

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2431901

### ГЕНЕРАТОР ХАОТИЧЕСКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ НА ВИРТУАЛЬНОМ КАТОДЕ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010119420

Приоритет изобретения 14 мая 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 октября 2011 г.

Срок действия патента истекает 14 мая 2030 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам*



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B.P. Simonov'.

Б.П. Симонов



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010119420/07, 14.05.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.05.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.05.2010

(45) Опубликовано: 20.10.2011 Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2288519 C1, 27.11.2006. RU 2221306 C1, 10.01.2004. RU 2158041 C1, 20.10.2000. RU 2216066 C1, 27.11.2003. US 5164634 A, 17.11.1992. US 4730170 A, 08.03.1988. WO 2006037918 A1, 13.04.2006.

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, ул. Московская, 155, СГУ,  
ЦПУ, пат.пов. Н.В. Романовой

(72) Автор(ы):

**Храмов Александр Евгеньевич (RU),  
Филатов Роман Андреевич (RU),  
Короновский Алексей Александрович (RU),  
Куркин Семён Андреевич (RU)**

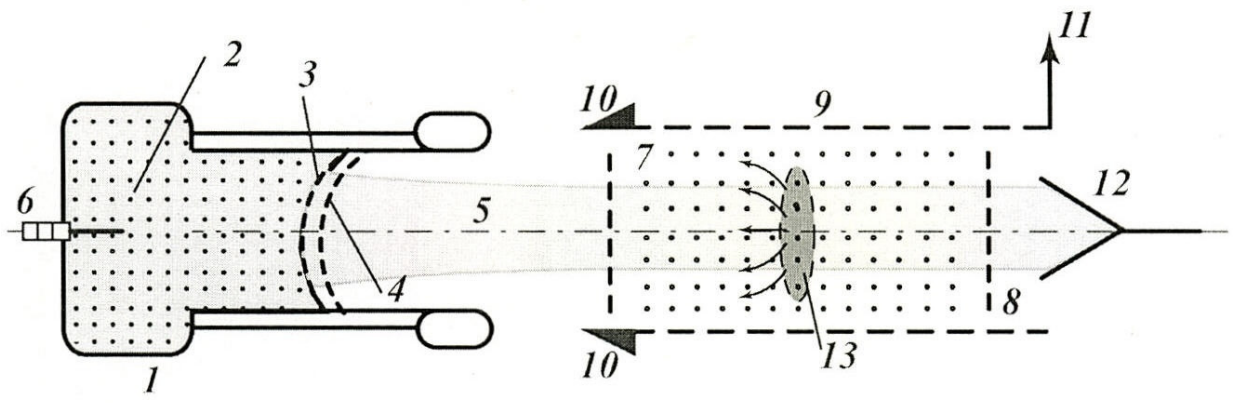
(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Саратовский государственный  
университет им. Н.Г. Чернышевского" (RU)****(54) ГЕНЕРАТОР ХАОТИЧЕСКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ НА ВИРТУАЛЬНОМ КАТОДЕ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и электронике сверхвысоких частот, а именно к устройствам для генерации последовательностей импульсов с хаотическим СВЧ заполнением среднего и большого уровня мощности, и может быть использовано в различных системах радиолокации и системах связи на основе хаотических сигналов. Технический результат - создание управляемого источника последовательностей хаотических СВЧ импульсов на основе электронного пучка в режимах с формированием виртуального катода. Генератор хаотических радиоимпульсов на виртуальном катоде содержит источник электронов, выполненный в виде электронной пушки, электродинамическую систему (9) с выводом энергии (11), расположенную на траектории электронного пучка (5), коллектор (12), первую (7) и вторую (8) сетки, расположенные между источником электронов и коллектором перпендикулярно направлению

движения пучка электронов с возможностью формирования виртуального катода (13) в электродинамической системе между первой и второй сетками. Электродинамическая система выполнена в виде отрезка спиральной замедляющей системы, вывод энергии выполнен в виде волноводной линии передачи, а коллектор - в виде электрода, расположенного на выходе генератора. Источник электронов содержит полый катод (1), заполненный газом, обеспечивающим возможность поддержания тлеющего электрического разряда, анод плазменного разряда (3), электрод (6) для поджога электрического разряда в газе и ускоряющий анод (4). Пространство электродинамической системы заполнено нейтральным газом под низким давлением, обеспечивающим возможность вытеснения виртуального катода из пространства взаимодействия пучка и последующего его возникновения. 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2010119420/07, 14.05.2010**

