



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007127871/09, 23.07.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.07.2007

(45) Опубликовано: 10.04.2009 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 3324339 А, 06.06.1967. RU 2259613 С1,
27.08.2005. RU 2250529 С1, 20.04.2005. RU
2235384 С1, 27.12.2006. RU 2185001 С1,
10.07.2002. SU 280688 А, 11.10.1972.Адрес для переписки:
117393, Москва, ул. Обручева, 52, ФГУП
"НПП "ТОРИЙ"

(72) Автор(ы):

Морев Сергей Павлович (RU),
Архипов Андрей Вячеславович (RU),
Дармаев Александр Николаевич (RU),
Комаров Дмитрий Александрович (RU),
Глотов Евгений Петрович (RU),
Фетисова Александра Викторовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

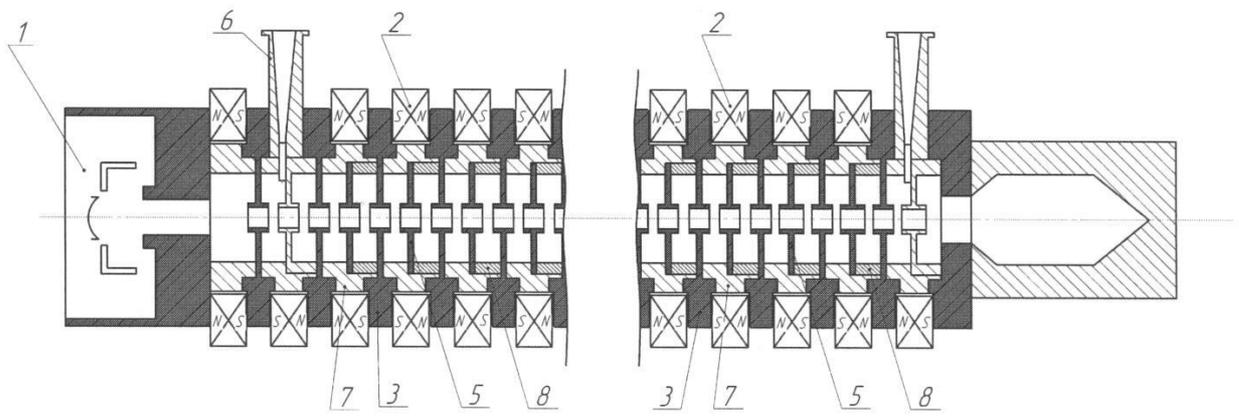
Федеральное государственное унитарное
предприятие "Научно-производственное
предприятие "Торий" (RU)

(54) ЛАМПА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С МАГНИТНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, к электровакуумным приборам сверхвысоких частот (СВЧ), в частности к устройству лампы бегущей волны О-типа с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС). Технический результат состоит в повышении токопрохождения пучка в мощной ЛБВ коротковолновой части СВЧ диапазона за счет обеспечения фокусировки интенсивного электронного потока в пролетном канале лампы бегущей волны с малыми пульсациями. Лампа содержит совмещенную с резонаторной замедляющей систему МПФС, состоящую из чередующихся аксиально-намагниченных кольцевых магнитов, полюсных наконечников с ферромагнитными ступицами и расположенных между ними немагнитных диафрагм с емкостными втулками, которые

образуют пролетный канал. По крайней мере, часть МПФС, расположенная после ввода высокочастотной энергии, содержит ферромагнитную вставку, образующую вместе с примыкающими полюсными наконечниками резонаторы замедляющей системы. Другая часть резонатора образована диафрагмой в виде ступенчатого тела вращения и кольцевым элементом, закрепляющим вставку в диафрагме. Диафрагмы и кольцевые элементы выполнены из немагнитного материала с высокой теплопроводностью. За счет выбора профиля ферромагнитной вставки, ее размеров и расположения между полюсными наконечниками реализуется магнитное поле с заданными высшими гармоническими составляющими и несинусоидальным распределением. 2 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H01J 25/38 (2006.01)
H01J 23/18 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2007127871/09, 23.07.2007

