

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
В.Р. Стемпицкий  
" 07 " 2023



## ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по специальности  
05.13.05 – *элементы и устройства вычислительной техники и  
систем управления*

Минск, 2023

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 05.13.05-"Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления"

Составители: И.С.Азаров, доктор технических наук заведующий кафедрой «Электронных вычислительных средств» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, М.И.Вашкевич, доктор технических наук профессор кафедры «Электронных вычислительных средств» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры «Электронных вычислительных средств»

(протокол № 7 от «21» марта 2023г.)

Заведующий кафедрой ЭВС



И.С.Азаров

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### 1. Методы анализа и синтеза элементов и устройств

Элементы теории линейных цепей. Основные теоремы.

Методы анализа электрических цепей: матричный, топологический, метод графов.

Анализ нелинейных электрических цепей.

Методы анализа переходных и частотных характеристик. Анализ переходных процессов в линейных и нелинейных электрических цепях.

Методы анализа схем с обратными связями. Виды обратных связей. Методы преобразования схем в ОС. Основы теории обратной связи. Устойчивость устройств с ОС, ее критерии, меры обеспечения устойчивости. Нелинейные колебания.

Методы синтеза линейных электрических цепей. Основные этапы синтеза: аппроксимация и реализация требуемых передаточных функций.

### 2. Преобразовательные элементы и устройства

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). АЦП прямого и уравнивающего преобразования. АЦП на основе сигма-дельта модуляции. Основные характеристики и параметры.

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). Принципы построения. Основные характеристики и параметры.

Основы теории погрешности и чувствительности преобразователей. Методы математического описания чувствительности и точности средств преобразования. Детерминистский и вероятностный методы оценки погрешности. Статические и динамические погрешности преобразования.

### 3. Цифровые элементы и устройства

Классификация логических элементов. Определение основных статических и динамических параметров и характеристик логических элементов.

Сравнительная оценка современных интегральных логических микросхем.

Принципы построения интегральных триггерных схем, их классификация и основные характеристики.

Типовые интегральные логические узлы; регистры, счетчики, сумматоры, дешифраторы, мультиплексоры, арифметико-логические узлы. Принципы построения и основные характеристики. Системы синхронизации при организации совместной работы узлов.

Интегральные микросхемы запоминающих устройств (ЗУ). Виды интегральных запоминающих устройств. Интегральные схемы оперативных запоминающих устройств с произвольной выборкой и с последовательной выборкой. Интегральные схемы постоянных запоминающих устройств (ПЗУ).

## **5. Надежность элементов и устройств**

Устойчивость элементов и устройств к внешним воздействиям. Характеристики климатических воздействий. Механическая прочность. Радиационная стойкость элементов и устройств. Виды воздействующих излучений: корпускулярные, квантовые, волновые. Обратимые и остаточные эффекты. Изменение параметров пассивных и активных компонентов под действием радиации. Пути повышения радиационной стойкости элементов и устройств.

Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронных элементов, устройств и систем. Испытания на электромагнитную совместимость и безопасность в лабораторно-стендовых и в условиях сложного натурального эксперимента. Методы и средства повышения электромагнитной совместимости и безопасности.

Надежность элементов и устройств, ее количественные характеристики. Внезапные и постепенные отказы. Влияние электрических и тепловых режимов на их надежность. Методы повышения надежности. Ускоренные методы повышения испытаний на надежность.

Методы диагностики и прогнозирования отказов элементов и устройств. Статистические и экспериментальные методы оценки отказов. Влияние шумовых, переходных, тепловых и других явлений и воздействий на надежность элементов и устройств. Компоновка устройств, линия связи. Обеспечение электромагнитной совместимости и тепловых режимов.

## **6. Оптимизация элементов и устройств**

Расчет разброса параметров устройств. Детерминированные методы расчета. Варианты расчета на наихудший случай. Численные вероятностные расчеты. Оценка точности. Сравнение методов вероятностного расчета.

