

УДК 621.385

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИРОТРОНА С СЕКЦИОНИРОВАННЫМ РЕЗОНАТОРОМ КЛИСТРОННОГО ТИПА НА ВЫСОКИХ ЦИКЛОТРОННЫХ ГАРМОНИКАХ

И. В. Бандуркин¹, Ю. К. Калынов¹, А. В. Савилов^{1,2}*

¹ Институт прикладной физики РАН;

² Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Для возбуждения гиротронов с большой электронной орбитой, работающих в терагерцовом частотном диапазоне на высоких циклотронных гармониках, требуется использовать протяжённые резонаторы, что обусловлено как слабостью электронно-волнового взаимодействия, так и относительно низкими рабочими токами. Поскольку дифракционная добротность таких резонаторов высока, существенная доля мощности высокочастотного излучения, вырабатываемого электронным пучком, теряется из-за омических потерь в стенках резонатора. В качестве одного из путей решения этой проблемы был предложен секционированный резонатор клистронного типа, в котором удаётся совместить протяжённость области электронно-волнового взаимодействия с относительно низкой дифракционной добротностью системы. Настоящая работа посвящена изложению результатов первого эксперимента с гиротроном с секционированным резонатором, в котором наблюдалось селективное возбуждение высоких (второй и третьей) циклотронных гармоник в терагерцовом частотном диапазоне (0,55 и 0,74 ТГц).

ВВЕДЕНИЕ

Для традиционных гиротронов, работающих на низких циклотронных гармониках в терагерцовом частотном диапазоне [1–5], требуются весьма большие магнитные поля. Снижение величины рабочего магнитного поля может быть достигнуто за счёт перехода в режим работы на высоких циклотронных гармониках при использовании конфигурации типа «гиротрон с большой орбитой» (ГБО) [6–9]. Основная особенность данной конфигурации — использование приосевого электронного пучка, которое позволяет не только существенно улучшить селективность системы, но и повысить интенсивность электронно-волнового взаимодействия. Так, в эксперименте, описанном в работе [9], был реализован уникальный слаборелятивистский гиротрон терагерцового частотного диапазона с ускоряющим напряжением 80 кВ и силой тока пучка 0,7 А. В нём использовалась электронно-оптическая система с обеспечивающим раскачку частиц каспом (т. е. сменой направления) ведущего магнитного поля в катодной области и последующей адиабатической компрессии пучка в дрейфовой секции. Эта система, обладающая рекордным фактором компрессий (3 000), обеспечивала формирование пучка частиц, вращающихся вокруг оси системы, с достаточно большим средним питч-фактором (1,4) и приемлемыми значениями разбросов скоростей и координат, достигающимися в относительно широких диапазонах напряжений и рабочих магнитных полей. В эксперименте наблюдалась устойчивая одномодовая генерация высоких мод $TE_{3,6}$ и $TE_{3,7}$ на третьей циклотронной гармонике на частотах 0,87 и 1,00 ТГц соответственно с эффективностью около 1 %.

Основной недостаток этого гиротрона был обусловлен низкой интенсивностью электронно-волнового взаимодействия на третьей циклотронной гармонике, а также относительно невысоким рабочим током в приосевом электронном пучке. Как следствие, для обеспечения старта работы

