

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

В.И. Парфенов,  
В.К. Бутейко

## **КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр  
Воронежского государственного университета  
2012

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ПРИНЦИПЫ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

Сигналы описывают функциями времени  $s(t)$ , комплексными спектрами  $G(j\omega)$  и корреляционными функциями – автокорреляционной (АКФ)  $K(\tau)$  и взаимокорреляционной (ВКФ)  $B(\tau)$ . Напомним, что у финитных во времени сигналов названная триада характеристик связана следующими соотношениями [1,2]:

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega, \\ K(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t-\tau) dt, \quad B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t-\tau) dt, \\ K(\tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G(j\omega)|^2 \exp(j\omega\tau) d\omega, \quad |G(j\omega)|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau, \\ B(\tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G_1(j\omega)G_2^*(j\omega) \exp(j\omega\tau) d\omega, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $G_2^*(j\omega)$  – комплексно-сопряженный спектр сигнала  $s_2(t)$ .

Автокорреляционная функция сигнала служит для определения степени отличия сигнала и его смещенной во времени копии. Взаимокорреляционная функция двух сигналов единым образом описывает как различие в форме сигналов, так и их взаимное расположение на оси времени.

При оптимизации сигнала на упомянутые функции налагают определенные требования. Например, для повышения числа каналов передачи информации в системах связи с частотным разделением каналов при заданной рабочей полосе частот синтезируют сигналы с узкими (компактными) амплитудными спектрами  $|G(j\omega)|$ . Для обеспечения возможности надежного различения переданных информационных символов (букв, цифр и т.д.) используют сигналы, АКФ и ВКФ которых отличаются наиболее существенно.

Для радиолокационных систем доказано, что оптимальной обработкой принятой смеси отраженных сигналов и белого гауссова шума является корреляционная обработка. Суть такой обработки (называемой также корреляционным приемом или согласованной фильтрацией) состоит в том, что выходной сигнал  $y(t)$  приемника образуют из входной смеси  $x(t)$  по правилу  $y(\tau) = \int_0^{T_m} x(t)s(t-\tau)dt$ , где  $T_m$  – наибольшая временная задержка ответного сигнала радиолокатора,  $s(t)$  – излученный (зондирующий) сигнал.

- зарисовать вид сигнала  $s_1(t)$ , используя как программу *Micro Cap*, так и программу *Maxima*;
- рассчитать и зарисовать амплитудно-частотный спектр этого сигнала, также используя программы *Micro Cap* и *Maxima*;
- с использованием программ *Micro Cap* и *Maxima* рассчитать и зарисовать графики взаимокорреляционной функции (ВКФ) сигналов  $s_0(t)$  и  $s_1(t)$ ;
- определить, что происходит с ВКФ с увеличением базы ЛЧМ-сигнала  $D$ .

### **Задание 3. Расчет характеристик бинарно-манипулированных радиосигналов**

Под бинарной последовательностью здесь понимается сигнал в виде последовательности из пяти прямоугольных видеоимпульсов  $u(t)$  длительностью  $T/5$  каждый, мгновенные значения которых равны соответственно значениям символов 1 или  $-1$  порождающего бинарного 5-разрядного кода. Бинарно-манипулированный радиосигнал  $s(t)$  получается из  $u(t)$  путем умножения последнего на функцию  $s_0(t)$  (3). При расчетах огибающая этой функции формируется согласно табл. 1 в соответствии с номером вашего варианта. Таким образом,  $s(t) = s_0(t)u(t)$ . В качестве бинарной порождающей последовательности использовать пятиразрядную последовательность вида (1 1 1  $-1$  1). Далее выполнить следующие пункты задания:

- зарисовать вид сигналов  $u(t)$  и  $s(t)$ , используя как программу *Micro Cap*, так и программу *Maxima*;
- рассчитать и зарисовать амплитудно-частотные спектры этих сигналов, также используя программы *Micro Cap* и *Maxima*;
- найти и зарисовать АКФ исследуемых сигналов  $u(t)$  и  $s(t)$  с использованием программ *Micro Cap* и *Maxima*;
- определить, как изменятся спектры сигналов  $u(t)$ ,  $s(t)$  и их АКФ, если использовать другую кодовую последовательность, например (1  $-1$  1  $-1$  1).

### **Задание 4. Корреляционная обработка смеси сигнала и помехи**

В качестве полезного радиосигнала будем использовать радиосигнал вида (3), огибающая которого определяется, как и ранее, номером вашего варианта в соответствии с табл. 1. Точнее, полезным сигналом считается принимаемый радиолокатором отраженный (ответный) от наблюдаемого объекта радиоимпульс, имеющий временную задержку  $\tau_{\text{зад}}$ .

В качестве помехи рассматриваются два вида помех: помеха запаздывающего переотражения и синусоидальная помеха. При наличии крупных

объектов (зданий, гор), расположенных вблизи от наземного радиолокатора, в его антенну могут попадать два сигнала, отраженные от наблюдаемого объекта (например, самолета). Один – прошедший прямой путь от объекта до антенны, и второй – дополнительно переотраженный от здания или горы. Аналогичная картина наблюдается и в корабельных локах, антенны которых расположены на мачтах. Тогда переотражение ответного сигнала происходит от водной поверхности, окружающей корабль.

