

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Информационная безопасность автоматизированных систем»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«М.1.3.1.1 Методы цифровой обработки сигналов»

направления подготовки

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

Профиль «Программное обеспечение средств вычислительной техники и
автоматизированных систем»

форма обучения – очная
курс – 1
семестр – 1
зачетных единиц – 7
часов в неделю – 2
академических часов – 252,
в том числе:
лекции – 14
коллоквиумы – 4
лабораторные занятия – 18
самостоятельная работа – 216
экзамен – 1 семестр
курсовая работа – 1 семестр

1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: обучение студентов современным подходам и методам цифровой обработки и анализа сигналов различной природы

Задачи изучения дисциплины:

- изучить общие принципы построения математических моделей сигналов различной природы
- получить навыки выбора метода цифровой обработки сигнала и построения соответствующего алгоритма для его реализации на компьютере
- научиться оценивать результаты обработки сигнала
- ознакомиться с методами выбора и построения необходимой схемы фильтрации сигнала
- приобрести знания по применению обработки сигналов в задачах идентификации динамических систем, диагностики и прогнозирования технических объектов, распознавания образов

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Методы цифровой обработки сигналов» относится к числу дисциплин вариативной части блока 1 «дисциплины (модули)».

Для успешного усвоения данной дисциплины необходимо, чтобы студент владел знаниями, умениями и навыками, сформированными в процессе изучения дисциплин:

«Методы оптимизации» – знать и уметь строить и анализировать математические модели объектов различной природы, а также использовать методы численного анализа для исследования построенных моделей

«Интеллектуальные системы» – знать основные средства и способы разработки программного обеспечения, принципы построения систем обработки информации на основе применения микропроцессорной техники; уметь использовать современные средства разработки программного обеспечения для решения конкретных задач автоматизированной обработки информации на объекте информатизации; владеть профессиональной терминологией в области разработки и эксплуатации программного обеспечения.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- владением существующими методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов (ПК-5)

Студент должен знать:

- способы представления сигналов в пространствах базисных функций
- методы фильтрации сигналов,
- основы теории оценивания сигналов,
- методы реконструкции динамических систем по наблюдаемым сигналам.

Студент должен уметь:

- выбирать необходимый метод цифровой обработки и анализа сигнала и реализовывать соответствующий алгоритм для реализации на компьютере,
- разрабатывать необходимые схемы фильтрации сигнала и реализовывать их практически,
- интерпретировать результаты выполнения цифровой обработки и анализа сигналов.

Студент должен владеть:

- навыками использования специальных программно-инструментальных средств для решения задач цифровой обработки сигналов

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

| № модуля | № темы | Наименование темы | Часы/Из них интерактивных | | | | | |
|----------|--------|---|---------------------------|--------|-------|------|--------------|-----|
| | | | Всего | Лекции | Колл. | Лаб. | Практические | СРС |
| 1 | 1 | Введение. Предмет и задачи курса. Математические модели сигналов | 32 | 2 | - | 3 | - | 27 |
| 1 | 2 | Методы фильтрации и обработки сигналов | 60/2 | 2/1 | - | 4/1 | - | 54 |
| 1 | 3 | Случайные процессы и сигналы, виды их представлений, вероятностно-статистические характеристики | 38/2 | 2/1 | 4 | 5/1 | - | 27 |
| 2 | 4 | Основы теории | 31/2 | 2/1 | - | 2/1 | - | 27 |

| | | | | | | | | |
|-------|---|---|-------|------|---|------|---|-----|
| | | оценивания. Реконструкция моделей динамических систем по наблюдаемым сигналам | | | | | | |
| 2 | 5 | Аппаратное обеспечение для цифровой обработки и анализа сигналов | 30 | 2 | - | 1 | - | 27 |
| 2 | 6 | Программное обеспечение для цифровой обработки и анализа сигналов | 31/1 | 2 | - | 2/1 | - | 27 |
| 2 | 7 | Цифровая обработка звуковых и речевых сигналов | 30/1 | 2/1 | - | 1 | - | 27 |
| Всего | | | 252/8 | 14/4 | 4 | 18/4 | - | 216 |