Оптимизация элементов и устройств. Формулировки задачи оптимального расчета. Алгоритмы одновременного поиска. Одновременный поиск при наличии ограничений и в многоэкстремальных задачах. Простейшие методы многомерного поиска без ограничений. Методы сопряженных направлений. Алгоритмы случайного поиска. Поиск в многоэкстремальных задачах. Многомерный поиск при наличии ограничений. Методы штрафных функций.

Поиск экстремума унимодальных функций. Методы дихотомии, Фибоначчи. Оптимизация обработки массивов информации. Задачи упорядочивания и согласования. «Временные срезы» многоканальных данных. Оптимизация и моделирование устройств и систем сетями Петри. Колмогоровский (событийный) подход к представлению и оптимизации загрузочных параметров и конфигурации сложных устройств и систем.

## **7. Принципы искусственного интеллекта при анализе и оптимизации элементов и устройств.**

Искусственный нейрон. Виды активационных функций и искусственных нейронных сетей. Персептронная представляемость искусственного нейрона. Алгоритм обучения персептрона. Нейроконтроллер. ПИД-нейроконтроллер с самоорганизацией. Нейроэмуляция.

**8. Цифровая обработка аудио/видео данных:** децимация с целым коэффициентом компрессии  $M$ . Интерполяция (обратная децимация) с целым коэффициентом  $M$  экспандера частоты. Децимация с рациональным коэффициентом компрессии. Приведение двух выборок сигнала с разными частотами дискретизации к общей частоте дискретизации.

Полифазные цифровые фильтры: полифазная структура цифрового нерекурсивного фильтра. Полифазная структура полосового цифрового нерекурсивного фильтра. Структура синтеза. Структура анализа.

Цифровые банки фильтров: анализ, синтез: определения. ДПФ-модулированные банки фильтров: равнополосные и неравнополосные. Косинусно-модулированные банки фильтров.

Эффективность субполосного кодирования аудио/видео сигнала: оптимальное распределение бит в каналах. Оценка эффективности субполосного кодирования.

ДПФ с неравномерным частотным разрешением (WDFT): Основные принципы WDFT. Обратное преобразование WDFT. Оценка ошибки реконструкции WDFT-синтеза. Структуры кодирования аудио/видео сигнала на базе цифрового банка фильтров.

## **9. Системы обработки аудио/речевых сигналов**

Кодирование речевого сигнала: информационная структура речевого сигнала. Кодирование речевого сигнала. Цель проектирования речевого кодера. Общая схема речевого кодера. Элементы системы кодирования речи. Цифровые модели речевых сигналов: голосовой тракт, излучение, возбуждение, полная модель. Цифровое представление речевых сигналов. Дискретизация и квантование речевого сигнала. Общая теория разностного квантования: кодер, декодер. Оценка соотношения сигнал-шум. Тип предсказателя, синтез линейного предсказателя.

Перцептуальный кодер речевых сигналов: обобщенная структура перцептуального кодера; анализ и синтез; элементы психоакустики: абсолютный порог восприятия, функция Джонстона – перцептуальная энтропия. Частотно-временной анализ. критическая шкала частот, расчет порогов маскирования. Минимизация дисперсии внесенных искажений. Мера пологости спектра сигнала. Соотношение сигнал-шум и сигнал-порог маскирования. Оптимальное распределение бит по каналам банка фильтров.

Выбор банка цифровых фильтров перцептуального аудио кодера: полифазная структура банка ДПФ фильтров. Расчет фильтра-прототипа. Кратковременное скачущее преобразование Фурье (STFT –

Программируемые и перепрограммируемые ПЗУ. Программируемые логические матрицы. Сравнительная оценка современных динамических и статических микросхем ЗУ.

Интегральные микросхемы ассоциативных ЗУ, принципы построения. Представления о новых разработках микросхем запоминающих устройств: ЗУ на приборах с зарядовой связью, ЗУ на цилиндрических магнитных доменах. Голографические ЗУ.

