

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12287/уч.

СХЕМОТЕХНИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1 - 31 03 01 Математика (по направлениям)

Направление специальности:

**1 - 31 03 01 - 04 Математика (научно-конструкторская
деятельность)**

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2021, типового учебного плана № G31-1-011/пр-тип. от 31.03.2021 и учебного плана № G31-1-018/уч. от 25.05.2021.

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.Е. Бухтояров, доцент кафедры математической кибернетики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

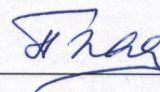
М.И. Вашкевич, доцент кафедры электронных вычислительных средств Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой математической кибернетики БГУ
(протокол № 11 от 28.06.2023);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023)

Заведующий кафедрой
математической кибернетики



А.Л. Гладков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Все разнообразные средства аналоговой и цифровой техники: ЭВМ, микропроцессорные системы, радиосвязь и телевидение и т.д. строятся на элементной базе, в состав которой входят чрезвычайно разные по сложности микросхемы – от логических элементов, выполняющих простейшие операции, до сложнейших программируемых кристаллов, содержащих миллионы логических элементов. Чтобы разрабатывать или изготавливать такую технику, следует, прежде всего, знать процессы, происходящие в электрических цепях при различных условиях, а также законы, которым подчиняются эти процессы. Многие из этих законов изучаются в дисциплине «Схемотехника».

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины «Схемотехника» является систематическое изучение схем и устройств цифровой техники, овладение методами построения и минимизация цифровых устройств, повышение уровня профессиональной компетентности студентов в области цифровых средств обработки информации.

Развивающей целью является дальнейшее формирование у студентов навыков математического и конструкторского мышления.

Воспитательной целью является формирование у студентов стремления к дальнейшему получению знаний в области электроники и вычислительной техники и их использованию в прикладных задачах.

Основными задачами, решаемыми в рамках изучения дисциплины «Схемотехника», являются

- закрепление основных понятий и законов теории электрических цепей;
- изучение принципов построения цифровых устройств;
- приобретение навыков моделирования цифровых систем и простейших электрических цепей.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к модулю «Математическая электроника» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Изложение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Введение в специальность», «Дискретная математика и теория графов», «Теория булевых функций», «Физические основы электроники», «Теория электрических цепей и сигналов». В свою очередь, знания, полученные при ее изучении, являются основой для последующего изучения дисциплин «Языки описания аппаратно-программных систем», «Схемотехника аппаратно-программных систем», «САПР аппаратно-программных систем».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Схемотехника» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**:

СК – 8. Применять при проектировании аппаратно-программных систем знания об их электрических и схемотехнических особенностях функционирования.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- свойства, параметры, характеристики частотно-избирательных цепей;
- принципы построения, функционирования и синтеза цифровых устройств;
- принципы анализа цифровых устройств, устройств с использованием средств компьютерного моделирования;

уметь:

- использовать ЭВМ для моделирования и расчета характеристик электрических цепей;
- определять путем расчета и моделирования параметры и характеристики логических элементов;
- синтезировать схемы цифровых устройств;
- выполнять функциональный анализ различных цифровых устройств и определять их основные характеристики и параметры;

владеть:

- методами синтеза, анализа и расчета цифровых устройств.

Структура учебной дисциплины

Учебная программа по дисциплине «Схемотехника» предназначена для студентов очной формы получения высшего образования по специальности 1-31 03 01 Математика (по направлениям), направление специальности 1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность).

Дисциплина изучается в 5-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Схемотехника» отведено 108 часов, из них 72 аудиторных часа, в том числе: лекции – 36 часов, практические занятия – 24 часа, лабораторные занятия – 6 часа, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет и экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Цифровая схемотехника.

Тема 1.1. Математические основы проектирования цифровых схем

Основы алгебры логики. Выполнение логических операций. Способы представления функций. Таблица истинности. Переход от табличного представления функции к алгебраическому. Частично определенные функции. Минимизация логических функций. Карты Карно.

Тема 1.2. Базовые логические элементы ИС

Основные параметры базовых логических элементов. Схемотехническая реализация базовых логических элементов на КМОП структурах. Расчет основных статических и динамических параметров базовых логических элементов. Система параметров цифровых ИС. Логические элементы с тремя состояниями.

Тема 1.3. Функциональные узлы комбинационного типа

Методика синтеза комбинационных устройств. Преобразователи кодов. Шифраторы, дешифраторы. Мультиплексеры и демультиплексеры. Компараторы. Сумматоры, арифметико-логические устройства. Схема ускоренного переноса.

