например, регулируемого освещения).

Основные потребители - ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС» АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ПАО «МОЭСК», Департамент топливно-энергетического комплекса правительства г. Москвы, ГУП «МОССВЕТ», ООО Светосервис ТМ», а также электросетевые и генерирующие электроэнергию компании. Все перечисленные организации выразили заинтересованность в дальнейшем практическом применении результатов работы.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Основными эффектами от внедрения разрабатываемой в данном ПНИ технологии построения АУРТПМ будут являться: обеспечение безаварийного функционирования режима работы электрической сети, при котором обеспечиваются минимально возможные потери мощности в линии электропередачи в текущих условиях; возможность внешнего задания оператором уставок для АУРТПМ, что означает создания нового инструмента воздействия на режимы работы электрической сети. Научно-технические решения, разработанные в данном ПНИ, ориентированы на технологии создания устройств регулирования параметров электрической сети, это позволит обеспечить повышение уровня надежности и экономичности систем электроснабжения потребителей не менее чем на 10%.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

В целях коммерциализации результатов на этапе № 5 выполнения ПНИ представлены технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учётом технологических возможностей и особенностей промышленного партнёра – ООО «Тольяттинский трансформатор».

На этапе № 5 проведены маркетинговые исследования, которые позволили сделать вывод о перспективности разработанной технологии и целесообразности дальнейшей реализации в промышленной эксплуатации, приведена методология оценки технико-экономических показателей эффективности при выборе конкретного объекта для установки АУРТПМ с учетом альтернативных вариантов. Определены 10 потенциальных мест установки АУРТПМ в составе ЕНЭС России, реализация разработанных научно-технических решений в которых даст максимальную выгоду с точки зрения экономии электроэнергии при ее транспортировке и повышения надежности работы линий в целом.

Основные результаты проекта оформлены в качестве объектов интеллектуальной собственности, права на использование которых будут предоставлены Промышленному партнёру (ООО «Тольяттинский трансформатор»). Коммерциализация результатов интеллектуальной собственности является основной задачей, возлагаемой на Промышленного партнёра. Наличие в его собственности указанного интеллектуального портфеля позволит в дальнейшем обеспечить внедрение полученных в ходе выполнения настоящего ПНИ научно-технических результатов в реальном секторе экономики.

7. Наличие соисполнителей

Соисполнители не предполагаются

Открытое акционерное общество "Энергетический институт им.
Г.М. Кржижановского"

Генеральный директор

(должность)

Волков Э.П.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Первый заместитель Генерального директора,
Научный руководитель ОАО "ЭНИН"

(должность)

Панфилов Д.И.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

М.П.