* savilov@appl.sci-nnov.ru

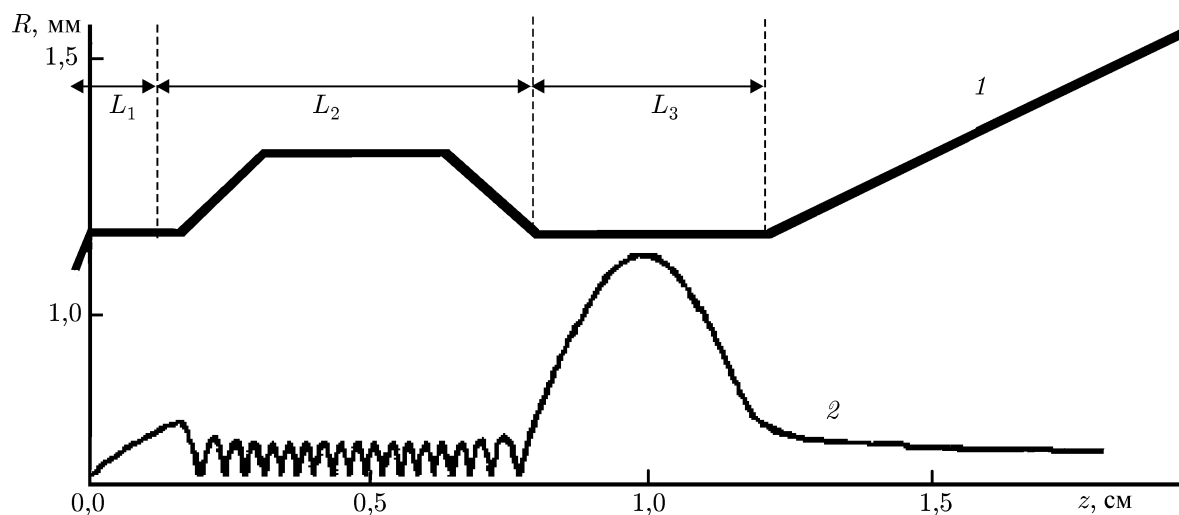


Рис. 1. Схема секционированного резонатора ГБО на высокой циклотронной гармонике, а также рассчитанная продольная структура рабочей волны (кривая 1). Здесь R — поперечная координата, z — продольная координата, $L_1 = 1,5$ мм, $L_2 = 6,5$ мм, $L_3 = 4,2$ мм. Также приведена рассчитанная продольная структура поля рабочей волны (кривая 2)

гиротрона был необходим протяжённый (с длиной 24λ , где λ — длина волны) рабочий резонатор, обладающий весьма высокой дифракционной добротностью и, соответственно, большими омическими потерями. Численное моделирование, результаты которого хорошо согласуются с экспериментом, предсказывало в этом генераторе относительно высокий (около 10 %) электронный коэффициент полезного действия (КПД). Последний определяется как доля кинетической энергии электронного пучка, отдаваемая им электромагнитной волне. Однако вследствие омических потерь в стенках резонатора выходной КПД (т. е. отношение мощности излучения на выходе к мощности электронного пучка), согласно расчётам составлял приблизительно 1,5 %. Таким образом, 85 % энергии, отдаваемой частицами волне, терялось из-за омических потерь.

Возможным путём решения этой проблемы может быть использование более сложных электродинамических систем с пониженной дифракционной добротностью, в частности систем связанных резонаторов. В работе [10] был предложен способ совмещения относительно большой длины области электронно-волнового взаимодействия и относительно низкой дифракционной добротности в рамках одной секционированной электродинамической системы с «клистронным» характером электронно-волнового взаимодействия (рис. 1). В такой системе частицы взаимодействуют с квазикритическими волнами во входной и выходной секциях системы (резонаторах), в то время как область дрейфа, расположенная между этими двумя секциями, используется как для обеспечения сверхвысокочастотной (СВЧ) связи между ними, так и для создания достаточного пространства для процесса эффективной инерциальной группировки электронов. Дифракционная добротность Q_{dif} такой секционированной электродинамической системы определяется главным образом суммарной длиной двух резонаторов, т. е. $Q_{\text{dif}} \propto (L_1 + L_3)^2$, где L_1 и L_3 — длина входной и выходной секции соответственно. Омические потери происходят тоже в основном в этих двух резонаторах. В то же время, стартовый ток такого гиротрона определяется суммарной длиной секционированной системы $L_1 + L_2 + L_3$, где L_2 — длина дрейфовой секции. Таким образом, увеличивая длину дрейфовой секции, в принципе можно добиться старта работы гиротрона при малых длинах входного и выходного резонаторов и, соответственно, низкой добротности микроволновой системы.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ГИРОТРОН С СЕКЦИОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Секционированный резонатор клистронного типа, изображённый на рис. 1, был разработан для улучшения характеристик терагерцового гиротрона, работающего на третьей циклотронной гармонике на моде $TE_{3,7}$ [11]. Несмотря на его достаточно большую длину (суммарная протяжённость трёх секций превышает 40λ), дифракционная добротность этого резонатора не слишком велика вследствие того, что суммарная длина входной и выходной секций, в которых рабочая волна имеет квазикритический характер, составляет менее 20λ . Соответствующая такой длине минимальная дифракционная добротность, которая определяется хорошо известной (см., например, работу [12]) формулой $Q_{\text{dif}} = 4\pi (L_1 + L_3)^2 / \lambda^2$, составляет примерно 5 000 и оказывается меньше, чем омическая добротность Q_{ohm} для этой поперечной моды ($Q_{\text{ohm}} \approx 7 000$). Доля омических потерь (т. е. отношение мощности СВЧ излучения P_{ohm} , теряемой в стенках резонатора, к мощности электромагнитного поля P_{rad} , излучаемого электронным пучком) определяется отношением суммарной добротности резонатора Q_{Σ} , которая находится из формулы $Q_{\Sigma}/Q_{\text{ohm}} = 1/Q_{\text{ohm}} + 1/Q_{\text{dif}}$, к его омической добротности:

