

ГЕНЕРАТОР МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН С МНОГОЗЕРКАЛЬНЫМ ОТКРЫТЫМ РЕЗОНАТОРОМ

Введение

Использование квазиоптических открытых резонаторов (ОР) в качестве колебательных систем электронно-вакуумных и твердотельных генераторов перспективно в коротковолновой части миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн [1 – 3]. Стабилизация частоты и снижение частотных шумов при помощи высокодобротных ОР получила широкое распространение по ряду причин. Во-первых, объемные резонаторы по мере продвижения в коротковолновые диапазоны значительно снижают добротность ввиду уменьшения объема и повышения омических потерь в стенках резонатора. Применение низкочастотных высокостабильных, например кварцевых источников в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, становится малоэффективным ввиду высокого коэффициента умножения в системах автоматической подстройки частоты (АПЧ). К тому же следует учитывать, что при использовании высокодобротных ОР существенно подавляются частотные шумы в широком интервале частот, тогда как при использовании АПЧ частотные шумы подавляются только в полосе захвата системы. Во-вторых, принципы, положенные в основу построения квазиоптических резонансных систем, позволяют создать ОР с несколькими степенями свободы. Примером такой системы служит трехзеркальный эшелеттный ОР [4]. Использование ОР с дополнительным ограничением резонансного пространства и дополнительными селективными элементами (типичным примером которого является уголково-эшелеттный ОР [5]) позволяет получить новые качества квазиоптических устройств: снижение габаритных размеров ОР при сохранении высокой добротности за счет компрессии поля (стягивания к оси ОР), а следовательно, – уменьшение дифракционных потерь. Дополнительная селекция типов колебаний – следствие применения уголково-эшелеттного зеркала, обладающего дополнительными частотно-дисперсионными свойствами. Перечисленные качества позволили разработать ряд высокостабильных квазиоптических генераторов на диодах Ганна и ЛПД на фиксированных частотах в интервале длин волн от 8 до 2 мм [6, 7].

Благодаря использованию трехзеркального эшелеттного ОР [4] в качестве колебательной системы удалось получить двухчастотную генерацию на диоде Ганна с независимой (асинхронной) перестройкой частоты. Развитием ОР с дополнительным ограничением резонансного пространства [5] является четырехзеркальный ОР, одно из зеркал которого – эшелетт с прямоугольными ступенями [8].

Цель работы – исследование спектральных и энергетических характеристик генератора миллиметрового диапазона длин волн на диоде Ганна, в котором в качестве колебательной системы используется четырехзеркальный ОР, а диод включен по схеме «на отражение».

Конструкция генератора

Генератор образован четырехзеркальным ОР, в плоском зеркале которого размещен активный нелинейный элемент – диод Ганна (цепь питания и высокочастотный фильтр в цепи питания диода Ганна не показаны и выполнены по схеме [6]). Согласование высокоимпедансного ОР и низкоимпедансного нелинейного элементов выполнено с помощью диафрагмы диаметром 0,8 мм. ОР, в свою очередь, образован четырьмя отражателями: верхним 1 и боковым 2 сферическими, эшелеттным 3 и плоским 4 зеркалами (рис.1). В эксперименте использовался ОР со следующими размерами: верхнее сферическое зеркало: диаметр апертуры $2a = 40$ мм, срез сегментов до 36 мм, радиус кривизны – $R_1 = 110$ мм; боковое сферическое зеркало: диаметр апертуры $2a = 40$ мм, срез сегментов до 19 мм, радиус кривизны – $R_2 = 80$ мм; эшелетт имеет пять зубцов с равными гранями

высотой $h = 4,2$ мм. В центральной части сферического зеркала и на третьей грани эшелетта выполнены щели связи, переходящие в волновод стандартного сечения для вывода СВЧ энергии.

Перестройку частоты ОР можно осуществлять перемещением верхнего и бокового зеркал как одновременно, так и перемещением каждого зеркала в отдельности.

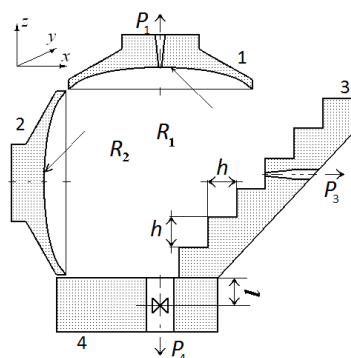


Рис. 1

Частота, спектр и выходная мощность генератора исследовались на измерительном стенде (рис. 2), содержащем измеритель мощности Я2М-66, анализатор спектра С4-27, частотомер ЧЗ-66 и волноводный СВЧ тракт 8-миллиметрового диапазона волн сечением $7,2 \times 3,4$ мм² [9].

