

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ОДНОПРОВОДНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Юферев Л.Ю.,
докт. техн. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, дом 5, Российская Федерация, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: leouf@yandex.ru

Повышение эффективности линий электропередачи – важное условие обеспечения сельскохозяйственных объектов электрической энергией. За время развития систем передачи электрической энергии появились линии постоянного тока, линии переменного напряжения промышленной частоты и линии переменного напряжения повышенной частоты. Автор рассматривает особенности работы систем передачи электрической энергии, разработанных Всероссийским институтом электрификации сельского хозяйства, по однопроводным линиям электропередачи, работающим на повышенной частоте в диапазоне 5-20 кГц. Показано, что система позволяет передавать электрическую энергию по одному проводу с возвратом через плохо проводящие грунты на повышенной частоте. При этом отметили, что для работы однопроводной системы электропередачи требуется организовывать заземление. Установили, что отличительной особенностью работы заземления на повышенной частоте является то, что, кроме проводимости грунта, работает также диэлектрическая проницаемость его слоев. Это позволяет уменьшить размеры заземлителей или передавать электрическую энергию через плохо проводящие грунты с небольшими потерями. Приведены расчеты эффективности передачи электрической энергии. Определили, что эффективность передачи электрической энергии мощностью 10 кВт на частоте 10 кГц через сухой кремнезем может составлять 96,5 процента, в то время как на частоте 50 Гц эффективность передачи будет стремиться к нулю. Провели оценку коррозионных повреждений стальных электродов, размещенных в электролите на токах различной частоты. Приведены результаты эксперимента по влиянию повышенной частоты на цепи заземлителей. Установили, что на повышенной частоте 2,6 и 100 кГц коррозия электродов уменьшается по сравнению с частотой 50 Гц на 15-20 процентов, а по сравнению с постоянным током – в 60 раз. Это позволяет использовать в качестве заземлителей однопроводной линии электропередачи не только специальные электроды, но и сельскохозяйственные объекты.

Ключевые слова: передача электрической энергии, сети повышенной частоты, однопроводная линия, заземление.

■ **Для цитирования:** Юферев Л.Ю. Особенности работы однопроводных электросетей повышенной частоты // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 14-19.

OPERATION PECULIARITIES OF SINGLE-WIRE HIGH FREQUENCY POWER TRANSMISSION LINES

Yuferev L.Yu.,
Dr. Sc. (Eng.)

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: leouf@yandex.ru

Increasing efficiency of power transmission lines is an important factor for providing agricultural objects with electric power. During the development power transmission systems, lines direct current, lines alternating voltage of industrial frequency and lines of alternating voltage high frequency have appeared. The author considers some features of operation power transmission systems over single-wire transmission lines operating at high frequency in range of 5-20 kHz. The system allows to transmit electrical energy on one wire with return through low-conductivity grounds due to the high frequency. To operate a single-wire power transmission system, it is necessary to arrange grounding. A distinctive feature work of grounding at a high frequency is that in addition to conductivity of soil, dielectric permittivity of soil layers also works. This makes it possible to reduce size of switches earthing or to transmit electrical energy through low-conductivity grounds with small losses. Calculations of efficiency of electric energy transfer are given. Efficiency of transmission electric power of 10 kW at a frequency 10 kHz through dry silica can be 96.5 percent. When the frequency is 50 Hz, so efficiency of transmission electric power will tend toward zero. Corrosion damages of the steel electrodes placed in an electrolyte on currents of various frequency were estimated. Effect of high frequency on circuit of grounding switches was studied. If the



high frequency equals 2.6 and 100 kHz, so the corrosion of electrodes decreases by 15-20 percent compared to the frequency of 50 Hz, and by 60 times in comparison with a constant current. Therefore as grounding conductors of a single-wire power line it is possible to use not only special electrodes, but also agricultural objects.

Keywords: Transmission of electrical energy; High-frequency networks (HF); Single-wire line; Grounding.

■ **For citation:** Yuferev L.Yu. Operation peculiarities of single-wire high frequency power transmission lines. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 4: 14-19. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-4-14-19. (In Russian)

За время эксплуатации силовых линий электропередач определились три ведущие типа сетей электроснабжения:

– сети переменного напряжения низкой частоты (НЧ, *LFAC*), 15-60 Гц, наибольшее распространение – 50/60 Гц;

– сети постоянного тока (*DC*, линии постоянного тока, ЛПТ);

– сети повышенной частоты (СПЧ, *HFAC*), 0,4-20 кГц, наибольшее распространение – 0,4/2,4 Гц.

