

ХАРЬКОВСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

ВЯЗЯНОВ ЕВГЕНИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

ИСТОЧНИКИ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОВИЗИЧЕСКОУ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Специальность 05.09.12 - Полупроводниковые преобразователи  
электроэнергии

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Харьков - 1996 г.



Дисертацією являється

Робота виконана на кафедрі "Промислова електроніка"  
Донецького горно-металургічного інституту

Научний керівник : кандидат технічних наук, доцент  
Коденко Володимир Степанович

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор  
Синчук Олег Николаєвич

кандидат технічних наук, доцент  
Іванко Володимир Вікторович

Ведуча організація ( підприємство ) Відділення магнетизма  
інституту електродинаміки НАН України, г. Харків

Відзнята состоїться "29" мая 1996 г. на засіданні спеціалізовано-  
ваного ученого совету К 02.09.14 в Харківському державному  
ном політехнічному університеті (310002, г. Харків, ГСП,  
ул. Д. Луїве, 21, к. 301-Б електрорушунка).

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського  
державного політехнічного університета

Автореферат відіслан "12" апреля 1996 года

Учений секретарь  
спеціалізованого ученого совету

Гончаров Ю. П.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Бурное развитие техники и технологии в конце XX века характеризуется ростом потребления электрической энергии при стремлении к снижению мощности потерь. Изначально промышленные установки потребляли переменный или же постоянный ток, но с появлением таких направлений, как автоматизированный электропривод, лазерная техника ВЧ- и СВЧ-техника, электротехнология, спектральный состав потребляемого тока существенно расширился. Это привело к тому, что в настоящее время большая часть электроэнергии потребляется в преобразованном виде.

Источники импульсного питания (ИИП, далее - ИП), обеспечивающие преобразование энергии постоянного или переменного тока в импульсный ток, находят широкое применение в промышленности, технике связи, ядерной физике, геологии и других отраслях науки и техники. Эти нагрузки имеют ряд общих свойств: большой мгновенной потребляемой мощностью; нелинейной нагрузкой с малым сопротивлением; малой длительностью процессов - от десятков микросекунд до единиц миллисекунд.

Использование для питания электрофизических и электротехнологических установок известных устройств преобразовательной техники не всегда позволяет реализовать преимущества технологии и обеспечить наилучшую совокупность энергетических, статических и динамических параметров ИП.

Поэтому разработка ИП с улучшенными энергетическими, статическими и динамическими показателями, которые максимально удовлетворяют требованиям, предъявляемых различными нагрузками в широком диапазоне изменения их параметров является актуальной задачей.

Целью работы является разработка методов улучшения энергетических, статических и динамических параметров источников импульсного питания электрофизических и электротехнологических установок.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Анализа известных способов и устройств для получения прямоугольных импульсов тока в активно-индуктивной нагрузке
2. Анализа и разработки схем формирователей импульсов (ФИТ), обеспечивающих улучшение энергетических, статических и динамических параметров ИП при изменяющихся параметрах нагрузки.
3. Исследования статических и динамических параметров известных и разработанных ФИТ
4. Выбора структурных и разработки принципиальных схем основных узлов ИП на базе разработанных ФИТ
5. Синтеза и анализа систем автоматического регулирования амплитуды выходных импульсов
6. Разработки рекомендаций по проектированию и использованию ИП для нагрузок с заданными параметрами

Изучная новизна работы заключается в следующем:

1. Получены зависимости, позволяющие определить области эффективного применения ФИТ и ИП в зависимости от заданных параметров выходных импульсов и нагрузки, а также требуемых энергетических, статических и динамических показателей ИП
2. Получены математические описания известных и разработанных ФИТ и ИП во временной и частотной областях

Практическая ценность:

1. Предложены схемы ИП электрофизических и электротехнологических установок. Разработаны рекомендации по проектированию и использованию ИП
2. Разработаны схемы ФИТ для активно-индуктивной нагрузки,

обладающие улучшенными энергетическими, статическими и динамическими показателями

