

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по образованию
в области информатики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ А.Г.Баханович

Регистрационный № ТД-_____/тип.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине
для специальности

1-45 01 01 Инфокоммуникационные технологии (по направлениям)

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по образованию в
области информатики и
радиоэлектроники

_____ В.А. Богуш

СОГЛАСОВАНО

Начальник Главного управления
профессионального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ С.Н.Пищов

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ И.В. Титович

Эксперт-нормоконтролер

Минск 2023

СОСТАВИТЕЛИ:

В.А.Ильинков, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

Н.И.Беленкевич, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра связи учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» (протокол № 12 от 28.02.2023);

С.Н.Касанин, заместитель генерального директора по научной работе государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 10 от 31.01.2023);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 7 от 17.03.2023);

Научно-методическим советом по системам и сетям инфокоммуникаций Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 1 от 27.01.2023)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Основы теории фильтрации» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-45 01 01 Инфокоммуникационные технологии (по направлениям) в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования первой степени и типового учебного плана вышеуказанной специальности.

Учебная дисциплина «Основы теории фильтрации» является базовой дисциплиной в системе профессиональной подготовки инженеров по инфокоммуникациям специальности 1-45 01 01 Инфокоммуникационные технологии (по направлениям). Она предусматривает изучение фундаментальных вопросов теории фильтрации, необходимых для последующего изучения основных принципов построения аналоговых и цифровых инфокоммуникационных систем и устройств. Успешное изучение материала позволит сформировать требуемый объем теоретических и практических знаний, обеспечивающий понимание основных проблем анализа и синтеза сложных инфокоммуникационных систем и возможность оценки их качества по различным критериям.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: освоение свойств, методов анализа и синтеза устройств линейной и оптимальной линейной фильтрации.

Задачи учебной дисциплины:

изучение принципов анализа и синтеза аналоговых и цифровых устройств фильтрации и устройств (квази)оптимальной линейной фильтрации;

приобретение знаний в области методов проектирования реактивных и активных аналоговых фильтров, рекурсивных и нерекурсивных дискретных фильтров, методов реализации оптимальных линейных фильтров;

приобретение навыков практического применения основ теории фильтрации при проектировании и разработке инфокоммуникационных устройств и систем различного назначения.

Базовыми учебными дисциплинами для учебной дисциплины «Основы теории фильтрации» являются «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Математический анализ», «Физика», «Основы инфокоммуникационных технологий», «Основы теории сигналов», «Теория вероятности и математическая статистика». В свою очередь учебная дисциплина «Основы теории фильтрации» является базой для такой учебной дисциплины, как «Основы теории кодирования», а также для учебных дисциплин компонента учреждения высшего образования «Методы формирования и передачи

сигналов», «Функциональные устройства инфокоммуникаций», «Цифровые системы передачи», «Волоконно-оптические системы передачи и транспортные сети», «Основы построения систем цифровой радиосвязи», «Методы приема и обработки сигналов», «Моделирование сигналов и систем инфокоммуникаций», «Системы телевизионного и звукового вещания», «Радиопередающие и радиоприемные устройства инфокоммуникаций», «Теория передачи, обработки и хранения информации».

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Основы теории фильтрации» формируется следующая базовая профессиональная компетенция: проектировать фильтры и рассчитывать их характеристики.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

принципы реализации различных устройств фильтрации;

уметь:

характеризовать методы анализа и синтеза различных устройств фильтрации и этапы разработки этих устройств;

владеть:

основными механизмами проектирования различных устройств фильтрации.

В рамках образовательного процесса по учебной дисциплине «Основы теории фильтрации» студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

Типовая учебная программа рассчитана на 114 учебных часов, из них – 52 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 32 часа, лабораторные занятия – 20 часов.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Всего аудиторных часов	Лекции	Лабораторные занятия
Введение в теорию фильтрации	2	2	-
Раздел 1. Основы теории четырехполюсников	8	4	4
Тема 1. Общее описание четырехполюсников	2	2	-
Тема 2. Частотные и временные характеристики четырехполюсников	6	2	4
Раздел 2. Основы теории аналоговых линейных фильтров	18	10	8
Тема 3. Анализ и синтез реактивных фильтров	8	4	4
Тема 4. Анализ и синтез ARC-фильтров	10	6	4
Раздел 3. Основы теории цифровых линейных фильтров	14	10	4
Тема 5. Общие принципы реализации дискретной фильтрации сигналов	4	4	-
Тема 6. Анализ и синтез цифровых фильтров	10	6	4
Раздел 4. Основы теории оптимальной линейной фильтрации сигналов	10	6	4
Тема 7. Принципы оптимальной линейной фильтрации сигналов на фоне помех	2	2	-
Тема 8. Реализация оптимальных линейных фильтров	8	4	4
Итого:	52	32	20

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ФИЛЬТРАЦИИ

Линейная и оптимальная линейная фильтрация сигналов. Разновидности устройств линейной фильтрации.

