

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»
для студентов заочной формы обучения
направления 0907 — радиотехника

Севастополь

2006

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов заочной формы обучения направления 0907 — радиотехника / Сост. В. В. Вертегел — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 14 с.

Целью рекомендаций является оказание помощи студентам-заочникам в выполнении контрольной работы и подготовке к зачету по дисциплине «Цифровая обработка сигналов».

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № 3 от 7 октября 2005 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Гимпилевич Ю.Б., заведующий кафедрой радиотехники

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Расчетное задание №1.....	5
1.1. Условие.....	5
1.2. Рекомендации к выполнению расчетного задания №1	8
2. Расчетное задание №2.....	10
2.1. Условие.....	10
2.2. Рекомендации к выполнению расчетного задания № 2	11
3. Вопросы для подготовки к зачету	13
Библиографический список	14

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» (ЦОС) является одной из специальных дисциплин в программе подготовки радиоинженеров по направлению «Радиотехника».

Целью контрольной работы по курсу ЦОС является изучение принципов построения систем и методов цифровой обработки сигналов.

Контрольная работа включает в себя два расчетных задания (№1 и №2). Расчетные задания посвящаются следующим разделам курса:

- спектральный анализ цифровых сигналов;
- цифровые фильтры.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради или на листах формата А4 с соблюдением требований ГОСТ 7.1. — 84, с полями для замечаний рецензента. Рекомендуется выполнять расчеты и строить графики с использованием ЭВМ (пакетов математических программ *MathCAD*, *MATLAB* и пр.). Перед выполнением заданий необходимо привести их условия и исходные данные.

Выбор варианта задания производится по номеру в списке зачетно-экзаменационной ведомости группы на момент выдачи задания.

Контрольные работы, выполненные не по своему варианту, с нарушением требований настоящих указаний или небрежно, к проверке и рецензированию не принимаются.

1. РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ №1

1.1. Условие

Аналоговый сигнал $s(t)$ (рис. 1) длительностью $T_c = 1$ мс подвергнут дискретизации путём умножения на последовательность δ -импульсов. Интервал дискретизации T .

Требуется:

- рассчитать спектр аналогового сигнала $s(t)$ и построить график модуля спектральной плотности;
- определить максимальную частоту в спектре аналогового сигнала f_m , ограничивая спектр, используя один из критериев;
- рассчитать интервал дискретизации T и количество выборок N ;
- изобразить дискретный сигнал под аналоговым в том же временном масштабе;
- определить спектральную плотность дискретного сигнала и построить график модуля спектральной плотности под графиком спектра аналогового сигнала в том же частотном масштабе;
- провести дискретное преобразование Фурье (ДПФ), определить коэффициенты ДПФ и построить спектрограмму модулей этих коэффициентов под графиками спектров аналогового и дискретного сигналов в том же частотном масштабе;
- записать выражения для z -преобразования дискретного сигнала.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные данные к заданию 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сигнал	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	А	Б	В	Г	Д

Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сигнал	Е	Ж	З	И	К	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К