3. Синтезированы и исследованы системы автоматического регулирования амплитуды выходных импульсов

4. Предложена новая конструкция мощного коаксиального импульсного трансформатора, обеспечивающая малые индуктивности рассеяния

На защиту выносятся

1. Результаты анализа и разработки ФИТ
2. Результаты синтеза и анализа систем автоматического регулирования источников импульсного питания
3. Конкретная реализация основных узлов ИП

Реализация результатов работы

Результаты диссертационной работы использовались при разработке импульсных источников анодного питания установок физического эксперимента в рамках хозяйственных работ с Институтом физики высоких энергий (г. Серпухов, Россия).

Система одноканального управления преобразователем переменного напряжения в постоянное, предложенная в диссертационной работе, с 1992 года выпускается мелкой серией государственной научно-производственной фирмой "Сигма" (г. Алчевск, Украина).

Апробация работы

Основные положения работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции "Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения" (г. Алушта, октябрь 1993 г.), на научно-практической конференции "Наукоёмкие технологии двойного назначения" (г. Киев, март 1994 г.), научном семинаре НАН Украины "Вопросы теории разработки и исследования вентильных преобразовате-

лей" (г. Харьков, ХГТУ, февраль 1994 г.), а также на научно-технических конференциях Дочбасского горно-металлургического института (г. Алчевск 1989-1995 гг.).

#### Публикации

по результатам выполненным исследований и разработок опубликовано 13 печатных работ, две из которых авторские свидетельства, один патент Украины, два тезиса докладов на конференциях, восемь статей.

#### Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 116 наименований, 6 приложений и содержит 244 страницы, из которых 134 страниц основного текста, 83 рисунка на 59 страницах, 4 таблицы, 25 страниц приложений.

#### Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований. Изложены основные научные и практические результаты, полученные в работе, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе определены области применения источников импульсного питания и требования, предъявляемые к ним. Рассмотрена нагрузка ИП.

Проведен сравнительный анализ известных способов и устройств для получения трапецеидальных импульсов тока в активно-индуктивной нагрузке: без использования накопителей энергии и с их использованием. Показано, что при построении ИП актуальным является достижение наилучшей совокупности энергетических, статических и динамических показателей.

Определены направления и методы исследований.

Вторая глава посвящена анализу и разработке формирователей импульсов тока (ФИТ). Указанные этапы проводились для следующих схем формирователей: без накопителей энергии (СЛ БНЭ), с индуктивными (ФИТ ИНЭ), емкостными (ФИТ ЕНЭ) и индуктивно-емкостными (ФИТ И.НЭ) накопителями энергии. Проведен анализ электромагнитных процессов, получены формулы для расчета энергетических, статических и динамических показателей известных и разработанных схем ФИТ.

Базовая схема ФИТ БНЭ (рис.1, а) характеризуется противоречием между условиями обеспечения высоких энергетических, статических и динамических показателей: уменьшение ошибки  $\delta I$ , длительностей фронта  $t_{\phi}$  и среза  $t_c$  импульса достигается повышением напряжения питания ФИТ, а повышение КПД - снижением указанного напряжения.

Показано, что статические параметры схемы рис.1, а при непрерывном регулировании определяются в основном статическими параметрами транзистора, а при импульсном - его динамическими параметрами. При этом динамические показатели ( $t_{\phi}$  и  $t_c$ ) базовой схемы ФИТ БНЭ определяются параметрами нагрузки и напряжением питания ФИТ.

