

Разработка ёмкостно-индуктивной системы электроснабжения электромобиля

Е.М. Климов¹, М.А. Фиронов¹, Р.А. Малеев¹, С.М. Зуев^{2,3}

¹ *Московский политехнический университет, Москва, Россия;*

² *МИРЭА-Российский технологический университет, Москва, Россия;*

³ *Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“, Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время автомобильные научно-исследовательские организации по всему миру ведут активные разработки в области бесконтактного электроснабжения электромобилей. Основным преимуществом таких систем является возможность пополнения запасов энергии на борту транспортного средства в процессе его движения без использования скользящего контакта.

Цель работы — повышение энергоэффективности электромобиля путём применения ёмкостно-индуктивной системы электроснабжения.

Материалы и методы. При проведении исследований была использована математическая модель городского цикла движения согласно Правилам №83 ЕЭК ООН.

Результаты. Разработана структурная схема ёмкостно-индуктивной системы электроснабжения и определён алгоритм её работы в городском цикле. Проведён обзор и анализ современных научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по теме работы, а также различных систем бесконтактного электроснабжения электромобилей. В качестве объекта исследования выбрана резонансная система бесконтактного электроснабжения с одной первичной обмоткой как способ передачи энергии и батареи ионисторов как способ накопления.

Заключение. Предложенная система тягового электрооборудования и алгоритм её работы могут быть использованы автомобильными предприятиями и НИИ для конструирования городских пассажирских транспортных средств.

Ключевые слова: электромобиль; система тягового электрооборудования; ёмкостный накопитель энергии; бесконтактное электроснабжение.

Как цитировать:

Климов Е.М., Фиронов М.А., Малеев Р.А., Зуев С.М. Разработка ёмкостно-индуктивной системы электроснабжения электромобиля // Известия МГТУ «МАМИ». 2025. Т. 19, № 1. С. [x–y](#). DOI: 10.17816/2074-0530-629143 EDN: WULWVI

Development of a Capacitive-Inductive Power Supply System for an Electric Vehicle

Egor M. Klimov¹, Anatoly M. Fironov¹, Ruslan A. Maleev¹, Sergey M. Zuev^{2,3}

¹ *Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia;*

² *MIREA-Russian Technological University, Moscow, Russia;*

³ *Central Research Automobile and Automotive Engines Institute "NAMI", Moscow, Russia*

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, automotive RnD centers around the world are actively developing in the field of contactless power supply for electric vehicles. The main advantage of such systems is the ability to replenish on-board energy reserves of a vehicle during its motion without the use of a sliding contact.

AIM: An increasing the energy efficiency of an electric vehicle by using a capacitive-inductive power supply system.

METHODS: When conducting the study, a mathematical model of the urban driving cycle in accordance with UNECE Regulation No. 83 was used.

RESULTS: A block diagram of the capacitive-inductive power supply system has been developed and an algorithm for its operation in the urban cycle has been determined. A review and analysis of current research and development achievements on the topic of the study, as well as various contactless power supply systems for electric vehicles, has been carried out. A resonant contactless power supply system with a single primary winding as a method of energy transfer and an ionistor battery as a storage method were chosen as the study object.

CONCLUSION: The proposed system of traction electrical system and the algorithm of its operation can be used by automotive enterprises and research institutes for the design of urban passenger vehicles.

Keywords: electric vehicle; traction electrical system; capacitive energy storage; contactless power supply.

TO CITE THIS ARTICLE:

Klimov EM, Fironov AM, Maleev RA, Zuev SM. Development of a Capacitive-Inductive Power Supply System for an Electric Vehicle. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2025;19(1):x-y. DOI: 10.17816/2074-0530-629143 EDN: WULWVI

Введение

Анализ накопителей энергии современного электрического транспорта позволил выявить основные недостатки аккумуляторных батарей. К ним относятся низкие удельные параметры по энергии и мощности, а также ухудшение характеристик при увеличении тока и снижении температуры окружающей среды [12]. Это приводит к тому, что запас хода у электромобиля в несколько раз меньше, чем у аналогичной колёсной машины с ДВС. Кроме того, время заряда тяговой аккумуляторной батареи составляет несколько часов, в то время как заправка топливного бака легкового автомобиля происходит примерно за минуту. В связи с этим проблема разработки альтернативной системы тягового электрооборудования является весьма актуальной.

Передача энергии на борт электромобиля бесконтактным способом может оказаться перспективным решением. В табл. 1 сведены данные по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам в области бесконтактного электроснабжения электромобилей [2–11].

Табл. 1. Некоторые разработки в области бесконтактного электроснабжения электромобилей
Table 1. Examples of the developments in the field of contactless power supply of electric vehicles

Название НИОКР	Страна	Год	Тип транспортного средства	Мощность, кВт	КПД, %	Частота, кГц
Bombardier PRIMOVE	Канада	2018	трамвай, электробус	200	85	20
KAIST OLEV 4G	Республика Корея	2015	электробус	100	80	20
Qualcomm FABRIC	США	2017	электромобиль	20	85	85
ORNL	США	2022	тягач, электробус, электромобиль	200	85	85
Electreon	Израиль	2023	тягач, электробус, электромобиль	70	85	85
Toyota	Япония	2020	электробус, электромобиль	10	85	85

Резонансная система бесконтактного электроснабжения с одной первичной обмоткой

На рис. 1 представлена электрическая схема системы бесконтактного электроснабжения электромобиля с одной первичной обмоткой [1].

