

А.А. Белоусов, А.А. Дубровская

ОАО "Центральное конструкторское бюро автоматики"

Принцип построения аналоговой волоконно-оптической линии связи

Приведены результаты экспериментальных исследований сверхширокополосной аналоговой ВОЛС диапазона СВЧ, реализованной с использованием внешней модуляции.

Ключевые слова: аналоговая линия передачи, аналоговый сигнал, ВОЛС, лазер, СВЧ

В настоящей статье приведен пример построения СВЧ тракта волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) для сверхширокополосной измерительной системы (СИС). Данная СИС разрабатывается, в рамках одной из перспективных работ нашего предприятия и предназначена для применения в области пассивной пеленгации с технологиями передачи радиочастотных сигналов по аналоговым ВОЛС на большое расстояние в широком диапазоне частот с использованием средств микроволновой фотоники. Применение этой технологии позволит решить проблему передачи сигналов между удаленными СВЧ блоками и антеннами без потерь.

Одним из способов передачи СВЧ сигнала по ВОЛС является прямая модуляция. Принцип прямой модуляции заключается в следующем: на вход лазерного диода с прямой модуляцией поступает СВЧ сигнал, который модулирует выходной оптический сигнал лазерного диода. Промодулированный оптический сигнал по оптоволоконной линии передается на модуль оптоэлектронный приемный, в котором преобразуется в СВЧ сигнал.

В качестве примера ВОЛС с прямой модуляцией можно привести серийно производимую ВОЛС ООО НПФ "Дилаз", г. Москва. Данная ВОЛС обладает следующими характеристиками [1]:

- диапазон рабочих частот от 1 до 12 ГГц;
- неравномерность АЧХ от минус 4 до 4 дБ;
- динамический диапазон более 106 дБ;
- коэффициент шума более 40 дБ;
- коэффициент передачи на 8 ГГц составляет минус 20,5 дБ.

ВОЛС с прямой модуляцией может использоваться для передачи аналогового сигнала на большие расстояния (более 50 м) в диапазоне частот от 0,1 до 12 ГГц (на данный момент неизвестны ВОЛС с прямой модуляцией в диапазоне от 0 до 40 ГГц).

Аналогичные ВОЛС имеют два основных недостатка: ограниченная полоса пропускания [2] и значительные нелинейные искажения, вызванные непосредственным поступлением СВЧ сигнала на лазер [3]. Во избежание этих недостатков рекомендуется использовать ВОЛС с внешней модуляцией. Принцип внешней модуляции заключается в следующем: на модулятор электрооптический с полупроводникового лазерного модуля поступает оптический сигнал, который модулируется входным СВЧ сигналом. Промодулированный оптический сигнал по оптоволоконной линии передается на модуль оптоэлектронный приемный, в котором преобразуется в СВЧ сигнал.

В качестве примера ВОЛС с внешней модуляцией можно привести ВОЛС фирмы «Photonic Systems». Данная ВОЛС обладает следующими характеристиками [4]:

- диапазон рабочих частот от 0 до 40 ГГц;
- неравномерность АЧХ 15 дБ, не более;
- коэффициент шума на 20 ГГц составляет 38 дБ;
- коэффициент передачи на 38 ГГц составляет минус 30 дБ.

Необходимо отметить что сотрудники «Photonic Systems» экспериментально доказали, что потери и Кш ВОЛС могут быть значительно снижены без использования входных и выходных усилителей электрического сигнала только за счет оптимального выбора схемы ВОЛС, энергетических режимов ее эксплуатации и снижения полуволнового напряжения электрооптического модулятора. При этом Кш может не превышать 10 дБ, а коэффициент передачи ВОЛС при этом может быть положительным [5, 6].

ВОЛС с внешней модуляцией может использоваться для передачи аналогового сигнала на большие расстояния (более 50 м) в диапазоне частот от 0 до 40 ГГц с минимальными потерями.