Микропроцессоры. Определение и назначение. Блок-схема типового микропроцессора, принцип действия. Основные характеристики и параметры. Обработка прерываний. Многозадачность, аппаратные средства поддержки многозадачности. Виртуальная память, аппаратные средства поддержки виртуальной памяти. Принцип микропрограммного управления. Прерывания программ. Организация и распределение оперативной памяти в ПЭВМ. Стандарты расширенной памяти ПЭВМ. Системный таймер, структура, функционирование и использование таймера в ПЭВМ. Аппаратная и программная поддержка работы клавиатуры в ПЭВМ. Видеоадаптеры в ЭВМ, режимы работы, организация экранной памяти.

Размещение информации на гибком и жестком магнитных дисках. Организация прямого доступа к памяти ПЭВМ. Назначение и функционирование контроллера прерываний в ПЭВМ. Обработка внешних аппаратных прерываний.

Проблемно-ориентированные вычислительные средства. Процессор цифровой обработки сигналов: гарвардская архитектура, организация памяти.

#### **4. Элементы цифровой обработки сигналов**

Дискретные преобразователи Фурье. Дискретное преобразование Фурье длины  $N$ . Свойства дискретного преобразования Фурье. Циклическая свертка. Вычисление дискретного преобразования Фурье. Элементы теории. Алгоритм вычисления спаренного преобразования Фурье. Алгоритм преобразования двойной длины. Алгоритм вычисления обратного преобразования Фурье. Обратное преобразование Фурье двух функций. Вычисление обратного преобразования Фурье посредством прямого дискретного преобразования Фурье. Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Алгоритмы БПФ с прореживанием по времени и по частоте. Вычислительная сложность алгоритма БПФ. Схемы алгоритма БПФ.

Цифровые фильтры. Конструкции цифровых фильтров. Синтез цифровых фильтров. Эффект квантования. Обобщенная линейная фильтрация. Системы многоступенчатой дискретизации сигнала. Децимация с целым коэффициентом компрессии  $M$ . Интерполяция (обратная децимация) с целым коэффициентом  $M$  экспандера частоты. Децимация с рациональным коэффициентом компрессии. Приведение двух выборок сигнала с разными частотами дискретизации к общей частоте дискретизации. Синтез цифровых нерекурсивных фильтров на базе фильтров дециматоров и интерполяторов: метод Беланжера, метод Рабинера и Крошьера.

shorttimeFouriertransform). Пакет дискретного вэйвлет преобразования (ПДВП). Дерево ПДВП, согласованное с критической шкалой частот.

Структуры аудио кодеров: стандарт MPEG. Субполосные аудио кодеры: декомпозиция сигнала на основе вэйвлет преобразования, адаптивный пакет вэйвлет преобразования. Аудио кодеры на базе гибридных моделей: синусоидальной + вэйвлет преобразование. Измерение качества реконструированного сигнала аудио кодеров.

**10. Системы параллельной обработки сигналов и медиаданных.** Введение в динамически реконфигурируемые структуры. Методология проектирования ЭВС реального времени на стандартных цифровых процессорах обработки сигналов (ЦПОС). Виртуальная ЦОС – система. Основные этапы проектирования. Техника прямого отображения алгоритма на архитектуру ЦОС – системы. Пример на базе БИХ – фильтра. Методологии проектирования ЭВС РВ для задач ЦОС. Декомпозиция, стратегия проектирования на основе подходов сверху-вниз, встраивания subsystem, критических subsystem, быстрого проектирования прототипа.

Алгоритмически ориентированные сигнальные процессоры: алгоритмически ориентированные сигнальные процессоры (ASIC-DSP). Синтез алгоритмически ориентированного сигнального процессора – КИХ-фильтра: МАС-структура КИХ-фильтра. МАС – структура КИХ-фильтра транспонированной прямой формы с инверсным порядком формирования частичных сумм. Рациональная структура КИХ-фильтра на основе МАС подхода. Определение латенции, алгоритмической задержки, пропускной способности системы. Реконфигурируемый параллельный процессор на сложных процессорных элементах – векторных умножителях. Типичный процессорный элемент. Параллельный процессор с минимальным числом PE. Каскадная структура БИХ фильтра на основе векторного умножителя. Вычисления на распределенной арифметике: векторный процессорный элемент на основе распределенной арифметики. Идея вычислений на памяти. Распределенная арифметика, минимизация объема таблиц памяти. Вычисления в дополнительном коде. Примеры реализации БИХ и КИХ фильтров на распределенной арифметике. Аппаратная реализация на распределенной арифметике реконфигурируемого цифрового фильтра высокого порядка с высокой пропускной способностью.

