

1. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., and Wilson D.V. On the self-similarity of ethernet traffic // IEEE/ACM Transactions of Networking, 2(1), 1994. – P. 1-15.
2. Ryu B.K. Fractal Network Traffic: From Understanding to Implications. Ph.D. thesis. – Columbia University, 1996. – 143 p.
3. Митилино С. Фрактальная катастрофа TCP/IP / С. Митилино // Компьютерное Обозрение, 2001. – С.7.
4. Дослідження буферизації мультимедійного трафіку в мережах передачі даних / [М.І. Кирик, Т.В. Андрухів, В.В. Червенець, Н.М. Плєсканка] // Вісник НУ «Львівська політехніка», «Радіоелектроніка та телекомунікації», –2012. – №738. – С.100-106.
5. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса / Б.С. Цыбаков // Радиотехника. – 1999. – Вып. 5. – С. 24-31.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания ; пер. с англ. И. И. Грушко ; ред. В. И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 292-320.
7. Ложковский А.Г. Модель мультисервисного трафика и метод расчета параметров QoS при его обслуживании / А.Г. Ложковский // Радиотехника. – 2009. – Вып.157. – С. 48-52.
8. Ложковский А.Г. Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом / А.Г. Ложковский, Р.А. Ганифаев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1. – С.57–62.

УДК 654:679.76

Розорин Г.Н., д.т.н.; **Фендри Мохамед Аймен**, асп-т

(Государственный университет инфоационно-коммуникационных технологий)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТЫХ ВН СИГНАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ВОСП

Розорин Г.М., Фендри Мохамед Аймен. Характеристики простых ВН сигналов, використовуваних у ВОСП. Приведені структурні схеми формування ВН сигналів. Показано, що повною мірою використовувати спектральну оптичну ефективність цього сигналу неможливо із-за високого рівня бічних пелюсток.

Ключові слова: МОДУЛЯТОР МАХА-ЗЕНДЕРА, ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ, СПЕКТРАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Розорин Г.Н., Фендри Мохамед Аймен. Характеристики простых ВН сигналов, используемых в ВОСП. Приведены структурные схемы формирования ВН сигналов. Показано, что в полной мере использовать спектральную оптическую эффективность этого сигнала невозможно из-за высокого уровня боковых лепестков.

Ключевые слова: МОДУЛЯТОР МАХА-ЗЕНДЕРА, ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛА, СПЕКТРАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Rozorinov H.M., Fendri Mokhamed Aimen. Simple RZ signals features used in fiber optics transmission system. The flow diagrams of RZ signals forming are resulted. It is rotined that to a full degree utillizing spectral optical efficiency of this signal is impossible of the high level of sidelobes.

Key words: MACH-ZEHNDER MODULATOR, FORMING OF SIGNAL, SPECTRAL EFFICIENCY

Введение. Известно, что ВН сигналы весьма устойчивы к влиянию поляризационной модовой дисперсии первого порядка, вызываемой дифференциальной групповой задержкой и поэтому более пригодны для сверхдлинных линий передачи с высокой скоростью [1] (ВН – возврат к нулю). Сейчас используются несколько методов формирования оптического ВН сигнала. Одним из них является метод непосредственной модуляции полупроводникового лазера ВН сигналом. При другом методе сначала генерируется последовательность оптических импульсов, которая затем модулируется БВН данными (БВН – без возврата к нулю). Еще одним методом является импульсное стробирование оптического БВН сигнала с помощью модулятора Маха-Зендера (МЗМ). *Целью работы* является сравнительный анализ вариантов формирования простых ВН сигналов, их спектральных свойств и выходной оптической мощности.

Основная часть. Практически используется импульсное стробирование оптического БВН сигнала ввиду простоты технической реализации и возможности изменять длительность импульса, комбинируя напряжение смещения и амплитуду информационного сигнала в МЗМ. Входной оптический БВН сигнал МЗМ может быть сформирован с помощью непосредственно модулируемого излучения лазерного диода (ЛД) или непрерывного лазера, снабженного МЗМ или электроабсорбционным модулятором. При этом легко реализуются три длительности импульсов ВН сигнала: 1/3, 1/2, 2/3 (т.е. 33%, 50% и 67% тактового интервала). На рис. 1 показаны возможные реализации метода, при использовании МЗМ.

