

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям

по дисциплине «**Основы моделирования электронных устройств**»
для студентов направления подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь 2026 г.

УДК
ББК

Рецензент: доктор химических наук Валюхов Д. П.

Дюдюн Д.Е. Основы моделирования электронных устройств:
методические рекомендации по выполнению практических работ. —
Ставрополь: Изд-во СКФУ 20___. – 193 с.

Настоящие методические рекомендации предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Основы моделирования электронных устройств» студентами направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. В методических рекомендациях приведён краткий обзор теоретического материала, необходимого для выполнения заданий занятия, а также задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями. К каждому занятию приведён список основной литературы, рекомендуемой для самостоятельной работы над изучаемой темой. В приложении представлен список дополнительной литературы, позволяющий студентам более глубоко познакомиться с изучаемым предметом.

Методические рекомендации по выполнению практических работ составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, рабочими учебными планами и программами дисциплины «Основы моделирования электронных

у с т р о й с т в » .

УДКББК

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Компьютерное моделирование с использованием MathCAD	6
1.1. Интерфейс пользователя	7
1.2. Создание формул	8
1.3. Графики	9
1.3.1 Двумерные графики	10
1.3.2. Трехмерные графики	13
1.4. Символьные вычисления	20
1.5. Действия с матрицами	22
1.6 Нахождение корней уравнения, решение уравнений и систем уравнений ...	22
1.7 Вычисление производных и интегралов	24
1.8. Вычисление обычных дифференциальных уравнений	26
1.9. Программирование в MathCad	27
1.10. Обработка данных средствами MathCad	29
Практическая работа №1 Нахождение корней уравнения в MathCad	31
Практическая работа №2 Действия с матрицами в MathCad	38
Практическая работа №3 Нахождение решений системы линейных уравнений в MathCad	44
Практическая работа №4 Нахождение решений системы нелинейных уравнений в MathCad	52
Практическая работа № 5 Символьные действия математического анализа в MathCad	56
Практическая работа №6 Вычисление производных в задачах геометрии и частных производных	61
Практическая работа №7 Вычисление интегралов в задачах геометрии и механики	67
Практическая работа №8 Решение обычных дифференциальных уравнений в MathCad	72
Практическая работа № 9 Интерполяция экспериментальных данных методами MathCad	77
2. Система моделирования OrCAD	82
2.1. Общие сведения о системе OrCAD	82
2.2. Создание иерархических блоков	90
2.3. Запись иерархического блока в библиотеку и вставка блока из библиотеки в схему	92
2.4. Моделирование	93
Практическая работа №10 Ознакомление с системой ORCAD	95
Практическая работа № 11. Исследование характеристик пассивных элементов при постоянных и импульсных воздействиях	100
Практическая работа № 12. Исследование характеристик активного элемента по постоянному и переменному сигналу	112
Практическая работа № 13. Исследование электрической схемы по постоянному сигналу	124

Практическая работа № 14. Исследование электрической схемы по переменному сигналу. Получение переходной характеристики и определение динамических измеряемых параметров	140
Практическая работа № 15. Исследование электрической схемы по переменному сигналу. Получение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик.....	149
Практическая работа № 16. Логическое проектирование цифровых устройств.	159
Практическая работа № 17. Проектное моделирование в системе OrCAD	171
Практическая работа № 18. Функциональное моделирование схем	185
Список дополнительной литературы.	192

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины Основы компьютерного моделирования является формирование набора общекультурных и профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника путем ознакомления студентов с методами и принципами построения компьютерных моделей, а также с применением базовых принципов моделирования для исследования и построение приборов, процессов и систем электроники.

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части ООП, для её изучения необходимы знания, умения и навыки, полученные в ходе освоения следующих дисциплин: Информатика, Математика, Физика, Введение в специальность, Обработка результатов эксперимента, Методы и алгоритмы обработки информации, Промышленные операционные системы и графические редакторы.

Место дисциплины в структуре ООП, компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины, установленные ФГОС ВПО и отраженные в программе дисциплины, представлены в таблице.

Направление подготовки	11.03.04
Место дисциплины в структуре ООП	Б1.В.ОД.4, изучается в 4 семестре
Формируемые компетенции	ОК-7; ОПК-6, ОПК-7, ОПК-9; ПК-1, ПК-2

1. Компьютерное моделирование с использованием MathCAD

Для выполнения сложных расчетов, связанных с выполнением многих инженерных задач, может быть использована уникальная программа MathCad. Эта автоматизированная система разрешает динамично обрабатывать данные в числовом и формульном (аналитическом) виде. Программа MathCad имеет также возможности проведения расчетов и подготовки форматированных научных и технических документов.

Программа MathCad рассматривает широкий спектр задач, таких как:

- подготовка научно-технической документации, которая включает в себя текст, формулы в обычном для специалистов виде;
- вычисление результатов математических операций с числовыми константами, переменными и размерными физическими величинами;
- операции с векторами и матрицами;
- решение уравнений и систем уравнений (неравенств);
- построение двумерных и трехмерных графиков;
- тождественные преобразования выражений (в том числе их упрощение);
- аналитическое решение уравнений и систем;
- дифференцирование и интегрирование (аналитическое и численное);
- решение дифференциальных уравнений;
- анализ данных.

Научно-технические документы, как правило, имеют формулы, результаты расчетов в виде таблиц данных и графиков, текстовые комментарии или описания, другие иллюстрации. В программе MathCad им соответствуют два вида объектов: формулы и текстовые блоки. Формулы вычисляются с использованием числовых констант, переменных, функций (стандартных и определенных пользователем), а также с использованием общепринятых определений математических операций.

Более детально математические операции, которые присутствуют в программной среде MathCad, рассмотрены к каждой приведенной лабораторной работе. Рассмотрена работа с матрицами, возможность решения линейных и нелинейных систем уравнений, линейная и сплайнова интерполяция, символьные алгебраические вычисления, символьные действия из математического анализа (дифференцирование, интегрирование, и т.п.), определение решения дифференциальных уравнений, специальные функции.

Основные положения, которые рассматриваются в этой работе, относятся к базовому программному продукту MathCad . Сейчас есть несколько его версий, каждая из них имеет свои особенности, но основные операции для выполнения вычислений присутствуют во всех новых разработках MathCad .

Объекты программы MathCad: формулы и текстовые блоки, - располагаются в документе MathCad, который называется рабочий лист. В процессе выполнения расчетов формулы обрабатываются постепенно, слева направо и сверху вниз.

Ввод информации выполняется в место положения курсора, который может быть представлен в одном из трех видов:

- 1) курсор в виде крестика используется, если этот курсор определяет местоположение следующего объекта;
- 2) угловой курсор используется при введении формул. Этот курсор указывает на текущий элемент выражения;
- 3) текстовый курсор (I-образная вертикальная черточка) используется при введении текста.

1.1. Интерфейс пользователя

Математических панелей в MathCad девять. Приоткрываются панели с помощью соответствующих команд панели Math (Математические) (Рис. Ч1.1), однако можно использовать и стандартный метод обращения к меню Toolbars (Инструменты), меню View (Вид).

Кратко охарактеризуем все панели семейства Math (Математические).

– Calculator (Калькулятор, Арифметика). На данной панели расположены арифметические операторы, цифры от 0 до 9, наиболее распространенные функции и математические константы, а также операторы вывода (Рис. Ч1.1, а).

– Graph (Графические, Графики). С помощью этой панели можно вызвать шаблоны для построения разнообразных графиков и поверхностей. На панели также расположены ссылки на инструменты для анализа данных (Рис. Ч1.1, б).

– Matrix (Матричные, Матрица). На панели расположены операторы создания, обращение, транспонирование матриц, а также операторы матричных индексов и колонок. На панели также расположены операторы для работы с векторами (Рис. Ч1.1, в).

– Evaluation (Выражения). На панели находятся ссылки на все операторы ввода и вывода в MathCad, а также шаблоны для создания пользовательских операторов (Рис. Ч1.1, г).

– Calculus (Вычислительные, Вычисление, Матанализ). На панели находятся применяемые при решении задач математического анализа операторы: определенного и неопределенного интегралов, производных, пределов, сложений и произведений, символ бесконечности (Рис. Ч1.1, д).

– Boolean (Булевы, Логика). Эта панель предназначена для задания логических операторов (Рис. Ч1.1, е).

– Programming (Программирование). Панель содержит операторы языка программирования MathCad (Рис. Ч1.1, ж).

- Greek (Греческие, Греческий Алфавит). На данной панели расположенные буквы греческого алфавита (Рис. Ч1.1, з).
- Symbolic (Символика, Символы). Панель предназначена для проведения аналитических преобразований (Рис. Ч1.1, и).

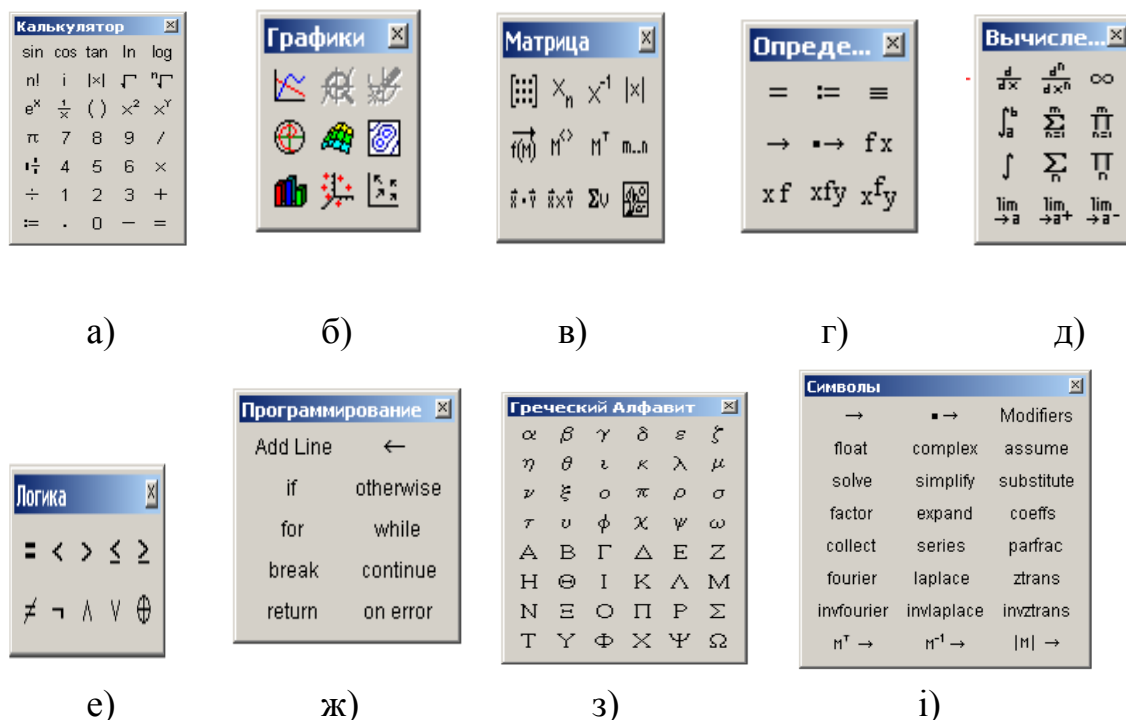


Рисунок Ч1.1 – Математические панели инструментов программы MathCad

1.2. Создание формул

Формулы - основные объекты MathCad. Новый объект по умолчанию является формулой. Для того, чтобы начать ввод формулы необходимо установить крестообразный курсор в нужное место и начать ввод букв, цифр, знаков операций. При этом создается область формулы, в которой появляется угловой курсор.

Элементы формул можно вводить с клавиатуры или с помощью панелей.

Формулы, которые введены в MathCad, автоматически приводятся к стандартной научно-технической форме записи.

В программе MathCad можно использовать буквенные определения, которым сопоставляются числовые значения, и которые рассматриваются как переменные. Буквенные значения задаются с помощью оператора присваивания (он вводится символом ":="). Таким же образом можно задавать числовые последовательности, аналитически определенные функции, матрицы, векторы.

При введении бинарного оператора за знаком операции автоматически появляется заполнитель в виде прямоугольника, в это место вводится следующий операнд. Для управления порядком операций используются круглые скобки,

которые можно вводить вручную. Угловой курсор разрешает автоматизировать такие действия:

- для выделения элементов формулы, которые в рамках операции должны рассматриваться как одно целое, используется клавиша Space;
- при нажатии каждого раза на клавишу Space угловой курсор расширяется, включая элементы формулы, которые расположены рядом с данным;
- после введения знака операции элементы в пределах углового курсора автоматически заключаются в скобки.

Если все значения переменных известны, то для вычисления числового значения выражения (скалярного, векторного или матричного) необходимо подставить все числовые значения и выполнить заданные действия. В программе MathCad применяется оператор вычисления, который вводится символом "=". Кроме того, есть возможность задавать значение известных параметров, провести вычисление с представлением аналитическими формулами, результат присвоить некоторой переменной, а потом использовать оператор вычисления для вывода значения этой переменной.

Комментарии, описания и иллюстрации располагаются в текстовых блоках, которые игнорируются при проведении расчетов.

При изменении любой формулы программа автоматически выполняет необходимые вычисления, обновляя при этом значения и графики, которые изменились.

При проведении расчетов с использованием реальных физических величин учитывается их размерность. В программе MathCad единицы измерения (в любой системе) присоединяются к значению величины с помощью знака умножения.

1.3. Графики

Графики, которые строятся на основе результатов вычислений также рассматриваются как формулы.

В Mathcad встроено несколько типов разных графиков, которые можно разбить на две группы: двумерные и трехмерные графики.

Все основные типы графиков и инструменты работы с ними расположены на рабочей панели Graph (Графические) семейства Math (Математические) (рис.2,б):

- График кривой в двумерной декартовой системе координат (X-Y Plot).
- График кривой в полярной системе координат (Polar Plot).
- Поверхность (Surface).
- Контурный график (Contour Plot).
- Столбиковая трехмерная (3D) диаграмма (3D Bar Plot).
- Точечный трехмерный (3D) график (3D Scatter Plot).

– Векторное поле (Vector Field).

Аналогично панели Graph (Графические) список всех типов графиков Mathcad расположен в одноименном подменю меню Insert (Вставка).

1.3.1 Двумерные графики

В Mathcad существует несколько способов задания кривых в декартовой системе координат, однако первый шаг для всех один и тот же.

Первым шагом есть введения специальной заготовки для будущего графика - так называемой графической области. Ввести графическую область как для декартового, так и для любого другого графика можно: из панели Graph (Графические), командой одноименного меню Insert (Вставка) или нажатием комбинации клавиш Shift+2.

Графическая область представляет собой две вложенные рамки. Во внутренней отображаются непосредственно кривые зависимости. Пространство между рамками служит для визуализации разного рода служебной информации. Графическую область можно увеличивать и уменьшать с помощью специальных маркеров, расположенных на ее внешней рамке. Перемещать по документу и удалять графические области можно так же, как простые формулы. Окно форматирования вида графической области (Properties (Свойства) также целиком совпадает с аналогичным окном для формул. Открыть его можно с помощью одноименной команды контекстного меню графика (вызывается щелчком правой кнопкой мыши на графической области).

В окне Properties (Свойства) могут быть полезными два параметра, расположенных на вкладке Display.

– Highlight Region (Цветная область). Установив этот флажок можно на палитре Choose Color (Выбор цвета) определить наиболее подходящий цвет заливки для графической области.

– Show Border (Показать границу). Параметр отвечает за отображение внешней границы графической области. По умолчанию граница не визуализируется.

После того как графическая область будет введена, в общем случае нужно задать два размерных вектора, которые определяют значение координат точек. Сделать это можно разными способами.

Наиболее простым методом задания координатной сетки есть так называемый быстрый метод. При его применении пользователь задает только имя переменной и вид функции, а шкалы осей и величину шага между узловыми точками автоматически определяет система. Чтобы построить кривую функции быстрым методом, можно выполнить следующую последовательность действий.

1. Ввести графическую область.

2. В специальном маркере, расположенном в центре под внутренней рамкой графической области, задать имя переменной.

3. В центральный маркер, расположенный по левую сторону от внутренней рамки, ввести функцию или имя функции.

К недостаткам рассмотренного метода относится прежде всего то, что область изменения переменной для всех функций определяется одинаково: от -10 до 10.

Для того, чтобы изменить область изменения, нужно просто уменьшить интервал изменения переменной или функции. Для этого необходимо выделить графическую область щелчком левой кнопки мыши. Непосредственно под крайними значениями (для оси X) или по левую сторону от них (для оси Y) появятся цифры, которые отражают максимальные и минимальные величины координат узловых точек графика. Чтобы изменить их значения необходимо удалить старые величины и ввести другие. Изменения границ по оси X вызывает автоматический перерасчет крайних значений по оси Y.

На практике же, как правило, приходится определять границы сразу по обеим осям. Это связано с тем, что хорошо подобрать интервал по оси значений функции системе удастся далеко не всегда. Это можно сделать для настраивания вида графика рассмотренной функции, изменяя диапазон как по оси X, так и по оси Y.

В ряде случаев намного удобнее задать векторы данных самостоятельно. Выполнить это можно с помощью оператора ранжированной переменной (вводится из панели Matrix (Матричные)).

Чтобы задать вектор значений переменной с помощью оператора Range Variable (Ранжированная переменная), выполняется следующая последовательность действий.

1. Ввести имя переменной вместе с оператором присваивания.
2. Задать левую границу интервала построения и поставить запятую.
3. Ввести оператор ранжированной переменной.
4. В левом маркере введенного оператора задать вторую точку на промежутке (тем самым определяется шаг).
5. В правый маркер оператора ранжированной переменной вводится значение правой границы на интервале.

В результате переменная и функция будут заданы в виде двух размерных векторов, по которым будет построен график.

Использование способа построения графика с помощью оператора ранжированной переменной имеет очень важное преимущество перед быстрым методом, поскольку позволяет задавать произвольным образом шаг между узловыми точками.

Построить график в MathCad можно и по готовым векторам или таблицам данных, полученных, например, при эксперименте или выполнении лабораторной

работы.

В MathCad на одну графическую область можно поместить до 16 кривых. Чтобы добавить к уже имеющемуся графику еще один, можно выполнить следующую последовательность действий.

1. Установить курсор по правую сторону от выражения, которое определяет координаты последнего ряда данных по оси Y (предварительно выделив его).
2. Опустить курсор на строку ниже, нажать на знак запятой (,) и в маркер, который появился, ввести выражение для новой функции или имени функции.

С помощью описанного метода можно построить графики функций одной переменной. Если же кривые, которые нужно отобразить на одной области, зависят от разных переменных, то их, полностью аналогично добавлению новых функций, следует ввести через запятую в нижний маркер в том же порядке, в котором вводились соответствующие им функции.

Задание графиков в полярной системе координат с технической точки зрения не имеет ровно никаких принципиальных отличий от создания графиков на декартовой плоскости. Для начала нужно ввести графическую область. Выполнить это можно или с помощью специальной кнопки Polar Plot (Полярный график) панели Graph (Графические), или комбинацией клавиш Ctrl+7. Как и в случае зависимости X-Y, для полярного графика существует два основных метода построения: быстрый способ построения и использование ранжированных переменных. При задании полярной системы координат по быстрому методу система автоматически определит область изменения угла от 0 до 360°. В отличие от области изменения угла, величину диапазона полярного радиуса можно задать произвольным образом непосредственно на графической области.

Для форматирования графика необходимо дважды нажать на область графика. Для управления отображением линий на графике существует вкладка Traces (Линии) (Рис. Ч1.2, а), где приведен формат каждой линии и элементы управления изменением формата. Поле Legend Label (Описание) задает описание линии, которое отображается, если снять флажок Hide Legend (Заккрыть описание) (рис. Ч1.2,б). Маркеры для отдельных точек можно выбрать из списка Symbol (Символ), из списка Line (Тип линии) выбирается тип линии, а из списка Color (Цвет) - цвет графика. Список Type (Тип) определяет средство связи отдельных точек графика, а список Weight (Толщина) - толщину линии на графике (Рис. Ч1.2,в).

Форматирование данных графика выполняется с использованием диалогового окна Result Format (Рис. Ч1.2, г).

Аналогично можно построить и отформатировать график в полярных координатах. Для его построения нужно воспользоваться командой Insert/Graph/Polar Plot.

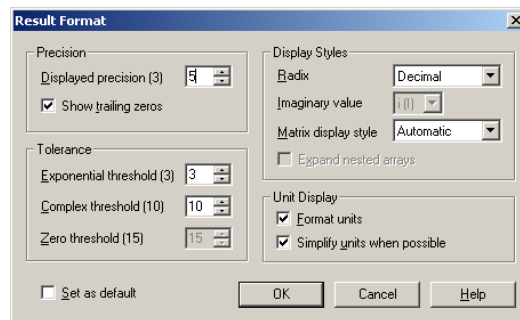
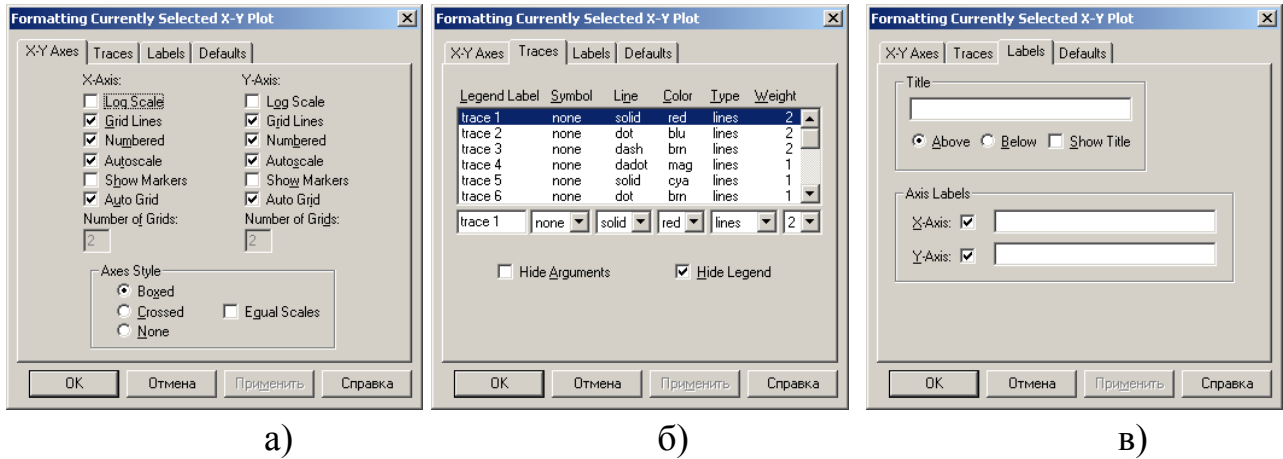


Рисунок Ч1.2 – Диалоговые окна для форматирования графиков

1.3.2. Трехмерные графики

Для построения трехмерных графиков можно использовать наиболее простой и практически важный, быстрый метод построения трехмерного графика (QuickPlot). В его основе лежит тот же принцип, который используется и при быстром задании двумерной зависимости: пользователь определяет только вид функции, а все параметры построения, такие как шаг между узловыми точками, диапазон шкал осей и система координат, задаются автоматически системой.

Типы трехмерных графиков следующие:

Contour Plot - график линий уровня (график поверхности);

3D Bar Plot - график трехмерной гистограммы;

3D Scatter Plot - график множества точек;

Vector Field Plot - график векторного поля. График векторного поля немного отличается от других типов двумерных графиков. Его содержание заключается в построении некоторого вектора в каждой точке плоскости XY . Чтобы задать вектор на плоскости, необходимы два скалярных числа. Поэтому в Mathcad принято, что векторное поле задает комплексная матрица. Действительные части каждого ее элемента задают проекцию вектора на ось X , а мнимые - на ось Y .

Чтобы создать трехмерный график, нужно нажать кнопку с изображением каждого из типов трехмерных графиков на панели инструментов Graph (Графики). В результате появится пустая область графика с тремя осями (Рис.

Ч1.3) и единым заполнителем в нижнем левом углу. В этот заполнитель ввести имя z функции $z(x,y)$ двух переменных для быстрого построения трехмерного графика, или имя матричной переменной z , которая задает функцию $z(x,y)$ на плоскости XY .

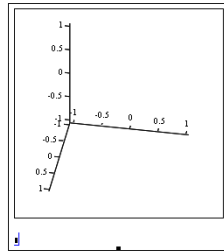


Рисунок Ч1.3 – Область для создания трехмерных графиков

1.3.2.1 Способ построения с использованием быстрого методу построения трехмерного графика

Последовательность создания трехмерного графика с использованием быстрого метода построения трехмерного графика (QuickPlot) следующая.

1. Сначала необходимо ввести графическую область трехмерного графика. Аналогично зависимости X - Y , сделать это можно тремя стандартными способами: нажатием кнопки Surface Plot (Поверхность) панели Graph (Графические), использованием одноименной команды меню Insert (Вставка) или нажатием комбинации клавиш Ctrl+2.

Для построения трехмерных графиков существует только один маркер заполнения. В общем случае в нем должен быть прописан массив, который содержит координаты узловых точек по всем трем осям.

2. После того как графическая область введена, следует задать вид функции, которая определяет трехмерную область. В отличие от X - Y -зависимостей, просто ввести ее выражения в маркер нельзя - при этом будет выдано сообщение об ошибке: This variable is undefined (Данная переменная не определена). В маркер графической области вводится имя заданной функции, для которой строится трехмерный график. Однако, в отличие от двумерного случая, прописанным должен быть лишь непосредственно текст имени, без переменных в скобках.

При использовании данной методики поверхность задается на стандартном интервале от -5 до 5 для переменных. Такой диапазон во многих случаях может быть неприемлемый. Для форматирования параметров графиков быстрого построения существует специальная вкладка Quick Plot Data (Данные графика быстрого построения) окна форматирования трехмерных графиков 3D-Plot Format. Открывается это окно двойным нажатием левой кнопки мыши на графической области или с помощью команды Format (Формат) ее контекстного

меню (Рис. Ч1.5).

Все параметры настройки графика быстрого построения расположены на вкладке Plot 1 (График 1). В общем случае таких вкладок может быть больше, это связано с тем, что на одной графической области может быть размещено несколько поверхностей. Чтобы это выполнить, просто вводятся через запятую имена функций, графики которых должны быть построены. Вкладка Plot 1 (График 1) содержит три меню настраивания, два из которых: Range 1 и Range 2 (Ряд 1 и Ряд 2), идентичны друг другу. Эти меню отвечают за характеристики сетки построения поверхности вдоль каждой из осей переменных (соответствие переменной ряда определяется последовательностью введения ее при задаче имени функции) и содержат следующие параметры настраивания:

- Start (Начало). В поле данного параметра можно произвольным образом задать начальную точку построения прямоугольника по данной оси.

- End (Конец). В поле данного параметра определяется конечная точка интервала.

- # of Grids (Количество линий сетки). Параметр определяет, на какое количество отрезков будет разбит интервал построения для выбранной переменной (что отвечает числу отображенных линий сетки). Эта величина обратная шагу изменения переменной.

Аналогично двумерному случаю, интервал по каждой из осей переменных разбивается на заданное количество отрезков. Границы этих отрезков дают координаты узловых точек. При этом, если количество отрезков по X равняется N , а по Y - M , то для каждого значения X будет существовать M точек с разными координатами по Y , и, наоборот, каждому Y будет отвечать N значений X . Визуально это можно представить в виде сетки, которая определяется шагом по каждой из переменных, а в узлах находятся точки, относительно которых определяется функция.

Когда сетка разбивки задана, исчисляются значения функции в ее узлах. Если остановиться на этом этапе и визуализировать только точки, то будет построен так называемый точечный график (Data Points). Каждая точка соединяется с соседней при помощи отрезков прямых, при этом применяются сглаживание и другие графические эффекты, в результате чего, в зависимости от величины шагов сетки, выходит более или менее гладкая поверхность.

Третье меню вкладки Plot 1 (График 1) - Coordinate System (Система координат) определяет, в какой системе координат следует отобразить данную зависимость. Возможные следующие варианты:

- Cartesian (Декартова). График отображается в декартовой системе координат.

- Spherical (Сферическую). График отображается в сферической системе координат.

– Cylindrical (Цилиндрическая). График отображается в цилиндрической системе координат.

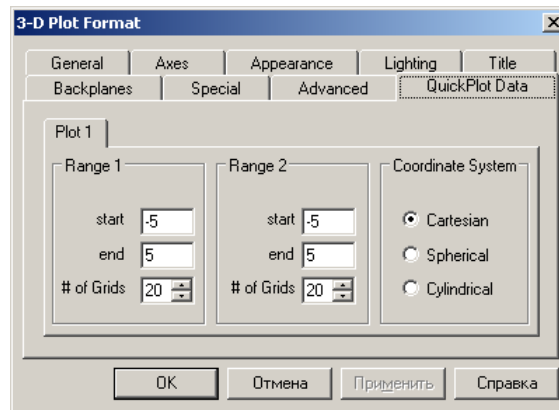


Рисунок Ч1.4 – Окно для форматирования трехмерных графиков

В диалоге 3-D Plot Format (Форматирование 3-D графика) доступно большое количество параметров, изменение которых способно повлиять на внешний вид графика. Они сгруппированы по принципу действия на нескольких вкладках.

Остановимся кратко на возможностях оформления трехмерных графиков.

Изменение типа графика. Чтобы изменить тип уже имеющегося графика (например построить вместо поверхности график линий уровня и т.д.), надо установить соответствующий переключатель в нижней части вкладки General (Общие) и нажать кнопку ОК. График будет преобразован (рис.5).

Обращение графика. Простейший способ ориентации системы координат с графиком в трехмерном пространстве - это перетаскивание ее указателем мыши. Можно перемещать при нажатой левой кнопке мыши указатель в границах графика, и будет видно, как вращается график.

Изменение ориентации графика. С помощью полей Rotation (Вращение), Tilt (Наклон) и Twist (Поворот) на вкладке General (Общие) определяют соответствующие углы вращения, наклона и поворота (в градусах) и тем самым задают направление всех трех осей координат в пространстве.

Стиль осей можно изменить с помощью группы переключателей Axes Style (Стиль осей) и задать один из следующих стилей осей координат:

- Perimeter (Периметр),
- Corner (Угол),
- None (Нет) - осы отсутствуют.

Если установить флажок Show Box (Показать куб), то координатное пространство будет изображено в виде куба.

Масштабирование графика - можно задать числовое значение масштаба в поле Zoom (Масштаб) вкладки General (Общие).

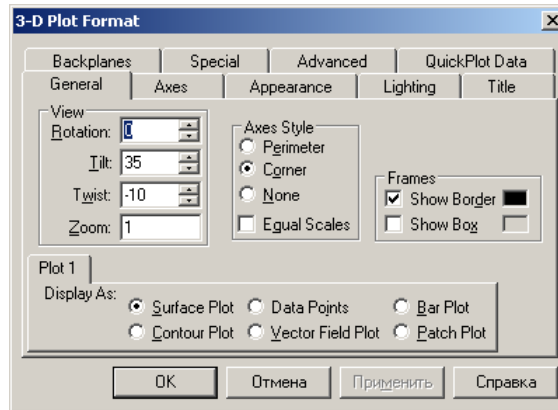


Рисунок Ч1.5 – Вкладка General (Display as) для изменения типа графика

Форматирование осей выполняется с использованием вкладки Axes (Оси) (Рис. Ч1.6). Вкладка Axes (Оси) содержит три вложенных вкладки, в которых задаются параметры для каждой из трех координатных осей. В частности, можно включить или отключить отображение линий сетки, нумерацию и задать диапазон по каждой из осей.

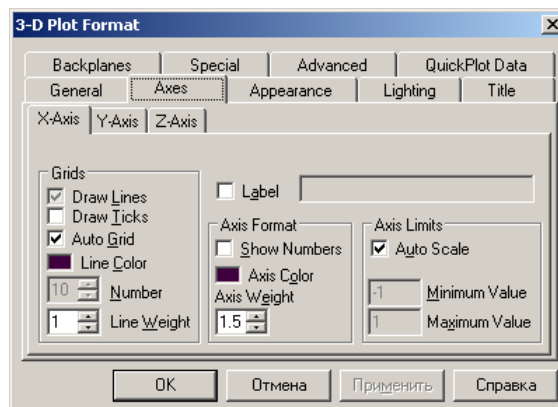


Рисунок Ч1.6 – Вкладка Axes (Оси) форматирования осей

С помощью еще одной вкладки — Backplanes (Плоскости заднего плана) (Рис. Ч1.7) задается отображение проекций координатной сетки на три скрытые плоскости трехмерного графика.

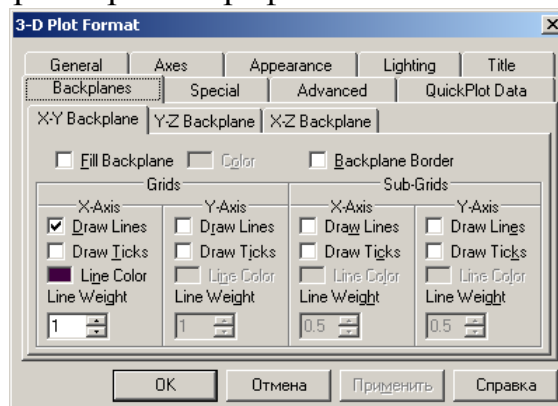


Рисунок Ч1.7 – Вкладка Axes (Оси) форматирования осей

С помощью вкладки Appearance (Оформление) (Рис. Ч1.8) можно изменить стиль задания заливки линий для контурного и поверхностного графиков. При выборе переключателя Fill Surface (Заливка поверхности) из группы Fill Options (Опции заливки) можно получить доступ к опциям цвета (в группе Color Options). Если выбрать переключатель Solid Color (Один цвет), то получится однотонная заливка поверхности. Если установить переключатель Colormap (Цветовая схема), то поверхность или контурный график будут залиты разными цветами и оттенками, причем выбрать цветовую схему можно на вкладке Advanced (Дополнительно) (Рис. Ч1.9).

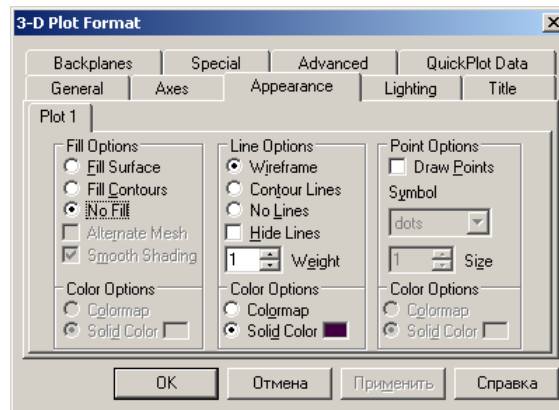


Рисунок Ч1.8 – Вкладка Appearance (Оформление) стиля задания заливки

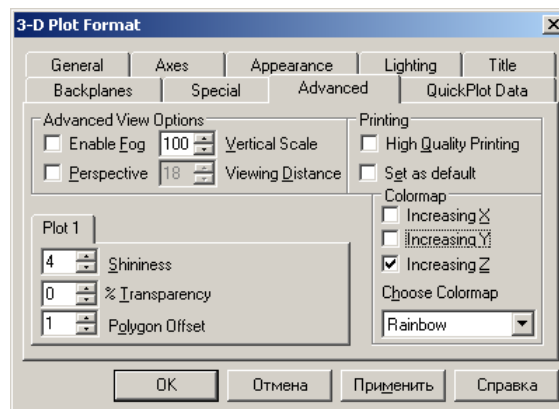


Рисунок Ч1.9 – Вкладка Advanced (Дополнительно) для задания цвета в спецэффектов

Заголовок графика можно изменить с помощью вкладки Title (Заголовок) (Рис. Ч1.10).

1.3.2.2 Способ построения трехмерного графика с помощью матрицы значений

Существует еще один способ построения трехмерного графика с помощью матрицы значений, которая представляет собой таблицу из трех колонок: в первой будут расположены координаты точек по оси X , во второй - по оси Y , в

третьей - по оси Z . В Mathcad существует специальная функция $matrix(m,n,f)$ (матрица). Функция формирует матрицу, элементы которой равны значениям функции $f(x,y)$, исходя из того условия, что $x=i$, $y=j$ (т.е. переменные определяются равными соответствующим матричным индексам данного элемента). Количество строк создаваемой матрицы определяется в первом маркере имени функции (параметр m), количество колонок - во втором (параметр n).

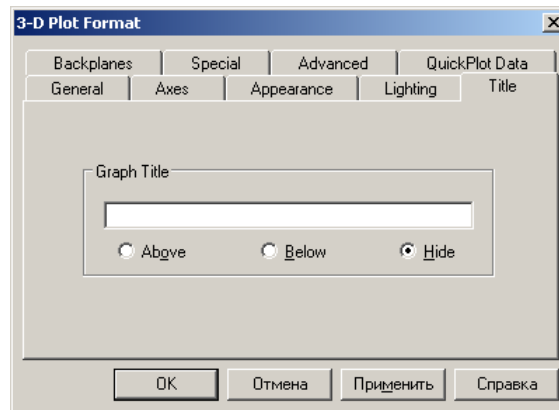


Рисунок Ч1.10 – Вкладка TITLE для изменения заголовка графика

Аналогично двумерному случаю, задать поверхность можно, используя оператор ранжированной переменной по готовым матрицам.

1.3.2.3 Способ построения с помощью специальной матричной функции *CreateMesh*

Можно создать график также с помощью специальной матричной функции *CreateMesh* (Создать сетку).

Функция $CreateMesh(F,s,sl,t,tl,sgrid,tgrid,fmap)$ вводится в маркер графической области и имеет пустые маркеры, в которые последовательно вводятся:

- имя матрицы значений или функции F ;
- начальное значение первой переменной s ;
- начальное значение второй переменной sl ;
- конечное значение первой переменной t ;
- конечное значение второй переменной tl ;
- число линий сетки по первой переменной $sgrid$;
- количество линий сетки по второй переменной $tgrid$;
- карта отображения $fmap$.

Кроме поверхностей в пространстве можно задавать и разного рода линии. Для этого существует специальная функция $CreateSpace(F,t,tl,tgrid,fmap)$ (Создать пространство). Она имеет пять маркеров, в которые последовательно вводятся

имя массива данных или системы параметрических уравнений, начальное и конечное значения параметра, количество разбиенок промежутка параметра, карта отображения.

Параметрическое закручивание разрешает создавать графики, которые заданы в параметрической форме. Последовательность действий при использовании алгоритма параметрического закручивания следующая.

1. Задать уравнение любой функции $f(x)$.
2. Задать систему параметрического закручивания и соединить ее в один массив:

$$\begin{aligned} A(u,v) &:= u, \\ B(u,v) &:= f(u)\cos(v), \\ C(u,v) &:= f(u)\sin(v), \\ M(u,v) &:= \begin{pmatrix} A(u,v) \\ B(u,v) \\ C(u,v) \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

3. Внести в маркер следующую запись: *CreateMesh(M, s,sl,t,tl,sgrid,tgrid)*.

1.4. Символьные вычисления

При аналитических вычислениях результат получают в нечисловой форме в результате тождественных преобразований, среди которых более простыми есть раскрытия скобок.

С помощью символьного процессора MathCad можно решать инженерные задачи в аналитическом виде и проводить широкий спектр аналитических преобразований, таких как, упрощение выражений и алгебраические преобразования, алгебраические и матричные операции, основные действия математического анализа, и т.д.

Расписание алгебраического выражения - это математическое преобразование, которое переводит степени и произведения в более простые соотношения. При расписании тригонометрических выражений функции кратного аргумента превращаются в функции одинарного аргумента, и т.д.. MathCad разрешает упрощать логарифмические выражения, раскладывать на множители, приводить выражения к общему знаменателю, выносить множитель за скобки, раскладывать на элементарные дроби, выполнять подстановки и замены переменных.

Символьные вычисления можно выполнять в таких вариантах:

- с помощью команд меню;
- с помощью оператора символьного вывода, ключевых слов символьного процессора и обычных формул.

Для символьных вычислений с помощью команды предназначены главное меню Symbolic (Символика), которое объединяет математические операции. Для

реализации второго подхода применяются все средства MathCad (например, Calculator, Evaluation, и т.п.).

