

УДК 621.315

DOI 10.46960/2658-6754_2023_2_49

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА КОНДЕНСАТОРАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ

В.М. ЗавьяловORCID: 0000-0001-8485-9864 e-mail: vmzavyalov@sevsu.ru

Севастопольский государственный университет

*Севастополь, Россия***С.А. Абейдулин**ORCID: 0009-0004-5273-7597 e-mail: saabeidulin@sevsu.ru

Севастопольский государственный университет

*Севастополь, Россия***С.В. Гайдук**ORCID: 0009-0003-8092-8529 e-mail: svgaidyk@sevsu.ru

Севастопольский государственный университет

*Севастополь, Россия***М.Б. Углова**e-mail: mbuglova@sevsu.ru

Севастопольский государственный университет

Севастополь, Россия

Рассмотрена система беспроводной передачи энергии с последовательной топологией элементов, применяемая для создания беспроводных зарядных станций электромобилей и других транспортных средств, получающих энергию от тяговых аккумуляторных батарей. Работа систем беспроводной передачи энергии с последовательной топологией осуществляется в режиме резонанса напряжений, в связи с чем максимальные значения напряжения, прикладываемого к обкладкам конденсатора могут в разы превышать напряжение источника питания, что необходимо учитывать при проектировании систем беспроводной передачи энергии. Для оценки превышения напряжений на обкладках конденсаторов первичной и вторичной цепей резонансного контура над напряжением источника питания на базе методов теории автоматического управления были получены параметрические зависимости превышения напряжения на конденсаторах над входным напряжением. Учитывая, что одна и та же резонансная частота возможна при разных соотношениях индуктивностей и емкостей резонансного контура, были проведены исследования влияния соотношения на превышение величины напряжения на обкладках конденсаторов. Ре-

зультаты исследований показали, что при определенных соотношениях индуктивностей и емкостей можно получить минимум превышения напряжений на конденсаторах, что является наиболее благоприятным для работы систем беспроводной передачи энергии с последовательной топологией. Математические зависимости, приведенные в статье, могут быть полезны для инженеров, занимающихся разработкой беспроводных зарядных станций.

Ключевые слова: амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), беспроводная передача энергии (БПЭ), перенапряжения, последовательная топология, резонансный контур, электромобиль.

Для цитирования: Завьялов В.М., Абейдулин С.А, Гайдук С.В., Углова М.Б. Исследование перенапряжений на конденсаторах последовательного резонансного контура беспроводной зарядной станции // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 2. С. 49-61. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_2_49

INVESTIGATION OF OVERVOLTAGES ON CAPACITORS OF SERIES RESONANCE CIRCUIT OF WIRELESS CHARGING STATION

V.M. Zavyalov

ORCID: 0000-0001-8485-9864 e-mail: vmzavyalov@sevsu.ru

Sevastopol State University
Sevastopol, Russia

S.A. Abeidulin

ORCID: 0009-0004-5273-7597 e-mail: saabeidulin@sevsu.ru

Sevastopol State University
Sevastopol, Russia

S.V. Gaiduk

ORCID: 0009-0003-8092-8529 e-mail: svgaidyk@sevsu.ru

Sevastopol State University
Sevastopol, Russia

M.B. Uglova

e-mail: mbuglova@sevsu.ru

Sevastopol State University
Sevastopol, Russia

Abstract. The article considers a wireless power transmission system with a serial topology of elements. These systems are used to create wireless charging stations for electric vehicles and other vehicles that receive energy from traction batteries. The operation

of wireless power transmission systems with serial topology is carried out in the voltage resonance mode, and therefore the maximum voltage values applied to the capacitor plates can exceed the power supply voltage by several times. This fact must be taken into account when designing wireless power transmission systems. To assess the excess voltage on the capacitor plates of the primary and secondary circuits of the resonant circuit over the voltage of the power source, based on the methods of automatic control theory, parametric dependences of the voltage excess on the capacitors over the input voltage were obtained. Considering that the same resonant frequency is possible with different ratios of inductances and capacitances of the resonant circuit, studies were carried out on the influence of the ratio on the excess voltage on the capacitor plates. The research results have shown that with certain ratios of inductances and capacitances, it is possible to obtain a minimum excess voltage on capacitors, which is most favorable for the operation of wireless power transmission systems with a serial topology. The mathematical dependencies given in the article may be useful for engineers involved in the development of wireless charging stations.