(24) Effective date for property rights:
23.07.2007

(45) Date of publication: 10.04.2009 Bull. 10

Mail address:
117393, Moskva, ul. Obrucheva, 52, FGUP "NPP
"TORIJ"

(72) Inventor(s):
Morev Sergej Pavlovich (RU),
Arhipov Andrej Vjacheslavovich (RU),
Darmaev Aleksandr Nikolaevich (RU),
Komarov Dmitrij Aleksandrovich (RU),
Glotov Evgenij Petrovich (RU),
Fetisova Aleksandra Viktorovna (RU)

(73) Proprietor(s):
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "Nauchno-proizvodstvennoe
predpriyatje "Torij" (RU)

(54) **TRAVELING WAVE LAMP WITH MAGNETIC PERIODIC FOCUSING SYSTEM**

(57) Abstract:

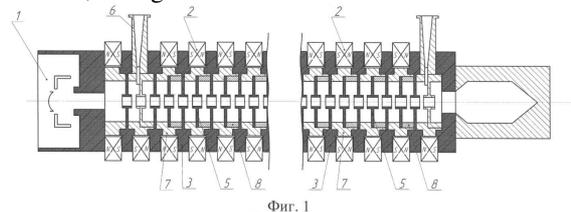
FIELD: electrics.

SUBSTANCE: invention concerns electric vacuum ultra high frequency (UHF) instruments, particularly construction of O-type traveling wave lamp with magnetic periodic focusing system (MPFS). Lamp includes MPFS combined with resonance slow-down system and consisting of intermittent axially magnetised ring magnets, polar headpieces with ferromagnetic hubs and non-magnetic diaphragms with capacitance bushings, positioned between them and forming transit channel. At least a part of MPFS behind high frequency power input includes ferromagnetic insert forming slow-down system resonators together with adjoining polar heads. Another resonator part is formed by diaphragm in the form of step rotation body, and annular element fixating the insert in

diaphragm. Diaphragms and annular elements are made of non-magnetic material with high heat conductivity. Selection of ferromagnetic insert profile, size and position between polar heads defines magnetic field with given high harmonic components and non-sinusoid distribution.

EFFECT: enhanced current permission of beam in high-performance traveling wave lamp in short-wave part of UHF range due to intense electron stream focusing in transit channel of traveling wave lamp with low pulsation.

3 cl, 8 dwg



Фиг. 1

RU 2 3 5 2 0 1 6 C 1

RU 2 3 5 2 0 1 6 C 1

Изобретение относится к электровакуумным приборам СВЧ, в частности к устройству ламп бегущей волны (ЛБВ), используемых в качестве генераторов, усилителей, переключателей тока и других устройств.

Одним из требований, предъявляемым к мощным ЛБВ, является обеспечение ее работы с высоким уровнем прохождения электронного потока на коллектор. Именно от высокого уровня прохождения пучка через пролетный канал зависят величина выходной высокочастотной мощности, коэффициент полезного действия, а также надежность работы ЛБВ.

Известна широко применяющаяся на практике конструкция ЛБВ, в которой для фокусировки интенсивного электронного потока знакопеременным синусоидальным магнитным полем используется магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС) с аксиально-намагниченными кольцевыми магнитами, пространственно совмещенная с замедляющей структурой (ЗС) типа цепочки связанных резонаторов (Мощные электровакуумные приборы СВЧ, под ред. Л.Клемпитта, М.: Мир, 1974, стр.20). Недостатком такой конструкции является невозможность получения высоких уровней фокусирующего магнитного поля, необходимых для транспортировки интенсивного потока в коротковолновой части СВЧ диапазона, из-за малой протяженности магнитов в осевом направлении. Кроме того, надежность обеспечения вакуумной плотности ЗС в местах пайки при разработке ЛБВ с высоким коэффициентом усиления снижается из-за большого количества паяных швов (по крайней мере, равного удвоенному числу ячеек резонаторов замедляющей системы).

