

В. А. Варданын, А. Г. Овчинников

(Братск)

МОДУЛЯЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА МНОГОКАНАЛЬНЫМ ТВ-СИГНАЛОМ

Исследованы процессы появления специфических нелинейных искажений, связанных с модуляцией лазерного диода 52-канальным телевизионным сигналом, соответствующим отечественному стандарту ТВ-вещания. Предложенная функциональная зависимость ватт-амперной характеристики (ВАХ) лазерного диода позволяет моделировать процессы модуляции. При расчетах используется математический аппарат быстрого преобразования Фурье. Даны оценки искажений, вносимых источником излучения в тракт передачи, в зависимости от нелинейности ВАХ и глубины оптической модуляции.

Началом практического применения волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ) с частотным разделением каналов считается середина 90-х годов. Такие системы могут обеспечить одновременную передачу десятков ТВ-программ в стандартном вещательном диапазоне, тысяч цифровых телефонных каналов, а также высокоскоростных каналов компьютерной связи [1, 2]. Преимуществами ВОСПИ с частотным разделением каналов по сравнению с цифровыми волоконно-оптическими системами являются прозрачность канала передачи, т. е. независимость от формата модуляции, вида передаваемой информации, числа доставляемых каналов, а также экономичность, получаемая благодаря простой схемотехнике аппаратуры линейного тракта и отсутствию дополнительного преобразования ТВ-сигналов в абонентском приемнике [3].

Несмотря на расширяющееся внедрение ВОСПИ ТВ-сигналов, вопросы проектирования указанных систем в соответствии с выбранными критериями качества в настоящее время исследованы недостаточно (не обоснованы, например, жесткие критерии ГОСТа на распределительные сети кабельного ТВ [4]). В этом плане исследование процесса модуляции лазерного диода (ЛД) с учетом нелинейности его ватт-амперной характеристики (ВАХ) является актуальной задачей, поскольку позволяет обоснованно выбрать максимальное количество телевизионных каналов при заданной норме перекрестных помех.

Данная работа посвящена компьютерному моделированию процесса модуляции ЛД 52-канальным телевизионным сигналом, соответствующим отечественному стандарту ТВ-вещания. Критерий пригодности ЛД – отношение мощности нелинейных искажений (ОМНИ) в канале к мощности сигнала

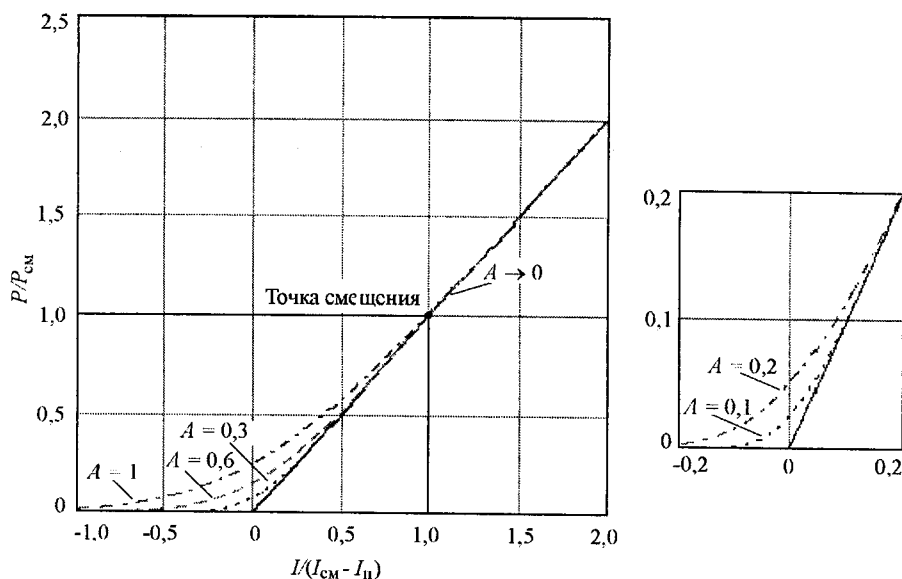


Рис. 1

ла. На основе анализа ВАХ реальных ЛД мы предлагаем аппроксимирующую нормированную ВАХ вида

$$P/P_{\text{CM}} = \left[I/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}}) + \frac{24}{\pi\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{I^2/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}})^2}{\sqrt{2\pi}A^2}\right) \right] - \frac{1}{2}(I/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}}))[1 - \text{erf}(I/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}})A\sqrt{2})], \quad (1)$$

где P – оптическая мощность на выходе лазера; P_{CM} – оптическая мощность при рабочем токе смещения I_{CM} ; $I_{\text{П}}$ – пороговый ток лазера; A – параметр, определяющий степень нелинейности; erf – функция ошибок. На рис. 1 показана зависимость P/P_{CM} от $I/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}})$ для некоторых значений параметра A . $A \rightarrow 0$ соответствует идеальному лазеру, а при значениях $0 < A \leq 1$ ВАХ принимает вид плавно меняющейся кривой. Отметим, что кривые, аппроксимирующие реальную ВАХ, являются касательными к идеальной и при необходимости могут быть разложены в степенной ряд.

