

Применение метода оптического гетеродинамирования для приема сигналов L-диапазона

А.В. Васильев¹, О.В. Григораш²

¹ *Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ*

² *АО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко»*

Аннотация: В данной работе рассматривается применение метода оптического гетеродинамирования для обработки сигналов приемного устройства. Моделирование разработанной схемы проводилось в среде OptiSystem. Так же представлены результаты моделирования, поясняющие принцип работы данной схемы.

Ключевые слова: оптическое гетеродинамирование, радиочастота, L-диапазон, спектр сигнала.

Вводная часть

В настоящее время L-диапазон используется для наземной и спутниковой радиосвязи. Применение оптической обработки сигнала в приемном устройстве L-диапазона интересен тем, что в данном диапазоне работают такие системы навигации как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, различные системы опознавания и сети мобильных телефонов [1].

Использование фотонных технологий в радиотехнических, в частности, радиолокационных системах позволяет добиться следующих преимуществ [2,7]:

- низкие потери при передаче сигнала;
- широкая полоса аналоговых линий связи;
- высокая достоверность передачи информации;
- нечувствительность к внешним помехам и ЭМИ.

Экспериментальная часть

Как известно, чувствительность приемного устройства в основном ограничивается двумя факторами:

- усилением приемника, т.е. необходимостью получения на его выходе требуемого $U_{свх}$;
-

- собственными шумами приемника, т.е. необходимостью получения требуемого отношения $(U_c/U_{ш})_{вых}$ [3,8].

Первое требование в современных приемных устройствах реализуется легко, поскольку в супергетеродинном приемнике можно получить практически любой коэффициент усиления.

Ниже на рисунке представлена типовая структурная схема супергетеродинного приемника.

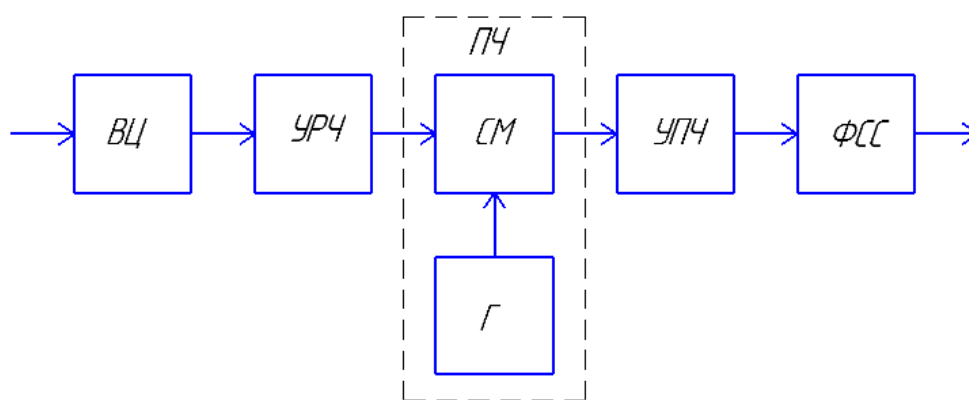


Рис.1 Структурная схема супергетеродинного приемника

Вычислим коэффициент шума такого приемного устройства по известной формуле:

$$N_{общ} = N_{ВЦ} + \frac{N_{УРЧ}-1}{K_{ВЦ}} + \frac{N_{ПЧ}-1}{K_{ВЦ}K_{УРЧ}} + \frac{N_{УПЧ}-1}{K_{ВЦ}K_{УРЧ}K_{ПЧ}} + \frac{N_{ФСС}-1}{K_{ВЦ}K_{УРЧ}K_{ПЧ}K_{УПЧ}}$$

