

11:2009, де введено норми на рівень випромінювання магнітного поля у діапазоні частот від 9 кГц до 30 кГц.

Публікація CISPR 22:2008 (Ed.6.0) має несуттєві відмінності від CISPR 22:2006 (Ed.5.2), про що прямо вказане у Передмові до стандарту. Тому, ДСТУ EN 55022:2014 та ДСТУ CISPR 22:2007 за технічних вимог є ідентичними.

Чинні стандарти серії ДСТУ EN 61000-6-1:2015 - ДСТУ EN 61000-6-4:2015 з технічної точки зору еквівалентні стандартам ДСТУ IEC61000-6-1:2007, ДСТУ IEC61000-6-2:2008, ДСТУ IEC61000-6-3:2007, ДСТУ IEC61000-6-4:2009, відповідно.

Стандарт ДСТУ EN 61000-3-2:2015 є ідентичним стандарту IEC 61000-3-2:2006, якому був ідентичним скасований стандарт ДСТУ IEC 61000-3-2:2008. Таким чином, зроблена заміна має лише відмінність у позначені стандарту.

Стандарт ДСТУ EN 61000-3-3:2014 є ідентичним стандарту IEC 61000-3-3:2008. Саме цьому стандарту був ідентичним скасований з 01.01.2016 ДСТУ EN 61000-3-3:2012.

Отже, більшість з розглянутих нових стандартів не містить принципових технічних відмінностей від попередніх редакцій.

*Поступила (received) 14.11.2016*

#### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Оновлення національних стандартів в сфері електромагнітної сумісності / В.В. Князев //** Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 28-31. – ISSN 2079-0740.

**Обновление национальных стандартов в сфере электромагнитной совместимости / В.В. Князев //** Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 28-31. – ISSN 2079-0740.

**Updating national standards in the field of electromagnetic compatibility / V.V. Knyazev //** Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 28-31. – ISSN 2079-0740.

#### *Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Князев Володимир Володимирович** – провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «ХПІ», тел.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Князев Владимир Владимирович** – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Национального технического университета «ХПИ», тел.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Knyaziev Volodymyr Volodymyrovych** – Principal Scientist, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Staff Scientist, Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "KhPI", tel.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

УДК 621.762: 621.762.5: 621.314

**A. A. КОВАЛЕНКО, O. N. СИЗОНЕНКО**

## **МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВСПЛЕСКА НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫХОДНЫХ ДИОДАХ ШОТТКИ УСТРОЙСТВА ИСКРОПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

У роботі вирішено задачу зменшення сплеску зворотної напруги на діодах Шоттки у пристрій іскроплазмового спікання (ІПС) дисперсних композицій шляхом використання RC-демпфера, запропоновано методику розрахунку його параметрів (емності та опору). Використання RC-демпфера забезпечило зменшення величини зворотної напруги на діодах на 40 % та збільшення входної напруги пристрою ІПС до 380 В трифазної змінної напруги, що дозволить здійснювати спікання тугоплавких дисперсних композицій.

**Ключові слова:** іскроплазмове спікання, метод розрахунку RC демпфера, діод Шоттки, сплеск напруги, RC-ланцюг, моделювання переходних процесів.

В работе решена задача уменьшения всплеска напряжения на выходных диодах Шоттки в установке искроплазменного спекания (ИПС) дисперсных композиций путем применения RC-демпфера, предложена методика расчета его параметров (емкости и сопротивления). Применение RC-демпфера обеспечит уменьшение величины обратного напряжения на диодах на 40 % и увеличение входного напряжения устройства ИПС до 380 В трехфазного переменного напряжения, что позволит осуществлять спекание тугоплавких дисперсных композиций.

**Ключевые слова:** искроплазменное спекание, метод расчета RC демпфера, диод Шоттки, всплеск напряжения, RC-цепь, моделирование переходных процессов.

The paper solved the problem of reducing the surge voltage at the output Schottky diodes in the setup for spark plasma sintering (SPS) of dispersed compositions by the addition of the damping circuit. The methods of calculating the snubber circuit to reduce the surge voltage of the Schottky diodes, which, owing to the regularities obtained in the analysis of literary sources and the results of

© А. А. Коваленко, О. Н. Сизоненко, 2016

specially performed experiments allow determining the parameters of the damping circuit elements (capacitance and resistance) and ensuring the trouble-free operation of the device, the resistor power. The application of damping RC circuits in the SPS setups and the methods of calculation of its parameters allows to eliminate short-term emissions and high-frequency fluctuations, to protect the diodes from over-voltage, to reduce the magnitude of reverse voltage on the diodes by 40 % (from 43.6 V to 26.4 V). The use of the damping circuit will increase the input voltage of the experimental specimen of the SPS generator device up to 380 V three-phase AC with a common neutral, which in turn will increase the current for sintering the dispersed compositions and carry out the sintering of refractory powders, as well as sintering of specimens of dispersed compositions with a diameter of 20 mm.

