

УДК 621.383; 681.7.068; 621.376.2

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ РАДИОФОТОНИКИ В СИСТЕМАХ РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА

А.Г. Бочаров, Г.А. Шарапов

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

В данной статье приведен обзор современных устройств, разработанных на основе технологий радиофотоники. Приведена оценка их потенциальных и реальных характеристик, а также отмечены их преимущества и недостатки относительно радиоэлектронных и цифровых аналогов.

Ключевые слова: радиофотоника, оптические волокна, линии связи, волоконно-оптические линии связи.

Все чаще устройства на основе принципов радиофотоники встречаются как в современных системах и комплексах военного назначения, так и в устройствах гражданского назначения. К таким устройствам относятся радиофотонные гетеродины, смесители, волоконнооптические линии связи (ВОЛС), радиооптические активные фазированные решетки (РОФАР) и многое другое. Такие устройства обладают существенными преимуществами относительно их радиоэлектронных и цифровых аналогов, а именно:

- малое энергопотребление;
- стойкость к воздействию электромагнитного излучения (ЭМИ);
- сверхширокая полоса пропускания (десятки гигагерц);
- сверхнизкие потери (менее 0,0005 дБ/м);
- низкий уровень фазовых шумов при передаче СВЧ-сигналов;
- высокая помехоустойчивость к электромагнитным помехам.

Однако такие устройства не лишены недостатков. Одним из самых критических недостатков таких устройств являются большие габариты. Для решения этой проблемы активно исследуются способы миниатюризации и возможности интегрирования данных устройств, в том числе и в оптическое волокно. Достигнуты успехи в интеграции волоконных Брэгговских решеток (ВБР) непосредственно в оптические волокна, что позволяет отказаться от установки ВБР

APPLICATION OF DEVICES BASED ON RADIO PHOTONICS IN RADIO FREQUENCY MONITORING SYSTEMS

A.G. BOCHAROV, G.A. SHARAPOV

JSC «CENTRAL RADIO-RESEARCH INSTITUTE
NAMED AFTER ACADEMICIAN A.I. BERG»

This article provides an overview of modern devices based on radio photonics technologies. An assessment of potential and real characteristics is given, as well as their advantages and disadvantages are noted in relation to radio-electronic and digital analogs.

KEYWORDS: radio-photonics, optical fibers, communication lines, fiber-optic communication lines.

DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-4-32-34

отдельным узлом и тем самым уменьшить потери в оптических волокнах в местах их соединений.

ВОЛС являются самым распространенным устройством, использующим принципы радиофотоники. На сегодняшний день ВОЛС нашли применение таких отраслях, как промышленность, локальные сети, межконтинентальные высокоскоростные линии связи и т. д. В настоящее время существует 2 типа построения ВОЛС: с прямой модуляцией (рис. 1А) и с внешней модуляцией (рис. 1Б).

ВОЛС с прямой модуляцией состоит из трех основных элементов:

- оптического передатчика;
- оптоволоконного кабеля;
- оптического приемника.

В качестве оптического передатчика выступает полупроводниковый лазер с длиной волны 850, 1300 и 1550 нм, который преобразует аналоговый или цифровой электрический сигнал в соответствующий ему световой сигнал, при этом модуляция луча происходит путем изменения тока накачки (инъекции лазера).

В роли оптического приемника выступают лавинные и р-і-n-фотодиоды, выполняющие функцию преобразования светового сигнала в копию исходного электрического сигнала. Преимуществами лавинных фотодиодов является более высокая квантовая эффективность, чем у р-і-n-фотодиодов, что позволяет получить более высокий уровень мощности на выходе. Однако данные фотодиоды обладают существенными недостатками,

такими как высокий темновой ток, а также необходимость обеспечения термостабилизации [1].

Оптоволоконный кабель состоит из одного или нескольких кварцевых волокон и является световодом. Оптическое волокно состоит из ядра и демпфера, которые выполнены из кварцевых стекол, отличающихся показателями преломления. Задача демпферного слоя заключается в создании раздела сред и препятствовании распространения оптического луча за пределами ядра. В зависимости от назначения применяются одномодовые (SM) и многомодовые (MM) оптические волокна. Основными отличиями SM от MM волокон являются диаметры сердцевин, а также различие мод оптического луча. В SM волокнах оптический луч может распространяться только по одной моде, что обусловлено диаметром сердцевины волокна – 9 мкм. В MM волокнах оптический луч может распространяться по нескольким модам, так как диаметр сердцевины такого волокна колеблется от 50 до 62,5 мкм, а также имеет градиентное или ступенчатое распространение мод в оптическом волокне. Недостатком ступенчатого распространения мод является высокая дисперсия, вызванная большим количеством мод в оптическом волокне.