Типовые значения коэффициента усиления и коэффициента шума составных частей приемника:

$$\begin{aligned} K_{ВЦ} &= 0,7; & Ш_{вц} &= 1/0,7 = 1,43; \\ K_{УРЧ} &= 10; & Ш_{урч} &= 3; \\ K_{ПЧ} &= 0,2; & Ш_{пч} &= 5; \\ K_{УПЧ} &= 8; & Ш_{упч} &= 6; \\ K_{ФСС} &= 0,7; & Ш_{фсс} &= 1,43; \end{aligned}$$

$$N_{общ} = 1,43 + \frac{3-1}{0,7} + \frac{5-1}{0,7 \cdot 10} + \frac{6-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,2} + \frac{1,43-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 8} = 8,47$$

Согласно методу оптического гетеродинамирования [4,10], структурная схема приемного устройства с оптической обработкой сигнала будет выглядеть следующим образом:

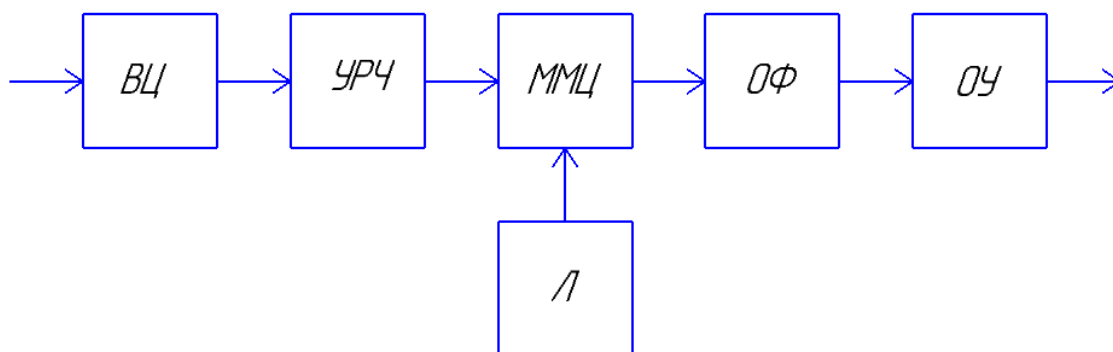


Рис.2. Структурная схема приемника с оптической обработкой

Где:

- ММЦ - модулятор Маха-Цендера;
- ОФ - оптический фильтр;
- ОУ - оптический усилитель.

Значения коэффициента усиления и коэффициента шума составных частей приемника:

$$\begin{aligned} K_{ВЦ} &= 0,7; & Ш_{вц} &= 1/0,7 = 1,43; \\ K_{УРЧ} &= 10; & Ш_{урч} &= 3; \\ K_{ММЦ} &= 0,733; & Ш_{ммц} &= 3; \\ K_{ОФ} &= 1,43; & Ш_{оф} &= 1,43; \\ K_{ОУ} &= 10; & Ш_{оф} &= 4; \end{aligned}$$

$$N_{сш} = 1,43 + \frac{3-1}{0,7} + \frac{3-1}{0,7 \cdot 10} + \frac{1,43-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,733} + \frac{4-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,733} = 4,72$$

Ниже на рисунке представлена промоделированная схема приемного канала с применением оптической обработки сигнала и осциллограммы, поясняющие работу данной схемы [5].