(24) Effective date for property rights:  
**14.05.2010**

Priority:

(22) Date of filing: **14.05.2010**

(45) Date of publication: **20.10.2011 Bull. 29**

Mail address:

**410012, g.Saratov, ul. Moskovskaja, 155, SGU,  
TsPU, pat.pov. N.V. Romanovoj**

(72) Inventor(s):

**Khramov Aleksandr Evgen'evich (RU),  
Filatov Roman Andreevich (RU),  
Koronovskij Aleksej Aleksandrovich (RU),  
Kurkin Semen Andreevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovanija  
"Saratovskij gosudarstvennyj universitet im.  
N.G. Chernyshevskogo" (RU)**

**(54) GENERATOR OF CHAOTIC RADIO PULSES ON VIRTUAL CATHODE**

(57) Abstract:

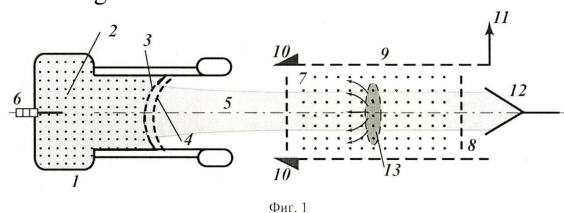
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: generator of chaotic radio pulses on a virtual cathode comprises a source of electrons made in the form of an electron gun, an electrodynamic system (9) with power output (11), arranged on the trajectory of the electronic beam (5), a header (12), the first (7) and second (8) grates arranged between the source of electrons and the collector perpendicular to direction of electrons beam movement with the possibility to form a virtual cathode (13) in the electrodynamic system between the first and second grates. The electrodynamic system is made in the form of a section of a spiral moderating system, the power output is made as a waveguide line of transfer, and the collector - as an electrode arranged at the generator's output. The source of electrons comprises a hollow cathode (1), filled with gas, making it possible to maintain

glowing electric discharge, an anode of plasma discharge (3), an electrode (6) to ignite electric discharge in gas and an accelerating anode (4). The space of electrodynamic system is filled with neutral gas under low pressure, which ensures possibility to displace the virtual cathode from the space of beam interaction and its subsequent occurrence.

EFFECT: development of a controlled sources of sequences of chaotic SHF pulses on the basis of electronic beam in modes with formation of the virtual cathode.

6 dwg



RU 2 431 901 C1

RU 2 431 901 C1



Изобретение относится к радиотехнике и электронике сверхвысоких частот, а именно к устройствам для генерации последовательностей импульсов с хаотическим СВЧ заполнением среднего и большого уровня мощности, и может быть использовано в различных системах радиолокации и системах связи на основе хаотических сигналов.

В сверхвысокочастотной электронике существует ряд устройств, используемых для генерации хаотических шумоподобных колебаний, так называемые генераторы хаоса (Афанасьев В.В., Трубецков Д.И. Динамический хаос в электронных сверхвысокочастотных приборах. Ч.1. Вакуумные нерелятивистские приборы. Обзоры по электронной технике. Серия 1. Электроника СВЧ, вып.3 (1614), 1991, 40 с., ч.II. Приборы релятивистской электроники. вып.4 (1615), 1991, 32 с.). Это, в первую очередь, ЛБВ-генераторы с запаздывающей обратной связью - шумотроны (Кислов В.Я., Мясин Е.А., Залогин Е.Н. Исследование стохастических автоколебательных режимов в автогенераторах с запаздыванием // Радиотехника и электроника, 1979, т.24, N 6. с.1118) и твердотельные СВЧ генераторы шума (Кальянов Э.В. Синхронные и стохастические автоколебания в транзисторном генераторе СВЧ с запаздывающей обратной связью при параметрическом воздействии внешней силы // Радиотехника и электроника. 1987, т.32, №4, с.784), клистронные генераторы хаоса (Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Рыскин Н.М., Шигаев А.М. Теоретическое и экспериментальное исследование хаотических колебаний клистронного генератора с запаздыванием. Радиотехника и электроника. 46 (5) (2001) 604; Shigaev A.M., Dmitriev B.S., Zharkov Y.D., Ryskin N.M. Chaotic dynamics of delayed feedback klystron oscillator and its control by external signal. IEEE Transactions on Electron Devices. 52 (5) (2005) 790-797).

