

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202000047** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.06.30

(51) Int. Cl. **H05H 1/24** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2019.12.27

(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

(96) **2019000153 (RU) 2019.12.27**

(74) Представитель:
Микуцкая Т.Ю., Файбисович А.С.
(RU)

(71)(72) Заявитель и изобретатель:
**ХИНКИС АЛЕКСАНДР
ВИКТОРОВИЧ; ЧАПЛИК НИКИТА
(RU)**

(57) Представлено устройство для генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и пониженном давлении, содержащее твердотельный импульсный генератор с датчиком тока, разрядный колебательный контур, получающий энергию от указанного генератора, а также управляющее компьютерное устройство для регулирования ввода энергии в разрядный контур в виде коротких импульсов путем независимой и динамической регулировки частоты и скважности подачи силовых импульсов на нагрузку через контур ударного возбуждения на основании данных, полученных по обратной связи от указанных датчиков тока. Регулирование ввода энергии осуществляют таким образом, чтобы постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы. Также предложен способ генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и/или пониженном давлении с помощью устройства по изобретению. Технический результат заключается в возможности контролировать свойства среды в зоне обработки при сниженном энергопотреблении.

A1

202000047

202000047

A1

Описание изобретения
УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к устройствам для генерации периодических импульсов с переменной частотой повторения и может быть применено, в частности, в устройствах для генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и пониженном давлении.

Предшествующий уровень техники

В различных производственных и лабораторно-технических процедурах важна хорошая дезинфекция используемых объектов. Дезинфекция - это уменьшение количества жизнеспособных микроорганизмов с помощью физических или химических методов.

Одним из способов эффективного обеззараживания поверхностей является обработка низкотемпературной плазмой газового разряда атмосферного давления.

Начиная с 2000-х годов, работы по созданию систем генерации низкотемпературной плазмы атмосферного давления для медицинских применений проводятся во многих странах мира (США, Германия, Япония, Россия, Китай). На данный момент существуют устройства генерации плазмы на основе искрового коронного и высокочастотного разрядов. Их недостатками, в частности, являются локальный характер горения разрядов и необходимость обеспечения специальных внешних условий для поддержания разряда. Локальный характер горения приводит к низкой однородности генерируемой плазмы, что снижает эффективность обеззараживания из-за неравномерного воздействия на обрабатываемую поверхность в случае прямой обработки объекта плазмой разряда.

Известен также другой тип газового разряда высокого давления – объемный разряд. Одно из достоинств объемного разряда – возможность применять очень высокие значения удельной мощности (до 1 МВт/см^3), а, следовательно, и результирующая энергия также оказывается значительной. Разряд представляет собой проводящий канал, образованный между двумя электродам. В отдельно взятый момент времени существует только один канал. С каждым новым импульсом канал образуется в новом месте. Временные характеристики возбуждения разряда подобраны таким образом, чтобы новый импульс подавался только после полного распада предыдущего.

Известны способы дезинфекции поверхностей при атмосферном давлении с помощью плазменной струи, создаваемой электрическим разрядом в пространстве, через которое пропускают газ (см., например, публикацию патентной заявки США № 2010021340 (A1) от 28.01.2010). Дезинфекционный эффект возникает за счет передачи энергии к поверхности от неравновесной плазмы, когда в газоразрядной плазме происходит возбуждение и диссоциация газообразных соединений с формированием различных радикалов, и эти радикалы (не только радикалы) активно воздействуют на микроорганизмы на стерилизуемой поверхности.

Для получения сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы известно использование устройств, генерирующих импульсы прерывистых затухающих гармонических колебаний с использованием принципа ударного возбуждения колебательного контура импульсами тока большой величины (см., например, Мастяев В.Я. Генераторы на импульсных тиратронах для индукционного нагрева. — М.: Энергия, 1978).

Например, в патенте РФ № 2523163 для получения импульсов затухающих высокочастотных колебаний используют твердотельный генератор с контуром ударного возбуждения. Известный генератор содержит первичные накопитель энергии и коммутатор, подключенные

последовательно к первичной обмотке импульсного трансформатора с насыщающимся сердечником, к выводам вторичной обмотки которого подключены конденсатор контура, в который передается энергия первичного накопителя, и диод, а также выходной высокочастотный трансформатор, первичная обмотка которого образует с конденсатором контура параллельный колебательный контур. В качестве ключевого элемента использован диод, находящийся в закрытом состоянии в момент передачи энергии первичного накопителя в конденсатор колебательного контура и в открытом в момент возникновения колебаний в этом контуре.

