

Сверхширокополосная аналоговая линия передачи СВЧ сигналов на основе радиопотонных элементов

Представлены характеристики сверхширокополосной аналоговой линии передачи СВЧ сигналов на основе радиопотонных элементов. Исследованы оптоэлектрические параметры радиопотонных элементов и показано их влияние на коэффициент передачи линии. Продемонстрирована передача сигнала в рабочей полосе от 50 МГц до 10 ГГц с коэффициентом передачи (-11 ± 1) дБ.

Ключевые слова: радиопотоника, сверхширокополосные устройства

Постоянно увеличивающиеся требования к диапазону рабочих частот, динамическому диапазону, пропускной способности и выходной мощности средств радиолокации и телекоммуникации приводит к усложнению аппаратуры и, в конечном счете, к большой массе и высокой стоимости. Решение проблем по миниатюризации и качественному улучшению характеристик сверхширокополосных приемо-передающих трактов, в том числе уменьшение габаритов и массы кабельных и волноводных соединений привело к тому, что современная элементная база неуклонно приближается к пределу, за которым просто невозможно качественно улучшить параметры устройств. Наиболее перспективным развитием данного направления является использование методов и средств радиопотоники. Использование сверхширокополосных оптоэлектронных преобразователей, оптоволоконных линий, быстродействующих фотоприемников, а в перспективе и оптических цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей, позволяет не только радикально уменьшить габариты, как самих устройств, так и соединительных трактов, но и привести к созданию прорывных устройств с недостижимыми прежде характеристиками [1-3].

Сверхширокополосная аналоговая линия передачи СВЧ сигналов на основе радиопотонных элементов состоит из следующих ключевых элементов [4]: источник оптического излучения (полупроводниковый лазер), электрооптический модулятор (интерферометр Маха-Цандера на основе ниобата лития) с СВЧ усилителем, фотодетектор.

В качестве источников оптического излучения были использованы модули лазерных диодов 1550nm на основе полупроводникового материала InGaAsP. Зависимость мощности источника от тока накачки был исследован путём прямого подключения к фотодетектору с известной чувствительностью. Ток через лазер регистрировался миллиамперметром. По выходному сигналу с фотодетектора определялся уровень мощности оптического излучения лазера в зависимости от тока накачки. Результаты измерения зависимости мощности оптического излучения ($P_{\text{изл}}$) от тока накачки лазера ($I_{\text{лаз}}$) представлены на рисунке 1.

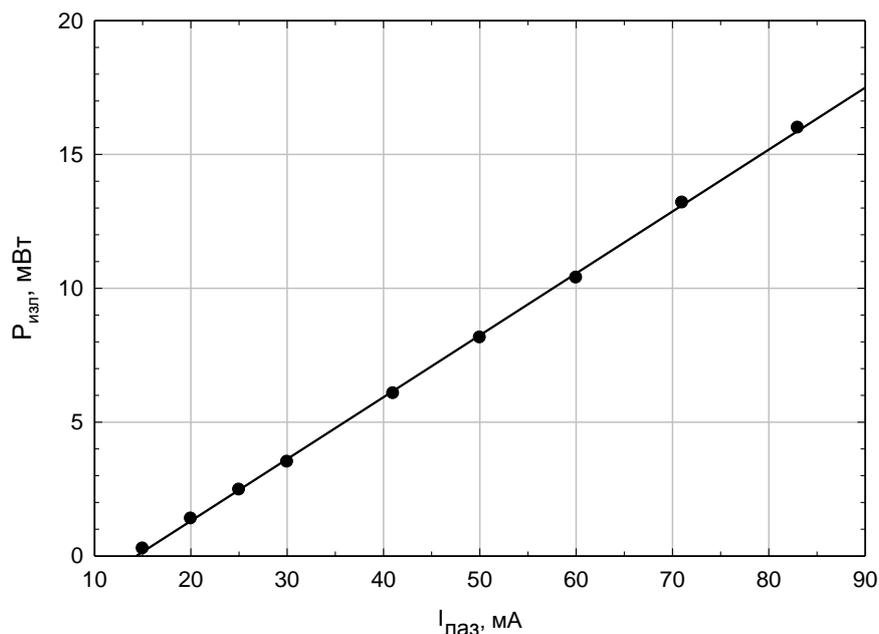


Рисунок 1.