$$P_{\text{ohm}}/P_{\text{rad}} = (1 + Q_{\text{ohm}}/Q_{\text{dif}})^{-1}.$$

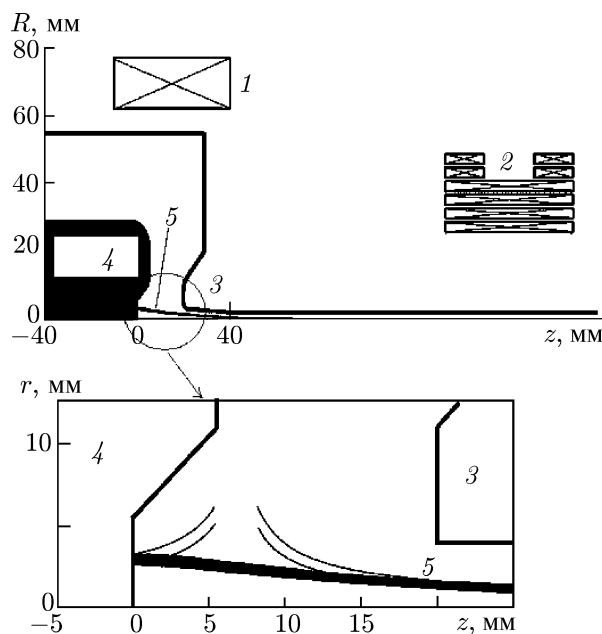


Рис. 2. Схема электронно-оптической системы ГБО на высокой циклотронной гармонике: 1 — «отрицательный катодный соленоид», 2 — основной соленоид, 3 — анод, 4 — катод, 5 — электронный пучок. Отдельно (на нижней панели) показана прикатодная область с каспом магнитного поля (тонкие линии обозначают линии магнитной индукции)

поля с индукцией 4,5 мТл. Вращательную составляющую скорости электроны приобретают в расположенной вблизи катода области каспа, где магнитное поле меняет направление. Затем вращательная скорость частиц растёт в процессе их движения в области дрейфа от каспа к рабочему резонатору в увеличивающемся магнитном поле. В рабочем резонаторе величина это-

В реализованном в настоящем эксперименте секционированном гиротроне доля омических потерь должна составлять приблизительно 40 % от полной мощности СВЧ волны, излучаемой электронным пучком. Это существенно меньше, чем доля омических потерь в экспериментально реализованном гиротроне с регулярным резонатором [9], которая составляла 85 %.

В эксперименте с секционированным резонатором использовался электронный пучок с теми же параметрами, что и в эксперименте с регулярным терагерцовым гиротроном [9]: относительно низкое ускоряющее напряжение 80 кВ при силе тока 0,7 А и длительности импульса 10 мкс.

Одной из ключевых проблем при реализации коротковолновых ГБО является создание электронно-оптических систем, формирующих приосевые электронные пучки с приемлемыми величинами разбросов скоростей и координат частиц. В рассматриваемом в настоящей статье гиротроне, как и в эксперименте [9], использовалась электронная пушка с каспом магнитного поля в прикатодной области (рис. 2) [13–15]. В этой пушке электроны покидают кольцевой эмиттер катода, двигаясь до зоны каспа вдоль прямолинейных траекторий против продольного магнитного

го поля составляет приблизительно 13,7 Тл, что соответствует рекордному значению фактора компрессии (3000). Столь большая компрессия магнитного поля позволяет достигнуть достаточно большой плотности электронного тока внутри рабочего резонатора при умеренном значении плотности тока эмиссии с катода (4 А/см^2). В эксперименте с простым (регулярным) резонатором [9] в такой системе обеспечивался рабочий ток гиротрона 0,7 А при среднем питч-факторе 1,4 и среднеквадратичном разбросе вращательных скоростей около 12 %.

