

Характеристики сверхширокополосных радиопотонных линий передачи СВЧ сигналов

Приведены результаты экспериментальных исследований основных характеристик ряда вариантов построения волоконно-оптических линий передачи сверхширокополосных аналоговых сигналов с применением промышленно выпускаемых компонентов радиофотоники. В линиях передачи используются DFB лазеры с внешней модуляцией интенсивности излучения с полосой частот до 18 ГГц. Эти линии перспективны для построения радиопотонных систем с использованием уплотненного волнового мультиплексирования DWDM.

Ключевые слова: радиофотоника, волоконно-оптическая линия передачи, динамический диапазон, интермодуляционные искажения, модулятор Маха-Цендера, волновое мультиплексирование, DWDM

1. Радиопотонные линии передачи СВЧ сигналов и их компоненты находят все более широкое применение при создании современных сверхширокополосных радиоэлектронных систем различного назначения (радиолокация, радиомониторинг и др.) [1-3]. Большой интерес вызывает применение компонентов радиофотоники (аналоговой СВЧ фотоники) при решении задач диаграммоформирования в многоэлементных фазированных антенных решетках (ФАР) СВЧ диапазона [1, 4, 5]. Работы по развитию радиофотоники и ее применению в системах различного назначения ведутся практически во всех промышленно развитых странах. В качестве «базовой» структуры при компоновке многих систем, в том числе и диаграммоформирующих схем для ФАР, можно выделить одноканальную волоконно-оптическую (ВО) линию передачи широкополосных радиосигналов, параметры которой определяют достижимые характеристики всей системы.

Нами исследованы несколько вариантов построения ВО линий передачи сверхширокополосных (более 4 октав, до 20 ГГц) аналоговых сигналов с использованием различных функциональных элементов волоконной и интегральной оптики из числа представленных на рынке. В линиях использовались излучатели на основе DFB лазеров и внешние модуляторы интенсивности, а не излучатели с прямой модуляцией по току инжекции [6]. Отметим, что прямая модуляция интенсивности лазеров по току инжекции вызывает нежелательную паразитную частотную модуляцию (frequency chirping) излучения [1]. Использование DFB лазеров дает возможность получить длины волн, распределенные по сетке ITU, что позволяет при создании радиопотонных систем реализовать еще одну степень свободы оптических систем – волновое мультиплексирование, в том числе плотное мультиплексирование (DWDM) с шагом частот излучателей 100 ГГц (или 50 ГГц). Именно такой подход рассматривается нами как перспективный в разрабатываемых радиопотонных диаграммоформирующих системах для приемных линейных антенных решеток [5, 7, 8].

В данной работе приведены результаты измерений основных рабочих характеристик макетов ВО линий передачи: амплитудно-частотной, передаточной, динамического диапазона, интермодуляционных искажений, уровня шумов и др.

2. ВО линии были скомпонованы с применением следующих компонентов. Первая линия: излучатель LDI-DFB-1550-20/80 на основе DFB-лазера (Lasercom); интегрально-

оптический модулятор на основе интерферометра Маха-Цендера IM-1550-20-a (Optilab); фотоприемный модуль (ФПМ) из состава линии SCML-100M18G (MITEQ). Вторая линия – это специализированные радиофотонные модули (приемник и передатчик), образующие RoF линию OTS-2-18 (Emcore). Исследовались и взаимные комбинации компонентов этих линий.

Первая линия, работающая в диапазоне частот 0,1-18 ГГц, была достаточно подробно исследована, экспериментальная установка, методика и результаты приведены в [7, 8]. В работе модулятора IM-1550-20-a, выполненного на кристалле LiNbO_3 , были обнаружены особенности: гистерезис в модуляционной характеристике (см. рис. 1, P_0 – оптическая мощность на выходе модулятора), а также проблема с температурным и временным дрейфом рабочей точки модулятора. Эта проблема является типичной для интегрально-оптических модуляторов на основе интерферометра Маха-Цендера [9].

