

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.В.33 «Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки

09.03.04 «Программная инженерия»

Направленность (профиль) подготовки

«Программная инженерия систем искусственного интеллекта»

Уровень подготовки

Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2025

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов, предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной профессиональной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной профессиональной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися в ходе выполнения индивидуальных заданий на лабораторных работах. При оценивании результатов освоения лабораторных работ применяется шкала оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины.

Результат выполнения каждого индивидуального задания должен соответствовать всем критериям оценки в соответствии с компетенциями, установленными для заданного раздела дисциплины.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением теоретического зачета.

Форма проведения зачета – устный ответ с письменным подкреплением (по необходимости).

Дополнительным средством оценки знаний и умений студентов является отчет о проведении лабораторных работ и его защита.

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	2	3	4
1	Цифровая обработка сигналов – информатика реального времени. Основы ЦОС.	ОПК-6.1 ОПК-6.2 ОПК-8.1	зачет
2	Описание цифровых сигналов в частотной области. Дискретное преобразование Фурье. Алгоритм БПФ. Быстрая свертка. Спектральный анализ. Анализ собственных шумов в цифровых фильтрах.	ОПК-6.1 ОПК-6.2 ОПК-8.1	зачет
3	Многоскоростная и адаптивная обработка сигналов.	ОПК-6.1 ОПК-6.2 ОПК-8.1	зачёт
4	Нейросетевая обработка сигналов.	ОПК-6.1 ОПК-6.2 ОПК-8.1	зачет

Критерии оценивания компетенций (результатов)

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
- 3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
- 4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
- 5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

В процессе оценки сформированности знаний, умений и навыков обучающегося по дисциплине, производимой на этапе промежуточной аттестации в форме теоретического зачета, используется оценочная шкала «зачтено – не зачтено»:

Оценка **«зачтено»** выставляется обучающемуся, который прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров; показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе. Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и лабораторной работы.

Оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, который в ответах на основные вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления о взаимосвязях элементов курса и использования предметной терминологии у обучающегося нет. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

Типовые контрольные мероприятия

Пример 1. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 1; -1; -1\}; \quad H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$$

Решение:

Реакция на выходе КИХ-фильтра определяется как взвешенная сумма импульсных характеристик, сдвинутых по времени на момент текущего входного воздействия:

$$\begin{aligned} Y(0) &= X(0)H(n) = 1; -1; 1; -1; 0; \dots \\ Y(1) &= X(1)H(n-1) = 0; 1; -1; 1; -1; 0; \dots \\ Y(2) &= X(2)H(n-2) = 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; \dots \\ Y(3) &= X(3)H(n-3) = 0; 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; \dots \end{aligned}$$

$$Y(n) = \text{сумма по столбцам} = 1; 0; -1; 0; -1; 0; 1; 0; \dots$$

Пример 2. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$$

Решение:

Реакция на выходе КИХ-фильтра определяется как взвешенная сумма импульсных характеристик, сдвинутых по времени на момент текущего входного воздействия:

$$\begin{aligned}
Y(0) &= X(0)H(n) = 1; -1; 1; -1; 0; \dots \\
Y(1) &= X(1)H(n-1) = 0; 0,7; -0,7; 0,7; -0,7; 0; \dots \\
Y(2) &= X(2)H(n-2) = 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; \dots \\
Y(3) &= X(3)H(n-3) = 0; 0; 0; 1; -1; 1; -1; 0; \dots \\
Y(4) &= X(4)H(n-4) = 0; 0; 0; 0; -0,7; 0,7; -0,7; 0,7; 0; \dots \\
Y(5) &= X(5)H(n-5) = 0; 0; 0; 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; \dots
\end{aligned}$$

$Y(n)$ = сумма по столбцам = 1; -0,3; 0,3; 0,7; -2,4; 0,7; -0,7; -0,3; 1; 0; ...

