

Н.С. ПАСТУШЕНКО, канд. техн. наук, А.Н. ПАСТУШЕНКО, канд. техн. наук,
М.С. ШЕВЧЕНКО

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ДЕМОДУЛЯЦИИ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Введение

Проблема повышения надежности и скорости каналов связи и передачи данных при использовании радиоволн имеет исключительно важное значение. В связи с непрерывным лавинообразным возрастанием потока передаваемой информации актуальность указанной проблемы постоянно увеличивается [1].

При обработке модельных и реальных сигналов с фазовой модуляцией (*phase shift keying* -- *PSK*), которые широко используются в сотовых системах связи, системах удаленного радиодоступа к сети общего пользования, персональных локальных сетях связи, установлено различное качество демодуляции. Одной из причин этого является наличие в реальных сигналах межсимвольных помех, которые увеличиваются с возрастанием скорости модуляции. Межсимвольные помехи, которые являются следствием ограниченной ширины полосы пропускания канала связи (приемного устройства), растягивают реальные сигналы во времени и существенно усложняют процедуры демодуляции [2]. Один из возможных путей – учет характеристик входных цепей канала связи (приемного устройства), канала передачи и выходных цепей передатчика.

В условиях априорной неопределенности относительно ряда параметров фазоманипулированных сигналов (частоты несущего колебания, вида модуляции, начальной фазы и др.) решение этой задачи сводится к использованию квадратурной обработки и итерационному уточнению характеристик трансверсального фильтра (его весовых коэффициентов) [3]. При этом весовые коэффициенты учитывают большинство искажений, которые могут присутствовать в регистрируемом сигнале. Указанное решение отличается низкой оперативностью и требует значительных вычислительных затрат, особенно при необходимости оценки значительного (до нескольких десятков) числа весовых коэффициентов. Поэтому целесообразно оценить допустимый возможный предел сокращения числа весовых коэффициентов и упростить процедуры их оценки за счет использования априорной информации, что и является целью настоящей статьи.

Постановка задачи

Допустимое сокращение числа искоемых весовых коэффициентов будем оценивать в процессе модельного эксперимента, который дает возможность анализировать эталонный, искаженный (регистрируемый) и восстановленный (при различном числе весовых коэффициентов) сигналы [4]. В качестве критерия оптимизации числа весовых коэффициентов будем использовать нормированный коэффициент корреляции ρ и величину суммы квадратов невязок двух анализируемых сигналов

$$\Xi = \frac{\sum_{i=1}^K (x_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^K x_i^2 \sum_{i=1}^K z_i^2}, \quad (1)$$

где x_i и z_i – значения двух анализируемых сигналов, а K – число анализируемых дискретных сигналов. При уменьшении числа используемых весовых коэффициентов L рассчитываемая величина Ξ будет увеличиваться. Ограничением (точкой «остановки») процесса сокращения числа учитываемых весовых коэффициентов будет выступать величина ρ , которая должна

быть большей или равной 0.95, т. е. имеет место оптимизация с ограничениями на величину нормированного коэффициента корреляции.

Методика решения задачи

Эталонный PSK – сигнал будем формировать с помощью расширения Simulink системы MATLAB по заданным характеристикам: виду фазовой модуляции, частоте несущего колебания, скорости модуляции и др. [5]. Сформированный эталонный сигнал X можно пропускать через фильтр, который имитирует работу передатчика (см. рис. 1). Далее на сформированный сигнал аддитивно воздействует помеха $N(0, \sigma)$. После этого сигнал поступает на приемник, работа которого можно аппроксимировать с помощью полосового фильтра. Схема проведения модельного эксперимента представлена на рис. 1.

