



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007145945/09, 12.12.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.12.2007

(45) Опубликовано: 10.04.2009 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 3324339 A, 06.06.1967. RU 2259613 C1,
27.08.2005. RU 2250529 C1, 20.04.2005. RU
2235384 C1, 27.12.2006. RU 2185001 C1,
10.07.2002. SU 280688 A, 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)

(73) Патентообладатель(и):

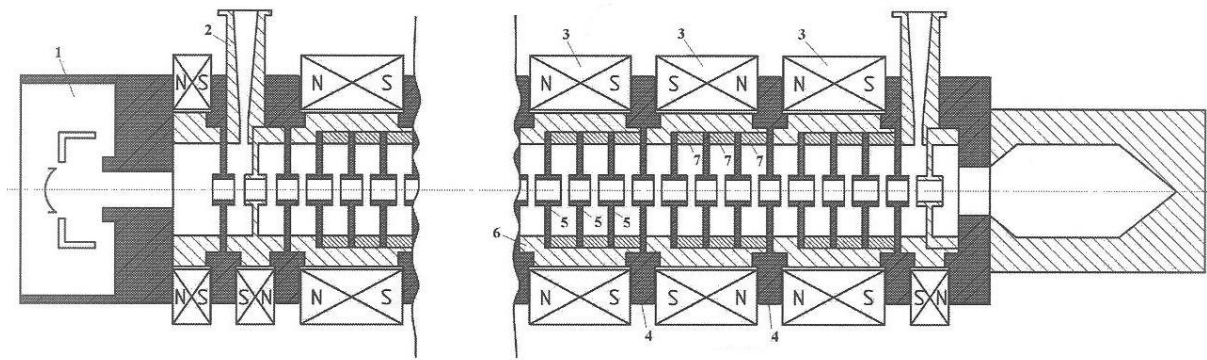
Федеральное государственное унитарное
предприятие "Научно-производственное
предприятие "Торий" (RU)

(54) ЛАМПА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ С МАГНИТНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в электровакуумных приборах сверхвысокой частоты, в частности в лампах бегущей волны О-типа с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС). Технический результат состоит в повышении токопрохождения электронного пучка в коротковолновой части сверхвысокочастотного диапазона за счет фокусировки интенсивного электронного потока в пролетном канале. Лампа содержит МПФС, совмещенную с резонаторной замедляющей системой и состоящую из чередующихся аксиально-намагниченных кольцевых магнитов, полюсных наконечников и ферромагнитных вставок. Для требуемого уровня гармонических составляющих фокусирующего магнитного поля с несинусоидальным распределением, по

крайней мере, часть МПФС, расположенная после ввода высокочастотной энергии, состоит из примыкающих друг другу ячеек, каждая из которых включает в себя не менее одного магнита с однонаправленной намагниченностью и три ферромагнитные вставки между полюсными наконечниками. Магниты в каждых двух соседних ячейках имеют противоположную намагниченность. Вставки размещены с зазором относительно полюсных наконечников во втулках в виде ступенчатых тел вращений, закреплены кольцевыми элементами и образуют внутренние полости высокочастотных резонаторов замедляющей системы. Втулки и кольцевые элементы выполнены из немагнитного материала с высокой теплопроводностью и входят вместе с полюсными наконечниками в состав вакуумной оболочки. 2 з.п. ф-лы, 9 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 352 017** (13) **C1**

(51) Int. Cl.

H01J 25/38 (2006.01)

H01J 23/18 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007145945/09, 12.12.2007**

(24) Effective date for property rights:
12.12.2007

(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),
Arkhipov Andrej Vjacheslavovich (RU),
Darmaev Aleksandr Nikolaevich (RU),
Komarov Dmitrij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatie "Nauchno-proizvodstvennoe
predpriyatie "Torij" (RU)**

(54) TRAVELING WAVE LAMP WITH MAGNETIC PERIODIC FOCUSING SYSTEM

(57) Abstract:

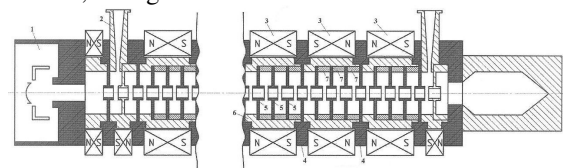
FIELD: electrics.