Key words: electric vehicle, frequency response (AFC), resonant circuit, series topology, surges, wireless power transmission (WPT).

For citation: V.M. Zavyalov, S.A. Abeidulin, S.V. Gaiduk and M.B. Uglova, «Investigation of overvoltages on capacitors of series resonant circuit of wireless charging station», *Smart Electrical Engineering*, no. 2, pp. 49-61, 2023.
DOI: 10.46960/2658-6754_2023_2_49

I. Введение

Технологии беспроводной передачи энергии (БПЭ) в начале XXI в. активно разрабатываются и внедряются в народное хозяйство. Особенно активно они используются при обеспечении бесконтактной подзарядки аккумуляторов различных устройств, от мобильных телефонов до электромобилей. Преимущества технологии БПЭ заключаются в отсутствии физического электрического контакта зарядной станции с заряжаемым устройством, что обеспечивает высокие показатели надежности и безопасности для устройств, использующих данную технологию.

Одна из первых работ, представивших технологию сильно связанного магнитного резонанса, была опубликована исследовательской группой из Массачусетского технологического института в 2007 г. [1]. Развитие этой технологии продолжается, что показано далее в обзоре литературы.

Основной принцип резонансной индуктивной передачи энергии рассмотрен в [2], а именно, представлен всесторонний обзор беспроводных технологий, проведен сравнительный анализ различных методов беспроводной зарядки для электромобилей. Обозначено, что описание БПЭ не имеет точной, полной и исчерпывающей информации, поэтому необходимы практические исследования для стандартизации указанных систем. Одной

из важных задач при проектировании систем БПЭ является правильный выбор параметров резонансного контура и конструкции элементов, участвующих в процессе передачи энергии. В [3] обсуждаются конструкции передающей/приемной катушки и архитектура системы, рассматривается определение максимальной эффективности, дается сравнительный анализ БПЭ с двумя и тремя катушками. Также в этой работе произведена оценка условий нагрузки и взаимной индуктивности путем измерения только входного тока и входного напряжения. Показано, что взаимная индуктивность и величина нагрузки могут быть однозначно определены указанным путем. Выведено значение оптимального сопротивления нагрузки для получения максимальной эффективности.

Обзор технологии беспроводной передачи энергии с магнитно-резонансной связью для зарядки электромобилей дан в [4-6]. Так, в [4] проведен анализ типов топологий беспроводных зарядных устройств. Рассмотрена концепция магнитного резонанса, проанализирована модель схемы магнитной связи, составлено уравнение эффективности. Основным способом компенсации индуктивности рассеяния является добавление конденсаторов с обеих сторон. В зависимости от положения конденсаторов относительно катушек, рассмотрены четыре основных типа компенсации, выведены значения емкости для компенсации различных топологий. Сделан вывод, что только для схемы с последовательной топологией значение емкости не зависит от изменений соединения или нагрузки. Проведен сравнительный анализ различных конструкций обмоток для резонансного контура. Рассмотрены стандарты безопасности для проектирования устройств БПЭ.

В [5] представлен обзор технологии беспроводной зарядки для электромобилей, дан сравнительный обзор конструкции системы, который включает описание прототипов, схем, топологий схемы компенсации и международных стандартов зарядки. Проведен обзор беспроводной зарядки электромобиля, включая статическую и динамическую беспроводную зарядку электромобиля, в котором основное внимание уделяется конструкции катушки и эффективности передачи энергии.

В [6] авторы представляют обзор резонансных цепей для БПЭ с акцентом на нерезонансные преобразователи, резонансные инверторы, компенсационные сети и селективные резонансные цепи. Их характеристики и ключевые особенности, такие как рабочая частота, уровень мощности, отказоустойчивость, рассмотрены в аспекте преимуществ и недостатков. Высказана мысль, что высокочастотные и высокоомощные инверторы для системы БПЭ будут основным направлением исследований для зарядки электромобилей.

