

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 18.04.2024 15:15:41

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине

«ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»

для направления подготовки **09.03.02 Информационные системы и технологии**
направленность (профиль) **Информационные системы и технологии обработки цифрового
контента**

**Пятигорск
2024**

ВВЕДЕНИЕ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями изучения дисциплины «Основы цифровой обработки сигналов» являются формирование набора общепрофессиональной компетенции бакалавра по направлению 09.03.02 «Информационные системы и технологии», четких представлений о фундаментальных положениях теории цифровой обработки сигналов; обучение основам аналитических и численных методов расчета и анализа цифровых преобразователей

измерительных сигналов; развитие навыков проектирования цифровых измерительных преобразователей, обработки экспериментальных результатов и их анализа.

Задачи изучения дисциплины «Основы цифровой обработки сигналов» - создание оптимальных условий обучения дисциплине с учетом уровня подготовки студентов в области математики, физики и электроники.

2.Наименование лабораторных занятий

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	Исследование характеристик простейших КИХ-фильтров	4	
2	Исследование свойств различных видов окон	4	
3	Исследование и применение дискретного преобразования Фурье	4	
4	Синтез и исследование КИХ-фильтров	4	
5	Синтез и исследование БИХ-фильтров	4	
6	Исследование эффектов конечной разрядности чисел	8	
7	Исследование алгоритмов изменения частоты дискретизации	8	
	Итого за 7 семестр	36	
	Итого	36	

Лабораторная работа 1

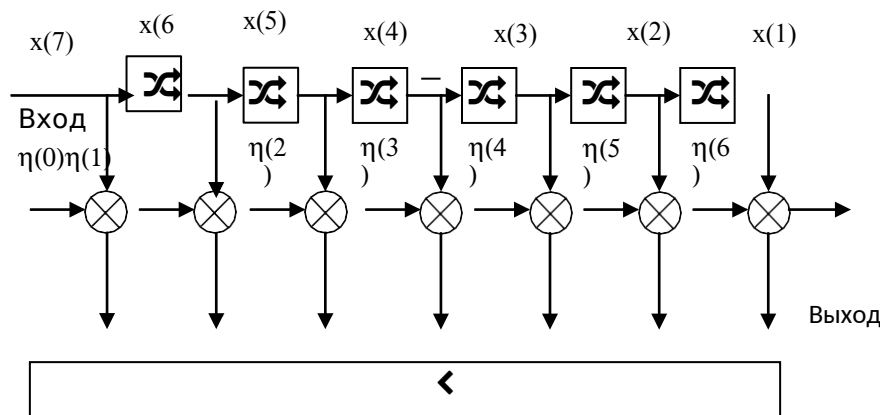
Исследование характеристик простейших КИХ-фильтров

Цель работы: получение основных понятий о работе цифровых КИХ-фильтров и приобретение практических навыков их исследования на ЭВМ.

Теоретическое обоснование

Работу простейшего фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра) можно пояснить на элементарном примере. Предположим, что имеется некоторый набор экспериментальных данных в виде таблицы входных отсчетов, например, ежедневные замеры температуры воздуха. Для того, чтобы уяснить общие тенденции в изменении данных, без учета отклонений, вызванных случайными факторами, рассчитывается среднее арифметическое за некоторый период, например за последние 7 дней. Каждый новый выходной отсчет получается путем сдвига усредняемой выборки на один день. При этом выходной отсчет соответствует по времени середине усредняемой выборки, то есть задержан относительно последнего входного отсчета на $(7-1)/2=3$ дня.

Устройство, реализующее указанную последовательность действий, можно реализовать в виде набора логических и арифметических модулей:



На рисунке обозначено:

-  – элемент задержки на время T ;

- X – умножитель; $\triangleleft$ – сумматор;
- $x(n)$, $n = 0, \dots, 6$ – входные отсчеты;
- $y(n)$, $n = 0, \dots, 6$ – выходные отсчеты;
- $h(n)$, $n = 0, \dots, N-1$ коэффициенты;

Приведенная схема является типичной схемой КИХ-фильтра порядка N . В нашем случае $N = 7$, а все $h(n)$ равны между собой и равны $1/7$. Если на вход такого фильтра подать один отсчет с амплитудой, равной 1, на выходе получим последовательность из 7 отсчетов с амплитудой $1/7$, – импульсную характеристику фильтра. Заметим, что импульсная характеристика имеет конечную длину, что и определяет название данного типа фильтра, а ее отсчеты совпадают с коэффициентами фильтра. В рассмотренном примере импульсная характеристика имеет прямоугольную форму.

С точки зрения теории цифровых фильтров это означает, что частотная характеристика такого фильтра определяется выражением:

$$H(f) = \frac{\sin(N \frac{\omega}{2})}{N \sin(\frac{\omega}{2})} e^{-j\omega \frac{N-1}{2}} \quad (1)$$

Согласно этой формуле рассмотренный фильтр (назовем его усредняющим) является фильтром нижних частот (ФНЧ) с линейной фазочастотной характеристикой (ФЧХ). На частотах $\omega_k = 2\pi k / (N-1)$ при $k=1, \dots, 6$, $H(\omega_k) = 0$. Это видно и из схемы фильтра. Действительно, при частоте гармонического сигнала ω_k , в линии задержки фильтра укладывается целое количество периодов, и усреднение приводит к нулевому выходу.

Если коэффициенты КИХ-фильтра подчиняются синусоидальному закону: $h(n) = \sin(\omega_0 n)$ то, как очевидно следует из схемы на рисунке, максимум выход сигнала будет наблюдаться при воздействии на вход фильтра гармонического сигнала с частотой ω_0 . АЧХ такого фильтра пред-

ставляет собой наложение двух АЧХ предыдущего фильтра, сдвинутых на ω_0 относительно нулевой частоты. Таким образом, рассматриваемый фильтр из ФНЧ преобразуется в полосовой. Однако ФЧХ такого фильтра необязательно будет линейной. Условием линейности ФЧХ является симметрия (или антисимметрия) импульсной характеристики фильтра.

Примечание: если ω_0 расположена близко к нулю, то максимум АЧХ может иметь незначительное смещение относительно ω_0 за счет наложения отрицательной и положительной частей АЧХ.

Групповое время задержки (ГВЗ) $d(\omega)$ рассчитывается как производная по частоте от ФЧХ: $d(\omega) = \frac{d\phi(\omega)}{d\omega}$. При линейной ФЧХ ГВЗ не зависит от частоты.

Задания к лабораторной работе

1. Построить частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ, ГВЗ) усредняющего КИХ-фильтра.
2. Задать входной сигнал в виде суммы двух синусоидальных колебаний и шума. Построить спектр сигнала до, и после фильтрации.
3. Получить экспериментальным путем зависимость ГВЗ от порядка фильтра.
4. Изменить импульсную характеристику фильтра так, чтобы он выделял верхнюю по частоте гармоническую составляющую входного сигнала. Построить частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ, ГВЗ), импульсную характеристику и спектр выходного сигнала.
5. Если ФЧХ получилась нелинейной и ГВЗ зависит от частоты, измените импульсную характеристику фильтра так, чтобы добиться линейности ФЧХ и постоянства ГВЗ.

Методика выполнения работы

1. Задать коэффициенты КИХ-фильтра М-ного порядка, равными $1/M$ – усредняющий фильтр ($M=\# + 10$), где $\#$ – номер варианта.

2. Найти комплексную частотную характеристику фильтра с помощью процедуры

$$[H, F] = \text{freqz}(B, A, N, 'whole', Fs),$$

где H – комплексная ЧХ из которой с помощью $20 \cdot \log_{10}(\text{abs}(H))$ и $\text{unwrap}(\text{ANGLE}(H))$ получают АЧХ в дБ и ФЧХ. N – количество точек ЧХ ($N=2^{12}$), B – вектор коэффициентов КИХ-фильтра, $A=1$ для КИХ-фильтров, Fs – частота дискретизации ($Fs=1.2288 \cdot 4 \text{ МГц}$), F – частотная ось абсцисс для вывода ЧХ на графике, процедура **unwrap** устраняет скачки на 2π в ФЧХ, параметр ‘whole’ означает вывод ЧХ в пределах от 0 до Fs .

3. Найти ГВЗ фильтра с помощью процедуры

$$[Gd, F] = \text{grpdelay}(B, A, N, 'whole', Fs),$$

где Gd – ГВЗ в отсчетах. (Для получения ГВЗ в секундах необходимо умножить Gd на Δt).

4. Построить графики АЧХ: $\text{abs}(H)$, ФЧХ и ГВЗ в одних осях с помощью процедуры **plot**.

5. Задать входной сигнал в виде:

$$s = s1 + s2 + 0.1 \cdot \text{Noise};$$

$$s1(n) = \sin(2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot n \cdot \Delta t)$$

$$s2(n) = \sin(2 \cdot \pi \cdot f2 \cdot n \cdot \Delta t);$$

$n = 0, \dots, N-1$, $N=2^{12}$, $\Delta t = 1/Fs$; $\text{Noise} = \text{randn}(1, N)$ – процедура генерации нормально распределенного белого шума с длиной выборки N , $f1 = (700 + \# \cdot 10) \text{ кГц}$, $f2 = 1200 \text{ кГц}$;

6. Найти спектр входного сигнала с помощью процедуры **fft**.

7. Профильтровать входной сигнал с помощью процедуры $Y = \text{filter}(B,A,X)$, где Y , X – выходной и входной процессы, B , A – коэффициенты фильтра.

8. Найти спектр выходного сигнала с помощью процедуры **fft**.

9. Построить графики амплитудных спектров входного и выходного сигнала (**abs(fft)**) один над другим с помощью процедуры **subplot**. В качестве частотной оси можно использовать последовательность F из п.2.2.

10. Изменяя порядок фильтра M экспериментально найти зависимость ГВЗ от его порядка M .

11. Умножить вектор коэффициентов B на $\sin(2\pi f_1 \cdot n \cdot \varphi)$, $n=0, \dots, M-1$, для своего M .

