

УДК 658.523.012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ОДНОПОЛОСНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

*А.И. Макаев, студент 4 курса самолётостроительного факультета
М.М. Чернова, студентка 4 курса*

*самолётостроительного факультета
Н.А. Попов, научный руководитель, кандидат технических наук
Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета*

Ключевые слова: частотная тональная манипуляция, спектр амплитуд, спектр фаз, верхняя боковая полоса, нижняя боковая полоса схема структурная.

В статье авторы исследуют тональную частотную манипуляцию и рассматривают возможность создания и использования сигналов 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.

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 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 верхней и нижней боковых полос имеют одинаковые значения, а фазы имеют закономер-

ности в чередовании. Эту особенность спектров сигналов тональной частотной манипуляции предлагается использовать для восстановления подавленной боковой полосы по структуре принятой боковой полосы.

При тональном манипулирующем 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 $m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ – индекс частной модуляции;

Ω_i, ψ_i – частота и начальная фаза модулируемого сигнала;

Временное представление сигнала частотной тональной манипуляции на периоде модулирующего сигнала при $m_f=4$ показано на рисунке 1.

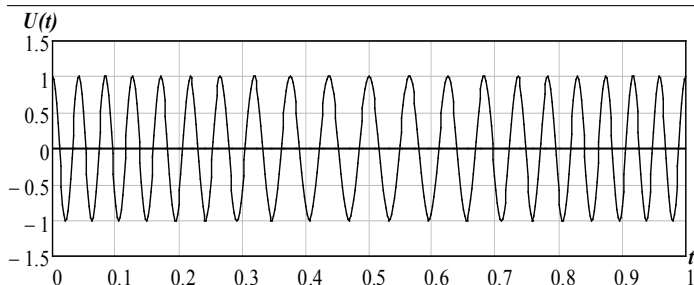


Рис. 1. Временное представление сигнала частотной тональной манипуляции

Соответствующее ему спектральное представление сигнала будет иметь вид [1]

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

в котором:

$J_k(m_f)$ - функции Бесселя при $k = 0$ для несущего колебания, при $k > 0$ для верхней (ВБП), а при $k < 0$ для нижней (НБП) боковых полос.

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 рисунке 2.

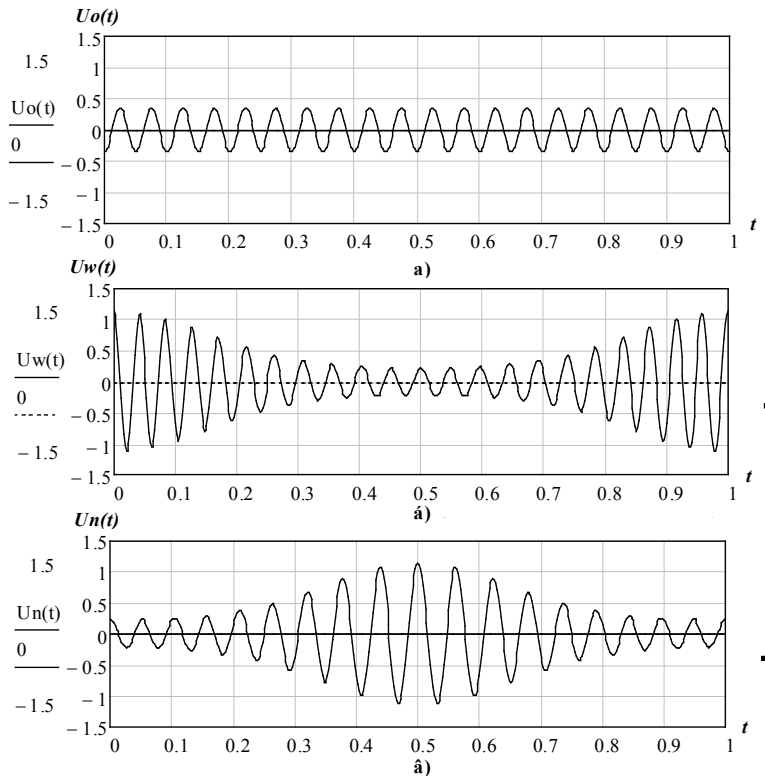


Рис. 2. Временное представление несущего колебания сигнала частотной тональной манипуляции а), его верхней б) и нижней в) боковых составляющих

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 даже ограниченного числа спектральных составляющих позволяет с достаточной степенью точности восстановить ЧМ сигнал. На рисунке 3 показаны графики временного представления

сигнала по формуле (1) (сплошная линия) и суммы несущего колебания, ВБП и НБП

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

при числе гармоник $n=7$ (пунктирная линия)