Секционированный резонатор клистронного типа для нового эксперимента с ГБО был разработан с ориентацией на приведённые выше характеристики электронного пучка. Однако параметры пучка в новом эксперименте несколько отличались от их значений в предыдущей реализации. Прежде всего, сила тока пучка была несколько меньше (до 0,6 А вместо 0,7 А). Кроме того, как показывает анализ результатов эксперимента (см. ниже), питч-фактор частиц в области резонатора был несколько больше ($1,55 \div 1,70$ в зависимости от величины тока пучка).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

С самого начала было очевидно, что наиболее серьёзной проблемой в реализации гиротрона с изображённым на рис. 1 секционированным резонатором является возможность возбуждения паразитных колебаний внутри закрытой промежуточной секции. В принципе, этой проблемы можно избежать, используя открытый вариант секционированного резонатора клистронного типа, который основан на эффекте трансформации мод [16]. Однако в первом эксперименте с секционированным резонатором был использован его закрытый вариант. Причиной такого решения была относительно низкая (по сравнению с открытым вариантом) критичность параметров такого резонатора к погрешностям изготовления. Как следует из анализа [11], закрытая промежуточная секция разработана таким образом, чтобы избежать возбуждения низкочастотных паразитных мод как на основном циклотронном резонансе, так и на второй гармонике циклотронной частоты электронов при рабочем магнитном поле с индукцией около 13,6 Тл, которое соответствует возбуждению моды $\text{TE}_{3,7}$ на третьей циклотронной гармонике на частоте 1 ТГц. Следует отметить, что эксперимент подтвердил результаты этого анализа: действительно, при таком магнитном поле возбуждение низких гармоник в секционированном резонаторе не происходило. При этом, однако, стабильность генерации моды $\text{TE}_{3,7}$ на третьей циклотронной гармонике нарушалась возбуждением паразитных колебаний в закрытой промежуточной секции на моде $\text{TE}_{3,8}$ на той же третьей гармонике. Такое утверждение следует из анализа выходного СВЧ сигнала, наблюдавшегося при магнитном поле с индукцией около 13,6 Тл. Частота этого сигнала была близка к частоте отсечки моды $\text{TE}_{3,8}$, соответствующей радиусу закрытой секции резонатора. В то же время очень низкий уровень мощности выходного СВЧ сигнала свидетельствовал о том, что возбуждаемая волна оказалась запертой внутри закрытой секции. Генерация паразитных колебаний не следовала из предварительного теоретического анализа. По всей видимости, основной причиной этого послужил некорректный учёт в расчётах распределения частиц пучка по питч-факторам, которое имело место в реальном эксперименте.

Однако стабильная и селективная генерация на третий циклотронной гармонике в эксперименте с секционированным гиротроном всё же была достигнута. Она наблюдалась при несколько более низком магнитном поле (с индукцией около 10,2 Тл). Частота СВЧ сигнала на выходе (0,74 ТГц) соответствовала частоте отсечки моды $\text{TE}_{3,5}$ в рабочих входной и выходной секциях резонатора. Наблюдаемая мощность выходного сигнала была на уровне $100 \div 250 \text{ Вт}$ и увеличивалась с ростом рабочего тока, так что характерные значения выходного КПД составляли $0,5 \div 0,6 \%$. Зависимости измеренной на выходе СВЧ мощности и выходного КПД от силы рабочего тока в ГБО, работающего на третьей циклотронной гармонике на моде $\text{TE}_{3,5}$, показаны на