Образцы контрольных заданий	
БИЛЕТ № 1-1	
<p>1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.</p> <p>2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; 1; -1; -1\}; \quad H = \{1; 0,5; 0,25; 0\}.$	
БИЛЕТ № 1-2	
<p>1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.</p> <p>2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; 1; -1; -1\}; \quad H = \{1; -0,5; 0,25; 0\}.$	
БИЛЕТ № 1-3	
<p>1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.</p> <p>2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$,</p>	

<p>представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; -1; 1; -1\}; \quad H = \{0; 0,5; 0,1; 0,5; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-4
<p>1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.</p> <p>2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; -1; 1; -1\}; \quad H = \{-1; 0,5; -0,25; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-5
<p>1. Z-преобразование и его свойства.</p> <p>2. Основные этапы проектирования системы ЦОС.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; 1; -1; -1\}; \quad H = \{0; 0,5; 0,1; 0,5; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-6
<p>1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.</p> <p>2. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.</p> <p>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; 1; -1; -1\}; \quad H = \{-1; 0,5; -0,25; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-7
<p>1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных ЦЦ.</p>

2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 1; -1; -1\};$$

$$H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-8

1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.

2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; -1; 1; -1\};$$

$$H = \{0; 0,5; 0,1; 0,5; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-9

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.

2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; -1; 1; -1\};$$

$$H = \{-1; 0,5; -0,25; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-10

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4).$$

<p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{1; -1; 1; -1\}; \quad H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-11
<p>1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение. 2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей. 3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{0; 0,5; 1; 0,5; 0\}; \quad H = \{1; 0,5; 0,25; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-12
<p>1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика. 2. Преобразование Фурье и его свойства. Связь с Z-преобразованием. 3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{0; 0,5; 1; 0,5; 0\}; \quad H = \{1; -0,5; 0,25; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-13
<p>1. Z-преобразование и его свойства. 2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением. 3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:</p> $y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5).$ <p>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:</p> $X = \{0; 0,5; 1; 0,5; 0\}; \quad H = \{0; 0,5; 0,1; 0,5; 0\}.$
БИЛЕТ № 1-14
<p>1. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.</p>

2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0; 0,5; 1; 0,5; 0\}; \quad H = \{-1; 0,5; -0,25; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-15

1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.

2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0; 0,5; 1; 0,5; 0\}; \quad H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-16

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.

2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{1; 0,5; 0,25; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-17

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

2. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{1; -0,5; 0,25; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-18

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{0; 0,5; 0,1; 0,5; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-19

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.

2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{-1; 0,5; -0,25; 0\}.$$

БИЛЕТ № 1-20

1. Z-преобразование и его свойства.

2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1; 0,7; 0; 1; -0,7; -1\}; \quad H = \{1; -1; 1; -1; 0\}.$$

Пример 3. Найти передаточную функцию $H(z)$, АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику БИХ-фильтра, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0,81y(n-2).$$

Решение:

Применяя Z-преобразование левой и правой части, находим передаточную функцию:

$$Y(z) - 0,81z^{-2}Y(z) = -3X(z) + z^{-1}X(z);$$

$$(1 - 0,81z^{-2})Y(z) = (-3 + z^{-1})X(z);$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{-3 + z^{-1}}{1 - 0,81z^{-2}} = \frac{1 - 3z}{z^2 - 0,81}.$$

Используя подстановку $z = e^{j\omega}$, получим комплексную частотную характеристику

$$H(j\omega) = \frac{(1 - 3\cos \omega) - j3\sin \omega}{(\cos 2\omega - 0,81) + j\sin 2\omega}.$$

Отсюда АЧХ и ФЧХ

$$H(\omega) = \frac{\sqrt{(1 - 3\cos \omega)^2 + 9\sin^2 \omega}}{\sqrt{(\cos 2\omega - 0,81)^2 + \sin^2 2\omega}};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{3\sin \omega}{1 - 3\cos \omega} - \arctg \frac{\sin 2\omega}{\cos 2\omega - 0,81}.$$