5. Содержание лекционного курса

| № темы | Всего часов | № лекции | Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции | Литература |
|-----------|----------------|-------------|--|-------------|
| 1 | 2 | 1 | Введение. Предмет и задачи курса. Сигнал как материальный носитель информации. Типы сигналов. Классификация сигналов. Обзор основных направлений цифровой обработки сигналов. Математические модели сигналов. Метрические пространства. Представление сигнала в функциональном и векторном пространствах. Аналитический сигнал. Преобразование Гильберта, восстановление IQ-сигнала. Цифровые детекторы АМ, ЧМ и ФМ-сигналов. z-преобразование. Основные операции цифровой обработки сигналов. Дискретизация и квантование сигналов. АЦП и ЦАП. Разновидности АЦП. | 1-8,10 |
| 2 | 2 | 2 | Оптимальная и адаптивная обработка сигналов. Дискретные цифровые фильтры. Классы фильтров и их математическое описание. Формы реализации передаточных функций. Аналитический синтез цифровых фильтров по выбранному критерию оптимальности. Синтез и анализ полиномиальных цифровых фильтров. Применение и реализация адаптивных алгоритмов в цифровой фильтрации. Классификация нерекурсивных фильтров. Основные этапы проектирования нерекурсивных фильтров. | 1, 9, 12-21 |

| | | | | |
|---|---|---|---|------------|
| 3 | 2 | 3 | Случайные процессы и сигналы, виды их представлений, вероятностно-статистические характеристики. Математическое ожидание и выборочное среднее. Дисперсия и выборочная дисперсия. Генерация случайных реализаций. Спектральный и корреляционный анализ. Автокорреляционная функция стационарной случайной последовательности. Спектральная плотность мощности стационарной случайной последовательности. Модели случайных процессов. | 1-10 |
| 4 | 2 | 4 | Основы теории оценивания. Проблема оценки случайных сигналов. Реконструкция динамических систем по наблюдаемым сигналам. Постановка задачи реконструкции систем по экспериментальным данным, примеры задач. Теорема Такенса, восстановление фазового пространства. Основные этапы реконструкции. | 10, 12, 21 |
| 5 | 2 | 5 | Системы цифровой обработки сигналов. Технические средства цифровой обработки сигналов - возникновение и история развития. Основные типы алгоритмов цифровой обработки сигналов. FPGA=ПЛИС. Классификация плис по типу хранения конфигурации: SRAM-Based ПЛИС, Flash-based ПЛИС, Antifuse ПЛИС. Конфигурируемые логические блоки. Программируемые связи между логическими блоками. Программное обеспечение для проектирования ПЛИС. | 10-21 |
| 6 | 2 | 6 | ПО для векторного анализа сигналов. Применение программного комплекса GNUplot в задачах визуализации и обработки сигналов. | 10-21 |
| 7 | 2 | 7 | Цифровая обработка звуковых и речевых сигналов. Кодирование и сжатие речевых сигналов в системах связи. Кодеки и вокодеры. Заключение + ответы на вопросы по курсу | 10-21 |

6. Содержание коллоквиумов

| № темы | Всего часов | Темы, выносимые на коллоквиум |
|--------|-------------|--|
| 1 | 2 | Введение. Предмет и задачи курса. Сигнал как материальный носитель информации. Типы сигналов. Классификация сигналов. Обзор основных направлений цифровой обработки сигналов. Математические модели сигналов. Метрические пространства. Представление сигнала в функциональном и векторном пространствах. Аналитический сигнал. Преобразование Гильберта, восстановление IQ-сигнала. Цифровые детекторы АМ, ЧМ и ФМ-сигналов. z-преобразование. Основные операции цифровой обработки сигналов. Дискретизация и квантование сигналов. АЦП и ЦАП. Разновидности АЦП. |
| 2 | 2 | Оптимальная и адаптивная обработка сигналов. Дискретные |

| | |
|--|--|
| | цифровые фильтры. Классы фильтров и их математическое описание. Формы реализации передаточных функций. Аналитический синтез цифровых фильтров по выбранному критерию оптимальности. Синтез и анализ полиномиальных цифровых фильтров. Применение и реализация адаптивных алгоритмов в цифровой фильтрации. Классификация нерекурсивных фильтров. Основные этапы проектирования нерекурсивных фильтров. |
|--|--|

7. Перечень практических занятий

Практические занятия учебным планом не предусмотрены.

