

УДК 621.373.826

МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА МНОГОКАНАЛЬНЫМИ ЦИФРОВЫМИ ТВ-СИГНАЛАМИ 64-QAM И 256-QAM

В. А. Варданян

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86
E-mail: vardgesvardanyan@mail.ru*

Разработана имитационная модель процесса модуляции лазерного диода многоканальными ТВ-сигналами 64-QAM и 256-QAM. Критерием оценки качества ТВ-сигнала принято отношение сигнал/шум (С/Ш). Исследуется влияние нелинейности ватт-амперной характеристики на С/Ш. Приведены результаты моделирования в виде зависимости максимального количества передаваемых каналов от глубины оптической модуляции при определённых требованиях С/Ш. Имитационная модель реализована на языке объектно-ориентированного программирования Delphi 7.

Ключевые слова: клиппирование, отношение сигнал/шум, поднесущий ТВ-канал.

Введение. В концепции развития телерадиовещания в Российской Федерации на 2008–2015 годы определены задачи перехода с аналогового на цифровое вещание. Параллельно с внедрением цифрового телерадиовещания развиваются и системы кабельного телевидения, особое место в которых занимают волоконно-оптические системы передачи (ВОСП). Очевидно, что наряду со стремительно развивающейся пакетной передачей ТВ-сигналов будет существовать необходимость экономически выгодной непосредственной доставки многоканального ТВ-сигнала без дополнительных преобразований до абонентского терминала (телевизор, ТВ-приставка и т. д.). Одним из методов такой передачи ТВ-сигналов цифрового вещания является квадратурная амплитудная модуляция поднесущей частоты (QAM — Quadrature Amplitude Modulation). Могут применяться QAM различных уровней: от 16 до 256. В многоканальных волоконно-оптических системах ТВ-вещания необходимо учитывать влияние интермодуляционных искажений, к которым особенно чувствительны аналоговые системы передачи [1]. Очевидно, что цифровые каналы менее чувствительны к таким искажениям благодаря меньшему значению требуемого отношения сигнал/шум (С/Ш). Однако применяемые сигналы QAM более чувствительны к импульсным и фазовым искажениям в волоконно-оптическом тракте. Источником этих искажений может являться нелинейность ватт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводникового лазерного диода (ЛД), который непосредственно модулируется по интенсивности групповым многоканальным сигналом на передающей стороне. Данные искажения могут появиться при превышении модулирующим групповым сигналом порогового тока идеального ЛД, что приводит к эффекту клиппирования (срезания) многоканального сигнала и, как следствие, к ухудшению отношения С/Ш. Поэтому вопросы проектирования ВОСП для цифрового ТВ-вещания в соответствии с заданными критериями качества являются актуальными.

Цель предлагаемой работы — дать оценку максимально возможного количества поднесущих каналов в зависимости от глубины оптической модуляции. Приводятся результаты имитационного моделирования процесса модуляции ЛД многоканальными ТВ-сигналами 64-QAM и 256-QAM (рис. 1). Программа написана на языке объектно-ориентированного программирования Delphi 7.

