

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

На правах рукописи

ОВЧАРЕНКО Андрей Анатольевич

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АВТОНОМНОГО НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Специальность 05.09.12. - полупроводниковые преобразователи
электроэнергии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1995

AB 31.999

Диссертацией является рукопись
Работа выполнена в Институте электродинамики
НАН Украины, г. Киев

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор, член-корреспондент
НАН Украины
Владимир Григорьевич
Кузнецов

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор
Виталий Иванович
Сенько

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Владимир Николаевич
Губаревич

Ведущая организация - НПО "Киевский институт
автоматики"

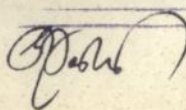
Защита диссертации состоится 22 марта 1995 года, в II час.,
на заседании специализированного ученого совета Д 016.30.03
при Институте электродинамики НАН Украины по адресу
253680, г.Киев-57, проспект Победы, 56, 446-91-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
электродинамики НАН Украины

Автореферат разослан февраля 1995 г.

ЛНБ ім. В. Стефана
АН України

Ученый секретарь
специализированного ученого совета,
доктор технических наук

 В.С.Федий

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777423 (U)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы и степень исследования тематики диссертации. Реальной альтернативой силовым транспортным установкам на базе тепловых двигателей являются установки с тяговым электроприводом. При этом в настоящее время удельный вес аккумуляторного транспорта непрерывно возрастает. Это происходит, во-первых, благодаря возможности улучшить экологические характеристики транспортных средств, а, во-вторых, ввиду непрерывного прогресса в создании тяговых электроприводов с использованием современных достижений в области химических источников тока, тяговых электрических машин и средств преобразования электрической энергии. Потребителем этой продукции является огромный и непрерывно растущий парк внутриводского аккумуляторного технологического электротранспорта, а также стремительно развивающийся парк электромобилей, которые во многих европейских странах вытесняют из городских сервисных инфраструктур традиционные автомобили различного класса. Кроме того, за рубежом в последние годы электромобиль с гарантированным межзарядным пробегом до 100км успешно реализуется частному пользователю с предоставлением существенных льгот.

При данном фиксированном уровне технических показателей тяговых аккумуляторной батареи и электродвигателя повышение эффективности электротранспорта может быть обеспечено, в основном, дальнейшим совершенствованием методов и средств преобразования энергии бортового источника в механическую энергию транспортного средства. Исследования по этой проблеме представлены в работах Шидловского А.К., Руденко В.С., Глазко Т.А., Некрасов В.И., Бирзиекса Л.В. и других ученых, занимавшихся вопросами применения силовых полупроводниковых преобразователей для нужд транспорта. Непрерывное совершенствование техники и элементной базы силовой электроники стимулирует разработку научно-прикладных и методических решений в рамках проблемы электротранспорта. Поэтому исследования в области тяговых полупроводниковых преобразователей и способов осуществляемого ими регулирования, направленные на реальный положительный результат (обеспечивающий, например, увеличение пробегов, срока службы электрооборудования, повышение надежности, снижение стоимости, улучшение эксплуатационных показателей) являются актуальными как в научном, так и в прикладном

аспектах.

Научно-исследовательская работа по теме диссертации проводилась в Институте электродинамики НАН Украины в рамках координационного плана научно-исследовательских работ "Научные основы электроэнергетики" по проблеме "Преобразование параметров электрической энергии" (распоряжение Президиума НАН Украины №7 от 24.12.92г.), по решению ученого совета института от 27.12.90г. №17 (тема "Стабилизация"); в соответствии с программой автомобилестроения Минмашпрома Украины (подпрограмма по электротранспорту), а также в рамках программы "Ресурсосберегающие проблемы исполнительных и транспортных систем" ГКНТ Украины (5.51.04, проект "Электромобиль").

Объектом исследования является транзисторный импульсный преобразователь с широким спектром функционального применения.

Целью и основными научными задачами работы является разработка и исследование базовой схемотехнической структуры многофункциональных транзисторных импульсных преобразователей для повышения эффективности тяговых электроприводов низковольтного аккумуляторного электротранспорта, определение диапазона их функционального применения и адаптации преобразователей к существующим и новым способам импульсного регулирования в автономном электротранспорте.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- исследование базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя и анализ его работы при различных значениях входных и выходных параметров;
- исследование эффективности режима рекуперативного торможения с возвратом энергии в аккумуляторную батарею при использовании оригинальных способов и средств его реализации;
- анализ и исследование базовой схемы (БС) транзисторного преобразователя как основного структурного компонента преобразовательных устройств различного функционального применения;
- разработка инженерной методики расчета (БС) транзисторного импульсного преобразователя, создание опытных образцов и экспериментальные исследования преобразователей, построенных на основе базовой схемы.