Все эти источники хаотического СВЧ сигнала характеризуются непрерывной генерацией хаотических СВЧ колебаний. В настоящее время вызывает значительный интерес создание генераторов хаотических радиоимпульсов СВЧ диапазона для использования их в системах прямохаотической передачи данных (Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит. 2002; Дмитриев А.С., Кузьмин Л.В., Юркин В.Ю. Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети на основе хаотических радиоимпульсов. Изв. ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика, 2009, т.17, №4, с.90-104; Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации. Успехи физических наук. 179 (12) (2009) 1281-1310). Известны генераторы хаотических радиоимпульсов (Атанов Н.В., Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А. Формирование хаотических радиоимпульсов в генераторе с внешним периодическим воздействием. Письма в ЖТФ. 32 (15) (2006) 1-6; Ефремова Е.В. "Генераторы хаотических колебаний радио и СВЧ диапазона", Успехи современной радиоэлектроники, 2008, №1, С.17-3; Атанов Н.В., Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В. Неавтономный генератор хаотических радиоимпульсов. Радиотехника и электроника, 2006, т.51, №12, с.1454-1464).

Однако все они основаны на использовании неавтономных режимов работы генераторов и модуляции их параметров внешних сигналов, что усложняет их конструкцию и требует дополнительных генераторов в устройствах передачи данных. Одновременно все эти устройства основаны на полупроводниковых элементах, что делает их маломощными источниками последовательности СВЧ хаотических импульсов. Это является серьезным недостатком подобных устройств, т.к. в ряде приложений возникает необходимость создания мощных автономных источников последовательностей хаотических радиоимпульсов.

Таким образом, в настоящее время актуальным является разработка устройств для генерации последовательностей хаотических радиоимпульсов с характерной полосой частот одна-две октавы и с возможностью управления спектральным составом излучения.

5 Наиболее близким к заявляемому является генератор шумоподобного широкополосного СВЧ сигнала на виртуальном катоде - низковольтный виркатор. Приборы данного типа содержат следующие основные конструктивные элементы: источник электронов, состоящий из термокатода и фокусирующего электрода, анод,  
10 выполненный в виде либо сетки, либо фольги, прозрачной для электронного потока, электродинамическую систему, выполненную в виде спирали, одну или две сетки, расположенные внутри электродинамической системы (сеточный зазор), вывод энергии, а также коллектор, выполненный в виде электрода, расположенного на выходе генератора. Данный прибор относится к нерелятивистской СВЧ электронике,  
15 способ генерации которого заключается в том, что в сеточный зазор инжектируется интенсивный электронный пучок, формируемый электронной пушкой. Потенциал первой сетки сеточного зазора равен потенциалу анода, на вторую сетку подается тормозящий потенциал, и при некоторых критических значениях потенциала второй  
20 сетки и тока пучка в электронном потоке имеет место возникновение осциллирующего виртуального катода. В результате в приборе возникает СВЧ излучение, снимаемое электродинамической системой. Такой генератор характеризуется широким сложным спектральным составом излучения, что позволяет рассматривать его как возможный прототип источников шумоподобного излучения (см. патент РФ №2288519, МПК H01J  
25 25/68).

Однако представленная модификация низковольтного виркатора характеризуется непрерывной генерацией, что не всегда достаточно для практических приложений в области использования таких устройств в прямохаотических системах передачи  
30 данных.

Задачей изобретения является создание управляемого источника последовательностей хаотических СВЧ импульсов на основе электронного пучка в режимах с формированием виртуального катода.

Технический результат, достигаемый в предложенном генераторе, состоит в  
35 обеспечении подавления и возобновления колебаний виртуального катода в пространстве взаимодействия для получения выходного сигнала в виде последовательности хаотических радиоимпульсов с СВЧ заполнением с одновременной возможностью управления характеристиками импульсной СВЧ  
40 генерации.

