



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ
БЮРО АВТОМАТИКИ»

РАДИОФОТОННЫЕ РЕШЕНИЯ: ПРЕИМУЩЕСТВА, ОГРАНИЧЕНИЯ, ЗАМЕНА, ПРОГНОЗ

Рыжих А.В
инженер АО «ЦКБА»
магистрант ОмГУ.им.Ф.М.Достоевского



Радиофотонные решения представляют собой одно из направлений развития современных систем связи и обработки сигналов. Они объединяют преимущества оптоволоконных сред и радиотехнических методов.

Выбор оптоволоконной среды является логичным шагом при создании современных радиотехнических систем благодаря неоспоримым преимуществам, о которых будет рассказано позже.

Именно эти преимущества становятся особенно востребованными на фоне того, что традиционная электроника на высоких частотах сталкивается с физическими пределами: чем выше частота, тем больше потери и сложнее обеспечить помехозащищённость.

Однако применение радиофотоники имеет смысл не всегда, а при длине линии более 15 метров и частоте сигнала выше 1 ГГц. Кроме того, существуют ограничения, связанные с недостаточной зрелостью технологий. В этой связи важное значение приобретает прогнозирование потенциальных направлений развития радиофотонных решений.



Целью работы стало на основе анализа текущего состояния радиофотонных решений сделать прогноз их потенциала развития для замены или дополнения традиционных электронных компонентов и систем.

Для достижения этой цели поставлены следующие *задачи*:

1. Привести примеры, где радиофотоника уже заменила традиционные системы;
2. Рассмотреть ключевые преимущества радиофотонных схем;
3. Выявить ограничения применения радиофотоники;
4. На основе анализа сделать прогноз возможного развития радиофотонных решений.