Поскольку путь второго сигнала длиннее, то переотраженный сигнал имеет дополнительную задержку во времени. Первый сигнал называют прямым полезным сигналом, а второй – помехой запаздывающего переотражения. Таким образом, наблюдаемые данные в этом случае можно представить в виде

$$x(t) = s_0(t - \tau_{\text{зад}}) + k \cdot s_0(t - \tau_1), \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент ослабления запаздывающего сигнала. В дальнейшем при исследованиях этот параметр выбирается равным 1 (наиболее плохая ситуация).

В качестве синусоидальной помехи рассматривается обычный гармонический сигнал с частотой  $2\omega_0/3$ , так что наблюдаемые данные в этом случае будут выглядеть как

$$x(t) = s_0(t - \tau_{\text{зад}}) + k \sin\left(\frac{2}{3} \omega_0 t\right). \quad (6)$$

Коэффициент ослабления  $k$ , как и ранее, выбрать равным 1.

Далее выполнить следующие пункты задания:

- зарисовать вид наблюдаемых данных (5) и (6), используя как программу *Micro Cap*, так и программу *Maxima*;
- найти и зарисовать результат корреляционной обработки наблюдаемых данных (5) и (6) с использованием программ *Micro Cap* и *Maxima*;
- определить положения абсолютных максимумов выходных сигналов корреляторов

$y(\tau) = \int_0^{T_m} x(t)s_0(t - \tau)dt$  для рассматриваемых видов помеховых ситуаций.

## Пример выполнения лабораторной работы № 1

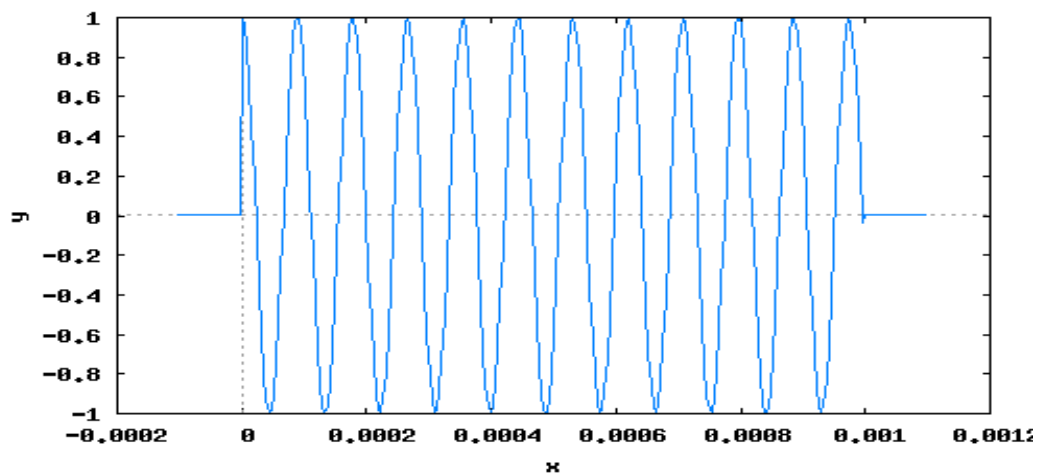
### Пример выполнения задания 1

В качестве анализируемого радиосигнала  $s_0(t)$  рассмотрим простейший прямоугольный радиоимпульс, для которого функция  $a(t) = A0$ , причем положим, что  $A0 = 1$ . Рассмотрим вначале пример выполнения задания в среде *Maxima*. Для того чтобы зарисовать вид этого сигнала, необходимо набрать следующее:

```
kill(all)$ numer:true$ ratprint:false$
T:1/1000$ A0:1$ omega0:2*%pi*1E4*1.13$
/* Определим параметры дискретизации */
dt:2*%pi*0.03/omega0$ domega:2*%pi*0.1/T$
TF:2*%pi/domega$ h(x):=(if x < 0 then 0 else 1)$
A(tt):=A0*(h(tt)-h(tt-T))$
s0(tt):=A(tt)*cos(omega0*tt)$
```

Учтем, что в дальнейшем будем вычислять спектры. Для снижения требований к вычислительным ресурсам при их вычислении будем использовать алгоритм быстрого преобразования Фурье, поэтому:

```
NF:2^entier(log(TF/dt)/log(2))$
NT:2^entier(log(T/dt)/log(2))$
N:max(NT,NF)$
array(t,N-1)$ array(S0,N-1)$
for i:0 thru N-1 step 1 do (t[i]:T*(i-N/2)/NT,
S0[i]:s0(t[i])),numer$
NTL:entier(N/2-0.1*NT)$ NTR : entier(N/2+1.1*NT)$
t1:makelist(t[j],j,NTL,NTR)$
s01:makelist(S0[j],j,NTL,NTR)$
wxplot2d([discrete,t1,s01]);
```



Для вычисления амплитудно-частотного спектра такого сигнала в среде *Maxima* следует загрузить пакет *fft* и ввести соответствующие команды:

```
load(fft)$
z:fft(S0),numer$
NOmega0:entier(omega0*N*T/(2*%pi*NT))$ NRe-
```