SUBSTANCE: invention concerns electric vacuum ultra high frequency devices, particularly in 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 and ferromagnetic inserts. To achieve required harmonic component level in magnetic field with non-sinusoid distribution, at least a part of MPFS behind high frequency power input consists of adjoining cells, each including at least one unidirectional magnetisation magnet and three ferromagnetic inserts between polar headpieces. Magnets in each two neighbour cells have opposite magnetisation. Inserts

are positioned with gaps against polar headpieces in hubs in the form of step rotation bodies and fixated by annular elements, and form inner cavities of high frequency resonators in slow-down system. Hubs and annular elements are made of non-magnetic material with high heat conductivity and comprise vacuum shell together with polar headpieces.

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.

3 cl, 9 dwg



Фиг. 1

RU 2 352 017 C1

RU 2 352 017 C1

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

Одним из требований, предъявляемых к мощным ЛБВ, является обеспечение их 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). При этом период МПФС равен периоду ЗС. 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 прямо пропорциональна квадрату произведения амплитуды фокусирующего магнитного поля и его периода и обратно пропорциональна величине потенциала замедляющей системы (ЗС). 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

$$\alpha < \alpha_{кр} = 0.4 \quad (1)$$

Для ЛБВ средней и высокой мощности коротковолновой части СВЧ-диапазона амплитуда магнитного поля, необходимая для получения пучка требуемого диаметра, часто оказывается столь высокой, что не может быть реализована при заданных конструктивных размерах магнитов, а увеличение последних приводит к нарушению требования (1). Фокусировка во второй и следующих зонах устойчивого

формирования пучка в синусоидальном поле практически не применяется по причине большой величины пульсаций пучка, возникающих из-за недостаточной крутизны нарастания поля на границах соседних ячеек МПФС при больших периодах.

Для повышения области устойчивой фокусировки электронного потока применяют МПФС с несинусоидальным распределением магнитного поля, которое обеспечивается за счет ввода высших гармонических составляющих. Так, для распределения магнитного поля с первой и третьей гармониками оптимальное значение третьей гармоники составляет половину от амплитуды первой гармоники (см. 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. 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 определенными величинами значений первой, третьей и пятой гармонических составляющих 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 один или два кольцевых элемента из ферромагнитного материала, закрепленных на тонкостенных медных дисках диафрагмы ВЧ-резонатора. За счет этого создается несинусоидальное распределение осевой компоненты индукции магнитного поля со значительными положительными величинами третьей или третьей и пятой гармоник.

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 трехсантиметровом 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 ферромагнитной кольцевой втулки

на тонкостенном медном диске становится нетехнологичным и труднореализуемым при условии обеспечения малых допусков на отклонения размеров ВЧ-резонаторов, обусловленное электродинамическими характеристиками замедляющей системы. Размещение в ЗС большого количества (до нескольких десятков) ферромагнитных
 5 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
 10 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
 15 токопрохождения интенсивного электронного 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
 20 периодической фокусирующей системой (МПФС), состоящей из аксиально-намагниченных кольцевых магнитов и полюсных наконечников из ферромагнитного материала, пространственно совмещенных с резонаторной замедляющей системой (ЗС), по крайней мере часть МПФС, расположенная после ввода ВЧ-энергии, состоит из примыкающих друг к другу ячеек, каждая из которых
 25 содержит не менее одного магнита с однонаправленной в осевом направлении намагниченностью и три ферромагнитные вставки, расположенные с зазором между полюсными наконечниками и между собой во втулках из немагнитного материала, и закрепленные кольцевыми элементами из немагнитного материала, причем
 30 намагниченность магнитов в соседних ячейках МПФС имеет противоположное направление. Кроме того, втулки в ЛБВ с МПФС выполнены в виде ступенчатых тел вращения, состоящих по меньшей мере из двух цилиндрических частей, и образуют вместе с размещенными и закрепленными кольцевыми элементами и вставками внутренние полости ВЧ-резонаторов ЗС, так что отношение периода МПФС к
 35 периоду ЗС равно четырем. Кроме того, немагнитные втулки и кольцевые элементы выполнены из материала с высокой теплопроводностью, например из меди, и образуют вместе с полюсными наконечниками вакуумно-плотное соединение.

