

09;10

О генерации спектрально-кодированных сигналов в некогерентных системах оптической связи на базе многополосных акустооптических фильтров

© В.В. Проклов, О.А. Бышевский-Конопко, А.Л. Филатов

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязино
E-mail: proklov@inbox.ru

Поступило в Редакцию 8 декабря 2014 г.

Исследованы новые акустооптические методы и средства, необходимые для создания некогерентных систем оптической связи с кодовым разделением множественного доступа (O-CDMA — optical code division multiple access). На базе многополосного акустооптического фильтра создано и детально исследовано первое устройство генерации спектрально-кодированных сигналов для высокоскоростных оптических систем O-CDMA с оптимальным спектральным уплотнением. Показано, что современная акустооптическая технология принципиально позволяет преодолеть проблемы, затруднявшие переход оптических систем на принципы передачи данных с кодовым разделением каналов.

В последние годы наблюдается большой интерес к разработке и созданию оптических систем на базе хорошо зарекомендовавшего себя в радиоэлектронике принципа передачи данных с кодовым разделением каналов (CDMA — code division multiple access), доминирующего в области создания поколений 3G- и 4G-систем мобильной связи [1]. К настоящему времени в ряде работ были выработаны определенные физические соображения о том, что на базе современной акустооптики принципиально возможен перенос идеи CDMA из радиодиапазона в оптический (см., например, [2–7]). Вместе с тем в этой области пока нет достаточной проработки ряда существенных вопросов по созданию адекватной элементной базы новой оптической телекоммуникационной системы (O-CDMA), таких как возможности обеспечения необходимого сочетания составов и высокой точности реализации энергетических

спектров света и звука, оценки предельных величин пропускной способности и т. п.

Целью данной работы явилось проведение первого комплексного исследования принципиальной возможности создания адекватных акустооптических средств перспективной телекоммуникационной системы O-CDMA на примере создания и изучения возможных параметров ключевого элемента таких систем — генератора спектрально-кодированных сигналов на базе использования стандартного LED-источника некогерентного излучения и одной из современных конструкций многополосных акустооптических фильтров.

Тип рассматриваемого акустооптического кодера системы O-CDMA определялся с учетом следующих факторов:

1. В оптических некогерентных системах CDMA, в отличие от известных радиоэлектронных систем, необходимо решать специфические еще не решенные проблемы типа интеграции широкополосных источников некогерентного излучения (светодиодов) с многополосными акустооптическими фильтрами (МАОФ) и выбора типа однополярных кодов, которые при использовании балансной схемой их декодирования могут обеспечивать высокую спектральную эффективность системы связи [3,6].

2. Ранее в нескольких проектах [2,4] систем O-CDMA предлагалось использовать планарные МАОФ на базе волноводов в кристаллах LiNbO_3 , в которых достоинство высокой энергетической эффективности, к сожалению, сопряжено со специфическими трудностями реализации необходимой сетки частот пропускания из-за характерных эффектов модовой дисперсии света и др. По этой причине в данной работе рассматривается более перспективный проект O-CDMA на базе объемной геометрии АО-взаимодействия, где отсутствует такая дисперсия световых волн, а именно, выбран объемный тип МАОФ на основе TeO_2 в известной неколлинеарной широкоугольной геометрии фильтра [7] в сочетании со светодиодом на базе структуры GaAs/GaAlAs.

3. Для оптимизации спектральной эффективности линий передачи O-CDMA следует учитывать установленную ранее в [6] статистическую закономерность — оптимальное расстояние между соседними спектральными чипами в передаваемых кодах должно быть на уровне двух-трехкратного критерия Рэлея.

