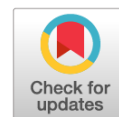


Оригинальное исследование

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-629143>

EDN: WULWVI



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. Проведены 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 батарея 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. 401–409. DOI: 10.17816/2074-0530-629143 EDN: WULWVI

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-629143>

EDN: WULWVI

Developing a Hybrid Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles

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: Today, automotive research organizations worldwide are actively developing wireless power transfer systems for electric vehicles. The key advantage of such systems is their ability to resupply power on board the moving vehicle without using a contact slider.

AIM: This study aims to increase the energy efficiency of electric vehicles by using a hybrid wireless power transfer system.

MATERIALS AND METHODS: The study used a mathematical model of urban driving cycle as provided by UNECE Regulation No. 83.

RESULTS: We developed a structural diagram of a hybrid wireless power transfer system and determined its operational algorithm for the urban driving cycle. The author reviewed and analyzed the relative contemporary research and development and various wireless power transfer systems for electric vehicles. The target of this study is a magnetic coupling resonant wireless power transfer system with one primary coil for power transfer and a battery of supercapacitors for accumulation.

CONCLUSION: Automotive companies and research institutes may use the proposed traction voltage system and its operational algorithm to design urban passenger vehicles.

Keywords: electric vehicle; traction voltage system; capacitive storage; wireless power transfer system.

To cite this article:

Klimov EM, Fironov AM, Maleev RA, Zuev SM. Developing a Hybrid Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2025;19(1):401–409. DOI: 10.17816/2074-0530-629143 EDN: WULWVI

Submitted: 13.06.2024

Accepted: 26.07.2025

Published online: 26.07.2025

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 [1]. Это приводит к тому, что запас хода у электромобиля в несколько раз меньше, чем у аналогичной колёсной машины с ДВС (двигателем внутреннего сгорания). 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].

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. Напряжение к первичной обмотке приложено от источника электроэнергии U_1 . Выходное напряжение преобразуется однофазным двухполупериодным выпрямителем для заряда тяговой аккумуляторной батареи.

Наибольшая эффективность системы достигается при передаче энергии на резонансной частоте:

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

(1)

Индуктивности компенсирующих катушек определяются исходя из индуктивностей первичной и вторичной обмоток [12]:

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

(2)

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

Ёмкости серийных конденсаторов:

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

(3)

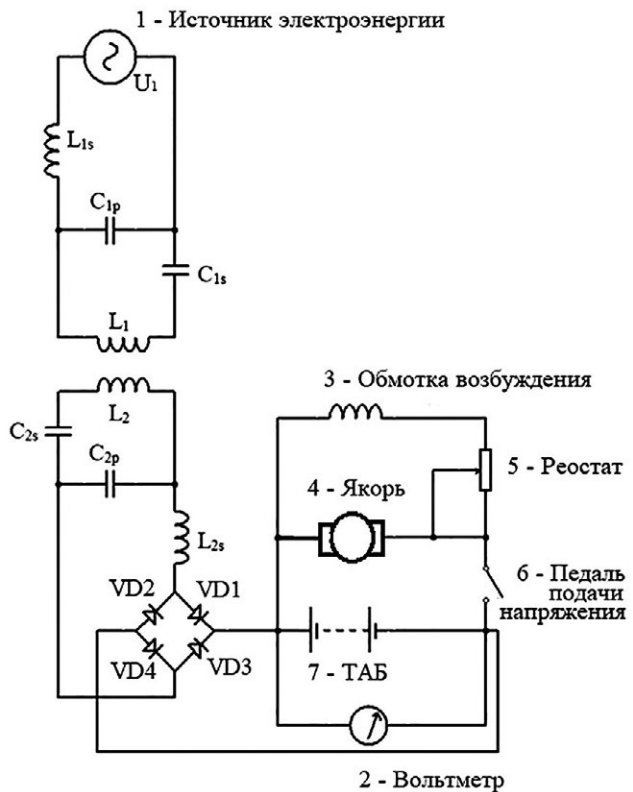


Рис. 1. Электрическая схема системы бесконтактного электроснабжения электромобиля с одной первичной обмоткой.

Fig. 1. Circuit diagram of an electric vehicle's wireless power transfer system with one primary coil: 1: source of electricity; 2: voltmeter; 3: exciting coil; 4: armature coil; 5: rheostat; 6: acceleration pedal; 7: traction accumulator battery.