12. Повторить пп. 2.2 и 2.3.

13. Найти импульсную характеристику фильтра с помощью процедуры

$$[I,T] = \text{impz}(B,A),$$

где I – искомая импульсная характеристика, T – ось времени.

14. Построить график импульсной характеристики с помощью процедуры **stem**(T,I);

15. Изменяя фазу $\sin(2\pi f_1 \cdot n \cdot \varphi)$, добиться симметрии импульсной характеристики относительно центра. При четном M центр располагается между отсчетами.

16. Убедиться в линейности ФЧХ и постоянстве ГВЗ.

Вопросы для защиты работы

1. Как зависит ГВЗ от порядка фильтра?
2. При каких условиях ГВЗ не зависит от частоты?
3. Что надо сделать для преобразования КИХ-фильтра из ФНЧ в полосовой?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab1_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб1_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 2

Исследование и применение дискретного преобразования Фурье

Цель работы: приобретение практических навыков работы с дискретным преобразованием Фурье (ДПФ).

Теоретическое обоснование

Дискретное преобразование Фурье применяется для дискретизированных во времени периодических процессов. Допустим, имеется некоторая выборка из n временных отсчетов $x(n)$, $n = 0, \dots, N-1$. Причем, предполагается, что за пределами указанного интервала данная выборка периодически повторяется. Тогда ДПФ вычисляется по формуле:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} \quad (1)$$

и представляет собой последовательность комплексных дискретных спектральных отсчетов равномерно распределенных на отрезке частотной оси от 0 до частоты дискретизации F_s . За пределами указанного интервала эта последовательность также периодически повторяется.

Обратное ДПФ (ОДПФ) вычисляется по формуле:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi nk/N} \quad (2)$$

То, существует взаимно однозначное соответствие между периодическим дискретным процессом и его периодическим дискретным спектром. Как во временной, так и в спектр области длина периода составляет N отсчетов.

Из формул (1) и (2) видно, что ДПФ и ОДПФ требует N^2 арифметических операций. Однако, если $N=2^m$, где m – любое натуральное число возможно применение быстрого преобразования Фурье (БПФ), и обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ), для выполнения которых требуется приблизительно $\frac{N}{2} \log_2 N$ операций. Если $N=2^{10}$, то БПФ работает при-

близительно в 200 раз быстрее по сравнению с ДПФ. И этот выигрыш возрастает с ростом N . При этом результаты ДПФ и БПФ полностью совпадают.

Важным практическим применением преобразования Фурье является спектральный анализ аддитивной смеси сигнала и помех. Если ширина спектра и амплитуда полезного сигнала и помехи заметно различаются, это может быть использовано для подавления помех. Предположим, что имеется узкополосная, большая по амплитуде помеха на фоне широкополосного сигнала. В этом случае подавление помехи может осуществляться методом режекции спектральных составляющих, превышающих некоторый порог.

На границах временной выборки функция $x(n)$, как правило, испытывает разрыв. Это приводит к расширению основания спектра и затрудняет подавление помех. Эффект расширения спектра можно ослабить путем плавного уменьшения отсчетов выборки при движении от ее центра к краям, что осуществляется за счет умножения отсчетов временной выборки на отсчеты функции окна. Более подробно свойства различных функций окон будут исследованы в следующей лабораторной работе.

В MATLAB вычисление спектра выполняется с помощью процедуры FFT (Fast Fourier Transform): $X=FFT(x)$. $FFT(x)$ вычисляет ДПФ от последовательности $x(n)$.

Если длина $x(n)$ равна 2^m , где m – целое, то для вычисления спектра процедура FFT использует более быстрый алгоритм – быстрое преобразование Фурье (БПФ).

Если длина $X(k)$ равна 2^m , где m – целое, то для вычисления спектра процедура IFFT использует обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ).

Функция окна Хэмминга вычисляются в виде вектора-столбца с помощью процедуры $W = \text{hamming}(n)$, где n – длина последовательности. При умножении на последовательность $x(n)$ необходимо использовать транспонированный вектор окна W' .

Задания к лабораторной работе

1. Задайте входной процесс в виде суммы полезного ЧМ сигнала и АМ помехи.
2. Найдите спектр входного процесса и спектр помехи.
3. Исключите помеху методом непосредственной обработки спектра.
4. Перейдите обратно во временную область.
5. Найдите разность полезного и выходного сигнала.
6. Сравните временные диаграммы исходного процесса, полученного выходного сигнала, исходного полезного сигнала (без помехи) и разности полезного и выходного сигнала.
- 7 Рассматривая вышеприведенную разность как аддитивную помеху, вычислить отношение сигнал/помеха в децибелах до и после подавления помехи.
8. Умножьте входной процесс на окно Хэмминга и повторите п.п. 1.2 – 1.7
9. Сравните результаты подавления помехи с применением и без применения окна.

Методика выполнения работы

1. Задайте входной процесс $s_{\text{inp}}(n)$ в виде суммы полезного ЧМ сигнала:

$$\text{signal} = \sin(w_0 * ts * n + (w_d/w_m) * \sin(w_m * ts * n) + 1),$$

и помехи:

$$\text{interference} = A * (1 + 0.5 * \sin(2 * \pi * 0.01 * F_s * ts * n)) * \sin((w_0 + 0.7 * w_d) * ts * n),$$

где $w_0 = 2 * \pi * (0.1 + \# * 0.005) * F_s$, $w_d = (0.07 + \# * 0.003) * F_s$, $A = 2.5 + \# * 0.05$, $\#$ - номер варианта, $w_m = 2 * \pi * 0.001 * F_s$, $F_s = 4 \text{ МГц}$ – частота дискретизации, $ts = 1/F_s$, $n = 0, \dots, 10000$,

2. Найдите спектр входного процесса и спектр помехи с помощью процедуры **fft** и построить график его модуля: **abs(fft(...))**

3. Проанализируйте полученный спектр и определить наименьший пороговый уровень, выше которого располагаются только спектральные составляющие помехи. С помощью процедуры **find** обнулить все спектральные составляющие, лежащие выше порога. (Графики спектров входного процесса, помехи и процесса с подавленной помехой построить в одном окне с использованием функции **subplot(3,1,*)**).

4. Перейдите от спектра к временному процессу с помощью процедуры **ifft**.

5. Найдите разность исходного полезного сигнала и полученного процесса с подавленной помехой (при идеальном подавлении помехи эта разность оказалась бы нулевой). Построить в одном окне графики исходного процесса, полезного сигнала, процесса с подавленной помехой и найденной разности.

6. Найдите отношение сигнал/помеха до и после подавления помехи в децибелах: $(S/I) = 10 \log_{10}(S/I)$, где S – энергия полезного сигнала, рассчитанная как сумма квадратов временных отсчетов сигнала по формуле **sum(signal.^2)**, I – энергия помехи. (После подавления помехи в качестве I

рассчитывается энергия разности сигнала и процесса с подавленной помехой).

7. Умножьте сигнал и помеху на окно Хэмминга после чего повторите п.п. 2.1 – 2.5. При выполнении п.2.4 и п.2.5 использовать полезный сигнал и помеху, умноженные на окно.

8. Сравните спектры, временные диаграммы и значения (S/I) до и после применения окна.

Вопросы для защиты работы

1. Почему разность сигнала и процесса с подавленной помехой не равна нулю?
2. Каким образом можно автоматизировать вычисление порога для подавления помехи, если заранее известно, что спектр сигнала значительно шире спектра помехи, а амплитуда помехи больше амплитуды сигнала?
3. По какой причине пороговый уровень следует минимизировать?
4. За счет чего улучшается подавление помехи при использовании окна?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab2_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб2_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 3

Исследование свойств различных видов окон

Цель работы: приобретение практических навыков применения различных видов окон при исследовании спектров сигналов.

Теоретическое обоснование

Известно, что для нахождения спектра сигнала используется преобразование Фурье (для дискретизированных сигналов это Дискретное Преобразование Фурье или ДПФ). Как правило, преобразование Фурье берется от

конечных временных выборок сигнала, что приводит к искажению спектра. Причина в том, что взятие конечной временной выборки от длительного сигнала эквивалентно умножению его на прямоугольную функцию – функцию окна, равную единице в пределах выборки и равную нулю за ее пределами.

При умножении двух функций во временной области из спектр находится как свертка спектров исходных функций. Поэтому на спектр длительного процесса накладывается функция $\sin(x)/x$ – спектр прямоугольного окна, боковые выбросы которой затухают достаточно медленно, со скоростью 6 дБ на октаву. Образно говоря, резкое ограничение временной выборки приводит к звону в спектре, что затрудняет различение близко лежащих спектральных компонент.

Исключение составляет тот случай, когда в выборке, взятой из периодического процесса, укладывается целое количество периодов от периодического процесса.

Для того, чтобы ослабить искажения спектра, при формировании временных выборок применяются другие оконные функции, плавно затухающие по краям. В спектре таких функций боковые выбросы малы по сравнению с главным (центральным лепестком) и быстро затухают при удалении от центра.

Таблица 3.1 Виды окон и соответствующие им стандартные процедуры MATLAB

<i>Название окна</i>	<i>Процедура MATLAB</i>
Прямоугольное	$w = \text{boxcar}(n)$
Треугольное	$w = \text{triang}(n)$
Cos^2 (фон Ханна)	$w = \text{hanning}(n)$
Хэмминга	$w = \text{hamming}(n)$
Блэкмэна	$w = \text{blackman}(n)$
Кайзера	$w = \text{kaiser}(n, \text{beta})$

1. Параметр β ($\beta > 1$) в окне Кайзера определяет высоту боковых выбросов. С ростом β боковые выбросы уменьшаются, а главный лепесток расширяется.

2. Окна задаются в виде столбца из n элементов, поэтому перед умножением на сигнал w необходимо транспонировать.

