

Ю. В. БАТЫГИН, С. А. ШИНДЕРУК, Г. С. СЕРИКОВ

ОСНОВНЫЕ РАСЧЁТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ДВУХКОНТУРНОМ РЕЗОНАНСНОМ УСИЛИТЕЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

На базе трансформатора Тесла и идеализированной схемы из двух последовательных реактивно-активных индуктивно связанных контуров с нулевым активным сопротивлением вторичного контура предложена схема резонансного усилителя электрической мощности. Получены основные аналитические выражения для характеристик протекающих электромагнитных процессов в реальном варианте предлагаемого резонансного усилителя с конечными активными сопротивлениями. Найден коэффициент трансформации в виде соотношения, связывающего явление электромагнитной индукции и резонанса в функциональной зависимости от ключевых параметров предложенной схемы. С помощью предельных переходов к соответствующим аналогам в авторитетных специальных публикациях показана достоверность найденных базовых аналитических зависимостей для возбуждаемых токов и напряжений. Полученные расчётные соотношения базируются на физически «прозрачных» феноменологических положениях и строгом математическом подходе с использованием аппарата теории электрических цепей. Поскольку практический интерес представляет работа исследуемого объекта в стационарном режиме при гармонических входных сигналах, в расчётах применялся исключительно метод комплексных амплитуд без привлечения каких-либо физических гипотез о причинности резонансных явлений в их связи с фундаментальными представлениями о строении окружающего мира. Научная новизна настоящей работы состоит в предложении собственно схемы резонансного усилителя мощности гармонических сигналов, получении достоверных базовых соотношений для анализа протекающих электромагнитных процессов, численных оценок для сравнения с экспериментальными данными и, в конечном итоге, обоснования практической действенности предложенной схемы резонансного усилителя мощности. Практическая значимость: полученные аналитические зависимости для основных характеристик процессов в предложенной схеме резонансного усилителя электрической мощности представляют практический интерес для дальнейших теоретических исследований, а также для формулировки рекомендаций по изготовлению действующих образцов настоящего предложения. Пути дальнейших исследований: весьма перспективным в направлении проведенных исследований видится дальнейший анализ и экспериментальное изучение электромагнитных процессов в предложенной схеме резонансного усилителя электрической мощности.

Ключевые слова: резонансный контур, коэффициент трансформации, трансформатор Тесла, добротность, резонанс, резонансный усилитель мощности.

Ю. В. БАТЫГИН, С. О. ШИНДЕРУК, Г. С. СЕРИКОВ

ОСНОВНІ РОЗРАХУНКОВІ СПІВВІДНОШЕННЯ У ДВОХКОНТУРНОМУ РЕЗОНАНСНОМУ ПІДСИЛЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ

На базі трансформатора Тесла і ідеалізованої схеми з двох послідовних реактивно-активних індуктивно пов'язаних контурів з нульовим активним опором вторинного контуру запропонована схема резонансного підсилювача електричної потужності. Отримано основні аналітичні вирази для характеристик електромагнітних процесів, що протікають, в реальному варіанті запропонованого резонансного підсилювача з кінцевими активними опорами. Знайдений коефіцієнт трансформації у вигляді співвідношення, що зв'язує явище електромагнітної індукції і резонансу в функціональній залежності від ключових параметрів запропонованої схеми. За допомогою граничних переходів до відповідних аналогам в авторитетних спеціальних публікаціях показана достовірність знайдених базових аналітичних залежностей для збуджувальних струмів і напруг. Отримані розрахункові співвідношення базуються на фізично «прозорих» феноменологічних положеннях і строгому математичному підході з використанням апарату теорії електричних ланцюгів. Оскільки практичний інтерес представляє робота досліджуваного об'єкта в стаціонарному режимі при гармонічних входних сигналах, в розрахунках застосовувався виключно метод комплексних амплітуд без залучення будь-яких фізичних гіпотез про причинності резонансних явищ в їх зв'язку з фундаментальними уявленнями про будову навколишнього світу. Наукова новизна цієї роботи полягає в пропозиції власне схеми резонансного підсилювача потужності гармонічних сигналів, отриманні достовірних базових співвідношень для аналізу електромагнітних процесів, що протікають, чисельних оцінок для порівняння з експериментальними даними і, в кінцевому підсумку, обґрунтування практичної дієвості запропонованої схеми резонансного підсилювача потужності. Практична значимість: отримані аналітичні залежності для основних характеристик процесів в запропонованій схемі резонансного підсилювача електричної потужності становлять практичний інтерес для подальших теоретичних досліджень, а також для формулювання рекомендацій по виготовленню діючих зразків справжнього пропозиції. Шляхи подальших досліджень: вельми перспективним в напрямку проведених досліджень є подальший аналіз і експериментальне вивчення електромагнітних процесів в запропонованій схемі резонансного підсилювача електричної потужності.