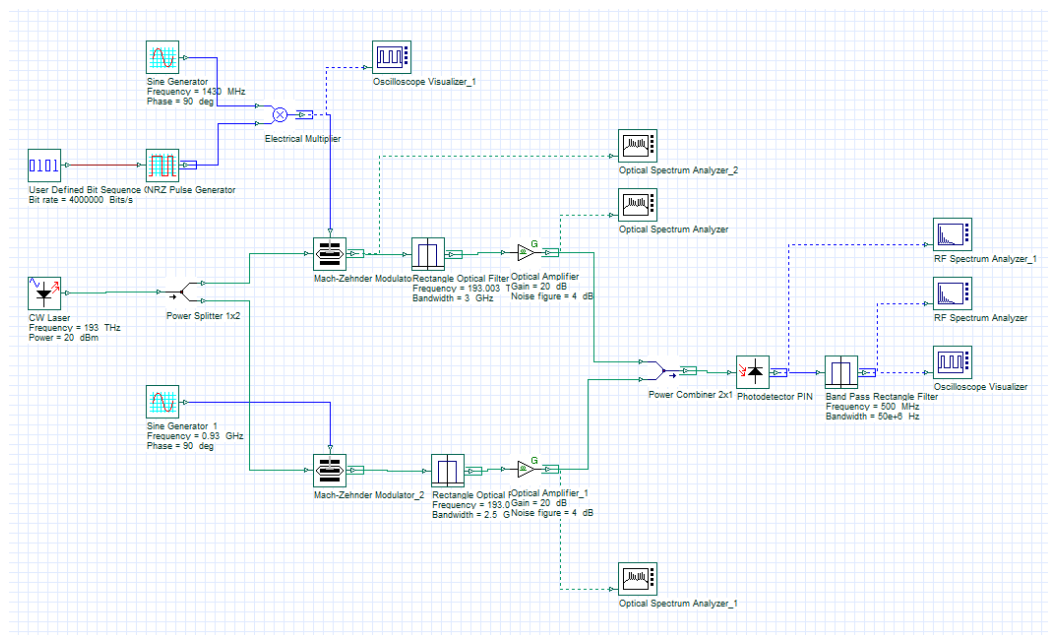


Рис.3 Схема приемного тракта

На рис. 4 представлена спектрограмма сигнала на выходе модулятора Маха-Цендера, которая получается путем смешивания сигнала радиочастоты и оптического сигнала от лазера.

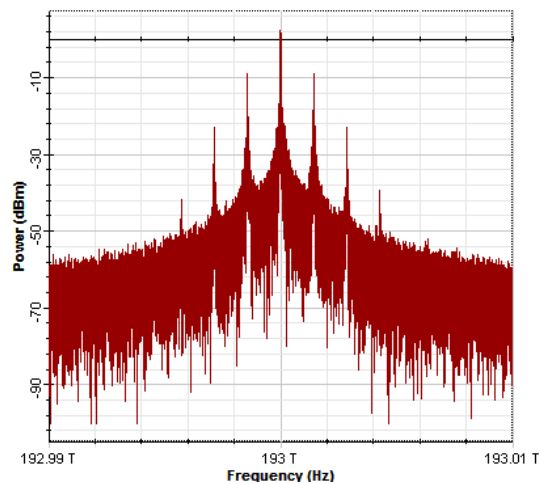


Рис.4 Спектр сигнала на выходе ММЦ

На рис. 5 представлена осциллограмма сигнала на выходе фотодетектора [10]. Центральная частота сигнала равна частоте ПЧ, а форма сигнала совпадает с формой принимаемого радиочастотного сигнала.

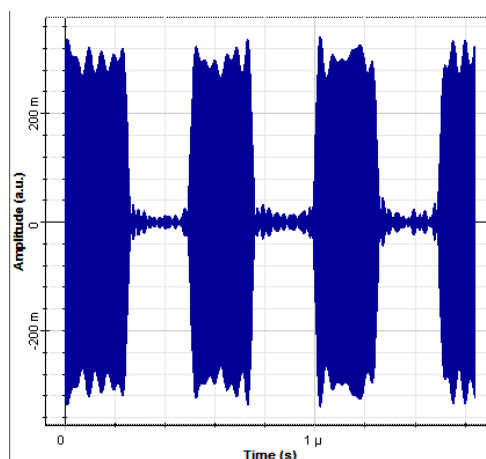


Рис.5 Сигнал на выходе фотодетектора

Выводы

Применение метода оптического гетеродирования позволяет преобразовать принимаемый широкополосный СВЧ сигнал на промежуточную с высоким соотношением сигнал/шум для дальнейшего оцифровывания низкочастотными коммерческими АЦП.