**Keywords:** spark plasma sintering, method of calculation of RC damper, Schottky diode, voltage surge, RC circuit, simulation of transients.

**Введение.** Современные технологии, в которых используются дисперсно-упрочненные ультрадисперсными частицами композиционные материалы, позволяют значительно повысить физико-механические характеристики функциональных материалов.

Для сохранения мелкозернистой структуры материала используют методы консолидации концентрированными потоками энергии, которые отличаются высокими скоростями нагрева и меньшим временем выдержки при максимальной температуре, чем при использовании традиционных методов спекания (горячее прессование, спекание сверхвысоким давлением, горячее изостатическое прессование). Одним из таких методов является искроплазменное спекание (ИПС) [1, 2].

Процесс ИПС представляет собой пропускание суперпозиции тока высокой частоты с постоянной составляющей через дисперсный порошок при использовании специализированного генератора ИПС.

В настоящее время в ИИПТ НАН Украины разработана установка ИПС [3], которая имеет параметры: входное напряжение 220 В, выходной ток 1100 А и выходное напряжение до 10 В. Эта установка позволяет спекать порошки при температурах от 600 °C до 1300 °C при диаметре спекаемого образца – 10 мм. Для того чтобы перейти к спеканию тугоплавких порошков, а также спеканию образцов большего диаметра (20 мм), необходимо разработать генератор большей мощности.

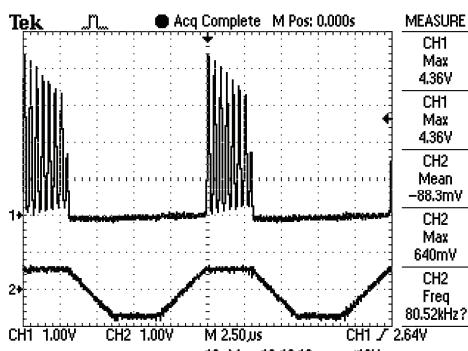


Рисунок 1 – Осциллографма обратного напряжения на диодах экспериментального образца устройства ИПС (при измерении использовался делитель напряжения 1:10), при входном напряжении источника 230 В

Выполняя физическое моделирование, при разработке электрической схемы генератора для спекания дисперсных композиций было установлено, что в процессе спекания происходит всплеск напряжения на выходных диодах Шоттки экспериментального образца устройства. Так, при питающем напряжении сети

230 В происходит всплеск напряжения на диодах 43,6 В (см. рис. 1, осциллографма 1-го канала), а максимальное допустимое напряжение – 45 В [4], поэтому дальнейшее увеличение питающего напряжения, которое необходимо для разработки более мощной установки, может привести к выходу из строя оборудования.

Учитывая все вышесказанное была определена цель данной работы – поиск метода решения проблемы уменьшение всплеска напряжения на выходных диодах устройства ИПС.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выбор метода уменьшения всплеска напряжения на выходных диодах Шоттки;
- разработка методики расчета демпфирующей цепи для уменьшения всплеска напряжения диодов Шоттки;
- выбор программной среды для моделирования схематического решения проблемы;
- моделирование схемы силовой части установки ИПС;
- экспериментальная проверка полученных результатов.

**Поиск метода уменьшения всплеска напряжения на выходных диодах Шоттки.** Проанализировав литературные источники [5-9] и проведя ряд экспериментов – уменьшение всплеска напряжения на диодах Шоттки в установке ИПС возможно за счет методов, представленных в табл. 1.

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что помеха, вызывающая всплеск напряжения на выходных диодах возникает из-за индуктивности рассеивания в трансформаторе.

В работе [5] описано решение проблемы режима работы ключевых элементов, в которой устранены кратковременные выбросы и высокочастотные колебания, а также сведены к минимуму коммутационные потери в ключевых элементах, что в целом гарантирует надежную работу устройства, за счет шунтирования диодов демпфирующими RC-цепями.

