Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра телекоммуникационных систем

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания по выполнению расчётно- графических работ для студентов - бакалавров очной формы обучения специальности
5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2014г.

СОСТАВИТЕЛИ: Л.Г. Богомолова, Г.Д. Демидова. Основы цифровой обработки сигналов в телекоммуникационных системах. Методические указания по выполнению расчётно- графических работ для студентов-бакалавров очной формы обучения специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2014. – 19 с.

Методические указания содержат задания к расчётно-графическим работам, требования по оформлению и выполнению работ, исходные данные для 100 вариантов заданий, а также методические указания по выполнению работ и список рекомендуемой литературы.

Ил. 4, табл. 6, библиогр. – 5 назв.

Рецензент: доцент каф. РТ А.А. Куликов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2014 год.

Содержание

Введение

Дисциплина «Основы цифровой обработки сигналов в телекоммуникационных системах» (ОЦОС) изучается на 3 курсе (для студентов специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации очной формы обучения).

По курсу читаются лекции, выполняются две расчётно-графические работы, выполняются лабораторные работы.

Целью курса «Основы цифровой обработки сигналов в телекоммуникационных системах» является изучение основных методов спектрального анализа сигналов, основ теории дискретных сигналов и их цифровой фильтрации, алгоритмов синтеза цифровых фильтров и систем, а также некоторых аспектов применения цифровой обработки сигналов в системах связи. Задачами курса являются вопросы изучение методов спектрального анализа цифровых сигналов, теории Z-преобразования, видов цифровых фильтров, методов их анализа и синтеза, использование цифровой обработки сигналов в системах телекоммуникаций и связи.

Для освоения курса необходимо знать основные положения некоторых разделов математики, физики, теории линейных и нелинейных цепей, теории электрической связи.

Расчётно-графическая работа №1 охватывает раздел спектрального анализа.

Расчётно-графическая работа № 2 охватывает теорию Z-преобразования дискретизованных сигналов и их цифровую фильтрацию, а также методы синтеза цифровых фильтров.

Расчётно-графические работы (РГР), выполняемые студентами в процессе учебы, помогут студентам более полно освоить разделы курса ОЦОС, получить навыки в решении задач, встречающихся в практике.

В РГР вошли четыре задачи по различным разделам дисциплины ОЦОС.

Прежде чем приступить к выполнению заданий по РГР, ознакомьтесь с требованиями по выполнению и оформлению РГР и с порядком выбора варианта.

Защита расчётно-графической (РГР) работы проводится до экзамена в назначенное преподавателем время. Без защищенных РГР студент к экзамену не допускается.

В течении семестра студент должен пройти два рубежных контроля. При подсчёте рейтинга допуска к экзамену, учитываются оценки по рубежному контролю, по защите РГР и итоги по выполнению лабораторных работ. Экзамен по предмету ОЦОС в ТКС комплексный, в виде тестирования.

Алматинский университет энергетики и связи просит студентов бережно относиться к методической литературе, выпускаемой университетом.

1 Требования к выполнению и оформлению РГР

1.1 Выбор варианта

Вариант задания выбирается по таблицам и рисункам, соответствующих номеров задач.

1.2 Требования к выполнению РГР

1.2.1 Решение каждой задачи следует начать с изучения относящегося к теме задания теоретического материала. В этом поможет учебная литература, приведенная в методических указаниях к решению каждой задачи. Выполнять задания нужно вдумчиво, четко представляя ход решения, умея обосновать полученный результат. Выполненная работа сдается на проверку (рецензенту) преподавателю кафедры «Телекоммуникационные системы». После проверки, если работа не допущена к защите, она возвращается на доработку. Студент должен или переделать ее, или исправить все отмеченные ошибки и выполнить все указания рецензента в соответствии с его замечаниями, а затем работа вновь отдается на рецензию. Все исправления и дополнения, сделанные по указаниям рецензента, помещаются на чистой стороне листа в том месте, где обнаружены ошибки или заданы вопросы. Рекомендуется использовать в расчётах программу Mathcad, графическую часть выполнять с использованием программы Paint.

1.2.2 Проверенная работа должна быть защищена. После допуска к защите, студент защищает ее в назначенное преподавателем время. Для успешной защиты необходимо: внести исправления по замечаниям рецензента, ответить письменно или устно (в зависимости от требований рецензента) на поставленные вопросы, уметь полностью объяснить ход решения задач, обосновать правильность использования расчетных формул, смысл входящих в них символов, уметь обосновать полученный результат.

1.2.3 Следует помнить, что работа, выполненная небрежно, не полностью или не по своему варианту, не рецензируется и возвращается студенту на переоформление, доработку или переделку по своему варианту.

1.3 Требования к оформлению РГР

1.3.1 РГР выполняется на листах белой бумаги формата А4. Она должна быть аккуратно оформлена, текст разборчиво написан или напечатан (компьютерный набор) на одной стороне листа. Другая сторона листа предназначена для внесения студентом исправлений и дополнений по результатам рецензии.

