

УДК 621.446

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ЧАСТОТНО-
УПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ПРИВОДА С
СУПЕРКОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ**

А.В. Адоньев, Д.Н. Мирошник

Донецкий национальный технический университет

В работе предложена структура системы управления распределением энергии между источником постоянного напряжения, суперконденсатором и асинхронным электроприводом. Получена математическая модель системы. Результаты подтверждены моделированием в МАТЛАБ. Решение может быть использовано в электромобилях.

На сегодняшний день, в контексте решения задач использования рекуперативной энергии в электромобилях, перспективным вариантом является использование суперконденсатора в комплексе с аккумуляторной батареей. [1]

Задача стоит в демонстрации возможности использования энергии торможения для питания двигателя или при необходимости заряда аккумуляторной батареи (АКБ).

Важнейшее значение для успешного внедрения электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой по всему миру приобретает взаимосвязь между тремя наборами технологий, а также проблема качества их обеспечения. Первичными проблемами проектов таких автомобилей являются: хранение электроэнергии, обеспечение привода колес, а также реализация алгоритмов оптимального управления движением в различных режимах [1].

Повышение доли электронных и электротехнических компонентов на борту транспортного средства потребовало повышение выходной мощности генераторной установки, а также улучшение технических параметров АКБ. Однако, это не идет в сравнение с процессами перехода транспорта на электрические технологии. По сути, сегодня, требуется переосмысление архитектуры транспортного средства. При существенных ограничениях в массе и габаритах автомобиля, необходимо обеспечить установку системы хранения электроэнергии, а также решить задачу возврата энергии в загрузку для увеличения пути на одной зарядке. Так, например, в традиционных конструкциях автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, функцией тормозной системы является собственно обеспечение эффективного торможения транспортного средства. Для электромобиля (ЭМБ) данная функция

расширяется за счет реализации электротехнической системы рекуперации энергии [2].

Несмотря на то, что потенциал литийионных технологий АКБ не исчерпан, эксперты сходятся во мнении [1], что уже через 5 лет могут появиться новые разработки в области материаловедения. Сегодня активно обсуждается вопрос о применении в ТАБ материалов на основе лития, например титаната лития, или оксида кремния. Эти новые материалы анода АКБ обеспечивают более высокий потенциал и лучшие характеристики при низких рабочих температурах, чем традиционный графит. Два материала, которые в настоящее время активно внедряются в электрические технологии автомобилестроения это: фосфат лития-железа (ФЛЖ) и титанат лития (ТЛ). АКБ на основе ФЛЖ способны обеспечить более 1500 циклов перезарядки, с приемлемым уровнем плотности хранимой энергии. ТЛ имеет гораздо более высокие потенциальные возможности - около 5000 циклов. Однако меньшая плотность хранимой энергии делает данную технологию более предпочтительной для производства АКБ для ЭМБ [3]

Возможность применения суперконденсаторных батарей в электромобильном транспорте, как буферного элемента, рассматривается в статье [4].

Система накопления энергии независимо от кинематических особенностей схем построения комбинированных энергоустановок состоит из батареи суперконденсаторов, устройств их заряда и разряда, выпрямителя переменного тока и преобразователя постоянного тока в переменный, а также системы управления, диагностики и контроля (рис.1).