Методы исследования. При решении задач, поставленных в диссертационной работе, были использованы методы анализа электронных схем, классические основы теории цепей, численные

методы решения дифференциальных уравнений, методы графо-аналитических исследований с использованием ЗЕМ.

Научная новизна. В данной диссертационной работе впервые:

- предложено оригинальное схемотехническое решение транзисторного импульсного преобразователя, проанализированы его функциональные возможности, обосновано рассмотрение данной схемы в качестве базовой при дальнейших исследованиях;

- получены аналитические выражения, определяющие частотно-временные параметры и величину относительных пульсаций тока нагрузки транзисторного импульсного преобразователя. Установлено, что проследний обеспечивает оптимальный комбинированный широтно-частотно-импульсный способ регулирования с постоянным уровнем пульсаций тока нагрузки и, тем самым, способствует повышению эффективности работы привода в целом;

- проведены исследования и показано, что БС тягового преобразователя может также функционировать как классический импульсный стабилизатор постоянного напряжения, что обеспечивает унификацию регуляторов автономных объектов.

- предложен оригинальный способ и выполнены исследования энергетической эффективности рекуперативного торможения с дискретизацией структуры тяговой аккумуляторной батареи, обоснованы границы его применения.

Теоретическая и практическая ценность. Проведенные теоретические исследования позволили получить конкретные аналитические зависимости частотно-временных характеристик базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя от входного напряжения, параметров времязадающей цепи, характера и величины нагрузки. Разработана инженерная методика расчета БС, позволяющая проектировать преобразователи требуемой функциональной ориентации при высокой степени соответствия расчетных значений параметров элементов схемы ее выходным характеристикам. Предложены схемные решения тягового транзисторного преобразователя и системы управления тиристорным силовым преобразователем, обеспечивающие высокую эффективность и надежность тягового электропривода аккумуляторных транспортных средств (устройства защищены приоритетом поданных заявок на изобретения). По результатам анализа выражений для коэффициента полезного действия систем привода с дискретизируемой структурой бортового источника питания концептуально рассмотрена задача и сформулированы рекомендации по формированию оп-

тимальной структуры и режимным особенностям работы приводов постоянного тока. Созданы автономные стендовые средства для исследования и испытания, включая стандартное циклирование, транспортных тяговых электроприводов.

Конкретный личный вклад диссертанта в разработку новых научных результатов, которые выносятся на защиту:

- схемотехническое решение и обоснование многофункциональности базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя;
- результаты аналитических и экспериментальных исследований электромагнитных процессов в БС;
- результаты качественного и количественного анализа частотно-временных характеристик БС транзисторного преобразователя ;
- способ рекуперативного торможения с дискретизацией структуры тяговой аккумуляторной батареи и результаты исследований его энергетической эффективности;
- методика расчета базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы при создании систем преобразования для аккумуляторного электротранспорта. Базовая схема положена в основу тягового преобразователя для электрокара ЭК-2, а также была использована как полнофункциональная система управления тиристорным тяговым преобразователем в приводе электромотоцикла ЗАЗ-П109 и внедрена на АО "АвтоЗАЗ" (г.Запорожье). Ряд преобразовательных устройств на основе БС импульсного преобразователя внедрен на специализированном стендовом комплексе в Институте электродинамики НАН Украины для исследования и испытаний опытного и промышленного тягового электрооборудования аккумуляторного транспорта, проводимых совместно с АО "АвтоЗАЗ", НИИ "Электротяжмаш" (г.Харьков).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы преобразовательной техники" г.Чернигов, 1991г.; на Целевом расширенном техсовете АО "АвтоЗАЗ", г.Запорожье, 1993г.; на Научно-техническом семинаре Управления главного конструктора Запорожского автозавода, 1994г.; на Координационном совещании по проблеме электромотоцикла с участием представителей промышленности ("Электротяжмаш", "Электромашина", АО "АвтоЗАЗ") и руководства IV и VI

управлений Минмашпрома Украины, г.Киев, 1994г.; на Объединенном научном семинаре отделов ИЭД НАН Украины, 1995г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отображено в четырех печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержит 130 страниц основного машинописного текста, 51 рисунок на 48 страницах, 19 таблиц, список литературы из 89 наименований на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные научные и практические результаты, методы исследования, сведения об апробации, практическом использовании результатов и структуре диссертационной работы.