В известном устройстве постоянный затухающий ток через диод протекает в прямом направлении и насыщает структуру диода носителями, что позволяет диоду проводить ток не только в положительные, но и в отрицательные периоды высокочастотных колебаний в контуре. Однако ввиду затухания амплитуды напряжения во времени, его величины становится недостаточно для зажигания разряда в последующие периоды колебаний. Таким образом, часть энергии импульса тратится бесполезно, рассеиваясь в виде тепла в проводниках. Это приводит к снижению эффективности генератора плазмы за счет его повышенного энергопотребления.

Задача повышения эффективности генератора импульсов затухающих колебаний решалась, например, в патенте JPS5862924, относящемся к мощному генератору импульсов затухающих колебаний. В известном устройстве используют дополнительный конденсатор для накопления неизрасходованной энергии затухающих колебаний в цепи, которые после полного прекращения колебаний возвращают на источник питания с помощью дополнительной цепи рекуперации.

Дальнейшее развитие данного подхода представлено в патенте РФ №2647662, в котором описан твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения, содержащий первичные накопитель

энергии и полупроводниковый коммутатор, которые подключены последовательно к первичной обмотке импульсного трансформатора. Повышение эффективности устройства обеспечено за счет использования схемы управления, которая обеспечивает включение коммутатора при достижении определенного уровня напряжения на ёмкостном накопителе и отключение коммутатора через фиксированный интервал времени или при отсутствии протекающего через него тока, причем ток протекает через параллельный коммутатору диод.

Особенностью данного технического решения является применение в качестве первичного коммутатора биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT-транзистора). Возможность как включения, так и выключения коммутатора внешним сигналом управления позволяет прерывать колебания в первичном контуре либо в нужный момент времени, либо при прекращении потребления энергии нагрузкой. При этом часть энергии импульса, не потребленная нагрузкой, запасается в емкости накопителя первичного контура. На величину этой остаточной энергии уменьшается энергия, поступающая в накопитель от источника питания для формирования следующего импульса.

Путем корректировки параметров трансформатора обеспечивают согласование генератора с разрядным промежутком. Например, варьированием соотношения витков первичной и вторичной обмоток, можно изменять амплитуду выходного напряжения генератора. Изменением коэффициента связи обмоток (фактически, изменением индуктивности рассеяния) удастся ограничивать максимальный ток через разрядную систему, не прибегая к помощи балластных резисторов и не теряя полезную мощность на них. Таким образом, обеспечивается высокий КПД разрядной системы.

Вышеописанного решения по патенту РФ №2647662 достаточно для увеличения энергоэффективности устройства генерации

низкотемпературной плазмы. Однако с точки зрения прикладных задач современной промышленности, таких как функционализация, дезинфекция и стерилизация сложных поверхностей различной природы (биологические и небиологические), помимо эффективной генерации плазмы необходимо контролировать получаемую среду в зоне обработки с высокой точностью и управлять ей, что не обеспечивается в известном устройстве.

Технической задачей настоящего изобретения является обеспечение возможности оперативного контроля и управления свойствами получаемой энергетической среды в зоне обработки при зажигании газовых разрядов с сохранением энергоэффективности генератора низкотемпературной плазмы.

Сущность изобретения

Указанная выше задача решается с помощью устройства и способа по изобретению.

Технический результат заключается в обеспечении возможности тонкой регулировки параметров среды в зоне воздействия плазмы, отсутствия локальных перегревов, формирования равномерного приповерхностного слоя при сохранении низкого энергопотребления устройства и его высокой эффективности.

Этот эффект достигается за счет включения нагрузки (разрядного промежутка) в состав колебательного контура, в котором происходит выделение энергии, а также за счет применения особого способа ввода энергии в разрядный объем и цифровой системы контроля создания импульсов. Благодаря этому формируется точный профиль и амплитуда разрядного тока и можно ограничивать выделение энергии.

В устройстве по изобретению генерация периодических импульсов с переменной частотой повторения происходит в управляющем устройстве за счет широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с помощью специальных математических алгоритмов, заложенных в программном обеспечении.

Принцип работы устройства заключается в том, что колебания формируют заранее с помощью программного обеспечения, и они поступают дальше уже в виде сигнала типа «меандр». При этом можно не использовать специальную систему прерывания коммутатором, как в известном устройстве по патенту №2647662.

Устройство по изобретению содержит твердотельный импульсный генератор с датчиком тока, к которому подключена первичная обмотка импульсного трансформатора, разрядный колебательный контур, получающий энергию от указанного генератора, и управляющее компьютерное устройство. Разрядный колебательный контур включает в себя вторичную обмотку указанного импульсного трансформатора, разделительный конденсатор, датчик тока и нагрузку, в которой генерируются импульсы затухающих колебаний.