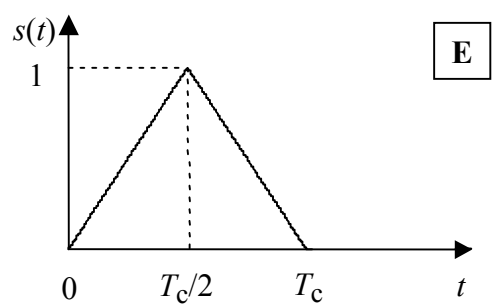
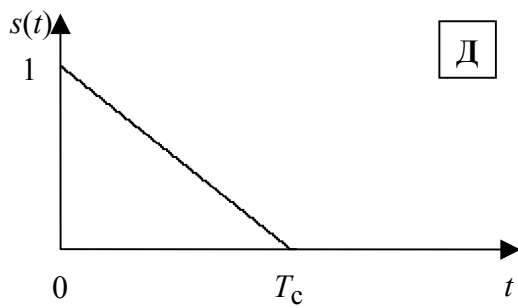
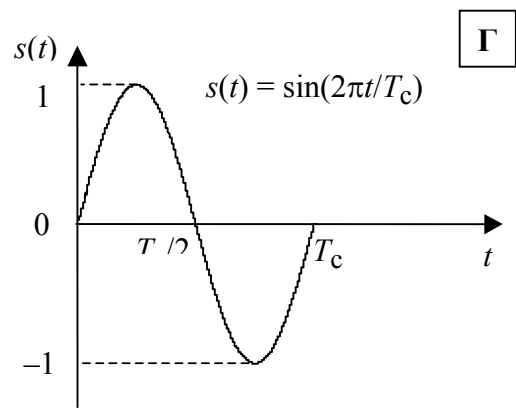
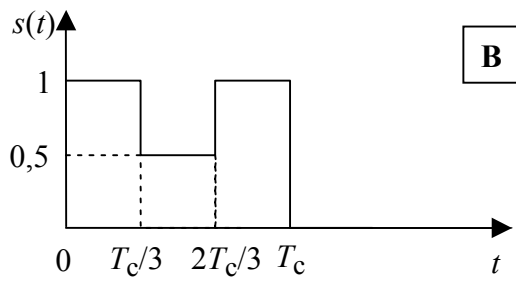
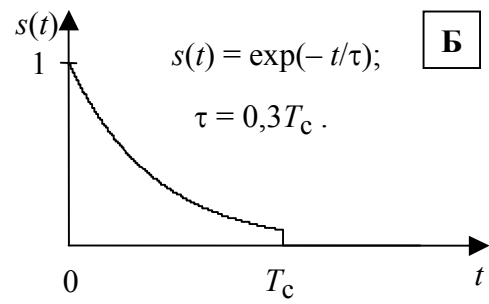
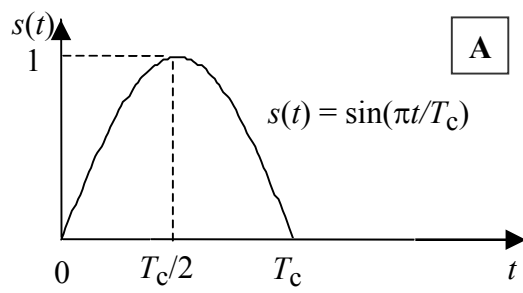
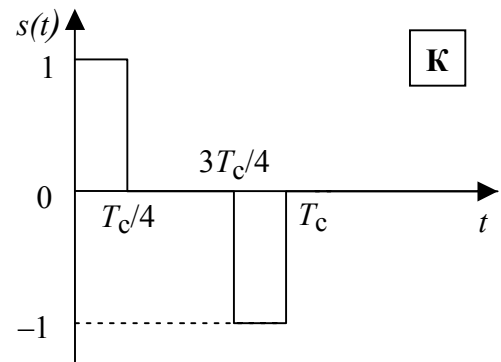
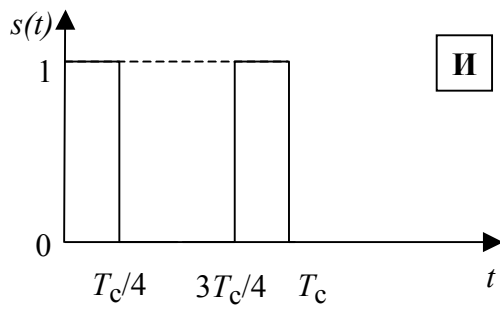
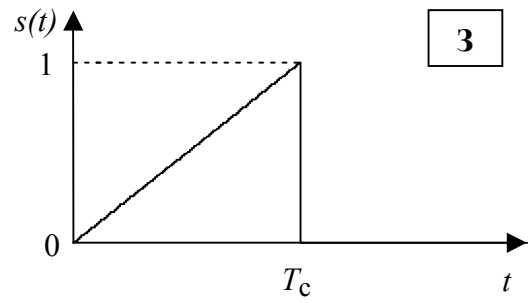
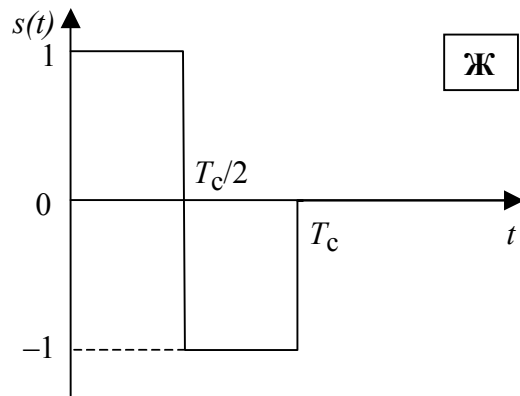