В первой главе дана оценка значимости электротранспорта как одного из наиболее интенсивно развивающегося звена в общей классификационной структуре транспортных средств. Проведен сравнительный анализ, позволяющий оценить целесообразность применения различных типов электродвигателей в тяговых аккумуляторных электроприводах. Показаны недостатки и преимущества электрических машин, которые могут применяться в автомобильном электротранспорте. Обосновано предпочтительное использование двигателей постоянного тока, причем, в тяговых приводах с рекуперативным торможением и повышенными требованиями к динамическим и энергетическим показателям целесообразно применение двигателей с независимым возбуждением, а в относительно низкоскоростных приводах и в приводах со специализированными преобразователями - серийных тяговых машин. Рассмотрены общие положения импульсного регулирования в автомобильном электротранспорте, дана сравнительная оценка устройств преобразовательной техники, осуществляющих различные способы импульсного регулирования и позволяющих совместить ряд режимов при фиксированной структуре. Показан ряд схемных решений с учетом логики развития показателей надежности, эффективности и многофункциональности. Отмечены положительные и отрицательные особенности существующих схемно-структурных решений при их использовании в качестве бортовых тяговых преобразователей. Представлены результаты сравнительного анализа эле-

ментной базы для бортовых средств преобразования энергии, позволяющие рационально реализовать структурные и схемотехнические решения тяговых преобразователей в различных диапазонах мощностей и частот коммутации. При этом рассмотрены и оценены различные полупроводниковые приборы (тиристоры, полностью управляемые тиристоры, биполярные транзисторы и два типа полевых транзисторов) с точки зрения особенностей их работы в преобразователях с существенно изменяющимся входным напряжением и подключенных к нагрузке с явно выраженным активно-индуктивным характером при наличии противо-ЭДС. Сравнение проведено с учетом энергетических, эргономических, надежностных и конструкторско-технологических факторов, требующих учета при разработке тяговых преобразователей.

В этой же главе рассмотрены критерии эффективности аккумуляторного электротранспорта и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе дано описание электромагнитных процессов в базовой схеме транзисторного импульсного преобразователя (рис.1), где обеспечивается формирование импульсной после-

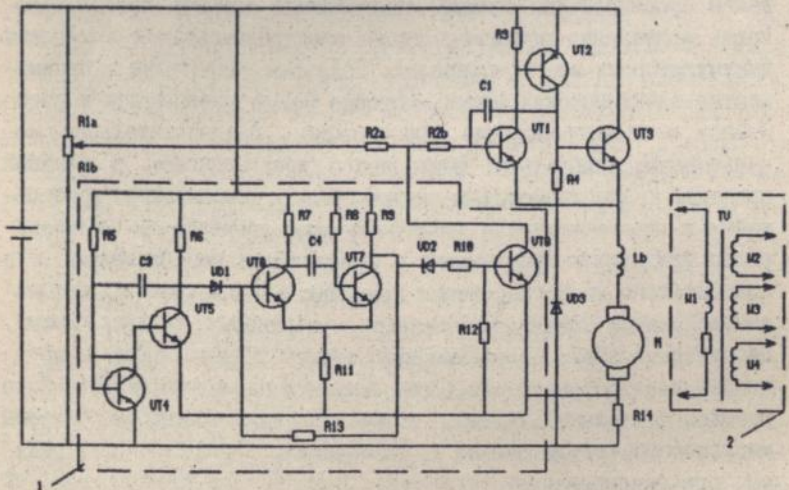


рис.1

довательности в ШИМ-ЧИМ базисе или полного напряжения батареи

на нагрузке в зависимости от параметров времязадающей цепи (конденсатор C заряжается до напряжения U_{C1} и перезаряжается до напряжения U_{C2}), а также от соотношения плеч потенциометра $R1$ и величины резистора $R2$. Для аналитических исследований частотно-временных характеристик схемы были приняты следующие допущения: токи заряда и перезаряда конденсатора значительно меньше токов в потенциометре $R1$; активное сопротивление в нагрузке $R_{вд} \ll R1, R2, R4$; падение напряжения на открытых транзисторах $VT1-VT3$ пренебрежительно мало; ток двигателя непрерывен.

Базовая схема была представлена соответствующими схемами замещения для таких режимов: заряд емкости C током t_1 при неподвижном якоре двигателя; заряд емкости C током t_2 в установившемся режиме; заряд емкости C током t_3 в установившемся режиме.

