



Государственный комитет  
Совета Министров СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е И З О Б Р Е Т Е Н И Я

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 496870

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 09.11.72 (21) 1844065/26-25

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

(43) Опубликовано 25.10.76, Бюллетень № 39

(45) Дата опубликования описания 22.12.76

(51) М. Кл.<sup>2</sup>  
H 01 J 25/02

(53) УДК 621.385.6  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

Г. И. Будкер, С. Н. Морозов, О. А. Нежевенко, Г. Н. Острейко  
и И. А. Шехтман

(71) Заявитель

Институт ядерной физики Сибирского отделения АН СССР

## (54) ГИРОКОН

1

Изобретение касается мощных электровакуумных приборов СВЧ, в частности конструкций гирокона - усилителя СВЧ с не-  
сгруппированным релятивистским пучком заряженных частиц.

В известном гирокоме релятивистский электронный пучок, непрерывно смещаясь по азимуту, под действием усиливаемого сигнала, питающего устройство круговой развертки луча, возбуждает выходной кольцевой резонатор бегущей волны. Отношение мощности в нагрузке выходного резонатора к мощности, потребляемой устройством круговой развертки, определяет коэффициент усиления гирокона. Однако в известных конструкциях гироконов относительно мала величина коэффициента усиления гирокона по сравнению, например, с клистроном.

Это относится к приборам большой мощности, когда длина луча сильно ограничена из-за его расходимости под действием объемного заряда и возникает необходимость в отклонении луча на углы 25-30°.

С целью увеличения электронного к. п. д. в гирокоме может применяться компенсация

2

высокочастотного магнитного поля бегущей волны в выходном резонаторе постоянным магнитным полем, которое создается специальным магнитом. Размеры этого магнита близки к размерам выходного резонатора. Таким образом, этот путь повышения электронного к. п. д. гирокона ведет к усложнению конструкции прибора и повышению его веса особенно в длинноволновой части СВЧ диапазона. При повышении мощности прибора на заданной рабочей частоте значительно растет тепловая нагрузка на коллектор и другие элементы гирокона. Нагрузку трудно уменьшить, так как возможность увеличения площади коллектора ограничена, поскольку средний диаметр коллектора определяется рабочей частотой (длиной средней окружности щели резонатора, через которую выходит пучок), а размер коллектора в направлении движения электрона ограничен из-за того, что пучок после торможения в выходном резонаторе имеет малую скорость, значительный объемный заряд, быстро расходится и оседает на стенке, не проникая на всю глубину коллектора. Это одна из причин, приво-

дящих к ограничению предельной мощности прибора. Другая причина, ограничивающая мощность гирокон, в непрерывном или в квазинепрерывном режимах, — это токооседание на стенки щелей выходного резонатора. В гироконх известных конструкций не существует никаких элементов, фокусирующих развернутый электронный луч и снижающих токооседание на стенки щелей.

Цель изобретения — уменьшение тепловой нагрузки на коллектор, упрощение конструкции, увеличение коэффициента усиления прибора и повышение его к. п. д.

Это достигается созданием электронного СВЧ прибора — гирокон, содержащего устройство для формирования аксиального негруппированного релятивистского пучка заряженных частиц, устройство круговой развертки пучка под действием усиливаемого сигнала, осесимметричную магнитную отклоняющую систему, выходной кольцевой резонатор бегущей волны и коллектор. Плоскость симметрии коллектора и выходного резонатора перпендикулярны оси гирокон, а осесимметричная магнитостатическая отклоняющая система направляет пучок заряженных частиц в плоскости симметрии выходного резонатора и коллектора, под углом к радиусу резонатора, и выполнена, например, в виде конической катушки с равномерной намоткой по поверхности.

Для повышения выходной мощности гирокон между выходным резонатором и отклоняющей системой может быть установлена магнитная фокусирующая система, например, в виде совокупности пар осесимметричных катушек с противоположно направленными магнитными полями, расположенных симметрично относительно плоскости развернутого пучка.

На фиг. 1 приведено схематическое изображение конструкции гирокон; на фиг. 2 — рассчитанные на ЭВМ траектории электронов в магнитных полях статической отклоняющей и фокусирующей системы. Гирокон состоит из источника 1 релятивистских электронов, устройства 2 круговой развертки, возбуждаемого усиливаемым сигналом, поступающим от источника 3, магнитостатической отклоняющей системы 4, установленной соосно с устройством 2 круговой развертки и направляющей развернутый электронный луч 5 перпендикулярно продольной оси гирокон, выходного кольцевого резонатора 6 бегущей волны с выводами СВЧ мощности (на чертеже не показаны), установленного соосно с поверхностью, образуемой развернутым электронным лучом 5, отклоненным магнитостатической системой 4, коллектора 7 электронов, фокусирующей системы 8, установленной между отклоняющей системой 4

и выходным резонатором 6 соосно с ними так, что горизонтальные плоскости симметрии фокусирующей системы и выходного резонатора совпадают.

