



## ИМПУЛЬСНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО ПРОТОННО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСНОГО РЕЛАКСОМЕТРА

Нгуен Тъи Киен\*, Р.С. Кашаев, О.В. Козелков  
Казанский государственный энергетический университет  
г. Казань, Россия

ORCID\*: <https://orcid.org/0000-0002-5679-5442>, [nckien@cnd.edu.vn](mailto:nckien@cnd.edu.vn)

**Резюме:** В данной статье речь описан импульсный источник питания (ИИП), который важен для стабильной работы схем электронных устройств. ИИП непосредственно влияет также на режимы работы электрических цепей электронного оборудования. В частности, в этой статье представлена информация о применении ИИП в портативном протонно-магнитном резонансном (ПМР) релаксометре (ПМРР). Особое внимание обращается на метод построения схемы ИИП и сделано сравнение с трансформаторным источником питания. В статье представлена структурная блок-схема ИИП и его принципиальные схемы. Блок питания работает без трансформатора, что уменьшает размеры системы и повышает общую эффективность. Предлагаемая структура схемы основана на двухтактном контроллере, высокочастотном преобразователе с усилителем и схемой умножителя напряжения и стабилизатором напряжения. Результаты моделирования и эксперимента подтверждают предлагаемую конфигурацию ИИП.

**Ключевые слова:** ПМР-релаксометр; источник питания (ИП); КПД; ИИП.

**Благодарности:** Авторы благодарны кафедре Приборостроения и мехатроники Казанского государственного энергетического университета за поддержку в создании оборудования.

**Для цитирования:** Нгуен Тъи Киен, Кашаев Р.С., Козелков О.В. Импульсный блок питания для портативного протонно-магнитного резонансного релаксометра // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. № 6. С. 111-117. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-6-111-117.

## THE IMPULSE POWER UNIT FOR A PORTABLE PROTON MAGNET RESONANCE RELAXOMETER

Nguyen Chi Kien\*, R.S. Kashaev, O.V. Kozelkov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia  
[nckien@cnd.edu.vn](mailto:nckien@cnd.edu.vn)

ORCID\*: <https://orcid.org/0000-0002-5679-5442>, [nckien@cnd.edu.vn](mailto:nckien@cnd.edu.vn)

**Abstract:** In this paper described the switching power supply (SPS) unit and represented its importance for electronic circuits in electronic devices. SPS directly affect the operation of electrical circuits and electronic equipment. In particular, this paper describes its use in a portable proton-magnetic resonance (PMR) relaxometer. Especial attention is to the method of constructing the circuit, and also deals with the compare of the SPS with a transformer power source. This article presents the structure of schematic diagram of the SPS. The SPS structure works without a transformer, which reduces the size of the system and increases overall efficiency. The proposed circuit structure is based on a push-pull controller, a high-frequency converter with an amplifier and a voltage multiplier circuit and a voltage stabilizer. The simulation and experiments confirm the proposed configuration of SPS.

**Key words:** PMR relaxometer; power source (IP); KPD; SPS.

**Acknowledgments:** The authors are grateful to the Department of Instrument Engineering and Mechatronics of Kazan State Power Engineering University for supporting research equipment.

**For citation:** Nguyen Chi Kien, Kashaev RS, Kozelkov OV. The impulse power unit for a portable proton magnet resonance relaxometer. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2019; 21(6):111-117. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-6-111-117.

### **Введение**

Источник питания (ИП) является очень важной частью какой-либо электрической цепи или электронного устройства. ИП напрямую влияют на режимы работы электронных схем или электрических и электронных устройств. Современное оборудование часто имеет довольно сложную структуру и требует различных напряжений для питания своих отдельных узлов. В случае одного ИП необходимо использовать специальные преобразователи для получения разных уровней напряжения, особенно для получения различных питающих напряжений в портативной аппаратуре [1-3]. Если в оборудовании, питающемся от сети, можно построить блок питания с необходимыми напряжениями, то в портативных аппаратах, работающих от автономных источников энергии, требуемые уровни напряжений можно получить только с использованием ИИП. В настоящее время ИИП чаще всего используется в электрических цепях и автоматизированных электрических системах. ИИП для портативного ПМР-релаксометра, достаточно актуальна в настоящее время.