Табл. 1. Некоторые разработки в области бесконтактного электроснабжения электромобилей

Table 1. Some developments of wireless power transfer systems for 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

Характеристика выходного напряжения инвертора:

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

где D — коэффициент заполнения инвертора.

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

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

Первичный и вторичный токи:

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

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 выражению:

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

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

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 устройство и принцип действия аналогичны системе, рассмотренной выше.

Выходная мощность:

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

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 [12]. Как видно из характеристики, эффективность устройства весьма высока и составляет порядка 92%.

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

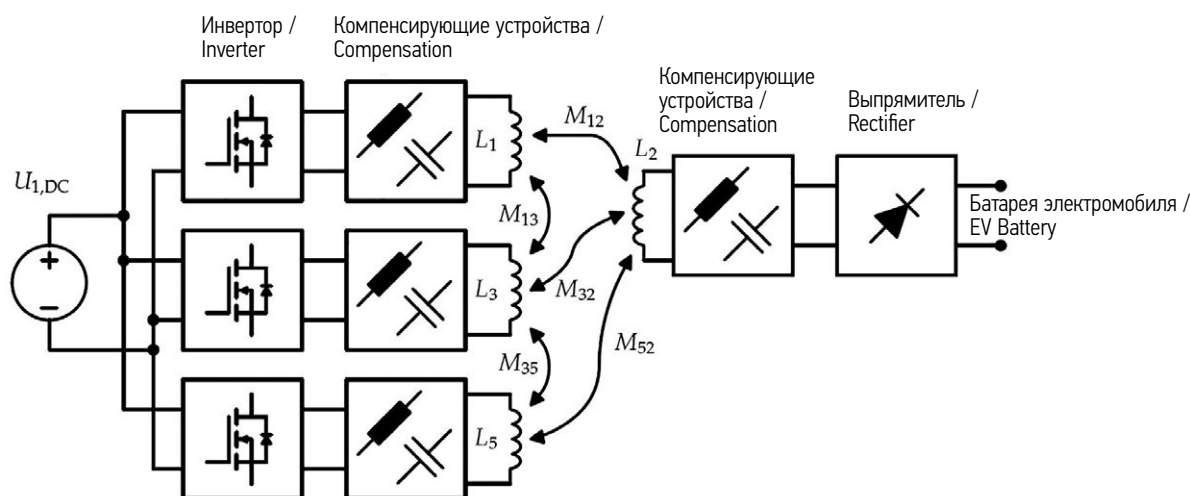


Рис. 2. Электрическая схема резонансной системы электроснабжения электромобиля с несколькими первичными обмотками.

Fig. 2. Circuit diagram of an electric vehicle's magnetic coupling resonant power transfer system with multiple coils.

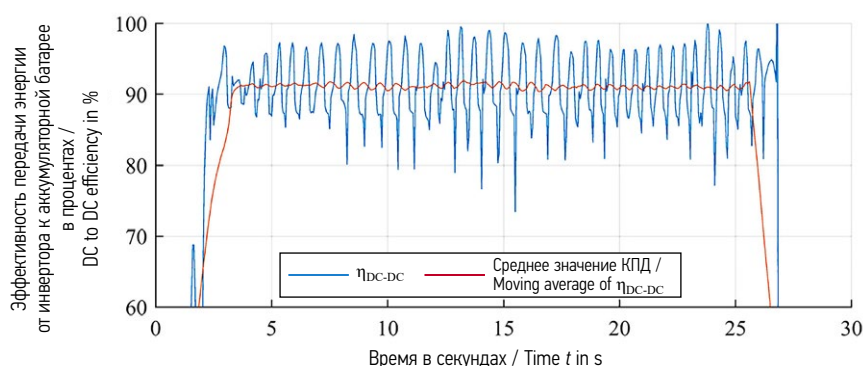


Рис. 3. Кривые изменения КПД системы во времени.

Fig. 3. Temporal variation curves of system efficiency: DC to DC efficiency (%) is the energy transfer efficiency from inverter to battery in percent; time t , (s) is the time in seconds; η_{DC-DC} is the efficiency; moving average of η_{DC-DC} is the average efficiency.

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:

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

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.