1.3.2 Титульный лист РГР оформляется в соответствии с правилами оформления расчётно-графических работ и включает название дисциплины, ФИО студента, номер группы и номер зачётной книжки. РГР. Работа должна содержать введение, расчётную часть, заключение (выводы по полученным результатам) и список литературы. Номера страниц проставляются посередине внизу страницы. Для каждого пункта работы страницы указываются в содержании.

1.3.3 В начале каждой задачи приводится условие задачи и исходные данные для своего варианта.

1.3.4 Страницы текста, рисунки, таблицы и формулы нумеруются. Все вычисления приводят достаточно полно. Чтобы можно было проверить правильность вычислений, их сопровождают необходимыми пояснениями.

1.3.5 Расчётные формулы записывают в общем виде с расшифровкой буквенных обозначений и указанием размерностей. Все числовые значения необходимо затем подставлять только в основных единицах.

1.3.6 В тексте работы должны быть ссылки на использованную литературу при приведении формул, схем, теоретического материала.

1.3.7 Студент подписывает свою работу с указанием даты выполнения.

Внимание! РГР, выполненные без соблюдения перечисленных требований, возвращаются на доработку.

2 Задания, исходные данные и методические указания по выполнению расчётно-графической работы №1

Задача 1

Провести следующие операции с числом, образованным номером студенческого билета:

а) перевести в двоичную систему;

б) перевести в восьмеричную систему;

в) перевести в шестнадцатеричную систему;

г) перевести в десятичную систему числа, полученные в двоичной системе, в восьмеричной системе, в шестнадцатеричной системе, то есть сделать обратное преобразование;

д) пояснить назначение каждого способа кодирования.

Задача 2

Задан импульс, параметры которого представлены в таблицах 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Последняя цифра номера студенческого билета		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид импульса	Рис. №	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10

Т а б л и ц а 2

Предпоследняя цифра номера студенческого билета		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Uo	В	3	2	5	7	8	6	4	9	1	10
Длительность импульса - $\tau_и$	мкс	1,2	3	4	5	6	7	8	9	1	1,5
α, альфа	рад/сек	5	3	4	5	6	7	8	2	3	4
Т (шаг дискретизации)	мкс	0,05	0,1	0,25	0,25	0,6	0,5	0,4	0,30	0,05	0,5

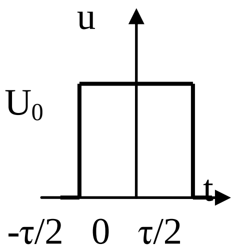

Рисунок 2.1

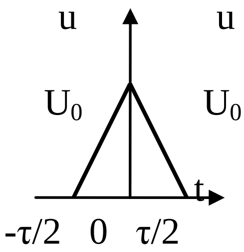

Рисунок 2.2

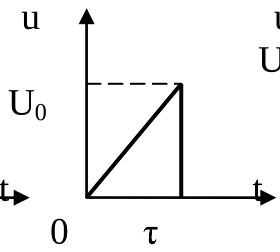

Рисунок 2.3

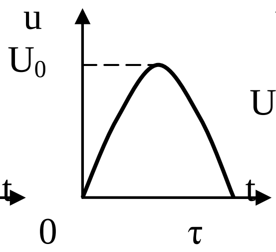

Рисунок 2.4

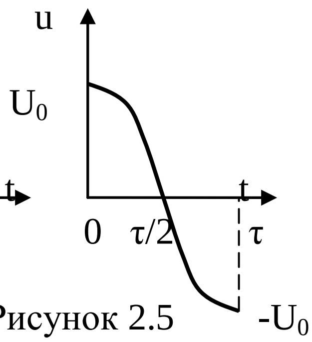

Рисунок 2.5

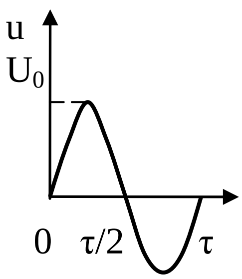

Рисунок 2.6

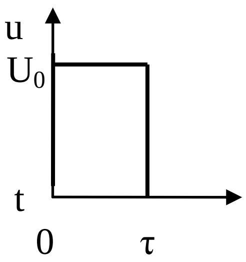

Рисунок 2.7

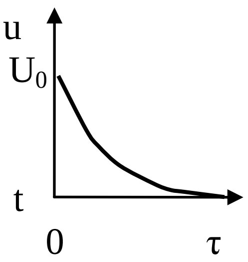

Рисунок 2.8

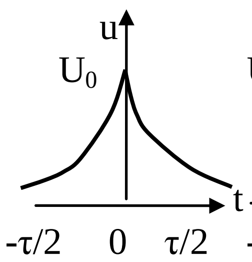

Рисунок 2.9

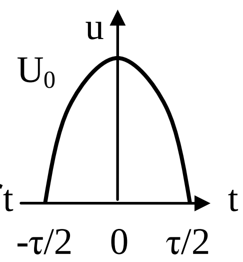

Рисунок 2.10

Требуется:

а) записать математическую модель (формулу), соответствующую импульсу, согласно варианту;

б) определить спектральную плотность импульса, заданного в таблице, согласно варианту;

в) построить АЧХ и ФЧХ спектральной плотности при заданной длительности импульса, амплитуде и других параметрах;

г) импульса вдвое меньше длительности. Отобразить на графиках влияние задержки импульса на время $\tau_и$;

д) дискретизовать заданный сигнал с шагом T;

е) записать математическую модель (формулу) дискретизованного сигнала;

ж) найти спектральную плотность дискретизованного сигнала;

з) построить амплитудный спектр дискретизованного сигнала;

и) расчет спектральной плотности импульса и построение АЧХ и ФЧХ импульса и амплитудного спектра дискретизованного сигнала произвести на ЭВМ.

Методические указания к задаче 2.

С материалом по спектральному представлению сигналов можно ознакомиться в литературе [1, с. 44 – 53, 385 – 387; 2, с. 27 – 53, 64 – 66; 12, с. 49 – 65, 66 - 73].

Преобразование Фурье является инструментом спектрального анализа непериодических сигналов.

Формула прямого преобразования Фурье имеет вид

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt. \tag{2.1}$$

Прямое преобразование Фурье позволяет найти комплексную спектральную плотность $\hat{S}(\omega)$ импульса s(t).

Формула обратного преобразования Фурье имеет вид

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) e^{j\omega t} d\omega . \tag{2.2}$$

Обратное преобразование Фурье позволяет вычислить мгновенное значение импульса s(t), если задана его комплексная спектральная плотность $\hat{S}(\omega)$.

Если анализируемый сигнал s(t) – вещественная функция, то $\dot{S}(\omega)$ – сопряжённо-симметричная относительно нулевой частоты, т. е. значения спектральной функции на частотах ω и -ω являются комплексно-сопряжёнными по отношению друг к другу

$$\dot{S}(-\omega) = \dot{S}^*(\omega).$$

Если s(t) – чётная функция, то спектр будет чисто вещественным (четным), если s(t) – нечётная функция, то спектральная функция $\dot{S}(\omega)$ будет чисто мнимой и нечётной.

Модуль спектральной плотности называют амплитудным спектром, а ее аргумент – фазовым спектром.

В соответствии с принципом неопределённости сигнал s(t), имеющий ограниченную протяженность во времени имеет неограниченный по полосе спектр $\hat{S}(\omega)$.

Непериодический сигнал бесконечной протяжённости во времени имеет сплошной спектр, ограниченный по частоте.

Дискретизуем сигнал с шагом T. Это значит, что мы заменим непрерывный сигнал s(t), имеющий длительность $\tau_И$ и спектр $\hat{S}(\omega)$, последовательностью отсчётов x(nT)={x(0), x(T), x(2T),…,)}, где n=0, 1, 2, …,(N-1). Полное число отсчётов этого сигнала равно

$$N = \frac{\tau_И}{T},$$

где $T = \frac{1}{f_д} = \frac{1}{2F_в}$ – интервал (шаг) дискретизации.

Шаг дискретизации T связан с круговой частотой дискретизации $\omega_Д$ зависимостью

$$\omega_Д = \frac{2\pi}{T}. \qquad (2.3)$$

Для анализа спектра дискретизованного сигнала обычными аналоговыми средствами необходимо сопоставить последовательности отсчётов дискретизованного сигнала некоторую функцию.

Как правило, отсчеты представляют в виде дельта-функции с соответствующими множителями и задержками. Для последовательностей отсчётов $\{x(nT)\}$, в дальнейшем $\{x(n)\}$ получится следующий сигнал

$$s_Д(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)\delta(t-n). \qquad (2.4)$$

Преобразование Фурье линейно, спектр дельта-функции равен единице, а задержка сигнала во времени приводит к умножению спектра на комплексную экспоненту. Это позволит записать спектр дискретного сигнала в виде

$$\dot{S}_Д(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n} \quad . \qquad (2.5)$$

Так как функция $\delta(t-nT)$ равна нулю везде, кроме момента t=nT, можно заменить в выражении (2.5) константы x(n) на исходный непрерывный сигнал s(t)

$$s_Д(t) = s(t)\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT). \qquad (2.6)$$

Сумма, входящая в (2.6) является периодическим сигналом с периодом T и может быть представлена в виде ряда Фурье с коэффициентами

$$\dot{C}_n = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} \delta(t)e^{-j\omega_n t}dt = \frac{1}{T}. \qquad (2.7)$$

При этом учтено, что в интервал интегрирования (–T/2; T/2) попадает только одна дельта-функция, соответствующая n=0.

