

**Национальный исследовательский университет
«МЭИ»**

Институт радиотехники и электроники

Кафедра радиотехнических систем

Особенности СРНС ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Бэйдоу

Контрольная работа №3

ФИО студента: Жеребин В.Р.

Группа: ЭР-15-15

Вариант №: 3

Дата: 05.05.20

Подпись: _____

ФИО преподавателя: Шатилов А.Ю.

Оценка: _____

Москва, 2020 г.

Дано:

1. Система и тип радионавигационного сигнала.
2. Если сигнал имеет 2 компоненты (пилотную и информационную), то задан системный номер НКА, с которого излучается этот сигнал.
3. Если сигнал имеет только информационную компоненту, то заданы 2 системных номера радионавигационного сигнала, которые соответствуют системным номерам НКА.

№ варианта	СРНС	Тип сигнала	№ НКА	ИКД
3	GPS	L2C	2	IS-GPS-200G

Требуется:

1. Смоделировать заданные радионавигационные сигналы в цифровой системе на промежуточной частоте с учетом уплотнения 2-х компонент (или разделения 2-х сигналов – частотного или кодового). Учесть также модуляцию
 - цифровой поднесущей (если она есть);
 - оверлейным кодом (если он есть);
 - навигационным сообщением в виде 101010101010....

Частота дискретизации в 4 раза больше ширины спектра сигналов по главным лепесткам.

Промежуточная частота равна четверти частоты дискретизации.

Длительность выборки моделируемого сигнала 20 мс.

Начало сигнала синхронно с началом суток ШВС.

При моделировании сигнала амплитуду каждой компоненты полагать $A=1$.

Доплеровский сдвиг частоты и задержку полагать нулевыми.

2. Записать первые и последние 16 бит каждого дальномерного кода в уплотненном (суммарном) сигнале, проверить их по ИКД (если они там есть).
3. Записать выбранные значения частоты дискретизации и промежуточной частоты.
4. Построить график любого участка сигнальной выборки, длительностью 5 символов дальномерного кода.
5. Рассчитать и построить энергетический спектр (в дБ) и автокорреляционную функцию смоделированного суммарного сигнала.
6. Привести исходный код программы, выполняющей расчеты.

Указания:

1. Моделирование проводить на основе ИКД.

Решение:

1. Смоделированный радиосигнал GPS L2C:

Радиосигналы L2C – открытые сигналы с модуляцией BPSK(1) в диапазоне L2 (1227.60 МГц), компоненты сигнала (Data/Pilot) имеют временное уплотнение.

Запись суммарного сигнала

$$s_{L2C,k}(t) = A \cdot \left| \frac{G_{CM,k}(t) \cdot G_{HC,k}(t)}{G_{CL,k}(t)} \right| \cdot \sin(2\pi f_{L2}t + \varphi_{0L2})$$

$G_{CM,k}(t) = \{\pm 1\}$ – дальномерный код средней длительности (CM – Code Moderate)

$G_{CL,k}(t) = \{\pm 1\}$ – дальномерный длинный код (CL – Code Long)

$G_{HC,k}(t) = \{\pm 1\}$ – навигационное сообщение

Бинарная последовательность	$G_{CM,k}(t)$	$G_{CL,k}(t)$	$G_{HC,k}(t)$
Длительность элементарного символа τ_s	$\frac{1}{511,5} \text{ мс} = 1,955 \times 10^{-6} \text{ с} = 1,955 \text{ мкс}$		20 мс
Период T	20 мс	1,5 с	-
Длина кода L	10230 бит	767250 бит	-

Цифровая поднесущая и оверлейный код отсутствует.

Длительность выборки моделируемого сигнала $t_{end} = 20 \text{ мс}$.

Начало сигнала синхронно с началом суток ШВС $t_{start} = 0 \text{ с}$.