Подобный метод описан и в работах [6–11], в которых показано, что необходимо устанавливать параллельно выходным диодам демпфер колебаний (в зарубежных источниках snubber (снаббер) – последовательно соединенные конденсатор и резистор, так называемый RC-демпфер), который «поглотит» всплеск электрической энергии.

Расчет демпфера заключается в определении номиналов конденсатора и резистора, а также в определении мощности резистора.

На основании анализа литературных источников и проведенных экспериментов были выявлены закономерности, позволяющие определить номиналы элементов демпфирующей цепи.

Таблица 1 – Методы уменьшения всплеска напряжения на диодах Шоттки

Метод решения проблемы	Достоинства	Недостатки
Уменьшение входного напряжения в установку ИПС	Уменьшается амплитуда обратного напряжения на диодах.	Остаются кратковременные выбросы и высокочастотные колебания. Уменьшается выделяемая мощность для спекания образцов.
Уменьшение индуктивности рассеивания трансформатора	Уменьшается амплитуда обратного напряжения на диодах.	Необходима перемотка трансформатора. Невозможно полностью избавиться от индуктивности рассеивания для уменьшения кратковременных выбросов.
Добавление демпфирующей цепи	Уменьшится амплитуда обратного напряжения на диодах, а также кратковременные выбросы и высокочастотные колебания.	Сложность коммутационных процессов и влияние паразитных параметров не позволяет рассчитывать аналитически параметры демпфирующей цепи существующими методами. Усложнение схемы.

Для расчета параметров  $R$  и  $C$  в первую очередь необходимо определить индуктивность рассеивания вторичной обмотки трансформатора и частоту колебаний обратного напряжения на диоде. Индуктивность рассеивания вторичной обмотки трансформатора была измерена LCR – метром (MCP BR2820 LCR METER), и составляла  $L_{S2} = 0,4 \cdot 10^{-6}$  (Гн), а частота колебаний определялась из осциллограммы (см. рис. 2) с помощью встроенного расчетного блока осциллографа (Tektronix TDS 1012B),  $f_{n.k.} = 2,347 \cdot 10^6$  (Гц).

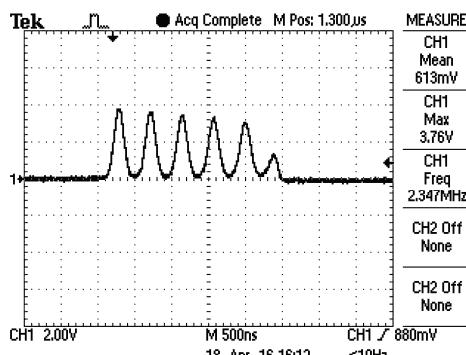


Рисунок 2 – Осциллограмма обратного напряжения на диодах экспериментального образца устройства спекания дисперсных композиций (при измерении использовался делитель напряжения 1:1), при входном напряжении источника 40 В.

**Расчет демпфирующей цепи для диода.** На основании анализа литературных данных [4 – 12] и ре-

зультатов экспериментальных исследований была получена эмпирическая закономерность определения параметров сопротивления резистора и емкости конденсатора и разработан метод расчета демпфирующей цепи для диода.

Индуктивное  $X_L$  (1) и емкостное  $X_C$  (2) сопротивления цепи, Ом.

$$X_L = \omega \cdot L_{S2}, \quad (1)$$

где  $L_{S2}$  – паразитная индуктивность, индуктивность рассеивания вторичной обмотки трансформатора, Гн;

$$X_C = 1/(\omega \cdot C), \quad (2)$$

где  $C$  – емкость демпфирующей цепи, Ф;  $\omega$  – угловая частота в радианах в 1 с.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{n.k.}, \quad (3)$$

где  $f_{n.k.}$  – частота паразитных колебаний.

Расчетное значение индуктивного сопротивления цепи  $X_L = 5,9$  Ом.

В ходе проведенных экспериментов была получена эмпирическая зависимость, которая определяет номинал сопротивления резистора (4) и емкостное сопротивление (5)  $RC$ -демпфирующей цепи.

$$R = X_L / K, \quad (4)$$

$$X_C = X_L / K^2, \quad (5)$$

где  $K$  – эмпирический коэффициент, полученный во время экспериментов для шести сдвоенных диодов Шоттки типа STPS24045TV, подключенных параллельно,  $K = 3,5$ ;

