

УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Семененко Александр Иванович

УДК 629.423.3: 621.314

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СИСТЕМ
ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

05.22.09 – Электротранспорт

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
д.т.н., профессор
Панасенко Николай Васильевич

Харьков - 2003

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АУТНОМНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ	14
1.1. Существующие структуры цепей коммутационной защиты силовых полупроводниковых приборов	14
1.1.1. Цепи коммутационной защиты, ограничивающие скорость нарастания напряжения	17
1.1.2. Цепи коммутационной защиты, ограничивающие скорость нарастания тока	19
1.1.3. Цепи коммутационной защиты без рассеяния энергии, запасаемой в реактивных элементах	20
1.2. Снижение коммутационных потерь в силовых ключах применением схем с естественной коммутацией	23
1.2.1. Коммутация полупроводниковых ключей в схемах с узлами принудительной коммутации	24
1.2.2. Тиристорно-конденсаторные ключевые прерыватели с дозированной передачей энергии	25
1.2.3. Применение резонансных инверторов	28
1.3. Улучшение коммутации в автономных преобразователях применением однородной коммутации	30
1.3.1. Неоднородная и однородная коммутация полупроводниковых ключей преобразователей	30
1.3.2. Получение однородной коммутации разделением коммутаций двух родов между коммутаторами первичных и вторичных звеньев	33
Выводы к разделу 1	36

РАЗДЕЛ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ОДНОРОДНОЙ КОММУТАЦИЕЙ	38
2.1. Цепи коммутационной защиты ключей при однородной коммутации	38
2.2. Структуры тиристоров для автономных преобразователей с однородной коммутацией бортовых систем питания	41
2.2.1. Структуры силовых тиристоров, рекомендуемые для реализации однородной коммутации первого рода	42
2.2.2. Структуры силовых тиристоров, рекомендуемые для реализации однородной коммутации второго рода	45
2.3. Полупроводниковые ключи, приспособленные для реализации режима однородной коммутации второго рода	51
2.3.1. Базовая схема анисторного ключа	53
2.3.2. Исследование статической вольтамперной характеристики анистора	55
2.3.3. Исследование переходных процессов при выключении анистора	59
2.3.4. Выбор тока смещения анистора	64
2.3.5. Схема анисторного ключа с формированием напряжения смещения от основного источника питания	65
Выводы к разделу 2	68
РАЗДЕЛ 3. РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ОДНОРОДНОЙ КОММУТАЦИЕЙ ДЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ	69
3.1. Особенности построения схем преобразователей с однородной коммутацией	69
3.1.1. Понятие о мощности коммутации	69
3.1.2. Способы получения однородной коммутации в автономных преобразователях	72
3.2. Схемы автономных преобразователей с однородной коммутацией	77
3.2.1. Выбор структуры и рода коммутации автономных преобразователей с однородной коммутацией	77

3.2.2. Схема преобразователя с однородной коммутацией с естественным выключением на первичной стороне	81
3.2.3. Автономный преобразователь с однородной коммутацией на базе трехуровневого инвертора напряжения	84
3.2.4. Определение тока входного инвертора, минимально необходимого для перезаряда защитных конденсаторов	90
Выводы к разделу 3	91
РАЗДЕЛ 4. ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ С ОДНОРОДНОЙ КОММУТАЦИЕЙ, РЕАЛИЗУЕМОЙ НАСЫЩЕНИЕМ СЕРДЕЧНИКА ТРАНСФОРМАТОРА	93
4.1. Неустойчивость преобразователя при наличии входного резонансного фильтра	93
4.1.1. Характеристики периодического режима преобразователя	94
4.1.2. Переходные процессы при отклонении от периодического режима	99
4.2. Определение характеристик устойчивости преобразователя	101
4.2.1. Определение дифференциальной эквивалентной проводимости на входных зажимах коммутатора	102
4.2.2. Линеаризация системы и аналитическое определение спектрального радиуса	103
4.3. Демпфированные входные силовые фильтры преобразователей	108
4.3.1. Входной фильтр с демпфирующей RC -цепью	109
4.3.3. Входной фильтр с резонансной демпфирующей цепью	115
Выводы к разделу 4	121
РАЗДЕЛ 5. РАСЧЕТ И МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ С ОДНОРОДНОЙ КОММУТАЦИЕЙ	123
5.1. Основные параметры элементов цепей коммутационной защиты при однородной коммутации	123
5.1.1. Определение емкости защитных конденсаторов	124