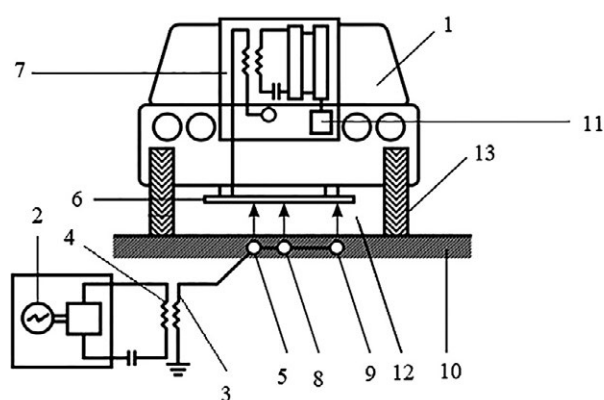


Рис. 4. Устройство системы электроснабжения транспортного средства методом электростатической индукции: 1 — электромобиль; 2 — источник электроэнергии; 3 — вторичная обмотка трансформатора; 4 — первичная цепь трансформатора; 5, 8, 9 — сетевые кабели; 6 — нейтральная пластина; 7 — преобразовательно-коммутационная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

Fig. 4. Electric coupling power transfer system of an electric vehicle: 1: aelectric vehicle; 2: power supply; 3: secondary coil of transformer; 4: primary coil of transformer; 5, 8, 9: power supply cables; 6: neutral plate; 7: switching converter; 10: bearing surface; 11: on-board energy storage; 12: air gap; 13: 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 [14]. Однако удельная энергия тяговых аккумуляторных батарей 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 [1]. 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.

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 [1]. 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 [1]. 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 [15–18].

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

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

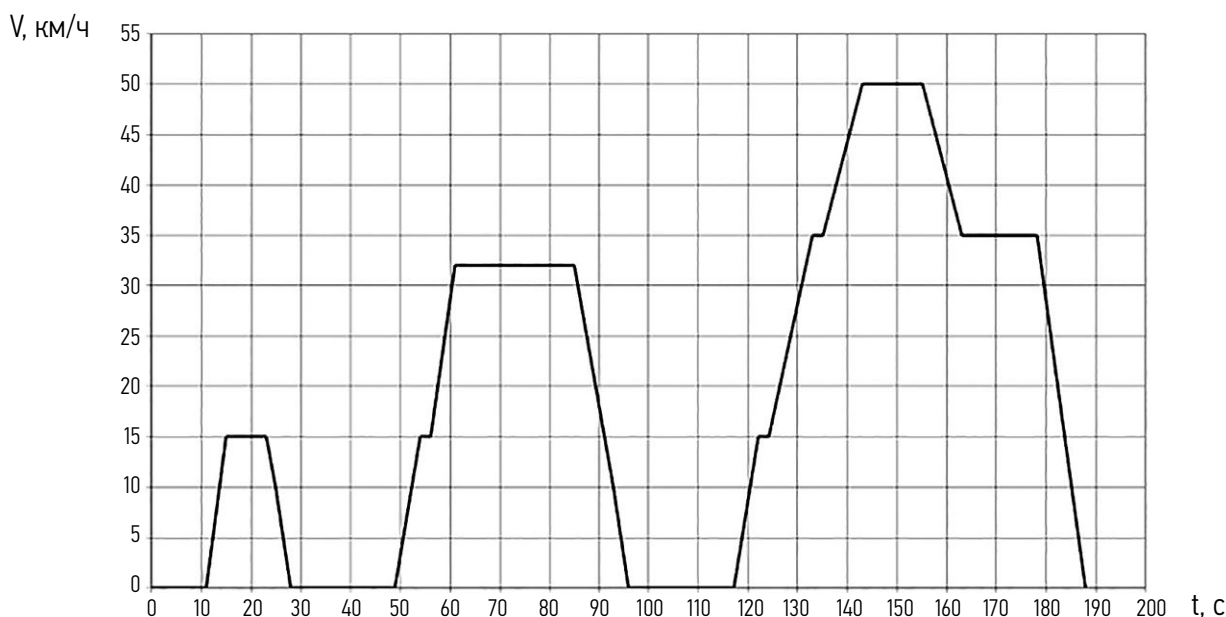


Рис. 5. Расчётный городской цикл движения согласно Правилам ЕЭК ООН № 83.

Fig. 5. Estimated urban driving cycle as provided by UNECE Regulation No. 83.

