

Многоканальная волоконно-оптическая система распределения синхросигнала в активных фазированных антенных решетках

Представлена волоконно-оптическая система распределения, обеспечивающая фазостабильную многоканальную разводку СВЧ-синхросигнала в частотном диапазоне от 2 до 20 ГГц между 64 элементами (подрешетками) активной фазированной антенной решетки.

Ключевые слова: волоконно-оптическая система распределения, СВЧ-синхросигнал, активные фазированные антенные решетки

Аналоговые волоконно-оптические линии являются альтернативой коаксиальным кабелям при передаче СВЧ-сигналов на расстояние нескольких десятков метров и более [1,2]. С повышением сложности бортовых радиоэлектронных систем, где вес и габаритные размеры являются чрезвычайно важными параметрами, аналоговые волоконно-оптические линии передачи СВЧ-сигналов благодаря малой массе и высокой устойчивости к электромагнитным помехам становятся еще более привлекательными. Следует отметить также, что замена коаксиальных кабелей волоконно-оптической линией дает возможность передачи сверхширокополосных СВЧ-сигналов на расстояние свыше 1 км (до 100 км), возможность многоканальной передачи СВЧ-сигналов, используя мультиплексирование по длине волны, а также возможность применения оптической обработки СВЧ-сигналов для задержки, фильтрации и преобразования частоты СВЧ-сигналов. Важным достоинством аналоговых волоконно-оптических линий является низкий уровень фазового шума и высокая фазовая стабильность при передаче СВЧ-сигналов, связанные с невосприимчивостью процесса прямого детектирования оптического сигнала к фазе оптической несущей.

В данной статье рассматривается волоконно-оптическая система распределения, обеспечивающая фазостабильную многоканальную разводку синхросигнала в частотном диапазоне от 2 до 20 ГГц между 64 элементами (подрешетками) активной фазированной антенной решетки, которая состоит из волоконно-оптического лазерного модуля с внешней модуляцией, волоконно-оптического модуля усиления и 64 мощных фотодиодных модулей с оптоволоконным вводом, соединенных одноименными волоконно-оптическими кабелями (рис. 1).

Волоконно-оптический лазерный модуль представляет собой узел системы распределения, на СВЧ-вход которого подается СВЧ-синхросигнал, а с оптического выхода снимается модулированный по интенсивности оптический сигнал. Для обеспечения рабочего диапазона частот свыше 10 ГГц необходимо использовать схему с внешней модуляцией лазера, в которой непрерывное излучение лазера модулируется по интенсивности СВЧ-сигналом с помощью внешнего оптического модулятора, полоса пропускания которого может достигать десятков гигагерц. В аналоговых системах в качестве оптического моду-