Приняв, что $U_{\alpha} = \alpha \cdot E$, $\alpha = R1b/R1$, E - напряжение аккумуляторной батареи, $U_{C1} = \gamma_1 \cdot E$, т.е. $\gamma_1 = U_{C1}/E$, для первого режима получим:

$$U_C(t) = \alpha \cdot E (1 - e^{-t/\tau})$$

$$t_1 = \tau \cdot \ln(\alpha \cdot E / (\alpha \cdot E - \gamma_1 \cdot E)) = C \cdot R2 \cdot \ln(\alpha / (\alpha - \gamma_1)).$$

Эти выражения определяют закон изменения напряжения на конденсаторе и длительность этого процесса соответственно.

Для второго режима аналогичные зависимости имеют вид:

$$U_C(t) = (U_{C1} + E(1-\alpha)) \cdot e^{-t/\tau} - E(1-\alpha)$$

$$t_2 = t_{II} = \tau \cdot \ln((1-\alpha+\gamma_1)/(1-\alpha-\gamma_2)),$$

где t_{II} - длительность импульса на нагрузке, $\gamma_2 = U_{C2}/E$.

Для третьего режима, соответствующего паузе импульсного цикла, имеем:

$$U_C(t) = -(\alpha \cdot E + U_{C2})(1 - e^{-t/\tau}) - U_{C2}$$

$$t_3 = t_{III} = \tau \cdot \ln((\alpha + \gamma_2) / (\alpha - \gamma_1))$$

Полученные выражения обеспечивают точный расчет преобразователя в широком диапазоне входных напряжений. Временные зависимости могут быть упрощены путем использования разложений в степенной ряд без внесения существенной погрешности и представлены в следующем виде:

$$t_{II} = C \cdot R2 \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{1 - \alpha}; \quad t_{III} = C \cdot R2 \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\alpha}$$

$$T = t_{II} + t_{III} = C \cdot R2 \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\alpha(1 - \alpha)}; \quad K_3 = \alpha.$$

При работе преобразователя на двигательную нагрузку

относительные пульсации тока нагрузки определяются как:

$$\Delta I = \Delta I / I = (1 - k_3) k_3 T / \tau_H$$

где: $\tau_H = L_H / R_0$, $R_0 = E / I$, I - среднее значение тока нагрузки, L_H - индуктивность нагрузки.

С учетом предыдущих выражений получим:

$$\Delta I = \frac{\tau}{\tau_H} \alpha (1 - \alpha) \cdot \ln \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\alpha(1 - \alpha)}$$

Для полноты исследования необходимо рассмотреть возможность работы преобразователя на повышенном входном напряжении ($E=40-120В$). При этом необходимо увеличить сопротивление потенциометра $R1$, т.е. условие $R1 \ll R2$ претерпевает изменение и величина $R1$ будет существенно влиять на времязадающую цепь. Для этого случая получены следующие формулы, определяющие параметры импульсного цикла преобразователя:

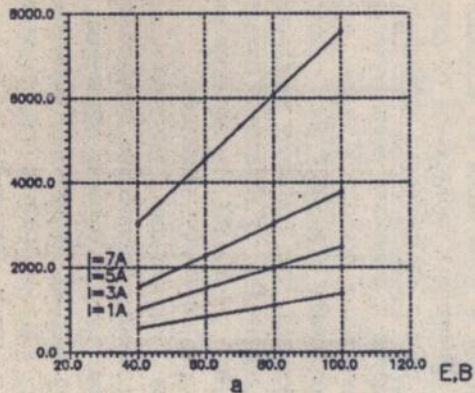
$t_H = \tau_H \cdot \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\alpha}$ - длительность паузы; $t_H = \tau_H \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{1 - \alpha}$ - длительность импульса; $\tau_H = C((1 - \alpha)R1 + R2)$ - постоянная времени цепи в течении паузы; $\tau_H = C(\alpha R1 + R2)$ - постоянная времени цепи в течении импульса.

Таким образом, полученные аналитические выражения, связывающие параметры базовой схемы преобразователя с параметрами его импульсного цикла, позволяют проанализировать частотно-временные характеристики схемы. Численный анализ был проведен для изучения зависимостей частоты коммутации преобразователя от величины входного напряжения (рис.2,а), тока нагрузки, параметров времязадающей цепи $R2$ (рис.2,б) и C , коэффициента заполнения k_3 и α при различных значениях $R1$ и $R2$ (рис.2,в,г), а также зависимости $k_3 = f(\alpha)$. Это позволило определить регулировочные характеристики транзисторного преобразователя, установить, что устройство обеспечивает оптимальный широтно-частотно-импульсный способ регулирования.