Основополагающее значение для понимания и проектирования резонансной системы беспроводной зарядки являются принцип работы и математические расчеты. В [7] выведена формула комплексного сопротивления с учетом условия резонанса, которая используется для оценки максимальной передаваемой мощности. Каждый передатчик имеет максимальное напряжение и максимальный ток, который может быть ограничен передающей катушкой. Чтобы максимизировать мощность приемника, передатчик должен работать близко к максимальному току и напряжению. Выделяют три основных вида связи: сверхсвязанная или избыточная связь, недостаточная или случайная связь и идеальная связь. Построены графики эффективности в зависимости от связи между передатчиком и приемником. Показано, что максимально достижимый КПД в основном определяется КПД приемника. Чем выше добротность передатчика, тем выше эффективность.

Таким образом, в секторе беспроводной передачи энергии, технология магнитного резонанса продолжает развиваться. КПД передачи энергии увеличилась с 70 до более чем 95 %, при этом расстояние передачи увеличилось с нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Анализ специализированной литературы показал, что вопрос определения зависимостей напряжений на конденсаторах резонансного контура от его параметров в настоящее время должным образом не исследован. В данной статье рассматриваются зависимости максимального напряжения на конденсаторах от параметров резонансного контура.

II. Актуальность исследования

Проектирование систем БПЭ сопряжено с рядом технических ограничений: допустимые габаритные размеры приемной и передающей катушек, а также диапазон частот тока, в котором осуществляется передача энергии. Помимо этого, при последовательном включении индуктивности и емкости резонансного контура напряжение на конденсаторах, при частотах близких к резонансной может в разы превышать входное напряжение. В связи с тем, что одной из характеристик конденсаторов является предельное напряжение на их обкладках, актуальной задачей при проектировании систем БПЭ является оценка максимальных напряжений на конденсаторах резонансного контура для их выбора по указанному параметру. Кроме того, актуальной задачей является поиск оптимальных параметров элементов резонансного контура, обеспечивающих минимум значения максимального напряжения на конденсаторах.

В качестве исследуемой системы БПЭ в данной работе рассматривается схема с S-S (последовательной) топологией [8-10], так как она обеспечивает лучший коэффициент передачи мощности и имеет минимальную чувствительность резонансной частоты от взаимной индуктивности.

III. Объект исследования

Электрическая схема силового канала передачи энергии представлена на рис. 1.

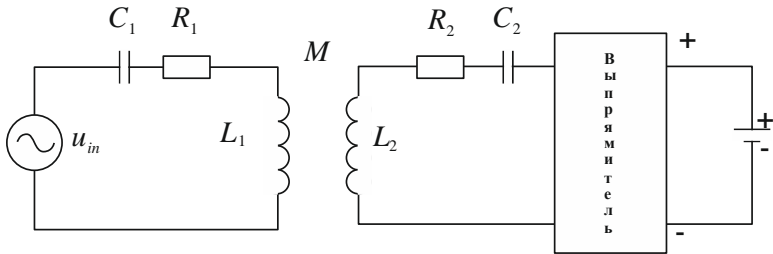


Рис. 1. Схема беспроводной зарядной станции с s-s топологией

Fig. 1. Diagram of a wireless charging station with s-s topology

Для проведения последующих расчетов приведем схему, представленную на рис. 1, к эквивалентному виду (рис. 2), заменив выпрямитель и аккумуляторную батарею на эквивалентное сопротивление, величина которого будет определяться:

$$R_{load} = \frac{U_{АКБ}}{I_{заряда}},$$

где $U_{АКБ}$ – напряжение на аккумуляторной батарее при зарядке, $I_{заряда}$ – ток заряда аккумуляторной батареи.

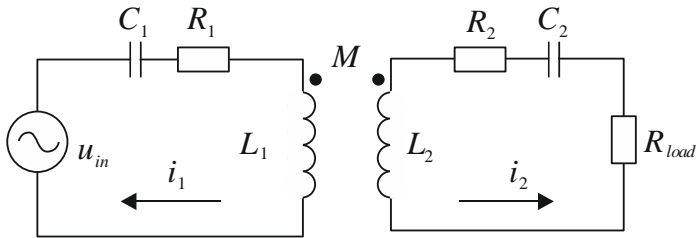


Рис. 2. Эквивалентная схема беспроводной зарядной станции

Fig. 2. Wireless charging station equivalent circuit

Математическая модель во временной области представлена системой уравнений (1).

