

приоритетность ипсилатеральной миграции МСК, введенных в пространство Меккеля, по сравнению с контралатеральной миграцией. Также выявлено накопление имплантированных клеток в очаге нейродеструкции с течением времени.

### Заключение

Показано, что имплантация МСК в пространство Меккеля после моделирования одно или двухстороннего повреждения коры мозжечка сопровождается более эффективным восстановлением двигательной-ориентировочной активности при введении МСК крысам с односторонней травмой, что совпадает с более интенсивным перемещением МСК в область травмы мозга при их введении в область узла Гассера на стороне травмы.

## METHODS OF RESTORATION OF IMPAIRED FUNCTIONS OF BRAIN AFTER THE INTRODUCTION OF STEM CELLS IN THE MECKEL'S SPACE

Y.G. SHANKO, Y.P. STUKACH, V.A. KULCHITSKY,  
A.L. TANIN, V.V. KULEVAS, E.Y. CHERNYSH

### Abstract

In the series of experiments on Wistar rats ( $n=26$ ) after implantation of 40 thousand mesenchymal stem cells in 50  $\mu$ l of buffer solution into the Meckel's space after modeling unilateral or bilateral lesions of the cerebellar cortex it was found better recovery of motor-estimated activity after administered mesenchymal stem cells in animals with unilateral injury which coincided with a more intense movement of mesenchymal stem cells in a region of the brain trauma if MSC was administered to Gasser's node on the side of the injury.

*Keywords:* stem cells, neurodestruction, perineural migration, brain plasticity.

### Список литературы

1. Flanagan S.R. // Arch. Phys. Med. Rehabil. 2015. Vol. 96. P. 1753–1755.
2. Huang S., Xu L., Sun Y. et. al. // PLoS One. 2016. Vol. 11, № 10. P. e0163131.
3. Feng N., Hao G., Yang F. et. al. // Exp. Ther. Med. 2016. Vol 11, № 5. P. 1595–1600.

**УДК 533.9.01**

## ДИНАМИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СОГЛАСОВАНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ СИСТЕМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ВЫХОДНОГО ТРАКТА ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Д.В. ГОДУН, С.В. БОРДУСОВ, А.П. ДОСТАНКО, А.И. БОЖКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 15 ноября 2016

Для снижения реактивности тлеющего импульсного разряда разработано и опробовано устройство ступенчатого согласования канала связи силового каскада генератора возбуждающих плазму электрических импульсов и плазменного разряда, представляющего собой динамическую нагрузку. Особенностью данного устройства является применение программно-управляемого в широком диапазоне индуктивного элемента. Использование смешанных узлов аналоговой и цифровой схемотехники обеспечивает устойчивое регулирование индуктивности от 600 мкГн до 20 мГн. Экспериментальное опробование

работы устройства в составе разрядных систем Е-типа и с эффектом полого катода на частотах от 20 кГц до 60 кГц показало на уменьшение фазового сдвига между импульсами тока и напряжения разряда, и снижение величины паразитных выбросов на траекториях силовых импульсов. Это дает возможность повысить энергоэффективность процесса плазмообразования и увеличивает надежность работы импульсного генератора на плазменную нагрузку в процессах плазменной стерилизации изделий медицинского назначения.

*Ключевые слова:* тлеющий разряд, фазовый сдвиг, устройство согласования.

### Введение

К настоящему времени проведено достаточно большое количество исследований, подтверждающих бактерицидные свойства плазмы и возможность использования низкотемпературной неравновесной газоразрядной плазмы в целях стерилизации изделий медицинского назначения. Вопросам разработки оборудования, выбору режимов процессов обработки объектов, а также методам повышения энергозатрат в плазму газового разряда придается значительное внимание [1].