5.1.2. Определение индуктивности токоограничивающих дросселей	124
5.1.3. Устройства защиты с малоиндуктивными разрядными цепями	128
5.2. Определение конструктивных параметров дросселей цепей коммутационной защиты преобразователей с однородной коммутацией	131
5.2.1. Параметры воздушного дросселя при заданном нагреве поверхности	132
5.2.2. Параметры дросселя при заданной постоянной времени	135
5.2.3. Использование дросселей с сердечниками	137
5.3. Пример автономного преобразователя с однородной коммутацией на базе резонансного инвертора	139
5.3.1. Приведение фильтровой емкости к последовательному резонансному контуру	142
5.3.2. Влияние добротности резонансного контура на параметры преобразователя электроснабжения пассажирских вагонов	145
5.4. Макетирование преобразователей бортовых систем питания с однородной коммутацией	148
5.4.1. Экспериментальные исследования макета преобразователя бортовой системы питания электровоза постоянного тока	148
5.4.2. Исследование макета модуля преобразователя на базе резонансного инвертора	152
Выводы к разделу 5	154
ВЫВОДЫ	155
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	158
ПРИЛОЖЕНИЕ	169

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АП	–	автономный полупроводниковый преобразователь
БСП	–	бортовая система питания
ЗТ	–	запираемый тиристор
ИН	–	инвертор напряжения
ИП	–	источник питания
ИТ	–	инвертор тока
МК	–	мощность коммутации
ОК	–	однородная коммутация
ОС	–	обратная связь
ОТ	–	однооперационный тиристор
ПЗПЧ	–	промежуточное звено повышенной частоты
ПК	–	полупроводниковый ключ
ПП	–	полупроводниковый прибор
РИ	–	резонансный инвертор
ТКП	–	тиристорно-конденсаторный ключевой прерыватель
УВ	–	управляемый выпрямитель
УПК	–	узел принудительной коммутации
ЦКЗ	–	цепь коммутационной защиты
ЭПС	–	электроподвижной состав

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Украине ЭПС железных дорог в большинстве своем морально устарел и имеет высокий процент износа [1]. Сверх нормативного срока эксплуатируются 757 грузовых электровозов, что составляет 57% от их общего количества, и 373 (73%) пассажирских электровоза. Для пополнения существующего парка, замены изношенного и устаревшего ЭПС в Украине разворачивается производство нового ЭПС, отвечающего современному уровню науки и техники [2-3].

Важное место в комплексе электрооборудования ЭПС занимают БСП, предназначенные для обеспечения вспомогательных цепей электроэнергией необходимого качества. К этим цепям относятся цепи управления, освещения, отопления, заряда аккумуляторных батарей, питания электродвигателей привода вспомогательных машин и обмоток возбуждения тяговых двигателей постоянного тока в режиме электрического торможения. Основным элементом, определяющим показатели БСП, является преобразователь. При производстве нового ЭПС автономные полупроводниковые преобразователи, которые называют еще статическими из-за отсутствия вращающихся частей, должны вытеснить из этой области применения устаревшие электромашинные преобразователи, поскольку имеют более высокие энергетические, динамические и другие показатели [4-9].

Актуальность темы. Как известно, повышение рабочей частоты в промежуточном звене АП позволяет улучшить удельные энергетические показатели и динамические характеристики преобразователя, снизить расход дефицитных материалов (меди и электротехнической стали) [10-14]. Поэтому особенно заметный рост уровня показателей АП БСП произошел с появлением на мировом рынке силовых быстродействующих ПП нового поколения, к которым можно отнести современные двухоперационные тиристоры (GTO, GCT), а также транзисторы с полевым управлением (IGBT, MOSFET) [15-24].

Однако повышение частоты в ПЗПЧ АП приводит к росту коммутационных потерь в ПП при выполнении «принудительной» коммутации – изменении проводимости элемента под напряжением, во время которой он находится в активном режиме. Соответственно, приходится увеличивать массу и габариты ЦКЗ, предназначенных для снижения этих потерь. Последнее объясняется тем, что с ростом частоты возрастает мощность, запасаемая реактивными элементами ЦКЗ, и необходимо увеличивать элементы рассеяния этой мощности или цепи ее сброса в нагрузку либо ИП. Такое традиционное решение ведет к усложнению конструкции и увеличению стоимости АП, снижению КПД и ухудшению массогабаритных показателей. Это может показаться не столь существенным для силовых ПК на базе GCT и транзисторов с полевым управлением, поскольку они могут работать без ЦКЗ в так называемом «безснабберном» режиме [18-24]. При разработке же высоковольтных АП с ПЗПЧ для ЭПС железных дорог рост коммутационных потерь становится препятствием, не позволяющим полностью использовать возможности силовых ПП.

