МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы № 2 по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения

Воронеж 2022

УДК 621.391.083.92
ББК 32.811.3

Составитель:
д. ф.-м.н. Кузьменко Р.В

Цифровая обработка сигналов: методические указания к выполнению лабораторной работы № 2 по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Р.В. Кузьменко. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 29 с.

Основной целью указани к выполнению лабораторных работ является поддержка выработка навыков цифровой обработки сигналов и средств их компьютерного моделирования в системе MATLAB.

Издание предназначено для проведения лабораторных работ по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов 4-го курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ЦОС Лаб. работа № 2.docx

Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.391.083.92
ББК 32.811.3

Рецензент: Доктор технических наук, заведующий кафедрой
«Конструирования и производства радиоаппаратуры»
Башкиров А.В.

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

Лабораторная работа №2.
Дискретные сигналы

Цель работы: изучить математическое описание дискретных сигналов и овладеть программными средствами их моделирования в MATLAB.

7.1. Краткая теоретическая справка

В теории ЦОС принято разделять операции дискретизации по времени и квантования по уровню. Полагая операцию квантования отсутствующей, изучают дискретные сигналы и линейные дискретные системы (ЛДС), а затем, отдельно, — эффекты нелинейной операции квантования.

Дискретным называют сигнал, дискретный по времени и непрерывный по состоянию (уровню), который описывается последовательностью чисел бесконечной разрядности x(nT) или x(n) , называемой коротко *последовательностью*. Значения nT , n = 0,1, ..., называют *дискретным временем*, где T — период дискретизации, а n — дискретным нормированным временем.

В теории ЦОС термины "*дискретный сигнал*" и "*последовательность*" употребляют в тождественном смысле.

Цифровым называют сигнал, дискретный по времени и квантованный по состоянию (уровню), который описывается последовательностью чисел конечной разрядности — *квантованной последовательностью* x(nT) или x(n) .

При компьютерном моделировании под дискретным сигналом условно понимают последовательность чисел *максимально возможной* разрядности, а под цифровым — последовательность чисел *заданной* разрядности.

В MATLAB числа с максимальной разрядностью относятся к типу double[1], который выбирается по умолчанию (см. табл. 3.1).

7.1.1. Детерминированные дискретные сигналы

Детерминированным дискретным сигналом называют сигнал, значения которого в любой момент времени n (или nT) заранее известны или могут быть определены точно по заданной математической модели.

Детерминированный дискретный сигнал описывается последовательностью x(nT) или x(n) , при этом термин "детерминированный" принято опускать.

Для детерминированного дискретного сигнала (последовательности) представляют интерес такие его характеристики, как среднее значение, энергия, средняя мощность, автокорреляционная и автоковариационная функции.

Средним значением последовательности называют сумму ее значений, отнесенную к длине.

[1] С плавающей точкой двойной точности (double-precision floating point).

Энергией последовательности называют сумму квадратов ее значений, а *средней мощностью* — энергию, отнесенную к длине последовательности.

В MATLAB среднее значение M вычисляется с помощью функции:

$$M = mean(x)$$

где x — вектор отсчетов последовательности.

Энергия E и средняя мощность P вычисляются согласно их определению:

E = sum(x.^2)

P = sum(x.^2)/length(x)

где length(x) — длина последовательности.

Автокорреляционная функция (АКФ[1]) $R_x(m)$ последовательности длины N позволяет оценить зависимость между ее отсчетами при различных сдвигах по времени m :

$$R_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} x(n)x(n+m)\,, -(N-1) \le m \le (N-1) \qquad (7.1)$$

Автоковариационная функция r_x(m) позволяет оценить зависимость между отклонениями отсчетов последовательности от среднего значения μ_x при различных сдвигах по времени m:

$$r_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} [x(n) - \mu_x][x(n+m) - \mu_x], -(N-1) \le m \le (N-1) \qquad 7.2)$$

Согласно определению, $R_x(m)$ (7.1) и r (m_x) (7.2) являются четными функциями длины $L = 2N - 1$, центрированными относительно m=0:

$$R_x(m) = R_x(-m);$$

$$r_x(m) = r_x(-m).$$

При этом в точке m=0 имеем:

$$R_x(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) = P_{\text{ср}\,x} = \sigma_x^2 + \mu_x^2; \qquad 7.3)$$

[1] В англоязычной литературе — аббревиатура ACF (Autocorrelation Function).

$$r_x(0) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}[x(n) - \mu_x]^2 = \sigma_x^2; \qquad 7.4)$$

где $P_{cp\,x}$ и σ_x^2 — средняя мощность и дисперсия последовательности x n( ) .

Очевидно, что при $\mu_x = 0$ получаем равенства:

$$R_x(m) = r_x(m);$$

$$R_x(0) = r_x(0) = \sigma_x^2.$$

В MATLAB АКФ и автоковариационная функция рассчитываются с помощью функций (без учета множителя 1/N):

$$R = xcorr(x)$$

$$\boldsymbol{r = xcov(x)}$$

где x — вектор отсчетов исходной последовательности длины N; R и r — векторы длины $L = 2N - 1$ значений АКФ $R_x(m)$ и автоковариационной функции $r_x(m)$, соответственно, центрированных относительно m=N:

$$R_x(N + m) = R_x(N - m), m = 1,2, \dots, N - 1; \qquad 7.5)$$

$$r_x(N + m) = r_x(N - m), m = 1,2, \dots, N - 1. \qquad 7.6)$$

При этом в точке m=N имеем

$$R_x(N) = P_{\text{ср}\,x} = \sigma_x^2 + \mu_x^2; \qquad 7.7)$$

$$r_x(N) = \sigma_x^2 \qquad 7.8)$$

Для вывода графика АКФ, центрированного относительно m=0, следует выбрать интервал m∈ [− (N − 1); (N − 1)].

7.1.2. Случайные дискретные сигналы

Случайным (стохастическим) дискретным сигналом называют сигнал, значения которого в дискретные моменты времени n (или nT) заранее неизвестны и могут быть определены лишь с некоторой вероятностью.

