МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Цифровые цепи и сигналы»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «28» апреля 2022 года, протокол № 9

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является подготовка в области физических принципов цифровых технологий передачи сообщений.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина «Цифровые цепи и сигналы» относится к части, формируемой участниками образовательных отношение.

Дисциплина требует базовых математических знаний и умений из дисциплин «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Теория функций комплексной переменной», «Разностные уравнения», «Теория вероятностей и математическая статистика». Она основывается на знаниях, умениях и навыках, полученных при изучении дисциплин «Статистическая радиофизика», «Радиоэлектроника» и «Цифровая электроника».

Знания, умения и навыки, полученные при изучении данной дисциплины, используются студентами при изучении последующих выборных дисциплин блока Б1 и в НИРС.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

Формируемая компетенция (код и формулировка)	**Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)**	**Перечень планируемых результатов обучения**
Профессиональные компетенции		
ПК-1 Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач в области радиофизики, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения	ИД_ПК-1.1 Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиофизики.	**Знать:** – основные характеристики цифровых сигналов и цепей; – методы анализа прохождения детерминированных и случайных сигналов дискретного времени через цифровые цепи; – способы изменения частоты дискретизации сигналов дискретного времени – эффекты квантования в цифровых сигналах и цепях. **Уметь:** – рассчитывать характеристики детерминированных и случайных сигналов дискретного времени на выходе цифровых цепей. – оценивать ошибки квантования сигналов и цепей дискретного времени; – моделировать цифровые сигналы и цепи на компьютере. .**Владеть навыками:** – чтения и изображения схем цифровых цепей; – проектирования цифровых цепей; – практической работы с действующими макетами цифровых сигналов и цепей, а также с современной измерительной аппаратурой.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 акад. часа.

Дисциплина реализуется с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ), предоставляемых электронной образовательно-информационной средой ЯрГУ им. П.Г. Демидова – Moodle ЯрГУ.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационн	самостоятельная работа	
1	Математический аппарат	5	4	8	4	0.5		2	Отчёт по лабораторной работе №1
2	Цифровые сигналы и их спектры	5	1	7	7	0.5		2	Отчёт по лабораторной работе №2
3	Цифровые цепи	5	5	7	7	0.5		3	Коллоквиум по темам №№ 1-3 Контрольная работа по темам №№ 1-3 Отчёт по лабораторной работе №3
4	Изменение частоты дискретизации цифровых сигналов	5	1	4	4	0.5		2	Отчёт по лабораторной работе №4
5	Случайные сигналы и процессы дискретного времени	5	2	4	4	1		3	Отчёт по лабораторной работе №5
6	Эффекты квантования в цифровых сигналах	5	2	4	4	1		3	Отчёт по лабораторной работе №6
7	Эффекты квантования в цифровых цепях	5	2	4	4	1		3	Семестровая контрольная работа Отчёт по лаб. работе №7
	Всего		**17**	**34**	**34**	**5**		**18**	
		5				2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего с экзаменом		**17**	**34**	**34**	**7**	**0,5**	**51,5**	

Содержание тем дисциплины

Тема №1

Математический аппарат

1. Последовательности.
2. Дискретный ряд Фурье.
3. z-преобразование
    - Последовательности конечной длины.
    - Физически реализуемые последовательности.
    - Нереализуемые последовательности.
    - z-преобразование некоторых последовательностей.
4. Соотношение между z-преобразованием и Фурье-преобразованием последовательности.
5 Обратное z-преобразование.
6. Свойства z-преобразования.
    - Линейность.
    - Задержка.
    - Свертка последовательностей.
    - Перемножение последовательностей.
    - Одностороннее z-преобразование. Задержка физически реализуемых Последовательностей.
7. Дискретное преобразование Фурье
    - Связь между дискретным преобразованием Фурье и z-преобразованием.
    - Дискретное преобразование Фурье последовательностей конечной длины.
    - Эффекты наложения.
8. Свойства дискретного преобразования Фурье
    - Линейность.
    - Сдвиг.
    - Свойства симметрии.
9. Свертка периодических последовательностей (круговая свертка).
10. Линейная свертка конечных последовательностей.
11. Разностные уравнения.
12. Решение разностных уравнений с применением одностороннего z-преобразования.

Тема №2

Цифровые сигналы и их спектры

1. Типовые периодические сигналы.
2. Типовые непериодические сигналы.
3. Соотношения между спектрами непрерывных и цифровых сигналов

Тема №3

Цифровые цепи

1 Цифровые линейные цепи с постоянными параметрами.
2. Физическая реализуемость. Устойчивость
3. Частотная характеристика. Геометрическая интерпретация.
4. Способы построения цифровых цепей.
5. Структурные схемы цепей без полюсов
6. Нерекурсивная цепь I порядка
    - Частотные свойства.
    - Временные характеристики:
        - импульсная характеристика,

- переходная характеристика,
- реакция на воздействие прямоугольного импульса.

