

THE OPTOELECTRONIC MICROWAVE OSCILLATOR STUDY

Lukina A. A., Tolendiyev G. K., Gorevoy A. V.
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
634050, Tomsk, 40 Lenina sq., 634050, Russia
Ph.: (3822) 51-05-30, anna-angel1987@mail.ru

Abstract — Topology optimization of the low phase noise optoelectronic microwave oscillators based on whispering gallery mode disk resonator considered. The development of hybrid integrated circuit on its basis suggested.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ ДИАПАЗОНА

Лукина А. А., Толендиев Г. К., Горевои А. В.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050, Россия
тел.: (3822) 51-05-30, anna-angel1987@mail.ru

Аннотация — Рассмотрены возможности миниатюризации топологии оптоэлектронных автогенераторов СВЧ диапазона с малым уровнем фазовых шумов за счет применения дисковых оптических микрорезонаторов с модами шепчущей галереи и разработки на этой основе гибридной интегральной схемы.

I. Введение

Повышенные требования к формированию сигналов со сложными видами модуляции приводят к необходимости создания автогенераторов (АГ) с низким уровнем фазовых шумов (ФШ) [1]. В докладе рассмотрены возможности снижения ФШ и микроминиатюризации топологии оптоэлектронных АГ СВЧ диапазона за счет применения оптических микрорезонаторов (ОМР), возбуждаемых модами шепчущей галереи (МШГ).

II. Основная часть

Прогресс в решении проблемы снижения уровня ФШ в спектре АГ в последние годы связан с развитием технологии построения оптоэлектронных СВЧ-генераторов (ОЭГ) [2]. Последние разработки в данной области используют новые архитектурные решения ОЭГ, способные формировать радиочастотные колебания с высокой спектральной чистотой в микроволновом диапазоне до десятков ГГц, с уровнем фазового шума до -160 дБ рад²/Гц при отстройке 10 кГц от несущей [3]. В таких ОЭГ, вместо резонаторов, в качестве накопительных элементов используются линии задержки из оптического волокна (ЛЗ-ОВ) (рис. 1).

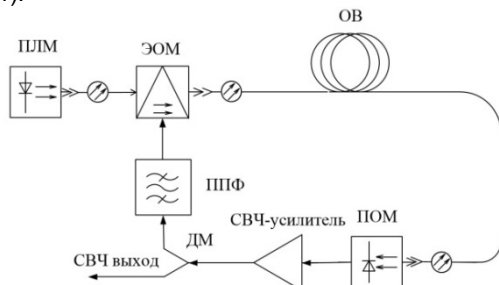


Рис. 1. Структурная схема ОЭГ на ЛЗ-ОВ.

Fig. 1. Schematic of the OEO with an OF-based delay circuit

Схема ОЭГ включает в себя оптический и радиотехнический узлы. В состав оптического узла входят полупроводниковый передающий лазерный модуль (ПЛМ), электрооптический модулятор (ЭОМ), оптиче-

ское волокно (ОВ) и приемный оптоэлектронный модуль (ПОМ). В состав радиотехнического узла – СВЧ-усилитель, полосно-пропускающий фильтр (ППФ), и делитель мощности (ДМ).

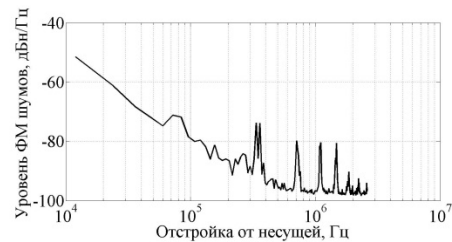


Рис. 2. Уровень мощности фазовых шумов.

Fig. 2. The power level of phase noise

В проведенных нами экспериментах схема ОЭГ (рис. 1) обеспечивала генерацию гармонического сигнала 898,36 МГц. На рис. 2 представлены экспериментальные результаты измерения $L(f)$. Из этого графика видно, что вблизи рабочей частоты АГ преобладающими являются фазовые шумы генератора, характеризующиеся со спектральной плотностью $S_{\psi}(f)$. Недостатком схемы ОЭГ рис. 1 являются относительно большие размеры АГ. Указанный недостаток мы планируем преодолеть за счет замены ОВ компактным, высокодобротным оптическим микрорезонатором (ОМР), позволяющим разместить все узлы ОЭГ на площади нескольких кв.см. Структурная схема такого ОЭГ приведена на рис. 3.

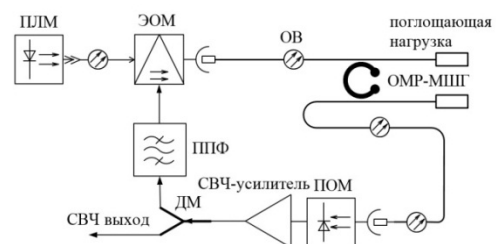


Рис. 3. Структурная схема ОЭГ на основе ОМР-МШГ.

Fig. 3. Block diagram of the optoelectronic oscillator based on the MRA-WGM

Здесь кольцо обратной связи генератора образовано двумя отрезками одномодового ОВ, замыкающихся в виде элементов связи с ОМР-МШГ, приемного ОЭМ, полосно-пропускающего фильтра, СВЧ- усилителя и электрооптического модулятора, собранного по схеме интерферометра Маха-Цендера (ЭОМ-ИМЦ). Режим бегущей волны в ОВ обеспечивается поглотителями на концах отрезков волокон. Модулятор обеспечивает амплитудную модуляцию проходящего через него лазерного пучка с интенсивностью I_0 и начальной фазой φ_0 СВЧ сигналом с амплитудой V .

