

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

---

---

**Ф.Ф. МЕНДЕ**

*доктор техн. наук, директор*

*E-mail: mende\_fedor@mail.ru*

*НИИ Криогенного приборостроения*

*Физико-технический институт низких температур им Б.И. Веркина НАН Украины*

*Харьков, Украина*

**А.С. ДУБРОВИН,**

*доктор техн. наук, акад. РАН, профессор*

*E-mail: asd\_kiziltash@mail.ru*

*ФКОУ ВПО Воронежский институт*

*ФСИН России*

*г. Воронеж, Российская Федерация*

## **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕНДЕ - ДУБРОВИНА**

*С энергетической точки зрения самым выгодным способом передачи больших объемов электроэнергии на большие расстояния является передача ее на постоянном токе. Однако до настоящего времени не существует таких генераторов постоянного тока, которые способны генерировать необходимый уровень мощности при заданных напряжениях. В статье эта проблема решена. В основу решения проблемы положен закон емкостной параметрической индукции.*

**Ключевые слова:** ток, напряжение, емкость, емкостная параметрическая индукция, генератор постоянного тока, трансформатор постоянного напряжения, водяной насос.

**F.F. MENDE**

*Doctor of Techn. Sciences, Director*

*Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature*

*Physics and Engineering NAS Ukraine*

*Kharkov, Ukraine*

*E-mail: mende\_fedor@mail.ru*

**A.S. DUBROVIN,**

*Doctor of Techn. Sciences, Professor*

*E-mail: asd\_kiziltash@mail.ru*

*FKOU VPO Voronezh Institute*

*of Russian Federal Penitentiary Service*

*Voronezh, Russian Federation*

## **MENDE - DUBROVINA HIGH-VOLTAGE GENERATOR OF CONSTANT CURRENT**

*From the energy point of view, the most profitable way to transfer large volumes of electricity over long distances is to transmit it on a direct current. However, up to the present time, there are no such DC generators that are capable of generating the required power level at given voltages. In the article, this problem is solved. The basis for the solution of the problem is the law of capacitive parametric induction.*

**Key words:** current, voltage, capacitance, capacitive parametric induction, direct current generator, constant voltage transformer, water pump.

## 1. Введение

Энергетические электрические системы включают генератор электрической энергии (далее генератор) и линию электропередачи (ЛЭП). Поскольку передачу электроэнергии на большие расстояния осуществляют при помощи высоковольтных ЛЭП, а генераторы имеют низкое выходное напряжение, промежуточным звеном между генератором и ЛЭП является высоковольтный повышающий трансформатор. Все указанные элементы имеют энергетические потери, и их учет показывает, что в эти потери могут доходить до 30 % процентов. Следовательно, очень важным является вопрос снижения этих потерь.

В основном, ЛЭП служат для передачи переменного тока, однако линии постоянного тока имеют меньшие потери на емкостную и индуктивную составляющие. Поэтому ЛЭП на постоянном токе строят в том случае, когда нужно передавать особо большие объемы электроэнергии. В СССР было построено несколько линий электропередачи постоянного тока: Высоковольтная линия постоянного тока Москва–Кашира –Проект «Эльба»; Высоковольтная линия постоянного тока Волгоград–Донбасс; Высоковольтная линия постоянного тока Экибастуз–Центр и др.

Существенной проблемой создания энергетических систем на постоянном токе является отсутствие генераторов, которые непосредственно генерируют постоянное напряжение заданной величины с необходимым уровнем мощности. Поэтому приходится вначале вырабатывать электроэнергию на переменном токе при низких напряжениях, затем, используя высоковольтные трансформаторы, повышать напряжение и далее при помощи высоковольтных выпрямителей вырабатывать постоянный ток. Все эти промежуточные звенья имеют энергетические потери, что является основной проблемой таких систем.

Из сказанного следует, что важной проблемой современной электроэнергетики является создание высоковольтных генераторов постоянного тока, которые сразу могут генерировать напряжение заданной величины при необходимых уровнях мощности. До настоящего времени такие генераторы не созданы.

