

УДК 621.376

## МОДУЛЯЦИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Г.В. Бобрышева, Д.В. Земцов, Б.А. Савельев

## MODULATION IN A DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM

G.V. Bobrysheva, D.V. Zemtsov, B.A. Saveliev

**Аннотация.** Представлена модель работы приемника и передатчика модема стандарта V.32bis, реализованная с использованием средств пакета MATLAB и предназначенная для учебных и демонстрационных целей. Квадратурная модуляция, применяемая в модемах стандарта V.32bis, обеспечивает наиболее высокую помехоустойчивость сигналов передачи по сравнению с другими видами модуляции.

**Ключевые слова:** модем, приемник, передатчик, модуляция, демодуляция, несущая, модулирующий сигнал, помехоустойчивость, стандарт передачи данных.

**Abstract.** The paper presents a model of the transmitter and receiver modem standard V.32bis, implemented with the use of MATLAB package and intended for use in training and demonstration purposes. Quadrature modulation used in standard V.32bis modem, provides the highest noise immunity of transmission signals compared with other modulation types.

**Keywords:** modem, receiver, a transmitter, modulation, demodulation, a carrier wave modulating signal, noise immunity, standard data transmission.

Для передачи информации между двумя устройствами на основе исходных данных формируются сигналы, которые должны быть приведены к виду, согласованному с характеристиками среды распространения (проводной линии связи или радиоканала). В качестве переносчика этих сигналов обычно используется некоторое колебание высокой частоты, называемое несущим колебанием или просто несущей. Данное колебание обладает тремя параметрами: амплитуда, частота и фаза. Какой-либо из этих параметров изменяется во времени пропорционально исходному сигналу. Этот процесс называется модуляцией, а выполняющее его устройство – модулятором. Исходный (информационный) сигнал называется модулирующим (управляющим), а результирующее колебание с изменяющимися во времени параметрами – модулированным сигналом.

Процесс, обратный модуляции, т.е. выделение модулирующего сигнала из модулированного колебания, называется демодуляцией.

Несущую (гармонический сигнал) в общем виде можно записать следующим образом:

$$s(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

У этой несущей есть три параметра: амплитуда  $A$ , частота  $\omega_0$ , начальная фаза  $\varphi_0$ . Каждый из них можно варьировать в соответствии с передаваемой информацией, получив три вида модуляции: амплитудную, частотную и фазовую.

При квадратурной манипуляции (КАМн) каждому из возможных значений дискретного символа сообщения ставится в соответствие пара величин – амплитуда и начальная фаза несущего колебания [1].

Параметры аналогового колебания, сопоставленные дискретному символу  $C_k$ , удобно представлять в виде комплексного числа в экспоненциальной форме  $A_k \exp(j\varphi_k)$  либо в алгебраической форме  $(a_k + jb_k)$ . Совокупность этих комплексных чисел для всех возможных значений дискретного символа называется сигнальным созвездием.

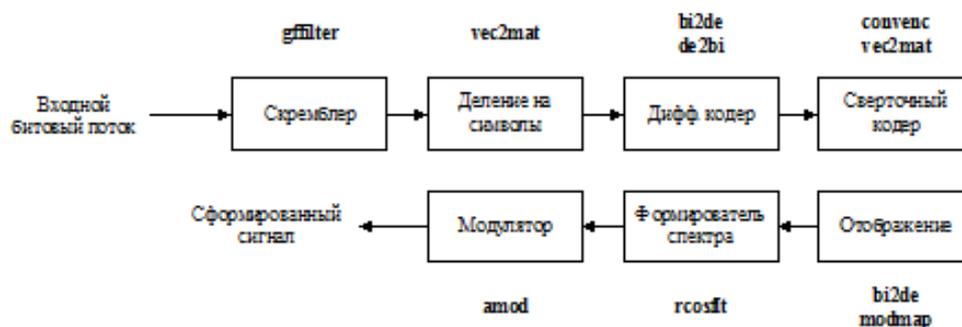
**Помехоустойчивость модуляции.** Важнейшим параметром, характеризующим ту или иную модуляцию, является помехоустойчивость. Этот параметр обязательно должен быть принят во внимание при выборе вида модуляции.

За счет использования двумерного характера гармонического несущего колебания (под двумерностью здесь понимается наличие двух параметров, которые можно независимо изменять) квадратурная модуляция обеспечивает большую помехоустойчивость (то есть меньшую вероятность ошибки на приеме), чем амплитудная или фазовая. Помехоустойчивость тем выше, чем больше расстояние между ближайшими точками созвездия на комплексной плоскости.

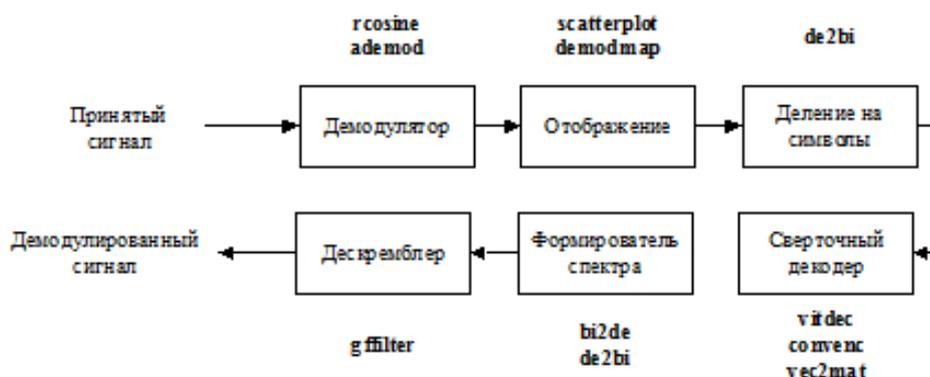
Квадратурная модуляция обеспечивает максимальное межточечное расстояние и является наиболее помехоустойчивой из упомянутых выше.