Электрооптический модулятор предназначен для модуляции интенсивности оптического сигнала электрическим напряжением. В радиофотонике модуляция оптической несущей обеспечивается СВЧ сигналом. Для проведения экспериментов по обработке сигнала средствами СВЧ фотоники был использован амплитудный электрооптический модулятор Маха-Цандера IM-1550-20-a [5] производства фирмы OptiLab (США). Для модуляции оптической несущей СВЧ сигналом подключение модулятора производится через драйвер MD-12-B [6] производства фирмы OptiLab (США). Драйвер представляет собой широкополосный СВЧ усилитель и источник постоянного напряжения смещения, объединённые конструктивно. В задачу усилителя входит предусиление модулирующего СВЧ сигнала до уровня необходимого для эффективной модуляции. Источник постоянного напряжения смещения позволяет осуществить выбор рабочей точки модулятора.

Одной из основных характеристик электрооптического модулятора является его функция передачи. Наибольшая эффективность модуляция достигается при установке постоянного смещения в точку, называемую «квадратурной», в которой производная функции передачи максимальна. Для измерения характеристик передачи модулятор был включён в оптическую цепь, состоящую из последовательного включения лазера (длина волны 1550 нм, выходная мощность 3 мВт), модулятора с подключенным к порту смещения источником электрического напряжения и фотодетектора. Напряжение, подаваемое на порт смещения, измерялось вольтметром. Сигнал на выходе фотодетектора выводился на осциллограф.

Результаты измерения характеристики передачи системы лазер-модулятор-фотодетектор показаны на рисунке 2, где $U_{\text{вых}}$ – напряжение на выходе фотодетектора, $U_{\text{вх}}$ – напряжение на порту смещения модулятора.

Характеристика передачи была описана с помощью функции

$$U_{\text{вых}} = U_0 + U_M \sin\left(\frac{2\pi}{U_\pi}(U_{\text{вх}} + U_{\text{вх}0})\right),$$

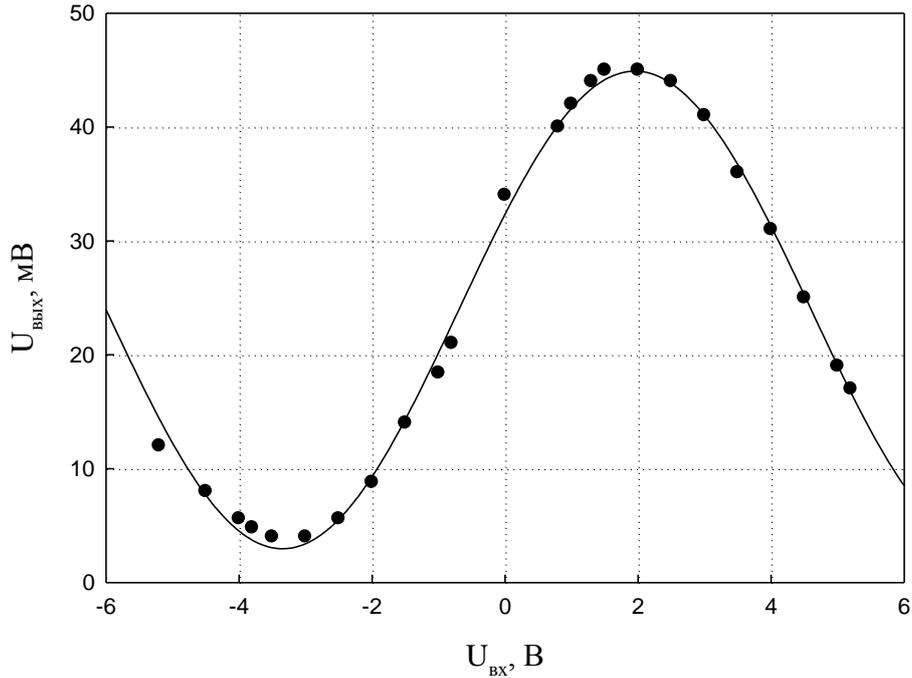


Рисунок 2.

где $U_0 = 23.9$ мВ – напряжение на выходе фотодетектора, соответствующее квадратурной точке модулятора; $U_M = 21$ мВ – размах функции передачи; $U_\pi = 5.3$ В – напряжение смещения, соответствующее полупериоду функции передачи; $U_{вх0} = 0.7$ В – напряжение смещения для первой квадратурной точки относительно нулевого напряжения смещения.

Наибольшая крутизна S характеристики передачи, которая достигается в квадратурной точке, может быть определена как $S = dU_{вых} / dU_{вх}$ при $U_{вх} = -U_{вх0}$. Для исследованной системы лазер-модулятор-фотодетектор при мощности излучения лазера 3 мВт и чувствительности фотодетектора 0.95 А/Вт крутизна характеристики передачи составляет $S = 2.5 \cdot 10^{-3}$, что соответствует величине -52 дБ.