Указанных недостатков лишена известная конструкция ЛБВ с МПФС (патент США №4399389, кл. 315-3.5, 1983), в которой диафрагмы ВЧ резонаторов выполнены в виде вставок специальной формы из немагнитного материала, размещенных между полюсными наконечниками, вследствие чего период МПФС становится в два раза больше периода ЗС и размеры магнитов становятся достаточными для обеспечения требуемой величины фокусирующего магнитного поля. В этом случае опасность натекания вакуумной оболочки ЛБВ уменьшается за счет меньшего в два раза количества паяных швов.

Однако основным недостатком ЛБВ с МПФС со знакопеременным магнитным полем является наличие чередующихся областей устойчивой и неустойчивой фокусировки электронного пучка, характеризующихся так называемым параметром магнитного поля α , величина которого пропорциональна квадрату произведения эффективной фокусирующей величины магнитного поля и его периода (Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: 1966. - 456 с). При некоторых значениях параметра магнитного поля α амплитуда пульсаций потока может неограниченно возрастать по мере продвижения пучка вдоль оси пролетного канала и токопрохождение пучка резко ухудшается. На практике наибольшее распространение получила фокусировка пучка синусоидальным магнитным полем в первой зоне устойчивости, для которой параметр магнитного поля с учетом пространственного заряда должен быть меньше критического значения $\alpha < \alpha_{кр} = 0,4$.

Для повышения области устойчивой фокусировки электронного потока применяют МПФС с несинусоидальным распределением магнитного поля, которое обеспечивается за счет ввода высших гармонических составляющих. Так, для обеспечения оптимального распределения магнитного поля с первой и третьей гармониками значение третьей гармоники должно составлять половину от амплитуды первой гармоники (Данович И.А. Анализ фокусировки и устойчивости интенсивных электронных пучков в периодических магнитных полях. Изв. Вузов. Сер.

Радиофизика, 1966, т.9, вып.2, с.351-361).

В патенте России №2091898, кл. МКИ H01J 25/42, опубликованном 27.09.97 г., описана конструкция ЛБВ с МПФС, в которой для увеличения эффективной фокусирующей величины магнитного поля при сохранении устойчивости фокусировки пучка реализовано несинусоидальное распределение магнитного поля с положительными первой, третьей и пятой гармоническими составляющими магнитного поля. Однако полюсные наконечники МПФС в данной конструкции ЛБВ размещены вне вакуумной оболочки, что не позволяет получить требуемые значения амплитуды и структуру распределения магнитного поля для фокусировки интенсивного потока в коротковолновой части СВЧ диапазона.

Ближайшим прототипом предлагаемого изобретения является конструкция ЛБВ с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС), состоящей из чередующихся аксиально-намагниченных кольцевых магнитов, полюсных наконечников со ступицами из ферромагнитного материала, пространственно совмещенных с емкостными втулками резонаторов, диафрагм из немагнитного материала с емкостными втулками, установленных между полюсными наконечниками (US №3324339, Кл. 315-3.5, 1967 г.), в которой требуемая величина магнитного поля достигается за счет увеличения протяженности магнитов в осевом направлении и увеличения вследствие этого периода МПФС по сравнению с периодом ЗС в два раза. Пространственная совместимость конструкции МПФС с ЗС достигается чередованием полюсных наконечников внутри вакуумной оболочки с образующими ВЧ резонатор медными диафрагмами. Кроме того, в этой конструкции, между полюсными наконечниками МПФС размещается кольцевой элемент из ферромагнитного материала, закрепленный на тонкостенном медном диске диафрагмы ВЧ резонатора. За счет этого создается несинусоидальное распределение осевой компоненты индукции магнитного поля со значительной положительной третьей гармоникой.

