

## МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ДЛЯ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ И АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ЧАСТОТНО- МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В СРЕДЕ MATLAB

*В.Т.Першин, А.А.Хмыль*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, pershin\_v@mail.ru*

Abstract. Presented the program Matlab, allowing an analysis of the spectra and autocorrelation functions of FSK signals given by manipulating various functions in the form of m-sequences. Manipulating functions independently selected students using four bit shift register is covered by the feedback circuit and have a length of from 15 to 25 bits . Transfer of high-level (logical unit) corresponds to the frequency of the carrier wave of 2 kHz, the transfer of low-level (logic zero) – frequency of 1 kHz. The duration of each element manipulating function is 1 ms.

Целью представленной методической разработки является построение спектров и автокорреляционных функций (АКФ) частотно-манипулированных сигналов, заданных тремя манипулирующими функциями в виде m-последовательностей, полученных с помощью четырехразрядного регистра, охваченного цепью обратной связи.

Исходные данными к выполнению работы служат манипулирующие функции, представляющие собой m-последовательности, полученные при помощи 4-х разрядного регистра сдвига, охваченного обратной связью. Длины последовательностей, набираемых студентами самостоятельно достигают – 25 бит. Передаче высокого уровня (логической единицы) соответствует частота несущего колебания 2 кГц, передаче низкого уровня (логического нуля) – 1 кГц. Длительность одного элемента манипулирующей функции равна 1 мс, т.е. на длительности одного элемента располагается либо один, либо два периода несущей частоты. Программа с пояснениями представлена ниже [1].

```
>>bits=[1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0]; %задаётся цифровое сообщение
>> N=length(bits); % вычисляется длина сообщения (в битах).
>> Fd=1e3; % скорость следования битов цифрового сообщения
>> FsFd=50; %количество отсчётов дискретного времени, приходящихся на один
%символ цифрового сообщения
>> Fs=Fd*FsFd; % производим вычисление частоты дискретизации
>> f=[1e3 2e3]; % задаем значения частот манипуляции 1000 Гц и 2000 Гц
>> t=(0:FsFd-1)/Fs; % рассчитываем дискретное время для одного символа %цифрового
сообщения
>> pps=2*pi*f/Fs; % определяем сдвиг фазы на один отсчёт
>> s1= repmat(pps,FsFd,1); %определяем фазовые сдвиги для логических нулей и единиц
%цифрового сообщения. Результатом действия функции repmat является матрица,
%содержащая два столбца, состоящих из FsFd элементов. В первом столбце будут
%содержаться значения фазовых сдвигов для логических нулей, во втором – для
%логических единиц
>> d_cpfsk=s1(:,bits+1); % производим выбор столбца, соответствующего текущему
символу %сообщения. Итогом является формирование матрицы, содержащей 25
столбцов (25 бит %цифрового сообщения) по FsFd элементов
>> d_cpfsk=d_cpfsk(:); % все столбцы матрицы, сформированной предыдущей строкой,
%выстраиваются подряд друг за другом. В результате получается матрица, состоящая
из %одного столбца, содержащая все необходимые фазовые сдвиги
```

```
>> phi_cpfsk=cumsum(d_cpfsk); % выполняем интегрирование фазовых сдвигов для
%получения фазовой функции
>> s_cpfsk=cos(phi_cpfsk); % формируем частотно-манипулированный сигнал
>> td=(0:N*FsFd-1)/FsFd; % организуем время для удобства отображения графика в
%символах
>> plot(td,s_cpfsk) % выводим на экран график частотно-манипулированного сигнала во
%временной области.
```

Такой способ формирования сигнала называется частотной манипуляцией с непрерывной фазовой функцией (continuous phase frequency shift keying, CPFSK). При этом формируется линейно меняющаяся полная фаза колебания, а передаваемые символы управляют скоростью её изменения. При этом передаваемые символы переключают значение мгновенной частоты, которая интегрируется, давая непрерывную фазовую функцию. Косинус такой полной фазы тоже будет непрерывной функцией.

Следующим шагом является построение спектра частотно-манипулированного сигнала. Для этого в MATLAB используется термин `periodogram`, представляющий собой оценку спектральной плотности мощности, полученной по отсчетам одной реализации путем усреднения конечного числа слагаемых. Таким образом, периодограмма рассчитывается по следующей формуле

$$W(\omega) = \frac{1}{Nf_{\delta}} \left| \sum_{k=0}^{N-1} s(k)e^{-i\omega kT} \right|^2.$$

Деление на частоту дискретизации  $f_{\delta}$  необходимо для получения оценки спектральной плотности мощности аналогового процесса, восстановленного по отсчетам сигнала  $s(k)$ , так как связь спектра аналогового и дискретизированного сигналов использует множитель  $1/T = f_{\delta}$ . Поскольку периодограмма не является состоятельной оценкой спектральной плотности мощности, так как дисперсия этой оценки сравнима с квадратом ее математического ожидания, то при увеличении числа используемых отсчетов значения периодограммы начинают все быстрее флуктуировать, в чем студенты могут убедиться, работая с этой программой.

Для этого, в командной строке необходимо ввести следующую команду:

```
>> periodogram(s_cpfsk,[],[],Fs,'onesided') % данная функция (периодограмма) является
функцией %непараметрического спектрального анализа. Она вычисляет и выводит на
экран график %спектральной плотности мощности для одной (данной) реализации
сигнала. При этом %спектр частотно-манипулированного сигнала, вычисленный
вышеуказанным способом %представляется в графическом виде, обеспечивая
наглядность решения задачи. Отметим, %что при использовании непараметрических
методов расчета спектральной плотности %мощности анализируемого сигнала
используется только информация, заключенная в %отсчетах сигнала без каких-либо
дополнительных предположений.
```

%Единственным обязательным входным параметром является `s_cpfsk` – вектор %отсчетов сигнала. Остальные параметры имеют значения параметров по умолчанию, %которые используются, если в качестве параметра указана пустая матрица `[]` или если %некоторое количество параметров (начиная с последнего) опущены при вызове.

Далее необходимо произвести построение АКФ частотно-манипулированного сигнала. Для этого, в командной строке MATLAB необходимо ввести команды:

```
>> K=length(td); % определяем число элементов дискретного времени, для которого
будет %рассчитываться АКФ
```

```
>> [tmp,R]=corrmtx(s_cpfsk,K-1); %производится расчёт корреляционной матрицы  
частотно-%манипулированного сигнала  
>> plot(td,R(1,:)) % выводим на экран первую строку этой матрицы, причём время для  
%графика также отображается в символах. В результате получаем АКФ частотно-  
%манипулированного сигнала, вычисленную таким способом.
```

Заключительным на данном этапе шагом является выполнение аналогичных действий при построении спектров и АКФ частотно-манипулированного сигналов для двух оставшихся манипулирующих функций. По результатам выполненных оценок проводится обсуждение зависимостей формы автокорреляционных функций и спектров анализированных сигналов, представленных различными  $m$ -последовательностями. В докладе приведены результаты выполнения этой работы для ряда манипулирующих функций, позволяющих провести анализ и обсуждение спектров и АКФ исследованных сигналов.

#### *Литература*

- 1.Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Л., Питер, 2006, с.751.