

А. В. СЕМИКОВ**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАЗНОГО ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ДВУМЯ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ**

Рассмотрена схема одновременного питания машины постоянного тока от двух накопителей электроэнергии (аккумуляторной и суперконденсаторной батарей) с многофазным широтно-импульсным преобразователем. Показано, что при таком решении требуется меньше ёмкость суперконденсаторной батареи в сравнении со схемами с разделительным диодом между накопителями или с переключением между ними. Выполнено моделирование работы электропривода на модели, учитывающей дискретизацию по времени и по уровню в системе управления и широтно-импульсную модуляцию силовых ключей. Получены временные диаграммы результатов моделирования для различного распределения тока якоря между накопителями. Показана возможность использования энергии суперконденсаторной батареи на всём интервале разгона для уменьшения потерь в аккумуляторной батарее, обладающей в несколько раз большим внутренним сопротивлением по сравнению с суперконденсаторной батареей, а также возможность при рекуперативном торможении направлять часть энергии в аккумуляторную батарею, чтобы при торможениях на продолжительных спусках обеспечивать рекуперацию энергии по значению превышающую допустимую для накопления в суперконденсаторной батарее. Полученные временные диаграммы подтвердили адекватность компьютерной модели и стабильность работы тягового электропривода при одновременном питании от двух накопителей электроэнергии. Указано на преимущество данной схемы обеспечивать уменьшение пульсаций тока якоря и накопителей, вызванных широтно-импульсной модуляцией, что уменьшает потери в них и минимально необходимое значение ёмкостей конденсаторов в широтно-импульсном преобразователе.

Ключевые слова: электромобиль, электропривод, многофазный широтно-импульсный преобразователь, суперконденсаторы, двойной накопитель электроэнергии.

О. В. СЕМИКОВ**ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФАЗНОГО ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ДВОМА НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ**

Розглянуто схему одночасного живлення машини постійного струму від двох накопичувачів електроенергії (аккумуляторної і суперконденсаторної батарей) з багатофазним широтно-імпульсним перетворювачем. Показано, що при такому рішенні потрібно менша ємність суперконденсаторної батареї в порівнянні зі схемами з розділяючим діодом між накопичувачами або з перемиканням між ними. Виконано моделювання роботи електроприводу на моделі, що враховує дискретизацію за часом і за рівнем в системі керування і широтно-імпульсну модуляцію силових ключів. Отримано часові діаграми результатів моделювання для різного розподілу струму якоря між накопичувачами. Показано можливість використання енергії суперконденсаторної батареї на всьому інтервалі розгону для зменшення втрат в акумуляторній батареї, яка має в кілька разів більший внутрішній опір у порівнянні з суперконденсаторною батареєю, а також можливість при рекуперативному гальмуванні направляти частину енергії в акумуляторну батарею, щоб при гальмуваннях на тривалих спусках забезпечувати рекуперацию енергії, що за значенням перевищує допустиму для накопичення в суперконденсаторній батареї. Отримані часові діаграми підтвердили адекватність комп'ютерної моделі і стабільність роботи тягового електроприводу при одночасному живленні від двох накопичувачів електроенергії. Зазначено на перевагу даної схеми забезпечувати зменшення пульсацій струму якоря і накопичувачів, викликаних широтно-імпульсною модуляцією, що зменшує втрати в них і мінімально необхідні значення ємностей конденсаторів в широтно-імпульсному перетворювачі.

Ключові слова: електрообієкт, електропривод, багатофазний широтно-імпульсний перетворювач, суперконденсатори, подвійний накопичувач електроенергії.