Рис. 1 — Аналоговые сигналы к заданию 1



Продолжение рис. 1 — Аналоговые сигналы к заданию 1

1.2. Рекомендации к выполнению расчетного задания №1

Рекомендованная литература: [1] — с. 8...14, 20...25, [2] — с. 64...67, 351...353; 358...364; 388...391; [3] — с. 174...192; [4] — с. 374...384; 388...391; [5] — с. 70...74; 252...270; [6] — с. 49...54.

Спектральная плотность аналогового сигнала (импульса) определяется путём прямого преобразования Фурье [1, 2]. Взяв модуль спектральной плотности, следует построить график. Максимальную частоту спектра аналогового сигнала f_m можно определить, ограничив спектр на уровне $\approx 0,1$ от его максимального значения (возможны и другие критерии).

Интервал дискретизации T_d выбирается, исходя из теоремы Котельникова, в соответствии с которой

$$T_d \leq \frac{1}{2f_m}. \quad (1.1)$$

Количество выборок N определяется как

$$N = \frac{T_c}{T_d} + 1. \quad (1.2)$$

Следует выбрать интервал дискретизации T_d таким образом, чтобы количество выборок N было бы целым.

Спектральная плотность дискретного сигнала определяется соотношением

$$S(j\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} s[nT_d] e^{-j\omega n T_d}, \quad (1.3)$$

где n — номер отсчёта дискретного сигнала.

Спектральная плотность дискретного сигнала — непрерывная функция частоты, причём периодическая с периодом, равным частоте дискретизации $\omega_d = 2\pi/T_d$. Чтобы убедиться в этом, необходимо построить график модуля (1.3) в диапазоне частот $-2\omega_d \leq |\omega| \leq 2\omega_d$.

Дискретное преобразование Фурье определяется соотношением

$$S[k] = \sum_{n=0}^{N-1} s[nT_d] \exp\left(-j\frac{2\pi}{N}nk\right), \quad (1.4)$$

где k — номер отсчёта спектральной плотности, $k = 0, 1, 2 \dots N-1$.

Отсчёты спектральной плотности, определяемые (1.4) следуют через интервалы $\Delta\omega = \omega_d/N = 2\pi/T_d N$. Взяв модули коэффициентов ДПФ, следует построить спектрограмму, разместив отсчёты на оси частот через интервалы, кратные $\Delta\omega$.

Z -преобразование дискретного сигнала определяется соотношением

$$S[z] = \sum_{n=0}^{N-1} s[nT_d] z^{-n}, \quad (1.5)$$

где $z = x + jy$ — комплексная переменная, которая вводится как $z = \exp(pT_d)$.

После вычисления суммы (1.5) следует преобразовать её к дробно-рациональной функции.

2. РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ №2

2.1. Условие

Уравнения цифровой фильтрации имеют вид

$$s_{\text{ВЫХ}}[nT_d] = a_0 s_{\text{ВХ}}[nT_d] + a_1 s_{\text{ВХ}}[(n-1)T_d] + b_1 s_{\text{ВЫХ}}[(n-1)T_d].$$

Требуется:

- составить структурную схему цифрового фильтра;
- найти передаточную функцию фильтра, определить полюса передаточной функции и нанести их на p -плоскости, сделать вывод об устойчивости;
- рассчитать и построить АЧХ и ФЧХ фильтра;
- найти системную функцию фильтра, определить полюса системной функции и нанести их на z -плоскости, сделать вывод об устойчивости;
- рассчитать и построить импульсную характеристику фильтра;
- рассчитать и построить выходной сигнал цифрового фильтра, если на вход подаётся дискретный сигнал из задания 1.

Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Исходные данные к заданию 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a_0	−3	1	−1,5	1	1	1	−2	1	−4	1
a_1	2	-	−1,5	-	−1	-	1,5	−1	3	-
b_1	-	−0,9	-	−0,85	−0,8	0,95	-	−0,7	-	0,85

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a_0	1,5	0,5	4	1	−3	1	2,5	1	−1	1
a_1	−3	1	−3,5	1,5	1,5	-	−1	-	2,5	-
b_1	-	−0,7	-	0,9	-	−0,75	-	0,6	-	−0,6

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
a_0	3,5	1	2	1	1,5	1	3	−1	0,8	0
a_1	−4	-	−2	-	−0,5	-	3	-	−1	1
b_1	-	0,8	-	−0,9	-	0,65	-	−0,8	-	0,95

2.2. Рекомендации к выполнению расчетного задания № 2

1. Рекомендованная литература: [1] — с. 17...20, 25...37, 49...123; [2] — с. 353...357, 362...370; [3] — с. 184...198; [4] — с. 388...391, 395...402; [5] — с. 256...262, 270...283. Следует отметить, что имеются расхождения в обозначениях коэффициентов при описании дискретных систем в указанной литературе. В [1, 6, 7, 8] коэффициенты a_n относятся к отсчетам выходного сигнала, а коэффициенты b_n — к отсчетам входного сигнала, а в [2, 3, 4] — наоборот. Существует также некоторое различие в терминологии, в частности «передаточная функция» и «системная функция» фильтра.

2. Передаточная функция цифрового фильтра определяется соотношением

$$K_T(p) = \frac{\sum_{n=0}^H a_n \exp(-pnT_d)}{1 - \sum_{n=1}^M b_n \exp(-pnT_d)}, \quad (2.2)$$

где a_n , b_n — коэффициенты уравнения (2.1); H — количество элементов задержки в трансверсальной части; M — количество элементов задержки в рекурсивной части [2].

Полюса передаточной функции определяют, приравнявая знаменатель (2.2) к нулю. Устойчивость фильтра оценивается по расположению полюсов в p -плоскости. Фильтр устойчив, если полюса передаточной функции расположены в левой полуплоскости комплексной переменной p [2].

3. Заменяя в (2.2) p на $j\omega$, получаем выражение для комплексного коэффициента передачи. Процедура определения АЧХ и ФЧХ заключается во взятии модуля и аргумента от полученного выражения.

4. Системная функция цифрового фильтра

$$K(z) = \frac{\sum_{n=0}^H a_n z^{-n}}{1 - \sum_{n=1}^M b_n z^{-n}}. \quad (2.3)$$

Полюса системной функции находятся по той же методике, что и для передаточной функции. Особенность в том, что количество полюсов системной функции конечно (из-за их наложения). Устойчивость фильтра оценивается по расположению полюсов системной функции на z -плоскости. Фильтр устойчив, если полюса системной функции расположены внутри круга единичного радиуса с центром в точке $z = 0$ [2].

5. Импульсная характеристика $h[nT_d]$ — это реакция цифрового фильтра на воздействие в виде единичного импульса $\delta[nT_d]$ (функция Кронекера). Используя уравнение цифровой фильтрации, получаем

$$h[nT_d] = a_0\delta[nT_d] + a_1\delta[(n-1)T_d] + b_1h[(n-1)T_d], \quad (2.4)$$

$$\text{где } \delta[nT_d] = \begin{cases} 1 & \text{при } n = 0 ; \\ 0 & \text{при } n \neq 0 . \end{cases}$$