Таким образом, периодическая последовательность дельта-функций может быть представлена в виде комплексного ряда Фурье

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nt) = \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j\omega_n t} \quad , \qquad (2.8)$$

где $\omega_n = 2\pi n/T$. Подставив (2.8) в (2.6), получим

$$s_Д(t) = \frac{s(t)}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j\omega_n t} = \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} s(t)e^{j\omega_n t} \quad . \tag{2.9}$$

Умножение сигнала на exp(jω_nt) соответствует сдвигу спектральной функции на ω_n, поэтому спектр дискретизированного сигнала можно записать следующим образом

$$\dot{S}_Д(\omega) = \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{S}\left(\omega - \frac{2\pi n}{T}\right) = \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega - n\omega_1) \tag{2.10}$$

Таким образом, спектр дискретизированного сигнала представляет собой бесконечный ряд сдвинутых между собой на $\omega_1 = 2\pi/T$ копий спектра исходного непрерывного сигнала s(t) (см. рисунок 2.11) Расстояние по частоте между соседними копиями спектра равно частоте дискретизации $\omega_Д=2\pi/T$.

Из-за наличия в формуле (2.10) множителя 1/T спектр дискретизированного сигнала имеет размерность, совпадающую с размерностью сигнала (т. к. $\delta(t)$ имеет размерность частоты).

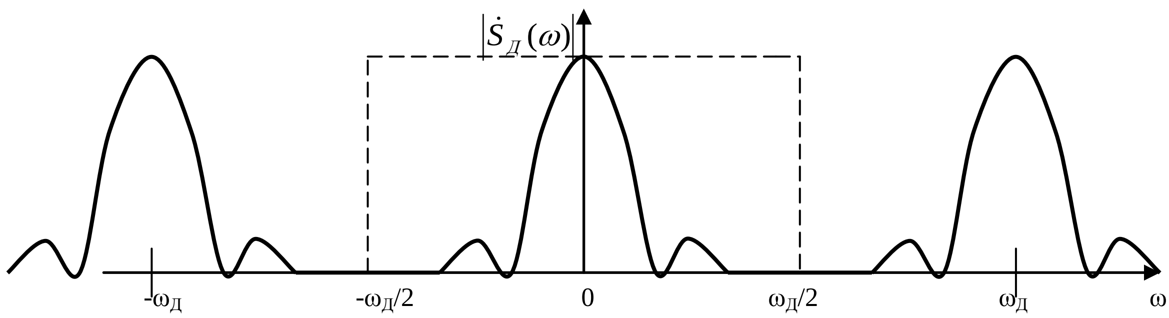

Рисунок 2.11 – Спектр дискретизированного сигнала

Характер спектра еще раз демонстрирует частотно-временную дуальность преобразования Фурье:

- периодический сигнал – дискретный спектр;
- периодический спектр – дискретный сигнал.

3 Задания, исходные данные и методические указания по выполнению расчетно-графической работы №2

Задача 1

1. Вычислить Z-преобразование дискретной последовательности отсчетов сигнала {x(n)}, согласно своему варианту – смотри таблицу 3.
2. Определить дискретную свертку {y(n)}, если импульсная характеристика системы имеет вид – смотри таблицу 3. Определить

системную функцию H(Z).

3. Построить схему нерекурсивного фильтра, которому соответствует системная (передаточная) функция H(Z) и позволяющего получить рассчитанные выходные отсчеты {y(n)}.

4. По заданному Z-преобразованию X(Z) определить отсчёты дискретного сигнала {x(n)}, согласно своему варианту – смотри таблицу

Таблица 3

Последняя цифра номера зачетной книжки					
Вар.	0	1	2	3	4
{x(n)}=	1,1,1,0,0,0...	1,1,0,1,0,0…	1,1,0,0,1,0…	1,0,1,1,0,0…	1,0,0,1,1,0…
{h(m)}=	1,2,3,2,1	1,1,2,3,1	1,2,2,3,1	1,3,2,2,1	1,3,2,1,1
Вар.	5	6	7	8	9
{x(n)}=	1,0,1,0,1,0…	0,1,1,1,0,0…	0,1,1,0,1,0…	0,1,0,1,1,0…	0,0,1,1,1,0…
{h(m)}=	1,1,2,3,1	1,2,3,2,1	1,2,2,3,1	1,3,2,1,1	1,3,2,2,1

Таблица 4

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки					
Вар.	0	1	2	3	4
X(Z)=	$1+Z^{-3}$	$\dfrac{Z^{-1}}{1-Z^{-3}}$	$\dfrac{(Z+1)^2}{Z^2}$	$\dfrac{1-Z^2}{Z^3}$	$\dfrac{(1-Z)^2}{Z^2}$
Вар.	5	6	7	8	9
X(Z)=	$\dfrac{4}{2-3Z^{-1}+Z^{-2}}$	$\dfrac{1}{6-5Z^{-1}+Z^{-2}}$	$1-Z^{-3}$	$\dfrac{5}{4-3Z^{-1}-Z^{-2}}$	$\dfrac{(1-Z)^2}{Z^3}$

Методические указания к задаче 1.