С помощью меню Symbolic (Символика) можно выполнять такие операции:

Symbolic/Evaluate (Символика/Вычисление) символьное вычисление, в том числе с плавающей точкой (Рис. Ч1.11,а);

Symbolic/Simplify (Символика/Упрощение выражений) упрощение выражений;

Symbolic/Expand (Символика/Разложение выражений) разложение выражений на элементарные;

Symbolic/Factor(Символика/Разложение на множители) разложение на множители;

Symbolic/Collect(Символика/Подобные) приведение подобных;

Symbolic/Polynomial Coefficients (Символика/Полиномиальные коэффициенты) вывод коэффициентов полиномов;

Symbolic/Variable(Символика/Переменная/...) решение уравнения; подстановка переменных; дифференцирование; интегрирование; разложение в ряды; разложение на элементарные дроби (Рис. Ч1.11,б);

Symbolic/Matrix(Символика/Матрицы) действия с матрицами (Рис. Ч1.11,в);

Symbolic/Transform(Символика/Интегральные преобразования) преобразование Фурье, Лапласа) (Рис. Ч1.11,г).

Последовательность выполнения вычислений можно задать с использованием Стиля Вычислений (Рис. Ч1.11, д).

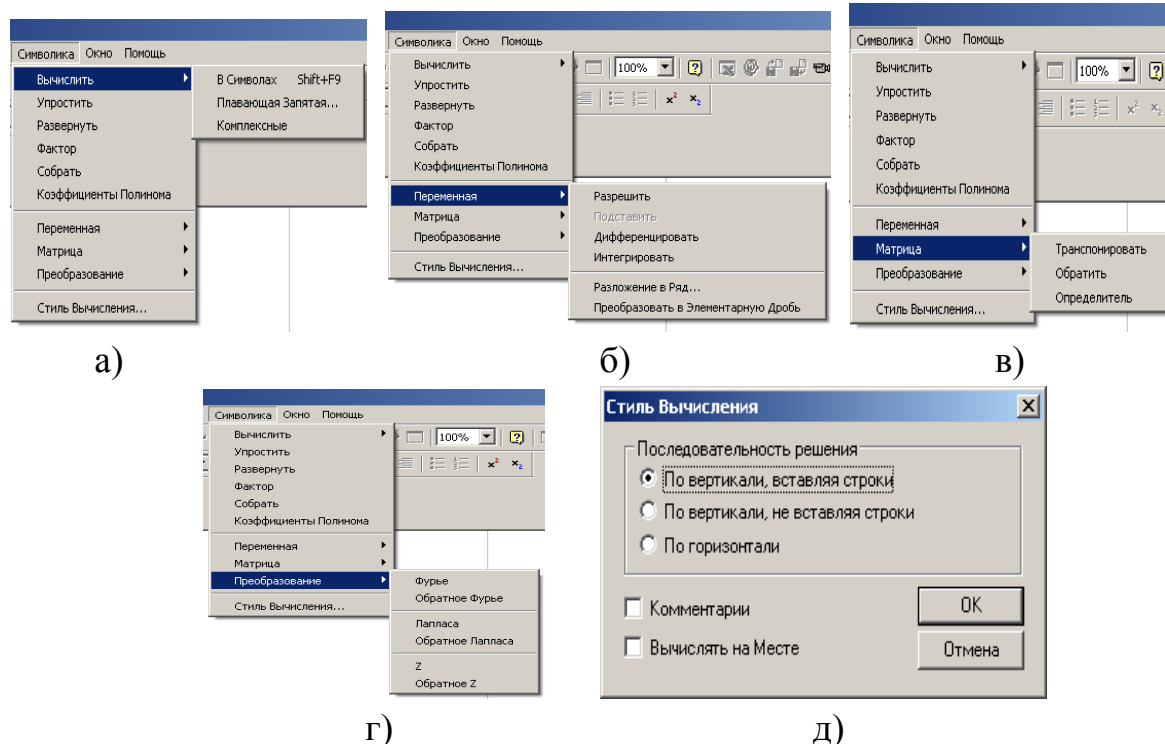


Рисунок Ч1.11 – Команды меню Symbolic

1.5. Действия с матрицами

С помощью встроенных функций MathCad матрицы можно объединять, выделять в них подмассивы, определять размеры массивов, максимальные, минимальные значения, нахождение собственных чисел и векторов. Для матриц определены следующие операции: добавление, произведение, обращение, транспонирование, и т.п..

Создать матрицу можно следующим образом:

записать оператор присваивания, для введения правой части использовать команду Insert/Matrix или на панели инструментов Matrix. В окне, которое раскроется, задать число строк и столбцов матрицы. Вектор является матрицей с одним столбцом. Ввести значение элементов матрицы в соответствующие места. Далее можно выполнять все необходимые операции с матрицами

Для работы с элементами матрицы используются индексы элементов. Нумерация строк и столбцов матрицы начинается из нуля. Индекс элемента определяется на панели инструментов Matrix кнопкой Subscript (рис.1,в), например $M_{n,k}$. Два индекса, которые определяют элемент матрицы, отделяются запятой. Номер столбца матрицы отображается как верхний индекс, который заключен в угловые скобки, для чего используется кнопка Column на панели инструментов Matrix, например, $M_{<1>}$.

Для проведения операций с матрицами используется меню Symbolic и команда Matrix (Рис. Ч1.12).

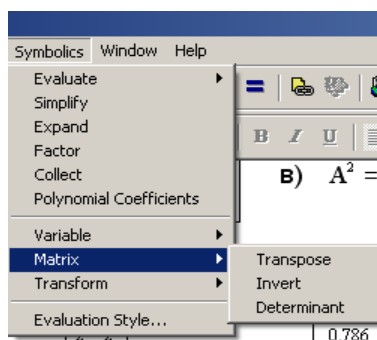


Рисунок Ч1.12 – Меню Symbolic для работы с матрицами в символьном виде.

1.6 Нахождение корней уравнения, решение уравнений и систем уравнений

Для числового поиска корней уравнения в MathCad используется встроенная функция *root*. Она позволяет решать уравнение вида $f(x)=0$, где $f(x)$ -

уравнение, корни которого необходимо найти, x - неизвестная. Использование функции *root* требует задания начального приближения.

Функция *polyroot* возвращает вектор, который имеет все корни уравнения, коэффициенты которого задаются вектором v . Коэффициенты у вектора v располагаются в порядке возрастания степеней в уравнении.

Существует возможность символьного решения уравнения. Для этого необходимо обратиться к меню *Symbolic/Variable/Solve*. Корни уравнения выводят в виде вектора.

Можно также находить решение уравнения графически. Графическое решение заключается в определении по графику функции, которая отвечает левой части уравнения, при какой величине аргумента данная функция принимает значение, равное правой части уравнения.

Все методы решения систем линейных алгебраических уравнений можно разделить на две основных группы: прямые (метод Крамера, метод Гауса, и т.п.) и итеративные методы. При использовании прямых методов расчеты можно вести как численно, так и символьно. Итеративные методы применяются в численных решениях.

Для решения систем линейных и нелинейных уравнений используется "блок решений", который начинается из ключевого слова *given* и заканчивается вызовом функции *find*. Между ними находятся уравнение. Всем неизвестным в уравнении должны быть присвоены начальные значения. В уравнении, для которого необходимо найти решение, нужно использовать знак логического равенства $=$ на панели инструментов *Evaluation*. Как аргументы в функции должны быть неизвестные, которые необходимо найти.

Решение системы линейных уравнений с помощью встроенной функции *lsolve(A,b)* возвращает вектор решений b . Матрица A - квадратная невырожденная, вектор b - вектор правых частей в системе уравнений.

С помощью символьного процессора *MathCad* можно получать аналитические решения системы уравнений, используя оператор *solve*. В этом случае система должна быть занесена в виде вектора в левый маркер оператора. Переменные, значения которых отыскиваются, следует вводить через запятую в правый маркер оператора *solve*. Ответ будет возвращен в виде матрицы, в строках которой будут записаны найденные значения неизвестных системы уравнений.

Аналитические решения можно также получить с помощью "блока решений", который начинается из ключевого слова *given*.

Приближенные решения системы уравнений можно получить с использованием встроенной функции *minerr(x1,...)*. Эта функция подобная по своей работе к функции *find*, однако она имеет другие условия для завершения итеративного процесса поиска решений. Функция *minerr* позволяет находить решение в том случае, когда их не находит функция *find*.

1.7 Вычисление производных и интегралов

Аналогично большинству других наиболее важных математических операций, в MathCad существует численное и символьное дифференцирование. Символьный метод имеет преимущества в том плане, что результат можно получить в виде функции, которую можно будет использовать в дальнейших расчетах. Численный же подход имеет преимущества в некоторых специфических задачах. MathCad позволяет вычислять как обычную производную, так и производные более высоких порядков, а также частные производные (Рис. Ч1.13).

Оператор простого дифференцирования на панели Calculus для вычисления первой производной имеет два маркера, принцип заполнения которых следующий: в верхний вводится функция, в нижний - переменная, по которой вычисляется производная.



Рисунок Ч1.13 – Диалоговое окно для вычисления производных и интегралов

Результат может быть представлен в символьном виде, если использовать оператор символьного вывода $\rightarrow$, а потом обратиться к символьному процессору Symbolic/Evaluate (Символика/Вычислить в символах) (Рис. Ч1.14).

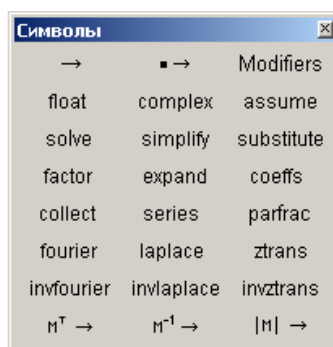


Рисунок Ч1.14 – Меню символьного процессора Symbolic для вычисления в символах

При символьном дифференцировании можно оперировать с функциями нескольких переменных. Оператор дифференцирования может соединяться с любым вычислительным или символьным оператором. Особенно полезным есть

оператор Simplify, так как выражение производной выдается в неупрощенном виде. Для упрощения ответа следует использовать операторы Collect (Приводить подобные), Factor (Раскладывает выражение на множители) и Expand (Раскрывать скобки).

Чтобы получить численное значение производной в нужной точке исходя из результатов символьного расчета, нужно сделать следующее:

1. Найти функцию производной, используя оператор символьного вывода ($\rightarrow$).
2. Присвоить переменной соответствующее числовое значение.
3. Скопировать полученное выражение для производной и вычислить его символьно.

Панель Calculus (Вычисление) содержит два оператора интегрирования. Первый, Indefinite Integral (Неопределенный интеграл), позволяет определить вид функции, которая интегрируется (Рис. Ч1.15). Оператор неопределенного интеграла содержит два маркера, которые заполняются соответственно принятому в математике представлению: в левый вводится функция (или имя функции), под знак дифференциала - переменная интегрирования.

Чаще всего результат интегрирования представляет собой громоздкое выражение. В этом случае его следует упрощать. Наиболее универсальный инструмент, который для этого используется - оператор Simplify (Упростить). Однако иногда выражение можно упростить (оператор Collect), разложив по степеням (оператор Expand) или приведя дробь к общему знаменателю (оператор Factor). Чтобы задействовать нужный символьный оператор, следует выделить выражение интеграла и нажать соответствующую кнопку на панели Symbolic (Символьные). Применить к результату интегрирования можно и сразу несколько символьных операторов.

Нахождение определенного интеграла выполняется подобно тому как вычисляется неопределенный интеграл. Для интегрирования необходимо обратиться на панели Символьные к функции *simplify*. Ввести оператор интегрирования. В соответствующих местах заполнить имя первой переменной и границы интегрирования. Если необходимо вычислить кратные интегралы, то на месте введения функции под интегралом ввести еще один оператор интегрирования, границы интегрирования и подынтегральную функцию. Аналогично выполняется интегрирование по нескольким переменным.

Можно определить интеграл в символьном виде, например,

$$\int_a^b x dx \rightarrow \frac{1}{2}b^2 - \frac{1}{2}a^2.$$

Для числового интегрирования MathCad предлагает воспользоваться встроенными программами вычисления интегралов (Рис. Ч1.15). Для того, чтобы

обратиться к приближенному расчету, необходимо в контекстном меню выбрать один из методов интегрирования.

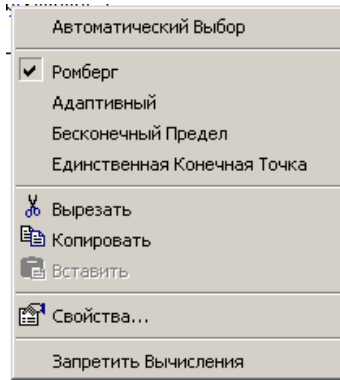


Рисунок Ч1.15 – Меню со встроенными программами для числового интегрирования

1.8. Вычисление обычных дифференциальных уравнений

Дифференциальные уравнения - это уравнения, в которых неизвестными есть функции одной или нескольких переменных. Эти уравнения имеют соотношение между функциями, которые необходимо найти, и их производными. Если в уравнении присутствуют производные по одной переменной, то это есть обычные дифференциальные уравнения (ОДУ). Найти решение дифференциального уравнения (или проинтегрировать его) - это значит определить неизвестную функцию на заданном интервале изменения ее переменную. Дифференциальное уравнение имеет одно решение, вместе с уравнением заданы начальные условия.

С помощью MathCad можно найти решение задач Коши, для которых заданы начальные условия, и функции, которые необходимо отыскать, т.е. заданные значения этой функции в начальной точке интервала интегрирования уравнения. В большинстве случаев дифференциальное уравнение первого порядка можно записать в стандартной форме (форме Коши):

$$y'(t) = f(y(t), t), \quad (1)$$

и только с такой формой уравнения может работать вычислительный процессор MathCad. Вместе с уравнением (1) необходимо задать начальные условия – значение функции $y(t_0)$ в некоторой точке t_0 . Таким образом, необходимо найти функцию $y(t)$ на интервале $[t_0, t]$.

Для числового интегрирования в MathCad есть возможность использовать блок *Given/Odesolve* или встроенные функции. Вычислительный блок *Given/Odesolve*, который реализовывает решение одного обычного дифференциального уравнения методом Рунге – Кутта, состоит из трех частей:

ключевое слово *Given*;

дифференциальное уравнение и начальное условие, которые записаны с помощью логических операторов, причем начальное условие должно записываться в форме

$$y(t_0)=b;$$

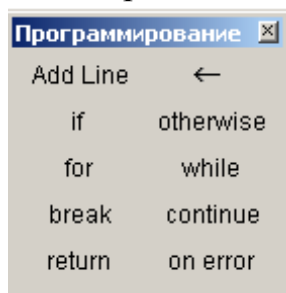
$Odesolve(t, t_1)$ – встроенная функция для решения ОДУ относительно переменной t на интервале $[t_0, t]$.

Для решения ОДУ можно использовать также встроенные функции *rkfixed*, *Pkadapt*, *Bestoer*.

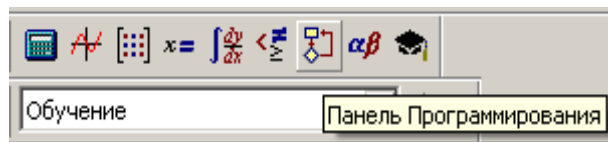
1.9. Программирование в MathCad

Для написания программ в среде MathCad [4,6] существует специальная панель Programming (Программирование) (Рис. Ч1.16, а), она относится к панели Math (Математические) (Рис. Ч1.16, б).

Язык программирования MathCad имеет предельно малое количество операторов (Рис. Ч1.16, а). Чтобы написать программу, прежде всего для нее должен быть создан блок. Выглядит он как черная вертикальная линия с маркерами, в которые записывают те или иные выражения алгоритма.



а)



б)

Рисунок Ч1.16–Панель программирования

Чтобы построить единичный элемент программного блока, используется кнопка команды Add Line (Добавить линию) панели Programming (Программирование). При этом в области курсора появится следующий объект:



, в который можно занести две строки программы. Для создания большего числа строк программы необходимо последовательно нажимать несколько раз соответствующую кнопку на панели Programming. Программный блок можно создать и внутри уже заданного блока.

Для присвоения значений переменным и функциям в MathCad используется специальный оператор: $\leftarrow$ (Local Definition - Локальное присваивание), расположенный на панели Programming (Программирование). Использовать оператор обычного присваивания $:=$ в программах нельзя.

Локальные переменные и функции имеют приоритет над глобальными в рамках родной программы. Несколько переменных можно объявлять в одной строке через запятую.

Практически любая программа создается с использованием специальных управляющих операторов, таких как оператор цикла **for** или оператора условия **if**.

Чтобы задать нужный оператор, используются соответствующие кнопки панели Programming (Программирование). Просто набрать оператор из клавиатуры нельзя - он будет воспринят системой MathCad как неизвестная функция. Такие операторы как: **if**, **for**, **while**, активируют код, расположенный в левом верхнем маркере, в том случае, если выполняется условие в правом. Для задачи условия используются также операторы панели Boolean (Логические). Можно задать и комплекс условий.

С помощью оператора простого цикла **for** можно организовать выполнение операции или проверку условия для ряда конкретных значений переменной. Оператор **for** имеет три маркера: в двух верхних маркерах, соединенных символом принадлежности, задается имя переменной, по которой организуется цикл, и ряд принятых ею значений. В нижнем маркере определяется операция или комплекс операций, которые должны быть выполнены для каждого значения переменной.

С помощью второго оператора цикла **while** (Пока) можно организовать цикл, который будет работать до тех пор, пока некоторое условие будет выполняться. Оператор **while** имеет два маркера, в которые вводятся соответственно условия работы цикла и выражение для операций, которые будут выполняться на каждом шаге цикла **while**. Количество шагов выполнения цикла не нужно определять явным образом.

Если в некоторых ситуациях при работе программы необходимо прервать работу цикла, для этого надо использовать оператор **break** (Прервать). Этот оператор почти всегда работает с оператором **if** (Если) или **on error** (Перехват ошибок).

Программный оператор условия **if** (Если) используется практически во всех создаваемых алгоритмах. Условный оператор **if** имеет два маркера: **• if •**. В правый маркер вводится условие, в левый - операция, которая выполняется в случае, если условие выполняется (если же оно не выполняется, то программа, пропускает данный фрагмент). В маркер оператора может быть внесено несколько условий.

Если алгоритм имеет несколько условий, при этом выполнение одного из них может привести к невыполнению или ошибке в других операторах условий, то можно использовать специальный оператор **continue** (Продолжить). Его применение аналогично применению оператору **break** (Прервать).

Оператор **otherwise** (Иначе) предназначен для определения действия, которое должно быть выполнено, если условие оператора **if** (Если) окажется ошибочным. Одновременно может быть использовано несколько условных операторов **if** (Если). Оператор **otherwise** (Иначе) в таком случае будет задействован, если не выполняются условия всех операторов **if** (Если).

С помощью оператора **return** (Возвратить) можно прервать работу программы и вернуть некоторое значение. Этот оператор используется при ошибочной ситуации в программе.

В MathCad существует возможность использовать специальный оператор **on error** (Перехват ошибок). Он дает возможность в программах избегать ошибок и обходить их. Этот оператор по синтаксису полностью отвечает оператору **if**.

1.10. Обработка данных средствами MathCad

Известно, что экспериментальные данные, как правило, задаются дискретно в виде массива данных из двух пар чисел (x_i, y_i) . В связи с этим возникает задача аппроксимации дискретных данных непрерывной функцией $f(x)$. В MathCad для обработки экспериментальных данных существуют встроенные функции, которые позволяют выполнять интерполяцию.

Для построения линейной интерполяции служит встроенная функция *linterp*
 $linterp(x, y, t)$ – функция, которая аппроксимирует данные векторов x и y кусочно-линейной зависимостью;

- x – вектор действительных данных аргумента;
- y – вектор действительных данных значений того же размера;
- t – значение аргумента, при котором вычисляется интерполяционная функция.

Замечание: элементы вектора x должны быть определены в порядке возрастания.

Чтобы осуществить линейную интерполяцию, надо выполнить следующие действия:

1. Ввести векторы данных x и y .
2. Определить функцию $linterp(x, y, t)$.
3. Вычислить значение этой функции в необходимых точках, например, $linterp(x, y, 2.4) = 3.52$ или $linterp(x, y, 6) = 5.9$, или построить ее график.

Замечание: функция $A(t)$ на графике имеет аргумент t , а не x . Это означает, что функция $A(t)$ исчисляется не только при заданных значениях аргумента, а в намного большем количестве аргументов в интервале изменения переменной, что автоматически обеспечивает Mathcad. Mathcad, по умолчанию, соединяет точки графика прямыми линиями, осуществляет их линейную интерполяцию.

В большинстве практических приложений желательно соединить экспериментальные точки не ломанной линией, а гладкой кривой. Лучше всего для этих целей подходит интерполяция кубическими сплайнами, т.е. отрезками кубических парабол.

$interp(s, x, y, t)$ - функция, которая аппроксимирует данные векторов x и y кубическими сплайнами;

– s - вектор вторых производных, созданный одной из функций *cspline*, *pspline* или *lspline*;

– x - вектор действительных данных аргумента, элементы которого расположены в порядке возрастания;

– y - вектор действительных значений того же размера;

– t - значение аргумента, при котором исчисляется функция, которая интерполируется.

Перед применением функции *interp* необходимо предварительно определить первый из ее аргументов - векторную переменную s . Выполняется это с помощью одной из трех встроенных функций тех же аргументов (x, y) .

– *ispline*(x, y) - вектор значений коэффициентов линейного сплайна;

– *pspline*(x, y) - вектор значений коэффициентов квадратичного сплайна;

– *cspline*(x, y) - вектор значений коэффициентов кубического сплайна;

– x, y - векторы данных.

Более сложный тип интерполяции - так называемая интерполяция *B-сплайнами*. В отличие от обычной сплайн-интерполяции, сшивание элементарных *B-сплайнов* выполняется не в точках x и y , а в других точках, координаты которых предлагается ввести пользователю. Сплайны могут быть полиномами 1, 2 или 3 степени (линейные, квадратичные или кубические). Применяется интерполяция *B-сплайнами* точно так же, как и обычная сплайн-интерполяция, разница состоит только в определении вспомогательной функции коэффициентов сплайна.

Практическая работа №1

Нахождение корней уравнения в MathCad

Цель работы: нахождение корней уравнения в программе MathCad с использованием встроенных функций *root*, *polyroots*, символьного решения.

Задачи: изучить методы нахождения корней уравнения в программе MathCad с использованием встроенных функций *root*, *polyroots*, символьного решения.

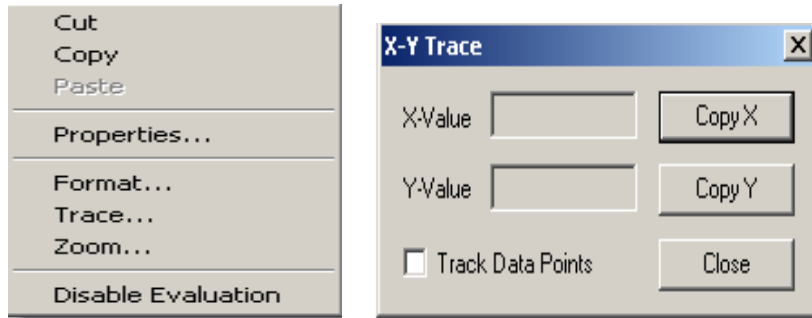
Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Нахождение корней уравнения в программе MathCad с использованием встроенной функции *root*

1. Запустить программу MathCad .
2. Записать на рабочем листе MathCad вид функции $f(x)$, для которой необходимо найти на заданном интервале корни.
3. Создать цикл из точек интервала, на котором определяются корни, и вычислить в этих точках функцию $f(x)$. Построить график функции $f(x)$ и график функции $x0=0$ (т.е. ось x).
4. Определить точки пересечения двух кривых $f(x)$ и $x0$, которые будут приближением к корням уравнения.
 - 4.1. Использовать для определения на графике значений корней в контекстном меню (Рис. 1.1, а) опцию Trace (Рис. 1.1,б), установить флажок в окне Track Data Point.
 - 4.2. Подвести курсор мыши к точкам пересечения кривых, координаты точек пересечения кривых, т.е. корни, будут представлены в окнах X-Value и Y-Value, а на графике отобразится вертикальная прямая.
5. Задать для независимой переменной x начальное приближение, которое выбирается как значение точки пересечения кривых $f(x)$ и $x0$. Обратиться ко встроенной в MathCad функции *root*($f(x), x$) (функция *root* возвращает значение независимой переменной x , для которой $f(x)$ равняется 0) и найти корень $x1$.
6. Найти второй ($x2$) и третий ($x3$) корни уравнения $f(x)=0$ (уравнение третьей степени имеет не больше трех действительных корней), задав для них соответственно их начальные значения как координаты точек пересечения кривых $f(x)$ и $x0$ и использовав функцию *root*.



а)

б)

Рисунок 1.1 – Диалоговые окна для определения координат точек пересечения кривых

Задание II Нахождение корней уравнения в программе MathCad с использованием встроенной функции *polyroots*, которая возвращает вектор, имеющий все корни уравнения, коэффициенты уравнения при этом задаются вектором.

1. Записать на рабочем листе MathCad вид функции $f(x)$, для которой необходимо найти на заданном интервале корни.
2. Записать как вектор v все коэффициенты уравнения, расположить их в порядке увеличения степеней.
3. Найти корни, обратившись ко встроенной функции $r := \text{polyroots}(v)$, результат будет получено относительно трансформированного вектора r^T .
4. Для интервала нахождения корня и количества элементов вектора r^T создать соответствующие циклы и вычислить значение функции в точках цикла.
5. Построить график функции в точках цикла, а также в найденных точках корней, в которых функция будет иметь значения, равные нулю.

Задание III Нахождение корней уравнения в программе MathCad с использованием символьных решений уравнений.

1. Ввести левую часть уравнения.
 2. Ввести знак равенства с использованием панели управления Evaluation (Выражения) или с помощью нажатия клавиш $\text{Ctrl} + =$.
 3. За знаком равенства ввести правую часть уравнения.
 4. Выделить переменную, относительно которой решается уравнение.
 5. Выбрать команду Symbolic/Variable/Solve.
- По окончании решения корни уравнения выводятся в виде вектора.

Задание IV Найти приближенное решение с использованием функции *minerr*($x1, \dots$).

1. Задать приближение последовательно для первого корня $x := 1$.
2. Ввести ключевое слово *given* (дано), из которого начинается блок

решений.

3. Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частями уравнения.

4. Обратиться к функции $\minerr(x)$. Корень будет найдено.

Таблица 1.1

Варианты заданий к лабораторной работе № 1

№ варианта	Интервал нахождения корней	Уравнение
1	2	3
1	[-1; 3]	$x^3 - 2,92x^2 + 1,4355x + 0,791 = 0$
2	[-2; 3]	$x^3 - 2,56x^2 - 1,325x + 4,395 = 0$
3	[-3,5; 2,5]	$x^3 + 2,84x^2 - 5,606x - 14,766 = 0$
4	[-2,5; 2,5]	$x^3 + 1,41x^2 - 5,472x - 7,38 = 0$
5	[-1,6; 1,1]	$x^3 + 0,85x^2 - 0,432x + 0,044 = 0$
6	[-1,6; 1,6]	$x^3 - 0,12x^2 - 1,478x + 0,192 = 0$
7	[-1,6; 0,8]	$x^3 + 0,77x^2 - 0,251x - 0,017 = 0$
8	[-1,4; 1]	$x^3 + 0,88x^2 - 0,3999x - 0,0376 = 0$
9	[-1,4; 2,5]	$x^3 + 0,78x^2 - 0,827x - 0,1467 = 0$
10	[-2,6; 1,4]	$x^3 + 2,28x^2 - 1,9347x - 3,90757 = 0$
11	[-2,6; 3,2]	$x^3 - 0,805x^2 - 7x + 2,77 = 0$
12	[-3; 3]	$x^3 - 0,345x^2 - 5,569x + 3,15 = 0$
13	[-2; 3,4]	$x^3 - 3,335x^2 - 1,679x + 8,05 = 0$
14	[-1; 2,8]	$x^3 - 2,5x^2 + 0,0099x + 0,517 = 0$
15	[-1,2; 3]	$x^3 - 3x^2 + 0,569x + 1,599 = 0$
16	[-2,5; 2,5]	$x^3 - 2,2x^2 + 0,82x + 0,23 = 0$
17	[-1,2; 4,6]	$x^3 - 5x^2 + 0,903x + 6,77 = 0$
18	[-1; 7,4]	$x^3 - 7,5x^2 + 0,499x + 4,12 = 0$
19	[-1,6; 9]	$x^3 - 7,8x^2 + 0,899x + 8,1 = 0$
20	[-3,4; 2]	$x^3 + 2x^2 - 4,9x - 3,22 = 0$
21	[-3,4; 1,2]	$x^3 + 3x^2 - 0,939x - 1,801 = 0$
22	[-4,6; 3,0]	$x^3 + 5,3x^2 + 0,6799x - 13,17 = 0$
23	[-2,4; 8,2]	$x^3 - 6,2x^2 - 12,999x + 11,1 = 0$
24	[-3,2; 2,7]	$x^3 - 0,34x^2 - 4,339x - 0,09 = 0$
25	[-1; 3]	$x^3 - 1,5x^2 + 0,129x + 0,07 = 0$
26	[-1; 3]	$x^3 - 5,5x^2 + 2,79x + 0,11 = 0$
27	[-1; 3]	$x^3 - 5,7x^2 - 6,219x - 2,03 = 0$
28	[-1; 3]	$x^3 - 3,78x^2 - 7,459x - 4,13 = 0$
29	[-1; 3]	$x^3 - 5x^2 - 9,9119x + 0,01 = 0$
30	[-1; 3]	$x^3 - 7x^2 - 1,339x - 7,55 = 0$

Пример выполнения

Задание I Для уравнения $f(x) = x^3 - 0.001 \cdot x^2 - 0.7044 \cdot x + 0.139$ найти корни на интервале $[-1, 1]$, шаг изменения переменной x равен 0.1.

1 Записать цикл из точек интервала $x := -1, -0.9 \dots 1$.

2 Записать функции $f(x) = x^3 - 0.001 \cdot x^2 - 0.7044 \cdot x + 0.139$ и $x0 = 0$.

3 Построить графики для этих функций.

4 Определить на графике точки пересечения кривых $f(x) = x^3 - 0.001 \cdot x^2 - 0.7044 \cdot x + 0.139$ и $x0 = 0$.

5 Задать как приближение значения точек пересечения $x1, x2, x3$. В примере $x1 = -0.9, x2 = 0.2, x3 = 0.7$.

6 Вычислить значение корней с помощью формул: $\text{root}(f(x1), x1)$, $\text{root}(f(x2), x2)$, $\text{root}(f(x3), x3)$. Полученные значения корней такие: $x1 = -0.92, x2 = 0.21, x3 = 0.721$ (Рис. 1.2).

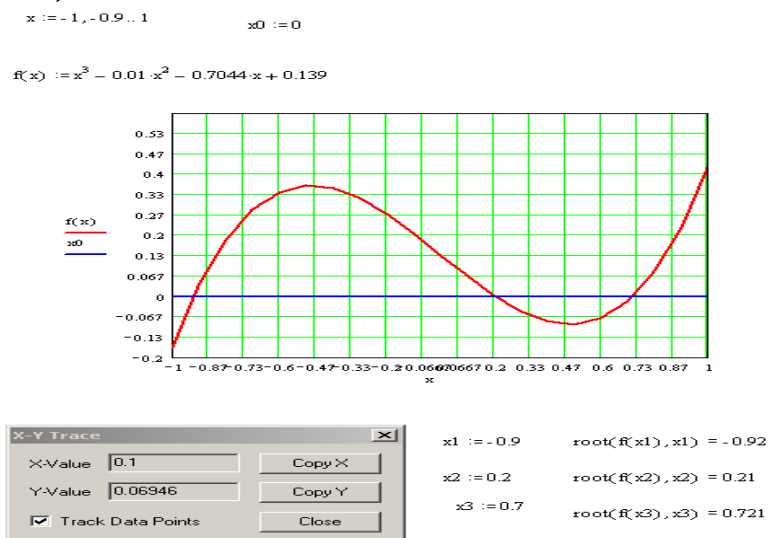


Рисунок 1.2 – Результат нахождения корней с использованием функции *root*

Задание II Для уравнения $f(x) = x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339 \cdot x + 7.55$ найти корни на интервале $[-1.1, 7.1]$, шаг изменения переменной x равен 0.1.

1. Создать вектор из коэффициентов уравнения, используя панель управления Matrix (Матрица) (Рис. 1.3) и задав один столбец и четыре строки для коэффициентов уравнения.

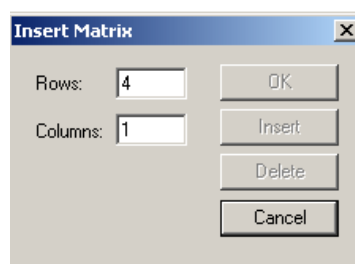


Рисунок 1.3 – Диалоговое окно для определения вектора из коэффициентов уравнения

Вектор из коэффициентов уравнения будет иметь следующий вид

$$v := \begin{bmatrix} 7.55 \\ -1.339 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix}$$

2. С помощью встроенной функции $r := \text{polyroots}(v)$ найти корни уравнения и представить их в виде вектора r^T , транспонированного по отношению к r , то есть преобразованного из столбца в строку.

3. Создать циклы для переменной x и количества найденных корней:

$$x := -1.1, -1..7.1$$

$$j := 0, 1..2.$$

4. Построить графики для функции и определить функцию в точках корней. В точках корней значения функции равны нулю.

5. Определить значения корней на графике (Рис. 1.4).

$$f(x) := x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339 \cdot x + 7.55$$

$$v := \begin{bmatrix} 7.55 \\ -1.339 \\ -7 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$r := \text{polyroots}(v)$$

$$r^T = (-1.055 \quad 1.017 \quad 7.038)$$

$$x := -1.1, -1..7.1$$

$$j := 0, 1..2$$

$r_j =$	$f(x) =$
-1.055	-0.778
1.017	0.889
7.038	2.356
	3.629
	4.714
	5.617
	6.345
	6.902
	7.295
	7.53
	7.613
	7.55
	7.347
	7.01
	6.545
	5.958

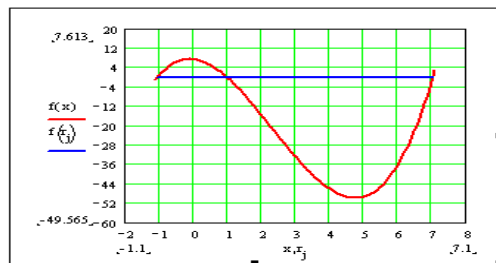


Рисунок 1.4 – Результат нахождения корней с использованием функции *polyroots*

Задание III Для уравнения $f(x) = x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339 \cdot x + 7.55$ найти корни с использованием символьных решений уравнений.

1. Записать левую часть уравнения

$$x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339 \cdot x + 7.55.$$

2. Поставить логический знак « $\Leftarrow$ » и в правой части записать 0.

3. Выделить переменную x .

4. Обратиться в главном меню MathCad к команде Symbolic/Variable/ Solve.

Найдены корни уравнения запишутся в виде вектора:

$$(x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339x) + 7.55 = 0$$

$$\begin{bmatrix} -1.0548347262813942430 \\ 1.0170068872772705837 \\ 7.0378278390041236593 \end{bmatrix}$$

Задание IV Найти приближенное решение вышеприведенного уравнения с использованием функции *minerr*(x1,...).

1. Задать приближение последовательно для первого корня $x:=1$.
2. Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.
3. Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частью уравнения.
4. Обратиться к функции *minerr*(x). Корень будет найдено.
5. Аналогические действия выполнить для двух других корней уравнения, поскольку уравнения третьей степени имеет не больше трех корней.

$$\begin{aligned} x &:= 1 \\ \text{Given} \\ x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339x + 7.55 &= 0 \\ \text{minerr}(x) &= 1.017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &:= 7 \\ \text{Given} \\ x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339x + 7.55 &= 0 \\ \text{Minerr}(x) &= 7.038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &:= -1 \\ \text{Given} \\ x^3 - 7 \cdot x^2 - 1.339x + 7.55 &= 0 \\ \text{Minerr}(x) &= -1.055 \end{aligned}$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

- 1 Какие встроенные функции позволяют находить корни уравнения?
- 2 Как выполняется символьное нахождение корней уравнений?

Рекомендуемая литература

- 1 ДьКаконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ- Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №2

Действия с матрицами в MathCad

Цель работы: выполнение действий с матрицами в программе MathCad .

Задачи: изучить действия с матрицами в программе MathCad

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I

1. Запустить программу MathCad .

2. Создать матрицы $A = \begin{vmatrix} a & b & c \\ -m & n & k \\ c & b & -a \end{vmatrix}$, $B = \begin{vmatrix} b-c \\ m & b \\ n & k \end{vmatrix}$, $C = \begin{vmatrix} n & a \\ m & b \end{vmatrix}$,

$D = \begin{vmatrix} a-b \\ -n \\ c+b \end{vmatrix}$, $M = \begin{vmatrix} b-a & c \end{vmatrix}$, $K = \begin{vmatrix} n & -a & a+b \\ m & b & n+m \\ c & n & c-b \end{vmatrix}$ из коэффициентов a, b, c, m, k, n в соответствии с вариантом задания.

3. Выполнить действия с матрицами в соответствии с вариантом задания.

4. Найти ранг матрицы A .

5. В символьном виде выполнить транспонирование матрицы B , инвертирование матрицы A .

6. Найти обратную матрицу K . Найти детерминант матрицы A .