Для определения сопротивления  $RC$ -цепи использовались зависимости индуктивного сопротивления цепи (1), угловой частоты (3) и эмпирической зависимости сопротивления резистора  $RC$ -демпфирующей цепи (4):

$$R = 2 \cdot \pi \cdot f_{n.k.} \cdot L_{S2} / K. \quad (6)$$

Также была определена емкость  $RC$ -цепи. Для этого использовали зависимости емкостного сопротивления (2), угловой частоты (3) и эмпирической зависимости емкостного сопротивления  $RC$ -демпфирующей цепи (5):

$$C = (K / (2 \cdot \pi \cdot f_{n.k.} \cdot L_{S2})) / L_{S2}. \quad (7)$$

Расчетные значения емкости и сопротивления для рассматриваемого случая составили:

$$R = 1,685 \text{ Ом};$$

$$C = 0,141 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Для защиты резистора от перегрева был выполнен расчет максимальной его мощности в процессе работы.

Мощность резистора рассчитывалась по формуле (8)

$$P_R = E_C \cdot f_p, \quad (8)$$

$$E_C = C \cdot U^2 / 2, \quad (9)$$

где  $E_C$  – энергия, запасенная в конденсаторе;  $f_p$  – рабочая частота силовой части, Гц;  $U$  – максимально-допустимое обратное напряжение на диоде, В.

На основании уравнений (8) и (9) получена зависимость в виде (10).

$$P_R = f_p \cdot C \cdot U^2 / 2. \quad (10)$$

Расчетное значение мощности демпфирующего

резистора  $P_R = 11,407$  (Вт).

Прежде чем приступить к реализации выбранного метода уменьшения всплеска напряжения необходимо провести математическое моделирование электрической цепи с  $RC$ -демпфером.

**Моделирование схемы.** Проанализировав достоинства и недостатки программ схемотехнического моделирования [13–20], была выбрана программа LTspice IV от корпорации Linear Technology, которая в настоящее время относится к наиболее популярным эксплуатируемым системам схемотехнического моделирования для персонального компьютера.

Принципиальная схема силовой части экспериментального образца устройства ИПС без демпфирующей цепи, представлена на рис. 3, а осциллограмма, полученная при моделировании обратного напряжения на диодах, представлена на рис. 4.

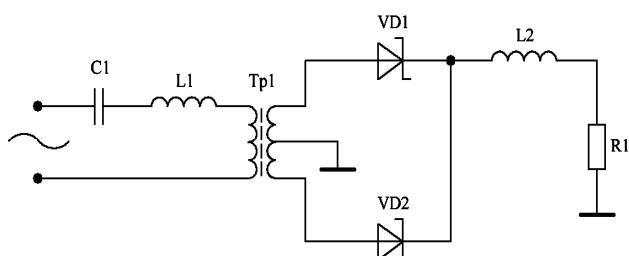


Рисунок 3 – Принципиальная схема силовой части, без демпфирующей цепи

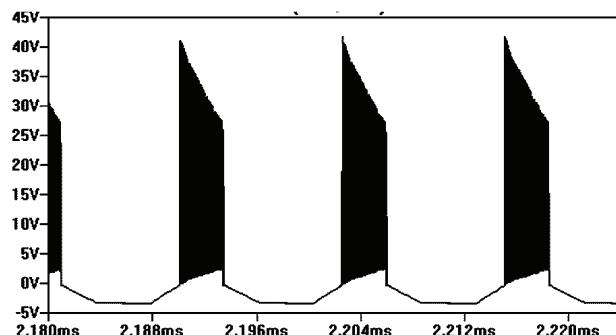


Рисунок 4 – Расчетная осциллограмма обратного напряжения на диодах экспериментального образца устройства спекания дисперсных композиций без демпфирующей цепи

При моделировании диоды Шоттки в схеме, были приняты идеальными. Поэтому высокочастотные колебания в модели несколько отличаются от реальных, это связано с несоответствием емкости модели, которая была выбрана максимально приближенной к реальным условиям по напряжению, и реальных диодов.

Однако дальнейшее моделирование схемы силовой части ИПС показало, что добавление расчетных демпфирующих  $RC$ -цепей ( $R2C2$  и  $R3C3$  на рис. 5) устраняет кратковременные выбросы и высокочастотные колебания (рис. 6)

В связи со сложностью подбора элементов соответственно расчетным, были выбраны ближайшие по номиналу, конденсатор типа К78-2  $0,15 \text{ мкФ} \pm 5\%$   $1000 \text{ В}$ , а резистор был подобран, при напряжении на

входе источника  $230 \text{ В}$ , из трех параллельно соединенных двухваттных резисторов по  $5 \Omega$ .