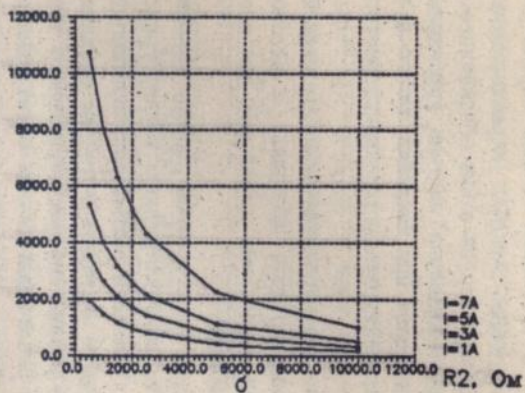
Важным условием надежного функционирования тяговых преобразователей является наличие устройства токоограничения (УТО). Автором предложено оригинальное УТО, (рис.1, контур I) введенное в структуру базовой схемы. Исследована его работа, получены аналитические выражения, определяющие длительность отключения базовой схемы при срабатывании УТО, а также параметры токоограничения.

Многофункциональность базовой схемы подтверждена возможностью ее использования в качестве импульсного стабилизатора напряжения. Предложены соответствующие схемотехнические реше-

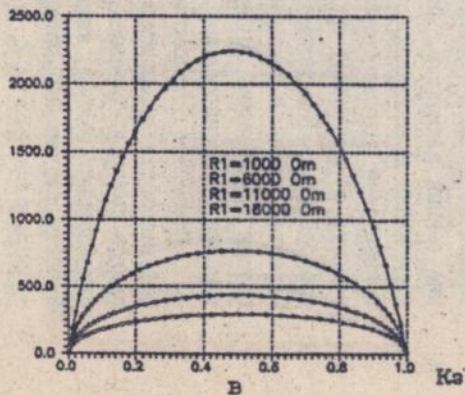
$F_{max}, \Gamma\Omega$



$F_{max}, \Gamma\Omega$



$F, \Gamma\Omega$



$F, \Gamma\Omega$

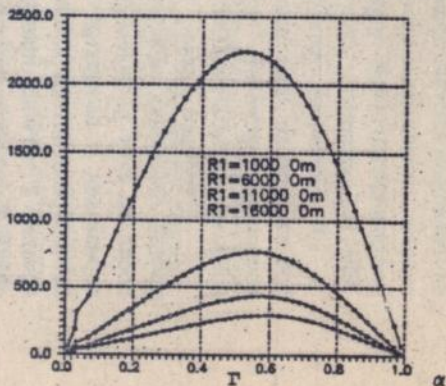


Рис.2

ния, проведены исследования и численный анализ параметров элементов базовой схемы в функции входных характеристик. Кроме того, многофункциональность базовой схемы обеспечивается возможностью ее применения в качестве системы управления силовым тиристорным преобразователем при введении вместо двигательной нагрузки управляющего импульсного трансформатора (рис. 1, контур 2).

В заключение представлена инженерная методика расчета БС транзисторного преобразователя, которая позволяет с высокой точностью определить параметры элементов устройства для всех возможных функциональных применений.

В третьей главе проведен всесторонний анализ возможностей повышения эффективности аккумуляторного электротранспорта за счет рациональной организации режима рекуперативного торможения с возвратом энергии в бортовой источник питания. Рассмотрены методы и средства реализации рекуперативного торможения в тяговых приводах с различными типами электродвигателей и коммутационных устройств. Приведены энергетические характеристики аккумуляторной батареи при различных параметрах импульсного разряда и заряда (тяга и торможение). Предложен оригинальный способ рекуперативного торможения с дискретизацией структуры аккумуляторной батареи, заключающийся в оперативном изменении напряжения и коммутации из исходного последовательного соединения элементов в параллельное соединение секций элементов. Данный способ обеспечивает эффективное торможение транспортного средства и повышение энергетических показателей аккумуляторной батареи и привода в целом, поскольку: а) позволяет не использовать в якорной цепи силовой преобразователь в режиме торможения, что исключает импульсный характер токов в батарее и двигателе; б) позволяет снизить потери в источнике питания ввиду увеличения (пропорционально глубине секционирования) его тока короткого замыкания.