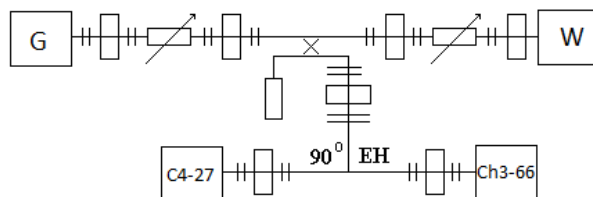


Рис. 2

Выходной сигнал генератора через поляризационный аттенюатор и направленный ответвитель подавался на измеритель мощности. Со второго плеча направленного ответвителя через двойной волноводный тройник сигнал подавался на анализатор спектра и частотомер.

Экспериментальные результаты измерения частотных характеристик и мощности генератора

На рис. 3 представлены зависимости частоты и генерируемой мощности на выходе зеркала 4 от положения верхнего зеркала 1, определяемого расстоянием Lz . Как видно из графиков, генерация носит традиционно зонный характер, определяемый переходом от одного к другому значению модового числа, что характерно для генераторов с открытой колебательной системой [2, 6]. В то же время отличие заключается в том, что зоны генерации заужены. Максимальная мощность, направляемая в волновод, расположенный на плоском зеркале, свидетельствует о слабой зависимости частоты генерации от расстояния Lz между зеркалами 1 и 4 – генерация не контролируется колебательной системой. В узких областях перестройки длины резонатора Lz , например 24,4 – 24,6 мм, а также в нескольких других осуществляется возбуждение колебаний в резонаторе, захват частоты и перестройка ее в интервале $df = 300-400$ МГц.

В режиме захвата частоты генерации ОР исследовалось влияние положения бокового зеркала 2 на энергетические и частотные характеристики. Рис. 4 иллюстрирует зависимость выходной мощности и частоты от положения бокового сферического зеркала. Из рисунка видно, что существует область $\Delta Lx = 10,5-12$ мм, в которой частота перестраивается в

интервале $\Delta f=50$ МГц при практически неизменной выходной мощности. Данный режим генерации поддерживается при неизменном расстоянии между зеркалами 1 и 4 $L_z=24,5$ мм=const. На рис. 4 указанная область генерации ограничена горизонтальными и вертикальными пунктирными линиями.

На рис. 5 показана электронная перестройка частоты и мощности генератора. Расстояние верхнего зеркала от плоского составляло 24 мм, бокового зеркала от эшелета – 12 мм.

На рис. 6 представлена зависимость электронной перестройки частоты и мощности генератора (f_{in} и P_{in} – при повышении напряжения питания, f_d и P_d – при понижении). Расстояние верхнего зеркала от плоского составляет 24 мм.