Раздел 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Тема 1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Разновидности и свойства четырехполосников. Уравнения передачи четырехполосников: системы уравнений, свойства их параметров, уравнения передачи в матричной форме. Параметры холостого хода и короткого замыкания. Характеристические параметры, внешние характеристики четырехполосников.

Тема 2. ЧАСТОТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Частотные характеристики четырехполосников (АЧХ, ФЧХ, $K(j\omega)$, ХРЗ и ХГВЗ): определение, разновидности и размерности; графическое отображение частотных свойств четырехполосников. Временные характеристики четырехполосников (импульсная и переходная): определение, разновидности, размерности, взаимосвязь импульсной и переходной характеристик, Операторная передаточная функция четырехполосников: определение, свойства операторных передаточных функций физически реализуемых четырехполосников, корневой портрет $K(p)$. Минимально- и неминимально-фазовые четырехполосники, особенности их операторных передаточных функций. Взаимосвязь операторной и комплексной передаточных функций. Взаимосвязь временных и частотных характеристик четырехполосников.

Раздел 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНАЛОГОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ФИЛЬТРОВ

Тема 3. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РЕАКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

Классификация фильтров, требования к фильтрам. Операторные функции реактивных фильтров, уравнение Фельдткеллера. Нормирование элементов и частоты. Аппроксимация характеристик ФНЧ, функция фильтрации. Свойства, операторные и частотные характеристики ФНЧ Баттерворта, Чебышева и Золотарева-Кауэра. Методы реализации ФНЧ. Реактансное преобразование частоты, переход от ФНЧ-прототипа к ФВЧ, ПФ и ЗФ. Преобразование схем реактивных фильтров. Порядок проектирования ФНЧ, ФВЧ, ПФ и ЗФ по методу рабочих параметров.

Тема 4. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ARC-ФИЛЬТРОВ

RC-фильтры нижних и верхних частот: свойства, передаточные и частотно-временные характеристики. Линейное устройство с обратной связью: передаточная функция, виды обратных связей, устойчивость. Построение активных фильтров на основе операционных усилителей. Разновидности активных фильтров: аналоговый интегратор, фильтр с однопетлевой обратной связью, фильтр с двухпетлевой обратной связью. Преобразование передаточных функций активных фильтров. Порядок проектирования ARC-фильтров.

Раздел 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦИФРОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ФИЛЬТРОВ

Тема 5. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСКРЕТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Сущность дискретной фильтрации. Общее уравнение дискретного фильтра (ДФ). Передаточные функции и характеристики (не)рекурсивных ДФ, устойчивость рекурсивных ДФ. Z-преобразование сигналов и передаточных функций ДФ. Способы реализации, типовые звенья ДФ.

Тема 6. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Структура, свойства и характеристики нерекурсивных ДФ I и II порядков. Структура, свойства и характеристики рекурсивных ДФ I и II порядков. ДФ с комплексными весовыми коэффициентами. Постановка задачи и этапы синтеза ДФ. Методы синтеза нерекурсивных ДФ, прямые субоптимальные методы взвешивания и частотной выборки. Методы синтеза рекурсивных ДФ, прямые (суб)оптимальные методы, методы проектирования по аналоговому прототипу (методы численного интегрирования, инвариантности импульсной характеристики, (обобщенного) билинейного Z-преобразования, цифрового частотного преобразования). Синтез дискретных ФВЧ, ПФ и ЗФ. Построение, свойства и характеристики цифрового фильтра (ЦФ): функциональная схема ЦФ; аналого-цифровое, цифро-аналоговое преобразования и интерполяция; погрешности квантования сигналов и коэффициентов ЦФ; ошибки округления.

Раздел 4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Тема 7. ПРИНЦИПЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ

Задачи оптимального приема сигналов на фоне помех: фильтрация, обнаружение, различение, разрешение. Оптимальная линейная фильтрация детерминированных сигналов: постановка задачи; передаточная и импульсная характеристики согласованного фильтра; физическая реализуемость; сигнал и помеха на выходе согласованного фильтра. Фильтрация детерминированного сигнала при небелом шуме. Согласованная фильтрация комплексного сигнала, квадратурная обработка. Цифровой согласованный фильтр. Оптимальная линейная фильтрация случайных сигналов: постановка задачи; критерий оптимальности; минимизация дисперсии ошибки.