## 2. Принцип действия высоковольтного генератора постоянного тока

Если имеется конденсатор, емкость которого  $C$ , и этот конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U$ , то энергия, накопленная в нем, определяется соотношением

$$W_c = \frac{1}{2} CU^2. \quad (2.1)$$

А заряд  $Q$ , накопленный в емкости, равен

$$Q_{c,U} = CU. \quad (2.2)$$

Из соотношения (2.2) видно, что если в единичной емкости заряд оставить неизменным, то напряжение на ней можно изменять путем изменения самой емкости. В этом случае выполняется соотношение

$$Q_{c,U} = CU = C_0 U_0 = \text{const},$$

где  $C$  и  $U$  – текущие значения, а  $C_0$  и  $U_0$  – начальные значения этих параметров.

Напряжение на емкости и энергия, накопленная в ней, будут при этом определяться соотношениями [1...4]:

$$U = \frac{C_0 U_0}{C} = K U_0, \quad (2.3)$$

$$W_c = \frac{1}{2} \frac{(C_0 U_0)^2}{C}. \quad (2.4)$$

Коэффициент

$$K = \frac{C_0}{C} \quad (2.5)$$

может быть назван коэффициентом умножения (трансформации) постоянного напряжения.

Схема трансформатора напряжения, реализующая рассмотренный принцип, представлена на рисунке 1.

В данной схеме к переменному конденсатору посредством диода подключен источник постоянного напряжения  $U_0$ .

Приращение напряжения, которое может обеспечить такой трансформатор, определяется из соотношения

$$\Delta U_c = \left( \frac{C_0}{C} - 1 \right) U_0. \quad (2.6)$$

Как следует из соотношений (2.3) и (2.4) при уменьшении емкости конденсатора на нем увеличивается не только напряжение, но и энергия, накопленная в нем.

Следует отметить, что такой трансформатор может работать только в режиме повышения

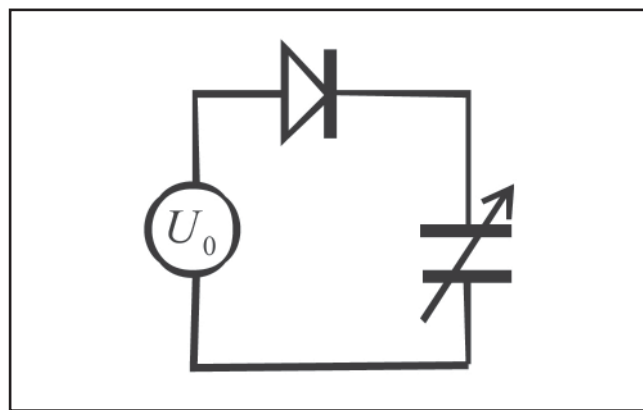


Рис. 1. Схема трансформатора постоянного напряжения

напряжения, т.к. при попытке получить уменьшенные напряжения на конденсаторе это сделать не удастся по той причине, что диод обеспечивает прямое подключение источника напряжения к конденсатору и поэтому напряжение на конденсаторе уменьшиться не может.

Приращение энергии, накопленной в конденсаторе, при изменении его емкости определяется из соотношения

$$\Delta W_c = \frac{1}{2}(C_0 U_0)^2 \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right). \quad (2.7)$$

При механическом изменении емкости конденсатора, указанное приращение энергии обеспечивает внешний механический источник энергии,

Свойства трансформатора постоянного напряжения можно использовать для создания высоковольтного источника постоянного тока, схема которого приведена на рисунке 2.

В данной схеме присутствует еще один диод, дополнительный компенсирующий источник напряжения и нагрузочное сопротивление  $R$ . Сразу укажем, что в качестве дополнительного источника напряжения следует использовать аккумулятор с малым внутренним сопротивлением. Рассмотрим циклы работы такого источника.