Вторая линия на основе модулей передатчика и приемника OTS-2-18 имела встроенную систему стабилизации режимов работы: мощности лазера, его температуры, рабочей точки модулятора, а также в обоих модулях есть система термостатирования на основе элементов Пельтье. Приемный модуль после фотодетектора имел дополнительный СВЧ усилитель с коэффициентом усиления 15 дБ. Диапазон рабочих частот линии 0,05-18 ГГц. Длина волны излучения лазера «привязана» к сетке ИТУ, в нашем случае 1554,94 нм (канал 28 сетки 100 ГГц), что важно при построении систем с применением технологии DWDM. Ниже приведены результаты исследований основных характеристик этой линии.

3. На рис. 2 приведены АЧХ обеих линий в диапазоне частот до 20 ГГц (измерения векторным анализатором R&S ZVA40). В диапазоне частот до 18 ГГц линия OTS-2-18 имеет большой коэффициент передачи (в среднем по диапазону частот на ~12 дБ) и меньшую неравномерность. Передаточная (амплитудная) характеристика $P_{\text{OUT}}(P_{\text{IN}})$ ВО линии является одной из основных характеристик. О ней можно судить по изменению коэффициента передачи G_L в зависимости от входной мощности, как это представлено на рис. 3. Измерение выполнено на частоте 4 ГГц при изменении входной мощности от -40 до +11 дБм (R&S ZVA40). Коэффициент передачи линии $G_L = -5,7$ дБ, при этом отклонение характеристики от линейной зависимости не превышает 0,2 дБ при мощности на входе +11 дБм.

При работе с широкополосными шумовыми сигналами, например, в радиоастрономических применениях [10], влияние нелинейностей из-за пик-фактора сигнала проявляется иначе, и передаточная характеристика линии может измениться. На рис. 4 представлена передаточная характеристика, измеренная по шумовому сигналу с равномерным спектром с полосой 240 МГц со средней частотой $f_{0N} = 6$ ГГц. По этим измерениям коэффициент передачи G_{LN} линии составил также -5,7 дБ. В диапазоне располагаемых (использованных) значений мощности и ширины полосы частот входного шумового сигнала передаточные характеристики соответствуют друг другу.

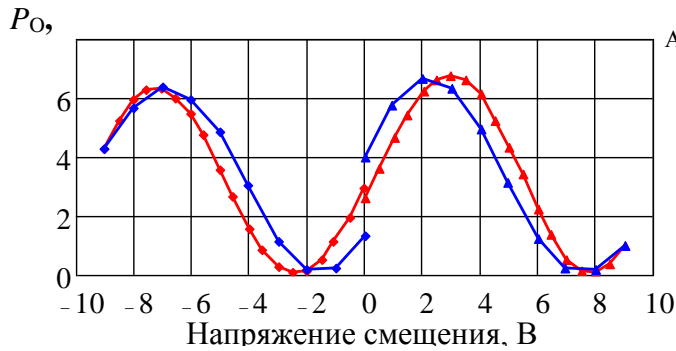


Рисунок 1.

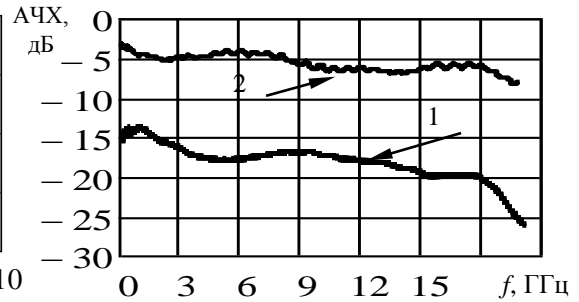


Рисунок 2.

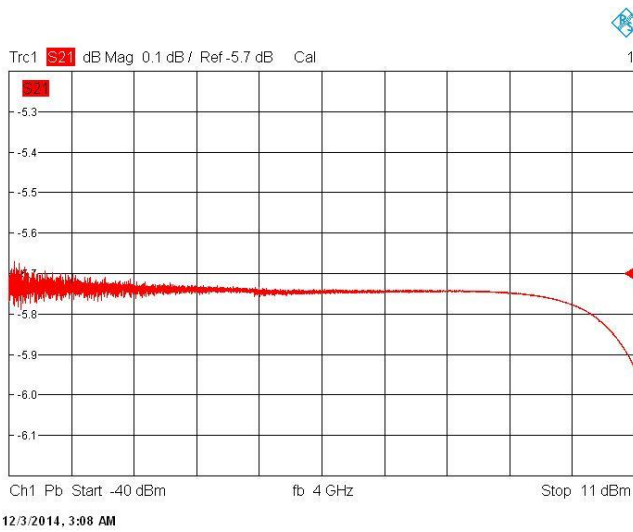


Рисунок 3.

