

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР РАДИОСИГНАЛОВ

А.А.КОНДАКОВ*, А.А.ЖУРАВЛЕВ**

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, Букирева, 15

**Пермская научно-производственная приборостроительная компания, 614990, Пермь, 25-го Октября, 106

Оптоэлектроника это раздел науки занимающийся разработкой устройств на основе волоконной оптики. Применение оптических волноводов дает явное преимущество по сравнению с обычными коаксиальными кабелями за счет минимальных потерь радиосигнала в волоконном тракте, низкой чувствительности к электромагнитным наводкам, что особенно важно для прецизионного оборудования.

Одним из наиболее перспективным изделий в данной области является оптоэлектронный генератор (ОЭГ), так как его совместное использование возможно как с оптическими элементами, так и с радиоэлектронными. Современные разработки ОЭГ направлены, в основном, на решение задач радиолокации и телекоммуникации.

Развитие оптоэлектронного направления приборостроения вызывает потребность создания стабильного генератора основанного на принципах волоконной оптики и свободно интегрируемого в системы, как содержащие оптические входы, так и построенные на традиционных принципах электроники.

Существует множество разнообразных схем генераторов на основе волоконной оптики, простейшая структурная схема приведена в [1,2].

Устройство является автогенератором с положительной обратной связью. Принцип действия основан на резонансе в волоконно-оптическом тракте.

Для стабильной работы генератора необходимо соблюдение баланса фаз и баланса амплитуд. Условие баланса фаз для ОЭГ будет определять эквидистантный ряд частот генерации (1)

$$f_{0k} = \frac{k}{\Delta t} = \frac{ck}{nl}, \quad (1)$$

где f_0 – частота генерации k -й моды, c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления кварцевого стекла, l – длина волоконно-оптического тракта (ВОТ), Δt – временная задержка в волокне. Используя формулу (1) был проведен расчет для длины контура 20 метров. Резонансная частота составила 10,3 МГц.

Спектральную плотность ЧМ-шума оптоэлектронного генератора, определяют как отстройку от несущей частоты [3]:

$$S_{RF}(f') = \frac{\delta}{(\delta/2\Delta t)^2 + (2\pi)^2(\Delta f')^2}, \quad (2)$$

где f' – это смещение частоты от частоты колебаний f_{osc} , а δ – это отношение сигнал/шум ОЭГ. В (2) предполагается, что $2\pi f'\Delta t \ll 1$.

Для проведения экспериментов был собран макетный образец, схема которого приведена на рис. 1.

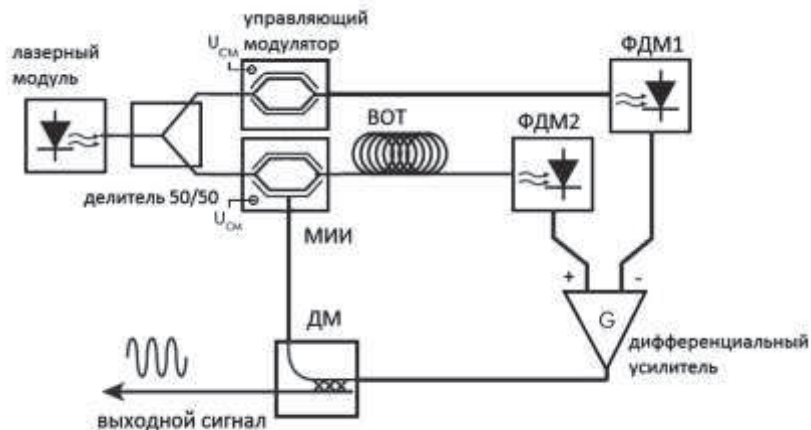


Рис. 1. Экспериментальная схема

Направленное излучение лазерного модуля поступает на оптический делитель, интенсивность излучения на выходе которого равна половине входной мощности. Сигналы с выхода делителя поступают на управляющий модулятор в качестве которого мы используем электрооптический модулятор Маха-Цендера изготовленный на кристалле ниобата лития (LiNbO_3) и на оптический вход модулятора интенсивности излучения (МИИ) LN63S-FC. Далее оптическое излучение модулированное МИИ проходит волоконно-оптический тракт в котором происходит задержка фазы и поступает на входы фотодиодных модулей (ФДМ1, ФДМ2), в которых происходит их демодуляция. Демодулированные сигналы поступают на вход дифференциального усилителя в котором происходит фильтрация постоянной составляющей сигнала. Для выделения необходимой частоты генерации обычно используется высокодобротный полосно-пропускающий фильтр, но при проведении эксперимента фильтр не устанавливался, т.к. исследования проводились для первой моды. После усилителя сигнал поступает на делитель мощности (ДМ). В ДМ сигнал разделяется, часть поступает на управляющий порт МИИ, замыкая цепь положительной обратной связи, другая часть сигнала поступает на электронный выход генератора. Если необходимо получить также и оптический сигнал, то в схему необходимо добавить дополнительный оптический

ский делитель между ВОТ и ФДМ2, в итоге генератор будет обладать как электронным так и оптическим выходами.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что изменяя напряжение смещения $U_{см(УМ)}$ на управляющем модуляторе в пределах от 2 до 6 В можно изменять форму выходного сигнала.

После запуска и стабилизации работы ОЭГ максимальная выходная мощность составила 16,9 дБм. Спектр радиочастотного сигнала генератора представлен на рис. 2, частота первой моды равна 11,4 МГц.