В исходном состоянии емкость конденсатора равна  $C_0$ , а напряжение на нем равно  $U_0$ . При этом энергия, полученная конденсатором от правого источника напряжения, составляет

$$W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2. \quad (2.8)$$

В этом состоянии схема сбалансирована, и ток во всех ее контурах отсутствует. Но как только емкость конденсатора начнет уменьшаться, на нем появится дополнительное напряжение, заданное соотношением (2.5). Полярность этого напряжения будет обратна полярности правого источника. Это дополнительное напряжение через правый диод поступает в цепь, состоящую из источника напряжения  $U_0$ , а также нагрузочного сопротивления  $R$  и через нагрузочное

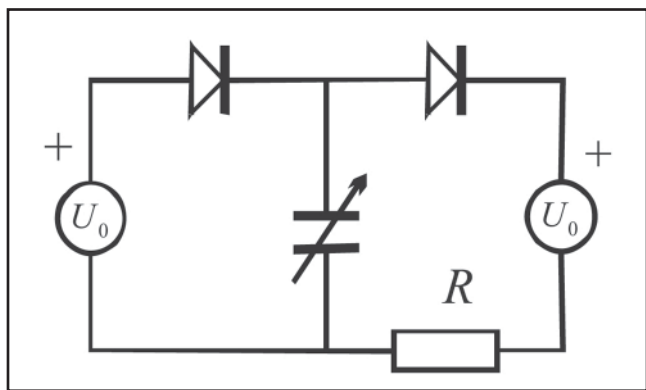


Рис. 2. Схема высоковольтного источника постоянного тока

сопротивление потечет ток. Этот ток будет течь до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не сравняется с напряжением на правом источнике. Энергия, выделенная при этом на нагрузочном сопротивлении, определяется соотношением (2.7). Для расчета КПД такого процесса, нужно сравнить энергию, израсходованную правым источником напряжения на зарядку конденсатора и энергию, выделенную на нагрузочном сопротивлении. В данном случае КПД определяется как отношение соотношений (2.8) и (2.7).

$$\text{КПД} = \frac{\Delta W_c}{W_0} = \left( \frac{C_0}{C} - 1 \right) 100 \%. \quad (2.9)$$

В следующем цикле происходит увеличение емкости конденсатора от значений  $C$  до значений  $C_0$ . Но напряжение на нем не может быть меньше чем  $U_0$ , поэтому левый источник напряжения начинает заряжать увеличивающуюся емкость. И к моменту, когда величина емкости достигнет значения  $C_0$ , напряжение на ней будет равно  $U_0$ . Во время этого цикла левый источник напряжения повторно израсходует энергию, определяемую соотношением (2.8). При этом полный цикл завершится и система вернется в исходное состояние.

Следует отметить, что генератор успешно работает и без правого компенсирующего источника напряжения. При этом ток правого источника напряжения течет через нагрузочное сопротивление и при обратном цикле, однако это на коэффициент полезного действия генератора практически не сказывается, поскольку напряжение указанного источника значительно меньше, чем напряжение, генерируемое генератором.

Принцип действия рассмотренного генератора подобен принципу действия клапанного водяного насоса, схема которого представлена на рисунке 3.

При перемещении поршня вниз левый выпускной клапан открывается, и вода засасывается в полость насоса. При перемещении поршня вверх вода через правый выпускной клапан выбрасывается наружу.

Роль клапанов в схеме описанного генератора играют диоды, а роль цилиндра сдвигающим поршнем выполняет переменный конденсатор.

Из этого следует, что основной проблемой создания предлагаемого генератора является разработка механически управляемого конденсатора с переменной емкостью, большими значениями начальной и конечной емкости и с большим коэффициентом перекрытия этих значений. Этот вопрос можно решить путем использования технологии создания керамических конденсаторов, когда в качестве диэлектрика между обкладками конденсатора используется титанат бария, имеющий очень большую диэлектрическую проницаемость. Конструкция такого конденсатора изображена на рисунке 4.