### **Материалы и методы**

В этом разделе описывается системная характеристика и конструкция ИИП в соответствии со спецификациями ПМР-релаксометра. Традиционный трансформаторный источник питания оснащен линейным стабилизатором, хотя стоимость низкая, и производительность также низкая, стабильность невысокая [5]. В данном случае использованы быть не могут, поскольку предполагается питание не только от сети, но и автономно – от аккумулятора в переносном варианте ПМРР [6].

Для питания электронной аппаратуры, вычислительной техники, схем управления и автоматики широко используются ИИП, которые обладают указанными требованиями. Логично применить ИИП и в нашем случае ввиду его малых габаритов и более высокого коэффициента полезного действия (КПД)  $\approx 80-85\%$  по сравнению с КПД  $\approx 70\%$ , для ИП, например БП-2 Метакон с питанием от сети 220В [3,4,7].

Важными критериями при выборе ИИП является: потребляемый ток, уровень стабилизации напряжений, уровень пульсации напряжений, наличие систем защиты и массогабаритные размеры ИИП. Выход любой из указанных параметров за границы допустимых требований приводит к нарушениям в работе всего устройства. Одной из главных проблем построения ПМРР с питанием от аккумулятора является выбор схемотехники источника питания, который должен обеспечивать необходимую мощность при питании его напряжением аккумулятора (12В/2.3Аh). При этом следует учитывать разрядку аккумулятора и превышение его номинального напряжения непосредственно после его зарядки [4,15].

В составе блоков портативного протонно-магнитного резонансного релаксометра важную роль занимает ИИП для обеспечения разных номиналов питающих напряжений устройств, входящих в ПМРР усилителей мощности импульсов (передатчика), усилителя сигналов (приемника), генератора импульсных последовательностей. От стабильности работы ИП зависит точность установки амплитуд, длительностей и синхронность возбуждающих сигнал импульсов, интервалов между ними, точность работы процессора в методиках, применяемых для измерений ПМР-релаксации. Поэтому, необходим ИИП, преобразующий выходное напряжение аккумулятора в набор напряжений: +20В/1А для передатчика; +9В/0.5А, -6В/0.5А для приемника, +5В/1А для генератора импульсных последовательностей [8,10].

Целью настоящей работы является разработка и исследование ИИП от аккумулятора для ПМРР с ограничениями по габаритам 45×140 мм.

Обобщенная структурная блок-схема ИИП приведена на рис.1.

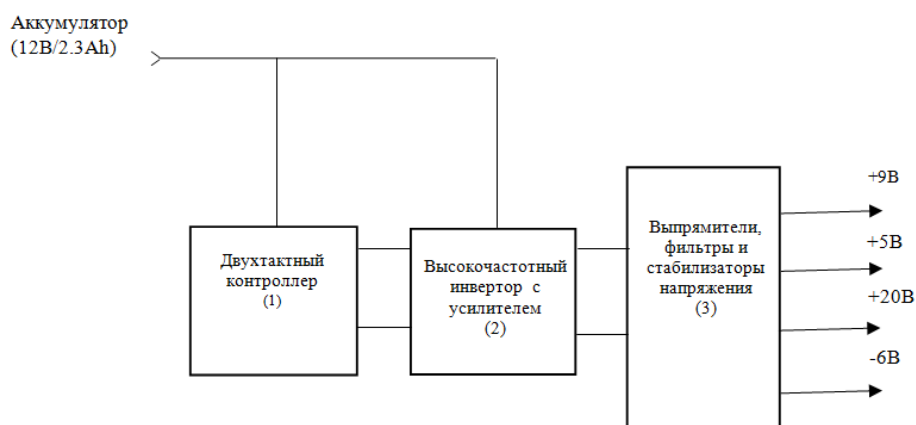


Рис.1. Структурная блок схема ИИП

ИИП состоит из трёх основных блоков:

1. Двухтактного контроллера электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА), имеющих входные выборные частоты и компактный корпус с малым потребляемым мощностью и минимальное количество навесных элементов [12].
2. Высокочастотного инвертора с усилителем, дающего разные уровни напряжения.
3. Выходных выпрямителей с Г-образным фильтром и стабилизаторы напряжения.

На рис. 2 приведена электрическая принципиальная схема разработанного ИИП от аккумулятора на напряжения +20В, +5В, -6В, +9В, необходимые для питания портативного ПМРР.

Основными модулями разработанного ИИП являются:

1. Двухтактный контроллер на микросхеме KP1211EY1 (обозначен как IC1);
2. Два КМОП транзистора IRF7309 (обозначены как IC2 и IC3);
3. Стабилизатор 142EH22 для выходного напряжения +20 В (обозначен как IC6);
4. Стабилизатор KP142EH8A для выходного напряжения +9 В (обозначен как IC4);
5. Стабилизатор 79L06 для выходного напряжения 6 В (обозначен как IC5);
6. Стабилизатор KP1158EH5Г для выходного напряжения +5 В (обозначен как IC7).

Особенностью стабилизаторов является наличие встроенной схемы токовой защиты, защиты от короткого замыкания и ограничения предельной мощности.

Для построения ИИП в качестве широтно-импульсный модулятора (ШИМ) - контроллера была выбрана микросхема KP 1211EY1, которая обеспечивает ВЧ-сигнал в виде меандра. Данная микросхема является двухтактной, то есть в отличие от одноктактных, в ней происходит формирование двух последовательностей управляющих импульсов, разделенных между собой регулируемой паузой.

Данная особенность позволяет управлять полевыми транзисторами. Микросхема KP1211EY1 включает в себя задающий генератор, делитель частоты, формирователь импульсов и выходной усилитель [11,12]. Так как в ИИП питающим элементом служит аккумулятор (12В/2.3Аh), напряжение которого может отличаться от номинального по мере зарядки/разрядки, напряжения питания KP1211EY1 стабилизируется стабилитроном D1.

Максимальные токи и напряжения на выходах контроллера KP1211EY1 небольшие, поэтому для исключения выхода из строя контроллера из-за перегрузки необходимо применение драйвера (усилителя мощности импульсов), который выполнен на КМОП транзисторе IRF7309, обозначенном на схеме как IC2/IC3. ВЧ-сигнал усиливается в IC2/IC3 и после эмиттерного повторителя, выполненного на идентичном КМОП транзисторе, поступает в ту часть схемы, где происходит удвоение и инверсия напряжений [1,3,13].

Стабилизация напряжения для выхода +9В происходит на трехвыводном регулируемом линейном стабилизаторе напряжения KP142EH8A, стабилизация для выхода -6 В происходит на трехвыводном регулируемом линейном стабилизаторе напряжения 79L06, для выхода +20В стабилизация происходит на трехвыводном регулируемом линейном стабилизаторе напряжения 142EH22, для выхода +5В - на трехвыводном регулируемом линейном стабилизаторе напряжения KP1158EH5Г [13].