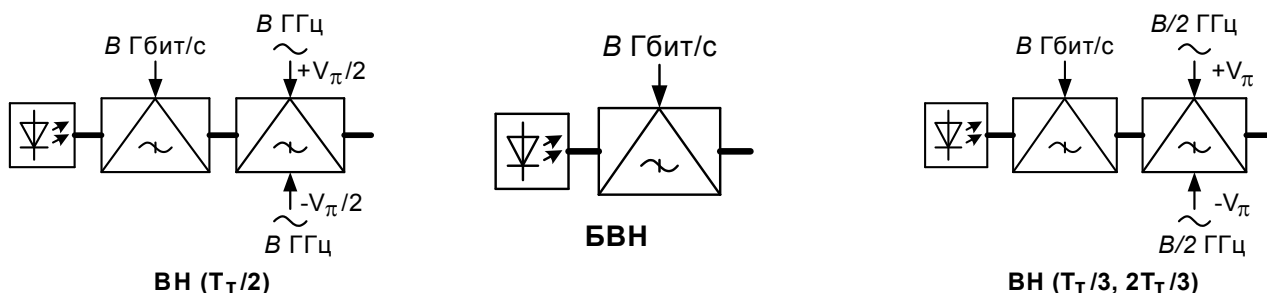


Рис. 1. Структурные схемы формирования ВН и БВН сигналов с помощью МЗМ

Используя напряжение возбуждения МЗМ $V_m(t) = V_{см} + V_{вч}(t) = V_{см} + V_{вч} \cos(2\pi f_{мод}t + \varphi_m)$, где $V_{см}$ – постоянное напряжение смещения; $V_{вч}$ – амплитуда высокочастотного модулирующего сигнала; $f_{мод}$ – частота модуляции; φ_m – фазовый сдвиг, функцию передачи оптической мощности МЗМ можно выразить следующим образом:

$$T(t) \sim \cos^2 \left[\frac{\pi V_m(t)}{2V_\pi} + \frac{\theta}{2} \right] = \cos^2 \left[\frac{\pi V_{см}}{2V_\pi} + \frac{\pi V_{вч}(t)}{2V_\pi} + \frac{\theta}{2} \right],$$

где θ – внутренний фазовый сдвиг МЗМ в отсутствие напряжения возбуждения и V_π – сдвинутое на напряжение МЗМ.

Будем считать, что если $V_{см} = V_{max}$, то максимальное постоянное напряжение смещения обеспечивает максимальную передачу оптической мощности, а если $V_{см} = V_{min}$ – минимальную передачу.

МЗМ может также возбуждаться дифференциальным (балансным) способом. На рис. 1 показано формирование БВН сигнала с использованием МЗМ и одним возбуждающим электродом. ВН сигнал может быть получен с помощью балансного МЗМ, который установлен после формирователя БВН сигнала. В случае произвольной линейной частотной модуляции двухтактной схемой на основе z-среза LiNbO₃ МЗМ электрическая модуляция в диапазоне напряжений V_π выполняется в двух поддиапазонах $+V_\pi/2$ и $-V_\pi/2$ для того, чтобы получить ВН $T_T/2$ сигнал. Иначе ВН ($T_T/2$) сигнал может быть получен с использованием однотактной схемы МЗМ в диапазоне напряжений V_π .

Формирование трех различных вариантов ВН сигнала зависит от тактовой частоты исходного ВН сигнала, динамического диапазона оптического модулятора и постоянного напряжения смещения модулятора (рис. 2).

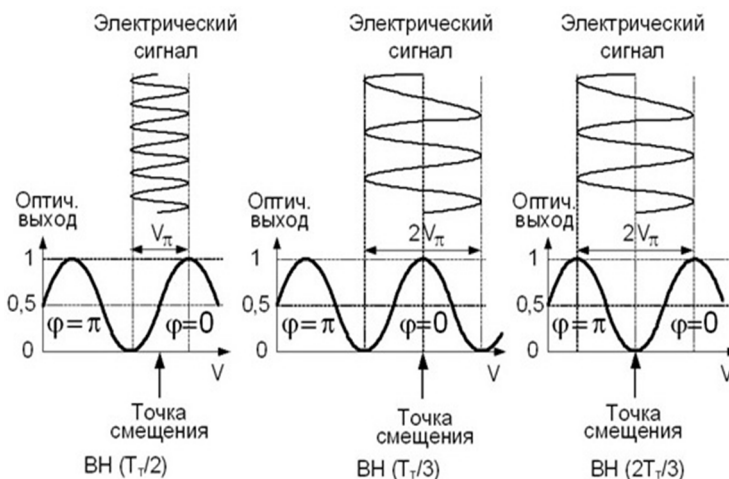


Рис. 2. Местоположение точки постоянного напряжения смещения при формировании ВН сигналов

В табл. 1 показаны рассмотренные параметры вариантов ВН сигналов при частоте модуляции равной 43 ГГц. В таблице $V_{\text{мод}}$ – это модулирующее напряжение от пика до пика ($2V_{\text{вч}}$); $V_{\text{см}}$ – определяет условия передачи оптической мощности, причем V_{min} и V_{max} представляют собой точки смещения при минимальной (подавленная несущая) и максимальной передаче, соответственно; $V_{3\text{дБ}}$ – точка смещения МЗМ при нормальной передаче ВН и БВН сигналов. Фазовым сдвигом назван сдвиг между последовательностью ВН импульсов и информационной последовательностью.