С материалом по Z-преобразованию и цифровой фильтрации можно ознакомиться в литературе [2, с. 351 – 353, 361 – 364; 6, с. 143 – 148, 202 - 204; 7, с. 28 – 47, 51 – 59, 121 – 122; 14, с. 15 – 28].

При математических описаниях дискретных последовательностей большую роль играет функция e^{pt}. Введем новую переменную Z, связанную с p соотношением

$$Z = e^{pt}, \quad p = \frac{1}{T}\ln Z . \tag{3.1}$$

Прямым Z-преобразованием функции x(n) – последовательности вещественных или комплексных отсчетов называют преобразование

$$X(Z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) Z^{-n} \tag{3.2}$$

Если считать, что x(n)=0, для n < 0, то получим прямое одностороннее Z-преобразование

$$X(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) Z^{-n} . \tag{3.3}$$

Комплексная функция X(Z) определяется только для области Z, в которой степенной ряд (3.3) сходится.

Спектральные коэффициенты X(n), т. е. ДПФ последовательности {x(n)}, {n=0, 1, …, N – 1}, равны значениям Z-преобразования этой последовательности в N точках, равномерно распределённых по единичной окружности.

Отыскание оригинала, т. е. функции $s_Д(t)$ или x(n), по заданному изображению X(Z) производится с помощью обратного Z-преобразования

$$x(nT) = Z^{-1}\{X(Z)\} = X^{-1}(Z) = \frac{1}{2\pi j}\oint_C \dot{S}(Z)Z^{n-1}dZ \qquad (3.4)$$
,

где C – контур сходимости $X(Z)Z^{n-1}$, охватывающий начало координат Z-плоскости.

Решение такого интеграла достаточно сложное, но существует три простых способа нахождения обратного Z-преобразования:

а) с использованием таблицы соответствий;

б) путем разложения изображения на простые дроби;

в) на основании теоремы Коши.

Для вычисления обратного Z-преобразования с использованием таблицы соответствий необходимо по справочнику, содержащему таблицы оригиналов и соответствующих им Z-преобразований, найти оригинал заданного Z-преобразования.

При использовании разложения на простые дроби необходимо определить N полюсов Z-преобразования. Тогда X(Z) можно представить в виде суммы простых дробей

$$X(Z) = \sum_{k=1}^{N} \frac{\beta_k}{1-\alpha_k Z^{-1}}\ , \qquad (3.5)$$

где β_k и α_k – коэффициенты разложения при *k*-м полюсе.

Если полюс вещественный, то и коэффициенты разложения вещественны, если полюс комплексный – коэффициенты комплексные.

По свойству линейности и на основании таблицы соответствий оригинал x(n) Z-преобразования X(Z) определяется по формуле

$$x(n) = \sum_{k=1}^{N} \beta_k \alpha_k^n . \qquad (3.6)$$

Положение, вытекающее из теоремы Коши

$$\frac{1}{2\pi j}\oint Z^n dZ = \begin{cases} 1, & если \quad n = -1, \\ 0, & если \quad n \neq -1. \end{cases} \qquad (3.7)$$

Известно, что сигнал на выходе дискретной цепи связан с сигналом на входе цепи формулой дискретной свертки, поэтому n-ый отсчет дискретной выходной последовательности рассчитывается как (3.4)

$$y(n) = \sum_{m=0}^{n} x(m)\cdot h(n-m) = \sum_{m=0}^{n} x(n-m)\cdot h(m)\ , \qquad (3.8)$$

где $h(t)$ – импульсная характеристика цепи.

Известно, что дискретная цепь – это структурная схема алгоритма вычислений, а цифровая цепь – это воплощение данного алгоритма в виде программных и аппаратных средств.

Передаточной (системной) функцией дискретной цепи $H(Z)$ называют отношение Z-преобразований выходного и входного дискретных сигналов

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3.9)$$

В соответствии с теоремой о дискретной свертке

$$X(Z) \cdot H(Z) = Y(Z). \quad (3.10)$$

Из последнего выражения видно, что Z-преобразование импульсной характеристики цепи $h(m)$ и есть передаточная функция дискретной цепи $H(z)$.

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n) \cdot z^{-n}. \quad (3.11)$$

Важнейшим примером линейных дискретных систем является линейный цифровой фильтр (ЦФ) – физическое устройство или программа для компьютера), который производит определённые операции обработки во временной или частотной области последовательности {x(k)} числовых отсчетов входного дискретного сигнала и формирует выходной дискретный сигнал – последовательность {y(k)}.

Все цифровые фильтры делятся на две большие группы: фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) или нерекурсивные и фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры) или рекурсивные фильтры.

