

УДК 658.523.012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ОДНОПОЛОСНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

© 2012 А.И. Макаев, Н.А. Попов

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 29.06.2012

В статье авторы исследуют тональную частотную манипуляцию и рассматривают возможность создания и использования сигналов в однополосной тональной частотной манипуляции. Представлены расчёты и графики, обосновывающие предлагаемое техническое решение. Приведена структурная схема устройства преобразования однополосно-модулированного сигнала тональной частотной манипуляции в стандартный ЧМ сигнал.

Ключевые слова: представление спектральное, манипуляция тональная (частотная), спектр амплитудно-фазовый, схема структурная.

Идея создания однополосных, частотно-модулированных сигналов возникла в середине прошлого века, когда в системах передачи информации осуществлялся переход от сигналов с амплитудной модуляцией к сигналам однополосной модуляции. Устранение несущего колебания и одной из боковых полос в спектре амплитудно-модулированного сигнала обеспечили на линиях радиосвязи уменьшение ширины спектра используемого сигнала и существенный энергетический выигрыш, достигающий 16 раз.

Аналогичные результаты ожидалось и от перехода на однополосную частотную модуляцию. Однако оказалось, что спектр частотно-модулированного сигнала, в отличие от амплитудно-модулированного, несимметричный. Устранение несущей и одной из боковых полос разрушало структуру сигнала и не позволяло передавать аналоговую информацию.

В настоящее время системы передачи информации переходят на использование цифровых методов и частотно-модулированные сигналы с тональной модуляцией получают широкое распространение. В этих сигналах амплитуды спектральных составляющих для верхней и нижней боковых полос имеют одинаковые значения, а фазы имеют закономерности в своем чередовании. Эту особенность спектров сигналов тональной частотной манипуляции предлагается использовать для восстановления подавленной боковой полосы по структуре принятой боковой полосы.

Рассмотрим временное представление сигналов однополосной тональной частотной манипу-

ляции, где исследования возможности создания и использования сигналов однополосной тональной частотной манипуляции проведены численными методами и методами математического моделирования на ПЭВМ в системе MathCAD-14. Полученные результаты позволяют опровергнуть выдвинутое в середине прошлого века и существующее поныне утверждение о невозможности использования сигналов однополосной частотной модуляции.

Проведенные исследования показывают, что для сигналов тональной частотной манипуляции однополосная частотная модуляция не только возможна, но и реализуема.

При гармоническом управляющем сигнале уравнение сигнала частотной тональной манипуляции имеет вид [1]

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m_f \sin(\Omega t + \psi) + \psi_0), \quad (1)$$

где

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega} - \text{индекс частотной модуляции};$$

Ω_i, ψ_i – частота и начальная фаза модулируемого сигнала;

Временное представление одной из реализаций сигнала частотной тональной манипуляции при $m_f=4$ показано на рис. 1.

Соответствующее ему спектральное представление сигнала будет иметь вид [1]

$$u(t) = U_m \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m_f) \cos(\omega_0 + k\Omega)t,$$

в котором:

$U_0(t) = U_m J_0(m_f) \cos \omega_0 t$ – несущее колебание,

$U_w(t) = U_m J_k(m_f) \cos(\omega_0 + k\Omega)t$ – верхняя боковая полоса частот;

Макаев Александр Игоревич, студент.

E-mail: firefox73@yandex.ru

Попов Николай Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолётостроение».

E-mail: porow-kaf11@yandex.ru

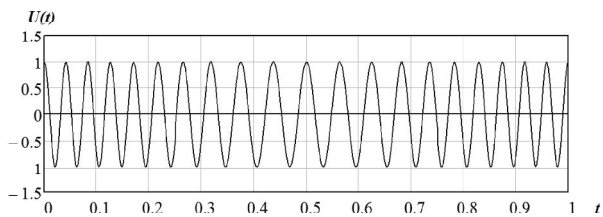


Рис. 1. Временное представление сигнала частотной тональной манипуляции

$U_n(t) = U_m J_{-k}(m_f) \cos(\omega_0 - k\Omega)t$ - нижняя боковая полоса частот;

Временное представление несущего колебания сигнала частотной тональной манипуляции $U_0(t)$, его верхней $U_w(t)$ и нижней $U_n(t)$ боковых составляющих при десяти учитываемых гармониках в спектре сигнала показано на рис. 2.