Применение АП на базе резонансных инверторов для БСП ЭПС с «естественной» коммутацией ПК, когда изменение проводимости элемента происходит без напряжения, что позволяет снизить коммутационные потери, ограничено. Причиной этому является неблагоприятное соотношение амплитудных, действующих и средних значений тока и напряжения в элементах схем РИ, а также большая установленная мощность элементов резонансного контура, который обеспечивает колебательный характер тока и, тем самым, естественную коммутацию ПК.

На всех этапах развития импульсной преобразовательной техники ЭПС железных дорог являлся своеобразным «полигоном» для испытаний и апробации новых схмотехнических и конструкторских решений. Свои первые разработки преобразовательных агрегатов испытывали на ЭПС такие видные ученые-фундаторы преобразовательной техники как Тихменев Б.Н., Трахтман Я.В.,

Розенфельд В.Е., Тулупов В.Д, Глазенко Т.А., Бирзниекас Л.В., Ранькис И.Я., Ротанов Н.А. [6, 25-30].

Перед разработчиками преобразователей электроэнергии для нового ЭПС железных дорог Украины сегодня стоит комплекс задач по созданию АП, которые войдут в состав высокоэффективных БСП. Для таких систем важными являются минимальные масса и габариты АП, высокая надежность и КПД при относительно невысокой стоимости. Но, как уже было сказано выше, на пути совершенствования АП с ПЗПЧ стоит проблема роста коммутационных потерь, которую не удастся решить традиционными методами.

Чтобы облегчить условия работы силовых ПП АП с ПЗПЧ уменьшением коммутационных потерь, избежать потерь в ЦКЗ и упростить их, предлагается использовать режим так называемой однородной коммутации [31-33]. В режиме ОК силовые ПК коммутатора на периоде процесса преобразования электрической энергии выполняют принудительную коммутацию только одного рода (только принудительные включения или только принудительные выключения), а вторая коммутация является естественной.

Поскольку при ОК коммутационные потери в силовых ПП значительно снижаются, это позволяет более полно использовать их возможности, а также можно более эффективно применять ПП, которые не могут находиться в устойчивом активном режиме, такие, например, как тиристоры. Для защиты ПП при ОК можно применять однородные ЦКЗ, то есть только индуктивные или только емкостные, и нет необходимости в элементах рассеяния или сброса энергии, запасаемой в реактивных элементах, поскольку вторая коммутация на периоде процесса преобразования электрической энергии естественная [31-33], что особенно важно для высоковольтных АП БСП ЭПС, в которых традиционные ЦКЗ вносят большие потери. Все это, за счет применения в коммутаторах режима ОК, позволяет повысить частоту преобразования, улучшить массогабаритные показатели, повысить КПД АП при упрощении их схемы и конструкции, а, значит, и снижении стоимости БСП ЭПС.

Благодаря перечисленным преимуществам представляется актуальным и перспективным применение АП с ПЗПЧ, коммутаторы которых работают в режиме ОК, для построения БСП ЭПС железных дорог. Разработкой таких систем занимаются научные коллективы НТУ «ХПИ», УкрГАЖТ, СКБ НПО «ДЭВЗ» и международного консорциума «Энергосбережение».

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа по созданию БСП для магистральных электровозов постоянного тока выполнялась по заданию «Укрзалізниці» в соответствии с темой №339-95Цтех «Разработка и опытно-промышленная реализация высокоэффективной бортовой системы электроснабжения на базе тиристорного инвертора напряжения для электровоза постоянного тока» номер госрегистрации №0196U001417 в рамках Государственной научно-технической программы «Электровозостроение».

Цель диссертационной работы – улучшение характеристик БСП ЭПС железных дорог за счет использования в коммутаторах АП режима ОК.

Для достижения цели необходимо решить такие **основные задачи**:

1. Выполнить анализ способов улучшения характеристик АП БСП ЭПС железных дорог.
2. Выполнить анализ параметров существующих ПК для АП БСП ЭПС, а также базовой схемы нового ПК для АП, обеспечивающего высокие энергетические и динамические характеристики при реализации ОК второго рода.
3. Разработать методику выбора структуры и рода коммутации в АП с ПЗПЧ, работающих в режиме ОК, и доработать структуру АП с ОК БСП ЭПС постоянного тока.
4. Выполнить анализ динамической устойчивости АП с ОК, реализуемой насыщением сердечника трансформатора, а также разработать структуры и методику расчета параметров элементов демпфирующих цепей для обеспечения устойчивости АП с ОК БСП ЭПС.