Ключові слова: резонансний контур, коефіцієнт трансформації, трансформатор Тесла, добротність, резонанс, резонансний підсилювач потужності.

YU. V. BATYGIN, S. A. SHINDERUK, G. S. SERIKOV

THE MAIN RELATIONSHIPS FOR CALCULATIONS IN TWO-CIRCUITS RESONANT AMPLIFIER OF THE ELECTRIC POWER

Based on a Tesla transformer and an idealized circuit of two consecutive reactive active inductively coupled circuits with zero active resistance of the secondary circuit, a scheme of a resonant electric power amplifier is proposed. The main analytical expressions for the characteristics of the flowing electromagnetic processes in the real version of the proposed resonant amplifier with finite resistances are obtained. The transformation coefficient in the form of a relation connecting the phenomenon of electromagnetic induction and resonance in a functional dependence on the key parameters of the proposed scheme is found. With the help of limiting transitions to the corresponding analogues in authoritative special publications, the reliability of the found basic analytical dependences for the excited currents and voltages is shown. The obtained calculated relations are based on physically "transparent" phenomenological computation and a rigorous mathematical approach using the apparatus of the theory of electrical circuits. Since it is of practical interest to work the object under study in the stationary mode with harmonic input signals, the method of complex amplitudes was used exclusively in the calculations without invoking any physical hypotheses about the causality of resonance phenomena in their connection with the fundamental ideas about the structure of the surrounding world. The scientific novelty of this work consists in proposing the actual circuit of a

© Ю.В. Батыгин, С.А. Шиндерук, Г.С. Сериков, 2018

resonant power amplifier of harmonic signals, obtaining reliable basic relations for analyzing the flowing electromagnetic processes, numerical estimates for comparison with experimental data and, ultimately, substantiating the practical effectiveness of proposed the resonant power amplifier circuit. Practical significance: the obtained analytical dependences for the main characteristics of the processes in the proposed scheme of a resonant electric power amplifier are of practical interest for further theoretical studies, as well as for the formulation of recommendations for the manufacture of existing samples of the present proposal. **Ways to further research:** the further analysis and experimental study of electromagnetic processes in the proposed scheme of a resonant amplifier of electrical power seems very promising in the direction of the research.

Key words: resonant circuit, transformer ratio, Tesla transformer, quality factor, resonance, resonance amplifier power.

Введение. Сейчас, как никогда, перед Человечеством остро встают проблемы энергообеспечения, обусловленные, в первую очередь, истощением не возобновляемых природных ресурсов [1, 2].

Среди них особо выделяются проблемы создания современных источников электрической энергии. Их решению посвящено немало научных работ, где проанализированы, выдвинуты и обоснованы самые разнообразные предложения. Здесь известные нетрадиционные устройства, построенные на динамическом преобразовании энергии солнца и ветра, геотермальные станции и др. [3, 4]. В последнее время появились работы, направленные на создание физико-технической базы для описания энергетики окружающего мира с помощью новых физических представлений. Весьма интересными и перспективными представляются разработки систем по извлечению энергии из эфира – физической субстанции, заполняющей всё окружающее пространство [5–7].

Отвлекаясь от попыток глобального осмысления нашего Мироздания, целесообразно сконцентрировать внимание на реальных резонансных явлениях в электрических цепях, с помощью которых возможно усиление и тока, и напряжения, то есть, в конечном итоге, усиление электрической мощности.

Краткий обзор литературы. Не вдаваясь в перечисление известных реализаций, в первую очередь, особо следует выделить наиболее эффективный усилитель напряжения, запатентованный ещё в начале прошлого века и названный соответственно имени его изобретателя «трансформатором Тесла» [8, 9].