Для компенсации реактивной мощности в схеме служат конденсаторы C_p и C_s , а также индуктивности L_s . Первичная обмотка L_1 размещена под поверхностью дорожного полотна и имеет трансформаторную связь со вторичной обмоткой L_2 , установленной на борту электромобиля. Выходное напряжение преобразуется однофазным двухполупериодным выпрямителем для заряда тяговой аккумуляторной батареи.

Наибольшая эффективность системы достигается при передаче энергии на резонансной частоте:

$$\omega_D = \frac{1}{\sqrt{L_{1s} C_{1p}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{2s} C_{2p}}} . \quad (1)$$

Индуктивности компенсирующих катушек определяются исходя из индуктивностей первичной и вторичной обмоток:

$$L_{1s} = \alpha_1 L_1; \quad L_{2s} = \alpha_2 L_2, \quad (2)$$

где α — расчётный коэффициент. Выбирается произвольно в диапазоне $0 < \alpha \leq 1$.

Ёмкости серийных конденсаторов определяются по выражению (3):

$$C_{1s} = \frac{1}{\omega_d^2 L_1 (1 - \alpha_1)}, \quad C_{2s} = \frac{1}{\omega_d^2 L_2 (1 - \alpha_2)} \quad . \quad (3)$$

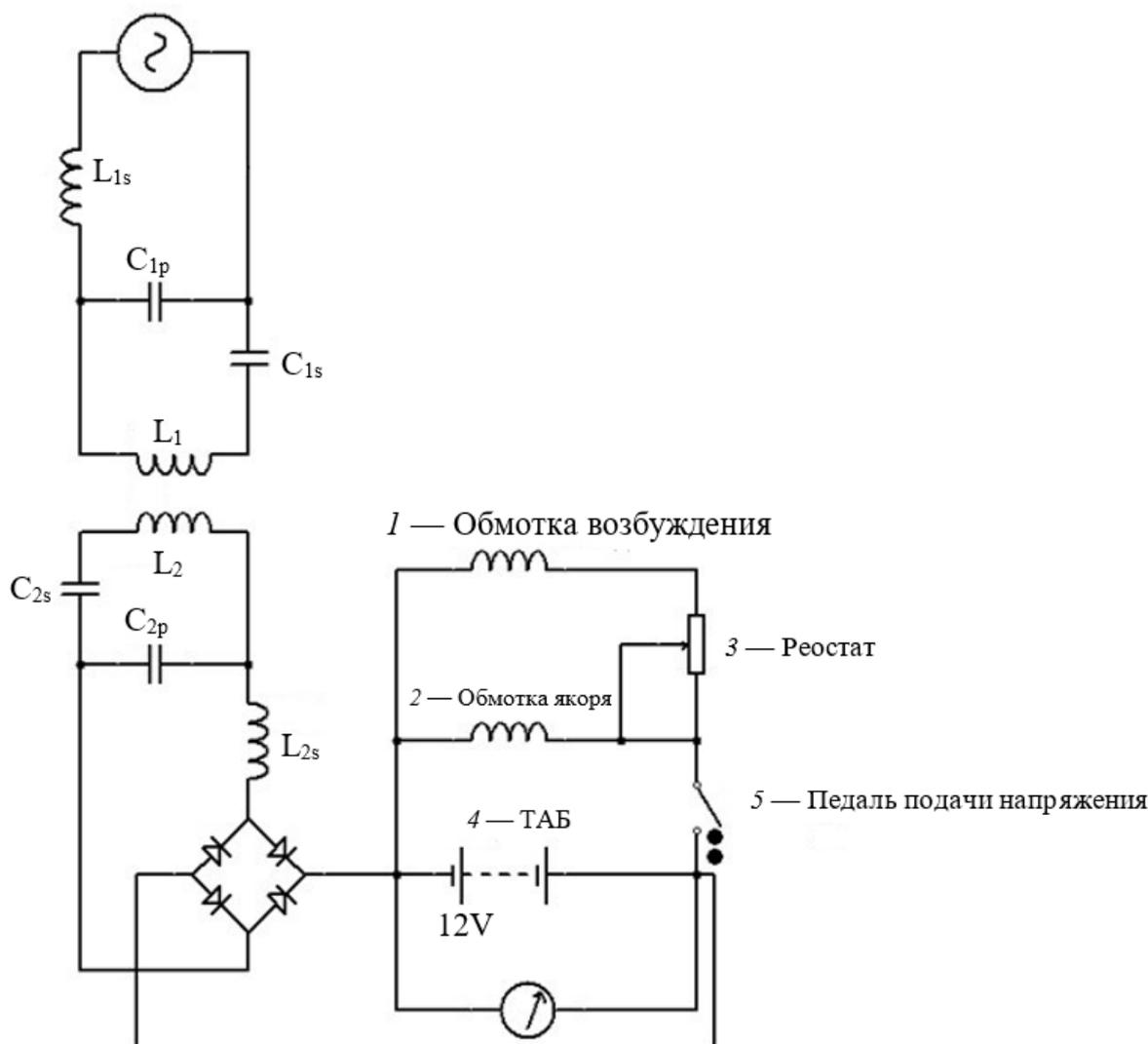


Рис. 1. Электрическая схема системы бесконтактного электроснабжения электромобиля с одной первичной обмоткой.

