

УДК 255:29.1

Есаулов С.М., Бабичева О.Ф., Лукашова Н.П.

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н.Бекетова, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА СУПЕРКОНДЕНСАТОРА ПРИ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ТРАНСПОРТЕ

Работа посвящена исследованию и разработке блока управления зарядным устройством суперконденсаторной батареи при рекуперации электроэнергии торможения тягового электродвигателя городского электротранспорта. Предложены алгоритмы логического управления зарядным устройством с помощью полупроводниковых модулей и микроконтроллера. Результаты экспериментов иллюстрируют эффективность применения предлагаемого технического решения.

Ключевые слова: транспорт, электротранспорт, электромобиль, электроэнергия, тяговый электродвигатель, ионистор, суперконденсатор, аккумуляторная батарея, зарядное устройство, система управления, микроконтроллер.

Постановка проблемы

Серийно выпускаемые наборные суперконденсаторов (СК) и батареи на базе отдельных ионисторов наиболее эффективное применение нашли в качестве вспомогательных источников электропитания для предотвращения ухудшения рабочих характеристик аккумуляторных батарей (АКБ), благодаря снижению пиковой нагрузки в момент старта двигателя внутреннего сгорания или тягового электропривода. Реализация пускового режима с помощью СК, обеспечивающая повышение срока службы АКБ более 50%, стало предметом широкого внедрения различных вариантов этого технического решения во всех современных гибридных электромобилях [1].

В роли основного источника электропитания суперконденсаторные батареи (СКБ) надежно справляются при энергоснабжении маломощной бортовой электроники и микроконтроллеров. Использование СКБ в качестве источника питания привлекает возможностью достичь надежную работу бортового полупроводникового оборудования на различных технологических объектах без АКБ [2].

Положительные качества и перспективы дальнейшего существенного повышения электроэнергетических характеристик емкостных накопителей энергии, называемых суперконденсаторами или ионисторами, способствуют их широкому использованию в различных видах общественного транспорта, включая электро- велосипеды, скутеры и др. [3, 4],

Ассортимент примеров с положительными результатами применения СК постоянно расширяется, но вместе с уже ставшими

привычными достоинствами СКБ, используемых на транспорте, неотъемлемым остается вопрос восполнения энергии емкостного накопителя с помощью сторонних источников электроэнергии. Одним из привлекательных вариантов заряда СК на электротранспорте является применение обратимых свойств электродвигателя для преобразования потенциально - кинетической энергии движущегося транспортного средства в электрическую при рекуперации торможения тягового электропривода [5,6].

Анализ последних исследований и публикаций

Торможение на протяженном спуске можно отнести к наиболее благоприятному режиму рекуперации энергии. Однако динамика генерации получаемой энергии рекуперации от начала торможения до полной остановки транспортного средства при разных дорожных условиях всегда будет иметь стохастический характер.

Электроэнергия разного уровня сопровождает рекуперацию торможения тягового электродвигателя (ТЭД) при разной скорости движения подвижной единицы и под влиянием внешних факторов, обусловленных перевозимым грузом, дорожным покрытием, погодными условиями и пр. [7]. Очевидно, что для использования стохастического источника энергии в качестве зарядного устройства всегда требуются дополнительные оригинальные устройства, улучшающие характеристики генератора энергии. Приемлемые результаты при переменных режимах рекуперации торможения ТЭД достигнуты с

помощью импульсных регуляторов напряжения. Наибольшим эффектом часто обладают импульсные инверторы, если источник энергии имеет достаточную мощность, а зарядный ток составляет несколько десятков ампер. Такой комплект оборудования для заряда суперконденсаторных батарей вместе со специальным переключателем может пополнять энергией и бортовую АКБ, хотя не все аккумуляторы способны воспринимать меняющиеся большие токи заряда. К сожалению, отмеченные выше причины в условиях муниципального цикла движения сдерживают широкое внедрение подобной техники в городском электротранспорте из-за нерентабельности. Поэтому задача поиска эффективных средств сбережения электроэнергии при рекуперации торможения на электротранспорте остается важной.

Формулировка цели статьи

Целью настоящей работы является поиск эффективного варианта реализации зарядного устройства суперконденсатора при переменных режимах рекуперации энергии торможения тягового электродвигателя транспортного средства муниципального назначения.

Изложение основного материала

В городских условиях движения транспорта процесс восполнения заряда СК энергией рекуперативного торможения ТЭД всегда далек от детерминированного. Запас энергии СКБ на транспорте тоже используется в хаотическом режиме. При этом циклы разряда СК – источника импульсной мощности могут сопровождаться полным или частичным использованием запаса энергии батареи.

Результат анализа повторяемости скорости движения подвижной единицы до начала торможения в городских условиях (рис.1), в качестве которой был выбран троллейбус, подтверждает переменный характер этой величины.

