

АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности «6D071800 – Электроэнергетика»

МУРАТ АЙБЕК ҚАЙРАТУЛЫ

«Разработка и исследование управляемых реакторов трансформаторного типа с подмагничиванием постоянным током»

Выполнение задачи по обеспечению нормальных режимов работы электроэнергетической системы и стандартов качества электрической энергии невозможно без управляемых средств регулирования реактивной мощности и напряжения. Кроме того, поддержание оптимальных уровней напряжения на шинах подстанций обеспечивает минимизацию потерь активной мощности в электрических сетях и тем самым повышает эффективность функционирования электрических сетей. Неотъемлемыми элементами электропередач нового поколения являются устройства FACTS.

Одним из устройств FACTS, выполняющих регулирование реактивной мощности является шунтирующий реактор (ШР). Основное свойство ШР поглощение зарядкой мощности, образуемой в линиях электропередач за счет емкостной составляющей. Из всей линейки устройств регулирования реактивной мощности ШР выделяет относительная дешевизна и простота конструкции и эксплуатации. ШР могут быть управляемые и неуправляемые.

Вопрос ограничения избыточной реактивной мощности стоит как в протяженных межсистемных линиях, так и в городских электрических сетях высокого напряжения, которые зачастую являются сложнзамкнутыми. Вместе с развитием городов и ускоряющейся урбанизацией, увеличивается и количество заменяемых ВЛ на КЛ. Несмотря на все преимущества кабельных линий, они образуют больше реактивной мощности, чем воздушные линии, что еще больше повышает значимость шунтирующих реакторов для передачи электроэнергии в сети. Емкостная проводимость кабельных линий кратно выше, чем у тех же голых проводов. К примеру, зарядная мощность кабельной линии номинальным напряжением 110 кВ составляет 8,4-18,0 МВАр на 100 км, а для воздушной линии того же номинала напряжения это значение составляет 3,4 – 4,0 МВАр на 100 км. Приведенные рассуждения свидетельствуют о необходимости использования компенсирующих устройств.

Потребность средств регулирования напряжения и реактивной мощности в электрических сетях РК напряжением от 35 кВ до 500 кВ мощностью от 25 МВАр до 180 МВАр остается достаточно высокой. Несмотря на это, производство управляемых шунтирующих реакторов не реализовано в РК, и их поставка производится с зарубежных стран таких как - Российская Федерация, Украина, Турция, Испания и другие. Цена импортных реакторов вследствие транспортных расходов и добавленной стоимости завышена.

В соответствии с «Программой развития внутристрановой ценности и экспортоориентированных производств», можно и необходимо наладить производство управляемых шунтирующих реакторов. Потребность в управляемых шунтирующих реакторах внутри страны тем самым будет обеспечена. В перспективе поставки реакторов в страны ближнего и дальнего зарубежья, будут являться неотъемлемой частью отрасли трансформаторостроения РК.

Производство управляемых шунтирующих реакторов нового поколения можно при приемлемых затратах наладить на трансформаторных заводах группы АО «Alageum Electric», поскольку производство таких реакторов полностью соответствует технологии трансформаторостроения. Для страны это имеет важное значение в связи с завершением строительства в г. Шымкент трансформаторного завода на классы напряжения 500 кВ (АО «Asia Trafo») и перспективным развитием АО «Кентауский трансформаторный завод», который выпускает трансформаторы на классы напряжения 110 кВ. Преимущество локализации производства обеспечит значительное удешевление продукта.

Практическая значимость работы заключается в обеспечении управляемыми реакторами электрических сетей и систем Республики Казахстан, расширении линейки продуктов АО «Asia Trafo» и АО «Кентауский трансформаторный завод», увеличении количества рабочих мест, а также возможности поставок управляемых шунтирующих реакторов зарубеж.

Отечественное производство управляемых шунтирующих реакторов увеличит Казахстанское наполнение в решении задач построения интеллектуальных активно-адаптивных электрических сетей и систем путем оптимизации режимов НЭС Казахстана и региональных электрических сетей.

Перечисленные факторы четко коррелируют с задачами поставленными главой государства и программами стратегического развития страны. Сложившаяся привлекательность и, что немаловажно, рентабельность решений по установке шунтирующих реакторов в электрические сети с одной стороны, и продолжающийся рост спроса на экономичные, надежные и вместе с тем «доступные» устройства регулирования реактивной мощности на базе шунтирующих реакторов, с другой стороны, подтверждают актуальность проводимого исследования по разработке управляемых шунтирующих реакторов.

Представленная диссертационная работа выполнялась на базе комплекса научно-исследовательских аналитических и экспериментальных работ, с выполнением экспериментов на производственной базе АО «КазНИПИИТЭС «Энергия» и Некоммерческого АО «АУЭС им. Г. Даукеева».

Указанные предпосылки формируют **цель диссертационного исследования**, которая сформулирована следующим образом:

Целью работы является создание высокоэффективных управляемых ферромагнитных устройств с подмагничиванием постоянным током. В соответствии с целью формулируется и общая научная задача – разработка

УШР на основе экспериментальных исследований, имитационного моделирования и исследования электромагнитных характеристик, режимов работы, конструкторских и технологических проработок под технологию производства трансформаторов.

В рамках выполнения диссертационной работы для достижения поставленной цели выполнялись следующие **научные задачи**:

- Провести анализ научной литературы, патентные исследования с целью обоснования нового технического решения управляемых шунтирующих реакторов, включая конструктивно-технологическую схему.