Случайный дискретный сигнал описывается совокупностью случайных последовательностей $x_k(n)$, $k=1, 2,..., K$, $n=0,1,..., (N-1)$, и закономерностями, характеризующими свойства совокупности.

Описание случайного дискретного сигнала удобно представить в виде матрицы **X** :

$$X = \begin{cases} x_1(0) & x_1(1) & \cdots & x_1(n) & \cdots & x_1(N-1) \\ x_2(0) & x_2(1) & \cdots & x_2(n) & \cdots & x_2(N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_K(0) & x_K(1) & \cdots & x_K(n) & \cdots & x_K(N-1) \end{cases}.$$

Ансамблем реализаций называют совокупность случайных последовательностей $x_k(n)$ (строки матрицы **X**), а реализацией — одну из последовательностей.

Любая реализация случайного сигнала представляет собой детерминированный сигнал.

В большинстве случаев в качестве закономерностей, характеризующих свойства дискретного случайного сигнала **X**, ограничиваются одномерной и двумерной плотностями вероятности.

Одномерная плотность вероятности случайного дискретного сигнала $p(x, n)$, где x — значения случайного сигнала **X** в моменты времени n, позволяет посредством статистического усреднения[1] при достаточно большом K (теоретически $K \to \infty$) определить следующие статистические характеристики случайного дискретного сигнала:

- математическое ожидание $\mu_x(n)$ — средние значения элементов столбца в моменты времени n, n= 0,1,..., (N−1);
- дисперсию $\sigma_x^2(n)$ — средние значения квадратов разностей между элементами столбца и его средним значением $\mu_X(n)$ в моменты времени n, n=0,1,..., (N−1).

Двумерная плотность вероятности случайного дискретного сигнала $p(x_1, x_2, m, n)$, где x_1, x_2 — значения сигнала X в моменты времени m и n, позволяет посредством статистического усреднения определить дополнительные статистические характеристики случайного дискретного сигнала:

- АКФ $R_x(m, n)$— АКФ (7.1), где последовательности x(n) соответствует усредненная по ансамблю последовательность $\mu_X(n)$, n=0,1,..., (N-1);
- автоковариационную функцию $r_X(m, n)$ — автоковариационная функция (7.2), где значению μ_x соответствует среднее значение $\mu_X(n)$ — константа.

Случайный дискретный сигнал **X** называют стационарным в широком смысле (стационарным по Хинчину), если его одномерная плотность вероятности не зависит от времени n, а двумерная — зависит только от сдвига по времени m .

Случайный дискретный сигнал **X** называют стационарным в узком смысле (строго стационарным), если сказанное справедливо для его любой n-мерной плотности вероятности [2].

Таким образом, сигнал, стационарный в узком смысле, всегда стационарен в широком смысле, но не наоборот.

По умолчанию под *стационарностью* случайного дискретного сигнала будем подразумевать его стационарность в широком смысле.

[1] Под статистическим усреднением понимают усреднение по ансамблю реализаций в фиксированный момент времени n.

Следствием *стационарности* случайного дискретного сигнала будет *независимость от времени* n его статистических характеристик: математического ожидания μ_X и дисперсии σ_X^2 . При этом АКФ $R_X(m)$ и автоковариационная функция $r_X(m)$ будут зависеть только от сдвига по времени m.

Иными словами, статистические характеристики стационарного случайного дискретного сигнала обладают свойством инвариантности [1] во времени.

Соответственно, статистические характеристики нестационарного случайного дискретного сигнала будут зависеть от времени n (не обладают свойством инвариантности во времени).

В теории ЦОС понятие ансамбля реализаций широко используется как удобная математическая концепция при выводе многих соотношений. Однако на практике при обработке сигналов, как правило, доступна для наблюдения лишь одна реализация случайного дискретного сигнала.

Стационарный случайный дискретный сигнал называется эргодическим, если при определении его статистических характеристик усреднение по ансамблю реализаций эквивалентно усреднению по времени одной реализации, теоретически бесконечной длины $N\to\infty$.

Эргодический случайный дискретный сигнал — *случайная последовательность* $x(n)$ — описывается математическим ожиданием (средним значением) μ_X, дисперсией σ_X^2, АКФ $R_x(m)$ и автоковариационной функцией $r_X(m)$. С их определением при $N\to\infty$ можно познакомиться в [2—3].

При *конечной* длине N последовательности говорят о вычислении их оценок:

$$\hat{\mu_x} = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\,;$$

$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}[x(n)-\hat{\mu}_x]^2;$$

Оценки АКФ $\hat{R}_x(m)$ и автоковариационной функции $r_x(m)$ получают соответственно по формулам (7.1) и (7.2).

Очевидно, что статистические характеристики эргодического случайного дискретного сигнала, по определению стационарного, обладают свойством инвариантности во времени.

При обработке случайного сигнала в реальном времени его статистическая модель [2] может быть заранее не определена. В этом случае

[1] Неизменности.

[2] Стационарность/нестационарность, статистические характеристики.

принято говорить о текущих оценках статистических характеристик $\mu_x(n)$, $\sigma_x^2(n)$, $R_x(m,n)$, $r_x(m,n)$ на интервале $[0;n]$.

Далее по умолчанию будем подразумевать эргодические случайные дискретные сигналы.

В MATLAB для вычисления оценок математического ожидания M и дисперсии D используются функции:

M = mean(x)

D = var(x)

где x — вектор отсчетов исходной последовательности длины N.

При моделировании методов и алгоритмов ЦОС часто используют случайные последовательности в виде белого шума. Две его широко применяемые разновидности генерируются в MATLAB (см. табл. 2.1):

- равномерный белый шум — последовательность случайных чисел из диапазона [0;1], распределенных по равномерному закону (математическое ожидание — 0,5 и дисперсия — 1/12) — с помощью функции:

x = rand(1,N)

где x — вектор-строка отсчетов случайной последовательности длины N.

Автоковариационная функция данного равномерного белого шума при N→∞ имеет вид *цифрового единичного импульса*;

- нормальный белый шум — последовательность случайных чисел, распреде- ленных по нормальному закону (математическое ожидание — 0 и диспер- сия — 1) — с помощью функции**: x = randn(1,N)**

АКФ данного нормального белого шума при N→∞ имеет вид *цифрового единичного импульса*.