Fig. 1. The electrical circuit of the electric vehicle contactless power supply system with a single primary winding.: 1: exciting coil; 2: armature coil; 3: rheostat; 4: traction accumulator battery; 5: acceleration pedal.

Характеристика выходного напряжения инвертора описывается уравнением (4):

$$U_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{1,DC} \sin\left(\frac{\pi D}{2}\right) \quad , \quad (4)$$

где D — скважность инвертора.

Действующее значение входного напряжения выпрямителя определяется по формуле (5):

$$U_2 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_{2,DC} \approx 0,9 U_{2,DC} \quad . \quad (5)$$

Первичный и вторичный токи:

$$I_{L1} = \frac{U_1}{j\omega_d \alpha_1 L_1}, I_{L2} = \frac{U_2}{j\omega_d \alpha_2 L_2} . \quad (6)$$

Выходной ток инвертора:

$$I_1 = \frac{MU_1}{\omega_d \alpha_1 L_1 \alpha_2 L_2} . \quad (7)$$

Входной ток выпрямителя:

$$I_2 = \frac{MU_2}{\omega_d \alpha_1 L_1 \alpha_2 L_2} . \quad (8)$$

Таким образом, передаваемая мощность может быть вычислена согласно:

$$P_2 = \frac{MU_1 U_2}{\omega_d \alpha_1 L_1 \alpha_2 L_2} . \quad (9)$$

Основными преимуществами систем с одной первичной обмоткой являются удобство управления и высокая удельная первичная мощность. К числу недостатков можно отнести низкую удельную вторичную мощность.

На рис. 2 представлена электрическая схема резонансной системы электроснабжения электромобиля с несколькими первичными обмотками [1].

Резонансная система электроснабжения с несколькими первичными обмотками

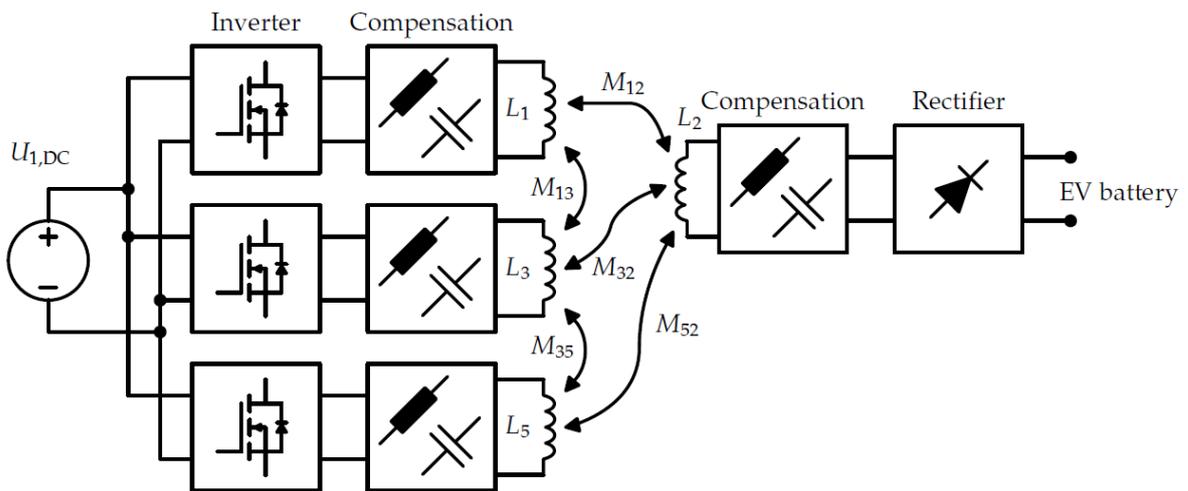


Рис. 2. Электрическая схема резонансной системы электроснабжения электромобиля с несколькими первичными обмотками: *Inverter* — инвертор; *Compensation* — компенсация; *Rectifier* — выпрямитель; *EV Battery* — батарея электромобиля.

Fig. 1. The electrical circuit of the electric vehicle contactless power supply system with a single primary winding.

В данной системе инверторы и компенсирующие устройства соединены параллельно, что позволяет реализовать систему с несколькими первичными обмотками. Напряжение к каждой из них подводится индивидуально. В остальном устройстве и принцип действия аналогичны системе, рассмотренной выше.

Выходная мощность определяется согласно выражению (10):

$$P_2 = \left| \sum_{n=1;3;5...} \frac{M_{n2} U_n U_2}{\omega_d \alpha_1 L_1 \alpha_2 L_2} \right| . \quad (10)$$

Анализируя (10), можно сделать вывод, что передаваемая мощность определяется как модуль суммы мощностей первичных обмоток. Таким образом, включение какой-либо первичной обмотки не всегда приводит к повышению мощности во вторичной, т. к. вектор магнитной индукции может быть направлен против основного потока. В этом

случае инвертор, управляющий отрицательно связанной обмоткой, должен быть отключён.