По существу, резонансный преобразователь напряжения данного типа состоит из двух индуктивно связанных активно-реактивных контуров. Первый, замкнутый (с сосредоточенными электрическими компонентами) и работающий от внешнего источника мощности, является задающим. Второй, разомкнутый и генерирующий сверхвысокое напряжение, является усилителем по отношению к входному сигналу. Электромагнитные процессы в выделенных контурах трансформатора Тесла проанализированы в работах [10, 11].

С помощью простой, но адекватной, физико-математической модели авторами [10] получены аналитические решения, иллюстрирующие действенность трансформатора при возбуждении гармоническим сигналом и переходе от коммутационных эффектов к стационарному состоянию. Было впервые показано, что усиление напряжения определяется не только индукционными, но и резонансными явлениями в электрической схеме трансформатора. Следует отметить, что этот результат согласуется с

феноменологическим выводом изобретателя, сформулированным, например, в курсе его лекций [8].

Авторами публикации [11] на основании теоретического анализа выполнены численные оценки эффективности усиления напряжения при каком-либо возможном отклонении рабочей частоты от её резонансного значения. Одной из самых значимых причин предполагаемого отклонения является «разомкнутость» высоковольтной обмотки трансформатора, что не позволяет однозначно зафиксировать ёмкость его выходного вторичного контура. Понятно, что на её величину будет влиять расположение окружающих объектов, естественные характеристики окружающей среды и др. Их влияние будет приводить к вышеупомянутому отклонению рабочей частоты от требуемого значения и, соответственно, к резкому падению эффективности усиления в целом.

Тем не менее, если трансформатор Тесла дополнить последовательным включением сосредоточенной ёмкости в цепь вторичной обмотки, то полученная схема из двух индуктивно связанных активно-реактивных контуров в резонансном режиме может представлять собой уже преобразователь не только напряжения, но, по-видимому, и тока, и электрической мощности.

Принципиальная сущность данного предложения, работающего, уже как преобразователь тока, проиллюстрирована простейшим примером авторами работы [12] и на рис. 1.

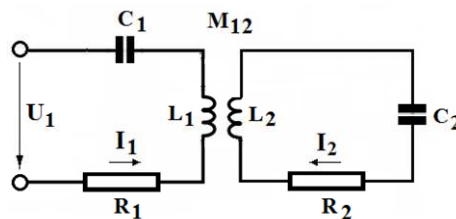


Рис. 1. Схема замещения двух индуктивно связанных контуров: $R_{1,2}$ – активные сопротивления, $L_{1,2}$ – индуктивности, $C_{1,2}$ – ёмкости, $M_{1,2}$ – взаимная индуктивность, $I_{1,2}$ – возбуждаемые токи, U_1 – источник гармонического напряжения

В идеализации, когда во втором контуре отсутствует активное сопротивление ($R_2 = 0$), система уравнений относительно комплексных токов и напряжений имеет вид [12]:

$$\begin{cases} \left(i\omega \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) + R_1 \right) \cdot I_1 + i\omega M_{12} \cdot I_2 = U_1; \\ i\omega M_{12} \cdot I_1 + i \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) \cdot I_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

При резонансе $\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right) = 0$, из

вышеприведенной системы (1) следуют выражения для возбуждаемых токов.

$$\begin{cases} I_1 = 0; \\ I_2 = -i \cdot \frac{U_1}{\omega M_{12}} \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Авторами [12] соотношения из (2) интерпретируются следующим образом: при выполнении резонансных условий возбуждаемые токи $-I_1$ и I_2 устанавливаются такими, чтобы э.д.с. взаимной индукции $-i\omega M_{12} \cdot I_2$ со стороны второго контура на первый контур уравновесила напряжение источника (первое уравнение в системе (1)). Физически, по своему характеру, этот случай аналогичен резонансу токов в контуре без потерь.

Резюме: при нулевом токе в первом контуре ток во втором контуре имеет конечную величину, что означает возможность получения достаточно больших коэффициентов трансформации, но уже по току, а не напряжению.

Рассмотренная идеализация, как и трансформатор Тесла, могут быть положены в основу практического воплощения резонансного преобразователя мощности, состоящего также из двух индуктивно-связанных последовательных резонансных контуров, но с активными сопротивлениями конечной величины. Здесь «выход» генерируемой энергии может осуществляться как с индуктивности вторичного контура, так и с его ёмкости.