КИХ-фильтры реализуются на основе свертки двух функций. Первая функция является входным сигналом $x(k)$, а вторая a_m называется ядром фильтра и определяет его импульсную характеристику

$$y(n) = \sum_{m=1}^{N-1} a_m x(n-m) \quad (3.12)$$

Структурная схема, реализующая алгоритм (3.12) приведена на рисунке 3.1.

Алгоритм (3.12) можно представить в виде

$$y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + a_2 x(n-2) + ... + a_m x(n-m), \quad (3.13)$$

где – a_0, a_1, …a_m действительные постоянные («весовые») коэффициенты; m – порядок нерекурсивного фильтра, т. е. максимальное число запоминаемых чисел.

Формулы (3.12) и (3.13) тождественны, а коэффициенты a_0, a_1, …a_m совпадают с соответствующими отсчетами импульсной характеристики фильтра h_0, h_1, …, h_m.

Системную функцию нерекурсивного фильтра определим, применив Z-преобразование к обеим частям уравнения (3.13)

$$Y(Z) = \left(a_0 + a_1 Z^{-1} + a_2 Z^{-2} + \ldots + a_m Z^{-m}\right) X(Z). \qquad (3.14)$$

Отсюда находим, что системная функция имеет вид

$$H(Z) = a_0 + a_1 Z^{-1} + a_2 Z^{-2} + \ldots + a_m Z^{-m} = \frac{a_0 Z^m + a_1 Z^{m-1} + \ldots + a_m}{Z^m}. \qquad (3.15)$$

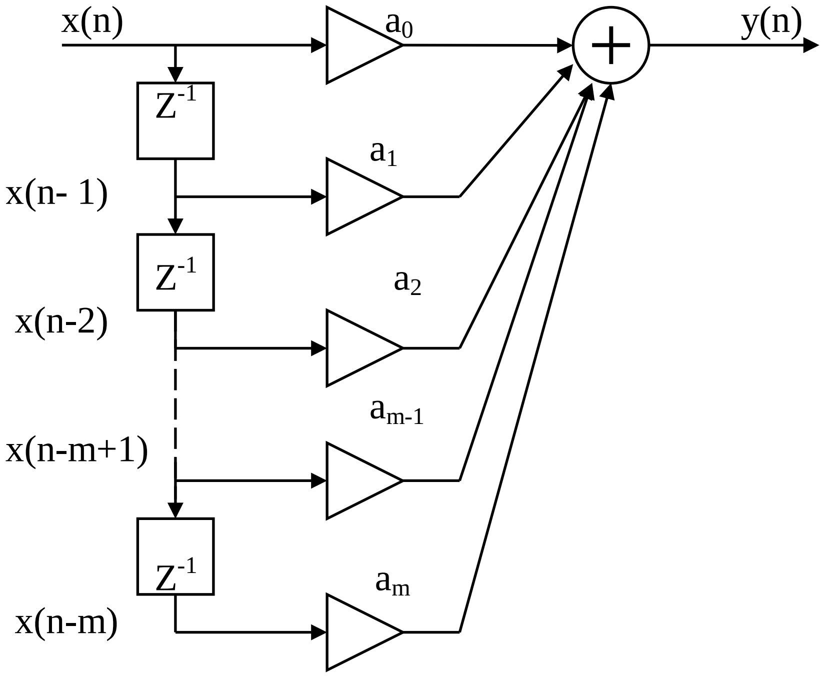

Рисунок 3.1 – Структурная схема нерекурсивного цифрового фильтра (m – порядок фильтра)

Задача 2

1 Определить передаточную (системную) функцию рекурсивного ЦФ. Коэффициенты числителя « a_m » и знаменателя « b_n » определяются согласно своему варианту из таблиц 5 и 6.

Таблица 5

№ варианта	Последняя цифра студенческого билета (номер варианта)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Коэфф-ты числителя	a_0	1	2	3	4	5	6	7	2	3	4
	a_1	2	1	1	3	3	4	4	5	6	1
	a_2	3	3	3	2	4	3	5	1	6	1
	a_3	4	4	3	2	3	5	2	1	2	1

Окончание таблицы 5

	a_4	5	6	4	1	6	2	1	2	0	4
	a_5	6	0	5	4	2	3	2	4	1	3

Таблица 6

№ варианта	Предпоследняя цифра студенческого билета (номер варианта)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Коэфф-ты знаменателя	$в_1$	1	0	3	4	4	5	4	2	2	1
	$в_2$	1	2	3	2	3	4	5	2	1	3
	$в_3$	3	2	2	1	3	2	1	5	4	1
	$в_4$	1	3	4	3	1	2	1	4	3	2
	$в_5$	2	5	3	4	4	1	2	3	1	4

2 Разработать структурную схему рекурсивного фильтра, реализующую полученную передаточную функцию (прямую, каноническую и транспонированную реализации).