Таблица 2.1

Варианты заданий к лабораторной работе № 2

Номер варианта		Действия с матрицами
1	2	3
1	$a=1; b=0.5; c=-1; m=2; k=-2.1; n=-0.8$	1) $A+A \cdot M$; 2) $B \cdot C$; 3) M^3 ; 4) $D+m \cdot K$; 5) $A \cdot D+D \cdot M$; 6) K^{-2}
2	$a=-2; b=1; c=1.5; m=-3; k=-0.1; n=1.8$	1) $A+B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C+m \cdot K$; 5) $AB+D \cdot K$ 6) D^{-3}
3	$a=-1; b=5; c=1.3; m=0.9; k=0.1; n=-0.5$	1) $A-M$; 2) $B-a \cdot C$ 3) M^2-B ; 4) $D \cdot K$; 5) $A+7 \cdot D$; 6) A^{-2}

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
4	$a=1; b=0.5; c=1; m=0.2;$ $k=0.27; n=0.7$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C + M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D - K$; 5) $A \cdot B - D \cdot C$; 6) D^{-2}
5	$a=3; b=2.1; c=0.91; m=1.2;$ $k=1; n=3$	1) $A^2 + M$; 2) $B - M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D + 3K$; 5) $A \cdot K - D$; 6) M^{-2}
6	$a=4; b=-0.5; c=-1; m=3.2;$ $k=1.1; n=1.8$	1) $A + B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C + m \cdot K$; 5) $AB + D \cdot K$ 6) D^{-3}
7	$a=1; b=2.5; c=0.3; m=1;$ $k=-2.1; n=-0.8$	1) $A - M$; 2) $B - a \cdot C$ 3) $M^2 - B$; 4) $D -$ $\cdot K$; 5) $A + 7 \cdot D$; 6) A^{-2}
8	$a=2; b=0.5; c=-1.1; m=2;$ $k=1.9; n=-3.8$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C + M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D - K$; 5) $A \cdot B - D \cdot C$; 6) D^{-2}
9	$a=3; b=-2.5; c=4; m=3;$ $k=-2.1; n=0.8$	1) $A^2 + M$; 2) $B - M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D + 3K$; 5) $A \cdot K - D$; 6) M^{-2}
10	$a=3.1; b=1.5; c=2.1; m=3.2;$ $k=1.1; n=-1.6$	1) $A + A \cdot M$; 2) $B \cdot C$; 3) M^3 ; 4) $D + m \cdot K$; 5) $A \cdot D + D \cdot M$; 6) K^{-2}
11	$a=-2; b=1; c=1.5; m=-3;$ $k=-0.1; n=1.8$	1) $A + B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C + m \cdot K$; 5) $AB + D \cdot K$ 6) D^{-3}
12	$a=-1; b=5; c=1.3; m=0.9;$ $k=0.1; n=-0.5$	1) $A - M$; 2) $B - a \cdot C$ 3) $M^2 - B$; 4) $D -$ $\cdot K$; 5) $A + 7 \cdot D$; 6) A^{-2}
13	$a=1; b=0.5; c=1; m=0.2;$ $k=0.27; n=0.7$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C + M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D - K$; 5) $A \cdot B - D \cdot C$; 6) D^{-2}
14	$a=3; b=2.1; c=0.91; m=1.2;$ $k=1; n=3$	1) $A^2 + M$; 2) $B - M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D + 3K$; 5) $A \cdot K - D$; 6) M^{-2}
15	$a=4; b=-0.5; c=-1; m=3.2;$ $k=1.1; n=1.8$	1) $A + B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C + m \cdot K$; 5) $AB + D \cdot K$ 6) D^{-3}
16	$a=1; b=2.5; c=0.3; m=1;$ $k=-2.1; n=-0.8$	1) $A + B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C + m \cdot K$; 5) $AB + D \cdot K$ 6) D^{-3}
17	$a=2; b=0.5; c=-1.1; m=2;$ $k=1.9; n=-3.8$	1) $A - M$; 2) $B - a \cdot C$ 3) $M^2 - B$; 4) $D -$ $\cdot K$; 5) $A + 7 \cdot D$; 6) A^{-2}
18	$a=3; b=-2.5; c=4; m=3;$ $k=-2.1; n=0.8$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C + M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D - K$; 5) $A \cdot B - D \cdot C$; 6) D^{-2}
19	$a=3.1; b=1.5; c=2.1; m=3.2;$ $k=1.1; n=-1.6$	1) $A^2 + M$; 2) $B - M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D + 3K$; 5) $A \cdot K - D$; 6) M^{-2}
20	$a=1; b=0.5; c=-1; m=2;$ $k=-2.1; n=-0.8$	1) $A + A \cdot M$; 2) $B \cdot C$; 3) M^3 ; 4) $D + m \cdot K$; 5) $A \cdot D + D \cdot M$; 6) K^{-2}

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
21	$a=-2; b=1; c=1.5; m=-3;$ $k=-0.1; n=1.8$	1) $A+B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C+m \cdot K$; 5) $AB+D \cdot K$ 6) D^{-3}
22	$a=-1; b=5; c=1.3; m=0.9;$ $k=0.1; n=-0.5$	1) $A-M$; 2) $B-a \cdot C$ 3) M^2-B ; 4) $D-$ $\cdot K$; 5) $A+7 \cdot D$; 6) A^{-2}
23	$a=1; b=0.5; c=1; m=0.2;$ $k=0.27; n=0.7$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C+M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D-K$; 5) $A \cdot B-D \cdot C$; 6) D^{-2}
24	$a=3; b=2.1; c=0.91; m=1.2;$ $k=1; n=3$	1) A^2+M ; 2) $B-M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D+3K$; 5) $A \cdot K-D$; 6) M^{-2}
25	$a=4; b=-0.5; c=-1; m=3.2;$ $k=1.1; n=1.8$	1) $A+B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C+m \cdot K$; 5) $AB+D \cdot K$ 6) D^{-3}
26	$a=1; b=2.5; c=0.3; m=1;$ $k=-2.1; n=-0.8$	1) $A+A \cdot M$; 2) $B \cdot C$; 3) M^3 ; 4) $D+m \cdot K$; 5) $A \cdot D+D \cdot M$; 6) K^{-2}
27	$a=2; b=0.5; c=-1.1; m=2;$ $k=1.9; n=-3.8$	1) $A+B \cdot M$; 2) $M \cdot C$; 3) B^3 ; 4) $C+m \cdot K$; 5) $AB+D \cdot K$ 6) D^{-3}
28	$a=3; b=-2.5; c=4; m=3;$ $k=-2.1; n=0.8$	1) $A-M$; 2) $B-a \cdot C$ 3) M^2-B ; 4) $D-$ $\cdot K$; 5) $A+7 \cdot D$; 6) A^{-2}
29	$a=3.1; b=1.5; c=2.1; m=3.2;$ $k=1.1; n=-1.6$	1) A^2 ; 2) $B \cdot C+M$; 3) $n \cdot M^2$; 4) $D-K$; 5) $A \cdot B-D \cdot C$; 6) D^{-2}
30	$a=-2; b=1; c=1.5; m=-3;$ $k=-0.1; n=1.8$	1) A^2+M ; 2) $B-M$; 3) $b \cdot C^{-3}$; 4) $D+3K$; 5) $A \cdot K-D$; 6) M^{-2}

Пример выполнения**Задание I**

Выполнить действия с матрицами, создав их из заданных коэффициентов $a=1, b=2, c=3, m=4, k=5, n=6$. Матрицы имеют следующий вид:

$$M := \begin{pmatrix} c & -b & a \end{pmatrix}$$

$$A := \begin{bmatrix} a & b & c \\ c & a & b \\ b & -c & -a \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} -c & a \\ -b & -c \\ a & b \end{bmatrix} \quad D := \begin{bmatrix} c & -b \\ a \\ c & -a \end{bmatrix} \quad C := \begin{bmatrix} -c & b \\ a & n \end{bmatrix} \quad K := \begin{bmatrix} m & c & -n \\ n & -b & -m \\ -k & a & c \end{bmatrix}$$

1. Создать матрицы.

1.1. Выбрать панель управления Matrix (Матрица).

1.2. Определить число строк и столбцов для каждой матрицы (Рис. 2.1).

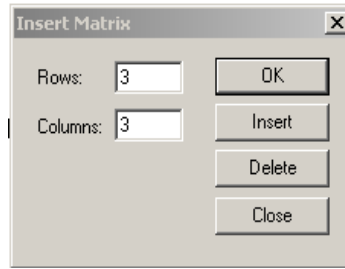


Рисунок 2.1 - Диалоговое окно для определения размера матрицы

1.3. Матрицы в примере имеют такие размеры: $A - (3 \times 3)$, $B - (3 \times 2)$, $C(2 \times 2)$, $M(1 \times 2)$, $K(3 \times 3)$.

1.4. Заполнить матрицы соответствующими параметрами (Рис. 2.3).

2 Выполнить следующие действия с матрицами:

1) $A + n \cdot K$; 2) $A \cdot B$; 3) A^2 ; 4) $A \cdot D$; 5) $D \cdot M$; 6) $D - 1$.

3 Найти ранг матрицы A (ранг матрицы -наибольший порядок минора этой матрицы, который отличный от нуля): $rank(A)$.

4 В символьном виде выполнить транспонирование матрицы B , т.е. заменить местами строки и столбцы матрицы B .

4.1 Выделить матрицу B .

4.2 Обратиться в главном меню к команде Symbolic / Matrix/Transpose (Рис. 2.2).

5 В символьном виде выполнить инвертирование матрицы A (т.е. найти матрицу, которая будет обратной к матрице A) .

5.1 Выделить матрицу A .

5.2 Обратиться в главном меню к команде Symbolic/Matrix/Invert (Рис. 2.2).

6 В символьном виде найти обратную матрицу K .

6.1 Выделить матрицу K .

6.2 Обратиться в главном меню к команде Symbolic / Matrix/Invert (Рис. 2.2).

7 В символьном виде найти детерминант (определитель) матрицы A .

7.1 Выделить матрицу A .

7.2 Обратиться в главном меню к команде Symbolic/Matrix/Determinant (Рис. 2.2).

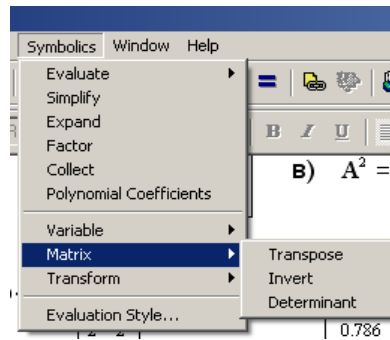


Рисунок 2.2 – Меню Symbolic для работы с матрицами в символьном виде

Задані матриці

$a := 1 \quad b := 2 \quad c := 3 \quad m := 4 \quad k := 5 \quad n := 6 \quad M := (c - b \ a)$

$A := \begin{bmatrix} a & b & c \\ c & a & b \\ b & -c & -a \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} -c & a \\ -b & -c \\ a & b \end{bmatrix} \quad D := \begin{bmatrix} c - b \\ a \\ c - a \end{bmatrix} \quad C := \begin{bmatrix} -c & b \\ a & n \end{bmatrix} \quad K := \begin{bmatrix} m & c & -n \\ n & -b & -m \\ -k & a & c \end{bmatrix}$

Знайти

а) $A + n \cdot K = \begin{bmatrix} 25 & 20 & -33 \\ 39 & -11 & -22 \\ -28 & 3 & 17 \end{bmatrix}$ б) $A \cdot B = \begin{bmatrix} -4 & 1 \\ -9 & 4 \\ -1 & 9 \end{bmatrix}$ в) $A^2 = \begin{bmatrix} 13 & -5 & 4 \\ 10 & 1 & 9 \\ -9 & 4 & 1 \end{bmatrix}$

г) $A \cdot D = \begin{bmatrix} 9 \\ 8 \\ -3 \end{bmatrix}$ д) $D \cdot M = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$ е) $A^{-1} = \begin{bmatrix} -0.357 & 0.5 & -0.071 \\ -0.5 & 0.5 & -0.5 \\ 0.786 & -0.5 & 0.357 \end{bmatrix}$

ж) ранг матриці A $\text{rank}(A) = 3$ +

Обчислити в символьному вигляді

а) транспонування матриці $\begin{bmatrix} -c & a \\ -b & -c \\ a & b \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} -c & -b & a \\ a & -c & b \end{bmatrix}$

б) інвертування матриці $\begin{bmatrix} -c & b \\ a & n \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{-n}{(n \cdot c + a \cdot b)} & \frac{b}{(n \cdot c + a \cdot b)} \\ \frac{a}{(n \cdot c + a \cdot b)} & \frac{c}{(n \cdot c + a \cdot b)} \end{bmatrix}$

в) знайти детермінант матриці $\begin{bmatrix} a & b & c \\ c & a & b \\ b & -c & -a \end{bmatrix} \Rightarrow -a^3 + a \cdot c \cdot b - c^3 + b^3$

г) знайти обернену матрицю $\begin{bmatrix} b & 0 & n & 0 \\ n & 0 & n & c \\ n & 0 & n & 0 \\ n & a & n & b \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{1}{(b - n)} & 0 & \frac{-1}{(b - n)} & 0 \\ 0 & \frac{-b}{(a \cdot c)} & \frac{(b - c)}{(a \cdot c)} & \frac{1}{a} \\ \frac{-1}{(b - n)} & 0 & \frac{b}{(n \cdot (b - n))} & 0 \\ 0 & \frac{1}{c} & \frac{-1}{c} & 0 \end{bmatrix}$

Рисунок 2.3 – Результати вычисления матриц

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

- 1 Как можно создать матрицу и вектор?
- 2 Какие действия выполняются с матрицами?
- 3 Как определяются элементы матрицы?

Рекомендуемая литература

- 1 ДьКаконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №3

Нахождение решений системы линейных уравнений в MathCad

Цель работы: нахождение решений системы линейных уравнений в программе MathCad.

Задачи: изучить методы нахождения решений системы линейных уравнений в программе MathCad

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Найти решение системы линейных уравнений с использованием функции *soln*.

- 1 Запустить программу MathCad.
- 2 Создать матрицу A из коэффициентов при неизвестных.
- 3 Создать вектор b из свободных членов.
- 4 Обратиться к встроенной программе решения линейных уравнений *soln* и записать $\text{soln}_1 := A^{-1} \cdot b$.
- 5 Получить решение линейного уравнения у векторному виде

$$\text{soln}_1 = \begin{vmatrix} \vdots \\ \dots \end{vmatrix}.$$

Задание II Найти решение системы линейных уравнений с использованием так званого «блоку решений».

- 1 Задать начальные значения переменным, которые есть в уравнении.
- 2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.
- 3 Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частью уравнения из панели управления Evaluation (Выражения).
- 4 Ввести ключевое слово *find* (найти), которым заканчивается блок решений.

Задание III Найти решение вышеприведенной системы уравнений с использованием функции *lsolve*.

- 1 Создать матрицу A из коэффициентов при неизвестных.
- 2 Создать вектор b из свободных членов.
- 4 Обратиться к встроенной программе решения линейных уравнений *lsolve* и записать $\text{lsolve}(A, b)$.

5 Получить результат решения линейного уравнения в векторном виде

$$lsolve := \begin{pmatrix} | \\ | \\ \dots \\ | \end{pmatrix} \cdot$$

Задание IV Найти приближенное решение с использованием функции $minerr(x1, \dots)$.

1 Задать приближение последовательно для значений переменной $x1, x2, \dots$ x_n .

2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.

3 Записать систему уравнений, используя знак логического равенства между правой и левой частями каждого уравнения.

4 Обратиться к функции $minerr(x1, x2, \dots)$. Значения неизвестных будут найдены.

Таблица 3.1

Варианты заданий к лабораторной работе № 3

№ варианта	Коэффициенты при неизвестных				Свободные члены
	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	b_1
	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	b_2
	a_{31}	a_{23}	a_{33}	a_{34}	b_3
	a_{41}	a_{24}	a_{34}	a_{44}	b_4
1	2	3	4	5	6
1	9	5	7	4	0
	4	6	7	8	6
	5	8	6	7	3
	5	6	7	8	7
2	9	6	3	8	3
	4	6	7	4	1
	2	3	5	3	4
	4	8	3	7	2
3	2	3	2	5	3
	5	2	5	7	2
	4	2	7	1	3
	7	5	1	4	2
4	1	4	2	5	8
	4	4	5	3	6
	1	2	6	8	7
	3	7	3	2	9
5	9	6	3	8	3
	4	6	7	4	8
	2	3	5	3	5
	4	8	3	7	9

Продолжение табл.3.1

№ варианта	Коэффициенты при неизвестных				Свободные члены
	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	B_1
	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	B_2
	a_{31}	a_{23}	a_{33}	a_{34}	B_3
	a_{41}	a_{24}	a_{34}	a_{44}	B_4
1	2	3	4	5	6
6	2	4	7	4	2
	4	1	6	2	0
	8	3	6	7	3
	6	3	5	7	1
7	3	3	4	7	3
	2	6	4	6	4
	3	4	5	6	8
	1	9	3	5	2
8	2	1	5	2	1
	5	2	2	6	3
	2	2	1	2	0
	1	3	3	1	2
9	7	6	2	7	3
	4	9	5	5	2
	2	3	4	4	0
	1	5	6	6	2
10	3	6	5	2	3
	4	6	3	5	0
	2	3	2	6	4
	2	4	3	6	3
11	0,12	-0,43	0,14	0,64	-0,17
	-0,07	0,34	-0,72	0,32	0,62
	1,18	-0,08	-0,25	0,43	1,12
	1,17	0,53	-0,84	-0,53	1,15
12	0,12	-0,43	0,14	0,64	-0,17
	-0,07	0,34	-0,72	0,32	0,62
	1,18	-0,08	-0,25	0,43	1,12
	1,17	0,53	-0,84	-0,53	1,15
13	3,7	5,6	9,5	2	13
	4	3,36	31,1	1,5	0
	2	7,93	4,2	6,3	4,4
	2	42,7	3,7	6,2	3
14	1,3	1,6	5	2,2	3
	4,4	6,7	13	2,5	0
	2,8	0,73	12	67,8	4
	2	3,4	13	6	3

Продолжение табл.3.1

№ варианта	Коэффициенты при неизвестных				Свободные члены
	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	B_1
	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	B_2
	a_{31}	a_{23}	a_{33}	a_{34}	B_3
	a_{41}	a_{24}	a_{34}	a_{44}	B_4
1	2	3	4	5	6
15	5,3	1,6	5,5	2	3,3
	4,1	6,4	3,9	5	0
	2,1	3,3	2,04	6	4,9
	2	4	3	6	3,1
16	3	6	5	0,2	3
	4	6	8,3	5,3	0
	2	3	2,6	6,1	4,1
	2	4	0,93	6	3,8
17	3	6	5	2	34,7
	4	6	3,6	5	0
	2	3,4	2	6	4,2
	2	44,7	3	6	3
18	3	6	5,1	0,2	4
	4	6	3,4	5,34	3
	2	3	2,7	6,7	4
	2	4	3,3	6	7
19	23	6	5	2,5	1,3
	4	6	3	5,2	0,78
	12	3	2	6,11	4,2
	12	4	3	6,78	3,76
20	1	5	5	2,3	3
	8	2	3,4	2,5	0
	6	3	0,2	6	4
	2	4	3	5	3
21	3	6	1,25	2	3
	2	5	3,3	8,2	2
	5	2	1,2	2	4
	2	4	1,3	9	2
22	1	6	5,9	2	3
	7	6,6	3	5	0
	3	3,3	2,1	6	2
	2	4,8	3	6	8
23	3	16	5	12	3
	0,4	6	13	5	0
	2	3	2	6	14
	0,2	4	3	16	3

Продолжение табл.3.1

№ варианта	Коэффициенты при неизвестных				Свободные члены
	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	B_1
	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	B_2
	a_{31}	a_{23}	a_{33}	a_{34}	B_3
	a_{41}	a_{24}	a_{34}	a_{44}	B_4
1	2	3	4	5	6
24	1,3	16	1,5	2,22	3,2
	5	8	3,4	5,55	1,3
	3	3,3	2,2	6,77	4
	2	4,9	3,6	6,88	3
25	3	6	15	2	3
	4	6	3	5	0,4
	2	3	12	6	14
	2	4	3	6	0,3
26	3,3	7,6	5,5	2	3
	5,4	7	13	5	0
	9,2	4	2	6	4
	3,2	4	3	6	3
27	3	6	5	2	3
	0,44	9	3	5	0
	2	2	2	6	4
	0,67	5	3	6	3
28	3,35	3	5,3	2	3
	4,22	6,7	3,5	5	0
	2,8	3,8	2,9	6	4
	2,34	4	3,44	6	3
29	3	6	5,23	2	3
	4	6	11	5	0
	2	3	18	6	4
	2	4	13	6	3
30	13,4	6,33	5,1	2,11	3,33
	4,66	6,1	3,33	5,44	0,11
	2,22	6	2,55	6,33	4,44
	2,98	8	3,78	6,11	3,33

Пример выполнения

Задание I Найти решение системы уравнений с использованием функции *soln*

$$\begin{cases} 2 \cdot x - y + 2 \cdot z = 1 \\ 2 \cdot x - y + 3 \cdot z = 1 \\ 5 \cdot x - y + 4 \cdot z = -3. \end{cases}$$

1 Создать матрицу A

$$A := \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 3 \\ 5 & -1 & 4 \end{bmatrix}.$$

2 Создать вектор b

$$b := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}.$$

3 Найти решение системы, используя функцию *soln*

$$\text{soln}_1 = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 3 \\ 5 & -1 & 4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}.$$

4 Результат решения

$$A := \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 3 \\ 5 & -1 & 4 \end{bmatrix} \quad b := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}$$

$$\text{soln}_1 := A^{-1} \cdot b \quad \text{soln}_1 = \begin{bmatrix} -1.333 \\ -3.667 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Задание II Найти решение вышеприведенной системы уравнений с использованием так называемого «блоку решений»

1 Задать начальные значения переменным, которые присутствуют в уравнении

$$x=0; y=0; z=0.$$

2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.

3 Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частями уравнения из панели управления Evaluation (Выражения).

$$\begin{cases} 2 \cdot x - y + 2 \cdot z = 1 \\ 2 \cdot x - y + 3 \cdot z = 1 \\ 5 \cdot x - y + 4 \cdot z = -3. \end{cases}$$

4 Ввести ключевое слово *find* (найти), которым заканчивается блок решений.

$$\text{find}(x,y,z) =$$

5 Результат решения

```

x := 0      y := 0      z := 0

given
  2·x - y + 2·z = 1
  2·x - y + 3·z = 1
  5·x - y + 4·z = -3
find(x,y,z) =  $\begin{bmatrix} -1.333 \\ -3.667 \\ 0 \end{bmatrix}$ 

```

Задание III Найти решение вышеприведенной системы уравнений с использованием функции *lsolve*.

1 Создать матрицу A

$$A := \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 3 \\ 5 & -1 & 4 \end{bmatrix}.$$

2 Создать вектор b

$$b := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}.$$

3 Найти решение системы, используя функцию *lsolve*:

$$A := \begin{pmatrix} 2 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & 3 \\ 5 & -1 & 4 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{pmatrix} \quad \text{lsolve}(A, b) = \begin{pmatrix} -1.333 \\ -3.667 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Задание IV Найти решение вышеприведенной системы уравнений с использованием функции *minerr* (x,y,z).

1 Задать начальные условия для неизвестных, например, x=1,y=1,z=1.

2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.

3 Записать уравнения, используя знак логического равенства между правой и левой частью уравнения из панели.

4 Обратиться к функции *minerr* (x,y,z). Решение системы уравнений будет найдено.

```

x:=1      z:=1      y:=1
given
  2·x - y + 2·z = 1
  2·x - y + 3·z = 1
  5·x - y + 4·z = -3
minerr(x,y,z) =  $\begin{pmatrix} -1.333 \\ -3.667 \\ 0 \end{pmatrix}$ 

```

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

1 Какие встроенные функции позволяют найти решение системы линейных уравнений?

2 В каком виде представляются результаты решения системы линейных уравнений?

Рекомендуемая литература

1 ДьКаконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.

2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.

3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.

4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.

5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.

6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.

7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №4

Нахождение решений системы нелинейных уравнений в MathCad

Цель работы: нахождение решений системы нелинейных уравнений в программе MathCad.

Задачи: изучить методы нахождения решений системы нелинейных уравнений методами MathCad .

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Найти решение системы нелинейных уравнений с использованием так называемого "блока решений".

- 1 Задать начальные значения переменным, которые есть в уравнении.
- 2 Ввести ключевое слово *given* (дано), из которого начинается блок решений.
- 3 Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частями уравнения из панели управления.
- 4 Ввести ключевое слово *find* (найти), которым заканчивается блок решений.

Задание II. Найти приближенное решение с использованием функции *minerr(x1,...)*.

- 1 Задать приближение последовательно для значений переменной $x_1, x_2, \dots, x_n$.
- 2 Ввести ключевое слово *given* (дано), из которого начинается блок решений.
- 3 Записать систему уравнений, используя знак логического равенства между правой и левой частями каждого уравнения.
- 4 Обратиться к функции *minerr(x1,x2,..)*. Значение неизвестных будет найдено.

Варианты задания к лабораторной работе №4

№ варианта	Система уравнений	№ варианта	Система уравнений
1	2	3	4
1	$\begin{cases} 2x^2 + 5y^2 = 3 \\ 5x + 9y = 3 \end{cases}$	2	$\begin{cases} 3x^2 + 4y^2 = 4 \\ 3x + 4y = 2 \end{cases}$
3	$\begin{cases} 5x^2 + 2y^2 = 4 \\ 2x + 7y = 1 \end{cases}$	4	$\begin{cases} 4x^2 + 5y^2 = 3 \\ 5x + 3y = 1 \end{cases}$
5	$\begin{cases} 5x^2 + 6y^2 = 3 \\ 7x + 3y = 1 \end{cases}$	6	$\begin{cases} 3x^2 + 5y^2 = 3 \\ 5x + 7y = 2 \end{cases}$
7	$\begin{cases} 7x^2 + 6y^2 = 3 \\ 5x + 3y = 2 \end{cases}$	8	$\begin{cases} 5x^2 + 6y^2 = 3 \\ 3x + 7y = 2 \end{cases}$
9	$\begin{cases} 3x^2 + 2y^2 = 2 \\ 2x + 7y = 3 \end{cases}$	10	$\begin{cases} 5x^2 + y^2 = 3 \\ 3x + 5y = 2 \end{cases}$
11	$\begin{cases} 2x^2 - y^2 = 5 \\ 7x + y = 4 \end{cases}$	12	$\begin{cases} 8x^2 + 6y^2 = 4 \\ 2x + 2y = 3 \end{cases}$
13	$\begin{cases} 4x^2 + 3y^2 = 7 \\ 8x + 2y = 6 \end{cases}$	14	$\begin{cases} 3x^2 + 4y^2 = 9 \\ 6x + 3y = 7 \end{cases}$
15	$\begin{cases} x^2 + 2y^2 = 3 \\ 5x + 4y = 7 \end{cases}$	16	$\begin{cases} 4x^2 + y^2 = 9 \\ x + y = 3 \end{cases}$
17	$\begin{cases} 2x^2 + 7y^2 = 5 \\ 3x + 2y = 8 \end{cases}$	18	$\begin{cases} 6x^2 + 7y^2 = 3 \\ 2x + 4y = 6 \end{cases}$
19	$\begin{cases} 3x^2 + y^2 = 5 \\ 7x + 3y = 6 \end{cases}$	20	$\begin{cases} x^2 + 2y^2 = 4 \\ 8x + 7y = 5 \end{cases}$
21	$\begin{cases} 4x^2 + 2y^2 = 7 \\ 9x + y = 6 \end{cases}$	22	$\begin{cases} 5x^2 + 3y^2 = 6 \\ x + 4y = 3 \end{cases}$
23	$\begin{cases} 9x^2 + 7y^2 = 3 \\ 5x + y = 4 \end{cases}$	24	$\begin{cases} 6x^2 + y^2 = 4 \\ 3x + 2y = 7 \end{cases}$
25	$\begin{cases} x^2 + 3y^2 = 7 \\ 4x + 5y = 3 \end{cases}$	26	$\begin{cases} 2x^2 + 9y^2 = 5 \\ x + 6y = 7 \end{cases}$
27	$\begin{cases} 3x^2 + 4y^2 = 9 \\ 9x + y = 3 \end{cases}$	28	$\begin{cases} 5x^2 + y^2 = 1 \\ 3x + 4y = 8 \end{cases}$
29	$\begin{cases} 3x^2 + 8y^2 = 7 \\ 6x + 5y = 4 \end{cases}$	30	$\begin{cases} 5x^2 + 9y^2 = 3 \\ 2x + 8y = 4 \end{cases}$

Пример выполнения

Задание I Найти решение системы нелинейных уравнений с использованием так называемого «блока решений».

1 Задать начальные значения переменным, которые есть в уравнении

$$x=1; y=1.$$

2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.

3 Записать уравнения, используя знак логического равенства между правой и левой частью уравнения из панели управления

$$\begin{cases} 2x^2 + 5y^2 = 3 \\ 5x + 9y = 3 \end{cases}$$

4 Ввести ключевое слово *find* (найти), которым заканчивается блок решений.

$$\text{find}(x,y) =$$

5 Результат решения

$$x := 1$$

$$y := 1$$

Given

$$2 \cdot x^2 + 5 \cdot y^2 = 3$$

$$5 \cdot x + 9 \cdot y = 3$$

$$\text{Find}(x,y) = \begin{bmatrix} -0.609 \\ 0.672 \end{bmatrix}$$

Задание II Найти приближенное решение с использованием функции *minerr*(x1,...).

1 Задать приближения последовательно для значений переменной $x=1, y=1$.

2 Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.

3 Записать систему уравнений, используя знак логического равенства между правой и лево частью каждого уравнения.

4 Обратится к функции *minerr*(x,y). Значение неизвестных будет найдено.

$$x:=1$$

$$y:=1$$

given

$$2 \cdot x^2 + 5 \cdot y^2 = 3$$

$$5 \cdot x + 9 \cdot y = 3 \quad \text{minerr}(x,y) = \begin{pmatrix} -0.609 \\ 0.672 \end{pmatrix}.$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование

- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

- 1 Какие встроенные функции позволяют найти решение системы нелинейных уравнений?
- 2 В каком виде представляются результаты решения системы нелинейных уравнений?
- 3 Нужно ли задавать начальные приближения при решении системы нелинейных уравнений?

Рекомендуемая литература

- 1 ДьКаконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа № 5

Символьные действия математического анализа в MathCad

Цель работы: нахождение неопределенных и определенных интегралов и производных в программе MathCad с использованием символьных операций.

Задачи: изучить методы нахождения неопределенных и определенных интегралов и производных в программе MathCad с использованием символьных операций

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

1 Запустить программу MathCad.

2 Записать на рабочем листе в соответствии с номером варианта формулы для определения неопределенных интегралов, определенных интегралов, производных первого порядка. От производных первого порядка определить производные второго, третьего порядков.

3 Применить последовательно к каждой функции команды меню Symbolic/Simplify, отметив последовательно каждую из функций.

Таблица 5.1

Варианты задания к лабораторной работе №5

Номер варианта	Неопределенные интегралы	Определенные интегралы	Производные
1	2	3	4
1	$\int \frac{x^4 - 3 \cdot x^2 + 5 \cdot \sqrt[3]{x} - 7 \cdot x + 6}{\sqrt[3]{x}} dx$	$\int_0^{\pi} \sin(x) dx$	$\frac{d}{dx} [(x+1)^2 \cdot (x-2)^3]$
2	$\int \left[\frac{(1 + \sqrt{x})^3}{\sqrt{x}} \right] dx$	$\int_0^1 e^{k \cdot x} dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x) + \cos(x) + \tan(x))$
3	$\int \cos(4 \cdot x)^5 \cdot \sin(4 \cdot x) dx$	$\int_{-1}^1 \frac{1}{1+x^2} dx$	$\frac{d}{dx} (e^x + \ln(x) - \arcsin(x) + \sqrt[3]{x})$

Продолжение табл. 5.1

Номер варианта	Неопределенные интегралы	Определенные интегралы	Производные
1	2	3	4
4	$\int \frac{x^2}{(4x^3 + 9)^4} dx$	$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{\sin(x)}{\cos(x)^2} dx$	$\frac{d}{dx} (2^x \cdot \sin(x) + e^{3x})$
5	$\int \frac{\cos(\sqrt{x})}{\sqrt{x}} dx$	$\int_1^2 \frac{1}{x(1+x^4)} dx$	$\frac{d}{dx} \left(\frac{10}{\tan(x)} + 5 \cdot \ln(x) + 6 \cdot \cos(x) + 2 \cdot \sqrt[4]{x} \right)$
6	$\int \frac{1}{\sin(x)^2 \cdot \cos(x)^2} dx$	$\int_3^{10} \frac{1}{(x-1) \cdot \sqrt{x+6}} dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x^2) + \tan(x))$
7	$\int \frac{1}{1 + \sin(x)} dx$	$\int_0^{\infty} \frac{x}{(1+x)^3} dx$	$\frac{d}{dx} [e^{(\tan(x))^2}]$
8	$\int \cos(\ln(x)) \cdot \frac{1}{x} dx$	$\int_1^{\infty} \frac{\sqrt{x}}{1+x^2} dx$	$\frac{d}{dx} \left[\frac{\sqrt[4]{\ln(\sin(x)+2)}}{(\tan(x))^3} \right]$
9	$\int \frac{1}{\cos(x)^2} dx$	$\int_0^1 \ln(x) dx$	$\frac{d}{dx} (2^x \cdot \sin(x) + e^{3x})$
10	$\int \frac{\sin(x)}{\cos(x)^2} dx$	$\int_0^1 \frac{a \sin(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx$	$\frac{d}{dx} \left(\frac{10}{\tan(x)} + 5 \cdot \ln(x) + 6 \cdot \cos(x) + 2 \cdot \sqrt[4]{x} \right)$
11	$\int \frac{1}{\sin(x) \cdot \cos(x)} dx$	$\int_0^1 e^x dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x^2) + \tan(x))$
12	$\int \frac{x+3}{x^2+2} dx$	$\int_0^{2\pi} 4 \cdot a^2 \cdot (1 - \cos(\phi))^2 d\phi$	$\frac{d}{dx} [e^{(\tan(x))^2}]$
13	$\int \frac{\cos(x)}{5 + \sin(x)^2} dx$	$\int_{-1}^1 \frac{1}{1+x^2} dx$	$\frac{d}{dx} \left(\frac{10}{\tan(x)} + 5 \cdot \ln(x) + 6 \cdot \cos(x) + 2 \cdot \sqrt[4]{x} \right)$
14	$\int \frac{1}{\sqrt{7-8x^2}} dx$	$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{\sin(x)}{\cos(x)^2} dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x^2) + \tan(x))$

Продолжение табл. 5.1

Номер варианта	Неопределенные интегралы	Определенные интегралы	Производные
1	2	3	4
15	$\int \frac{\sin(2 \cdot x)}{\sqrt{5 - 3 \cdot \sin(x)^4}} dx$	$\int_1^{\infty} \frac{\sqrt{x}}{1 + x^2} dx$	$\frac{d}{dx} \left[e^{(\tan(x))^2} \right]$
16	$\int \frac{1}{x \sqrt{x^2 - a^2}} dx$	$\int_0^1 \ln(x) dx$	$\frac{d}{dx} \left[\frac{\sqrt[4]{\ln(\sin(x) + 2)}}{(\tan(x))^3} \right]$
17	$\int \frac{1}{\sin(x)^4 \cdot \cos(x)^2} dx$	$\int_0^1 \frac{a \sin(x)}{\sqrt{1 - x^2}} dx$	$\frac{d}{dx} (e^x + \ln(x) - a \sin(x) + \sqrt[3]{x})$
18	$\int \ln(x)^2 dx$	$\int_0^1 e^x dx$	$\frac{d}{dx} (2^x \cdot \sin(x) + e^{3x})$
19	$\int \frac{1}{x^2 - 9x + 25} dx$	$\int_0^{2 \cdot \pi} 4 \cdot a^2 \cdot (1 - \cos(\phi))^2 d\phi$	$\frac{d}{dx} \left(\frac{10}{\tan(x)} + 5 \cdot \ln(x) + 6 \cdot \cos(x) + 2 \cdot \sqrt[4]{x} \right)$
20	$\int \frac{3 \cdot x + 4}{x^2 + 7 \cdot x + 14} dx$	$\int_0^1 e^{k \cdot x} dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x^2) + \tan(x))$
21	$\int \frac{1}{(3 \cdot x^2 + x + 7)^2} dx$	$\int_{-1}^1 \frac{1}{1 + x^2} dx$	$\frac{d}{dx} \left[e^{(\tan(x))^2} \right]$
22	$\int \frac{x^2 + x - 1}{x^3 \cdot (x - 2)^2} dx$	$\int_0^{\pi} \sin(x) dx$	$\frac{d}{dx} \left[\frac{\sqrt[4]{\ln(\sin(x) + 2)}}{(\tan(x))^3} \right]$
23	$\int \frac{x^4 + 5 \cdot x^3 - 7 \cdot x^2 + 5}{x^3 - x^2 + 5 \cdot x - 5} dx$	$\int_0^1 e^{k \cdot x} dx$	$\frac{d}{dx} [(x + 1)^2 \cdot (x - 2)^3]$
24	$\int \frac{1}{1 - x^4} dx$	$\int_{-1}^1 \frac{1}{1 + x^2} dx$	$\frac{d}{dx} (\sin(x) + \cos(x) + \tan(x))$
25	$\int \sin\left(\frac{3 \cdot x}{4}\right) \cdot \cos\left(\frac{x}{4}\right) dx$	$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{\sin(x)}{\cos(x)^2} dx$	$\frac{d}{dx} (e^x + \ln(x) - a \sin(x) + \sqrt[3]{x})$
26	$\int \sin(2 \cdot x) \cdot \cos(5 \cdot x) \cdot \sin(9 \cdot x) dx$	$\int_1^2 \frac{1}{x(1 + x^4)} dx$	$\frac{d}{dx} (2^x \cdot \sin(x) + e^{3x})$

Продолжение табл. 5.1

Номер варианта	Неопределенные интегралы	Определенные интегралы	Производные
1	2	3	4
27	$\int \sin(x)^4 \cdot \cos(x)^3 dx$	$\int_3^{10} \frac{1}{(x-1) \cdot \sqrt{x+6}} dx$	$\frac{d}{dx} \left(\frac{10}{\tan(x)} + 5 \cdot \ln(x) + 6 \cdot \arccos(x) + 2 \cdot \sqrt[4]{x} \right)$
28	$\int \sin(x)^2 \cdot \cos(x)^5 dx$	$\int_0^{\infty} \frac{x}{(1+x)^3} dx$	$\frac{d}{dx} \left(\sin\left(\frac{1}{x^2}\right) + \tan(x) \right)$
29	$\int \frac{\sin(x)^5}{\cos(x)^4} dx$	$\int_0^1 \ln(x) dx$	$\frac{d}{dx} \left[e^{(\tan(x))^2} \right]$
30	$\int \cos(x)^6 dx$	$\int_0^1 \frac{\arcsin(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx$	$\frac{d}{dx} \left[\frac{\sqrt[4]{\ln(\sin(x)+2)}}{(\tan(x))^3} \right]$

Примеры выполнения

1 Найти неопределенный интеграл $\int \frac{1}{(x^2-10) \cdot \sqrt{x^2-10}} dx$.

Результат $\frac{-1}{10} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2-10}}$.

2 Найти определенный интеграл $\int_0^1 \frac{\arcsin(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx$.

Результат $\frac{1}{8} \cdot \pi^2$.

3 Найти производные первого порядка $\frac{d}{dx} 2^x \cdot \sin(x)$.

Результат $2^x \cdot \ln(2) \cdot \sin(x) + 2^x \cdot \cos(x)$.

4 Найти производные высокого порядка $\frac{d^4}{dx^4} \left(\frac{x^3}{x^2-4} \right)$.

Результат $96x \cdot \frac{(x^4 + 40x^2 + 80)}{(x^2-4)^5}$.

$$\int_a^b x^5 dx \text{ simplify } \rightarrow \frac{1}{6} \cdot b^6 - \frac{1}{6} \cdot a^6$$

$$\frac{d^4}{dx^4}(a \cdot x^8 - b \cdot x^6) \text{ simplify} \rightarrow 1680 \cdot a \cdot x^4 - 360 \cdot b \cdot x^2$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

- 1 Как найти в символьном виде определенные и неопределенные интегралы?
- 2 Можно ли применять символьные операции к интегралам по области, к трехмерным интегралам, к контурным интегралам?
- 3 Можно ли в символьном виде найти производные высоких порядков?

Рекомендуемая литература

- 1 ДьКаконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №6

Вычисление производных в задачах геометрии и частных производных

Цель работы: вычисление производных в задачах геометрии и нахождение частных производных высоких порядков в программе MathCad .

Задачи: изучить методы вычисления производных в задачах геометрии и нахождение частных производных высоких порядков в программе MathCad

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Составить уравнение касательной и нормали к линии, которая задана уравнением $y(x)=f(x)$ в точке $M(x_0, y_0)$.

1 Задать значения x_0 и y_0 в точке M .

2 Записать уравнение линии $y(x)$.

3 Определить производную от функции $y(x)$ $\frac{d}{dx} y(x) \rightarrow$, используя панель вычислений и панель символов. Присвоить значение производной функции $y'(x)$: $= \frac{d}{dx} y(x)$.

4. Записать уравнение касательной в виде

$$\text{tang}(x) := y'(x_0) \cdot (x - x_0) + y_0$$

5. Аналогично записать уравнение нормали $\text{norm}(x) := \frac{-1}{y'(x_0)} \cdot (x - x_0) + y_0$

6. Построить графики касательной и нормали.

7 Отформатировать графики.

Задание II Выполнить числовое и символьное вычисление частных производных высшего порядка от функции трех переменных.

1 Записать функцию, от которой будут вычисляться производные второго порядка.

2 Обратиться к панели вычислений и выбрать оператор дифференцирования.

3 В соответствующем месте заполнения оператора записать функцию, переменную для дифференцирования и порядок дифференцирования.

4 Нажать правой кнопкой мыши на знак оператора дифференцирования и в контекстном меню выбрать View Derivative As (Показать производную как), установить флажок Partial Derivative (Частная производная).

5 Отметить оператор дифференцирования и обратиться к панели Символика/Вычислить/В символах.

6 Задать числовые значения для переменных, от которых вычисляется производная.

7 Вычислить числовые значения производных.