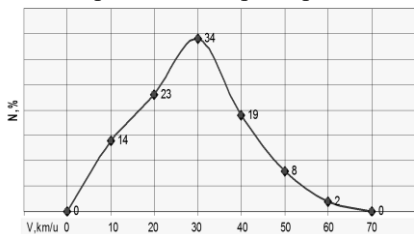


Рис. 1. Распределение скорости движения транспортного средства до начала торможения

Очевидно, что энергия рекуперации при таких скоростных режимах тоже будет непредсказуемой и ее для полного заряда СКБ будет недостаточно или, наоборот, потребуется специальное средство

ограничения тока заряда, т.к. СК способен забирать максимально возможный ток от источника.

Статистический анализ аналогичных скоростных характеристик любых видов транспорта на разных маршрутах позволяет определить ожидаемые частоты и уровни рекуперации энергии при торможении, что требуется для моделирования реальных условий генерации электроэнергии и синтеза компонентов бортового устройства энергосбережения.

Кроме аналитических приемов исследования режимов рекуперации энергии целесообразно исследовать их на физических моделях. Для экспериментов в лабораторных условиях использовался оригинальный стенд, содержащий электродвигатель (D7546-16, 12В, 300 ватт) с регулятором скорости вращения, секционированная СКБ с переменным числом элементов (2,7В) и максимальным напряжением заряда 13,5В (рис.2,3).



Рис.2. Экспериментальный стенд для исследования заряда-разряда суперконденсаторной батареи

Лабораторный стенд позволяет менять режимы рекуперации энергии ТЭД, оснащенного маховиком, измерять токи заряда СК, подключать разные периферийные устройства в качестве энергопотребителей для оценки динамики разряда и определения эффективности использования СКБ в роли самостоятельного источника электропитания. На стенде можно также исследовать режимы заряда СКБ совместно с различными энергопотребителями.



Рис.3. Батарея суперконденсаторов (U=12,5В) экспериментального стенда

Электронными средствами измерения выбранных параметров (точность измерения +/-

0,1%) посредством модуля передачи информации по локальному каналу на дистанционном компьютере с приложением оригинальной программы «SinSys» регистрировались все результаты экспериментов для их дальнейшей аналитической обработки. Оборудование стенда состоит из двух модулей, укомплектованных автономным микроконтроллером [8,9] для синтеза алгоритма управления заряд/разряд СКБ и компонентов средств автоматики.



Рис.4 . Экспериментальный стенд с микроконтроллером заряда СК

Результаты исследования заряда СК при различных режимах генерации энергии иллюстрирует рис.5.

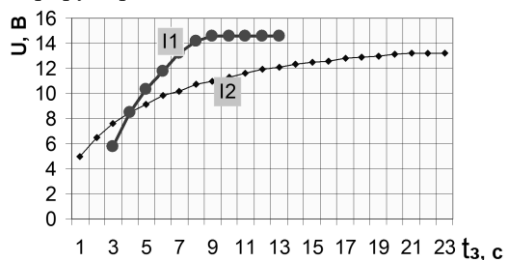


Рис.5. Заряд СК при различных токах

Полный заряд СКБ при величинах тока ($I_1=1,3A$; $I_2=0,5A$) происходит с разной продолжительностью во времени. При этом достижение заряда для конкретной СКБ всегда обеспечивается примерно до одного уровня. Если генерация энергии рекуперации ТЭД во времени окажется непродолжительной, очевидно, что полного заряда СКБ достичь будет невозможно, что можно ожидать и при зарядных токах ниже условно нормированной величины.

Эксперименты с раздельным зарядом ионисторов сборной СКБ подтверждают приемлемость такого способа при величинах тока, составляющих несколько десятков миллиампер (рис.6).

При этом заряд каждого СК от маломощного источника питания, хотя и окажется продолжительным во времени, но уровень аккумулированной энергии всегда будет нормированным.

По понятным причинам применение раздельного заряда элементов в массивах СКБ способствует сбору энергии ионисторами,

обеспечивая при этом наиболее полный возможный заряд всей батареи.

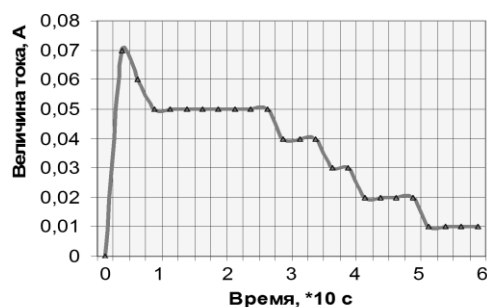


Рис.6. Заряд суперконденсатора при малых токах

Учитывая модельный ряд характеристик серийных компонентов, кроме наборных СК, большинство единичных элементов с напряжением заряда 2,3–2,8 В можно рекомендовать для набора секций СКБ на любые напряжения заряда, которые на электротранспорте можно будет заряжать даже от источника энергии, включая электропреобразователь хаотического рекуперативного торможения ТЭД.