Недостаток этой конструкции связан с тем, что при переходе в коротковолновую часть СВЧ диапазона элементы ЗС становятся миниатюрными и работоспособность конструкции становится проблематичной. Так, для работы ЛБВ в 3-сантиметровом диапазоне длин волн при уровне ускоряющих напряжений менее 20000 В кольцевая втулка из ферромагнитного материала имеет следующие типичные размеры: толщина 0,25-0,5 мм, внутренний диаметр втулки 2,0-3,0 мм, протяженность втулки в осевом направлении 3-4 мм. Толщина тонкостенного медного диска составляет ~0,8-1,2 мм. Требуемая для фокусировки интенсивного пучка амплитуда магнитного поля может составлять ~0,3 Тл. При таких размерах материал емкостных кольцевых втулок находится в насыщении и требуемое распределение магнитного поля не обеспечивается. Кроме того, соосное закрепление ферромагнитного кольцевой втулки на тонкостенном медном диске становится нетехнологичным и трудно реализуемым при условии обеспечения малых допусков на отклонения размеров ВЧ резонаторов, обусловленное электродинамическими характеристиками замедляющей системы. Размещение в ЗС большого количества (до нескольких десятков) ферромагнитных кольцевых втулок, расположенных с перекосом их осей друг относительно друга, приводит к уменьшению реального сечения пролетного канала, а также к появлению поперечных составляющих магнитного поля. Ухудшение условий транспортировки электронного потока приводит к уменьшению доли тока пучка, проходящего через пролетный канал ЗС, а также к уменьшению выходной мощности и КПД прибора и тепловой перегрузке ЗС.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является повышение мощности и КПД ЛБВ с МПФС.

Технический результат использования изобретения заключается в улучшении токопрохождения интенсивного потока через пролетный канал мощной ЛБВ коротковолновой части СВЧ диапазона за счет уменьшения пульсаций границы пучка в статическом и динамическом режимах работы.

Поставленная задача решается таким образом, что в ЛБВ с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС), состоящей из чередующихся аксиально-намагниченных кольцевых магнитов, полюсных наконечников со ступицами из ферромагнитного материала, пространственно совмещенных с емкостными втулками резонаторов, диафрагм из немагнитного материала с емкостными втулками, установленных между полюсными наконечниками, по крайней мере в части МПФС, расположенной после ввода ВЧ энергии, емкостные втулки и части диафрагм, которые образуют стенку резонатора и примыкают к емкостным втулкам, объединены во вставку, выполненную из ферромагнитного материала, и закреплены в диафрагмах на одинаковом расстоянии от полюсных наконечников кольцевыми элементами из немагнитного материала. Диафрагмы из немагнитного материала выполнены в виде ступенчатых тел вращения, состоящих, по меньшей мере, из двух цилиндрических частей, причем меньший внутренний диаметр диафрагмы равен внутреннему диаметру полости резонаторов, а больший внутренний диаметр диафрагмы равен внешнему диаметру кольцевых элементов, протяженность в осевом направлении емкостных втулок полюсных наконечников и диафрагм одинакова и определяется из условия $0.15 < l_{вт} / L < 0.2$, а толщина втулок в радиальном направлении составляет, по крайней мере, половину толщины стенки резонаторов. Кроме того, диафрагмы и кольцевые элементы выполнены из материала с высокой теплопроводностью, например из меди.

На фиг.1 схематически представлен предпочтительный вариант ЛБВ в соответствии с изобретением. На фиг.2 представлен вариант исполнения ЛБВ с МПФС. На фиг.3 представлена конструкция ячейки МПФС ЛБВ предложенной конструкции. На фиг.4-5 представлены расчетные контур пучка (1) с мощностью ~100 кВт в магнитном поле (2) для обычной ЛБВ с МПФС (фиг.4) с параметром магнитного поля $\alpha=0.3$ и контур пучка (3) в экспериментально реализованном магнитном поле (4) для ЛБВ с МПФС предложенной конструкции при $l_{вт} / L=0.17$ (фиг.5) с параметром магнитного поля $\alpha=0.38$. На фиг.6-7 представлены расчетные зависимости амплитуды пульсаций пучка δ (1) в области пролетного канала при оптимальном радиусе влета пучка в МПФС $R_{вх}$ (2) от величины параметра магнитного поля α в обычной ЛБВ (фиг.6) и в ЛБВ с МПФС предложенной конструкции (фиг.7). На фиг.8 представлены экспериментальные зависимости токопрохождения k (1,1 а) от параметра магнитного поля α (2,2а) для обычной ЛБВ (1,2) и для ЛБВ с МПФС предложенной конструкции (1а,2а).