Проектирование реконфигурируемых ЦПОС-систем: реконфигурируемая архитектура процессора с разделенной памятью и процессорными элементами на последовательной арифметике. Структура процессора. Оценка эффективности структуры. Структуры с равным временем доступа к памяти. Многошинная архитектура. Организация сбалансированной архитектуры процессора: мультипроцессорная архитектура с последовательными/параллельными преобразователями; архитектура с общими входами/выходами на регистрах сдвига. Построение больших ЦПОС-систем на основе процессоров с разделенной памятью. Составление расписания вычислительного процесса: преобразование графов, поиск

периодичности. Сбалансированная архитектура БИХ-фильтра на трех процессорных элементах и двух модулях памяти.

Процессоры с архитектурой VLIW.

Поточные процессоры: параллельно-поточные процессоры вычисления БПФ. Структурный синтез параллельно-поточных процессоров. Систолические процессоры.

Применение реконфигурируемых вычислений в аудио и видео обработке. Реконфигурируемые процессоры: настоящее и будущее.

## 11. Проектирование ЭВС на ПЛИС

Язык VHDL исходного описания проектов ЭВС: описание конечных автоматов и параллельных алгоритмов логического управления. Описание регулярных (систолических) структур. Описание синхронных и асинхронных схем.

Система StateCAD исходного описания проектов ЭВС: функциональное назначение системы. Описание машин с конечным числом состояний. Смешанные проекты. Моделирование исходного проекта, создание тестов. Получение VHDL-описаний проектов и тестов. Синтаксические и семантические ошибки проектирования.

Система ModelSim моделирования иерархических описаний проектов ЭВС: создание проекта. Различные виды моделирования: моделирование с использованием графического интерфейса, моделирование с анализатором выполнения, моделирование с использованием команд языка Tcl, моделирование смешанных (VHDL/Verilog) проектов, моделирование с проверкой ожидаемых реакций.

Архитектуры ПЛИС: ПЛИС семейства Spartan-II. ПЛИС семейства CPLDXC9500. Архитектуры, библиотеки проектирования, настраиваемые логические блоки, разводка соединений, способы конфигурирования.

Система Leonardo Spectrum синтеза структур ПЛИС: теоретические основы высокоуровневого и логического синтеза. Технологически независимая оптимизация. Логическая оптимизация. Технологическое отображение. Методики синтеза: использование графического интерфейса, использование команд языка Tcl, синтез в пакетном режиме.

## Литература

1. Рабинер Л., Шафер Р. Цифровая обработка речевых сигналов. М., Радио и связь. 1981.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М., Мир, 1976.
3. Маркел Дж., Грэй А. Линейное предсказание речи. М., Связь, 1980.
4. Применение цифровой обработки сигналов // Под редакцией Э.Оппенгейма. М., Мир, 1980, - 2.2.6. Психоакустические факторы, с.60-66; - 3. Цифровая обработка речевых сигналов, с. 137-191.
5. С.Марпл-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М., Мир, 1990.