3 Рассчитать первые три отсчета импульсной характеристики фильтра {h(n)}, полученные при прохождении через разработанный фильтр сигнала {x(k)}={1,0,0}.

Методические указания к задаче 2.

С материалом по рекурсивным цифровым фильтрам можно ознакомиться в литературе [7, с. 206 – 211; 8, с. 110 – 121; 11, с. 217 – 226].

Алгоритм цифровой фильтрации имеет вид

$$y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + ... + a_m x(n-m) + b_1 y(n-1) + b_2 y(n-2) + ... + b_k y(n-k), \quad (4.1)$$

где b_i и a_j – вещественные коэффициенты.

Перегруппировав входные и выходные отсчеты по разные стороны знака равенства, получим традиционную форму записи разностного уравнения:

$$y(n) - b_1 y(n-1) - b_2 y(n-2) - ... - b_k y(n-k) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + ... + a_m x(n-m). \quad (4.2)$$

Или

$$y(n) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m x(n-m) + \sum_{k=1}^{M-1} b_k x(n-k). \quad (4.3)$$

Для реализации такого фильтра в схему необходимо добавить вторую линию задержки – для хранения выходных отсчётов. Полученная при этом структура показана на рисунке 4.1. Такие фильтры называются рекурсивными.

Применив Z-преобразование к (4.2; 4.3) и решив его относительно $Y(Z)$, найдем передаточную (системную) функцию рекурсивного ЦФ

$$H(Z)=\frac{a_0+a_1Z^{-1}+a_2Z^{-2}+...+a_mZ^{-m}}{1-b_1Z^{-1}-b_2Z^{-2}-,,,-b_kZ^{-k}}=\frac{\sum\limits_{m=0}^{N-1}a_mZ^{-m}}{1-\sum\limits_{k=1}^{M-1}b_kZ^{-n}} \quad . \qquad (4.4)$$

Импульсная характеристика рекурсивного фильтра рассчитывается значительно сложнее, чем нерекурсивного. Рассмотрим формирование нескольких первых ее отсчетов:

1) На вход поступает единичный импульс, умножается на a_0 и проходит на выход. Получим

$$h(0)=a_0 .$$

2) Далее входной единичный импульс попадает на входную линию задержки, а выходной отсчет a_0 – в выходную линию задержки. В результате второй отсчет импульсной характеристики будет формироваться как

$$h(1)=a_1+b_1h(0)=a_1+a_0b_1 .$$

3) Если продолжить рассмотрение перемещения входного единичного импульса вдоль входной линии задержки и заполнения выходными отсчётами выходной линии задержки, можно получить

$$h(2)=a_2+b_2h(0)+b_1h(1)=a_2+a_0b_2+a_1b_1+a_0b_1^2=a_2+a_1b_1+a_0b_2+a_0b_1^2 .$$

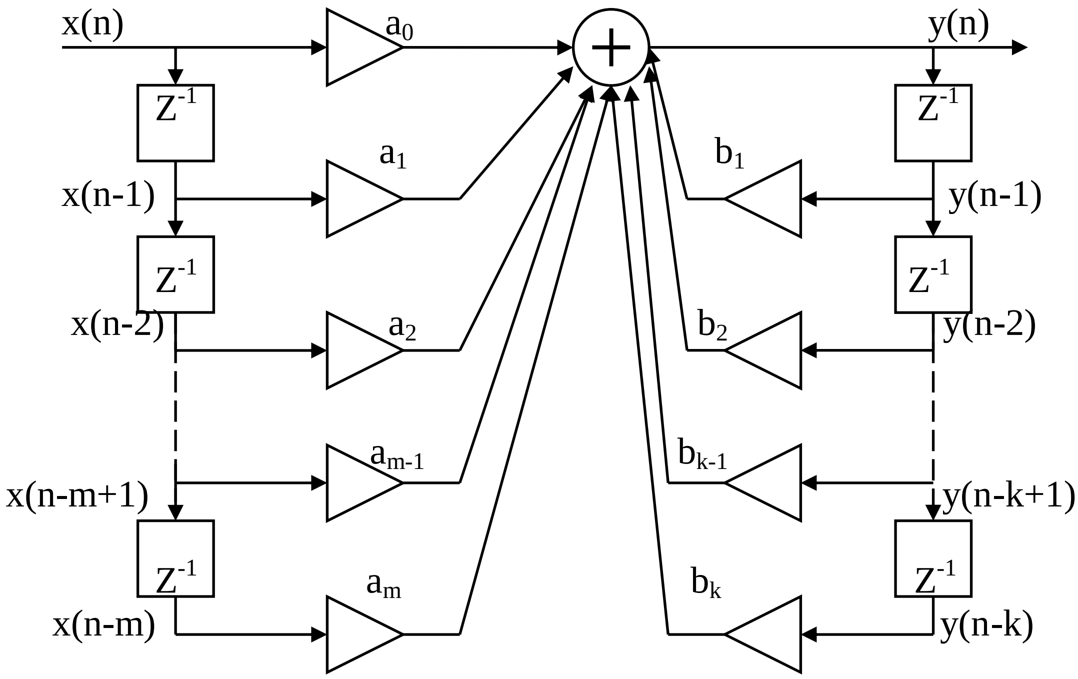

Рисунок 4.1 – Структурная схема рекурсивного цифрового фильтра – прямая реализация (m – порядок фильтра)

4 Вопросы для самопроверки

4.1 Что называется дискретной системой и дискретным сигналом?