На рис. 3 представлены кривые изменения КПД системы во времени [1]. Как видно из характеристики, эффективность устройства весьма высока и составляет порядка 92%.

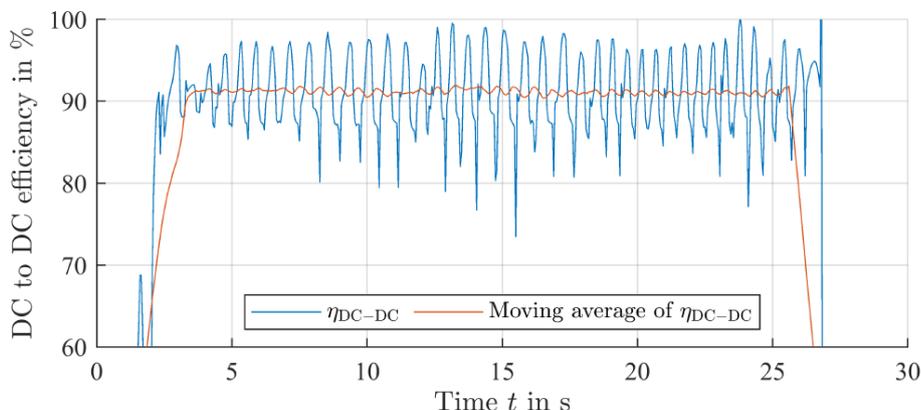


Рис. 3. Кривые изменения КПД системы во времени: DC to DC efficiency in % — эффективность передачи энергии от инвертора к аккумуляторной батарее в процентах; time t in s — время в секундах; η_{DC-DC} — КПД; moving average of η_{DC-DC} — среднее значение КПД.

Fig. 3. Time-domain curves of the system efficiency coefficient variation: DC to DC efficiency in %: percentage of efficiency of energy transfer from an inverter to a battery; time t in s: time, seconds; η_{DC-DC} : efficiency coefficient; moving average of η_{DC-DC} : average efficiency coefficient.

Основным преимуществом системы является высокая эффективность. К числу недостатков относятся сложная система управления и низкая удельная первичная мощность.

Электростатическая система электроснабжения

Рассмотренные выше способы передачи электроэнергии на борт транспортного средства предполагают организацию воздушного трансформатора. Таким образом, в основе их работы лежит закон электромагнитной индукции Фарадея:

$$\varepsilon = w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (11)$$

где w — число витков обмотки; Φ — магнитный поток, Вб.

В данном разделе приведён способ передачи электроэнергии через воздушный конденсатор.

Устройство системы электроснабжения транспортного средства методом электростатической индукции [13] представлено на рис. 4.

Источник электроэнергии питает трансформатор, соединённый с сетевыми кабелями. Между ними и нейтральной пластиной конденсатора возникает электростатическое поле. Для согласования входного напряжения и напряжения заряда бортового накопителя служит преобразовательно-коммутационная аппаратура.

Мощность, передаваемая через воздушный конденсатор на транспортное средство, определяется по формуле (12):

$$P = 2K_0 \pi f_0 C V^2, \quad (12)$$

где f_0 — резонансная частота, Гц; C — ёмкость воздушного конденсатора, Ф; V — напряжение в линии, В; K_0 — коэффициент связи.

Преимущества:

- высокая эффективность;
- высокие свойства управляемости электромобиля;

- возможность электроснабжения других транспортных средств, в том числе с двигателями из диэлектрического материала.

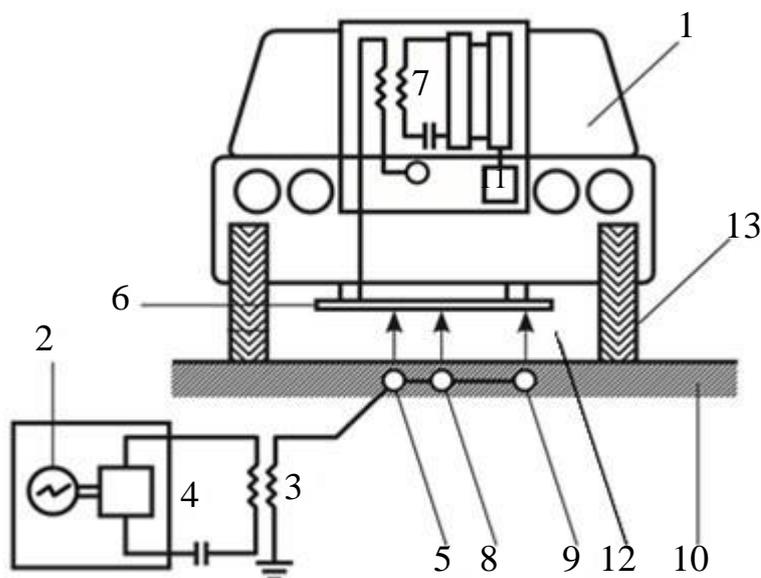


Рис. 4. Устройство системы электроснабжения транспортного средства методом электростатической индукции: 1 — электромобиль; 2 — источник электроэнергии; 3 — вторичная обмотка трансформатора; 4 — первичная цепь трансформатора; 5, 8, 9 — сетевые кабели; 6 — нейтральная пластина; 7 — преобразовательно-коммутационная аппаратура; 10 — опорная поверхность; 11 — бортовой накопитель энергии; 12 — воздушный промежуток; 13 — колесо.