7. Рекурсивная цепь I порядка
   - Частотные свойства
   - Временные характеристики:
     - импульсная характеристика,
     - переходная характеристика,
     - реакция на воздействие прямоугольного импульса.
8. Нерекурсивная цепь II порядка
   - Частотные свойства:
     - фильтры нижних (ФНЧ) и верхних (ФВЧ) частот,
     - полосовой (ПФ) и режекторный (РФ) фильтры.
   - Временные характеристики:
     - импульсная характеристика,
     - переходная характеристика,
     - реакция ФНЧ и ФВЧ на воздействие прямоугольного импульса,
     - реакция ПФ и РФ на воздействие прямоугольного радиоимпульса.
9. Рекурсивная цепь II порядка
   - Частотные свойства:
     - фильтры нижних и верхних частот,
     - полосовой и режекторный фильтры.
   - Временные характеристики:
     - импульсная характеристика,
     - переходная характеристика,
     - реакция ФНЧ и ФВЧ на воздействие прямоугольного импульса,
     - реакция ПФ и РФ на воздействие прямоугольного радиоимпульса.

Тема №4

Изменение частоты дискретизации цифровых сигналов

1. Децимация цифровых сигналов
   - Первый этап.
   - Второй этап.
   - Соотношение вход-выход всей системы децимации.
   - Реализация системы децимации
2. Интерполяция цифровых сигналов
   - Первый этап.
   - Второй этап.
   - Соотношение вход-выход всей системы интерполяции.
   - Реализация системы интерполяции (структура 1, структура 2, структура 3).

Тема №5

Случайные сигналы и процессы дискретного времени

1. Виды случайных последовательностей.
2. Характеристики непрерывных и дискретных случайных последовательностей
   -Функция распределения вероятностей.
   - Плотность распределения вероятностей, распределение вероятностей.
   - Среднее значение (математическое ожидание).
   - Дисперсия.
   - Корреляционная функция.
   - Ковариационная функция.
3. Стационарные случайные последовательности
   - Определение.

- Свойства ковариационной функции и дисперсии.
- Свойства корреляционной функции.
- Эргодическое свойство.

4. Энергетический спектр стационарной случайной последовательности. Теорема Винера-Хинчина.
5. Примеры случайных последовательностей
   - Гауссовская стационарная случайная последовательность.
   - Белый шум дискретного времени.
6. Воздействие случайных последовательностей на линейные цифровые цепи
   - Общие сведения. Системная корреляционная функция.
   - Пример 5.1.
   - Связь между характеристиками случайных последовательностей на входе и выходе цифровой цепи
     - связь между мгновенными значениями,
     - связь между плотностями вероятностей,
     - связь между корреляционными функциями,
     - связь между энергетическими спектрами,
     - пример 5.2.

Тема №6

Эффекты квантования в цифровых сигналах

1. Представление чисел.
2. Усечение и округление.
3. Квантование чисел.
4. Аналого-цифровое преобразование сигналов.
5. Цифро-аналоговое преобразование сигналов.

Тема №7

Эффекты квантования в цифровых цепях

1. Реакция идеальной цифровой цепи на шум квантования.
2. Квантование арифметических операций в БИХ-цепях.
3. Ограничения, вызванные переполнением, и отношение сигнал/шум.
4. Квантование арифметических операций в КИХ-цепях.
5. Нелинейные колебания, вызванные квантованием и переполнением.
6. Квантование коэффициентов.
7. Техническая реализация цифровых цепей.

Темы практических занятий

1. Математический аппарат
2. Цифровые сигналы и их спектры
3. Цифровые цепи
4. Изменение частоты дискретизации цифровых сигналов
5. Случайные сигналы и процессы дискретного времени
6. Эффекты квантования в цифровых сигналах
7. Эффекты квантования в цифровых цепях

Перечень лабораторных работ

1. Основы работы с пакетом компьютерного моделирования Matlab
2. Дискретизация сигналов
3. Дискретные сигналы и их спектры

4. Цифровые цепи и их анализ
5. Изменение частоты дискретизации
6. Эффекты квантования в цифровых цепях и сигналах
7. Дискретные случайные процессы

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся практические и лабораторные занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изло-жение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Задействованы:

– интерактивная лекция.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению знаний, полученных на лекциях.