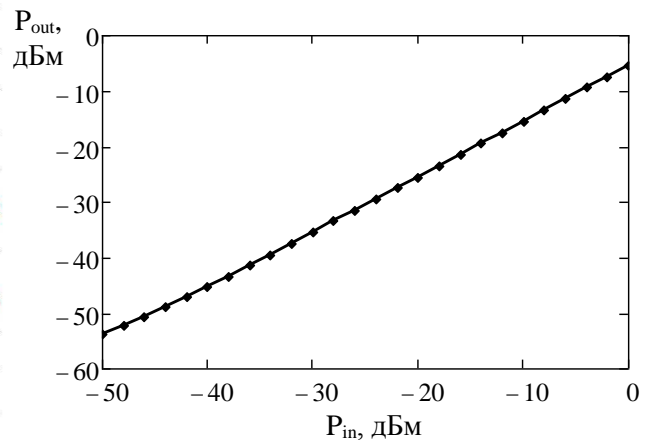
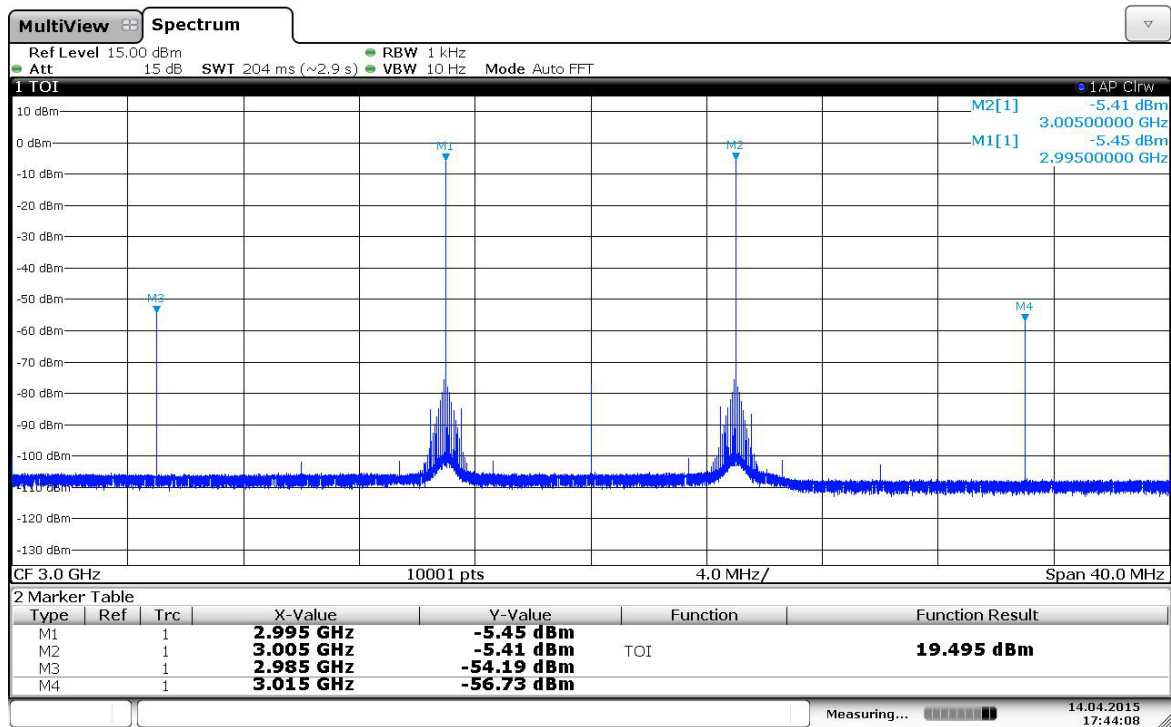


Рисунок 4.