Выражение (1) позволяет аппроксимировать ватт-амперную характеристику лазерного диода широкой номенклатуры. Например, ВАХ ЛД из работы [5, образец 1] с параметрами $I_{\text{П}} = 26 \text{ мА}$ ($t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$), $I_{\text{CM}} = 58 \text{ мА}$ ($P = 3 \text{ мВт}$) хорошо аппроксимируется выражением (1) при $A = 0,2$. Другим примером является ЛД фирмы "Hitachi" HL7843MG с параметрами $I_{\text{П}} = 20 \text{ мА}$ ($t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$), $I_{\text{CM}} = 35 \text{ мА}$ ($P = 3 \text{ мВт}$), степень нелинейности которого соответствует значению $A = 0,1$ [6].

В первом приближении групповой многоканальный ТВ-сигнал, нормированный на величину $(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}})$, можно представить суммой сигналов некогерентных несущих частот изображения:

$$I/(I_{\text{CM}} - I_{\text{П}}) = 1 + \sum_k m_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k), \quad (2)$$

где $m_k = (I_{\max} - I_{\text{см}})/I_{\text{см}}$ – глубина модуляции канала k ($k = 1, 2, \dots, 52$); I_{\max} – максимальное значение тока модуляции; f_k – частота несущей изображения канала k , а фаза каждого канала ϕ_k принимает случайные значения. При моделировании предполагается одинаковая глубина модуляции m для всех каналов, а фазы каналов равномерно распределены между 0 и 2π .

Подставляя выражение (2) в (1) и используя математический аппарат быстрого преобразования Фурье с прореживанием по времени, найдем спектральные компоненты сигнала на выходе нелинейного ЛД во всем диапазоне ТВ-вещания. Алгоритм быстрого преобразования Фурье основан на разбивке полученной функции относительной мощности излучения ЛД от времени $a(t) = P/P_{\text{см}}$ на две $N/2$ -дискретные последовательности ($N = 2^v$, $v > 0$, – целое число), состоящие из четных $a(2n)$ и нечетных $a(2n+1)$ членов, с последующим их объединением по формуле $B(i) + W^i C(i)$, где $B(i) = \sum_{n=0}^{N/2-1} a(2n)W^{2ni}$, $C(i) = \sum_{n=0}^{N/2-1} a(2n+1)W^{2ni}$, $W = \exp(-j2\pi/N)$ [7]. Веществен-

ные и мнимые составляющие отсчетов исходной последовательности записываются в разные массивы памяти компьютера, и затем рассчитывается корень квадратный от суммы квадратов этих составляющих. В результате получают спектральные компоненты генерируемого ЛД сигнала многоканального ТВ.

При моделировании многоканальный сигнал на выходе ЛД дискретизировался с частотой 32 ГГц с разрешением по частоте спектральных компонент 250 кГц (наибольший общий делитель всех несущих частот изображения каналов). Мощность нелинейных искажений в каналах определялась при исключении из выражения (2) мощности несущей соответствующего канала и суммированием мощностей, появляющихся в частотном диапазоне данного канала.

Как видно из рис. 1, при использовании идеального ЛД происходит клиппирование (срезание) группового многоканального сигнала, если последний превышает уровень $(I_{\text{см}} - I_{\text{п}})$. На рис. 2 приводятся результаты численного моделирования для расчета ОМНИ в каналах отечественного стандарта ТВ-вещания в зависимости от глубины модуляции при $A = 0$ (идеальный ЛД), а также данные из [8], полученные при аппроксимации группового многоканального сигнала гауссовым процессом (кривая 1). Каждому значению m на рис. 2 соответствуют 100 прогонов модели. Результаты дополнительных 50 прогонов находятся между максимальными (кривая 2) и минимальными (кривая 3) значениями ОМНИ (см. рис. 2). Большой разброс ОМНИ соответствует $m < 0,06$, где вероятность клиппирования группового сигнала уменьшается. На модели при меньших значениях глубины модуляции ($m < 0,03$) эффект клиппирования практически не наблюдался.

Для оценки влияния нелинейности ВАХ лазерного диода на ОМНИ на рис. 3 показаны усредненные значения ОМНИ в каналах стандартного ТВ-вещания в зависимости от параметра A , характеризующего степень нелинейности лазера для двух значений m ($m = 0,04; 0,08$). Из рисунка видно, что увеличение A и глубины модуляции m приводит к увеличению ОМНИ. Для того чтобы удержать уровень ОМНИ в канале, например, ниже -50 дБ, при модуляции лазера (с нелинейностью $A = 0,15$) стандартными АМ-ОБП ТВ-сигналами нельзя превышать глубину модуляции более чем на 4%. На рис. 3 представлены также усредненные относительные значения мощности нелиней-