8. Перечень лабораторных работ

| № темы | Всего часов | Наименование лабораторной работы. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном занятии | Литература |
|--------|-------------|---|-------------|
| 1 | 4 | Изучение аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования сигналов | 1-4 |
| 3 | 4 | Исследование эффектов квантования | 1-3, 12, 21 |
| 4 | 6 | Исследование цифровой нерекурсивной цепи второго порядка | 1-3, 12, 21 |
| 2,5-7 | 4 | Преобразование Фурье | 5-8 |

9. Задания для самостоятельной работы магистрантов

| № темы | Всего часов | Вопросы для самостоятельного изучения (задания) | Литература |
|--------|-------------|---|-------------|
| | 54 | Хаотические и стохастические сигналы | 1-3, 12, 21 |
| | 54 | Методы адаптивной обработки сигналов | 4-10 |
| | 54 | Сложные сигналы в современных телекоммуникационных системах | 1-3, 12, 21 |
| | 54 | Методы обработки речевых сигналов | 1-10 |

Виды, график контроля СРС, (по решению кафедры УМКС/УМКН)

| № темы | Вид СРС | Вид контроля СРС | График контроля (№ недели) |
|-----------|--|---|------------------------------|
| 1 семестр | | | |
| 1-3 | Работа с печатными источниками, разбор типовых заданий | Рубежный контроль, промежуточный контроль, самоконтроль | промежуточная аттестация (8) |
| 4-6 | Работа с печатными источниками, разбор типовых заданий | Рубежный контроль, промежуточный контроль, самоконтроль | Экзамен |

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС [22].

10. Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая работа учебным планом не предусмотрена.

11. Курсовая работа

Курсовая работа предполагает (на выбор):

1. Составление программы, реализующей один из методов обработки или анализа сигналов (предлагается преподавателем), и подготовку на неё полного комплекта документации, который должен включать:

- схему алгоритма;
- текст программы со спецификацией;
- тест проверки программы

Оформить отчет, который должен содержать:

- титульный лист с перечнем заданий,
- блок-схемы алгоритмов разработанной программы с пояснениями,
- тесты проверки разработанной программы и результаты наблюдений.

2. Подготовку аналитического обзора и презентацию доклада по одной из приведенных тем (формулировка темы уточняется по согласованию с преподавателем):

| № темы | Наименование темы | Литература |
|--------|---|--------------|
| 1 | Методы проектирования цифровых фильтров | 1-10, 13, 21 |
| 2 | Методы оценки размерностных характеристик сигналов | 4-10, 12 |
| 3 | Методы адаптивного подавления помех | 1-3, 12, 21 |
| 4 | Методы реконструкции моделей динамических систем по наблюдаемым | 1-10, 12 |

12. Курсовой проект

Курсовой проект учебным планом не предусмотрен.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Вопросы для зачета

Зачет учебным планом не предусмотрен.

Вопросы для экзамена

1. Типы сигналов. Классификация сигналов.