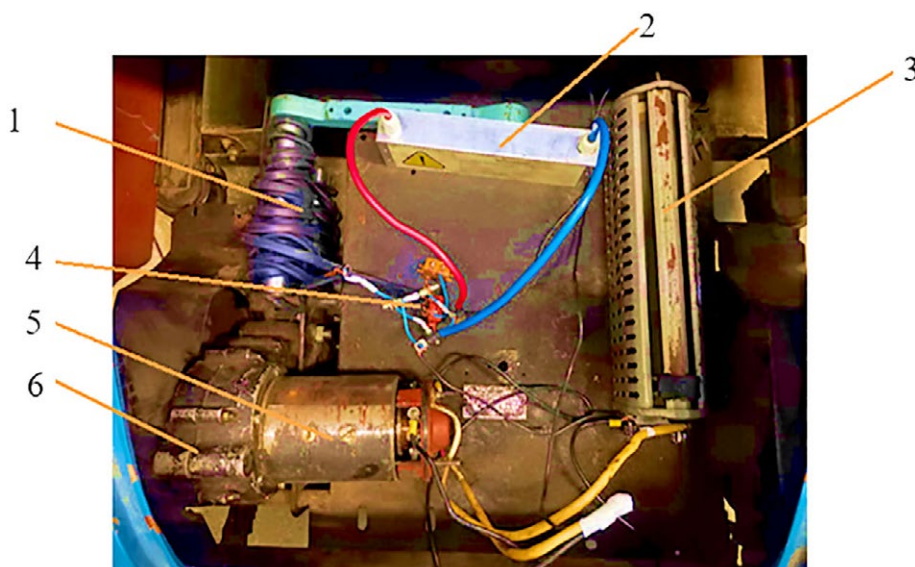


Рис. 6. Система тягового электрооборудования ходового макета: 1 — вторичная обмотка; 2 — конденсаторная батарея; 3 — реостат; 4 — выпрямитель; 5 — тяговый электродвигатель; 6 — главная передача.

Fig. 6. The traction electric system of a prototype: 1: secondary coil; 2: capacitor; 3: rheostat; 4: rectifier; 5: traction motor; 6: axle drive.

быть размещена как внутри шин, так и в нижней части электромобиля. 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 электромобиля 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.

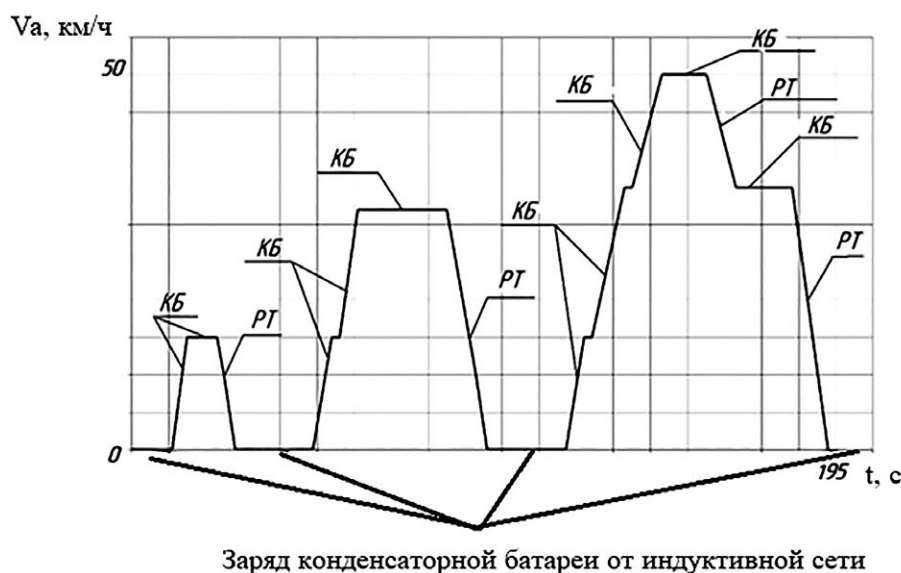


Рис. 7. Алгоритм работы СТЭО в городском цикле движения: КБ — использование энергии конденсаторной батареи для движения; РТ — рекуперативное торможение.

Fig. 7. Operational algorithm of the traction voltage system in the urban driving cycle: КБ: the capacitor is used for driving; РТ: regenerative 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. Данная работа будет продолжена в виде реализации математической модели разработанной системы. Внедрение СТЭО с индуктивной передачей энергии и её ёмкостным накоплением позволит повысить энергоэффективность электромобильного транспорта.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.М. Климов — написание текста рукописи; А.М. Фиронов — 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 использовались.

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. 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
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/bombardiers-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. 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: HSOFOF

- 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

* 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

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

AUTHORS' INFO

* 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

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author