На фиг.1 схематически изображена ЛБВ заявленной конструкции. На фиг.2-3
 40 представлены варианты различного исполнения ячеек МПФС. На фиг.4-5 представлены контур пучка (1) с током $I=4.0$ А, потенциалом ЗС $U=24000$ В в магнитном поле (2) для обычной ЛБВ с МПФС с амплитудой $B_0=0.246$ Тл, периодом МПФС $L=21.0$ мм (параметр магнитного поля $\alpha=0.31$), с периодом ЗС $L_{ЗС}=10.5$ мм при протяженности емкостных втулок ЗС и полюсных наконечников $l_{вт}=3.5$ мм,
 45 (фиг.4), и контур пучка (3) для ЛБВ с МПФС заявленной конструкции в экспериментально реализованном магнитном поле (4) с амплитудой $B_0=0.246$ Тл, периодом МПФС $L=42$ мм (параметр магнитного поля $\alpha=1.24$) с периодом ЗС $L_{ЗС}=10.5$ мм (фиг.5). На фиг.6, 7 представлены зависимости амплитуды пульсаций
 50 пучка δ (1) в области пролетного канала при оптимальном радиусе влета пучка в МПФС $R_{вх}$ (2) от величины параметра магнитного поля α вплоть до зоны «непропускания» (3) в обычной ЛБВ с МПФС (фиг.6) и в ЛБВ с МПФС заявленной конструкции (фиг.7). На фиг.8, 9 представлены экспериментальные значения тока на

ЗС (1) от параметра магнитного поля α (2) для обычной ЛБВ (фиг.8) и для ЛБВ с МПФС заявленной конструкции (фиг.9).

ЛБВ содержит электронную пушку 1, формирующую интенсивный электронный пучок, МПФС, расположенную после ввода ВЧ-энергии 2 и состоящую из чередующихся кольцевых магнитов 3, полюсных наконечников 4, вставок из ферромагнитного материала 5, а также втулок 6 и кольцевых элементов 7, выполненных из немагнитного материала. Кольцевые аксиально-намагниченные магниты 3 вместе с тремя расположенными с зазором вставками из ферромагнитного материала 5, которые закреплены во втулках 6 кольцевыми элементами 7, объединены между полюсными наконечниками 4 и образуют ячейку МПФС. В каждой ячейке МПФС магниты имеют одинаковое направление намагниченности, а намагниченность магнитов в примыкающих соседних ячейках МПФС имеет противоположное направление. Втулки из немагнитного материала 6, в которых размещаются с зазором ферромагнитные вставки 5, закрепленные немагнитными кольцевыми элементами 7, выполнены в виде ступенчатых тел вращения, состоящего по меньшей мере из двух цилиндрических частей, и образуют вместе со вставками внутренние полости ВЧ-резонаторов ЗС. При этом отношение периода МПФС к периоду ЗС равно четырем. Немагнитные втулки 6 и кольцевые элементы 7 выполнены из материала с высокой теплопроводностью, например из меди, и образуют вместе с полюсными наконечниками 4 вакуумно-плотное соединение.

Расположение ферромагнитных вставок, закрепленных во втулках кольцевыми элементами из немагнитного материала в ячейках МПФС, в соответствии с предложенной конструкцией ЛБВ с МПФС обеспечивает необходимое распределение продольной составляющей магнитной индукции вдоль оси прибора, фокусировку интенсивного электронного пучка с малыми пульсациями (фиг.5) в широком диапазоне изменений параметров ЛБВ с МПФС (фиг.9) и требуемые электродинамические характеристики ЗС.

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных результатов (фиг.4-7) показывает, что предложенная конструкция ЛБВ с МПФС обеспечивает существенно меньшие амплитуды пульсаций электронного потока в пролетном канале по сравнению с амплитудами пульсаций пучка в обычной ЛБВ с МПФС.

Экспериментальные результаты измерений токооседания на ЗС, представленные на фиг.8-9, 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 и с параметрами электронного потока, соответствующими 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 (фиг.6-7). При изменении параметра магнитного поля в пределах $0.4 < \alpha < 0.55$ фокусировка пучка в обычной ЛБВ с МПФС резко ухудшается (фиг.6, 8), а относительная величина амплитуд пульсаций пучка в ЛБВ с МПФС предлагаемой конструкции не превосходит 10% даже при $\alpha = 3.0$ (фиг.7, 9).

Профиль ферромагнитных вставок, зазоры между вставками и полюсными наконечниками, а также намагниченности магнитов в ячейках МПФС определяются на основании расчета или эксперимента из условия обеспечения требуемых соотношений между величинами высших гармоник магнитного поля при заданных электродинамических характеристиках ЗС ЛБВ.

Новым положительным свойством конструкции является повышение эффективности настройки ЛБВ на максимальное токопрохождение за счет возможности размещения без перекосов полюсных наконечников, ферромагнитных вставок, втулок и кольцевых элементов из немагнитного материала. Выбор размеров и материала вставок, а также размещение их в соответствии с предложенной формулой изобретения позволяет снизить влияние поперечных магнитных полей, связанных с неоднородностью намагниченности магнитов в азимутальном направлении.