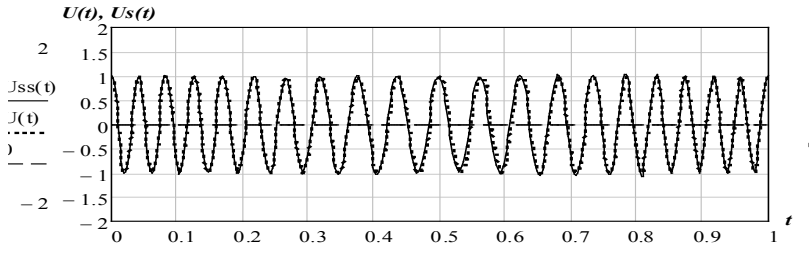


Рис. 3. Графики временного представления сигнала по формуле 1 (сплошная линия) и суммы несущего колебания, ВБП и НБП по формуле 2 (пунктирная линия)

Для наглядности представления результатов разложения сигнала тональной частотной манипуляции в ряд Фурье предлагается использовать так называемый амплитудно-фазовый спектр, вид которого показан на рисунке 4. На нем поворот фазы составляющих учтен в знаке амплитуды сигнала.

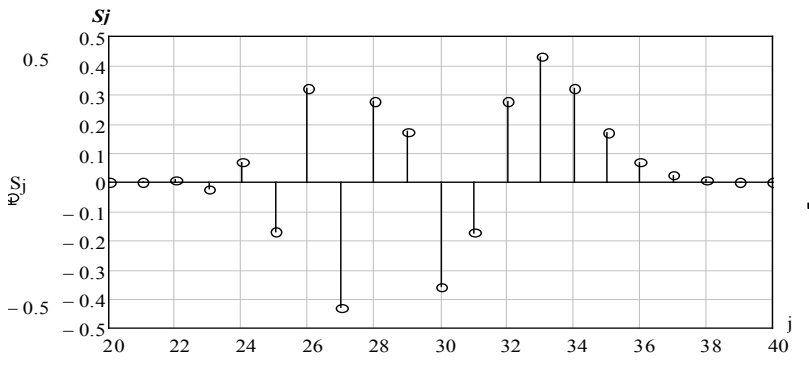


Рис.4. Амплитудно-фазовый спектр сигнала тональной частотной манипуляции

Анализ амплитудно-фазового спектра свидетельствует о том, что:

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

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 по одной из принятых боковых полос необходимо восстановить недостающую боковую полосу частот. Это можно осуществить путем выделения спектральных составляющих принятой боковой полосы, переносом их по оси частот на новую частотную позицию и инвертирования необходимых составляющих.

Структурная схема устройства восстановления сигнала тональной ЧМ по принятой однополосной тональной ЧМ показана на рисунке 5. Она включает:

- полосовой фильтр для выделения несущего колебания и одной из боковых полос ПФ ВБП,
- полосовых фильтров спектральных составляющих ПФ-*i*;
- смесителей с частотами подставок $f_1 \dots f_n$ для переноса спек-

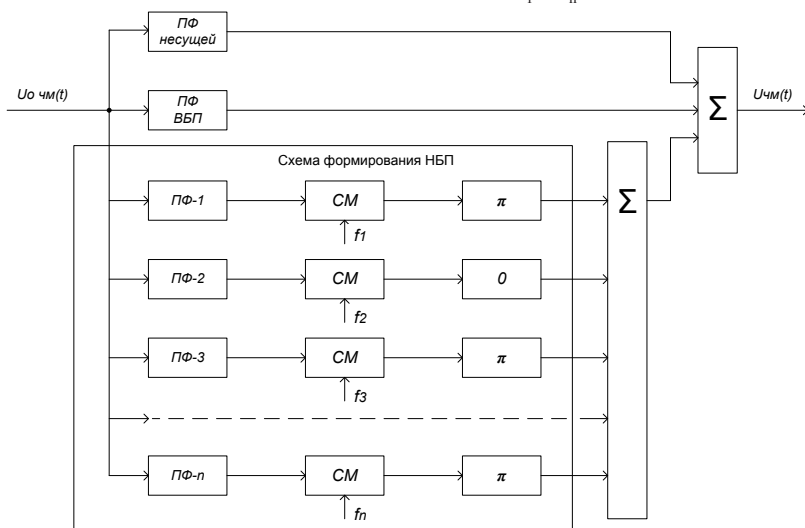


Рис. 5. Структурная схема устройства восстановления сигнала тональной ЧМ по принятой несущей и одной из боковых полос

тральных составляющих на новую частотную позицию;

- фазовращателей на π для задания структуры восстанавливаемой боковой полосы;
- первого и второго сумматоров для восстановления «копии» подавленной БП и тонально манипулированного ЧМ сигнала.

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. Результаты моделирования показывают, что реализуемая на настоящее время частотная точность синтезаторов частоты позволяет создать предлагаемое устройство.

В заключение можно отметить, что полученные результаты позволяют опровергнуть утверждение о невозможности использования сигналов однополосной частотной модуляции. Результаты математического моделирования показывают, что однополосная тональная частотная манипуляция не только возможна, но и реализуема.

Библиографический список:

1. Душин В.К. Теория информационных процессов и систем: Учебник для вузов. – М.: Дашков и К°, 2009. – 347 с.
2. 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

*Makaev A.I, Chernova M.M, Popov N. A.,
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.