Поставленная задача решается тем, что генератор хаотических радиоимпульсов на виртуальном катоде, содержит источник электронов, выполненный в виде  
45 электронной пушки, электродинамическую систему с выводом энергии, расположенную на траектории электронов, коллектор, первую и вторую сетки, расположенные между источником электронов и коллектором перпендикулярно направлению движения пучка электронов с возможностью формирования  
виртуального катода в электродинамической системе между первой и второй сетками, при этом электродинамическая система выполнена в виде отрезка спиральной  
50 замедляющей системы, вывод энергии выполнен в виде волноводной линии передачи, а коллектор - в виде электрода, расположенного на выходе генератора, согласно решению, источник электронов содержит полый катод, заполненный газом, обеспечивающим возможность поддержания тлеющего электрического разряда, анод

плазменного разряда, электрод для поджога электрического разряда в газе и ускоряющий анод, при этом пространство электродинамической системы заполнено нейтральным газом под низким давлением, обеспечивающим возможность вытеснения виртуального катода из пространства взаимодействия пучка и последующего его возникновения.

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг.1 схематично представлен заявляемый генератор хаотических радиоимпульсов на виртуальном катоде; на фиг.2 - численно полученная типичная осциллограмма выходного сигнала СВЧ генератора в режиме импульсной генерации, снятого с отрезка электродинамической системы (ОЭС), при следующих параметрах генератора: давление газа  $9 \times 10^{-5}$  Торр, тормозящий потенциал на второй сетке  $V_{\text{торм}} = 0.6V_0$ , где  $V_0$  - ускоряющее пучок напряжение; на фиг.3 и 4 представлены зависимости длительности отдельного импульса в установившемся режиме от тормозящего потенциала для двух типов газа (водород (фиг.3) и азот (фиг.4)) для различных давлений нейтрального газа, причем линия 1 соответствует давлению газа  $10^{-4}$  Торр, линия 2 -  $2 \times 10^{-4}$  Торр, линия 3 -  $4 \times 10^{-4}$  Торр; на фиг.5 и 6 представлены зависимости длительности отдельного импульса в установившемся режиме от давления нейтрального газа для двух типов газа (водород (фиг.5) и азот (фиг.6)) для различных значений тормозящего потенциала, причем линия 1 соответствует тормозящему потенциалу  $V_{\text{торм}} = 0.6V_0$ , линия 2 -  $V_{\text{торм}} = 0.55V_0$ , линия 3 -  $V_{\text{торм}} = 0.5V_0$ , линия 4 -  $V_{\text{торм}} = 0.45V_0$  и линия 5 -  $V_{\text{торм}} = 0.45V_0$ .

Позициями на чертеже обозначены:

1 - полый катод;

2 - однородная плазма;

3 - анод плазменного разряда («катод» источника электронов);

4 - ускоряющая электроны сетка (анод);

5 - электронный пучок;

6 - электрод для поджога электрического разряда в газе;

7 - первая сетка;

8 - вторая сетка;

9 - отрезок электродинамической системы (ОЭС), заполненный нейтральным газом под низким давлением;

10 - поглощающая вставка;

11 - вывод энергии;

12 - коллектор;

13 - формирующийся в электронном пучке виртуальный катод.

Генератор хаотических радиоимпульсов на виртуальном катоде содержит следующие основные конструктивные элементы (фиг.1). В качестве источника аксиально-симметричного электронного пучка 5 использована электронная пушка, содержащая полый катод 1, заполненный газом низкого давления, анод плазменного разряда 3, ускоряющий анод 4, на который подают ускоряющий потенциал  $V_0$ , и электрод для поджога электрического разряда в газе 6. Тлеющий электрический разряд в газе, протекающий между полым катодом и анодом плазменного разряда, создает однородную плазму 2, плотность которой (а следовательно, и плотность электронного потока) изменяют при необходимости, управляя напряжением разряда, подаваемым на анод плазменного разряда 3. Разряд поджигают путем подачи импульса напряжения на электрод для поджога электрического разряда в газе 6. По направлению распространения электронного пучка 5 с начальным разбросом электронов по скоростям, сформированного электронной пушкой с плазменным

анодом, расположен заполненный нейтральным газом сеточный зазор, состоящий из первой (входной) сетки 7 с потенциалом  $V_0$  и второй (выходной) сетки 8 с тормозящим потенциалом  $V_{\text{торм}}$ ; в нем формируется виртуальный катод 13. Сеточный зазор помещен в отрезок широкополосной электродинамической системы 9 (ОЭС), выполненный в виде спиральной замедляющей системы и применяемый для вывода генерируемой высокочастотной мощности. ОЭС 9 нагружен на поглощающую вставку 10 и вывод энергии 11. Далее по направлению отработанного электронного пучка 5 расположен коллектор 12 для осаждения электронов.