Из рисунка видно, что формы боковых составляющих существенно отличаются. Исследования показали, что попытки исключить из рассмотрения несущее колебание и одну из боковых составляющих не позволяют восстановить информационную составляющую ЧМ колебания.

Вместе с тем сумма ограниченных по спектру представленных составляющих позволяет с высокой степенью точности восстановить ЧМ сигнал. На рис. 3 показаны графики временного представления сигнала по формуле (1) (сплошная линия) и суммы его составляющих при числе гармоник $n=7$ (пунктирная линия)

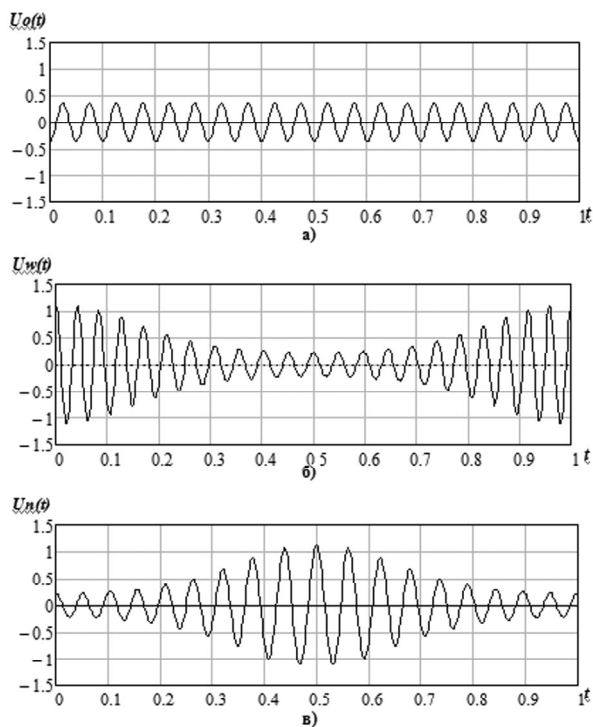


Рис. 2. Временное представление несущего колебания сигнала частотной тональной манипуляции а), его верхней б) и нижней в) боковых составляющих

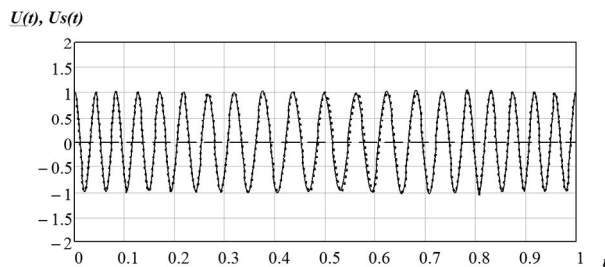


Рис. 3. Графики временного представления сигнала по формуле 1 (сплошная линия) и суммы его составляющих по формуле 2 (пунктирная линия)

$$U_{cc}(t) = U_0(t) + U_w(t) + U_n(t). \quad (2)$$

Спектральное представление сигналов однополосной тональной частотной манипуляции при разложении сигналов в ряд Фурье традиционно используется как представление спектром амплитуд и спектром фаз. Здесь для повышения наглядности представления результатов разложения сигналов в ряд Фурье предлагается использовать так называемый амплитудно-фазовой спектр, вид которого показан на рис. 4.

На этом рисунке поворот фазы составляющих учтен в знаке амплитуды сигнала.

Анализ амплитудно-фазового спектра свидетельствует о том, что:

- одинаково удаленные от несущей частоты (рис. 4, поз. 30) спектральные составляющие имеют одинаковую амплитуду;
- нечетные (относительно несущего колебания, рис. 4, поз. 30) спектральные составляющие имеют противоположные фазы, а четные – одинаковые.

Проведенный выше анализ амплитудно-фазового спектра тонального сигнала ЧМ позволяет сформулировать предположение о том, что, несмотря на структурные отличия между верхней и нижней боковыми составляющими, одну из боковых составляющих можно не передавать. Тогда на приемной стороне для стандартной демодуляции тонально-модулированного ЧМ сигнала по одной из принятых боковых полос долж-