Блок-схема установки для измерения характеристик сверхширокополосной аналоговой линии передачи СВЧ сигналов на основе радиофотонных элементов, которая включает в себя электрооптический модулятор с драйвером, оптический источник и фотодетектор с рабочим диапазоном частот до 25 ГГц для детектирования ВЧ-СВЧ огибающей оптического сигнала, представлена на рисунке 3. Результаты измерения АЧХ радиофотонной линии передачи представлены на рис.4 для мощности излучения оптического источника 7 мВт (СВЧ усилитель-драйвер настроен на коэффициент усиления +28 дБ).

Измерения величины коэффициента передачи S_{21} были проведены при различных мощностях излучения лазера. Рисунок 5 показывает изменение коэффициента передачи на частоте 10 ГГц при увеличении мощности оптического излучения лазера от 1 мВт до 17.4 мВт, которое составляет примерно 25 дБ (коэффициент передачи приведён с вычетом коэффициента СВЧ усилителя-драйвера и представляет собой «чистую» характеристику радиофотонного тракта). Аналитически изменение коэффициента передачи (ΔS_{21}) при изменении мощности оптического излучения от $P_{изл1}$ до $P_{изл2}$ может быть описано выражением $\Delta S_{21}[\text{дБ}] = 20 \log(P_{изл1}/P_{изл2})$. Логарифмический тренд, построенный по этому

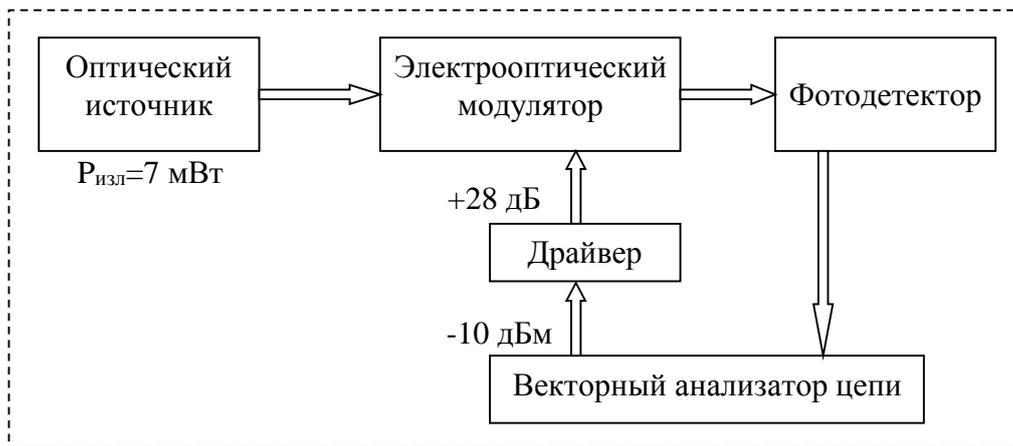


Рисунок 3.

выражению (кривая на рис. 5), хорошо согласуется с экспериментальными данными (точки на рис. 5). Кроме того, приведённые результаты хорошо соответствуют оценкам, сделанным на основе исследования характеристики передачи системы электрооптического модулятора (в частности S_{21} ($P_{изл} = 3$ мВт) равно -52 дБ, как это и следует из анализа рисунка 2.

Таким образом, представленная аналоговая линия передачи СВЧ сигналов на основе радиофотонных элементов обеспечивает передачу сигнала в полосе частот до 10 ГГц со средним коэффициентом передачи -11 дБ и неравномерностью, не превышающей 3 дБ.

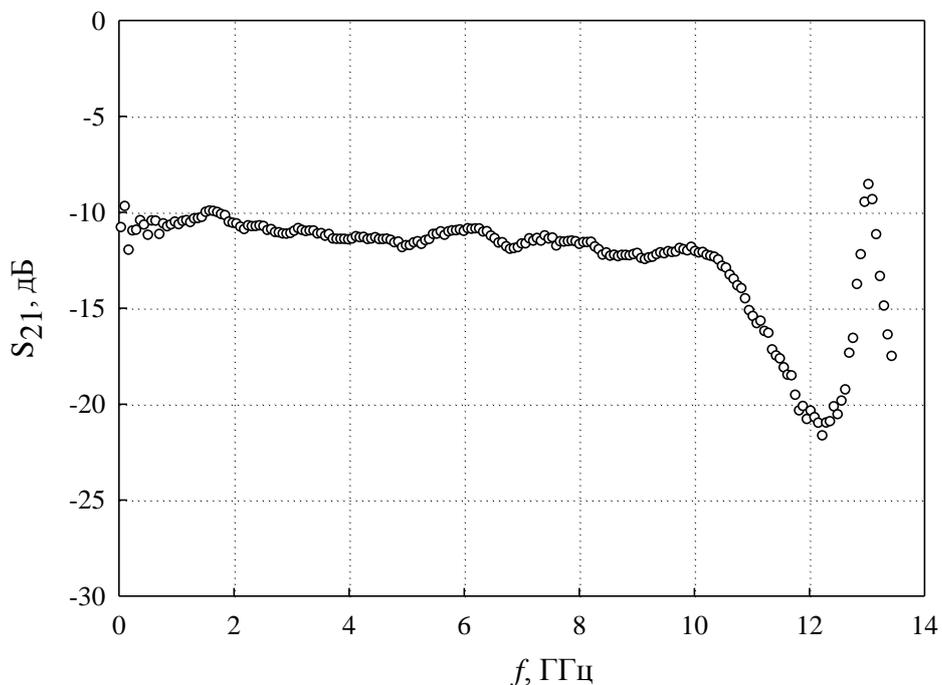


Рисунок 4.

