

Радиофотонные преобразователи RF-over-Fiber компании HUBER+SUHNER AG

А.Ю. Алябьев, Е.В. Соломатин

ЗАО «Новые Компоненты и Технологии»

Аннотация: в работе рассмотрены серийно выпускаемые преобразователи частот, использующие радиофотонные технологии для оптимизации широкополосной, помехозащищенной и гибкой передачи радиосигналов. Рассматриваемые устройства имеют радиофотонное ядро с радиочастотными входной и выходной секциями. Радиофотонное решение выгодно отличается от радиочастотных реализаций благодаря широкой информационной полосе частот, высокой помехозащищенности, радиационной стойкости, экономии массы и объема.

Ключевые слова: радиофотоника, модулятор Маха–Цендера, фотоника, Radio-over-fiber, ВОЛС

1. Введение

Совершенствование волоконно-оптических систем связи и, как результат, появление доступных волоконно-оптических компонентов и быстродействующих оптоэлектронных приборов обусловило интерес к потенциалу применения оптоэлектронных и оптических технологий в СВЧ-технике. Логичным развитием стало появление междисциплинарной области знаний – радиофотоники, сфокусированной на передаче и обработке СВЧ-сигналов с помощью оптоэлектронных и оптических методов [1]. Радиофотонные устройства обладают параметрами, недостижимыми для традиционных электронных средств, и именно поэтому находят все большее применение в радиосвязи, радиолокации, радиоэлектронной разведке и радиоэлектронном противодействии [2].

Радиофотонные преобразователи HUBER+SUHNER AG позволяют обеспечить ряд преимуществ для обеспечения оптимального функционирования современных широкополосных радиоэлектронных систем, в состав которых входят радиочастотные тракты:

- отсутствие влияния внешних ЭМИ;
- усложнение контактного способа снятия информации;
- защита персонала от действия мощных или узконаправленных ЭМВ;
- снижение массогабаритных характеристик.

Однако, необходимо отметить и ряд препятствий, ограничивающих широкое распространение устройств и систем радиофотоники в СВЧ-технике. Ключевым моментом является все еще низкая эффективность электрооптического и оптоэлектронного преобразования.

В данной работе рассматриваются радиофотонные многоканальные преобразователи производства компании Huber+Suhner AG (Швейцария), а также построенные на их основе волоконно-оптические линии передачи СВЧ-сигналов

2. Физический принцип преобразования

Волоконно-оптические линии связи становятся альтернативой традиционным коаксиальным кабелям уже при передаче сигнала на расстояние более 10 м, в виду крайне низких потерь в волокне (0,4 дБ/км) по сравнению с лучшими образцами коаксиальных кабелей (порядка 1 дБ/м для частот более 10 ГГц) [3].

Структурная схема радиочастотного тракта на основе системы радиофотонных

преобразователей представлена на рисунке 1:



Рисунок 1. Организация радиочастотного тракта с применением радиофотонных преобразователей.

Генератор СВЧ-сигнала или приёмная антенна передаёт радиочастотный аналоговый сигнал через коаксиальную сборку небольшой длины на блок-преобразователь Tx (передатчик). Электронно-оптическое преобразование осуществляется двумя способами, в зависимости от частоты сигнала, поступающего с генератора (антенны). В случае, если сигнал ограничен частотой в 6 ГГц, то происходит непосредственная модуляция по интенсивности лазерного излучения за счёт подведения радиочастотного сигнала к омическим контактам p и n областей активной среды лазерного диода (рисунок 2).