В математической модели (1) приняты следующие допущения:

- не учитываются потери в конденсаторах;
- не учитываются реальные характеристики инвертора;
- источник питания идеальный;
- нагрузка представлена активным сопротивлением, величина которого определяется из номинальных значений тока и напряжения для заряда аккумуляторной батареи;
- не учитывается эффект вытеснения тока в проводниках (поверхностный эффект).

$$\begin{cases} u_{in} = u_{c_1} + i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}; \\ 0 = u_{c_2} + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + i_2 R_{2\Sigma}; \\ i_1 = C_1 \frac{du_{c_1}}{dt}; \\ i_2 = C_2 \frac{du_{c_2}}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

где u_{in} – входное напряжение; u_{c_1} – напряжение на конденсаторе в первичной цепи; u_{c_2} – напряжение на конденсаторе во вторичной цепи; i_1 – ток первичной цепи; i_2 – ток вторичной цепи; R_1, R_2, C_1, C_2 – сопротивления и емкости первичной и вторичной цепей; R_{load} – эквивалентное сопротивление аккумуляторной батареи; L_1, L_2 – индуктивности первичной и вторичной катушек; M – взаимная индуктивность; $R_{2\Sigma} = (R_2 + R_{load})$.

Для приведения данной функции к параметрическому виду, воспользуемся методом передаточных функций. Применив преобразования Лапласа, получим математическую модель, описанную следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{in}(p) = U_{C_1}(p) + I_1(p)R_1 + pI_1(p)L_1 + pI_2(p)M; \\ 0 = U_{C_2}(p) + pI_2(p)L_2 + pI_1(p)M + I_2(p)R_{2\Sigma} \\ pU_{C_1}(p)C_1 = I_1(p); \\ pU_{C_2}(p)C_2 = I_2(p). \end{cases} \quad (2)$$

Представим резонансный контур в виде структурных схем (рис. 3), приняв в качестве входного сигнала напряжение на входе резонансного контура, а выходного – напряжение на соответствующем конденсаторе.

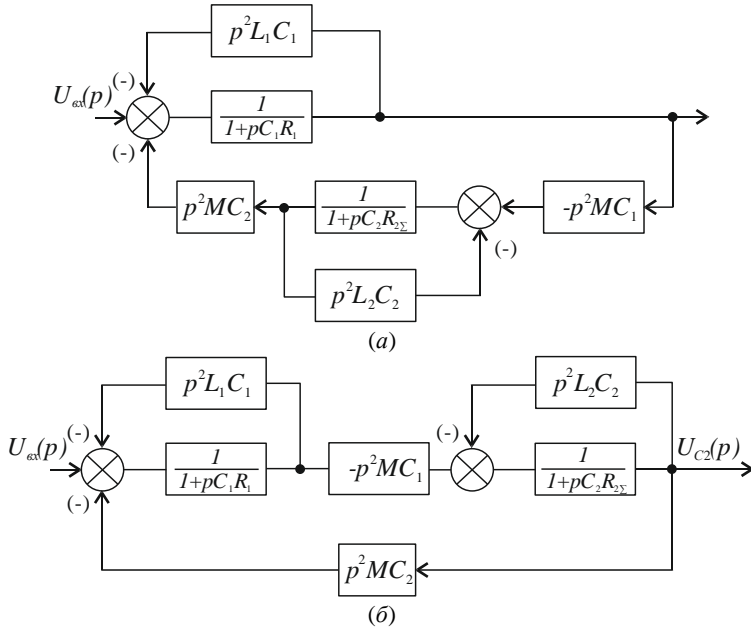


Рис. 3. Структурная схема системы беспроводной передачи энергии, где выходной сигнал (а) напряжение на конденсаторе C_1 ; напряжение на конденсаторе C_2 (б)

Fig. 3. Structural diagram of a wireless power transmission system, where the output signal is (a) the voltage across the capacitor C_1 ; the voltage across capacitor C_2 (b)