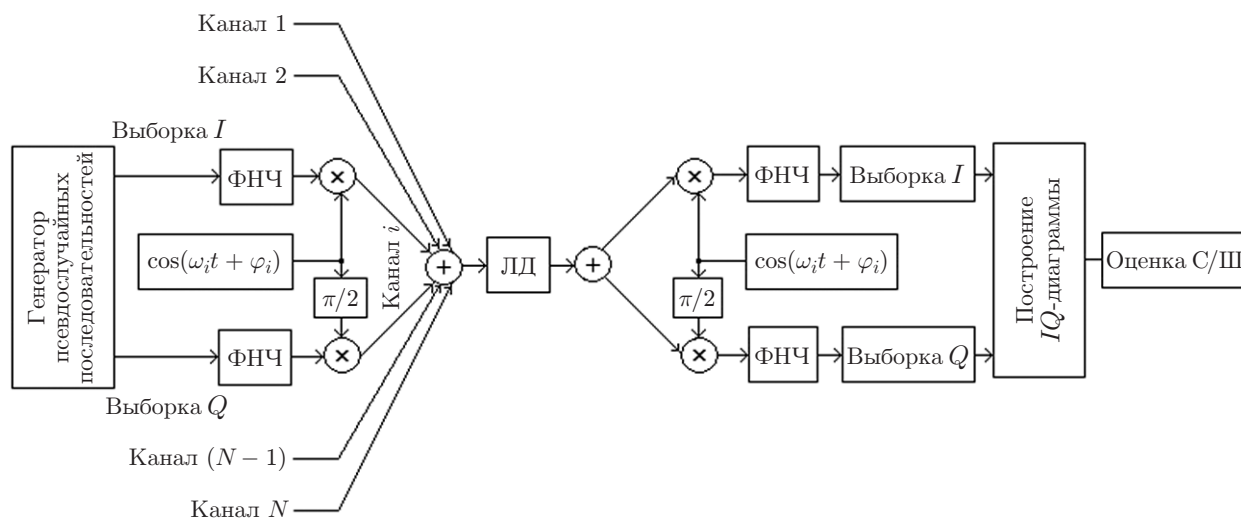


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели

Результаты моделирования. В волоконно-оптическую систему передачи входит ЛД, который модулируется групповым цифровым многоканальным сигналом. Каждый сигнал QAM формируется с помощью суммы двух ортогональных сигналов: синусоидальной и косинусоидальной формы, амплитуды которых создаются генератором псевдослучайных последовательностей, а фаза принимает случайное значение на отрезке от $-\pi$ до $+\pi$. Амплитуды поднесущих (выборки I и Q) перед формированием канала QAM ограничиваются по спектру фильтром низких частот (ФНЧ).

В качестве ВАХ ЛД используются аппроксимирующие нормированные характеристики [1], показанные на рис. 2, где P — оптическая мощность на выходе лазера, $P_{\text{см}}$ — оптическая мощность при приложенном токе смещения $I_{\text{см}}$, $I_{\text{п}}$ — пороговый ток лазера, A — параметр, определяющий степень нелинейности. Если $A \rightarrow 0$, то это соответствует идеальному лазеру, а при значениях $0 < A \leq 1$ ВАХ принимает вид плавно меняющейся кривой. Приведённые на рис. 2 нормированные характеристики ЛД позволяют аппроксимировать

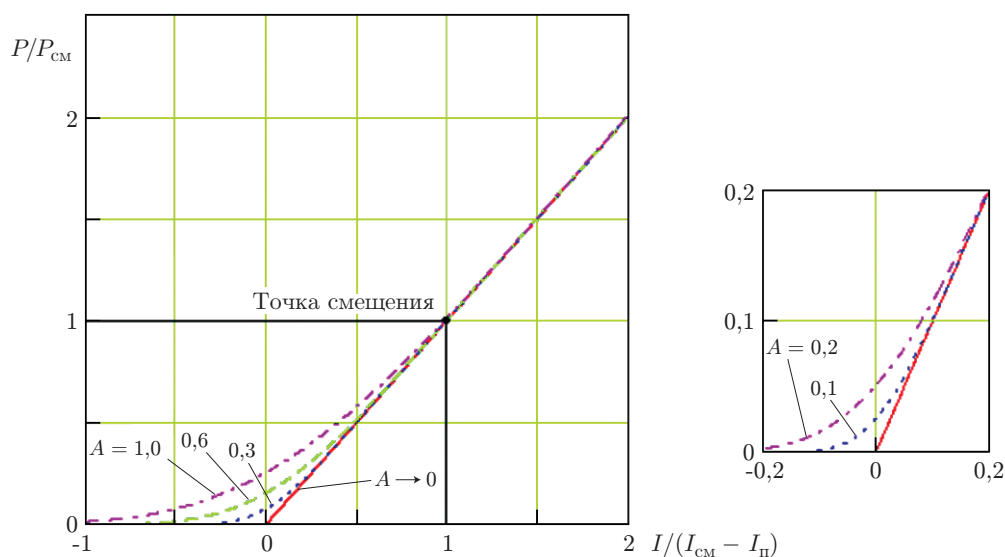


Рис. 2. Нормированные ватт-амперные характеристики ЛД

ВАХ реальных лазеров, используемых в ВОСП. Например, в работе [2, образец 1] ВАХ ЛД с длиной волны излучения $\lambda = 1567$ нм и номинальной выходной оптической мощностью 3 мВт (при токе накачки $\sim 2I_{\text{п}}$) можно аппроксимировать кривой, соответствующей параметру $A = 0,2$ в двух температурных режимах работы при $t = 10$ °С ($I_{\text{п}} = 26$ мА, $I_{\text{см}} = 58$ мА) и при $t = 20$ °С ($I_{\text{п}} = 32$ мА, $I_{\text{см}} = 70$ мА). Другими примерами могут являться ЛД фирмы "Mitsubishi Electric" серий ML7XX8 и ML9XX6 [3], имеющие параметры $I_{\text{п}} = 5$ мА, $I_{\text{см}} = 20$ мА, $P_{\text{см}} = 7$ мВт, $\lambda = 1310$ нм при $t = 25$ °С и $I_{\text{п}} = 16$ мА, $I_{\text{см}} = 30$ мА, $P_{\text{см}} = 5$ мВт, $\lambda = 1550$ нм при $t = 25$ °С соответственно, степень нелинейности которых не превышает $A = 0,1$.