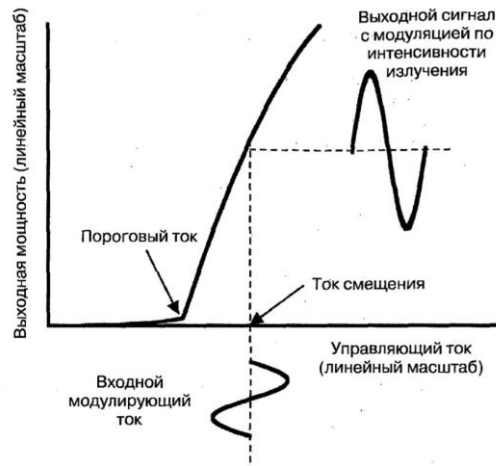


Рисунок 2. Ватт-амперная характеристика лазерного диода при прямой модуляции

Вторым способом является внешняя модуляция с помощью кристалла, обладающего электрооптическими свойствами (модулятор Маха-Цендера). Применяется данный способ модуляции для СВЧ-сигналов частотой 6 ГГц и выше (рисунок 3).

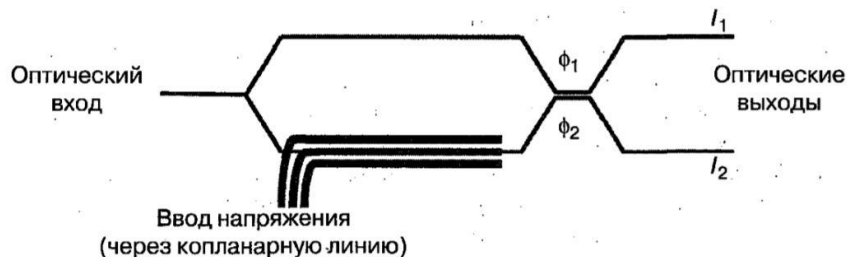


Рисунок 3. Схема модулятора Маха-Цендера для внешней модуляции

Оптическое излучение попадает в волноводную структуру в кристалле и

расходится на два параллельных плеча. К одному из каналов подводится радиочастотный сигнал, изменяя фазовую скорость распространения оптического излучения. Для дальнейшего считывания сигнала оптические волны от каждого из плеч накладываются друг на друга, образуя АМ-сигнал с несущей в виде оптического сигнала, огибающая – радиочастотный сигнал.

От электрооптического преобразователя Tx АМ-оптический сигнал распространяется по одномодовому волокну на расстояние до 100 км. При этом достигаются превосходные характеристики по фазовой стабильности от температуры для кварцевого волокна: всего 8 ppm в температурном диапазоне от -60 до +85°C, что не может быть достигнуто, даже применяя ULD-PTFE диэлектрики в коаксиальных кабелях [4].

Оптоэлектронное преобразование осуществляется с помощью модуля Rx (приёмник), в котором располагается p-i-n фотодиод. Далее восстановленный радиочастотный сигнал через короткую коаксиальную линию попадает в блок обработки.

3. Характеристики радиопотонных преобразователей HUBER+SUHNER AG

Радиочастотный тракт на основе системы радиопотонных преобразователей может быть описан как линейный четырехполюсник, параметрами которого являются: коэффициент передачи, коэффициент шума, линейный динамический диапазон и линейный динамический диапазон при отсутствии интермодуляционных искажений 3-го порядка. Также, важнейшим параметром системы радиопотонных преобразователей является рабочая полоса преобразуемых РЧ сигналов. HUBER+SUHNER предлагает линейку серийно производимых модулей с частотным диапазоном от 1 МГц до 40 ГГц.

Рассмотрим параметры и характеристики RF-over-Fiber модуля на примере передающего и приёмного модулей с рабочими частотами до 3 ГГц. Модули были соединены между собой волоконно-оптическим кабелем длиной 5 метров, а также радиочастотными кабелями длиной 0.5 метра каждый к векторному анализатору цепей в режиме коэффициента передачи в частотной области. Основной характеристикой такой системы модулей является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), представленная на рисунке 4:

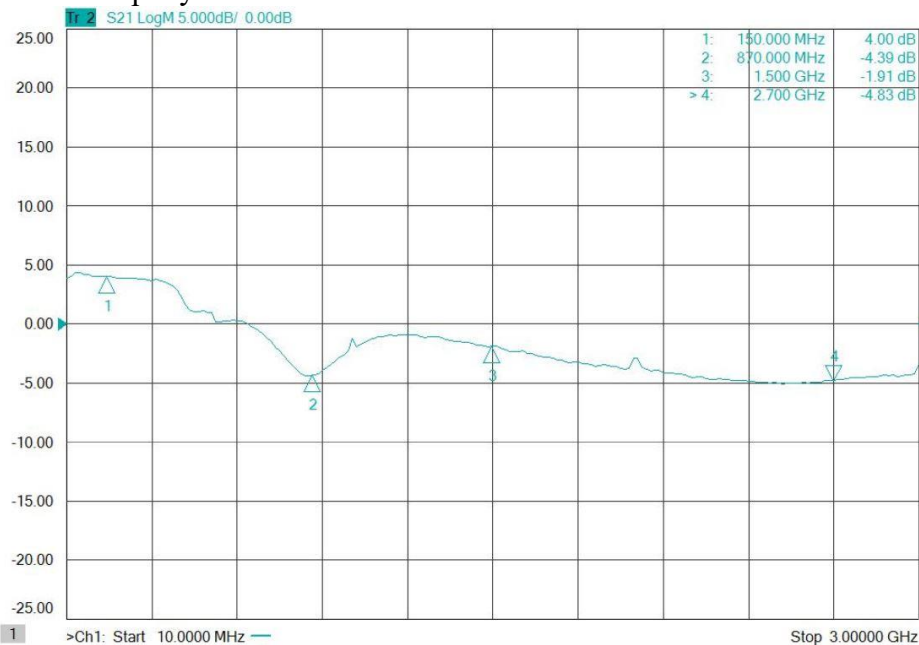


Рисунок 4. АЧХ системы передающего и приёмного модулей RFoF до 3 ГГц

В районе частот менее 350 МГц и более 1200 МГц система сохраняет практически

линейный характер. Неоднородность усиления в диапазоне 350 – 1200 МГц обусловлена релаксационными колебаниями в резонаторе лазерного диода. Характер кривой измерялся в составе с РЧ сборками на кабеле Multiflex (диэлектрик PTFE) длиной 0.5 метра и, соответственно, с волоконно-оптическим кабелем, для того, чтобы показать интегральные параметры всей системы.

Второй важнейшей характеристикой является амплитудная характеристика (АХ), определяющая динамический диапазон работы радиофотонного преобразователя. Она представлена на рисунке 5, по значениям входной и выходной мощности сигнала в ходе измерений системы преобразователей на частоте 1500 МГц (по середине частотного диапазона).