5. Разработать методику расчета параметров элементов коммутационной защиты ПК АП с ОК для БСП ЭПС железных дорог.

Объект исследования – электромагнитные процессы, протекающие в преобразователях бортовых систем питания ЭПС железных дорог.

Предмет исследования – коммутационные характеристики преобразователей, улучшение которых за счет применения ОК обеспечивает повышение КПД и удельных энергетических характеристик бортовых систем питания ЭПС.

Методы исследований. В работе использованы:

- метод основных гармоник и метод коммутационных функций при исследовании структур ПК и АП для БСП при реализации ОК;
- метод фазовой плоскости и первый метод Ляпунова при исследовании динамической устойчивости АП.

Для проверки достоверности теоретически полученных результатов использовалось:

- компьютерное моделирование при помощи комплекта прикладных программ MATLAB и специально разработанных программ с ручным формированием дифференциальных уравнений;
- физическое моделирование на масштабных макетных образцах АПБСП.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Предложена методика выбора структуры и рода коммутации в АП с ПЗПЧ, работающих в режиме ОК.
2. Впервые установлены основные соотношения параметров базовой схемы нового ПК для АП БСП, обеспечивающего высокие энергетические и динамические характеристики при реализации ОК второго рода.
3. Предложены структуры и обоснована методика расчета демпфирующих цепей, обеспечивающих динамическую устойчивость АП с ОК, реализуемой насыщением сердечника трансформатора.
4. Обоснована методика расчета основных параметров элементов коммутационной защиты ПК с ОК для АП БСП.

Практическое значение полученных результатов:

1. Разработана структурная схема АП с ОК для высокоэффективной БСП магистральных электровозов постоянного тока и проведено масштабное макетирование АП с ОК для БСП электровозов постоянного тока, которое подтвердило правильность теоретических предпосылок.
2. Предложена методика расчета параметров базовой схемы нового ПК для АП БСП, обеспечивающего высокие энергетические и динамические характеристики при реализации ОК второго рода, позволяющего повысить надежность работы ПП за счет исключения возможности нахождения в устойчивом активном режиме, осуществить внутреннюю самозащиту от перегрузок по току без дополнительных датчиков тока и внешних элементов, реализовать возможность управления как импульсами разной длительности, так и непрерывным сигналом.
3. Разработаны методики расчета и проектирования схем АП с ОК, которые рекомендованы к практическому применению, в том числе:
 - методика выбора структуры и рода коммутации в коммутаторах АП с ПЗПЧ, работающих в режиме ОК;
 - методика расчета и структуры узлов коммутационной защиты ПК АП БСП при ОК;
 - методика расчета и структуры демпфирующих цепей, обеспечивающих динамическую устойчивость АП с ОК, реализуемой насыщением сердечника трансформатора.

Личный вклад автора у совместных работах опубликованных по теме диссертации:

- анализ характеристик трансформатора с насыщающимся ферритовым сердечником в работе [33];
- методика расчета основных параметров базовой схемы нового ПК для АП БСП, обеспечивающего высокие энергетические и динамические характеристики при реализации ОК второго рода [72, 73];

- структура и методика расчета демпфирующих цепей, обеспечивающих динамическую устойчивость АП с ОК БСП ЭПС [95].

В остальных совместных работах вклад авторов одинаков [31, 32, 80].

Апробация работы. В полном объеме результаты работы докладывались на заседаниях кафедры «Промышленная и биомедицинская электроника» НТУ «ХПИ» и кафедры «Системы электрической тяги» УкрГАЖТ в 2002 году. Отдельные разделы работы докладывались на научно-технических совещаниях НПО ДЭВЗ (Днепропетровск, 1998г.) и международного консорциума «Энергосбережение» (Харьков, 2002г.)