При переходе в коротковолновую часть СВЧ-диапазона вставки из ферромагнитного материала остаются крупноструктурными, могут быть размещены между полюсными наконечниками с требуемой точностью и обеспечивают необходимое для фокусировки интенсивного потока распределение магнитного поля с высшими гармоническими составляющими.

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

Практическое изготовление втулок и кольцевых элементов из немагнитного материала, а также вставок 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 количества вставок из ферромагнитного материала, их закрепления между наконечниками и между собой кольцевыми элементами из немагнитного материала во втулках из немагнитного материала с высокой теплопроводностью, а также признаки, связанные с соотношением между периодом МПФС и периодом ЗС, вызванный этим положительный эффект увеличения токопрохождения в ЛБВ за счет уменьшения амплитуды пульсаций пучка, неизвестны.

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 режимах 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.

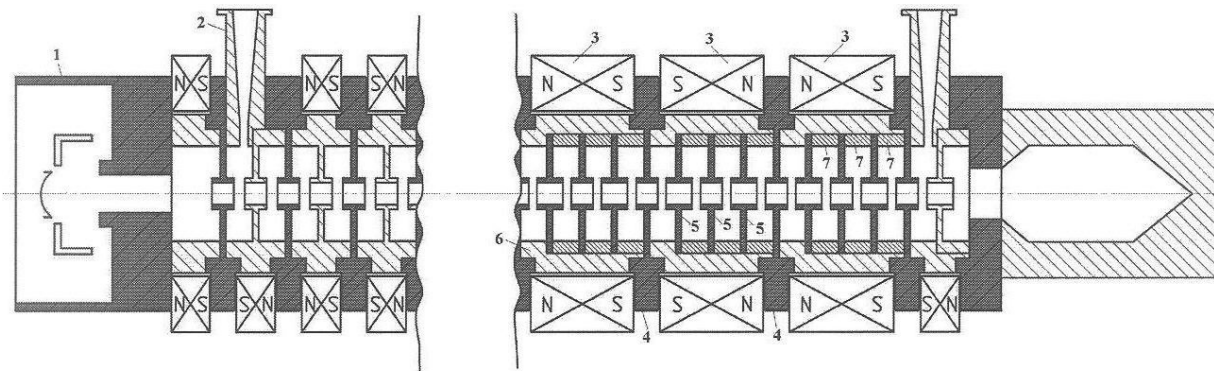
Формула изобретения

1. Лампа бегущей волны, содержащая электронную пушку, ввод высокочастотной энергии, магнитную периодическую фокусирующую систему, состоящую из аксиально-намагниченных кольцевых магнитов и полюсных наконечников из ферромагнитного материала, пространственно совмещенных с высокочастотными резонаторами замедляющей системы, отличающаяся тем, что, по меньшей мере, часть магнитной периодической фокусирующей системы, расположенная после ввода высокочастотной энергии, состоит из примыкающих друг к другу ячеек, каждая из

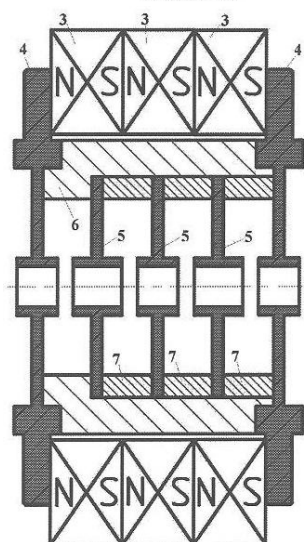
которых содержит не менее одного магнита с однонаправленной в осевом направлении намагниченностью, втулки в виде ступенчатого тела вращения из, по меньшей мере, двух цилиндрических частей из немагнитного материала, в которых закреплены кольцевыми элементами из немагнитного материала три ферромагнитные вставки, расположенные с зазором между полюсными наконечниками и между собой, причем намагниченность магнитов в соседних ячейках имеет противоположное направление, а втулки образуют вместе с кольцевыми элементами и ферромагнитными вставками внутренние полости высокочастотных резонаторов замедляющей системы.

2. Лампа бегущей волны по п.1, отличающаяся тем, что отношение периода магнитной периодической фокусирующей системы к периоду замедляющей системы равно четырем.