Проведено аналитическое обоснование энергетической эффективности предложенного способа. Произвольно секционированная батарея содержит m элементов, из которых образованы l параллельных секций, каждая из которых состоит из k элементов. В общем случае ЭДС батареи $E_{\text{и}}$ и ее внутреннее сопротивление $r_{\text{и}}$ определяется как $E_{\text{и}} = k \cdot E_0$, $r_{\text{и}} = k r_0 / l$, причем $k \cdot l = m$ при $l \neq 1$ и $k = m$ при $l = 1$, (E_0 и r_0 — ЭДС и внутреннее сопротивление одного элемента батареи). Исходя из данного описания дискретизированной структуры аккумуляторной батареи получены выражения,

определяющие ее КПД в тяговом режиме при импульсном заряде: $\eta_E^T = 1 - I^* k_\alpha / l$ ($I^* = I / I_{кз}$, $I_{кз} = E_{и} / r_{и} = E_0 / r_0$, I - средний ток нагрузки, $k_\alpha = 1 + (\Delta I / I)^2 / 12$ - коэффициент относительных пульсаций).

При разряде постоянным током (при наличии емкостного фильтра в цепи аккумуляторной батареи) для КПД батареи получена формула:

$$\eta_{E-C}^T = (1 + \sqrt{l^2 - 4I^* k_\alpha (l - I^* (1 - k_c (1 - k_\alpha)))}) / 2l,$$

где: $k_c = R_B / r_u$ - коэффициент сопротивления конденсатора емкостного фильтра.

Для режима импульсной рекуперации секционированного источника формула КПД получена в следующем виде:

$$\eta_E^P = 1 - I^* k_{и} k_\alpha / l (1 - k_\alpha) [k_{и} (1 - k_\alpha) - 2I^* l],$$

где: $k_{и} = r_{и} / r_{я} = k \cdot l \cdot r_0 / r_{я}$, $r_{я}$ - активное сопротивление нагрузки.

Формула КПД секционированной батареи в режиме импульсной рекуперации при наличии емкостного фильтра (квазипостоянный ток заряда) имеет вид:

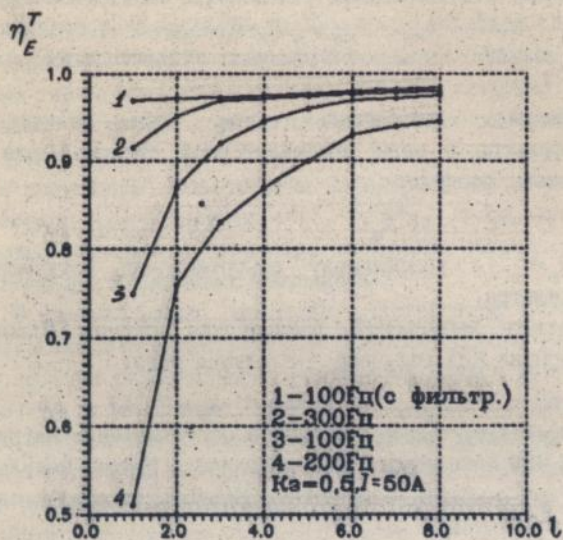
$$\eta_{E-C}^P = 1 - I^* [k_u + l^2 k_\alpha (1 - k_\alpha) k_{с\alpha}] / l (1 - k_\alpha) [k_u (1 - k_\alpha) - 2I^* l]$$

где: $k_{с\alpha} = R_B / r_{я}$, R_B - эквивалентное активное сопротивление потерь конденсатора емкостного фильтра.

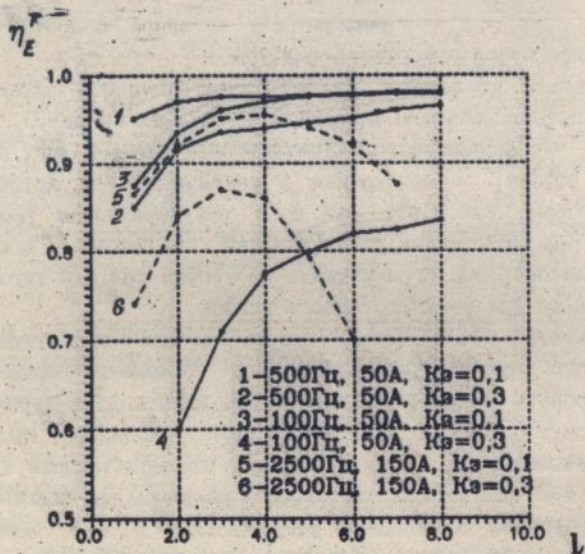
Результаты численного анализа энергетической эффективности дискретизированного источника приведены на рис.3. Очевидно, что секционирование аккумуляторной батареи дает положительный эффект, заключающийся в увеличении КПД источника как в тяговом (рис.3,а), так и в рекуперативном режимах (рис.3,б). Однако степень дискретизации, как показали исследования, целесообразно ограничивать на уровне $l \leq 4$ для тягового режима и $2 \leq l \leq 4$ для рекуперативного режима.