Литература

1. Белоусов А.А., Вольхин Ю.Н., Гамиловская А.В., Дубровская А.А., Тихонов Е.В О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн// Прикладная фотоника – ПНИПУ 2014 С. 65-86.
2. Колосовский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов.-2007.-456с.
3. Киселев В.Н., Мишин Д.В., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Анализ влияния погрешностей синхронизации на помехоустойчивость оптического приемника // XV международная научно-техническая конференция «Оптические технологии в телекоммуникациях», Казань 2017 г. С. 174-177.
4. Фасхутдинов Л.М., Нуреев И.И., Морозов О.Г Модуляционный метод измерения поляризации // XV международная научно-техническая

конференция «Оптические технологии в телекоммуникациях», Казань 2017 г. С. 153-154.

5. Валуев В.В., Кулагин В.В. Экспериментальное исследование радиотонного приемного канала на основе оптического гетеродинамирования в диапазоне частот порядка 10 ГГц// сб. тр. XV Всероссийской школы-семинара «Волновые явления в неоднородных средах» им. пр. Сухорукова А.П. Радиотоника. С.14-17.

6. Лерер А.М., Головачева Е.В., Грибникова Е.И., Иванова И.Н., Махно В.В., Махно П.В. Многослойные двухмерно-периодические поглощающие структуры оптического диапазона // Инженерный вестник Дона, 2017, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4528.

7. Ефимов В.О., Пикулев А.Н., Дорогов Н.В. Оптическая рефракция и модельные методы учета ее влияния на характеристики дальномерного тракта лазерного локатора слежения // Инженерный вестник Дона 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4314

8. Marcin Malinowski, Ashutosh Rao Optical frequency comb generation by pulsed pumping // APL Photonics 2017. 139 p.

9. Iman Esmaeil Zadeha, Johannes W. N. Los. Single-photon detectors combining high efficiency, high detection rates, and ultra-high timing resolution // APL Photonics 2017. 261 p.

10. Алимов А.П., Змий Б.Ф. Синтез усилителей промежуточной частоты с повышенными показателями качества // Инженерный вестник Дона, 2017 №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4027

References

1. Belousov A.A., Volhin Ju.N., Gamilovdkaja A.V., Dubrovskaja A.A., Tihonov E.V. O primenenii metodov i sretstv radiofotoniki dlja obrabotki signalov decimetrovogo, santimetrovogo i millimetrovogo diapazonov dlin voln [On the application of methods and means of radiophotonics for the processing of signals



of the decimeter, centimeter and millimeter wavelength ranges]. Prikladnaja fotonika, 2014. pp.65-86

2. Kolosovskij E.A. Ustrojstva priema i obrabotki signalov [Devices for receiving and processing signals]. Uchebnik dlja vuzov, 2007. 456 p.

3. Kiselev V.N., Mishin D.V., Pashincev V.P., Chipiga A.F. XV mezhdunarodnaja nauchno tehničeskaja konferencija, 2017. pp.174-177

4. Fashutdinov L.M., Nureev I.I., Morozov O.G. XV mezhdunarodnaja nauchno tehničeskaja konferencija, 2017. pp.153-154

5. Valuev V.V., Kulagin V.V. Eksperimental'noe issledovanie radiofotonnogo priemnogo kanala na osnove optičeskogo geterodinirovanija [Experimental study of a radio-photon reception channel based on optical heterodyning]. Sbornik trudov XV Vserossijskoj shkoly-seminara "Volnovje javlenija v neodnorodnih sredah". Radiofotonika, pp.14-17

6. Lerer A.M., Golovacheva E.V., Gribnikova E.I., Ivanova I.N., Mahno V.V., Mahno P.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4528.

7. Efimov V.O., Pikulev A.N., Dorogov N.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4314.

8. Marcin Malinowski, Ashutosh Rao APL Photonics 2017. 139 p.

9. Iman Esmaeil Zadeha, Johannes W. N. Los. APL Photonics 2017. 261 p.

10. Alimov A.P., Zimij B.F. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017 №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4027.