Таблица 6.1

Варианты заданий к лабораторной работе №6

Номер варианта	Функция $f(x)$ для определения касательной и нормали	Точка $M(x_0, y_0)$ для определения касательной и нормали	Функция $f(x, y, z)$ для вычисления частной производной	Точка $M(x_0, y_0, z_0)$ для числового вычисления частной производной
1	2	3	4	5
1	$x^2 - 3x + 5$	(2,3)	$x^2 - 3x^3y - 4y^2 + 2y - z^3$	(0,1,2)
2	$x^2 + 2x + 6$	(-1,1)	$z^2 e^{x^*x + y^*y}$	(0,0,0)
3	$x^3 - 3x^2$	(3,1)	$x \cos(y) + yz^4$	(1,0,0)
4	$0.5x - \sin(x)$	(0, $\pi/3$)	$z \ln(x^2 - y^2)$	(3,1,3)
5	$(x-5)e^x$	(4,0)	$z \sin(xy) + z^2$	(1,1,1)
6	$1 - (x-2)^{4/5}$	(2,1)	$x^2 + 2y^2 - 3xy - 4z^2$	(0,0,0)
7	$x^5 + 5x - 6$	(0,-1)	$zx \cdot \ln(y) + xy^2z$	(0,2,1)
8	$(x^3 + 4)/x^2$	(2,3)	$y(x - z \cos(x))$	(0,0,0)
9	$\sqrt[3]{1 - x^3}$	(0,1)	$\sin(x)(\cos(z) + \cos(y))$	(1,0,0)
10	$\sin^2(x)$	(0.5,0.5)	$x^4yz + \sin(y)$	(2,1,0)
11	$x^2 - 0.5x^4$	(0,0)	$(x - y^2) \cdot (z^3 - x)$	(1,1,1)
12	$x^3 - 3x^2$	(0, $\pi/3$)	$x^2 - 3x^3y - 4y^2 + 2y - z^3$	(0,1,2)
13	$0.5x - \sin(x)$	(4,0)	$z^2 e^{x^*x + y^*y}$	(0,0,0)

Продолжение табл. 6.1

Номер варианта	Функция $f(x)$ для определения касательной и нормали	Точка M (x_0, y_0) для определени я касательной и нормали	Функция $f(x, y, z)$ для вычисления частной производной	Точка $M(x_0, y_0, z_0)$ для числового вычисления частной производной
1	2	3	4	5
14	$(x-5)e^x$	(2,1)	$x\cos(y)+yz^4$	(1,1,1)
15	$1-(x-2)^{4/5}$	(2,1)	$z\ln(x^2-y^2)$	(3,1,3)
16	x^5+5x-6	(0,-1)	$z\sin(xy)+z^2$	(1,1,1)
17	$0.5x-\sin(x)$	$(0, \pi/3)$	$x^2+2y^2-3xy-4z^2$	(0,0,0)
18	$(x-5)e^x$	(4,0)	$zx \cdot \ln(y)+xy^2z$	(0,2,1)
19	$1-(x-2)^{4/5}$	(2,1)	$y(x-z\cos(x))$	(0,0,0)
20	x^5+5x-6	(0,-1)	$\sin(x)(\cos(z)+\cos(y))$	(1,0,0)
21	$(x^3+4)/x^2$	(2,3)	$zx \cdot \ln(y)+xy^2z$	(0,2,1)
22	x^3-3x^2	(3,1)	$y(x-z\cos(x))$	(0,0,0)
23	$0.5x-\sin(x)$	$(0, \pi/3)$	$\sin(x)(\cos(z)+\cos(y))$	(1,0,0)
24	$(x-5)e^x$	(4,0)	$x^4yz+\sin(y)$	(2,1,0)
25	$1-(x-2)^{4/5}$	(2,1)	$(x-y^2) \cdot (z^3-x)$	(1,1,1)
26	x^5+5x-6	(0,-1)	$x^2-3x^3y-4y^2+2y-z^3$	(0,1,2)
27	$(x^3+4)/x^2$	(2,3)	$z^2 e^{x \cdot x + y \cdot y}$	(0,0,0)
28	$\sqrt[3]{1-x^3}$	(0,1)	$x\cos(y)+yz^4$	(1,0,0)
29	$\sin^2(x)$	(0.5,0.5)	$z\ln(x^2-y^2)$	(3,1,3)
30	$x^2-0.5x^4$	(0,0)	$z\sin(xy)+z^2$	(1,1,1)

Пример выполнения

Задание I Составить уравнение касательной и нормали к линии, которая

задана уравнением $y(x)=x^4-3x^3+4x^2-5x+1$ в точке $M(0,1)$.

1 Задать значения x_0 и y_0 в точке M : $x_0:=0$, $y_0:=1$.

2 Записать уравнения линии $y(x):=x^4-3x^3+4x^2-5x+1$.

3 Определить производную от функции $y(x)$ $\frac{d}{dx}y(x) \rightarrow$, используя панель вычислений и панель символов. Присвоить значение производной функции $yy(x):= \frac{d}{dx}y(x)$.

4 Записать уравнение касательной в виде

$$\text{tang}(x) := yy(x_0) \cdot (x - x_0) + y_0,$$

$$\text{tang}(x) \rightarrow -5 \cdot x + 1.$$

5 Аналогично записать уравнение нормали

$$\text{norm}(x) := \frac{-1}{yy(x_0)} \cdot (x - x_0) + y_0$$

$$\text{norm}(x) \rightarrow \frac{1}{5} \cdot x + 1$$

6 Построить графики касательной и нормали.

7 Отформатировать графики.

$$x_0:=0$$

$$y_0:=1$$

$$\frac{d}{dx}y(x) \rightarrow 4x^3 - 9x^2 + 8x - 5$$

$$y(x) := x^4 - 3x^3 + 4x^2 - 5x + 1$$

$$yy(x) := \frac{d}{dx}y(x)$$

$$\text{tang}(x) := yy(x_0) \cdot (x - x_0) + y_0$$

$$\text{norm}(x) \rightarrow \frac{1}{5} \cdot x + 1$$

$$\text{tang}(x) \rightarrow -5 \cdot x + 1$$

$$\text{norm}(x) := \frac{-1}{yy(x_0)} \cdot (x - x_0) + y_0$$

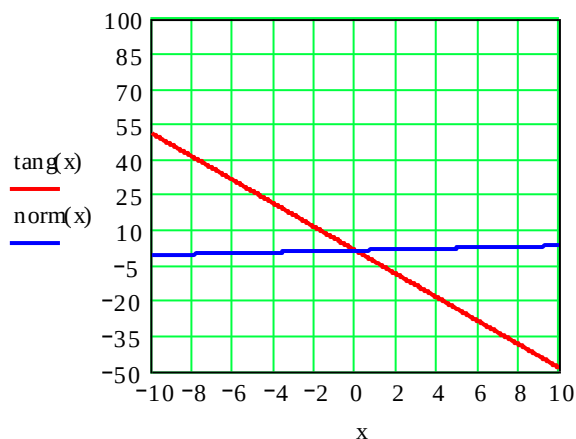


Рисунок 6.1- График касательной и нормали

Задание II Записать функцию, от которой будут вычисляться производные второго порядка

$$f(x, y, z) := x^2 e^x + z - y \cdot z$$

2 Обратиться к панели вычислений и выбрать оператор дифференцирования

$$\frac{d}{dx}$$

3 В соответствующие места заполнения оператора записать функцию, переменную для дифференцирования и порядок дифференцирования.

4 Нажать правой кнопкой мыши на знак оператора дифференцирования и в контекстном меню выбрать View Derivative As (Показать производную как), установить флажок Partial Derivative (Частная производная) (Рис. 6.2):

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z), \quad \frac{\partial^2}{\partial y^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z), \quad \frac{\partial^2}{\partial z^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z)$$

5 Отметить оператор дифференцирования и обратиться к панели Символика/Вычислить/В символах.

6 Задать числовые значения для переменных, от которых вычисляется производная $x:=1$, $y:=1$, $z:=1$.

7 Вычислить числовые значения производных.

$$f(x, y, z) := x^2 e^x + z - y \cdot z$$

$$2 \cdot \exp(x) + 4 \cdot x \cdot \exp(x) + x^2 \cdot \exp(x)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} (x^2 e^x + z - y \cdot z)$$

$$x := 1$$

$$y := 1$$

$$z := 1$$

$$px2 = 19.028$$

$$py2 := 0$$

$$pz2 := 0$$

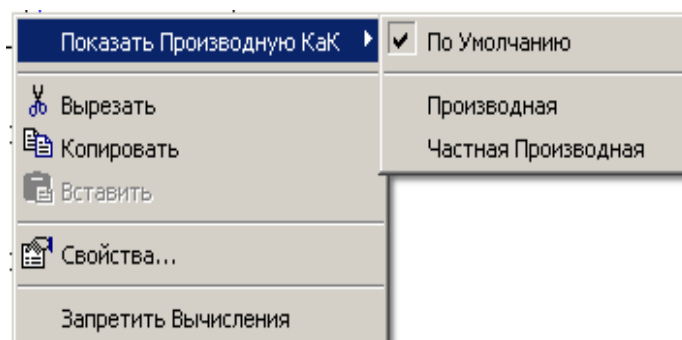


Рисунок 6.2 – Диалоговое окно Показать производную

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

1 Как найти касательную к любой кривой в MathCad?

2 Как найти нормаль к любой кривой в MathCad?

3 Как выполнить символьные вычисления частных производных высокого порядка?

4 Как выполнить числовые вычисления частных производных высокого порядка?

Рекомендуемая литература

1 Дьяконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.

2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.

3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.

4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.

5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.

6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.

7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №7

Вычисление интегралов в задачах геометрии и механики

Цель работы: вычисление интегралов в задачах геометрии и механики в программе MathCad .

Задачи: изучить методы вычисления интегралов в задачах геометрии и механики в программе MathCad

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Вычислить площадь плоской фигуры, ограниченной заданными линиями.

1 Записать уравнение кривых, которые ограничивают площадь плоской фигуры.

2 Найти точки их пересечения, для того чтобы использовать их у двукратном интегрировании.

3 Обратиться на панели Символы к функции *simplify*.

4 Ввести оператор интегрирования. В соответствующих местах заполнить имя первой переменной и границы интегрирования.

5 На месте ввода функции под интегралом ввести еще один оператор интегрирования, границы интегрирования и подынтегральную функцию

$$S = \iint_D dx dy.$$

Задание II Вычислить координаты центру тяжести пластины.

1 Записать уравнения кривых, которые описывают область D пластины.

2 Найти точки их пересечения, для того чтобы использовать их в двукратном интегрировании.

3 Найти площадь S однородной пластинки через двойной интеграл.

3.1 Обратиться на панели Символы к функции *simplify*.

3.2 Ввести оператор интегрирования. В соответствующих местах заполнить имя первой переменной и границы интегрирования.

3.3 На месте ввода функции под интегралом ввести еще один оператор интегрирования, границы интегрирования и подынтегральную функцию

$$S = \iint_D dx dy.$$

4 Найти аналогично статические моменты M_x и M_y пластины относительно осей Ox и Oy как двойные интегралы

$$M_x = \iint_D y dx dy, \quad M_y = \iint_D x dx dy.$$

5 Определить координаты центра тяжести как отношение подынтегральной функции, которая определяет статические моменты пластины относительно осей Ox и Oy

$$x = \frac{M_y}{S}, \quad y = \frac{M_x}{S}.$$

Таблица 7.1

Варианты задания к лабораторной работе №7

Номер варианта	Функции для вычисления площади фигуры	Функции для вычисления координат центра тяжести фигуры
1	2	3
1	$x=y^2-2y; x+y=0$	$\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{9} = 1; \frac{x}{5} + \frac{y}{3} = 1$
2	$y=2-x; y^2=4x+4$	$y=x^2; y=2x^2; x=1; x=2$
3	$y^2=4x-4; y^2=2x$ (извне параболы)	$y^2=x; x^2=y$
4	$3y^2=25x; 5x^2=9y$	$y=\sqrt{2x-x^2}; y=0$
5	$y^2+2y-3x+1=0; 3x-3y-7=0$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{9} = 1; \frac{x}{4} + \frac{y}{3} = 1$
6	$y=4x-4x^2; y=x^2-5x$	$x^2+y^2=1; x+y=1$
7	$x=4-y^2; x+2y-4=0$	$x^2+y^2=4; x+y=2$
8	$y^2=4(x-1); x^2+y^2=4$ (извне параболы)	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{4} = 1; \frac{x}{4} + \frac{y}{2} = 1$
9	$x=y^2-2y; x+y=0$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{9} = 1; \frac{x}{4} + \frac{y}{3} = 1$
10	$y=2-x; y^2=4x+4$	$x^2+y^2=1; x+y=1$
11	$y^2+2y-3x+1=0; 3x-3y-7=0$	$x^2+y^2=4; x+y=2$
12	$y=4x-4x^2; y=x^2-5x$	$y^2=x; x^2=y$
13	$x=4-y^2; x+2y-4=0$	$y=\sqrt{2x-x^2}; y=0$
14	$x=y^2-2y; x+y=0$	$\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{9} = 1; \frac{x}{5} + \frac{y}{3} = 1$
15	$y=2-x; y^2=4x+4$	$y=x^2; y=2x^2; x=1; x=2$
16	$y^2+2y-3x+1=0; 3x-3y-7=0$	$x^2+y^2=1; x+y=1$
17	$y=4x-4x^2; y=x^2-5x$	$x^2+y^2=4; x+y=2$

Продолжение табл. 7.1

Номер варианта	Функции для вычисления площади фигуры	Функции для вычисления координат центра тяжести фигуры
1	2	3
18	$x=4-y^2$; $x+2y-4=0$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{4} = 1$; $\frac{x}{4} + \frac{y}{2} = 1$
19	$x=y^2-2y$; $x+y=0$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{9} = 1$; $\frac{x}{4} + \frac{y}{3} = 1$
20	$y=2-x$; $y^2=4x+4$	$x^2 + y^2 = 1$; $x+y=1$
21	$y^2=4(x-1)$; $x^2 + y^2=4$ (извне параболы)	$\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{9} = 1$; $\frac{x}{5} + \frac{y}{3} = 1$
22	$y=2-x$; $y^2=4x+4$	$y=x^2$; $y=2x^2$; $x=1$; $x=2$
23	$y^2=4x-4$; $y^2=2x$ (извне параболы)	$y^2=x$; $x^2=y$
24	$x=y^2-2y$; $x+y=0$	$y=\sqrt{2x-x^2}$; $y=0$
25	$y=2-x$; $y^2=4x+4$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{9} = 1$; $\frac{x}{4} + \frac{y}{3} = 1$
26	$3y^2=25x$; $5x^2=9y$	$x^2 + y^2 = 1$; $x+y=1$
27	$x=y^2-2y$; $x+y=0$	$x^2 + y^2 = 4$; $x+y=2$
28	$y^2+2y-3x+1=0$; $3x-3y-7=0$	$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{4} = 1$; $\frac{x}{4} + \frac{y}{2} = 1$
29	$y=4x-4x^2$; $y=x^2-5x$	$y=x^2$; $y=2x^2$; $x=1$; $x=2$
30	$x=4-y^2$; $x+2y-4=0$	$y^2=x$; $x^2=y$

Пример выполнения

Задание I Вычислить площадь фигуры, которая ограничена линиями $x=4y-y^2$ и $x+y=6$.

1 Найти координаты точек пересечения заданных линий, для чего необходимо решить систему уравнений (одной из встроенных функций MathCad, графически или решить систему уравнений).

$$\begin{aligned} x &= 4y - y^2 \\ x + y &= 6. \end{aligned}$$

В результате будут получены точки пересечения A(4;2) и B(3;3).

2 Записать формулу для вычисления площади через кратный интеграл и использовать на панели Символы функцию *simplify*

$$\int_2^3 \int_{6-y}^{4-y^2} 1 \, dx \, dy \text{ simplify } \rightarrow \frac{1}{6}$$

Задание II Вычислить координаты центра тяжести пластины, которая ограничена кривыми $y^2=4x+4$ и $y^2=-2x+4$.

Площадь

$$2 \cdot \int_0^2 \int_{\frac{(y^2-4)}{4}}^{\frac{(4-y^2)}{2}} 1 \, dx \, dy \text{ simplify } \rightarrow$$

Статические моменты относительно осей Ox и Oy

$$2 \cdot \int_0^2 \int_{\frac{(y^2-4)}{4}}^{\frac{(4-y^2)}{2}} x \, dx \, dy \text{ simplify } \rightarrow \frac{16}{5}$$

$$2 \cdot \int_0^2 \int_{\frac{(y^2-4)}{4}}^{\frac{(4-y^2)}{2}} y \, dx \, dy \text{ simplify } \rightarrow 6$$

Координаты центра тяжести

$$x := \frac{1}{8} \frac{16}{5} \quad x = 0.4$$

$$y := \frac{6}{8} \quad y = 0.75$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

- 1 Какие геометрические характеристики можно вычислить с использованием интегралов?
- 3 Как вычислить центр тяжести через интегралы?

Рекомендуемая литература

- 1 Дьяконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа №8

Решение обычных дифференциальных уравнений в MathCad

Цель работы: с использованием встроенных функций и блочной структуры найти решение обычных дифференциальных уравнений.

Задачи: изучить методы решения обычных дифференциальных уравнений использованием встроенных функций и блочной структуры

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

Задание I Найти решение обычного дифференциального уравнения $y' = f(x, y)$ с использованием «блока решений».

1. Ввести ключевое слово *given* (дано), с которого начинается блок решений.
2. Записать уравнение, используя знак логического равенства между правой и левой частями уравнения с панели управления Evaluation (Выражения).
3. Задать начальные значения переменной, которая есть в уравнении.
4. Ввести ключевое слово *Odesolve*, которым заканчивается блок решений, то есть присвоить функции, относительно которой решается уравнение, значение *Odesolve* с параметрами интервала интегрирования.
5. Определить значение найденной функции в точках интервала, для чего создать соответствующий цикл.
6. Построить и отформатировать график найденной функции в точках интервала.

II Найти решение обычного дифференциального уравнения с использованием встроенной функции *rkfixed*.

1. Задать начальные значения переменной, которая есть в уравнении.
2. Записать уравнения, используя знак логического равенства между правой и левой частями уравнения с панели управления Evaluation (Выражения).
3. Задать количество шагов интегрирования уравнения на интервале.
4. Присвоить функции, относительно которой решается уравнение, значение *rkfixed* с параметрами: функция, интервал интегрирования, количество шагов на интервале интегрирования, оператор дифференциального уравнения.
5. Определить значение найденной функции в точках интервала, для чего создать соответствующий цикл.

6. Построить и отформатировать график найденной функции в точках интервала.

Таблица 8.1

Варианты задания к лабораторной работе №8

Номер варианта	Уравнение $f(x,y)$	Начальные условия	Интервал нахождения решения	Шаг изменения
1	2	3	5	5
1	$\frac{y}{\cos(x) \cdot \ln(y)}$	$y(1)=1$	$[1,10]$	1
2	$\operatorname{tg}(x)\operatorname{tg}(y)$	$y(0)=0$	$[0,5]$	0.5
3	$\frac{y}{1+x^2}$	$y(1)=1$	$[1,7]$	
4	$-\frac{e^y + x}{y}$	$y(1)=1$	$[1, 5]$	0.25
5	$\cos(x-2y)-\cos(x+2y)$	$y(0)=\pi/4$	$[0,4\pi]$	$\pi/2$
6	$2e^{-x}\cos(x)-y$	$y(0)=0$	$[0;3,5]$	0,1
7	$e-2y\cos(x)-y$	$y(0)=0$	$[0;1]$	0,05
8	$\ln x+2,5x\sin(x) $	$y(0)=2,5$	$[1;3,5]$	0,2
9	$e^{3y}\sin(x)+y$	$y(0)=0$	$[0;1,5]$	0,1
10	$x^2\ln(x+y^2)$	$y(0)=3,5$	$[1,2;2,4]$	0,08
11	$\sqrt{x^2 + y \cos(x) }$	$y(0)=3,6$	$[4,1;6,7]$	0,1
12	$\sin(x)+\cos(y^2)$	$y(0)=2,2$	$[0,8;3,2]$	0,1
13	$e-2x\sin(x+y)$	$y(0)=16,2$	$[4,8;6,4]$	0,1
14	$0,7y+x \cdot \ln(x+y)$	$y(0)=2,5$	$[12,4;14,1]$	0,08
15	$0,5x+ye(x-y)$	$y(0)=3,1$	$[8,5;9,7]$	0,05
16	$x^2+y\cos(x)$	$y(0)=1,4$	$[0;2,3]$	0,1
17	y^2-e^{xy}	$y(0)=1,7$	$[2,4;3,5]$	0,05
18	$xy-e(x-y)$	$y(0)=2,8$	$[1,6;3,1]$	0,1
19	$\sin(xy)-e^{2x}$	$y(0)=5,7$	$[14,5;16,3]$	0,05
20	$\sqrt{x^2 + e^{xy}}$	$y(0)=1,6$	$[5,2;6,8]$	0,1
21	$y/\ln(y)$	$y(2)=1$	$[2;5]$	0,25
22	$e(x+y)-e(x-y)$	$y(0)=0$	$[0;2,5]$	0,1
23	$-\frac{\sqrt{1+\cos(2x)}}{\sqrt{1+\sin((y))}}$	$y(\pi/4)=0$	$[\pi/4, 3\pi]$	$\pi/8$
24	$\frac{1}{x^2} - \frac{1}{y}$	$y(1)=0$	$[1;4]$	0.3
25	$\sin(3x)-y \cdot \operatorname{tg}(3x)$	$y(0)=1/3$	$[0,4]$	0,25

Продолжение таблицы 8.1

Номер варианта	Уравнение $f(x,y)$	Начальные условия	Интервал нахождения решения	Шаг изменения
1	2	3	5	5
26	$\cos(x-4y)-\cos(x+4y)$	$y(0)=\pi/4$	$[0,4\pi]$	$\pi/2$
27	$2e^{-x}\cos(x)y$	$y(0)=0$	$[0;3,5]$	0,1
28	$e^{-2y}\cos(x)+y$	$y(0)=0$	$[0;1]$	0,05
29	$\ln x+\sin(x) $	$y(0)=2,5$	$[1,5;3,5]$	0,2
30	$ey+2\sin(x)$	$y(0)=0$	$[0;1,5]$	0,1

Пример выполнения

Задание I Найти решение обычного дифференциального уравнения

$$\frac{d}{dx} y(x) = \cos(x) + \frac{1}{y(x)} \text{ на интервале } [0,100]. \text{ Функция имеет такие начальные}$$

условия: $y(0)=1$.

1 Ввести ключевое слово *Given*.

2 Записать, используя логический знак равенства, следующее выражение:

$$\frac{d}{dx} y(x) = \cos(x) + \frac{1}{y(x)}.$$

3 Начальное условие записать следующим образом, используя логический знак равенства:

$$y(0)=1.$$

4 Вычислить числовое решение задачи через использование функции *Odesolve*:

$$y:=\text{Odesolve}(t,100).$$

5 Создать цикл $t:=0,..10$ для определения точек интервала

$$t:=0,..10.$$

6 Построить график функции в точках интервала и отформатировать его.

Given

$$\frac{d}{dx} y(x) = \cos(x) + \frac{1}{y(x)}$$

$$y(0) = 1$$

$$y := \text{Odesolve}(x, 100)$$

$$x := 0..100$$

$$y(5) = 2.302$$

$$y(35) = 8.011$$

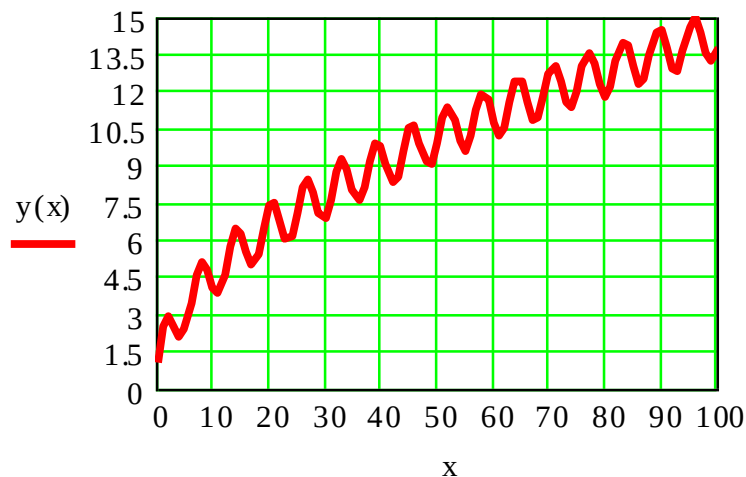


Рисунок 8.1- График функции

II Найти для вышеприведенной задачи решение с использованием встроенной функции `rkfixed`.

1. Задать начальное условие

$$y(0) := 0.1.$$

2. Создать функцию $D(x, y) := \cos(x) + \frac{1}{y(x)}$.

3. Указать количество шагов интегрирования $K := 100$.

4. Вычислить числовое решение задачи с использованием функции `rkfixed`.

Знак равенства выбирается на панели Логика (Логические).

$$y = \text{rkfixed}(y, x1, x2, K, D).$$

5. Создать цикл $x := 0, \dots, 100$ для определения точек интервала

$$x := 0, \dots, 100.$$

6. Построить график функции в точках интервала и отформатировать его.

$$y0 := 1$$

$$K := 100$$

$$x1 := 0$$

$$x2 := 100$$

$$D(x, y) := \cos(x) + \frac{1}{y(x)}$$

$$y(x) = \text{rkfixed}(y0, x1, x2, K, D)$$

Примечание: результаты решения дифференциального уравнения двумя подходами должны совпадать. Можно также использовать для решения дифференциального уравнения следующие встроенные функции: *Bulstoer*, *Rkadapt*. Они имеют такие же параметры как и функция *rkfixed*, но результаты выдают с разной точностью:

$$y(x) = \text{Bulstoer}(y0, x1, x2, K, D),$$

$$y(x) = \text{Rkadapt}(y0, x1, x2, K, D).$$

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

1. Какие встроенные функции позволяют найти решение обычных дифференциальных уравнений?
2. Нужно ли обязательно задавать начальные условия для решения обычных дифференциальных уравнений?
3. Как влияет на результат количество точек разбивки интервала интегрирования обычных дифференциальных уравнений?

Рекомендуемая литература

- 1 Дьяконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 6 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

Практическая работа № 9

Интерполяция экспериментальных данных методами MathCad

Цель работы: построить с помощью средств MathCad график функции, которая наилучшим образом отображает экспериментальную зависимость и которая представлена данными, которые приведены в таблице.

Задачи: изучить методы интерполяции и построения интерполяционных графиков средствами MathCad/

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой MathCad 12.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

1. Набрать таблицу, которая соответствует варианту.
2. Осуществить линейную интерполяцию, для чего необходимо выполнить следующие действия:
 - 2.1. Ввести векторы данных x и y .
 - 2.2. Определить функцию $linterp(x, y, t)$.
 - 2.3. Вычислить значения этой функции в точках, которые выбрать самостоятельно.
3. Построить график функции.
4. Осуществить сплайн-интерполяцию, используя функцию $interp(s, x, y, t)$, для чего необходимо выполнить следующие действия:
 - 4.1. Ввести векторы данных x и y .
 - 4.2. Ввести функцию $cspline(x, y)$, которая определяет первый аргумент функции $interp(s, x, y, t)$, как векторную величину значений коэффициентов кубического сплайна.
 - 4.3. Определить функцию $interp(s, x, y, t)$.
 - 4.4. Вычислить значения этой функции в точках, которые задать такими же, как и для линейной интерполяции.
5. Построить график функции.
6. Выполнить сравнительный анализ полученных разными подходами интерполяционных графиков и значений функции в одинаковых точках.

Варианты задания к лабораторной работе № 9

Номер варианта	Аргументы и значения	Данные						
1	2	3						
1	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	35,6	38,7	39,4	40,8	43,3	42,9	41,8
2	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	135,2	138,7	139,9	141,6	140,1	142,5	141,8
3	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	9,7	10,3	10,8	10,2	11,9	11,4	11,4
4	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	14,5	16,2	16,5	17,2	19,8	17,7	17,5
5	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	32,8	30,2	21,7	27,8	27,5	27,2	27,9
6	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	36,3	38,5	39,7	39,1	39,0	38,7	40,0
7	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	52,7	56,5	60,7	54,8	70,4	68,1	67,8
8	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	11,12	10,6	11,31	11,02	12,0	12,73	11,12
9	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	1,8	2,9	2,0	3,6	3,8	3,9	4,1
10	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	9,8	10,1	10,3	11,9	10,9	11,8	12,1
11	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	4,7	4,6	4,6	5,3	5,3	5,5	5,6
12	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	2,12	1,28	1,71	1,6	1,11	1,18	1,02
13	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	2,46	2,38	2,79	2,63	2,86	3,46	4,32
14	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	51,4	54,9	57,4	57,7	58,9	64,3	67,8
15	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	17,7	19,5	19,4	20,6	20,8	22,5	23,6
16	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	45,0	47,3	48,8	47,1	45,4	45,8	46,1
17	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	14,6	13,6	12,0	18,7	19,8	20,1	21,5
18	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	36,1	33,6	32,9	36,9	33,2	36,9	38,3
19	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	39,4	41,8	43,3	42,9	41,8	41,4	42,6
20	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	15,6	14,0	12,7	17,8	20,1	21,5	22,8

Продолжение табл.9.1

Номер варианта	Аргументы и значения	Данные						
1	2	3						
21	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	18,87	16,0	19,32	19,6	18,02	20,88	21,55
23	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	15,6	15,3	17,7	19,9	20,0	19,7	25,5
24	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	24,8	27,2	22,2	30,4	35,6	38,7	39,4
25	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	37,7	42,8	40,5	41,3	40,2	48,9	47,1
26	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	17,8	21,6	20,9	24,8	21,2	20,2	30,2
27	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	4,5	5,1	5,5	5,0	6,1	6,0	6,1
28	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	62,0	66,1	63,6	66,3	71,2	70,8	72,5
29	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	24,8	27,3	28,4	35,0	39,1	40,5	37,3
30	x	1	2	3	4	5	6	7
	y	3,1	3,5	3,7	3,8	4,9	4,1	4,3

Пример выполнения

Построить график экспериментально заданной функции

x	0	1	2	3	4	5	6
y	4,1	2,4	3	4,3	3,6	5,2	5,9

и определить ее значения для $x=2.4$ и $x=7$.

1. Создать векторы для переменных x и y .

$$x := (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6)^T,$$

$$y := (4.1 \ 2.4 \ 3 \ 4.3 \ 3.6 \ 5.2 \ 5.9)^T.$$

2. Определить функцию линейной интерполяции $\text{linterp}(x,y,t)$.

$$A(t) := \text{linterp}(x,y,t).$$

3. Построить график функции.

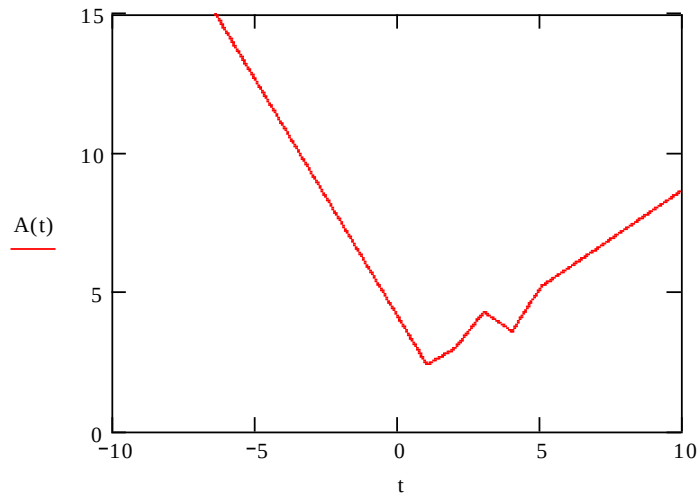


Рисунок 9.1- График функции линейной интерполяции

4. Вычислить значения функции в точках $x=2.4$ и $x=7$.

5. Определить функцию сплайн-интерполяции $interp(s, x, y, t)$, для чего необходимо выполнить следующие действия:

5.1. Ввести векторы данных x и y .

5.2. Ввести функцию $cspline(x, y)$, которая определяет первый аргумент функции $interp(s, x, y, t)$.

$$x := (0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6)^T,$$

$$y := (4.1 \ 2.4 \ 3 \ 4.3 \ 3.6 \ 5.2 \ 5.9)^T$$

$$s := cspline(x, y)$$

$$A(t) := interp(s, x, y, t)$$

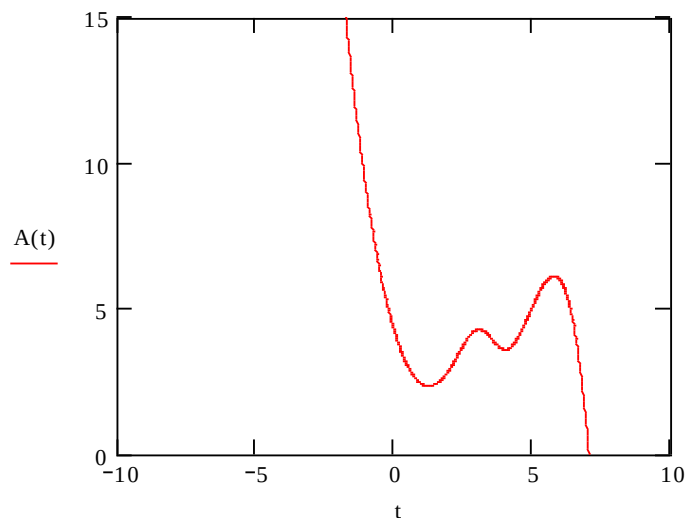


Рисунок 9.2- График функции сплайн-интерполяции

6. Провести сравнительный анализ результатов, которые получены при разных типах интерполяции.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе
- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

1. Опишите особенности применения линейной интерполяции.
2. Опишите особенности применения сплайн-интерполяции.

Рекомендуемая литература

- 1 Дьяконов И.И. Использование системы MathCad .– Киев: Диалектика, 1999.– 386 с.
- 2 Кирьянов Д.А. Самоучитель MathCad 12.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004.– 576 с.
- 3 Симанович С.В. Информатика. Базовый курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004.– 640 с.
- 4 Гурский Д.А. Вычисления в MathCad .– Минск: Новое знание, 2003.– 814 с.
- 5 Гурский Д.А., Турбина Е.А. MathCad для студентов и школьников. Популярный самоучитель.– Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2005.– 40 с.
- 6 Гурский Д.А., Турбина Е.А. Вычисления MathCad 12– Санкт-Петербург: Питер, 2006.– 546 с.
- 7 Семененко М.Г. Математическое моделирование в MathCAD. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208с.

2. Система моделирования OrCAD

2.1. Общие сведения о системе OrCAD

Проектирование современной электронной аппаратуры представляет собой итерационный процесс, состоящий из этапов функционального проектирования, разработки принципиальной схемы и печатной платы, изготовления, испытаний и внесения изменений в первоначальный проект. Значительное снижение стоимости и уменьшение времени разработки достигается применением систем сквозного проектирования электронных устройств.

Системы сквозного проектирования содержат средства черчения принципиальных и функциональных схем, средства разработки печатных плат, средства электрического моделирования, в том числе с учетом геометрии печатных проводников и конструкции печатной платы, а также средства оформления чертежей. Система автоматизированного проектирования электронных устройств OrCAD является примером полностью законченной системы сквозного проектирования.

Система содержит следующие составные части:

1. OrCAD Capture - графический редактор схем. В некоторых вариантах поставки используется графический редактор OrCAD Capture CIS (Component Information System - информационная система для работы с компонентами), использующий возможности доступа к базам данных через Internet.

2. OrCAD Layout - программное средство для разработки печатных плат. Может также поставляться пакет OrCAD Layout Plus, включающий в себя улучшенные средства трассировки и пакет OrCAD Layout Engineer's Edition - программа для просмотра печатных плат, созданных с помощью Layout и Layout Plus и предварительной расстановки и элементов инженером схемотехником перед выдачей задания на конструирование печатной платы.

3. OrCAD Express - средство моделирования цифровых устройств и интерфейс с программами проектирования программированных логических интегральных схем (ПЛИС). Пакет OrCAD Express Plus имеет в своем составе средства разработки и оптимизации некоторых типов ПЛИС.

4. OrCAD PSpice - программа моделирования аналоговых устройств (Personal computer Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis - программа моделирования для персональных компьютеров с акцентом на интегральные схемы). OrCAD PSpice A/D - программа моделирования смешанных аналого-цифровых устройств. Новый интерфейс программы PSpice имеет окно для отображения результатов моделирования в графическом виде.

5. OrCAD PSpice Optimizer - программа параметрической оптимизации, использующаяся совместно с программой PSpice.

6. OrCAD PSpice Model Editor - редактор файлов электрических моделей элементов.

7. OrCAD PSpice Stimulus Editor - редактор файлов, содержащих описание сигналов сложной формы, задаваемой пользователем.

Взаимосвязь составных частей системы OrCAD показана на Рис. Ч2.1.

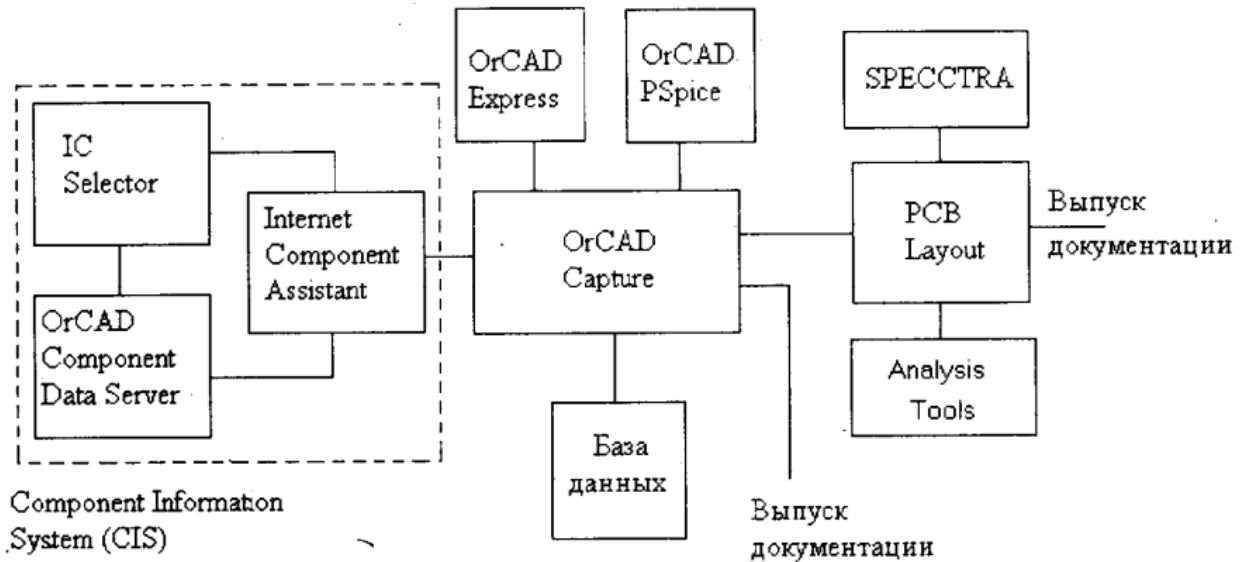


Рисунок Ч2.1

Все программы пакета OrCAD могут вызываться как автономно, так и из меню графического редактора принципиальных схем OrCAD Capture.

Экран программы OrCAD Capture содержит главное меню, панель инструментов Toolbar, строку состояния и несколько окон, выполненных в стиле MDI (MultiDocument Interface - многодокументный интерфейс Windows). В главном меню отображаются только те пункты, которые соответствуют окну, на которое направлен фокус ввода.

Строка состояния отображает координаты графического курсора, масштаб изображения, подсказку о назначении элементов управления в виде текстовой строки, число выбранных элементов и другую информацию.

Панель инструментов Toolbar содержит следующие кнопки для быстрого вызова команд:

- Create document, Open document, Save document - команды создания нового документа, открытия существующего и сохранения измененного документа в файл на диске;

- Print - вывод схемы или УГО компонента на печать;

- Cut to clipboard, Copy to clipboard, Paste from clipboard - команды копирования в буфер обмена Windows, удаления с копированием и вставки из буфера обмена;

- Undo - отмена последней введенной команды. По умолчанию допускается только одна отмена. Отмена возможна даже после сохранения файла до закрытия

проекта. Нельзя отменить удаление папки, страницы схемы, и символа элемента, сделанное в менеджере проектов.

- Redo - отмена результата выполнения последней команды Undo. Действие команд Undo и Redo не распространяется на команды группировки и разгруппировки объектов.

- Zoom in, Zoom out - увеличение и уменьшение масштаба изображения;

- Zoom to region - масштабирование по окну;

- Zoom to all - вывод на экран всего изображения страницы схемы;

- Annotate - расстановка позиционных обозначений на схеме;

- Back annotate - выполнение перестановок логически эквивалентных секций компонентов и выводов в процессе обратной корректировки;

- Design rules check - проверка на ошибки. Выявляются неприсоединенные входы, соединенные вместе выходы, неприсоединенные проводники и т. д.

- Create netlist - создание файла списка соединений выбранной страницы схемы для передачи в программы моделирования, трассировки и в другие системы САПР;

- Cross reference parts - создание файла перекрестных ссылок;

- Bill of materials - создание перечня элементов;

- Snap to grid - включение/выключение режима привязки к сетке;

- Project manager - вызов менеджера проектов;

- Simulate - выбор в каталоге Simulation Resources подкаталога, в котором хранится описание задания на моделирование;

- Compile - компиляция проекта. Команда используется при проектировании ПЛИС. В результате выполнения команды Compile составляются файлы списков внутренних соединений ПЛИС.