Соединение многокилометровых кабелей выполняется с помощью разъемных и неразъемных оптических соединителей (коннекторов, адаптеров, муфт) различного типа, конструктивные особенности, которых позволяют реализовать соединения высокой плотности, тем самым снизив потери в оптических соединителях.

Для волоконно-оптических линий связи большой протяженности применяются оптические усилители. Оптический усилитель является лазером, работающим в диапазоне длин волн оптического передатчика. Сигнал с оптического передатчика и сигнал с усилительного лазера коммутируются в оптическом волокне с примесью эрбия, тем самым позволяя компенсировать потери оптической мощности.

Метод прямой модуляции оптического сигнала выделяется высокой скоростью преобразования, про-

стойкой и дешевой реализации, однако нелинейная зависимость мощности оптического излучения лазерного диода от тока накачки (нелинейность ватт – амперной характеристики) ограничивает область применения данного метода. Также он не эффективен в системах спектрального уплотнения, где несколько источников модулирующих сигналов мультиплексируются для передачи по одной оптической несущей. Нелинейная зависимость показателя преломления материала заполнения резонатора лазера тока накачки приводит к линейной модуляции фазы оптических импульсов – чирпированию импульсов (чирп – эффект при соответствующих условиях вызывает дополнительное уширение оптических импульсов).

Указанных недостатков можно избежать при использовании стабилизированных источников оптического излучения, а также применении ВОЛС с внешней модуляцией. Этот метод улучшает функциональные характеристики модуля передачи и гибкость системы в целом. Например, это позволяет при необходимости менять формат используемой линейной кодовой последовательности (ЛКП).

Принцип работы ВОЛС с внешней модуляцией достаточно прост. Источником оптического излучения является полупроводниковый лазер, а кодирование информации осуществляется модуляцией интенсивности или фазы оптического луча. Для приема и обработки информации так же как и в предыдущем методе применяются лавинные и р-і-п-фотодиоды, на выходе которых формируется электрический сигнал.

В качестве оптического модулятора применяются электрооптические модуляторы на основе интерферометра Маха-Цендера, работа которого основана на использовании интерферометра Маха-Цендера и электрооптическом эффекте Погкельса. В классическом применении интерферометр Маха-Цендера используется для определения сдвига фаз между двумя колемированными пучками, полученными путем разделения одного пучка света. Эффект Погкельса – это линейный электрооптический эффект, в результате которого изменяется или происходит эффект двулучепреломления в оптической среде, возникающее под действием электрического поля. Такой тип оптических модуляторов позволяет реализовать как фазовую, так и амплитудную модуляцию оптической несущей.

На основе представленных выше элементов возможна реализация радиофотонных систем сканирования, превосходящих свои радиоэлектронные аналоги по таким параметрам, как скорость сканирования в реальном масштабе времени, широкополосность, помехоустойчивость.

Одним из таких устройств, построенных на радиофотонной элементной базе, является система формирования диаграммы направленности антенных решеток, представленная на рис. 2. Такая система позволяет формировать как однолучевую, так и многолучевую

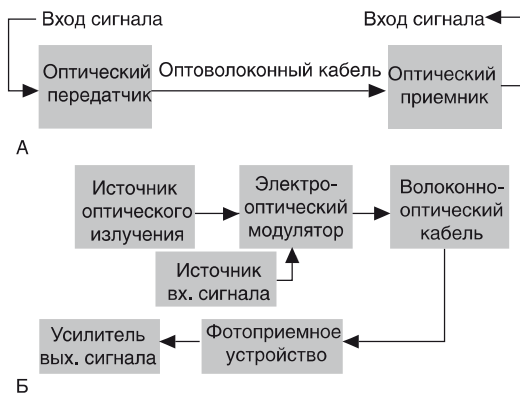


РИС. 1.

Схемы волоконнооптической линии связи: А – с прямой модуляцией; Б – с внешней модуляцией

диаграмму направленности с более высоким быстродействием. Для коммутации сигналов с активными фазированными антенными решетками (АФАР) применяется оптическая система коммутации, которая может быть реализована на основе:

- замедляющей линзы;
- линзы Люнберга;
- зеркально-параболической антенны;
- двухзеркальной антенны;
- параболического отражателя типа «песочные часы».

Однако наиболее актуальным является построение диаграммообразующей системы на основе плоских распределенных систем оптического типа Руза, Гента и Ротмана. Более простая геометрия таких линз существенно уменьшает стоимость их производства. К недостаткам такой системы можно отнести значительные потери мощности, однако ими можно пренебречь при условии применения данной системы в качестве составной части АФАР.