4.2 Что называется квантованием с равномерным шагом и с неравномерным шагом? За счет чего появляется шум квантования?

4.3 Что показывает импульсная характеристика дискретной системы?

4.4 Как математически можно представить дискретные сигналы?

4.5 Что позволяет вычислить прямое преобразование Фурье, обратное преобразование Фурье?

4.6 Как получается Z-преобразование простейших функций?

4.7 Какими свойствами обладает Z-преобразование?

4.8 Как записать запаздывающий на время t_0 дискретный единичный импульс (дискретный аналог δ - функции)?

4.9 Какие существуют методы вычисления обратного Z-преобразования?

4.10 Что позволяет вычислить дискретная свёртка входных отсчётов и импульсной характеристики дискретной системы?

4.11 Что показывает передаточная функция линейной стационарной дискретной системы?

4.12 Как записать частотную характеристику дискретной системы?

4.13 Что называется цифровым фильтром?.

4.14 Из каких основных элементов состоят структурные схемы цифровых фильтров?

4.15 Как изображается структурная схема нерекурсивного цифрового фильтра m- го порядка?

4.16 Как записывается алгоритм цифровой фильтрации нерекурсивного цифрового фильтра m-го порядка?

4.17 Как изображается структурная схема рекурсивного цифрового фильтра m- го порядка?

4.18 Как записывается алгоритм цифровой фильтрации рекурсивного цифрового фильтра m-го порядка?

4.19 Какие существуют формы реализации нерекурсивных цифровых фильтров?

4.20 Какие существуют формы реализации рекурсивных цифровых фильтров?

4.21 По какой формуле определяется количество уровней квантования N, если разрядность АЦП (а, следовательно и разрядность кодовой комбинации двоичного кода) равна n?

4.22 Каким соотношением связано время переработки сигнала в вычислителе $t_{пер}$ с периодом дискретизации Т?

4.23 Что представляет собой спектр дискретизованного сигнала?

4.24 Если T_C – длительность импульса, T – шаг дискретизации, N – количество отсчетов сигнала, то по какой формуле определяется количество отсчетов?

4.25 Что позволяет определить обратное Z-преобразование $\hat{S}(Z)$ функции s(t), дискретизованной и заданной множеством отсчётов {x(k)}?

4.26 Если X(Z) – Z-преобразование входного сигнала, Y(Z) – Z-преобразование выходного сигнала, то чему равна передаточная (системная) функция дискретной цепи?

4.27 Что называется импульсной характеристикой линейной дискретной системы?

4.28 Какой импульсной характеристикой обладают нерекурсивные фильтры?

4.29 Чему равен выходной сигнал y(k), полученный в результате цифровой фильтрации входного сигнала {x(k)}={1,3,2}, если цифровой фильтр имеет импульсную характеристику {h(k)}={1,1,2}?

4.30 Как изменяется точность обработки сигнала фильтром при увеличении числа отсчетов в его ядре, определяющим импульсную характеристику фильтра?

Список литературы

1. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов.-М.: 2008. - 260 с.
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 2007. – 512 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - М.:2007.- 340 с.
4. Солонина А. И., Улахович Д. А. и другие. Основы цифровой обработки сигналов. – С-П.: «БХВ-Петербург», 2005. – 608 с.
5. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М.: «Вильямс», 2004, 992 с.
6. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2003. – 462 с.
7. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2002. – 510 с.
8. Теоретические основы радиотехники/ Под ред. В. Н. Ушакова. – М.: Высшая школа, 2002. – 306 с.
9. Куприянов М.С. и др. Техническое обеспечение цифровой обработки сигналов: Справочник. – СПб.: Форт, 2000.- 752 с .
10. Куприянов М.С., Матюшкин Б. Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – СПб., 1999. – 592 с.
11. Казиева Г. С., Богомолова Л.Г. Основы цифровой обработки сигналов в телекоммуникационных системах: Конспект лекций. – Алматы: АУЭС, 2011.

Сводный план 2014 г., поз. 166

Богомолова Лидия Георгиевна
Демидова Галина Дмитриевна

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания по расчётно - графическим работам для студентов - бакалавров очной формы обучения специальности
5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К.Молдабекова

Подписано в печать	Формат 60х84 1/16
Тираж экз.	Бумага типографская № 1
Объем 1,18 уч.-изд. л.	Заказ № Цена тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126