Указанное управляющее компьютерное устройство по изобретению представляет собой программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), микроконтроллер или микропроцессор. Микроконтроллер представляет собой единое устройство, объединяющее в себе микропроцессор (вычислительное ядро) и периферические устройства для сбора и обработки информации и выдачи управляющих сигналов, то есть в нем все опорные устройства, такие как постоянное запоминающее устройство, оперативная память, таймер, последовательный интерфейс, порты ввода/вывода, являются встроенными. Управляющее устройство также может быть выполнено в виде отдельных компонентов — микропроцессора и набора внешних периферических устройств. Также управляющее устройство может представлять собой программируемую логическую интегральную схему, содержащую матрицы логических вентилей, которые можно сконфигурировать под требуемые функции, в частности функции микроконтроллера.

Управляющее компьютерное устройство по изобретению содержит машиночитаемые инструкции для регулирования ввода энергии в разрядный контур в виде коротких импульсов путем независимой и динамической регулировки частоты и скважности подачи силовых импульсов на нагрузку через контур ударного возбуждения генератора на основании данных, полученных по обратной связи от указанных датчиков тока, таким образом, чтобы постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы. Формирование импульсов и регулирование передаваемой мощности осуществляется за счет ШИМ с помощью математических алгоритмов, заложенных в программном обеспечении.

Управляющее компьютерное устройство по изобретению на основании данных, полученных по обратной связи от указанных датчиков тока, регулирует расход плазмообразующего газа таким образом, чтобы при появлении характерных импульсных токовых выбросов, предваряющих возникновение дуги, увеличивать поток газа для поддержания параметров разряда.

При этом управляющее компьютерное устройство осуществляет дозирование и контроль энергоснабжения в каждом отдельном импульсе путем корректировки длительности этого импульса.

Контур ударного возбуждения генератора включает в себя источник питания, силовой высоковольтный МОП транзистор, диод и операционный усилитель, а также может дополнительно содержать компаратор и подстроечный резистор для контроля и регулировки длительности импульса.

Датчик тока в генераторе может быть подключен с возможностью фиксировать перепады тока и, соответственно, вкладываемой в импульс энергии, которые меняются в зависимости от расстояния между анодом и катодом в разрядном промежутке.

При этом генератор может вводить энергию в разрядный контур в виде импульсов в широком диапазоне энергии (приблизительно от 5 до 40 мДж) и длительностью 50-55 мкс (короткие импульсы) и частотой повторения импульсов до 100000 Гц. Это осуществляется за счет использования высокоскоростных операционных усилителей, компараторов и драйвера створа МОП транзистора.

Устройство по изобретению также содержит дисплей, который выдает пользователю информацию обо всех необходимых параметрах.

В еще одном аспекте заявленное изобретение относится к способу генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и/или пониженном давлении. При этом регулируют ввод энергии в разрядный контур в виде коротких импульсов путем независимой и динамической регулировки частоты и скважности подачи силовых импульсов на нагрузку через контур ударного возбуждения на основании данных, полученных по обратной связи от датчиков тока контура ударного возбуждения датчиков тока разрядного контура, причем регулировку параметров импульсов осуществляют таким образом, чтобы постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы.

Длительность импульса контролируют и регулируют с помощью компаратора и подстроечного резистора.

Длительность разрядных импульсов и максимальное значение тока разряда регулируют путем изменения емкости конденсатора разрядного контура.

Длительность разрядных импульсов и их структуру регулируют путем изменения индуктивности вторичной обмотки трансформатора.

Частоту и скважность импульсов регулируют на основе данных по обратной связи от датчиков тока, которые фиксируют перепады тока, меняющегося в зависимости от расстояния между анодом и катодом в разрядном промежутке.

Энергию вводят в разрядный контур в виде импульсов величиной до 40 мДж и длительностью до 50-55 мкс и с частотой повторения импульсов до 100000 Гц.

Таким образом, в соответствии с настоящим изобретением, при генерации импульсного разряда все процессы ввода энергии в разрядный объём и генерации осуществляют в период действия импульса, поэтому определяющими являются именно характеристики в одиночном импульсе, а средние параметры разряда и выходные характеристики определяются частотой его повторения.

В устройстве по изобретению предусмотрена автоматическая подстройка рабочей частоты устройства в резонанс, что позволяет существенно упростить процесс зажигания разряда и подбора оптимального режима обработки (в зависимости от выполняемого технического процесса), что также приводит к снижению потребляемой мощности.

Перечень фигур чертежей

Вышеуказанные и другие аспекты настоящего изобретения станут очевидны специалисту в данной области техники при ознакомлении с сопроводительными чертежами и нижеследующим подробным описанием представленных вариантов осуществления.

На Фиг. 1 представлена упрощенная электрическая схема ударного генератора по изобретению.

На Фиг. 2 представлена упрощенная электрическая схема разрядного колебательного контура ударного генератора по изобретению.

На Фиг. 3 приведена осциллограмма тока накачки с датчика тока для ударного генератора по изобретению.

