

УДК 621.396.96

*Бакищанин А.С., Багандов Р.Х., Степаненко В.А.,
Курсанты 4 курс ФГКОУ ВО «Ярославского высшего военного
училища противовоздушной обороны»,
Научные руководители: Зельницкий А.Л.
Заместитель начальника кафедры радиотехнического
вооружения,
Колесников К.О.
старший преподаватель кафедры электроники ФГКОУ ВО
«Ярославского высшего военного училища противовоздушной
обороны,
Россия, г. Ярославль*

**РАДИОФОТОНИКА КАК НОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП
ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК**

Аннотация. В статье рассматривается новый физический принцип использования энергию фотонов для передачи сигналов в аппаратуре СВЧ.

Выбору и обоснованию конкретных технических решений по всем ключевым узлам, формирующим систему в целом, и обоснованию основных тактико-технических характеристик подобных систем.

Ключевые слова: радиофотоника, радиолокационная система, фотоны, сверхширокополосный сигнал, оптической гребенки, осцилляторы.

Abstract. The article deals with new physical principle of using photon energy for transmitting signals in microwave equipment. Selection and

justification of specific technical solutions for all key nodes forming the system as a whole, and substantiation of the main tactical and technical characteristics of such systems.

Keywords: radiophotonics, radar system, photons, ultra-wideband signal, optical comb, oscillators

Радиофотоника, изучающая взаимодействие оптических и СВЧ-сигналов, позволяет создавать электронные устройства с параметрами, недостижимыми традиционными средствами. Сверхширокополосные аналоговые линии связи на ВОЛС, линии задержки, а также использующие элементы радиофотоники фильтры, генераторы и другие устройства СВЧ-диапазона находят применение в системах радиоэлектронной борьбы, радиоэлектронного противодействия и в радиолокационных станциях.

Преимущества РЛС на основе радиофотоники по сравнению с традиционной электронной аппаратурой основаны на фундаментальных различиях фотонов и электронов как носителей энергии и информации, что позволяет создавать помехоустойчивые системы с практически неограниченным быстродействием и высокой устойчивостью к электромагнитным импульсам (ЭМИ) и помехам.

Применение элементов радиофотоники обеспечит значительное улучшение следующих основных тактико-технических характеристик РЛС:

- резко повысит разрешающую способность по дальности и информативность- за счет возможности значительного (на несколько порядков) расширения эффективной полосы сигнала;
- увеличит дальность обнаружения – за счет снижения потерь в длинных линиях при использовании оптического волокна и соответствующей коммутационной аппаратуры;
- обеспечит стабильность характеристик при изменяющихся климатических, прежде всего температурных, условиях за счет применения термостабильного оптического волокна;

- обеспечит высокую помехозащищенность – за счет значительно более слабой чувствительности оптико-электронной аппаратуры и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) к внешним электромагнитным воздействиям; - уменьшит массогабаритные характеристики антенного полотна РЛС с ФАР/АФАР, что особенно заметно для крупно апертурных антенных систем (типа ДОН- 2Н, Воронеж и т.п.);
- в перспективе – снизит стоимость РЛС – за счет перехода к крупносерийному производству радиотонной элементной базы и меньшей материалоемкости изделий, а также планируемого в дальнейшем перехода к высокопроизводительным фотонным АЦП (ФАЦП).

Основные пути и направления использования области радиотоники для построения РЛС систем на данном физическом принципе являются:

- использование лазерного излучения, модулированного радиосигналом, в задачах приема, передачи и обработки информации; -
- создание соответствующей элементной базы для решения задач радиоэлектроники (системы связи, системы РЭБ и т.д.).

1. Поэтапное развитие радиолокационных систем на основе радиотоники:

Первый этап. радиотоника дополняет СВЧ системы, выполняя второстепенные задачи (например, устройств передачи и приема сигналов от антенн с большим КПД);

Второй этап. радиотоника выполняет сложные вычислительные процессы на частотае процессора более 10 ТГц;

Третий этап. радиотонные системы могут дополнять или заменять аналогичные по функциям системы, работающие на СВЧ, и цифровые системы.

Основные пути практического повышения эффективности аппаратуры РЛС заключаются в следующих узлах и системах:

Для активной фазированной антенной решетки:

- формирования лучей антенны;
- линий задержки;
- обработки и распределения цифровых/аналоговых сигналов;
- волоконно-оптических интерфейсов передачи данных;
- сверхвысокоскоростных АЦП;
- параллельных оптических вычислителей;
- управления антеннами;
- калибровки антенн.

Системы РЭП РЛС:

- радифотонные АЦП - частота 100 Гвыборок/с, полоса >20 ГГц, разрешение >8 бит;
- передача данных по ВОЛС на скорости >100 Гбит/с;
- фотонный цифровой процессор: частота процессора > 10 ТГц,
- производительность 10.000 ГФлоп/с.

Далее, приведем материалы применения радиофотоники для устройств функционирования РЛС, включая: основные принципы (направления) использования новой области исследований радиофотоники; радиофотонные решения при их применении в РЛС в области их совершенствования и поэтапную последовательность создания РЛС и систем обработки информации на основе цифровой радиофотоники (от фотоники к радиофотонике), а также отдельные примеры современного применения радиофотонных устройств в авиационных комплексах. В заключение покажем наиболее перспективные, на наш взгляд, области применения, где положительный результат может быть достигнут уже в течение ближайших нескольких лет.

2. Применение радиофотоники для устройств в РЛС.

2.1 Оптоэлектронные схемы и архитектуры для генерации СВЧ сигналов (от 1 до 20 ГГц) с низкими фазовыми шумами. Типовое значение модуляторов для генератора, используемого в РЛС X-диапазона – -140 дБн/Гц при отстройке 10 кГц. (рис. 1).