КПД ФИТ БНЭ при непрерывном регулировании уровня тока на вершине импульса определяется соотношением падения напряжения на сопротивлении цепи нагрузки и напряжения питания. Анализ показал, что при импульсном регулировании КПД зависит не только от указанного соотношения, но и от требуемой точности поддержания уровня тока на вершине импульса и динамических параметров полупроводниковых ключей. При  $\delta I \rightarrow 0$ ,  $t_{\phi} \rightarrow 0$  и  $t_c \rightarrow 0$  КПД базовой схемы не зависит от способа регулирования и равен

$$\eta \approx I_{\text{нmax}}^2 \cdot R_{\text{л}} / E_1, \quad (1)$$

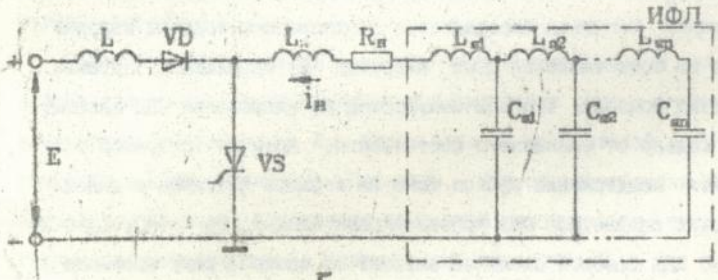
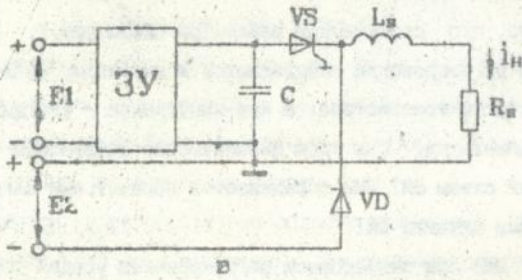
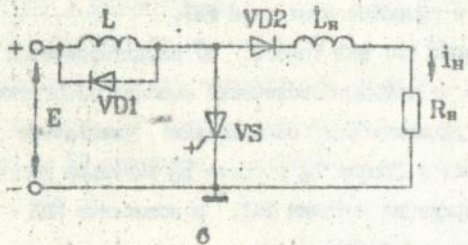
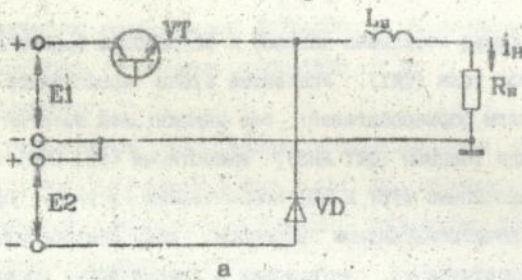


Рис.1

где  $I_{нп}$  - заданная амплитуда выходного импульса тока;

$E_1$  - напряжение питания ФИТ.

Для улучшения КПД, статических и динамических параметров ИП предложено использовать многоячейковую структуру, состоящую из  $N$  идентичных ячеек ФИТ БНЭ (рис.1, а), включенных параллельно по входу и последовательно по выходу. Предложен следующий алгоритм управления ячейками. При формировании фронта и среза выходного импульса транзисторы всех ячеек работают в режиме насыщения, а при формировании горловины - транзисторы  $n$  ячеек ( $n < N$ ) работают в режиме насыщения, а транзистор одной ячейки - в линейном режиме. Это позволяет повысить КПД и снизить величину ошибки.

Величина ошибки в базовой схеме ФИТ ИНЭ (рис.1, б) зависит от индуктивности накопителя, напряжения питания, параметров нагрузки и длительности выходного импульса  $t_{и}$ . Для получения высокой точности необходимо, чтобы энергоемкость ИНЭ превышала энергопотребление нагрузки.

КПД базовой схемы ФИТ ИНЭ не зависит от напряжения питания и определяется потерями в тиристоре и накопительном реакторе (НР). Динамические параметры базовых схем ФИТ ИНЭ и ФИТ БНЭ идентичны, что объясняется одинаковой структурой схем при формировании фронта и среза импульса.

Предложена схема ФИТ ИНЭ с двухобмоточным НР (рис.2, а), которая позволяет устранить зависимость величины ошибки от длительности выходных импульсов и параметров нагрузки, уменьшить длительность фронта. Наибольший КПД такого ФИТ достигается при скважности выходных импульсов, близкой к 1.