Как видно из рис. 2, при использовании идеального ЛД ($A \rightarrow 0$) происходит клиппирование группового многоканального сигнала, если последний по амплитуде превышает уровень $(I_{\text{см}} - I_{\text{п}})$.

На приёмной стороне каждый ТВ-сигнал QAM демодулируется и с помощью ФНЧ выделяются выборки I и Q . В модели предполагаются идеальная демодуляция и тактовая синхронизация. В итоге на экране появляется IQ -диаграмма — расположение сигнальных точек в фазово-амплитудном пространстве. После «прохождения» по волоконно-оптическому тракту возникающие шумы и помехи (в нашем случае из-за клиппирования и нелинейности ВАХ ЛД) трансформируют сигнальные точки IQ -диаграммы в «облака». Центром облака остаётся сигнальная точка, а его «размытость» характеризует амплитуду шума. Итогом компьютерного расчёта являются оценки максимального значения этого шума и отношения С/Ш для одного ТВ-канала. В данной работе критерий оценки качества приёма ТВ-сигналов QAM есть отношение С/Ш.

В качестве примера на рис. 3 приведены экранные изображения сигнала 64-QAM, передающегося в полосе отечественного стандарта ТВ-вещания при глубине оптической модуляции (ГОМ) 5 % для идеального ЛД. Количество каналов 70, С/Ш > 30 дБ. Модель позволяет наглядно демонстрировать раскрыв глаз-диаграммы (рис. 3, *a*), а также диаграмму IQ -состояний (рис. 3, *b*).

На рис. 4 представлены экранные изображения сигнала 256-QAM, передающегося в полосе отечественного стандарта ТВ-вещания при ГОМ ~ 4 % для идеального ЛД. Количество каналов 70, С/Ш > 36 дБ.

Проводились 100 прогонов по разным показателям (ГОМ, количество каналов, параметр A). Оказалось, что этого количества прогонов достаточно для полной картины моде-