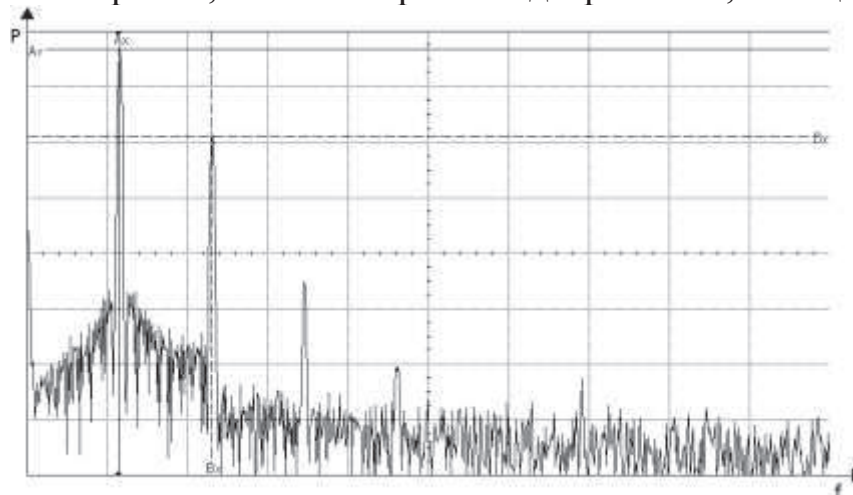


Рис. 2. Спектр радиочастотного сигнала генератора

Суммарная длина ВОТ составила 20 метров, что при полученной частоте генерации первой моды хорошо соотносится с теоретическими расчётами.

Напряжение смещения МИИ при проведении эксперимента было установлено $U_{см(МИИ)}$ 7,4 В. На выходе генератора был получен периодический сигнал, форма которого зависит от напряжения смещения управляющего модулятора, осциллограммы радиочастотного сигнала для $U_{см(УМ)} = 5,6$ и 5,1 В приведены на рис. 3 и рис. 4 соответственно. Отношение сигнал-шум составило 36 дБ.

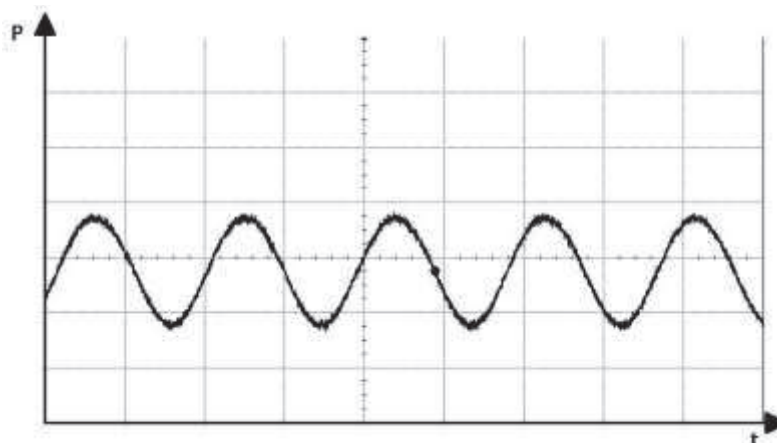


Рис. 3. Форма радиочастотного сигнала генератора при $U_{см(УМ)} = 5,6$ В

В результате проведенных испытаний уровень шума составил $-19,1$ дБм. Джиттер составил $3,3$ нс.

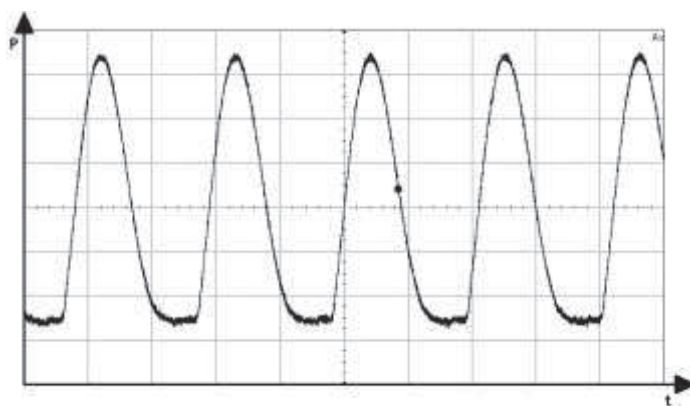


Рис. 4. Форма радиочастотного сигнала генератора при $U_{см(УМ)} = 5,1$ В

В результате проведенного эксперимента было установлено, что изменение напряжения на дополнительном управляющем модуляторе позволяет изменять форму радиочастотного сигнала. Без полосно-пропускающего фильтра генератор устойчиво работает на первой моде. Для работы на высших модах необходимо использовать полосно-пропускающие фильтры. Это позволит увеличить частоту генерации до десятка ГГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лопарев А.В.* Оптоэлектронные и микроэлектронные принципы построения твердотельных генераторов сверхвысокочастотного диапазона: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук(05.11.07)/ Лопарев Алексей Викторович; Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики. – Москва, 2011. – 26 с.
2. *Белкин М.Е., Лопарев А.В.* оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники. *Электроника СТБ*, №6/104, 2010, с.62-70.
3. *X.S. Yao and L. Maleki.* Optoelectronic oscillator for photonic systems. *IEEE journal of Quantum Electronics*, vol. 32, no. 7, July 1996 p. 1141-1149.