При экспериментах с элементами СК от разных производителей после разряда СКБ на некоторых ионисторах нередко обнаруживается остаточный заряд, который впоследствии может накапливаться и влиять на эффективность работы всей батареи. Остаточный заряд обуславливают качественные характеристики единичных ионисторов, что важно учитывать при комплектации секций батарей и применять в них резистивные схемы балансировки.

На основании полученных данных можно заключить, что положительный результат при раздельном заряде СК можно достичь только с применением специального устройства, управляющего зарядом элементов секций суперконденсаторных батарей.

Для экспериментов в качестве преобразователя энергии рекуперации торможения был взят импульсный конвертор ($U_{вых}=3,3V$), рассчитанный на входную мощность в известном интервале варьирования ее. Переключатель элементов в секции СК синтезирован с помощью логики, преследующей выбор среди всех последовательно соединенных суперконденсаторов только того, остаточный заряд которого будет иметь наименьший уровень. Начальное состояние переключателя, предшествующее выбору элемента СК для тестирования, каждый раз должно выполняться с самого крайнего ионистора относительно заземленной клеммы. Такой подход обусловлен результатами опытов и при индивидуальном заряде позволяет исключить пропуск отдельных СК, имеющих остаточный заряд.

Пример экспериментального коммутатора иллюстрирует рис.7.

Переключатель секций СКБ содержит динамический анализатор заряда СК, который по сигналам задающего генератора с делителем частоты импульсов выполняет кольцевой контроль всех элементов в секции.

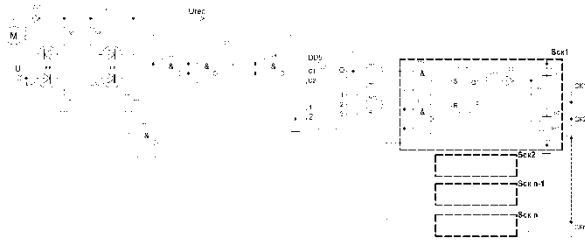


Рис.7. Экспериментальный переключатель секций СКБ

Сам переключатель активируется по сигналу датчика рекуперации торможения и подключает источник энергии к выбранному элементу секции, согласно рассмотренному выше условию. Благодаря фиксации «тест-шага» триггером реализуется временная задержка состоявшейся коммутации. Далее с помощью датчика тока контролируется процесс заряда и независимо от цикличности процессов рекуперации энергии торможения это состояние сохраняется до полного заряда элемента. Отключение СК происходит при достижении заданного минимального значения тока заряда. Асинхронность работы компонентов переключателя, позволяет в автоматическом режиме осуществлять поиск очередного незаряженного ионистора в секции лишь после полного заряда предыдущего. Если в секции не обнаружен незаряженный элемент она к зарядному устройству не подключается.

Подобный алгоритм работы можно распространить и на переключатель секций с различными уровнями напряжения заряда [10]. Такое применение коммутаторов способствует достижению полного заряда и нескольких различных батарей, состоящих из фиксированных наборов отдельных суперконденсаторов.

Задания условий переключения ионисторов или секций можно произвольно менять. С помощью датчика заряда СК в широком интервале ожидаемых величин генерируемой энергии выбираются наиболее предпочтительные условия для сбора энергии, которые зависят также от преобразовательных свойств конвертора, характеристик используемых элементов коммутации (тиристоры, диоды Шоттки) и др. Работу зарядного устройства с СКБ, в реальном времени иллюстрируют графические зависимости рис.8-10 полученные с помощью программы Excel и компьютерного дискретного графопостроителя.

Полученные результаты экспериментов позволяют заключить, что при идентичности условий торможения заряд элементов СК происходит линейно. Поэтому ожидаемые скоростные режимы, предшествующие торможению, можно достаточно эффективно использовать при заряде и всей СКБ.

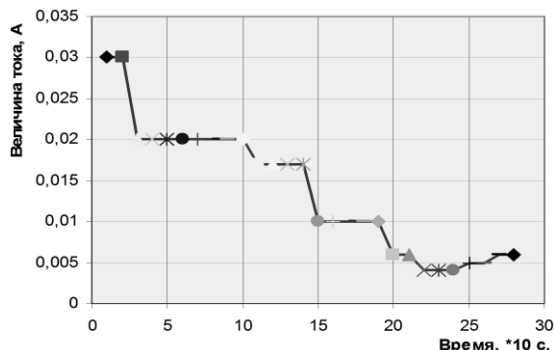


Рис.8. Изменение тока заряда ионистора при дискретной рекуперации торможения ТЭД

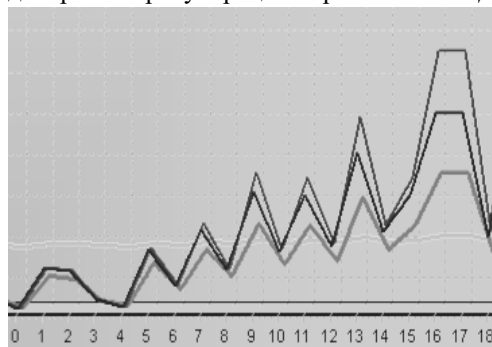


Рис.9. Изменение уровня заряда СК одной секции при повторяющихся идентичных режимах торможения ТЭД