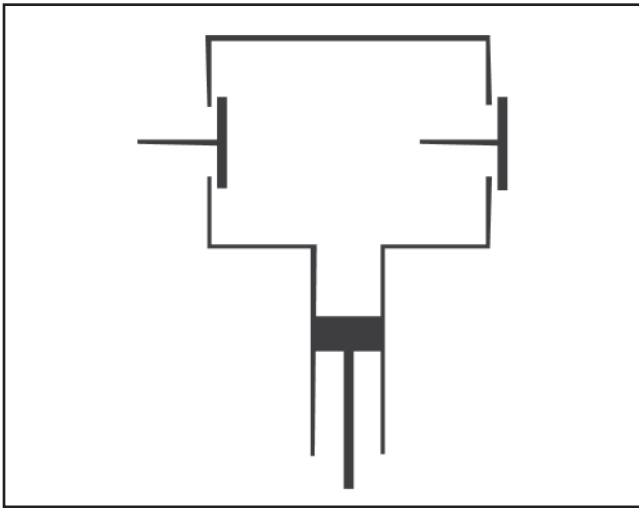


Рис. 3. Схема клапанного водяного насоса

Конденсатор состоит из двух металлических секторов круга, насаженных на ось. Одна пара секторов неподвижна, а вторая вращающаяся. На сектора неподвижной пары нанесен слой титаната бария (черная полоса на правой паре). Зазор между слоем титаната бария и сопредельной парой секторов должен составлять несколько микрон. При такой конструкции конденсатора отношение максимальной и минимальной емкости может составлять величину порядка 100. Генератор может быть и многосекционным, как показано на рисунке 5.

Рассчитаем практическую конструкцию генератора со следующими параметрами: напряжение источника напряжения  $U_0 = 1000$  В; диаметр вращающихся секторов  $D = 1$  м; зазор между слоем титаната бария и сопредельным сектором  $d = 1$  мкм; количество секций  $N = 50$ , скорость вращения ротора  $n = 1000 \frac{1}{с}$  (такая скорость вращения соответствует скорости 60 000 об/мин). Если считать, что одна секция, включающая сектор статора и ротора занимает 5 см, то длина такого генератора буде около 2,5 м.

Емкость между секторами ротора и статора будем рассчитывать по формуле для плоского конденсатора

$$C_s = \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (2.10)$$

где  $S$  – площадь пластин;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость воздуха;  $d$  – расстояние между пластинами конденсатора.

В соотношении (2.10) в качестве диэлектрической проницаемости может быть взята диэлектрическая проницаемость вакуума, т.к. этот параметр для воздуха и вакуума близки по величине. В качестве расстояния между пластинами следует взять расстояние между слоем титаната бария и сопредельным вращающимся сектором. Такое допущение оправдано, поскольку диэлектрическая проницаемость бария на несколько порядков превышает диэлектрическую проницаемость воздуха.

Учитывая (2.10), находим максимальную суммарную емкость между статором и ротором генератора:

$$C_0 = \varepsilon \frac{\pi N D^2}{4d}. \quad (2.11)$$

В данном соотношении взято удвоенное количество секций, поскольку в каждой секции слой титаната бария расположен по обе стороны сектора ротора. Учитывая (2.4), (2.5), (2.8) и (2.11), находим энергию, которую вырабатывает генератор за один оборот ротора

$$W = \frac{\pi \varepsilon K N D^2 U_0^2}{8d}. \quad (2.12)$$

Умножая соотношение (2.12) на удвоенное количество оборотов ротора за секунду, получаем значение мощности генератора

$$P = \frac{\pi \varepsilon n K N D^2 U_0^2}{4d} = 2,8 \times 10^6 \text{ Вт} = 2,8 \text{ МВт}. \quad (2.13)$$

В приведенной формуле взято удвоенное количество оборотов, поскольку перекрытие секторов статора и ротора происходит дважды за один оборот.