Последние годы своей жизни М.О. Доливо-Добровольский, один из основоположников сетей НЧ переменного тока, был занят мыслью о передаче энергии на большие расстояния, применяя постоянный ток высокого напряжения. Свои взгляды по этому вопросу он изложил в обстоятельном докладе «О пределах возможности передачи энергии на расстояние переменным током», вызвавшем чрезвычайно оживленный, отчасти даже обостренный обмен мнениями.

В 1919 г. М.О. Доливо-Добровольский указывал, что при передаче энергии на большие расстояния, исчисляющиеся сотнями и тысячами километров, влияние емкости и самоиндукции линии электропередачи ограничит применимость переменных токов для этой цели. Доказывая преимущества подземных кабельных сетей перед воздушными для дальних электропередач, он указывал, что для этого случая еще более узки границы применимости переменного тока [1]. Современные исследования подтвердили преимущества линий постоянного тока *DC*:

– отсутствуют потери на излучение, так как электромагнитные волны излучает только проводник с переменным током;

– в сети нет реактивной (паразитной) мощности и, следовательно, исключены затраты на борьбу с ней, то есть нет коэффициента мощности и необходимости его улучшения;

– обеспечивается экономия на материалах опор и проводов для длинных ЛЭП.

Приведенная выше историческая справка кратко характеризует положение дел в течение последнего века – монопольное положение в большинстве областей остается за сетями *AC* 50/60 Гц. Однако в последнее десятилетие, согласно предсказанию М.О. Доливо-Добровольского, наблюдается переход к *DC* в областях длинных подводных, подземных ЛЭП [2]. Также *DC*-сети успешно применяют-

ся в специальных целях – локальные промышленные (заводские), бортовые, контактные, транспортные сети. На средних длинах ЛЭП *LFAC* характеризуются меньшими затратами и большими габаритами и материалоемкостью (при попытках снизить габариты преобразователей за счет импульсной техники остаются проблемы синхронизации, реактивной мощности, высших гармоник). Современные линии *DC* на средних длинах ЛЭП имеют наилучшие технические характеристики (ТХ), но и наибольшие затраты.

Рост цен на металлы, развитие возобновляемой энергетики, ужесточение экологических и сетевых нормативов требуют высоких технических характеристик сети при приемлемой стоимости. Пример – имеющееся в мире число ПК не могло бы быть достигнуто при использовании 50 Гц блоков питания, так как для этого не хватило бы мировых запасов меди и железа. Именно этот компромисс позволяют обеспечить сети повышенной частоты (СПЧ, *HFAC*) в области малых длин ЛЭП. Обеспечивая, аналогично *LFAC* и *DC*, высокий КПД ЛЭП за счет высокого напряжения, СПЧ так же просты и экономичны, поскольку сохраняются трансформаторные преобразователи малых габаритов и материалоемкости из-за высокой частоты, отсутствуют сложные конверторы *AC/DC/AC*, *DC/AC/DC*. Трансформаторный преобразователь более надежен по сравнению с импульсным преобразователем (ИП).

Впервые сеть повышенной частоты была внедрена советскими авиаконструкторами КБ Мясищева как бортовая сеть 400 Гц 208/120 В для снижения веса самолета М-50 [3]. СПЧ получили развитие во второй половине XX века [4].

При получении энергии из других видов сетей можно использовать резонансные и ШИМ-генераторы. Проблемы СПЧ – излучение, согласование нагрузки – или успешно решаются, например, благодаря бесконтактной передаче электроэнергии компании *VAHLE*, или незначительны при малой площади сети. Наряду с этим СПЧ имеет уникальную возможность, которой лишены *LFAC* и *DC*-сети, – передачу энергии через различные объекты и среды (вакуум, проводники, диэлектрики, полупроводники, магнетики и др.). При высокой частоте работают оба типа проводимости – активная и реактивная, характерные для реальной среды (зем-

ли, воды и др.). Это позволяет строить эффективные однопроводные ЛЭП с возвратом через землю (ОЛВЗ/SWЕР) или использовать в качестве тоководов и заземлителей СПЧ различные объекты – трубопроводы, электроды станций катодной защиты (СКЗ), контуры заземления зданий и др. Кроме стандартных глубинных могут быть задействованы поверхностные площадные заземления и передача энергии с помощью резонансной однопроводной системы (РОС), разработанной в ВИЭСХ, через плохо проводящие грунты [5-7].