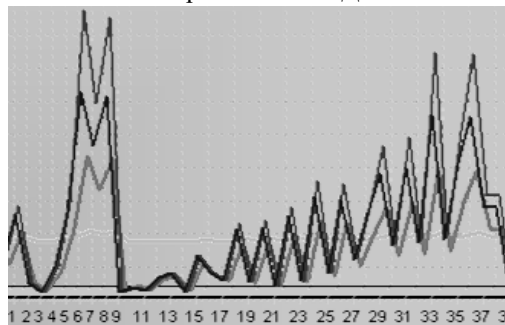


Рис.10. Изменение уровней заряда разных секций СКБ при переменных режимах торможения ТЭД

При переменном традиционном характере торможения ТЭД наблюдаются разность уровней и продолжительности заряда идентичных секций. Варьирование уровней заряда секций можно устранить более точной установкой в переключателе заданий параметров режима заряда СК.

Как отмечалось выше, в настоящее время СКБ, кроме источника пиковой мощности при пуске ТЭД, находят применение для энергоснабжения

маломощной бортовой аппаратуры. Полного заряда СКБ для бесперебойного электроснабжения локальных потребителей бывает достаточно на несколько часов работы, т.к. потребляемая мощность не превышает нескольких десятков милливатт. Пополнение энергии СКБ автономного энергообеспечения на транспорте может осуществляться стохастически с большими временными интервалами между циклами заряда. При синтезе зарядного устройства важно учитывать, что для заряда СКБ могут быть выбраны условия с наименьшим уровнем генерируемой энергии, а заряд может осуществляться при бесперебойной работе всех потребителей энергии.

Для оценки возможности выполнения отмеченных требований с разными уровнями напряжения заряда СКБ были использованы инверторы с параметрами, согласующимися с СК требуемых источников электропитания. Для смены инверторов с учетом возможных уровней энергии рекуперации ТЭД был разработан логический переключатель, алгоритм работы которого основан на анализе в реальном времени данных контроля скорости движения транспортного средства и реализуемого значения тока заряда. Электронный переключатель выполнен на логических микросхемах с датчиками на базе оптопар (рис. 11) может работать в режиме близком к нулевому сопротивлению СК.

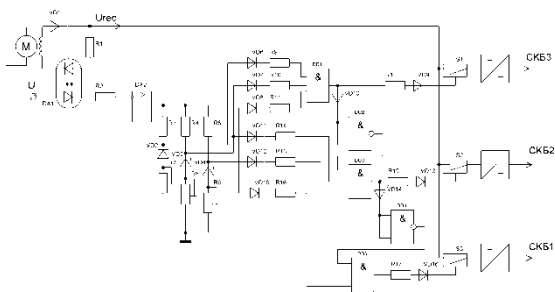


Рис.11. Экспериментальный автоматический переключатель инверторов для зарядки различных СКБ

Дискретная работа переключателя инверторов представлена на рис.12.

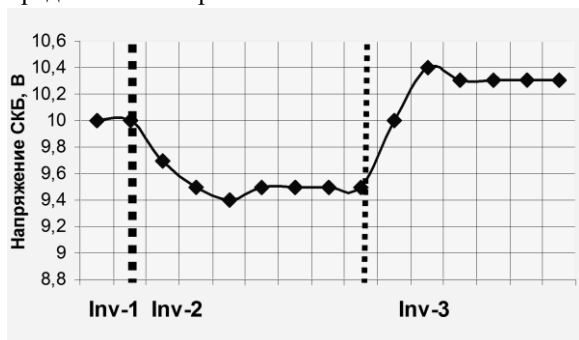


Рис.12. Заряд СКБ с различными инверторами:
 Inv1-($V < 25 \text{ км/ч}$);
 Inv2-($25 < V < 35 \text{ км/ч}$); Inv3-($V > 35 \text{ км/ч}$)

Удовлетворительные результаты экспериментов подтверждают целесообразность смены инверторов при различной скорости движения транспортного средства до начала рекуперации энергии торможения. Возникающую разность уровней заряда батарей устраняют более тщательной настройкой инверторов. Предложенная селективная смена инверторов для соответствующих СКБ позволяет поддерживать нормированный уровень тока заряда, что дает преимущества предлагаемому экспериментальному устройству по сравнению с серийными DC-DC преобразователями, предназначенными для заряда аккумуляторов постоянного напряжения. Совершенствование такого технического решения для городского транспорта позволит наиболее полно реализовать ожидаемые режимы торможения при заряде СКБ, повышая тем эффективность всего устройства рекуперации энергии торможения ТЭД.