2. Первые и последние 16 бит каждого ДК:

СМ-код:

Первые 16 бит	Последние 16 бит
1101 0000 1111 1000	0001 0001 1111 0000

Так как по ИКД проверить коды нельзя, можно проверить состояния регистров сдвига

Начальное состояние	Конечное состояние
$756014035_8 =$ $111\ 101\ 110\ 000\ 001\ 100\ 000\ 011\ 101_2$	$034445034_8 =$ $000\ 011\ 100\ 100\ 100\ 101\ 000\ 011\ 100_2$

Состояния регистров совпадают с ИКД, из чего можно сделать вывод о том, что СМ-код сформирован верно.

CL-код:

Первые 16 бит	Последние 16 бит
0010 0000 0001 0010	1101 0001 0011 1100

Аналогично СМ-коду, проверяем состояния регистров сдвига

Начальное состояние	Конечное состояние
$506610362_8 =$ $101\ 000\ 110\ 110\ 001\ 000\ 011\ 110\ 010_2$	$167516066_8 =$ $001\ 110\ 111\ 101\ 001\ 110\ 000\ 110\ 110_2$

Состояния регистров совпадают с ИКД, из чего можно сделать вывод о том, что СЛ-код так же сформирован верно.

3. Ширина спектра по главным лепесткам $\Delta f = 2.046$ МГц.

Частота дискретизации $f_d = 4 \cdot \Delta f = 8.184$ МГц.

Промежуточная частота $f_{\Pi} = \frac{f_d}{4} = 2.046$ МГц.

4. График участка сигнальной выборки, длительностью 5 символов дальномерного кода.

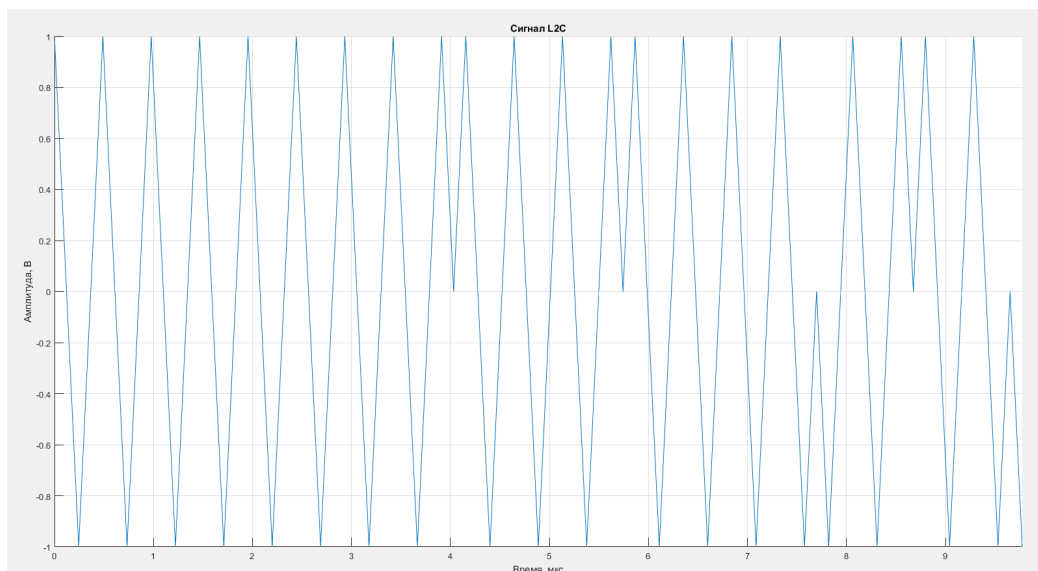


Рисунок 1 – График сигнал GPS L2C

5 символов ДК составляют: $5 \cdot 1,955 \text{ мкс} = 9,775 \text{ мкс}$

5. Расчёт и построение энергетического спектра (в дБ) и автокорреляционной функции смоделированного сигнала.