На Фиг. 4 приведена эквивалентная схема колебательного контура до пробоя.

На Фиг. 5 приведена эквивалентная схема колебательного контура после пробоя.

На Фиг. 6 показана осциллограмма с трансформатора тока, показывающая форму тока в разрядном промежутке после пробоя.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Варианты осуществления изобретения описаны со ссылкой на сопроводительные чертежи. Тем не менее, следует понимать, что описанные варианты осуществления данного изобретения приведены исключительно в качестве примеров, которые могут быть осуществлены в различных формах. Фигуры необязательно приведены в масштабе, и некоторые признаки могут быть увеличены или уменьшены с целью изображения деталей конкретных элементов. Конкретные конструкционные и функциональные особенности, изложенные в настоящем описании изобретения, не могут быть истолкованы как ограничивающие, и приведены лишь в качестве наглядного примера для ознакомления специалистов в данной области техники с вариантами применения раскрытой сущности изобретения.

На Фиг. 1 схематически показана электрическая схема ударного генератора по изобретению. Генерация первичных импульсов и динамическая подстройка их частоты и скважности происходят в управляющем компьютерном устройстве (1) (например, микроконтроллере) с помощью содержащихся в нем машиночитаемых инструкций. Управляющее компьютерное устройство (1) с помощью встроенного АЦП оцифровывает сигналы с датчика тока (5) и трансформатора тока (9), усиленные операционными усилителями (2) и (3) соответственно; по форме тока определяет состояние разрядного промежутка (8): горит ли в нем объемный разряд, или разряд отсутствует, или же разряд стянулся в дуговой. Осциллограмма тока с датчика (5) при объемном импульсном разряде приведена на Фиг. 3, с трансформатора тока (9) — на Фиг. 6. При обнаружении дугового разряда управляющее устройство уменьшает длительность импульса и частоту, при отсутствии разряда — соответственно, увеличивает. С выхода управляющего устройства

импульсы передаются на ключевой МОП-транзистор (4) через высокоскоростной драйвер затвора (на схеме не показан). Открываясь, ключевой транзистор (4) подает ток на первичную обмотку высоковольтного трансформатора (6).

Импульсы, выдаваемые ударным генератором на трансформатор (6), приходят на схему, которая представляет собой последовательный колебательный разрядный контур (см. Фиг. 2), состоящий из импульсного трансформатора L , разделительного конденсатора C и нагрузки R .

При прохождении импульса тока через первичную обмотку энергия запасается в магнитном поле трансформатора. Энергия, высвободившаяся при прерывании импульса, создает во вторичной обмотке L_2 ЭДС, которая на короткое время достигает значений, превышающих электропрочность воздуха. Этого времени хватает для формирования разряда.

Длительность разрядных импульсов и их структура определяется параметрами колебательного контура, образованного индуктивностью вторичной обмотки трансформатора L_2 , разделительным конденсатором C и конструкцией разрядного промежутка. Меняя любой из этих параметров, можно добиться изменения характеристик разряда.

При изменении емкости конденсатора C меняется длительность и максимальное значение тока разряда. Подбирается такое значение емкости C , чтобы энергии, вводимой в единичный импульс, было недостаточно для контракции разряда и его перехода в дуговую форму.

Результатом применения такой схемы ввода энергии в разрядный объем является зажигание между двумя электродами объемного импульсного разряда в качестве нагрузки (см, например, работы 1. Н.А. Шарапов, А.В. Хинкис, С.И. Гаджихалилова и др. Структура импульсного разряда с переменной частотой повторения. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2017, т. 40, вып. 2, с. 61-64; и 2. Гаджихалилова С.И., Шарапов Н.А., Хинкис А.В. Исследование частотного

импульсного разряда. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы создания и применения космических аппаратов и робототехнических средств в интересах Вооруженных сил Российской Федерации». СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. – Т. 2. – 64 с.). В данных работах в прототипе плазмохимического реактора (ПХР) использовали разрядную камеру с линейной (аксиальной) геометрией, разряд в которой по внешнему виду напоминает колокол. В ходе работы использовались специализированный экспериментальный стенд и модернизированная разрядная камера с радиальной геометрией. Сама рабочая камера является элементом колебательного контура, в котором и происходит выделение энергии. Такое включение реактора обладает рядом преимуществ, а именно: формирование профиля и амплитуды разрядного тока, временное ограничение энерговыделения. Энергию вводили в контур в виде коротких импульсов величиной 5—40 мДж и длительностью 50—55 мкс, и при этом в контуре возбуждались высокочастотные колебания (1—10 МГц) и происходил пробой межэлектродного промежутка. Разряд представляет собой проводящий канал, образованный между двумя электродами. В отдельно взятый момент времени существует только один канал. С каждым новым импульсом канал образуется в новом месте. Временные характеристики возбуждения разряда подобраны таким образом, чтобы новый импульс подавался только после полного распада предыдущего. Такой режим и определяет форму существования разряда.