Рассмотренные примеры подтверждают возможность использования СКБ на транспорте при стохастическом характере режимов рекуперации энергии, но нуждаются в применении специального оборудования, позволяющего в автоматическом режиме выбирать наиболее эффективный преобразователь для зарядного устройства. Для решения такой задачи наиболее предпочтительным видится путь с применением микроконтроллера (МК).

Использование микроконтроллера позволяет программными средствами реализовать контроль параметров зарядного устройства, тестирование остаточного заряда на элементах СКБ и другие дополнительные мероприятия, упоминавшиеся в алгоритмах работы экспериментальных переключателей (рис.7,11). Для лабораторного стенда были выбраны микроконтроллер (МК) и компоненты семейства AVR [11]. Все рассмотренные алгоритмы управления зарядными устройствами реализованы для применения периферийных приемных элементов с гальванической развязкой, аналоговых датчиков электрических величин с унификацией выходных сигналов применительно к 10-разрядным аналого-цифровым преобразователям, полупроводниковых коммутирующих средств, адаптированных для работы с портами ввода/вывода дискретной информации и др.

Одним из важных достоинств указанной AVR-серии МК является их низкое энергопотребление (менее 30мА), что очень важно для реализации такого оборудования, особенно, с СКБ и источником рекуперативной энергии торможения на транспорте, включая электровелосипеды и пр.

При моделировании алгоритмов рассмотренных выше вариантов переключателей

использовались методы обработки ансамблей сигналов [12,13]. Все возможные состояния, характеризующие полноту заряда ионисторов или секций СКБ и др., можно задавать в виде сигнальной матрицы тестирования. Нулевые уровни всех элементов в матрице соответствуют разряженному, а единичные заряженному состоянию ионисторов в СКБ. Поскольку результат заряда СК является величиной аналоговой и не может иметь только два состояния было использовано искусственное кодирование этой величины, задаваясь реальным остаточным значением этого параметра. Такой прием способствует кодированию любых аналоговых величин, включая заряд СК, двоичными цифрами $U(X)$, и при необходимости вводить корректировку задания для повышения надежности процесса кольцевого тестирования всех компонентов секции или СКБ. Для этого полином кодового слова $U(X)$ при тестировании СК будет определяться зависимостью (1)

$$U(X) = A(X)/B(X), \quad (1)$$

где $A(X)$ – код элемента; $B(X)$ – код задания.

Результатом положительного тестирования с учетом полинома учета ошибки $d(X)$ считается «нулевое» кодовое слово (2)

$$E(X) = U(X) + d(X), \quad (2)$$

получение которого сопровождается «обнуление» кода $A(X)$ в исходном массиве, а при необходимости учета ошибки корректировать код $B(X)$, получая результат в соответствии с выражением (3)

$$B(X) = A(X) + B(X) \quad (3)$$

Матрица тестирования любых массивов состоит из M строк и N столбцов. Прибавляя к каждой строке и столбцу бит четности, в результате дает матрицу размером $(M+1) \times (N+1)$. Степень кодирования при этом будет определяться зависимостью (4)

$$S = MN/(M+1)(N+1), \quad (4)$$

позволяющей не допускать ошибки и при кодировании очередных переходов до завершения всех этапов тестирования СК. В простейших случаях можно применять только логические действия с кодовыми слова для достижения аналогичного результата.

Пример применения бинарных кодов (1)-(4) при тестировании элемента СК с исходным кодовым словом 1001011 иллюстрирует зависимость вида:

$$U_x = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1001011 \\ 1101100 \\ 1001001 \end{bmatrix},$$

где $V_1 - V_2$ – кодовые слова приемных элементов зарядного устройства при «нулевом» уровне (V_3) ионистора в секции СК.

Любой финальный результат тестирования сопровождается формированием нового кодового слова для элементов:

$$U_x = [101] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = 1 \cdot V_1 + 1 \cdot V_2 + 0 \cdot V_3 = 1001011 + 1101100 + 0000000 = 0100111$$

Условием достижения полного заряда элемента будет кодовое слово

$$U_x = [010] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = 0 \cdot V_1 + 1 \cdot V_2 + 0 \cdot V_3 = 0000000 + 0100111 + 0000000 = 1011000$$

когда его старший бит всегда будет иметь высокий уровень.

