



- |  |  |
|--|--|
|  <b>РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ<br/>ФАКУЛЬТЕТ</b>  |  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>БЕЗОПАСНОСТИ</b>              |
|  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>ЗАКЛЮЧЕННЫХ ТЕХНИКИ</b>   |  <b>ЭКОНОМИЧЕСКИЙ<br/>ФАКУЛЬТЕТ</b>             |
|  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ</b>     |  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</b> |
|  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ</b> |  <b>ЮРИДИЧЕСКИЙ<br/>ФАКУЛЬТЕТ</b>               |
|  <b>ГУМАНИТАРНЫЙ<br/>ФАКУЛЬТЕТ</b>          |  <b>ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ<br/>ФАКУЛЬТЕТ</b>        |
|  |  <b>ФАКУЛЬТЕТ<br/>ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ</b>   |

### Преимущества обучения в ТУСУРе:

- Высокое качество образования в ТУСУРе основано на высокой квалификации профессорско-преподавательского состава, а также на передовой исследовательской материально-технической базе;
- Применение передовых технологий обучения, ориентированных на развитие творческого потенциала студентов, основанных на неразрывной связи с научными исследованиями и командной работой над реальными проектами;
- Полученное в ТУСУРе образование гарантирует 100%-ное трудоустройство, достойные условия труда, высокую зарплату и карьерный рост.

Прием документов на очную форму обучения начинается 19 июня и заканчивается 24 июля (если у абитуриента имеется полный комплект результатов вступительных и испытаний в форме ЕГЭ или результатов олимпиад школьников, утвержденных Минобрнауки РФ) и 13 июля (если абитуриент будет сдавать вступительные и испытания, проводимые ТУСУР самостоятельно). Абитуриент имеет право подать заявление не более чем на 3 направления подготовки и/или специальности ТУСУР, указав их рейтинг.

Вступительные испытания профильной направленности для инженерно-технических направлений - математика, физика, русский язык; для направлений в области IT технологий и информационной безопасности - математика, информатика, русский язык; для экономико-управленческих направлений - математика, обществознание, русский язык; для гуманитарных направлений - история России, обществознание, русский язык.

Конкурс абитуриентов на бюджетные места очной формы обучения проводится с 27 июля по сумме баллов за три экзамена в порядке ее убывания. Возможен прием абитуриентов на бюджетные места по договорам целевого приема. Зачисление в число студентов ТУСУРа на бюджетные места будет вестись с 30 июля по 7 августа включительно, зачисление на платные места - 7 и 21 августа.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129

Тел.: (3822) 900-100

Факс: (3822) 900-100

E-mail: [onir@main.tusur.ru](mailto:onir@main.tusur.ru)

Сайт: <http://tusur.ru/>



# НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР-2015



**МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
13-15 мая 2015 г. (В пяти частях)**

**Часть 2**

**г. Томск**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

# **НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2015**

**Материалы  
Всероссийской научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2015»**

**13–15 мая 2015 г., г. Томск**

**В пяти частях**

Часть 2

В-Спектр  
2015

– уровень спектральной плотности фазовых шумов на отстройке 10 кГц: не более –80 дБн.

В настоящее время ведётся модернизация схемы синтезатора частоты на более высокие частотные диапазоны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Analog Devices. Semiconductor and Signal Processing ICs* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.analog.com/ru/rfif-components/pll-synthesizersvcos/adf4113/products/product.html>, свободный (дата обращения: 10.05.2014).

2. *Рыжков А.В., Попов В.Н.* Синтезаторы частот в технике радиосвязи. М.: Радио и связь, 1991. 264 с.

3. *Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К.* Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. М.: Радио и связь, 1989. 232 с.

### ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*А.В. Горевой, аспирант, инженер ЗАО «НПФ «Микран»,*

*Д.А. Конкин, ст. преп., А.А. Лукина, аспирант,*

*Г.К. Толендиев, магистрант*

*Научный руководитель А.С. Задорин, профессор, д.ф.-м.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, [konkinda@inbox.ru](mailto:konkinda@inbox.ru)*

С развитием техники связи и радиолокации высокие требования предъявляются к уровню фазовых шумов опорных автогенераторов (АГ), описываемых односторонней спектральной плотностью мощности (СПМ) шума  $L(f)$  АГ при отстройке частоты  $f$  от центральной частоты автоколебаний  $f_0$  [1]. Простейшая модель профиля СПМ  $L(f)$ , как известно, дается формулой Лисона [1], указывающей на зависимость  $L(f)$  в окрестности  $f_0$ , обратно пропорциональную квадрату добротности  $Q$  нагруженного резонатора АГ.