O. V. SEMIKOV**THE USING OF A MULTIPHASE PULSE-WIDTH CONVERTER WITH TWO ELECTRIC ENERGY STORAGE AT A TRACTION ELECTRIC DRIVE OF AN ELECTRIC VEHICLE**

The scheme of simultaneous power supply of a DC machine from two energy storage devices (accumulator and supercapacitor batteries) with a multi-phase pulse-width converter is considered. It is shown that with such a solution, less capacity of the supercapacitor battery is required in comparison with circuits with an isolation diode between drives or with switching between them. The operation of the electric drive is modeled on a model that takes into account time and level sampling in the control system and pulse-width modulation of power switches. Timing diagrams of simulation results for various distribution of the armature current between drives are obtained. The possibility of using the energy of a supercapacitor battery over the entire acceleration interval to reduce losses in a battery with several times greater internal resistance compared to a supercapacitor battery is shown, as well as the ability to direct part of the energy to the battery during regenerative braking so that it can provide during braking on long descents energy recovery exceeds the value allowed for storage in a supercapacitor battery. The obtained time diagrams confirmed the adequacy of the computer model and the stability of the traction electric drive while simultaneously powered by two electric drives. The advantage of this circuit is indicated to ensure a decrease in the ripple current of the armature and storages caused by pulse-width modulation, which reduces the loss in them and the minimum required value of the capacitance of the capacitors in the pulse-width converter.

Keywords: electric vehicle, electric drive, multi-phase pulse-width converter, supercapacitors, dual electric energy storage.

Введение. В настоящее время некоторые страны Европы определили сроки запрета на продажу бензиновых и дизельных автомобилей после 2025...40 г. [1], а в Украине отмечается один из наибольших темпов увеличения числа электромобилей в Европе [2]. На кафедре «АЭМС» НТУ «ХПИ» в 2011 была открыта новая специализация «Компьютеризированные системы электромобилей» и на базе автомобиля Ланос создан

энергии в суперконденсаторную батарею (СКБ) [3], со схемой объединения накопителей показанной на рисунке 1в. Сравнение работы такого ЭП с работой ЭП по схеме, обеспечивающей переключение между накопителями (рисунок 1б) выполнено в различных стандартных режимах движения городского цикла [4].

В данной работе рассматривается питание машины постоянного тока (М) одновременно от обоих на-

льного преобразователя (ШИП) [5], как показано на рисунке 2.

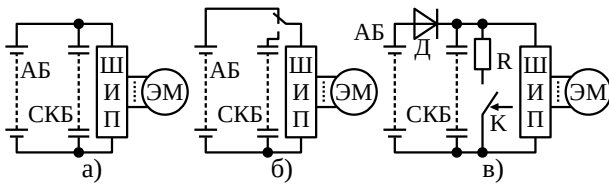


Рисунок 1 – Рассмотренные схемы объединения АБ и СКБ в ЭП электромобиля

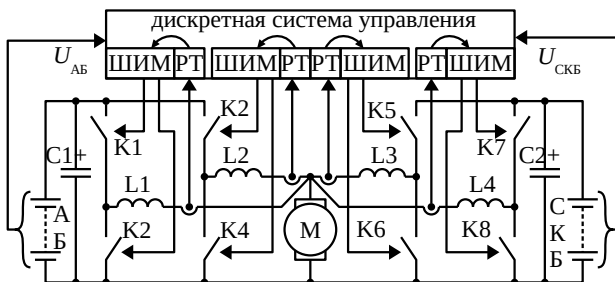


Рисунок 2 – Упрощённая схема объединения АБ и СКБ с двухфазными ШИП

Целью работы является проверка стабильности работы ЭП по такой схеме, возможности повышения энергоэффективности, обеспечения рекуперативных торможений при продолжительных спусках и улучшения массогабаритных показателей по сравнению со схемами ранее рассмотренными в [4].

В работе [6] предложен расчёт накапливаемой в тормозных режимах в СКБ энергии $W_{СКБ}$. При этом электрическая ёмкость $C_{СКБ}$ определяется максимальным диапазоном изменения напряжения, увеличение которого уменьшает необходимую ёмкость СКБ. При параллельном соединении АБ и СКБ (рисунок 1а) диапазон напряжения зависит от изменения напряжения АБ при изменении протекающего через неё тока. Для схем с переключателями (рисунок 1б) и с диодами (рисунок 1в) максимальное напряжение определяется допустимым импульсным напряжением. Минимальное напряжение для схемы с переключателями определяется необходимым для работы электродвигателя (ЭД) в номинальном режиме. А для схемы с диодом оно зависит от наибольшего возможного напряжения АБ, которое в $1,2 \div 1,3$ раза больше её минимального напряжения, которое также должно обеспечивать работу ЭД в номинальном режиме. В результате наибольший диапазон напряжения СКБ в схеме с переключателями (рисунок 1б) среди рассмотренных, следовательно для этой же схемы требуется наименьшая ёмкость СКБ. В схеме с питанием ЭД одновременно от АБ и СКБ (рисунок 2) диапазон напряжений такой же, как в схеме с переключателями, соответственно также требуется наименьшая ёмкость СКБ.