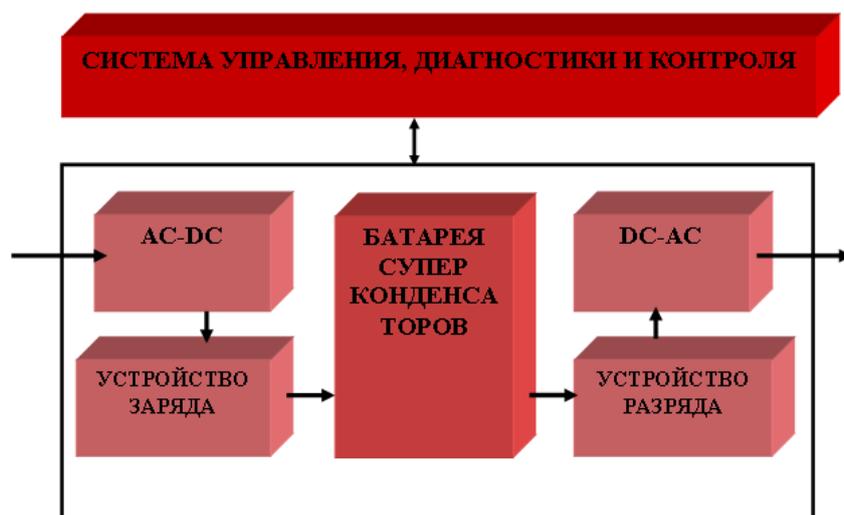


Рис.1 – Функциональная схема системы накопления энергии на базе суперконденсаторов

Батарея суперконденсаторов служит для накопления электроэнергии в объеме, достаточном для обеспечения режима трогания и разгона транспортного средства при пониженной до обеспечения уровня равномерного движения мощности двигательной установки, а также для рекуперации кинетической и потенциальной энергии движения транспортного средства в электрическую при его торможении.

Выпрямитель переменного тока (AC-DC) и преобразователь постоянного тока в переменный (DC-AC) служат для обеспечения рабочего режима функционирования батареи суперконденсаторов среди агрегатов, работающих на переменном токе. Особенностью работы этих устройств является широкий диапазон напряжений и частот используемого переменного тока.

Устройство заряда служит для обеспечения накопления энергии в батарее суперконденсаторов в условиях непрерывно понижающегося напряжения источника заряда, что характерно для осуществления рекуперации энергии в режиме торможения транспортного средства.

Устройство разряда служит для оптимизации процесса отдачи энергии при разряде батареи суперконденсаторов путем согласования нестационарных нагрузок.

Система управления диагностики и контроля обеспечивает функционирование системы накопления энергии в автоматическом режиме на основе оперативного анализа информации о текущих значениях параметров устройств системы накопления энергии путем формирования управляющих воздействий по заданным алгоритмам.

Однако существующие решения направлены только лишь на использование суперконденсаторной батареи (СКБ), как источник питания бортовых приборов автомобилей и не связаны с отдачей энергии заряда в нагрузку [5].

Аккумуляторная батарея не рассчитана на значение тока, который поступает в источник при торможении, а это, в свою очередь, ведет к значительному уменьшению срока службы последнего. Однако, если использовать, указанный выше, суперконденсатор, то возможно управление энергией, поступающей при генераторном режиме привода, таким образом, чтобы ток заряда не превышал граничного, для батареи, значения [4].

Суперконденсаторы или, так называемые, ионисторы представляют собой конденсаторы, которые имеют емкость на несколько порядков выше, чем у современных накопителей энергии. Исследования показывают перспективность развития данных элементов. Технические характеристики СКБ улучшаются с большой скоростью, в это же время, цена снижается.

Цель работы: Увеличение пробега электромобиля на одном заряде за счет аккумуляции энергии торможения в СКБ и, последующим, ее преобразованием в механическую.

Задачи исследования:

1. Составление схемы силовых цепей
2. Разработка системы управления
3. Моделирование переходных процессов

В работе предлагается использование схемы электропривода с использованием СКБ изображенной на рисунке 2.