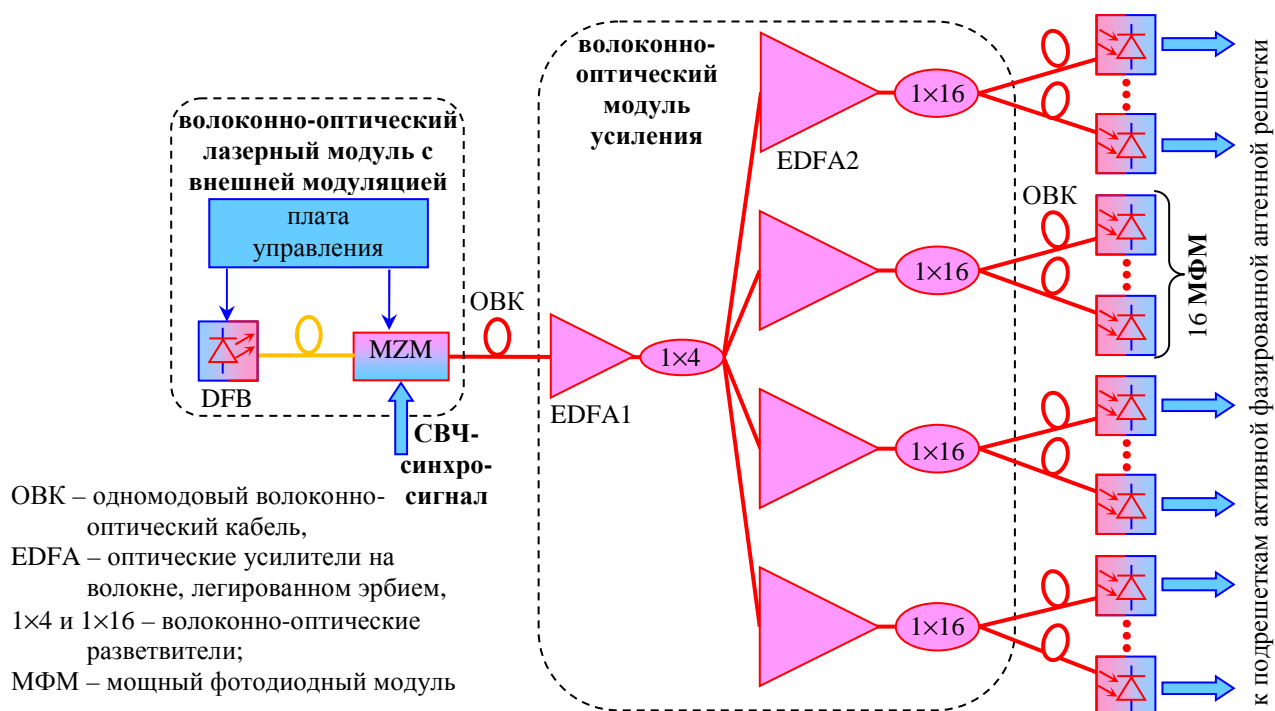


Рисунок 1

латора целесообразно использовать ниобат литиевый электрооптический модулятор Маха–Цендера (MZM). Таким образом, волоконно-оптический лазерный модуль состоит из InGaAsP/InP лазерного диода с распределенной обратной связью (DFB), излучение которого мощностью 15 мВт на длине волны 1530 нм модулируется с помощью модулятора Маха–Цендера, имеющего предельную частоту 30 ГГц и полуволновое напряжение 5 В. Выбор длины волны излучения InGaAsP/InP лазерного диода 1530 нм обусловлен максимумом усиления оптических усилителей на волокне, легированном эрбием. Для регулировки и стабилизации мощности излучения лазерного диода, а также фазы смещения модулятора Маха–Цендера применяется плата управления, которая изменяет ток накачки лазерного диода и напряжение смещения модулятора Маха–Цендера в соответствии с сигналами фотодиодов обратной связи.

Волоконно-оптический модуль усиления состоит из оптического усилителя (EDFA1) на волокне, легированном эрбием, с мощностью насыщения 40 мВт, волоконно-оптического разветвителя 1×4, 4-х мощных оптический усилителей (EDFA2) на волокне, легированном эрбием, с мощностью насыщения 200 мВт и 4-х волоконно-оптических разветвителей 1×16. Использование двухкаскадной схемы усиления позволяет обеспечить работу оптических усилителей в режиме насыщения, для которого шум, обусловленный биением усиливаемого оптического сигнала со спонтанным излучением, не вносит значительный вклад в общий шум на выходе фотодиодных модулей, что дает возможность получить низкий уровень собственных шумов на выходе канала волоконно-оптической системы распределения.