Модем стандарта V.32bis. V.32bis – стандарт передачи данных по телефонным сетям. Этот протокол обладает многими характерными чертами систем цифровой связи и благодаря своей простоте удобен для использования в учебных и демонстрационных целях. Рекомендация V.32bis предусматривает различные скорости передачи данных – от 4800 до 14400 бит/с [2, 3].

Моделирование работы приемника и передатчика модема стандарта V.32bis проведено с использованием средств пакета MATLAB. На рисунке, а показана структурная схема передатчика модема с указанными функциями пакета Communications, которые используются при реализации различных блоков.



а)



б)

Блок-схема передатчика модема V.32bis (а), приемника модема V.32bis(б)

Входным сигналом модема является последовательный битовый поток данных, для кодирования и модуляции которого используется следующая последовательность процедур.

Входной битовый поток данных проходит через скремблер, представляющий собой рекурсивный фильтр, операции сложения в котором производятся по модулю два. Порядок фильтра  $m = 23$ , положение отвода: для вызывающего модема  $n = 18$ , для отвечающего модема  $n = 5$ . Назначение скремблера – сделать сигнал псевдослучайным. Он удобно реализуется с помощью функции *gffilter*:

```
xs = gffilter(1, [1 zeros(1,17) 1 zeros(1,4) 1], x(:)');
```

Разделение скремблированного битового потока *xs* на символы длиной по 6 бит, которое необходимо для выполнения помехоустойчивого кодирования, выполняется с помощью функции *vec2mat*:

```
sy = vec2mat(xs, 6);
```

Далее два первых (во времени) бита символов подвергаются дифференциальному кодированию, при этом преобразование пар битов в целые числа и обратно осуществляется с помощью функций *bi2de* и *de2bi* соответственно:

```
bits12 = sy(:,1:2);  
y12 = bi2de(bits12);  
y12(2:2:end) = -y12(2:2:end);  
y12m = cumsum(y12);  
y12m(2:2:end) = -y12m(2:2:end);  
y12m = mod(y12m, 4);  
bits12m = de2bi(y12m, 2);
```

Дифференциально-кодированные биты  $Y_1(n)$  и  $Y_2(n)$  подаются на сверточный кодер. Кодер формирует избыточный бит  $Y_0(n)$ , пропуская на выход биты  $Y_1(n)$  и  $Y_2(n)$  без изменений. Следует обратить внимание на то, что избыточный бит  $Y_0(n)$  зависит только от предыдущих, но не от текущих значений входных битов  $Y_1(n)$  и  $Y_2(n)$ . Сверточное кодирование дифференциально-кодированных битов осуществляется с помощью функции *convenc*.

Избыточный бит  $Y_0(n)$ , дифференциально-кодированные биты  $Y_1(n)$  и  $Y_2(n)$  и четыре бита, не подвергавшиеся дифференциальному кодированию, образуют символ, передаваемый в течение одного символьного такта (символьная скорость 2400 символов/с). Этот символ отображается на комплексную плоскость с использованием созвездия квадратурной манипуляции.

Для сужения полосы модулирующего сигнала и ослабления межсимвольной интерференции полученный после отображения комплексный сигнал подвергается интерполяции с использованием формирующего фильтра нижних частот (ФНЧ). В качестве такого фильтра, как правило, используется ФНЧ с косинусоидальным сглаживанием амплитудно-частотной характеристики.

Интерполированный комплексный сигнал  $s_M(t)$  после фильтрации используется для модуляции несущего колебания с частотой  $f_0 = 1800$  Гц, в результате чего получается сигнал передачи данных  $s(t)$ . Модулированный сигнал является выходом функции, реализующей модель передатчика модема стандарта V.32bis.

Функция, реализующая приемник модема V.32bis, выполняет преобразования, обратные по отношению к процессам, происходящим в передатчике.

Функция принимает на входе массив отсчетов модулированного сигнала и возвращает вектор принятых битов.

Аналоговая демодуляция производится с помощью функции *ademod*. Далее находятся точки используемого созвездия, ближайшие к принятым точкам.

После жесткого декодирования с использованием алгоритма Витерби осуществляется дифференциальное декодирование двух бит каждого символа.

Последний этап – дескремблирование битового потока, легко реализуемое с помощью все той же функции *gffilter*. Вектор дескремблированных битов является результатом работы функции приемника модема.

#### Библиографический список

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
3. Алехина М.А., Лысенко А.М., Мельников Б.Ф. Об одном подходе к моделированию вычислительных устройств // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – №2 – 2007. – С. 2–9.

**Бобрышева Галина Владимировна**

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

**Bobrysheva G.V.**

Penza State University,  
Penza, Russia

**Земцов Дмитрий Владимирович**

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

**Zemtsov D.V.**

Penza State University,  
Penza, Russia

**Савельев Борис Александрович**

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

**Saveliev B.A.**

Penza State University,  
Penza, Russia