Регулирование тока в ИНЭ на всех интервалах работы ФИТ (схема рис.2, б) дает возможность снизить величину ошибки при сохранении высокого КПД за счет увеличения эквивалентной

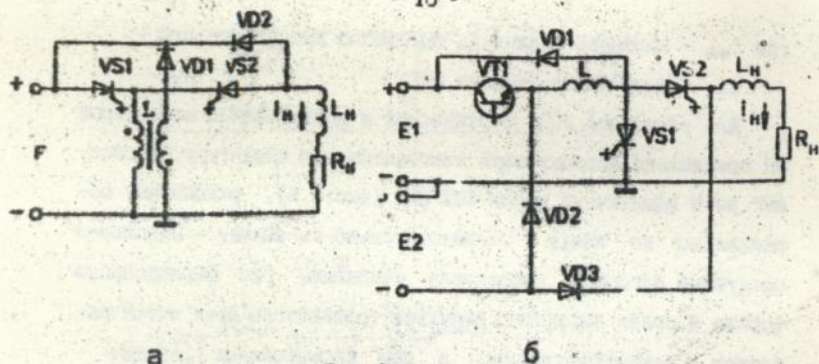


Рис.2

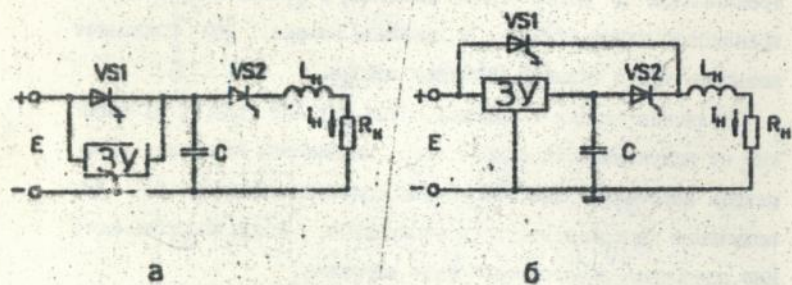


Рис.3

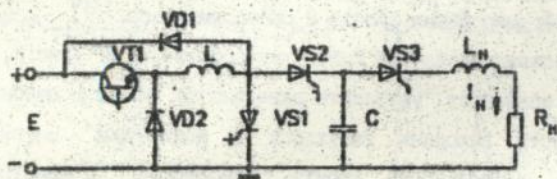


Рис.4

постоянной времени

$$\tau_{\text{вых}} = (L + L_{\text{н}}) / (R_{\text{л}} + R_{\text{н}}), \quad (2)$$

где  $L$  и  $R_{\text{л}}$  - соответственно индуктивность и сопротивление обмотки НР;

$L_{\text{н}}$  и  $R_{\text{н}}$  - соответственно индуктивность и сопротивление цепи нагрузки ИЛ.

Длительности фронта и среза выходного импульса в базовой схеме ФИТ ЕНЭ (рис.1, в) неизменны и на них явно влиять не удается, что является недостатком схемы. При этом точность зависит от соотношения емкости накопителя и энергопотребления нагрузки.

Показано, что в ФИТ с резонансным разрядом ЕНЭ (рис.3, а, б) за счет выбора напряжения питания ФИТ равным падению напряжения на  $R_{\text{н}}$ , а емкости ЕНЭ - равной или большей емкости  $L_{\text{н}}$  устранено противоречие, присущее ФИТ ЕНЭ и ФИТ ИНЭ. Длительности фронта и среза выходного импульса в такой схеме зависят от добротности контура ЕНЭ-нагрузка Q.

КПД всех схем ФИТ ЕНЭ определяется в основном статическими потерями в полупроводниковых ключах и не зависит от напряжения питания.

В базовой схеме ФИТ ИЕНЭ с искусственной формирующей линией (ИФЛ) (рис.1, г) основное влияние на КПД оказывают скважность выходных импульсов, добротность ИФЛ Q, а также  $t_{\text{гб}}$  конденсаторов. Проведенное моделирование схемы рис.1, г показало, что она характеризуется незначительной зависимостью параметров выходных импульсов от параметров цепи нагрузки. Недостатками базовой схемы ФИТ ИЕНЭ являются фиксированная длительность выходного импульса и невозможность регулирования уровня тока на вершине в пределах одного импульса.