Результаты исследования энергетической эффективности предложенного способа рекуперативного торможения позволили проанализировать ряд факторов, определяющих структурную и энергетическую оптимальность тяговых электроприводов. Сформулированы рекомендации по рациональному взаимосочетанию таких параметров как напряжение бортового источника (в исходном и дискретизированном состоянии), максимальные токи тягового и тормозного режимов, тип преобразователя и двигателя, структура контакторно-коммутационной аппаратуры.

В четвертой главе показаны лабораторно-стендовые средства для проведения экспериментальных исследований и испытаний



а



б

Рис.3

полупроводниковых преобразователей в составе тяговых электроприводов.

Проведены детальные экспериментальные исследования базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя в режимах, адекватных расчетным. Анализ осциллограмм и результатов численной обработки экспериментов показал высокую сходимость с результатами теоретических исследований.

Описаны методы и средства проведения циклических нагрузочных испытаний в соответствии с европейскими стандартными городскими ездовыми циклами SAEJ 227.

Для осуществления этих испытаний был задействован ряд преобразовательных устройств и микропроцессорная система управления (МПСУ). Указанные средства обеспечивают программный разгон, равномерное движение и торможение тягового двигателя в функции заданного времени. Для этого МПСУ управляет преобразователем в якорной цепи и возбуждением тягового двигателя. Кроме того, обеспечивается необходимое возбуждение нагрузочного генератора и возбуждение буферного генератора источника питания для поддержания требуемого входного напряжения на силовом стендовом электрооборудовании.

Созданный комплекс значительно упрощает процедуру испытаний и обеспечивает высокую достоверность практических результатов во всех режимах работы тяговых электроприводов, что позволяет эффективно использовать его при исследованиях и испытаниях опытного и промышленного тягового электрооборудования.

На основе базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя разработан и внедрен на электрокаре ЭК-2 транзисторный тяговый преобразователь мощностью 5кВт (входное напряжение 24-36 В, максимальный ток нагрузки 200 А).

Базовая схема транзисторного импульсного преобразователя положена в основу разработанной системы управления тиристорным силовым преобразователем для привода электромобиля. Система управления выполнена отдельным герметичным модулем, и не требует дополнительных вторичных источников питания. Комплекс этих устройств внедрен на электромобиле ЗАЗ-1109, прошел ходовые испытания и принят для мелкосерийного производства.

В заключении приведены главные научно-прикладные результаты работы и сформулированы основные выводы по проведенным исследованиям.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации выполнены аналитические и экспериментальные исследования, а также практические разработки транзисторных преобразователей, на основе чего можно сделать следующие выводы.

1. Проанализированы функциональные возможности транзисторного импульсного преобразователя, что позволило принять данную схему в качестве базовой для дальнейших исследований. Доказано, что базовая структура транзисторного импульсного преобразователя обеспечивает реализацию наиболее эффективного для тяговых электроприводов частотно-широотно-импульсного способа регулирования напряжения на якоре электродвигателя, что позволяет зафиксировать пульсации тока нагрузки на одном уровне и, тем самым, улучшить энергетические показатели привода, а также увеличить его срок службы.

2. Выполнены исследования электромагнитных процессов в базовой схеме и получены аналитические выражения для определения частотно-временных характеристик и величины относительных пульсаций тока нагрузки транзисторного импульсного преобразователя. Проведен качественный анализ частотно-временных характеристик базовой схемы в зависимости от изменения входного напряжения, параметров времязадающей цепи, характера и величины нагрузки. Установлено, что характер и абсолютные значения частотных показателей выходных сигналов транзисторного импульсного преобразователя инвариантны к характеру нагрузки, но при этом находятся в прямой зависимости от входного напряжения и тока нагрузки и в обратной зависимости от величины емкости времязадающего конденсатора.

3. Проведены аналитические исследования выходных характеристик от параметров элементов базовой схемы с целью осуществления режима стабилизации выходного напряжения или тока нагрузки. Показано, что базовая схема транзисторного импульсного преобразователя является многофункциональной структурой и может использоваться непосредственно как отдельный тяговый преобразователь (с токоограничением или без него), как система управления полупроводниковыми силовыми преобразователями с комбинированным частотно-широотно-импульсным регулированием и возможностью токоограничения, а также как импульсный стабилизатор, обеспечивающий заданный уровень выходного напряжения

при изменении тока нагрузки и напряжения на входе устройства.

4. На основе проведенного анализа методов и технических средств электрического торможения с возвратом энергии в аккумуляторную батарею предложен новый способ рекуперативного торможения с дискретизацией структуры бортового источника, а также исследована его энергетическая эффективность, что позволяет определить зависимость КПД тяговой аккумуляторной батареи от степени ее дискретизации в режимах тяги и рекуперативного торможения.