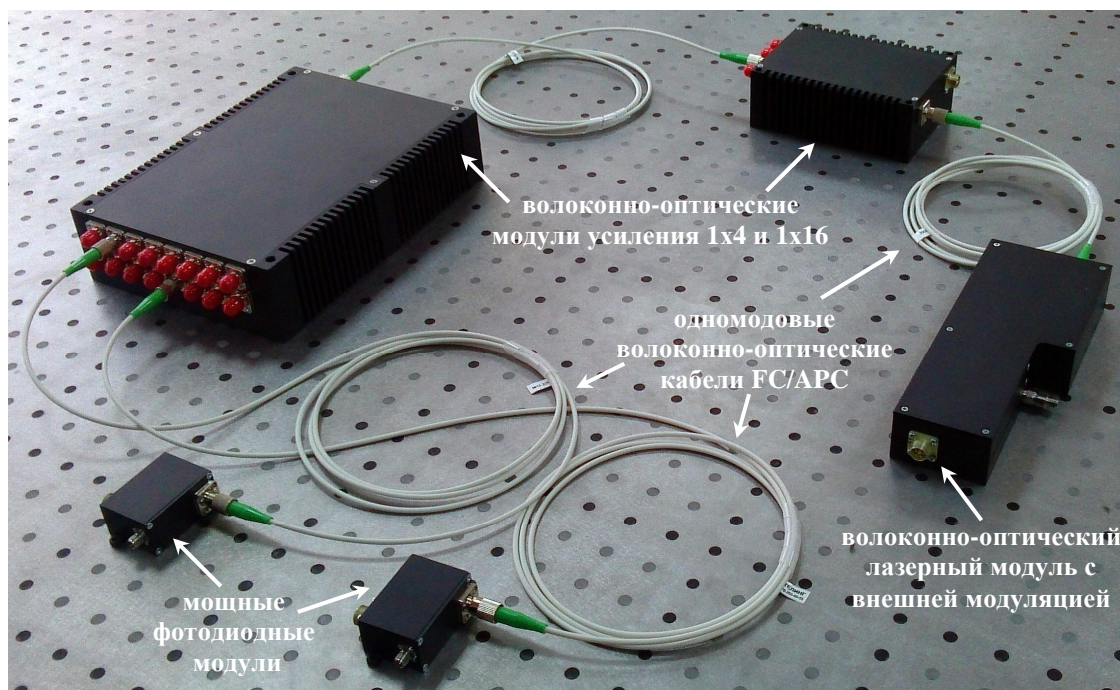


Рисунок 2

Мощный фотодиодный модуль с оптоволоконным вводом представляет собой узел системы распределения, на оптический вход которого подается модулированный по интенсивности оптический сигнал, поступающий по оптическому волокну на мощный InGaAs/InP $p-i-n$ фотодиод с балочными выводами [3], включенный в копланарную СВЧ-линию передачи, согласующую его с коаксиальным СВЧ-разъемом, с которого снимается детектированный СВЧ-сигнал достаточной мощности (более 1 мВт) без использования электрических усилителей. Токовая чувствительность мощного InGaAs/InP $p-i-n$ фотодиода в составе модуля составляет 0.5 А/Вт на длине волны 1550 нм, его предельная частота равна 23 ГГц, а максимальная средняя мощность входного оптического сигнала составляет 30 мВт.

На рис. 2 представлен внешний вид экспериментального образца фрагмента волоконно-оптической системы распределения. Электропитание системы осуществляется от вторичных источников постоянного тока с номинальным напряжением 5 В, при этом общая потребляемая электрическая мощность не превышает 100 Вт. Следует отметить, что для уменьшения влияния окружающей среды на изменение фазы передаваемого синхросигнала между каналами системы распределения одномодовые волоконно-оптические кабели соединяющие модуль усиления с мощными фотодиодными модулями должны быть одного типа и иметь одинаковую длину.

На рис. 3 представлен измеренный спектр оптического излучения на выходе волоконно-оптического модуля усиления при включенном (сплошная линия) или выключенном (пунктирная линия) волоконно-оптическом лазерном модуле с внешней модуляцией. На вставке рис. 3 представлен спектр оптического излучения на выходе волоконно-