4. Важно иметь в виду, что возможные при многочастотной АО-дифракции искажения дифракционного поля первого порядка очень

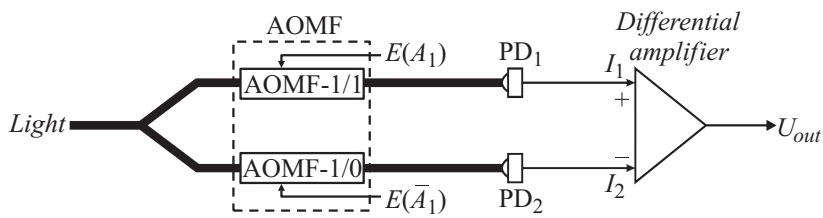


Рис. 1. Схема „балансного приема“ с использованием прямых и комплементарных кодов.

сильно зависят от геометрии АО-взаимодействия, точнее, от частотной расстройки брэгговского синхронизма. Так, известно, что в АО-дефлекторах монохроматического лазерного излучения, использующих геометрию анизотропного широкополосного взаимодействия с относительно слабой частотной расстройкой синхронизма при высокой эффективности дифракции, возникают значительные вредные искажения дифракционного поля, связанные с нелинейными интермодуляционными эффектами высших дифракционных порядков [8]. Поэтому во избежание таких проблем в рассматриваемых МАОФ целесообразно, по возможности, использовать геометрию с максимально сильной частотной расстройкой [7]. При этом, однако, в МАОФ при сближении акустических частот могут возникать особые эффекты искажения формы спектральных оптических сигналов, вызванные линейной суперпозицией отдельных участков оптических пространственных спектров „соседствующих полос пропускания“ из-за близких частотных компонент звука. Как показало соответствующее моделирование, в рассматриваемой схеме с линейной балансной схемой декодирования упомянутый эффект нивелируется.

С учетом изложенного, в работе предложен и экспериментально исследуется АО-кодер, предназначенный для работы в одном из информационных каналов волоконно-оптической системы передачи данных, принципиальная схема и функционирование которой предложены и описаны в работе [6]. Принцип работы этой схемы коротко можно сформулировать так: у каждого из множества абонентов имеется „свой“ АО-кодер, формирующий индивидуальный кодовый набор спектральных линий $A(\lambda)$, формируемый в импульсах исходящего из него широкополосного некогерентного света, который далее поступает в общую

оптическую линию передачи наравне с аналогичными „индивидуальными“ импульсами от других абонентов. Общий поток на выходе линии разделяется на множество одинаковых каналов, поступающих и обрабатываемых во всех приемных абонентских терминалах путем применения согласованной фильтрации с использованием двух идентично построенных МАОФ (рис. 1). В одном из двух каналов МАОФ-1 имеет аппаратную функцию вида $A(\lambda)$, а в другом — комплементарную ей функцию $\bar{A}(\lambda)$. Оптические выходы обоих каналов претерпевают фотоэлектрическое преобразование и „складываются“ в балансном электронном усилителе, на выходе которого, согласно [3], образуется сигнал автокорреляционной функции (т.е. мощности) сигнала $A^2(\lambda)$, с обнулением при этом всех кросскорреляционных сигналов.

Точность рассматриваемых вычислений величин авто- и кросскорреляционных функций для бинарных спектральных кодовых последовательностей, естественно, требует реализации достаточно высокой идентичности их значимых спектральных компонент. Это представляет определенную проблему на этапе синтеза сигналов в АО-коде, поскольку в нем, как правило, необходимый спектральный диапазон сигналов сопоставим с шириной весьма ограниченного энергетического спектра излучения светодиода. Так, в используемом в работе светодиоде, излучающем в ближнем ИК диапазоне длин волн, исходная неравномерность излучения в рабочем диапазоне длин волн достигала 50% (см. ниже). По этой причине практически всегда возникает необходимость обеспечения достаточно сильного, особенно на краях полосы, „выравнивания“ кодовых „1“ с использованием МАОФ, управляемого специально синтезированными многочастотными сигналами [6,8].