Тема 1.4. Функциональные узлы последовательного типа

Триггерные устройства. J-K, R-S, D, T триггеры. Регистры. Двоичные и десятичные счетчики. Счетчики с изменяемым модулем счета. Синхронные и асинхронные устройства. Методика синтеза устройств последовательного типа.

Тема 1.5. Интегральные запоминающие устройства (ЗУ)

Классификация ЗУ. Принципы построения. Статические и динамические ЗУ. ОЗУ, ПЗУ, ЭСППЗУ. Схемотехническая реализация элементов памяти. Принципы построения систем памяти.

Раздел 2. Основы аналоговой схемотехники.

Тема 2.1. Операционный усилитель и его свойства.

Понятие идеального операционного усилителя (ОУ). Модели и обобщенная структурная схема ОУ. Элементы схемотехники ОУ: дифференциальный каскад, генераторы стабильных тока и напряжения, трансляторы уровня, выходные каскады. Основные параметры. Устойчивость ОУ. Частотная коррекция и ее схемотехническое обеспечение.

Тема 2.2. Функциональные устройства на ОУ.

Инвертирующая и неинвертирующая схемы включения ОУ, преобразователь “ток-напряжение”. Многовходовый сумматор и дифференциальный усилитель на ОУ. Понятие измерительного усилителя. Дифференциатор, интегратор, схемы логарифмирования и

антилогарифмирования. Реализация аналоговых перемножителей и делителей. Нелинейные функциональные устройства на базе ОУ: амплитудный ограничитель, выпрямитель и амплитудный детектор.

Тема 2.3. Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Дискретизация сигнала по уровню и во времени (квантование). Теорема Найквиста-Котельникова. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), схема со взвешенными разрядами и R-2R схема. Аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). Способы построения АЦП: параллельное преобразование, последовательные приближения, сигма-дельта АЦП. Характеристики ЦАП и АЦП.

Тема 2.4. Активные RC-фильтры.

Принципы и схемы построения частотно-селективных цепей с помощью применения RC-цепей и усилительных приборов. Практическая реализация типовых звеньев первого и второго порядков. Звенья первого и второго порядка на базе ОУ. Синтез универсального звена на двух интеграторах. Резонаторное звено. Преобразователи импеданса. Гираторы. Обобщенный преобразователь импеданса.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСД	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Цифровая схемотехника	24	18		6		2		
1.1	Математические основы проектирования цифровых схем	4	2				[1--5]	Устный опрос	
1.2	Базовые логические элементы ИС	4	2				[6–8]	Устный опрос	
1.3	Функциональные узлы комбинационного типа	4	4				[9-14]	Защита практических работ Коллоквиум	
1.4	Функциональные узлы последовательного типа	8	10		6		[9-14]	Защита лабораторных работ Контрольная работа № 1 по разделу 1	
1.5	Интегральные запоминающие устройства (ЗУ)	4				2	[9-14]	Устный опрос	
2	Основы аналоговой схемотехники	12	6				4		
2.1	Операционный усилитель и его свойства	4				2	[10–14]	Устный опрос	
2.2	Функциональные устройства на ОУ	2	4				[10–14]	Защита практических работ	
2.3	Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи	4				2	[10–14]	Устный опрос	
2.4	Активные RC-фильтры	2	2				[1]	Защита практических работ Контрольная работа №2 по разделу 2	
	ИТОГО	36	24		6		6		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Муханин, Л. Г. Схемотехника измерительных устройств : учебное пособие / Л. Г. Муханин. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 284 с. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/205958>.
2. Комаров, Ф. Ф. Промышленная и специальная электроника : пособие для магистрантов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-31 80 07 "Радиофизика" / Ф. Ф. Комаров ; БГУ. - Минск : БГУ, 2020. - 199 с. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/259358>.
3. Борздов, В. М. Основы радиоэлектроники : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Радиофизика", "Физическая электроника", "Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии", "Компьютерная безопасность (по направлениям)", "Прикладная информатика (по направлениям)" / В. М. Борздов, А. Н. Сетун ; БГУ. - Минск : БГУ, 2020. - 235 с.