Известно, что при возбуждении плазменной среды электрическими импульсами или переменным напряжением одним из ключевых электрофизических параметров является реактивность сформированного разряда [2]. Данная характеристика зависит от геометрии разрядного электрода, величины приложенного импульсного напряжения, степени вакуума и сорта рабочего газа. Величина отраженной мощности от сформированной плазменной среды определяется величиной реактивности импульсного разряда и степенью согласования питающей и разрядной системы. Максимальная величина поглощенной плазменным разрядом мощности обеспечивается при условии равенства импедансов разрядной системы, линии электропитания и выходного тракта импульсного источника электропитания. Потери в неоднородных линиях в местах электрической несогласованности возникают за счет того, что часть энергии возвращается к источнику электропитания. Соответственно, для обеспечения согласования системы необходимо наличие в составе канала подачи электроэнергии устройства согласования, обеспечивающего равенство импедансов источника электропитания и плазменной среды с образованием последовательного резонанса токов. При этом газоразрядная система может быть представлена в виде емкости с отрицательным комплексным сопротивлением  $-X_c$ , а устройство согласования – управляемым дросселем с компенсирующим положительным реактивным сопротивлением  $X_L$ .

При загрузке разрядной камеры обрабатываемым материалом происходит изменение объема и формы разрядного электрода, что в свою очередь приводит к изменению величины импульсного тока, протекающего через разряд [3, 4]. Поскольку параметры газового разряда могут изменяться, т.к. нагрузка имеет динамический характер, то согласование параметров нагрузки и источника электропитания необходимо также постоянно корректировать.

### Методика эксперимента

На рис. 1 представлена структурная схема устройства динамического согласования выходного тракта импульсного источника электропитания и разрядной системы тлеющего разряда. Устройство согласования состоит из четырех модулей, объединенных в одну систему. Основой разработанного устройства является индуктивный элемент, состоящий из пяти независимых секций. Коммутация четырех секций силовыми ключами, входящими в состав модуля электрического коммутатора, обеспечивает грубое изменения параметров индуктивности и уменьшение волнового сопротивления канала. Модуль подстройки, управляя индуктивным элементом посредством пятой секции «подмагничивания», осуществляет плавное уменьшение или увеличение величины индуктивности в интервале от 600 мкГн до 20 мГн. Заданный диапазон индуктивности реализуется путем изменения величины

постоянного тока, протекающего через пятую секцию, что позволяет изменять в широком диапазоне физические свойства сердечника с распределенным магнитным зазором.

В разработанной системе ПЭВМ управляет по интерфейсу RS232 импульсным источником электропитания, модулем управления и считывает данные с модуля диагностики и контроля. Данный модуль состоит из цифрового осциллографа и двух дифференциальных пробников, установленных непосредственно на электрическом вводе разрядной системы.

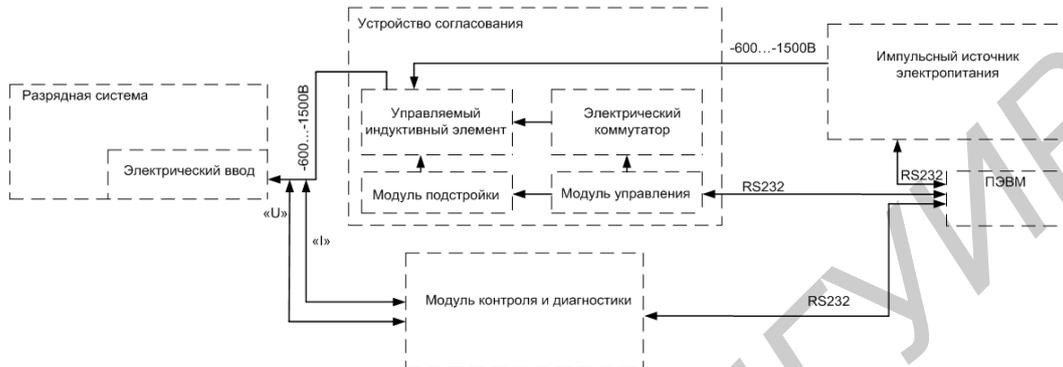


Рис. 1. Структурная схема динамического согласования выходного тракта импульсного источника электропитания и разрядной системы тлеющего разряда

На рис. 2 представлена принципиальная электрическая схема разработанного динамического устройства согласования.