Цель – вывод основных аналитических зависимостей для резонансного усилителя мощности гармонических сигналов из двух индуктивно-связанных последовательных активно-реактивных контуров с обоснованием их достоверности при помощи предельных переходов к соответствующим аналогам, известным из авторитетных научных публикаций.

Научная новизна настоящей работы состоит в предложении собственно схемы резонансного усилителя мощности гармонических сигналов, получении достоверных базовых соотношений для анализа протекающих электромагнитных процессов, численных оценок для сравнения с экспериментальными данными и, в конечном итоге, обоснования практической действенности предложенной схемы резонансного усилителя мощности.

Расчётные соотношения. Сразу подчеркнём, что расчётные соотношения для теоретического обоснования действенности принимаемой схемы резонансного преобразователя мощности, аналогично работам [10, 11], базируются на физически «прозрачных» феноменологических положениях и строгом математическом подходе с использованием аппарата теории электрических цепей. Поскольку практический интерес представляет работа исследуемого объекта в стационарном режиме при гармонических входных сигналах, в расчётах применялся исключительно метод комплексных амплитуд без привлечения каких-либо физических гипотез о

причинности резонансных явлений в их связи с фундаментальными представлениями о строении окружающего мира [7–9, 12, 13].

Постановка задачи. Схема замещения предлагаемого преобразователя мощности из двух последовательных резонансных контуров с трансформатором связи между ними представлена на рис. 2. Индуктивность первичной и вторичной обмоток трансформатора – $L_{1,2}$, соответственно.

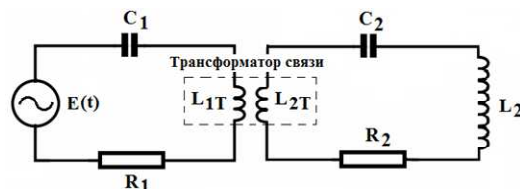


Рис. 2. Расчётная схема резонансного усилителя мощности

- Первый или «входной» контур с источником гармонического напряжения $-E(t) = E_m \sin(\omega \cdot t)$ (E_m – амплитуда, ω – частота, t – время) содержит последовательно соединённые индуктивность $-L_{1T}$, ёмкость $-C_1$, активное сопротивление соединительных проводов, внутреннего сопротивления источника напряжения и первичной обмотки трансформатора связи $-R_1$.

- Второй или «выходной» контур содержит индуктивность $-L_{2T}$, индуктивность $-L_2$, которая рассматривается как «выходной» элемент преобразователя в целом, ёмкость $-C_2$, активное сопротивление соединительных проводов и обмоток индуктивностей $-R_2$.

Примечание. Поскольку в резонансном режиме величина напряжения на реактивных элементах одинакова, в качестве «выходного» элемента преобразователя может служить и ёмкость $-C_2$.

- Частоты первого и второго контуров равны между собой, так что $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ – резонансная частота системы.

Расчётные соотношения.

Система уравнений, описывающих процессы в контурах системы, имеет вид [12, 13]:

$$\begin{cases} E = I_1 \left(i \left(\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 \right) + i\omega M_{12} \cdot I_2; \\ -i\omega M_{12} \cdot I_1 = \left(i \left[\omega \cdot (L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2} \right] + R_2 \right) \cdot I_2; \end{cases} \quad (3)$$

где $I_{1,2}$ – токи в контурах, $M_{1,2} = k \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}}$ – взаимная индуктивность обмоток трансформатора связи между контурами, $k \in [0,1]$ – коэффициент электромагнитной связи.

При выполнении условий резонанса $\left\{ \left(\omega \cdot (L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2} \right) = 0, \left(\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) = 0 \right\}$ система уравнений (3) принимает вид:

$$\begin{cases} E = I_1 \cdot R_1 + i\omega M_{12} \cdot I_2; \\ -i\omega M_{12} \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2. \end{cases} \quad (4)$$

Из (4) получаем выражения для возбуждаемых токов.

$$\begin{cases} I_1 = E \cdot \frac{R_2}{((\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2)}; \\ I_2 = -i \cdot \frac{E}{Z}. \end{cases} \quad (5)$$

где $Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}$.

Отметим, что Z имеет смысл модуля эквивалентного индуктивного сопротивления, связывающего напряжение источника мощности с резонансным током во втором контуре, поскольку, как следует из выражения для I_2 , здесь имеет место строго индуктивная связь.