КПД генератора, вычисленное по формуле (2.9), составляет 10 000 %, т.е. вырабатываемая генератором мощность несоизмеримо больше, чем мощность, потребляемая от источника постоянного напряжения.

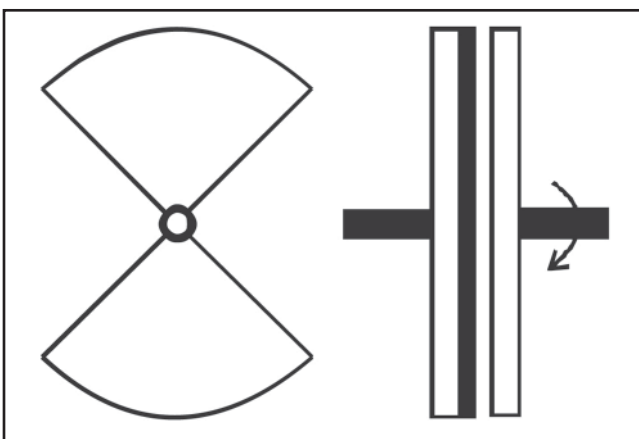


Рис. 4. Конструкция конденсатора

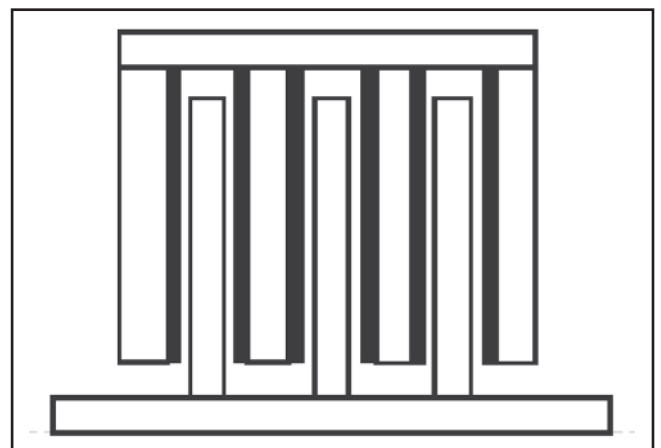


Рис. 5. Секционный генератор

Выходное напряжение, которое вырабатывает такой генератор, вычисленное по формуле (2.3) равно 100 кВ. Именно такое напряжение будет развиваться между статорными и роторными секторами, когда емкость между ними будет минимальна. Чтобы при этом избежать электрического пробоя между ротором и статором, желательно во внутреннюю полость генератора нагнетать воздух или другой газ под высоким давлением.

Рассмотренный тип генератора обладает еще и тем преимуществом, что он может непосредственно сопрягаться с осью газовых турбин, не требуя редуктора, что упрощает систему и увеличивает КПД.

Проведенные расчеты показывают принципиальную возможность создания высокоэффективного генератора постоянного тока. Однако на пути создания генератора такой конструкции имеются существенные технологические трудности. Они связаны с тем, что при последовательной сборке секций генератора трудно обеспечить микронные точности. Более рациональной в этом отношении является цилиндрическая конструкция генератора, механическая схема которого приведена на рисунке 6.

Конструкция генератора состоит из цилиндрического статора, во внутренней части которого имеются углубления. На цилиндрическую часть ротора нанесены слои титаната бария. Толщина этих слоев такова, что они образуют очень малый зазор между ротором и статором. При обработке ротора, его диаметр, включая слои титаната бария, выполняется с небольшим припуском. После последующей притирки зазор между слоями титаната бария и статором может быть практически нулевым. В такой конструкции коэффициент перекрытия может достигать значений порядка 10 000. Этот коэффициент рассчитывается как отношение двух расстояний. Первым из них является максимального расстояния между статором и ротором, когда тело

