

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Объединенного Института
Ядерных исследований
академик В.А.Матвеев



«27» мая 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о научно-практической ценности диссертации

Сенькова Дмитрия Валентиновича

«Разработка структуры и алгоритмов управления силовыми преобразователями для электрофизических установок»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Кандидатская диссертация Д.В. Сенькова посвящена исследованиям, направленным на создание силовых преобразователей класса мощностей до 50кВт для специализированных высоковольтных источников напряжения и источников тока и разработке и созданию на базе этих источников систем питания для ускорителей и накопителей заряженных частиц. Исследуется согласование импедансов преобразователя и трансформатора системы высоковольтного питания и предложена схема, обеспечивающая ограничение тока преобразователя при замыкании выхода источника и минимизирует переходной процесс в выходном напряжении источника при изменении нагрузки. Рассматривается структура разработанного для систем питания управляющего контроллера и применяемые в нем алгоритмы контроля и стабилизации выходных параметров источников. Конечной целью работы было создание прецизионных систем питания для разрабатываемых в ИЯФ СО РАН электрофизических установок, что является **актуальной темой исследования.**

Личный вклад Сенькова Д.В. в работы, положенные в основу диссертации, заключался в разработке структурной схемы источников, выборе и расчете схем согласования импедансов высоковольтных трансформаторов и силовых преобразователей, разработке структуры и алгоритмов работы управляющих контроллеров систем питания.

Достоверность полученных результатов обеспечивается четкой формулировкой поставленных задач, использованием подходов, ранее апробированных на аналогичных системах, а также согласием полученных результатов с предсказаниями моделирования. Принятые в работе допущения и ограничения обоснованы и отражены в полном объеме. Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач в области создания прецизионных систем питания для электрофизической аппаратуры. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Научная новизна определяется тем, что автором предложена структура управляющего контроллера и разработаны программные алгоритмы контура стабилизации, позволяющие создать прецизионные системы питания и минимизировать переходной процесс при глубокой модуляции выходной мощности. Так же автором предложена схема согласования импедансов преобразователя и высоковольтного трансформатора, обеспечивающая ограничение тока преобразователя при замыкании на выходе и уменьшающая переходной процесс в выходном напряжении источника при изменении нагрузки и на ее основе разработана структура источника высокого напряжения.

Теоретическая значимость исследовательской работы Сенькова Д.В. заключается в подтверждении результатами опытной эксплуатации правильности подхода к разработке силовой части и контроллера управления и технических решений, обеспечивших высокую надежность и эксплуатационную гибкость разработанных прецизионных систем питания. **Практическая значимость** обусловлена тем, что результаты и опыт, полученные в ходе работ, использовался для создания высоковольтных источников 110кВ 120мА для экспериментов по физике плазмы проекта ТАС4, для создания высоковольтного источника 300кВ 50мА для электронной пушки установки ЛСЭ Сибирского центра СИ, используется также при проектировании системы питания для магнитов установки CR проекта FAIR.

Созданная аппаратура и методики её применения могут быть использованы в научно-исследовательских лабораториях и институтах, работающих в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, физики плазмы, импульсной техники, работают в том числе: в Брукхэйвенской национальной лаборатории (США), на протонном синхротроне COSY (ФРГ), ОАО НИТИ-«Прогресс» (г.Ижевск), на установках ИЯФ СО РАН, в составе установок электронно-лучевой сварки в промышленности.

Достоверность результатов проведенной работы подтверждается успешной эксплуатацией семи созданных установок электронно-лучевой сварки, результатами испытаний прототипа 1,5МэВ инжектора протонов, успешной эксплуатацией установки электронного охлаждения для COSY (Германия) и успешной эксплуатацией ускорительного комплекса NSLS-II (США). Правильность найденных решений подтверждается результатами, полученными на упомянутых установках.