Передаточная характеристика также была измерена по двухтоновому сигналу с частотами $f_1 = 2,995$ ГГц и $f_2 = 3,005$ ГГц. С помощью спектроанализатора регистрировались уровни 1-ой гармоника и интермодуляционной компоненты третьего порядка, как это показано на рис. 5 для случая $P_1 = P_2 = 1$ дБм. При этих измерениях были определены точка интермодуляции $TOI_{OUT} = 19,5$ дБм и, соответственно, $TOI_{IN} = 25,4$ дБм, а также средний в рабочей полосе частот уровень шума $P_{OUT} = P_{MIN} = -150$ дБм, регистрируемый на выходе приемного модуля в отсутствии радиосигнала, приведенный к полосе 1 Гц. По измеренной передаточной характеристике определены точка компрессии $P_{IN,1dB} = 16,5$ дБм (при ее отклонении от линейной зависимости на 1 дБ) и минимальный входной уровень $P_{IN,MIN} = -144$ дБм (как P_{MIN}/G_L). Таким образом, динамический диапазон ВО линии оценивается как $DR = P_{IN,1dB}/P_{IN,MIN} = 16,5 - (-144) = 160,5$ дБ. Динамический диапазон, свободный от гармоник входного сигнала, $SFDR = IP3_{IN}/P_{IN,MIN} = -31 - (-144) = 113$ дБ.



Date: 14.APR.2015 17:44:08

Рисунок 5.

Работу ВО линии по передаче СВЧ радиоимпульсов демонстрирует рис. 6, где представлены ее входной и выходной СВЧ сигналы, регистрируемые 2-х канальным осциллографом, при длине отрезка волокна между модулями передатчика и приемника 30 м. Параметры СВЧ сигнала (генератор R&S SMB 100A): радиоимпульсы с длительностью 10 нс, периодом повторения 250 нс, частотой заполнения 999,9 МГц. Канал 1 осциллографа (синий цвет, на рисунке справа) соответствует входному сигналу,