Устройство работает следующим образом.

Источник электронного потока (электронная пушка с плазменным анодом) формирует аксиально-симметричный интенсивный электронный пучок 5. Электронная пушка с плазменным анодом в отличие от электронных пушек с термокатодом позволяет получать мощные пучки с большими плотностями тока порядка  $50 \text{ А/см}^2$  и длинными импульсами тока. Электронный поток попадает в заполненный нейтральным газом сеточный зазор (пространство взаимодействия), образованный сетками 7 и 8 (см. фиг.1), где при критических значениях тока пучка и тормозящего потенциала  $V_{\text{торм}}$  имеет место возникновение виртуального катода 13 (см. фиг.1), пространственно-временные осцилляции которого приводят к появлению хаотического СВЧ излучения в системе. Для вывода широкополосного хаотического сигнала используется ОЭС 9, который позволяет снять СВЧ мощность в полосе частот более двух октав. Электронный поток, проходя через сеточный зазор, осуществляет ударную ионизацию молекул газа, приводя к возникновению вторичных электронов и тяжелых положительно заряженных ионов. На начальном этапе, пока плотность ионов мала, в системе образуется виртуальный катод (ВК). ВК не является стационарным, он колеблется в пространстве и во времени, в результате чего в системе происходит генерация высокочастотного сигнала  $U(t)$ , снимаемого с выхода электродинамической системы 9. После образования ВК в его области начинается интенсивная ионизация нейтрального газа (т.к. энергии электронов в этой области малы и соответствуют максимуму сечения ионизации). Положительные ионы вызывают зарядовую компенсацию и нейтрализуют пространственный заряд ВК. Как следствие, ВК начинает смещаться по направлению движения пролетных электронов ко второй сетке 8. Ионизация в области ВК по-прежнему происходит весьма интенсивно, что приводит к увеличению полного положительного заряда ионов. Как следствие, амплитуда выходного СВЧ сигнала с течением времени уменьшается. Процесс смещения положения ВК в результате компенсации его пространственного заряда положительными ионами завершается вытеснением ВК из пространства взаимодействия пучка и, как следствие, срывом генерации в системе. После вытеснения ВК область движения электронного потока оказывается полностью заполнена положительными ионами, которые полностью компенсируют пространственный заряд пучка.

В этом режиме электронный поток практически полностью переходит в ламинарное состояние, и, как результат, наблюдается его полная транспортировка через пространство взаимодействия. В дальнейшем ионизация газа продолжается менее интенсивно, из-за относительно высоких скоростей электронов, однако этого достаточно для поддержания плотности ионов, необходимой для полной зарядовой компенсации электронного потока. Выходной СВЧ сигнал после вытеснения ВК определяется флуктуациями тока электронного пучка и самосогласованным движением ионов и представляет собой случайные колебания малой амплитуды.



Спектр данных колебаний в режиме полного вытеснения ВК из пространства дрейфа располагается в низкочастотной (НЧ) части спектра и близок к шумовому. Затем, под действием внешнего электростатического поля, обусловленного потенциалом второй сетки 8, ионы начинают медленный дрейф из пространства взаимодействия, уменьшая тем самым положительный пространственный заряд в системе. В результате этих процессов в сеточном зазоре создаются условия для повторного возникновения виртуального катода.

Далее процесс регулярно повторяется, в результате чего выходной сигнал представляет собой последовательность импульсов хаотического СВЧ излучения. Изменение давления нейтрального газа и величины тормозящего потенциала позволяют эффективно управлять характеристиками импульсной генерации.