Таблица 3.2. Сравнительные характеристики окон

Окно:	Прямой угол	Треугольный	Фон Ханна	Хэмминга	Блэкмана	Кайзера $\Rightarrow = 3.0$
Ширина главного лепестка по уровню 6дБ	0.0242	0.0356	0.04	0.036	0.047	0.0478
Полная ширина главного лепестка	0.04	0.08	0.08	0.1	0.14	0.14
Высота наибольшего бокового выброса (дБ)	-13	-27	-32	-43	-58	-69
Скорость затухания боковых лепестков (дБ/окт)	-6	-12	-18	-6	-18	-6

Примечание: ширина главного лепестка приводится в относительных частотах (при $F_s = 1$).

Для окна фон Ханна существует экономичный способ нахождения спектра методом свертки спектра окна со спектром не

взвешенной (с прямоугольным окном) последовательности по формуле:

$$Y_w(k) = \frac{1}{2} [Y(k) + Y(k-1)], \quad (1)$$

где $Y_w(k)$ – искомый спектр с окном фон Ханна, $Y(k)$ – спектр невзвешенной последовательности.

Таким образом, вместо n операций умножения исходной выборки на окно выполняется сложение смещенных на один отсчет спектров и два деления на 2, которые в цифровой обработке выполняются простым сдвигом на один разряд влево.

Задания к лабораторной работе

1. Найдите спектры перечисленных во введении видов окон
2. Постройте графики спектров всех окон в дБ. Сравните параметры окон с табличными (Табл.2).
3. Постройте в одних осях спектры окна Кайзера для нескольких β . Найдите β , при котором высота первого бокового выброса не превышает -66дБ относительно главного лепестка.
4. Задайте входной процесс в виде суммы АМ сигнала, тонального сигнала и шума.
5. Найдите спектры для входного процесса, применяя все перечисленные окна. Постройте графики спектров в одном окне и сравните спектры между собой. Обратите внимание на соотношение уровней сигнала и наличие боковых составляющих АМ сигнала.
6. Найдите спектр процесса с окном фон Ханна по формуле (1), построить его в одних осях со спектром, найденным обычным способом и сравнить.
7. Повторите п.п.1.4, 1.5 для $\# = 0$.

Методика выполнения работы

1. Задайте временные последовательности окон w , приведенных в таблице 1. Длина окна $n=50$. Транспонировать полученные последовательности и дополнить их последовательностью из 500 нулей: $[w' \ z(1,500)]$. При дополнении временной последовательности нулями форма ее спектра не меняется. Увеличивается только количество точек в спектре, что позволяет более подробно отобразить форму спектра.

2. Найдите спектры всех графиков с помощью **fft**. Постройте графики всех спектров в дБ в одном окне с использованием оператора **subplot(3,2,k)**. Озаглавьте каждый график, используя оператор **title**. Для удобства сравнения все графики построите в одинаковом масштабе по оси ординат, используя оператор **axis**. Масштаб по оси абсцисс задать в относительных частотах (от 0 до 1). Для того, чтобы главный лепесток спектра окна располагался в центре графика, примените оператор **fftshift(fft(...))**. Сравните параметры окон с табличными (Табл.2).

3. Постройте в одних осях спектры окна Кайзера для нескольких **beta**. Найдите **beta**, при котором высота первого бокового выброса не превышает -66дБ относительно главного лепестка. При анализе спектров использовать оператор **zoom**.

4. Задайте входной процесс в виде суммы АМ сигнала, тонального сигнала и нормально распределенного белого шума: частота дискретизации: $F_s = 2\text{МГц}$, частота АМ сигнала $f_1 = (100+\#)\text{кГц}$, частота модуляции АМ сигнала $f_m = 0.01F_s$, глубина модуляции АМ сигнала 30%, средняя амплитуда АМ сигнала $A_1=1$, частота тонального сигнала $f_2=(160+\#)$, амплитуда тонального сигнала $A_2=0.01$, амплитуда шума (СКО) $A_n=0.0005$, количество отсчетов процесса $N=300$, $\#$ - номер варианта.

5. Перейдите к относительным частотам f/F_s . Найдите спектры для входного процесса, применяя все перечисленные окна. Постройте графики спектров в одном окне, используя операторы **subplot(3,2,k)**. Озаглавьте каждый график, используя оператор **title**. Сравните спектры между собой. Для удобства сравнения все графики постройте в одинаковом масштабе по оси ординат, используя оператор **axis**. Ось абсцисс взять в относительных частотах.

6. Найдите спектр процесса с окном фон Ханна по формуле (1), постройте его в одних осях со спектром, найденным обычным способом и

сравните. В качестве $Y(k)$ выберите спектр с прямоугольным окном. При сложении со смещенными спектрами недостающие крайние отсчеты считать нулевыми.

7. Повторить п.п.1.4, 1.5 для $\# = 0$. Сопоставить спектры с прямоугольным окном и графики временных процессов для $\# = 0$ и вашего $\#$.

Вопросы для защиты работы

1. С каким из окон наблюдается наилучшее разделение сигналов?
2. С каким из окон наблюдается наилучшее разделение несущей и боковых составляющих АМ сигнала? В чем причина?
3. Выберите окно с которым достигается компромисс между разделением двух сигналов и выявлением структуры АМ сигнала.
4. В чем причина медленного спада боковых выбросов окна Хэмминга?
5. В каком из окон быстрый спад боковых выбросов сочетается с узким центральным лепестком? В чем недостаток этого окна?
6. В чем причина резкого улучшения разрешающей способности в спектре с прямоугольным окном при $\# = 0$?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab3_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб3_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 4

Синтез и исследование КИХ-фильтров

Цель работы: приобретение практических навыков разработки КИХ-фильтров.

Теоретическое обоснование

Наиболее простым и наглядным методом разработки КИХ-фильтров является метод окна. Известно, что отсчеты импульсной характеристики цифрового фильтра $h(n)$ связаны с его частотной характеристикой $H(e^{j\omega})$ соотношением дискретного ряда Фурье:

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega, \quad (1)$$

Для фильтра нижних частот с идеально прямоугольной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) и частотой среза ω_0 получаем:

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_0}^{\omega_0} e^{j\omega n} d\omega = \frac{\omega_0}{\pi} \text{Sinc}\left(\frac{\omega_0}{\pi} n\right), \quad (2)$$

где n изменяется от $-\frac{N}{2}$ до $+\frac{N}{2}$.

Очевидно, что реализация КИХ-фильтра с такой характеристикой невозможна. Для построения реального КИХ-фильтра необходимо ограничить $h(n)$ конечным числом отсчетов N , где N – порядок фильтра. При этом линейность фазочастотной характеристики (ФЧХ) обеспечивается за счет симметрии отсчетов импульсной характеристики $h(n)$ относительно центра, а максимум огибающей $h(n)$ определяет групповую задержку фильтра.

Импульсная характеристика, полученная таким образом, имеет резкие спады по краям, что приводит к появлению выбросов в АЧХ. Для сглаживания этих выбросов необходимо перемножить вектор его коэффициентов $h(n)$ с одним из окон.

Более точное отображение желаемой АЧХ достигается оптимизационными методами: методом Чебышевской аппроксимации, использующим алгоритм Ремеза и методом наименьших квадратов.

Алгоритм Ремеза основан на теории наилучшей равномерной аппрок-

симации Чебышева и позволяет проектировать оптимальные фильтры.

Фильтры оптимальны в том смысле, что минимизируются максимальные отклонения действительной АЧХ от желаемой. При этом все максимальные отклонения оказываются равными между собой. Соотношение ошибок аппроксимации в полосе пропускания и полосе подавления задается с помощью весовой функции. Например, если в полосе пропускания значение весовой функции равно 1, а в полосе подавления равно 10, то точность аппроксимации в полосе подавления будет в 10 раз выше.

Метод наименьших квадратов, в отличие от алгоритма Ремеза, минимизирует суммарное среднеквадратичное отклонение желаемой АЧХ от действительной и в этом смысле является оптимальным. Это означает, что отдельные отклонения АЧХ, полученной по методу наименьших квадратов могут оказаться больше, чем в АЧХ, полученной по алгоритму Ремеза. Но общее среднеквадратичное отклонение будет наименьшим.

Среди перечисленных методов метод Ремеза обеспечивает наибольшую крутизну спада АЧХ при прочих равных условиях. Групповая задержка D всех видов КИХ-фильтров с линейной ФЧХ зависит только от порядка N и определяется по формуле:

$$D = (N-1)/2. \quad (3)$$

При выполнении рабочего задания потребуются следующие стандартные процедуры MATLAB.

Процедура `fir2` рассчитывает коэффициенты фильтра методом окна.

Например, последовательность операторов:

`N = 30;`

`F = [0 0.2 0.3 0.5];`

`A = [1 1 0 0];`

`H = fir2(N-1, f*2, a, hanning(N));`

позволяет рассчитать коэффициенты фильтра h 30 порядка, желаемая АЧХ которого равна 1 при частотах от 0 до $0.2 \cdot F_s$ (полоса пропускания), и 0 при

частотах от $0.3 \cdot F_s$ до $0.5 \cdot F_s$ (полоса подавления). В полосе от $0.2 \cdot F_s$ до $0.3 \cdot F_s$ на АЧХ не накладывается ограничений. F_s – частота дискретизации в Гц.

В процедуре `fir2`, как и в других подобных процедурах MATLAB все частоты пронумерованы относительно частоты Найквиста: $F_n = F_s/2$. Поэтому в качестве аргумента частот в `fir2` подставляется не f , а $2 \cdot f$. Кроме того, вместо порядка фильтра N , равного длине импульсной характеристики, подставляется номер ее максимального отсчета при нумерации от 0 до $N-1$.

Процедура `firls` рассчитывает коэффициенты фильтра методом наименьших квадратов.