Кандидатская диссертация Д.В. Сенькова состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

Во введении показана актуальность, а также показана практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе показаны варианты построения силовых преобразователей, сделан обзор вариантов устройства высоковольтных источников. Далее показано устройство установок электронно-лучевой сварки, приведены требования, предъявляемые к высоковольтным источникам, применяемым в этих установках, и проведен обзор характеристик современных западных высоковольтных источников для них.

Основные данные работы приведены во второй и третьей главах. **Во второй главе** приведена структура разработанного высоковольтного источника. Показано, что удобно использовать модульное построение силового преобразователя. Обоснованы требования к согласованию преобразователя и высоковольтного трансформатора. Представлено проведенное компьютерное моделирование (временной анализ) силовой схемы источника с учетом выходного выпрямителя с исследованием реакции на изменение нагрузки и пробой на выходе источника. Далее показаны результаты испытаний преобразователя.

В третьей главе описывается устройство разработанного автором контроллера для управления высоковольтным источником и перечислены предъявляемые к нему требования. Представлены вопросы построения регулятора, приводится структура контроллера и управляющего алгоритма.

Анализируются частотные и временные характеристики контура стабилизации. Показано совпадение данных моделирования и реально полученных результатов.

В четвертой пятой и шестой главах рассмотрены системы питания для электрофизических установок, построенные на основе описанных управляющего контроллера и силового преобразователя. **В четвертой главе** представлена система питания 1,5МВ высоковольтной колонны прототипа инжектора протонов. Приведена структура источника и применяемые в контроллере управляющие алгоритмы. Описано получение требуемой для колонны частоты 400Гц с применением модуляции синусоидальным сигналом ШИМ напряжения силового преобразователя с последующим синхронным детектированием. В конце главы показаны полученные результаты испытаний.

В пятой главе описана система питания 2МВ высоковольтной колонны установки электронного охлаждения, созданной в ИЯФ для протонного синхротрона COSY (Юлих, Германия). Показаны требования, предъявляемые к источнику питания высоковольтной колонны, которые позволяют обеспечить ее стабильную и надежную работу. Представлены результаты анализа и компьютерного моделирования схемы модуля согласования и результаты компьютерного моделирования реакции источника на изменение нагрузки и замыкание на выходе. В конце главы показаны результаты испытаний источника в составе высоковольтной колонны в ИЯФ и на установке COSY в Германии.

В шестой главе описывается система питания квадрупольных магнитов бустера источника синхротронного излучения NSLS-II (Брукхевенская лаборатория, Аптон, США). Дано общее описание бустера, и его магнитной системы. Приводятся особенности работы бустера, заключающиеся в быстром (за 0,3секунды) подъеме энергии инжектированного в него пучка электронов с энергии 200МэВ до энергии 3ГэВ для перепуска в основное кольцо-накопитель комплекса. Обоснована выбранная структура трехканального источника тока для питания квадрупольных магнитов. Затем приводится описание устройства управляющих контроллеров системы питания и представлены полученные на испытаниях в ИЯФ и запуске на комплексе NSLS-II результаты.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

Содержание диссертации, ее завершенность в целом выполнено на необходимом, должном уровне. Автореферат правильно и достаточно полно отражает основное содержание диссертации. Тема исследования соответствует заявленной научной специальности.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, направленное на решение актуальной задачи. Результаты исследования отражены в трех публикациях в **профильных рецензируемых журналах** (Problems of atomic state and technologies, Автометрия, Вестник НГУ: Физика), **доклаживались** на 11 всероссийских и международных конференциях.

Таким образом, диссертация Сенькова Дмитрия Валентиновича «Разработка структуры и алгоритмов управления силовыми преобразователями для электрофизических установок» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Сеньков Дмитрий Валентинович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Отзыв составили:

Начальник научно-инженерного отдела
систем электропитания нуклотрона

Лаборатории Физики Высоких Энергий ОИЯИ,

кандидат физико-математических наук

В.Н.Карпинский

Советник ЛФВЭ ОИЯИ, доктор технических наук,

профессор

Э.И.Уразаков