Для реализации кодера О-CDMA нами был выбран объемный МАОФ на базе TeO_2 со спектральным диапазоном 900–1600 nm, диапазоном управляющих частот 55–100 MHz, спектральным разрешением 2 nm на длине волны 1152 nm и промышленно выпускаемый светодиод TSAL6200 на GaAS/GaAlAs с центральной длиной волны 940 nm, шириной полосы пропускания порядка 60 nm по уровню 3 dB, излучаемой мощностью 210 mW и углом расходимости $\pm 17^\circ$. Следует заметить, что в работе проводятся исследования физических аспектов построения новой элементной базы и потому не очень принципиально то, что выбранный диапазон длин волн излучения несколько отличается от широко используемых в волоконной оптике диапазонов около 1.3 и 1.55 μm . Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 2.

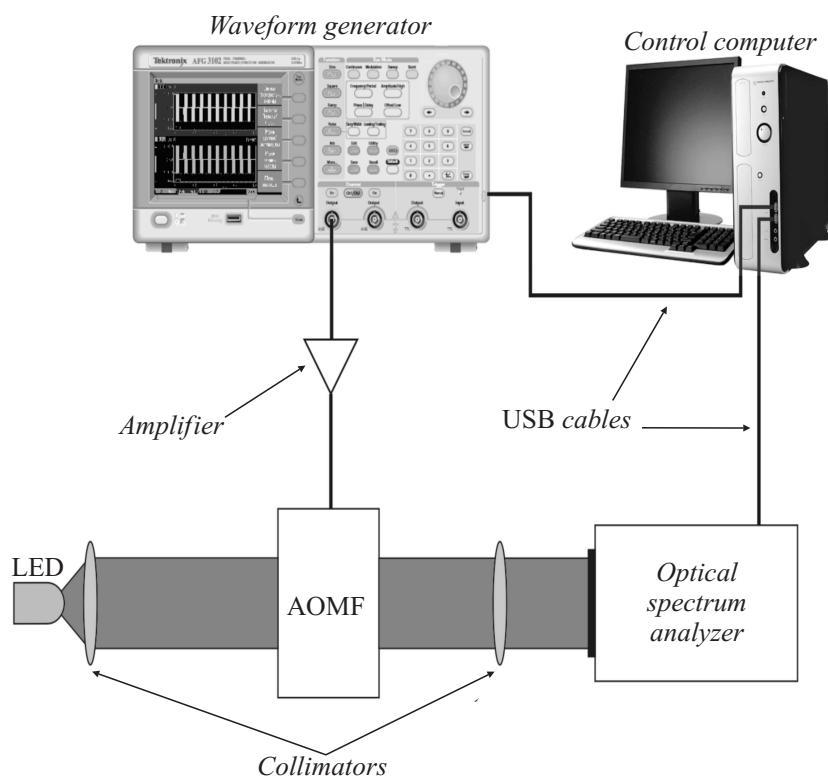


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки для измерения характеристик макета АО-кодера.

Управляющие сигналы для МАОФ, соответствующие различным кодовым функциям (для рассматриваемой схемы используются коды Уолша [9]), синтезировались с помощью управляющего ПК и загружались в память генератора сигналов произвольной формы Tektronix AFG3252. При возникновении во входной электрической цепи значительного интерференционного пик-фактора использовался известный метод его подавления фазированием частотных компонент [10]. Профиль сформированных на выходе МАОФ „спектрально различных оптических чипов“ измерялся автоматизированным спектральным