В рассматриваемом 4-фазном ШИП частота и, соответственно, период коммутации силовых ключей в каждой фазе одинаковый, но сдвиг между интервалами открытого состояния транзисторов составляет $\frac{1}{4}$ периода [5], соответственно используется общая система управления для синхронизации фаз. Это позво-

ляет увеличить частоту коммутации напряжения на якоре и уменьшить пульсации его тока. При коммутации ключей ШИП ток источника питания протекает импульсами при открытии К1, К3, К5 или К7. Соответственно, его среднеквадратичное значение, определяющее потери на сопротивлении в источнике, влияющие на его нагрев и износ, в несколько раз больше среднего значения тока, определяющего полезную мощность. Уменьшение пульсаций этого тока является одной из причин установки в ШИП конденсаторов параллельно источникам питания, на рисунке 2: С1 для АБ и С2 для СКБ. При использовании нескольких фаз амплитуда импульсов изменяется обратно пропорционально числу фаз при задании одинакового тока в каждой фазе, а частота увеличивается пропорционально числу фаз, в результате требуемая ёмкость С1 и С2 изменяется обратно пропорционально квадрату числа фаз при заданной амплитуде пульсаций.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) силовыми ключами (К1...К8) осуществляется в соответствии с сигналами от независимых регуляторов тока (РТ) в каждой фазе. РТ выбран пропорционально интегральными с целью компенсации постоянной времени якорной цепи, предполагая незначительные изменения напряжения питания при переходных процессах в контуре тока. Но при продолжительном заряде и разряде АБ и СКБ с учётом просадки напряжения на их внутреннем сопротивлении напряжение на них меняется в $1,4 \div 2$ раза, соответственно система управления изменяет коэффициент РТ обратно пропорционально этим напряжениям для постоянства коэффициентов передаточной функции контура тока независимо от уровня заряда АБ и СКБ, поэтому введены обратные связи (ОС) по напряжениям АБ $U_{АБ}$ и СКБ $U_{СКБ}$. Эти ОС также используются для ограничения зарядного тока СКБ, предотвращающего её перезаряд больше допустимого значения в продолжительных рекуперативных торможениях, и для ограничения разрядного тока АБ, предотвращающего её переразряд в двигательном режиме.

Проверка стабильности работы рассматриваемого ЭП выполнена путём моделирования синтезированной компьютерной модели, учитывающей ШИМ силовых ключей и дискретизацию по уровню и по времени сигналов ОС и в РТ. Для моделирования заданы параметры автомобиля Ланос; двигателя ME1002 [7] мощностью 26 кВт, номинальным напряжением 144 В и током 205 А, рассчитанного на использование без коробки передач [8]; литий-ионной АБ ёмкостью 22 кВт·ч с номинальным напряжением 172 В и внутренним сопротивлением 0,09 Ом, рассчитанной на дальность проезда до 150 км на одном заряде [4]; СКБ ёмкостью 12 Ф с максимальным напряжением 270 В и внутренним сопротивлением 0,02 Ом, рассчитанной на приём всей энергии при торможении с 90 км/ч без уклона [5], состоящей из 100 последовательно соединённых элементов по 1200 Ф [9]. Задана частота коммутации ключей в каждой фазе равная 10 кГц, при которой проверка на работу ШИП на созданном ЭП электромобиля [3].