Многофункциональность заземлителей снижает материалоемкость системы.

СПЧ ОЛВЗ имеет максимальную эффективность среди однопроводных ЛЭП всех типов [7, 8].

Используемые многие десятилетия однопроводные системы 60 Гц (>300 кВА, >80 кВ, >200 тыс. км) эффективны только для хорошо проводящих почв и при высококачественном заземлении, например, экстрзаглубление для сухих почв в Австралии. В однопроводных ЛПТ требования к заземлению еще более высоки: катод – медь, анод – графит или титан. Все эти меры, применяемые в обычных системах НЧЛЭП и ЛПТ, не позволяют достичь таких высоких КПД как для ОЛВЗ повышенной частоты. Причина эффективности ОЛВЗ СПЧ заключается в том, что с повышением частоты сопротивление диэлектрических компонентов почвы падает.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – исследование влияния переменного напряжения повышенной частоты на эффективность передачи электрической энергии через плохо проводящие грунты и коррозию заземлителей в однопроводной линии электропередачи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Классическая формула сопротивления среды R между двумя шаровыми электродами радиуса, погруженными в безграничную однородную среду с удельной электропроводностью, показывает, что сопротивление не зависит от расстояния между электродами даже для постоянного тока [9]:

$$R = \frac{u}{i} = \frac{1}{2\pi a \lambda}$$

где u – напряжение, a – радиус, λ – электропроводность между электродами.

В реальности это невыполнимо из-за наличия в Земле мощных слоев диэлектриков с $\lambda = 0$. Это гравий, пески, граниты, сухие почвы и др. Именно поэтому для НЧЛЭП и ЛПТ однопроводные системы сталкиваются с проблемами « λ почвы и качества заземления». РОС повышенной частоты с ростом частоты перестает зависеть от этого параметра.

Ниже приведен пример однопроводной линии, которая из-за наличия диэлектрического пласта (например, кремнезема, пески SiO_2) не будет работать как однопроводная ЛЭП 50Гц или ЛПТ, но

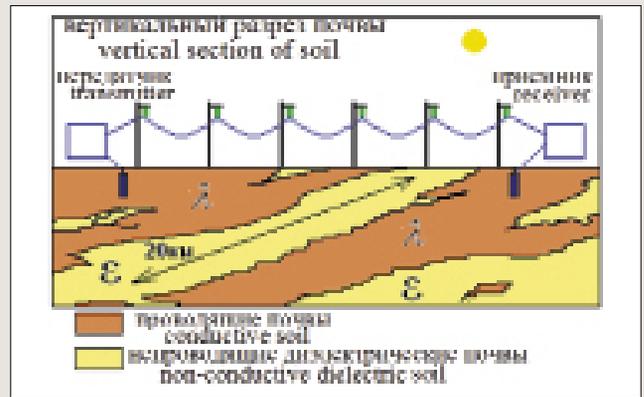


Рис. 1. Принцип передачи электроэнергии по одному проводу через непроводящие грунты

Fig. 1. Principle of single-wire electricity transmission through non-conductive grounds

сможет функционировать как ЛПЧ [10]. Рассмотрим пример, включающий мощную прослойку полностью непроводящего ($\lambda > 0$, гранит, песок и т.п.) диэлектрика между электродами заземления приемника и передатчика (рис. 1).

Сопротивление грунта для случая НЧ и ЛПТ ЛЭП равно:

$$R = \frac{1}{2\pi a \lambda}$$

Для диэлектрика (кремнезем сухой) $\lambda = 0$; $R = \infty$, то есть линия не проводит энергию. При этом КПД линии равен 0%.

Сопротивление грунта для случая ВЧ ЛЭП (ВЧ РОС, СПЧ):

$$X_c = \frac{1}{4\pi^2 a f \epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{4\pi^2 20000 \text{ м} \cdot 10000 \text{ Гц} \cdot 4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}} \approx 3,5 \text{ Ом},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость;

f – рабочая частота, при этом для кремнезема использованы величины: $\epsilon = 4$; $f = 10$ кГц; $a = 20$ км.