Для расчета спектра резонансных частот ОМР типа дисковой структуры использовалась программа CST Studio. Предполагалось, что ОМР возбуждается волной с Е-поляризацией. Соответствующая проекция силовых линий электрического поля на горизонтальную плоскость ОМР представляет собой периодическую структуру с числом максимумов $2n$, (n – азимутальный индекс), прижатых к внешней поверхности (каустики) Д-ОМР [4]. Размеры резонаторного диска были выбраны равными: радиус $R=5$ мкм, высота $h=1$ мкм. Число вычисляемых мод – 100. В качестве материала ОМР был взят кварц с показателем преломления $n = 2,04$. Размеры резонаторного диска подбирались так, чтобы рабочие частоты f_r лежали в области прозрачности ОВ. Для кварцевых ОМР-МШГ этим требованиям удовлетворяют, в частности, резонаторные диски с радиусом $R=10$ мкм. и высотой $h=1$ мкм.

Характерная структура поля МШГ приведена на рис.4.

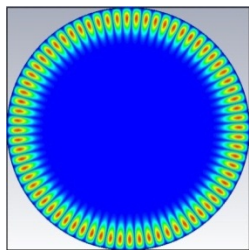


Рис. 4. Распределение интенсивности поля МШГ $EH_{36,1,1}$.

Fig. 4. The distribution intensity of the field WGM $EH_{36,1,1}$

Важной предпосылкой для успешной разработки микросхемы ОЭГ является так же конструирование эффективной связи между ОМР и подводными элементами, которая достигается при выполнении условий перекрытия полей волны МШГ и моды элемента связи; выполнение фазового синхронизма и согласование ненагруженной добротности Q_0 ОМР и добротности элементов связи Q_c [4, 5]. Нами рассматривались три вида связи ОМР- призмный ввод, связь через ОВ и связь через планарный оптический волновод (ПОВ).

Для устройства связи на основе ОВ оптимальный радиус волокна на длине световой волны $\lambda=1.5$ мкм. составил $r=0.36$ мкм.

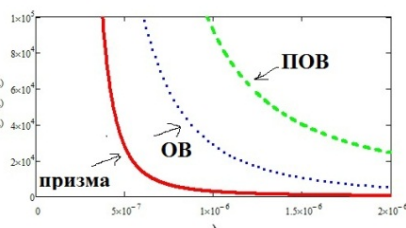


Рис. 5. Зависимость $Q_c(\lambda)$.

Fig. 5. Plot of $Q_c(\lambda)$

На рис.5 представлены расчетные зависимости $Q_c(\lambda)$. Из рис. 5 видно, что на частоте 200 ТГц максимальную добротность связи обеспечивает элемент связи ПОВ и ОВ.

Исходя из рассчитанных значений, реализован проходной режим описанного ОМР-МШГ с элементом связи на планарных оптических волноводах (ПОВ) шириной $d=1$ мкм. Согласование добротностей Q_0 и Q_c осуществлялось за счет регулировки зазора между микрорезонатором и возбуждающими волноводами. Модель также рассчитывалась в программе CST Studio.

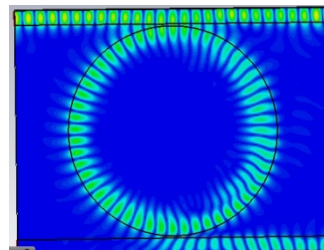


Рис. 6. Связь ОМР с МШГ с помощью ПОВ.

Fig. 6. Contact OMR with WGM using POW

Представленная на рис. 8 частотная зависимость S-параметров волноводной структуры рис.6 позволяет определить добротность ОМР-МШГ на резонансных частотах. Из рис.7 можно заключить, что для оптических волноводных структур рис.6 достижимое значение Q составляет $\sim 10^4$.

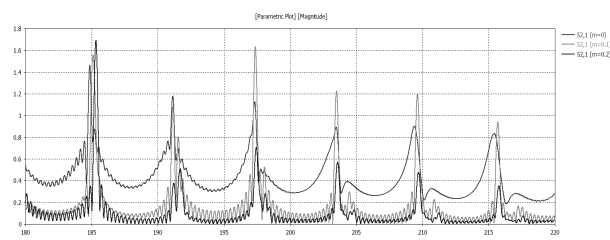


Рис. 7. S-параметры резонансного четырехполюсника.

Fig. 7. S-parameters of four-pole resonant

III. Заключение

Представленные результаты показывают реальность перспектив микроминиатюризации топологии ОЭГ на основе высокодобротных оптических микрорезонаторов, возбуждаемых с модами шепчущей галереи до размеров гибридной интегральной схемы.

IV. References

- [1] Gorevoy A.V. VCO 1-2 GHz with increased tuning sensitivity // E'lektronika, izmeritel'naya texnika, radiotexnika i svyaz'. Doklady TUSURa, № 1 (23), June 2011 pp. 44-49
- [2] X. Steve Yao and Lute Maleki Optoelectronic microwave oscillator // Journal of the Optical Society of America B/ Vol. 13, No. 8/August 1996 – pp 1725 – 1735.
- [3] M.Belkin, A.Loparev. Optoelectronic Generator. Practically the First Microwave Optoelectronic Device // Electronic Components. Jelektronika: Nauka, Tehnologija, Biznes - 6/2010 pp. 62-70.
- [4] Gorodeckij M.L. Opticheskie mikkrozonytory s gigantskoj dobrotnost'ju. Izd. Fizmatlit, 2011 g. 415 s. ISBN 978-5-9221-1283-3
- [5] Zadorin A.S., Makhorin D.A. Interferometric control of data integrity in the system of quantum key distribution based on time coding // Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. Doklady TUSURa № 4 (34), December 2014 pp. 85-88