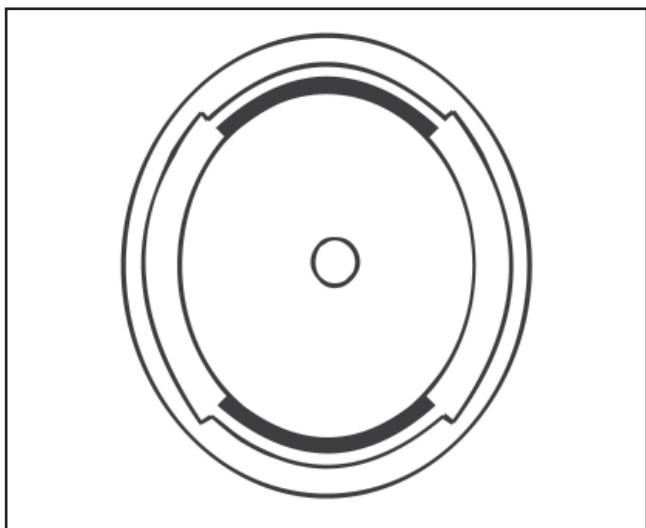


Рис. 6. Механическая схема цилиндрического генератора

статора, не покрытое титанатом бария, находится напротив углубления в статоре. Вторым расстоянием является минимальный зазор между слоем титаната бария и телом статора. Для получения коэффициента перекрытия, равного 10 000, необходимо, чтобы глубина углубления в теле статора составляла не менее 10 мм.

Рассчитаем практическую конструкцию генератора со следующими параметрами: напряжение источника напряжения  $U_0 = 100$  В; диаметр ротора  $D = 0,5$  м; зазор между слоем титаната бария и статором  $d = 1$  мкм; скорость вращения ротора  $n = 500 \frac{1}{с}$  (такая скорость вращения соответствует скорости 30 000 об/мин); длина генератора  $L = 2$  м.

При указанных параметрах энергия, вырабатываемая генератором за один оборот, составит

$$W = \frac{\pi \varepsilon K D L U_0^2}{4d}.$$

А мощность генератора составит

$$P = \frac{\pi \varepsilon n K D L U_0^2}{2d}. \quad (2.14)$$

При записи этой формулы учтен тот факт, что за один оборот ротора происходит два цикла изменения емкости между ротором и статором.

Подстановка заданных параметров в формулу (2.14) дает мощность 1,48 МВт.

КПД генератор, вычисленное по формуле (2.9), составляет 10 000 %. Это означает, что практически вся механическая энергия, затраченная на вращение ротора генератора, превращается в механическую энергию.

Выходное напряжение, которое вырабатывает такой генератор, вычисленное по формуле (2.3) равно 100 кВ. Такое напряжение будет развиваться между статором и ротором, когда емкость между ними будет минимальна. Чтобы при этом избежать электрического пробоя, внутренняя полость генератора должна быть заполнена воздухом или другим газом под высоким давлением.

Ни один из существующих генераторов не может обеспечить такую мощность при заданных габаритах и такой высокий КПД.

Механическая схема генератора, приведенная на рисунке 6, имеет тот недостаток, что слои титаната бария расположены на вращающемся роторе. Поскольку скорость его вращения велика, то под воздействием центробежной силы может произойти их отслоение от поверхности ротора. Более рациональной с этой точки зрения является конструкция, в которой слои титаната бария расположены на статоре (рис. 7).

В такой конструкции вкладки могут быть предварительно сформованы на оправках, а затем приклеены к статору.

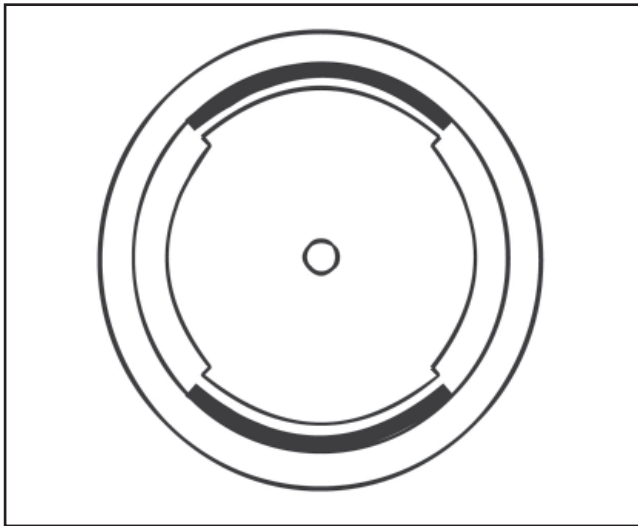


Рис. 7. Механическая схема генератора, в которой вкладки из титаната бария расположены на статоре