Потери для линии 30 км, 10 кВт, 1 кВ составляют: $P_{\text{п}} = I^2 R = (P/U)^2 R \approx (10000 \text{ Вт}/1000 \text{ В})^2 \cdot 3,5 \text{ Ом} = 350 \text{ Вт}$.

КПД линии равен 96,5% (350 Вт/10000 Вт), если учитывать только реактивную проводимость. Но в реальности прибавится обычная активная проводимость, в том числе проводимость электролитов почвенных вод, при этом КПД растет [11].

Уточняющие расчеты могут быть проведены с помощью классической физики, где среда моделируется несовершенными магнетиками и диэлектриками, то есть обладает комплексными диэлектрическими и магнитными проницаемостями. Конечно, в окружающем физическом мире все величины реальные, и комплексный подход – это только удобный математический метод, позволяющий одновременно рассчитывать оба типа проводимости – ак-



тивную и реактивную, так как они входят в одно комплексное число как его реальная и мнимая части [12]. Метод предложен А. Прессом в 1922 г. и применяется до настоящего времени. Для линий с возвратом тока через землю теоретический расчет проводимости земли, в том числе с применением ПО, очень сложен, так как параметры среды неравномерно распределены и нестационарны. Уровень сложности расчета аналогичен расчету в магнито- и электроразведке и расчету проводимости и проницаемости плазмы, поэтому необходим эксперимент.

Результаты и обсуждение. Проблема коррозии заземляющих электродов уменьшается или вообще устраняется благодаря высокой частоте напряжения линии. Таким образом, заземлители имеют две функции: электродов в цепи постоянного тока СКЗ и заземлителей в высокочастотной цепи однопроводной ЛЭП. При этом через такой электрод будет протекать высокочастотный ток с нулевой гармоникой (постоянная составляющая), не равной нулю и создающей невысокие постоянные потенциалы на электроде (доли и единицы вольт). Высшие гармоники также не равны нулю и могут превышать нулевую гармонику, но на процессы коррозии они не влияют вследствие высокой частоты. Это подтверждается теорией электролитов [13]. Эффект роста проводимости с повышением частоты (эффект Дебая-Фалькенгагена) обусловлен уменьшением колебания ионов и двух основных эффектов, ответственных за потери в среде и, следовательно, за падение проводимости: электрофоретического эффекта и эффекта асимметрии (релаксации). Электрофоретический эффект обусловлен тем, что навстречу катиону движутся ионы ионной атмосферы, несущие с собой сольватирующие их молекулы растворителя, что создает дополнительное торможение движения центрального иона, сравнимое с ростом вязкости среды [13, 14].

Эффект релаксации – это эффект инерции иона, обусловленной наличием ионной атмосферы и ее инерционностью. При движении центрального иона, например положительного катиона, его отрицательная ионная атмосфера теряет свою шаровидность и становится несимметричной. В покинутой части ионной атмосферы будет преобладать отрицательный заряд, тормозящий движение катиона.

Дополнительно росту проводимости, а значит и уменьшению колебаний ионов, способствует эффект Вина: чем больше напряжение, тем лучше проводимость [13].

В физике данные эффекты могут быть представлены упрощенно: при относительно невысоких токах и напряжениях реактивная емкостная проводимость диэлектриков и электролитов растет, так как она прямо пропорциональна частоте $1/X_c = 2\pi fC$.

Этот рост обусловлен уменьшением периода ко-

лебаний заряженных частиц и, следовательно, сокращением активных потерь при возрастающей частоте.

Ток повышенной частоты не влияет на движения заряженных частиц, которые и определяют коррозионные и антикоррозионные процессы. Наоборот, возможен обратный эффект – затруднение движения заряженных частиц, как полярных, так и неполярных, а следовательно, замедление коррозии. Согласно принципу наименьшей энергии, частице «невыгодно» тратить энергию на дополнительное движение, так как она уже вовлечена в периодическое высокочастотное движение (колебание) электромагнитной волной, передающей энергию через среду. Здесь уместна аналогия с грузом маятника Капицы-Арцимовича, который не идет вниз, так как вовлечен в реактивный циклический обмен энергии с генератором.

Для подтверждения полученных выше данных проведены оценки коррозионных повреждений стальных электродов, размещенных в электролите на токах различной частоты. Электролит – 5-10-процентный раствор соли в воде (рис. 2, 3). Для генерации переменного биполярного напряжения использованы мостовые инверторы (форма сигнала напряжения – биполярные прямоугольники). Максимальный ток во всех режимах для всех частот достигает 8-10 мА при отсутствии соли в воде. В соляном растворе напряжение настроено так, чтобы величина рабочих токов составляла 60-80 мА.