Прибор работает следующим образом. Сформированный источником 1 релятивистских электронов, электронный луч 5, проходя через устройство 2 круговой развертки и магнитостатическую отклоняющую систему 4, отклоняется по отношению к первоначальной траектории на угол  $90^\circ$ .

Развернутый действием усиливаемого сигнала, непрерывно смещаясь по азимуту, электронный луч 5 описывает коническую поверхность, которая постепенно переходит в плоскость, перпендикулярную продольной оси гирокон. Поступая в выходной резонатор 6, луч возбуждает в нем бегущую волну, тормозится в ее электрическом поле и отдает ей свою энергию. Полученная СВЧ энергия через элемент связи выводится из выходного резонатора 6 в нагрузку. Остаточная энергия электронного пучка рассеивается на коллекторе 7. Преобразование развернутого луча 5 из конического в дисковый позволяет повысить коэффициент усиления прибора, поскольку в этом случае значительно уменьшается угол отклонения луча в устройстве 2 круговой развертки, а основное отклонение луча осуществляется магнитостатической системой 4, не потребляющей высокочастотной мощности. В приборе могут быть использованы различные конструкции магнитостатических отклоняющих и фокусирующих систем. В приведенном варианте конкретной конструкции гирокон предложена отклоняющая система 4, выполненная в виде конической катушки с равномерной намоткой. Фокусирующая система 8 состоит из четырех цилиндрических катушек, установленных попарно соосно с устройством 2 круговой развертки и симметрично относительно средней плоскости выходного резонатора 6. Цилиндрические катушки фокусирующей системы 8 создают накопленное магнитное поле в горизонтальной плоскости симметрии.

Электроны, влетая в выходной резонатор 6, кроме радиальных и осевых компонент скорости имеют также и азимутальную скорость, которая для электрона, находящегося на оси пучка, определяется углом (см. фиг. 2). Двигаясь по траекториям, близким к радиальным при прохождении выходного резонатора 6, электроны возбуждают в нем бегущую волну, аналогичную по структуре поля волне типа  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе, замкнутом в кольцо, и отдают ей свою энергию. При взаимодействии с высокочастотным магнитным полем этой бегущей волны электроны отклоняются

в азимутальном направлении навстречу движению волны, вследствие чего к.п.д. взаимодействия электронного пучка с СВЧ-полем бегущей волны снижается. Как показывают расчетные оценки, электронный к. п. д. можно повысить путем сообщения электронам на входе в резонатор 6 дополнительной азимутальной скорости, направленной в сторону движения бегущей волны (см. фиг. 2, где представлены траектории электронов в магнитных полях статической отклоняющей 4 и фокусирующей 8 систем, построенных в цилиндрической ( $R, \varphi, Z$ ) системе координат, ось  $Z$  совпадает с продольной осью гирокона). При расчете траекторий предполагалось, что электронный пучок на входе в устройстве 2 круговой развертки имеет радиус в 2 см и только осевую компоненту скорости. На фиг. 2 приведены пять траекторий, из которых первая I соответствует траектории электрона, вошедшего в устройство 2 развертки по оси системы, а остальные (II - V) соответствуют траекториям электронов, вошедших в устройство 2 развертки в точках, отстоящих на 2 см от оси и сдвинутых по азимуту на  $90^\circ$  друг относительно друга. Расчет проведен для энергии электронов 500 кэВ.

Величина дополнительной азимутальной скорости при рассмотренных значениях энергии электронов и параметров выходного резонатора 6 лежит в пределах 15-30% от величины радиальной компоненты скорости. Эта азимутальная скорость в описанном гироконе сообщает электронному пучку статической отклоняющей системой 4. Направление азимутальной скорости зависит от направления тока в обмотке конусной катушки отклоняющей системы 4. Соответствующим выбором направления тока и диаметра развертки можно, меняя угол  $\alpha$ , получить электронный к. п. д. близкий к 100% (на фиг. 2 этому соответствует угол  $\alpha = 14^\circ$ ). При 100% к. п. д. азимутальная скорость, полученная электроном в результате взаимодействия с СВЧ магнитным полем бегущей волны, равна по величине и противоположна по направлению азимутальной скорости, приобретенной электроном в отклоняющей системе 4.