ЛБВ содержит электронную пушку 1, формирующую интенсивный электронный пучок, МПФС, состоящую из ячеек чередующихся кольцевых магнитов 2, полюсных наконечников 3, составных ВЧ диафрагм 4, с вставкой из ферромагнитного материала 5. Составные ВЧ диафрагмы 4, вставки из ферромагнитного материала 5 и полюсные наконечники 3 образуют резонаторы замедляющей системы и вакуумную оболочку ЛБВ, расположенные после ввода ВЧ-энергии 6. Внутренняя часть составной ВЧ диафрагмы выполнена в виде ступенчатого тела вращения 7, состоящего, по меньшей мере, из двух цилиндрических частей, и кольцевого

элемента 8, между которыми на одинаковом расстоянии от полюсных наконечников располагается вставка из ферромагнитного материала 5.

Этой конструкции ЛБВ соответствует распределение абсолютной величины продольной составляющей магнитной индукции вдоль оси прибора в ячейках МПФС, которое обеспечивает фокусировку интенсивного электронного пучка с малыми пульсациями (фиг.5) в широком диапазоне изменений параметров ЛБВ с МПФС (фиг.7).

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных результатов (фиг.4-7) показывает, что выбор профиля, размеров и расположение вставки из ферромагнитного материала в ЛБВ с МПФС предложенной конструкции обеспечивает транспортировку электронного потока в пролетном канале с существенно меньшими амплитудами пульсаций по сравнению с обычной ЛБВ с МПФС. Экспериментальные результаты измерений токооседания на ЗС, представленные на фиг.8, показывают, что прохождение пучка через пролетный канал ЗС для ЛБВ заявленной конструкции существенно выше по сравнению с прохождением пучка в пролетном канале обычной ЛБВ.

Так, в ЛБВ с МПФС предлагаемой конструкции с параметрами электронного потока, соответствующим наиболее часто используемым параметрам магнитного поля $0.2 < \alpha < 0.35$, амплитуда пульсаций пучка в области пролетного канала почти в три раза меньше, чем в ЛБВ с обычной МПФС. При изменении параметра магнитного поля в пределах $0.4 < \alpha < 0.55$ фокусировка пучка в обычной ЛБВ с МПФС резко ухудшается (фиг.7), а относительная величина амплитуд пульсаций пучка в ЛБВ с МПФС предлагаемой конструкции не превосходит 10% (фиг.7).

На основании расчетных и экспериментальных исследований определены основные размеры емкостных втулок резонаторов. При условии отсутствия насыщения материала при заданной толщине стенок резонаторов, выборе толщины втулок в радиальном направлении, равном, по крайней мере, половине толщины стенки резонаторов, насыщения материала втулок не происходит, и в ЛБВ заявленной конструкции реализуется требуемая структура магнитного поля. При выборе протяженности емкостных втулок в пределах $0.15 \leq l_{вт} / L \leq 0.2$ в ЛБВ с МПФС предложенной конструкции реализуется зазор между емкостными втулками, который обеспечивает оптимальную эффективность взаимодействия электронного потока с ВЧ полем (Данович И. А. Формирование электронных потоков периодическими магнитными полями с несинусоидальным осевым законом распределения индукции. Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ, 1966, Вып.9, С.20), а в распределении магнитного поля МПФС появляются требуемые значения высших гармоник магнитного поля, которые обеспечивают устойчивую фокусировку пучка с малыми пульсациями вплоть до значений $\alpha \leq 1.4$ (Архипов А.В., Глотов Е.П., Дармаев А.Н., Морев С.П. Транспортировка электронных потоков в МПФС с негармоническим распределением магнитного поля. Радитехника и электроника, 2007, т.52, №7, с.1-10).

При выборе протяженности емкостных втулок полюсных наконечников и диафрагм в осевом направлении меньше чем $0.15L$ или больше чем $0.2L$, зазор между втулками резонаторов становится неоптимальным для взаимодействия пучка с электромагнитной волной и происходит деградация выходных параметров ЛБВ. Кроме того, как показали экспериментальные измерения магнитного поля, при протяженности в осевом направлении емкостных втулок полюсных наконечников и диафрагм меньше чем $0.15L$ или больше чем $0.2L$ получающаяся структура магнитного поля в ячейках МПФС приводит к увеличению пульсаций электронного

потока и к уменьшению величин параметра магнитного поля, при которых получается устойчивая фокусировка пучка.