Применение стандартных логик исключаящее ИЛИ, НЕ обеспечивает получение ожидаемого результата (7) для любой модели СК только с одним «нулевым» элементом в начале тестирования [12-14]. Рассмотренных приемов оказывается достаточно для реализации маркировки элемента, после которого выполняется очередной переход и активируется последующий этап теста непременно с последующим «нулевым» элементом.

Иллюстрация реализации алгоритма логики бинарного тестирования нескольких незаряженных СК, рассмотренного выше (1)-(4), представлена в табл. 1, из которой очевидно последовательное сокращение числа обращений к массиву, когда число заряженных элементов СК увеличивается.

Таблица 1

Алгоритм тестирования элементов СК

Исходный код «нулевого» элемента матрицы	Номер перехода	Кодовое слово элемента после теста
1001011	0	0100111
100101	1	1001xx
10010	2	100xx
1001	3	100x
100	4	10x
10	5	1x
1	6	1
переход	7	1011000

В устройствах с большим набором данных и элементов матрицы потребуются более сложные коды, а положительные решения быстрее можно будет достичь с применением алгебраических методик [12,15].

Таким образом, необходимый набор математических описаний обуславливает структуру программируемого блока управления зарядным устройством, используя приемные элементы для косвенной оценки скоростных режимов

транспортного средства (рис.1), и заряда СКБ при ожидаемых условиях торможения ТЭД (рис.9,10).

Расчеты и практические результаты показали, что при реализации всего объема вычислений частота тактирования 20 МГц экспериментального МК позволяет реализовать работу зарядного устройства, обращаясь к датчикам с интервалом менее 1 мкс. При значительной инерционности процесса заряда СК, очевидно, успешно можно применять и менее производительные микросхемы, при выборе которых предпочтение будет отдано, имеющим самый малый уровень собственного энергопотребления.

Полученные положительные результаты лабораторных экспериментов (рис.12) позволяют заключить, что создать эффективный управляемый преобразователь энергии рекуперации для ожидаемых режимов торможения проще, чем для всего возможного спектра варьирования этого параметра. Очевидно, применительно к режимам торможения ТЭД муниципального транспорта необходимо синтезировать специальные средства рекуперации электроэнергии, т.к. типовые решения могут оказаться неэффективными.

Работу зарядного устройства с управляющим микроконтроллером иллюстрируют рис.13 и 14.

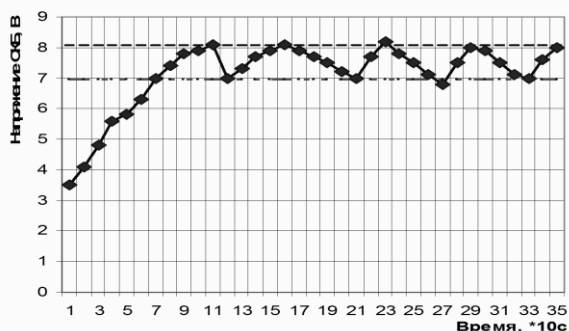


Рис.13. Поддержание уровня заряда СКБ с нормированной нагрузкой

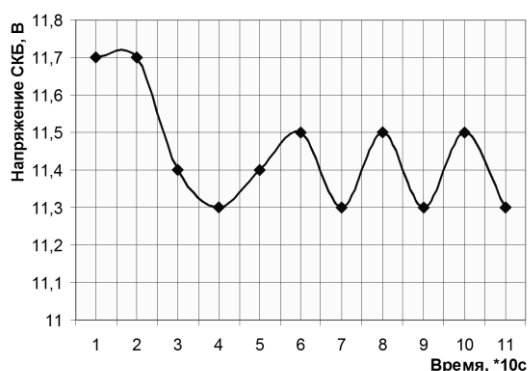


Рис.14. Поддержание уровня заряда СКБ с ненормированной нагрузкой

При проведении опытов с нагрузкой учитывалось соответствие уровней энергии

генерируемой для заряда СК и используемой оборудованием. При согласованности нормированных величин мощностей, потребляемой и поставляемой зарядным устройством, процесс заряда СКБ происходит достаточно равномерно в допустимом интервале варьирования уровня напряжения в локальной сети (рис.13). Равномерная цикличность подключения к СК зарядного устройства способствует достижению и поддержанию заданного уровня заряда СКБ. При ненормированных значениях потребляемой мощности, особенно при перегрузках, и других факторах, возникающая несбалансированность сопровождается самопроизвольным переходом источника питания (СКБ) на другой уровень напряжения (рис.14). Во всех подобных случаях желательные параметры локальной сети можно достичь, меняя задание режима рекуперации, способствующее автоматическому выбору конфигурации зарядного устройства для наиболее эффективного использования предпочтительных скоростей движения транспортного средства. Очевидно, что весь спектр возможных циклов подзарядки ионисторов и секций СКБ на электротранспорте в реальных условиях можно использовать с помощью адаптивных средств автоматики.