- Build - размещение и трассировка ПЛИС.

При работе доступны только кнопки панели Toolbar, соответствующие окну, на которое направлен фокус ввода.

Одновременно могут быть открыты следующие окна:

1. Менеджер проектов - используется для управления файлами проекта OrCAD. Поддерживает многолистовые схемы, иерархические блоки, ссылки на другие проекты и другие средства организации разработки. В окне менеджера проектов все файлы, задействованные для построения проекта, отображаются либо в виде плоской файловой структуры (страница File), либо в виде иерархической структуры (страница Hierarchy), показывающей зависимость одних составных частей проекта от других. Дерево менеджера проектов содержит следующие основные ветви:

- Design Resources - списки всех схем и отдельных страниц схем, список библиотек.

- PSpice Resources - список файлов конфигурации с начальными условиями моделирования (Simulation Profiles), библиотек электрических моделей (Model

Library), файлов воздействий (Stimulus Files), подключаемых файлов (Include Files).

- Outputs - список файлов результатов проектирования.
- Referenced Projects - список проектов, на которые есть ссылки в данном проекте.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши на имени соответствующего файла загружает соответствующий этому типу файлов редактор, а затем в нем открывается выбранный файл. Щелчок правой кнопкой мыши по имени файла открывает контекстное меню, состав которого зависит от типа выбранного объекта. Контекстное меню может содержать следующие команды:

- Add File - добавить файл;
- Edit - редактировать файл;
- Properties - просмотр и редактирование свойств объекта;
- New Schematic - создать новую схему;
- Design Properties - редактирование свойств проекта;
- Save - сохранить в файл;
- Save as - сохранить в файл с другим именем;
- Simulate Selected Profile - выполнить моделирование с помощью PSpice в соответствии с выбранным профилем;
- View Simulation Results - просмотр результатов моделирования в текстовом виде;
- Edit Simulation Settings - редактировать задание на моделирование;
- Make Active - сделать профиль активным;
- New Page - добавить новую страницу схемы;
- Make Root - перенести выбранную схему на верхний уровень иерархии;
- Rename - переименовать файл.

2. Редактор схем - используется для ввода схем в графическом режиме. Окно редактора схем содержит чертеж одного листа схемы. При переносе фокуса ввода на окно редактора схем открывается панель инструментов Tool Palette, с помощью которой вызываются команды редактирования чертежа принципиальной схемы.

Кнопки панели Tool Palette делятся на две группы - для нанесения на чертеж изображений электрических элементов и для вычерчивания графических элементов оформления чертежа. Доступны только кнопки, соответствующие текущему режиму редактирования. Состав и назначение команд панели Tool Palette:

- Select - включение режима выбора объектов;
- Place part - выбор в библиотеке компонента для размещения на схеме;
- Place wire - вычерчивание электрических цепей. Цепи вычерчиваются ортогонально, нанесение линий цепей под произвольным углом производится при нажатой клавише Shift.

- Place net alias - нанесение псевдонимов (дополнительных имен) цепей и шин;
 - Place bus - нанесение изображений шин;
 - Place junction - нанесение точки соединения двух проводников;
 - Place bus entry - нанесение отводов от шины под углом 45°;
 - Place power - размещение символов выводов источников питания и земли;
 - Place ground - то же самое, что и Place power, но окно имеет другой заголовок;
 - Place hierarchical block - размещение иерархических блоков;
 - Place port - размещение портов иерархических блоков;
 - Place pin - размещение выводов иерархических блоков;
 - Place off-page connector - размещение символов соединителей страниц;
 - Place no connect - подключение к выводу элемента символа отсутствующего соединения. Если к незадействованному выводу не подключить данный символ, то при проверке на ошибки будет указано на неподсоединенный вывод.
 - Place line - вычерчивание линии;
 - Place polyline - вычерчивание полилинии;
 - Place rectangle - вычерчивание прямоугольника, при нажатой клавише Shift чертится квадрат;
 - Place ellipse - вычерчивание эллипса, при нажатой клавише Shift чертится круг;
 - Place arc - вычерчивание дуги окружности;
 - Place text - нанесение многострочной надписи.
3. Редактор символов - предназначен для создания и изменения УГО электрических элементов.
- Панель Tool Palette редактора символов содержит следующие кнопки для непосредственного вызова команд:
- Select - включение режима выбора объектов;
 - Команды черчения графических примитивов;
 - Place IEEE symbol - нанесение условных обозначений по стандарту IEEE на символах компонентов;
 - Place pin - размещение выводов элементов;
 - Place pin array - размещение массивов выводов элементов.
4. Текстовый редактор - предназначен для создания и редактирования любых текстовых файлов без форматирования. Особенность встроенного редактора - возможность подсветки некоторых элементов текста, имеющих особое назначение: ключевых слов, комментариев, идентификаторов и строк, заключенных в кавычки. Установка шрифта, цветов для подсветки производится через пункт меню Options - Preferences.

Строка с комментарием начинается с символа *. Для соединения нескольких строк используется символ + в начале строки.

5. Окно протокола Session Log - отображает сообщения о результатах выполнения команд, об ошибках выполнения.

6. Редактор свойств Property Editor - позволяет просматривать и редактировать свойства объектов. Допускает одновременный просмотр свойств нескольких объектов. К числу объектов, имеющих свойства, относятся:

- Parts - символы компонентов;
- Hierarchical ports - выводы иерархического блока;
- Off-page connectors - межстраничные соединители;
- Nets - цепи;
- Pins - выводы компонентов;
- Title block - основная надпись;
- Bookmarks - закладки;
- DRC marks - маркеры ошибок;
- Графические примитивы и текст.

7. Электронная таблица - позволяет просматривать свойства объектов. Основное различие состоит в следующем: в электронной таблице могут редактироваться только свойства объектов типа occurrence (объекты, которые могут многократно использоваться в проекте), для редактирования свойств объектов типа instance (индивидуальные объекты, размещенные в текущем проекте) используется редактор свойств Property Editor.

В основу организации файлов системы OrCAD положены понятия схемы и проекта. OrCAD использует для хранения всех листов принципиальной схемы, а также нескольких многолистовых схем один файл с расширением *.dsn (design - разработка). Несколько схем объединяются в проект (*.orj - Orcad ProJect - проект в системе OrCAD). Структура orj-файла отображается в окне менеджера проектов в виде дерева на странице File. orj-файл содержит ссылки на все используемые файлы. В проект включаются следующие ресурсы:

- многостраничные схемы - dsn-файлы;
- design cache. Условные графические изображения (УГО) всех используемых в одном dsn-файле элементов (компонентов) хранятся в единственном экземпляре в одном месте. Этот способ хранения называется Design Cache ("тайник"). Он позволяет значительно уменьшить объем файла проекта. Ветвь Design Cache отображает все типы элементов, использованные для создания схемы.

- библиотеки элементов - olb-файлы;
- выходные файлы - списки соединений в различных форматах(*.cir, *.net, *.edf, *.edn), перечни элементов (*.bom, *.rpt), списки элементов с указанием координат на схеме и библиотек, где они находятся (*.xgf) и другие;

- ресурсы PSpice - включаемые файлы, библиотеки моделей (*.lib), параметры моделирования (*.sim), файлы воздействий (*.stm) и другие;
- описания ПЛИС в формате VHDL (*.vhd, *.vho) - Very High Speed Integrated Circuits Hardware Digital Language (язык описания быстродействующих интегральных схем);
- библиотеки стеков контактных площадок (*.lib, *.mdf).

Используемые в проекте файлы могут располагаться в различных каталогах, но удобно индивидуальные библиотеки и другие созданные в рамках одного проекта файлы хранить в одном каталоге. Допускается использование одной схемы или одной библиотеки для нескольких проектов.

Все объекты, из которых состоит схема в системе OrCAD, характеризуются свойствами. Набор свойств зависит от типа объекта. Каждый объект имеет минимальный набор свойств, к которому пользователь может добавлять новые. Свойство имеет имя (Name), значение (Value) и атрибуты. К числу атрибутов относятся Readonly (только для чтения) и Visible (видимость). Объекты, имеющие свойства:

- элемент - part;
- вывод элемента - pin;
- позиционное обозначение - part reference;
- цепь - net;
- шина - bus ;
- иерархический блок - hierarchical block;
- лист схемы - schematic page;
- штамп основной надписи - title block.

Изменение свойств объекта производится с помощью редактора свойств. Редактор свойств можно вызвать двойным щелчком левой кнопкой мыши на объекте, с помощью контекстного меню (пункт Edit Properties) либо через меню Edit - Properties. Свойства страницы схемы устанавливаются через меню Options - Schematic Page Properties при работе в редакторе схем. При работе в редакторе элементов доступны меню Options - Part Properties (свойства элемента) и Options - Package Properties (свойства упаковки компонента).

Диалоговое окно для установки свойств текущей страницы схемы производится с помощью пункта меню Options - Schematic Page Properties при работе с редактором схем. Содержит страницы Page Size и Grid Reference, аналогичные страницам диалога Design Template, и страницу Miscellaneous, на которой помещена некоторая служебная информация о странице чертежа.

Установка свойств элементов. Диалоговое окно вызывается с помощью пункта меню Options - Part Properties при работе с редактором элементов. Содержит панель Properties, на которой расположен список имен свойств, их значений и атрибутов (R - Readonly - только для чтения и V - Visible - видимость). Обычно используется обязательный набор свойств, к которому пользователь

может добавить новые свойства. К числу обязательных свойств элемента относятся:

- Name - имя;
 - Part Reference - позиционное обозначение секции элемента;
 - Pin Names Rotate - поворачивать имена выводов вместе с УГО (принимает значения true и false);
 - Pin Names Visible - видимость имен выводов (принимает значения true и false);
 - Pin Numbers Visible - видимость номеров выводов (принимает значения true и false);
 - Reference - позиционное обозначение элемента;
 - Value - название элемента;
 - Implementation - обозначение реализации элемента (присоединенного объекта);
 - Implementation Type - обозначение типа реализации элемента.
- Используются следующие типы реализаций: PSpice Model - электрическая модель, PSpice Stimulus - описание внешнего сигнала, Schematic View - схема объекта, VHDL - описание объекта на языке VHDL, EDIF - список соединений в формате EDIF, Project - схема проекта ПЛИС.
- Implementation Path - путь к файлу с описанием реализации элемента.

Свойства можно создавать (кнопка New), удалять (кнопка Remove) и управлять отображением свойств на чертеже (кнопка Display).

Установка свойств упаковки производится с помощью пункта меню Options - Package Properties при работе с редактором элементов. Содержит следующие элементы управления:

- Поле Name - имя элемента.
- Поле Part Reference Prefix - постоянная часть позиционного обозначения элемента на схеме.
- Поле PCB Footprint - обозначение чертежа проекции корпуса элемента на печатную плату.
- Выключатель Create Convert View. При включенном выключателе элемент представляется в альтернативной форме с использованием эквивалента Де-Моргана.
- Панель Multiple-Part Package - содержит настройки для упаковок, содержащих несколько элементов: поле Parts per Pkg (число элементов в упаковке), переключатель Package Type на два положения (Homogeneous - однородные элементы и Heterogeneous - неоднородные элементы) и переключатель Part Numbering на два положения (Alphabetic - элементы в упаковке обозначаются буквами и Numeric - элементы в упаковке обозначаются цифрами).
- Выключатель Pin Number Visible - включает видимость номеров выводов.

- Кнопка Part Aliases - вызывает диалог для ввода псевдонимов элемента.

Кнопка Attach Implementation - вызывает диалог для подключения реализации к элементу.

2.2. Создание иерархических блоков

В виде блока можно оформить любую часть схемы. Блоки могут иметь неограниченное число вложений.

Иерархический блок создается по команде Place / Hierarchical Block (значок команды ). Открывается окно, показанное на Рис. Ч2.2.

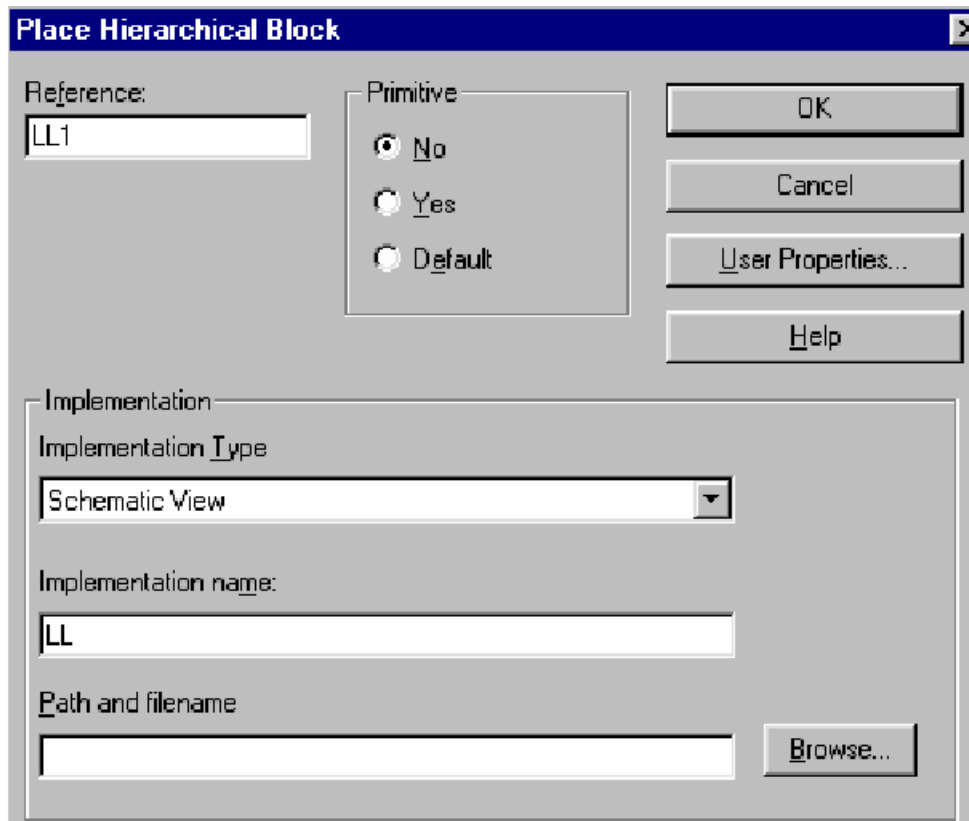


Рисунок Ч2.2.

В поле Reference вводится позиционное обозначение блока, в поле Implementation type указывается тип иерархического блока. Если на нижнем уровне иерархии будет создаваться электрическая схема, то выбирается тип блока Schematic View. В поле Implementation Name записывается имя блока. Нельзя задавать блоку имя, совпадающее с именем схемы. Если блок размещается в каталоге текущего проекта, то поле Path and Filename не заполняется. В поле Primitive (тип блока) выбирается No, то есть блок, имеющий иерархическую структуру. Нажимается ОК. Затем рисуется контур блока. Для этого нажимается ЛКМ и перемещением курсора наносится прямоугольный контур символа иерархического блока. При выделенном блоке по команде Place / Hierarchical Pin (значок команды ) вводятся имена выводов блока. В диалоговом окне команды (Рис. Ч2.3) указываются:

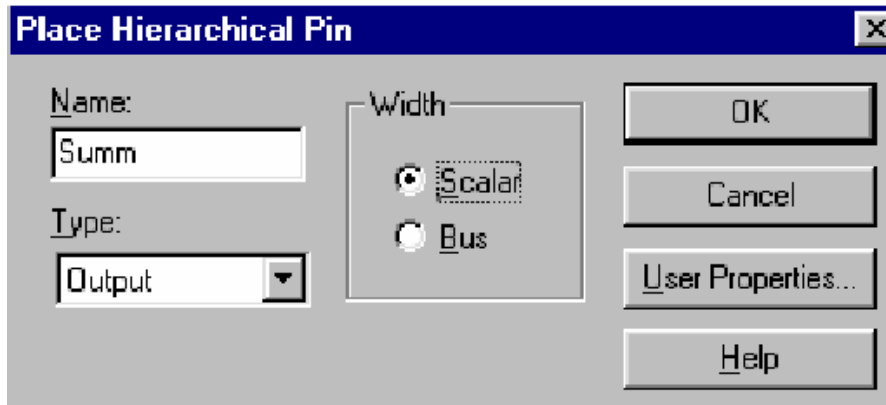


Рисунок Ч2.3.

- на панели Name – имя вывода;
- на панели Type – тип вывода (вход, выход и т.д.);
- на панели Width – тип цепи (scalar – единичная цепь, bus - шина).

Затем вывод располагается в необходимом месте внутри контура блока и его расположение фиксируется щелчком ЛКМ. В контекстном меню, вызываемом щелчком ПКМ, выбирается строчка Edit Properties и нажимается ЛКМ. В открывшемся окне указываются параметры второго вывода, нажимается ОК и т.д. Завершается установка выводов выполнением команды End Mode из контекстного меню.

После создания рисунка блока переходят на нижний уровень иерархии (команда Descend Hierarchy из контекстного меню. Команда активна при выделенном блоке). Появляется окно, приведенное на Рис. Ч2.4.

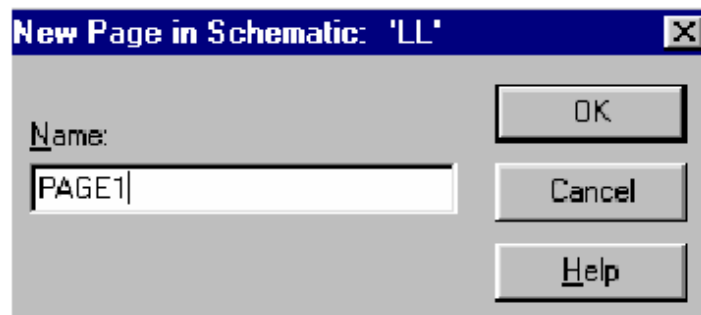


Рисунок Ч2.4.

В поле Name записывается имя блока, под которым он будет занесен в менеджер проектов. В соответствии с предложением в верхней строчке окна, блоку можно дать присвоенное при создании блока имя. Нажимается ОК.

На нижнем уровне иерархии располагаются порты, соответствующие выводам созданного блока. Далее рисуется схема блока (или копируется через буфер обмена из другого проекта). Порты перемещаются к соответствующим точкам схемы и соединяются с ними проводниками. В схеме блока нельзя использовать графические обозначения «земли» и глобальное имя земли GND. Переход на верхний уровень иерархии выполняется по команде Ascend hierarchy из контекстного меню.

2.3. Запись иерархического блока в библиотеку и вставка блока из библиотеки в схему

Если создан блок из цифровых компонентов, в корпусе которых расположено несколько секций, и его предполагается использовать в схеме неоднократно, то блок необходимо записать в библиотеку и затем вставлять в схему как библиотечный элемент. Копировать такой блок через буфер обмена нельзя, так как секции элементов, находящихся в одном корпусе, могут оказаться в разных блоках, что недопустимо. Увеличивать количество блоков путем копирования можно для схем, содержащих элементы, не упакованные секциями в корпус (резисторы, транзисторы, конденсаторы, элементы ПЛИС).

Для записи иерархического блока в библиотеку сначала необходимо создать в проекте библиотеку. Для этого при открытом проекте выполняется команда File / New / Library. В открывшемся окне выбирается текущий проект и нажимается ОК. Чтобы библиотека оказалась подключенной к проекту, выполняется команда File / Save. Таким образом в проекте в подкаталоге Library создается библиотека Library1.olb.

Запись блока в библиотеку производится следующим образом. Нажатием ЛКМ на блоке выделяется блок и выполняется команда File / Export Selection. В диалоговом окне (Рис. Ч2.5), в поле Export Selection Name указывается имя блока, а в поле Library - путь к библиотеке, куда заносится блок. Нажимается ОК. Блок занесен в библиотеку.

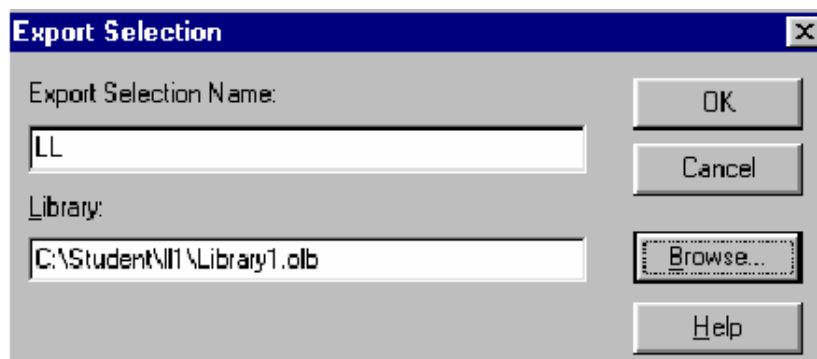


Рисунок Ч2.5.

Вставка блока из библиотеки в схему производится по команде File / Import Selection. При этом с блока должно быть снято выделение. В открывшемся окне (Рис. Ч2.6) нажимается кнопка Add Library и открывается библиотека, в которой находится блок. Появляются имя библиотеки и имена блоков, записанных в библиотеку. Затем выделяется имя вставляемого блока и нажимается ОК. Фиксация блока на поле чертежа производится щелчком ЛКМ.

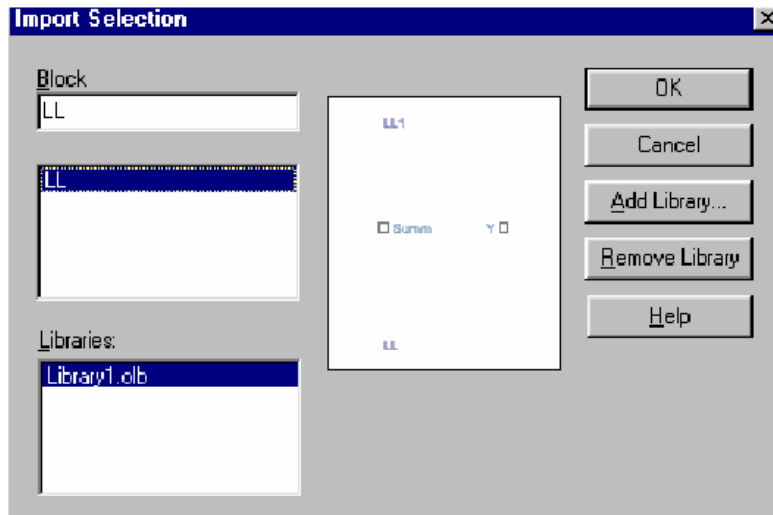


Рисунок Ч2.6.

2.4. Моделирование

Параметры моделирования для созданного проекта заносятся в файл *.sim, называемый профайлом моделирования. В него заносятся вид анализа и глобальные параметры моделирования. Новый профайл создается по команде PSpice / New Simulation Profile (значок команды ). В окне (Рис. Ч2.7) записывается имя профайла и нажимается кнопка Create.

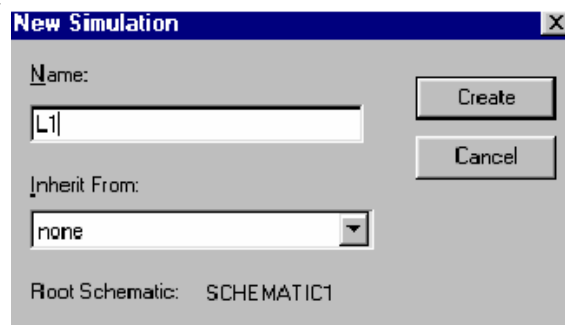


Рисунок Ч2.7.

Открывается диалоговое окно профайла моделирования (Рис. Ч2.8).

В поле Analysis type выбирается тип анализа: анализ переходных процессов (Transient), анализ амплитудно-частотных характеристик (AC Sweep) и др. В поле Options по умолчанию устанавливается выбранный вид анализа (General Settings) и в дополнение к основному виду анализа можно задать дополнительные (Monte Carlo, Parametric Sweep и др.). При моделировании цифровых схем используется вид анализ Transient. Для этого режима в поле Run to time проставляется время моделирования. Если пометить галочкой строку [SKIPBP], то отменяется расчет схемы по постоянному току.

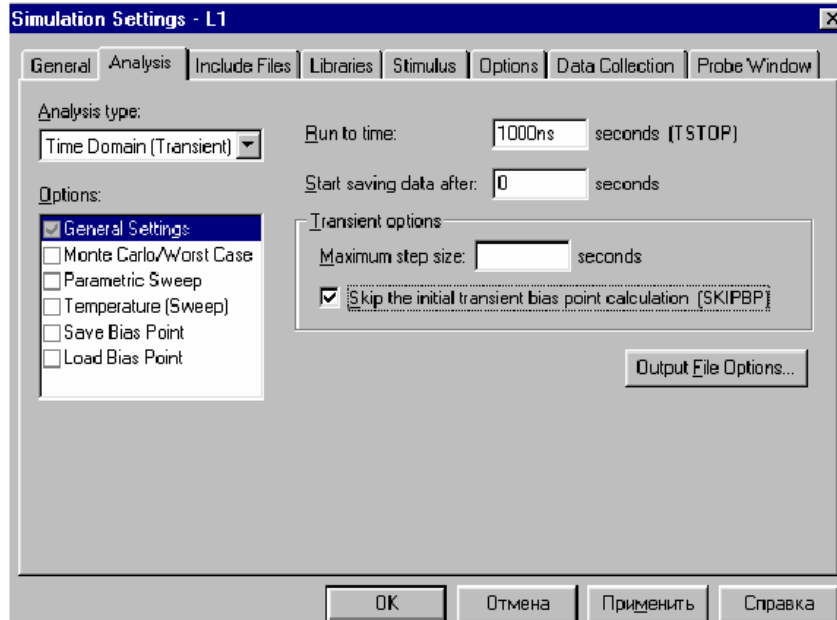


Рисунок Ч2.8.

Далее можно установить уровень аналого-цифрового интерфейса цифровых схем по умолчанию. Для этого в главном меню профайла моделирования нажимается кнопка Options, в списке Category выбирается Gate-level Simulation, в строке Initial all flip-flop to устанавливается «0» или «1», и в строке Default I/O level for A/D interfaces (уровень интерфейса по умолчанию) устанавливается для аналого-цифровых схем цифра 2. Нажимается кнопка ОК. Уровень интерфейса для конкретных цифровых схем можно изменять в таблицах, открывающихся после двойного щелчка ЛКМ на выбранном компоненте. Цифровые компоненты могут иметь три уровня аналого-цифрового интерфейса (преобразования входного аналогового сигнала в цифровой). Для совмещения аналоговой части с цифровыми микросхемами используется второй уровень интерфейса AtoD2. Третий уровень интерфейса AtoD3 применяется для схем, имеющих порог Шмитта. Для чисто цифровой части проекта используется первый уровень интерфейса AtoD1, имеющий в некотором диапазоне входных сигналов состояние «X» (неопределенное состояние). Поэтому третий уровень интерфейса нельзя применять для микросхем, подсоединяемым к аналоговым устройствам.

Редактирование профайла моделирования производится по команде PSpice / Edit Simulation Profile (значок команды .

Запуск программы моделирования PSpice A/D выполняется по команде PSpice Run (значок команды ). После того, как закончится расчет схемы, выполняется команда Trace / Add Trace (значок команды ). В открывшемся окне приводится список узлов, в которых можно просмотреть как напряжения, так и токи в узлах схемы. (Обозначения токов можно удалить, убрав галочку в строке Current). Выделяются щелчком ЛКМ необходимые узлы, список которых появляется в строке Trace Expression и, нажимая ОК, на экран выводятся графики.

Практическая работа №10 **Ознакомление с системой ORCAD**

Цель работы: Изучение порядка запуска системы OrCAD, создания нового чертежа и сохранения чертежа.

Задачи: изучить порядок запуска системы OrCAD, создания нового чертежа и сохранения чертежа.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Указания к выполнению лабораторной работы:

1. С помощью программы Проводник Windows создайте папку Ivanov\OrCADLabs\Project1 или аналогичную. Запустите программу OrCAD - Capture CIS через меню Пуск Windows. В окне OrCAD Capture должно появиться окно Session Log.

2. Выберите в главном меню программы OrCAD Capture пункт меню Options - Design Template. В открывшемся диалоговом окне Design Template на странице Page Size установите переключатель единиц измерения Units в положение Millimeters, переключатель New Page Size (размер листа) в положение A4. В поле Pin-to-Pin Spacing (минимальное расстояние между выводами) введите 1. Шаг сетки равен минимальному расстоянию между выводами, в данном случае 1 миллиметр. На странице Font установите для шрифтов Part Value, Power Text, Property, Text, Title Block Text параметры:

- шрифт - Arial;
- начертание - Обычный;
- размер - 10;
- набор символов - Кириллица.

На странице Grid Reference установите флажок на выключателе Border Visible - Displayed, на остальных выключателях флажки должны быть сняты.

Закройте диалог Design Template нажатием клавиши ОК.

3. Выберите пункт меню File - New - Project. В открывшемся диалоговом окне в поле Name введите имя проекта Project1. Нажмите кнопку Browse и выберите вновь созданный каталог. Установите переключатель Create a New Project Using в положение Schematic (проект создается только для вычерчивания схем, но не для разводки и моделирования). На экране должны открыться окна Project1 и /(SCHEMATIC1:PAGE1).

4. Перейдите в окно /(SCHEMATIC1:PAGE1). Выберите пункт меню Options - Preferences. В открывшемся диалоговом окне Options - Preferences на странице

Grid Display установите флажки Schematic Page Grid - Visible - Displayed (включить отображение сетки в редакторе схем), Part and Symbol Grid - Visible - Displayed (включить отображение сетки в редакторе символов), Schematic Page Grid - Pointer Snap to Grid (включить шаговую привязку в редакторе схем), Part and Symbol Grid - Pointer Snap to Grid (включить шаговую привязку в редакторе символов).

5. Перейдите в окно Project1. Щелкните правой кнопкой мыши на надписи SCHEMATIC1 и выберите в меню пункт New Page. В диалоговом окне New Page in Schematic 'SCHEMATIC1' в поле Name введите имя страницы Lab1. Будет создана новая страница с указанным именем.

6. Перейдите в окно Project1. Щелкните правой кнопкой мыши на надписи PAGE1 и выберите в меню пункт Rename. В диалоговом окне New Page in Schematic 'SCHEMATIC1' в поле Name введите имя страницы Lab2. Страница будет переименована.

7. Выберите в меню пункт File-Save для сохранения проекта.

8. Перейдите в окно Lab1. Нажмите кнопку (команда Place Part - разместить элемент) на панели Tool Palette. В диалоговом окне Place Part нажмите кнопку Add Library для добавления библиотеки элементов. В диалоговом окне Browse File выберите библиотеку C:\Cadence\SPB_16.3\tools\Capture\Library\Pspice\source.olb и нажмите кнопку Открыть. В список используемых для проекта библиотек (поле Libraries диалогового окна Place Part) будет добавлена библиотека, содержащая условные графические изображения (УГО) источников напряжения, тока и генераторов сигналов различной формы. Добавьте в список библиотеки C:\Cadence\SPB_16.3\tools\Capture\Library\Pspice\analog.olb (содержит УГО пассивных элементов), C:\Cadence\SPB_16.3\tools\Capture\Library\Pspice\jbipolar.olb (содержит УГО биполярных транзисторов) и C:\Cadence\SPB_16.3\tools\Capture\Library\Pspice\diode.olb (содержит УГО диодов).

9. В диалоговом окне Place Part в поле Libraries щелкните левой кнопкой на имени библиотеки Analog. В списке элементов библиотеки Analog щелкните левой кнопкой на имени R. Имя R должно появиться в поле Part. Закройте диалоговое окно Place Part нажатием клавиши Ok. Щелкните левой кнопкой мыши в графической зоне окна Lab1. На чертеже будет помещено изображение резистора. Щелкните левой кнопкой мыши в другом месте чертежа. На чертеже будет помещено еще одно изображение резистора. Щелкните правой кнопкой мыши и в появившемся диалоговом окне выберите пункт End Mode. Размещение элементов прекратится.

10. Разместите на чертеже УГО конденсатора, р-п-р и п-р-п транзисторов и источника напряжения (VDC из библиотеки source).

11. Нажмите кнопку  на панели Tool Palette. В диалоговом окне Place Ground выберите символ GND_POWER. Закройте диалоговое окно Place Ground нажатием клавиши OK. Разместите на чертеже символ земли. Щелкните правой кнопкой мыши и в появившемся диалоговом окне выберите пункт End Mode. Размещение элементов прекратится.

12. Выберите изображение резистора. Скопируйте его в буфер обмена Windows, а затем вставьте в чертеж путем использования кнопок на панели Toolbar. Аналогичным образом скопируйте и вставьте в чертеж изображения n-p-n транзистора и конденсатора.

13. Выберите изображение p-n-p транзистора. Выберите в меню пункт Edit - Mirror - Vertically. Изображение транзистора будет повернуто зеркально относительно горизонтальной оси.

14. Выберите изображение резистора. Выберите в меню пункт Edit -Rotate. Изображение резистора будет повернуто на 90° против часовой стрелки.

15. Начертите схему усилителя согласно Рис. 10.1

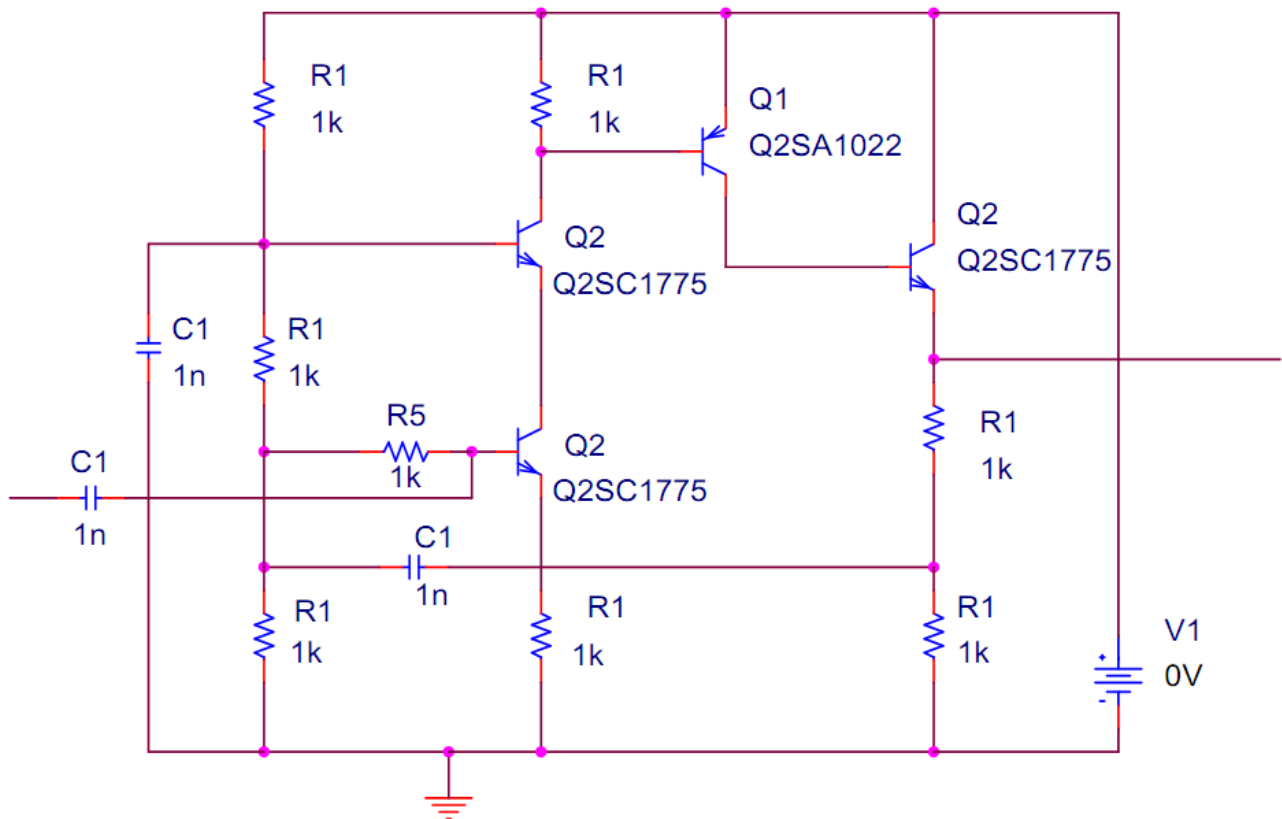


Рисунок 10.1.

Для нанесения на чертеж изображения проводов используйте кнопку  (команда Place - Wire) на панели Tool Palette. При присоединении проводника к выводу изображение зоны захвата вокруг вывода должно пропасть. Завершение вычерчивания проводника производится щелчком правой кнопкой мыши. Атрибуты элементов - позиционное изображение и номинал можно перемещать мышью отдельно.

16. Перейдите в окно Project1. На странице File выделите имя Lab1 и выберите в меню пункт Tools - Annotate (команда простановки позиционных обозначений). В диалоговом окне Annotate установите следующие параметры:

- переключатель Scope - в положение Update entire design (команда Annotate будет применена ко всей схеме);
- переключатель Action - в положение Unconditional reference update (безусловное обновление всех позиционных обозначений);

Закройте диалог нажатием клавиши ОК. В ответ на запрос:

This will annotate and save your design. Do you wish to continue? нажмите кнопку ОК. Все позиционные обозначения будут переименованы по правилу “слева направо, сверху вниз” и схема будет записана на диск. После автоматической расстановки позиционных обозначений схема будет выглядеть в соответствии с Рис. 10.2.

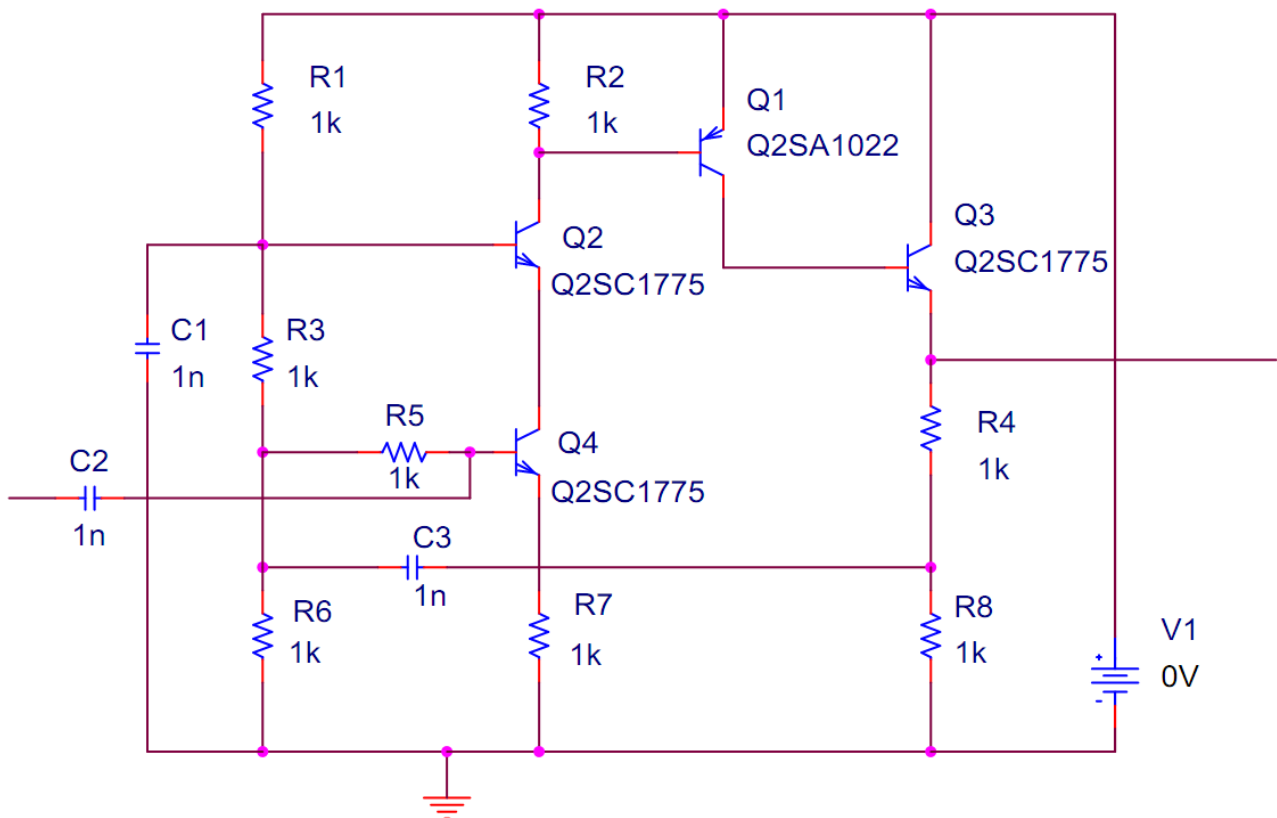


Рисунок 10.2.