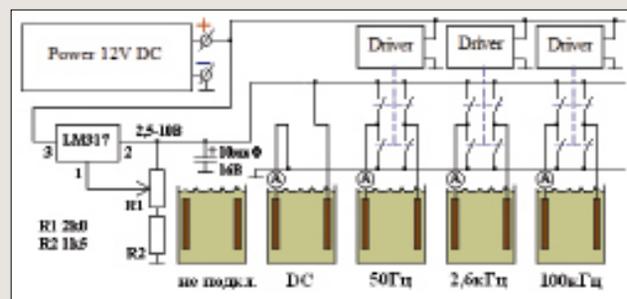


Рис. 2. Схема установки для испытания электродов
Fig. 2. Electrode testing unit

На основе экспериментальной проверки установлено, что электроды, размещенные в растворе электролита без подключения к генератору напряжения, уменьшили свою массу на 0,3%. В случае подключения к источнику постоянного напряжения катод увеличил массу на 1%, анод уменьшил массу на 35%. При подключении электродов к переменному напряжению масса электродов становится легче в среднем на 1-1,5%.

В результате экспериментов было установлено, что на повышенной частоте 2,6 и 100 кГц разница в коррозии электродов уменьшается на 15-20% по сравнению с частотой 50 Гц, а по сравнению с по-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОДОВ ELECTRODE TEST RESULTS										
Режим проверки (частота тока) Test mode (current frequency)	Не подключены Not connected		DC		47,98 Гц / Hz		2,6 кГц / kHz		100,7 кГц / kHz	
Ток и напряжение, мА/ В Current and voltage, mA/V	–		65/1,57		80/1,60		82/1,35		60/1,32	
Масса электродов, г: Electrodes weight, g m_0 до эксперимента m_0 before the experiment (22.05.14)	108,53	108,76	72,08	79,09	76,61	85,44	73,40	82,30	69,56	78,14
m_1 после эксперимента m_1 after experiment (17.06.14)	108,67	108,91	67,03	81,66	76,63	85,72	73,36	82,61	69,65	78,23
$\Delta m_1 = m_1 - m_0$	0,14	0,15	-5,05	2,57	0,02	0,28	-0,04	0,31	0,09	0,09
m_2 после эксперимента после очистки m_2 after the experiment after cleaning (17.06.14)	108,22	108,44	46,75	79,17	76,22	84,98	73,01	81,92	69,20	77,79
$\Delta m_2 = m_2 - m_0$	-0,31	-0,32	-25,33	0,08	-0,39	-0,46	-0,39	-0,38	-0,36	-0,35



Рис. 3. Генераторы и размещение электродов в течение эксперимента

Fig. 3. Generators and placement of electrodes during the experiment

стоянным током – в 60 раз (таблица). Следовательно, повышенная частота не усиливает коррозионные процессы (рис. 3-5). Для уменьшения металлоемкости однопроводной системы электроснабжения можно использовать как заземляющие электроды, так и непосредственно сельскохозяйственные объекты, например трубопроводы.

Выводы. Применение повышенной частоты для передачи электрической энергии позволяет исполь-



Рис. 4. Взвешивание и сушка электродов

Fig. 4. Weighing and drying electrodes



Рис. 5. Разрушение положительного электрода при постоянном токе

Fig. 5. Destruction of positive electrode on a direct current

зовать контуры заземления зданий и других объектов в качестве заземлителей в однопроводных си-



стемах передачи электрической энергии без увеличения коррозионных потерь. При передаче электрической энергии на повышенной частоте до 10 кГц эффективность передачи электрической энергии че-

рез сухой кремнезем составляет 96%. Одновременно с этими преимуществами применение систем повышенной частоты позволяет снизить затраты вследствие снижения массы и габаритов оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Люди русской науки: Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники / Под ред. С.И. Вавилова. М., Л.: Гос. изд-во техн.-теоретической литературы. 1948.
2. Терентьев И.Э., Шадрина Н.О., Уфа Р.А. Анализ технологий высоковольтной передачи энергии постоянным током (ВППТ). Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. URL: <https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/12905.pdf> (дата обращения – 26.08.2017).
3. Козлов П.Я. Конструктор. М.: Машиностроение, 1989. С. 9-10.
4. Львов А.П. Электрические сети повышенной частоты. М.: Энергоиздат, 1981. 104 с.
5. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи электрической энергии. М.: ВИЭСХ, 2013. 584 с.
6. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Трубников В.З. Резонансная система передачи электрической энергии // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы Всероссийской научно-