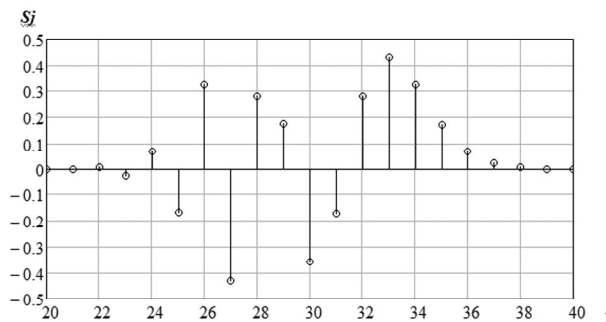


Рис. 4. Амплитудно-фазовый спектр сигнала тональной частотной манипуляции

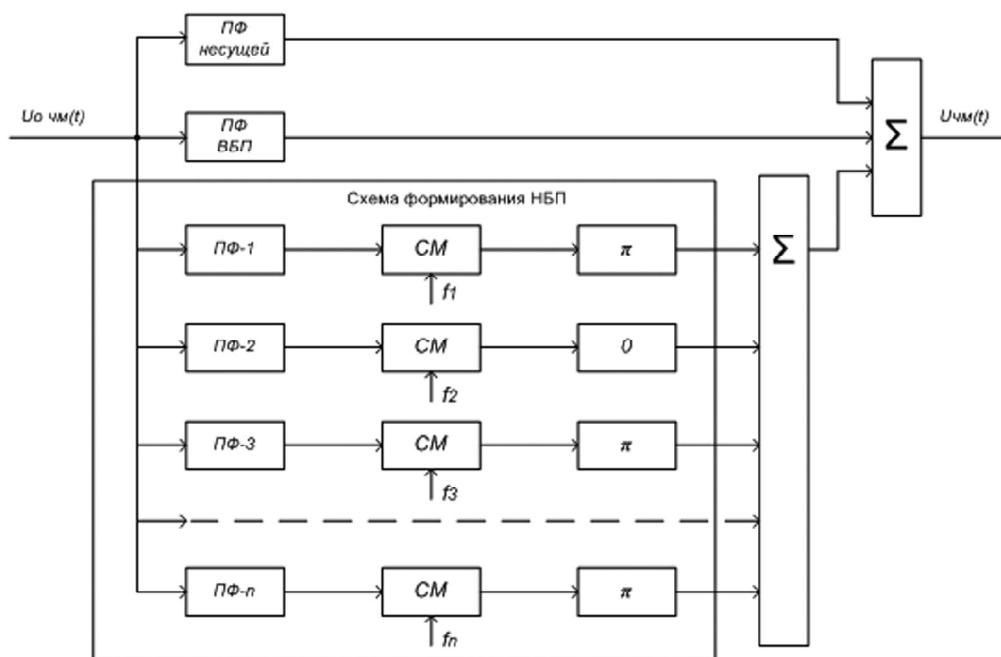


Рис. 5. Структурная схема устройства восстановления сигнала тональной частотной модуляции на входе стандартного демодулятора ЧМ по принятой несущей и одной из боковых полос

на быть восстановлена недостающая боковая полоса частот сигнала. Это можно осуществить путем выделения каждой из спектральных составляющих принятой боковой полосы, переносом их по оси частот на новую частотную позицию и инвертирования необходимых составляющих.

Структурная схема устройства восстановления сигнала тональной частотной модуляции на входе стандартного демодулятора ЧМ сигнала по принятой несущей и одной из боковых полос показана на рис. 5.

Устройство восстановления из принятого несущего колебания и одной из боковых полос стандартного сигнала тональной частотной модуляции должно содержать:

- полосовой фильтр для выделения несущего колебания и одной из боковых полос *ПФ ВБ*,
- полосовых фильтров спектральных составляющих принятой боковой полосы частот *ПФ-\$i\$*;
- смесителей с частотами подставок $f_1 \dots f_n$ для переноса спектральных составляющих на новую частотную позицию;
- фазовращателей на π для задания структуры восстанавливаемой боковой полосы частот;
- первого сумматора для восстановления “копии” подавленной боковой полосы частот;
- второго сумматора для восстановления спектра тонально манипулированного ЧМ сигнала на входе демодулятора.

Реализация устройства восстановления из принятого несущего колебания и одной из боковых полос стандартного сигнала тональной частотной модуляции существенных трудностей при

его реализации не должна вызывать. Оценка влияния точности восстановления амплитуды, частоты и фазы спектральных составляющих на форму результирующего сигнала, проведена методом математического моделирования, так как перенос выделенных спектральных составляющих на новые частоты неизбежно приведет к возникновению ошибки их восстановления.