17. Выберите в меню пункт File - Save для сохранения чертежа. Завершите работу с системой OrCAD.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

- Тему лабораторной работы
- Цель и задачи лабораторной работы
- Краткое теоретическое обоснование
- Задания к лабораторной работе

- Результаты выполнения заданий лабораторной работы с пояснениями по ходу выполнения
- Выводы по лабораторной работе

Контрольные вопросы

1. Каким образом запускается система OrCAD?
2. Как сохраняются результаты в системе OrCAD?
3. Порядок ввода принципиальных схем в системе OrCAD.
4. В каких файлах хранятся модели OrCAD?
5. Какой формат имеют файлы, содержащие УГО радиокомпонентов?

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 11.

Исследование характеристик пассивных элементов при постоянных и импульсных воздействиях

Цель работы: приобретение практических навыков при моделировании статических и динамических характеристик схем, состоящих из пассивных элементов.

Задачи: приобрести практические навыки моделирования статических и динамических характеристик схем, состоящих из пассивных элементов..

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения.

К пассивным элементам схемы относятся резисторы, конденсаторы и индуктивности. Для исследования характеристик элементов будем пользоваться программой схемотехнического моделирования - PSpice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis for PC).

С помощью программы PSpice моделируется схема неограниченных размеров, так как максимальный размер схемы определяется исключительно объемом памяти РС (примерно 1 Мб на каждые 100 транзисторов или 400 вентилях).

Для подготовки схемы к моделированию необходимо с помощью текстового или графического редактора создать входной файл с расширением .Cir.

При работе с программой разнообразная информация о схеме и результатах моделирования записывается в отдельные файлы с различными расширениями (табл. 11.1).

Одной из возможностей программы PSpice является моделирование схем в режиме постоянного тока:

- в «рабочей точке»;
- при изменении источников постоянного напряжения или тока, температуры и других параметров;
- по проверке чувствительности характеристик схем к изменениям параметров компонентов.

Назначение файлов, создаваемых в результате работы программы PSpice

Расширение имени файла	Назначение файла
.cir	Текстовый входной файл задания на моделирование для программы
.out	Текстовый файл результатов моделирования
.dat	Двоичный файл результатов моделирования, передаваемых программе PROBE

Анализ схемы по постоянному току для определения рабочей точки выполняется с закороченными индуктивностями и разомкнутыми емкостями. Анализ по постоянному току выполняется до анализа переходных процессов в схеме для определения начальных условий переходного процесса и до анализа по переменному току для малосигнальных моделей с тем, чтобы определить линеаризованные малосигнальные модели приборов.

Анализ по постоянному току может быть использован для определения характеристики схемы по постоянному току: для этого описывается независимый источник напряжения или тока и задается шаг изменения входной переменной, при котором вычисляется значение выходной переменной. Также возможно в рамках анализа по постоянному току определить чувствительность выходных переменных к изменениям параметров схемы.

Решения анализа схемы по постоянному току получаются как результат итерационного процесса, и хотя алгоритм, реализованный в программе, является надежным, в некоторых случаях он не дает сходимости. Отсутствие сходимости в этом случае обычно является результатом ошибки при задании соединений в схеме, значений элементов или значений параметров моделей. При моделировании триггерных схем необходимо использовать принудительную установку начального состояния схемы с помощью директивы NODESET.

Входной формат для программы PSpice является форматом свободного описания, т.е. нет жестких требований к последовательности записи входной информации. Всем элементам и узлам электрической схемы присваиваются имена, которые содержат буквенно-цифровые символы. В качестве символа используются только латинские буквы от A до Z и цифры от 0 до 9, а также знаки (\$ _ * / %). Только первые восемь символов имени будут использованы программой при трансляции данных. В качестве разделителей для обозначений применяются пробелы, число которых может быть произвольным. Для продолжения записи данных на другой строке необходимо записать знак плюс (+) в первой позиции следующей строки. Чтение строки продолжения в этом случае

будет выполняться со второй позиции. В начале строки комментариев во входном файле ставится символ *.

Таблица 11.2

Буквенные обозначения масштабных коэффициентов

Обозначение	Масштабный коэффициент	Обозначение	Масштабный коэффициент
T	1E12	MI	25,4E-6
G	1E9	U	1E-6
MEG	1E6	N	1E-9
K	1E3	P	1E-12
M	1E-3	F	1E-15

При описании могут использоваться числа:

- целые (155);
- с плавающей точкой (3.345);
- отрицательные (-155; -3.345);
- целые или с плавающей точкой с масштабным коэффициентом, соответствующим степени числа (1E-15; 2.314E3);
- целые или с плавающей точкой с буквенным масштабным обозначением (1F; 2.314K), приведенным в табл. 11.2.

Символы, следующие сразу за числом и не являющиеся масштабным обозначением, игнорируются. Следовательно, символы 5 и 5V являются одним и тем же числом.

Задание

Лабораторная работа выполняется по подгруппам (табл. 11.3).

1. Проверить закон Ома для R1 в схеме на рис.11.1. Для этого необходимо описать схему, задать режим анализа по постоянному току и рассчитать зависимость I_{R1} от V1, задав изменение напряжения в некотором диапазоне.

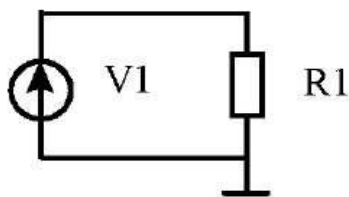


Рисунок 11.1. Схема моделирования для получения вольт-амперной характеристики резистора

Варианты заданий для подгрупп

Номер подгруппы	Схема на рис.11.1		Схема на рис.11.2							Схема на рис.11.3		Схема на рис.11.4	
	R1, кОм	V1, В	V1, В	R1, кОм	R2, кОм	R _н , кОм				R1, кОм	C1, пФ	R1, кОм	C1, пФ
1	10	0÷7	2	2	2	Нет	1	2	4	1	10	5	5
2	7	0÷7	3	3	3	Нет	1	3	6	1,5	10	5	6
3	3,5	0÷7	4	4	4	Нет	1	4	8	2	10	5	7
4	2	0÷7	5	5	5	Нет	1	5	10	2,5	10	5	8
5	1	0÷7	6	6	6	Нет	1	6	12	3	10	5	9
6	10	0÷5	7	7	7	Нет	1	7	14	3,5	10	5	10
7	5	0÷5	8	8	8	Нет	1	8	16	4	10	5	11
8	2,5	0÷5	9	9	9	Нет	1	9	18	4,5	10	5	12
9	2	0÷5	10	10	10	Нет	1	10	20	5	5	4	5
10	1	0÷5	2	1	1	Нет	1	1,2	2,4	5,5	5	4	6
11	10	0÷4	3	1,5	1,5	Нет	1	1,5	3	6	5	4	7
12	8	0÷4	4	2	2	Нет	1	2	4	6,5	5	4	8

2. Описать схему резистивного делителя (рис. 11.2) и рассчитать влияние нагрузочного сопротивления R_H на выходное напряжение V_{OUT} .

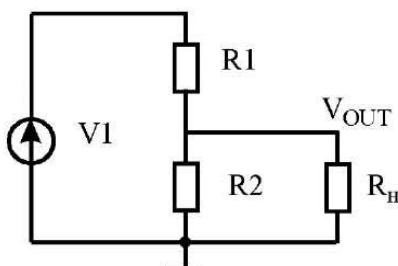


Рисунок 11.2 Схема моделирования для получения зависимости выходного напряжения резистивного делителя от нагрузочного сопротивления

3. Описать схему RC-интегратора (рис.3) и при воздействии входного прямоугольного импульсного сигнала получить переходную характеристику. Импульсный источник имеет следующие параметры: $V1 = 0$ В, $V2 = 5$ В, $TD = .1$ мкс, $TR = 10$ нс, $TF = 10$ нс, $TW = .1$ мкс, $TPER = .3$ мкс.

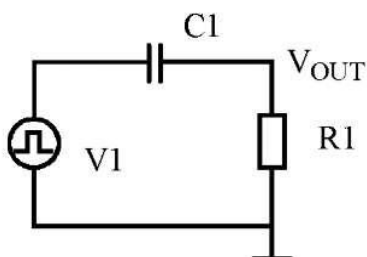


Рисунок 11.3. Схема моделирования переходной характеристики пассивного интегратора

4. Описать схему RC-дифференциатора (рис.4) и при воздействии входного прямоугольного импульсного сигнала получить переходную характеристику.

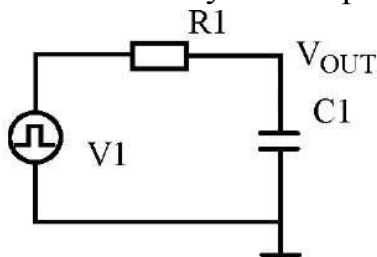


Рисунок 11.4. Схема моделирования переходной характеристики пассивного дифференциатора

Методика выполнения лабораторной работы

1. **Описание схемы.** Анализируемая схема описывается в программе набором входных данных в виде отдельных записей, определяющих схему и значения элементов, а также набором директивных записей, которые задают параметры моделей нелинейных элементов и управляют обработкой данных.

Первая строка записи в задании должна быть заголовком, последняя - .END.

Всем узлам электрической схемы присваиваются имена, как правило, цифровые. Номерами узлов должны быть неотрицательные целые числа. Нумерация узлов не обязательно должна быть последовательной. Однако узел, соответствующий «земле», должен иметь номер 0, а узел, к которому подключается источник напряжения питания, - 1. К этим узлам подключается наибольшее количество элементов схемы.

2. **Описание элементов схемы.** Каждый элемент схемы идентифицируется с помощью записи, содержащей имя элемента, узлы схемы, с которыми элемент соединяется, и значения параметров, определяющих электрические характеристики элемента:

<имя элемента> <номера узлов> [<имя модели>] <значения параметров>

Имя элемента состоит из последовательности символов латинского алфавита и цифр. Рекомендуется не более восьми символов. Первая буква в имени элемента задает тип элемента.

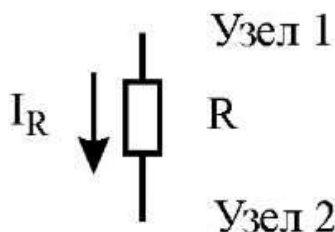


Рисунок 11.5. Обозначение резистора

2.1. Описание резистора. На рис.11.5 приведено обозначение резистора, используемое при описании электрических схем.

R<идентификатор> <узел 1> <узел 2> [имя модели] <значение R>

Идентификатор - это произвольная алфавитно-цифровая последовательность общей длиной не более семи символов, которая пишется слитно с символом типа элемента.

Описание резистора обязательно начинается с буквы R. Имя модели можно не указывать, если резистор стандартный. Например:

R1 1 0 5K

RGEN 10 11 3.4E4

R2 20 0 RTEMP 10K

.MODEL RTEMP RES (R=3 DEV=5% TC1=0.01)

Номинал сопротивления резистора по умолчанию определяется в омах.

2.2. Описание конденсатора. На рис.6 приведено обозначение конденсатора, используемое при описании электрических схем.

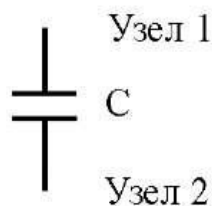


Рисунок 11.6. Обозначение конденсатора

C<идентификатор> <узел 1> <узел 2> [имя модели] <значение>

Описание конденсатора обязательно начинается с буквы C. Имя модели можно не указывать, если конденсатор стандартный. Например:

CLOAD 15 0 2P

C1 1 2 0.5P IC=1.5

C2 3 4 CMOD 10U

.MODEL CMOD CAP (C=3 TC1=0.01 VC1=0.2)

Номинал емкости конденсатора по умолчанию определяется в фарадах.

2.3. Описание источника напряжения. Данное описание всегда начинается с буквы V.

V<идентификатор> <узел+> <узел-> <тип> <параметры источника напряжения>

2.3.1. Описание независимого источника постоянного напряжения. Постоянный источник напряжения (тип DC) характеризуется направлением и значением (рис.11.7).

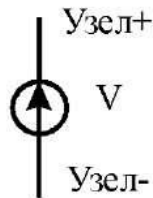


Рисунок 11. 7. Обозначение независимого источника постоянного напряжения

V<идентификатор> <узел+> <узел-> [DC] <значение>

Значение напряжения источника по умолчанию определяется в вольтах.

Например: V1 1 0 DC 0

2.3.2. Описание независимого импульсного источника напряжения. На рис.11.8,а приведено обозначение импульсного источника напряжения.

V<идентификатор> <узел+> <узел-> <тип> <параметры источника напряжения>

Импульсный источник напряжения типа PULSE (рис.11.8,б) описывается параметрами: V1 - начальное значение импульса источника напряжения, v; V2 - максимальное значение импульса источника напряжения, v; TD - время задержки переднего фронта импульса, s; TR - длительность переднего фронта импульса, s; TF - длительность заднего фронта импульса, s; TW - длительность плоской части импульса, s; TPER - период повторения импульса, s.

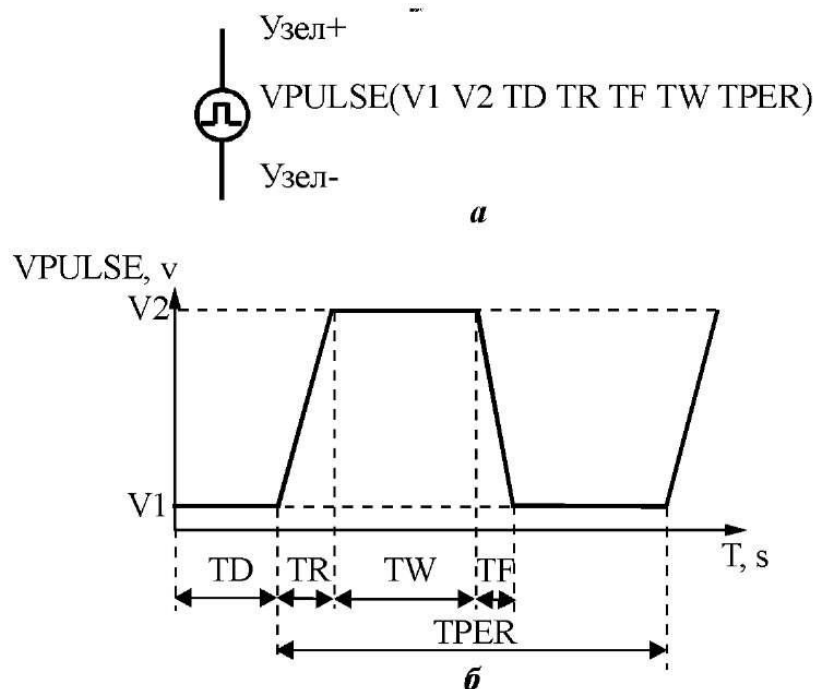


Рисунок 11.8. Независимый импульсный источник напряжения:

a - обозначение; *б* - определение параметров

Порядок описания параметров импульсного источника строго определен. Например, если $V1 = 0$ v, $V2 = 5$ v, $TD = 20$ ns, $TR = 2$ ns, $TF = 2$ ns, $TW = 30$ ns, $TPER = 100$ ns, то следует записать

VPULSE 1 0 PULSE (0 5 20n 2n 2n 30n 100n)

3. Директивы моделирования характеристик. Директивы моделирования используются для задания режима расчета схемы. Обязательно директивная строка начинается с точки (.).

3.1. Расчет характеристик в режиме постоянного тока. Данный расчет используется для получения статических характеристик. При установившемся процессе программа рассчитывает напряжения в узлах, падения напряжения на элементах и токи выводов элементов. Для задания режима расчета по постоянному току необходимо правильно выбрать переменный параметр, при вариации которого снимается зависимость. Директивная строка записывается следующим образом:

**.DC <имя 1-й переменной> <начальное значение> <конечное значение>
<шаг> [<имя 2-й переменной> <начальное значение> <конечное значение>
<шаг>]**

Вторая переменная может отсутствовать. Например, для расчета схемы при разных напряжениях питания источника VDD, изменяющегося от 2,5 В до 5 В с шагом 0,5 В, получим следующую запись:

.DC VDD 2.5 5 0.5

3.2. Расчет напряжений и токов в схеме, работающей в режиме переходного процесса. Расчет выполняется с помощью директивы TRAN, которая записывается следующим образом:

.TRAN <шаг вывода данных> <конечное время расчета>

Переходный процесс всегда рассчитывается с момента $t = 0$ до момента <конечное время расчета>. Как правило, выбирается <конечное время расчета>, равное нескольким (2 - 3) периодам входного сигнала.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) нарисованные схемы моделирования (рис.11.1 – 11.4) с нумерацией узлов и элементов;
- 2) распечатки входных файлов данных (*.cir) описания схем (Приложение);
- 3) распечатки характеристик результатов моделирования (рис.11.9 – 11.12).

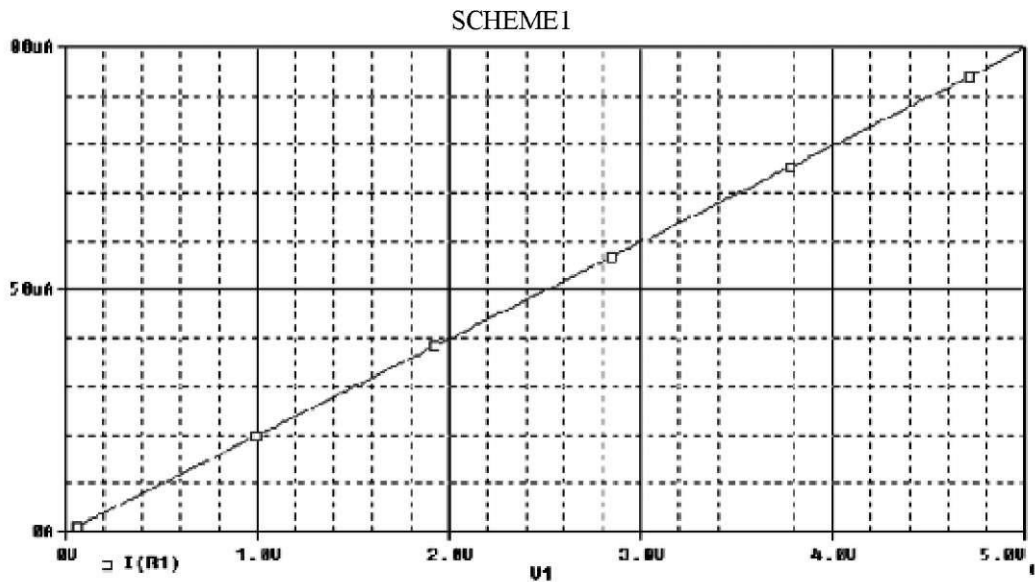


Рисунок 11.9. Вольт-амперная характеристика резистора

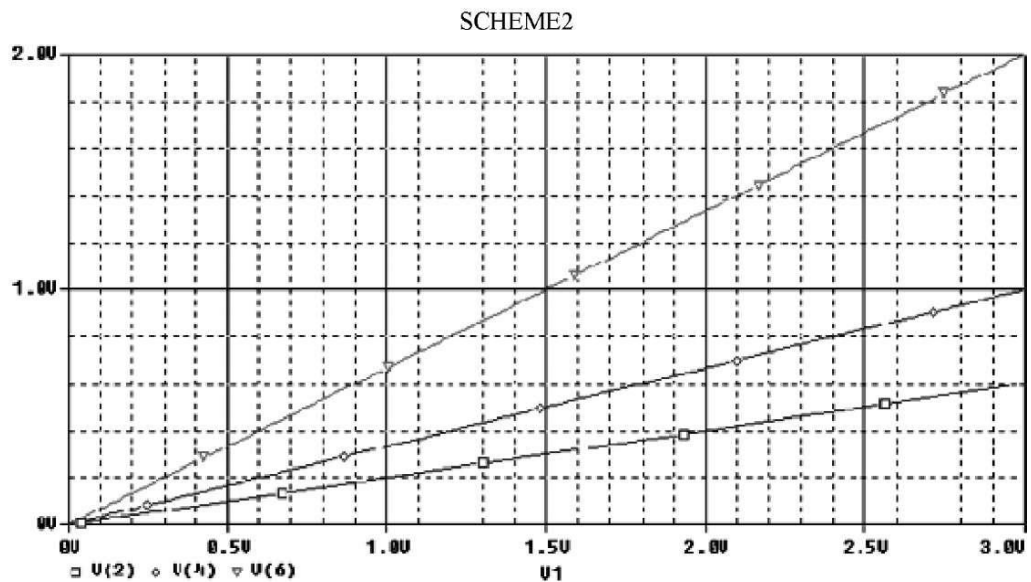


Рисунок 11.10. Передаточная характеристика резистивного делителя в зависимости от нагрузочного сопротивления

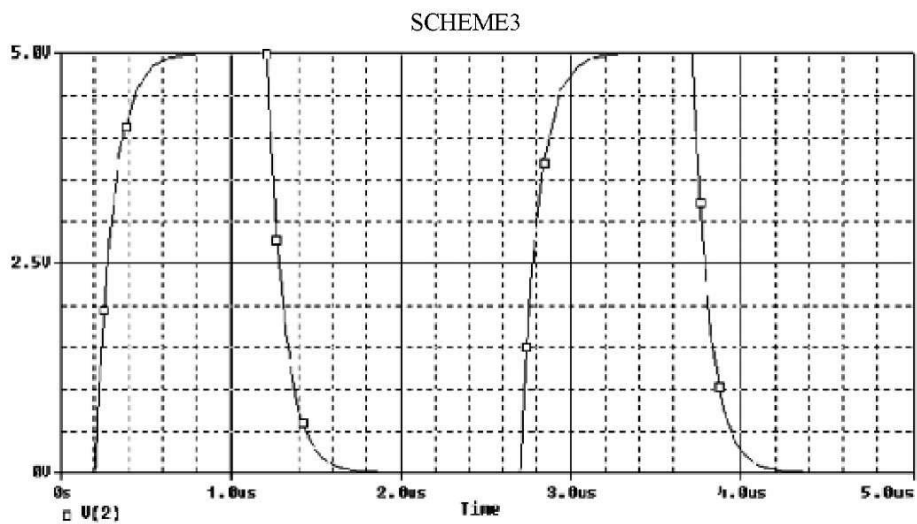


Рисунок 11.11. Переходная характеристика пассивного интегратора

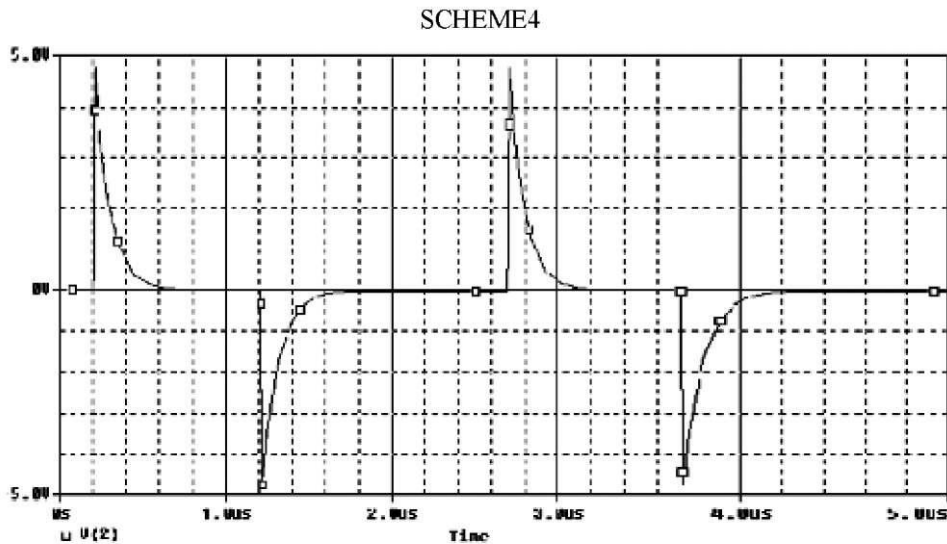


Рисунок 11.12. Переходная характеристика пассивного дифференциатора

Контрольные вопросы

1. С какими файлами работает программа PSpice?
2. Как подготовить схему для описания в программе PSpice?
3. В каком формате описываются резисторы для моделирования в программе PSpice?
4. В каком формате описываются конденсаторы для моделирования в программе PSpice?
5. В каком формате описываются постоянные источники напряжения для моделирования в программе PSpice?
6. В каком формате описываются импульсные источники напряжения для моделирования в программе PSpice?
7. Показать, как рассчитывается номинал резистора по вольт-амперной характеристике (см. рис.11.9).
8. Получить алгебраическое выражение для расчета выходного сопротивления в схеме на рис.2 при подключении нагрузочного сопротивления и сравните с полученными характеристиками (см. рис.11.10).
9. Объяснить переходную характеристику, полученную для пассивного интегратора (см. рис.11.11).
10. Объяснить переходную характеристику, полученную для пассивного дифференциатора (рис.11.12).

Приложение

Исходные данные:

1. Пример входного файла описания схемы на рис.11.1 и задания на расчет вольт- амперной характеристики резистора.

SCHEME1

*SIMULATION_VA_R

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC V1 0 5 .01

V1 1 0 DC 0

R1 1 0 10K

.PRINT DC I(R1)

.END

2. Пример входного файла описания схемы на рис.11.2 и задания на расчет передаточной характеристики резистивной цепочки.

SCHEME2

* SIMULATION_Vout

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC V1 0 3 .01

V1 1 0 DC 0

R1 1 2 3K

R2 2 0 3K

R1H 2 0 1k

R3 1 4 3K

R4 4 0 3K

R2H 4 0 3k

R5 1 6 3K

R6 6 0 3K

R3H 6 0 6k

.PRINT DC V(2) V(4) V(6)

.END

3. Пример входного файла описания схемы на рис.11.3 и задания на расчет переходной характеристики.

SCHEME3

* SIMULATION_Vout(t)

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.TRAN 10.n 5u

V1 1 0 PULSE(0 5 .2u 10.n 10.n 1u 2.5u)

R1 1 2 1K

C1 20 100p

.END

4. Пример входного файла описания схемы на рис.4 и задания на расчет переходной характеристики.

```

SCHEME4
*SIMULATION_Vout(t)
.PROBE
.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.TRAN 10.n 5u
V1 1 0 PULSE(0 5 .2u 10.n 10.n 1u 2.5u)
R1 2 0 10k
C1 1 2 10p
.END

```

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 12.

Исследование характеристик активного элемента по постоянному и переменному сигналу

Цель работы: приобретение практических навыков по моделированию схем с активными элементами.

Задачи: приобрести практические навыки моделирования статических и динамических характеристик схем, содержащих активные элементы

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Задание

В лабораторной работе необходимо выполнить моделирование четырех схем с активными элементами. В первых трех заданиях на моделирование необходимо получить выходные вольт-амперные характеристики активных элементов по постоянному току (диод D1 - схема на рис.12.1,

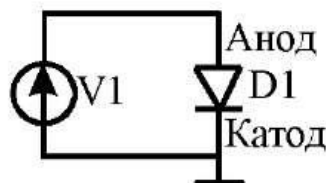


Рис. 12.1. Схема моделирования вольт-амперной характеристики диода

биполярный транзистор Q1 - схема на рис.12.2

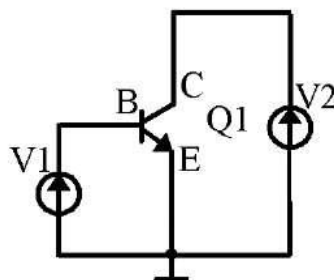


Рис.12.2. Схема моделирования вольт-амперной характеристики биполярного NPN-транзистора по постоянному току

и полевой транзистор M1 - схема на рис.12.3).

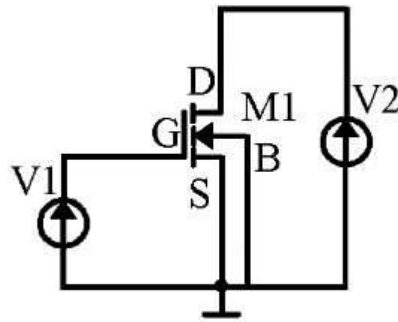


Рис.12.3. Схема моделирования выходной вольт-амперной характеристики полевого n-МОП-транзистора

В четвертом и пятом заданиях моделируется динамическая характеристика диода и биполярного транзистора в режиме переходного анализа.

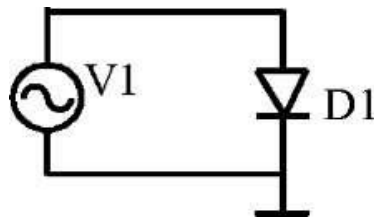


Рис.12.4. Схема моделирования переходной характеристики диода

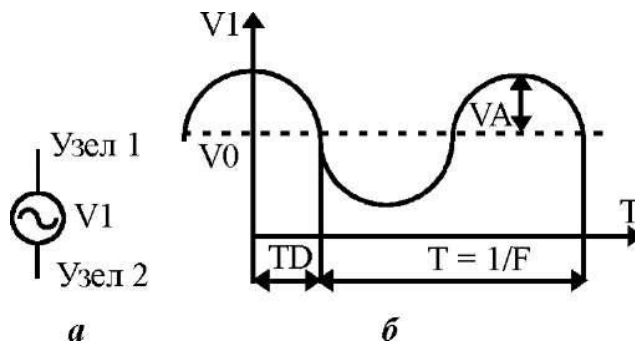


Рис.12.5. Источник синусоидального напряжения:
а - условное обозначение, б - временная диаграмма

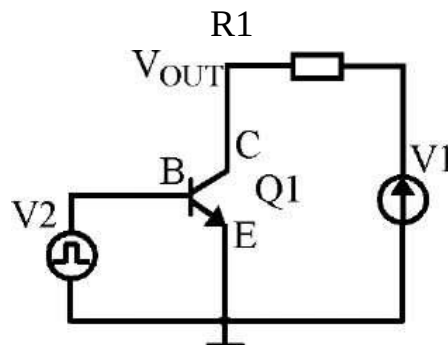


Рис.12.6. Схема моделирования переходной характеристики биполярного транзистора

Лабораторная работа выполняется по подгруппам (табл.12.1).

Варианты заданий для подгрупп

Номер п/группы	Схема на рис.12.1		Схема на рис.12.2			Схема на рис.12.3			Схема на рис.12.4		Схема на рис.12.5	
	RS, Ом	V1, В	V1, В	V2, В	BF	V1, В	V2, В	VTO, В	RS, Ом	A, В	BF	V2, В
1	10÷30	-10÷2	0÷10	0-2	50	0÷10	0÷2	0,4	10	0,4÷1,2	50	0,5÷5
2	20÷60	-10÷2	0÷10	0-2	60	0÷10	0÷2	0,42	20	0,4÷1,2	60	0,5÷5
3	30÷90	-10÷2	0÷10	0-2	70	0÷10	0÷2	0,44	30	0,4÷1,2	70	0,5÷5
4	40÷120	-10÷2	0÷10	0-2	80	0÷10	0÷2	0,46	40	0,4÷1,2	80	0,5÷5
5	50÷150	-10÷2	0÷10	0-2	90	0÷10	0÷2	0,48	50	0,4÷1,2	90	0,5÷5
6	60÷180	-10÷2	0÷10	0-2	100	0÷10	0÷2	0,5	60	0,4÷1,2	100	0,5÷5
7	70÷210	-10÷2	0÷10	0-2	110	0÷10	0÷2	0,52	70	0,4÷1,2	110	0,5÷5
8	80÷240	-10÷2	0÷10	0-2	120	0÷10	0÷2	0,54	80	0,4÷1,2	120	0,5÷5
9	90÷270	-10÷2	0÷10	0-2	130	0÷10	0÷2	0,56	90	0,4÷1,2	130	0,5÷5
10	100÷300	-10÷2	0÷10	0-2	140	0÷10	0÷2	0,58	100	0,4÷1,2	140	0,5÷5
11	110÷330	-10÷2	0÷10	0-2	150	0÷10	0÷2	0,6	110	0,4÷1,2	150	0,5÷5
12	120÷360	-10÷2	0÷10	0-2	160	0÷10	0÷2	0,62	120	0,4÷1,2	160	0,5÷5

1. Получить вольт-амперную характеристику диода для прямого и обратного включения. Оценить влияние объемного сопротивления диода и температуры на ток, протекающий через диод.

2. Получить вольт-амперную выходную характеристику биполярного транзистора при различных напряжениях на переходе база - эмиттер. Оценить влияние температуры на ток коллектора.

3. Получить вольт-амперную выходную характеристику МОП-транзистора при различных напряжениях затвор - исток. Оценить влияние температуры на ток стока.

4. Получить переходную характеристику диода при воздействии гармонического синусоидального сигнала для различных напряжений смещения источника.

5. Получить переходную характеристику биполярного транзистора при воздействии импульсного сигнала различной амплитуды.

Методика выполнения лабораторной работы

1. При выполнении первого задания используется схема моделирования, приведенная на рис.1, для получения вольт-амперной характеристики диода по постоянному току ($I_D \approx f(V_D)$). Источник постоянного напряжения V1 моделирует напряжение на диоде.

1.1. Описание диода.

D<идентификатор> <узел анода> <узел катода> <имя модели диода>

Например:

D1 1 0 MODD

1.2. В описании диода обязательно указывается имя модели MODD. Модель диода описывается отдельно директивной строкой. Порядок описания параметров диода произвольный.

.MODEL <имя модели> **D** [(<параметры модели диода>)]

Параметры модели диода (в скобках указаны значения параметров, устанавливаемые по умолчанию):

IS - тепловой начальный ток диода (1E-14 A);

RS - объемное сопротивление диода (0 Ом);

N - коэффициент инжекции (1);

TT - время переноса заряда (0 с);

CJO - барьерная емкость при нулевом смещении (0 Ф);

VJ - контактная разность потенциалов (1 В);

IBV - начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (E-10 A);

BV - обратное напряжение пробоя (∞ В).

Например:

```
MODEL MODD D (IS=1.E-15 RS=100 N=1 TT=.1n CJO=2p VJ=.6
+BV=8 IBV=1.E-3)
```

1.3. При моделировании схемы на рис.12.1 исследуется влияние разных значений объемного сопротивления диода RS, описанного в модели диода MODD. Необходимо получить характеристики для пяти значений RS, для чего воспользуемся возможностью программы задавать два параметра для анализа по постоянному току. В этом случае выполняется циклический расчет схемы: при каждом значении второго заданного параметра рассчитывается схема по первому заданному параметру. Таким образом для каждого заданного значения параметра модели элемента будет выполнен расчет схемы по постоянному току при всех значениях изменяющегося напряжения.

Например:

```
.DC V1 -8.1 2. .01 D MODD(RS) 100 300 50
```

Для каждого значения MODD(RS) будет выполнен расчет схемы в зависимости от изменяющегося напряжения V1 в диапазоне от -8,1 В до 2,0 В с шагом 0,01 В.

1.4. Также необходимо выполнить расчет для трех значений температуры: 60, 27 и 75 градусов. Задание можно выполнить, задав директиву TEMP с указанием списком значений температур.

```
.TEMP -60 27 75
```

2. Во втором задании моделируется выходная вольт-амперная характеристика биполярного транзистора ($I_C \approx f(V_{CE})$). На рис.12.2 приведена схема моделирования. Для задания напряжения коллектор - эмиттер используется источник постоянного напряжения V2, а для задания разных напряжений база -

эмиттер - источник напряжения V_1 . Вольт-амперная характеристика моделируется при разных значениях температуры (-60, 27, 75 градусов).

2.1. Описание биполярного транзистора. Обозначение идентификатора биполярного транзистора начинается обязательно с буквы **Q**. В интегральном биполярном транзисторе имеется четыре вывода (эмиттер - **emitter**, база - **base**, коллектор - **collector**, подложка - **substrate**). Подложечный вывод интегрального транзистора является паразитным. При реализации интегральных схем структуры элементов выполняют на полупроводниковой подложке р-типа. Для уменьшения паразитного влияния на подложечный переход задают обратное смещение, т.е. подключают подложку к самому низкому потенциалу, используемому в схеме (при положительном питании к земле).

Q<идентификатор> <узел коллектора> <узел базы> <узел эмиттера> <узел подложки> <имя модели транзистора>

Например:

Q1 2 1 0 0 MODT

2.2. В описании биполярного транзистора указано имя модели MODT. Модель транзистора описывается отдельной директивной строкой.

.MODEL <имя модели> <тип модели> [(<параметры модели транзистора>)]

У биполярного транзистора тип модели может быть либо **NPN**, либо **PNP**.

Параметры модели транзистора (в скобках указаны значения параметров, устанавливаемые по умолчанию):

BF - коэффициент усиления по току в нормальном режиме при включении с ОЭ (100);

VAF - напряжение Эрли (∞ В);

ISE - ток утечки перехода база - эмиттер (0 А);

BR - коэффициент усиления по току в инверсном режиме при включении с ОЭ (1);

RB - объемное сопротивление базы (0 Ом);

RC - объемное сопротивление коллектора (0 Ом);

CJE - емкость эмиттерного перехода при нулевом смещении (0 Ф);

VJE - контактная разность потенциалов перехода база - эмиттер (0,75 В);

TF - время переноса заряда через базу в нормальном режиме (0 с);

CJC - емкость коллекторного перехода при нулевом смещении (0 Ф);

VJC - контактная разность потенциалов перехода база - коллектор (0,75 В);

TR - время переноса заряда через базу в инверсном режиме (0 с);

CJS - емкость перехода коллектор - подложка при нулевом смещении (0 Ф).

Например:

MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)

3. Для моделирования выходной вольт-амперной характеристики полевого транзистора ($I_D \approx f(V_{DS})$) используется схема моделирования, приведенная на рис.3. Задание управляющего напряжения сток - исток моделирует источник постоянного напряжения V2, а напряжение затвор - исток - источник постоянного напряжения V1. Характеристика рассчитывается для разных значений температуры (-60, 27, 75 градусов).

3.1. Описание полевого МОП-транзистора. Обозначение идентификатора полевого МОП-транзистора начинается обязательно с буквы М. В полевом транзисторе имеется четыре вывода (исток - **source**, затвор - **gate**, сток - **drain**, подложка - **base**).

При реализации интегральных схем в структуре n-МОП-транзистора подложка р-типа, в структуре р-МОП-транзистора подложка n-типа. Для уменьшения паразитного влияния подложки на характеристики транзисторов у n-МОП-транзистора ее соединяют с самым низким потенциалом, используемым в схеме (при положительном питании с землей), а у р-МОП-транзистора ее соединяют с самым высоким потенциалом, используемым в схеме (при положительном питании с напряжением питания).

М<идентификатор> <узел стока> <узел затвора> <узел истока> <узел подложки> <имя модели транзистора> [L=<значение>] [W=<значение>] где **L** - длина затвора транзистора; **W** - ширина транзистора.

Например:

M1 2 1 0 0 MODT W=20U L=2U

3.2. В описании полевого МОП-транзистора указано имя модели MODL. Модель транзистора описывается отдельной директивной строкой.

.MODEL <имя модели> <тип модели> [(<параметры модели транзистора>)]

У полевого МОП-транзистора тип модели может быть либо **NMOS**, либо **PMOS**.

Параметры модели транзистора (в скобках указаны значения параметров, устанавливаемые по умолчанию):

LEVEL - уровень модели описания транзистора;

VTO - пороговое напряжение при нулевом смещении подложки (1 В);

KP - параметр удельной крутизны ($2E-5$ А/В);

GAMMA - коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение;

XJ - глубина переходов исток - подложка, сток - подложка (0 М);

TOX - толщина подзатворного окисла;

Например:

.MODEL MODT NMOS (LEVEL=1 VTO=8 KP=2E-5 GAMMA=3
+XJ=.7U T0X=50N)

4. Для моделирования переходной характеристики диода при разных значениях начального смещения входного напряжения применяется схема, приведенная на рис.4. В качестве входного сигнала в схеме моделирования используется источник синусоидального напряжения (рис.12.5). Начальное смещение источника изменяется от 0,4 В до 2 В с шагом 0,2 В.