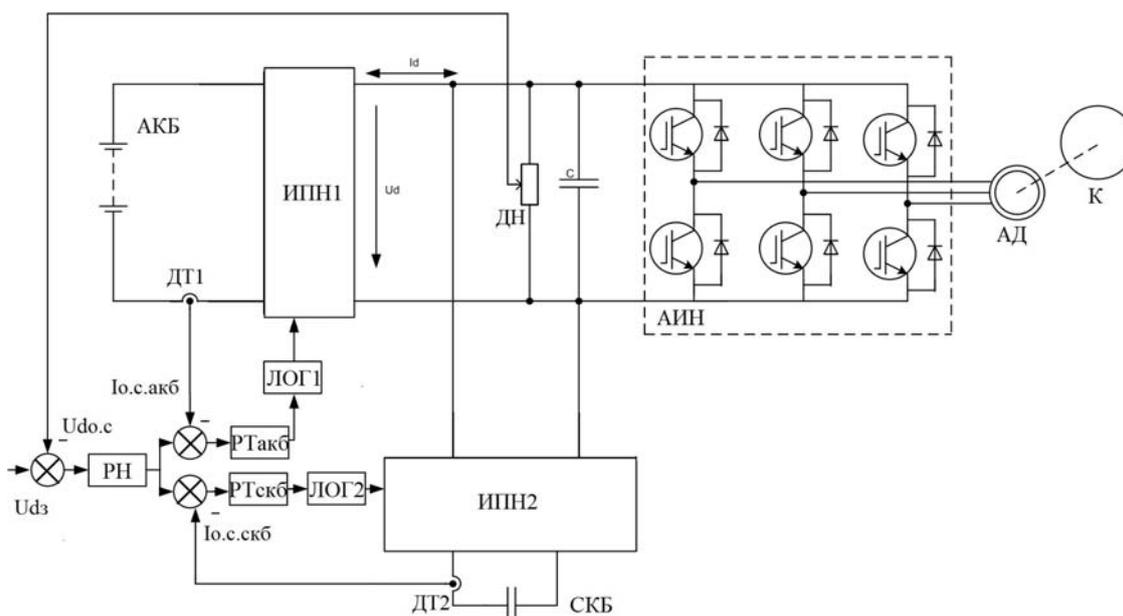


Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления приводом

Электрическая часть привода включает в себя два обратимых импульсных преобразователя напряжения ИПН1 и ИПН2. Следует заметить, что, для обеспечения работы электропривода, наличие преобразователей позволяет получить напряжение в звене постоянного тока U_d выше, чем на АКБ и СК соответственно.

Для управления потоками энергии в системе регулируются два параметра: напряжение U_d и ток преобразователей соответственно ИПН1 и ИПН2 [4].

Система построена по принципу подчиненного управления, где контур напряжения является внешним и выход регулятора напряжения (РН) создает задание на внутренние контуры тока. Выходы регуляторов тока аккумуляторной батареи (РТакб) и суперконденсатора (РТскб) формируют управляющие сигналы для транзисторных ключей преобразователей.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ

Блоки логики (ЛОГ1, ЛОГ2) осуществляют выбор управляющего импульса ИПН1 и ИПН2 в соответствии с законом:

$$U_y = U_{PT} * (\text{заряд/разряд}) * (\text{режим работы источника})$$

Разработанная схема позволяет в полной мере управлять потоками энергии, также, за счет его повышения, согласовывать напряжение АКБ и АД.

Поскольку СКБ имеет высокую стоимость, на следующих этапах стоит задача оптимизации процессов заряда и разряда с целью расчета минимальной емкости батареи.

Переходные процессы в данной системе (рис. 3) подтверждают работоспособность суперконденсатора, как дополнительного источника питания, также как и работоспособность системы управления. СК работает, как буферный элемент между АКБ и приводом.

Величина энергии заряда СКБ:

$$W_{скб} = P \cdot t = U \cdot I \cdot t,$$

где t – период заряда СКБ

$$\text{тогда } U \text{ за период } U_{cp} = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2}$$

$$I_{скб} = C \frac{dU_{скб}}{dt} \Rightarrow CdU_{скб} = Idt \Rightarrow C(U_{\max} - U_{\min}) = I \cdot t,$$

$$\text{тогда } W_{скб} = \frac{C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)}{2},$$

где U_{\max} , U_{\min} – максимальное и минимальное значения напряжения СКБ; $I_{скб}$ – средний ток заряда СКБ за период времени ее работы $t_{скб}$; $C_{скб}$ – емкость СКБ.