Таким образом, можно заключить, что при согласованности уровней потребляемой и генерируемой энергии при дискретной рекуперации торможения ТЭД управляемое зарядное устройство может обеспечивать напряжение полного заряда СКБ, эффективно реализуя все скоростные режимы движения электротранспорта в городских условиях.

Выводы

- Проведено физическое моделирование и экспериментальные исследования компонентов зарядного устройства суперконденсатора для изучения возможности повышения энергетических показателей рекуперации энергии торможения тягового электродвигателя подвижного транспорта.
- Предложены логические зарядные устройства ионисторных секций и батарей, результаты исследования которых подтвердили целесообразность применения таких технических решений в стохастических источниках рекуперации энергии торможения электродвигателей.
- На базе AVR-микроконтролера разработано дискретное зарядное устройство суперконденсаторной батареи с реализацией алгоритма дискретного выбора наиболее эффективного преобразователя.
- Результаты экспериментов подтвердили возможность повышения энергетических показателей управляемого зарядного устройства для

суперконденсаторной батареи при стохастической рекуперации энергии торможения транспортного средства.

Література

1. Ломакин, В. В. К расчёту баланса мощности комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля [Текст] / В. В. Ломакин, А. В. Шабанов, А. А. Шабанов // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – № 1 (84). – С. 24 – 27.
2. Суперконденсаторы или ионисторы вместо аккумулятора. Новая технология Ё-мобиль. [Электронный ресурс] / GREEN-CAR. – Режим доступа: \www/URL: http://green-car.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=78.
3. Шидловский, А. К. Суперконденсаторы в системах электропитания электромобилей [Текст] / А. К. Шидловский, В. Б. Павлов, А. В. Попов, В. Е. Павленко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Силовая електроніка та енергоефективність". – 2010. – Ч. 1. – С. 48-51.
4. How to Prolong Lithium-based Batteries. [Электронный ресурс] / BATTERY UNIVERSITY. – Режим доступа: \www/URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries
5. Бахмутов, С. В. Совершенствование процесса рекуперации энергии гибридного автомобиля [Текст] / С. В. Бахмутов, А. И. Филонов, Е. Е. Баулина // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана: Наука и образование. – 2013. – № 7. – С. 101–114.
6. Kovnat, A., Combining Hybrid Electric Technology with Multi-axle Drivelines, SAE Int. J. Commer. Veh., 3(1):9-21, 2010, doi:10.4271/2010-01-1899.
7. Система рекуперативного торможения гибридного автомобиля [Текст] / А. В. Бажинов, В. Я. Двадненко, А. М. Дробинин, Х. Мауш // Вісник СевНТУ: збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2013. – Вип. 143/2013. – С. 58 – 61.
8. Есаулов, С.М. Применение учебной программы "SinSys - ХНАГХ" при синтезе средств автоматики [Текст] / С. М. Есаулов, А. Д. Храмов, Н. П. Лукашова // Коммунальное хозяйство городов. – 2009. – Вып. 88. – С. 322 – 328
9. Есаулов, С.М. Проектирование компонентов для систем автоматического диагностирования транспорта. [Текст] / С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева, Н.П. Лукашова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вып.5/3(41). – С.28 – 32.
10. Есаулов, С.М., Бабичева О.Ф., Левчук О.Р. Проектирование автоматизированных технологических объектов и мехатронных систем [Текст] // Коммунальное хозяйство городов. – 2009. – Вып. 88. – С. 291 – 299
11. Ashok Ambardar. Analog and Digital Signal Processing. 2e. Brooks/Code Publishing Company, 1999.
12. Есаулов, С.М. Дистанционное диагностирование транспортных средств. [Текст] /С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева // Коммунальное хозяйство городов. – 2016. – Вып. 126. – С. 61 – 66.
13. Есаулов, С. М., Бабичева О. Ф. Программные средства для проектирования автоматизированных технологических объектов [Текст] // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Збірник наукових праць. – 2008. – Випуск VII. – С. 234-238.
- 14.Есаулов, С.М. Применение эталонной модели для автоматической системы диагностирования оборудования на транспорте. [Текст] / С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева, А.В. Будченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вып.4/7(40). – С. 19 – 22
15. Трамперт, В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров. [Текст]/ В. Трамперт. - К.: "МК-Пресс", 2006. – 208 с.