Перечень дополнительной литературы

4. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM = Digital Design and Computer Architecture / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис; [пер. с англ. А. А Слинкина ; науч. ред. Д. А. Косолобов]. - Москва: ДМК Пресс, 2019. - 355 с.
5. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM = Digital Design and Computer Architecture / Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис ; [пер. с англ. А. А Слинкина ; науч. ред. Д. А. Косолобов]. - Москва : ДМК Пресс, 2019. - 355 с.
6. Основы проектирования субмикронных микросхем / А. И. Белоус, Г. Я. Красников, В. А. Солодуха. - Москва : Техносфера, 2020. - 780 с.
7. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : ДМК Пресс, 2018. - 624 с.
8. Цифровые интегральные схемы : методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич ; [пер. с англ. и ред. А. В. Назаренко]. - 2-е изд. - Москва ; Санкт-Петербург ; Киев : Вильямс, 2007. - 912 с.
9. Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие для студ. вузов радиотехнических спец. / А. К. Нарышкин. - Москва : Academia, 2006. - 319 с.

10. Практические основы аналоговых и цифровых схем / Д. Каплан, К. Уайт ; пер. с англ. А. А. Кузьмичевой под ред. А. А. Лапина. - Москва : Техносфера, 2006. - 176 с.
11. Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" / Ю. Ф. Опачий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров ; под ред. О. П. Глудкина. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. - 768с.
12. Вводный курс цифровой электроники : Учеб. пособие для студ., специализирующихся в обл. проектирования цифровых интегральных схем / К. Фрике; Пер. с нем. под ред. и с доп. В. Я. Кремлева. - М. : Техносфера, 2003. - 432с.
13. Аналоговая электроника. Схемы, системы, обработка сигнала = Analog Electronics: Circuits, Systems and Signal Processing / Д. Крекрафт , С. Джерджи ; пер. с англ. А. А. Кузьмичевой, под ред. А. А. Лапина. - Москва : Техносфера, 2005. - 360с.
14. Проектирование аналоговых микроэлектронных устройств : учеб. пособие для студ. вузов по радиотехническим спец. / В. Л. Свирид ; М-во образования РБ, УО "БГУИР". - 4-е изд., стер. - Минск : БГУИР, 2013. - 296 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

С целью текущего контроля знаний студентов предусматривается проведение устных опросов, экспресс-опросов, коллоквиума, контрольных работ и защиты практических и лабораторных работ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Схемотехника» учебным планом предусмотрен **зачет и экзамен.**

Итоговая отметка формируется на основе:

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.).

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189-ОД).

3. Критериев оценки результатов учебной деятельности, обучающихся в учреждениях высшего образования по десятибалльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь от 28.05.2013 г. № 09-10/53-ПО).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система

предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Рекомендуемые весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний в итоговую отметку:

- устный и экспресс-опрос – 10 %;
- защита практических и лабораторных работ – 70 %;
- коллоквиум – 10 %;
- контрольная работа – 10 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и отметки на экзамене (зачете) с учетом их весовых коэффициентов. Рекомендуемый вес отметки по текущей успеваемости составляет 30 %, экзаменационной отметки – 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Раздел 1. Цифровая схемотехника.

Тема 1.5. Интегральные запоминающие устройства (ЗУ). (2 ч)

Задание. Сравнить быстродействие различных архитектур памяти.

Форма контроля – устный опрос.

Раздел 2. Цифровая схемотехника.

Тема 2.1. Операционный усилитель и его свойства. (2 ч)

Задание. Провести сравнительный анализ доступных на рынке операционных усилителей для различных применений.

Форма контроля – устный опрос.

Тема 2.3. Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. (2 ч)

Задание. Провести сравнительный анализ доступных на рынке АЦП и ЦАП для различных применений.

Форма контроля – устный опрос.

Примерная тематика контрольных работ

- Контрольная работа № 1. «Синтез последовательностных устройств»: синтезировать устройство с памятью с заданной последовательностью переходов.
- Контрольная работа № 2. «Основы аналоговых устройств»: разработать и рассчитать параметры аналогового устройства с заданным функционалом.

Примерная тематика практических занятий

1. Моделирование и анализ логических элементов, определение их характеристик.
2. Синтез и моделирование устройств комбинационного типа.
3. Построение триггеров одного типа из триггеров другого типа
4. Синтез и моделирование устройств последовательного типа.
5. Моделирование аналоговых арифметических схем на основе ОУ
6. Моделирование и анализ АЦП
7. Моделирование и анализ ЦАП

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Исследование работы асинхронного счетчика.
2. Асинхронных счетчик с произвольным модулем счета.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает:

- осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира;
- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;
- творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

Наиболее эффективной предполагается следующая форма реализации эвристического подхода: решение сложных задач разбиваются на этапы, после чего обучаемые подводятся к самостоятельному определению действий на этапах.