Представленные на фиг.2-6 численные результаты подтверждают возможность и эффективность генерации широкополосных хаотических сигналов с помощью предлагаемого генератора, а также возможность управления характеристиками импульсной генерации. На фиг.2 показана численно полученная характерная осциллограмма выходного сигнала СВЧ генератора в режиме импульсной генерации, снятая с выхода отрезка электродинамической системы. Хорошо видно, что сигнал представляет собой последовательность импульсов генерации с хаотическим заполнением. На фиг.3 и 4 представлены зависимости длительности импульсов (времени жизни виртуального катода) СВЧ хаотической генерации в зависимости от тормозящего потенциала для водорода (фиг.3) и азота (фиг.4) для различных значений давления. На фиг.5 и 6 показаны зависимости длительности хаотических импульсов в зависимости от давления газа для водорода (фиг.5) и азота (фиг.6) для различных значений тормозящего потенциала. Хорошо видно, что, меняя параметры СВЧ генератора с виртуальным катодом, возможно перестраивать в широких пределах длительность генерируемых хаотических радиоимпульсов, что важно на практике.

Таким образом, можно говорить об эффективном управлении параметрами импульсной хаотической генерации в СВЧ генераторе с виртуальным катодом. С помощью изменения давления нейтрального газа в рабочей камере низковольтного виркатора и величины тормозящего потенциала существует возможность изменений длительности импульсов хаотических СВЧ колебаний от 10 нс до 1 мкс.

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что с помощью предложенного генератора существует возможность получения последовательностей хаотических радиоимпульсов с различной длительностью и частотой повторения, чем достигается решение поставленной задачи. В реализованном приборе электронный поток создается источником электронов с плазменным анодом, при этом нестационарный виртуальный катод в электронном пучке формируется в сеточном зазоре электродинамической системы, которая заполнена нейтральным газом (водород, азот и т.д.) с давлением, обеспечивающим возможность подавления и последующего возникновения колебаний нестационарного виртуального катода в пространстве взаимодействия. За счет этого существует возможность получения импульсной генерации в автономном СВЧ генераторе с виртуальным катодом.

#### Формула изобретения

Генератор хаотических радиоимпульсов на виртуальном катоде, содержащий источник электронов, выполненный в виде электронной пушки, электродинамическую систему с выводом энергии, расположенную на траектории электронов, коллектор, первую и вторую сетки, расположенные между источником электронов и коллектором

перпендикулярно направлению движения пучка электронов с возможностью формирования виртуального катода в электродинамической системе между первой и второй сетками, при этом электродинамическая система выполнена в виде отрезка спиральной замедляющей системы, вывод энергии выполнен в виде волноводной линии передачи, а коллектор - в виде электрода, расположенного на выходе генератора, отличающийся тем, что источник электронов содержит полый катод, заполненный газом, обеспечивающим возможность поддержания тлеющего электрического разряда, анод плазменного разряда, электрод для поджога электрического разряда в газе и ускоряющий анод, при этом пространство электродинамической системы заполнено нейтральным газом под низким давлением, обеспечивающим возможность вытеснения виртуального катода из пространства взаимодействия пучка и последующего его возникновения.