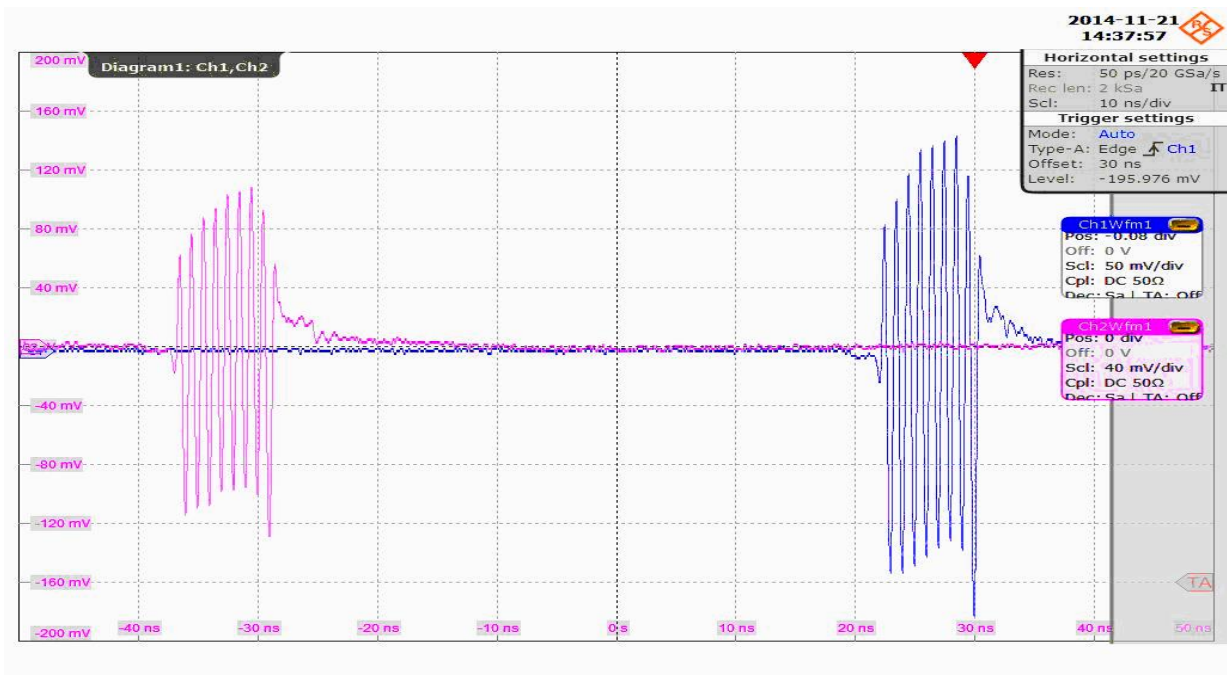


Рисунок 6.

а канал 2 (розовый цвет, на рисунке слева) – выходному сигналу. Задержка между импульсами (измерение по экрану, шкала времени 10 нс/дел) около 57 нс, что с учетом периода повторения дает $(250-57) = 193$ нс, это соответствует оценке ожидаемой суммарной задержки: в волокне – 150 нс и в самих модулях – 44 нс.

В настоящее время наша цель – разработка радиофотонной диаграммообразующей схемы для сверхширокополосной приемной линейной ФАР с использованием DWDM. технологии Разработанная методика расчета основных характеристик таких диаграммообразующих схем представлена в [8]. Для расчетов по этой методике необходимы знания параметров всех используемых в схеме компонентов. Параметры «базовой» структуры диаграммообразующих схем для многоэлементных ФАР (и для многих других радиофотонных систем) – одноканальной аналоговой ВО линии передачи с рабочей полосой до 18 ГГц исследованы и представлены в данной работе.

Авторы выражают благодарность специалистам ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС» Никитину А.К. и Медведеву И.А. за предоставление возможности проведения ряда СВЧ измерений с применением приборов SMW200A и FSW26.

Библиографический список

1. Зайцев Д.Ф. Нанопотоника и её применение. – М.: АКТЕОН. – 2012.
2. Seeds A.J., Williams K.J. Microwave photonics // – J. Lightwave Technology. – 2006. – V.24. – №12. – pp. 4628-4641.
3. Yao J.P. A tutorial on microwave photonics – Part II. // – IEEE Photonics Society Newsletter. – 2012. – vol. 26. – №3. – pp. 5-12.
4. Чиж А.Л., Малышев С.А. Многоканальная волоконно-оптическая система распределения синхросигнала в активных фазированных антенных решетках // Третья Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» (С.-Петербург, 2 - 5 июня 2014 г.). Сб. трудов. – С. 257-262.
5. Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И. Возможности применения компонентов телекоммуникационных волоконно-оптических линий для диаграммоформирующих систем широкополосных антенных решеток // 24-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: сборник материалов конференции (Севастополь, 7-13 сентября 2014 г.), в 2 т. Том 1. – Севастополь: Вебер. 2014. – С. 479-480.
6. Ivanov A.V., Isaev D.S., Kurnosov V.D., Kurnosov K.V., et al. Investigation of the noise characteristics and dynamic range of the POM-27 and PROM-15 set and also POM-27 and PROM-15 with preamplifier set. // 21-st Int. Crimean Conf. «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2011). Sevastopol. – 2011. – pp. 357-358.
7. Lavrov A.P., Ivanov S.I., Saenko I.I. Investigation of analog photonics based broadband beamforming system for receiving antenna array. // – LNCS – 2014. – vol. 8638. – pp. 647-655. (Springer).
8. Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И. Оптоволоконная система формирования диаграммы направленности широкополосной приемной фазированной антенной решетки с использованием технологии DWDM и хроматической дисперсии волокна // – Оптический журнал. – 2015. – Т. 82. – № 3. – С. 13-22.
9. Ponomarev R.S., Zhuravlev A.A., Khrychikov A.A., Shevtsov D.I. Short-term DC-drift in integrated optical Mach-Zehnder interferometer. // – Proc. SPIE. – 2011. – vol. 8410. – pp. 841008 (1-6).
10. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Иванов Е.Ф., Губин А.В. Многочастотный радиогелиограф // – Труды ИПА РАН. – 2012. – Вып. 24. – С. 31-45. (СПб: Изд-во Наука).