Основные результаты работы докладывались на:

- Международной научно-технической конференции «Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения», Харьков, 1996г.
- Семинаре Научного Совета НАН Украины «Полупроводниковые и микропроцессорные устройства в электроэнергетических системах транспорта» с комплексных проблем «Научные основы электроэнергетики» в 1998-2002 годах.
- Ежегодных научно-технических конференциях кафедр Украинской государственной академии железнодорожного транспорта в 1994-2002 годах.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ, из которых пять в изданиях, рекомендуемых ВАК Украины для публикации основных результатов диссертаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145с.
2. Браташ В.А., Чумак В.В. Перспективы развития электровозостроения на Украине. II Международная конференция «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава». Тезисы докладов. – Новочеркасск, 1997. – С.11-13.
3. Браташ В.А. Пассажирский электровоз постоянного тока типа ДЭ2. II Международная конференция «Состояние и перспективы развития электроподвижного состава». Тезисы докладов. – Новочеркасск, 1997. – С.16-17.
4. Басов Г.Г., Найш Н.М., Мищенко К.П., Гундарь В.П., Лозовой М.Г. Создание электропоездов в холдинговой компании «Лугансктепловоз». Вісник Східноукраїнського університету ім. В.Даля. Луганськ, 2002. № 6. - С. 11 - 15.
5. Постанова Кабінету міністрів України “Про комплексну державну програму енергозбереження України” від 5 лютого 1997року №148 // Офіційний вісник України. 1997. - №6. – С.90.
6. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты. М.: Транспорт, 1980. – 471с.
7. Лувишис А.Л. Применение силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором в преобразователях зарубежного тягового подвижного состава // Ж.-д. транспорт. Сер. Локомотивы и локомотивное хозяйство. Ремонт локомотивов. ОИ/ЦНИИТЭИ МПС. 1999. – Вып.1-2. – С.1-64.
8. Статические агрегаты бесперебойного питания / Под ред. Ф.И. Ковалева. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 186с.

9. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 184 с.
10. Тонкаль В.Е., Мельничук Л.П., Новосельцев А.В. и др. Полупроводниковые преобразователи модуляционного типа с промежуточным звеном повышенной частоты. – К.: Наукова думка, 1985. – 218 с.
11. Ранькис И.Я. Оптимизация параметров тиристорных систем импульсного регулирования тягового электропривода. – Рига: Зинатне, 1985. – 183с.
12. Преобразовательная техника / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко – К.: Вища школа, 1978. - 424 с.
13. Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 120 с.
14. Бас А.А., Миловзоров В.П., Мусолин А.К. Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом. – М.: Радио и связь, 1987. – 160 с.
15. Тиристорное управление электрическим подвижным составом / В.Е. Розенфельд, В.В. Шевченко, В.А. Майбога и др. / Под ред. В.Е. Розенфельда. – М.: Транспорт, 1970. – 240 с.
16. Тулупов В.Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 368 с.
17. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко / Под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
18. Расчет и проектирование статических преобразователей подвижного состава/ Под ред. Ю.М. Инькова. – М.: МИИТ, 1985. – 196 с.
19. Тихменев Б.Н., Голованов В.А., Радченко В.Д., Рубчинский З.М. Электроподвижной состав с полупроводниковыми преобразователями. – М.: Транспорт, 1997. – 307 с.
20. Still L., Hartung G. Modularer IGBT – Hilfsbetriebeumrichter fur Rriebfahrzeuge. Elektrische Bahnen. - №11. – 1994. –S.305-310.

21. Шенкер Д. Тиристоры, переключаемые с частотой 20 кГц. // Электротехника. - №22, 1987. – С. 14-15.
22. Ковалев Ф.И., Флоренцев С.Н. Состояние и тенденции развития приборов силовой электроники на рубеже столетий // Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Силова електроніка та енергоефективність. – К.: – 1998. Т.1. Спец. вип.2. – С. 279-285.
23. Горбачев М.Н. Сопоставительный анализ силовых структур транзисторных преобразователей. К.: Препр./ АН УССР. Институт проблем Энергосбережения, 91-2. 1991. – 28 с.
24. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.
25. Силовые полупроводниковые приборы International Rectifier. Пер.с англ. под ред. В.В.Токарева. – Воронеж: Издательство ТОО МП «Элист», 1995. – 661 с.
26. CD-ROM “Interactive the complete power conversion design tool”. International Rectifier, 1998.
27. SIEMENS. Силовые IGBT модули. Материалы по применению. – М.: ДОДЭКА, 1997. – 157 с.
28. Силовые полупроводниковые приборы. Каталог фирмы International Rectifier.: Пер. с англ. под ред. В.В.Токарева. – М.: IR Group, 1995. – 353 с.
29. Флоренцев С.Н., Буданов Х.Г., Гарцбейн В.М., Романовская Л.В. Современные перспективные IGBT модули // Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Силова електроніка та енергоефективність. – К.: – 2000. Ч.1.– С.19-28.
30. Consoli A. Thermal instability of low voltage power – MOSFET’S. “IEEE Trans. on power electronics, v.15, 2000, №3, pp. 575-581.
31. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Маслов В.И., Чумак В.В. К вопросу о классификации видов коммутации в полупроводниковых преобразователях и энергетических характеристиках коммутационного