Для построения СВЧ тракта ВОЛС СИС возможно было бы рассмотреть ВОЛС с прямой модуляцией, но на данный момент ВОЛС с прямой модуляцией в диапазоне от 0 до 40 ГГц неизвестны. Поэтому для построения СВЧ тракта ВОЛС СИС использовалась ВОЛС с внешней модуляцией. За основу построения СВЧ тракта ВОЛС СИС взята ВОЛС «Photonic Systems».

Структурная схема СВЧ тракта ВОЛС для СИС приведена на рис. 1.

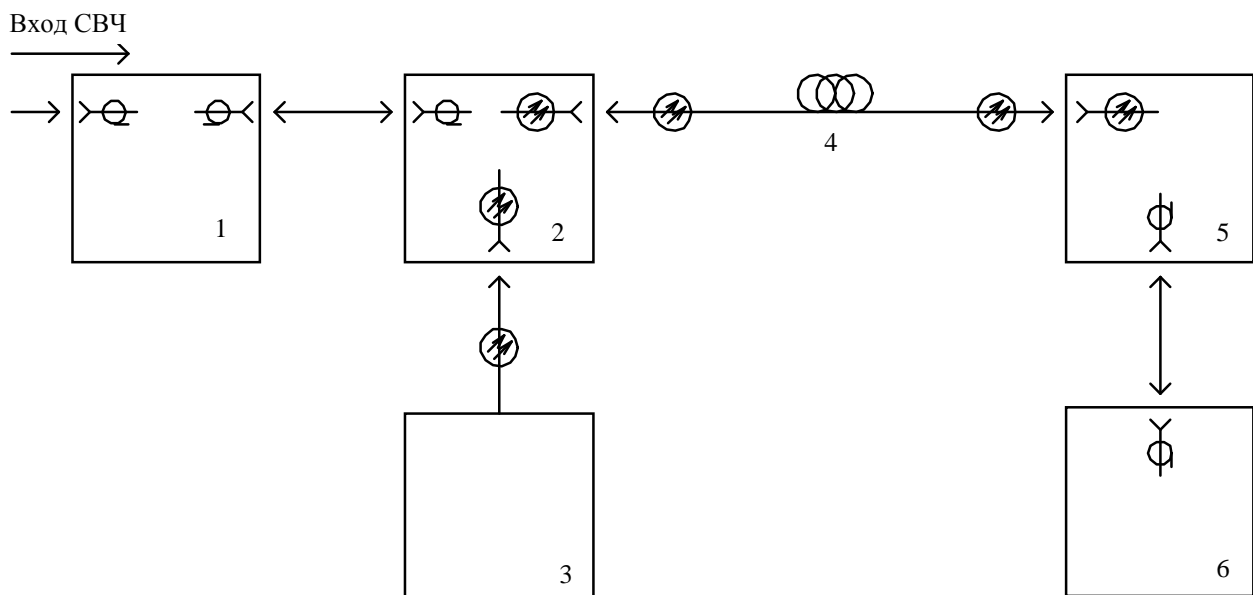


Рисунок 1

Здесь 1 – широкополосный малошумящий усилитель, 2 – модуль электрооптический передающий, 3 – лазерный модуль, 4 – волоконно-оптический кабель (длиной 100 метров)

с оптическими соединителями, 5 – модуль оптоэлектронный приемный, 6 – измерительный приемник.

Принцип работы СВЧ тракта ВОЛС заключается в следующем: принимаемый СВЧ сигнал поступает на широкополосный малошумящий усилитель, далее усиленный СВЧ сигнал поступает на оптический модулятор и модулирует световой луч, поступающий с лазерного модуля. С модулятора модулированный оптический сигнал по оптоволоконной линии передается на модуль оптоэлектронный приемный, в котором происходит обратное преобразование светового сигнала в СВЧ сигнал с минимальными искажениями. Далее преобразованный СВЧ сигнал поступает на измерительный приемник для дальнейшей обработки.