Следовательно, если энергия торможения не превышает энергию заряда СКБ, то ионистор может работать как промежуточный элемент, который заряжается рекуперативной энергией до напряжения не превышающего значение $U_{СКБ\max}$, и разряжаясь до напряжения $U_{СКБ\min}$

Как видно из осциллограммы, сначала расходуется запасенная в СКБ энергия. Затем, как только достигнуто минимально напряжение разряда СКБ, в работу включается АКБ. На 2 секунде моделирования привод переходит в генераторный режим. При этом, сначала происходит заряд СКБ до максимального значения напряжения $U_{скб\max}$, и только после заряд АКБ. После 5 секунды привод переходит обратно в двигательный режим. На графике видно, что с 5 по 6 секунду напряжение АКБ не расходуется, так как привод питает СКБ. На токовой диаграмме видно, что в моменты разряда и заряда СКБ, ток $I_{скб}$ имеет наибольшее значение.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ**

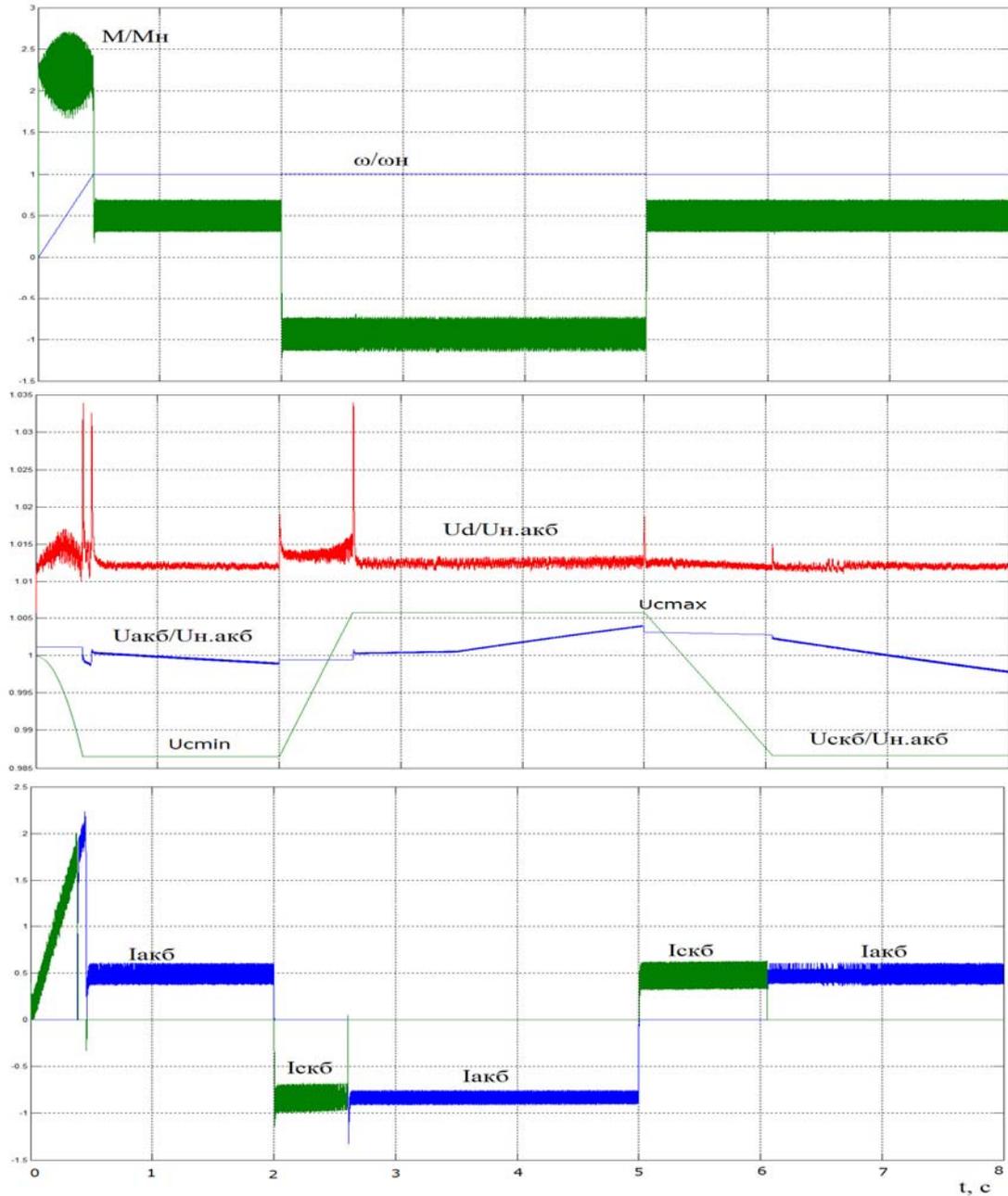


Рисунок 3 - Результаты моделирования системы

На диаграмме (Рис. 4) можно увидеть, что, на данном этапе, в силу нелинейности характеристик, не удалось получить устойчивый режим работы при большем разряде СКБ. Следовательно, в будущем, целью станет поиск путей обеспечения работы СКБ при полном разряде.