При несимметричном закреплении в осевом направлении относительно полюсных наконечников вставки из ферромагнитного материала кольцевыми элементами из немагнитного материала в распределении магнитного поля появляются четные гармоники, и амплитуда пульсаций границы пучка резко возрастает.

Новым положительным свойством конструкции является повышение эффективности настройки ЛБВ на максимальное токопрохождение за счет размеров в осевом направлении емкостных втулок полюсных наконечников и диафрагм. Выбор размеров и материала емкостных втулок диафрагм, а также размещение их в соответствии с предложенной формулой изобретения позволяет снизить влияние поперечных магнитных полей, связанных с щелями связи в резонаторах замедляющей системы или с неоднородностью намагниченности магнитов в азимутальном направлении. За счет выбора профиля вставки из ферромагнитного материала, ее размеров и расположения между полюсными наконечниками в соответствии с предлагаемой формулой в ЛБВ с МПФС реализуется магнитное поле с высшими гармоническими составляющими и несинусоидальным распределением. Это распределение обеспечивает фокусировку интенсивного электронного потока в пролетном канале в ЛБВ с малыми пульсациями.

В то же время при переде в коротковолновую часть СВЧ диапазона вставка из ферромагнитного материала остается крупноструктурной, может быть размещена в составной ВЧ диафрагме с требуемой точностью и обеспечивает необходимое для фокусировки интенсивного потока распределение магнитного поля. Уменьшение величины фокусирующего магнитного поля в предлагаемой конструкции ЛБВ с МПФС по сравнению с обычной ЛБВ с МПФС, как показали экспериментальные измерения, при одинаковых размерах ферромагнитного элементов и магнитов не превышает единиц процентов.

Количество паяных швов, необходимых для создания вакуумной оболочки в ЛБВ с МПФС заявленной конструкции, не увеличивается по сравнению с обычной конструкцией ЛБВ.

Практическое изготовление составной ВЧ диафрагмы и вставки из ферромагнитного материала в предлагаемой конструкции не требует многочисленных технологических операций и выполняется на стандартном металлообрабатывающем оборудовании, что облегчает промышленную применимость.

Анализ конструкций аналогов и прототипа заявляемого устройства показывает, что признаки, связанные с конкретизацией профиля вставки из ферромагнитного материала, ее размеров и расположения между наконечниками и составной диафрагмой из материала с высокой теплопроводностью, вызванный этим положительный эффект увеличения токопрохождения в ЛБВ, за счет уменьшения амплитуды пульсаций пучка, неизвестны.

Кроме того, поток тепла, который может быть отведен от вставки, существенно повышается за счет контакта вставки с ВЧ диафрагмой по торцу и по боковым поверхностям, который обеспечивается уступом в ВЧ диафрагме.

Применение конструкции ЛБВ с МПФС в соответствии с предложенной формулой изобретения позволило уменьшить потери тока пучка и снизить тепловую нагрузку на замедляющую систему в статическом и динамическом режиме работы при повышенных уровнях эффективного фокусирующего магнитного поля, а также при пониженных величинах ускоряющих потенциалов.

Таким образом, предлагаемая конструкция ЛБВ обладает следующими преимуществами:

улучшение токопрохождения в приборах О-типа в статическом режиме работы вследствие уменьшения величины пульсаций пучка;