- Разработать физические модели УШР с трехстержневым магнитопроводом и экспериментально исследовать электромагнитные характеристики.

- Разработать имитационную модель УШР в программном комплексе Matlab, при различных режимах подмагничивания постоянным током.

- Оценить влияние степени подмагничивания постоянным током на состав гармоник тока сетевой обмотки УШР.

- Исследовать влияние высоты и сечения рабочих стержней на потребляемый ток УШР, при обеспечении режима полупериодного насыщения.

- Определить соотношение сечения рабочих стержней к сечению ярем с целью обеспечения режима полупериодного насыщения.

- Разработать рекомендации и оценить возможность изготовления УШР на базе типовых трансформаторов.

Методы исследования.

При выполнении диссертационной работы были использованы методы теоретической электротехники. Методы теоретического и экспериментального исследования электромагнитных характеристик ферромагнитных устройств. Методы гармонического анализа, физического и имитационного моделирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1 Обоснованы параметры физических моделей шунтирующих реакторов.

2 Разработана имитационная модель реактора в программном комплексе Matlab Simulink. Предложена методика моделирования УШР.

3 Получен режим полупериодного насыщения УШР, который характеризуется минимальным коэффициентом гармоник тока сетевой обмотки и номинальными параметрами режима работы УШР. Применены аналитические формулы при расчете соотношения сечения ярем и стержней.

4 Проведен анализ электромагнитных процессов в имитационной модели УШР 110 кВ и выявлена возможность улучшения характеристик быстродействия реактора без изменения его конструкции.

Достоверность полученных результатов подтверждается следующим:

1 Исследования проведены на физических моделях шунтирующего реактора с использованием поверенных измерительных средств, внесенных

в реестр ГСИ РК.

2 Экспериментальные работы выполнялись комплексно, и дублировались расчетами по имитационной модели в программном комплексе Matlab Simulink с высокой сходимостью результатов.

По результатам выполненных работ и проведенных исследований, на защиту выносятся **следующие положения:**

1. Экспериментальная физическая модель УШР с подмагничиванием постоянным током и обоснованные параметры. Результаты экспериментальных исследований физических моделей реакторов.

2. Математические модели управляемых подмагничиванием постоянным током шунтирующих реакторов в программном комплексе Matlab. Методика моделирования УШР.

3. Результаты обоснования оптимального соотношения длин и сечений стержней и ярем реактора, количество обмоток и их напряжения для получения режима полупериодного насыщения при номинальных параметрах работы УШР.

4. Влияние третьей гармоники индукции на пятую и седьмую гармоники тока сетевой обмотки.

5. Результаты исследований динамических режимов, возможных мероприятий по повышению быстродействия, а также способ, позволяющий значительно повысить быстродействие УШР 110 кВ типовой конструкции.

Результаты реализации проекта могут оказаться прорывными в реализации концепции построения интеллектуальных активно-адаптивных электрических сетей и систем и в освоении нового электротехнического оборудования отечественного производства.

Потребителями полученных результатов могут быть системный оператор НЭС Казахстана АО «KEGOC», АО «АЖК» и другие региональные электросетевые компании.

Основные положения отражены в научных публикациях: 4 научных статьях, в том числе: 1 научная статья в отечественном издании из списка рекомендованных КОКСОН; 2 научных докладов в сборниках в международных научно-технических конференциях, в том числе с очным выступлением в зарубежной научной конференции с публикацией докладов в базе Scopus; 1 научная статьи, индексируемые в базе Scopus, в журнале «Electric Power Systems Research» с процентилем на момент публикации 78% по разделу «Electrical and Electronic Engineering» «Электротехника и электроника». В качестве соавтора результаты научно-исследовательской деятельности были зафиксированы в: 2 Патентах РК на полезную модель по тематике конструкций шунтирующих реакторов.

Личный вклад автора в решении исследуемого вопроса определяется:

-В обосновании, формулировке и выборе методики исследования с применением физических моделей шунтирующих реакторов;

-Руководством на всех этапах создания и непосредственным исследованием (разработка задания на изготовление, участие в измерениях и обработке данных) физических моделей реакторов;

-В постановке и реализации математической модели по расчету с применением программного комплекса Matlab Simulink применительно к шунтирующим реакторам.

Диссертационная работа выполнена автором в соответствии с действующими требованиями оформления, структуры и содержания. Работа состоит из 5 основных разделов, списка условных обозначений, введения, заключения, списка использованной литературы и приложений.

В первом разделе представлено описание принципа действия шунтирующих реакторов и полупериодного насыщения магнитопровода реактора. Дан обзор литературы и современных исследований в области разработок шунтирующих реакторов.

Во втором разделе описана физическая модель шунтирующего реактора и стенд для выполнения испытаний. Приведены результаты экспериментальных исследований физических моделей реакторов.

В третьем разделе представлена методика моделирования УШР в программном комплексе Matlab Simulink, подробно описана имитационная модель реактора и этапы создания модели. Сопоставлены результаты экспериментальных исследований и имитационного моделирования работы шунтирующего реактора при разной степени подмагничивания постоянным током.

Четвертый раздел содержит анализ и результаты расчетов модели реактора на 110 кВ. Приведены графики зависимости токов сетевой обмотки от параметров УШР, гармонический анализ токов сетевой обмотки при изменении сечения и высоты стержней магнитопровода УШР.

Пятый раздел представляет расчеты и результаты исследований, техническую документацию на производство УШР на 110 кВ мощностью 25 МВАр.