Характеристики вариантов ВН сигналов				Табл. 1
Параметр	Сигнал			
	ВН ($T_r/3$)	ВН ($T_r/2$)	ВН ($2T_r/3$)	
$f_{\text{мод}}$, ГГц	21,5	43	21,5	
$V_{\text{мод}}$	$2V_{\pi}$	V_{π}	$2V_{\pi}$	
$V_{\text{см}}$	V_{max}	$V_{3\text{дБ}}$	V_{min}	
Фазовый сдвиг	0, 0, 0	0, 0, 0	0, π , 0	

На рис. 3 показаны три варианта формы изменения интенсивности ВН импульсов, отображающих одну и ту же информационную последовательность ...00100110... .

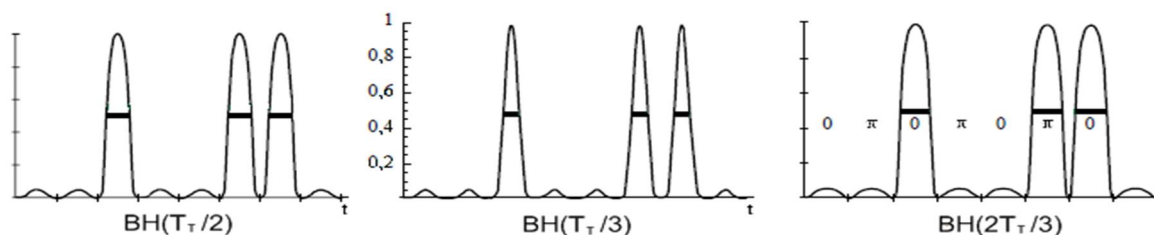


Рис. 3. ВН сигналы при одинаковой информационной последовательности

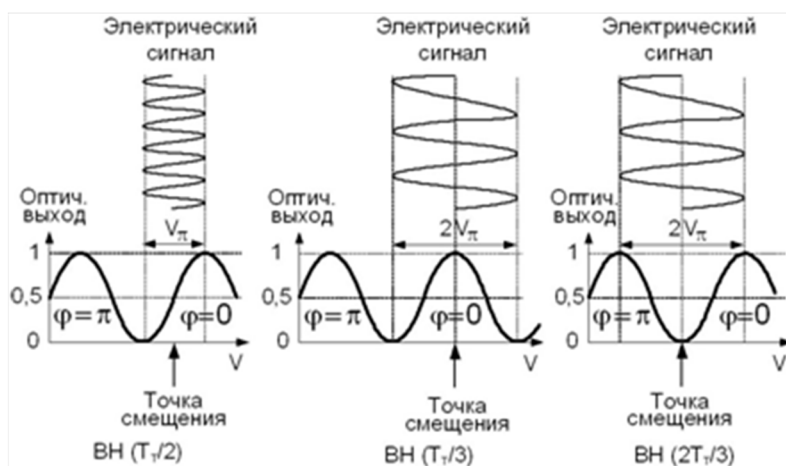


Рис. 4. Оптические спектры вариантов ВН сигнала

Из рисунков видно, что наибольшую ширину главного лепестка спектра имеет ВН ($T_r/3$) сигнал, а наименьшую – ВН ($2T_r/3$). Однако, в спектре ВН ($2T_r/3$) сигнала высок уровень боковых лепестков, не позволяющий в полной мере использовать спектральную оптическую эффективность этого сигнала.

Определим теперь выходную оптическую мощность для рассмотренных ВН сигналов.

ВН ($T_r/3$) сигнал. Из рис. 1 видно, что входным сигналом МЗМ является оптический БВН сигнал, поступающий со скоростью $\frac{1}{T_r}$. МЗМ управляется постоянным напряжением

При этом 33%, 50% или 67% – длительности импульсов, определяемые на серединах их амплитуд, отнесенные к тактовому периоду T_r [2]. Варианты сигналов ВН ($T_r/2$) и ВН ($T_r/3$) не имеют фазового сдвига, а сигнал ВН ($2T_r/3$) имеет фазовый сдвиг π .