Предложена схема ФИТ ИЕНЭ с разделенными ИНЭ и ЕНЭ

(рис. 4), которая позволяет регулировать длительность выходного импульса и уровень тока на вершине в пределах одного импульса. Недостатком схемы является сильная зависимость КПД от сопротивления потерь и скажущности выходных импульсов.

Таким образом, энергетические, статические и динамические параметры схем ФИТ зависят от напряжения питания, параметров цепи нагрузки, задания на амплитуду выходного импульса, длительности импульсов и частоты их следования. Кроме того, для схем ФИТ ИЭЭ добавляется зависимость указанных показателей от соотношения сопротивлений и индуктивностей нагрузки и нагрузки, для ФИТ ЭНЭ и ФИТ ИЭНЭ - от добротности  $Q$  контура ЭНЭ-нагрузка. Для многоячейковых структур (ФИТ БЭЭ и ФИТ ИЭНЭ на базе ИКД) характерна также зависимость энергетических, статических и динамических параметров от количества ячеек  $N$ .

Из всех рассмотренных схем ФИТ наименьшей зависимостью энергетических, статических и динамических показателей от параметров элементов схемы, нагрузки и источника питания характеризуется базовая схема ФИТ БЭЭ, многоячейковый ФИТ БЭЭ и ФИТ ИЭНЭ на базе ИКД. При этом две последние схемы ФИТ имеют преимущество перед первой за счет более высокого КПД и лучших динамических показателей.

На основании проведенного анализа разработаны рекомендации по проектированию схем ФИТ и их эффективному использованию в зависимости от характера нагрузки, параметров выходных импульсов и требуемых энергетических, статических и динамических показателей ИП.

В третьей главе приведен выбор структурных схем ИП, а также разработка основных узлов, входящих в их состав: преобразователи переменного напряжения в постоянное, устройств

управления силовыми ключами.

На основании проведенного в гл.1 и гл.2 анализа разработаны рекомендации по выбору структурных схем ИП в зависимости от характера нагрузки и используемой схемы ФИТ.

Предложена одноканальная система управления трехфазным преобразователем переменного напряжения в постоянное, позволяющая расширить диапазон регулирования и повысить симметрию импульсов управления во всех фазах преобразователя.

Предложены схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами (транзисторами и запираемыми тиристорами). Схемы позволяют повысить КПД и улучшить динамические свойства ключей. Это обеспечивается за счет накопления энергии в реактивных элементах на интервале отпирания ключа с последующей ее отдачей на интервале запираания.

Кроме того, предложена конструкция мощного коаксиального импульсного трансформатора со сниженной индуктивностью рассеяния.

В четвертой главе синтезированы и исследованы системы автоматического регулирования амплитуды выходных импульсов (САР АВИ) ИП на базе исследованных ФИТ.

Проведено математическое моделирование ФИТ в частотной области. Показано, что большинство ФИТ (за исключением многоячейкового ФИТ БНЭ и ФИТ ИЕНЭ на базе ИДЛ) можно представить звеном третьего порядка, статические и динамические параметры которого зависят от параметров нагрузки.

В частотной области многоячейковый ФИТ БНЭ предложено представить в виде последовательного соединения эквивалентного апериодического звена и нелинейного звена с характеристикой типа "насыщение". Статический коэффициент передачи эквивалентного звена равен отношению амплитуд выходного и

выходного напряжения, а постоянная времени равна произведению количества ячеек ФИТ на время задержки, вносимое одной ячейкой.

Предложено ФИТ ИЕНЭ на базе ИФЛ в частотной области представить эквивалентным звеном второго порядка, статический коэффициент передачи которого зависит от добротности ИФЛ и скважности выходных импульсов. Постоянная времени эквивалентного звена пропорциональна периоду частоты следования выходных импульсов, а коэффициент затухания обратно пропорционален добротности ИФЛ.