Для моделирования нормального белого шума с заданными математическим ожиданием (средним значением) и дисперсией воспользуемся свойствами дисперсии D{ }X и математического ожидания M {X} случайной величины X :

$$M\{X+C\} = M\{X\} + C;$$
$$D\{X+C\} = D\{X\} + D\{C\} = D\{X\};$$
$$M\{BX\} = BM\{X\};$$
$$D\{BX\} = B^2 D\{X\},$$

где C, B – константы.

Таким образом, на основе случайной величины X с нулевым математическим ожиданием M{X}=C и единичной дисперсией D{X}=B^2 можно получить случайную величину $\tilde{X}$:

$$\tilde{X} = BX + C \qquad 7.9)$$

с математическим ожиданием M{X}=C и дисперсией D{X}=B^2.

7.2. Содержание лабораторной работы

Содержание работы связано с моделированием детерминированных и случайных последовательностей, в том числе типовых последовательностей, и расчетом их характеристик программными средствами MATLAB.

7.3. Задание на лабораторную работу

Лабораторная работа выполняется на основе script-файла lr_07, который хранится на прилагаемом компакт-диске в папке LAB_DSP\LAB_07.

Перед выполнением работы необходимо сохранить путь к папке LAB_07 по команде контекстного меню **Add to Path | Selected Folders.**

Исходные данные для пунктов задания приводятся в табл. 7.1 для номера бригады

$N_{бр}$, где $N_{бр}$ =1, 2,...,30 . Функция $N_{бр}$modM в записи исходных данных означает вычисление значения $N_{бр}$ по модулю M .

На прилагаемом компакт-диске в папке Tables\Tables_07 хранятся табл. 7.1 исходных данных и пример ее заполнения для $N_{бр}$ =1.

Таблица 7.1. Таблица исходных данных

Переменная	**Назначение**	**Значение**	**Идентификатор**
$N_{бр}$	Номер бригады	$N_{бр}$	Nb =
N	Длина последовательности	N= +30 $N_{бр}$ mod 5	N =
T	Период дискретизации	T= 0,0005(1+$N_{бр}$ mod 3)	T =
a	Основание экспоненты	$a = (-1)^{N_{бр}}(0,8 + 0,005N_{бр})$	a =

Таблица 7.1 (окончание)

Переменная	**Назначение**	**Значение**	**Идентификатор**
C	Амплитуда гармонического сигнала	$C = 1 + N_{бр} mod\ 5$	C =
$\widehat{\omega}_0$ (рад)	Частота гармонического сигнала	$\widehat{\omega}_0 = \pi/(6 + N_{бр}\mathrm{mod}\ 5)$	w0 =
m	Задержка	$m = 5 + N_{бр}\mathrm{mod}\ 5$	m =
U	Амплитуда импульса	$U = N_{бр}$	U =
n_0	Начальный момент	$n_0 = N_{бр} mod\ 5 + 3$	n0 =

	импульса		
n_{imp}	Длина импульса	$n_{imp} = N_{бр} mod\ 5 + 5$	n_imp =
B_1, B_2, B_3	Амплитуды гармонических сигналов	$B_1 = 1{,}5 + N_{бр} mod\ 5$ $B_2 = 5{,}7 - N_{бр} mod\ 5$ $B_3 = 2{,}2 + N_{бр} mod\ 5$	Вектор B = [...]
$\widehat{\omega}_1, \widehat{\omega}_2, \widehat{\omega}_3$	Частоты гармонических сигналов	$\widehat{\omega}_1 = \pi/(4 + N_{бр} mod\ 5)$ $\widehat{\omega}_2 = \pi/(8 + N_{бр} mod\ 5)$ $\widehat{\omega}_3 = \pi/(16 + N_{бр} mod\ 5)$	Вектор w = [...]
a_1, a_2, a_3	Коэффициенты линейной комбинации гармонических сигналов	$a_1 = 1{,}5 - N_{бр} mod\ 5$ $a_2 = 0{,}7 + N_{бр} mod\ 5$ $a_3 = 1{,}4 - N_{бр} mod\ 5$	Вектор A = [...]
mean	Математическое ожидание	$mean = N_{бр} mod\ 5 + 3$	Mean =
var	Дисперсия	$var = N_{бр} mod\ 5 + 5$	Var =

Задание на лабораторную работу связано с моделированием и анализом последовательностей и включает в себя следующие пункты:

1. Цифровой единичный импульс $u_0(nT)$ (идентификатор u0):

$$u_0(nT) = \begin{cases} 1, n = 0; \\ 0, n \neq 0 \end{cases} \quad (7.10)$$

с выводом графиков на интервале дискретного времени nT (идентификатор nT):

$$nT \in [0; (N-1)T] \quad (7.11)$$

и дискретного нормированного времени n (идентификатор n):

$$n \in [0; (N-1)] \quad (7.12)$$

Пояснить:

- взаимосвязь между дискретным и дискретным нормированным временем;
- различие между цифровым единичным импульсом и дельта-функцией.

2. Цифровой единичный скачок $u_1(nT)$ (идентификатор u1):

$$u_1(nT) = \begin{cases} 1, & n \geq 0; \\ 0, & n < 0 \end{cases} \qquad (7.13)$$

с выводом графиков на интервалах времени (7.11) и (7.12).

Пояснить:

- соответствие между цифровым и аналоговым единичными скачками;
- чему равна частота дискретизации цифрового единичного скачка.

3. Дискретная экспонента $x_1(nT)$ (идентификатор x1):

$$x_1(nT) = \begin{cases} a^n, & n \geq 0; \\ 0, & n < 0 \end{cases} \qquad (7.14)$$

с выводом графиков на интервалах времени (7.11) и (7.12).

Пояснить соответствие между дискретной и аналоговой экспонентами.