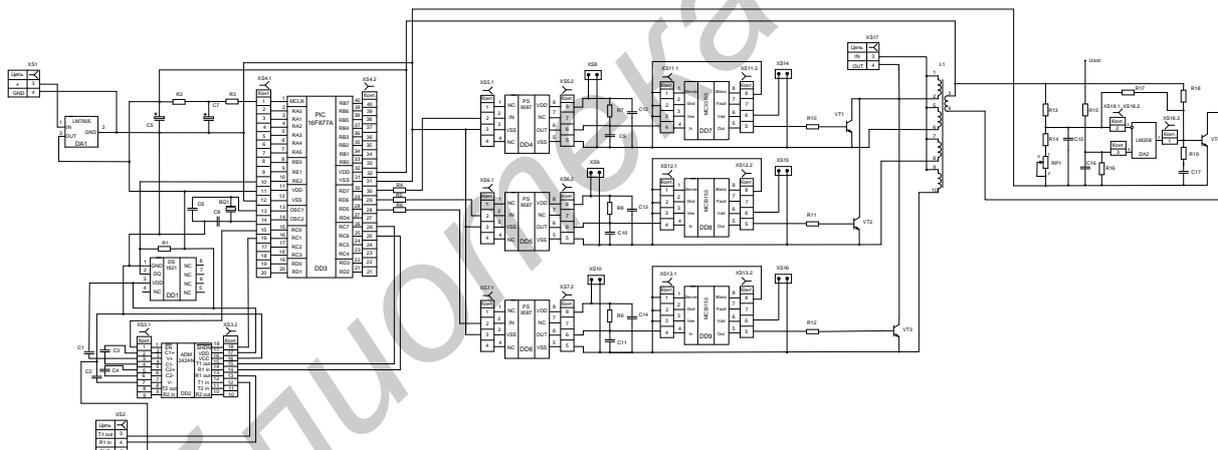


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства согласования

Управляющим элементом данного изделия является микроконтроллер PIC16F877A. Модуль запуска построен на элементах R2R3C6C7. Питание +12 В поступает на вход DA1 через разъем XS1. Микросхема LM7805 обеспечивает стабильное питание микроконтроллера с величиной +5 В. Частотозадающая цепь работы микроконтроллера реализована на элементах BQ1, C8, C9. Обмен пакетами данных с ПЭВМ обеспечивается через преобразователь DD2 по 232 интерфейсу. Оптопары DD4-DD6 обеспечивают гальваническое отделение силовой части от цепей питания микроконтроллера. Через разъемы XS8, XS9, XS10 поступает гальванически отвязанное друг от друга электропитание величиной +5 В. Драйверы силового ключа реализованы на микросхемах DD7 – DD9. Каждый из силовых ключей обеспечивает параллельную коммутацию секций дросселя. Электрический подвод силового питания осуществляется через разъем XS17. Модуль управления обмоткой подмагничивания реализован на операционном усилителе LM258. Элементами R13, R14, RP1 задается опорное напряжение питания. На второй ввод подается сигнал отрицательной обратной связи. Резистором R17 задается коэффициент усиления системы. Управляющим силовым элементом в системе является транзистор VT4.

**Результаты и их обсуждение**

Использование разработанного устройства согласования в разрядной системе Е-типа позволило обеспечить уменьшение реактивности плазменного разряда в среднем от 20 до 45%. Разброс данного параметра объясняется тем, что опыты проводились на частотах от 5 до 60 кГц при изменяемой скважности от 2 до 10. Максимальное уменьшение реактивности плазменного разряда происходило на узких импульсах со скважностью 10 в частотном диапазоне от 40 до 60 кГц.

На рис. 3 представлены осциллограммы импульсов напряжения (линия 1), тока (линия 2, инверсное значение) и вычисленное импульсное значение мощности плазменного разряда (линия, обозначенная «m», инверсное значение) при условии формирования импульсного разряда с параметрами: частота следования импульсов – 5 кГц, скважность 10, давление воздуха 100 Па, амплитудное значение напряжения –600 В.