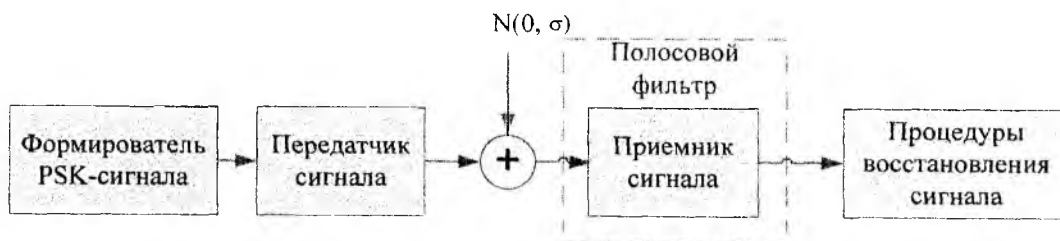


Рис. 1

Характеристики используемого фильтра (амплитудно-частотная, фазочастотная и импульсная характеристики) представлены на рис. 2.

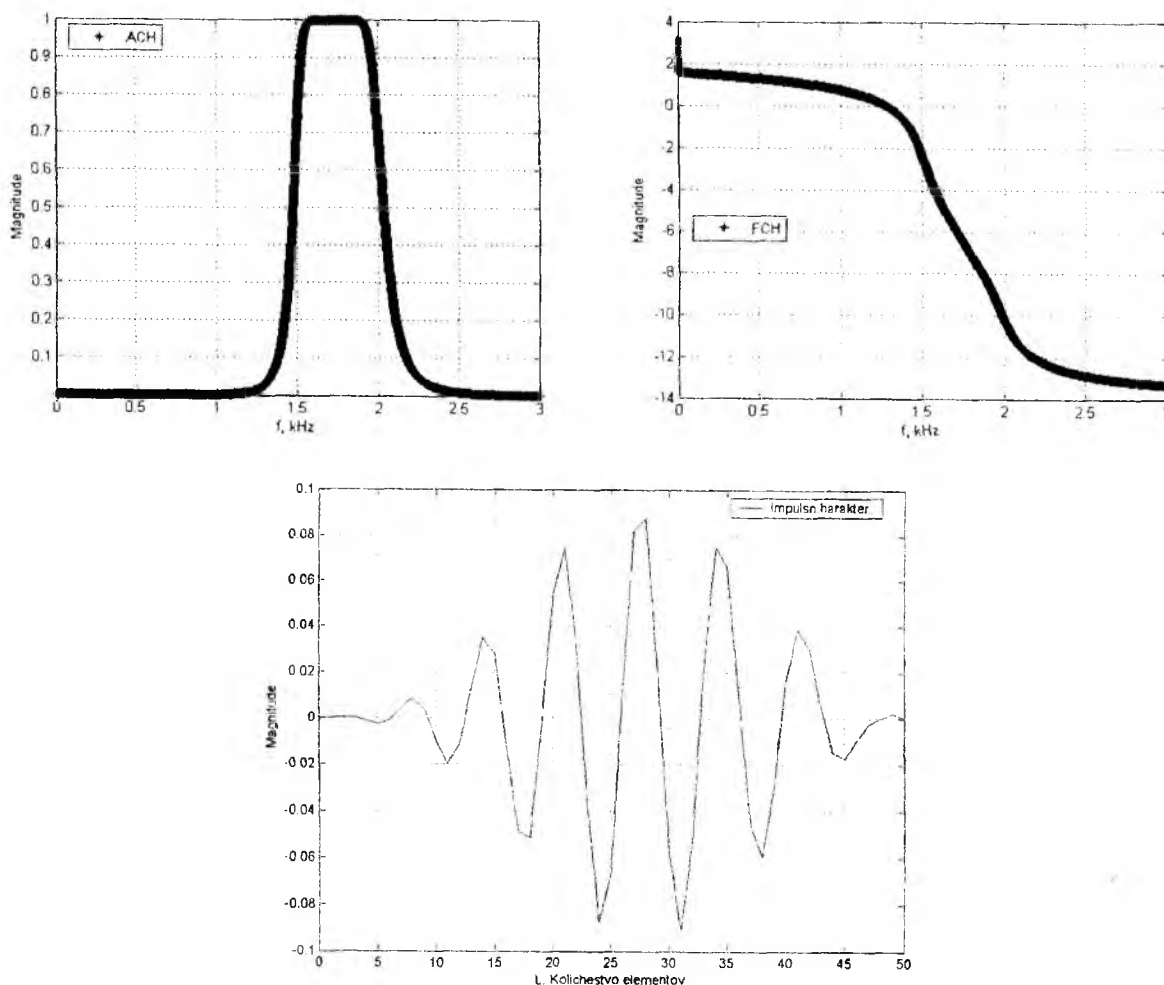


Рис. 2

В общем случае рассматриваемый фильтр имеет импульсную характеристику, которая