Fig. 4. Scheme of the electric vehicle power supply by electrostatic induction: 1: an electric vehicle; 2: a power source; 3: a secondary transducer winding; 4: a primary transducer circuit; 5, 8, 9: power cables; 6: a neutral plate; 7: transducing and commutating equipment; 10: ground surface; 11: an on-board energy accumulator; 12: an air gap; 13: a wheel.

Недостатки:

- большие габариты оборудования;
- низкая удельная энергия;
- высокие требования к источнику электроэнергии.

Разработка структурной схемы тягового электрооборудования электромобиля с ёмкостно-индуктивной системой электроснабжения

Проведённый обзор и анализ различных способов бесконтактной передачи энергии, а также НИОКР по теме исследования показал широкие перспективы использования индуктивного способа передачи с одной первичной обмоткой в связи со следующими преимуществами: малые габариты оборудования, высокая удельная энергия, возможность использования источников энергии с низкими параметрами, удобство в эксплуатации, а также высокая эффективность.

Использование электрической тяги на транспорте обладает рядом преимуществ [18–19]. Однако удельная энергия химических накопителей не превышает 576 Дж/г, что примерно в 100 раз ниже, чем у бензина или дизельного топлива [20]. В связи с этим электромобили оборудованы аккумуляторными батареями, масса которых достигает 30% полной массы транспортного средства при равных значениях запаса хода с аналогичным автомобилем [12]. С другой стороны, электромобили в настоящее время эксплуатируются преимущественно в городах, где наблюдается циклический режим движения с постоянным чередованием фаз разгона, равномерного движения, торможения и остановки.

Циклом для испытаний транспортных средств на топливную экономичность и токсичность отработавших газов принят цикл, указанный в правилах №83 ЕЭК ООН [14]. Согласно правилам, цикл состоит из двух частей — городской и магистральной. Так как исследования и расчёты будут проводиться для городского электрического транспортного средства, то целесообразно использовать только первую часть цикла (рис. 5). Общая продолжительность городского цикла составляет 195 с.

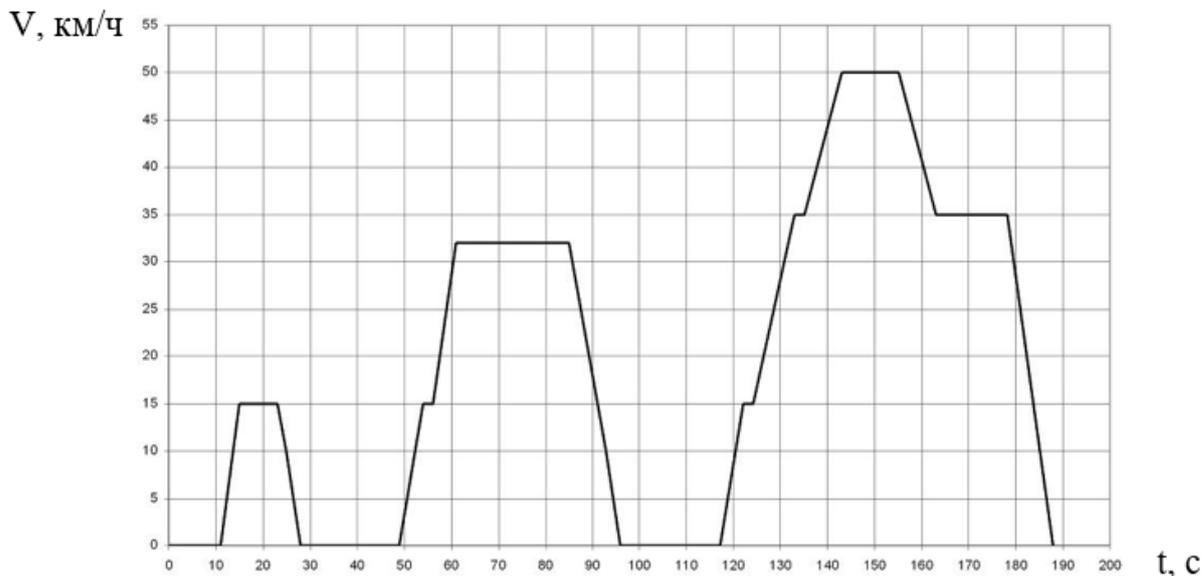


Рис. 5. Расчётный городской цикл движения согласно Правилам ЕЭК ООН №83.

Fig. 5. The urban driving cycle according to UNECE Regulation No. 83.