С помощью ударного генератора в устройстве по изобретению был получен стабильный объемный разряд, который не стягивался в дуговой с течением времени, то есть постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы, что контролировали с помощью высокоскоростной съемки.

В ходе проведенных испытаний устройства по изобретению было получено равномерное распределение разряда на поверхности, что подтверждается отсутствием повреждений из-за локальных перегревов,

возникающих при контракции разряда. Испытания проводили на поверхностях с разной структурой и свойствами: на пластиковой подложке размерами 40*65мм, которая подверглась воздействию плазмы с целью активации поверхности. На куске мяса, разрезанном на две равные части, объемом примерно 20 см³. Первый обрабатывали плазмой один раз в сутки в течение 20 с, а второй был контрольным образцом. Образцы хранили в полиэтиленовых пакетах при температуре 27°C, оптимальной для размножения бактерий. Контрольный образец изменил свой цвет на вторые сутки, в то время как обработанный не потерял розовой окраски на 5 день хранения. Это показывает, что микроорганизмы на обработанном образце были в значительной степени удалены, а продукт продезинфицирован, что позволяет значительно увеличить срок его хранения.

Также было проведено исследование влияния плазмы на инактивацию микроорганизмов. Образцы были взяты с кожи здорового человека и выращены в питательной среде до концентрации 10⁹ мл⁻¹. Инактивацию проводили в воздушной среде при атмосферном давлении и температуре 24°C. Полная инактивация микроорганизмов была достигнута после 20 секунд обработки.

В начальный момент времени происходит подача тока (накачка) на первичную обмотку трансформатора (см. Фиг. 3), в которой запасается энергия.

При прекращении подачи тока энергия, запасенная в трансформаторе L, передается вторичному контуру. Сам вторичный контур представляет собой RCL колебательную систему (см. Фиг. 4).

При этом L_0 - собственная индуктивность подводящих проводов.

$C_3 = 1 \cdot 10^{-12}$ Ф, где Ф – распределенная емкость на землю.

C_k - емкость межэлектродного промежутка.

Эквивалентная схема колебательного контура после пробоя представлена на Фиг. 5.

Осциллограмма, показывающая форму тока в разрядном промежутке после пробоя, показана на Фиг. 6.

Подобная организация разрядного процесса демонстрирует преимущество предложенного решения. Модуль позволяет вводить энергию в контур в виде коротких импульсов величиной 5—40 мДж (гибкое управление вкладываемой энергией) и длительностью 50—55 мкс. Предложенный способ делает возможным изменение временных параметров разряда (длительность энерговыделения в импульсе) и варьирование средними характеристиками за счет частоты повторения импульсов (100000 Гц) и расхода плазмообразующего газа (в случае расходной системы). При этом в контуре возбуждаются высокочастотные колебания (20—40 МГц) и происходит пробой межэлектродного промежутка.

Энергия, вкладываемая в разряд, пропорциональна энергии, вводимой в контур, часть из которой неизбежно теряется. Ввод энергии в контур дозируется и контролируется в каждом импульсе.

Использованные в работе значения были получены для достижения необходимых характеристик разряда в рамках эксперимента и могут быть изменены при корректировке ПО и замене номиналов элементов в электрической схеме. Но принцип работы схемы от этого не поменяется. По аналогии и значение рабочей частоты не является определяющим фактором в реализации решения.

Универсальный модуль для генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и пониженном давлении, состоящий из «ударного» генератора и управляющего устройства, может быть использован в различных сферах промышленности, благодаря тонкой настройке выходных параметров плазмы и, как следствие, содержания в ней активных элементов.

Формирование периодических импульсов с переменной частотой повторения происходит в управляющем устройстве за счет ШИМ с помощью специальных программных алгоритмов. Далее полученный сигнал передаётся на ударный генератор. С помощью подключенного к управляющему устройству энкодера осуществляется независимая регулировка частоты и скважности подачи силовых импульсов на разрядную камеру.

Ударный генератор управляет подачей питания на разрядный контур. Работа последовательного колебательного разрядного контура, состоящего из импульсного трансформатора, разделительного конденсатора и нагрузки, осуществляется силовым высоковольтным МОП транзистором через драйвер. Длительность импульса контролируется компаратором и регулируется подстроечным резистором. Система защиты по напряжению представлена диодом, а система защиты по току представлена операционным усилителем и регулируется через управляющее компьютерное устройство.