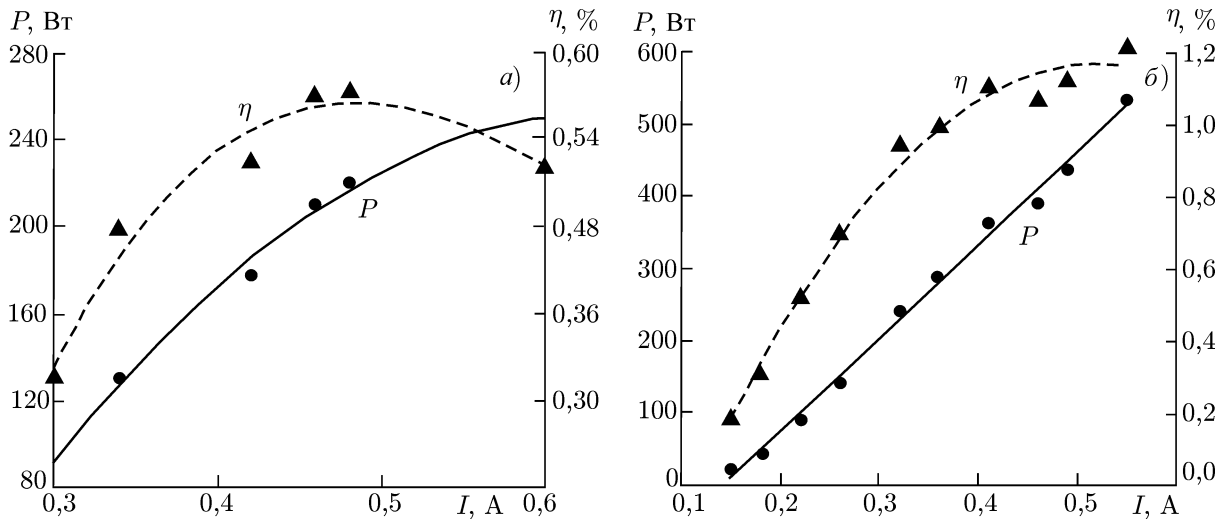


Рис. 3. Зависимости измеренной мощности выходного сигнала P (точки) и выходного КПД (треугольники) от силы электронного тока I при работе генератора на первой (а) и второй (б) гармониках циклотронной частоты. Сплошной и штриховой линиями показаны аппроксимации экспериментальных зависимостей $P(I)$ и $\eta(I)$ соответственно

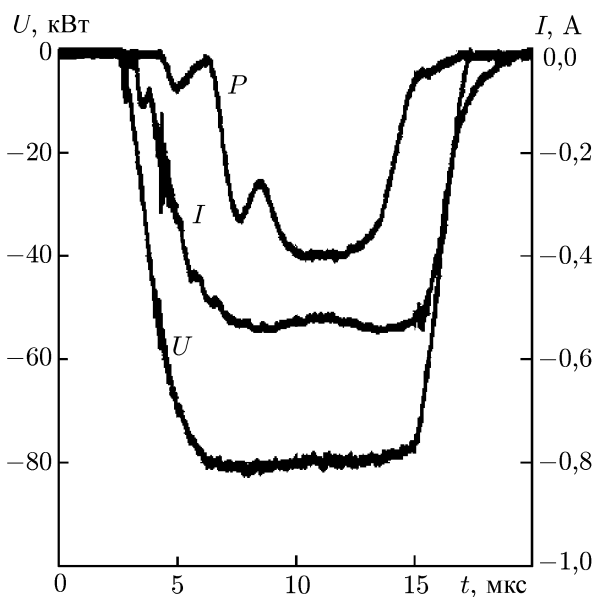


Рис. 4. Экспериментальные осциллограммы импульсов ускоряющего электроны напряжения U , электронного тока I и мощности выходного СВЧ сигнала P при работе гиротрона на третьей циклотронной гармонике. Мощность на осциллограмме выражена в относительных единицах

рис. 3а. На рис. 4 приведены осциллограммы импульсов ускоряющего напряжения, силы тока и мощности выходного излучения.

Следует также упомянуть, что при несколько более высоком магнитном поле (11,3 Тл) наблюдалась генерация на второй гармонике циклотронной частоты. При этом частота выходного излучения, составившая 0,55 ТГц, соответствовала поперечной рабочей моде $TE_{2,4}$. Максимальная мощность гиротрона на второй циклотронной гармонике превышала 500 Вт, что соответствовало выходному КПД генератора выше 1 % (рис. 3б).

Возвращаясь к гиротрону на третьей гармонике циклотронной частоты, заметим, что измеренный в этом эксперименте КПД прибора (менее 1 %) оказался существенно ниже, чем предсказывалось в численных расчётах (на несколько процентов [11]). Причиной этого является тот факт, что профиль секционированного резонатора был предназначен для работы прибора на частоте 1 ТГц ($\lambda = 0,3$ мм), в то время как в эксперименте возбуждалась мода с немного большей

длиной волны ($\lambda \approx 0,4$ мм). Таким образом, эффективная (т. е. измеренная в длинах волн) длина резонатора заметно сократилась. Кроме того, электронный ток, достигнутый в настоящем эксперименте, был несколько ниже заложенного в расчёты значения 0,7 А. Таким образом, режим генерации моды $TE_{3,5}$ на длине волны $\lambda \approx 0,4$ мм был далёк от оптимального.