6. Назаров М.В., Прохоров Ю.Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов. М., Радио и связь, 1985.
7. Прохоров Ю.Н. Статистические модели и рекуррентное предсказание речевых сигналов. М., Радио и связь, 1984.
8. Сапожков М.А., Михайлов В.Г. Вокодерная связь. М., Радио и связь, 1983.
9. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. М., Радио и связь, 2000.
10. Kondoz A.M. Digital speech: coding for low bit rate communications systems. NJ, J.Wiley& Sons, 1996
11. Speech coding and synthesis// Edited by W.B.Kleijn, K.K.Paliwal. Amsterdam, Elsevier, 1998.
12. Barnwell T.P., Nayebi K., Richardson C.H. Speech coding: a computer laboratory textbook, NJ, J.Wiley& Sons, 1996
13. Advances in speech signal processing // edited by SadaokiFurui, M.MohanSondhi. – Marcel Dekker, Inc., NY, 1992. – 871p.
14. E. Zwicker and H. Fastl, Psychoacoustics Facts and Models. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1990
15. R.E. Crochiere and L.R. Rabiner, Multirate Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983
16. P.P. Vaidyanathan, Multirate Systems and Filter Banks. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993
17. G. Strang, T. Nguyen. Wavelets and filter banks. Wellesley-Cambridge Press, 1996.- 491 p.
18. В.В. Витязев. Цифровая частотная селекция // М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.
19. M. Vetterli, J. Kovacevic, Wavelets and Subband coding. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1995. – 488 p.
20. J.G. Ackenhusen. Real-Time Signal Processing: Design and Implementation of Signal Processing Systems. – Prentice Hall, NJ, 1999. – 460 p.
21. Петровский А.А., Петровский Ал.А., Лихачев Д.С. Речевые интерфейсы ЭВС. / Методическое пособие, Минск БГУИР, 2004. – 65с.
22. Петровский А.А., Парфенюк М., Барович А., Лившиц М.З. Цифровые банки фильтров: анализ, синтез и применение в мультимедиа системах/ Учебно-методическое пособие, Минск, БГУИР, 2006. 82с.
23. А.В.Каляев. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и связь, 1984.
24. Г.И.Шпаковский. Архитектура параллельных ЭВМ. – Мн.: Университетское, 1989.
25. Г.И.Шпаковский. Параллельные микропроцессоры для цифровой обработки сигналов и медиа данных. – Мн.: БГУ, 2000.
26. В.В.Воеводин. Математические модели и методы в параллельных процессах. – М.: Наука, 1986.
27. П.М.Коуги. Архитектура конвейерных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1985.
28. Lars Wanhammar. DSP Integrated Circuits. – Academic Press, 1999.

29. Programmable Digital Signal Processors: architecture, programming, and applications. – Edited by Ju Hen Hu, marcel Dekker, Inc., 2002.
30. Применение цифровой обработки сигналов / Под. ред. А.В.Оппенгейма. - М.:Мир, 1980.
31. А.А.Петровский. Методы и микропроцессорные средства обработки широкополосных и быстропротекающих процессов в реальном времени. - Мн.: Наука и техника, 1988.
32. J.G.Proakis, D.G.Manolakis. Digital signal processing: principles, algorithms, and applications. - Printice Hall International , Inc. -1996.
33. P.A.Lynn, W.Fuerst. Introductory digital signal processing with computer applications. - John Wiley & Sons, 1996.
34. Армстронг Дж.Р. Моделирование цифровых систем на языке VHDL: Пер с англ. – М.: Мир, 1992. – 175 с.
35. Бибило П.Н. Основы языка VHDL. Второе издание. – М.: Солон-Р, 2002. – 224 с.
36. Бибило П.Н. Синтез логических схем с использованием языка VHDL – М.: Солон-Р, 2002. – 384 с.
37. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608
38. Зотов Ю.В. Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы XILINX в САПР WebPackISE. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 624 с.
39. Кнышев Д.А., Кузелин М.О. ПЛИС фирмы “Xilinx”: описание структуры основных семейств. – М.: Издательский дом “Додэка-XXI”, 2001. – 238 с.
40. 10. Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 320 с.
41. Стешенко В.Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. – М.: “Нолидж”, 2002. – 768 с.
42. Суворова Е.А., Шейнин Ю.Е. Проектирование цифровых систем на VHDL. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 576 с.
43. Уэйкерли Дж. Ф. Проектирование цифровых устройств. Т. 2. – М.: Постмаркет, 2002. – 528 с.
44. Бибило П.Н. Логическое перепроектирование схем, реализованных на FPGA, в схемы на базовых матричных кристаллах. //Информационные технологии. – 2004. - №1. – С.10 –17.