Проведём анализ городского цикла. Расстояние между остановками невелико (порядка 300...500 м), т. к. в городе имеется большое количество помех движению, таких как светофоры, пешеходные переходы, искусственные неровности и т. п. В связи с этим, электромобилю требуется сравнительно небольшое количество энергии для преодоления расстояния от остановки до остановки. Однако частые ускорения предполагают высокие затраты по мощности. На преодоление инерции транспортного средства требуется до 80% мощности накопителя [20]. Следовательно, накопитель энергии должен обладать высокой удельной мощностью, чтобы иметь приемлемые массогабаритные параметры.

Как известно, ёмкостные накопители энергии (ЕНЭ) обладают высокой удельной мощностью, но относительно низкой удельной энергией, а химические накопители энергии имеют ровно противоположные свойства [12]. Кроме того, конденсаторы с двойным электрическим слоем отличаются простотой конструкции, удобством в использовании, безопасностью, экологичностью, а самое главное, способностью быстро накапливать и отдавать запасённую энергию. ЕНЭ работоспособны при низких отрицательных температурах и способны выдерживать глубокие разряды, перезаряды и короткие замыкания. Срок службы, в частности, молекулярных накопителей (МНЭ) обеспечивает более 500 000 циклов заряда-разряда, что на три порядка больше, чем у аккумуляторов [15–16].

На рис. 6 представлена система тягового электрооборудования электромобиля с ёмкостно-индуктивным электроснабжением, созданная в лаборатории «Грузовые автомобили» кафедры «Наземные транспортные средства» Московского Политеха.

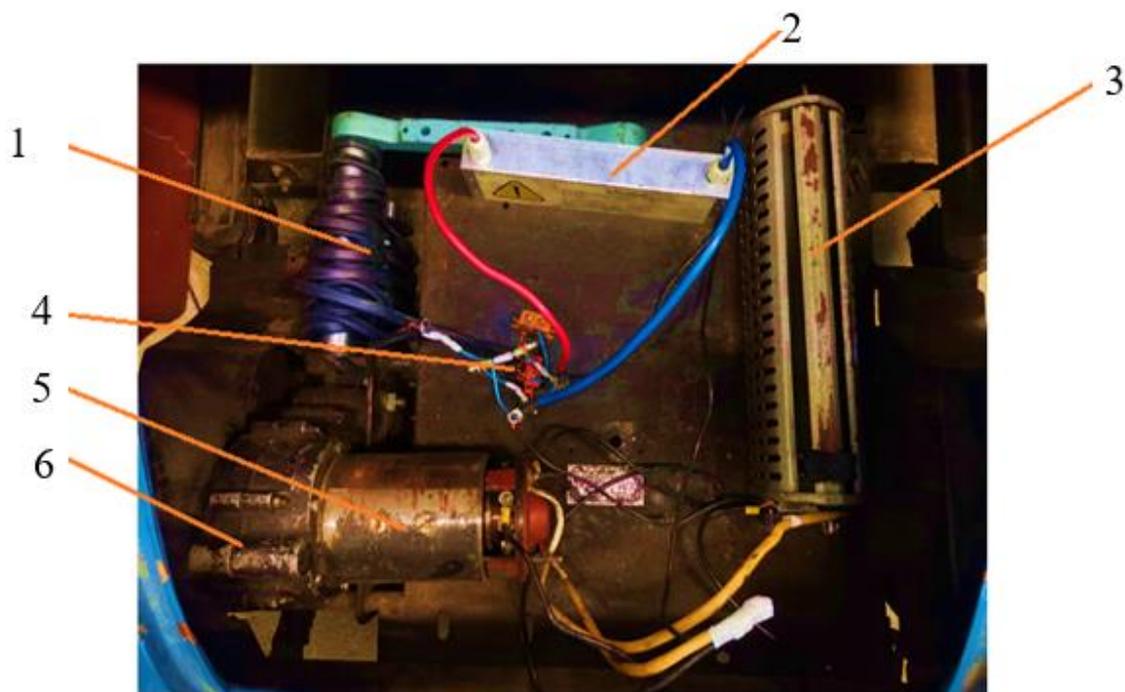


Рис. 6. Система тягового электрооборудования ходового макета: 1 — вторичная обмотка; 2 — конденсаторная батарея; 3 — реостат; 4 — выпрямитель; 5 — тяговый электродвигатель; 6 — главная передача.

Fig. 6. The traction electric system of a prototype: 1: a secondary winding; 2: a condenser battery; 3: a rheostat; 4: a rectifier; 5: a traction electric motor; 6: an axle drive.

Под опорной поверхностью находится первичная обмотка воздушного трансформатора, к которой приложено переменное напряжение сети. В результате протекания первичного тока возникает переменное магнитное поле, пронизывающее витки вторичной обмотки, которая может быть размещена как внутри шин, так и в нижней части электромотоцикла. Во вторичной обмотке возникает ЭДС самоиндукции, которая приложена ко входу выпрямителя. В случае размещения вторичной обмотки внутри шин для подведения ЭДС используются щётки и контактные кольца. Для преобразования переменного тока в постоянный и регулирования напряжения заряда конденсаторной батареи предусмотрен однофазный двухполупериодный выпрямитель. При разгоне или равномерном движении электромотоцикла напряжение конденсаторной батареи приложено к обмотке якоря и обмотке возбуждения тягового электродвигателя. Крутящий момент двигателя постоянного тока передаётся к ведущему колесу с помощью главной передачи. При рекуперативном торможении крутящий момент от ведущего колеса с помощью указанных выше механизмов подводится к машине постоянного тока, которая переводится в генераторный режим.