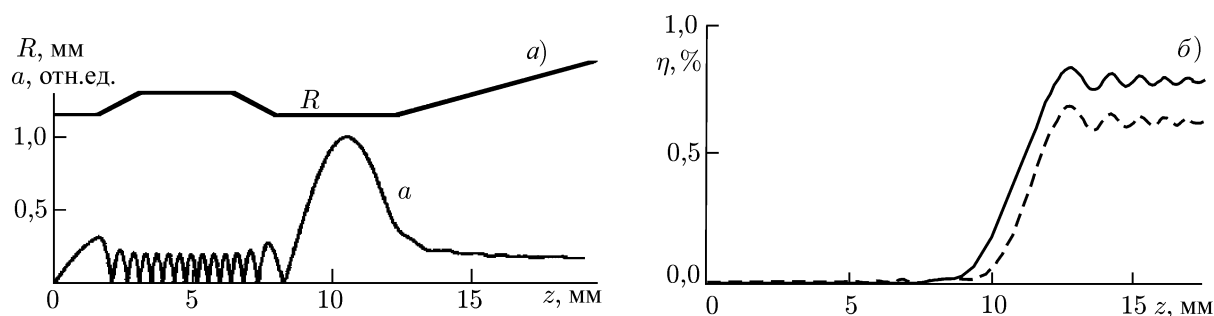


Рис. 5. Результаты численного моделирования работы экспериментального ГБО на третьей циклотронной гармонике на частоте 0,74 ТГц: (а) профиль изменения радиуса секционированного резонатора R и амплитуды a поля СВЧ волны; (б) электронный КПД (сплошная линия) и КПД прибора по СВЧ полю (штриховая линия) как функции продольной координаты

Более того, согласно численным расчётам, при среднем питч-факторе электронов 1,4 мода $TE_{3,5}$ на третьей циклотронной гармонике вообще не должна была возбуждаться, т. к. соответствующий стартовый ток оказывался больше рабочего. Как показывает анализ процессов формирования электронного пучка и электронно-волнового взаимодействия, в эксперименте питч-фактор был несколько больше, чем 1,4. Это было обусловлено главным образом тем, что величина рабочего магнитного поля, соответствующая возбуждению моды $TE_{3,5}$, была ниже расчётного значения, которое отвечало работе гиротрона на более высокой моде $TE_{3,7}$. Кроме того, питч-фактор в экспериментальном пучке зависел от силы электронного тока. Как показывает численное моделирование процесса возбуждения гиротрона, средний питч-фактор составлял приблизительно $1,55 \div 0,60$ А и увеличивался до $1,65 \div 1,70$ с уменьшением силы тока до соответственно $0,4 \div 0,2$ А. В результате режим работы гиротрона на третьей циклотронной гармонике на частоте 0,74 ТГц и на моде $TE_{3,5}$ при таких значениях питч-фактора и силы тока был близким к стартовому и, соответственно, его эффективность была относительно низкой.

Рисунок 5 иллюстрирует результаты численного моделирования работы ГБО на третьей циклотронной гармонике при силе электронного тока 0,5 А и усреднённом питч-факторе 1,55. Расчёты проводились на основе теории, развитой в работе [11]. При оптимальной величине рабочего магнитного поля устанавливается генерация низшей продольной моды. Нормированная амплитуда $a(z)$ электрического поля этой моды на оси резонатора является плавной функцией продольной координаты во входной и выходной секциях рабочего резонатора, где эта волна близка к отсечке (т. е. её продольный индекс порядка единицы). В промежуточной дрейфовой секции, напротив, функция $a(z)$ быстро осциллирует (рис. 5а); эта картина соответствует стоячей волне, сформированной попутной и встречной электронам волнами, далёкими от отсечки (т. е. с продольным индексом много больше единицы).

Для установившегося режима работы гиротрона численное моделирование предсказывает электронный КПД около 0,8 % (рис. 5б). Излучение волны происходит главным образом в узкой выходной секции резонатора, в которую приходит электронный пучок, сгруппированный вследствие взаимодействия с СВЧ волной во входной секции и последующего дрейфа в промежуточной секции. Выходной КПД немного ниже электронного КПД (примерно на 0,6 %) вследствие омических потерь.