На основании приведенных на рис. 3 структурных схем, с учетом уравнений (2), получим передаточные функции:

$$\begin{aligned}
 W_{U_{C_1}}(p) &= \frac{U_{C_1}(p)}{U_{in}(p)} = \frac{(p^2 a_2 + p a_3 + 1)}{p^4 b_4 + p^3 b_3 + p^2 b_2 + p b_1 + 1}; \\
 W_{U_{C_2}}(p) &= \frac{U_{C_2}(p)}{U_{in}(p)} = -\frac{p^2 a_5}{p^4 b_4 + p^3 b_3 + p^2 b_2 + p b_1 + 1},
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где: $a_1 = C_1 C_2 M$; $a_2 = C_2 L_2$; $a_3 = C_2 R_2$; $a_4 = C_1$; $a_5 = C_1 M$;
 $b_1 = C_1 R_1 + C_2 R_2$; $b_2 = C_1 C_2 R_1 R_2 + C_1 L_1 + C_2 L_2$; $b_3 = C_1 C_2 (R_1 L_2 + R_2 L_1)$;
 $b_4 = C_1 C_2 (L_1 L_2 - M^2)$.

Перейдя в частотную область, получим амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) для передаточных функций:

$$\begin{aligned} A_{U_{C_1}}(\omega) &= \sqrt{\operatorname{Re}(W_{U_{C_1}}(j\omega))^2 + \operatorname{Im}(W_{U_{C_1}}(j\omega))^2}; \\ A_{U_{C_2}}(\omega) &= \sqrt{\operatorname{Re}(W_{U_{C_2}}(j\omega))^2 + \operatorname{Im}(W_{U_{C_2}}(j\omega))^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(W_{U_{C_1}}(j\omega)) &= \frac{(1 - \omega^2 a_2)(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1) - \omega a_3(\omega b_1 - \omega^3 b_3)}{(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)^2 + (\omega b_1 - \omega^3 b_3)^2}; \\ \operatorname{Im}(W_{U_{C_1}}(j\omega)) &= \frac{(1 - \omega^2 a_2)(\omega b_1 - \omega^3 b_3) + \omega a_3(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)}{(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)^2 + (\omega b_1 - \omega^3 b_3)^2}; \\ \operatorname{Re}(W_{U_{C_2}}(j\omega)) &= \frac{\omega^2 a_5(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)}{(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)^2 + (\omega b_1 - \omega^3 b_3)^2}; \\ \operatorname{Im}(W_{U_{C_2}}(j\omega)) &= \frac{\omega^2 a_5(\omega b_1 - \omega^3 b_3)}{(\omega^4 b_4 - \omega^2 b_2 + 1)^2 + (\omega b_1 - \omega^3 b_3)^2}. \end{aligned}$$

Полученные АЧХ отражают зависимости превышения напряжения на соответствующем конденсаторе над напряжением на входе от параметров резонансного контура.

Анализируя данные, приведенные в [10], можно сделать вывод, что для плоских, квадратных катушек активное сопротивление, взаимная индуктивность и величина обратная емкости, при фиксации резонансной частоты, имеют зависимости от индуктивности катушек близкие к линейным. В связи с этим, исключим из уравнения АЧХ параметры R_1 , R_2 , M , C_1 , C_2 , заменив их следующими функциями:

$$R_1 = d_r L; \quad R_2 = d_r L + R_{load}; \quad M = d_m L; \quad \frac{1}{C} = d_c L, \quad (5)$$

где d_r , d_m , d_c – коэффициенты линейной аппроксимации.

Рассмотрим плоскую однослойную квадратную катушку с внешними размерами 0,6 м на 0,3 м, для нее получены коэффициенты линейной аппроксимации, имеющие следующие значения: $d_r=684$, $d_m=0,181$, $d_c=3 \times 10^{11}$. По зависимостям (3) и (4) с учетом (5) построены графики на рис. 4.

Из полученных графических зависимостей можно увидеть, что при варьировании отношением значений индуктивности и емкости резонансного контура, обеспечивая постоянство резонансной частоты, будем иметь различную величину максимального напряжения на конденсаторах резонансного контура. При этом для первичной цепи при малой индуктивности имеется существенное перенапряжение, которое сначала резко снижается, а затем монотонно увеличивается по мере роста величины индуктивности.