15

20

25

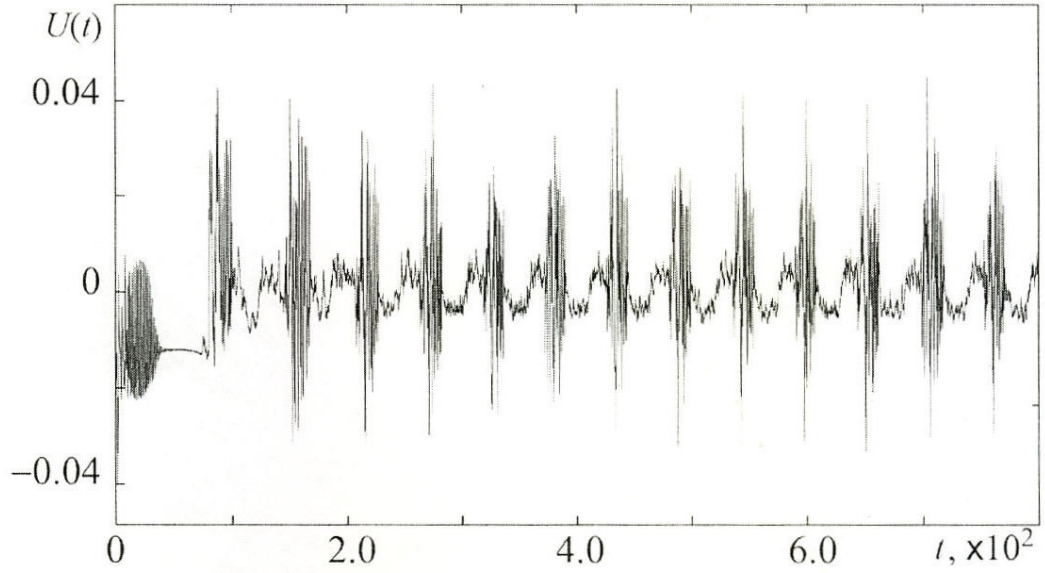
30

35

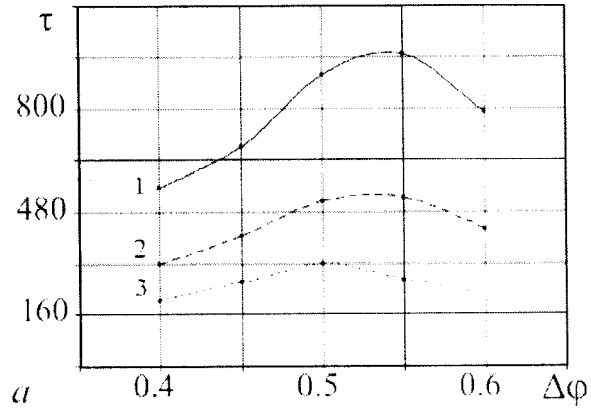
40

45

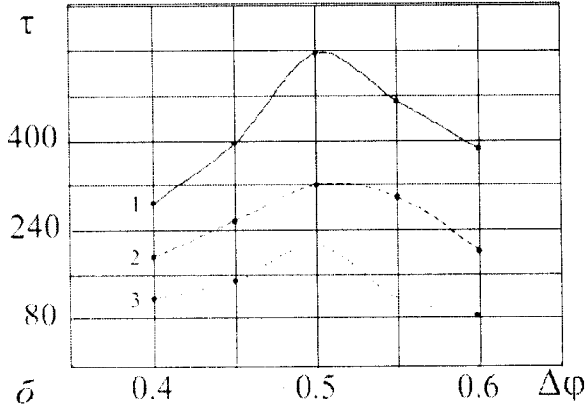
50



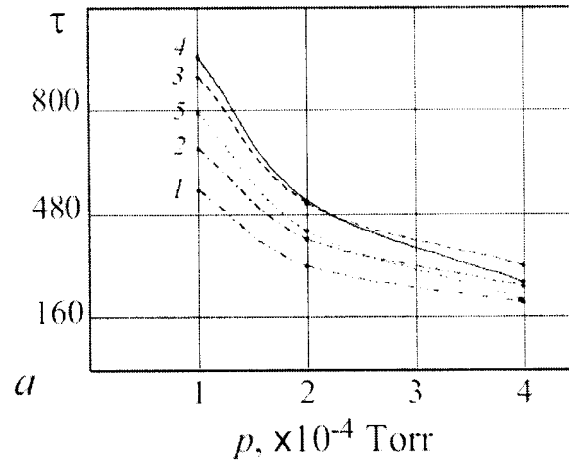
Фиг. 2



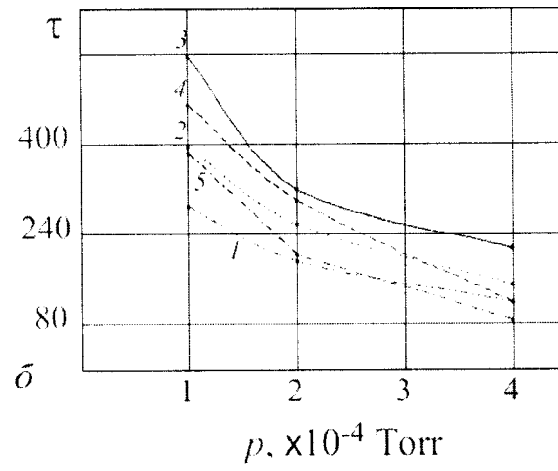
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6