6. Выходной сигнал цифрового фильтра при заданном входном воздействии рассчитывается непосредственно с использованием уравнения цифровой фильтрации, приведённом в условии. Расчёты значений отсчётов выходного сигнала $s_{\text{вых}}[nT_d]$ следует проводить до $n = 2N - 1$ отсчетов.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

- 1) История развития и области применения цифровой обработки сигналов.
- 2) Классификация сигналов.
- 3) Обобщенная структурная схема системы цифровой обработки сигналов.
- 4) Математические модели дискретных сигналов.
- 5) Спектр дискретного сигнала.
- 6) Связь между спектрами дискретного и аналогового сигналов.
- 7) Прямое и обратное преобразование Фурье дискретных сигналов.
- 8) Преобразование Лапласа дискретных сигналов.
- 9) Z-преобразование. Свойства z -преобразования.
- 10) Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
- 11) Свойства дискретного преобразования Фурье.
- 12) Быстрое преобразование Фурье (БПФ).
- 13) Алгоритм БПФ с прореживанием во времени.
- 14) Алгоритм БПФ с прореживанием по частоте.
- 15) Дискретные системы. Определение и классификация дискретных систем.
- 16) Базовые элементы структурных схем дискретных систем.
- 17) Методы математического описания дискретных систем во временной области.
- 18) Разностное уравнение дискретной системы.
- 19) Рекурсивная и нерекурсивная дискретные системы.
- 20) Импульсная характеристика дискретных систем.
- 21) Понятие дискретной временной свертки.
- 22) Испытательные сигналы дискретных систем.
- 23) Методы математического описания дискретных систем в частотной области.
- 24) Передаточная функция дискретной системы.
- 25) Устойчивость дискретной системы.
- 26) Частотные характеристики дискретной системы.
- 27) Цифровые фильтры (ЦФ). Область применения. Достоинства и недостатки ЦФ.
- 28) Основные задачи анализа и синтеза ЦФ.
- 29) Классификация цифровых фильтров.
- 30) Математическая модель цифрового фильтра.
- 31) Передаточная функция и частотная характеристика цифрового фильтра.
- 32) Последовательная и параллельная формы реализации цифровых фильтров.

- 33) Прямая, каноническая и транспонированная каноническая формы реализации биквадратного звена.
- 34) Формы реализации нерекурсивных фильтров.
- 35) Классификация методов синтеза цифровых фильтров.
- 36) Синтез нерекурсивных фильтров методом весовых функций.
- 37) Синтез нерекурсивных фильтров с косинусным сглаживанием АЧХ.
- 38) Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки.
- 39) Синтез рекурсивных цифровых фильтров по методу билинейного преобразования.
- 40) Численные (оптимизационные) методы синтеза фильтров.
- 41) Комплексные цифровые фильтры.
- 42) Согласованные цифровые фильтры и области их применения.
- 43) Адаптивные цифровые фильтры и области их применения.
- 44) Спектральный анализ цифровых сигналов.
- 45) Эффект «растекания» спектра сигналов при ДПФ. Применение весовых функций для спектрального анализа с использованием ДПФ.
- 46) Основные характеристики восходящих и нисходящих дискретных систем.
- 47) Применение Вейвлет-преобразования и преобразования Гильберта в системах цифровой обработки сигналов.
- 48) Перенос спектров сигналов методом цифрового гетеродирования.
- 49) Методы формирования однополосных цифровых сигналов.
- 50) Методы формирования групповых цифровых сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие для вузов / Л.М. Гольденберг., Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк.— 2 изд. перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1990. — 256 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.— 4-е издание, перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. Радиотехника. — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высшая школа, 1988. — 448 с.
4. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособие для вузов / В.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков; Под ред. К.А. Самойло. — М.: Радио и связь, 1982. — 528 с.
5. Бондарев В.Н. Цифровая обработка сигналов. Методы и средства: Учебное пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Г. Трёстер, В.С. Чернега. — Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1999. — 398 с.
6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов/ А.Б. Сергиенко — СПб.: Питер, 2002. — 608 с
7. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М. Гольденберг., Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. — М.: Радио и связь, 1985. — 312 с.