Аккумулятор (12В/2.3Ah)

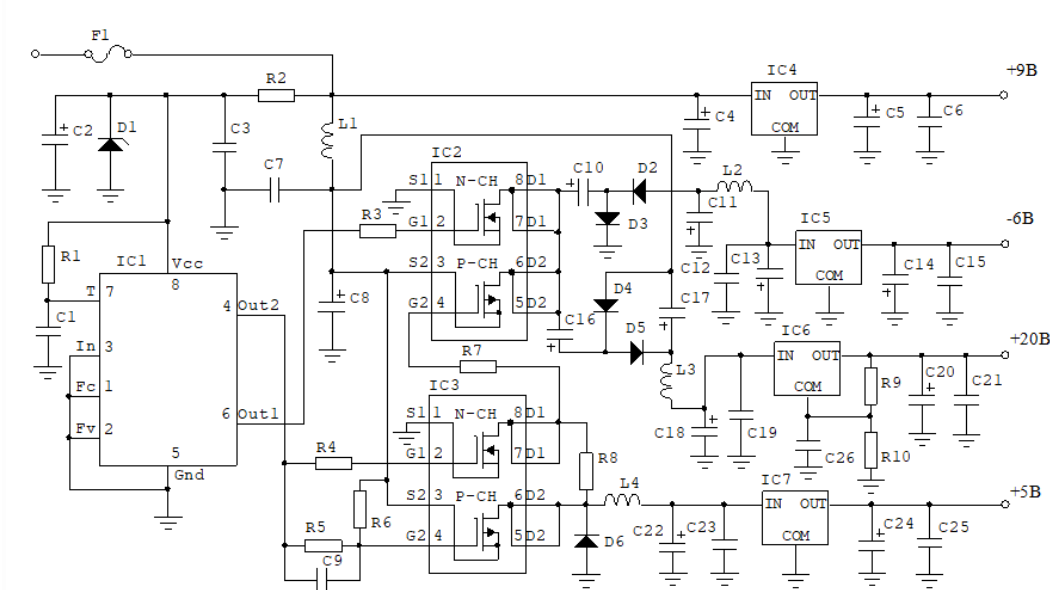


Рис. 2. Принципиальная схема ИИП

### Результаты

Характеристики ИИП в виде зависимостей выходных напряжений в зависимости от величины подаваемого входного (номинальный режим от аккумулятора 12 В), представлены на рис.3, предполагая, что после подзарядки напряжение аккумулятора будет превышать номинальное, а после работы будет значительно ниже. Как это видно из графиков, ИИП допускает значительные регулировки в зависимости от напряжения аккумулятора. Так, при подаче на вход ИИП +10 В, на выходе можно получить +20 В, +5 В, - 9 В. При подаче на вход ИИП +15 В, на выходе получим +30 В, +7.5 В, - 14 В. Это гарантирует достаточное превышение напряжений для уверенной их высокой стабилизации.

Выходные характеристики ИИП после стабилизатора напряжений представлены на Рис.4.. Как это видно из графиков, в диапазоне 11-15 В входного напряжения от аккумулятора, ИБП IV обеспечивает стабильные выходные напряжения +20 В на уровне 100.5% для передатчика, +9 В на уровне 99.4±0.01% для ВЧ-генератора, +9 В на уровне 99.3±0.01% для приемника, +5 В и - 6 В на уровне 102±0.1% для микросхем. Данная стабилизация вполне достаточна для питания всех элементов релаксометра.