### 3. Заключение

С энергетической точки зрения самым выгодным способом передачи больших объемов электроэнергии на большие расстояния является передача ее на постоянном токе. Однако до настоящего времени не существует таких генераторов, которые способны генерировать необходимый уровень мощности при заданных напряжениях, что тормозит развитие указанного направления. В предлагаемой статье эта проблема решена. В основу ее решения положен закон емкостной параметрической индукции. Решение указанной проблемы может привести к революционным изменениям в электроэнергетике, поскольку могут быть пересмотрены способы создания высоковольтных генераторов, обеспечивающих

высокий уровень мощности на постоянном токе. Ранее решение этой проблемы требовало в обязательном порядке использование низковольтного генератора и высоковольтного трансформатора. Предлагаемое решение обладает большой простотой и высоким КПД. Более того, рассмотренный генератор допускает прямую стыковку с газовой турбиной, минуя редуктор. Все это дает возможность практически всю затрачиваемую механическую работу использовать для выработки электроэнергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Менде Ф.Ф., Дубровин А.С. Особые свойства реактивных элементов и потоков заряженных частиц // *Инженерная физика*. 2016. № 11. С. 13...21 [Mende F.F., Dubrovin A.S. Special properties of reactive elements and fluxes of charged particles. *Engineering Physics*. 2016. No. 11. Pp. 13...21] (in Russian).
2. Mende F.F. New Properties of Reactive Elements and the Problem of Propagation of Electrical Signals in Long Lines. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 2014. Vol. 2. No. 5. Pp. 141...145.
3. Mende F.F. Induction and Parametric Properties of Radio-Technical Elements and Lines and Property of Charges and Their Flows. *AASCIT Journal of Physics*. Vol. 1. No. 3. Publication Date: May 21, 2015. Pp. 124...134.
4. Менде Ф.Ф., Дубровин А.С. *Альтернативная идеология электродинамики*. М.: Перо, 2016. 198 с. [Mende F.F., Dubrovin A.S. *Alternative ideology of electrodynamics*. Moscow: Publishing House «Pero», 2016. 198 p.] (in Russian).

### Сведения об авторах

**Менде Федор Федорович**, доктор техн. наук, директор

E-mail: [fmende@mail.ru](mailto:fmende@mail.ru)

НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины  
61103, Украина, Харьков, пр. Ленина, 47

**Дубровин Анатолий Станиславович**, доктор техн. наук, акад. Российской Академии Естественных наук, профессор факультета внебюджетного образования, закреплённый за кафедрой информационной безопасности телекоммуникационных систем ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России

394072, г. Воронеж, Российская Федерация, ул. Иркутская 1-а

E-mail: [asd\\_kiziltash@mail.ru](mailto:asd_kiziltash@mail.ru)

### Information about authors

**Mende Fedor F.**, Doctor of Techn. Sciences, Director

E-mail: [fmende@mail.ru](mailto:fmende@mail.ru)

Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering  
NAS Ukraine

61103, Kharkov, Ukraine, Lenin Ave., 47

**Dubrovin Anatoliy S.**, Doctor of Techn. Sciences, Professor

FKOU VPO Voronezh Institute of Russian Federal Penitentiary Service

394072, Voronezh, Russian Federation, Irkutskaya str., 1-a

E-mail: [asd\\_kiziltash@mail.ru](mailto:asd_kiziltash@mail.ru)