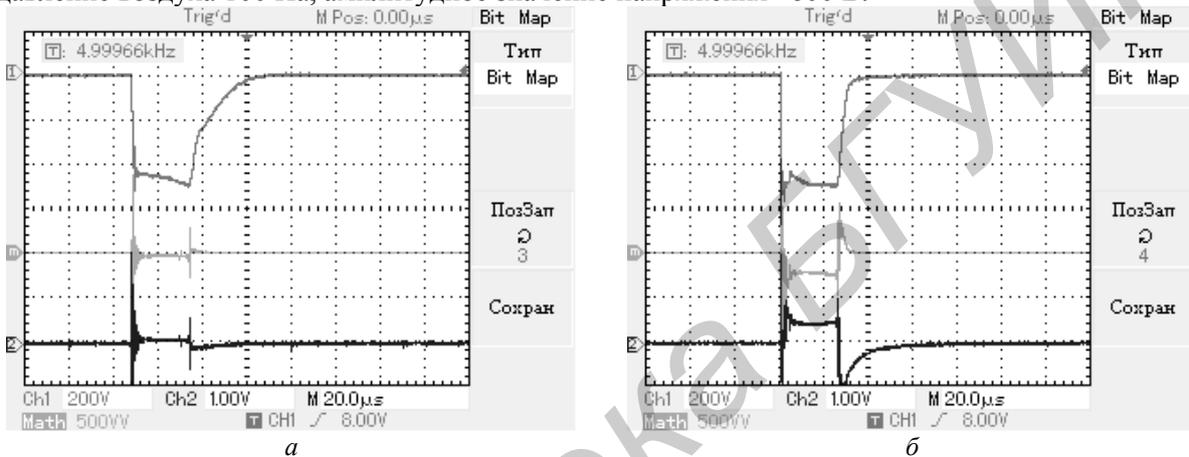


Рис. 3. Осциллограммы напряжения (1), тока (2) и импульсной мощности (m) тлеющего разряда: а – без устройства согласования; б – с устройством согласования

Измерительным оборудованием зафиксировано, что при использовании устройства согласования импульсы напряжения стали иметь более крутые фронты, а амплитуда импульсов тока выросла в 4 раза. Это указывает на то, что разряд стал более полно потреблять подводимую к нему энергию, что, в свою очередь, свидетельствует о более энергоэффективном процессе плазмообразования.

Применение устройства согласования позволяет осуществлять работу импульсного источника электропитания на различные технологические разрядные системы. Рис. 4 иллюстрирует режимы работы импульсного источника электропитания на разрядную систему с эффектом полого катода.

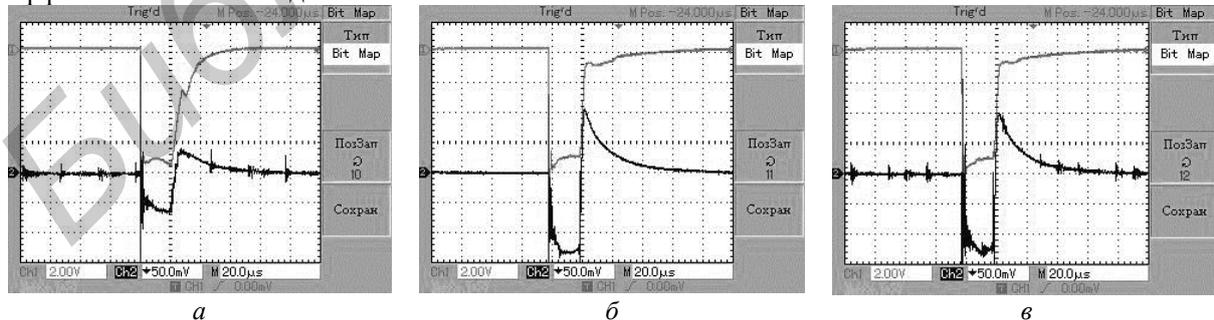


Рис. 4. Формы тока и напряжения при формировании импульсного разряда в системе с эффектом полого катода в различных режимах согласования: а – без устройства согласования,  $I_{cp} = 0,16$  А; б – включен режим плавной подстройки режима согласования,  $I_{cp} = 0,31$  А; в – включен режим плавной подстройки режима согласования и ступенчатой подстройки волнового сопротивления канала,  $I_{cp} = 0,3$  А