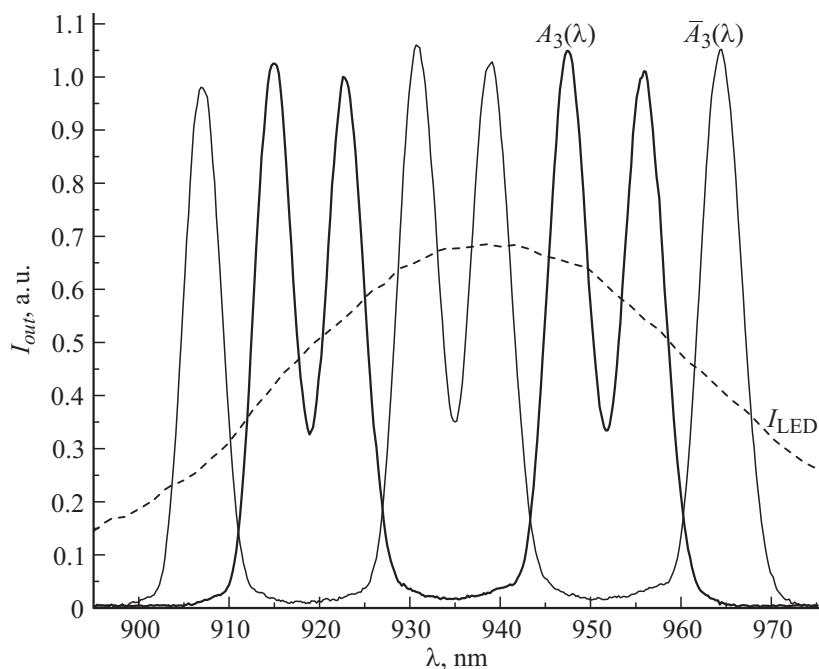


Рис. 3. Экспериментальная проверка эффективности выравнивания битов в АО-кодере для одного из пользователей.

комплексом КСВУ-2 (на базе решетчатого монохроматора МДР-23) и передавался для регистрации в управляющий ПК.

На рис. 3 показан результат (наихудший по однородности) экспериментальной проверки эффективности выравнивания битов прямой и комплементарной последовательностей в АО-кодере для одного из 5 возможных пользователей при использовании для кодировки 8-битных функций Уолша (там же пунктиром показаны результаты измерений непрерывного спектра мощности излучения светодиода).

Видно, что в рассмотренном типе спектрального кодера достигнут рекордно малый уровень неоднородности кодовых чипов (менее 5%). Расчеты показали, что использование аналогичных по точности МАОФ в декодере на приемной стороне рассматриваемой линии передачи данных не ухудшит ожидаемой максимальной скорости $\sim 5 \cdot 10^9 \text{ bits/s}$ [9].

Следует отметить, что реализация „выравнивания“ кодовых единиц в приемных МАОФ является более простой задачей по сравнению с ситуацией в кодерах, ибо в приемнике нет необходимости работать с высокими дифракционными эффективностями дифракции и соответственно меньше величина возможных частотных искажений.

Авторы благодарны д.ф.-м.н. Ю.В. Писаревскому за ценную помощь при проведении экспериментальной части работы, а также РФФИ за материальную поддержку работы в рамках грантов № 12-07-00186-а и 13-02-00479-а.

Список литературы

- [1] *Феер К.* Беспроводная связь (методы модуляции и расширения спектра). М.: Радио и связь, 2000.
- [2] *Hinkov I., Hinkov V., Iversen K., Ziemann O.* // Electron. Lett. 1995. V. 31. N 3. P. 384-386.
- [3] *Kavehrad M., Zaccarin D.* // J. Lightwave Technol. 1995. V. 13. N 3. P. 534.
- [4] *Proklov V.V.* // Proc. ISTC-Samsung Forum. Moscow, October 9–10, 2001. P. 42–46.
- [5] *Проклов В.В., Бышевский-Конопко О.А., Григорьевский В.И.* // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 9. С. 905–915.
- [6] *Проклов В.В., Бышевский-Конопко О.А., Григорьевский В.И.* // Квант. электрон. 2013. Т. 43. № 6. С. 542–545.
- [7] *Chang I.C.* // Opt. Engineering. 1977. V. 16. N 5. P. 455.
- [8] *Антонов С.Н., Вайнер А.В., Проклов В.В., Резвов Ю.Г.* // ЖТФ. 2008. Т. 78. В. 6. С. 79–83.
- [9] *Proklov V.V.* // Digest 12th International School on Acousto-Optics and Applications. Druskininkai, Lithuania on 29 June–3 July, 2014. P. 30.
- [10] *Ziemann O., Iversen K.* // SPIE. 2010. V. 2614. P. 142–152.