ЧТО РАДИОФОТОНИКА УЖЕ ЗАМЕНИЛА

Традиционная система



Коаксиальный кабель

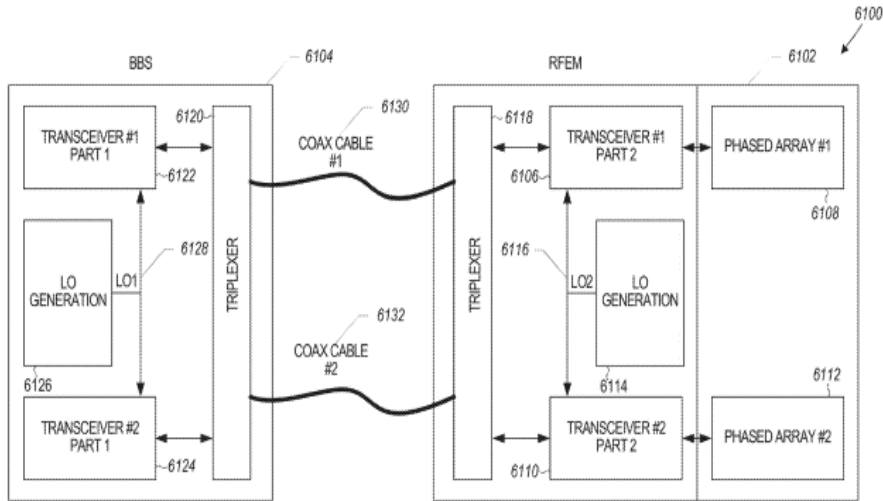
Радиофотонная замена



Оптоволокно

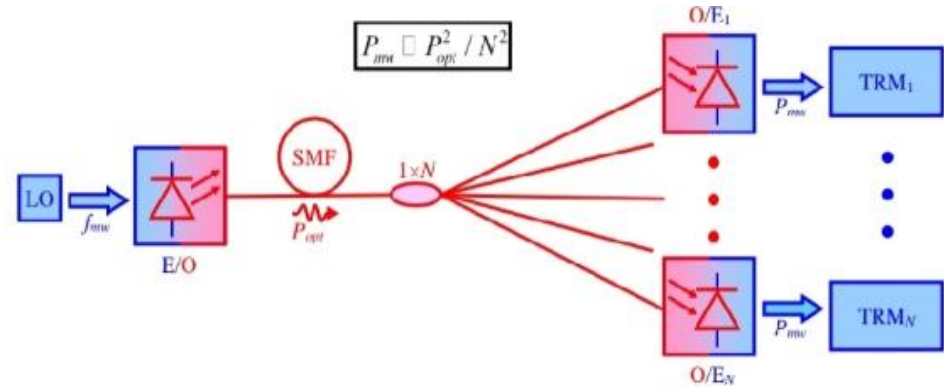


Традиционная система



Раздача гетеродина по коаксиалу

Радиофотонная замена



Оптическая раздача гетеродина



Традиционная система



Механический гироскоп

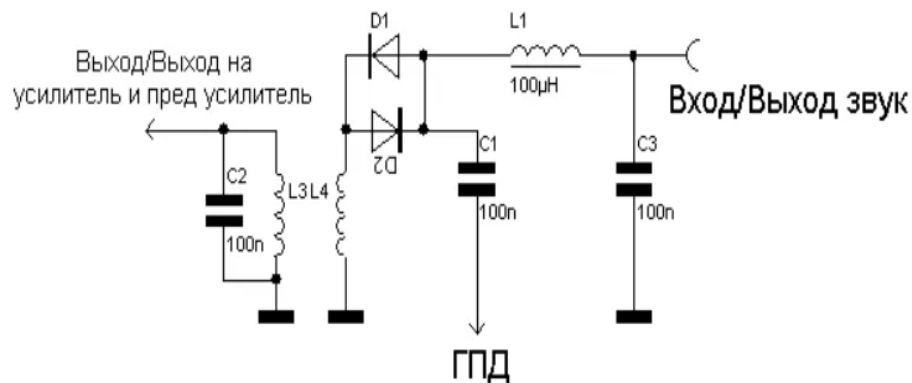
Радиофотонная замена



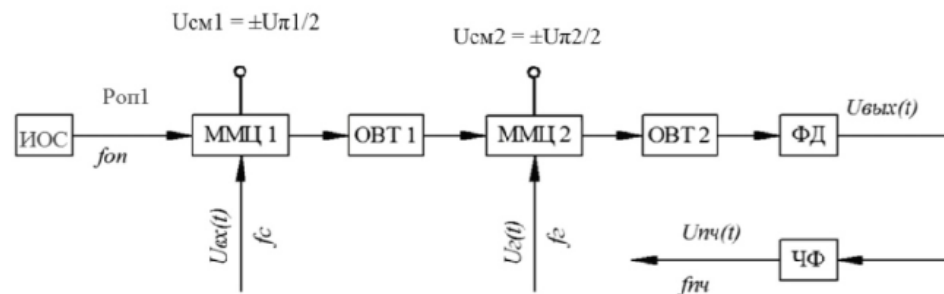
Волоконно-оптический гироскоп



Традиционная система



Радиофотонная замена



Смеситель на встречно-параллельных диодах Оптическое гетеродинирование



1. **Сверхширокополосность рабочей полосы частот;**
2. Малые потери на затухание сигнала и низкая дисперсия;
3. Нечувствительность к электромагнитным помехам (ЭМИ);
4. Лучшие массогабаритные характеристики;
5. Разнообразие методов обработки сигналов в оптическом диапазоне;
6. Простота деления и сложения сигналов;
7. Высокая стойкость к радиации и взрывопожаробезопасность;
8. **Отличные фазотемпературные характеристики;**
9. Большой динамический диапазон по передаваемой мощности излучения;
10. Возможность передачи неполяризованных и поляризованных сигналов;
11. Стоимость оптоволокна SMF-28 меньше коаксиального кабеля.



1. Высокая стоимость некоторых компонентов;
2. Ограниченная элементная база;
3. Свехширополостность;
4. Температурная нестабильность лазера и модулятора;
5. Нехватка специалистов в области радиофотоники.



ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ РАДИОФОТОННЫХ РЕШЕНИЙ

| Направление | Что заменяет / дополняет | Стадия разработки и примерные сроки | Преимущества | Ограничения |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Фотонные АЦП | Дополнение к электронному АЦП | Лабораторные прототипы. Вероятность серии – низкая, 5-10 лет (если вообще) | Обход джиттера, оцифровка > 20ГГц | Дорогие компоненты, сложность калибровки, в РФ только моделирование |
| Фотонные СВЧ - генераторы | Замена электронному генератору | Единичные прототипы. Вероятность серии – средняя, 3-7 лет | Низкий фазовый шум, работа до 100ГГц | Температурная нестабильность |
| Оптические формирователи луча | Дополнение к электронному фазовращателю | Экспериментальные макеты. Вероятность серии – низкая, 5-10 лет | Управление лучом для сверхширокополостных ФАР | Потери до 30 Дб, нет компактных решений |
| Полностью оптические приёмные тракты | Замена всего электронного приёмника | Фундаментальные исследования. Вероятность серии – крайне низкая, 15+ лет (скорее никогда) | Полная помехозыщищённость, сверхширокая полоса | Фундаментальные физические ограничения |
| Интегральная радиофотоника | Новое качество | Лабораторные прототипы. Вероятность серии – низкая, 7-10 лет | Лазер, модулятор, фотодетектор на одном чипе | Технология не отработана, дорогие подложки, проблемы |



1. Приведены примеры, где радиофотоника уже заменила традиционные системы;
2. Были рассмотрены ключевые преимущества радиофотонных схем;
3. Выявлены ограничения применения радиофотоники;
4. На основе анализа сделан прогноз возможного развития радиофотонных решений.



- [1] Конторов С.М. Универсальный сверхширокополосный радиофотонный приёмный канал на основе оптического гетеродинирования // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. — НИЯУ МИФИ. — На правах рукописи.
- [2] Патент US 20200091608 A1. Wireless communication technology, apparatuses, and methods / Alpmann E. et al. — Intel Corporation. — Опубликовано: 19.03.2020.
- [3] Чиж А.Л., Микитчук К.Б. Волоконно-оптическая система распределения сигнала СВЧ-гетеродина для активных фазированных антенных решёток // Журнал радиоэлектроники. — 2023. — №2. — DOI: 10.30898/1684-1719.2023.2.11.



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
АВТОМАТИКИ»**