Предусмотренный в схеме датчик тока позволяет фиксировать перепады тока и вкладываемой энергии и изменять режим работы в зависимости от расстояния между анодом и катодом разрядного промежутка. Настройка в резонанс двух контуров, имеющих индуктивную связь, позволяет существенно упростить процесс зажигания разряда и подбора оптимального режима обработки (в зависимости от выполняемого тех. процесса), это также приводит к снижению потребляемой мощности.

Технический результат изобретения достигается за счет особого способа ввода энергии в разрядный объём. Все процессы ввода энергии и генерации происходят в период действия импульса, поэтому определяющими будут именно характеристики в одиночном импульсе, а средние параметры разряда и выходные характеристики определяются частотой его повторения.

Раскрытые выше конкретные примеры осуществления приведены для целей иллюстрирования и описания. Их не следует толковать как исчерпывающие или ограничивающие изобретение именно раскрытыми формами. При этом следует понимать, что возможны разнообразные модификации и изменения, следующие из раскрытой в настоящем описании идеи изобретения. Объем защиты определен пунктами прилагаемой формулы изобретения и их эквивалентами.

Формула изобретения

1. Устройство для генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и/или пониженном давлении, содержащее:

твердотельный импульсный генератор с датчиком тока, к которому подключена первичная обмотка импульсного трансформатора; и

разрядный колебательный контур, получающий энергию от указанного генератора и включающий в себя вторичную обмотку указанного импульсного трансформатора, разделительный конденсатор, датчик тока и нагрузку, в которой генерируются импульсы затухающих колебаний;

управляющее компьютерное устройство, содержащее машиночитаемые инструкции для регулирования ввода энергии в разрядный контур в виде коротких импульсов путем независимой и динамической регулировки частоты и скважности подачи силовых импульсов на нагрузку через контур ударного возбуждения указанного генератора на основании данных, полученных по обратной связи от указанных датчиков тока, таким образом, чтобы постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что управляющее устройство представляет собой программируемую логическую интегральную схему, микроконтроллер или микропроцессор.

3. Устройство по п. 1 или 2, отличающееся тем, что управляющее компьютерное устройство содержит машиночитаемые инструкции для регулирования расхода плазмообразующего газа на основании данных, полученных по обратной связи от указанных датчиков тока, таким образом, чтобы при появлении характерных импульсных токовых выбросов, предвещающих возникновение дуги, увеличивать поток газа для поддержания параметров разряда.

4. Устройство по любому из п.п. 1 -3, отличающееся тем, что управляющее компьютерное устройство содержит машиночитаемые инструкции для дозирования и контроля энергоснабжения в каждом отдельном импульсе путем корректировки его длительности.
5. Устройство по любому из п.п. 1 - 4, отличающееся тем, что контур ударного возбуждения генератора включает в себя источник питания, силовой высоковольтный МОП транзистор, диод, операционный усилитель.
6. Устройство по любому из п.п. 1 - 5, отличающееся тем, что контур ударного возбуждения генератора дополнительно содержит компаратор и подстроечный резистор для контроля и регулировки длительности импульса.
7. Устройство по любому из п.п. 1 - 6, отличающееся тем, что датчик тока подключен с возможностью фиксировать перепады тока и, соответственно, вкладываемой в импульс энергии, которые меняются в зависимости от расстояния между анодом и катодом в разрядном промежутке.
8. Устройство по любому из п.п. 1 - 7, отличающееся тем, что генератор выполнен с возможностью вводить энергию в разрядный контур в виде коротких импульсов длительностью около 50-55 мкс.
9. Устройство по любому из п.п. 1 - 8, отличающееся тем, что генератор выполнен с возможностью вводить энергию в разрядный контур с частотой повторения импульсов до 100000 Гц.
10. Способ генерации сильнонеравновесной низкотемпературной плазмы импульсных газовых разрядов при атмосферном и/или пониженном давлении с помощью устройства по п. 1, в котором регулируют ввод энергии в разрядный контур в виде коротких импульсов путем независимой и динамической регулировки частоты и скважности подачи силовых импульсов на нагрузку через контур ударного возбуждения на основании данных, полученных по обратной связи от датчиков тока контура ударного

возбуждения датчиков тока разрядного контура, причем регулировку параметров импульсов осуществляют таким образом, чтобы постоянно поддерживать стабильные параметры плазмы.

11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что длительность импульса контролируют и регулируют с помощью компаратора и подстроечного резистора.

12. Способ по п. 10, отличающийся тем, что длительность разрядных импульсов и максимальное значение тока разряда регулируют путем изменения емкости конденсатора разрядного контура.