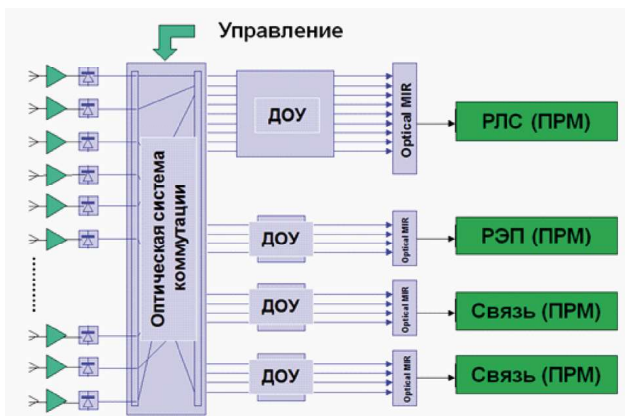


РИС. 2.
Формирование лучей в ФАР

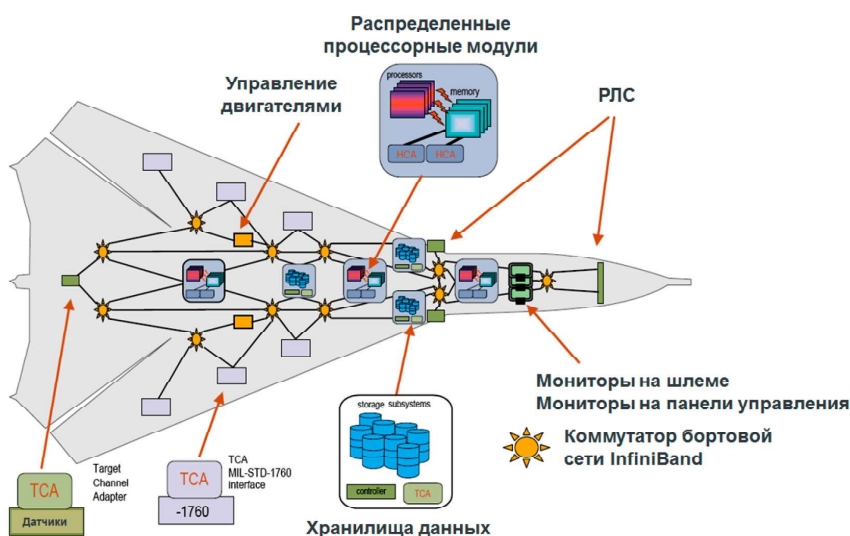


РИС. 3.
Оптические сети на борту самолета

ВОЛС могут быть использованы для коммутации радиолокационной системы, системы РЭБ, системы связи, системы управления, расположенных на борту самолета (рис. 3) [3]. Такой способ коммутации позволяет уменьшить массогабаритные параметры соединительных систем, существенно снизить затухания радиосигналов, а высокая стойкость к ЭМИ позволит осуществлять прокладку ВОЛС рядом с линиями электропитания.

ВЫВОД

Представленные материалы демонстрируют преимущества систем и комплексов с применением радиопотонных технологий. Особое преимущество отмечено в системах коммутации и передачи информации на большие расстояния, достигаемое за счет низких затуханий и высокой стойкости к ЭМИ и внешне воздействующим факторам. Стоит отметить высокое быстродействие и широкополосность таких систем при сравнительно небольшом энергопотреблении.

Современные технологии радиопотоники позволяют создавать аналоги цифровых и аналоговых устройств, превосходящие их по техническим характеристикам, однако габаритные параметры таких устройств на данный момент остаются актуальной проблемой, которая может быть решена путем создания интегральных радиопотонных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров А.Г., Кашуркин К.С., Шарапов Г.А. Разработка акустооптоэлектронного приемника СВЧ-диапазона для систем РЧМ // Вестник РАЕН. 2019. Т. 19 №3. С. 47.
3. Митяшев М.Б. К реализации технологий радиопотоники в АФАР радиолокационных комплексов. // Вестник СибГУТИ. 2015. №2. С. 178–190.
2. Небавский В.А., Стариков Р.С. Математическое моделирование радиопотонной системы аналого-цифрового преобразования, использующей растяжение сигнала по времени за счет дисперсии // Труды школы-семинара «Волны-2016». Секция «Радиопотоника». 2016. С. 18–19.

Бочаров Геннадьевич, инженер 3 категории АО «Центрального научно-исследовательского радиотехнического института им. академика А.И. Берга»
✉ e-mail: andrey2_72@mail.ru
Шарапов Григорий Андреевич, инженер 1 категории АО «Центрального научно-исследовательского радиотехнического института им. академика А.И. Берга»

✉ 107078 г. Москва, ул. Новая Басманная, 20
тел: +7 (499) 439-13-22, e-mail: sarius1990@ya.ru