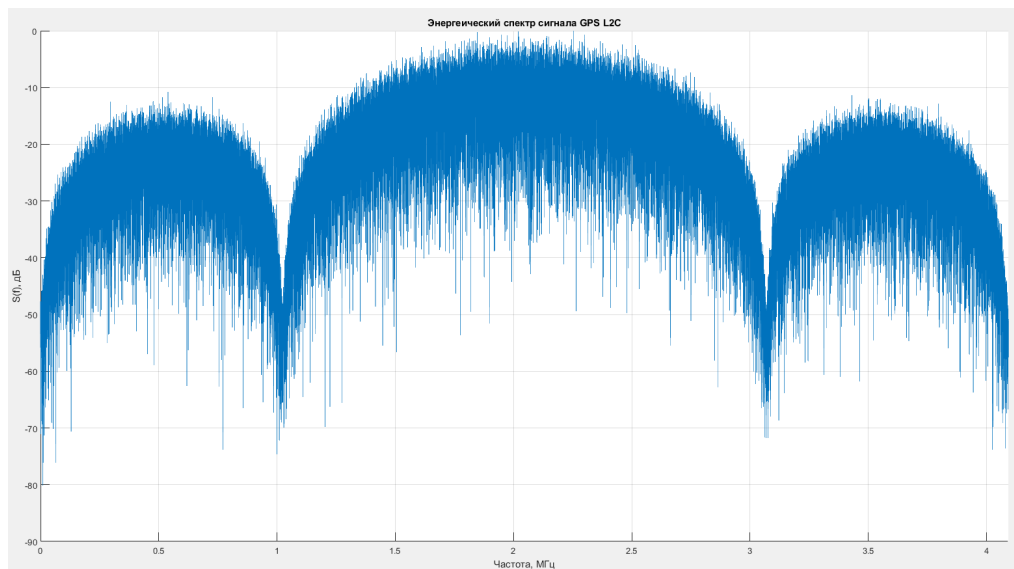


Рисунок 2 – Энергетический спектр сигнала GPS L2C

Для нахождения автокорреляционной функции воспользуемся теоремой Виннера-Хинчина.

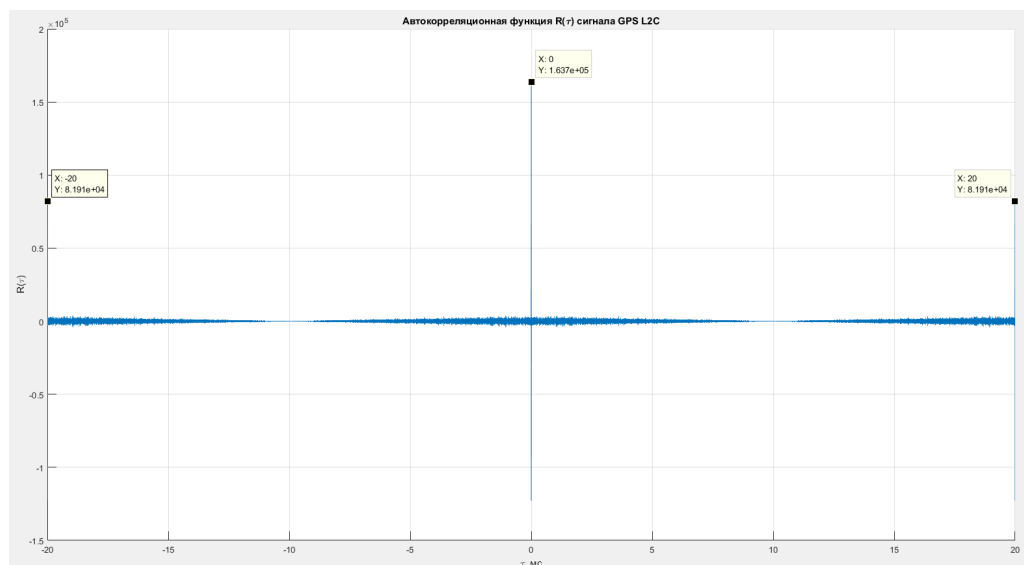


Рисунок 3 – Автокорреляционная функция сигнала GPS L2C

В нуле АКФ имеет свой максимум (163681), и именно такое число отсчетов смоделированного сигнала.