4. Дискретный комплексный гармонический сигнал $x_2(n)$ (идентификатор x2):

$$x_2(n) = Ce^{j\hat{\omega}_0 n} \qquad (7.15)$$

с выводом графиков вещественной и мнимой частей на интервале времени (7.12).

Записать сигнал (7.15) в виде комбинации двух вещественных последователь- ностей.

5. Задержанные последовательности.

Вывести графики последовательностей (7.10), (7.13) и (7.14), задержанных на m отсчетов (идентификаторы u0_m, u1_m и x1_m), на интервале времени (7.12).

Записать формулы задержанных последовательностей.

6. Дискретный прямоугольный импульс $x_3(n)$:

$$x_3(n) = \begin{cases} U, n_0 \leq n \leq \left(n_0 + n_{imp} - 1\right); \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \qquad (7.16)$$

с выводом графика на интервале времени (7.12).

Выполнить моделирование импульса двумя способами:

- с помощью функции rectpuls — идентификатор x3_1;
- на основе цифрового единичного скачка — идентификатор x3_2.

Пояснить:

- формат функции rectpuls (познакомиться самостоятельно);

- как выполняется моделирование импульса в обоих случаях.

7. Дискретный треугольный импульс.

Вывести график дискретного треугольного импульса $x_4(n)$ (идентификатор x4), сформированного посредством свертки дискретного прямоугольного импульса $x_3(n)$ (7.16) с самим собой, на интервале времени, равном длине свертки L:

$$n \in [0; (L-1)]. \tag{7.17}$$

Для вычисления свертки использовать функцию: $conv(x, y)$

где x, y — сворачиваемые последовательности.

Привести аналитическую запись свертки. Определить теоретически и по графику длину свертки L и ширину треугольного импульса.

8. Линейная комбинация дискретных гармонических сигналов x n_5( ) (идентификатор x5):

$$x_5(n) = a_1 x1(n) + a_2 x2(n) + a_3 x3(n) \tag{7.18}$$

где

$$xi(n) = B_1 \sin(\widehat{\omega}_i n), i = 1, 2, 3, \tag{7.19}$$

с выводом графиков последовательностей xi n( ) и x n_5( ) на интервале времени

$$n \in [0: (5N-1)]. \tag{7.20}$$

Вычислить среднее значение (идентификатор mean_x5), энергию (идентификатор E) и среднюю мощность (идентификатор P) последовательности (7.18).

Пояснить:

- операции при моделировании линейной комбинации сигналов (7.18);
- как определяют указанные характеристики.

9. Дискретный гармонический сигнал с экспоненциальной огибающей.

Вывести график дискретного сигнала $x_6(n)$ (идентификатор x6), представляющего собой дискретный гармонический сигнал x(n) (идентификатор x)

$$x(n) = C sin(\widehat{\omega}_0 n) \tag{7.21}$$

с экспоненциальной огибающей $|a|^n$ на интервале времени (7.12)

Привести аналитическую формулу дискретного сигнала $x_6(n)$ и пояснить операции при его моделировании.

10. Периодическая последовательность дискретных прямоугольных импульсов.

Вывести график пяти периодов периодической последовательности $x_7(n)$

(идентификатор x7) дискретных прямоугольных импульсов амплитуды U и длительности n_{imp} с периодом, вдвое большим длительности импульса.

Для формирования пяти периодов последовательности выполнить действия:

- на основе цифрового единичного скачка (7.13) сформировать один период последовательности (идентификатор xp);
- сформировать пять периодов последовательности с помощью функции repmat (см. разд. 2.1.2).

Пояснить операции при моделировании периодической последовательности.

11. Равномерный белый шум.

Вычислить оценки математического ожидания (идентификатор mean_uniform) и дисперсии (идентификатор var_uniform) равномерного белого шума (идентификатор r_uniform) длины 10 000 с математическим ожиданием и дисперсией, установленными по умолчанию.

Вывести график оценки автоковариационной функции $\hat{r}_x(m)$ шума (идентификатор r_r_uniform), центрированной относительно m=0.

Пояснить:

- чему равны истинные значения математического ожидания и дисперсии;
- каков вид истинной автоковариационной функции;
- чему равна длина оценки автоковариационной функции.

12. Нормальный белый шум.

Вычислить оценки математического ожидания (идентификатор mean_norm) и дисперсии (идентификатор var_norm) нормального белого шума (идентификатор r_uniform) длины 10 000 с математическим ожиданием и дисперсией, установленными по умолчанию.

Вывести график оценки АКФ $\hat{R}_x(m)$ шума (идентификатор R_r_norm), центрированной относительно m=0.

Пояснить:

- чему равны истинные значения математического ожидания и дисперсии;
- каков вид истинной АКФ;
- чему равна длина оценки АКФ.

13. Аддитивная смесь $x_8(n)$ (идентификатор x8) дискретного гармонического сигнала x(n) (7.21) с нормальным белым шумом с выводом графика на интервале времени (7.12).

Пояснить, что понимают под аддитивной смесью сигнала с шумом.

14. Оценка АКФ $\hat{R}_x(m)$ (идентификатор R) последовательности $x_8(n)$ (см. п. 13) с выводом графика АКФ, центрированной относительно m=0.

Вывести оценку дисперсии последовательности $x_8(n)$ и значение $R_x(N)$.

Пояснить:

- свойства АКФ;

- соответствие между выведенными значениями.

15. Нормальный белый шум с заданными статистическими характеристиками.

С помощью функции plot вывести графики четырех разновидностей нормального белого шума длины 10 000:

- с математическим ожиданием и дисперсией, установленными по умолчанию, — идентификатор шума r_norm (см. п. 12);
- с математическим ожиданием mean и дисперсией, установленной по умолчанию, — идентификатор шума r_normMean;
- с математическим ожиданием, установленным по умолчанию, и дисперсией var — идентификатор шума r_normVar;
- с математическим ожиданием mean и дисперсией var — идентификатор шума r_normMeanVar.

Для наглядности вывести графики шумов в одинаковом диапазоне по оси ординат [-MAX MAX] с помощью функции ylim, где MAX равно максимальному значению шума среди четырех его разновидностей.

Построить гистограммы четырех разновидностей нормального белого шума с помощью функции hist (параметры задать по умолчанию).