4.1.Описание источника синусоидального напряжения:

V<идентификатор> <узел 1> <узел 2> SIN (<V0 VA F TD>)

В качестве параметров синусного источника указываются:

- V0 - постоянная составляющая смещения по напряжению;
- VA - амплитуда синусоидального напряжения;
- F - частота, определяемая через период синусоидального напряжения;
- TD - временная задержка.

Например:

V1 1 0 SIN({A} 0.2 100K 10N)

4.2.Как видно из записи, начальное смещение задано параметром A. Параметрическое обозначение начального смещения источника используется для организации циклического расчета переходного процесса при заданных значениях.

Для параметрического задания величины используется следующая запись:

.PARAM A=4

.STEP PARAM A .4 1.2 .1

В директиве PARAM указывается параметр и его начальное значение. В директиве STEP задается диапазон и шаг изменения значений параметра.

.STEP PARAM A <начальное значение> <конечное значение> <шаг изменения>

4.3. Для выполнения переходного анализа используется директива TRAN.

.TRAN <временной шаг вывода результатов> <конечное время расчета>

Как правило, конечное время расчета переходного процесса определяется временем, равным 2 ÷ 3 периодам входного сигнала.

Например:

.TRAN 10N 50U

5. Для получения переходной характеристики биполярного транзистора используется схема, приведенная на рис.6. Постоянный источник напряжения V1 задает напряжение питания, а импульсный источник напряжения V2 используется для анализа переходного процесса (сопротивление R1 = 1 кОм).

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1)Нарисованные схемы моделирования (рис.12.1 – 12.4, 6) с нумерацией узлов и элементов;

2) Распечатки входных файлов данных (*.cir) описания схем (см. Приложение);

3) Распечатки характеристик результатов моделирования (рис.12.7 – 12.11).

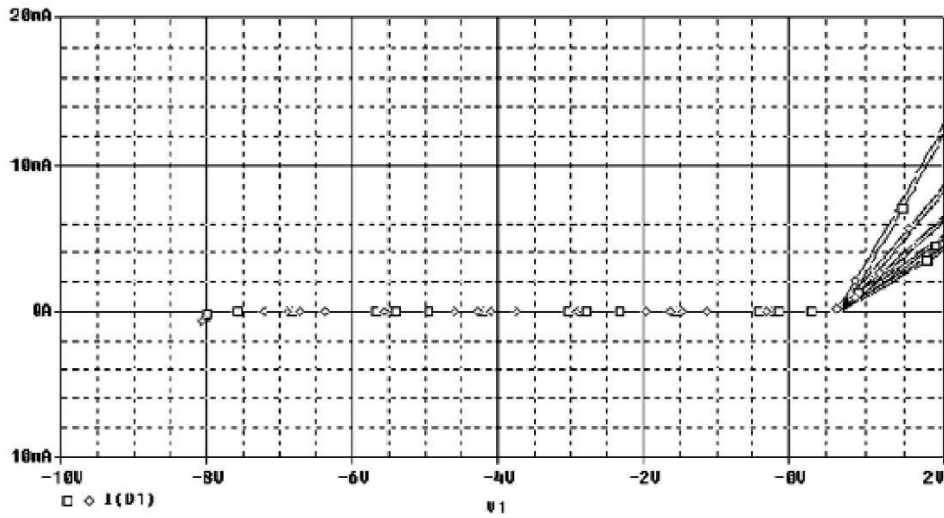


Рисунок 12.7. Вольт-амперная характеристика диода

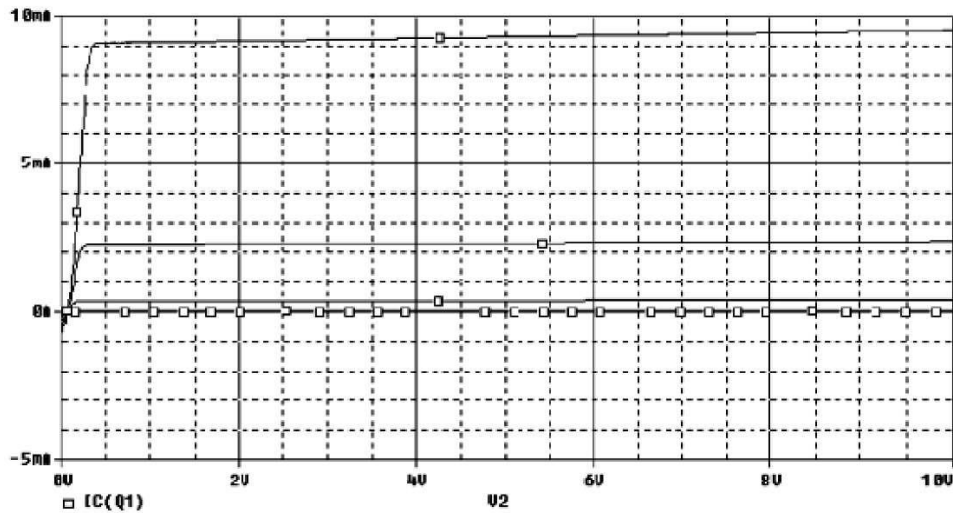


Рисунок 12.8. Семейство выходных вольт-амперных характеристик биполярного NPN- транзистора

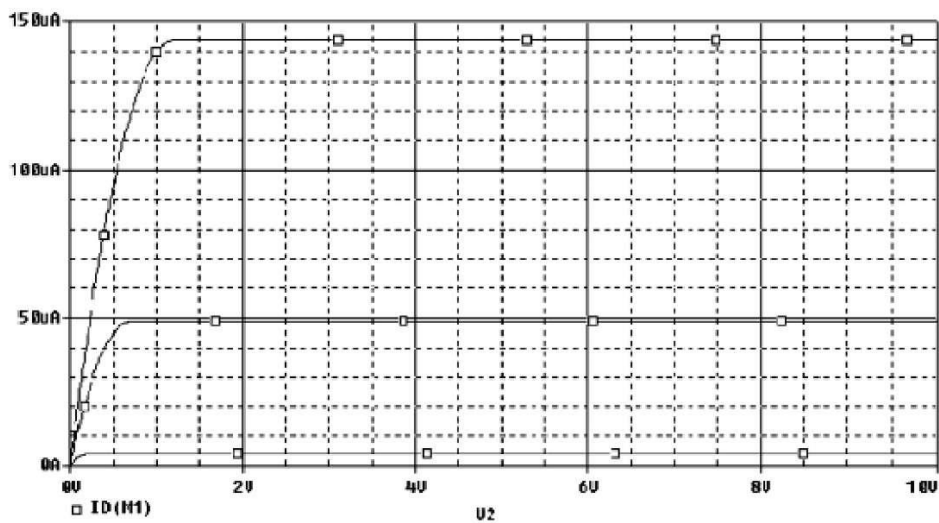


Рисунок 12.9. Семейство выходных вольт-амперных характеристик полевого п-МОП-транзистора

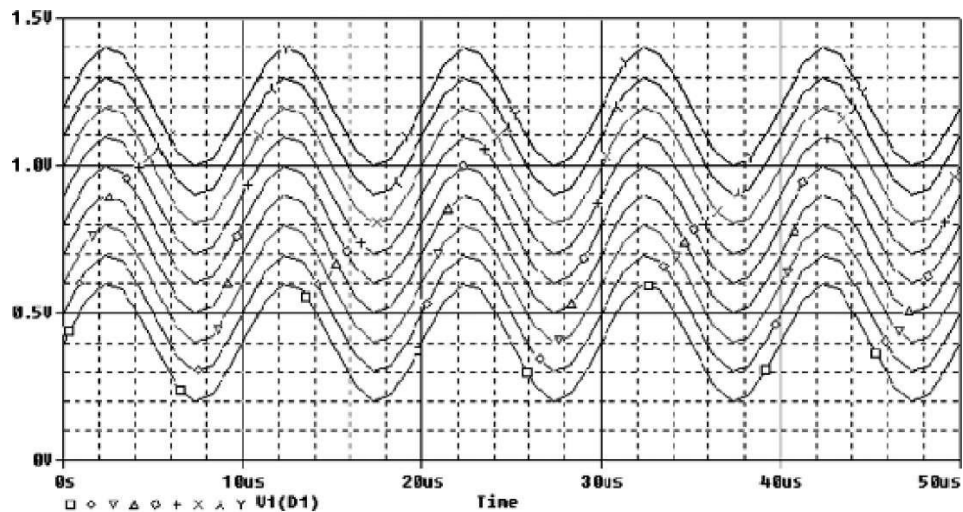


Рисунок 12.10. Зависимость переходных характеристик диода от начального смещения

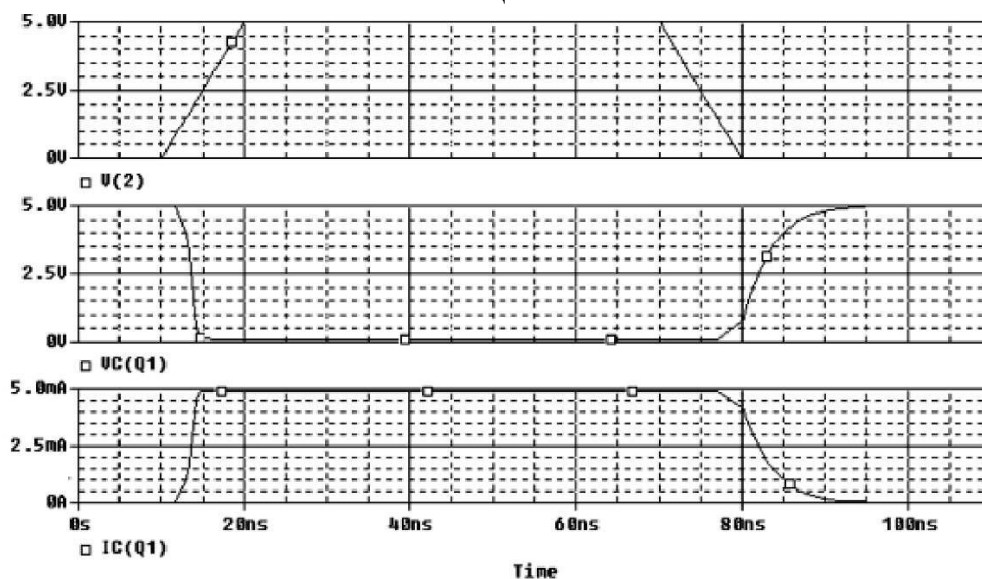


Рисунок 12.11. Переходные характеристики транзистора

Контрольные вопросы

1. Каков формат описания и список параметров модели диода?
2. Каков формат описания и список параметров модели биполярного транзистора?
3. Каков формат описания и список параметров модели полевого транзистора?
4. Объяснить влияние объемного сопротивления диода и температуры на вольт- амперную характеристику диода.
5. Как необходимо модифицировать файл исходных данных для схемы на рис.2 для организации параметрического анализа по $B_F=(50; 100; 150)$?
6. Как необходимо модифицировать файл исходных данных для схемы на рис.3 для организации параметрического анализа по $V_{T0}=(0,6; 0,8; 0,9)V$.
7. Объяснить зависимость тока коллектора I_C от напряжения V_{BE} и температуры.
8. Объяснить зависимость тока стока I_D от напряжения V_{DS} и температуры.

Приложение

Исходные данные:

1. Пример входного файла описания схемы (см. рис.12.1) и задания на расчет BAX диода.

```
SCHEME1
*SIMULATION V-I P-N-JUNCTION
.PROBE
.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.DC V1 -8.1 2. .01 D MODD(RS) 100 300 50
V1 1 0 DC 0.
D1 1 0 MODD
.TEMP 27 75
.MODEL MODD D (IS=1.E-15 RS=100 N=1 TT=1n CJO=2p VJ=6
+BV=8 IBV=1.E-3)
.PRINT DC I(D1)
.END
```

2. Пример входного файла описания схемы (см. рис.12.2) и задания на расчет BAX биполярного NPN-транзистора.

```
SCHEME2
* SIMULATION V-I TRANSISTOR
.PROBE
.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.DC V2 0 10 .01 V1 0 .85 .05
V1 1 0 DC 0
V2 2 0 DC 0
Q1 2 1 0 0 MODT
.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P
.TEMP -60 27 75 .
.PRINT DC IC(Q1)
.END
```

3. Пример входного файла описания схемы (см. рис.12.3) и задания на расчет BAX полевого n-МОП-транзистора.

```
SCHEME3
* SIMULATION V-I MOS TRANSISTOR
.PROBE
.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.DC V2 0 10 .01 V1 0 2. .5
V1 1 0 DC 0
V2 2 0 DC 0
```

```

M1 2 1 0 0 MODT W=20U L=2U
.MODEL MODT NMOS (LEVEL=1 VTO=.8 KP=2E-5 GAMMA=3
+XJ=7U TOX=50N)
.TEMP -60 27 75
PRINT DC ID(M1)
.END

```

4. Пример входного файла описания схемы (см. рис.4) и задания на расчет переходного процесса диода.

```

SCHEME4
* SIMULATION TRANSITION ANALYSIS P-N-JUNCTION
.PROBE
OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.PARAM A=4
.STEP PARAM A .4 1.2 .1
*.STEP PARAM A LIST 0.5, 0.6, 0.8
V1 1 0 SIN({A} 0.2 100K 10N)
D1 1 0 MODD
.TRAN 10N 50U
.MODEL MODD D (IS=1.E-15 RS=100 N=1 TT=1n CJO=2p VJ=6
+BV=8 IBV=1.E-3)
.END

```

5. Пример входного файла описания схемы (см. рис.12.6) и задания на расчет переходного процесса транзистора.

```

SCHEME5
* SIMULATION TRANSITION ANALYSIS TRANSISTOR
.PROBE
OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
V1 1 0 DC 5
V2 2 0 PULSE (0 5 10N 10N 10N 50N 100N)
*SIN (.65 .1 100K 1U)
R1 1 3 1K
Q1 3 2 0 0 MODT
.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P
*.TEMP -60 27 75
.TRAN 10.n 200N
.END

```

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 13.

Исследование электрической схемы по постоянному сигналу

Цель работы: получение статических характеристик и определение статических измеряемых параметров.

Задачи: приобрести практические навыки исследования статических характеристик и определения статических измеряемых параметров.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

Для получения статических характеристик используется моделирование схем по постоянному току (DC).

Для любого функционального элемента можно рассчитать три статические характеристики:

- $I_{IN} = f(V_{IN})$ - входная характеристика (рис.13.1) - зависимость входного тока I_{IN} от входного напряжения V_{IN} ;

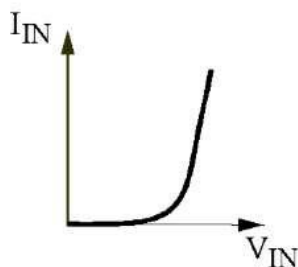


Рисунок 13.1. Входная характеристика элемента

- $V_{OUT} = f(V_{IN})$ - передаточная характеристика (рис.13.2) - зависимость выходного напряжения V_{OUT} от входного напряжения V_{IN} ;

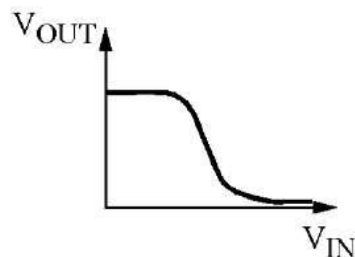


Рисунок 13.2. Передаточная характеристика элемента

- $I_{OUT} = f(V_{OUT})$ - выходная характеристика (рис.13.3) - зависимость выходного тока I_{OUT} от выходного напряжения V_{OUT} .

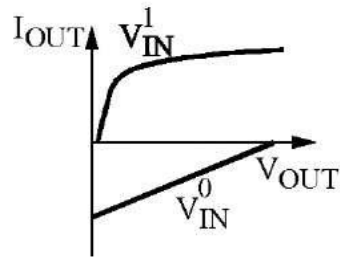


Рисунок 13.3. Выходная характеристика элемента

Для цифровых схем, работающих с логическим сигналом, имеющим только два значения: V^0 , V^1 , можно получить две выходные характеристики: когда $V_{IN} = V^0$ и $V_{IN} = V^1$.

Задание

Лабораторная работа выполняется по подгруппам (табл.13.1).

Таблица 13.1

Варианты заданий для подгрупп

Номер подгруппы	Исследуемая схема	R1, кОм	R2, кОм	VDD, В
1	Рис.13.5,а	3	1	1,8
2	Рис.13.5,б		1	1,8
3	Рис.13.5,а	3	2	2,0
4	Рис.13.5,б		2	2,0
5	Рис.13.5,а	4	2	2,5
6	Рис.13.5,б		2	2,5
7	Рис.13.5,а	4	3	3,0
8	Рис.13.5,б		3	3,0
9	Рис.13.5,а	5	3	3,5
10	Рис.13.5,б		3	3,5
11	Рис.13.5,а	5	4	4,0
12	Рис.13.5,б		4	4,0
13	Рис.13.5,а	6	4	4,5
14	Рис.13.5,б		4	4,5
15	Рис.13.5,а	6	5	5,0
16	Рис.13.5,б		5	5,0
17	Рис.13.5,а	7	5	5,5
18	Рис.13.5,б		5	5,5
19	Рис.13.5,а	7	6	6,0
20	Рис.13.5,б		6	6,0
21	Рис.13.5,а	8	6	6,5
22	Рис.13.5,б		6	6,5
23	Рис.13.5,а	8	7	7,0
24	Рис.13.5,б		7	7,0

1. Описать предложенный логический элемент как макро модель.
2. Выполнить моделирование входной и передаточной характеристик логического элемента для различных вариантов коэффициента разветвления по выходу ($N = 0; 1; 2$).
3. Провести моделирование выходной характеристики логического элемента при $V_{IN} = V_{IN}^1$ для различных вариантов коэффициента объединения по входу ($L = 1; 2$).
4. Провести моделирование выходной характеристики логического элемента при $V_{IN} = V_{IN}^0$ для различных вариантов коэффициента объединения по входу ($L = 1; 2$).
5. По полученным в результате моделирования характеристикам определить измеряемые статические параметры и заполнить форму табл.13.2.

Форма таблицы 13.2

Измеряемые параметры логического элемента

Характеристика	Параметр	N = 0	N = 1	N = 2
Передаточная	$V_{IN}^0 (P^0)$			
	$V_{IN}^1 (P^1)$			
	$V_{IN} (P_{\Pi})$			
	$V_{\Pi 3}^0$			
	$V_{\Pi 3}^1$			
	$V_{D0} (D^0)$			
	$V_{D1} (D^1)$			
	$V_{\Pi y}^0$			
	$V_{\Pi y}^1$			
	V_{DD}			
Входная	I_{IN}^0			
	I_{IN}^1			
Выходная		L = 1	L = 2	
	I_{OUT}^0			
	I_{OUT}^1			

Методика выполнения лабораторной работы

1. Каждую электрическую схему можно представить как макро модель функционального элемента с внешними выводами: подключенным источником питания VDD, имеющим вход (или входы) и выход (или выходы) (рис.13.4).

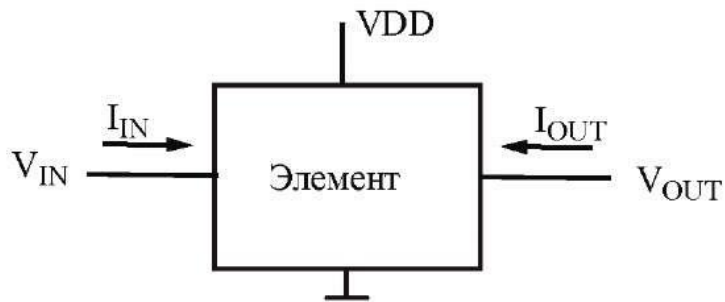


Рисунок 13.4. Представление функционального элемента в виде макромодели

Если в описании схемы имеется функциональный (или повторяющийся) элемент, то используют компонент в виде макромодели (subcircuit). Описание макромодели начинается с директивы `.SUBCKT` и заканчивается директивой `.ENDS`. Между этими директивными строками помещается описание компонентов, входящих в состав макромодели, в формате PSpice.

`.SUBCKT` <имя макромодели> <список внутренних узлов для соединения с внешними цепями>

(описание компонентов функционального элемента)

`.ENDS`

Имена узлов и компонентов в описании макромодели являются локальными. Поэтому в основной схеме и в макромодели могут быть использованы совпадающие имена. При обращении к какому-нибудь компоненту макромодели применяют составные имена. Например, резистор R1 в макромодели X1 будет иметь составное имя X1.R1. При описании компонентов макромодели можно использовать другие макромодели, т.е. использовать иерархическую структуру описания схемы. Включение макромодели в описание верхнего уровня осуществляется предложением:

X<идентификатор> <список внешних узлов в соответствии с порядком списка внутренних узлов в макромодели> <имя макромодели>

Например: схема элемента, приведенная на рис.5,а,

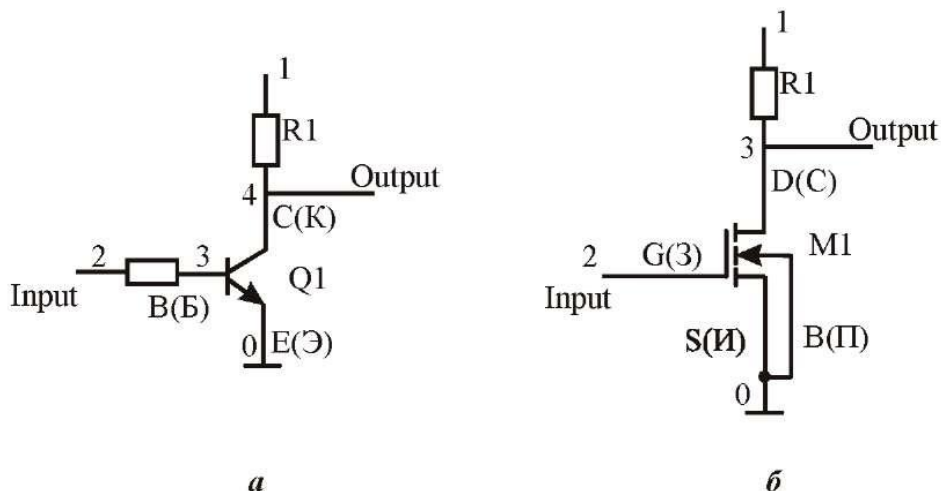


Рисунок 13.5. Схема элемента как макромодели:

а - RTL-элемент; б - п-МОП-элемент

имеет внешние выводы 1-VDD, 2-Input, 4-Output. При описании ее в виде макромодели запишем:

```
.SUBCKT RTL 1 2 4
```

```
Q1 4 3 0 0 MODT
```

```
R1 2 3 10K
```

```
R2 1 4 1K
```

```
.ENDS
```

Модель транзисторов может быть описана в верхнем уровне описания схемы. Параметры моделей транзисторов можно взять из лабораторной работы № 12.

2. Для моделирования входной и передаточной характеристик можно использовать одну схему моделирования (рис.13.6), поскольку в этих характеристиках снимается зависимость от источника входного напряжения V_{IN} . Для получения входной характеристики выводим входной ток $I(V_{IN})$ (рис.13.6,а), а для передаточной характеристики - выходное напряжение $V(3)$. Передаточная характеристика моделируется при разных коэффициентах разветвления по выходу N (количество подобных элементов, подключенных к выходу исследуемого элемента) (рис.13.6,б,в).

Три схемы моделирования можно описать в одном пакете данных. Включение макромодели в основное описание схемы (рис.13.6,а) будет следующим: все внутренние выводы элемента-макромодели должны быть подсоединены к соответствующим узлам в схеме верхнего уровня.

X<идентификатор> <узлы соединения> <имя макромодели>

Например: элемент RTL имеет внутренние выводы, описанные в порядке VDD, Input, Output. В соответствии с выбранным порядком описания внутренних выводов макромодель соединяют с внешними узлами схемы моделирования (см. рис.13.6,а) VDD-1, Input-2, Output-3.

```
X1 1 2 3 RTL
```

3. Схема моделирования выходной характеристики приведена на рис.13.7.

Для формирования входных напряжений на исследуемом элементе необходимых уровней используются задающие элементы. При моделировании выходной характеристики вводится источник выходного напряжения V_{OUT} и по результатам моделирования выводится значение его выходного тока $I(V_{OUT})$ равного сумме токов, протекающих через выходной резистор и коллектор транзистора.

Количество подобных элементов, соединенных входами, обозначается L - коэффициентом объединения по входу. На рис.13.7 приведены две схемы моделирования для различных значений коэффициента L . Можно объединить эти две схемы моделирования в одном пакете исходных данных.

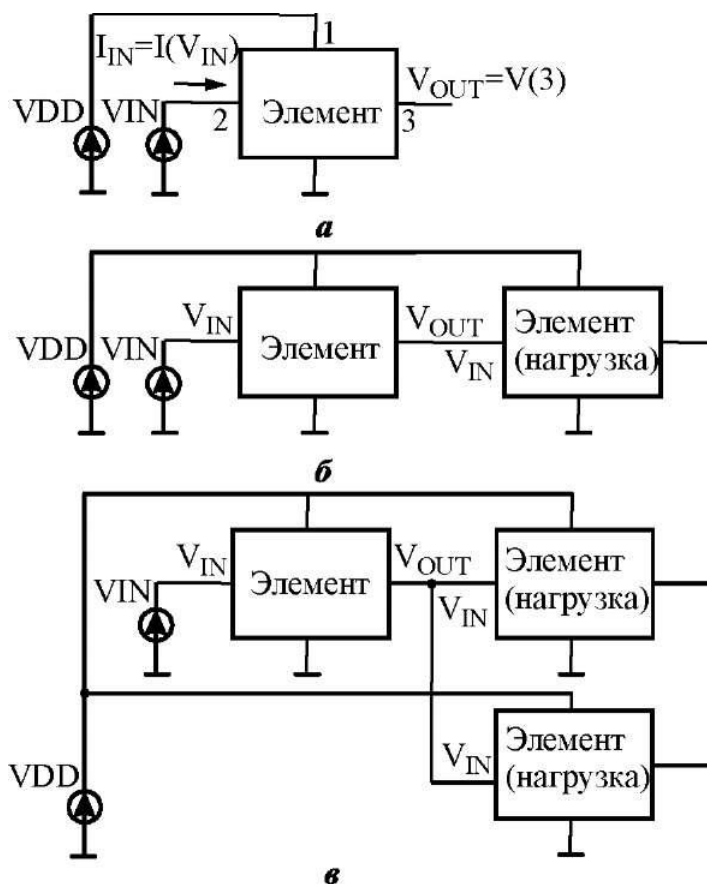


Рисунок 13.6. Схема для моделирования входной и семейства передаточных характеристик ($N = 0$, $N = 1$, $N = 2$): *a* - входной и передаточной характеристик при $N = 0$; *б* - входной и передаточной характеристик при $N = 1$; *в* - входной и передаточной характеристик при $N = 2$

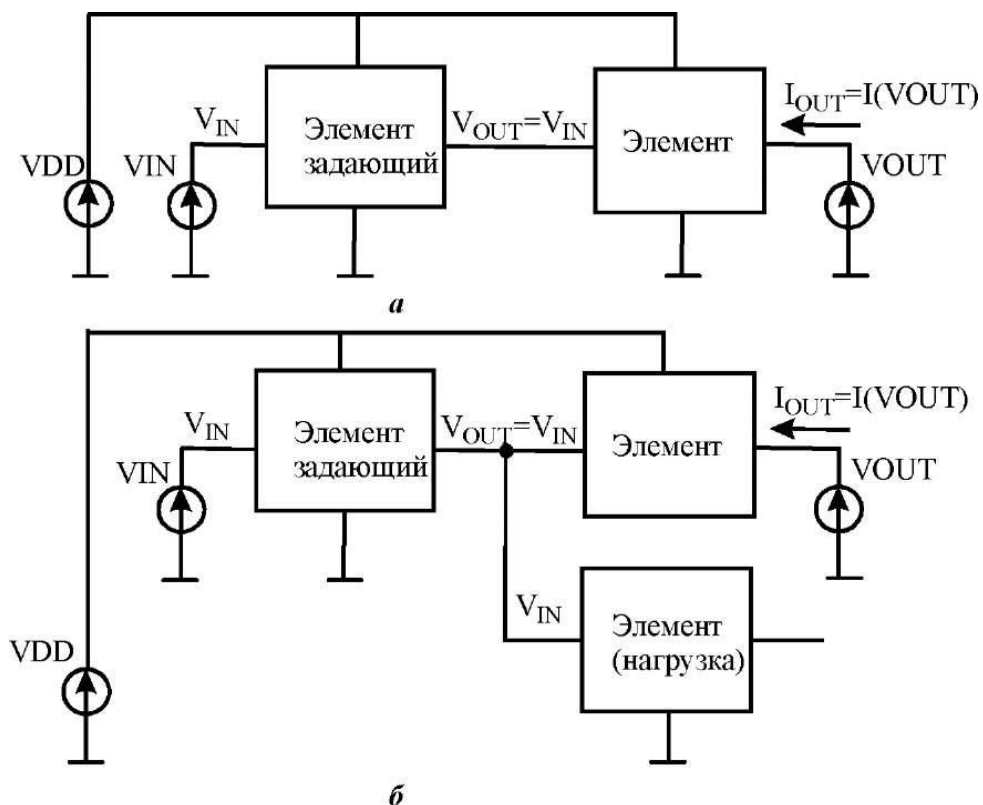


Рисунок 13.7. Схема моделирования выходной характеристики: *a* - $L = 1$; *б* - $L = 2$

Выходную характеристику моделируют для двух случаев: когда входное напряжение соответствует наибольшему значению $V_{IN} = V_{DD}$ и наименьшему значению $V_{IN}^0 = \text{земля}$. Для получения семейства выходных характеристик при высоком напряжении на входе исследуемого элемента необходимо к задающему элементу подключить $V_{IN} = 0$ (так как элемент инвертирующий), для низкого входного напряжения V_{IN}^0 задают $V_{IN} = V_{DD}$.

4. Статические измеряемые параметры определяются по статическим характеристикам. Перечислим эти параметры:

V^0, V^1 ($V_{IN}^1 \Rightarrow V_{OUT}^0$, $V_{IN}^0 \Rightarrow V_{OUT}^1$) - напряжения логических уровней 0 и 1, определяемые в рабочих точках P^0 и P^1 .

$$\Delta V = \begin{cases} \Delta V_{IN} = V_{IN}^1 - V_{IN}^0 \\ \Delta V_{OUT} = U_{OUT}^1 - U_{OUT}^0 \end{cases} \text{ логический перепад - величина размаха логического}$$

сигнала на входе и выходе.

I^0, I^1 (I_{IN}^0 при V_{IN}^0 , I_{IN}^1 при V_{IN}^1 , I_{OUT}^0 при V_{OUT}^0 , I_{OUT}^1 при V_{OUT}^1) - входные и выходные токи в рабочих точках 0 и 1.

V_{Pn} - напряжение в точке переключения передаточной характеристики (пороговая точка), т.е. точка пересечения передаточной характеристики с прямой $V_{OUT} = V_{IN}$. В этой точке соответственно $V_{OUT Pn} = V_{IN Pn}$. Также $P_{П}$ называют точкой неустойчивого равновесия, поскольку из этого состояния элемент равновероятно может перейти в состояние 1 или 0.

$V_{ПЗ}^0, V_{ПЗ}^1$ - помехозащищенность по уровню 0 и 1, определяется как минимально допустимое постоянное напряжение помехи, которое приводит к изменению логического состояния.

$$V_{ПЗ}^0 = |V_{Pn} - V_{IN}^0|;$$

$$V_{ПЗ}^1 = |V_{IN}^1 - V_{Pn}|.$$

V_{IND}^0, V_{IND}^1 - входное напряжение в точках единичного усиления.

$$\left| \frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} \right|_{D^0, D^1} = 1.$$

$V_{DD} = |V_{IND}^1 - V_{IND}^0|$ - ширина активной области передаточной характеристики (область переключения).

$V_{ПУ}^0, V_{ПУ}^1$ - помехоустойчивость по уровню 0 и 1, определяется как максимально допустимое постоянное напряжение помехи, которое не приводит к изменению логического состояния.

$$V_{ПУ}^0 = |V_{IND}^0 - V_{IN}^0|;$$

$$V_{ПУ}^1 = |V_{IN}^1 - V_{IND}^1|.$$

Многие эти параметры, за исключением входных и выходных токов, можно определить по передаточной характеристике (рис.13.8).

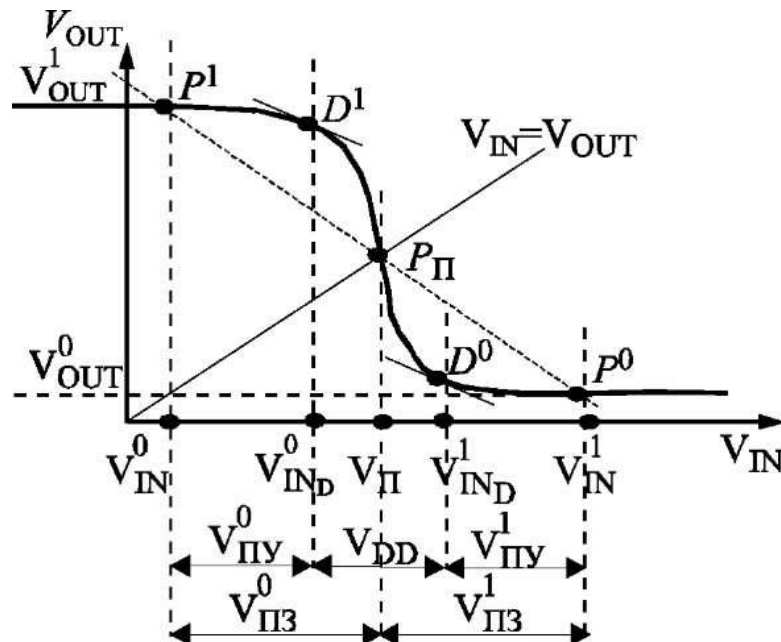


Рисунок 13.8. Определение статических измеряемых параметров по передаточной характеристике

Производить вычисления для формы табл.13.2 рекомендуется с помощью курсора. Если в работе только один график, то для использования курсора достаточно в основном меню редактора результатов моделирования открыть Trace → Cursor → Display. Если графиков несколько, то для выбора одного из них надо нажать на метку под графиком, которая характеризует снимаемую зависимость. Курсор автоматически привязывается к выбранному графику и перемещается с помощью стрелок вправо (влево) на клавиатуре. При выборе любой точки графика левой кнопкой мышки появляется подменю координат (рис.13.9).

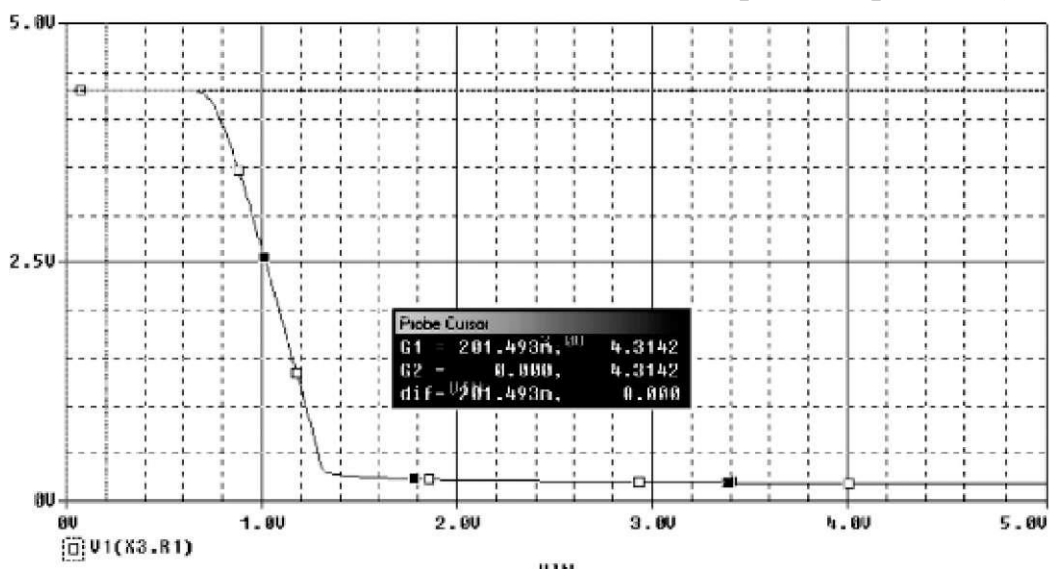


Рисунок 13.9. Пример вычислений параметров с помощью курсоров

$G1 = \dots m$ - координата первой точки по оси OX (выраженная в милливольтках). Следующая цифра обозначает координату той же точки по оси OY.

$G2 = \dots m$ - координаты второй точки по осям OX и OY . Форма записи: $G2 = (OX) m (OY)$.

dif - разность по осям OX и OY (соответственно) между точками $G1$ и $G2$.

Вторая точка $G2$ устанавливается курсором с помощью нажатия и удержания правой кнопки мышки (или клавиши «Shift»).

Точка переключения определяется как точка пересечения передаточной характеристики с графиком V_{IN} (рис.13.10).

Для определения точек единичного усиления выполним дополнительное построение, чтобы получить зависимость коэффициента усиления. Для этого после моделирования передаточной характеристики выполним следующее:

Trace → **Add Trace** → в левой колонке выбираем V_{OUT} → в правой колонке **Analog Operators and Functions** параметр $\partial(V_{OUT})$ - обозначает дифференциал выходного напряжения, а $\partial(V_{OUT}) / \partial(V_{IN})$ - коэффициент усиления. В точках D^0 и D^1 коэффициент усиления должен быть равен 1.

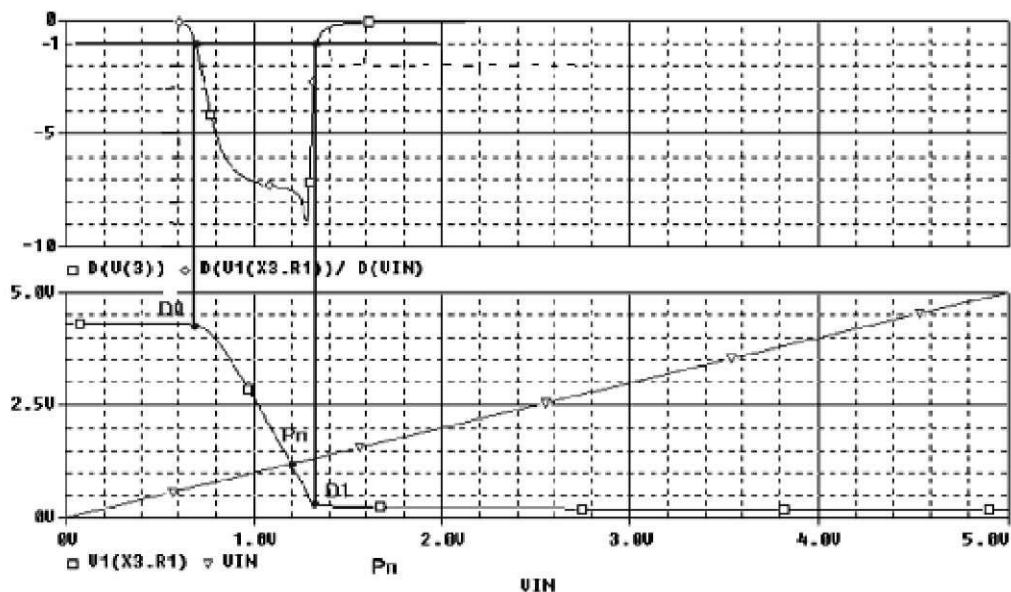


Рисунок 13.10. Определение точки переключения P_n и точек единичного усиления D^0 и D^1

По входной характеристике можно определить входные токи в рабочих точках P^0 и P^1 , соответствующих входным напряжениям V_{IN}^0 , V_{IN}^1 (рис.13.11).

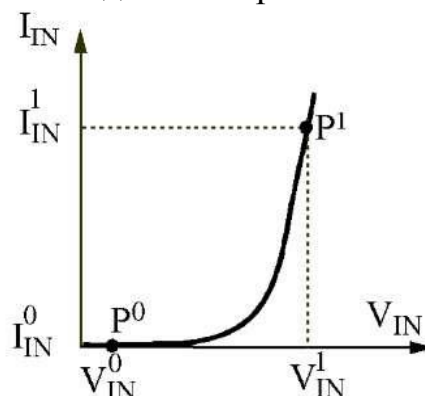


Рисунок 13.11. Определение входных токов по входной характеристике

По выходным характеристикам, соответствующим входным напряжениям V_{IN}^0 , V_{IN}^1 можно определить выходные токи в рабочих точках P^0 и P^1 при выходных напряжениях V_{OUT}^0 , V_{OUT}^1 (рис.13.12).