Например, последовательность операторов:

$N=30$;

$F = [0 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.5]$;

$A = [1 \ 1 \ 0 \ 0]$;

$Weight = [5, 1]$;

$H = \text{fir2}(N-1, f*2, a, weight)$;

позволяет рассчитать коэффициенты фильтра h 30 порядка, желаемая АЧХ которого равна 1 при частотах от 0 до $0.2 \cdot F_s$, и 0 при частотах от $0.3 \cdot F_s$ до $0.5 \cdot F_s$. Причем точность аппроксимации в полосе пропускания в 5 раз выше, чем в полосе подавления за счет применения весовой функции `weight`. При отсутствии весовой функции среди аргументов процедуры **firls** точность аппроксимации одинакова во всех полосах.

Процедура `remez` рассчитывает коэффициенты фильтра методом чебышевской аппроксимации по алгоритму Ремеза.

Например, последовательность операторов:

$N = 30$;

$F = [0 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.5]$;

$A = [1 \ 1 \ 0 \ 0]$;

$\text{Weight} = [5, 1];$

$H = \text{remez}(N-1, f*2, a, \text{weight});$

позволяет рассчитать коэффициенты фильтра h 30 порядка, требуемая АЧХ которого равна 1 при частотах от 0 до $0.2*F_s$, и 0 при частотах от $0.3*F_s$ до $0.5*F_s$.

Во всех перечисленных процедурах может быть задана и более сложная АЧХ за счет соответствующих векторов f и a .

Процедура $[h, n] = \text{impz}(b, a);$ позволяет находить отсчеты импульсной характеристики h и их номера n для цифровых фильтров по их коэффициентам b и a . Для КИХ-фильтров $a = 1$, а $h = b$.

Задания к лабораторной работе

1. Рассчитайте коэффициенты КИХ-фильтра нижних частот заданного порядка, с помощью формулами (1) и (2) с использованием окна и без него. Постройте частотные и импульсные характеристики для обоих случаев.

2. Синтезируйте три фильтра нижних частот с одинаковой частотой среза, используя методом окна, Ремеза и наименьших квадратов и построить их АЧХ и импульсные характеристики.

3. Увеличьте порядок фильтров синтезированных по методу окна и методу наименьших квадратов таким образом, чтобы крутизна спада АЧХ сравнялась с крутизной фильтра Ремеза. Постройте импульсные характеристики трех фильтров. По импульсным характеристикам определите задержки для трех фильтров и сравните их с расчетными, полученными из формулы (3).

4. Для фильтров, синтезированных по методу Ремеза и наименьших квадратов, ввести некоторую весовую функцию. Проанализируйте ее влияние на АЧХ.

Методика выполнения работы

1. Рассчитайте коэффициенты $h(n)$ фильтра порядка $N = 60 - \#$, где $\#$ – номер варианта, и частотой среза $F = 0.12 + \#/100$, пользуясь формулой (2). Постройте график импульсной характеристики фильтра. Она должна быть симметричной. Для достижения симметрии при четном N использовать сдвиг n на $1/2$. Постройте АЧХ фильтра. Для сглаживания выбросов АЧХ применить одно из окон. Постройте импульсную характеристику и АЧХ на тех же графиках, что и для предыдущего случая. Оцените, как влияет форма импульсной характеристики на форму АЧХ.

2. Синтезируйте три ФНЧ: методом окна (по процедуре **fir2**), методом наименьших квадратов (по процедуре **firls**) и методом чебышевской аппроксимации (по процедуре **remez**). Полоса пропускания всех ФНЧ - от 0 до F , полоса подавления - от $F+0.025$ до 0.5. Постройте АЧХ трех фильтров на одном графике и сравните их между собой.

3. Увеличьте порядок фильтров синтезированных по методу окна и методу наименьших квадратов таким образом, чтобы крутизна спада АЧХ сравнялась с крутизной фильтра Ремеза. Постройте АЧХ и импульсные характеристики трех фильтров. По импульсным характеристикам определите задержки для трех фильтров и сравнить их с расчетными, полученными из формулы (3).

4. Для фильтров, синтезированных по методу Ремеза и наименьших квадратов, введите некоторую весовую функцию. Проанализируйте ее влияние на АЧХ. Постройте графики АЧХ.

Вопросы для защиты работы

1. Чем отличаются КИХ-фильтры I и II типов. В чем отличие их АЧХ?
2. Какова связь между величиной выбросов АЧХ и формой импульсной характеристики фильтра?

3. Убедитесь в том, что фильтр Ремеза действительно обеспечивает наименьшие абсолютные отклонения АЧХ от заданной по сравнению с фильтром наименьших квадратов при одинаковом порядке. Оцените, насколько максимальное отклонение АЧХ фильтра по методу наименьших квадратов больше, чем у фильтра Ремеза в вашем случае.

4. Как влияет весовая функция на форму АЧХ?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab4_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб4_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 5

Синтез и исследование БИХ-фильтров

Цель работы: приобретение практических навыков разработки БИХ-фильтров на базе их аналоговых прототипов.

Теоретическое обоснование

Основное преимущество фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтров) состоит в том, что при тех же требованиях к амплитудно-частотной характеристике их порядок оказывается значительно меньше, чем у КИХ-фильтров. Однако фазо-частотная характеристика БИХ-фильтров - нелинейна.

Распространенный метод расчета БИХ-фильтров основан на преобразовании аналоговых фильтров в цифровые. Это связано с тем, что методы расчета аналоговых фильтров хорошо известны, просты и эффективно программируются.

Последовательность действий расчета БИХ-фильтров по их аналоговым прототипам.

1. Расчет аналогового ФНЧ заданного порядка типа Баттерворта, Чебышева I или II типа, или эллиптического с единичной частотой среза.

2. Пересчет фильтра на реальную частоту и преобразование ФНЧ в ФВЧ, полосовой или режекторный фильтр, если это требуется.

3. Дискретизация аналогового прототипа методом инвариантного преобразования импульсных характеристик или методом билинейного преобразования.

Метод инвариантного преобразования импульсных характеристик основан на непосредственной дискретизации импульсных характеристик аналоговых фильтров. Если аналоговая цепь описывается импульсной характеристикой вида

$$h_a(t) \propto e^{at},$$

и передаточной функцией

$$H(p) \propto \frac{1}{p - a},$$

то после дискретизации имеем:

$$h(n) \propto e^{aTn},$$

где T - период дискретизации, и

$$H(z) \propto \frac{1}{1 - e^{aT} z^{-1}}.$$

В общем случае передаточную функцию аналогового устройства (фильтра), методом разложения на простые дроби, можно представить в виде

$$H(p) \propto \sum_{i=1}^M \frac{A_i}{p - p_i}$$

Тогда, по аналогии с предыдущими формулами, переходим к передаточной функции цифрового БИХ-фильтра:

$$H(z) \propto \sum_{i=1}^M \frac{A_i}{1 - p_i z^{-1}}.$$

M

$$_{i^{\alpha_1}} \tilde{1} e^{\tilde{p} \tilde{\mathfrak{A}}_{\tilde{z}^1}}$$

В результате такого перехода участок мнимой оси на p -плоскости, ограниченный частотами $\pm f_s/2$ ($f_s=1/T_s$ - частота дискретизации), отображается на единичную окружность z -плоскости. Это означает, что частотные характеристики аналогового прототипа после его дискретизации периодически повторяются с перекрытием на частотах, кратных $f_s/2$. Если АЧХ аналогового прототипа имеет достаточно большое значение за пределами $f_s/2$, то применение данного метода дискретизации приводит к значительным искажениям характеристик БИХ-фильтра по сравнению с прототипом.

От указанного недостатка свободен метод билинейного преобразования, который основан на математическом отображении p -плоскости на z -плоскость по следующим правилам:

$$H(z) \approx H(p) \Big|_{p=2f_s \frac{z-1}{z+1}}$$

Такое преобразование отображает ось $j\omega$ (от $\omega = 0$ до $\omega = -\infty$) на p -плоскости в единичную окружность $e^{j\Omega}$ (от $\Omega = -\pi$ до $\Omega = \pi$) на z -плоскости. (За пределами интервала от $-\pi$ до π частотные характеристики цифрового фильтра периодически повторяются.) При этом

$$\Omega \approx 2 \arctg \left(\frac{\omega}{2f_s} \right).$$

Таким образом, частотная ось $j\omega$ аналогового фильтра отображается на частотную ось Ω цифрового фильтра по нелинейному закону – с ростом частоты ось Ω сжимается. Для ФНЧ, например, это приводит к более крутому спаду АЧХ цифрового фильтра по сравнению с аналоговым прототипом.

Иногда, при использовании метода билинейных преобразований, в АЧХ аналогового прототипа вводятся предискажения для получения заданных частот среза в цифровом фильтре:

$$\omega_a = 2 * f_s * \tan(\pi * f_d / f_s), (1)$$

где ω_a – частота (частоты) на АЧХ аналогового прототипа с учетом предискажений, F_d – требуемая частота (частоты) цифрового фильтра, F_s – частота дискретизации.

При использовании языка MATLAB расчет аналоговых прототипов на этапе (1) выполняется с помощью стандартных процедур **buttap**, **cheb1ap**, **cheb2ap**, **ellipap**. Затем, на этапе (2), с помощью процедур **lp2lp**, **lp2hp**, **lp2bp**, **lp2bs**, осуществляется пересчет частоты и преобразование типа фильтра. И на этапе (3), с помощью процедур **impinvar** и **bilinear** аналоговые фильтры преобразуются в цифровые.

Процедуры **butter**, **cheby1**, **cheby2**, **ellip** выполняют все три этапа в комплексе, объединяя вышеприведенные процедуры. Причем преобразование в цифровые фильтры выполняется методом билинейного преобразования (**bilinear**) с предискажением АЧХ аналогового прототипа. В большинстве практических случаев пользуются именно этими процедурами. Если в параметрах указанных процедур присутствует указатель 's', то этап (3) не выполняется, и по ним рассчитываются аналоговые фильтры.

Процедура butter рассчитывает коэффициенты передаточной функции $H(z)$ цифрового БИХ-фильтра Баттерворта.