Для наглядности вывести гистограммы в одинаковом диапазоне по оси абсцисс [-MAX MAX] с помощью функции xlim, где значение MAX определено ранее. В заголовке гистограмм вывести значения оценок математического ожидания (Mean value) и дисперсии (Variance).

Пояснить:

- к каким изменениям шума приводит изменение его математического ожидания и дисперсии;
- что отображает гистограмма и как она изменяется при изменении математического ожидания и дисперсии шума.

7.4. Типовой script-файл для выполнения лабораторной работы

Перед выполнением работы должна быть представлена табл. 7.1 исходных данных для своего номера бригады $N_{бр}$.

Для запуска лабораторной работы необходимо обратиться к script-файлу lr_07 по
его имени:

```
>> lr_07
```

Для принудительного снятия script-файла с выполнения следует нажать комбина-
цию клавиш <Ctrl>+<Break>.

При выполнении script-файла текущие окна с графиками не закрывать.

Листинг script-файла lr_07 имеет вид:

>> type lr_07

```
script
clc
clear
disp('% ЛР №7. ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Введите ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ');
DATA=0;
while DATA==0
Nb = input('Nb = ');          % НОМЕРБРИГАДЫ
N = input('N = ');            % ДЛИНА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
T = input('T = ');            % ПЕРИОД ДИСКРЕТИЗАЦИИ
a = input('a = ');            % ОСНОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ ЭКСПОНЕНТЫ
C = input('C = '); % АМПЛИТУДА ДИСКРЕТНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА
w0 = input('w0 = '); % ЧАСТОТА ДИСКРЕТНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА
m = input('m = ');        % ВЕЛИЧИНА ЗАДЕРЖКИ
U = input('U = ');        % АМПЛИТУДА ИМПУЛЬСА
n0 = input('n0 = ');      % МОМЕНТ НАЧАЛА ИМПУЛЬСА
n_imp = input('n_imp = '); % ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА
B = input('B = ');        % ВЕКТОР АМПЛИТУД
w = input('w = ');        % ВЕКТОР ЧАСТОТ
A = input('A = ');            % ВЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНОЙ КОМБИНАЦИИ
Mean = input('Mean = '); % ЗАДАННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ ШУМА
Var = input('Var = '); % ЗАДАННАЯ ДИСПЕРСИЯ ШУМА
disp('% Проверьте ПРАВИЛЬНОСТЬ ввода ИСХОДНЫХ ДАННЫХ')
disp('% При ПРАВИЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ введите 1')
disp('% При НЕПРАВИЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ введите 0 и ПОВТОРИТЕ ввод')
DATA = input('--> ');
end
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.1. ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС')
disp('%')
disp('%')
```

```
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ цифрового единичного импульса нажмите <ENTER>')
pause
n = 0:(N-1); nT = T.*n; % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ И НЕНОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
u0 = [1 zeros(1,(N-1))]; % ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС
figure('Name','Digital Unit Impulse, Unit Step, and Discrete
Exponent','NumberTitle', 'off')
subplot(3,2,1),stem(nT,u0,'Linewidth',2), grid
title('Digital Unit Impulse u0(nT)')
subplot(3,2,2),stem(n,u0,'Linewidth',2), grid
title('Digital Unit Impulse u0(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.2. ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ СКАЧОК');
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ цифрового единичного скачка нажмите <ENTER>')
pause
u1 = [1 ones(1,(N-1))]; % ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ СКАЧОК
subplot(3,2,3),stem(nT,u1,'Linewidth',2), grid
title('Digital Unit Step u1(nT)'),
subplot(3,2,4),stem(n,u1,'Linewidth',2), grid
title('Digital Unit Step u1(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.3. ДИСКРЕТНАЯ ЭКСПОНЕНТА')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ дискретной экспоненты нажмите <ENTER>')
pause
x1 = a.^n; % ДИСКРЕТНАЯ ЭКСПОНЕНТА
subplot(3,2,5),stem(nT,x1,'Linewidth',2), xlabel('nT'), grid
title('Discrete Exponent x1(nT)')
```

```
subplot(3,2,6),stem(n, x1,'Linewidth',2), xlabel('n'), grid
title('Discrete Exponent x1(n)'),
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.4. ДИСКРЕТНЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ вещественной и мнимой частей')
disp('% гармонического сигнала нажмите <ENTER>')
pause
x2 = C.*exp(j*w0.*n); % ДИСКРЕТНЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ
figure('Name','Discrete Harmonic Signal','NumberTitle', 'off')
subplot(2,1,1),stem(n,real(x2) ,'Linewidth',2), grid
title('Discrete Harmonic Signal: REAL [x2(n)]')
subplot(2,1,2),stem(n,imag(x2) ,'Linewidth',2), xlabel('n'), grid
title(' Discrete Harmonic Signal: IMAG [x2(n)]')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.5. ЗАДЕРЖАННЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ задержанных последовательностей нажмите <ENTER>')
pause
u0_m = [zeros(1,m) u0(1:(N-m))]; % ЗАДЕРЖАННЫЙ ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС
u1_m = [zeros(1,m) u1(1:(N-m))]; % ЗАДЕРЖАННЫЙ ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ СКАЧОК
x1_m = [zeros(1,m) x1(1:(N-m))]; % ЗАДЕРЖАННАЯ ДИСКРЕТНАЯ ЭКСПОНЕНТА
figure('Name','Delayed Discrete Signals','NumberTitle', 'off')
subplot(3,1,1),stem(n,u0_m,'Linewidth',2), grid
title ('Delayed Digital Unit Impulse u0(n-m)')
subplot(3,1,2),stem(n,u1_m,'Linewidth',2), grid
```

```
title ('Delayed Digital Unit Step u1(n-m)')
subplot(3,1,3),stem(n,x1_m,'Linewidth',2),xlabel('n'), grid
title ('Delayed Discrete Exponent x1(n-m)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.6. ДИСКРЕТНЫЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ дискретного прямоугольного импульса нажмите
<ENTER>')
pause
x3_1 = U*rectpuls(n-n0,2*n_imp); x3_1(1:n0) = 0; % ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСА
С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ rectpuls
x3_2 = [zeros(1,n0) U.*u1((n0+1):(n0+n_imp))...
zeros(1,N-(n0+n_imp))]; % ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО
ЕДИНИЧНОГОСКАЧКА
figure('Name','Discrete Rectangular and Triangular Impulses','NumberTitle',
'off')
subplot(3,1,1),stem(n,x3_1,'Linewidth',2), grid
title('Discrete Rectangular Impulse x3 1(n)')
subplot(3,1,2),stem(n,x3_2,'Linewidth',2), grid
title('Discrete Rectangular Impulse x3 2 (n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.7. ДИСКРЕТНЫЙ ТРЕУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА дискретного треугольного импульса нажмите
<ENTER>')
pause
x4 = conv(x3_1,x3_1); % ДИСКРЕТНЫЙ ТРЕУГОЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС
L = 2*N-1; % ДЛИНА СВЕРТКИ
```

```
n = 0:(L-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
subplot(3,1,3),stem(n,x4,'Linewidth',2), xlabel('n'), grid
title('Discrete Triangular Impulse x4(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.8. ЛИНЕЙНАЯ КОМБИНАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ гармонических сигналов и их линейной комбинации
нажмите <ENTER>')
pause
n = 0:(5*N-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
xi = repmat(B,length(n),1).*sin(n'*w); % МАТРИЦА ДИСКРЕТНЫХ ГАРМОНИК
ai = repmat(A,length(n),1); % МАТРИЦАКОЭФФИЦИЕНТОВ
x5 = sum((ai.* xi)'); % ЛИНЕЙНАЯ КОМБИНАЦИЯ ДИСКРЕТНЫХ ГАРМОНИК
figure('Name','Discrete Harmonic Signals and their Linear
Combination','NumberTitle', 'off')
subplot(4,1,1),stem(n, xi(:,1),'Linewidth',2), grid
title('First Discrete Harmonic Signal')
subplot(4,1,2),stem(n, xi(:,2),'Linewidth',2), grid
title('Second Discrete Harmonic Signal')
subplot(4,1,3),stem(n, xi(:,3),'Linewidth',2), grid
title('Third Discrete Harmonic Signal')