Задействованы:

– решение задач;
– коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм;
– анализ конкретных ситуаций.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

Задействованы:

– допуск к выполнению экспериментальных исследований,
– коллективная работа в ходе выполнения лабораторной работы,
– командная защита отчёта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

Асинхронная консультация (в рамках онлайн курса) – занятие по окончанию модуля, на котором проводится консультация по изученному материалу, формам заданий текущего контроля, ответы на вопросы студентов по дисциплине.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Учебный курс «Цифровые цепи и сигналы» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором в процессе прохождения тем дисциплины:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- представлены файлы конкретных тем;
- тесты для прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;

- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.
- представлены записи видео лекций по отдельным темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов (ответы на вопросы, тестирование);
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTex;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Брюханов Ю. А. Цифровые цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов. / Ю. А. Брюханов; Ред.-издат. совет Яросл. гос. ун-та им. П. Г. Демидова - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Горячая линия - Телеком, 2018. - 160 с.
2. Брюханов Ю. А. Лабораторный практикум по курсу Цифровые цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов. / Ю. А. Брюханов; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - 2-е изд., перераб. и доп. - Ярославль: ЯрГУ, 2007. - 139 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20060789.pdf

.

б) дополнительная литература

1. Основы цифровой обработки сигналов : учеб. пособие для вузов. / Ю. А. Брюханов, А. Л. Приоров, В. И. Джиган, В. В. Хрящев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: ЯрГУ, 2013. - 343 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20130703.pdf
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1392704&cat_cd=YARSU
2. Хрящев В. В. Основы теории цепей: сборник задач. / В. В. Хрящев, А. Л. Приоров, В. А. Волохов; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: Б.и., 2008. - 119 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20080730.pdf
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=362374&cat_cd=YARSU
3. Щетинин Ю. И. Анализ и обработка сигналов в среде MATLAB: учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2011

в) ресурсы сети «Интернет»:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

2.Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (http://www.edu.ru (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке http://window.edu.ru/library).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ, а также материалам онлайн курса «Цифровые цепи и сигналы», размещённого на электронной образовательно-информационной среде ЯрГУ им. П.Г. Демидова – Moodle ЯрГУ.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Авторы:

Зав. кафедрой инфокоммуникаций и радиофизики, д.т.н. — Ю.А. Брюханов

должность, ученая степень — *И.О. Фамилия*

Доцент кафедры инфокоммуникаций и радиофизики, к.т.н. — М.А. Дубов

должность, ученая степень — *И.О. Фамилия*

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
« Цифровые цепи и сигналы»

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущего контроля успеваемости

Контрольная работа по темам №№ 1-3

(указать печатными буквами номер варианта, фамилию, имя, группу)

Вариант 1

1. Проверить свойства гомогенности, аддитивности и однородности для системы

$$y(n) = \log(x(n)).$$

2. Найти z-преобразование последовательности

$$x(n) = 2n4^n 1(n) + 7\left(\frac{1}{5}\right)^n 1(n).$$

3. Найти обратное z-преобразование

$$X(z) = \frac{1}{2 + 3z^{-1} - 2z^{-2}}.$$

4. Для последовательности {2, 0, –1, 1} выполнить дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

5. Цифровая цепь описывается разностным уравнением

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

Найти передаточную функцию и частотную характеристику цепи, привести схемы прямой формы I и прямой формы II канонической.

6. Сигнал на входе цифровой ЛИС-цепи {2, 4, 2}, а ее импульсная характеристика {2, 1}. Найти и изобразить графически сигнал на выходе цепи.

7. Перевести в двоичную и шестнадцатеричную системы десятичное число 321.

Вариант 2

1. Цифровая цепь описывается разностным уравнением

$$y(n) = 2y(n-2) - 7y(n-6) + 4x(n) - 3x(n-3) - 5x(n-5).$$

Найти передаточную функцию и частотную характеристику цепи, привести схемы прямой формы I и прямой формы II канонической.

2. Сигнал на входе цифровой ЛИС-цепи {2, 2}, а ее импульсная характеристика {5, 3, 1}. Найти сигнал на выходе цепи.

3. Перевести в десятичную и шестнадцатеричную системы двоичное число 11100001011.

4. Проверить свойства однородности, аддитивности и гомогенности для системы

$$y(n) = 6x(n+2) + 4x(n+1) + 2x(n) + 1.$$

5. Найти z-преобразование следующей последовательности

$$x(n) = -5n2^n 1(n) + 7\left(\frac{1}{3}\right)^n 1(n).$$

6. Найти обратное z-преобразование

$$X(z) = \frac{1}{3 - 2z^{-1} + z^{-2}}.$$

7. Для последовательности {2, 1–i, 0, 1+i} выполнить обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ).