Для расчета импульсной характеристики передаточную функцию фильтра представим в виде произведения передаточной функции КИХ-фильтра $H_{\text{ких}}(z)$ и передаточной функции БИХ-фильтра $H_{\text{бих}}(z)$:

$$H(z) = H_{\text{ких}}(z)H_{\text{бих}}(z) = (-3 + z^{-1}) \frac{1}{1 - 0,81z^{-2}}.$$

Тогда, искомая импульсная характеристика

$$h(n) = -3h_{\text{бих}}(n) + h_{\text{бих}}(n-1).$$

Осталось найти импульсную характеристику БИХ-фильтра.

Представим передаточную функцию БИХ-фильтра 2-го порядка в виде суммы передаточных функций двух БИХ-фильтров 1-го порядка:

$$\begin{aligned} H_{\text{бих}}(z) &= \frac{1}{1 - 0,81z^{-2}} = \frac{1}{(1 - z_{n1}z^{-1})(1 - z_{n2}z^{-1})} = \\ &= \frac{1}{(1 - 0,9z^{-1})(1 + 0,9z^{-1})} = \frac{A}{1 - 0,9z^{-1}} + \frac{B}{1 + 0,9z^{-1}}, \end{aligned}$$

где z_{n1}, z_{n2} – корни уравнения $z^2 - 0,81 = 0$.

Методом неопределенных коэффициентов находим $A = B = 0,5$.

Таким образом,

$$h_{\text{бих}}(z) = 0,5(0,9)^n + 0,5(-0,9)^n.$$

Пример 4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 4 \frac{2\pi}{16} n.$$

Решение:

$Y(k) = 0$ при всех k от 0 до 15, кроме $k = 1$ ($16-1 = 15$) и $k = 4$ ($16-4 = 12$).

$$Y(1) = -j16; \quad Y(15) = j16; \quad Y(4) = 8; \quad Y(12) = 8.$$

Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 4 \sin 2 \frac{2\pi}{16} n + \cos 6 \frac{2\pi}{16} n.$$

Решение:

$Y(k) = 0$ при всех k от 0 до 15, кроме $k = 2$ ($16-2 = 14$) и $k = 6$ ($16-6 = 10$).

$$Y(2) = -j32; \quad Y(14) = j32; \quad Y(6) = 8; \quad Y(10) = 8.$$

Образцы контрольных заданий	
БИЛЕТ № 2-1	
1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.	
2. Метод частотной выборки.	
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:	
$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0,25y(n-2).$	
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:	
$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 2 \frac{2\pi}{16} n.$	
БИЛЕТ № 2-2	
1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).	
2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.	

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin \frac{2\pi}{16}n + \cos 3 \frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-3

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16}n + \cos 4 \frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-4

1. Передаточные функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни)

2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0,5 \sin \frac{2\pi}{16}n + \cos 2 \frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-5

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 2\frac{2\pi}{16}n - \cos \frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-6

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0,81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin \frac{2\pi}{16}n - \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-7

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 4 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-8

1. Прямая задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 6 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-9

1. Каноническая, параллельная и последовательная формы БИХ-фильтров.

2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0,81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2 \sin \frac{2\pi}{16} n - \cos 5 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-10

1. Передаточная функция, частотная и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 0,5x(n) - x(n-1) + 1,8y(n-1) - 0,82y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin 3 \frac{2\pi}{16} n + \cos 5 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-11

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (комплексно-сопряженные корни).