subplot(4,1,4),stem(n,x5,'Linewidth',2), xlabel('n'), grid
title('Linear Combination x5(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ, ЭНЕРГИИ и СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ сигнала x5
нажмите <ENTER>')
pause
mean_x5 = mean(x5); % СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ СИГНАЛА
E = sum(x5.^2); % ЭНЕРГИЯ СИГНАЛА
P = sum(x5.^2)/length(x5); % СРЕДНЯЯ МОЩНОСТЬ СИГНАЛА
disp('%')
```

```
disp('%')
disp([' mean_x5 = ' num2str(mean_x5) ' E = ' num2str(E) ' P = ' num2str(P)])
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.9. ДИСКРЕТНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА гармонического сигнала с экспоненциальной огибающей
нажмите <ENTER>')
pause
n = 0:(N-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
x = C.*sin(w0.*n); % ДИСКРЕТНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ
x6 = x.*(abs(a).^n); % ДИСКРЕТНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ СЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙОГИБАЮЩЕЙ
figure('Name','Harmonic Signal with Exponential Envelope. Periodic Sequence of
Rectangular Impulses','NumberTitle', 'off')
subplot(2,1,1),stem(n,x6,'Linewidth',2), grid
title('Harmonic Signal with Exponential Envelope x6(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.10. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДИСКРЕТНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ИМПУЛЬСОВ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА пяти периодов последовательности нажмите <ENTER>')
pause
xp = [U.*u1(1:n_imp) zeros(1,n_imp)]; % ПЕРИОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
p = 5; % ЧИСЛО ПЕРИОДОВ
и= repmat(xp,1,p); % ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ
n = 0:(length(x7)-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
```

```
subplot(2,1,2), stem(n,x7,'Linewidth',2), xlabel('n'), grid
title('Periodic Sequence of Rectangular Impulses x7(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.11. РАВНОМЕРНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ОЦЕНОК МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ и ДИСПЕРСИИ ШУМА нажмите
<ENTER>')
pause
r_uniform = rand(1,10000); % РАВНОМЕРНЫЙБЕЛЫЙШУМ
mean_uniform = mean(r_uniform); % ОЦЕНКАМАТ. ОЖИДАНИЯШУМА
var_uniform = var(r_uniform); % ОЦЕНКАДИСПЕРСИИШУМА
disp('%')
disp('%')
disp([' mean_uniform = ' num2str(mean_uniform) ' var_uniform = '
num2str(var_uniform)])
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода графика АВТОКОВАРИАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ нажмите
<ENTER>')
pause
r_r_uniform = (1/length(r_uniform)).*xcov(r_uniform); % ОЦЕНКА
АВТОКОВАРИАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ РАВНОМЕРНОГО БЕЛОГО ШУМА
m = -(length(r_uniform)-1):(length(r_uniform)-1); % ВЕКТОР ДИСКРЕТНЫХ
СДВИГОВДЛЯАВТОКОВАРИАЦИОННОЙФУНКЦИИ
figure('Name','Autocovariance Function of Uniform White Noise','NumberTitle',
'off')
stem(m,r_r_uniform,'Linewidth',2), xlabel('m'), grid
title('Autocovariance Function of Uniform White Noise')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.12. НОРМАЛЬНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ')
disp('%')
```

```
disp('%')
disp('% Для вывода ОЦЕНОК МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ и ДИСПЕРСИИ шума нажмите
<ENTER>')
pause
r_norm = randn(1,10000); % НОРМАЛЬНЫЙБЕЛЫЙШУМ
mean_norm = mean(r_norm); % ОЦЕНКАМАТ. ОЖИДАНИЯ ШУМА
var_norm = var(r_norm); % ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ ШУМА
disp('%')
disp('%')
disp([' mean_norm = ' num2str(mean_norm) ' var_norm = ' num2str(var_norm)])
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода графика АКФ нажмите <ENTER>')
pause
R_r_norm = (1/length(r_norm)).*xcorr(r_norm); % ОЦЕНКА АКФ НОРМАЛЬНОГО БЕЛОГО
ШУМА
m = -(length(r_norm)-1):(length(r_norm)-1); % ВЕКТОР ДИСКРЕТНЫХ СДВИГОВ ДЛЯ
АКФ
figure('Name','ACF of White Gaussian Noise','NumberTitle', 'off')
stem(m,R_r_norm,'Linewidth',2), xlabel('m'), grid
title('ACF of White Gaussian Noise')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.13. АДДИТИВНАЯ СМЕСЬ ДИСКРЕТНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА С НОРМАЛЬНЫМ
БЕЛЫМ ШУМОМ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА аддитивной смеси сигнала с шумом нажмите <ENTER>')
pause
n = 0:(N-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ
x8 = x+randn(1,N); % АДДИТИВНАЯ СМЕСЬ СИГНАЛА С ШУМОМ
figure('Name','Mixture of Harmonic Signal and White Gaussian Noise and
ACF','NumberTitle', 'off')
subplot(2,1,1),stem(n,x8,'Linewidth',2),xlabel('n'), grid
```

```
title('Mixture of Harmonic Signal and White Gaussian Noise x8(n)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.14. АКФ АДДИТИВНОЙ СМЕСИ ДИСКРЕТНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА
С НОРМАЛЬНЫМ БЕЛЫМ ШУМОМ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА АКФ нажмите <ENTER>')
pause
R = (1/N).*xcorr(x8); % ОЦЕНКА АКФ
m = -(N-1):(N-1); % ВЕКТОР ДИСКРЕТНЫХ СДВИГОВ ДЛЯ АКФ
subplot(2,1,2),stem((m),R,'Linewidth',2),xlabel('m'), grid
title('ACF R(m)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ДИСПЕРСИИ аддитивной смеси сигнала с шумом и АКФ R(N)
нажмите<ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp([' var_x8 = ' num2str(var(x8))])
disp([' R(N) = ' num2str(R(N))])
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.15. НОРМАЛЬНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ С ЗАДАННЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ')
r_normMean = randn(1,10000)+Mean; % НОРМАЛЬНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ С ЗАДАННЫМ
МАТЕМАТИЧЕСКИМ ОЖИДАНИЕМ
r_normVar = sqrt(Var).*randn(1,10000); % НОРМАЛЬНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ С ЗАДАННОЙ
ДИСПЕРСИЕЙ
```

```
r_normMeanVar = sqrt(Var).*randn(1,10000)+ Mean; % НОРМАЛЬНЫЙ БЕЛЫЙ ШУМ
С ЗАДАННЫМИ МАТЕМАТИЧЕСКИМ ОЖИДАНИЕМ И ДИСПЕРСИЕЙ
MAX = max([r_norm r_normMean r_normVar r_normMeanVar]);
% МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ШУМА СРЕДИ ЧЕТЫРЕХ ЕГО РАЗНОВИДНОСТЕЙ
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ нормального белого шума нажмите <ENTER>')
pause
figure('Name','White Gaussian Noises with different statistics','NumberTitle',
'off')
subplot(4,1,1), plot(r_norm), grid, ylim([-MAX MAX])
```

```
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_norm)),' Variance =
',num2str(var(r_norm))]))
subplot(4,1,2), plot(r_normMean), grid, ylim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normMean)),' Variance =
',num2str(var(r_normMean))]))
subplot(4,1,3), plot(r_normVar), grid, ylim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normVar)),' Variance =
',num2str(var(r_normVar))]))
subplot(4,1,4), plot(r_normMeanVar), xlabel('n'), grid, ylim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normMeanVar)),' Variance =
',num2str(var(r_normMeanVar))]))
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГИСТОГРАММ нормального белого шума нажмите <ENTER>')
pause
figure('Name','Histograms with different statistics','NumberTitle', 'off')
subplot(4,1,1), hist(r_norm), grid, xlim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_norm)),' Variance =
',num2str(var(r_norm))]))
subplot(4,1,2), hist(r_normMean), grid, xlim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normMean)),' Variance =
',num2str(var(r_normMean))]))
subplot(4,1,3), hist(r_normVar), grid, xlim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normVar)),' Variance =
',num2str(var(r_normVar))]))
subplot(4,1,4),hist(r_normMeanVar), grid, xlim([-MAX MAX])
title(strcat([' Mean value = ',num2str(mean(r_normMeanVar)),' Variance =
```