Одним из способов повышения эквивалентной добротности колебательной системы АГ СВЧ-диапазона является использование схемотехники АГ с задержанной обратной связью. При этом в качестве линий задержки (ЛЗ) в этих АГ используются оптические волокна (ОВ) [2–5]. Эквивалентная добротность  $Q$  такой линии задержки пропорциональна времени задержки  $\tau$  сигнала в ОВ [1]:

$$Q = \pi f \tau, \quad (1)$$

а частоты генерации  $f_m$ , удовлетворяющие условию баланса фаз, определяются как [5]

$$f_m = mc/(nl) = m/\tau, \quad (2)$$

где  $n$ ,  $l$  – показатель преломления и длина ОВ;  $c$  – скорость света;  $m$  – целое число.

Ниже представлены результаты измерений и расчетного моделирования такого оптоэлектронного генератора (ОЭГ). Структурная схема ОЭГ представлена на рис. 1.

Устройство состоит из передающего лазерного модуля (ПЛМ), обеспечивающего формирование несущего сигнала оптической частоты, электрооптического модулятора (ЭОМ), линии задержки на основе ОВ, фотоприемного модуля (ФПМ), СВЧ-усилителя (СВЧ-У), полосно-пропускающего фильтра (ППФ) и делителя мощности (ДМ).

Из (1)–(2) видно, что необходимая частота генерации может быть получена при различных длинах ОВ. При этом с увеличением  $l$  увеличивается добротность  $Q$  и снижается уровень фазового шума АГ.

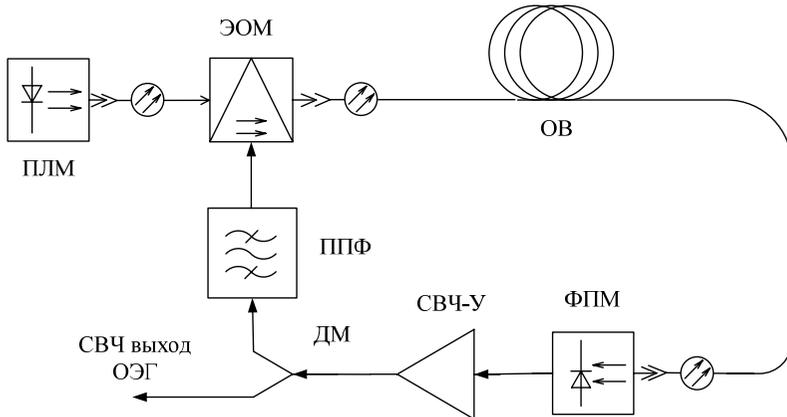


Рис. 1. Структурная схема оптоэлектронного генератора

К сожалению, одновременно с этим происходит увеличение удовлетворяющего соотношению (2) числа мод. Для их сокращения необходимо усилить меры фильтрации в ППФ.

В работе были измерены спектры генерации ОЭГ с линиями задержки длиной 3, 415, 725 и 1140 м. Спектры генерации ОЭГ представлены на рис. 2.

Из представленных на рис. 2, *a–г* графиков видно, что мощность основной моды АГ  $\sim 5$  дБм. Из рис. 2 видно также, что увеличение  $l$  происходит к пропорциональному увеличению плотности паразитных мод  $f_m$  в спектре ОЭГ. Из этих графиков можно заключить, что максимальный уровень  $Q \sim 2,8 \cdot 10^4$ .

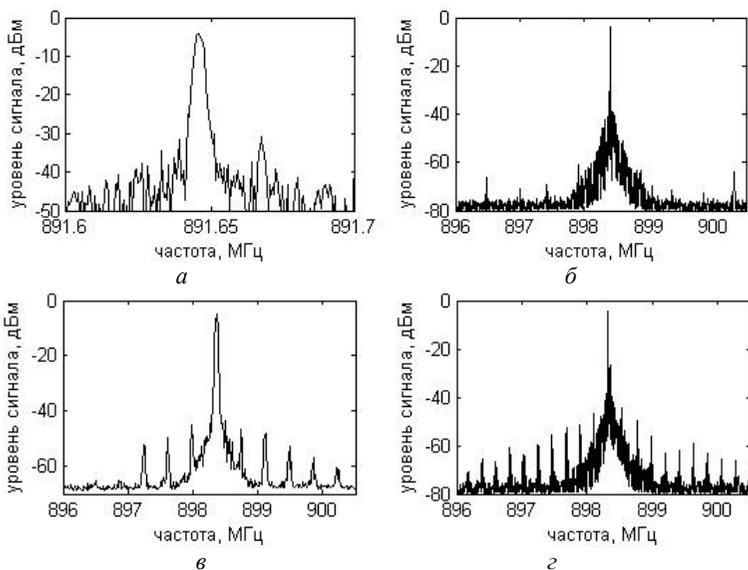


Рис. 2. Спектры сигналов оптоэлектронного генератора различной длины линии задержки

Нами было проведено также моделирование рассмотренного ОЭГ в среде Simulink. Соответствующие результаты представлены на рис. 3. На рис. 3, а дан спектр  $L(f)$  для короткого ОВ, а на рис. 3, б – для 100 раз большей длины линии  $l$ . В ходе симуляции схема рис. 1 была дополнена источником белого шума.