На рис. 7 представлен алгоритм работы системы тягового электрооборудования (СТЭО) в городском цикле движения.

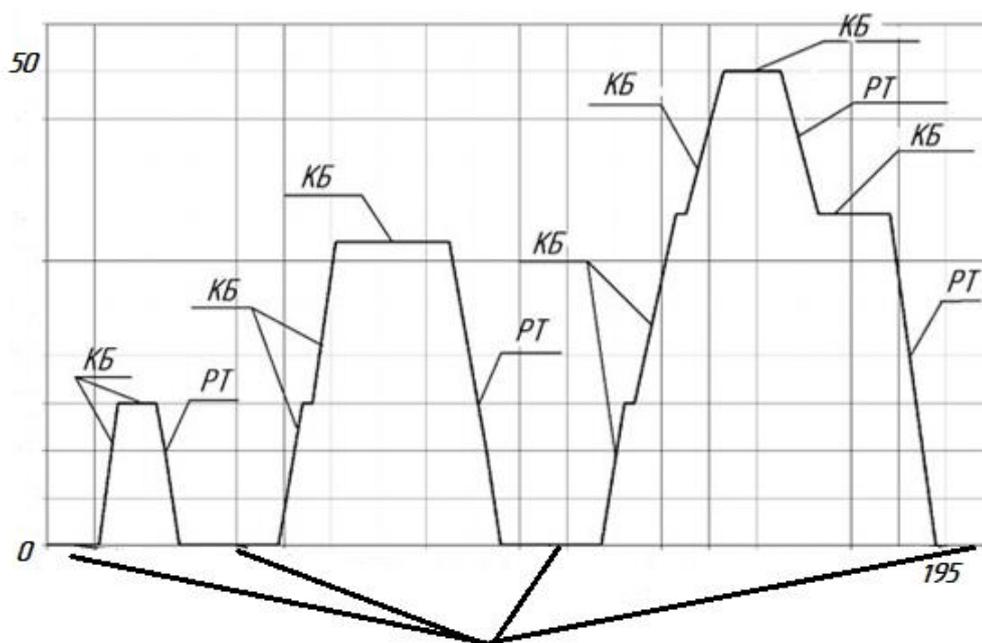


Рис. 7. Алгоритм работы СТЭО в городском цикле движения: КБ — использование энергии конденсаторной батареи для движения; РТ — рекуперативное торможение.

Fig. 7. The algorithm of operation of traction electric system in the urban driving cycle: КБ: use of the energy from a condenser battery for motion; РТ: recuperative braking.

Заключение

Таким образом, в результате исследования разработана схема системы тягового электрооборудования электромобиля с ёмкостно-индуктивным электроснабжением, а также определён алгоритм её работы в городском цикле движения согласно Правилам №83 ЕЭК ООН.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.М. Климов — написание текста рукописи; А.М. Фионов — экспертная оценка, поиск публикаций по теме статьи; Р.А. Малеев — утверждение финальной версии; С.М. Зуев — создание изображений. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.M. Klimov: writing the text of the manuscript; A.M. Fironov: expert opinion, search for publications on the topic of the manuscript; R.A. Maleev: approval of the final

version; S.M. Zuev: creation of images. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: N/A.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Noeren J, Parspour N, Elbracht L. An Easily Scalable Dynamic Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles. *Energies*. 2023;(16):3936. doi: 10.3390/en16093936 EDN: HSOFOM
2. Suul JA, Guidi G. Overview and Electro-Technical Evaluation of the State-of-the-Art for Conductive and Inductive Power Transfer Technologies. SINTEF Energy Research Report. 2018. Available online: <https://www.sintef.no/globalassets/project/elingo/18-0733-rapport-3-technology-for-dynamic-on-road-6-til-nett.pdf> (accessed 02.05.2023).
3. Bombardier's PRIMOVE E-buses Pass 500,000 km Milestone. Available online: <https://bombardier.com/en/media/news/bombardiars-primove-e-buses-pass-500000-km-milestone> (accessed 02.05.2023).
4. Thai VX, Choi SY, Choi BH, et al. Coreless power supply rails compatible with both stationary and dynamic charging of electric vehicles. In *Proceedings of the 2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC)*. Taipei. Taiwan. 2015:1–5. [CrossRef]
5. Choi SY, Rim CT. Recent progress in developments of on-line electric vehicles. In *Proceedings of the 2015 6th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*. Hong Kong, China. 2015:1–8. [CrossRef]
6. From Wireless to Dynamic Electric Vehicle Charging: The Evolution of Qualcomm Halo. Available online: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo> (accessed on 2 May 02.05.2023).
7. Laporte S, Coquery G, Deniau V, et al. Dynamic Wireless Power Transfer Charging Infrastructure for Future EVs. Experimental Track to Real Circulated Roads Demonstrations. *World Electr. Veh. J.* 2019;(10):84. [CrossRef]
8. Galigekere V, Ozpineci B. High Power and Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicles (EVs). In *Proceedings of the 2021 U.S DOE Vehicle Technologies Office Annual Merit Review*. 2021.
9. Xue L, Galigekere V, Su GJ, Zeng, et al. Design and Analysis of a 200 kW Dynamic Wireless Charging System for Electric Vehicles. In *Proceedings of the 2022 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. Houston. USA. 2022:1096–1103. [CrossRef]
10. Wireless Charging Electric Road Projects | Electreon. Available online: <https://electreon.com/projects> (accessed on 2 May 02.05.2023).
11. Maemura M, Wendt A. Dynamic Power Transfer as a Feature—Employing Stationary WPT Devices for Dynamic Operation. In *Proceedings of the 2020 IEEE PELSWorkshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*. Seou. Republic of Korea. 2020:50–55. [CrossRef]
12. Klimov EM, Fironov AM, Maleev RA, et al. Development of an algorithm for the operation of an electric vehicle electric drive in the urban cycle. *Izvestiya MGTU "MAMI"*. 2023;17(2):137–145. doi: 10.17816/2074-0530-321355 (In Russ.) EDN: ZMGPZP
13. Strebkov DS. Resonance methods of power supply of contactless high-frequency electric transport. *Energy Bulletin*. 2018;(24). (In Russ.) EDN: VAIBWM