предполагает учет примерно 50 коэффициентов. Этапы генерации и преобразования эталонного сигнала приведены на рис. 3.

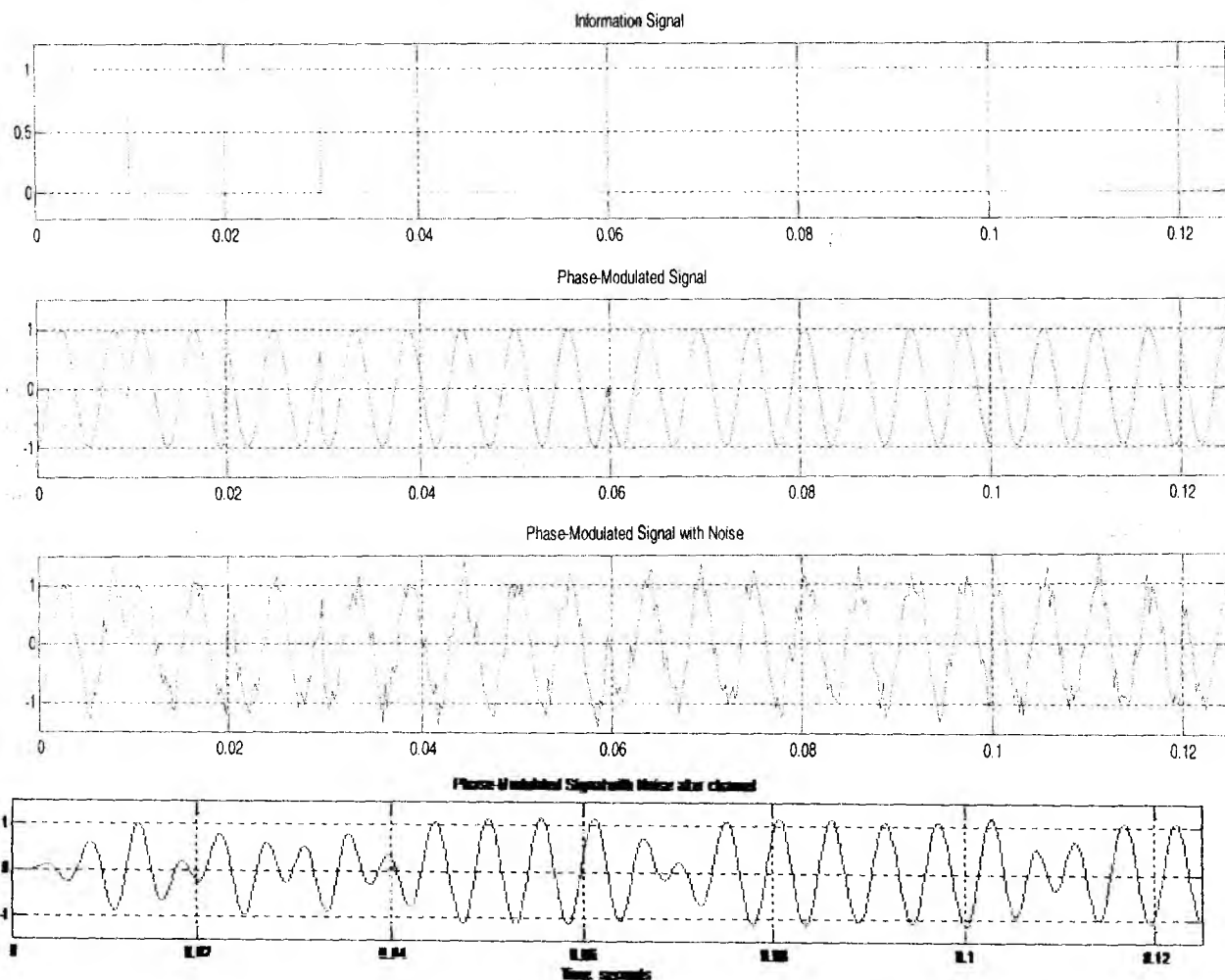


Рис. 3

В качестве исходной информационной последовательности используется псевдослучайная бинарная последовательность (первая временная диаграмма на рис. 3).