Для двигательного режима выполнено моделирование при среднем уровне заряда АБ и СКБ при зада-

нии максимального тока якоря 500 А, причём ток фаз АБ задан в 2 раза больше тока СКБ, чтобы обеспечить использование запаса её энергии на всём интервале разгона. Соответствующие временные диаграммы токов якоря $I_{\text{я}}$, АБ $I_{\text{АБ}}$, СКБ $I_{\text{СКБ}}$ и фаз $I_{\text{ф.1 АБ}}$, $I_{\text{ф.2 АБ}}$, $I_{\text{ф.1 СКБ}}$, $I_{\text{ф.2 СКБ}}$ и напряжений якоря $U_{\text{я}}$, АБ $U_{\text{АБ}}$ и СКБ $U_{\text{СКБ}}$ показаны на рисунке 3. Проанализируем временные диаграммы с точки зрения их соответствия физике протекающих процессов для установления адекватности результатов компьютерного моделирования. При замыкании ключа К1 в интервале времени 36...64 мкс (и последующих с шагом периода коммутации 100 мкс) видно, что ток фазы $I_{\text{ф.1 АБ}}$ растёт и равен протекающему в источнике с конденсатором С1 $I_{\text{С АБ}}$, а при открытии транзистора К3 в интервале 86...114 мкс (и последующих с шагом 0,1 мс) видно, что ток фазы $I_{\text{ф.2 АБ}}$ также растёт и равен протекающему в источнике с конденсатором С1 $I_{\text{С АБ}}$, при этом в промежуточные интервалы времени ток фаз уменьшается, а накопителя равен нулю, так как открыты транзисторы К2 и К4.