Например, последовательность операторов:

```
N = 6;    % Порядок фильтра
```

```
F = 0.25; %Частота среза.
```

```
[b, a] = butter(N-1, F*2);
```

позволяет рассчитать коэффициенты ФНЧ порядка $N=6$ с относительной частотой среза на уровне -3дБ (0,707), равной F .

В процедуре **butter**, как и в других подобных процедурах MATLAB все частоты пронормированы относительно частоты Найквиста: $F_n = F_s/2$. Поэтому в качестве аргумента частот в **fir2** подставляется не f , а $2*f$. Кроме то-

го, вместо порядка фильтра N подставляется максимальный номер коэффициента при нумерации от 0 до $N-1$.

Процедура `cheby1` рассчитывает коэффициенты передаточной функции $H(z)$ цифрового БИХ-фильтра Чебышева типа 1.

Например, последовательность операторов:

`N = 6; % Порядок фильтра`

`Rp = 3; %Неравномерность в полосе пропускания`

`F = 0.25; %Частота среза.`

`[b, a] = cheby1(N-1, Rp, F*2);`

позволяет рассчитать коэффициенты ФНЧ порядка N с относительной частотой среза F на уровне -3 дБ (0,707).

Процедура `cheby2` рассчитывает коэффициенты передаточной функции $H(z)$ цифрового БИХ-фильтра Чебышева типа 2.

Например, последовательность операторов:

`N = 6; % Порядок фильтра`

`Rs = 20; %Неравномерность в полосе подавления`

`F = 0.25; %Частота среза.`

`[b,a] = cheby2(N-1, Rp, F*2);`

позволяет рассчитать коэффициенты ФНЧ порядка N с относительной частотой среза F на уровне -20 дБ (0,1).

Процедура `ellip` рассчитывает коэффициенты передаточной функции $H(z)$ цифрового эллиптического БИХ-фильтра.

Например, последовательность операторов:

`N = 6;`

`Rp = 3; %Неравномерность в полосе пропускания`

`Rs = 20; %Неравномерность в полосе подавления`

`F = 0.25;`

`[b, a] = ellip(N-1, Rp, Rs, F*2);`

позволяет рассчитать коэффициенты ФНЧ порядка N с относительной частотой среза F на уровне -3дБ (0,707).

Для расчета полосовых фильтров параметр F должен быть вектором из 2-х элементов. При расчете ФВЧ или режекторных фильтров вводятся параметры «high» и «stop».

Все перечисленные процедуры могут быть использованы для расчета передаточных функций $H(p)$ соответствующих аналоговых фильтров. Для этого вводится параметр 's'. Например, процедура

$$[b, a] = \text{ellip}(N-1, R_p, R_s, 2*\pi*f, 's')$$

рассчитывает параметры аналогового эллиптического ФНЧ.

Причем частота среза в аналоговом фильтре должна быть задана в виде круговой частоты $\omega = 2*\pi*f$.

Процедура **bilinear** пересчитывает коэффициенты аналогового фильтра в коэффициенты цифрового фильтра:

$$[bz, az] = \text{bilinear}(b, a, F_s).$$

Аналогично действует и процедура **impinvar**:

$$[bz, az] = \text{impinvar}(b, a, F_s).$$

Процедура расчета частотных характеристик аналоговых фильтров $[H, \omega] = \text{freqs}(b, a, 512)$ действует аналогично процедуре **freqz**. При этом вектор частот ω состоит из отсчетов круговой частоты.

Процедура **zplane(b, a)** отображает на графике нули и полюса.

Задания к лабораторной работе

1. Рассчитайте коэффициенты четырех видов цифровых БИХ-фильтров нижних частот: Баттерворта, Чебышева типа 1 и 2, и эллиптического. Построить АЧХ, ФЧХ, диаграммы нулей и полюсов.

2. Рассчитайте цифровой полосовой фильтр Баттерворта по его аналоговому прототипу методом инвариантного преобразования импульсной характеристики и методом билинейного преобразования. Постройте график

АЧХ аналогового прототипа и цифровых фильтров, рассчитанных двумя способами.

3. Введите предсказания в частоты аналогового прототипа, после чего вновь перейти к цифровому фильтру по методу билинейного преобразования.

Методика и порядок выполнения

1. Рассчитайте коэффициенты четырех видов цифровых БИХ-фильтров нижних частот: Баттерворта, Чебышева типа 1 и 2, и эллиптического, порядка $N = 5$ и частотой среза $F = 0.12 + \#/100$, где $\#$ – номер варианта. Используйте процедуры MATLAB: **butter**, **cheby1**, **cheby2**, **ellip**. Постройте в одних осях АЧХ и ФЧХ для четырех видов фильтров. Сравните полученные характеристики. Постройте диаграммы нулей и полюсов для четырех видов фильтров. Сопоставьте расположение нулей и полюсов с видом АЧХ. Обратите внимание на те места, где нули соседствуют с полюсами.

2. Рассчитайте аналоговый полосовой фильтр Баттерворта с частотами среза $F1 = 0.12 + \#/100 - 0.05$ и $F2 = 0.12 + \#/100 + 0.05$, используя процедурой **butter** с параметром 's'. Вместо линейных частот F при этом необходимо подставлять круговые частоты $\omega = 2\pi F$. Постройте АЧХ аналогового прототипа с помощью процедуры **freqs**, но в зависимости от линейной частоты F . Используя процедуры **bilinear** и **impinvar**, преобразовать аналоговый фильтр в цифровые. Постройте АЧХ этих фильтров на одном графике и сравните между собой и с АЧХ аналогового фильтра.

3. Используя формулы (1), ввести предсказания частот аналогового фильтра после чего повторить п.2.2.

Вопросы для защиты работы

1. Сравните частотные характеристики фильтра Баттерворта и эллиптического фильтра. В чем их сильные и слабые стороны?

2. Как по виду диаграммы нулей полюсов эллиптического фильтра определить его частоту среза?

3. Каким образом по результатам п.2.1 можно построить схемы цифровых фильтров?

4. Для п. 2.2 опишите характер и причины искажений АЧХ цифровых фильтров в том и другом случае по сравнению с аналоговым прототипом?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab5_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб5_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 6

Исследование эффектов конечной разрядности чисел

Цель работы: практическое ознакомление с эффектами квантования в цифровой обработке.

Теоретическое обоснование

Принципиальным свойством цифровых систем является наличие ошибок квантования как отсчетов обрабатываемого сигнала, так и коэффициентов системы. Квантование, то есть представление числа с помощью конечного количества разрядов, вносит в представление квантуемого числа A ошибку

$$e \approx F(A) - A$$

где A - число до квантования, $F(A)$ - число после квантования. Операция F является нелинейной. Шагом квантования Q называется расстояние между двумя соседними уровнями квантования: $Q \approx 2^{-b}$, где b – количество разрядов, не считая знакового.

Используются два способа квантования – округление и усечение. При округлении $Q/2 \leq e < Q/2$, а при усечении $Q \leq e < 0$. Считается, что значения

ошибок квантования e равновероятны в указанных диапазонах.

Для анализа процессов квантования используются *линейная и нелинейная* модели. Нелинейная модель используется при моделировании на ЭВМ и точно описывает процессы до и после квантования. В линейной модели к квантованному процессу добавляется аддитивный дискретный шум, который аналогичен по статистическим свойствам реальному шуму квантования. Математическое ожидание M_e и дисперсия σ_e^2 шума квантования определяются по формулам:

$$M_e \approx 0, \quad \text{при округлении}$$

$$M_e \approx 0.5Q, \quad \text{при усечении} \quad (1)$$

$$\sigma_e^2 \approx \frac{Q^2}{12} \approx \frac{2^{2b}}{12} \approx \frac{2^{2m}}{3},$$

где $m = b + 1$ – разрядность с учетом знака. В процессе цифровой обработки, как правило, приходится прибегать к уменьшению разрядности промежуточных и конечных результатов. Причина заключается в том, что при выполнении арифметических операций над числами их разрядность возрастает. Например, перемножение двоичных сомножителей приводит к удвоению разрядности. Когда произведение из регистра умножителя переписывается в память, происходит уменьшение разрядности методом усечения или методом округления. При усечении часть младших разрядов просто отбрасывается (0.1101101 $\rightarrow$ 0.110). При округлении число большей разрядности заменяется на ближайшее число меньшей разрядности (0.1101101 $\rightarrow$ 0.111). Анализ ошибок округления можно выполнять двумя способами: линейным и нелинейным. При нелинейном способе методом моделирования на компьютере находится разность процесса $s(n)$, $n = 1, \dots, N$ на выходе иде-

ального цифрового устройства, в котором не производится никаких округлений и процесса $sq(n)$ на выходе реального цифрового устройства, в определенных точках которого осуществляется округление или усечение промежуточных результатов. Найденная разность $e(n) = s(n) - sq(n)$ (2)

и является шумом квантования. Математическое ожидание $\bar{e}$ экспериментально полученного шума квантования $e(n)$ рассчитывается по формуле:

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e(n) \quad (3)$$

Дисперсия рассчитывается по формуле:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\tilde{e} - \bar{e})^2 \quad (4)$$

В линейной модели на вход цифрового устройства, а также в те его точки, где осуществляется округление или усечение промежуточных результатов, подключаются источники равномерно распределенного белого шума с математическим ожиданием и дисперсией, рассчитанными по формулам (1). Каждый из этих источников создает шум на выходе устройства с дисперсией

$$\sigma_{вых}^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{\infty} h_{i,k}^2, \quad (5)$$

где $h_{i,k}$ – импульсная характеристика i -й части цифрового устройства, через которую шумовой сигнал проходит на выход. Общий выходной шум получается путем сложения реакций цифрового устройства на воздействие указанных источников шума.

Для БИХ-фильтра 2 порядка с передаточной функцией вида

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}} \quad (6)$$

$$\sigma_k^2 = (b_0^2 + 2b_0 b_1 a_1 + b_1^2 a_1^2) / (1 - a_1^2), \quad (7)$$

при включении источника на вход фильтра.