В качестве метода модуляции применяется фазовая манипуляция с числом позиций 2 (*PSK-2*, вторая временная диаграмма на рис. 3). Частота несущего колебания составляет 1800 Гц, что позволяет воспользоваться полосовым фильтром, характеристики которого представлены на рис. 2. Далее на модулированный сигнал накладывается гауссов белый шум и результирующий сигнал имеет отношение сигнал/шум примерно равным 15 (третья временная диаграмма на рис. 3).

Результаты прохождения сигнала через полосовой фильтр с 50 весовыми коэффициентами представлены на последней временной диаграмме рис. 3. Математически этот процесс можно представить в виде матричного уравнения

$$\bar{Z} = H \cdot \bar{Y}, \quad (2)$$

где \bar{Z} – вектор-столбец дискретных значений сигнала на выходе полосового фильтра; $\bar{Y} = \bar{X} + \bar{W}$ – вектор-столбец дискретных значений сигнала на входе полосового фильтра, включающий аддитивную смесь полезного сигнала \bar{X} и гауссовского шума \bar{W} заданной интенсивности; H – квадратная ленточная матрица, размерностью $K \times K$, составленная из ко-

эффициентов импульсной характеристики канала, которая для случая учета четырех весовых коэффициентов имеет следующий вид [4]:

$$H = \begin{pmatrix} h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_3 & h_2 & h_1 & h_0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Анализ этой временной диаграммы свидетельствует о «размытии» момента смены фазы и наличии временной задержки («джиттера»). Очевидно, что из 50 весовых коэффициентов не все имеют одинаковое значение для восстановления формы исходного сигнала. Поэтому при исследованиях выбирался коэффициент с максимальной абсолютной величиной и относительно его, влево и вправо расширялось множество используемых коэффициентов.

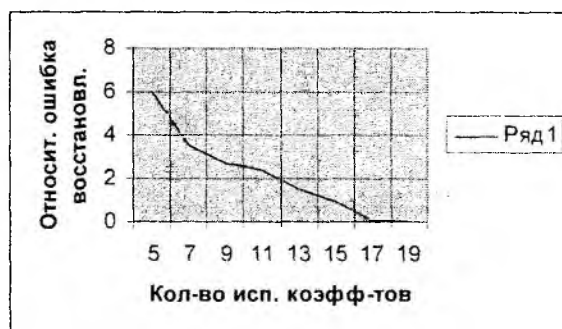


Рис. 4

Результаты и направления дальнейших исследований

Полученные результаты исследований представлены на рис. 4. При этом по оси X – отложено число используемых весовых коэффициентов, а по оси Y – относительная величина ошибки, характеризующая величину искажений сигнала. Анализ полученной зависимости дает право сделать вывод о возможности числа используемых коэффициентов до 7 – 9, что позволит существенно повысить оперативность решения задачи демодуляции. Вместе с тем, следует иметь в виду, что снижение отношения сигнал/шум ниже 15 у анализируемого сигнала приведет к необходимости увеличения числа используемых весовых коэффициентов.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку адаптивных процедур расчета весовых коэффициентов в условиях априорной неопределенности.

Список литературы: 1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Изд. Дом Вильямс, 2004. С.1104. 2. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Под ред. Ю. И. Лосева. М.: Радио и связь. 1988. 208 с. 3. Айфичер, Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: практический подход. М.: Изд. Дом Вильямс, 2004. С.992. 4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. с.604. 5. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. С.768.