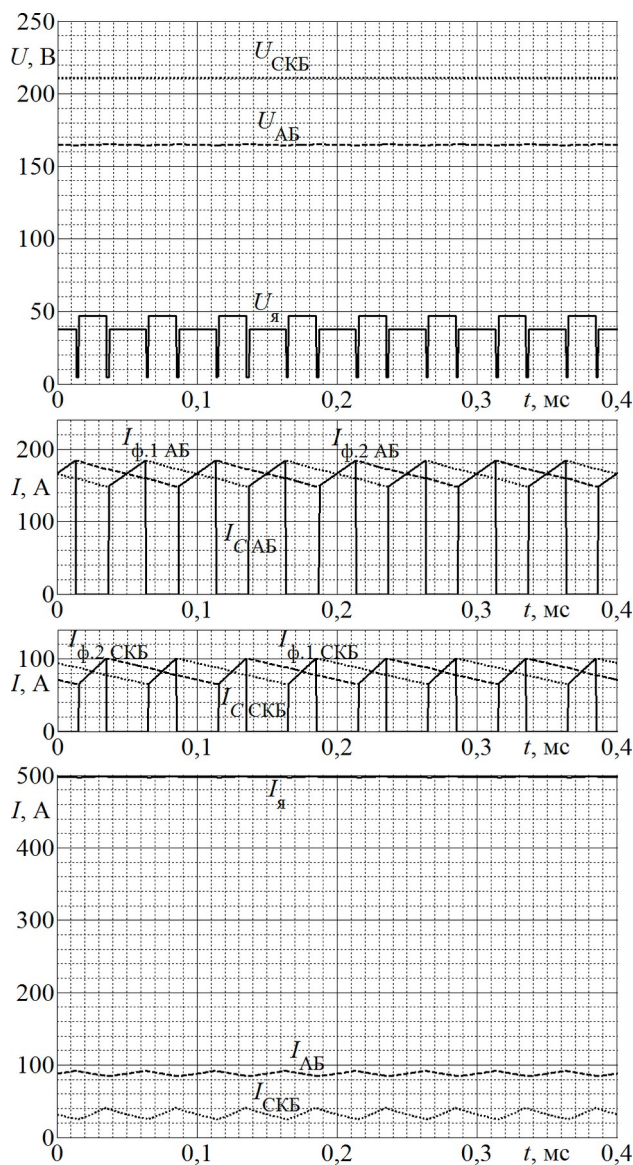


Рисунок 3 – токи и напряжения накопителей, фаз и якоря МПТ в двигательном режиме

Таким же образом токи фаз СКБ $I_{\text{ф.1 СКБ}}$ и $I_{\text{ф.2 СКБ}}$ отбираются по очереди от конденсатора С2 при открытии транзисторов К5 (15...35 мкс) и К7 (65...85 мкс) с соответствующим ростом токов, а в интервалы открытия К6 и К8 токи фаз уменьшаются, протекая через эти транзисторы. При этом время подачи напряжения от АБ больше, чем от СКБ, так как на ней напряжение больше, а выходное среднее за период напряжение каждой фазы одинаково при работе на одну нагрузку – якорь МПТ. В данном эксперименте подаваемое на якорь напряжение принимает 3 значения в разные интервалы: наименьшие 5 В при одновременном открытии ключей К2, К4, К6 и К8 (когда напряжение определяется током якоря и сопротивлением фаз и ключей ШИП), 39 В при питании от АБ через транзистор К1 или К3, что определяется четвертью напряжения АБ с учётом падений напряжения на проводниках, и 48 В при питании от СКБ через транзистор К5 или К7, что определяется четвертью напряжения СКБ с учётом падений напряжения на проводниках.

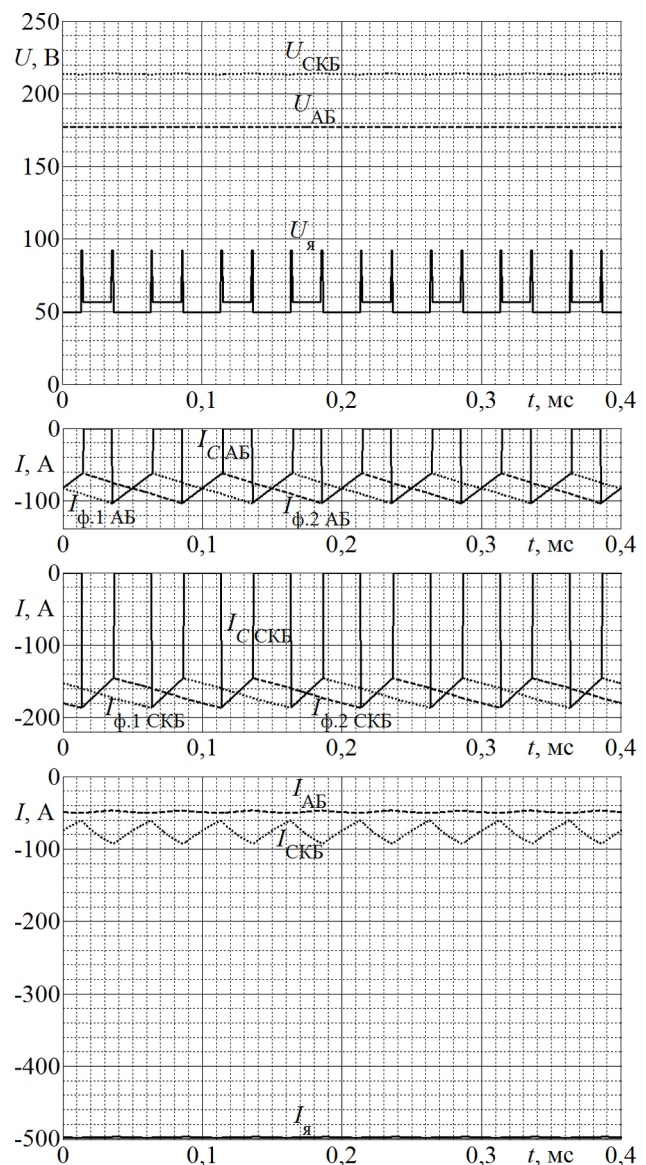


Рисунок 4 – токи и напряжения накопителей и якоря МПТ в генераторном режиме

На этой же модели промоделирован тормозной режим со средним уровнем заряда АБ и СКБ и с заданием максимального тока якоря -500 А. Соответствующие временные диаграммы токов и напряжений в цепях ЭП показаны на рисунке 4. В этом режиме токи фаз обладают положительной производной при открытии транзисторов К1, К3, К5 и К7 в интервалы времени близкие интервалам в предыдущем двигательном режиме, но при этом абсолютное значение этих токов уменьшаются, так как индуктивность фазы и якоря в этих интервалах разряжается, отдавая свою энергию накопителю, обеспечивая рекуперацию от якоря с меньшим напряжением к АБ и СКБ с большими. А при открытии транзисторов К2, К4, К6 и К8 ток увеличивается, происходит заряд этих индуктивностей от ЭДС якоря.