Основным показателем качества СИС в условиях эксплуатации является высокая чувствительность на входе приемного устройства - 1 мкВ, не менее, в рабочем диапазоне частот (0,3 – 40 ГГц). Следовательно, пороговая чувствительность ($P_{\text{пор}}$) для случая волнового сопротивления $Z_B = 50 \text{ Ом}$ составит минус 137 дБ/Вт ($P_{\text{пор.тр.}} = U^2/Z_B = 0,2 \times 10^{-13} \text{ Вт}$).

Оценим возможность изготовления вышеуказанной СИС с заданным параметром чувствительности, исходя из имеющейся информации о параметрах анализаторов спектра и малошумящих усилителей СВЧ. Все расчеты проведены для верхней границы диапазона частот 40 ГГц.

Известно, что коэффициент шума имеет линейную зависимость от коэффициента передачи, следовательно, имея частотную зависимость K_p и частотную зависимость $K_{ш}$ на частоте 20 ГГц, определим методом пролонгирования частотную зависимость $K_{ш}$ вышеуказанной ВОЛС в полосе рабочих частот. Таким образом, $K_{ш}$ данной ВОЛС на 40 ГГц составит 44 дБ, а K_p равно минус 28 дБ.

В качестве измерительного прибора предполагается использовать анализатор спектра ESIB40, спектральная чувствительность которого составляет минус 146 дБ/Вт на частоте 40 ГГц, минимальная полоса приема 10 Гц. Определим коэффициент шума анализатора спектра ($K_{ш.ас}$, раз) по формуле

$$K_{ш.ас} = \frac{P_{\text{пор}}}{kT \times \Delta F}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пор}}$ – пороговая чувствительность анализатора спектра, Вт; k – постоянная Больцмана, Дж/К; T – температура окружающей среды, К; ΔF – полоса приема анализатора спектра, Гц.

Таким образом, $K_{ш}$ анализатора спектра ESIB40 на частоте 40 ГГц составит 48 дБ.

Для построения СВЧ тракта ВОЛС СИС предполагается использовать широкополосный (0 – 40 ГГц) малошумящий (3 дБ, не более) усилитель зарубежной фирмы «B&Z Technologies» [7]. Использование широкополосного малошумящего усилителя необходимо для компенсации коэффициента шума ВОЛС.

Исходя из имеющихся данных, определим зависимость $K_{ш}$, раз, тандема СВЧ тракт ВОЛС СИС + анализатор спектра от коэффициента усиления усилительного тракта СИС по формуле

$$K_{ш} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{y1}}, \quad (2)$$

где $K_{ш1}$ – коэффициент шума СВЧ тракта ВОЛС СИС, раз; $K_{ш2}$ – коэффициент шума анализатора спектра, раз; K_{y1} – коэффициент усиления СВЧ тракта ВОЛС СИС, раз.

Далее рассчитаем зависимость пороговой чувствительности $P_{пор}$, Вт, тандема СВЧ тракт ВОЛС СИС + анализатор спектра от коэффициента усиления усилительного СВЧ тракта ВОЛС СИС для различных значений ширины полосы приема анализатора спектра, по формуле

$$P_{пор} = kT\Delta F K_{ш}, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана, Дж/К; T – температура окружающей среды, К; ΔF – полоса приема измерительного приемника, Гц; $K_{ш}$ – коэффициент шума, определенный по формуле (2), раз.

Полученные результаты зависимости пороговой чувствительности тандема СВЧ тракт ВОЛС СИС + анализатор спектра от K_u усилительного СВЧ тракта ВОЛС СИС на 40 ГГц при различных $K_{ш}$ СВЧ тракта ВОЛС СИС (от 2 до 14 дБ) и различных полос приема анализатора спектра приведены на рис. 2.