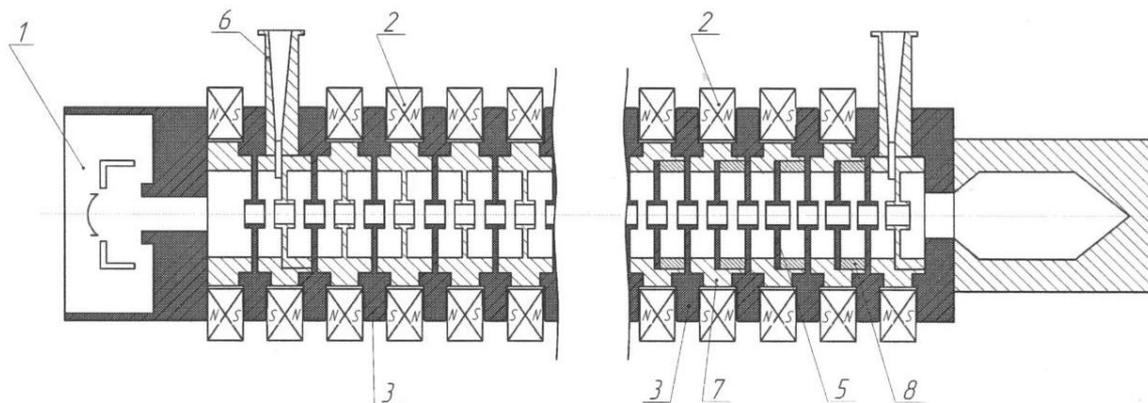
уменьшение динамической расфокусировки за счет возможности увеличивать величину эффективного фокусирующего магнитного поля.

Формула изобретения

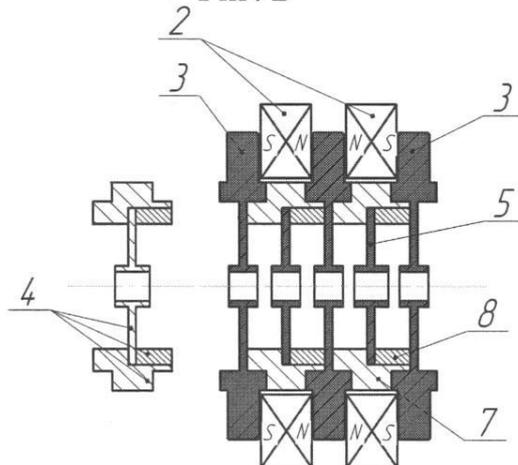
1. Лампа бегущей волны, содержащая электронную пушку, ввод высокочастотной энергии, магнитную периодическую фокусирующую систему, состоящую из чередующихся аксиально-намагниченных кольцевых магнитов, полюсных наконечников со ступицами из ферромагнитного материала, высокочастотных диафрагм с емкостными втулками, установленных между полюсными наконечниками, причем полюсные наконечники и высокочастотные диафрагмы образуют высокочастотные резонаторы замедляющей системы и вакуумную оболочку лампы бегущей волны, отличающаяся тем, что, по меньшей мере, в части магнитной периодической фокусирующей системы, расположенной после ввода высокочастотной энергии, высокочастотные диафрагмы выполнены в виде ступенчатых тел вращения из немагнитного материала, состоящих, по меньшей мере, из двух цилиндрических частей и кольцевого элемента из немагнитного материала, между которыми на одинаковом расстоянии от полюсных наконечников расположена вставка из ферромагнитного материала.

2. Лампа бегущей волны по п.1, отличающаяся тем, что меньший внутренний диаметр высокочастотной диафрагмы равен внутреннему диаметру полости высокочастотных резонаторов, а ее больший внутренний диаметр равен внешнему диаметру кольцевых элементов, протяженность в осевом направлении емкостных втулок высокочастотных диафрагм и полюсных наконечников одинакова.

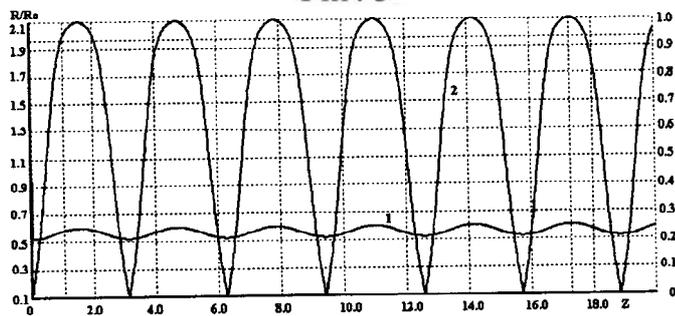
3. Лампа бегущей волны по любому из пп.1 или 2, отличающаяся тем, что ступенчатые тела вращения и кольцевые элементы высокочастотной диафрагмы выполнены из материала с высокой теплопроводностью, например из меди.