В обоих случаях моделирования токи фаз в пределах одного накопителя сдвинуты на половину периода (50 мкс) между собой, а токи фаз разных накопителей сдвинуты четверть периода (25 мкс). В результате частота колебаний тока якоря в 4 раза больше частоты колебаний тока каждой фазы и амплитуда более, чем в 16 (квадрат числа фаз) раз меньше амплитуды колебаний тока каждой фазы: менее 0,9 А всего тока якоря и более 17 А каждой фазы. Низкочастотные (по отношению к частоте ШИМ) составляющие колебания токов фаз и якоря при заданном неизменном токе якоря составляют менее 1 А и незаметны на временных диаграммах, что указывает на стабильную работу рассматриваемого ЭП с независимыми РТ в каждой фазе и с конденсаторами параллельно питанию, вместе с сопротивлением накопителей создающими в цепи управления дополнительное апериодическое звено.

В обоих случаях токи АБ и СКБ равны среднему значению импульсных токов С1 и С2, а ток якоря сумме токов фаз, что подтверждает сохранение заряда в построенной модели.

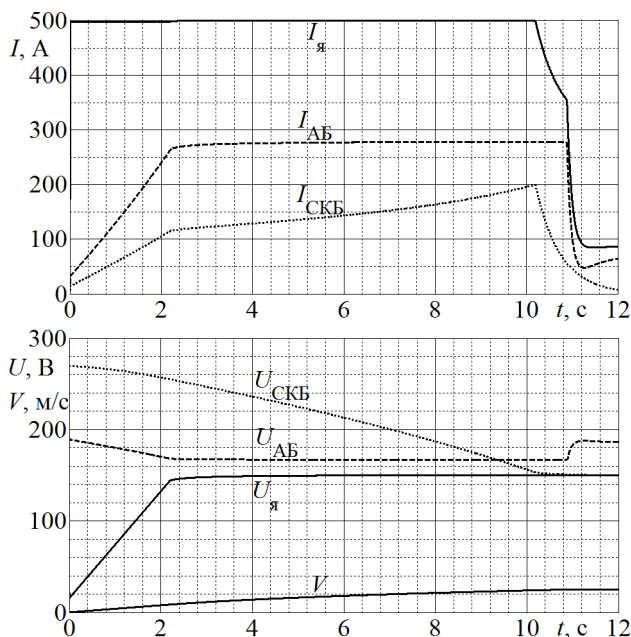


Рисунок 5 – гладкая составляющая токов и напряжений накопителей и якоря МПТ при разгоне до 25 м/с

При этом амплитуда пульсации $I_{АБ}$ в рассмотренных режимах составляет 3,7% от среднего значения, а $I_{СКБ}$ – 22%, то есть в ~ 6 раз больше. Это также соответствует предполагаемому отличию, так как рассматривается работа с конденсаторами С1 и С2 одинаковой ёмкости для обеспечения одинаковой амплитуды пульсаций напряжения на накопителях при одинаковом среднем напряжении на них, но сопротивление АБ в 4,5 раза больше сопротивления СКБ и в заданном режиме работы напряжение СКБ в $\sim 1,2$ раза больше напряжения АБ.

При начальных напряжениях АБ и СКБ соответствующих их максимальному заряду промоделирован процесс разгона от 0 до 25 м/с на горизонтальной дороге. Полученные временные диаграммы токов и напряжений показаны на рисунке 5. В начале разгона до момента времени 2,2 с увеличивается напряжение якоря до номинального значения из-за увеличения ЭДС, что при постоянном токе якоря сопровождается увеличением токов АБ и СКБ, при чём происходит заметная (~ 22 В) просадка напряжения АБ из-за её сопротивления. Дальнейший разгон происходит во 2-й зоне управления МПТ с уменьшением потока возбуждения, сопровождаясь заметным разрядом СКБ с 270В до 150В и увеличением его тока со 120 до 200А, соответственно напряжение якоря и ток АБ почти не меняются до момента времени 10,2 с, когда при разряде СКБ её напряжение уменьшается до напряжения якоря, соответственно СКБ перестаёт отдавать энергию и разгон продолжается лишь за счёт энергии из АБ. В интервале времени 10,8...11,2 с при выходе скорости на заданное максимальное значение 25 м/с уменьшается ток до необходимого для преодоления статической нагрузки от трения и сопротивления воздуха, а напряжение АБ увеличивается из-за уменьшения его просадки на её сопротивление.