Итак, доля омических потерь в этом эксперименте (приблизительно 20 % всей мощности, отбираемой СВЧ волной у электронов) была относительно небольшой, особенно по сравнению с предыдущим экспериментом с терагерцовым ГБО на третьей циклотронной гармонике [9], в котором эта величина составляла 85 %.

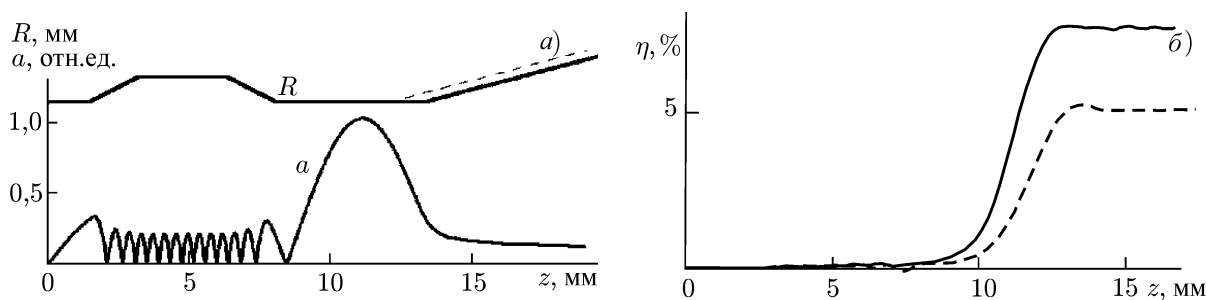


Рис. 6. Результаты численного моделирования ГБО на третьей циклотронной гармонике с удлиненным резонатором: (а) профили изменения радиуса секционированного резонатора R (штриховой линией показан профиль неуплотненного резонатора) и амплитуды a поля СВЧ волны; (б) электронный КПД (сплошная линия) и КПД прибора по СВЧ полю (штриховая линия) как функции продольной координаты

Следует признать, что мощность выходного СВЧ сигнала в экспериментальном ГБО с секционированным резонатором была примерно на том же уровне, что и в предыдущем эксперименте с регулярным резонатором. При этом, однако, в новом эксперименте доля омических потерь в мощности, отбираемой СВЧ волной у электронного пучка, уменьшилась в четыре раза. Причиной столь небольшой доли омических потерь является относительно небольшая суммарная длина двух (входной и выходной) резонаторных секций: $X = (L_1 + L_3)/\lambda \approx 14$. В таком секционированном резонаторе дифракционная добротность рабочей волны определяется этой величиной X , а также набегом фазы волны в промежуточной дрейфовой секции Ψ_2 . Как следует из теории [10, 11], в зависимости от фазы Ψ_2 дифракционная добротность нижней аксиальной моды может меняться от $Q_{\text{dif}} \gg X^2$ до $Q_{\text{dif}} \approx \pi X^2$. Для реализованной в эксперименте ситуации численное моделирование системы даёт оценку $Q_{\text{dif}} \approx 2000$, в то время как омическая добротность резонатора оценивается значением 7000. Такое соотношение дифракционной и омической добротностей приводит к относительно небольшой (20÷25 %) доли омических потерь в полной мощности, отбираемой у электронного пучка излучением.

Относительно низкий электронный КПД, достигнутый в ГБО с секционированным резонатором, объясняется близким к стартовому режимом работы гиротрона. Естественный путь повышения КПД при тех же параметрах электронного пучка — это снижение стартового тока за счёт увеличения длины выходного резонатора. Рисунок 6 иллюстрирует результаты моделирования ГБО с секционированным резонатором на третьей циклотронной гармонике на той же моде $\text{TE}_{3,5}$ в случае, когда длина выходной резонаторной секции составляет 5,4 мм вместо 4,2 мм как это было в экспериментальном секционированном резонаторе. Хотя длина этой секции увеличена лишь на три длины волны, электронный и выходной КПД увеличиваются до 7,7 % и 5,2 % соответственно. В этом случае доля омических потерь в мощности, излучаемой электронным пучком, увеличивается примерно до 35 %. Естественно, это вызвано увеличением дифракционной добротности резонатора за счёт удлинения той части секционированной электродинамической системы, в которой рабочая волна имеет квазикритический характер.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение ещё раз следует подчеркнуть основной результат описанного в настоящей статье эксперимента с гиротроном с секционированным резонатором. В этом эксперименте был реализован слаботорсионный гиротрон, работающий в терагерцовом частотном диапазоне на третьей циклотронной гармонике с приемлемым уровнем эффективности при пониженной ди-