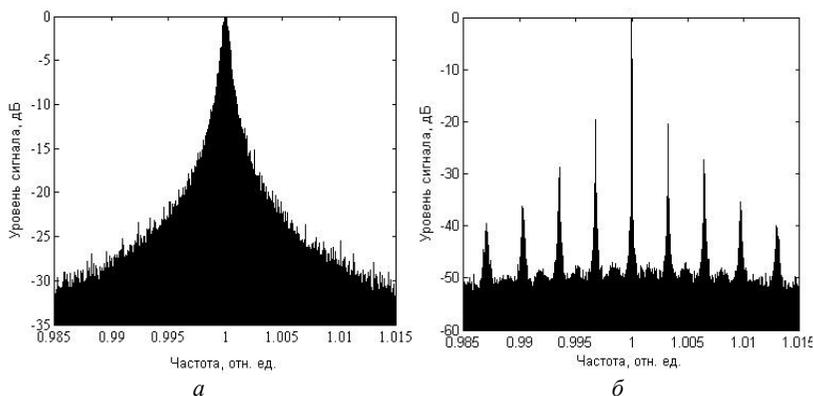


Рис. 3. Спектры сигналов ОЭГ, полученные при моделировании в пакете Simulink

Сравнение данных графиков рис. 2 и 3 показывает качественное соответствие экспериментальных результатов и математической модели ОЭГ. Так, использование в ОЭГ длинных ОБ хотя и приводит к увеличению добротности системы, однако одновременно вызывает генерацию паразитных мод, попадающих в контур усиления. Для подавления этих мод необходимо усилить частотную селекцию модового спектра  $f_m$  в ППФ на рис. 1.

Таким образом, в работе представлены результаты измерений спектров генерации ОЭГ. Было показано, что увеличение длины ОБ приводит как к увеличению добротности системы, так и к генерации паразитных частот, попадающих в контур усиления ОЭГ. На подавление этих мод будет нацелено дальнейшее исследование ОЭГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Царанкин Д.П. Методы генерирования СВЧ-колебаний с минимальным уровнем фазовых шумов: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 410 с
2. X. Steve Yao and Lute Maleki. Optoelectronic microwave oscillator // Journal of the Optical Society of America B. Vol. 13, № 8. August 1996. P. 1725–1735.
3. Maleki L. The optoelectronic oscillator // Nature Photonics. 2011. Vol. 5, № 12. P. 728–730.
4. Борцов А.А. Оптоэлектронный генератор радиочастотного диапазона с накачкой квантоворазмерным лазерным диодом: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2014. 402 с.
5. Белкин М., Лопарев А. Оптоэлектронный генератор – первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 6. С. 62–70.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ *О.Ю. Косяков, А.Е. Фильберт, магистранты* *Научный руководитель А.В. Максимов, инженер* *г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, oleg\_070@mail.ru*

Существует множество устройств, обеспечивающих обнаружение дефектов трубопровода и повреждения изоляции. В основе принципа их работы лежат несколько основных методов.

1. Подсчет количества перегоняемой нефти через датчик в начале линейного участка и сравнение данных с датчика в конце участка [1, 2]. Недостатками данного метода являются: 1) известные технические решения базируются на расчетных формулах, в которых изначально известна номинальная или текущая производительность перекачки; 2) невозможность определения точного места повреждения без много-

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 7

#### РАДИОТЕХНИКА

*Председатель секции – Семенов Э.В., доцент каф. РЗИ, д.т.н.*

<b>А.В. Дроздов, Д.С. Данилов</b> ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИММЕТРИРУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР НА ОСНОВЕ МОСТОВ МАРШАНДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ .....	13
<b>Н.А. Дашин, В.А. Суторихин</b> СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ИНДИКАТОРА АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ (ДИАД) ПРИ НАЛИЧИИ ШУМА .....	16
<b>Н.Б. Дроботун</b> GAAS МИС СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО УДВОИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ВХОДНЫМ ДИАПАЗОНОМ 6–13 ГГц.....	19
<b>А.Е. Ефремова, А.В. Парашинец</b> СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ 1600 МГц НА МИКРОСХЕМЕ ФАПЧ ADF4113 .....	23
<b>А.В. Горевой, Д.А. Конкин, А.А. Лукина, Г.К. Толендиев</b> ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИЕЙ ЗАДЕРЖКИ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ .....	26
<b>О.Ю. Косяков, А.Е. Фильберт</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ .....	29
<b>И.А. Кукало</b> ПРИВЯЗКА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КООРДИНАТЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА К УЧАСТКУ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА .....	32
<b>М.А. Назаров</b> ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВИДЕОИМПУЛЬСНЫМ СИГНАЛОМ .....	35
<b>В.Г. Нечаев</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ СИГНАЛОВ СВЧ С ДВУМЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ КАСКАДАМИ .....	38
<b>Р.О. Ромашов, В.В. Нам</b> КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ» И «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛОКИРОВАНИЯ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ»...40	
<b>Н.Б. Сабыров</b> ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ .....	44