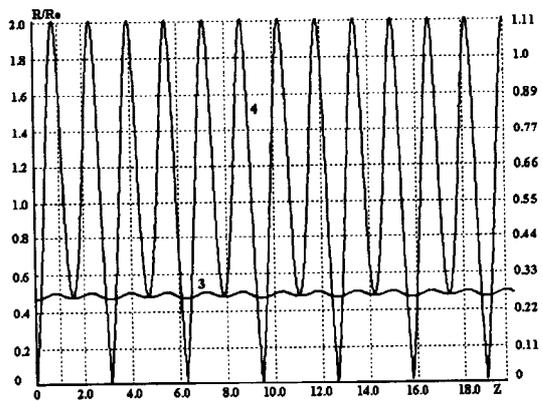
Фиг. 2



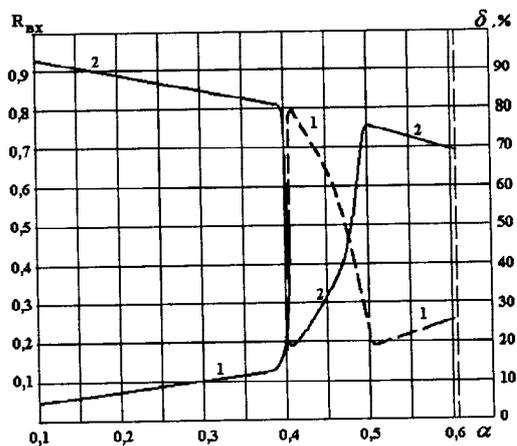
Фиг. 3



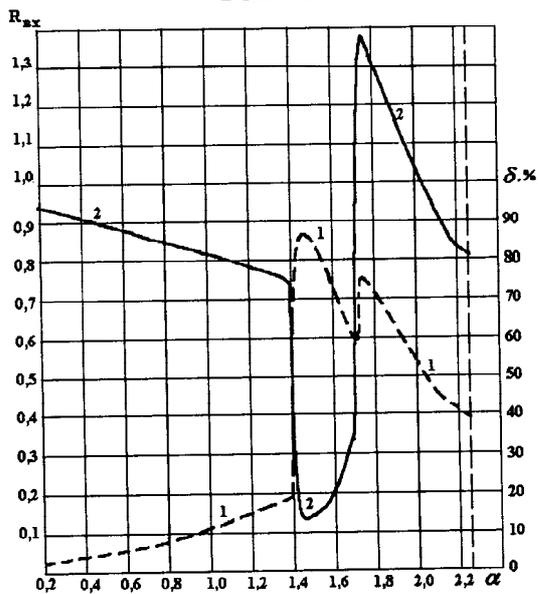
Фиг. 4



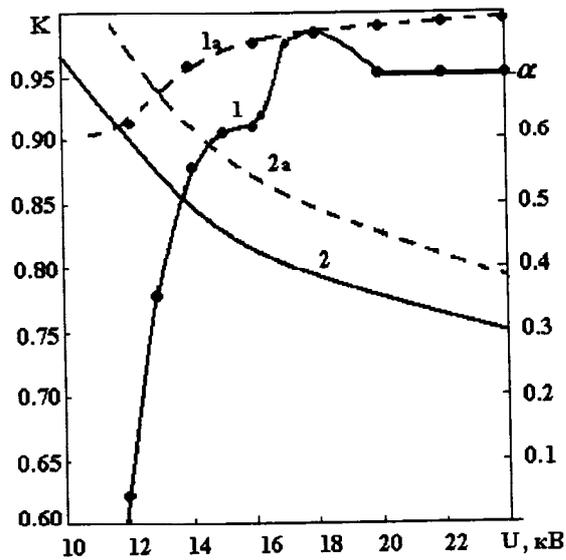
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8