

МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ СИГНАЛОВ С КОМБИНИРОВАННОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

к.т.н. С.Г. Рассомахин, к.т.н. И.В. Злыдень, Н.Ф. Линник
(представил д.т.н., проф. Е.Л. Казаков)

Предложены пути сужения эффективной ширины спектра ансамблей сигналов, имеющих фазочастотную манипуляцию, для минимизации удельных затрат частотного спектра на передачу информации.

Для передачи сигнала без существенного влияния межсимвольной интерференции требуется не менее 90% энергии сигнала [1]. При определении полосы частот, используемой для передачи 90% энергии произвольной реализации параллельных фазочастотно - модулированных (ПФЧМ) сигналов, необходимо учитывать то, что несмотря на ортогональность отдельных частотных компонент составного сигнала, составляющие их спектров взаимно не ортогональны. Это проявляется в возникающей амплитудной модуляции результирующей огибающей по комбинационному закону даже в случае прямоугольности элементарных огибающих [2]. Явление это объясняется интерференцией частотных компонент, порождаемой их взаимодействием [3]. Интерференция составляющих спектра может приводить как к расширению, так и к сужению результирующего энергетического спектра. В этой связи представляет интерес получение аналитического описания спектра ПФЧМ сигналов, которое позволило бы выявить свойства явления интерференции и определить пути минимизации внеполосных излучений.

Изучение спектров комплексных огибающих, полученных преобразованием Фурье реализацией ПФЧМ сигналов, обозначаемых ($Lf-M\phi$) и содержащих $L=2^{\alpha}$ ($\alpha = 1, 2, 3...$) поднесущих частотных компонент, каждая из которых имеет $M=2^{\beta}$ ($\beta=1, 2, 3...$) вариантов модуляции по фазе ϕ , позволило получить формулу вида

$$G = \sum_{i=1}^L G_n(\omega_i) + \sum_{n=1}^{N_k} G_u^n(\omega_l, \omega_m), \quad (1)$$

где $G_n(\omega_i)$ – энергетический спектр несущего колебания частоты ω_i с прямоугольной огибающей; $G_u^n(\omega_l, \omega_m)$ – интерференционная функция n -го порядка, порождаемая взаимодействием l -й и m -й поднесущими колебаниями ПФЧМ сигнала; $k=[(L-1)/2]$ – максимальный порядок интерференционных функций в спектре; N_k – число интерференционных функций k -го порядка.

Выражение (1) позволяет получить аналитическое описание спектра ПФЧМ сигнала при любых значениях L и M . Кроме того, оно позволяет произвести анализ спектра составного сигнала с учетом взаимного влияния частотных компонент, проявляющегося в явлении интерференции.

На основе полученного выражения были предложены методы минимизации удельных затрат на передачу информации. Разработанные методы основываются на комбинировании фазового сдвига между поднесущими.

Метод № 1. Плоскости фазовой манипуляции нечетных частотных компонент поворачиваются на угол, равный $\pi/4$, по отношению к четным частотным составляющим.

При проведении эксперимента на основе предложенного выше метода были получены следующие результаты.

1. Эффективная полоса частот сигнала без учета влияния интерференционных функций

$$F = 14,64 \text{ Гц}/\pi .$$

2. Для комплексного спектра, рассмотренного с учетом интерференционных функций, были проведены три опыта, в каждом из которых при увеличивающемся числе экспериментов были получены математические ожидания (МО) эффективной полосы частот $M[F_{90}]$. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Анализ эффективной полосы частот (метод № 1)

| № опыта | Количество экспериментов | $M[F_{90}]$, Гц/ π |
|---------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 64 | 14.73 |
| 2 | 256 | 14.65 |
| 3 | 1024 | 14.64 |

Анализируя результаты табл. 1, можно сделать вывод о том, что МО эффективной полосы частот сводится с увеличением числа экспериментов к эффективной полосе частот, вычисленной без учета влияния интерференционных функций. Таким образом, можно заключить, что интерференционные функции не влияют на МО эффективной полосы частот.

3. Максимальное значение эффективной полосы частот на 3,3% меньше, чем в случае отсутствия фазовых сдвигов на частотных поднесущих.

Проведенные эксперименты показали, что использование данного метода позволяет сузить ширину спектра сигнала на 3,3%, что, в свою очередь, приводит к существенному снижению затрат на передачу сигнала.

Метод № 2. Плоскости фазовой манипуляции крайних частотных компонент спектра поворачиваются на угол, равный $\pi/4$, по отношению к составляющим расположенным внутри спектра.

При проведении эксперимента на основе предложенного выше метода были получены следующие результаты.

1. Эффективная полоса частот сигнала без учета влияния интерференционных функций

$$F = 14.64 \text{ Гц/ } \pi .$$

2. По аналогии с методом 1 были проведены эксперименты и получены МО эффективной полосой частот $M[F_{90}]$. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ эффективной полосы частот (метод № 2)

| № опыта | Количество экспериментов | $M[F_{90}]$, Гц/ π |
|---------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 64 | 14.73 |
| 2 | 256 | 14.68 |
| 3 | 1024 | 14.65 |

Анализируя результаты табл. 2, можно, опираясь на рассуждения, изложенные в методе №1, сделать вывод о том, что интерференционные функции не влияют на МО эффективной полосы частот.

3. Максимальное значение эффективной полосы частот на 3,3% меньше, чем в случае отсутствия фазовых сдвигов на частотных поднесущих.

Таким образом, данный метод также позволяет снизить затраты на передачу сигнала за счет сужения ширины спектра сигнала. В результате проведенных экспериментально - статистических исследований реализаций сигналов в реальных каналах связи с использованием предложенных выше методов были получены результаты, позволяющие обосновать пути минимизации удельных затрат на передачу информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров С.Б., Цыкин И.А. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.

2. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.

3. Суворов Н.П., Медиченко М.П. Принципы построения модемов с параллельными составными сигналами. – Харьков: ХВВКИУ, 1981. – 52 с.

Поступила в редколлегию 19.02.2001