Список вопросов для коллоквиума

1. Способы образования последовательностей.
2. Разложение последовательностей в дискретный ряд Фурье.
3. *Z*-преобразование: бесконечные и конечные последовательности, физически реализуемые и нереализуемые последовательности, типовые последовательности ($\delta(n)$, $1(n)$, $e^{j\square n}$, a^n).
4. Соотношение между *Z*-преобразованием и Фурье преобразованием последовательности. Восстановление функции $X(z)$ по расположению нулей и полюсов.
5. Обратное *Z*-преобразование. Четыре способа его выполнения.
6. Свойства *Z*-преобразования: линейность, задержка, свертка последовательностей, перемножение последовательностей.
7. Одностороннее *Z*-преобразование. Задержка физически реализуемых последовательностей.
8. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): обратное преобразование, вывод формулы прямого преобразования, связь между ДПФ и *Z*-преобразованием, ДПФ последовательностей конечной длины, эффекты наложения.
9. Свойства дискретного преобразования Фурье: линейность, сдвиг, свойства симметрии.
10. Свёртка периодических последовательностей (круговая свертка).
11. Линейная свёртка конечных последовательностей.
12. Разностные уравнения и способы их решения: подстановка, решение в явном виде.
13. Решение разностных уравнений с применением одностороннего *Z*-преобразования.
14. Цифровые сигналы (определение). Типовые периодические сигналы и их спектры: последовательность показательных импульсов, косинусоидальное колебание, последовательность прямоугольных импульсов, последовательность прямоугольных радиоимпульсов. Типовые непериодические сигналы и их спектры: показательный импульс, прямоугольный импульс, прямоугольный радиоимпульс, цифровой единичный импульс $\delta(n)$, единичный скачок $1(n)$,.
15. Соотношение между спектрами непрерывных и цифровых сигналов.
16. Цифровые цепи (определение). Линейные цифровые цепи с постоянными параметрами: определение, связь между входной и выходной последовательностями.
17. Физическая реализуемость и устойчивость цифровых цепей.
18. Частотная характеристика цифровых цепей $H(e^{j\square}\square$. Нуль-полюсные диаграммы.
19. Способы построения цифровых цепей: прямые формы 1 и 2, каскадная (последовательная) и параллельная формы.
20. Построение цифровых цепей без полюсов: прямая форма, последовательная структура.

21. Нерекурсивная цепь 1 порядка: передаточная функция $H(z)$, условие устойчивости, частотные свойства (фильтр нижних и фильтр верхних частот), временные характеристики (импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакция на воздействие прямоугольного импульса).
22. Рекурсивная цепь 1 порядка: передаточная функция $H(z)$, условие устойчивости, частотные свойства (фильтр нижних и фильтр верхних частот), временные характеристики (импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакция на воздействие прямоугольного импульса).
23. Нерекурсивная цепь 2 порядка. Передаточная функция $H(z)$. Условие устойчивости. Частотные свойства: варианты реализации фильтров, условие линейности фазовой характеристики (4 вида фильтров с линейной фазовой характеристикой), фильтры нижних и верхних частот, полосовой и режекторный фильтры. Временные характеристики: импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакции на воздействие прямоугольного видеоимпульса и прямоугольного радиоимпульса.
24. Рекурсивная цепь 2 порядка. Передаточная функция $H(z)$. Условие устойчивости. Частотные свойства: варианты реализации фильтров, фильтры нижних и верхних частот, полосовой и режекторный фильтры. Временные характеристики: импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакции на воздействие прямоугольного видеоимпульса и прямоугольного радиоимпульса.

Контрольная работа

1 вариант

1. Число разрядов цифровой цепи увеличили на 5. Как изменится отношение сигнал/шум на ее выходе?

2. Для последовательности $\{5, 1+i, 0, 1-i\}$ выполнить обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ).

3. Классифицируйте следующее разностное уравнение

$$2y(n) + y(n-1) + \frac{1}{8}y(n-2) = 1^n 1(n).$$

4. Найти z-преобразование последовательности

$$x(n) = 3n2^n 1(n) - 5\left(\frac{1}{2}\right)^n 1(n).$$

5. Найти обратное z-преобразование

$$X(z) = \frac{1}{1+3z^{-1}+2z^{-2}}.$$

6. Цифровая цепь описывается разностным уравнением

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

Найдите передаточную функцию и частотную характеристику цепи, приведите следующие схемы:
а) прямая форма I (без учета эффектов квантования);
б) прямая форма II каноническая (с учетом эффектов квантования).

7. Привести основные характеристики для квантования типа усечение в прямом и обратном кодах.

8. Дано: сигнал на входе цифровой ЛИС-цепи {4, 4, 4} и ее импульсная характеристика {2, 1}. Найти сигнал на выходе цепи.

9. Перевести в десятичную и шестнадцатеричную системы двоичное число 100101001001.

10. Приведите схему для преобразования частоты дискретизации от 44100 Гц (CD-диски) до 48000 Гц (цифровой магнитофон).