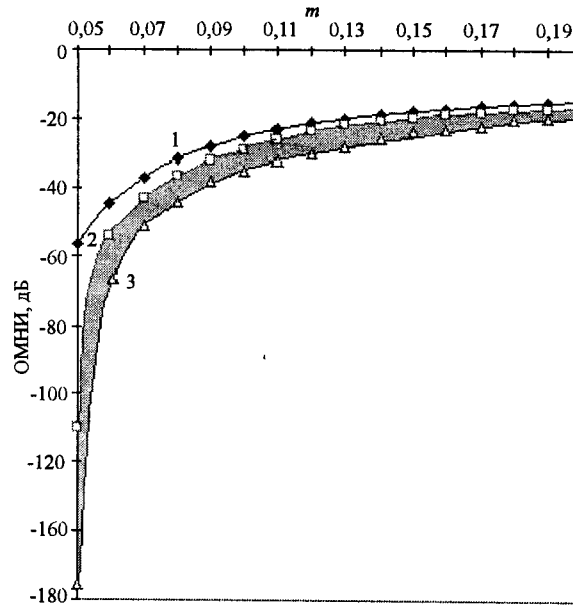


Рис. 2

ных искажений второго (ОМНИ2) и третьего (ОМНИ3) порядка в каналах ТВ-вещания, соответствующих сочетанию частот $f_i \pm f_j$ и $f_i \pm f_j \pm f_k$, где $f_{i,j,k}$ – частоты несущих изображения ТВ-каналов. Следовательно, использование глубины модуляции более 4–5 % приводит к значительному увеличению ОМНИ в канале и уменьшению требуемого отношения сигнала/шума, так как с увеличением m увеличиваются ОМНИ2 и ОМНИ3 прямо пропорционально m^2 и m^3 соответственно [9].

Предложенная функциональная зависимость ватт-амперной характеристики лазерного диода позволяет моделировать прямую модуляцию лазера АМ-ОБП ТВ-сигналами отечественного вещания. Полученные результаты

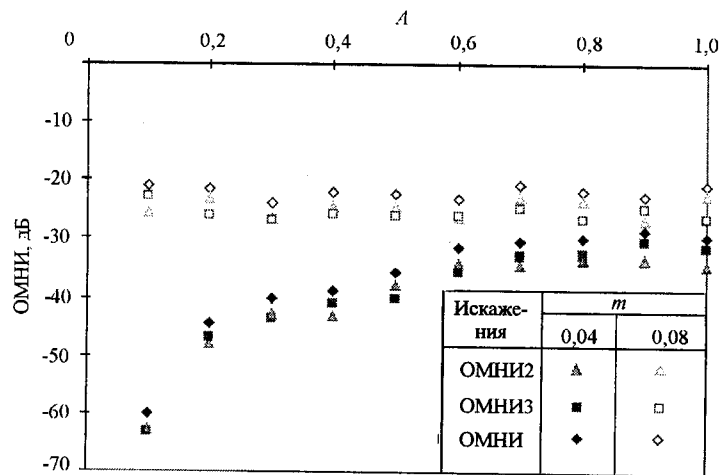


Рис. 3

показывают, что в реальных ВОСПИ аналоговых ТВ-сигналов мощность нелинейных искажений в каналах может быть намного меньше значений, приведенных в работе [8], где групповой ТВ-сигнал аппроксимирован гауссовым процессом. Так, например, при $m < 6$ % мощность нелинейных искажений в каналах как минимум на 10 дБ меньше, чем в работе [8]. Мощности интермодуляционных искажений второго и третьего порядков, как и нелинейные искажения в каналах, имеют аналогичные зависимости от глубины модуляции, и для удержания их ниже –50 дБ необходимо применять модуляцию с глубиной менее 4–5 %, учитывая степень нелинейности ватт-амперной характеристики реальных лазерных диодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Homeworx™** Hybrid Fiber / Coaxial Access Platform. ADC Telecommunications, 1997. <http://www/adc.com/Products/BCDproducts/Hmx - Home.html>
2. **Olshansky R., Lanzisera V. A., Su S.-F. et al.** Subcarrier multiplexed broad-band service network: a flexible platform for broad-band subcarrier services // Journ. Lightwave Technol. 1993. **11**, N 1. P. 60.
3. **Белкин М. Е.** Концепция построения сети абонентского доступа на базе волоконно-коаксиальных распределительных сетей // Электросвязь. 1998. № 1. С. 8.
4. **ГОСТ 28324-89.** Сети распределительных приемных систем телевидения и радиовещания. (Классификация приемных систем, основные параметры и технические требования). М.: ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1989.
5. **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.
6. **Hitachi®**, Hitachi America, Ltd.-2000 Sierra Point. Brisbane, CA94005-1835-(415)589-8300.
7. **Гольденберг Л. М., Матюшин Б. Д., Поляк М. Н.** Цифровая обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1990.
8. **Saleh A. A. M.** Fundamental limit on number of channels in subcarrier – multiplexed lightwave CATV systems // Electron. Lett. 1989. **25**, N 12. P. 776.
9. **Darcie T. E.** Subcarrier multiplexing for lightwave networks and video distribution systems // IEEE Journ. Selected Areas in Communs. 1990. **8**, N 7. P. 1240.

*Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики,
E-mail: skiner@bwc.ru*

*Поступило в редакцию
1 июня 1999 г.*