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 0,25y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 2 \frac{2\pi}{16} n + \cos 4 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-12

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-1) + 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0,5\sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 2 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-13

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - x(n-2) - 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0,2 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 4 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-14

1. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) + 2x(n-1) + 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0,3 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 6 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-15

1. Обратная задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.
2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 5x(n) + x(n-1) - 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = -3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-16

1. Каноническая, параллельная и каскадная формы БИХ-фильтров.
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) + x(n-1) + 0,81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 7\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-17

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 3\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-18

1. Передаточная функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) - 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0,3 \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 4 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-19

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0,81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 10 \sin \frac{2\pi}{16} n + 5 \cos 2 \frac{2\pi}{16} n.$$

БИЛЕТ № 2-20

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 0,5x(n) + x(n-1) + 1,8y(n-1) - 0,82y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin \frac{2\pi}{16} n + \cos 7 \frac{2\pi}{16} n.$$

Пример 5. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$

Решение:

Анализ шумовой модели показывает, что имеют место три источника шумов округления при умножении: первое, третье и четвертое произведения.

Все источники шума входят в одну точку на выходе линии задержки отсчетов входного сигнала $x(n)$ и на входе линии задержки отсчетов выходного сигнала $y(n)$. Поэтому достаточно найти импульсную характеристику участка цифровой цепи от входа источников шума до выхода цифрового фильтра $h_e(n)$.

Тогда дисперсия собственного шума может быть рассчитана по формуле

$$\sigma_{\text{вых}}^2 = 3\sigma_0^2 \sum_{n=0}^{\infty} h_e^2(n), \text{ где } \sigma_0 = \frac{2^{-16}}{12}.$$

С тем, чтобы найти импульсную характеристику $h_e(n)$, воспользуемся передаточной функцией по ошибке

$$H_e(z) = \frac{1}{1 + 1,6z^{-1} + 0,63z^{-2}} = \frac{z^2}{z^2 + 1,6z + 0,63} = \frac{A}{(1 - z_{n1}z^{-1})} + \frac{B}{(1 - z_{n2}z^{-1})}.$$

Из решения уравнения $z^2 + 1,6z + 0,63 = 0$, находим $z_{n1} = -0,7; z_{n2} = -0,9$.

Тогда

$$H_e(z) = \frac{A}{(1 + 0,7z^{-1})} + \frac{B}{(1 + 0,9z^{-1})}.$$

Методом неопределенных коэффициентов получаем

$$A + 0,9Az^{-1} + B + 0,7Bz^{-1} = 1.$$

Отсюда составляется система уравнений:

$$\begin{cases} A + B = 1; \\ 0,9A + 0,7B = 0. \end{cases}$$

Следовательно, $A = -3,5$ и $B = 4,5$.

Окончательно,

$$h_e(n) = A(-0,7)^n + B(-0,9)^n = -3,5(-0,7)^n + 4,5(-0,9)^n.$$

Образцы контрольных заданий
БИЛЕТ № 3-1
<p>1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p>

$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0,25y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-3
<ol style="list-style-type: none"> 1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $y(n) = x(n) + x(n-2) - 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-4
<ol style="list-style-type: none"> 1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-5
<ol style="list-style-type: none"> 1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-6
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0,81y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-7
<ol style="list-style-type: none"> 1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-8
<p>1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p> $y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-9
<p>1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p> $y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0,81y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-10
<p>1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p> $y(n) = 0,5x(n) - x(n-1) + 1,8y(n-1) - 0,82y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-11
<p>1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p> $y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0,25y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-12
<p>1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.</p> <p>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:</p> $y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$
БИЛЕТ № 3-13
1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1,3y(n-1) - 0,4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-14

1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-15

1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1,6y(n-1) - 0,63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-16

1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0,81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-17

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-18

1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1,4y(n-1) - 0,98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-19

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0,81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-20

1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 0,5x(n) - x(n-1) + 1,8y(n-1) - 0,82y(n-2).$$

Примеры контрольных вопросов в лаборатории

1. Сформулируйте требования, которые предъявляются к проектированию цифрового низкочастотного фильтра.

2. Перечислите элементарные цифровые звенья и представьте их графическое отображение, приведите пример цифровой цепи.

3. Что понимают под метрикой пространства функций и какая метрика используется в теории цифровых цепей?