2 вариант

1. Число разрядов цифровой цепи уменьшили на 3. Как изменится отношение сигнал/шум на ее выходе?

2. Для последовательности {2, 0, –1, 1} выполнить дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

3. Является ли разностное уравнение

$$2y(n) + y(n-1) + \frac{1}{8}y(n-2) = 1^n 1(n)$$

линейным?
Однородным?

4. Найти z-преобразование последовательности

$$x(n) = -5n3^n 1(n) + 2\left(\frac{1}{3}\right)^n 1(n).$$

5. Найти обратное z-преобразование

$$X(z) = \frac{1}{1 - 2z^{-1} + 3z^{-2}}.$$

6. Цифровая цепь описывается разностным уравнением

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

Найдите передаточную функцию и частотную характеристику цепи, приведите следующие схемы:
а) прямая форма I (без учета эффектов квантования);
б) прямая форма II каноническая (с учетом эффектов квантования).

7. Привести основные характеристики для квантования типа усечение в дополнительном коде.

8. Дано: сигнал на входе цифровой ЛИС-цепи {2, 2}, а ее импульсная характеристика {4, 2, 1}. Найти сигнал на выходе цепи.

9. Перевести в десятичную и шестнадцатеричную системы двоичное число 110101001011.

10. Приведите схему для преобразования частоты дискретизации от 48000 Гц (цифровой магнитофон) до 44100 Гц (CD-диски).

Отчёты по лабораторным работам

При выполнении лабораторной работы оформляется отчёт с целью, задачами, методами, статистической обработкой результатов, выводами. Производится защита лабораторных работ в форме собеседования по результатам и ответов на контрольные вопросы по теме работы.

Задания для самостоятельной работы

Критерии оценивания домашних заданий, ответов на вопросы, решений задач

Показатели	Критерии
Ответ	Верный, с правильными единицами измерения (для размерных величин).
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.
Решение	Имеются приводящие к ответу выкладки.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.

Шкала оценивания:
0 баллов – полное отсутствие критерия, работа не сдана в срок;
1-4 балла – частичное выполнение критерия;
5 - 7 баллов – (в основном) выполнение критерия,
8-10 баллов -полное выполнение критерия

Суммируются баллы за каждое задание.

Оценка проставляется по количеству набранных баллов:
менее 50% от максимально возможного количества баллов - неудовлетворительно,
от 51до 69% от максимально возможного количества баллов - удовлетворительно,
70-85% от максимально возможного количества баллов - хорошо,
86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

ВНИМАНИЕ!!! При рейтинговой системе оценки знаний все виды заданий должны быть выполнены студентом в течение семестра по установленным преподавателем срокам на каждое задание.

Вопросы к защите лабораторных работ приведены в методических указаниях к каждой работе.

Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы

Показатели	«Зачтено»	«Не зачтено»
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.	В базовых выражениях допущены ошибки
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.	Вид зависимостей неверный

Показатели	«Зачтено»	«Не зачтено»
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины. Указано назначение элементов схемы.	Неверный набор элементов или неверное их соединение, в том числе неверная полярность включения
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.	Объяснение отсутствует

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

По итогам изучения дисциплины в конце семестра проводится экзамен.

Список вопросов для экзамена

1. Способы образования последовательностей.
2. Разложение последовательностей в дискретный ряд Фурье.
3. *Z*-преобразование: бесконечные и конечные последовательности, физически реализуемые и нереализуемые последовательности, типовые последовательности ($\delta(n)$, $1(n)$, $e^{j\square n}$, a^n).
4. Соотношение между *Z*-преобразованием и Фурье преобразованием последовательности. Восстановление функции $X(z)$ по расположению нулей и полюсов.
5. Обратное *Z*-преобразование. Четыре способа его выполнения.
6. Свойства *Z*-преобразования: линейность, задержка, свертка последовательностей, перемножение последовательностей.
7. Одностороннее *Z*-преобразование. Задержка физически реализуемых последовательностей.
8. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ): обратное преобразование, вывод формулы прямого преобразования, связь между ДПФ и *Z*-преобразованием, ДПФ последовательностей конечной длины, эффекты наложения.
9. Свойства дискретного преобразования Фурье: линейность, сдвиг, свойства симметрии.
10. Свёртка периодических последовательностей (круговая свертка).
11. Линейная свёртка конечных последовательностей.
12. Разностные уравнения и способы их решения: подстановка, решение в явном виде.
13. Решение разностных уравнений с применением одностороннего *Z*-преобразования.
14. Цифровые сигналы (определение). Типовые периодические сигналы и их спектры: последовательность показательных импульсов, косинусоидальное колебание, последовательность прямоугольных импульсов, последовательность прямоугольных радиоимпульсов. Типовые непериодические сигналы и их спектры: показательный импульс, прямоугольный импульс, прямоугольный радиоимпульс, цифровой единичный импульс $\delta(n)$, единичный скачок $1(n)$,.
15. Соотношение между спектрами непрерывных и цифровых сигналов.
16. Цифровые цепи (определение). Линейные цифровые цепи с постоянными параметрами: определение, связь между входной и выходной последовательностями.
17. Физическая реализуемость и устойчивость цифровых цепей.
18. Частотная характеристика цифровых цепей $H(e^{j\square}\square$. Нуль-полюсные диаграммы.