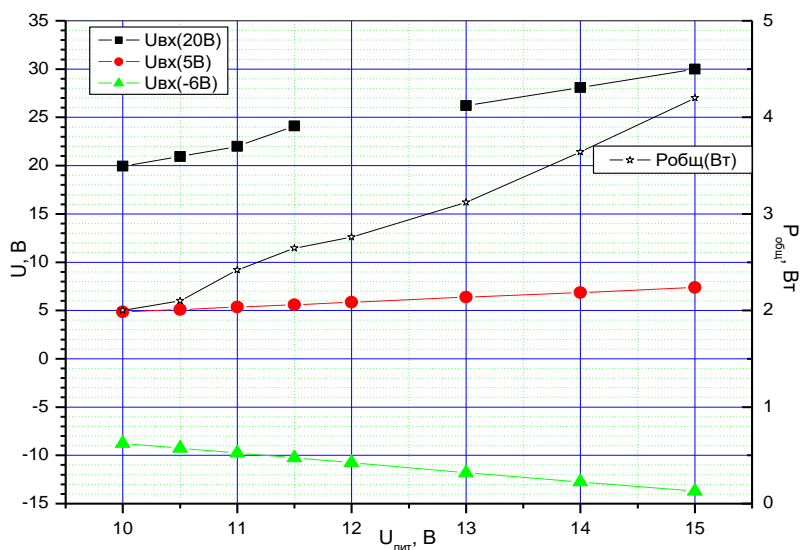


Рис 3. Характеристики преобразователя в виде зависимостей выходных напряжений преобразователя от величины подаваемого входного напряжения с аккумулятора

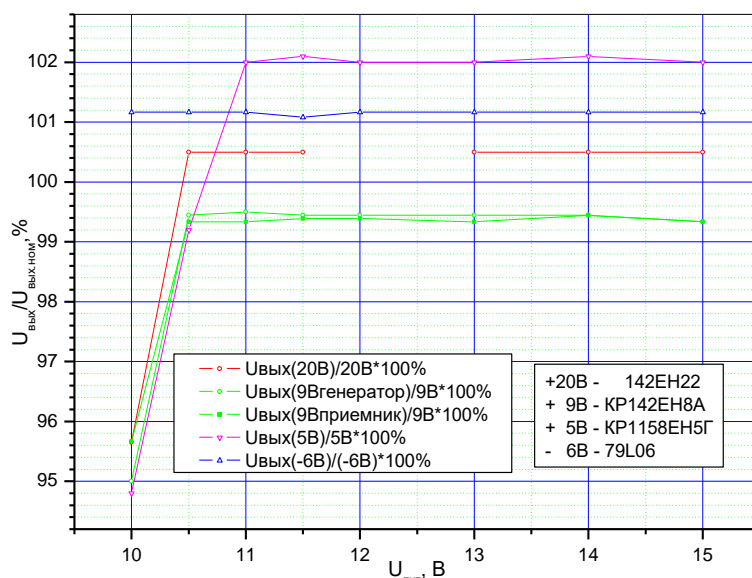


Рис. 4. Выходные характеристики ИИП после стабилизаторов напряжений

Разработан малоразмерный (45x140 мм), питаемый от малогабаритного аккумулятора (12В/2.3Ah) импульсный источник питания на четыре высокостабилизированных напряжения для портативного протонного магнитно-резонансного релаксометра [7,8].

Разводка платы ИИП, выполнена в программе *CircuitMaker*. Распечатанная на глянцевой бумаге с помощью лазерного принтера разводка платы, переносилась на заданный стеклотекстолит для дальнейшего травления платы хлорным железом [15].

В диапазоне от 11 до 15 В входного напряжения от аккумулятора, ИИП гарантирует стабильные выходные напряжения +20В на уровне 100.5% для передатчика, +9В на уровне 99.4±0.01% для ВЧ-генератора, +9 В и – 6 В на уровне 99.3±0.01% для приемника, +5В на уровне 102±0.1% для микросхем. Данная стабилизация вполне достаточна для питания всех элементов релаксометра.

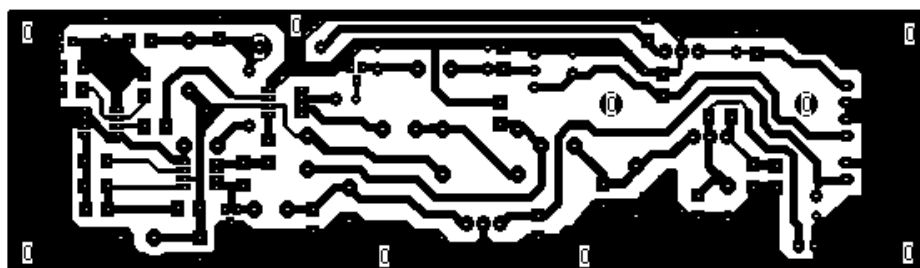


Рис. 5. Разводка платы ИИП

На рис. 5 представлена разводка платы ИИП, выполненная в программе *CircuitMaker*. Распечатанная на глянцевой бумаге с помощью лазерного принтера разводка платы, переносилась на заданный стеклотекстолит для дальнейшего травления платы хлорным железом.