Следует отметить, что при нулевом активном сопротивлении во втором контуре $I_1 = 0$, а $I_2 = -i \cdot \frac{E}{\omega M_{12}}$, что полностью согласуется с результатом (2) для идеализации, предложенной авторами [12].

Кроме того, с помощью полученных выражений (5) можно найти отношение напряжений на индуктивностях второго (исключая вторичную обмотку трансформатора связи) и первого контуров для сравнения с аналогичным показателем эффективности резонансного преобразования энергии в трансформаторе Тесла [8, 10].

Согласно определению и формул (5), находим, что

$$k = \frac{\text{def} \left| \frac{U_{L_2} = (\omega L_2 \cdot I_2)}{U_{L_{1T}} = (\omega L_{1T} \cdot I_1)} \right|}{U_{L_{1T}}} = k_{\text{тр}} \cdot Q_2, \quad (6)$$

где $U_{L_{1T,2}}$ – на индуктивностях $L_{1T,2}$,

соответственно, $k_{\text{тр}} = k_{12} \cdot \sqrt{\frac{L_{2T}}{L_{1T}}}$ – коэффициент трансформации, обусловленный явлением электромагнитной индукции, $Q_2 = \frac{\omega L_2}{R_2}$ – добротность второго контура, определяющая количественный вклад резонансных эффектов в процесс преобразования напряжений.

Отметим, что результат (6) полностью согласуется с качественной оценкой аналогичного показателя для трансформатора Тесла в работе [8] (прообраза рассматриваемого усилителя мощности), где, исходя из обобщения многочисленных экспериментальных данных, автор изобретения, делает вывод о том, что величина отношения индуктивного сопротивления вторичного контура к его активному сопротивлению определяет эффективность заявленного преобразователя напряжения. Этот вывод количественно согласуется с результатом исследований в [10]. Его также можно сформулировать и в

иных терминах, если учесть обратную пропорциональность резонансной частоты корню из произведения величин реактивных элементов. В этом случае отмеченное Н.Тесла отношение, так же как и добротность в выражении (6), будут равны отношению волнового сопротивления резонансного контура

– $Z_2 = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}}$ к его активному сопротивлению – R_2 .

В заключение подчеркнём, что обоснованная достоверность полученных зависимостей имеет особую значимость, так как они являются базовыми в дальнейшей работе, конечной целью которой является обоснование практической деятельности предложенного резонансного усилителя электрической мощности.

Выводы.

1. Получены базовые аналитические выражения для анализа электромагнитных процессов в схеме предлагаемого резонансного усилителя мощности их двух последовательных реактивно-активных индуктивно связанных контуров.

2. Найден коэффициент трансформации в виде соотношения, связывающего явление электромагнитной индукции и резонанса в функциональной зависимости от ключевых параметров предложенной схемы.

3. С помощью предельных переходов к соответствующим аналогам в авторитетных специальных публикациях показана достоверность найденных базовых аналитических зависимостей для возбуждаемых токов и напряжений.

4. Дальнейшие перспективы – аналитические исследования процессов с численными оценками с последующим переходом к экспериментам для обоснования практической дееспособности предложенного резонансного усилителя электрической мощности.

Список литературы

1. Ушаков В. Я. *Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты*. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 469 с.
2. Energy Technology Perspectives: Catalysing Energy Technology Transformations. OECD/IEA. Paris, 2017. 443 p.
3. Карпенков С. Х. *Концепции современного естествознания*. Учеб. для ВУЗов. 11 изд., перераб. и доп. Москва: Кнорус, 2009. 672 с.
4. Твайделл Дж., Уэйр А. *Возобновляемые источники энергии*. Пер. с англ. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 392 с.
5. Яворский В. Энергия из ниоткуда. *Наука и жизнь*. 1998. № 10. С. 78–79.
6. Lindemann P. A. *The Free Energy Secrets of Cold Electricity*. Clear Tech Inc., 2000. 132 p.
7. Эткин В. А. *Теоретические основы бесплодной энергетике*. Altaspera Publishing & Literary Agency Inc., Canada, 2013. 159 с.
8. Тесла Н. *Лекции и статьи*. Москва: Tesla Print, 2003. 386 с.
9. Ацюковский В. А. *Трансформатор Тесла: энергия из эфира*. Жуковский: ООО Петит, 2004. 24 с.
10. Батыгин Ю. В., Чапльгин Е. А., Шиндерук С. А., Сабокарь О. С. Резонанс во вторичном контуре трансформатора Тесла при возбуждении гармоническим напряжением. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: математичне моделювання в техніці та технологіях. № 30 (1252). 2017. С. 21–27.
11. Batygin Yu. V., Shinderuk S. A., Serikov G. S. The quantitative indices of the induction effects and the resonance phenomena in the