Перенапряжение на конденсаторе вторичного контура имеет меньшее значение при малых значениях индуктивности, но по мере роста последней также растет. Исходя из этого, при конструировании систем беспроводной передачи энергии необходимо акцентировать внимание на определении минимума величины перенапряжения на конденсаторах, и учитывать это при выборе параметров элементов резонансного контура.

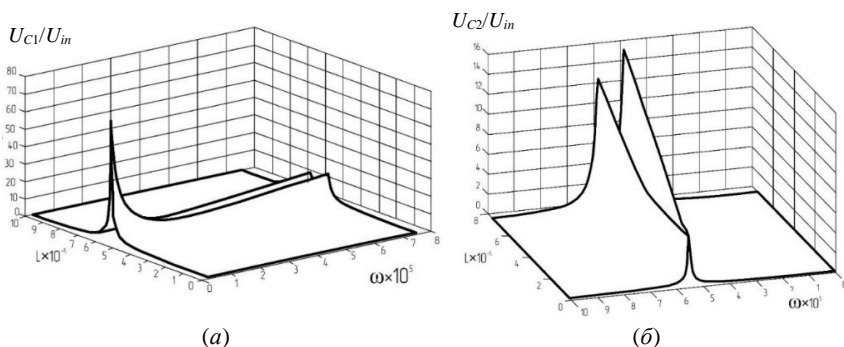


Рис. 4. Зависимость отношения максимального напряжения на конденсаторе C_1 (а) и C_2 (б) к входному напряжению от индуктивности катушек в условиях ограничений частоты резонансного контура

Fig. 4. Dependence of the ratio of the maximum voltage on the capacitor C_1 (a) and C_2 (b) to the input voltage on the inductance of the coils, under conditions of frequency limitation of the resonant circuit

Для исследуемого типоразмера катушки с внешним размером 0,3 м на 0,6 м, условие выполняется при индуктивности около 24 мГн, с обеспечением резонансной частоты 90 кГц.

IV. Заключение

В результате проведенных исследований получены параметрические зависимости, позволяющие на стадии проектирования систем беспроводных зарядных станций для электромобилей оценить величину максималь-

ных значений напряжения на конденсаторах резонансного контура, что поможет выбрать конденсаторы по классу напряжения. Анализ полученных зависимостей показал, что при варьировании соотношения индуктивности и емкости резонансного контура имеется оптимум, обеспечивающий минимум напряжения на конденсаторах резонансного контура при работе на резонансной частоте. Результаты работы могут быть полезны для инженеров, занимающихся разработкой систем беспроводной передачи энергии.

© Завьялов В.М., 2023

© Абейдулин С.А., 2023

© Гайдук С.В., 2023

© Углова М.Б., 2023

Поступила в редакцию 24.03.2023

Принята к публикации 28.04.2023

Received 24.03.2023

Accepted 28.04.2023

Библиографический список

- [1] Kurs A., Karalis A., Moffatt R., Joannopoulos J.D., Fisher P. and Soljacic M. Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances // *Science*. 2007. № 317 (5834). P. 83-86. DOI: 10.1126/science.1143254
- [2] Niu S., Xu H., Sun Z., Shao Z.Y., Jian. L. The state-of-the-arts of wireless electric vehicle charging via magnetic resonance: principles, standards and core technologies // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. № 114 (8). 109302. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109302
- [3] Sun L., Ma D., Tang H. A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. № 91. P. 490-503. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.016
- [4] Joseph P.K., Elangovan D. A review on renewable energy powered wireless power transmission techniques for light electric vehicle charging applications // *Journal of Energy Storage*. 2018. № 16. P. 145-155. DOI: 10.1016/j.est. 2017.12.019
- [5] Gladwin D., Mou X., Zhao R., Sun H. A survey on magnetic resonant coupling wireless power transfer technology for electric vehicle charging // *IET Power Electronics*. 2019. № 12 (12). P. 3005-3020. DOI: 10.1049/iet-pel.2019.0529
- [6] Jiang C., Chau K.T., Liu C., Lee C.H.T. An overview of resonant circuits for wireless power transfer // *Energies*. 2017. № 10 (7). 894. DOI: 10.3390/en10070894
- [7] Schaecher S., Brandl M. Resonant wireless power transfer. White Paper 05-2018. Infineon Technologies AG, 2018.
- [8] Zhang W., Mi C.C. Compensation topologies of high-power wireless power transfer systems // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2016. № 65 (6). P. 4768-4778. DOI: 10.1109/TVT.2015.2454292
- [9] Jayalath S., Khan A. Design, Challenges, and trends of inductive power transfer couplers for electric vehicles: A review // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. 2021. № 9 (5). P. 6196-6218. DOI: 10.1109/JESTPE.2020.3042625