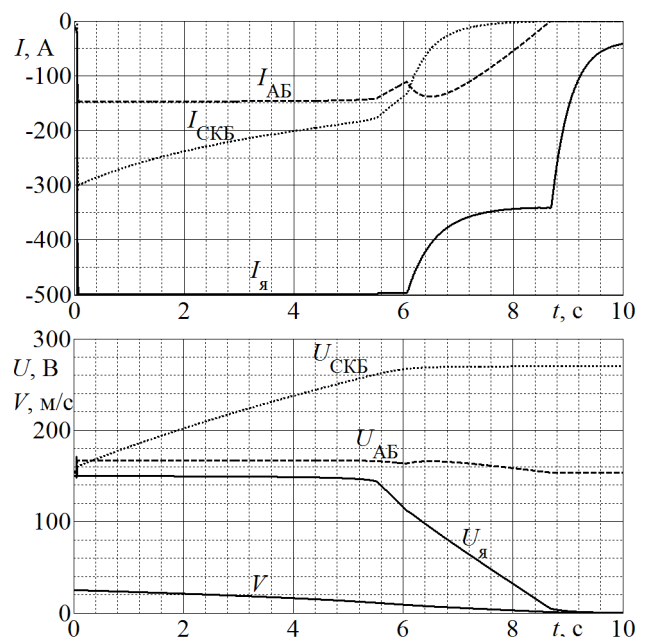


Рисунок 6 – гладкая составляющая токов и напряжений накопителей и якоря МПТ при торможении от 25 м/с

Промоделирован также процесс торможения от 25 до 0 м/с на дороге с движением вниз под уклон $\text{tg}\alpha = 0,05$ с начальными напряжениями АБ и СКБ соответствующими их минимальному разряду. Полученные временные диаграммы токов и напряжений показаны на рисунке 6. До момента времени 5,5 с происходит торможение с постоянными токами якоря и АБ также, как и во время разгона при работе МПТ во 2-ой зоне управления, после чего начинает уменьшаться напряжение якоря. В процессе заряда СКБ происходит значительное увеличение напряжения, что вызывает уменьшение её тока для поддержания неизменных фазных токов. Когда в момент времени 6,1 с СКБ достигает заданного максимально допустимого напряжения 270 В, то система управления уменьшает ток фаз от СКБ для предотвращения её перезаряда, соответственно, уменьшается суммарный ток якоря. С момента времени 8,7 с, когда электромобиль достигает малой скорости и ЭДС уже недостаточно для создания заданного тока из-за потерь на активном сопротивлении якорной цепи, начинается уменьшение тока якоря. Так как система управления удерживает ключи К2, К4, К6 и К8 в открытом состоянии, ток АБ при этом нулевой.

Выводы. Использование многофазного преобразователя уменьшает пульсации тока якоря, аккумуляторной и суперконденсаторной батарей, уменьшая потери энергии и нагрев, что увеличивает срок службы накопителей. Кроме того такой преобразователь позволяет распределять мощность двигателя между аккумуляторами и суперконденсаторами, уменьшая потери энергии в них при использовании одновременно обоих, а также обеспечивая торможение на продолжительных спусках с рекуперацией части энергии в аккумуляторы. Моделирование подтвердило стабильность работы рассмотренного электропривода без значительных низкочастотных (по отношению к частоте широтно-импульсной модуляции) колебаний токов фаз и якоря.