2. Метрические пространства. Представление сигнала в функциональном и векторном пространствах.
3. Дискретизация и квантование сигналов. АЦП и ЦАП. Разновидности АЦП.
4. Методы фильтрации сигналов. Оптимальная и адаптивная обработка сигналов. Дискретные и цифровые фильтры.
5. Формы реализации передаточных функций. Аналитический синтез цифровых фильтров по выбранному критерию оптимальности.
6. Применение и реализация адаптивных алгоритмов в цифровой фильтрации.
7. Нерекурсивные фильтры с линейной ФЧХ. Избирательные фильтры с линейной ФЧХ. Равнополосные фильтры с линейной ФЧХ. Минимально-фазовые нерекурсивные фильтры.
8. Случайные процессы, виды их представлений, вероятностно-статистические характеристики. Математическое ожидание и выборочное среднее. Дисперсия и выборочная дисперсия.
9. Спектральный и корреляционный анализ. Автокорреляционная функция стационарной случайной последовательности. Спектральная плотность мощности стационарной случайной последовательности.
10. Модели случайных процессов. Выделение трендов. Модели трендов.
11. Проблема оценки случайных сигналов. Оптимальные оценки случайных сигналов. Общая формулировка задачи оценки случайных сигналов.
12. Реконструкция динамических систем по наблюдаемым сигналам. Постановка задачи реконструкции систем по экспериментальным данным, примеры задач. Основные этапы реконструкции.
13. Построение модели исследуемой системы.
14. Системы цифровой обработки сигналов. Технические средства цифровой обработки сигналов.
15. Примеры свободно распространяемого ПО, пригодного для решения задач анализа сигналов

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы с описанием показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Формирование профессиональных компетенций по дисциплине производится на лабораторных и лекционных занятиях (75%); закрепление достигается при проведении промежуточной аттестации (10%) и сдаче экзамена (15%).

Итоговое оценивание усвоения дисциплины осуществляется путем приема экзамена. Результаты экзамена оцениваются «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

При выставлении экзаменационных оценок преподаватель руководствуется следующим:

- оценки «отлично» заслуживает студент, показавший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой, продемонстрировавший умения и навыки в рамках формируемых компетенций на высоком уровне освоения. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины и их значение для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала;

- оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе, продемонстрировавший умения и навыки в рамках формируемых компетенций на хорошем уровне освоения, способный к самостоятельному пополнению знания в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности;

- оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, освоившийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой, продемонстрировавший умения и навыки в рамках формируемых компетенций на достаточном уровне освоения. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, допустившему неточность в ответе на экзамене;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившего принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не освоивший умений и навыков в рамках формируемых компетенций на достаточном уровне освоения. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

УРОВНИ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ПК-5

Наименование компетенции

| | |
|----------------|--|
| Индекс ПК-5 | Формулировка: владение существующими методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов |
|----------------|--|

| | | |
|---------|---------|------------------------|
| Ступени | уровней | Отличительные признаки |
|---------|---------|------------------------|

| | |
|-----------------------------------|--|
| освоения компетенции | |
| Пороговый (удовлетворительный) | <p>Знает: - способы представления сигналов в пространствах базисных функций - методы фильтрации сигналов, Умеет: - выбирать необходимый метод цифровой обработки и анализа сигнала и реализовывать соответствующий алгоритм для реализации на компьютере, Владеет: - навыками использования специальных программно-инструментальных средств для решения задач цифровой обработки сигналов</p> |
| Продвинутый (хорошо) | <p>Знает: - способы представления сигналов в пространствах базисных функций - методы фильтрации сигналов, - основы теории оценивания сигналов, Умеет: - выбирать необходимый метод цифровой обработки и анализа сигнала и реализовывать соответствующий алгоритм для реализации на компьютере, - разрабатывать необходимые схемы фильтрации сигнала и реализовывать их практически, Владеет: - навыками использования специальных программно-инструментальных средств для решения задач цифровой обработки сигналов</p> |
| Высокий (отлично) | <p>Знает: - способы представления сигналов в пространствах базисных функций - методы фильтрации сигналов, - основы теории оценивания сигналов, - методы реконструкции динамических систем по наблюдаемым сигналам. Умеет: - выбирать необходимый метод цифровой обработки и анализа сигнала и реализовывать соответствующий алгоритм для реализации на компьютере, - разрабатывать необходимые схемы фильтрации сигнала и реализовывать их практически, - интерпретировать результаты выполнения цифровой обработки и анализа сигналов. Владеет: - навыками использования специальных программно-инструментальных средств для решения задач цифровой обработки сигналов</p> |

Тестовые задания по дисциплине

Для проведения тестирования используются тестовые материалы, разработанные в форме бланкового тестирования.