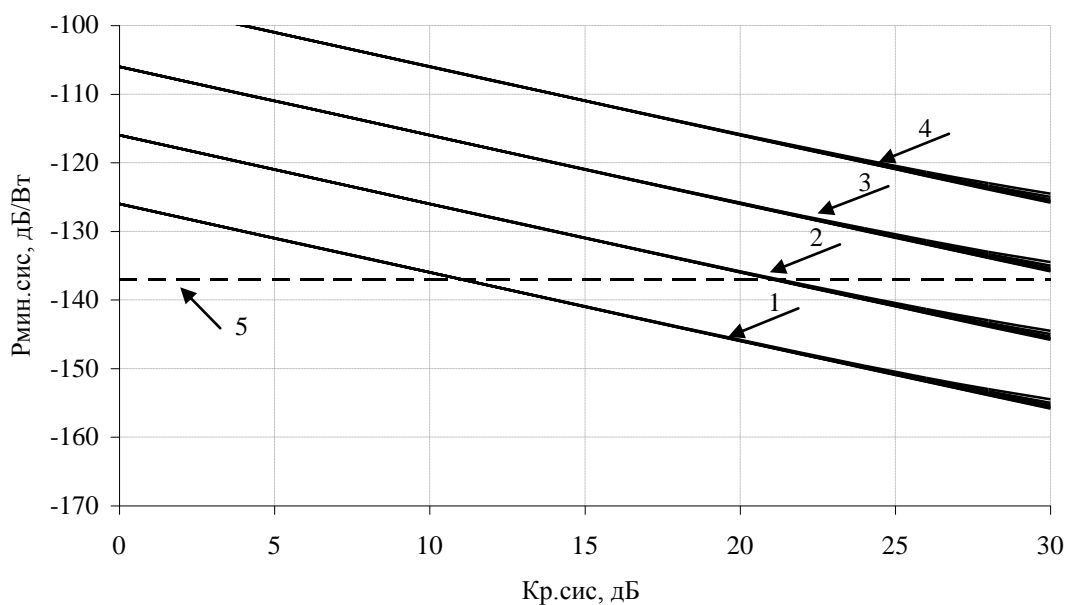


Рисунок 2.

Здесь 1 – полоса приема 1 кГц, 2 – полоса приема 10 кГц, 3 – полоса приема 100 кГц, 4 – полоса приема 1 МГц, 5 – опорный уровень.

Аналогичные расчеты были проведены для частот 0,3 ГГц и 18 ГГц.

Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что требуемая чувствительность достигается при определенных K_u входного каскада СВЧ тракта ВОЛС СИС.

Необходимо отметить следующее:

- использование методов микроволновой фотоники позволяет производить сверхширокополосные линии передачи СВЧ сигналов в виде ВОЛС, которые в

ближайшие годы будут широко востребованы на рынке радиоэлектроники;

- использование данных ВОЛС позволит, как минимум снизить массу микроэлектронных устройств (МЭУ), а как максимум создать новые изделия с качественно более высокими электрическими параметрами и новыми функциональными возможностями.

Библиографический список

1. Иванов А. В. Исследование шумовых характеристик и динамического диапазона унифицированного комплекта ПОМ-27 и ПРОМ-15, а также комплекта ПОМ-27 и ПРОМ с предусилителем / Иванов А. В., Исаев Д. С., Курносое В. Д., Симаков В. А., Чернов Р. В. // 21-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии": сборник материалов конференции (Севастополь, 12-16 сентября 2011 г.). – Севастополь, 2011. – С. 357-358
2. <http://porto.polito.it/1400870/1/1400870.pdf>
3. http://ndo.sibsutis.ru/magistr/courses_work/vosp_work/lec4.htm
4. http://www.photonicsinc.com/2600_20L_series.html
5. Edward I. Ackerman Achieving Low-Noise-Figure Photonic Links without Pre-amplification / Edward I. Ackerman, Gary E. Betts, William K. Burns, Charles H. Cox, Mary R. Phillips, and Harold Rousell // photonicsinc.com
6. E. Ackerman Signal-to-noise performance of two analog photonic links using different noise reduction techniques / E. Ackerman, G. Betts, W. Burns, J. Campbell, C. Cox, N Duan, J. Prince, M. Regan, and H. Rousell // IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., Honolulu, Hawaii, pp. 51-54, Jun 2007.
7. <http://www.bnzttech.com>