Список литературы

1. Britain to bring forward ban on new petrol and diesel cars. URL: <https://www.channelnewsasia.com/news/world/britain-bring-forward-new-petrol-diesel-cars-ban-2035-12390042>. (дата обращения 10.01.2020).
2. В Европе новых электромобилей зарегистрировано почти 150000 единиц в 2017 году. URL: <https://hevcars.com.ua/reviews/top-elektromobiley-i-evropeyskih-stran-po-rostu-prodazh-v-2017-godu/>. (дата обращения 10.01.2020).
3. Клепиков В.Б., Гончар А.С., Семиков А.В. и др. Из опыта создания электропривода электромобиля с суперконденсаторным накопителем энергии. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Сер.: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.* Харків: НТУ «ХПІ», 2015, №112 (1121). С. 195 – 198.
4. Семиков А.В. Компьютерное моделирование электромагнитных процессов в электроприводе электромобиля с суперконденсаторной батареей. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Сер.: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.* Харків: НТУ «ХПІ», 2015, №112 (1121). С. 93 – 95.

5. Rashid M.H. *Power Electronics Handbooks*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. 1522 p.
6. Клепиков В.Б., Семиков А.В. Энергоэффективность рекуперативных режимов электромобиля. *Технічна електродинаміка*. Київ: ІЕД НАНУ. 2017, №6. С. 36 – 42.
7. Motenergy Brush-Type DC Motors 3-20 HP. URL: <http://www.motenergy.com/brdcmo.html>. (дата обращения 10.01.2020).
8. Семиков А.В., Воинов В.В. К выбору параметров тягового электродвигателя электромобиля. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Сер.: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.* Харків: НТУ «ХПІ», 2019, №9 (1334). С. 88 – 93.
9. Ultracapacitor product line. URL: <http://yunasko.com/en/products>. (дата обращения 10.01.2020).

References (transliterated)

1. Britain to bring forward ban on new petrol and diesel cars. URL: <https://www.channelnewsasia.com/news/world/britain-bring-forward-new-petrol-diesel-cars-ban-2035-12390042>. (accessed 10.01.2020).
2. V Evrope novykh elektromobiley zaregistrirovano pochtu 150000 edinic v 2017 godu [Nearly 150,000 units registered in Europe for new electric vehicles in 2017]. URL: <https://hevcars.com.ua/reviews/top-elektromobiley-i-evropeyskih-stran-po-rostu-prodazh-v-2017-godu/>. (accessed 10.01.2020).
3. Klepikov V.B., Gonchar A.S., Semikov A.V. i dr. Iz opyta stvoriannya elektropivoda elektromobilya s superkondensatornym nakopitelem energii [From the experience of creating an electric drive with a supercapacitor energy storage]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser.: *Problemy avtomatyzovanoho elektropivoda. Teoriia i praktyka* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Problems of automated electrodrives. Theory and practice]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, №112 (1121). pp. 195 – 198.
4. Semikov A.V. Komp'yuternoe modelirovaniye elektromagnitnykh protsessov v elektropivode elektromobilya s superkondensatornoy bateriej [Computer simulation of electromagnetic processes in an electric vehicle electric drive with a supercapacitor battery]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser.: *Problemy avtomatyzovanoho elektropivoda. Teoriia i praktyka* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Problems of automated electrodrives. Theory and practice]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, №112 (1121). pp. 93 – 95.
5. Rashid M.H. *Power Electronics Handbooks*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. 1522 p.
6. Klepikov V.B., Semikov A.V. *Energoeffektivnost' rekupeativnykh rezhimov elektromobilya* [Energy efficiency of electric vehicle recuperative modes]. *Tekhnichna elektrodynamika*. [Technical Electrodynamics]. Kyiv: IED NANU. 2017, №6. pp. 36 – 42.
7. Motenergy Brush-Type DC Motors 3-20 HP. URL: <http://www.motenergy.com/brdcmo.html>. (accessed 10.01.2020).
8. Semikov A.V., Voinov V.V. K vyboru parametrov tyagovogo elektrodvigatelya elektromobilya [To select parameters of electric vehicle electric motor]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser.: *Problemy avtomatyzovanoho elektropivoda. Teoriia i praktyka* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Problems of automated electrodrives. Theory and practice]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2019, №9 (1334). pp. 88 – 93.
9. Ultracapacitor product line. URL: <http://yunasko.com/en/products>. (accessed 10.01.2020).

Поступила 25.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Семиков Алексей Владимирович (Семиков Олексій Володимировичі, Semikov Oleksij Volodymyrovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: a.v.semikov@gmail.com