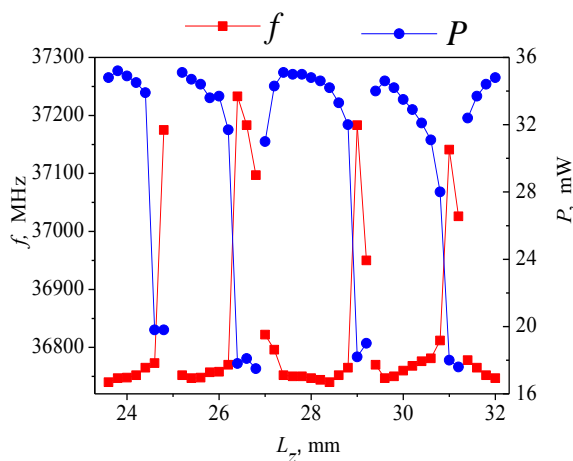


Рис. 3

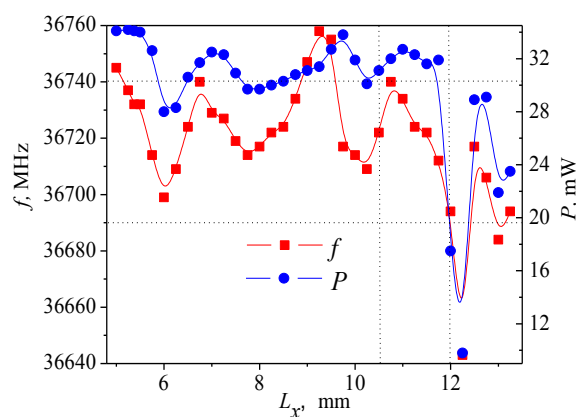


Рис. 4

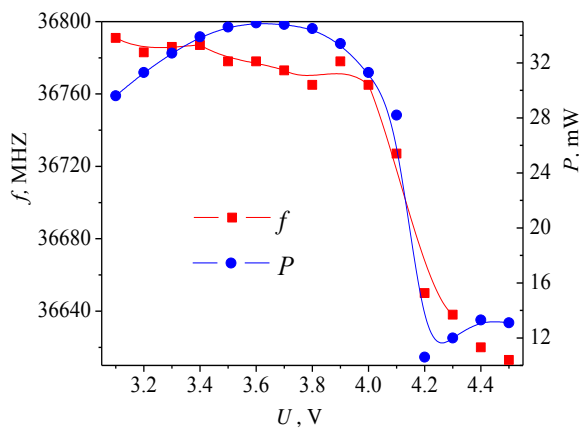


Рис. 5

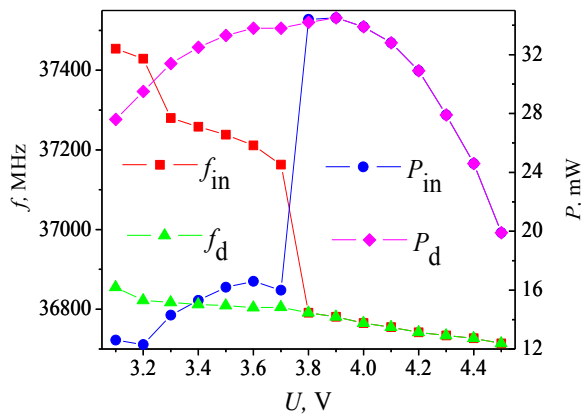


Рис. 6

На рис. 7 показаны результаты перестройки частоты (а) и мощности (б) генератора перемещением верхнего зеркала, где P_1 – мощность, снимаемая с диода, P_2 – с верхнего зеркала, P_3 – с 3-й ступени эшелетта. Напряжение питания генератора составляло $U = 4,0$ В.

Исследовалось распределение и перераспределение выходной мощности между щелями связи на зеркале 1, эшелетте 3 и основном выходном волноводе, расположенном на зеркале 4. При перемещении зеркала 1 в интервале $\Delta Z=1$ мм ($L=23-24$ мм) частота генерации изменяется в интервале $\Delta f=500$ МГц при выходной мощности $P_4=25$ мВт практически во всем диапазоне перестройки. В этой ситуации выходная мощность на щелях связи зеркал 1 и 3 была на несколько порядков меньше (см. рис. 6). В режиме, когда ОР не возбуждается на колебании между зеркалами 1 и 4 (при $L_z=26$ мм), мощность P_3 , снимаемая с волновода,

расположенного на эшелетте, значительно возрастает. Вероятно, это можно объяснить возбуждением колебательного процесса, в котором основную роль играет автоколлимационное отражение энергии эшелеттом.

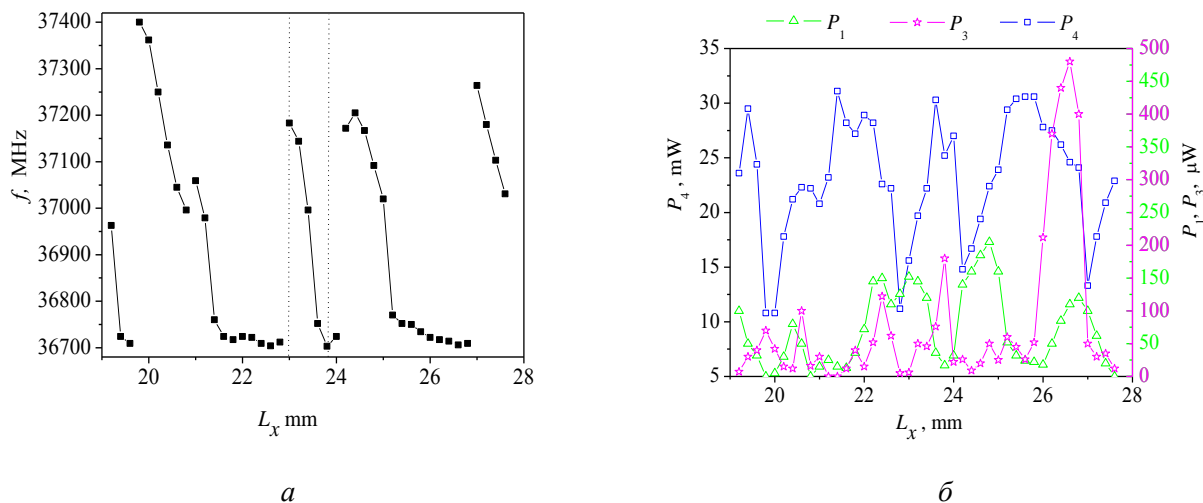


Рис. 7

Отметим, что в режиме захвата частоты резонатором электронная перестройка частоты наблюдалась при изменении напряжения питания в интервале 3,1 – 4,0 В при незначительном изменении выходной мощности. Крутизна электронной перестройки составила величину $\Delta f/\Delta U=4,4$ МГц/В.