Для оценки влияния ошибок восстановления амплитуд и частот спектральных составляющих на форму ЧМ сигнала (2) к частотам и амплитудам нижней боковой полосы $U_{\text{нбп}}(t)$ добавляются случайные ошибки, которые формируются датчиками случайных чисел $\text{rnd}(x)$ и $\text{rnd}(z)$.

$$(-1)^k J_n(k, m) \cos(\omega_0 - k(\Omega + \text{rnd}(z))t) \mathbf{1}$$

Расчеты показывают, что при величине частотной ошибки ($\delta \leq 10^{-5}$), аналогичной по точности восстановления несущей для однопольно-модулированных сигналов, формы эталонного и восстановленного сигнала в достаточной степени совпадают. Это позволяет предположить, что частотная точность современных синтезаторов частоты позволит обеспечить требуемое качество восстановления ЧМ сигнала.

На рис. 6 а) представлены сравнительные данные эталонной (сплошная линия) восстановленной нижней боковой полосы частот (пунктирная линия) при величине ошибки восстановления амплитуд гармоник $\varepsilon_A \leq 10^{-2}$.

На рис. 6 б) аналогично показан эталонный и восстановленный сигнал при наличии ошибок.

Как видно из рис. 6, реализуемая на настоящее время точность восстановления составляю-

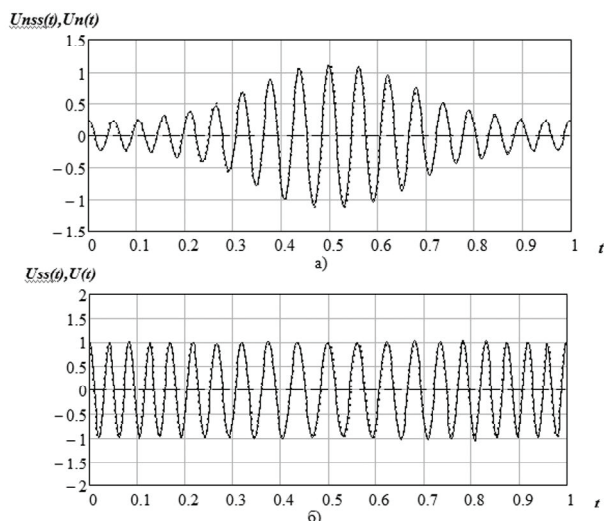


Рис. 6. Сравнительные данные изменения формы восстановленной нижней боковой полосы частот и сигнала в целом при величинах ошибки восстановления амплитуд гармоник $\varepsilon_A \leq 10^{-2}$ и частот $\delta \leq 10^{-3}$

щих сигнала позволяет реализовать устройство восстановления из принятого несущего колебания и одной из боковых полос стандартного сигнала тональной частотной модуляции.

На основании вышеизложенного следует отметить, что:

- проведенные в работе исследования показывают, что для сигналов тональной частотной манипуляции, используемых для передачи дискретных сообщений, однополосная частотная модуляция не только возможна, но и реализуема.
- для восстановления стандартной формы сигналов тональной частотной манипуляции из принятого однополосно-модулированного ЧМ сигнала каждая спектральная составляющая принятой боковой полосы должна выделяться полосовым фильтром, с помощью смесителя переносится на новую частоту и при необходимости инвертироваться.
- частотная точность современных усилителей и синтезаторов частоты позволит обеспечить требуемое качество восстановления сигнала тональной частотной манипуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душин В.К. Теория информационных процессов и систем: Учебник для вузов. М.: Дашков и К°, 2009. 347 с.
2. Душин В.К., Кернов Ю.П. Устройства приёма и обработки сигналов: Учеб. Пособие для вузов. М.: МГУС, 2000. 140 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.

DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF THE USAGE OF SINGLE SIDEBAND FREQUENCY MODULATION SIGNALS

© 2012 A.I. Makaev, N.A. Popov

Institute of Aviation Technology and Management,
Ulyanovsk State Technical University

In this paper the authors examine the tonal frequency manipulation and consider the possibility of creating and using single-sideband signals in the frequency of tonal manipulation. The calculations and graphs are presented to prove proposed technical solution. The structure chart of the device converting single-band modulated signal of tonal frequency manipulation into the standard FM signal is shown.

Key words: spectral representation, manipulation, tonal (frequency) spectrum of the amplitude-phase, structure chart.