При организации образовательного процесса используется также *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной теме дисциплины;
- выполнение домашнего задания;
- проведение научно-исследовательских работ для выполнения практических заданий;
- подготовка к участию в научных и научно-практических конференциях и конкурсах.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. КМОП ключ. Буфер с тремя состояниями.
2. Одноразрядные сумматоры.
3. Мультиплексор: схемотехническая реализация, наращивание размерности.
4. Мультиплексор как универсальный логический модуль.
5. Дешифратор: схемотехническая реализация, наращивание размерности.
6. Паразитные сопротивления и емкости проводников.
7. КМОП инвертор: статические характеристики.
8. КМОП инвертор: динамические характеристики.
9. Задержка RC цепи. Формула Элмора, пример ее использования.
10. Оптимизация работы цепочки инверторов при работе на большую нагрузку.
11. Энергопотребление КМОП схем.
12. Простейшая ячейка памяти. RS защелка.
13. Тактируемые защелки и триггеры.
14. Регистры: способы построения. Использование для передачи данных.
15. Асинхронные двоичные счетчики.
16. Синхронные счетчики с двоичным модулем счета.
17. Синхронные счетчики с произвольным модулем счета.
18. Счетчики с недвоичным кодированием.
19. Цифровые автоматы.
20. Статические параметры ЦАП и АЦП
21. Динамические параметры ЦАП
22. Динамические параметры АЦП
23. Теорема Котельникова
24. ЦАП с двоично-взвешенными резисторами
25. ЦАП на матрице R-2R
26. АЦП развертывающего преобразования

27. АЦП последовательных приближений. Схема. Алгоритм работы
28. АЦП параллельного преобразования
29. АЦП двойного интегрирования
30. Схема и принцип действия дифференциального каскада.
31. Коэффициент усиления дифференциального сигнала ОУ. Передаточная характеристика.
32. Упрощенная эквивалентная схема ОУ.
33. Коэффициент передачи синфазного сигнала ОУ. Коэффициент ослабления синфазного сигнала.
34. Входное напряжение смещения ОУ.
35. Входной ток смещения ОУ. Уменьшение влияния входных токов.
36. Разность входных токов ОУ (входной ток сдвига).
37. Эквивалентная схема входных цепей ОУ с учетом статических погрешностей.
38. Амплитудная и фазовая частотные характеристики RC-цепочки.
39. Диаграммы Боде.
40. Инвертирующий усилитель. Схема, коэффициент усиления.
41. Неинвертирующий усилитель. Схема, коэффициент усиления.
42. Инвертирующий сумматор. Схема, коэффициент усиления.
43. Дифференциальный усилитель. Схема, коэффициент усиления.
44. Интегратор. Схема, коэффициент усиления.
45. Назначение фильтров в аппаратуре.
46. Звенья ФНЧ и ФВЧ первого порядка на операционных усилителях.
47. Звенья ФНЧ и ФВЧ второго порядка на операционных усилителях.
48. Полосовое и режекторное звенья на операционных усилителях.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Комбинационные схемы для арифметических операций.
2. КМОП инвертор: статические характеристики и динамические характеристики.
3. Энергопотребление КМОП схем.
4. Мультиплексор: схемотехническая реализация, наращивание размерности, использование в качестве универсального логического модуля.
5. Дешифратор: схемотехническая реализация, наращивание размерности.
6. Тактируемые защелки и триггеры: классификация и принципы работы.
7. Регистры: способы построения. Использование для передачи данных.
8. Асинхронные двоичные счетчики.
9. Синхронные счетчики: классификация и способы построения.
10. Аналого-цифровые преобразователи: назначение, классификация, статические и динамические параметры. Теорема Котельникова
11. Цифро-аналоговые: назначение, классификация, статические и динамические параметры. Теорема Котельникова.

12. Цифро-аналоговые преобразователи: способы реализации.
13. Аналого-цифровые преобразователи: способы реализации.
14. Операционный усилитель: назначение, параметры, схемотехнические каскады.
15. Частотные характеристики цепей. Реализация фильтров на операционном усилителе.
16. Функциональные узлы обработки сигналов на основе операционного усилителя.
17. Усилители сигналов на основе операционного усилителя.
18. Активные фильтры на основе операционного усилителя.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
САПР аппаратно-программных систем	Кафедра математической кибернетики	Нет	Оставить учебную программу без изменений (протокол № 11 от 28.06.2023)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
на ____/____ учебный год

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры математической кибернетики (протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
доктор физ.-мат. наук, профессор

А.Л. Гладков

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
доктор физ.-мат. наук, доцент

С.М. Босяков