- процесса // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения». Харьков, 1996. - С. 68-69.
32. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Яцко С.И., Никитин А.В., Чумак В.В. Связи между энергетическими явлениями при коммутации в полупроводниковых преобразователях // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. Харьков, 1997. №3. - С. 64-69.
33. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Чумак В.В. Источники питания с однородной коммутацией для устройств автоматизации управления электровозом // Сборник трудов ХГАЖТ. Выпуск 28. Харьков, 1997. - С. 9-17.
34. Iturriz F., Ladoux P. Association de structures duales. Convertisseurs indirects continu – alternatif, in EPF'96, v.1, Grenoble, France, 1996. pp.181-186.
35. Iturriz F., Ladoux P. Phase-controlled multilevel converters based on dual structure associations. IEEE Trans. on power electronics, v.15, 2000. №1, pp.92-102.
36. Готлиб И.М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы. – М.: Постмаркет, 2000. – 552 с.
37. Jung-Goo Cho, Ju-Won Baek, Dong-Wook Yoo and Hong-Sik Lee. Reduced conduction loss zero-voltage-transition power factor correction converter with low cost. IEEE Trans. on industrial electronics, v.45, 1998. №3, pp. 395-399.
38. Лаппе Р., Фишер Ф. Измерения в энергетической электронике: Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.
39. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г., Недошивин Р.П. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 400 с.
40. Евсеев Ю.А. Полупроводниковые приборы для мощных высоковольтных преобразовательных устройств. – М.: Энергия, 1978. – 322 с.
41. Чумак В.В. Бортовая система электроснабжения электровозов постоянного тока на основе статических преобразователей: Дис...канд. техн. наук: 05.22.07. – Харьков, 1997. – 159 с.

42. Герлах В. Тиристоры: Пер. с нем. / Под ред. Ю.А. Евсеева. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 328 с.
43. Евсеев Ю.А., Дерменжи П.Г. Силовые полупроводниковые приборы. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
44. Чернышев А.А. Демпфирующие цепи обычных и запираемых по управлению тиристоров // Тепловозное и энергетическое электрооборудование: Сб. научн. тр. Вып. 3. – Харьков: НИИ «Электротяжмаш», 1991. – С.23-28.
45. Ise T., Kim T., Murakami Y. Design of snubber capacitors for current source converter, with energy recovery snubber circuits. PESC' 96, v. 3, P.130.
46. Захарченко С.Н. Оптимизация системы полупроводниковый ключ – демпфирующие цепочки с рекуперацией энергии // Технічна електродинаміка. Спец. вип.2: Силова електроніка та енергоефективність. – К.: - 1998. т.2.– С.219-224.
47. Дикань С.В., Намитокон К.К. Аппараты систем бесперебойного электроснабжения. – К.: Техніка, 1989. – 174 с.
48. Забродин Ю.С. Узлы принудительной конденсаторной коммутации тиристоров. – М.: Энергия, 1974. – 128 с.
49. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Тимченко Н.А. Узлы коммутации с шунтированием силового тиристора // Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции «Современные задачи преобразовательной техники». Ч.3. – К.: 1975. – С.129 -138.
50. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. И.М. Чиженко. – К.: Техніка, 1978. – 447 с.
51. Булатов О.Г., Лыщак П.С., Одынь С.В. Мощные ключи на тиристорах, выключаемых по цепи управления // Электротехн. пром-сть. Сер. 05. Силовая преобразовательная техника: Обзор. информ.- Вып.19. 1988. – С.1-48.
52. Панасенко Н.В., Шипилло А.В. Об опыте применения запираемых тиристоров в автономных преобразователях // Тезисы докладов V Всесоюзной