5. Разработана инженерная методика расчета базовой схемы многофункционального транзисторного импульсного преобразователя, которая позволяет с достаточной точностью определить параметры элементов схемы для любого из возможных вариантов ее применения.

6. Применение способа рекуперативного торможения с дискретизацией структуры тяговой аккумуляторной батареи путем ее параллельно-последовательного секционирования расширяет возможности и диапазон реализации генераторного торможения с возвратом энергии в бортовой источник в приводах с различными типами двигателей постоянного тока, причем глубину секционирования целесообразно выбирать из условия $l \leq 4$ для тягового режима и $2 \leq l \leq 4$ для режима рекуперации.

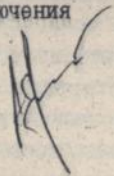
7. Созданный специализированный лабораторный стенд позволил провести экспериментальные исследования и полномасштабные испытания ряда тяговых приводов с транзисторными и тиристорными преобразователями в широком диапазоне нагрузок в основных режимах движения, включая стандартные европейские городские циклы.

8. Полученные в работе теоретические результаты подтверждены экспериментальными исследованиями базовой схемы транзисторного импульсного преобразователя в каждом из функциональных применений и положены в основу разработок тягового тиристорного преобразователя и системы управления силовым тиристорным преобразователем, которые успешно прошли ряд испытаний и внедрены на электрокаре ЭК-2 и электромобиле ЗАЗ-1109 как перспективные высокоэффективные разработки, а также использованы в составе тягового электрооборудования специализированного испытательного лабораторного стенда в ИЭД НАН Украины.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ.

1. Рычков В.А., Павлов В.Б., Скиданов В.М., Юрченко О.И., Овчаренко А.А. Эффективный преобразователь для низковольтного электротранспорта. // Энергетика и электрификация. - 1992. - №4. - С.49-51.
2. Рычков В.А., Овчаренко А.А., Юрченко О.Н., Павлов В.Б., Скиданов В.М. Низковольтный импульсный транзисторный преобразователь // Техн. электродинамика. - 1993. - №4. - С.27-31.
3. Овчаренко А.А., Юрченко О.Н., Скиданов В.М., Павлов В.Б. Анализ работы транзисторного импульсного преобразователя // Техн. электродинамика. - 1994. - №2. - С.42-45.
4. Кузнецов В.Г., Овчаренко А.А., Юрченко О.Н., Скиданов В.М., Павлов В.Б. Исследование эффекта стабилизации в транзисторном импульсном преобразователе. Межвуз. сборник научных трудов, "Транспортная электроэнергетика". - Харьков, 1995, С.30-34.

Личный вклад. В работах, опубликованных в соавторстве диссертанту принадлежит: в [1,2] - идея решения поставленной задачи, в [3,4] - вывод основных соотношений, численный анализ и формулировка заключения



АНОТАЦІЯ

Овчаренко А.А. Багатофункціональний імпульсний напівпровідниковий перетворювач для підвищення ефективності автономного низьковольтного електротранспорту.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.09.12 - напівпровідникові перетворювачі електроенергії, Інститут електродинаміки НАН України, Київ, 1995.

Захидаються 4 наукові роботи, в яких містяться результати наукових та експериментальних досліджень базової схеми транзисторного імпульсного перетворювача, обґрунтована його багатофункціональність при застосуванні в тягових електроприводах акумуляторного електротранспорту. Доведена ефективність перетворювача у тяговому режимі та режимі регенеративного гальмування. Запропоновано оригінальний спосіб регенеративного гальмування. Показано перспективні впроваджені зразки розробок на основі базової схеми перетворювача.

ANNOTATION

Ovcharenko A.A. The multifunction pulse transistor's converter for increase of efficiency of lowvoltage electric vehicle.

Dissertation for seeking of candidate science degree on 05.09.12. speciality - semiconductor converters of electric energy, Institute of Electrodynamics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine, 1995.

4 scientific works are submitted, which contain the results of scientific and experemental researches of base transistor's pulse convertor scheme and its multifunctionin, at traction electric drives for accumulator vehicles use. The converter efficiency in traction and regenerative braking regimes are proved. Original method of regenerative braking is proposed. Perspective introduced models wich made on convert-er's scheme base are shown.

Ключові слова: акумуляторний електротранспорт, транзисторний імпульсний перетворювач, тяговий привід, ефективність, багатофункціональність, регенеративне гальмування.

456 713