Эксперимент проводился при следующих технологических параметрах: частота следования импульсов 5 кГц, скважность 7, давление 100 Па, напряжение –1000 В. Из

результатов эксперимента следует, что аналогично происходит снижение реактивности плазменного разряда, увеличивается потребление мощности разрядом, что в целом приводит к увеличению КПД процесса плазмообразования. Также можно утверждать об универсальности применения источника импульсного электропитания в рассматриваемых разрядных системах. Из рис. 3, б, 4, а–в видно, что график формы тока в момент закрытия силового транзистора меняет свою полярность. Это означает, что после закрытия силового модуля в выходной тракт импульсного источника электропитания могут втекать большие импульсные токи, сравнимые с током разряда, но меньшей длительности. По этой причине необходимо схемотехнически обеспечить защиту выходного тракта импульсного источника электропитания, к примеру, методом разряда плазменной среды после закрытия силового модуля на активную нагрузку.

### Заключение

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что для обеспечения эффективного согласования разрядной системы, канала подачи электроэнергии и выходного тракта импульсного источника электропитания устройство согласования должно быть размещено в максимальной близости к разрядной системе, в частности непосредственно на электрическом вакуумном вводе энергопитания в технологическую вакуумируемую камеру.

Результатом проведенной работы является анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности процесса плазмообразования. Разработаны структурная и электрическая принципиальная схема устройства динамического согласования выходного тракта импульсного источника электропитания, канала подачи электроэнергии и разрядной системы. Использование устройства согласования на входе разрядной системы позволило обеспечить снижение реактивности плазменного разряда в среднем от 20 до 45%, что привело к существенному увеличению импульсного тока разряда. Увеличение импульсного тока разряда применительно к импульсам с большой скважностью позволяет формировать химически более активную плазменную среду и, тем самым, повысить эффективность стерилизации изделий медицинского назначения.

## THE DEVICE FOR DYNAMIC MATCHING OF GAS GLOW DISCHARGE PLASMA SYSTEM AND OUTPUT TRACT OF ELECTRIC PULSE GENERATOR

D.V. GODUN, S.V. BORDUSAU, A.P. DOSTANKO, A.I. BOZHKO

### Abstract

To reduce the reactivity of a glow pulse discharge, the device for stepwise matching of the communication channel of the power stage of electric pulses generator for exciting plasma and the plasma discharge as a dynamic load was developed and tested. The peculiarity of this device is the usage of a wide range software-controlled inductive element. The using of mixed analog and digital units circuitry provides stable regulation of inductance from 600  $\mu\text{H}$  to 20 mH. Experimental testing of the device with the E-type and hollow cathode discharge systems at frequencies from 20 kHz to 60 kHz showed a decrease of the phase shift between the current and the discharge voltage pulses and the reduction of the spurious emissions on power pulses trajectories. It makes possible to increase the energy efficiency of plasma process and reliability of the operation of pulse generator with plasma as a load during plasma assisted process of sterilizing medical tools.

*Keywords:* glow discharge, the phase shift, coordination unit.

### Список литературы

1. *Корнев И.И.* // Поликлиника. 2012. № 6. С. 29–31.
2. *Данилин Б.С.* Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М., 1989.
3. *Бойко В.И.* Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. СПб, 2004.
4. *Godun D.V., Bordusau S.V., Dostanko A.P.* // Proc. of the XXth Int. Symp. Physics of Switching Arc. Brno, Czech Republic, September 2–6, 2013. P. 151–154.