Тема 8. РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ФИЛЬТРОВ

Методы реализации (квази)оптимальной фильтрации сигналов: частотная фильтрация; метод накопления; корреляционная фильтрация; согласованная фильтрация. Реализация и свойства согласованных фильтров известных сигналов: прямоугольного видеоимпульса и пачки видеоимпульсов; сигналов Баркера; прямоугольного радиоимпульса; импульса с линейной частотной модуляцией. Квазиоптимальные линейные фильтры.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебное пособие для вузов / И. С. Гоноровский. – 5-е изд., испр. и доп. – Москва : Дрофа, 2006. – 717 с.
2. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / С. И. Баскаков. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва : Ленанд, 2016. – 519 с.
3. Иванов, М. Т. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / М. Т. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков. – Санкт-Петербург : Питер, 2014. – 336 с.
4. Ремизов, С. Л. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие для вузов / С. Л. Ремизов, Ю. В. Рясный, Е. В. Дежина, Ю. С. Черных. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2019. – 492 с.
5. Бакалов, В. П. Основы теории цепей : учебное пособие для вузов / В. П. Бакалов, В. Ф. Дмитриков, Б. И. Крук. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2013. – 596 с.
6. Теория электрической связи: курс лекций : учебное пособие для вузов / Р. Н. Андреев, Р. П. Краснов, М. Ю. Чепелев. – 2-е изд., испр. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. – 230 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

7. Марченко, А. Л. Основы преобразования информационных сигналов : учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко, Е. А. Марченко. – 2-е изд., стереотип. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. – 287 с.
8. Марченко, А. Л. Частотные фильтры: пассивные, активные и цифровые : учебно-методическое пособие / А. Л. Марченко. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. – 166 с.
9. Аджемов, А. С. Общая теория связи : учебник для вузов / А. С. Аджемов, В. Г. Санников. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2018. – 624 с.
10. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
11. Брюханов, Ю. А. Цифровые цепи и сигналы : учебное пособие для вузов / Ю. А. Брюханов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. – 160 с.
12. Клюев, Л. Л. Теория электрической связи : учебник / Л. Л. Клюев. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 448 с.
13. Гадзиковский, В. И. Методы проектирования цифровых фильтров / В. И. Гадзиковский. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2007. – 416 с.
14. Гадзиковский, В. И. Цифровая обработка сигналов/ В. И. Гадзиковский. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2015. – 766 с.

15. Белецкий, А. Ф. Теория линейных электрических цепей : учебник для вузов / А. Ф. Белецкий. – 2-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 544 с.

16. Сергеев, В. В. Теория электрических цепей. Расчет LC-фильтров с учетом эксплуатационных показателей : учебное пособие для вузов / В. В. Сергеев. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 116 с.

17. Бакалов, В. П. Основы синтеза цепей : учебное пособие для вузов / В. П. Бакалов [и др.]; под ред. В. П. Бакалова. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. – 358 с.

18. Смирнов, Н. И. Теория электрических цепей : учебник для вузов / Н. И. Смирнов, В. В. Фриск. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2019. – 286 с.

19. Афанасьев, А. А. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов / А. А. Афанасьев, А. А. Рыболовлев, А. П. Рыжков. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. – 356 с.

20. Надольский, А. Н. Теоретические основы радиотехники : учебно-методическое пособие / А. Н. Надольский. – Минск : БГУИР, 2014. – 202 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

работа с конспектом лекции: дополнение конспекта учебным материалом (учебника, учебного пособия, нормативных документов и материалом электронного ресурса);

изучение текста (учебника, учебного пособия, первоисточника, дополнительной литературы);

конспектирование текста (работа со справочниками, нормативными документами);

ответы на контрольные вопросы;

решение задач и упражнений по образцу;

подготовка к лабораторной работе;

подготовка рефератов по основным разделам учебной дисциплины с их устной защитой перед студенческой аудиторией;

аннотирование и реферирование иностранных текстов по тематике учебной дисциплины.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовым учебным планом по специальности 1-45 01 01 Инфокоммуникационные технологии (по направлениям) в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Основы теории фильтрации» рекомендуется зачет. Оценка учебных достижений студента производится по системе «зачтено/не зачтено».

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов могут использоваться следующие формы:

- защита лабораторных работ;
- решение задач;
- контрольный опрос;
- контрольная работа.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ)

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

- мультимедийные технологии преподавания: повышают наглядность информации, что способствует более глубокому восприятию содержания;
- традиционное обучение: способствует освоению фундаментальных законов и теорий учебной дисциплины;
- использование обучающих программно-аппаратных комплексов.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Исследование характеристических параметров и частотно-временных характеристик линейных пассивных четырехполюсников.
2. Исследование частотно-временных характеристик ФНЧ моделей Баттерворта и Чебышева.
3. Исследование свойств и характеристик активных аналоговых фильтров.
4. Исследование свойств и характеристик нерекурсивных цифровых фильтров.
5. Исследование свойств и характеристик устройств квазиоптимальной фильтрации сигналов Баркера.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

(*необходимого оборудования, наглядных пособий и др.*)

1. Персональный компьютер.
2. Система компьютерной математики MathCad.
3. Обучающий программно-аппаратный комплекс в составе генератора сигналов произвольной формы, осциллографа, спектроанализатора и программ моделирования сигналов и звеньев.