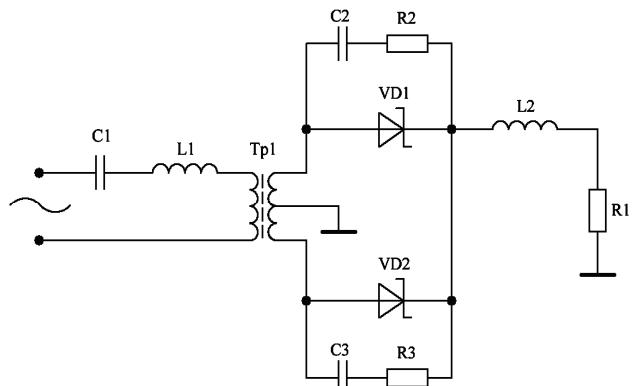


Рисунок 5 – Принципиальная схема силовой части с демпфирующими цепями

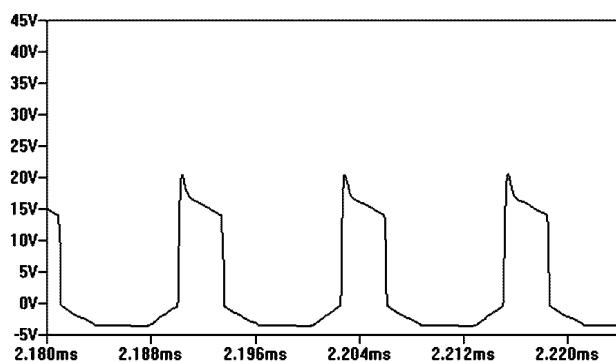


Рисунок 6 – Расчетная осциллограмма обратного напряжения на диодах экспериментального образца устройства спекания дисперсных композиций с расчетной демпфирующей цепью, моделируемой в программе LTspice IV

Для проверки результатов расчета и моделирования был поставлен специальный эксперимент, осциллограмма которого приведена на рис. 7.

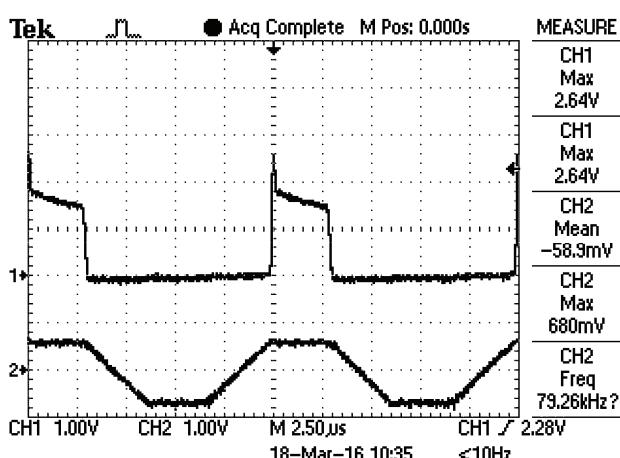


Рисунок 7 – Осциллограмма обратного напряжения на диодах с демпфирующей цепью экспериментального образца устройства спекания дисперсных композиций (при измерении использовался делитель напряжения 1:10), при входном напряжении источника  $230 \text{ В}$

Из осциллограммы (см. рис. 7, осциллограмма 1-го канала) видно, что амплитуда обратного напря-

жения на диодах уменьшилась примерно на 40 %, устранены кратковременные выбросы и высокочастотные колебания.

Питание установки ИПС большей мощности осуществляется напряжением 380 В. Перед разработкой этого устройства, было проведено моделирование силовой части ИПС без демпфирующей цепи, расчетная осциллограмма представлена (рис.8) и с демпфирующими цепями, расчетная осциллограмма представлена (рис.9).

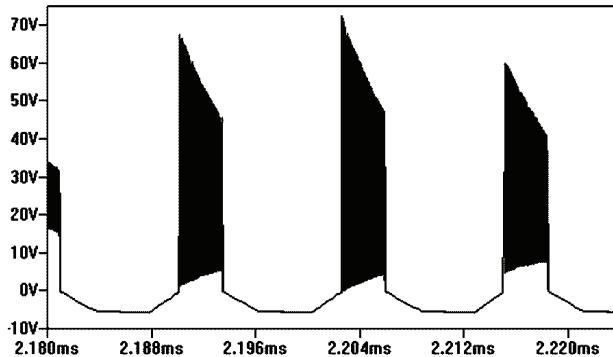


Рисунок 8 – Расчетная осциллограмма обратного напряжения на диодах без демпфирующей цепи