19. Способы построения цифровых цепей: прямые формы 1 и 2, каскадная (последовательная) и параллельная формы.
20. Построение цифровых цепей без полюсов: прямая форма, последовательная структура.
21. Нерекурсивная цепь 1 порядка: передаточная функция $H(z)$, условие устойчивости, частотные свойства (фильтр нижних и фильтр верхних частот), временные характеристики (импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакция на воздействие прямоугольного импульса).
22. Рекурсивная цепь 1 порядка: передаточная функция $H(z)$, условие устойчивости, частотные свойства (фильтр нижних и фильтр верхних частот), временные характеристики (импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакция на воздействие прямоугольного импульса).
23. Нерекурсивная цепь 2 порядка. Передаточная функция $H(z)$. Условие устойчивости. Частотные свойства: варианты реализации фильтров, условие линейности фазовой характеристики (4 вида фильтров с линейной фазовой характеристикой), фильтры нижних и верхних частот, полосовой и режекторный фильтры. Временные характеристики: импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакции на воздействие прямоугольного видеоимпульса и прямоугольного радиоимпульса.
24. Рекурсивная цепь 2 порядка. Передаточная функция $H(z)$. Условие устойчивости. Частотные свойства: варианты реализации фильтров, фильтры нижних и верхних частот, полосовой и режекторный фильтры. Временные характеристики: импульсная $h(n)$ и переходная $g(n)$ характеристики, реакции на воздействие прямоугольного видеоимпульса и прямоугольного радиоимпульса.
25. Децимация цифровых сигналов. Этапы децимации. Соотношение вход-выход всей системы децимации. Реализация системы децимации.
26. Интерполяция цифровых сигналов. Этапы интерполяции. Соотношение вход-выход всей системы интерполяции. Реализация системы интерполяции: структуры 1 и 2.
26. Виды случайных последовательностей.
27. Характеристики случайных последовательностей
- функция распределения вероятностей $F(x;n_1)$,
- плотность распределения вероятностей $W(x;n_1)$, распределение вероятностей $P(x_k;n_1)$,
- среднее значение (математическое ожидание) $m_x(n_1)= E[x(n_1)]$,
- дисперсия $D_x(n_1)= \sigma_x^2(n_1)$,
- корреляционная функция $R_x(n_1, n_2)$;
- ковариационная функция $K_x(n_1, n_2)$

28. Стационарные случайные последовательности:
- определение;
- свойства ковариационной функции $K_x(n_1, n_2)$ и дисперсии $\sigma_x^2(n_1)$ стационарной случайной последовательности
- свойства корреляционной функции $R_x(n_1, n_2)$ стационарной случайной последовательности.

29. Энергетический спектр $S(e^{j\square\square\square}$стационарной случайной последовательности. Теорема Винера-Хинчина для стационарной случайной последовательности.
30. Примеры случайных последовательностей:
- гауссовская стационарная случайная последовательность (одномерная $W(x)$ и двумерная $W(x_1, x_2, m)$ плотности вероятностей, свойства гауссовских случайных последовательностей);
- белый шум дискретного времени $\vartheta(n)$ (корреляционная функция $R_\vartheta(m)$ энергетический спектр $S_\vartheta(e^{j\square\square}$.

31. Системная корреляционная функция цифровой цепи $R_h(m)$. Связь системной корреляционной функции $R_h(m)$ и передаточной функции $H(z)$ цифровой цепи. Системная корреляционная функция рекурсивной цепи первого порядка.
32. Связь между характеристиками случайных последовательностей на входе и выходе цифровой цепи:
- связь между мгновенными значениями,
- связь между средними значениями,
- связь между плотностями вероятностей,
- связь между корреляционными функциями,
- связь между энергетическими спектрами.

Корреляционная функция отклика рекурсивной цепи первого порядка на воздействие белого шума дискретного времени $\vartheta(n)$.

33. Аналого-цифровое преобразование сигналов.

34. Представление чисел в двоичной системе счисления:
- выравнивание чисел справа,
- выравнивание чисел слева,
- представление чисел с плавающей запятой,
- представление отрицательных чисел (прямой код со знаком, дополнительный код)

35. Усечение и округление чисел:
- характеристики квантователей и ошибки квантования при представлении чисел в прямом и дополнительном кодах,
- ошибки квантования при представлении чисел с плавающей запятой.