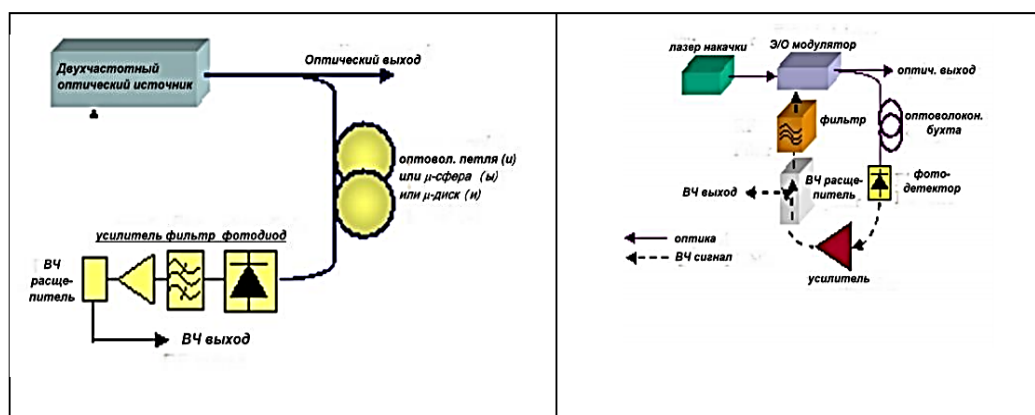


Рис. 1. Схемные варианты модуляторов с оптическим входом и СВЧ выходом [3,6]

2.1 Радиофотонные генераторы

Для высокопроизводительных радарных систем требуются генераторы с очень низ-ким фазовым шумом для выделения слабых сигналов на фоне шумного окружения. Перспективные проекты на основе мод шепчущих галерей (МШГ): – оптоэлектронный генератор на основе модулятора на модах шепчущих галерей (ММШГ); – оптические гребёнки на основе ММШГ с керровской нелинейностью.

Устройство характеризуется малым порогом и низким потреблением энергии.

Коммерчески производимые фирмой OEwaves микро оптоэлектронные осцилляторы работают на частоте 35 ГГц и обеспечивают очень низкий уровень фазовых шумов - 108 дБн/Гц на отстройке 10 кГц [30]. Стационарные оптоэлектронные осцилляторы этой компании на частоте 8...10 ГГц

обеспечивают уровень фазового шума -163 дБн/Гц на отстройке 10 кГц, а в компактном исполнении -140 дБн/Гц .

2.3. Фотонные аналогово-цифровые преобразователи (ФАЦП).

К настоящему времени технологии электронных АЦП обеспечивают возможности выполнения серийными устройствами преобразования со скоростями дискретизации свыше 60 Гвыб/с для сигналов с шириной полосы частот более 15 ГГц при достижении эффективного числа бит (ЭЧБ) около 8.

К недостаткам устройства можно отнести низкий порог насыщения и малую выходную мощность, а также возможность переноса шумов света на микроволновый сигнал.

Основные типы систем ФАЦП:

- Электронный АЦП с оптическим тактовым управлением;
- ФАЦП с оптической дискретизацией и электронным квантованием;
- ФАЦП с оптическим квантованием;
- АЦП с оптической предобработкой.

3. Основные направления использования

Пути и основные направления использования в области радиофотоники это:

- использование лазерного излучения, модулированного радиосигналом, в задачах приема, передачи и обработки информации;
- создание соответствующей элементной базы для решения задач радиоэлектроники (новые радары, системы связи, системы РЭБ и т.д.)

Основные направления использования радиофотоники для создания радиотехнической аппаратуры приведены схематично на рис. 2. Как видно из рис.2, области применения радиофотоники применительно к радиотехническим системам различного назначения могут быть самыми разнообразными.

При этом появляются реальные возможности обеспечить:

- высокую помехозащищенность;
- снижение массы и габаритов; - высокую пропускную способность;

- низкие потери и неравномерности;
- сверхширокополосных сигналов;
- обработку сигналов в реальном времени;
- высокие точность и разрешение.

Из сказанного можно заключить, что, несмотря на отдельные проблемные вопросы, радиофотоника представляет собой перспективную технологическую основу для многих практических задач, существенно расширяющую области применения и открывающую новые возможности для применения как в радиолокации, так и в целом, в области для электроники в целом.

Особо важное место в создании радиотехнических систем на основе радиофотоники занимают системы передачи данных, а именно, осуществления помехоустойчивой системы.

Литература:

1. Зайцев Д.Ф. Нанопотоника и ее применение. М.: Фирма «АКТЕОН», 2012. 445 с
2. Белоусов А.А., Вольхин Ю.Н., Гамиловская А.В., Дубровская А.А., Тихонов Е.В. О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн // Прикладная фотоника. 2014. №1. С. 65-86
3. Гамиловская А.В., Белоусов А.А., Тихонов Е.В., Дубровская А.А., Вольхин Ю.Н. Обзор и исследование возможных вариантов реализации сверхширокополосных аналоговых процессоров диапазона СВЧ с использованием методов и средств радиофотоники // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. 2015. № 5 (239). С. 4-11
4. Гуляев Ю.В., Бугаев А.С., Быстров Р.П., Никитов С.А., Черепенин В.А. Микро и нанoeлектроника в системах радиолокации, Монография. // - М.: Издательство «Радиотехника», 2014. - 479 с.

5. О практике применения радиотонных устройств в радиолокации, Доклад на II всероссийской научно-технической конференции «Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения ВКО». // Москва 2014.