Для выполнения рабочего задания потребуется применение процедуры **round** из MATLAB, которая осуществляет округление числа до ближайшего целого. Чтобы округлить число, меньшее 1, необходимо сначала умножить его на масштабирующий множитель. Например, для того, чтобы округлить семиразрядное двоичное число $a_7 = 0.1101101$ (0.8515625 в десятичном виде) до трехразрядного $a_3 = 0.111$ (0.875 в десятичном виде), необходимо выполнить следующее:

$$a_3 = \text{round}(a_7 * 2^3) / 2^3. \quad (8)$$

Задания к лабораторной работе

1. Постройте АЧХ для фильтра с передаточной функцией (6) для точных и округленных значений коэффициентов.
2. Задайте входной синусоидальный процесс с точными и квантованными отсчетами. Найдите шум квантования его математическое ожидание и дисперсию.
3. Найдите шум квантования на выходе фильтра, обусловленный квантованием входного сигнала.
4. Найдите шум на выходе фильтра, обусловленный квантованием промежуточных результатов в процессе фильтрации.

Методика выполнения работы

1. Создайте в виде отдельного файла функцию квантования по формуле (8), выходным параметром которой является квантованный процесс, а входными параметрами – исходный процесс и разрядность квантования. Правила оформления функций смотрите в **help function**. Постройте АЧХ для фильтра с передаточной функцией (6) и коэффициентами $a = [1 - \#/20]$, $b = [0.05 \ 0.05]$, где $\#$ – номер варианта. Постройте на том же графике АЧХ для фильтра с коэффициентами, округленными с до трех и до шестнадцати двоичных разрядов.

2. Задайте входной процесс в виде $s = \sin(2\pi f n)$; $n = (0 \dots 2000)$. Частоту f задайте таким образом, чтобы сигнал попал в полосу пропускания фильтра. Выполните квантование сигнала s до b разрядов для $b = 3$ и для $b = 8$. Таким образом, из дискретизированного сигнала s получается цифровой sq . Постройте на одном графике s , sq , $e = s - sq$ для $b = 3$. Найдите математическое ожидание и дисперсию шума e (для $b = 8$) по формулам (3) и (4)

3. Подайте сигналы s и sq ($b = 8$) на вход исследуемого фильтра с 16-разрядными коэффициентами. Используя процедуру **filter**, найти шум квантования на выходе фильтра обусловленный квантованием входного сигнала по формуле (2), его математическое ожидание и дисперсию.

4. Найдите шум квантования за счет округления промежуточных результатов фильтрации. Для этого запрограммируйте алгоритм фильтрации в виде разностного уравнения, соответствующего передаточной функции (7) для прямой (неканонической) схемы реализации фильтра. Программу выполните в виде цикла. После нахождения очередного отсчета делайте округление результата до $b=16$ – разрядность памяти вычислителя. Шум обусловленный квантованием входного сигнала на данном этапе расчета учитывать не следует. Поэтому отсчеты входного сигнала необходимо округлить до разрядности памяти. По формулам (3) и (4) найдите математическое ожидание и дисперсию шума округления вычислителя.

Вопросы для защиты работы

1. Рассчитайте дисперсию эквивалентного шума квантования АЦП на входе по формуле (1) и сравните с результатом пункта 2.5 в абсолютных значениях и дБ.

2. Рассчитайте параметры шума квантования АЦП на выходе фильтра для линейной модели, пользуясь формулами (5), (6) и (8) и сравните с результатом пункта 2.8 в абсолютных значениях и дБ.

3. Рассчитайте параметры шума квантования за счет округления промежуточных результатов фильтрации на выходе фильтра для линейной модели, пользуясь формулами (1), (5) и (7) и сравните с результатом пункта 2.4 в абсолютных значениях и дБ.

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab6_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб6_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

Лабораторная работа 7

Исследование алгоритмов изменения частоты дискретизации

Цель работы: приобретение практических навыков применения алгоритмов изменения частоты дискретизации цифровых сигналов.

Теоретическое обоснование

Алгоритмы изменения частоты дискретизации первоначально применялись для сопряжения цифровых систем с различной тактовой частотой. В дальнейшем они стали использоваться для снижения вычислительных затрат при реализации алгоритмов ЦОС. Процесс понижения частоты дискретизации называют децимацией, а процесс повышения частоты дискретизации – интерполяцией.

Децимация выполняется с помощью операции прореживания: Процесс с пониженной частотой дискретизации (децимированный процесс) формируется путем выборки каждого k -го отсчета из процесса с высокой частотой дискретизации. Коэффициент k называется коэффициентом децимации.

$$y(nT)$$

$$y(mT_1)$$

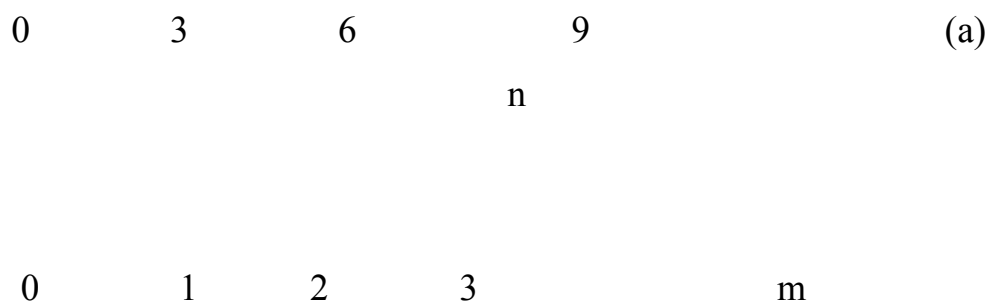


Рис. 7.1

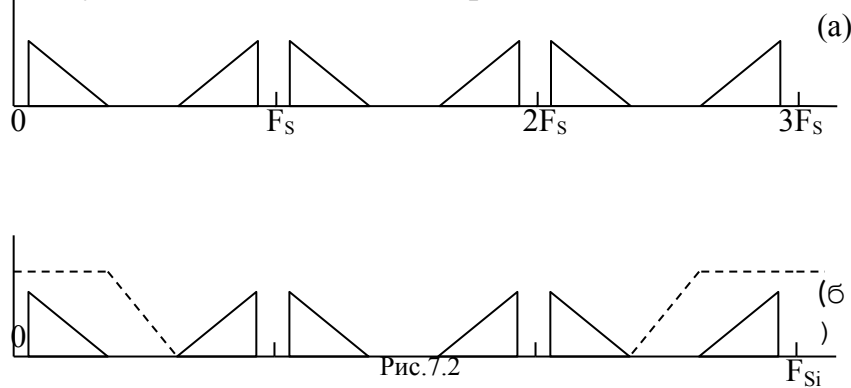
На рис.7.1 показан пример децимации при $k=3$ в результате чего процесс $y(nT)$, рис.7.1а, преобразуется к процессу $y(mT_1)$, рис.7.1б. Следует учитывать, что процесс должен соответствовать теореме Котельникова, как до понижения частоты дискретизации, так и после нее. Таким образом, перед выполнением децимации необходимо убедиться в том, что наивысшая частота в спектре процесса не превышает половины новой (пониженной) частоты дискретизации. Если это условие не выполняется, необходимо ограничить спектр процесса с помощью фильтрации. В противном случае децимация приведет к искажению сигнала за счет перекрытия спектров.

При интерполяции прореженные отсчеты должны быть восстановлены. Существует множество способов интерполяции. Наиболее распространены способы повышения частоты дискретизации: за счет добавления нулевых отсчетов; за счет повторения отсчетов.

При первом способе для повышения частоты дискретизации достигается за счет добавления нулевых отсчетов между отсчетами исходного процесса. Например, при интерполяции в три раза между отсчетами исходного процесса добавляется по два нулевых отсчета. Частота дискретизации при этом увеличивается, однако фактическая реализация процесса не меняется. Поэтому и вид спектра процесса с добавленными нулевыми отсчетами остается тем же самым.

На рис. 7.2 показаны спектры процесса при интерполяции в три раза до, и после добавления нулевых отсчетов. $F_{Si} = 3F_s$ – новая частота дискретизации.

Для полного восстановления отсчетов интерполированного процесса необходимо отфильтровать “лишние” спектральные составляющие. АЧХ фильтра показана на рис.7.2б пунктиром. При этом фильтр, для сохранения амплитуды восстановленного процесса, должен



иметь коэффициент передачи в полосе пропускания, равный коэффициенту интерполяции. Выполняя указанные действия можно, например, перейти от процесса на рис.7.1б к процессу на рис.7.1а.

При втором способе интерполяции вместо добавления нулевых отсчетов повторяют k раз отсчеты исходного процесса. По сути это эквивалентно фильтрации исходного процесса КИХ-фильтром порядка k с единичными коэффициентами. Поэтому при втором способе на спектр рис.7.2б накладывается АЧХ однородного фильтра вида: $\sin(k\omega_s/2)/\sin(\omega_s/2)$. Для полного восстановления формы процесса необходимо, как и в первом случае, отфильтровать ненужные спектральные составляющие. Масштабировать коэффициент передачи фильтра не требуется.

Задания к лабораторной работе

1. Сформируйте исходный процесс в виде аддитивной смеси ЧМ-сигнала и тонального сигнала с частотой дискретизации F_s .

2. Постройте графики спектров исходного процесса в реальных и относительных частотах.

3. Выполните децимацию процесса с коэффициентом децимации $k=2$. Постройте график спектра процесса после децимации.

4. Ограничьте спектр исходного процесса с помощью КИХ-фильтра таким образом, чтобы после децимации не было искажений ЧМ-сигнала. АЧХ фильтра постройте на графике спектра исходного процесса в относительных частотах. Вновь выполнить децимацию, постройте спектр и сравните его с предыдущим.

5. Выполните интерполяцию процесса, полученного в п.1.4 методом добавления нулевых отсчетов. Постройте спектр процесса.