36. Квантование сигнала:
- представление квантованного отсчета сигнала,
- линейная статистическая модель ошибок квантования,
- среднее значение m_e и дисперсия σ_e^2 ошибки квантования для усечения и округления чисел при представлении чисел в прямом и дополнительном кодах,
- оценка вклада ошибок квантования в виде отношения мощности сигнала σ_x^2 к мощности шума квантования σ_e^2.

37. Цифро-аналоговое преобразование сигналов:
- интерполяционная формула восстановления сигнала непрерывного времени $x(t)$ по выборкам цифрового сигнала $x(nT)$,
- структурная схема, принцип действия (с графическими иллюстрациями) цифро-аналогового преобразователя.

38. Воздействие шума квантования на идеальную цифровую цепь: общий случай, рекурсивная цепь 1 порядка, рекурсивная цепь 2 порядка.

39. Квантование арифметических операций в БИХ-цепях:
- модель умножителя, учитывающая эффекты квантования,
- модель цепи 2 порядка, реализуемая по прямой форме 2, учитывающая эффекты квантования в умножителях,
- модели рекурсивных цепей 1 и 2 порядка, учитывающие эффекты квантования в умножителях.

40. Ограничения, вызванные переполнением в цифровых цепях. Отношение сигнал/шум на выходе рекурсивной цепи 1 порядка с квантованием (в случае округления или усечения в дополнительном коде) при подаче на ее вход синусоидального сигнала.

41. Квантование арифметических операций в КИХ-цепях: дисперсия шума квантования на выходе КИХ-цепи в случае ее реализации в прямой и каскадной формах.

42. Нелинейные колебания, вызванные квантованием и переполнением, в цифровых цепях. Примеры рекурсивных цепей 1 и 2 порядков. Мертвая зона рекурсивных цепей 1 и 2 порядков.

43. Квантование коэффициентов цифровых цепей: связь между изменениями координат полюсов r и θ рекурсивной цепи 2 порядка и ошибками задания коэффициентов b_1 и b_2 цепи.

44. Техническая реализация цифровых цепей:
- общая структурная схема технических средств реализации цифровой цепи,
- критерии выбора варианта аппаратной реализации.

Пример реализации нерекурсивной цепи 4 порядка в прямой форме:
- уравнение, передаточная функция и структурная схема цепи,
- структурная схема, принцип действия и последовательность работы специализированного устройства.

Экзамен принимается по билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса.

Тестовые задания для контроля или самоконтроля уровня сформированности компетенций за время освоения дисциплины

Вариант 1

Проверка 1 сформированности ПК-2

1. Какой должна быть частота дискретизации по сравнению с верхней частотой спектра дискретизируемого сигнала: а) равной б) выше в 3 раза в) выше в 2 раза г) не зависит от верхней частоты
2. Сколько умножителей содержит цифровая цепь 1 порядка, реализованная по прямой форме 1: а) три б) два в) один
3. Сколько элементов задержки содержит цифровая цепь 2 порядка, реализованная по прямой форме 1: а) три б) четыре в) пять
4. Цифровой сигнал с частотой дискретизации 6 кГц в 1-й зоне Найквиста занимает полосу частот от 0 до 1 кГц. Во сколько раз можно максимально понизить частоту дискретизации при децимации, не нарушая требований теоремы о дискретизации: а) в 2 раза б) в 3 раза в) в 4 раза
5. Что представляет собой выходной сигнал дискретизатора: а) огибающую входного сигнала б) выборки огибающей входного сигнала в) выборки входного сигнала
6. Какие сигналы имеются на входе и выходе аналого-цифрового преобразователя: а) на входе сигнал непрерывного времени, на выходе сигнал непрерывного времени б) на входе сигнал дискретного времени, на выходе сигнал непрерывного времени в) на входе сигнал непрерывного времени, на выходе сигнал дискретного времени

Лист ответов ЦЦиС ПК-2

_____ ФИО, группа

№ задания	1	2	3	4	5	6
Ваш выбор						

Проверка 2 сформированности ПК-2

7. В ходе компьютерного эксперимента получена импульсная характеристика фильтра, являющаяся зеркальным отражением входного сигнала. Какой вывод можно сделать о свойствах фильтра по результатам опыта? а) исследовался согласованный фильтр б) это фильтр Найквиста в) такой фильтр подавляет низкие частоты
8. Для идентификации закона распределения дискретного случайного процесса с помощью пакета Matlab требуется объем выборки не менее: а) 1 отсчет б) 10 отсчетов в) 1000 отсчетов
9. Для какой цели предназначена функция fft() в пакете Matlab: а) Расчет прямого дискретного преобразования Фурье