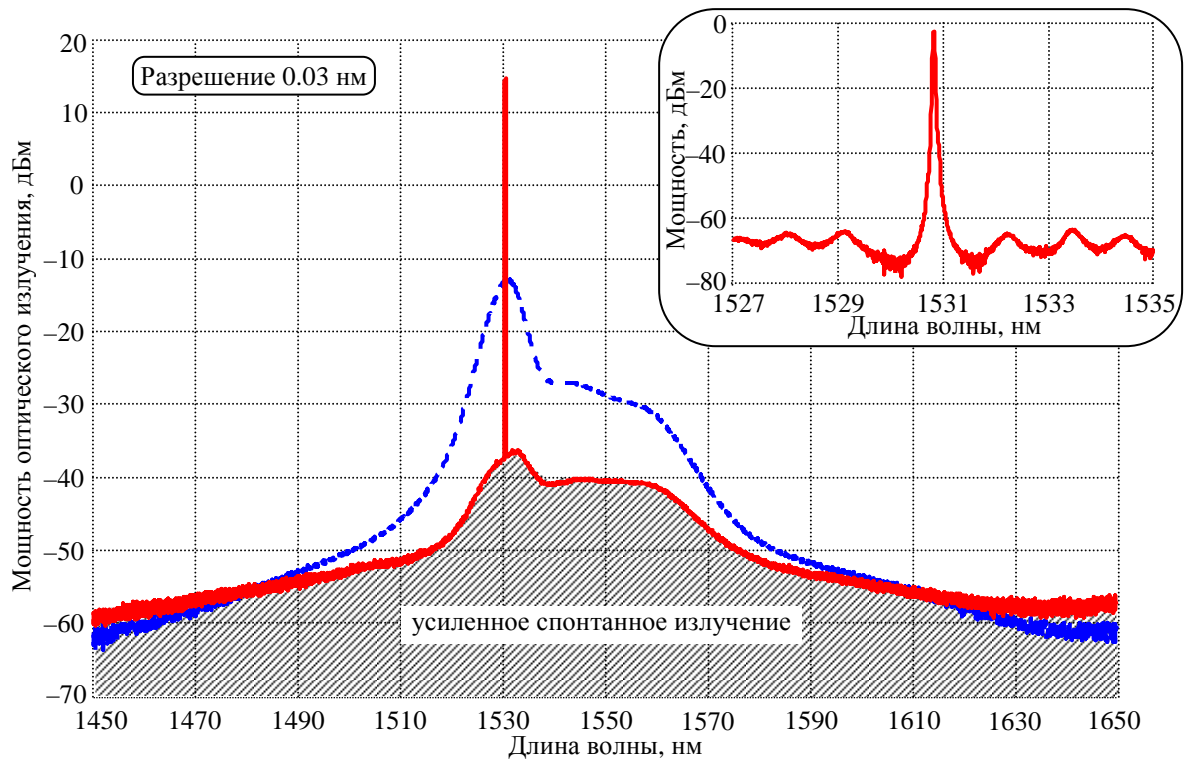


Рисунок 3

оптического лазерного модуля с внешней модуляцией при фазе смещения электрооптического модулятора Маха–Цендера 150° . Из вставки рисунка видно, что коэффициент подавления боковой моды составляет величину более 60 дБ, что обуславливает одночастотный режим работы лазерного модуля и низкий уровень шума интенсивности лазерного излучения. Из рис. 3 также следует, что на выходе оптического усилителя мощность усиленного спонтанного излучения значительно уменьшается при подаче на его вход оптического сигнала, что приводит к уменьшению относительной интенсивности шума на выходе канала волоконно-оптической распределительной системы.

На рис. 4 приведена зависимость мощности СВЧ-синхросигнала на выходе канала волоконно-оптической системы распределения от частоты при мощности СВЧ-синхросигнала на входе 10 мВт. Из рисунка видно, что система обеспечивает мощность на выходе более 1 мВт в частотном диапазоне от 2 до 20 ГГц. Проведенные измерения частотных характеристик показали, что максимальная мощность на выходе каждого канала системы распределения достигается при мощности входного СВЧ-сигнала в широком диапазоне от 3 до 20 дБм (по уровню -3 дБ) и фазе смещения модулятора Маха–Цендера в диапазоне от 90° до 165° , причем при увеличении мощности распределяемого синхросигнала оптимальная фаза смещения модулятора Маха–Цендера смещается от точки минимального пропускания модулятора в сторону квадратурной точки. Следует отметить, что увеличение мощности входного синхросигнала свыше 20 дБм приводит к уменьшению максимальной мощности выходного СВЧ-сигнала вследствие уменьшения глубины опти-