14. Polyakov NA. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Electric starter system for starting vehicles using a combined source of electrical energy. Moscow. 2005:22. (In Russ.) EDN: NNMYLV
15. Lavrikov AA, Maleev RA, Zuev SM, et al. Mathematical modeling of an adapter for equalizing battery voltages. *Bulletin of Moscow State Technical University "MAMI"*. 2019;41(3):57–66. doi: 10.31992/2074-0530-2019-41-3-57-65 (In Russ.) EDN: JJQDIV
16. Zuev SM. Energy efficiency of electrical equipment systems of autonomous objects. Moscow. 2022:170. ISBN 978-5-16-017104-3 doi: 10.12737/1740252 (In Russ.) EDN: SDSSKE
17. Zuev SM, Varlamov D O, Lavrikov AA, et al. Electrical equipment and electronics of cars. A brief explanatory Russian-English terminological dictionary. Moscow. 2021:200. doi: 10.12737/1242228 (In Russ.) EDN: CKQFIL
18. Maleev RA, Zuev SM, Lavrikov AA, Grebenchikov NP. Study of operating modes of capacitive energy storage devices in automobile engine starting systems. *Bulletin of Moscow State Technical University MAMI*. 2019;39(1):29–35. doi: 10.31992/2074-0530-2019-39-1-29-35 (In Russ.) EDN: YZZSKL

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

*** Климов Егор Михайлович,**

преподаватель кафедры
«Электрооборудование и промышленная
электроника»;
адрес: Россия, 107023, Москва, ул. Большая
Семеновская, д. 38;
ORCID: 0009-0004-9739-0267;
eLibrary SPIN: 2759-7425;
e-mail: klimov.mami@yandex.ru

Соавторы:

Фионов Анатолий Михайлович,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Наземные транспортные
средства»;
ORCID: 0000-0003-2683-9958;
eLibrary SPIN: 8824-5702;
e-mail: a.m.fironov@mospolytech.ru

Малеев Руслан Алексеевич,

канд. техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Электрооборудование и
промышленная электроника»;
ORCID: 0000-0003-3430-6406;
eLibrary SPIN: 7801-3294;
e-mail: 19rusmal@gmail.com

Зуев Сергей Михайлович,

канд. физ.-мат. наук, доцент,
начальник управления подготовки кадров
высшей квалификации и ДПО; доцент
кафедры Оптико-электронных приборов и
систем;
ORCID: 0000-0001-7033-1882;
eLibrary SPIN: 6602-6618;
e-mail: sergei_zuev@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

*** Egor M. Klimov,**

Lecturer at the Electrical Equipment and
Industrial Electronics Department;
address: 38 Bolshaya Semyonovskaya st,
Moscow, Russia, 107023;
ORCID: 0009-0004-9739-0267;
eLibrary SPIN: 2759-7425;
e-mail: klimov.mami@yandex.ru

Co-Authors:

Anatoly M. Fironov,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor,
Assistant Professor of the Land Vehicles
Department;
ORCID: 0000-0003-2683-9958;
eLibrary SPIN: 8824-5702;
e-mail: a.m.fironov@mospolytech.ru

Ruslan A. Maleev,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor,
Professor of the Electrical Equipment and
Industrial Electronics Department;
ORCID: 0000-0003-3430-6406;
eLibrary SPIN: 7801-3294;
e-mail: 19rusmal@gmail.com

Sergey M. Zuev,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Assistant
Professor,
Head of the Department for Training Highly
Qualified Personnel and Continuing Professional
Education; Assistant Professor of the Optical-
Electronic Devices and Systems Department;
ORCID: 0000-0001-7033-1882;
eLibrary SPIN: 6602-6618;
e-mail: sergei_zuev@mail.ru