Таким образом, в описанном гироконе можно получить электронный к. п. д. близ-

кий к 100% без применения компенсирующего магнита, кроме того, существенно снижены ограничения на размеры коллектора так как диаметр средней окружности входной щели коллектора при заданной частоте может быть значительно увеличен, в сравнении с гироконами других конструкций, вследствие чего предельная мощность прибора повышается. Фокусирующая система, установленная между отклоняющей системой и выходным резонатором, позволяет улучшить токопрохождение в выходном резонаторе прибора, что также повышает предельную мощность.

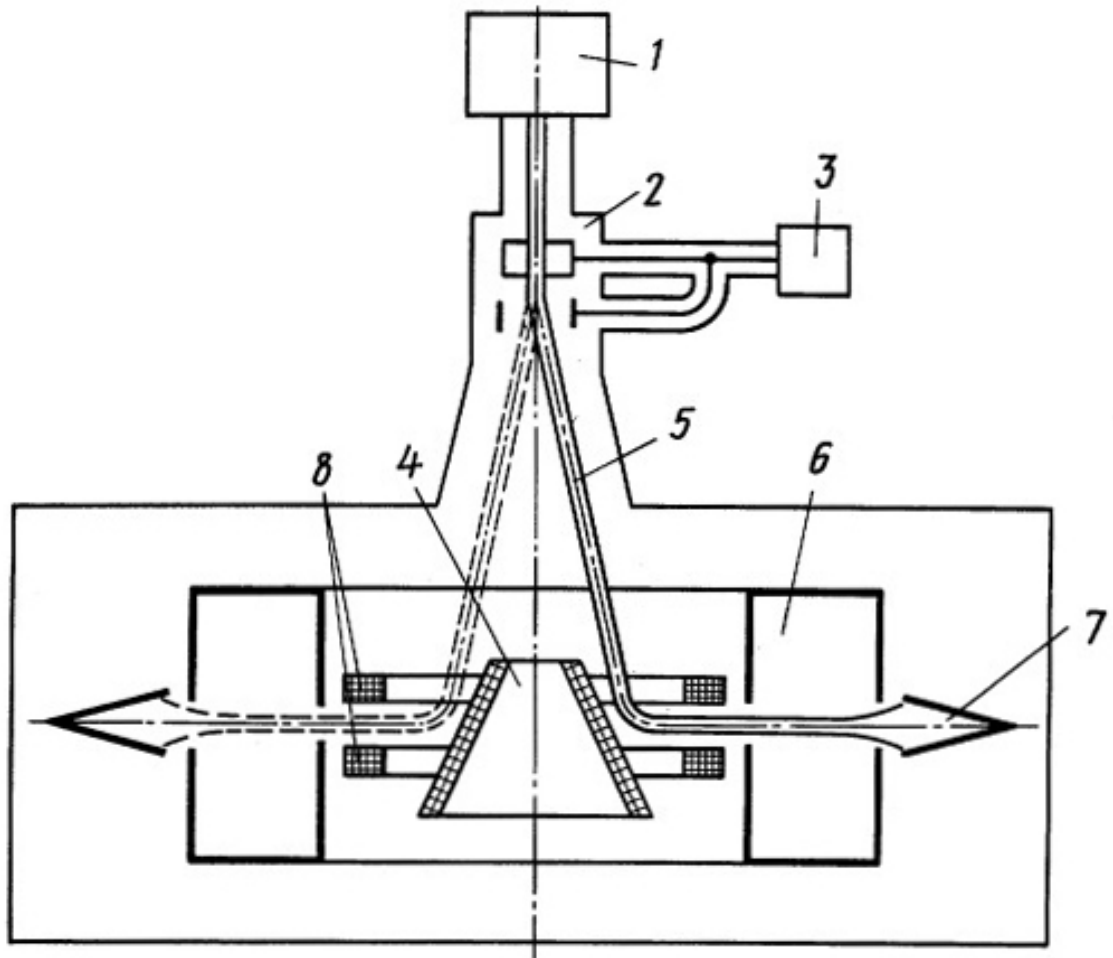
#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

1. Гирокон, содержащий устройство для формирования аксиального несгруппированного релятивистского пучка заряженных частиц, устройство круговой развертки пучка под действием усиливаемого сигнала, осесимметричную магнитную отклоняющую систему, выходной кольцевой резонатор бегущей волны и коллектор, расположенные соосно с поверхностью движения развернутого пучка, отличающийся тем, что, с целью уменьшения тепловой нагрузки на коллектор, упрощения конструкции, увеличения коэффициента усиления прибора и повышения его к. п. д., выходной резонатор и коллектор, служащий для приема пучка заряженных частиц, движущихся в их плоскости симметрии, установлены таким образом, что их плоскость симметрии перпендикулярна оси гирокона.