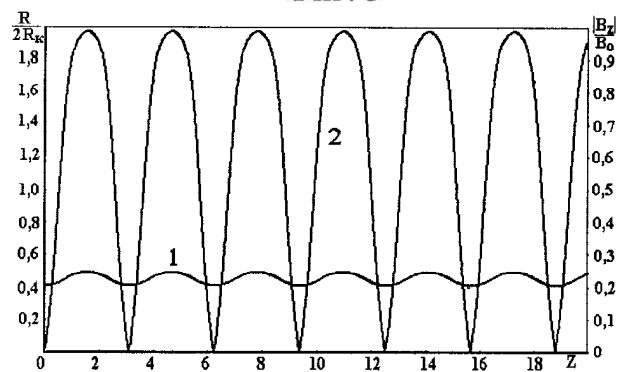
3. Лампа бегущей волны по п.1 или 2, отличающаяся тем, что втулки и кольцевые элементы выполнены из материала с высокой теплопроводностью, например из меди и образуют вместе с полюсными наконечниками вакуумно-плотное соединение.



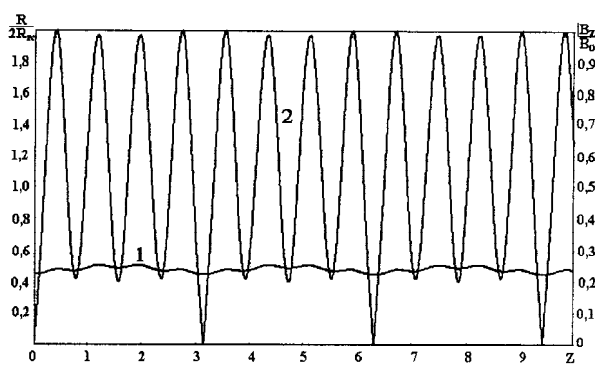
Фиг. 2



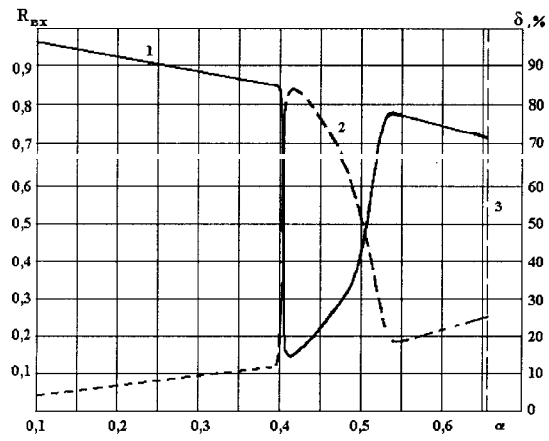
Фиг. 3



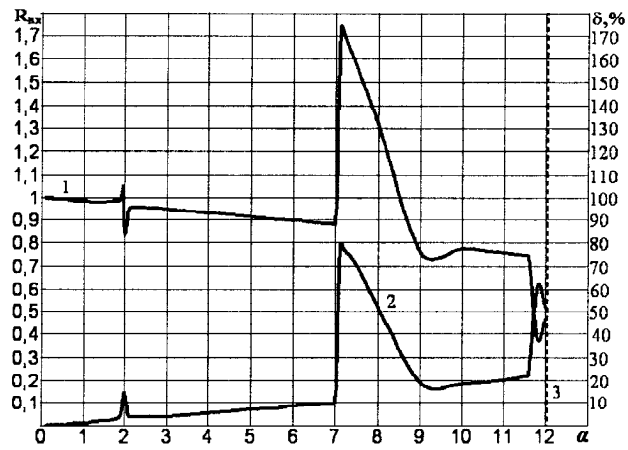
Фиг. 4



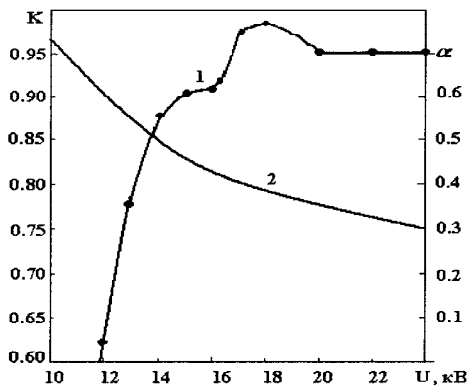
Фиг. 5



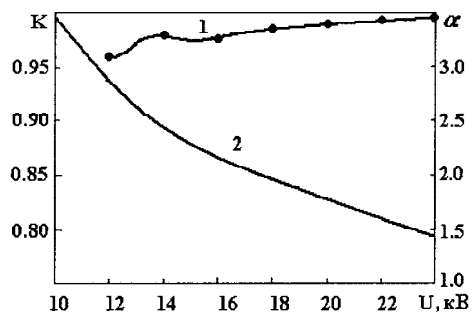
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9