References

1. Lomakin, V. V. (2014). To the calculation of the power balance of the combined power plant of a hybrid car. Journal of Automotive Engineers, 1 (84),24 – 27.
2. Supercapacitors or ionists instead of batteries. New technology E-mobile. (2013) Retrieved from: http://green-car.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=78.
3. Shidlovskiy, A.K., Pavlov, V.B., Popov, A.V., Pavlenko, V.E. (2010). Supercapacitors in electrical power supply systems of electric vehicles. Technical Electrodynamics. Special issue of "Power Electronics and Energy Efficiency", part 1, 48-51.
4. How to Prolong Lithium-based Batteries. Retrieved from http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries
5. Bakhmutov, S. V. (2013). Improvement of the energy recovery of a hybrid car. Scientific publication of the MSTU. N.E. Bauman: Science and Education, 7, 101-114.
6. Esaulov, S. M., Babicheva, O. F., Budchenko, A. V. (2009). Application of standard model for the automatic system of diagnosing of equipment on a transport. East is the European magazine of front-rank technologies, 4/7(40), 19 – 22
6. Kovnat, A. (2010). Combining Hybrid Electric Technology with Multi-axle Drivelines, SAE Int. J. Commer. Veh., 3(1):9-21, doi:10.4271/2010-01-1899.
7. Bazhinov, A. V., Dvadnenko, V. Y., Drobini, A. M., Mausch, H. (2013). Recuperative braking system for a hybrid car. Bulletin SevNTU: technologies. Series: Mashynopryladobuduvannya and transport, 143/2013, 58 – 61.
8. Esaulov, S. M., Khramtsov, A. D., Lukashova, N. P. (2009). Application of the training program "SinSys - HNAGH" in the synthesis of automation equipment. Communal economy of cities, 88, 322 – 328
9. Esaulov, S. M., Babicheva, O. F., Lukashova, N. P. (2009). Planning of components for the systems of the automatic diagnosing of transport. East is the European magazine of front-rank technologies, 5/3(41), 28 – 32.
10. Esaulov, S. M., Babicheva, O. F., Levchuk, O. R. (2009). Design of automated process facilities and mechatronic systems. Communal economy of cities, 88, 291 – 299
11. Ashok Ambardar. Analog and Digital Signal Processing. 2e. Brooks/Code Publishing Company, 1999.
12. Esaulov, S. M., Babicheva, O. F. (2016). Remote diagnosis of trojan transport means. Communal economy of cities, 126, 61 – 66
13. Esaulov, S. M, Babicheva, O. F. (2008). Software for designing automated technological objects. Theory and

methods of teaching mathematics, physics, computer science: *Scientific Papers*, VII, 234 – 238.

14. Esaulov, S. M., Babicheva, O. F., Budchenko, A. V. (2009). Application of standard model for the automatic system of diagnosing of equipment on a transport. *East is the European magazine of front-rank technologies*, 4/7(40), 19 – 22

15. Trampert, V. *Measurement, control and regulation with pomoshchju AVR-mykrokontrollerov*, 2006.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. І. Капцов, *Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина*

Автор: Єсаулов Сергій Михайлович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина
E-mail – ur9li@ukr.net

Автор: Бабичева Ольга Федоровна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина
E-mail – olgafedorovna@outlook.com

Автор: Лукашова Наталья Павловна
асистент кафедри
Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина
E-mail – Natalya.Lukashova@kname.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА ПРИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ТРАНСПОРТІ

Єсаулов С.М., Бабічева О.Ф., Лукашова Н.П.

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Україна

Робота присвячена питанню дослідження і розробки блоку керування зарядним пристроєм суперконденсаторної батареї при рекуперації електроенергії гальмування тягового електродвигуна міського електротранспорту. Запропоновані алгоритми логічного керування зарядним пристроєм за допомогою напівпровідникових модулів і мікроконтролера. Результати експериментів ілюструють ефективність застосування запропонованого технічного рішення.

Ключові слова: транспорт, електротранспорт, електромобіль, електроенергія, тяговий електродвигун, іоністор, суперконденсатор, акумуляторна батарея, зарядний пристрій, система керування, мікроконтролер.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE ACCUMULATOR RECTIFIER OF THE SUPERCAPACITOR IN CASE OF ENERGY RECUPERATION OF BRAKING OF THE ELECTRIC DRIVE ON TRANSPORT

S. Yesaulov, O. Babicheva, N. Lukashova

O. M. Beketov National University of Urban Ecnjmy in Kharkov, Ukraine

Operation is devoted to a research and development of control box of the accumulator rectifier of the supercapacitor battery in case of a recuperation of stochastic level of energy of braking of the tractive engine of city electrical transport. Application of physical simulation of components on the original bench of the experimental allowed to receive the positive results of a charge of an ionistor from a source of low power. Algorithms of switching of elements and sections of ionistors for achievement of a total charge of the supercapacitor battery are developed and realized. The provided data of experiments and researches of the accumulator rectifier with the AVR microcontroller, illustrate efficiency of a charge the supercapacitor battery in case of stochastic energy recuperation of braking of the electric drive.

Keywords: transport, electric transport, electric vehicle, electric power, tractive electromotor, ionistor, supercondenser, rechargeable battery, accumulator rectifier, management system, microcontroller.