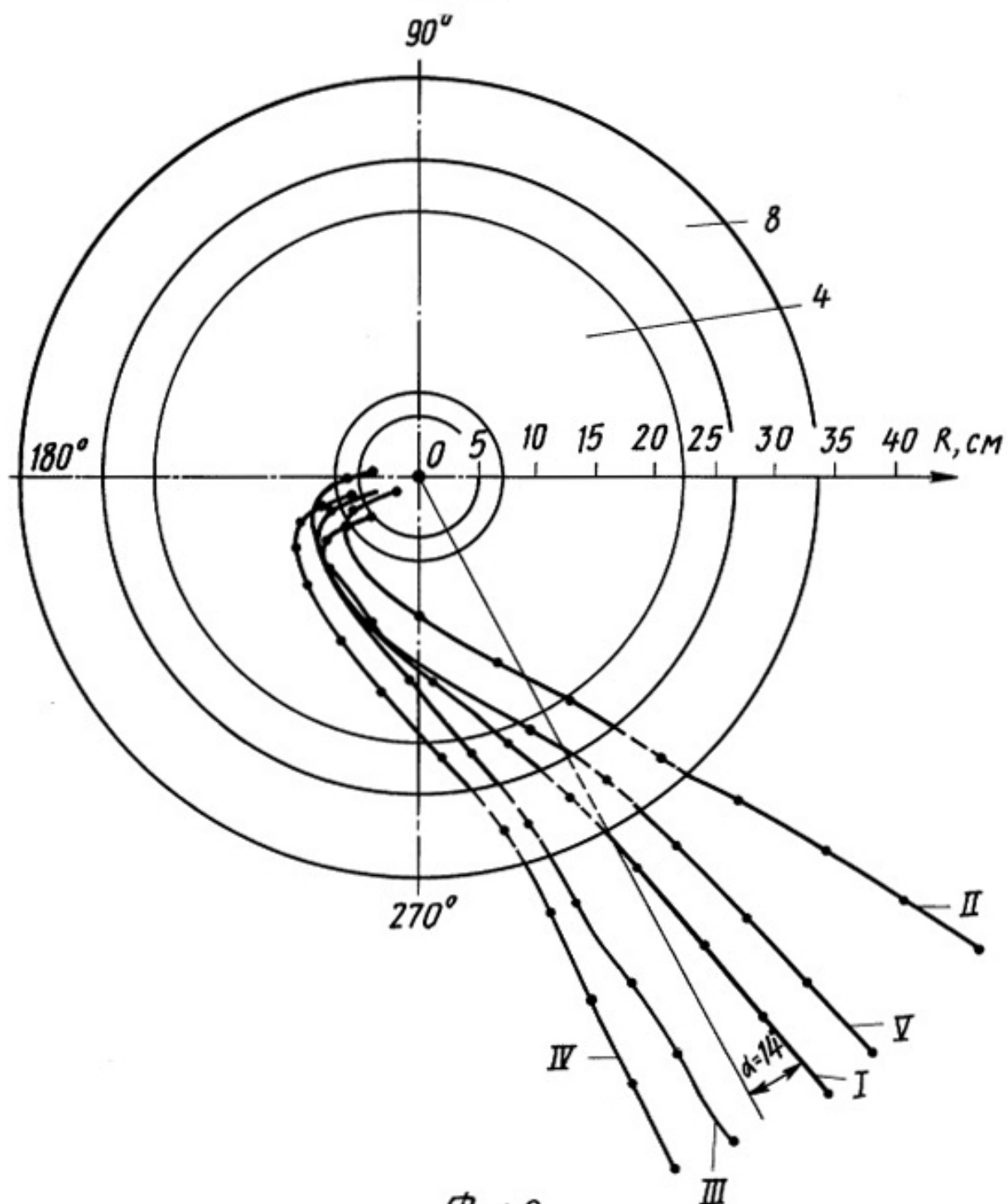
2. Гирокон по п. 1, отличающийся тем, что отклоняющая система выполнена в виде конической катушки с равномерной намоткой по поверхности.

3. Гирокон по пп. 1, 2, отличающийся тем, что, с целью повышения выходной мощности прибора, между выходным резонатором и отклоняющей системой установлена магнитная фокусирующая система, например, в виде совокупности пар осесимметричных катушек с противоположно направленными магнитными полями, расположенных симметрично относительно плоскости развернутого пучка.

496870



Фиг. 1



Фиг. 2

Составитель Л. Фролова

Редактор Г. Сухова

Техред Г. Родак

Корректор А. Грищенко

Заказ 5447/212

Тираж 963

Подписное

ЦНИИПИ Государственного комитета Совета Министров СССР  
по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4