',num2str(var(r_normMeanVar))]))
disp('%')
disp('%')
disp('% **РАБОТА ЗАВЕРШЕНА'**)

7.5. Задание на самостоятельную работу

Задание на самостоятельную работу заключается в создании function-файлов для моделирования последовательностей с использованием исходных данных из табл. 7.1 для своего номера бригады $N_{\text{бр}}$.

Моделируемые последовательности выбираются из следующего списка:

1С. Линейная комбинация дискретных гармонических сигналов:

$$x(n) = a_1 x1(n) + a_2 x2(n) + a_3 x3(n),$$

где:

$$xi(n) = Re\{B_i e^{j\hat{\omega}_i n}\},\ i=1,2,3,$$

с выводом графиков последовательностей xi(n) и x(n) на интервале времени $n \in [0; (3N-1)]$.

2С. Дискретный прямоугольный импульс с амплитудой U , длительностью $2n_{imp}$ и моментом начала 2_{n0} с выводом графика на интервале времени.

Определить энергию и мощность импульса.

3С. Периодическая последовательность дискретных прямоугольных импульсов с амплитудой U, длительностью n_{imp} и периодом, втрое большим длитель- ности импульса, с выводом графика для заданного числа периодов.

4С. Оценка автоковариационной функции $r_x(m)$ аддитивной смеси дискретного гармонического сигнала *x(n)* с нормальным белым шумом с параметрами, заданными по умолчанию, с выводом графика оценки автоковариационной функции, центрированной относительно m=0.