- Tesla transformer. *Danish Scientific Journal*, № 11–1, 2018, p. 72–79.
12. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В., Чечурин В. Л., *Теоретические основы электротехники*. 4-е изд. Том 1. СПб: «Питер», 2003. С. 317–318.
 13. Атабеков Г. И. *Основы теории цепей*. Учебник. 3-е изд. СПб: Лань, 2009. 432 с.
 14. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике (для научных работников и инженеров)*. Москва: Наука, 1973. 832 с.
 8. Tesla N. *Leksii i stat'* [Lectures and articles]. Moscow, Tesla Print Publ., 2003. 386 p.
 9. Atsyukovskiy V. A. *Transformator Tesla: energiya iz efira* [Tesla transformer: energy from ether]. Zhukovskiy: OOO Petit Publ., 2004. 24 p.
 10. Batygin Yu. V., Chaplygin E. A., Shinderuk S. A., Sabokar' O. S. Rezonans vo vtorichnom konture transformatora Tesla pri vzbuzhdenii garmonicheskimi napryazheniyami [Resonance in the secondary circuit of the Tesla transformer when excitation by the harmonic voltage]. *Visnik NTU «KhPI». Seriya: matematichne modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnologiyakh* [Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies]. № 30 (1252). 2017. pp. 21–27.
 11. Batygin Yu. V., Shinderuk S. A., Serikov G. S. The quantitative indices of the induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer. *Danish Scientific Journal*, № 11–1, 2018, pp. 72–79.
 12. Demirchyan K. S., Neyman L. R., Korovkin N. V., Chечурин V. L., *Теоретические основы электротехники* [Theoretical foundations of electrical engineering]. 4-е изд. Том 1. Saint Petersburg, Piter Publ., 2003. pp. 317–318.
 13. Atabekov G. I. *Osnovy teorii tsepey* [Fundamentals of circuit theory]. Ucheb. 3-е изд. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2009. 432 p.
 14. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov)* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 832 p.

References (transliterated)

1. Ushakov V. Ya. *Sovremennaya i perspektivnaya energetika: tekhnologicheskie, sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie aspekty* [Modern and future energy: technological, socio-economic and environmental aspects]. Tomsk, TPU Publ., 2008. 469 p.
2. Energy Technology Perspectives: Catalysing Energy Technology Transformations. OECD/IEA. Paris, 2017. 443 p.
3. Karpenkov S. Kh. *Kontseptsii sovremennogo estestvoznaniya* [Concepts of modern science]. Ucheb. dlya VUZov. 11 izd., pererab. i dop. Moscow, Knorus Publ., 2009. 672 p.
4. Tvyadell Dzh., Ueyr A. *Vozobnovlyаемые источники энергии* [Renewable Energy Resources]. Per. s angl. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 392 p.
5. Yavorskiy V. Energiya iz niotkuda [Energy out from “nowhere”]. *Nauka i zhizn'* [Science and life]. 1998. № 10. pp. 78–79.
6. Lindemann P. A. *The Free Energy Secrets of Cold Electricity*. Clear Tech Inc. Publ., 2000. 132 p.
7. Etkin V. A. *Teoreticheskie osnovy bestoplivnoy energetiki* [Theoretical Basis's of the Non-Fuel Power Engineering]. Altaspera Publishing & Literary Agency Inc., Canada, 2013. 159 s.

Поступила (received) 05.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the authors

Батигін Юрій Вікторович (Батыгин Юрий Викторович, Batygin Yuriy Victorovich) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри фізики, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>; e-mail: yu.v.batygin@gmail.com.

Шиндерук Світлана Олександрівна (Шиндерук Светлана Александровна, Shinderuk Svitlana Olexandrivna) – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри фізики, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>; e-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net.

Серіков Георгій Сергійович (Сериков Георгий Сергеевич, George Sergeevich Serikov) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри автомобільної електроніки, м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9578-1211>; e-mail: georgiy301212@gmail.com.