14. Образовательные технологии

Для реализации компетентного подхода в соответствии с требованиями ФГОС ВО в рамках учебного курса предусмотрены активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

В связи с этим предусмотрено применение мультимедийных средств и презентаций, обсуждение докладов магистрантов, лекции с элементами деловых игр, тестирование, консультации, решение ситуационных задач, дискуссии.

Общее количество занятий, проводимых в интерактивных формах, не менее 8 часов.

15. Список основной и дополнительной литературы по дисциплине

Обязательные издания

1. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов [Электронный ресурс]: теория и алгоритмы/ Джиган В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2013.— 528 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26889>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

2. Алан Оппенгейм. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]/ Алан Оппенгейм, Рональд Шафер— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 1048 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26906>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
3. Мартюшев Ю.Ю. Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Мартюшев Ю.Ю.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2012.— 188 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12027>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Дополнительные издания

4. Гадзиковский В.И. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]/ Гадзиковский В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2013.— 766 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26929>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
5. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Умняшкин С.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 368 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26902>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
6. Попов О.Б. Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Попов О.Б.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2010.— 176 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11991>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
7. Шостак А.С. Прием и обработка сигналов. Часть 1 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 161 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14021>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
8. Шостак А.С. Прием и обработка сигналов. Часть 2 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 87 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14022>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
9. Колосовский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Колосовский Е.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2012.— 456 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12062>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Периодические издания

10. Цифровая обработка сигналов [Текст] : науч.-техн. журн. - М. : Рос. науч.-техн. общество радиотехники и электроники и связи им. А. С. Попова, 1999 - . - Выходит ежеквартально. - ISSN 1684-2634
11. Вестник Саратовского государственного технического университета [Текст]. : науч.-техн. журн. / Саратов. гос. техн. ун-т

(Саратов); гл. ред. И. Р. Плеве. - Саратов : СГТУ. - Саратов : СГТУ, 2003 - . - Выходит ежеквартально. - ISSN 1999-8341

12. Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика [Текст] : науч.-техн. журнал. - Саратов : Изд-во СГУ, 1993 - . - Выходит раз в два месяца. - ISSN 0869-6632

Интернет-ресурсы

13. Литература по цифровой обработке сигналов. Режим доступа: <http://www.dsp-book.narod.ru/books.html> Дата обращения 05.05.2015

14. Журнал «СТА» («Современные технологии автоматизации»).

Режим доступа: <http://www.cta.ru/> Дата обращения 05.05.2015

15. Отраслевой научно-технический журнал «ИСУП»

(Информатизация и системы управления в промышленности) Режим доступа: <http://www.isup.ru/> Дата обращения 05.05.2015

16. Приборы и электронные компоненты. Режим доступа:

<http://www.chipdip.ru> Дата обращения 05.05.2015

17. Электронная научная библиотека . Режим доступа:

<http://www.elibrary.ru> Дата обращения 05.05.2015

18. Специальные радиосистемы. Режим доступа:

<http://www.radioscanner.ru> Дата обращения 05.05.2015

19. Analog Devices. Режим доступа: <http://www.analog.com> Дата обращения 05.05.2015

20. Linear Technology. Режим доступа: <http://www.linear.com> Дата обращения 05.05.2015

21. Научно-технический журнал "Цифровая обработка сигналов".

Режим доступа: <http://www.dsra.ru/> Дата обращения 05.05.2015

Источники ИОС

22. Учебные материалы. Режим доступа:

<https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/IBS/09.04.01/m131/default.aspx> Дата обращения 05.02.2016

16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется комплект технических средств обучения в составе:

- персональный компьютер (в конфигурации не хуже: процессор Intel Core 2 Duo, 2 Гбайта ОЗУ, 500 Гбайт НЖМД);
- проектор (разрешение не менее 1280x1024);
- экран для проектора.

Для проведения лабораторных занятий требуется компьютерный класс, оборудованный ПЭВМ в конфигурации не худшей чем: процессор Pentium IV 3 ГГц, ОЗУ 2 Гбайта, НЖМД 200 Гбайт с установленными:

1. Операционные системы семейств Microsoft Windows 7/XP, Linux.
2. Программа математического процессинга Matlab
3. Симулятор LT Spice