- конференции «Проблемы преобразовательной техники». Часть 5. – К., 1991. - С. 250.
- 53.Харлайнен М. Преобразователи частоты с запираемыми тиристорами и микропроцессорным управлением. – М.: Представительство фирмы «Стремберг», 1987. – 28 с.
- 54.Булатов О.Г., Царенко А.И. Тиристорно-конденсаторные преобразователи. - М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.
- 55.А.с. № 669458 СССР. Импульсный преобразователь постоянного напряжения / В.И. Мамонтов, А.Г. Придатков, Ю.К. Розанов, А.М. Соколов, Ю.Г. Толстов // Открытия. Изобретения, 1979, № 3.
- 56.Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И. Владимиров, А.Л. Докторов, Ф.В. Елизаров и др. / Под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
- 57.Ромаш Э.М. Транзисторные преобразователи в устройствах питания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1975. – 176 с.
- 58.Перетворювальна техніка. Підручник. Ч.2 / Гончаров Ю.П., Будьонний О.В., Морозов В.Г., Панасенко М.В., Ромашко В.Я., Руденко В.С. / За ред. Руденка В.С. – Харків: Фоліо, 2000. –360 с.
- 59.Донской Н.В., Кулик В.Д. Теория и схемы тиристорных инверторов повышенной частоты с широтным регулированием напряжения. – Л.: Энергия, 1980. – 158 с.
- 60.Электровоз ДЭ-1. Руководство по эксплуатации / В.А. Браташ и др. – Днепропетровск: НПО «ДЭВЗ», 1996. – 240 с.
- 61.Головатый А.Т., Исаев И.П., Горчаков Е.В. Независимое возбуждение тяговых двигателей электровозов. – М.: Транспорт, 1978.- 150 с.
- 62.Кисляков В.А., Плакс А.В., Пупынин В.Н. и др. Электрические железные дороги. – М.: Транспорт, 1993. – 280 с.

63. Гончаров Ю.П. Полупроводниковые преобразователи для питания разветвленных и импульсных нагрузок : Дис... докт. техн. наук.: 05.09.12. – Харьков, 1998. – 266 с.
64. Рабинерсон А.А., Ашкенази Г.А. Режимы нагрузки силовых полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1976. – 296 с.
65. Mohan N., Undeland T.M., Robins W.P. Power Electronics. New York: John Wiley, 1995, p.717.
66. Краткий каталог 1998г. Мощные полупроводниковые приборы.- ABB Semiconductors AG. – М.: АББ Индустрия и стройтехника, 1998. – 24 с.
67. Тейлор П. Расчет и проектирование тиристорov / Пер. с англ. под ред. Ю.А.Евсеева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
68. Панасенко Н.В., Шипилло А.В., Никулин В.С., Скоробогатов А.И. Способ выключения полупроводникового прибора с четырехслойной *p-n-p-n*-структурой. – А.с. №1521184 (для служебного пользования).
69. Джентри Ф., Гутцвиллер Ф., Голоньяк Н., фон Застров Э. Управляемые полупроводниковые вентили / Пер. с англ. под ред. В.М.Тучкевича. – М.: Мир, 1967. – 456 с.
70. Панасенко Н.В. Быстродействующие тиристоры и структуры управляемых ключей для тяговых автономных преобразователей : Дис... докт. техн. наук.: 05.09.12. – К., 1994. – 394 с.
71. Горяинов С.А., Абезгауз И.Д. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. – М.: Энергия, 1970. – 320 с.
72. Гота Кано, Хито Иваза, Хиромицу Такаси, Ивао Терамото. Лямбда-диод многофункциональный прибор с отрицательным сопротивлением: Пер. с англ. – М.: Электроника, 1975.- Т.48, №13.- С.48-53.
73. Схемотехника устройств на мощных полевых транзисторах.: Справочник / В.В.Бачурин, В.Я.Ваксенбург, В.П.Дьяконов и др./ Под ред. В.П.Дьяконова. – М.: Радио и связь, 1994. – 280 с.