На границах рисунка 3 видны корреляционные пики, соответствующие периодичности СМ-кода. Его период составляет как раз 20 мс.

6. Исходный код программы, выполняющей расчеты:

```
close all; clear all; clc;
format long

%% GPS L2C
f_L2 = 1227.6e6; % Несущая частота [Гц]

%% Нав. сообщение Navigation Data
chip_ND = 20e-3; % Длительность элементарного символа [с]
G_ND = [-1 1]; % Содержание нав. сообщения
```

```

L_ND = length(G_ND);

%% Формирование ДК
% CM-код (информационная компонента)
T_CM = 20e-3; % Период кода [с]
L_CM = 10230; % Длина кода [бит]
Ft_CM = 0.5115e6; % Частота выборки символов [бит/с]
chip_CM = 1/Ft_CM; % Длительность элементарного символа [с]

% CL-код (пилотная компонента)
T_CL = 1.5; % Период кода [с]
L_CL = 767250; % Длина кода [бит]
Ft_CL = 0.5115e6; % Частота выборки символов [бит/с]
chip_CL = 1/Ft_CL; % Длительность элементарного символа [с]

% Начальное состояние регистров сдвига (Initial Shift Register State)
ISRS_CM = [1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1]; %756014035
ISRS_CL = [1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0]; %506610362

% Расчет ДК
DK_L2C_CM_out = DK_L2C_calc( ISRS_CM,L_CM );
DK_L2C_CL_out = DK_L2C_calc( ISRS_CL,L_CL );

%% Натягивание на время
fc = 2.046e6; % Ширина спектра по главным лепесткам - частота выборки
символов ДК
fs = 4 * fc; % Частота дискретизации
ts = 1 / fs; % Период дискретизации
f0 = fs / 4; % Промежуточная частота
A = 1; % Амплитуда

k = 0; % номер текущего отсчета
tk = 0; % Время старта
toe = 20e-3; % Время окончания
t_akf = [-toe+ts:ts:toe-ts];

while tk <= toe
    k = k + 1;
    tout(k) = tk;

    %Формирование CM-кода
    N_chip_CM(k) = mod( fix(tk/chip_CM), L_CM ) + 1;
    DK_out_CM(k) = DK_L2C_CM_out(N_chip_CM(k));

    % Формирование CL-кода
    N_chip_CL(k) = mod( fix(tk/chip_CL), L_CL ) + 1;
    DK_out_CL(k) = DK_L2C_CL_out(N_chip_CL(k));

    % Формирование навигационного сообщения
    N_chip_ND(k) = mod( fix(tk/chip_ND), L_ND ) + 1;
    DK_out_ND(k) = G_ND(N_chip_ND(k));

    % временное уплотнение Time Multiplexing
    TM_valid(k) = mod( fix(2*(tk/chip_CM)), 2 );
    if TM_valid(k)
        DKout(k) = DK_out_CL(k);
    else
        DKout(k) = DK_out_CM(k)*DK_out_ND(k);
    end

    tk = tk + ts;
end