б) Расчет обратного дискретного преобразования Фурье в) расчет свертки
10. С помощью какой функции в пакете Matlab можно рассчитать импульсную характеристику цифровой цепи? а) stepz() б) impz() в) freqz() г) filter()
11. Какова максимальная полоса обзора в спектроанализаторе в среде Simulink при анализе цифровых сигналов (fд – частота дискретизации)? а) от 0 до fд б) от – fд/2 до fд/2 в) от – fд до fд г) от 0 до fд/2

Лист ответов ЦЦиС ПК-2

_____ ФИО, группа

№ задания	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Ваш выбор					

Вариант 2

Проверка 1 сформированности ПК-2

1. Чему равен период спектра цифрового сигнала: 1) половине частоты дискретизации 2) частоте дискретизации 3) двум частотам дискретизации 4) не зависит от частоты дискретизации
2. Сколько умножителей содержит цифровая цепь 2 порядка, реализованная по прямой форме 1: 1) три 2) четыре 3) пять
3. Сколько элементов задержки содержит цифровая цепь 1 порядка, реализованная по прямой форме 1: 1) один 2) два 3) три
4. Цифровой сигнал с частотой дискретизации 6 кГц в 1-й зоне Найквиста занимает полосу частот от 0 до 1 кГц. Во сколько раз можно повысить частоту дискретизации при интерполяции, не нарушая требований теоремы о дискретизации: 1) в 2 раза 2) в 3 раза 3) в 4 раза 4) в произвольное число раз
5. Чем отличаются сигналы на входе и выходе квантователя: 1) мгновенными значениями сигналов 2) частотой дискретизации 3) огибающими сигналов
6. Частота среза фильтра нижних частот, подключаемого к выходу аналого-цифрового преобразователя, равна: 1) удвоенной частоте дискретизации цифрового сигнала 2) частоте дискретизации цифрового сигнала 3) верхней частоте спектра в 1-й зоне Найквиста цифрового сигнала

Лист ответов ЦЦиС ПК-2

_____ ФИО, группа

№ задания	1	2	3	4	5	6
Ваш выбор						

Проверка 2 сформированности ПК-2

7. В ходе компьютерного эксперимента получена импульсная характеристика фильтра, являющаяся зеркальным отражением входного сигнала. Какой вывод можно сделать о свойствах фильтра по результатам опыта? а) это фильтр Найквиста б) исследовался согласованный фильтр в) такой фильтр подавляет низкие частоты
8. Для идентификации закона распределения дискретного случайного процесса с помощью пакета Matlab требуется объем выборки не менее: а) 1 отсчет б) 10 отсчетов в) 1000 отсчетов
9. Для какой цели предназначена функция ifft() в пакете Matlab: а) Расчет прямого дискретного преобразования Фурье б) Расчет обратного дискретного преобразования Фурье в) расчет свертки
10. С помощью какой функции в пакете Matlab можно рассчитать переходную характеристику цифровой цепи? а) stepz() б) impz() в) freqz() г) filter()
11. Какова максимальная полоса обзора в спектроанализаторе в среде Simulink при анализе цифровых сигналов (fд – частота дискретизации)? а) от 0 до fд/2 б) от 0 до fд в) от – fд/2 до fд/2 г) от – fд до fд

Лист ответов ЦЦиС ПК-2

_____ ФИО, группа

№ задания	7	8	9	10	11
Ваш выбор					

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Цифровые цепи и сигналы»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине являются лекции и практические занятия, причем последние – в относительно большем объеме. Для успешного освоения дисциплины очень важно выполнение заданий, предлагаемых персонально тем самостоятельных заданий, и обсуждение их на практических занятиях. На практических занятиях проводится устный опрос. Критерии оценивания ответов и заданий приведены в рабочей программе. В этой же системе сдаются выполненные задания для самостоятельной работы (за исключением докладов).

Критерии оценивания самостоятельных заданий

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопросы билета раскрыты на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные

Критерии оценивания ответов на вопросы опроса на практических занятиях

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок

Ключевым для освоения дисциплины является наработка умения выбирать и применять для построения систем передачи информации наиболее подходящий в конкретных условиях метод, а также умения формулировать задачу и задавать исходные данные, в том числе по результатам источникового поиска.

По итогам изучения дисциплины в конце семестра проводится экзамен. Экзамен принимается по билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса.

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпываю-щий полный ответ

Учебно-методическое обеспечение
самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать издания, указанные в списке основной и дополнительной литературы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.

4. Электронные бибилиотечные системы, на которые имеется подписка ЯрГУ, перечень см. http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net_res(1).php

5. Материалы сайта http://matlab.exponenta.ru/index.php, посвященного вопросам моделирования цифровых цепей и сигналов.