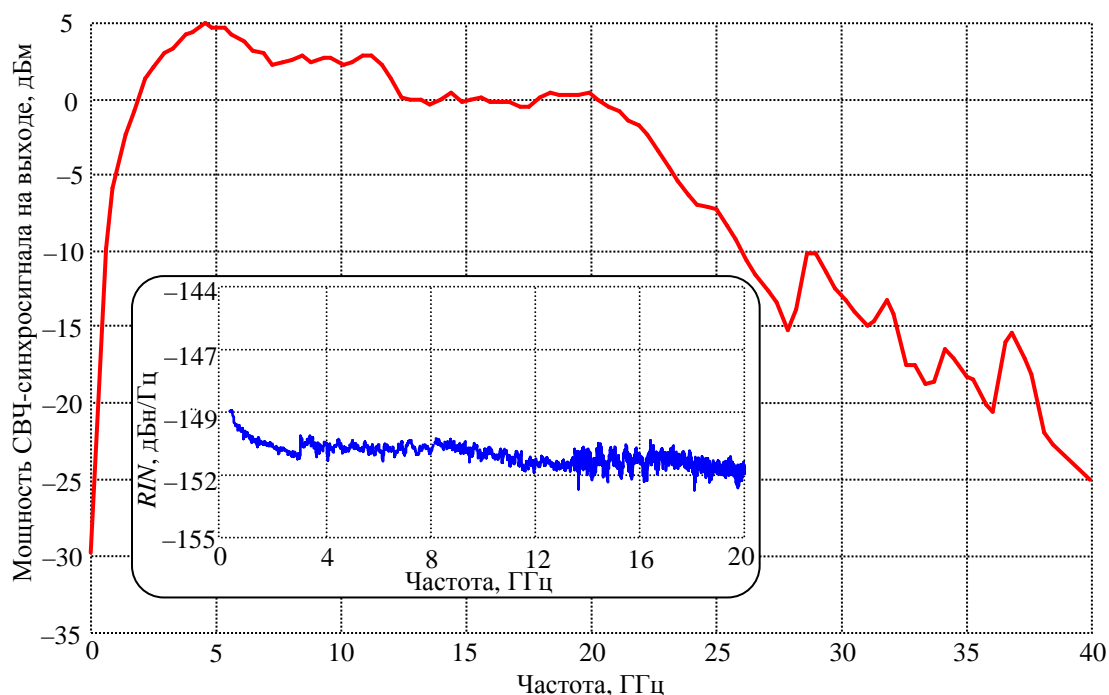


Рисунок 4

ческой модуляции. Кроме мощности синхросигнала на выходе канала системы распределения важное значение имеет уровень собственных шумов, который определяется относительной интенсивностью шума (RIN) лазерного диода и волоконно-оптических усилителей на частоте синхросигнала. Проведенные исследования показали, что минимальный уровень собственных шумов на выходе системы достигается в широком диапазоне мощностей входного синхросигнала от 9 до 20 дБм (по уровню -3 дБ) и фаз смещения модулятора Маха–Цендера от 90° до 155° . Для типичной мощности синхросигнала 10 дБм, оптимальная фаза смещения модулятора Маха–Цендера равняется 150° . На вставке рис. 4 приведена частотная характеристика относительной интенсивности шума (RIN) на выходе волоконно-оптической системы распределения. Из рисунка видно, что в диапазоне частот от 2 до 20 ГГц относительная интенсивность шума (RIN) на выходе системы составляет величину порядка -150 дБн/Гц, что соответствует уровню собственных шумов на выходе каждого канала системы -147 дБн/Гц в случае 100% глубины модуляции оптического сигнала.

Проведенные измерения частотных характеристик показали, что при длине волоконно-оптических кабелей 2 м флуктуация фазы передаваемого СВЧ-сигнала между каналами распределительной системы на частоте 10 ГГц в течение 1 часа не превышает 0.4° . Таким образом, разработанная волоконно-оптическая система распределения, обеспечивает фазостабильную многоканальную разводку синхросигнала в частотном диапазоне от 2 до 20 ГГц между элементами (подрешетками) активной фазированной антенной решетки, при этом на выходе каждого из 64 каналов мощность СВЧ-синхросигнала составляет величину порядка 1 мВт, а уровень собственных шумов равен -147 дБн/Гц. Использование

такой волоконно-оптической системы распределения СВЧ-синхросигналов в активных фазированных антенных решетках позволит значительно уменьшить вес и повысить устойчивость к электромагнитным помехам таких систем.

Библиографический список

1. T.R. Clark, R. Waterhouse, "Photonics for RF front ends", Microwave magazine, 2011, Vol. 12, pp. 87-95
2. T. Berceci, P. Herczfeld, "Microwave photonics – a historical perspective", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2010, Vol. 58, pp. 2992-3000.
3. A. Chizh, S. Malyshev, A. Tepseev, V. Andrievski, E. Guszinskaya, L. Romanova "Beam-lead partially-depleted-absorber photodiode", Proc. of International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP), 2012, p.257-260.