фракционной добротности рабочего резонатора. При относительно большой длине резонатора (около 30 длин волн) она составляла приблизительно 2000. В результате этого были достигнуты экстремально низкие (для такого класса приборов) значения доли омических потерь в мощности, отдаваемой электронным пучком СВЧ волне. Согласно оценкам эта доля составляла в эксперименте 20÷25 %, в то время как в предыдущем эксперименте, проведённом на этой установке с терагерцовым гиротроном с регулярным резонатором, при таком же выходном КПД прибора приблизительно 85 % излучаемой электронным пучком СВЧ мощности терялось в стенках резонатора. Очевидно, что такое свойство секционированных резонаторов клистронного типа особенно привлекательно при их использовании в гиротронах, работающих на высоких циклотронных гармониках в длинноимпульсных и непрерывных режимах генерации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-02-01048, 14-02-05594 и 15-42-02260).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Idehara T., Tatsukawa T., Ogawa I., et al. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56, No. 18. P. 1743.
2. Glyavin M. Yu., Luchinin A. G., Golubiatnikov G. Yu. // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100, No. 1. Art. no. 015101.
3. Hornstein M. K., Bajaj V. S., Griffin R. G., et al. // IEEE Trans. Electron. Devices. 2010. V. 52. P. 798.
4. Torrezan A. C., Shapiro M. A., Sirigiri J. R., et al. // IEEE Trans. Electron Devices. 2011. V. 58, No. 8. P. 2777.
5. Glyavin M. Yu., Luchinin A. G., Nusinovich G. S., et al. // Appl. Phys. Lett. 2012. V. 101, No. 15. Art. no. 153503.
6. Jory H. // Varian Associates R&D. Technical Report. No. ECOM-01873-F. 1968.
7. McDermott D. B., Luhmann N. C., Kupiszewski Jr. A., Jory H. R. // Phys. Fluids. 1983. V. 26, No. 7. P. 1936.
8. Irwin K., Destler W. W., Lawson W., et al. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69, No. 2. P. 627.
9. Bratman L., Kalynov Yu. K., Manuilov V. N. // Phys. Rev. Lett. 2009. V. 102. Art. no. 245101.
10. Savilov A. V. // Appl. Phys. Lett. 2009. V. 95. Art. no. 073503.
11. Bandurkin I. V., Kalynov Yu. K., Savilov A. V. // Phys. Plasmas. 2010. V. 17, No. 8. Art. no. 073101.
12. Nusinovich G. S. Introduction to the physics of gyrotrons. Baltimore: John Hopkins University Press, 2004. 352 p.
13. Gallagher D., Barsanti M., Scafuri F., Armstrong C. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2000. V. 28, No. 3. P. 695.
14. Братман В. Л., Денисов Г. Г., Самсонов С. В. и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 2007. Т. 50, № 2. С. 104.
15. He W., Whyte C. G., Rafferty E. G., et al. // Appl. Phys. Lett. 2008 V. 93, No. 12. P. 121501.
16. Bandurkin I. V., Kalynov Yu. K., Savilov A. V. // Phys. Plasmas. 2013. V. 20, No. 1. Art. no. 014503.

Поступила в редакцию 27 мая 2015 г.; принята в печать 7 августа 2015 г.

EXPERIMENTAL STUDY OF A GYROTRON WITH A SECTIONED KLYSTRON-TYPE CAVITY WITH HIGHER CYCLOTRON HARMONICS

I. V. Bandurkin, Yu. K. Kalynov, and A. V. Saviolov

We are planning to use extended cavities in order to excite gyrotrons with large electron orbits, which are operated at higher cyclotron harmonics in the terahertz frequency range. This is determined by both the weakness of the electron-wave interaction, and relatively low operating currents. Since the diffraction Q-factor of such cavities is high, a significant part of the high-frequency power produced by the electron beam is lost due to the ohmic loss in the cavity walls. As a way to solve this problem, we proposed a sectioned klystron-type cavity, where an extended length of the electron-wave interaction region can be combined with a relatively low diffraction Q-factor of the system. This work presents the results of the first experiment on a gyrotron with a sectioned cavity, where selective excitation of higher (second and third) cyclotron harmonics was observed in the terahertz frequency range (0.55 and 0.74 THz).