5С. Аддитивная смесь дискретного гармонического сигнала *x(n)* с нормальным белым шумом с математическим ожиданием mean и дисперсией var с выводом графика на интервале времени .

6С. Оценка АКФ нормального белого шума с математическим ожиданием mean и дисперсией var с выводом графика оценки АКФ, центрированной относительно m=0.

7С. Дискретный гармонический сигнал с изменением мгновенной частоты (ЧМ-сигнал):

$$x(t)|_{t=nT} = \cos(2\pi f(t) t) \qquad (7.22)$$

Вычислить с помощью функции: **x= chirp(t,f0,t1,f1,method)**

где t, x — векторы значений дискретного времени nT (c) и последователь-ности *x(nT)* (7.22); f0 — начальная частота f_0 (Гц); t1, f1 — момент дискретного времени t_1 (c) и значение частоты $f_1(t_1)$ (Гц); method — закон изменения мгновенной частоты *f(t)* :

- 'linear' — линейный:

$$f(t) = f_0 + (f_1 - f_0)\left({}^{t}/_{t_1}\right)$$

- 'quadratic' — квадратичный:

$$f(t) = f_0 + (f_1 - f_0)(t / t_1)^2$$

- 'logarithmic' — логарифмический (в действительности экспоненциальный):

$$f(t) = f_0(f_1/f_0)^{t/t_1}$$

Вывести графики последовательности x(nT) (7.22) с помощью функции plot на интервале дискретного времени $t = nT \in [0; 50(N-1)]T$ с шагом T при f_0 =10,

t_1 =50(N −1)T и f_1 =50 и различных значениях параметра method.

8С. Последовательность с однотональной амплитудной модуляцией (АМ-сигнал):

$$x(n) = C[1 + m cos(\Omega n + \varphi_\Omega)] \cos(\omega_0 n + \varphi_0) \qquad (7.23)$$

где С, $\widehat{\omega}_0$ и ϕ_0 — соответственно амплитуда, частота и начальная фаза несущего колебания; Ω и ϕ_Ω — частота и начальная фаза модулирующего колебания; m — коэффициент модуляции (глубина модуляции), m∈[0,1].

Вывести графики последовательности *x(n)* с помощью функции plot на интервале n∈[0;(20N −1)] при следующих значениях параметров АМ-сигнала:

- $\varphi_0 = \pi/3$, $\Omega = \widehat{\omega}_0/4$, $\varphi_\Omega = \pi/6$, m=0,5 ;
- $\varphi_0 = 0$, $\Omega = \widehat{\omega}_0/4$, $\varphi_\Omega = 0$, при m=0,5 , m=0 и m=1.

9С. Последовательность в виде Гауссова радиоимпульса:

$$x(n) = e^{-an^2} \cos(\omega_1 n), \qquad (7.24)$$

где a — параметр, управляющий длительностью радиоимпульса, $\widehat{\omega}_1$ — несущая частота.

Вывести графики последовательности *x(n)* с помощью функции plot при следующих значениях параметров Гауссова радиоимпульса:

- $\widehat{\omega}_1 = \widehat{\omega}_0/2$
- a= 0,0005; 0,001; 0,005,

на интервале $n \in [-3(N-1); 3(N-1)]$ и на интервале $n \in [0; 6(N-1)$ (со сдвигом в область положительного времени).

10С. Последовательность:

$$x(t)|_{t=nT} = \frac{\sin \pi t}{\pi t} \qquad (7.25)$$

Вычислить с помощью функции:

$x = \sin c(t)$

где t, x — векторы значений дискретного времени nT (с) и последовательности *x(nT)*.

Вывести графики последовательности*x(nT)* на интервале

$$t = nT \in [-500(N-1)T;\ 500(N-1)T]$$

с шагом T и на интервале

$$t = nT \in [0{:}\,1000(\mathrm{N}-1)\mathrm{T}]$$

(со сдвигом в область положительного времени).

7.6. Отчет и контрольные вопросы

Отчет составляется в редакторе MS Word и содержит исходные данные и результаты выполнения каждого пункта задания, включая копируемые из окна **Command Window** результаты вычислений (шрифт Courier New), созданные графики (копируются по команде **Edit | Copy Figure** в окне **Figure**) и ответы на поставленные вопросы (шрифт Times New Roman).

Защита лабораторной работы проводится на основании представленного отчета и контрольных вопросов из следующего списка:

1. Дайте определение дискретного и цифрового сигналов.
2. Как математически описывается дискретный сигнал?
3. Какой тип данных используется по умолчанию при описании последовательностей в MATLAB?
4. Что такое период и частота дискретизации и как они связаны друг с другом?
5. Дайте определение дискретного нормированного времени.
6. Дайте определение нормированной частоты $\hat{\omega}$.
7. Какие дискретные сигналы называют детерминированными?
8. Назовите основные характеристики детерминированных дискретных сигналов.
9. Поясните, с какой целью и как вычисляются автокорреляционная и автоковариационная функции.
10. Какими свойствами обладает АКФ?
11. Какие дискретные сигналы называют случайными?
12. Что такое ансамбль реализаций случайного дискретного сигнала?
13. Назовите основные статистические характеристики случайных дискретных сигналов.
14. Как определяются основные статистические характеристики случайных дискретных сигналов по ансамблю реализаций?
15. Какие случайные дискретные сигналы называют стационарными в широком смысле?
16. Какие случайные дискретные сигналы называют эргодическими?
17. Дайте определение равномерного белого шума и нормального белого шума.
18. Какой вид имеют АКФ нормального белого шума и автоковариационная функция равномерного белого шума?

Использованные источники:

1. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 512 с.
2. Воробьев С.Н. Цифровая обработка сигналов : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / С.Н. Воробьев. - М. : Академия, 2013. - 320 с.
3. Голубинский А.Н. Теория цифровой обработки сигналов : учеб, пособие / А.Н. Голубинский, С.В. Ролдугин, И.В. Лазарев. - Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2009. - 132 с.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 2 по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения

Составитель:
д. ф.-м.н. Кузьменко Р.В.

Компьютерный набор Р.В. Кузьменко

Подписано к изданию__________
Уч-изд. л._________

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14