

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.391.26

**Лягин Алексей Михайлович, Плетухина Алла Алексеевна,
Плетухина Елена Павловна, Мащенко Александр Александрович**

УСТРОЙСТВО РАЗЛИЧЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ФАЗОМОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ УПОРЯДОЧЕННОГО ВЫБОРА

Как правило, дискретные сигналы с фазовой модуляцией (ФМ) обладают временной и информационной избыточностью, поэтому, используя свойства порядковых статистик выборок небольшого объема, в частности выборочной медианы, предлагается повышение точности измерения текущих значений фазы сигнала ФМ и соответственно уменьшения вероятностей ошибки при различении элементов сигнала.

Ключевые слова: фазовая модуляция, выборочная медиана, порядковая статистика, выборка небольшого объема, дискретный сигнал.

**Lyagin Aleksey Mikhailovich, Pletuhina Alla Alekseevna,
Pletuhina Elena Pavlovna, Mashenko Alexander Alexandrovich
DEVICE DISTINGUISHING DIGITAL MODULATED SIGNALS
BASED ORDERED CHOICE**

Typically, digital signals with phase modulation (PM) have the time and information redundancy, thus using properties of order statistics samples of small volume, in particular, the sample median, the proposed increase in the accuracy of measurement of current values of the FM signal and, therefore, reducing the likelihood of error in discriminating signal elements.

Key words: phase modulation, sample median, order statistic, the sample of small volume, a digital signal.

Существующие способы различения дискретных сигналов с фазовой модуляцией (ФМ) являются, как правило, корреляционно-метрическими и предполагают в своей основе вычисления взаимной энергии [3; 4]. Одним из недостатков данных способов является низкая помехоустойчивость приема в каналах с флуктуирующими параметрами.

В фазовых системах различения сигналов иногда используется временной интервал τ между «нуль – пересечениями» колебания смеси (сигнала и помехи) и опорного колебания, представленный средним числом счетных импульсов, что позволяет использовать цифровую технику для измерения указанного интервала [3, 4]. Существенным недостатком указанных методов измерения сдвига фазы измеряемого гармонического колебания является зависимость погрешности измерений при воздействии на сигнал хаотических кратковременных гармонических помех и быстрых изменений амплитуды сигнала. Это объясняется тем, что наличие указанных мешающих воздействий на измеряемый сигнал приводит к непредсказуемому изменению периода колебаний и, следовательно, к увеличению погрешности измерения временного интервала между «нуль – пересечениями» смеси (сигнала и помехи) и опорного колебания.

Для исключения недостоверных измерений предлагается использовать метод упорядоченного выбора, реализующий алгоритм [2]:

$$\Delta\tau_{med} = \max\{\min(\Delta\tau_1, \Delta\tau_2), \min(\Delta\tau_1, \Delta\tau_3), \min(\Delta\tau_2, \Delta\tau_3)\}, \quad (1)$$

где $\Delta\tau_{med}$ – величина временного сдвига в выборочной медиане принятого квазигармонического колебания по отношению к опорному колебанию при объеме выборки $k = 2q + 1 = 3$ на длительности элементарной посылки T_c сигнала ФМ.

Предлагаемый различитель (рис. 1) состоит из приемного устройства, представленного трактом промежуточной частоты (ТПЧ), на выходе которого установлена схема обработки, состоящая из «нуль – органов» (НО1 и НО2), схемы измерения временного сдвига (СИВС), управляемого счетчика (УС), мажоритарного органа (МО) и решающего устройства (РУ).

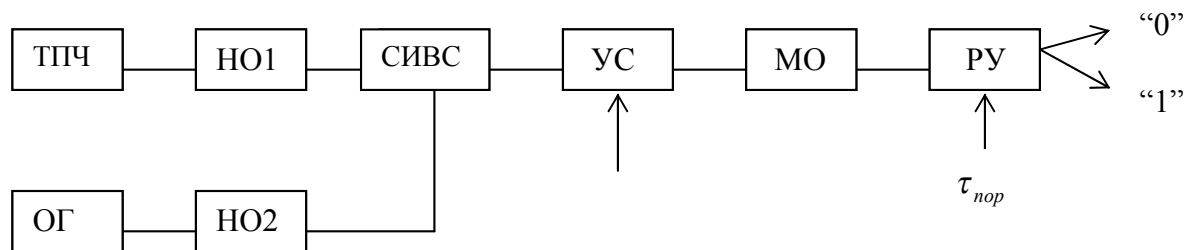


Рис. 1. Структурная схема приемника ФМ сигналов

Принцип различения ФМ сигналов основывается на измерении методом дискретного счета временных сдвигов между измеряемым сигналом и опорным колебанием на длительности элементарной посылки ФМ сигнала в отдельных равновеликих элементах выборки [2; 3]:

$$\Delta t \leq \frac{T_i}{k}, (i = 1, 2), \quad (2)$$

где k – объем выборки [2, 3]; Δt – длительность элемента выборки, заданное временным интервалом число периодов квазигармонического колебания; T_c – длительность элементарной посылки.