6. Синтезируйте фильтр для подавления ненужных спектральных составляющих и постройте его АЧХ на одном графике со спектром.

7. Выполните фильтрацию процесса и постройте график спектра после фильтрации.

8. Выполните интерполяцию процесса методом повторения отсчетов и повторить п.п.1.5-1.8.

Методика выполнения работы

1. Сформировать исходный процесс в виде аддитивной смеси ЧМ-сигнала и тонального сигнала:

$$\text{process} = \sin(w_0 * t + (w_d/w_m) * \sin(w_m * t)) + 2 * \sin(w_i * t),$$

где $w_0 = 2 * \pi * (0.2 + \# * 0.02)$ МГц, $d = 2 * \pi * (0.15 + \# * 0.0025)$ МГц, $w_m = 2 * \pi * 0.005$ МГц, $w_i = 2 * \pi * (F_s/2 - 0.8 * f_0)$ МГц, $F_s = 4 * 1.2288$ МГц - частота дискретизации, $\#$ - номер варианта

2. Постройте графики спектров исходного процесса в реальных и относительных частотах.

3. Выполните децимацию процесса с коэффициентом децимации $k=2$, для чего из исходного процесса взять каждый второй отсчет. Постройте график спектра процесса после децимации.

4. Используя спектр исходного процесса, синтезируйте КИХ-фильтр и отфильтруйте частотные составляющие исходного процесса, выходящие за половину новой частоты дискретизации. АЧХ фильтры постройте на графике спектра исходного процесса в относительных частотах. При этом, для соответствия масштабов АЧХ и спектра следует умножить отсчеты АЧХ на масштабирующий коэффициент. Отсчеты АЧХ рассчитать с помощью оператора **freqz** с параметром 'whole'. Выполните децимацию фильтрованного процесса и постройте его спектр. Сравните спектр с предыдущим. Порядок фильтра следует выбирать минимальным, добиваясь при этом, чтобы в спектре ЧМ-сигнала после децимации не было видимых искажений и следов тонального сигнала.

5. Проведите интерполяцию процесса, полученного в предыдущем пункте методом добавления нулевых отсчетов с коэффициентом интерполяции $k=2$. Выполните это с помощью оператора цикла, присвоив нечетным отсчетам нулевые значения, а четным – значения отсчетов децимированного процесса. Постройте спектр процесса.

6. По виду полученного спектра синтезируйте КИХ-фильтр, отфильтровав ненужные спектральные составляющие и приблизьте, таким образом, спектр интерполированного процесса к виду исходного ЧМ сигнала. После фильтрации необходимо умножить отсчеты интерполированного процесса на $k=2$, для восстановления амплитуды исходного ЧМ сигнала. АЧХ фильтра построить на одном графике со спектром из п. 2.5. Для синтеза фильтра применить процедуру **remez** или **firls**, определяя зону подавления в соответствии с частотами ненужных спектральных составляющих. Порядок фильтра должен быть минимальным.

6. Проведите интерполяцию процесса, полученного в п.2.4, методом повторения отсчетов. Как и в п.2.5 можно выполнить это в цикле. Затем повторить действия п.2.6.

Вопросы для защиты работы

1. Объясните, в каком случае и для чего нужна фильтрация перед выполнением децимации?
2. Какой должна быть частота среза фильтра при переходе от частоты дискретизации $F_{S1} = \#*100\text{кГц}$ до частоты дискретизации $F_{S2} = \#*25\text{кГц}$?
3. Докажите с помощью формул для ДПФ что при добавлении нулевых отсчетов при интерполяции форма спектра остается неизменной.
4. В чем заключаются преимущества и недостатки двух рассмотренных способов интерполяции?

Содержание отчета и его форма

Отчет должен быть представлен в виде файла с именем *lab7_#.m*, содержащим текст программы с подробными комментариями и файла с именем *фамилия_лаб7_вариант#.doc*, с ответами на контрольные вопросы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы:

1. Мостовой, Я.А. Управление программными проектами
Электронный ресурс : учебное пособие / Я.А. Мостовой. - Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. - 103 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

2. Управление проектами с использованием Microsoft Project Электронный ресурс : учебное пособие / Т.П. Пухначева / Н.А. Иванчева / Т.С. Васючкова / М.А. Держо. - Управление проектами с использованием Microsoft Project, 2021-12-01. - Москва : Интернет- Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. - 147 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

Перечень дополнительной литературы:

1. Матвеева, Л. Г. Управление ИТ-проектами : учебное пособие / Л.Г. Матвеева, А.Ю. Никитаева ; Министерство образования и науки РФ ; Южный федеральный университет. - Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2016. - 227 с. : схем., табл., ил. - <http://biblioclub.ru/>. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9275- 2239-2

2. Рыбалова, Е.А. Управление проектами Электронный ресурс : учебно-методическое пособие / Е.А. Рыбалова. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. - 149 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
для обучающихся по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «**ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**»
для студентов направления подготовки **09.03.02 Информационные системы и
технологии**
направленность (профиль) **Информационные системы и технологии обработки
цифрового контента**

Пятигорск, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

<u>1. Общие положения</u>	3
<u>2. Цель и задачи самостоятельной работы</u>	4
<u>3. Технологическая карта самостоятельной работы студента</u>	4
<u>4. Порядок выполнения самостоятельной работы студентом</u>	5
<u>4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой</u>	5
<u>4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям</u>	6
<u>4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний</u>	7
<u>4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, рефератов, эссе, научных статей и т.д.)</u>	8
<u>4.5. Методические рекомендации по подготовке к зачетам</u>	10
<u>Список литературы для выполнения СРС</u>	10

1.

1. Общие положения

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов (СРС) в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения.

К основным видам самостоятельной работы студентов относятся:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- написание докладов;
- подготовка к семинарам, практическим и лабораторным работам, их оформление;
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний (педагогических, психологических, методических и др.);
- выполнение учебно-исследовательских работ, проектная деятельность;
- подготовка практических разработок и рекомендаций по решению проблемной ситуации;
- выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;
- выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин;
- выполнение выпускной квалификационной работы и др.

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей изучаемой дисциплины, объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы студентов, индивидуальных качеств студентов и условий учебной деятельности.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

2.Цель и задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС совпадает с целью обучения студента – формирование универсальных компетенций.

При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельной работы и лабораторных занятий.

3.Технологическая карта самостоятельной работы студента

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
7 семестр					
ИД-1 _{УК-2} ИД-2 _{УК-2} ИД-3 _{УК-2} ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	Самостоятельное изучение литературы	Собеседование	59,58	6,62	66,2
ИД-1 _{УК-2} ИД-2 _{УК-2} ИД-3 _{УК-2} ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	12,42	1,38	13,8

ИД-1 _{УК-2} ИД-2 _{УК-2} ИД-3 _{УК-2} ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	Подготовка доклада	Доклад	9	1	10
Итого за 7 семестр			81	9	90
Итого			81	9	90

4.Порядок выполнения самостоятельной работы студентом

4.1. Методические рекомендации по работе с учебной литературой

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют **четыре основные установки в чтении научного текста**:

информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)

усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)

аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)

творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.

2. Выделите главное, составьте план.

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

4.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

4.3. Методические рекомендации по самопроверке знаний

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется провести самопроверку усвоенных знаний, ответив на контрольные вопросы по изученной теме.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала – умение отвечать на вопросы для собеседования.

Вопросы для собеседования Базовый уровень

1. Частотный спектр сигнала.
2. Цифровые сигналы интерфейса RS-232.
3. Ряды Фурье. Определение частотного спектра.
4. Теорема Котельникова.
5. Принцип работы АЦП.
6. Совершенная дизъюнктивная нормальная форма представления функций.
7. Формы сигналов при аналого-цифровых преобразованиях.
8. Совершенная конъюнктивная нормальная форма представления функции.
10. Принцип работы ЦАП.
11. Двоично-десятичный дешифратор.
12. Формы сигналов при цифро-аналоговых преобразованиях.
13. Синтез шифратора в базисе «или».
14. Программируемые логические устройства матричной структуры.
15. Мультиплексирование цифровых сигналов.
16. Последовательные и параллельные регистры.
17. Синтез демультиплексора в базисе «и», «не».
18. Цифровые фильтры.
19. Типы триггеров при передаче цифровых сигналов.
20. Принцип работы цифрового частотомера.
21. Цифровые автоматы (последовательностные устройства).
22. Дискретные преобразования Фурье.
23. Частотный спектр сигнала.
24. Электронные счетчики импульсов.

25. Код Рида-Соломона. Хранение информации на дисках.
26. Основные операции ЦОС. Свертка, корреляция, фильтрация.
27. Реверсивные счетчики импульсов.
28. Физические сигналы сети Ethernet.
29. Структурная схема цифрового фильтра.
30. Физические сигналы Ethernet. Входные /выходные цепи стандартного порта 10base-T.
31. Классификация цифровых фильтров.

Повышенный уровень

32. Сигналы сети Ethernet. Манчестерский код.
33. Формирование цифрового сигнала.
34. Структурная схема блока PHY Ethernet.
35. Цифровые сигналы. Кодирование NRZI. 4B/5B. Ширина спектра сигнала.
36. Синтез комбинационных схем.
37. Хранение и обработка информации. Код Рида-Соломона.
38. Структура цифрового сигнала (потенциальный, импульсный).
39. Алгоритм передачи цифровых сигналов в сети Ethernet.
40. Цифровой БИХ-фильтр.
41. Снижение ширины спектра сигнала Ethernet. Трехуровневый сигнал MLT-3 (многоуровневый трехполюсовый).
42. Сравнение амплитудно-частотных характеристик аналоговых и цифровых фильтров.
43. Стандартные решения гальванической развязки Fast Ethernet устройств, подключаемых через разъем RJ-45.
44. Фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр)

4.4. Методические рекомендации по написанию научных текстов (докладов, рефератов, эссе, научных статей и т.д.)