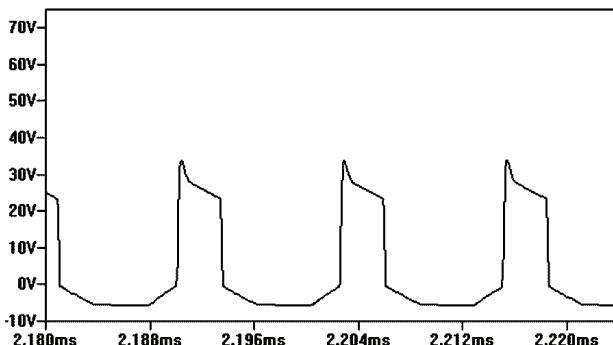


Рисунок 9 – Расчетная осциллограмма обратного напряжения на диодах с реальной демпфирующей цепью

Полученные результаты показали, что амплитуда обратного напряжения на диодах уменьшилась, при использовании демпфирующей цепи, примерно вдвое. Устраниены кратковременные выбросы и высокочастотные колебания.

Использование демпфирующей цепи позволит увеличить входное напряжение в экспериментальном образце устройства генератора ИПС до 380 В, что в свою очередь позволит увеличить ток для спекания дисперсных композиций. При переходе с 230 В до 380 В требуется замена резистора RC-цепи для удовлетворения условия по максимальному обратному напряжению на диоде согласно его документации [4], при мощности резистора не менее 11,5 Вт.

**Выводы.** Установлено, что для уменьшения всплеска напряжения на выходных диодах Шоттки, генератора устройства ИПС, необходимо выполнить их шунтирование демпфирующими RC-цепями.

Применение RC-демпфера позволило уменьшить величину обратного напряжения на диодах на 40 % (с 43,6 В до 26,4 В).

Разработана методика расчета параметров эле-

ментов демпфирующей RC-цепи для диодов Шоттки, применяемых в установке ИПС.

#### Список литературы

1. Райченко А. И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока / А. И. Райченко. – М.: Металлургия, 1987. – 129 с
2. Hong P. Spark Plasma Sintering of Si3N4-Based Ceramics. Doctoral Dissertation. Department of Inorganic Chemistry Stockholm University S-10691. – Stockholm, Sweden, 2004. – 104 p.
3. Пат. України № 101575, МПК (2006) B22F 3/14, B22F 3/105, B30B 15/02. Пристрій для іскраплазмового спікання порошків / О. М. Сизоненко, А. І. Івлієв, О. І. Райченко, В. В. Литвинов, А. Д. Зайченко, С. В. Конотоп; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України. – № а 2012 00975; заявл. 30.01.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7. – 4 с.
4. STPS24045TV Power Schottky Rectifier. Електронний ресурс: <http://datasheet.octopart.com/STPS24045TV-STMicroelectronics-datasheet-40703.pdf>
5. Глазенко Т. А. Схемотехнические и конструктивные методы обеспечения электромагнитной совместимости транзисторных преобразователей постоянного напряжения / Глазенко Т. А., Сеньков В. И. – Электричество. – 1989. – № 2. – С. 37–42.
6. Rudy Seversn. Design of snubbers for power circuits. Електронний ресурс: <http://www.cde.com/resources/technical-papers/design.pdf>
7. William P. Robbins. Lecture Notes. Snubber Circuits. Електронний ресурс: <http://aboutme.samexent.com/classes/spring09/ee5741/Snubbers.pdf>
8. Иоффе Д. Разработка адаптера на 65 Вт с применением ШИМ-контроллера NCP1237 фирмы On Semiconductor / Д. Иоффе. – Компоненты и технологии. – 2011. – № 12. – С. 138–146.
9. Общий подход к расчету снабберных RC-цепей. Електронний ресурс: <http://www.proton-electrotex.com/ru/articles/obshhij-podkhod-k-raschetu-snabberpuh>
10. Хоровиц П. Искусство схемотехники: в 2-х томах / П. Хоровиц, У. Хилл. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. 589 с.
11. Барегамян Г. В. Расчет параметров снаббера транзисторного ключа. / Г. В. Барегамян // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т. LIII, № 1.
12. Бакалов В. П. Основы теории цепей : Учебник для вузов / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. И. Крук // Под ред. В.П. Бакалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 597 с. – ISBN 5-256-01472-2.
13. SPICE Frequently Asked Questions. Електронний ресурс: <http://www.synopsys.com>
14. Цвенгер И. Г. Моделирование в среде PSpice: методические указания к лабораторным работам / И. Г. Цвенгер, В. Г. Макаров, А. М. Шаряпов, А. Н. Миляшов, А. В. Васильев, Р. Ф. Сабитов, Д. Д. Михайлова, И. Р. Хайруллин. – Казан. гос. технолог. ун-т. – Казань, 2008. – 72 с.
15. Раззеги В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7 / В. Д. Раззеги. – М.: Горячая линия - Телеком, 2003. – 368 с.: ил. ISBN 5-93517-127-9
16. CircuitMaker 2000 User Manual. Електронний ресурс: [http://www.cs.nccu.edu.tw/~whliau/ds2003/cm\\_user-manual.pdf](http://www.cs.nccu.edu.tw/~whliau/ds2003/cm_user-manual.pdf)
17. ISSPICE4 User's Guide. Електронний ресурс: <http://physics.usask.ca/~angie/ep311/isspice4.pdf>
18. Spectre Circuit Simulator Reference. Електронний ресурс: [http://ecee.cu.edu.eg/~fhussien/Spectre\\_tutorial.pdf](http://ecee.cu.edu.eg/~fhussien/Spectre_tutorial.pdf)
19. Linear Technology Corporation. Електронний ресурс: <http://www.linear.com>
20. Володин В. Краткое руководство по симулятору