```

```

end

signal_L2C = A*DKout.*cos(2*pi*f0*tout);

%% Энергетический спектр и АКФ
% ДК CL
S_CL = fft(DK_out_CL);
SS_CL = S_CL.*conj(S_CL);
AKF_CL = real( ifft(SS_CL) );
AKF_CL_plot = [AKF_CL(length(AKF_CL):-1:2),AKF_CL];

% ДК CM
S_CM = fft(DK_out_CM);
SS_CM = S_CM.*conj(S_CM);
AKF_CM = real( ifft(SS_CM) );
AKF_CM_plot = [AKF_CM(length(AKF_CM):-1:2),AKF_CM];

% Сигнал
F = 0:1/toe:(fs-1/toe); % Формирование оси частот

S_signal = fft(signal_L2C);
SS_signal = S_signal.*conj(S_signal);
SSS_signal = 2*SS_signal(1:length(F));

AKF_signal = real( ifft(SSS_signal) );
AKF_signal_plot = [AKF_signal(length(AKF_signal):-1:2),AKF_signal];

%% Графики
figure
hold on grid on
plot(tout*1e6, signal_L2C)
xlim([0 5]*chip_CM*1e6)
title('Сигнал L2C')
xlabel('Время, мкс')
ylabel('Амплитуда, В')

figure
hold on grid on
plot(tout*1e3,DKout)
xlabel('Время, мс')

figure
hold on grid on
plot(tout*1e3,N_chip_CM,tout*1e3,N_chip_CL,tout*1e3,TM_valid)
legend('DK CM','DK CL','TM valid')
xlabel('Время, мс')

figure
hold on grid on
plot(F*1e-6, 10*log10(abs(SSS_signal)/abs(max(SSS_signal))))
xlim([0 2*fc]*1e-6)
title('Энергетический спектр сигнала GPS L2C')
xlabel('Частота, МГц')
ylabel('S(f), дБ')

figure
hold on grid on
plot(t_akf*1e3, AKF_signal_plot)
title('Автокорреляционная функция R(\tau) сигнала GPS L2C')
ylabel('R(\tau)');
xlabel('\tau, мс');
%
```

```

% figure
% hold on
% grid on
% plot([-length(AKF_CM)+1:length(AKF_CM)-1], AKF_CM_plot)
% xlim([-length(AKF_CM) length(AKF_CM)]);
% title('Автокорреляционная функция R(\tau) CM кода')
% ylabel('R(\tau)');
% xlabel('\tau, c');
%
% figure
% hold on
% grid on
% plot([-length(AKF_CL)+1:length(AKF_CL)-1], AKF_CL_plot)
% xlim([-length(AKF_CL) length(AKF_CL)]);
% title('Автокорреляционная функция R(\tau) CL кода')
% ylabel('R(\tau)');
% xlabel('\tau, c');

%% Функция расчета дальномерного кода для сигнала GPS L2C
function DK_L2C_out = DK_L2C_calc( ISRS,L )

DK_L2C_out01(1) = ISRS(27);

for k = 2:L
    % Выход
    DK_L2C_out01(k) = ISRS(27);

    % Обратная связь
    ISRS(3) = xor( ISRS(27),ISRS(3) );
    ISRS(6) = xor( ISRS(27),ISRS(6) );
    ISRS(8) = xor( ISRS(27),ISRS(8) );
    ISRS(11) = xor( ISRS(27),ISRS(11) );
    ISRS(14) = xor( ISRS(27),ISRS(14) );
    ISRS(16) = xor( ISRS(27),ISRS(16) );
    ISRS(18) = xor( ISRS(27),ISRS(18) );
    ISRS(21) = xor( ISRS(27),ISRS(21) );
    ISRS(22) = xor( ISRS(27),ISRS(22) );
    ISRS(23) = xor( ISRS(27),ISRS(23) );
    ISRS(24) = xor( ISRS(27),ISRS(24) );

    % Сдвиг
    ISRS_copy = ISRS;
    ISRS(1) = ISRS_copy(27);
    for i = 2:27
        ISRS(i) = ISRS_copy(i-1);
    end
    clear ISRS_copy
end

% Получение массива +-1
for k = 1:L
    if DK_L2C_out01(k)
        DK_L2C_out(k) = -1;
    else
        DK_L2C_out(k) = +1;
    end
end
end
end

```