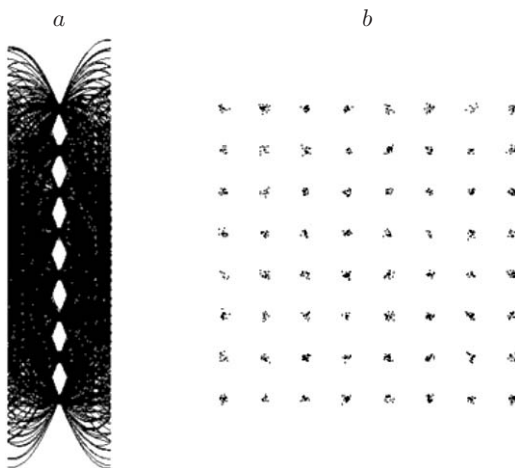


Рис. 3. Сигнал 64-QAM: *a* — глаз-диаграмма, *b* — IQ -диаграмма

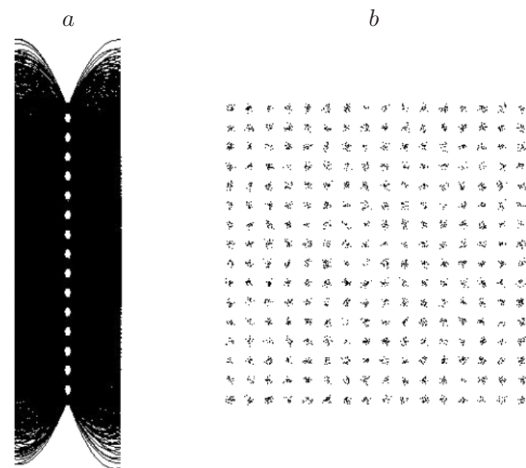


Рис. 4. Сигнал 256-QAM: *a* — глаз-диаграмма, *b* — IQ -диаграмма

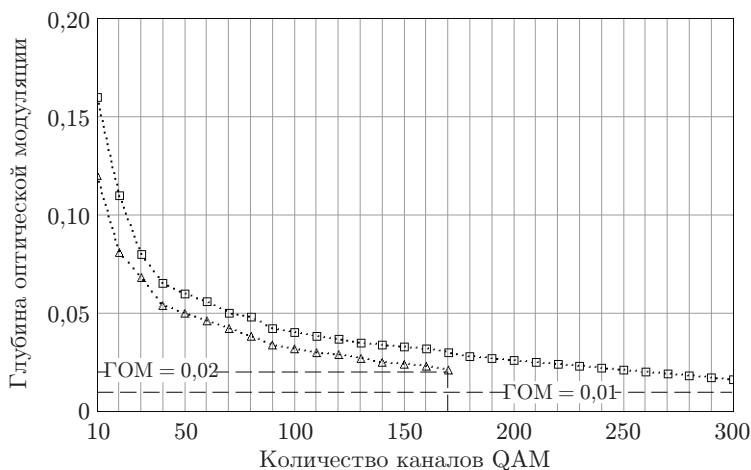


Рис. 5. Зависимость глубины оптической модуляции от количества каналов QAM
 (□ — 64-QAM при $C/Ш = 30$ дБ, Δ — 256-QAM при $C/Ш = 36$ дБ)

ли и анализа расчётов, поскольку при дополнительных 50 прогонах результаты находились в этом же диапазоне. Окончательные значения усреднялись. Так, анализ результатов моделирования показал, что для достижения $C/Ш > 30$ дБ для 64-QAM и $C/Ш > 36$ дБ для 256-QAM, что соответствует появлению ошибки с вероятностью менее 10^{-12} , максимальное количество каналов необходимо ограничивать (рис. 5). Более того, модель демонстрирует, что цифровые каналы QAM сильнее подвержены ошибкам при применении ЛД с идеальной ВАХ, когда происходит клиппирование сигнала, что совпадает с выводами [4]. Ухудшение $C/Ш$ составило в среднем $\sim 0,5$ дБ при изменении значения A от 1 до 0. Заметим, что в аналоговых системах передачи нелинейность ВАХ существенно влияет на характеристики системы [1]. Следует отметить, что в реальных системах ГОМ имеет нижний предел, связанный с шумом интенсивности, состоящим в основном из собственных шумов ЛД, и шумом, возникающим из-за многократного отражения на стыках оптического волокна. Если взять значение средней мощности шума интенсивности -135 дБ/Гц, то ГОМ ограничивается снизу значениями $\sim 0,01$ для 64-QAM и $\sim 0,02$ для 256-QAM, а значит, при таких условиях можно оценить количество каналов. Результаты моделирования показывают, что здесь возможна передача до 170 ТВ-каналов 256-QAM и ~ 300 ТВ-каналов 64-QAM. Тогда для конкретного количества передаваемых ТВ-каналов ГОМ не должна быть меньше определённого значения, и по мере увеличения количества передаваемых каналов необходимо корректировать глубину модуляции ЛД, а также стремиться сократить шум интенсивности ЛД.

Заключение. По структурной схеме имитационной модели процесса модуляции лазерного диода многоканальными ТВ-сигналами 64-QAM и 256-QAM разработана программа на объектно-ориентированном языке Delphi 7. С помощью данной модели можно оценить отношение $C/Ш$ в ТВ-канале в зависимости от нелинейности ватт-амперной характеристики, глубины оптической модуляции лазерного диода и количества передаваемых ТВ-каналов. В эксперименте оптимальное количество передаваемых каналов составило до 170 для 256-QAM и ~ 300 для 64-QAM. Модель можно использовать как при разработке и проектировании подобных систем, так и в учебных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варданян В. А., Овчинников А. Г. Модуляция лазерного диода многоканальным ТВ-сигналом // Автотметрия. 2001. № 1. С. 125–129.

2. **Оробинский С. П., Миронов С. А., Богатырев А. И., Цветков А. В.** Спектральные характеристики РОС-лазеров при высокочастотной модуляции // Техника средств связи, техника проводной связи. 1990. Вып. 6. С. 23–30.
3. **Mitsubishi Laser Diodes.** ML7XX8 Series, ML9XX6 Series. InGaAsP-MQW-FP Laser Diodes // Mitsubishi Electric. May, 2004. URL: <http://www.fti-optronic.com/pdfs/ml7xx8.pdf>; <http://www.fti-optronic.com/pdfs/ml9xx6.pdf> (дата обращения: 03.12.2014).
4. **Chiang P.-Y., Way W. I.** Ultimate capacity of laser diode in transporting multichannel M-QAM signals // Journ. Lightwave Technol. 1997. **15**, N 10. P. 1914–1924.

Поступила в редакцию 3 декабря 2014 г.