LTspice Электронный ресурс: <http://valvolodin.narod.ru/articles/LTspice.pdf>

#### References (transliterated):

1. Rajchenko A.I. Osnovy processa spekanija poroshkov propuskaniem elektricheskogo toka [Fundamentals of the process of sintering of powders by passing an electric current]. Moscow, Metallurgy, 1987. 129 p.
2. Hong Peng. Spark Plasma Sintering of Si3N4-Based Ceramics. Doctoral Dissertation. Department of Inorganic Chemistry Stockholm University S-10691, Stockholm, Sweden, 2004, 104 p.
3. Pat. Ukrayiny # 101575, MPK (2006) B22F 3/14, B22F 3/105, B30B 15/02. Prystriy dlya iskroplazmovoho spikannya poroshkiv / O.M. Syzonenko, A.I. Ivliyev, O.I. Raychenko, V.V. Lytvynov, A.D. Zaychenko, S.V. Konotop; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impul'snykh protsesiv ta tekhnolohiy NAN Ukrayiny. – No a 2012 00975; zayavl. 30.01.2012; opubl. 10.04.2013, Byul. #7. 4 p.
4. STPS24045TV Power Schottky Rectifier. Jelektronnyj resurs: <http://datasheet.octopart.com/STPS24045TV-STMicroelectronics-datasheet-40703.pdf> (accessed 16.05.2016).
5. Glazenko, T.A., Sen'kov V.I. Shemotekhnicheskie i konstruktivnye metody obespechenija elektromagnitnoj sovmestnosti tranzistornyh preobrazovatelej postojannogo naprjazhenija. [Schematic design and methods of electromagnetic compatibility transistor converters a constant voltage], Jelektrichestvo, No 2, 1989, pp 37-42.
6. Rudy Severns. Design of snubbers for power circuits. Jelektronnyj resurs: <http://www.cde.com/resources/technical-papers/design.pdf> (accessed 16.05.2016).
7. William P. Robbins. Lecture Notes. Snubber Circuits. Jelektronnyj resurs: <http://aboutme.samexent.com/classes/spring09/ee5741/Snubbers.pdf> (accessed 16.05.2016).
8. Ioffe, D. Razrabotka adaptera na 65 Vt s primeneniem ShIM-kontrollera NCP1237 firmy On Semiconductor. [Development adapter 65W using NCP1237 PWM controller of the company On Semiconductor] Komponenty i tehnologii, No 12, 2011, pp. 138–146.
9. Obshhij podhod k raschetu snabbernyh RC cepej. [General view on calculation of snubber RC-circuits] Jelektronnyj resurs: <http://www.proton-electrotex.com/ru/articles/obshhij>
10. Horowitz Paul, Hill Winfield. The Art of Electronics. 1st Revised ed. Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne and Sydney, Cambridge University Press, 1980. (Rus. ed.: Horovic P., Hill U. Iskusstvo shemotekhniki, tom 1. Moscow, Mir, 1983 589 p).
11. Baregamjan G.V. Raschet parametrov snabbera tranzistorного kljucha [Calculation of the parameters of the transistor switch snubber]. Izv. NAN RA i GIUA, Ser. TN, 2000, vol. LIII, No 1.
12. Bakalov V.P., Dmitrikov V.F., Krug B.I. Osnovy teorii cepej [Fundamentals of circuit theory]: Uchebnik dlja vuzov; Pod red. V.P. Bakalova. Moscow: Gorjachaja linija – Telekom, 2007, 597 p. ISBN 5-256-01472-2.
13. SPICE Frequently Asked Questions. <http://www.synopsys.com>. (accessed 16.05.2016).
14. Cvenger I.G. Modelirovanie v srede PSpice: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam/sost [Modelling in the environment PSpice: guidelines for laboratory work]. I.G. Cvenger, V.G. Makarov, A.M. Sharapov, A.N. Miljashov, A.V. Vasil'ev, R.F. Sabitov, D.D. Mihajlov, I.R. Hajrullin. Kazan. gos. tehnolog. un-t, Kazan', 2008, 72 p.
15. Razevig V.D. Shemotekhnicheskoe modelirovanie s pomoshchju Micro-Cap 7 [Circuit simulation using the Micro-Cap 7]. V.D. Razevig, Moscow: Gorjachaja linija-Telekom, 2003, 368 p. ISBN 5-93517-127-9
16. CircuitMaker 2000 CircuitMaker User Manual Jelektronnyj resurs: [http://www.cs.nccu.edu.tw/~whliau/ds2003/cm\\_usermanual.pdf](http://www.cs.nccu.edu.tw/~whliau/ds2003/cm_usermanual.pdf) (accessed 16.05.2016).
17. ISSPICE4 User's Guide Jelektronnyj resurs: <http://physics.usask.ca/~angie/ep311/isspice4.pdf> (accessed 16.05.2016).
18. Spectre Circuit Simulator Reference Jelektronnyj resurs: [http://eece.cu.edu.eg/~fhusseini/Spectre\\_tutorial.pdf](http://eece.cu.edu.eg/~fhusseini/Spectre_tutorial.pdf) (accessed 16.05.2016)
19. Linear Technology Corporation Jelektronnyj resurs: <http://www.linear.com>
20. Volodin V. Kratko rukovodstvo po simuljatoru LTspice. [Quick Guide to the simulator LTspice] Jelektronnyj resurs: <http://valvolodin.narod.ru/articles/LTspice.pdf> (accessed 16.05.2016).