Оптические спектры и оптические глаз-диаграммы вариантов ВН сигнала показаны на рис. 4 и 5.

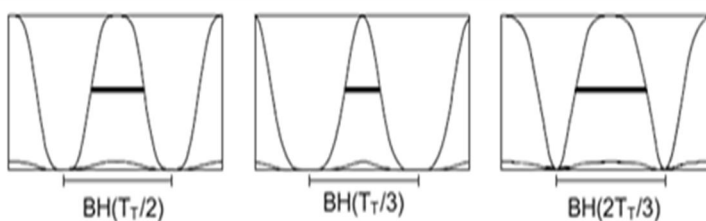


Рис. 5. Глаз-диаграммы вариантов ВН сигнала

смещения, соответствующим максимальной оптической передаче $V_{см} = V_{max}$ и высокочастотной составляющей вида модулированного синусоидального сигнала с частотой $f = \frac{1}{2T_T}$ и амплитудой V_π ($2V_\pi$ – амплитуда от пика до пика).

Тогда амплитуда оптического поля $E_1(t)$ на выходе МЗМ пропорциональна $E_1(t) \sim \cos \left[\frac{\pi}{2} \cos \left(\frac{\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t)$, где $e_{БВН}(t)$ – оптическое поле входного БВН сигнала.

Выходная оптическая мощность МЗМ:

$$P_{\text{вых}} \sim E_1(t)E_1^*(t) \sim \left\{ \cos \left[\frac{\pi}{2} \cos \left(\frac{\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t) \right\}^2.$$

ВН ($2T_T/3$) сигнал. Этот сигнал обладает более высокой устойчивостью к оптической хроматической дисперсии по сравнению с ВН ($T_T/3$) сигналом. Для того, чтобы сформировать ВН ($2T_T/3$) сигнал, МЗМ должен обеспечивать минимальную оптическую передачу при минимальном постоянном напряжении смещения $V_{см} = V_{min}$ и возбуждаться синусоидальным высокочастотным сигналом с частотой $f = \frac{1}{2T_T}$ и фазовым сдвигом $\varphi_m = \frac{\pi}{2}$ (рис. 2). Амплитуда высокочастотного колебания равна V_π ($2V_\pi$ от пика до пика), что соответствует половине длины волны сигнала МЗМ. Амплитуда оптического поля на выходе МЗМ $E_2(t)$ пропорциональна:

$$E_2(t) \sim \sin \left[\frac{\pi}{2} \sin \left(\frac{\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t).$$

Тогда выходная оптическая мощность МЗМ пропорциональна:

$$P_{\text{вых}} \sim E_2(t)E_2^*(t) \sim \left\{ \sin \left[\frac{\pi}{2} \sin \left(\frac{\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t) \right\}^2.$$

ВН ($T_T/2$) сигнал. Для того, чтобы сформировать такой сигнал, постоянное напряжение смещения МЗМ выбирается равным 3 дБ от уровня максимальной оптической передачи, то есть $V_{см} = V_{3дБ}$, а МЗМ возбуждается синусоидальным высокочастотным сигналом с частотой $f = \frac{1}{T_T}$ (рис. 2). Амплитуда высокочастотного сигнала возбуждения равна $V_\pi/2$ (V_π от пика до пика). Амплитуда оптического поля на выходе МЗМ $E_3(t)$ пропорциональна:

$$E_3(t) \sim \cos \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cos \left(\frac{2\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t).$$

В этом случае выходная оптическая мощность МЗМ пропорциональна:

$$P_{\text{вых}} \sim E_3(t)E_3^*(t) \sim \left\{ \cos \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cos \left(\frac{2\pi t}{T_T} \right) \right] e_{БВН}(t) \right\}^2.$$

Заключение. Наибольшей шириной главного лепестка спектра обладает ВН ($T_T/3$) сигнал, а наименьшей – ВН ($2T_T/3$). В спектре ВН ($2T_T/3$) сигнала велика доля боковых лепестков, не позволяющая в полной мере использовать спектральную оптическую эффективность этого сигнала.

Выходная оптическая мощность ВН ($T_T/2$) сигнала превышает аналогичный показатель других рассмотренных сигналов, что не удивительно, исходя из формы спектра этого сигнала.

Литература

1. Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловійов. – 2-е вид., перероб. і допов. – К.: Кафедра, 2012. – 344 с.
2. ITU-T G – series Recommendations Supplement – 39, 12/2008.