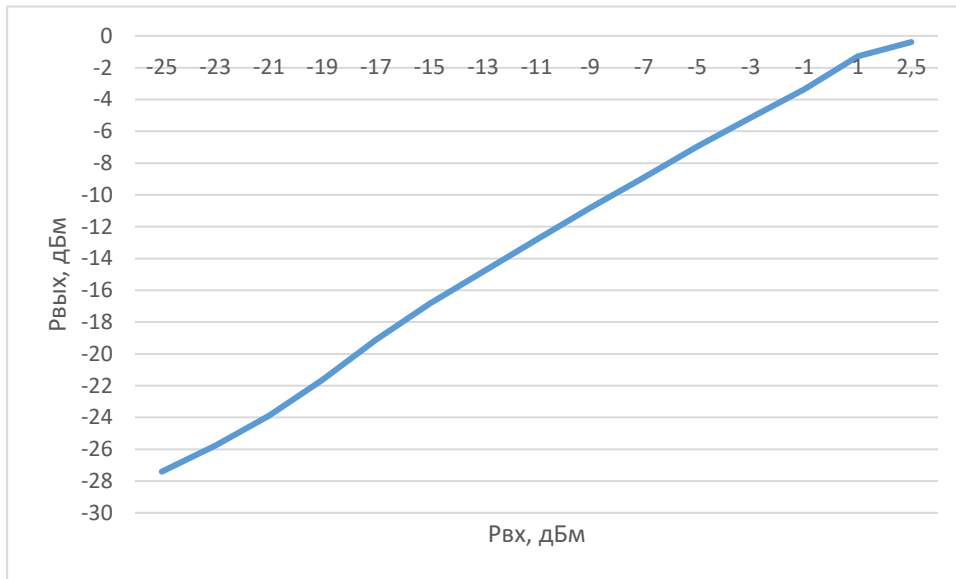


Рисунок 5. АХ системы передающего и приёмного модулей RFoF до 3 ГГц

Система (усилитель) начинает уходить в насыщение только со значений $P_{вх} = 0$ дБм и более. До этих значений АХ остаётся линейной.

Верхняя граница динамического диапазона по помехам как раз определяется этой точкой, нижняя граница располагается на 100 дБ ниже (в соответствии с техническими характеристиками HUBER+SUNNER), при $P_{вх} = -100$ дБм и ниже, где уровень входного сигнала начинает превышать собственные шумы преобразователя на выходе. Система преобразователей увеличивает шумовую составляющую на 12 – 25 дБ в диапазоне 1 – 3000 МГц по сравнению шумами эквивалентного входного сопротивления.

Производитель тестирует систему двухчастотным методом, подавая 2 радиочастотных сигнала с разницей частот порядка 20 МГц. Начиная с уровня мощности в 0 дБм интермодуляционные составляющие третьего порядка начинают превышать собственные шумы преобразователя (усилителя) на выходе и по мощности сравниваются с основной гармоникой в точке $OIP3 = +20$ дБм.

4. Заключение

HUBER+SUNNER предлагает радиофотонные модули под различные задачи. АЧХ комплекта может быть линейаризована под требования заказчика (компенсированы релаксационные колебания), уменьшен коэффициент шума за счёт применения малошумящих усилителей. Для широкополосных сигналов в диапазоне 1 – 22 ГГц достигается однородность АЧХ для системы в целом на уровне 5 дБ.

С увеличением ширины полосы преобразуемых сигналов суммарный шум

системы из двух преобразователей значительно возрастает, поэтому для работы с широкополосными сигналами предлагается 2 варианта реализации радиочастотного тракта:

- перенос сигнала на промежуточную частоту в выбранную полосу,
- применение приемников сканирующего типа с перестраиваемым фильтром.

В результате от собственных шумов преобразователя могут выделяться даже самые слабые сигналы вплоть до -150 дБм. Максимальные значения входных мощностей также могут быть расширены до +30 дБм (динамический диапазон по помехам остаётся около 100 дБ).

Данные характеристики преобразователи сохраняют в широком температурном диапазоне (от -40 до +85°C).

Список литературы

1. Clark T.R., Photonics for RF front ends / T.R. Clark, R. Waterhouse // IEEE Microwave magazine. – 2011, № 3. – Vol. 12. – P. 87-95.
2. Ridgway R. W., Microwave Photonics Programs at DARPA / R. W. Ridgway, Carl L. Dohrman, and Joshua A. Conway // IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology. – 2014. – Vol. 32, № 20. – pp. 3428-3439.
3. Винсент Дж. Урик-мл., Джейсон Д. МакКинни, Кейт Дж. Вильямс, Основы микроволновой фотоники / пер. с англ.: М. Е. Белкин, И. В. Мельников, В. П. Яковлев ; под ред. С. Ф. Боева, А. С. Сигова. - Москва : Техносфера, 2016. - 375 с.
4. Гастин Джобалия (Hasteen Jobalia), Minibend CTR — фазостабильные кабельные сборки/ «СВЧ Электроника», - 2017, №1, стр. 30-32