Поступила (received) 02.11.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Метод зменшення сплеску напруги на вихідних діодах Шоттки пристроя іскроплазмового спікання дисперсних композицій / О. О. Коваленко, О. М. Сизоненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 31-36. – Бібліог.: 20 назв. – ISSN 2079-0740.**

**Метод уменьшения всплеска напряжения на выходных диодах Шоттки устройства искроплазменного спекания дисперсных композиций / А. А. Коваленко, О. Н. Сизоненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 31-36. – Бібліог.: 20 назв. – ISSN 2079-0740.**

**Method of reducing surge voltage applied to the output Schottky diodes of devices for spark plasma sintering of dispersed compositions / O. O. Kovalenko, O. M. Syzonenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 31-36. – Bibliogr.: 20. – ISSN 2079-0740.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Коваленко А. А.** – молодший науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (ІІПТ НАНУ), Миколаїв, тел.: (097) 716-19-75; e-mail: kovalenko\_a\_iipt@mail.ru.

**Коваленко А. А.** – младший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, тел.: (097) 716-19-75; e-mail: kovalenko\_a\_iipt@mail.ru.

**Kovalenko O. O.** – Researcher Assistant, Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine (IPT, NASU), Mykolaiv, tel.: (097) 716-19-75; e-mail: kovalenko\_a\_iipt@mail.ru.

**Сизоненко Ольга Миколаївна** – провідний науковий співробітник; доктор технічних наук, професор, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (ІІПТ НАНУ), Миколаїв, тел.: (066) 341-08-89; e-mail: sizonenko43@rambler.ru.

**Сизоненко Ольга Николаєвна** – ведущий научный сотрудник; доктор технических наук, профессор, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, тел.: (066) 341-08-89; e-mail: sizonenko43@rambler.ru.

**Syzonenko Olha Mykolayivna** – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine (IIP, NASU), Mykolaiv, tel.: (066) 341-08- 89; e-mail: sizonenko43@rambler.ru.