На основании результатов моделирования ФИТ проведен синтез САР АБИ для ИП на базе многоячейкового ФИТ БНЭ. Реализованная САР содержит последовательное и параллельное корректирующие звенья, что позволило исключить влияние сопротивления нагрузки на статический коэффициент передачи системы и уменьшить указанное влияние на постоянные времени. На основании модульного критерия оптимума Кесслера получены формулы для расчета параметров корректирующих звеньев.

Предложена САР для ИП на базе ИФЛ и управляемого выпрямителя. Система содержит два контура - "медленный" (контур регулирования тока заряда ИФЛ) и "быстрый" (контур регулирования длительности интервала заряда ИФЛ). Введение "быстрого" контура позволяет уменьшить длительность переходного процесса в системе и повисить коэффициент затухания. Разработана методика выбора параметров САР с требуемой точностью при условии устойчивости системы.

В приложениях приведены тексты программ для расчета К<sub>ст</sub> ФИТ, моделирования ФИТ во временной и частотной области, а также анализа систем автоматического регулирования. Кроме того, в приложениях приведен пример практической реализации

ИП и документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Рассмотрены области применения и нагрузка ИП.
2. Проведен анализ и разработка схем формирователей импульсов тока (ФИТ). Предложены схемы ФИТ с улучшенными энергетическими, статическими и динамическими показателями.
3. Получены зависимости, позволяющие определить энергетические, статические и динамические показатели ФИТ. Предложены методики расчета параметров элементов схем ФИТ, обеспечивающих наилучшую совокупность энергетических, статических и динамических параметров ИП. Разработаны рекомендации по выбору схем ФИТ в зависимости от типа нагрузки.
5. Произведен выбор структурных схем ИП. Разработаны рекомендации по их применению в зависимости от используемой схемы ФИТ и типа нагрузки.
6. Предложена одноканальная система импульсно-фазового управления для управляемого выпрямителя, обеспечивающая расширение диапазона регулирования при повышении симметрии управляющих импульсов во всех фазах.
7. Предложены устройства для управления силовыми полупроводниковыми ключами, обеспечивающие повышение КПД и улучшение динамических параметров ключей.
8. Предложена конструкция мощного коаксиального импульсного трансформатора с уменьшенными индуктивностями рассеяния.
9. Проведен анализ схем ФИТ в частотной области.
10. Синтезированы системы автоматического регулирования для ИП на базе многоячейкового ФИТ ВЭЭ и ИП на базе ИИЛ,

11. Результаты диссертационной работы использовались при разработке в рамках договорных работ с Институтом физики высоких энергий (г. Серпухов, Россия) импульсных источников автономного питания установок электрофизического эксперимента. Система одноканального управления преобразователем переменного напряжения и постоянное, разработанная в диссертационной работе, с 1992 года выпускается мелкой серией ГПП "Сигма" (г. Алчевск, Украина).

#### ПУБЛИКАЦИИ

1. Афанасьев А.М., Бизянов Е.Е., Дягилев В.И., Кодекин В.С. Принцип построения источников питания для электрофизических и электротехнологических установок // Сб. трудов Международной научно-технической конференции "Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения" (Алушта, 1993 г.). - Харьков, ХПИ, 1993. - с.13.
2. Бизянов Е.Е., Кодекин В.С. Источник питания для электро-технология // Сб. трудов Международной научно-технической конференции "Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения" (Алушта, 1993 г.). - Харьков, ХПИ, 1993. - с.25.
3. Кодекин В.С., Бизянов Е.Е. Анализ тиристорного формирователя импульсов тока. // Электронная преобразовательная техника. Вып.1. Вузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 66-70.
4. Кодекин В.С., Бизянов Е.Е., Войко В.И. Формирование прямоугольных импульсов тока для электротехнологических установок // Электронная преобразовательная техника, Вып.1. Вузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 71-74.
5. Кодекин В.С., Бизянов Е.Е., Кобин С.К. Уменьшение индуктивности рассеяния импульсного трансформатора. // Электронная

- преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 137-140.
6. Кодекин В. С., Еремин В. Г., Бизянов Е. Е., Кобин С. К. Выходной каскад системы управления транзисторного преобразователя. //Электронная преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 49-52.
7. Кодекин В. С., Бизянов Е. Е., Еремин В. Г., Кобин С. К. Синтез устройств управления силовым запираемым тиристором. //Электронная преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 43-49.
8. Кодекин В. С., Бизянов Е. Е., Еремин В. Г., Кобин С. К. Повышение коэффициента полезного действия источника вторичного электропитания. //Электронная преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 103-106.
9. Кодекин В. С., Бизянов Е. Е., Еремин В. Г., Кобин С. К. Устройство для управления силовым транзистором // Электронная преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 38-40.
10. Кодекин В. С., Бизянов Е. Е., Кобин С. К. Исследование влияния параметров ячеек искусственной формирующей линии на параметры выходных импульсов //Электронная преобразовательная техника. Вып. 1. Бузовский сборник. Алчевск, изд. ДГМИ, 1995. - с. 75-79.
11. А. с. 1705894 СССР МКИ Н 01 F 19/08. Импульсный трансформатор. Е. Е. Бизянов. - Опубл. 15. 01. 92, Бюл. N 2.
12. А. с. 1762392 СССР МКИ Н 03 К 3/53. Генератор импульсов. В. С. Кодекин, Е. Е. Бизянов., В. И. Войко. - Опубл. 15. 09. 92, Бюл. N 34.
13. Патент 870 Украина, МКИ Н 02 М 5/22. Прилад для одностороннього

нального керування трифазним тиристорним перетворювачем.  
В. С. Кодекін, В. П. Токарев, Є. Є. Бізянов. Опубл. в Офіційному  
білетені "Промислова власність", 1993, №2, с. 112.

#### ЛИЧНИЙ ВКЛАД АВТОРА

Обосновано використання многоячейкової структури в  
источниках імпульсного живлення, запропоновано алгоритми управління  
ячейками при послідовному з'єднанні їх виходів.  
Розроблено систему автоматичного управління джерелом  
імпульсного живлення на базі штучної формуючої лінії.  
Проведено математичне моделювання тиристорних формую-  
вачів імпульсів струму. Запропоновано математичні моделі  
формувачів імпульсів струму і джерел імпульсного жив-  
лення. Крім того, автору належать результати, отримані з  
допомогою вказаних математичних моделей.

Bezyanov E. E. Impulse power supply for electrophysical and electrotechnological plants.

Dissertation for searching of Candidate of Science Degree on 05.09.12 speciality - semiconductor converters of electric energy. Kharcov state politechnic university, 1996.

Defend 10 scientific works and 3 patents, which contain research of impulse power supply for electrophysical and electrotechnologic plants.

In a results of researching of impulse power supply in a frequency and time areas dependences for energetical, static and dynamic parameters of impulse power supply has been get. These dependences give ability to design impulse power supply with characteristics, which are need.

#### АНОТАЦІЯ

Віванов В. Е. Джерела імпульсного живлення електрофізичних та електротехнологічних установок.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 - напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Харківський державний політехнічний університет, 1996.

Захищається 10 наукових праць, 2 авторських свідоцтва і патент, що мають дослідження джерел імпульсного живлення електрофізичних та електротехнологічних установок.

У результаті досліджень імпульсних джерел живлення у частотній та часовій областях, одержано залежності енергетичних, статичних та динамічних показників, які дають змогу проектувати імпульсні джерела живлення із необхідними характеристиками.

Ключові слова : ДЖЕРЕЛО ІМПУЛЬСНОГО ЖИВЛЕННЯ; ФОРМУВАЧ ІМПУЛЬСІВ ОТРИМУ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

21415866

AB 341193  
АВ 34.493

---

Отвественный за выпуск Кодекши В.С.

Ротапринт АГМИ

349104, г. Алчеськ, Луганской области,

пр. Ленина, 16

Заказ № 67 Тираж 100 экз.

Бесплатно

---