74. Переверзев А.В. Интегральные модули на составных и функционально-интегрированных приборах. – Запорожье: ЗГИА, 1998. – 192 с.
75. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Ерьсько А.В., Родин Н.Ю. Новая полупроводниковая структура для исполнения однородной коммутации // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: ХарДАЗТ, 2000. № 3. - С. 22 - 27.
76. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Ерьсько А.В., Ивахно В.В., Семененко А.И. Силовые полупроводниковые ключи с внутренней обратной связью, действующей на выключение // Вестник ХГПУ. – Харьков: ХГПУ – 2000. №106 – С. 67-74.
77. Шидловский А.К., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Ерьсько А.В., Войтенко А.А. Новый силовой полупроводниковый прибор с дуальными свойствами по отношению к тиристорам // Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Проблеми сучасної електротехніки. – 2000. Ч.1. – С. 25-28.
78. Ерьсько А.В. Способы улучшения характеристик преобразователей с синусоидальной ШИМ: Дис... канд. техн. наук: 05.09.12. – Харьков, 2001. – 137с.
79. Семененко О.И. Первинний перетворювач напруги бортової системи електропостачання електровоза постійного струму // Тези доповідей 57 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. – Харків: ХарДАЗТ, 1995. – С. 21.
80. Гончаров Ю.П., Панасенко М.В., Семененко О.И. Бортові системи електроживлення для ЕРС // Збірник наукових праць ХарДАЗТ. Випуск 39. Харків, 2000. - С. 6-10.
81. Шницер Л.М. Нагрузочная способность силовых трансформаторов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1953. - 112 с.
82. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Энергоиздат, 1986. – 528 с.
83. Бальян Р.Х. Трансформаторы для радиоэлектроники. – М.: Советское радио, 1971. – 720 с.

84. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. Л.: Энергия, 1970. – 432 с.
85. Михайлова М.М., Филиппов В.В., Муслаков В.П. Магнитомягкие ферриты для радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Под ред. А.Е.Оборонко. – М.: Радио и связь, 1983. – 200 с.
86. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высшая школа, 1986. – 352 с.
87. Сидоров И.Н., Биннатов М.Ф., Шведова Л.Г. Индуктивные элементы радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1992. – 288с.
88. Toshiba. GTO thyristor. Applikation note. 1990.
89. Запираемые тиристоры ТЗ 173-1600, ТЗ 173-2000, ТЗ 173-2500. Информационный лист. – М.: ВЭИ, 1990. – 2 с.
90. Исаев И.П., Иньков Ю.М., Феоктистов В.П. Преобразователи для централизованного снабжения поездов от тепловозов. // Электротехника. – 1972. - №4. - С.5-10.
91. Руденко В.С., Жуйков В.Я., Коротеев И.В. Расчет устройств преобразовательной техники.- К.: Техника, 1980. – 135 с.
92. Бедфорд Б., Хофт Р. Теория автономных инверторов. Пер. с английского под ред. И.В. Антипина. – М.: Энергия, 1989. – 280 с.
93. Веселовский О.Н., Браславский Л.М. Основы электротехники и электрические устройства радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1977. – 312 с.
94. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х томах. – Л.: Энергия, 1967. Т.2. – 522 с.
95. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семенов А.И., Чумак В.В. Применение силовых демпфированных фильтров в преобразователях бортовых систем электроснабжения транспортных средств // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - Харьков, 1996. № 6. – С.19-20.

96. Долбня В.Т., Сокол Е.И. Исследование переходных процессов в преобразователях путем отображения на комплексную плоскость. – Харьков: ХГУ, 1988. – 136 с.
97. Влах И., Сингхал К. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем. – М.: Радио и связь, 1988. – 560 с.
98. Ильин В.Н. Основы автоматизации схемотехнического проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 391 с.
99. Джури Э. Импульсные системы автоматического регулирования. – М.: Физматгиз, 1963. – 455 с.
100. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
101. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
102. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
103. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1966. – 564 с.
104. Гончаров Ю.П., Хариси Х.Я., Никитин А.В., Кривошеев С.Ю. Быстрый численный метод расчета периодических режимов в полупроводниковых преобразователях // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 11. – Харьков: ХГПУ, 1998. – С.58-66.
105. Справочник по электрическим конденсаторам / Под общей ред. В.В. Ермуратского. – Кишинев: Штиинца, 1982. – 309 с.
106. Справочник по электролитическим конденсаторам / М.Н. Дьяконов, В.И. Карabanов, В.И. Просняков и др./ Под общ. ред. И.И. Четвертакова и В.Ф. Смирнова. – М.: Радио и связь, 1983. – 576 с.
107. Васильев А.С., Кошелев А.П. Передаточные функции вентильных преобразователей в системах электропитания при малых возмущениях // Электричество, 1985, №1. – С.14-22.

108. Семененко О.І. Використання режиму однорідної комутації в перетворювачах з проміжною ланкою підвищеної частоти. Тези доповідей 63 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. № 5. - С. 119.
109. Глазенко Т.А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока. – Л.: Энергия. 1973. – 304с.
110. Бирзниеке Л.В. Импульсные преобразователи постоянного тока. – М.: Энергия. 1974. – 256с

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы JGS для проверки динамической устойчивости АП

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения результатов диссертации