Элементы выборки выбраны так, что временные сдвиги на длительностях элементов выборки можно считать независимыми событиями. Мажоритарный орган формирует из результатов измерения с выхода управляемого счетчика вариационный ряд, и оценка результата обработки производится по выборочной медиане этого ряда (1).

Поскольку в канале связи на сигнал ФМ накладывается помеха, то временной сдвиг между принимаемым сигналом и опорным колебанием в каждом элементе выборки является случайной величиной.

Поэтому задача различения ФМ сигнала является статистической, и вероятность ошибочного приема элемента сигнала для двоично-симметричного канала определяется выражением:

$$P_{ош} = P(1)P(0/1) + P(0)P(1/0). \quad (3)$$

Считаем, что $P(1)$ и $P(0)$ априори известны. Вычисления условных вероятностей $P(0/1)$ и $P(1/0)$, согласно алгоритма работы различителя, связано с определением законов распределения случайных величин временного сдвига в выборочной медиане и значений числовых характеристик этих законов.

Определим выражение для вероятностей ошибки в приеме элемента ФМ сигнала в локально-стационарных каналах связи с аддитивной гауссовой помехой. Для узкополосных процессов с отношением сигнал-помеха больше единицы отклонение временного сдвига от среднего за ограниченный отрезок времени подчинено нормальному закону [1; 5], поэтому согласно [1] функция распределения выборочной медианы подчинена асимптотически нормальному закону со средним значением τ_{oi} и дисперсией $\sigma_{\tau i}^2$, и для выборки $k = 2q + 1$ определяется выражением

$$f_{q+1}^{(i)}(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{q+1}} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{oi})^2}{2\sigma_{q+1}^2}\right], i = \overline{1, 2}, \quad (4)$$

где τ_{oi} – среднее значение временного сдвига i -го состояния ФМ сигнала на длительности Δt ; σ_{q+1}^2 – дисперсия выборочной медианы, равная [1]

$$\sigma_{q+1}^2 \approx \frac{\pi\sigma_\tau^2}{4q + \pi}, \quad (5)$$

где σ_τ^2 – дисперсия временного сдвига квазигармонического колебания по отношению к опорному колебанию на длительности Δt .

С учетом (5) выражение (4) запишется

$$f_{q+1}^{(i)}(\tau) = \frac{\sqrt{4q + \pi}}{\sqrt{2}\pi\sigma_\tau} \exp\left[-\frac{(4q + \pi)(\tau - \tau_{oi})^2}{2\pi\sigma_\tau^2}\right]. \quad (6)$$

Решающим фактором при определении условных вероятностей переходов $P(0/1)$ и $P(1/0)$ является поведение функций распределения выборочной медианы $f_{q+1}^{(i)}(\tau)$ при значениях аргумента, лежащих в интервале $[\tau_{nop}, \pm\infty]$. Таким образом, вероятность ошибки определяется как

$$P_{ош} = P(1) \int_{\tau_{nop}}^{\infty} f_{q+1}^1(\tau) d\tau + P(0) \int_{-\infty}^{\tau_{nop}} f_{q+1}^2(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Для двоично-симметричного канала $P(0) = P(1) = 0,5$, $P(0/1) = P(1/0)$, и вероятность ошибки определяется с учетом (5) и (6):

$$P_{ош} = \frac{\sqrt{4q + \pi}}{\sqrt{2}\pi\sigma_\tau} \int_{\tau_{nop}}^{\infty} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{oi})^2 (4q + \pi)}{2\pi\sigma_\tau^2}\right] d\tau = V\left[\sqrt{\frac{4q + \pi}{\pi}} \frac{(\tau_{nop} - \tau_{oi})}{\sigma_\tau}\right], \quad (8)$$

где
$$V(x) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Из выражения (8) для полной вероятности ошибочного приема элемента ФМ сигнала в локально-стационарных каналах связи с аддитивной гауссовой помехой видна зависимость ошибки: от объема выборки $k = 2q + 1$; фазового соотношения в элементах ФМ сигнала, представленного величиной временного сдвига смеси (сигнал и помеха) и опорного колебания, а также от дисперсии σ_τ^2 величины временного сдвига, принимаемого элемента ФМ сигнала, при воздействии на него гауссовых помех.

Литература

1. Гильбо Е. П., Челпанов И. Б. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора. М.: Сов. радио, 1975. 344 с.
2. Пат. 2419098 Российская Федерация. Цифровой способ измерения фазового сдвига гармонических колебаний / Лягин А. М., Жук А. П., Романько Д. В., Плетухина А. А., Плигин Е. А. / Патент на изобретение № 2009118999 от 20.05.2011 г.
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов / А. С. Сигов, Ю. Д. Белик, В. С. Верба [и др.] / под ред. В. И. Нефедова. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2005.
4. Пестряков В. Б. Фазовые радиотехнические системы. М.: Сов. Радио, 1975. 466 с.
5. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. М.: Наука, 1970. 392 с.