#### Обсуждение и выводы

Если в оборудовании, питающемся от сети, можно построить блок питания с необходимыми напряжениями, то в портативных аппаратах, работающих от автономных источников энергии, требуемые уровни напряжений можно получить только с использованием ИИП.

ИИП допускает значительные регулировки в зависимости от напряжения аккумулятора. Так, при подаче на вход ИИП +10 В, на выходе можно получить +20В, +5В, -9В. При подаче на вход ИИП +15В, на выходе получим +30В, +7.5В, -13.5В, что гарантирует превышение напряжений для их уверенной высокой стабилизации.

В этой статье представлен ИИП, который применен для портативного протонно-магнитного резонансного релаксометра (ПМРР). В диапазоне возможных изменений напряжения аккумулятора с 11В до 15В, DC/DC преобразователь гарантирует стабильные выходные напряжения +20В на уровне 100.5% для передатчика, +9В и – 6В на уровне

99.3±0.01% для приемника, +5В на уровне 102±0.1% для генератора импульсных последовательностей, что достаточно для питания всех блоков релаксометра.

#### Литература

1. Андрей Кашкаров. Импульсные источники питания: Схемотехника и ремонт, 2012. 184 с.
2. Ситников А.В. Электротехнические основы источников питания, 2014. 238 с.
3. Маникгала Санджай. Импульсные источники питания от А до Z, 2014. 256с.
4. Михаил Шустов. Практическая схемотехника: Контроль и защита источников питания, 2007. 184 с.
5. Афшин Одабай. Система питания ПЛИС Altera Arria 10 FPGA и Arria 10 SOC: проверенные решения для управления питанием // Вестник электроники. 2016. №1 (55) С. 42-43.
6. Виктор Алексеев. Изолированные DC/DC-конвертеры TVN 5WI с ультранизкими шумами производства Traco Electronic AG // Вестник электроники. 2016. №2 (56) С. 10-16.
7. Татур В.В. Генераторы высоковольтных импульсов с удвоением выходного напряжения // Известия Томского политехнического университета. 2012. №4 (320). С. 116-119.
8. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Тунг Ч.В., и др. Релаксометр протонного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента (ПТЭ). 2019. №2. С.145-148.
9. Робертс С. Решения проблемы пульсаций и помех DC/DC-преобразователей: входная и выходная фильтрация // Компоненты и технологии. 2015. № 11.
10. Шамгунов Р.Р., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Блок питания переносного автономного протонно-магнитного резонансного релаксометра // Сборник материалов 3 Поволжской научно-практической конференции. Казань: КГЭУ, 2017. Т 1. С.44-50.
11. Telang A.S., Bedekar P.P. Voltage Stability Constrained Optimal Power Flow. A Critical Review // Power Research-A Journal of CPRI. June 2016. V.12. N2. pp. 640-647.
12. Hossain M.K. and Ali M.H. Transient stability augmentation of PV/DFIG/SG-based hybrid power system by parallel-resonance bridge fault current limiter // Electr. Power Syst. Res.2016. V.130. pp. 89-102,
13. Dileep. G., Singh S. N. Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system // Renew. Sustain. Energy Rev. 2017. V.76. pp. 1230-1247.
14. Anna Nur Nazilah Chamim., Muhammad Heru Gustaman., NiaMaharaniRaharja. Uninterruptable Power Supply based on Switching Regulator and Modified Sine Wave // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). June 2017. V.7, N. 3. pp 1161-1170.
15. Sekar T., Marappan R. Improving Material Removal Rate of Electrochemical Machining by Using Rotating Tool // Manufacturing Engineering Journal 2008; 8 (2), pp. 60-63.