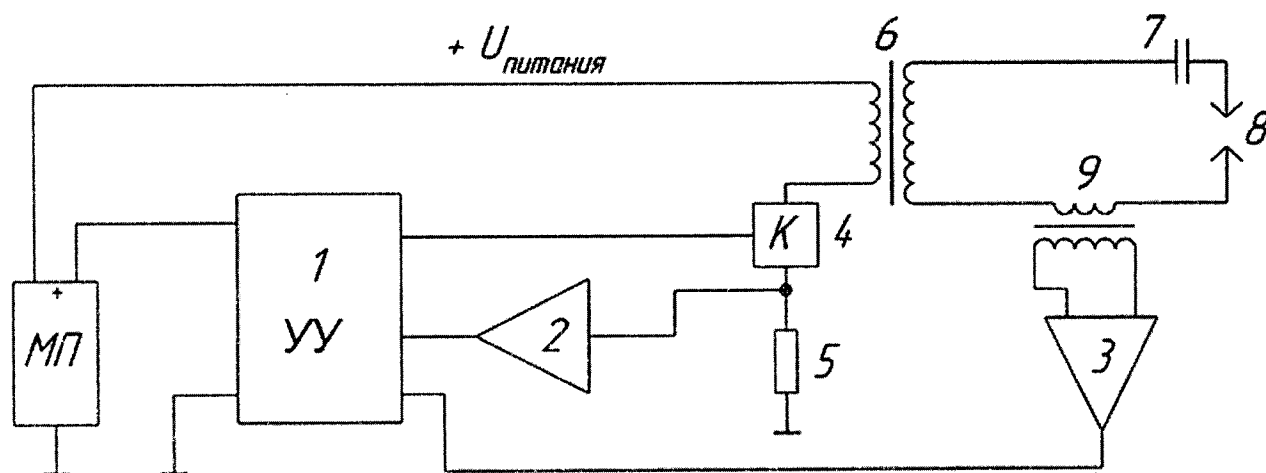
13. Способ по п. 10, отличающийся тем, длительность разрядных импульсов и их структуру регулируют путем изменения индуктивности вторичной обмотки трансформатора.

14. Способ по любому из п.п. 8 - 13, отличающийся тем, что частоту и скважность импульсов регулируют на основе данных по обратной связи от датчиков тока, которые фиксируют перепады тока, меняющегося в зависимости от расстояния между анодом и катодом в разрядном промежутке,

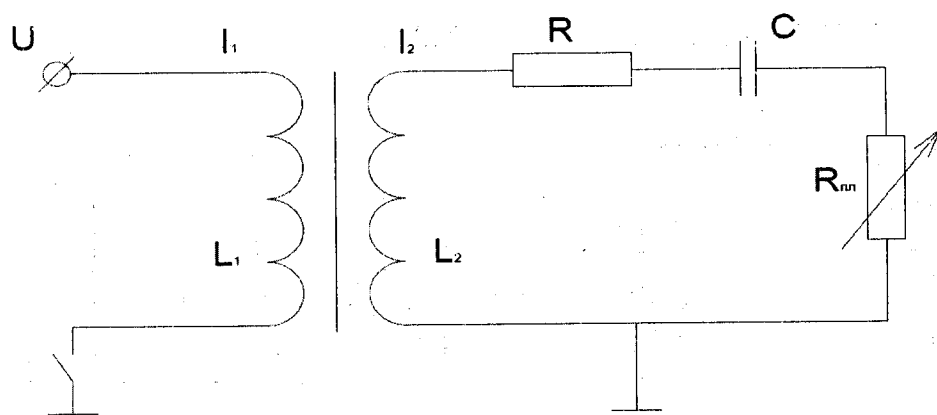
15. Способ по п. 14, в котором при получении сигнала от датчиков тока о том, что в разрядном промежутке появились характерные импульсных токовые выбросы, предваряющие возникновение дуги, увеличивают поток газа для поддержания параметров разряда.

16. Способ по любому из п.п. 8 - 15, отличающийся тем, что энергию вводят в разрядный контур в виде импульсов величиной до 40 мДж и длительностью до 50-55 мкс.

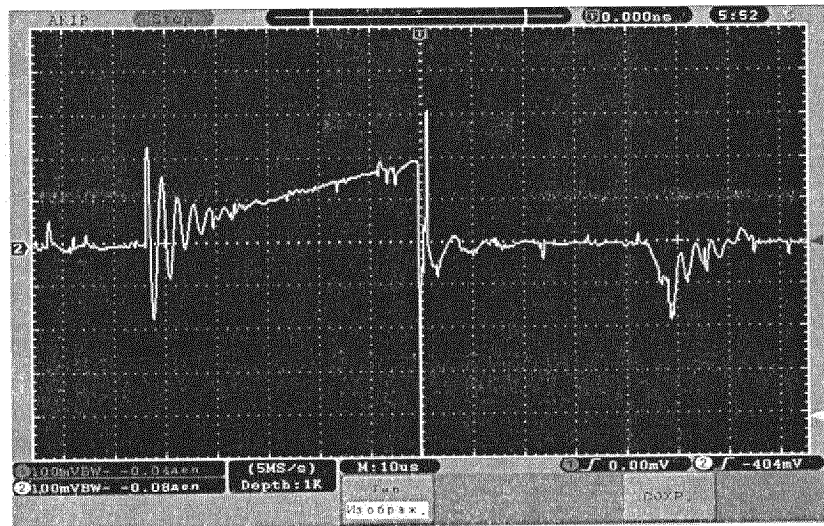
17. Способ по любому из п.п. 8 - 16, отличающийся тем, что энергию в разрядный контур вводят с частотой повторения импульсов до 100000 Гц.