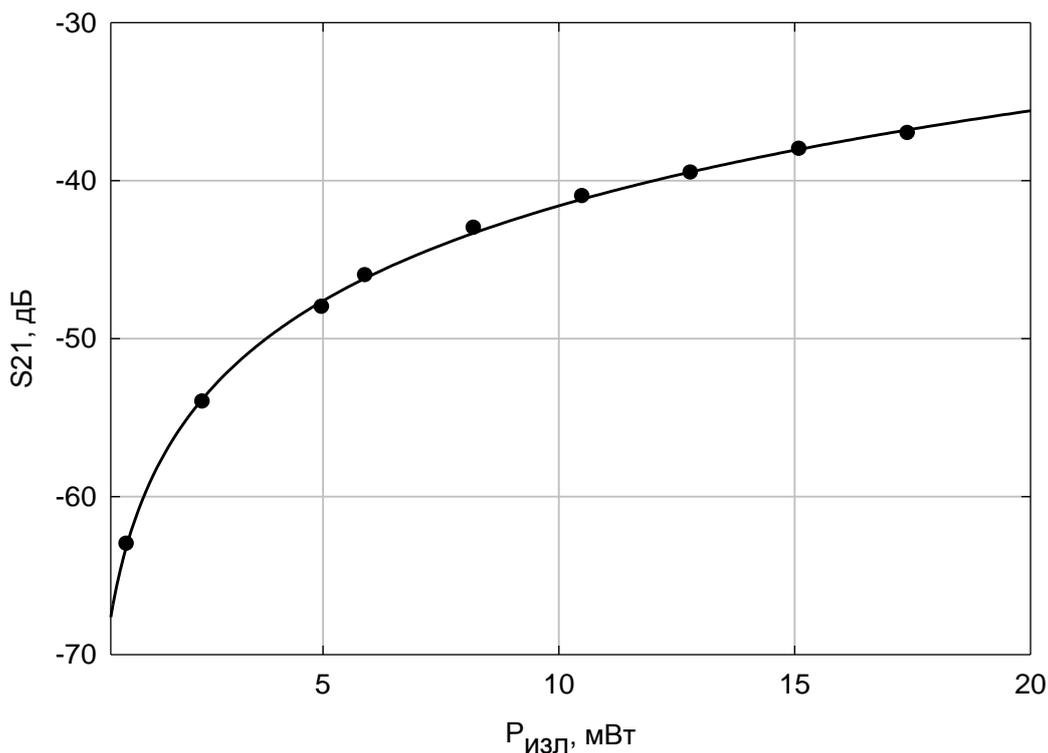


Рисунок 5.

Полоса пропускания представленной системы ограничивается рабочей полосой использованного СВЧ усилителя.

Библиографический список

1. Capmany J. Microwave photonics combines two worlds / José Capmany and Dalma Novak // – Nature Photonics. – 2007. – Vol. 1. – pp. 319-330.
2. Yao J. Microwave Photonics / Jianping Yao // – J. of Lightwave Technology. – 2009. – Vol. 27. – №3 – pp. 314-335.
3. Capmany J. Microwave Photonics / José Capmany, Guifang Li, Christina Lim, and Jianping Yao // – Optics Express. – 2013. – Vol. 21. – №19 – pp. 22862-22867.
4. Xu K. Microwave photonics: radio-over-fiber links, systems, and applications / Kun Xu, Ruixin Wang, Yitang Dai, Feifei Yin, Jianqiang Li, Yuefeng Ji, and Jintong Lin // – Photonics Research. – 2014. – Vol. 2. – №4 – pp. B54-B63.
5. Optilab [Электронный ресурс]: 1550 nm, 20 GHz Bandwidth Intensity Modulator (IM-1550-20) Режим доступа: <http://www.optilab.com/images/datasheets/IM-1550-20.pdf>.
6. Optilab [Электронный ресурс]: 12 GHz Modulator Driver w/ Adjustable DC Bias (MD-12-DC) Режим доступа: <http://www.optilab.com/images/datasheets/MD-12-DC.pdf>.