#### Авторы публикации

**Нгуен Ть Киен** – аспирант кафедры «Приборостроение и мехатроника» (ПМ), Казанский Государственный энергетический университет (КГЭУ).

**Кашаев Рустем Султанхамитович** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника» (ПМ), Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ).

**Козелков Олег Владимирович** – канд. техн. наук, доцент и заведующий кафедрой «Приборостроение и мехатроника»(ПМ), Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ).

#### References

1. Andrei Kashkarov. Impul'snye istochniki pitaniya: Skhemotekhnika i remont, 2012. P. 184.
2. Sitnikov AV. Elektrotekhnicheskie osnovy istochnikov pitaniya, 2014. P. 238.
3. Maniktala Sandzhai. Impul'snye istochniki pitaniya ot A do Z, 2014. P 256.
4. Mikhail Shustov. Prakticheskaya skhemotekhnika: Kontrol' i zashchita istochnikov pitaniya, 2007. P.184.
5. Afshin Odabai. Sistema pitaniya PLIS Altera Arria 10 FPGA i Arria 10 SOC: proverennye resheniya dlya upravleniya pitaniem. *Vestnik elektroniki*. 2016;55(1):42-43.
6. Viktor Alekseev. Izolirovannye DC/DC-konvertery TVN 5WI s ul'tranizkimi shumami proizvodstva Traco Electronic AG. *Vestnik elektroniki*. 2016;56(2):10-16.
7. Tatur VV. Generatory vysokovol'tnykh impul'sov sudvoeniem vykhodnogo napryazheniya. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012;4(320):116-119.
8. Kashaev RS, Temnikov AN, Tung ChV, et al. Relaksometr rotonnogo magnitnogo rezonansa. *Pribory I tekhnika eksperimenta (PTE)*. 2019;2:145-148.

9. Roberts S. Resheniya problem pul'satsii I pomekh DC/DC-preobrazovatelei: vkhodnayaivkhdnayaafil'tratsiya. *Komponenty I tekhnologii*. 2015. P. 11.
10. Shamgunov RR, Kashaev RS, Kozelkov OV. Blokpitaniya perenosnogo avtonomnogo protonno-magnitnogo rezonansnogo relaksometra Power supply unito faportable autonomous proton-magnetic resonance relaxometer. *Sbornik materialov 3 Povolzhskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. The collection of materials of the 3 Volga scientific-practical conference; Kazan: KSPEU, 2017. pp.44-50.
11. Telang AS, Bedekar PP. Voltage Stability Constrained Optimal Power Flow – A Critical Review. *Power Research - A Journal of CPRI*. June 2016.12(2):640-7. doi: 10.33686/pwj.v12i2.142546
12. Hossain MK. and Ali MH. Transient stability augmentation of PV/DFIG/SG-based hybrid power system by parallel-resonance bridge fault current limiter. *Electr. Power Syst. Res.*2016;130:89-102.
13. Dileep G, Singh SN. Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017;76:1230-1247.
14. Anna Nur Nazilah Chamim, Muhammad Heru Gustaman, Nia Maharani Raharja. Uninterruptable Power Supply based on Switching Regulator and Modified Sine Wave. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. June 2017;7(3):161-1170.
15. Sekar T, Marappan R. Improving Material Removal Rate of Electrochemical Machining by Using Rotating Tool. *Manufacturing Engineering Journal*. 2008;8(2):60-63.

#### **Authors of the publication**

**Chi Kien Nguyen** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: nckien@cnd.edu.vn.

**Rustem S. Kashaev** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Oleg V. Kozelkov** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Поступила в редакцию*

*17 октября 2019г.*