4. Что понимают под инвариантностью к сдвигу линейной цифровой цепи? Перечислите основные свойства цифровых цепей, инвариантных к сдвигу.

5. Как связаны вход и выход линейной цифровой цепи?

6. Дайте определение импульсной характеристики цифровой цепи. Как связаны между собой импульсная характеристика цифровой цепи и воспроизводимая функция передачи?

7. Какая цифровая цепь считается устойчивой и физически реализуемой? Назовите условия устойчивости и физической реализуемости линейной цифровой цепи.

8. Как связаны друг с другом вход и выход КИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки КИХ-цепей.

9. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе КИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.

10. Как связаны друг с другом вход и выход БИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки БИХ-цепей.
11. Дайте определение Z-преобразования и назовите его основные свойства.
12. Используя Z-преобразование, докажите, что передаточная функция БИХ-фильтра является отношением двух полиномов.
13. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе БИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.
14. Почему и каким способом выполняется переход к параллельной и последовательной формам реализации БИХ-фильтра?
15. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 1-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.
16. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.
17. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию биквадратной формы БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.
18. Дайте определение дискретного преобразования Фурье и назовите его основные отличительные свойства.
19. Как связаны друг с другом дискретный синусоидальный сигнал заданной частоты и его Фурье-образ?
20. Назовите отличительные свойства алгоритма быстрого преобразования Фурье: ограничения и вычислительную эффективность.
21. Перечислите основные операции алгоритма быстрой свертки и условия их реализации.

Вопросы к зачету по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
3. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
4. Z-преобразование и его свойства.

5. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.
6. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.
7. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.
8. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
9. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
10. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка.
11. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
12. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
13. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.
14. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.
15. Каноническая и каскадная формы БИХ-фильтров.
16. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.
17. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
18. Метод частотной выборки и его модификации.
19. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
20. Математическая формализация и решение задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
21. Прямая и обратная задачи оптимального проектирования цифровых фильтров. Методы декомпозиции.
22. Децимация, как способ понижения частоты дискретизации.
23. Интерполяция, как способ повышения частоты дискретизации.
24. Метод синтеза узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции.
25. Двухступенчатая форма реализации узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции.
26. Многоступенчатая структура ЦФ: метод Белланже.
27. Полифазная форма фильтра-дециматора.
28. Параллельная форма фильтра-дециматора.
29. Метод синтеза цифрового полосового фильтра на основе демодуляции/модуляции преобразуемого сигнала.
30. Цифровые гребенчатые фильтры: отличительные особенности и основные характеристики.
31. Цифровой гребенчатый КИХ-фильтр и его свойства.
32. Цифровой гребенчатый БИХ-фильтр и его свойства.

33. Метод синтеза структуры узкополосного ЦФ на основе децимации и интерполяции импульсной характеристики (с прореживанием по частоте).
34. Трехкаскадная форма реализации узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции импульсной характеристики (с прореживанием по частоте).
35. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.
36. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.
37. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.
38. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.
39. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
40. Методика вычисления собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
41. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
42. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
43. Адаптивные фильтры: назначение, классификация, применение.
44. Адаптивные КИХ-фильтры: общее описание и методы синтеза.
45. Методы поиска параметров рабочей функции. Устойчивость и скорость сходимости. Обучающая кривая.
46. Градиентные методы поиска: метод Ньютона и метод наискорейшего спуска.
47. Метод наименьших квадратов (МНК): вывод алгоритма МНК, анализ сходимости, обучающая кривая.
48. Адаптивные БИХ-фильтры: прямая форма реализации.
49. Кодирование с линейным предсказанием. Модель речевого сигнала на основе адаптивного фильтра линейного предсказания.
50. Адаптивное подавление помех. Подавление и фильтрация периодических сигналов с помощью адаптивного устройства предсказания.

Составили

Доцент кафедры ТОР

Волченков В.А.

Д.т.н., зав. кафедрой ТОР

Витязев В.В.