Перед тем, как приступить к написанию научного текста, важно разобраться, какова истинная цель вашего научного текста - это поможет вам разумно распределить свои силы и время.

Во-первых, сначала нужно определиться с идеей научного текста, а для этого необходимо научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, научиться организовывать свое время.

Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой текст.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать работу.

Рабочий вариант текста доклада предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление.

Структура доклада:

- Введение (не более 3-4 страниц). Во введении необходимо обосновать выбор темы, ее актуальность, очертить область исследования, объект исследования, основные цели и задачи исследования.

- Основная часть состоит из 2-3 разделов. В них раскрывается суть исследуемой проблемы, проводится обзор мировой литературы и источников Интернет по предмету исследования, в котором дается характеристика степени разработанности проблемы и авторская аналитическая оценка основных теоретических подходов к ее решению. Изложение материала не должно

ограничиваться лишь описательным подходом к раскрытию выбранной темы. Оно также должно содержать собственное видение рассматриваемой проблемы и изложение собственной точки зрения на возможные пути ее решения.

- Заключение (1-2 страницы). В заключении кратко излагаются достигнутые при изучении проблемы цели, перспективы развития исследуемого вопроса

- Список использованной литературы (не меньше 10 источников), в алфавитном порядке, оформленный в соответствии с принятыми правилами. В список использованной литературы рекомендуется включать работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе статьи, опубликованные в научных журналах в течение последних 3-х лет и ссылки на ресурсы сети Интернет.

- Приложение (при необходимости).

Требования к оформлению:

- текст с одной стороны листа;
- шрифт Times New Roman;
- кегль шрифта 14;
- межстрочное расстояние 1,5;
- поля: сверху 2,5 см, снизу – 2,5 см, слева - 3 см, справа 1,5 см;
- реферат должен быть представлен в сброшюрованном виде.

Порядок защиты доклада:

На защиту доклада отводится 5-7 минут времени, в ходе которого студент должен показать свободное владение материалом по заявленной теме. При защите доклада приветствуется использование мультимедиа-презентации.

Доклад оценивается по следующим критериям: соблюдение требований к его оформлению; необходимость и достаточность для раскрытия темы приведенной в тексте доклада информации; умение студента свободно излагать основные идеи, отраженные в докладе; способность студента понять суть задаваемых преподавателем и сокурсниками вопросов и сформулировать точные ответы на них.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если в докладе студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует для написания доклада современные научные материалы; анализирует полученную информацию; проявляет самостоятельность при написании доклада.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если качество выполнения доклада достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопросы по теме доклада.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если материал доклада излагается частично, но пробелы не носят существенного характера, студент допускает неточности и ошибки при защите доклада, дает недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не подготовил доклад или допустил существенные ошибки. Студент неуверенно излагает материал доклада, не отвечает на вопросы преподавателя.

Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Темы эссе (рефератов, докладов, сообщений)

Базовый уровень

1. Частотный спектр сигнала.
2. Цифровые сигналы интерфейса RS-232.
3. Ряды Фурье. Определение частотного спектра.
4. Теорема Котельникова.
5. Принцип работы АЦП.
6. Совершенная дизъюнктивная нормальная форма представления функций.
7. Формы сигналов при аналого-цифровых преобразованиях.
8. Совершенная конъюнктивная нормальная форма представления функции.
10. Принцип работы ЦАП.
11. Двоично-десятичный дешифратор.
12. Формы сигналов при цифро-аналоговых преобразованиях.
13. Синтез шифратора в базисе «или».
14. Программируемые логические устройства матричной структуры.
15. Мультиплексирование цифровых сигналов.
16. Последовательные и параллельные регистры.
17. Синтез демультиплексора в базисе «и», «не».
18. Цифровые фильтры.
19. Типы триггеров при передаче цифровых сигналов.
20. Принцип работы цифрового частотомера.
21. Цифровые автоматы (последовательностные устройства).
22. Дискретные преобразования Фурье.
23. Частотный спектр сигнала.
24. Электронные счетчики импульсов.
25. Код Рида-Соломона. Хранение информации на дисках.
26. Основные операции ЦОС. Свертка, корреляция, фильтрация.
27. Реверсивные счетчики импульсов.
28. Физические сигналы сети Ethernet.

29. Структурная схема цифрового фильтра.
30. Физические сигналы Ethernet. Входные /выходные цепи стандартного порта 10base-T.
31. Классификация цифровых фильтров.

Повышенный уровень

32. Сигналы сети Ethernet. Манчестерский код.
33. Формирование цифрового сигнала.
34. Структурная схема блока PHY Ethernet.
35. Цифровые сигналы. Кодирование NRZI. 4В/5В. Ширина спектра сигнала.
36. Синтез комбинационных схем.
37. Хранение и обработка информации. Код Рида-Соломона.
38. Структура цифрового сигнала (потенциальный, импульсный).
39. Алгоритм передачи цифровых сигналов в сети Ethernet.
40. Цифровой БИХ-фильтр.
41. Снижение ширины спектра сигнала Ethernet. Трехуровневый сигнал MLT-3 (многоуровневый трехпороговый).
42. Сравнение амплитудно-частотных характеристик аналоговых и цифровых фильтров.
43. Стандартные решения гальванической развязки Fast Ethernet устройств, подключаемых через разъем RJ-45.
44. Фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр)

4.5. Методические рекомендации по подготовке к зачетам

Процедура зачета как отдельное контрольное мероприятие не проводится, оценивание знаний обучающегося происходит по результатам текущего контроля.

Зачет выставляется по результатам работы в семестре, при сдаче всех контрольных точек, предусмотренных текущим контролем успеваемости. Если по итогам семестра обучающийся имеет от 33 до 60 баллов, ему ставится отметка «зачтено». Обучающемуся, имеющему по итогам семестра менее 33 баллов, ставится отметка «не зачтено».

Количество баллов за зачет (Sзач) при различных рейтинговых баллах по дисциплине по результатам работы в семестре

Рейтинговый балл по дисциплине по результатам работы в семестре ($R_{сем}$)	Количество баллов за зачет ($S_{зач}$)
$50 \leq R_{сем} \leq 60$	40
$39 \leq R_{сем} < 50$	35
$33 \leq R_{сем} < 39$	27
$R_{сем} < 33$	0

Контроль самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы проводится преподавателем в аудитории.

Предусмотрены следующие виды контроля: собеседование, оценка выполнения доклада и его презентации.

Подробные критерии оценивания компетенций приведены в Фонде оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации.

Список литературы для выполнения СРС

Основная литература:

1. Дворкович, В. П. Оконные функции для гармонического анализа сигналов : монография / В.П. Дворкович, А.В. Дворкович. - Издание второе, переработанное и дополненное. - Москва : Техносфера, 2016. - 216 с. : ил., табл., схем. - (Мир цифровой обработки). - <http://biblioclub.ru/>. - ISBN 978-5-94836-432-2
3. Малашкевич, И. А. Вейвлет-анализ сигналов : от теории к практике : учебное пособие / И.А. Малашкевич ; Поволжский государственный технологический университет. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. - 276 с. : схем., табл., ил. - <http://biblioclub.ru/>. - Библиогр.: с. 219-225. - ISBN 978-5-8158-1745-6
4. Умняшкин, С. В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов : учебное пособие / С.В. Умняшкин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 368 с. - (Мир цифровой обработки). - <http://biblioclub.ru/>. - ISBN 978-5-94836-318-9

Дополнительная литература:

- 1 Гонсалес, Р.
Цифровая обработка изображений : практические советы / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; пер. П. А. Чочиа ; пер. Л. И. Рубанова. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 1104 с. : ил.,табл., схем. - (Мир цифровой обработки). - <http://biblioclub.ru/>. - ISBN 978-5-94836-331-8
- 2 Иванова, В.Г.
Цифровая обработка сигналов Электронный ресурс : учебно-методическое пособие / Н.В. Прошечкина / В.Г. Иванова. - Самара :Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015. – 113 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
- 3 Иванова, В.Е.
Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессоры Электронный ресурс : учебное пособие / А.И. Тяжев / В.Е. Иванова ; ред. А.И. Тяжев. - Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. - 253 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
- 4 Новиков, П.В.
Цифровая обработка сигналов Электронный ресурс : учебно-методическое пособие / П.В. Новиков. - Саратов : Вузовское образование, 2018. - 75 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-4487-0286-0
- 5 Сергиенко, А. Б.
Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие для вузов / А. Б. Сергиенко. - 3-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2013. - 768 с. : ил. - Гриф: Рек. УМО. - ISBN 978-5-9775-0915-2
- 6 Соловьев, Н.
Цифровая обработка информации в задачах и примерах : учебное пособие / Н. Соловьев, Н.А. Тишина, Л.А. Юркевская ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 123 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>. - Библиогр. в кн
- 7 Хафизов, Д. Г.
Цифровая обработка сигналов : лабораторный практикум / Д.Г. Хафизов, Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников ; Поволжский государственный технологический университет, 1. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2018. - 72 с. : ил. - <http://biblioclub.ru/>.

8 Цифровая обработка сигналов и MATLAB : учеб. пособие для вузов / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013. - 512 с.: ил. ; 24. - Гриф: Рек. УМО. - Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 508-512. - ISBN 978-5-9775-0919-0

9 Цифровая обработка сигналов. Часть 3. Методы и алгоритмы обработки сигналов адаптивными КИХ и БИХ - фильтрами Электронный ресурс / Ю. В. Рясный [и др.]. -Цифровая обработка сигналов. Часть 3. Методы и алгоритмы обработки сигналов адаптивными КИХ и БИХ - фильтрами, 2024-08-29. - Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. - 205 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 2227-8397

Методическая литература:

1. методические указания к лабораторным работам;
2. методические указания к самостоятельной работе.

Интернет-ресурсы:

1. <http://exponenta.ru>
2. <http://www.intuit.ru>
3. <http://www.prodav.narod.ru/dsp/index.html>

Программное обеспечение:

MathCAD
MATLAB