- [10] Zavylov V.M., Abeidulin S.A., Dubkov E.A., Veliliaev A.S., Semykina I.Y. Criteria for choosing of resonant circuit parameters of wireless power transfer charging system // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. 2022. № 18 (1). 2236. DOI: 10.22068/IJEEE.18.1.2236

References

- [1] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", *Science*, vol. 317, no. 5834, pp. 83-86, 2007. DOI: 10.1126/science.1143254
- [2] S. Niu, H. Xu, Z. Sun, Z.Y. Shao and L. Jian, "The state-of-the-arts of wireless electric vehicle charging via magnetic resonance: principles, standards and core technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 114, no. 8, 109302, Oct. 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109302
- [3] L. Sun, D. Ma and H. Tang, "A review of recent trends in wireless power transfer technology and its applications in electric vehicle wireless charging", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 490-503, Aug. 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.016
- [4] P.K. Joseph and D. Elangovan, "A review on renewable energy powered wireless power transmission techniques for light electric vehicle charging applications", *Journal of Energy Storage*, vol. 16, pp. 145-155, Apr. 2018. DOI: 10.1016/j.est.2017.12.019
- [5] D. Gladwin, X. Mou, R. Zhao and H. Sun, "A survey on magnetic resonant coupling wireless power transfer technology for electric vehicle charging", *IET Power Electronics*, vol. 12, no. 12, pp. 3005-3020, Oct. 2019. DOI: 10.1049/iet-pel.2019.0529
- [6] C. Jiang, K.T. Chau, C. Liu and C.H.T. Lee, "An overview of resonant circuits for wireless power transfer", *Energies*, vol. 10, no. 7, 894, Jun. 2017. DOI: 10.3390/en10070894
- [7] S. Schaecher and M. Brandl, *Resonant wireless power transfer. White Paper 05-2018*. Infineon Technologies AG, 2018.
- [8] W. Zhang and C.C. Mi, "Compensation topologies of high-power wireless power transfer systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 6, pp. 4768-4778, Jun. 2016. DOI: 10.1109/TVT.2015.2454292
- [9] S. Jayalath and A. Khan, "Design, challenges, and trends of inductive power transfer couplers for electric vehicles: A review", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 9, no. 5, pp. 6196-6218, Oct. 2021. DOI: 10.1109/JESTPE.2020.3042625
- [10] V.M. Zavylov, S.A. Abeidulin., E.A. Dubkov, A.S. Veliliaev and I.Y. Semykina, "Criteria for choosing of resonant circuit parameters of wireless power transfer charging system", *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 18, no. 1, 2236, March 2022. DOI: 10.22068/IJEEE.18.1.2236

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Завьялов Валерий Михайлович,
доктор технических наук, доцент Севасто-
польского государственного университета,
г. Севастополь, Российская Федерация

Valery M. Zavyalov, D. Sci. (Eng.),
associate professor of the Sevastopol
State University, Sevastopol, Russian
Federation

Абейдулин Сергей Адельзанович,
старший преподаватель Севастопольского
государственного университета, г. Сева-
стополь, Российская Федерация.

Sergey A. Abeidulin, senior lecturer
of the Sevastopol State University,
Sevastopol, Russian Federation

Гайдук Светлана Владимировна,
старший преподаватель Севастопольского
государственного университета, г. Сева-
стополь, Российская Федерация

Svetlana V. Gaiduk, senior lecturer
of the Sevastopol State University,
Sevastopol, Russian Federation

Углова Марина Борисовна,
старший преподаватель Севастопольского
государственного университета, г. Сева-
стополь, Российская Федерация

Marina B. Uglova, senior lecturer of
the Sevastopol State University, Se-
vastopol, Russian Federation