

Применение методов оптического гетеродинамирования в приемопередающих системах СВЧ диапазона

Бирюков В. В., Грачев В. А., Капустин С. А., Малышев К. А., Раевский А. С.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
ул. Минина, 24, Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация
physics@nntu.ru

Аннотация: Сигнал оптического диапазона смешивается с опорным излучением от гетеродина на светочувствительной площадке фотодетектора. На выходе фотодетектора формируется сигнал биений с частотой, соответствующей разности длин оптических волн гетеродина и информационного светового сигнала. Эта частота биений, выделяемая детектором, должна находиться в радиоволновом диапазоне, а значит полученный сигнал может быть обработан электронными средствами.

1. Введение

Области применения оптического гетеродинамирования постоянно расширяются [1-5]. Суть гетеродинамирования сводится к переносу исследуемого частотного интервала в область промежуточных частот за счет сложения регистрируемого сигнала с излучением эталонного источника на нелинейном детекторе. Если в микроволновом и терагерцевом диапазонах спектра гетеродинный прием сигнала широко распространен и является основным методом спектрального анализа сигнала, то в оптическом диапазоне он применяется значительно реже, несмотря на доступность высокостабильных лазеров, которые могут использоваться в качестве гетеродинов. В первых работах по лазерному гетеродинамированию в качестве гетеродина применялись обычно СО₂-лазеры, а в последние два десятилетия получили распространение диодные лазеры, позволившие существенно увеличить спектральный диапазон регистрации полезного сигнала.

2. Объекты исследований и методика эксперимента

Была собрана экспериментальная установка, состоящая из двух лазерных диодов имеющих длину волны 1550,27 нм и 1550,35 нм для получения на выходе разностной частоты равной 10 ГГц. Выходные сигналы от двух лазеров объединяются в ответвителе и смешиваются на р-і-п-фотодиоде. Для контроля и стабилизации частоты одного лазера менялось напряжение подаваемое на излучатель.

Когерентный прием, в котором применяется гетеродинное и гомодинное оптическое преобразование частоты независимо от вида демодуляции, осуществляется по промежуточной частоте. При оптическом гетеродинамировании на входе фотоэлемента смешиваются сигнал мощностью P_c и излучение гетеродина мощностью P_r . Смешение осуществляется с помощью оптического устройства, к которому предъявляются жесткие требования, обеспечивающие точное совмещение волновых фронтов.

В процессе оптического гетеродинамирования происходит усиление сигнала, которое приводит к тому, что основным становится дробовой шум, обусловленный излучением гетеродина, так как мощность его превосходит мощность других потоков. Коэффициент усиления гетеродинного преобразователя – отношение мощности на промежуточной частоте, рассеиваемой на входном сопротивлении усилителя, к мощности оптического сигнала – может быть большим при использовании мощного гетеродина.

В идеальном случае гетеродинного приема минимально обнаружимый сигнал определяется выражением

$$P_{с\ мин} = (с/ш)hv \frac{F}{\eta} \Delta f$$

при $с/ш = 1$, $\eta = 1$, $F(M) = 1$ получим $P_{с\ мин} = hv\Delta f$, т.е. реализуется чувствительность, равная теоретическому пределу, определяемому фотонным шумом.

При оптическом гетеродинамировании сохраняется информация о частоте и фазе сигнала, т.е. возможна фазовая модуляция принимаемого излучения. При использовании одномодового ОВ на

приемной стороне необходимо устанавливать поляризационный контроллер (ПК), совмещающий плоскость поляризации местного оптического гетеродина с плоскостью поляризации сигнального излучения. В оптическом гетеродинном приемнике сигнал суммируется в оптическом соединителе с излучением оптического гетеродина и подается на квадратичный фотодетектор.

Излучение гетеродина, как и лазера передатчика, должно быть узкополосным, тогда в результате нелинейного преобразования суммарного сигнала фотодетектором на его выходе появляется сигнал промежуточной частоты. Демодуляция сигнала промежуточной частоты осуществляется синхронным или несинхронным демодулятором (ДМ) или в случае цифровой ФМ – фазоразностной схемой.

Контур автоподстройки частоты (АПЧ) обеспечивает регулировку частоты лазерного гетеродина и удержания значения разностной частоты в пределах частотной полосы усилителя промежуточной частоты, следующего за ФД и ДМ. В отличие от гетеродинного при гомодинном методе приема частоты колебания принимаемого оптического излучения и местного оптического гетеродина должны быть одинаковы, а фазы синхронизированы. При этом демодулированный сигнал на выходе ФД имеет частотный спектр, сдвинутый в область низких частот и полное восстановление сигнала осуществляется фильтром низкой частоты (ФНЧ). Главным отличием гомодинного приема от гетеродинного является уменьшенная в 2 раза требуемая полоса частот, что снижает дисперсии шумов также в 2 раза. При этом отношение с/ш оказывается лучше в 2 раза, а это существенно увеличивает чувствительность ФП.

4. Заключение

Когерентные волоконно-оптические системы имеют неоспоримые достоинства: чувствительность гетеродинных и гомодинных приемных устройств ограничивается только уровнем дробовых шумов излучения гетеродина, которая приближается к квантовому пределу детектирования в оптическом диапазоне. По чувствительности такие устройства превосходят реальные приемные устройства прямого детектирования на 10 – 20 дБ. Сочетание этих систем и спектрального разделения каналов позволяет достаточно полно использовать окно прозрачности с малыми потерями в ОВ, а высокая спектральная селективность оптического когерентного детектирования дает возможность применять оптические усилители с улучшенными шумовыми характеристиками и осуществлять каскадирование усилителей. При синхронизации оптических источников в результате гетеродинного преобразования возможно формирование радиосигнала с частотой, изменяющейся в широких пределах при перестройке гетеродина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда в рамках выполнения работ по гранту №17-19-01628

Список литературы

1. Протопопов В. В., Устинов Н. Д. Лазерное гетеродинирование // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – с. 5 – 20.
2. Оптические системы передачи / Б.В. Скворцов, В.И. Иванов, В.В. Крухмалев и др. /под ред. В.И. Иванова. –М.: Радио и связь, 1994.
3. Ramos, R. T. Fast heterodyne optical phase-lock loop using double quantum well laser diodes / R.T. Ramos, A.J. Seeds // Electron. Lett. - 1992. - V. 28. - No 7. - P. 82-83.
4. Chen, X. Photonic generation of microwave signal using a dualwavelength single-longitudinal-mode fiber ring laser / X. Chen, Z. Deng, J.P. Yao // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. - 2006. - V. 54. - No 2. - P. 804-809.
5. Червяков, Г.Г. Фотоприемные устройства/ Г.Г. Червяков, С.С.Шибяев. -Таганрог: Известия ТРТУ. - 1998. - №3.