При некоторых соотношениях между расстояниями L_z и L_x наблюдались режимы многочастотной генерации, например, при $L_x=9,5$ мм наблюдалась устойчивая генерация трех частот ($f_1=37,357$ ГГц, $f_2=37,097$ ГГц, $f_3=36,825$ ГГц); при $L_x=9,75$ мм также наблюдалась генерация трех частот ($f_1=37,092$ ГГц, $f_2=37,072$ ГГц, $f_3=36,783$ ГГц); при $L_x=12$ мм наблюдалась генерация двух частот ($f_1=36,113$ ГГц, $f_2=36,773$ ГГц). Здесь индексы 1, 3, 4 соответствуют выводам энергии на зеркалах 1, 3, 4.

Выводы

Исследованы частотные и энергетические характеристики генератора на диоде Ганна в 8-миллиметровом диапазоне длин волн с колебательной системой в виде четырехзеркального ОР. Роль основных зеркал ОР играют верхнее сферическое и плоское зеркала, на оси симметрии которых установлена ячейка с активным нелинейным элементом. Дополнительные сферическое и эшелеттное зеркала используются как подстроечный и селективный элемент соответственно. Грубая перестройка частоты в широком интервале частот осуществляется перемещением верхнего зеркала. Для более точной подстройки частоты используется боковое зеркало. Благодаря наличию эшелетта, обладающего частотно-дисперсионными свойствами, удается получить одномодовый режим возбуждения в достаточно широком интервале частот, что повышает устойчивость генерации и исключает произвольные перескоки частоты, характерные для ЛПД.

В коротковолновой части миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн четырехзеркальный ОР имеет перспективу применения не только в качестве колебательной системы твердотельных и электронно-вакуумных приборов, но и в измерительных системах.

Список литературы: 1. Belous, O.I., Fisun, A.I., Kirilenko, A.A. and all. Research on Orotron Oscillator with Dispersive Open Resonant System // Int. Journal Infrared and Millimeter Waves. – 1997. – Vol.18, №4. – P. 78-95. 2. Фисун, А.И., Белоус, О.И. Квазиоптические твердотельные источники излучения:

принципы построения, тенденции развития и перспективы приложения // Зарубежная электроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1998. – №4. – С. 41-64. 3. *Brown, E.R., Parker, Ch.D., Molvar, K.M. and Stefan, K.D.* A Quasioptically Stabilized Resonant-Tunneling-Diode Oscillator for Millimeter- and Submillimeter- Wave Regions // IEEE Transaction MMT. – 1992. – Vol.40, №5. – PP.846-849, 4. *Фурсов, А.М., Булгаков, Б.М., Фисун, А.И.* Двухчастотная асинхронная устойчивая генерация диода Ганна в открытой резонансной системе // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1983. – Т.26, №10. – С. 80-91. 5. *Fisun, A.I.* Millimeter Wave Open Resonator with Additional Restriction of Resonant Space // Int. Journal Infrared and Millimeter Waves. – 1997. – Vol.18, №12. – PP. 2353-2367. 6. *Belous, O.I., Sukhoruchko, O.N., Fisun, A.I.* Power and Spectrum Performance of Quasi-Optical solid-state MM-Wave Oscillator // Telecommunication and Radio Engineering.– 2006. – Vol. 65, № 16. – P. 1501-1513. 7. *Архипов, А.В., Булгаков, Б.М., Белоус, О.И., Фисун, А.И.* Квазиоптические генераторы на диодах Ганна и ЛПД с открытым сферо-углоково-эшелетным резонатором // АН СССР. Приборы и техника эксперимента. 1991. – №3. – С.106-109. 8. *Belous, O.I., Fisun, A.I., Korneenkov, V.K. Sukhoruchko, O.N.* Millimeter-Wave Multi-Mirror Open Resonator. E- and H- Polarized Oscillations // The Sixth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves, Kharkov, Ukraine, June 25-30, 2007, v.2, pp.729-731. 9. *Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах ; под ред. Р.А. Валитова и Б.М. Макаренко. – М. : Радио и связь, 1984. – 296 с.*

*Институт радиофизики и электроники
им. А.Я. Усикова НАН Украины*

Поступила в редколлегию 07.10.2016