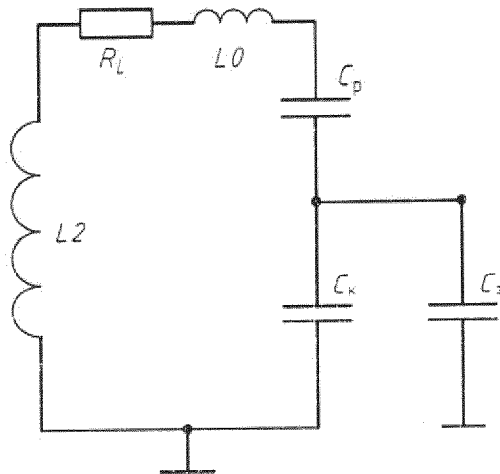
Фиг. 1



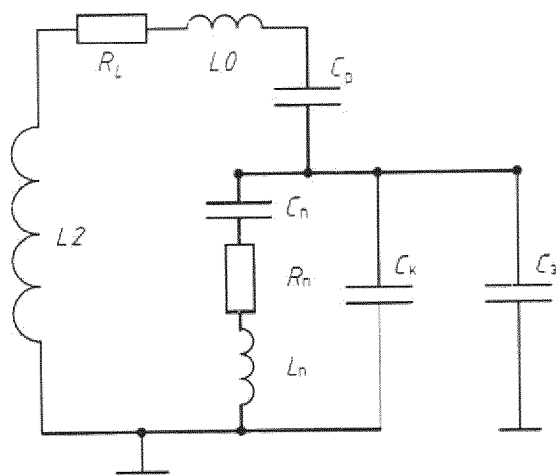
Фиг. 2



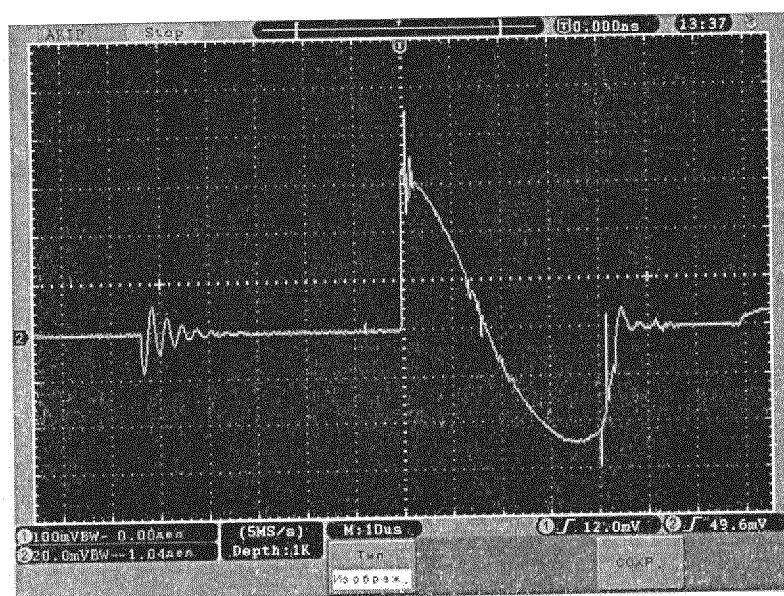
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ
(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

202000047

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:
H05H 1/24 (2006.01)

Согласно Международной патентной классификации (МПК)

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Просмотренная документация (система классификации и индексы МПК)
H05H 1/24, H03B 11/00, H03K 3/00, A61L 2/20

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A, D	RU 2647662 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ПЛАЗЭЙР") 16.03.2018	1-17
A	RU 2638569 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК) 14.12.2017	1-17
A, D	US 2010/0021340 A1 (PLASMATREAT GMBH) 28.01.2010	1-17
A	JP 2016185082 A (DIA SHINKU KK et al.) 27.10.2016	1-17

☐ последующие документы указаны в продолжении

* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

«P» - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения

«Х» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

«У» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

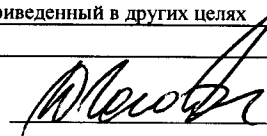
«&» - документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: **27/07/2020**

Уполномоченное лицо:

Начальник Управления экспертизы



Д.Ю. Рогожин