- технической конференции. Томск, ТПУ, 2010. С. 205-207.
7. Юферев Л.Ю., Рошин О.А., Александров Д.В., Соловьев А.В. Исследование резонансной системы передачи электроэнергии на повышенной частоте // Альтернативная энергетика и экология. 2014. N8 (148). С. 89-93.
8. Юферев Л.Ю., Рошин О.А., Александров Д.В. Основные проблемы и их устранение при проектировании РОС // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. N1 (3). С. 18-24.
9. Калашников С.Г. Электричество. М.: Физматлит, 2004. 624 с.
10. Александров Д.В., Юферев Л.Ю. Возможность применения резонансной системы электропитания для катодной защиты // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. N2 (2). С. 46-53.
11. Флоренский П.А. Диэлектрики и их техническое применение. М.: Р.И.О. Главэлектро ВСНХ, 1924. С. 206.
12. Скорчелетти В.В. Теоретическая электрохимия. Л.: Госхимиздат, 1963. 610 с.
13. Эткин П. Физическая химия. Т. 2. М.: Мир, 1980. 584 с.

REFERENCES

1. Lyudi russkoy nauki: Ocherki o vydayushchikhsya deyatelyakh estestvoznaniya i tekhniki [People of the Russian science: Stories about outstanding figures of natural sciences and engineering]. Editor S.I. Vavilov. Moscow, Leningrad: Gos. izd-vo tekhn.-teoreticheskoy literatury. 1948. (In Russian)
2. Terent'ev I.E., Shadrina N.O., Ufa R.A. Analiz tekhnologiy vysokovol'tnoy peredachi energii postoyannym tokom (VPPT) [Analysis of HVDC system]. National Research Tomsk Polytechnic University, 2013. URL: <https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/12905.pdf> (accessed 26.08.2017). (In Russian)
3. Kozlov P.Ya. Konstruktor [Design engineer]. Moscow: Mashinostroenie, 1989: 9-10. (In Russian)
4. L'vov A.P. Elektricheskie seti povyshennoy chastoty [High-frequency networks]. Moscow: Energoizdat, 1981: 104. (In Russian)
5. Strebkov D.S., Nekrasov A.I. Rezonansnye metody peredachi elektricheskoy energii [Resonant methods of electric energy transfer]. Moscow: VIESKh, 2013: 584. (In Russian)
6. Strebkov D.S., Nekrasov A.I., Trubnikov V.Z. Resonant system of electric energy transfer. Elektroenergiya: ot polucheniya i raspredeleniya do effektivnogo ispol'zovaniya: Materialy Vserossiyskoy nauchno- tekhnicheskoy konferentsii.

- Tomsk, TPU, 2010. S. 205-207. (In Russian)
7. Yuferev L.Yu., Roshchin O.A., Aleksandrov D.V., Sokolov A.V. Research of resonant system of transfer of the electric power at an increased frequency. *Alt'ernativnaya energetika i ekologiya (ISJAE)*. 2014; 8 (148): 89-93. (In Russian)
8. Yuferev L.Yu., Roshchin O.A., Aleksandrov D.V. Main problems and elimination of them at resonant single-wire transmission system design. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2013; 1 (3): 18-24. (In Russian)
9. Kalashnikov S.G. Elektrichestvo [Electricity]. Moscow: Fizmatlit, 2004: 624. (In Russian)
10. Aleksandrov D.V., Yuferev L.Yu. Possibility of use of resonant power supply system for cathode protection. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2012; 2 (2) 46-53. (In Russian)
11. Florenskiy P.A. Dielektriki i ikh tekhnicheskoe primenenie [Dielectrics and technical application of them]. Moscow: R.I.O. Glavelektro VSNKh, 1924: 206. (In Russian)
12. Skorcheletti V.V. Teoreticheskaya elektrokhiimiya [Theoretical electrochemistry]. Leningrad: Goskhimizdat, 1963: 610. (In Russian)
13. Etkins P. Fizicheskaya khimiya [Physical chemistry]. Vol. 2. Moscow: Mir, 1980: 584. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.