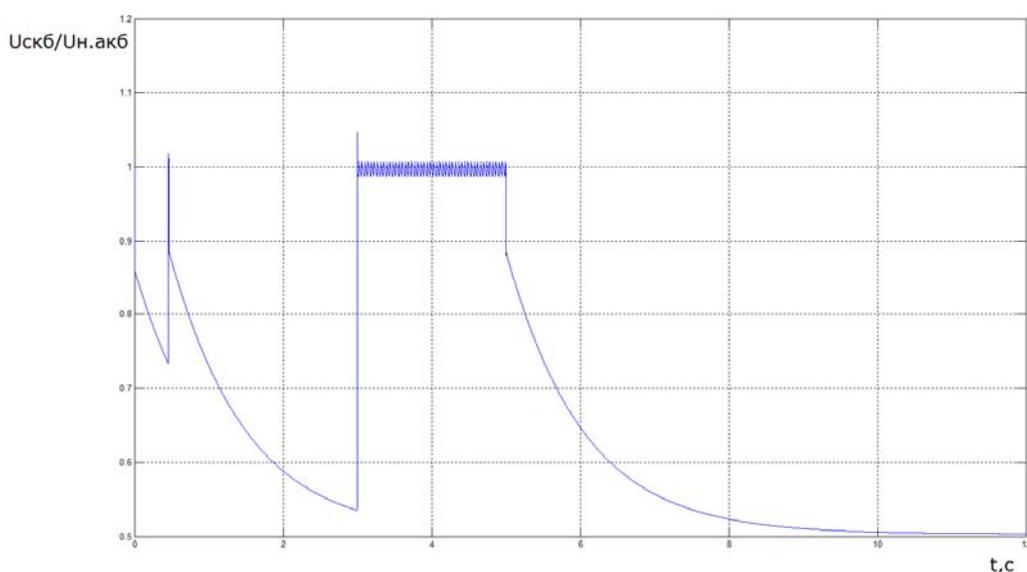


Рисунок 4 – Осциллограмма напряжения СКБ

Выводы

1. Составлена силовая схема, обеспечивающая использование СКБ, как буферного элемента, между АКБ и приводом
2. Разработана система управления, которая обеспечивает управление потоками энергии в электроприводе
3. Выполнено моделирование процессов в электроприводе.

Перечень ссылок

1. Строганов В.И. Ключевые аспекты изменения в автомобильной промышленности в контексте развития электрических технологий // В. И. Строганов, В.Н. Козловский, В.Е. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №1. – С.2 – 6.
2. Строганов В. И. Итоги и перспективы развития электромобилей с гибридными силовыми установками / В. И. Строганов, В. Н. Козловский // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – №2. – С. 2 – 8.
3. Строганов В. И. Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования / В. И. Строганов // «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет». – 2014. – 304 с.
4. Деньщиков К.К. Суперконденсаторы: принципы построения, техника применения/ К.К. Деньщиков// Эл. Ресурс.- Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/149/96067.php>