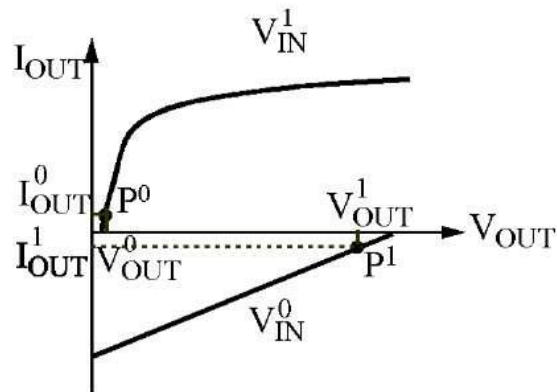


Рисунок 13.12. Определение выходных токов по выходным характеристикам

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) нарисованные схемы моделирования (см. рис.13.5 – 13.7) с нумерацией узлов и элементов;
- 2) распечатки входных файлов данных (*.cir) описания схем (Приложение);
- 3) распечатки характеристик результатов моделирования (рис.13.13 – 13.18).

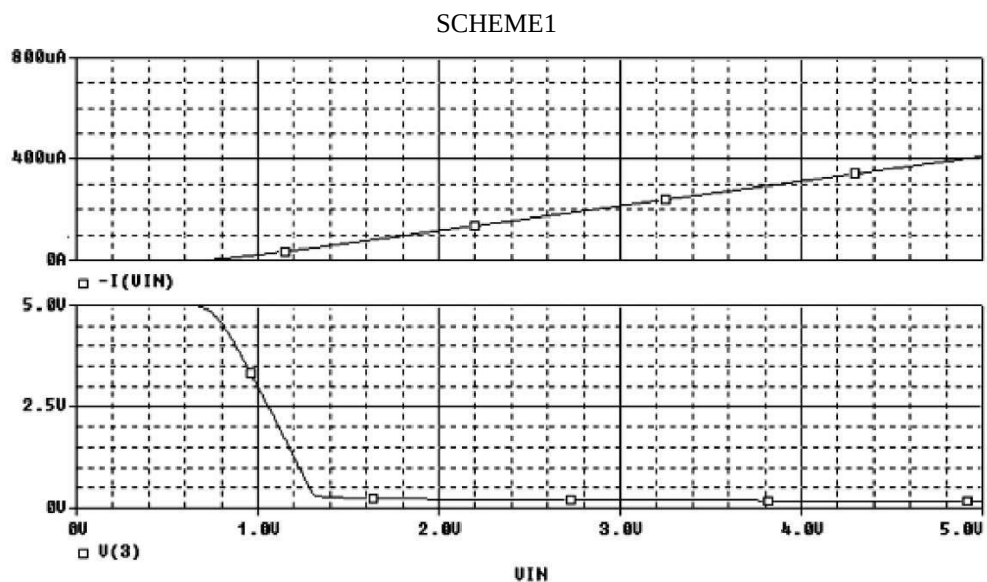
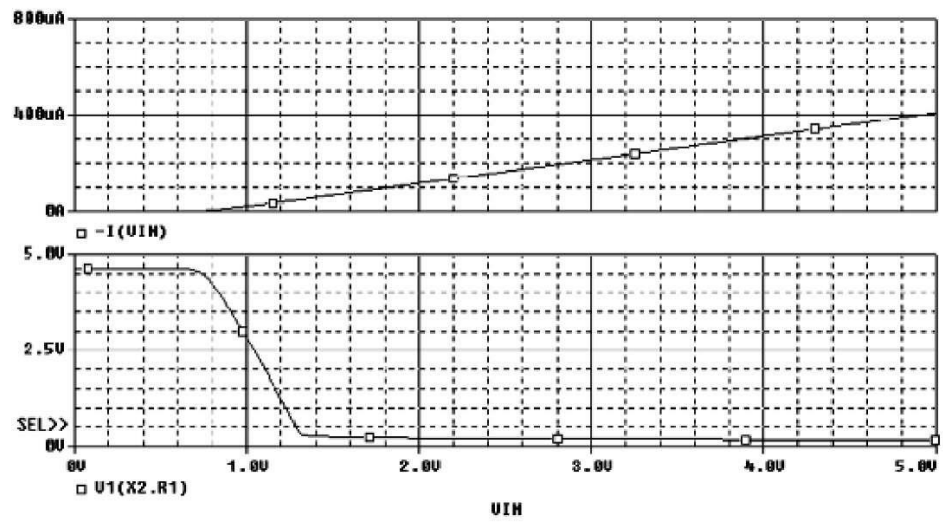
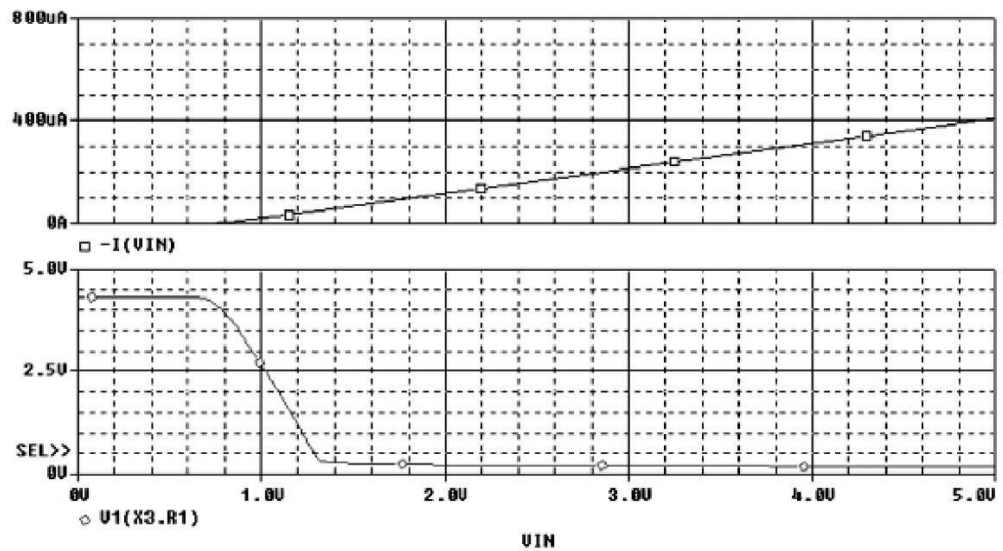


Рисунок 13. 13. Входная и передаточная характеристики элемента при $N = 0$

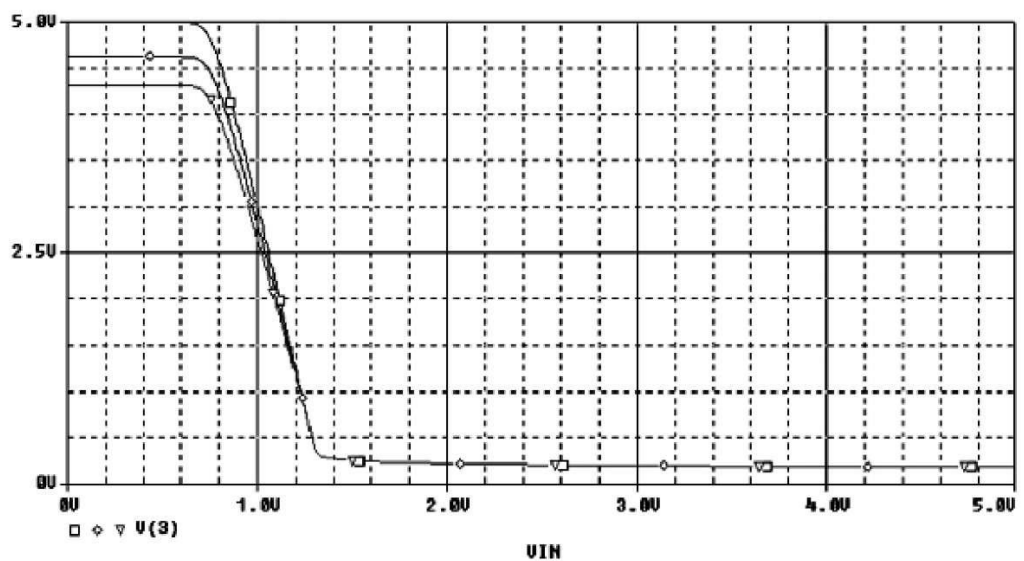
SCHEME2

Рисунок 13.14. Входная и передаточная характеристики элемента при $N = 1$

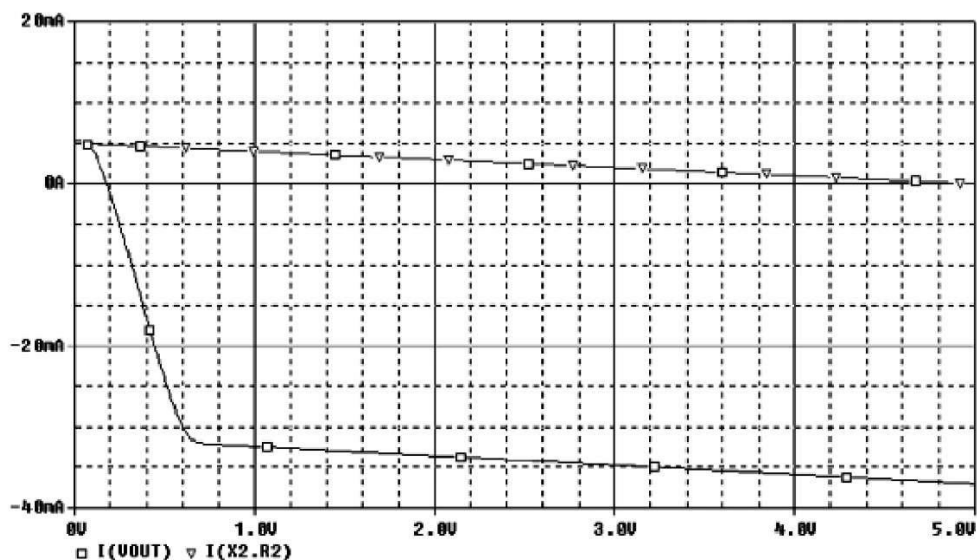
SCHEME3

Рисунок 13.15. Входная и передаточная характеристики элемента при $N = 2$

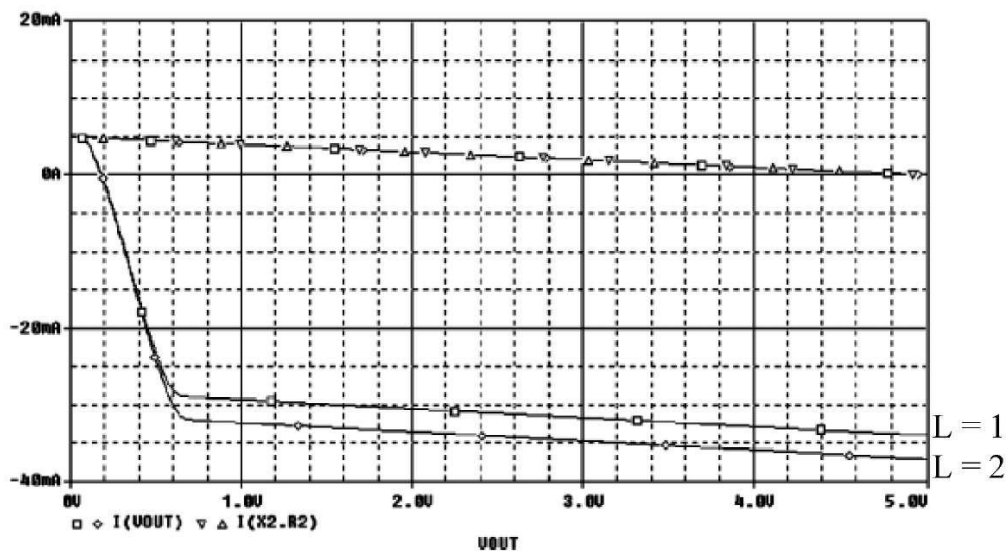
SCHEME3

Рисунок 13.16. Семейство передаточных характеристик при $N = 0, 1, 2$

SCHEME4

Рисунок 13.17. Выходные характеристики $I(V_{OUT})$ при V_{IN}^1 и $I(X2.R2)$ при V_{IN}^0

SCHEME5

Рисунок 13.18. Влияние коэффициента объединения по входу на семейство выходных характеристик $I(V_{OUT})$ при V_{IN}^1 и $I(X2.R2)$ при V_{IN}^0

Контрольные вопросы

1. Как в программе PSpice описывается макромодель функционального блока?
2. Какие статические характеристики необходимо моделировать для элемента?
3. Как определяются статические параметры V_0 , V^1 , V_P , V_{PZ}^0 , V_{PZ}^1 , V_{PY}^0 , V_{PY}^1 , V_D^0 , V_D^1 , V_{DD} по передаточным характеристикам ЛЭ?
4. Как определяются статические параметры I_{IN}^0 , I_{IN}^1 , I_{OUT}^0 , I_{OUT}^1 по входной и выходной характеристикам ЛЭ?

5. Что такое коэффициент разветвления по выходу N? Нарисовать схемы для моделирования передаточных характеристик ЛЭ при различных значениях N. Объяснить методику расчета.

6. Что такое коэффициент объединения по входу L? Нарисовать схемы для моделирования выходных характеристик ЛЭ при различных значениях L. Объяснить методику расчета.

7. Записать три схемы для моделирования семейства передаточных характеристик ЛЭ в одном пакете данных.

8. Записать две схемы для моделирования семейства выходных характеристик ЛЭ в одном пакете данных. Токи каких элементов схемы необходимо наблюдать для корректного отображения результатов моделирования?

9. Объяснить влияние коэффициента разветвления по выходу N на напряжение логических уровней (см. рис.13.16).

10. Объяснить влияние коэффициента объединения по входу L на выходные характеристики (см. рис.13.18).

Приложение

Исходные данные:

1. РАСЧЕТ ВХОДНОЙ И ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ
N=0

SCHEME1

*SIMULATION Iin Vin N=0

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC VIN 0 5 .01

VIN 2 0 DC 0

V1 1 0 DC 5

X1 1 2 3 RTL

.SUBCKT RTL 1 2 4

Q1 4 3 0 0 MODT

.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)

R1 2 3 10K

R2 1 4 1K

.ENDS

.END

2. РАСЧЕТ ВХОДНОЙ И ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ
N=1

SCHEME2

*SIMULATION Iin Vin N=1

.PROBE

OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC VIN 0 5 .01

VIN 2 0 DC 0

V1 1 0 DC 5

X1 1 2 3 RTL X2 1 3 4 RTL

.SUBCKT RTL 1 2 4

Q1 4 3 0 0 MODT

.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)

R1 2 3 10K

R2 1 4 1K .

.ENDS

.END

3. РАСЧЕТ ВХОДНОЙ И ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ

N=2

SCHEME3

*SIMULATION Iin Vin N=2

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC VIN 0 5 .01

VIN 2 0 DC 0

V1 1 0 DC 5

X1 1 2 3 RTL

X2 1 3 4 RTL X3 1 3 5 RTL

.SUBCKT RTL 1 2 4 Q1 4 3 0 0 MODT

.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)

R1 2 3 10K

R2 1 4 1K

.ENDS

.END

4. РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ L=1 VIN=1

SCHEME4

*SIMULATION Iout Vin=1 L=1

.PROBE

.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE

.DC VOUT 0 5 .01 VIN 0 5 5

VIN 2 0 DC 0

V1 1 0 DC 5

```

VOUT 4 0 DC 0
X1 1 2 3 RTL
X2 1 3 4 RTL
.SUBCKT RTL 1 2 4
Q1 4 3 0 0 MODT
.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)
R1 2 3 10K
R2 1 4 1K
.ENDS
.END

```

5. РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ L=2 VIN=1 SCHEME5

```

*SIMULATION Iout Vin=1 L=2
.PROBE
.OPT ACCT LIST NODE OPTS NOPAGE
.DC VOUT 0 5 .01 VIN 0 5 5
VIN 2 0 DC 0
V1 1 0 DC 5
VOUT 4 0 DC 0
X1 1 2 3 RTL
X2 1 3 4 RTL
X3 1 3 5 RTL
.SUBCKT RTL 1 2 4
Q1 4 3 0 0 MODT
.MODEL MODT NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1.E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)
R1 2 3 10K
R2 1 4 1K
.ENDS
.END

```

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.

4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 14.

Исследование электрической схемы по переменному сигналу. Получение переходной характеристики и определение динамических измеряемых параметров

Цель работы: получение переходной характеристики и определение динамических измеряемых параметров; изучение программы графического редактора **Schematics** в автоматизированной системе проектирования **OrCAD release 9**.

Задачи: приобрести практические навыки определения динамических измеряемых параметров; ознакомиться программы графического редактора **Schematics** в автоматизированной системе проектирования **OrCAD release 9**.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

Графический редактор используется для описания структурных и электрических схем. При использовании графического редактора упрощается ввод схем, так как программа дополнительно открывает окна подсказок и автоматически проверяет описание элементов на соответствие правилам. В результате работы программы графического редактора после трансляции описания схемы получают **netlist** (список соединений элементов), в котором в текстовом формате описана моделируемая схема.

Задание

1. Ввести предложенную схему с помощью графического редактора **Schematics** согласно варианту задания (табл.14.1).
2. Выполнить моделирование переходной характеристики схемы.
3. По полученным характеристикам определить измеряемые динамические параметры и заполнить форму табл.14.2.

Варианты заданий по подгруппам

Номер варианта	Схема	VDD, В	I, мА	BF	RB, кОм	RC, кОм	R1÷R4, кОм	R5, кОм
1	Рис.14.1	4,5	0,1	80	0,2	0,03	1,6	1
2	Рис.14.2	4,5	0,1	100	0,2	0,03	1,6	2
3	Рис.14.3	4,5	0,25	80	0,2	0,06	0,8	3
4	Рис.14.4	4,5	0,25	100	0,2	0,06	0,8	4
5	Рис.14.5	4,5	0,5	80	0,15	0,03	0,4	5
6	Рис.14.6	4,5	0,5	100	0,15	0,03	0,4	6
7	Рис.14.7	4,5	1,0	80	0,15	0,06	0,2	7
8	Рис.14.8	4,5	1,0	100	0,15	0,06	0,2	8
9	Рис.14.1	5,0	0,1	80	0,2	0,03	1,6	1
10	Рис.14.2	5,0	0,1	100	0,2	0,03	1,6	2
11	Рис.14.3	5,0	0,25	80	0,2	0,06	0,8	3
12	Рис.14.4	5,0	0,25	100	0,2	0,06	0,8	4
13	Рис.14.5	5,0	0,5	80	0,15	0,03	0,4	5
14	Рис.14.6	5,0	0,5	100	0,15	0,03	0,4	6
15	Рис.14.7	5,0	1,0	80	0,15	0,06	0,2	7
16	Рис.14.8	5,0	1,0	100	0,15	0,06	0,2	8
17	Рис.14.1	5,5	0,1	80	0,2	0,03	1,6	1
18	Рис.14.2	5,5	0,1	100	0,2	0,03	1,6	2
19	Рис.14.3	5,5	0,25	80	0,2	0,06	0,8	3
20	Рис.14.4	5,5	0,25	100	0,2	0,06	0,8	4
21	Рис.14.5	5,5	0,5	80	0,15	0,03	0,4	5
22	Рис.14.6	5,5	0,5	100	0,15	0,03	0,4	6
23	Рис.14.7	5,5	1,0	80	0,15	0,06	0,2	7
24	Рис.14.8	5,5	1,0	100	0,15	0,06	0,2	8

Форма таблицы 2

Результаты измерения динамических параметров

Параметр	t_c	t_ϕ	$t_{зд}^{01}$	$t_{зд}^{10}$	$t_{зд\text{ср}}$
Значение					

Методика выполнения лабораторной работы

1. Войти в систему **OrCAD release 9**, далее в программу графического редактора **Schematics**. Эта программа позволяет ввести описание электрической схемы в графическом режиме.

1.1. Для выбора NPN-транзистора и размещения его на экране войти в меню **DRAW → get new part → Libraries** и выбрать строку **breakout.slb → QbreakN**. На экране появится символ NPN-транзистора, который необходимо привязать к определенному месту нажатием левой клавиши на мышке. Разместить на экране необходимое количество транзисторов. Для поворота символа обозначения транзистора сначала выбрать нужный транзистор, подведя под него стрелку курсора, и затем нажать левую клавишу на мышке. Далее войти в меню **Edit → Rotate**.

1.2. Для выбора резистора войти в меню **DRAW → get new part → Libraries** и выбрать строку **analog.slb → R**. Появившийся на экране символ резистора размещается на экране в нужное место.

1.3. Для выбора источников войти в меню **DRAW → get new part → Libraries** и выбрать строку **source.slb → VSRC** (для задания источников постоянного напряжения V1, V2, VDD), **VPULSE** (для задания импульсных источников напряжения VA, VB), **ISRC** (для задания постоянного источника тока I1). Появившиеся на экране символы размещаются на экране в нужные места.

1.4. Для задания «земли» войти в меню **DRAW → get new part → Libraries** и выбрать строку **port.slb → AGND**.

1.5. Для соединения размещенных элементов войти в меню **DRAW → WIRE**. Соединение элементов выполняется в соответствии с электрической схемой «склеиванием» выводов элементов и точек поворота левой клавишей мышки. При завершении соединения точка «склеивается» дважды.

2. Задание параметров размещенных элементов.

2.1. Для введения параметров резисторов выбрать их поочередно двойным щелчком левой клавиши мышки и задать номинальное значение сопротивления в омах. Например: 20 Ом → 20; 2,5 кОм → 2.5к.

2.2. Для введения параметров источников постоянного тока I1 выбрать его двойным щелчком левой клавиши мышки и задать тип источника **dc** и номинальное значение тока в амперах. Например: 1 мА → 1m.

2.3. Для введения параметров источников постоянного напряжения выбрать их поочередно двойным щелчком левой клавиши мышки и задать тип источника **dc** и номинальное значение напряжения в вольтах.

Например: V1 = 1,6 В → V1 dc 1.6;

V2 = 3,2 В → V2 dc 3.2;

VDD = 5 В → VDD dc 5.

2.4. Для введения параметров источников импульсного напряжения VA, VB выбрать их поочередно двойным щелчком левой клавиши мышки и задать тип источника **pulse**, значения параметров.

Например: минимальное значение напряжения **V1=2.8**

максимальное значение напряжения **V2=3.6**

задержка **td=20ns**

фронт **tr=2ns**

спрез **tf=2ns**

длительность **t=150ns**

период **T=600ns;**

VA (1.2 2 20n 2n 2n 150n 600n);

VA (2.8 3.6 100n 2n 2n 150n 600n)

2.5. Для введения параметров транзисторов выбрать их поочередно двойным щелчком левой клавиши мышки и задать имя модели транзистора:

Например: **QbreakN**

2.5.1. Для описания параметров модели транзисторов необходимо создать текстовый файл (в любом текстовом редакторе) с расширением ***.lib** в одной директории с основными библиотеками системы **OrCAD** (т.е., например, в **D:/ekt3/Work/Library/Pspice/*.lib**)

Например:

```
.MODEL QBREAKN NPN (BF=100 VAF=200 ISE=1E-15 BR=.1 RB=200
+RC=10 CJE=2P VJE=.6 TF=.1N CJC=2P VJC=.5 TR=10N CJS=2P)
```

2.5.2. Чтобы подключить библиотеку моделей транзисторов, войти в меню **Analysis** → **Libraryes files** → (очистить окно) → **Browse** → найти созданный файл ***.lib** → **Add libraries*** → **OK**.

3. Выбор режима моделирования. Для этого войти в меню **Analysis setup** → **Transient** → задать время расчета, равное 2 - 3 периодам входного сигнала → шаг вывода результатов моделирования задать в 1000 раз меньше → **OK**.

4. После описания схемы и задания режима расчета запустить задачу на моделирование. **Analysis** → **OK**.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Распечатку схемы моделирования (рис.14.9);
2. Распечатки характеристик результатов моделирования (рис.14.10);
3. Оформленные в табличном виде динамические параметры схемы (табл.14.3).

Контрольные вопросы

1. Как в графическом редакторе **Schematics** вводятся элементы и выполняются межсоединения?
2. Как в **Capture** задать список параметров модели полупроводникового элемента?
3. Как задать анализ переходного процесса в окне **Schematics**?
4. Как задать параметры элементов (резисторов, источников) в окне **Schematics**?
5. Как определить динамические параметры $t_{зд}^{01}$, $t_{зд}^{10}$, $t_{зд\text{ ср}}$ по переходным характеристикам?
6. Как определить динамические параметры t_{ϕ} , t_c по переходной характеристике выходного напряжения?

Приложение

В данном приложении приведен пример исследования переходных процессов схемы (рис.14.9), получения динамической характеристики (рис.14.10) и определения измеряемых динамических параметров (рис.14.10 – 14.12).

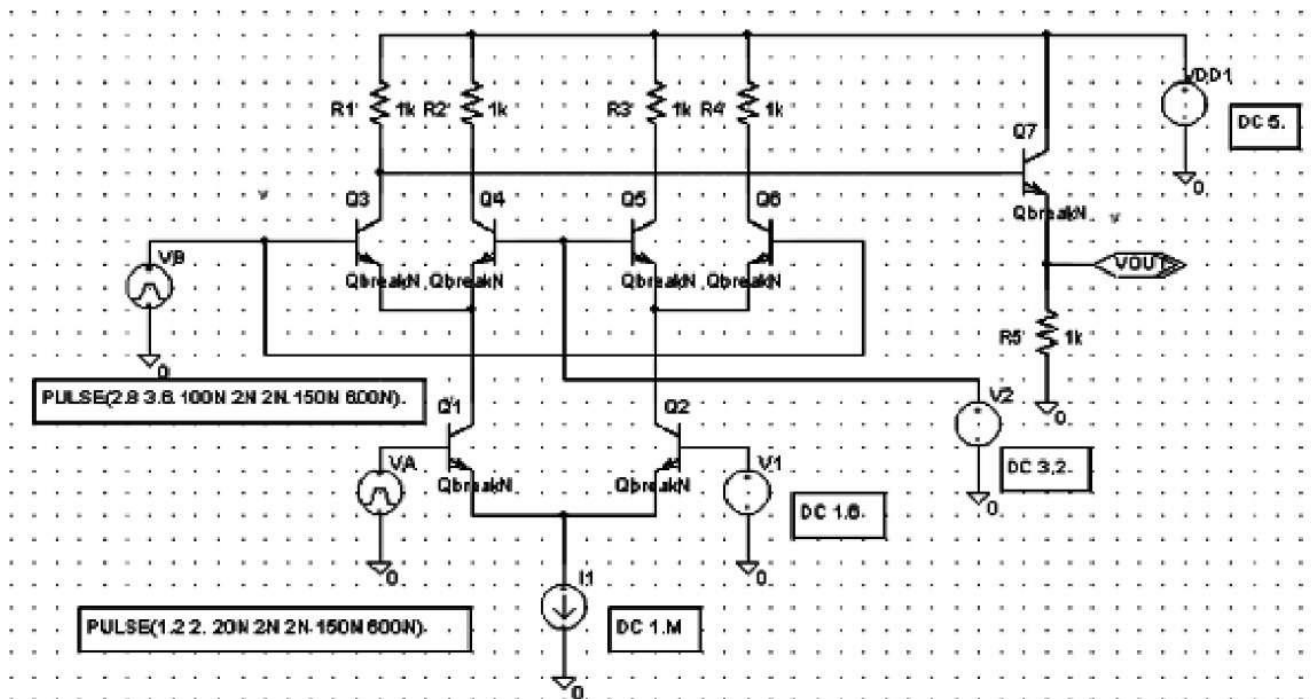


Рисунок 14.9. Исследуемая схема в графическом редакторе

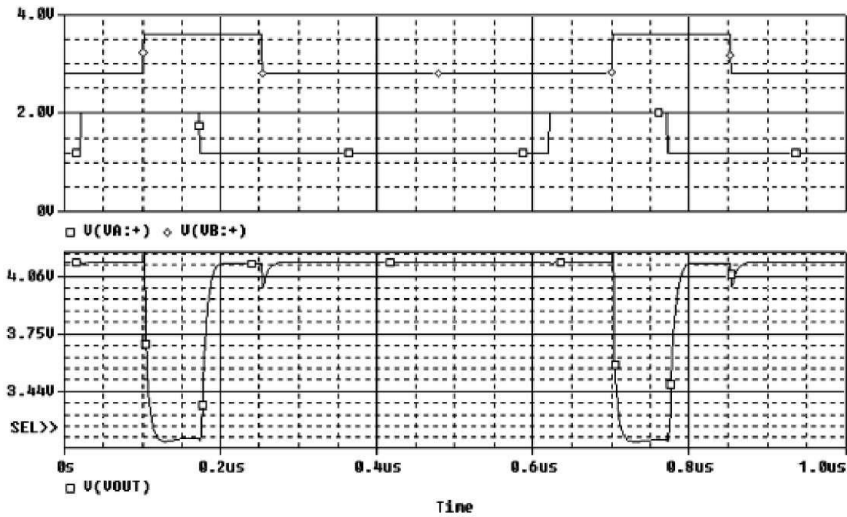


Рисунок 14.10. Результаты моделирования

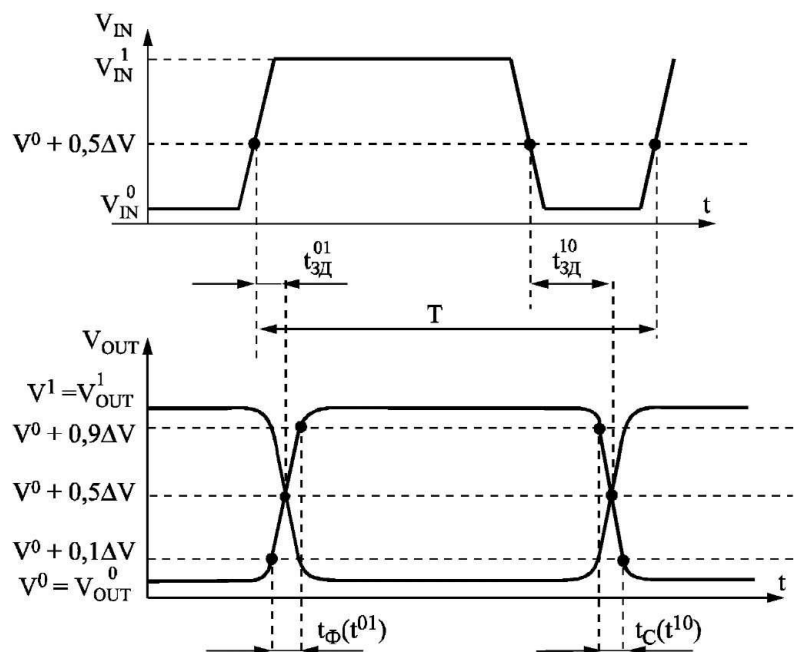
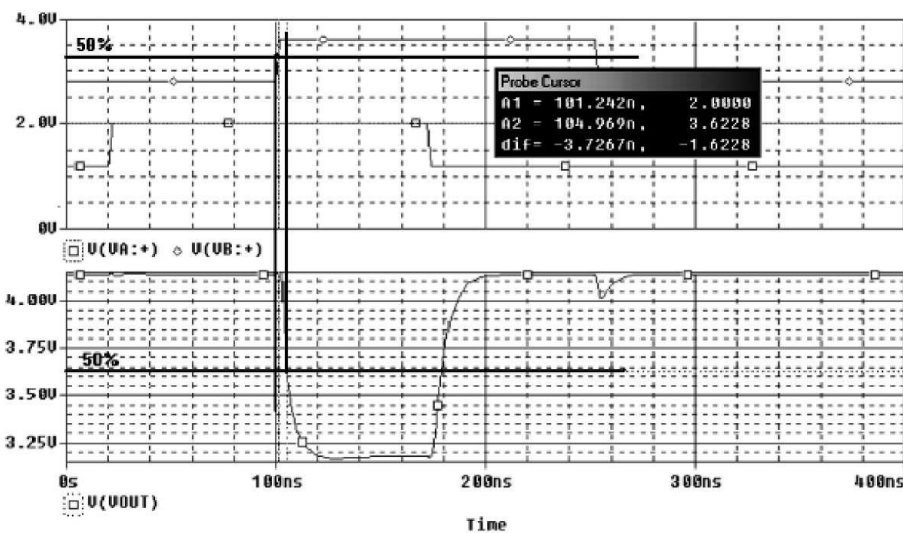


Рисунок 14.11. Определение динамических измеряемых параметров по переходным характеристикам

Рисунок 14.12. Определение времени задержки t^1 с помощью курсора

Работа с курсором в окне результатов. Произвести подсчет необходимых динамических параметров можно с помощью курсора. Так как времена переключения получаются очень малые (порядка наносекунд), то можно увеличить графическое окно по временной оси: **Plot** → **Axis Settings...** → **X Axis** и задать необходимый временной интервал. Можно выбрать меньшее окно с помощью курсора: выбрать левой кнопкой на мышке левый нижний угол нового окна и, не отпуская кнопки мышки, показать верхний правый угол окна, затем кнопку отжать. Выделенный прямоугольник соответствует новому окну отображения результатов моделирования.

Курсором можно определить значения измеряемых динамических параметров (рис.11):

$t_{\Phi} (t^{01})$ - время фронта или длительность переключения выходного сигнала из 0 в 1 - разность времен, при которых V_{OUT} изменяется от величин $V^0 + 0,1\Delta V$ до $V^0 + 0,9\Delta V$;

$t_{CP} (t^{10})$ - время среза или длительность переключения выходного сигнала из 1 в 0 - разность времен, при которых V_{OUT} изменяется от величины $V^0 + 0,9\Delta V$ до $V^0 + 0,1\Delta V$;

$t_{зд}^{01}$ - время задержки распространения выходного сигнала - разность времен, определяемая по уровню $V^0 + 0,5\Delta V$ между V_{OUT} и V_{IN} , когда V_{OUT} изменяется из состояния 0 в состояние 1;

$t_{зд}^{10}$ - время задержки распространения выходного сигнала - разность времен, определяемая по уровню $V^0 + 0,5\Delta V$ между V_{OUT} и V_{IN} , когда V_{OUT} изменяется из состояния 1 в состояние 0;

$t_{зд\ CP} = (t_{зд}^{01} + t_{зд}^{10})/2$ - среднее время задержки распространения выходного сигнала;

T - период сигнала ($T > 2 \div 3 t_{зд\ CP}$);

f - частота сигнала ($f = 1/T$).

Пример увеличения характеристики для определения задержки $t_{зд}^{10}$ показан на рис.14.12.

В рассматриваемом примере представим динамические параметры в табличном виде (табл.14.3).

Таблица 14.3

Динамические параметры схемы моделирования

Параметр	t_c	t_{Φ}	$t_{зд}^{01}$	$t_{зд}^{10}$	$t_{зд\ CP}$
Значение	9.317 ns	14.907 ns	6.211 ns	3.727 ns	4.969ns

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.

2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 15.

Исследование электрической схемы по переменному сигналу. Получение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик

Цель работы: моделирование нелинейных схем и получение характеристик, определяющих их работу в частотном диапазоне.

Задачи: приобрести практические навыки моделирования нелинейных схем и получение характеристик, определяющих их работу в частотном диапазоне.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

Устройства, применяемые для обработки, преобразования и передачи сигналов, разнообразны по принципам внутреннего построения и внешним характеристикам. Сложные схемотехнические устройства представляют собой совокупность функциональных схем, между которыми определены взаимодействия. В этом случае данные схемы рассматриваются как «черный ящик», выполняющий определенную функцию преобразования сигнала от входа к выходу.

Очень важной задачей является анализ работоспособности схем и определение параметров в частотном диапазоне. Пусть на вход схемы поступает гармонический сигнал $V_{IN} = V_{INm} \cos(\omega + \varphi t)$ с амплитудой V_{INm} , частотой ($\omega = 2\pi f$) и фазовым сдвигом φ (рис.15.1).

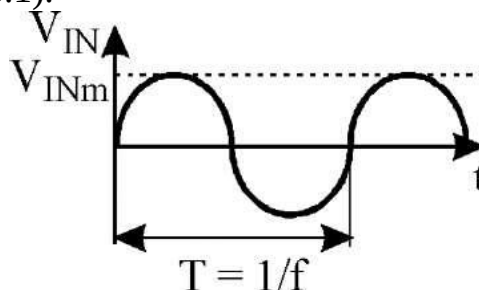


Рисунок 15.1. Гармонический переменный входной сигнал для малосигнального анализа

Тогда комплексная амплитуда выходного сигнала будет $V_{OUT} = K(j\omega) V_{IN} = K(j\omega) V_{INm} \cos(\omega t + \varphi)$, где $K(j\omega)$ - частотный коэффициент передачи. В показательной форме этот коэффициент представляется как

$$K(j\omega) = |K(j\omega)| \cdot \exp[j\varphi(\omega)] = \frac{K_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{K_0}{1 + j \frac{f}{f_0}}$$

Функции, входящие в это определение, получили специальное название: $|K(j\omega)|$ - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ); $\varphi(\omega)$ - фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Задание

1. Определить значение емкости фильтра в соответствии с вариантом заданных значений сопротивления и частоты (табл.15.1).

2. В графическом редакторе **Schematics** ввести схему моделирования частотных характеристик низкочастотного пассивного фильтра первого порядка (рис.15.2), получить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики, определить параметры k_0 , f_0 , f_1 , φ_0 и заполнить форму табл.15.2.

Таблица 15.1

Варианты заданий по подгруппам

Номер варианта	Схема на рис.15.2 – 15.4		Схема на рис.15.5	Схема на рис.15.6	
	f, кГц	R1, кОм	R3, кОм	f, кГц	C1, мкФ
1	100	50	4	10	10
2	120	50	5	20	10
3	140	50	6	30	10
4	160	50	7	40	10
5	180	40	8	10	20
6	200	40	4	20	20
7	220	40	5	30	20
8	240	40	6	40	20
9	260	30	7	10	30
10	280	30	8	20	30
11	300	30	4	30	30
12	320	30	5	40	30
13	340	20	6	10	40
14	360	20	7	20	40
15	380	20	8	30	40
16	400	20	4	40	40
17	420	15	5	10	50
18	440	15	6	20	50
19	460	15	7	30	50
20	480	15	8	40	50
21	500	12	4	10	60
22	520	12	5	20	60
23	540	12	6	30	60
24	560	12	7	40	60

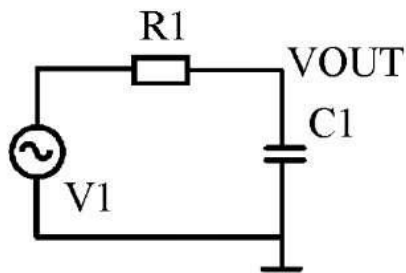


Рисунок 15.2. Схема пассивного фильтра низких частот

Форма таблицы 15.2

Результаты измерения параметров по частотным характеристикам

Вариант схемы	Тип характеристики	Параметры	
Scheme 1	АЧХ	k_0	
		f_0	
		f_1	
	ФЧХ	φ	

Примечание: k_0 - максимальный коэффициент усиления по напряжению; f_0 - частота среза; f_1 - частота единичного усиления; φ_0 - максимальный фазовый сдвиг.

3. Выполнить п. 2 для схемы высокочастотного пассивного фильтра первого порядка на рис.15.3.

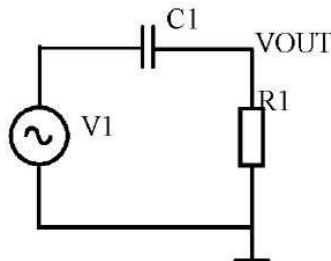


Рисунок 15.3. Схема пассивного фильтра высоких частот

4. Выполнить п. 2 для схемы пассивного полосового фильтра на рис.15.4. Значения параметров сопротивлений и конденсаторов задаются в соответствии с заданием по подгруппам для схемы на рис.15.2 следующим образом: $R1 = R2$, $C1 = C2$.

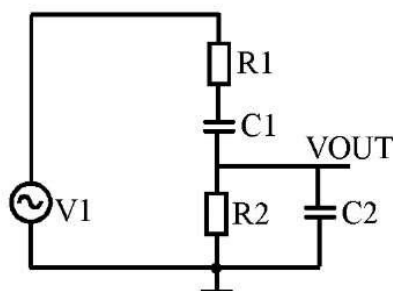


Рисунок 15.4. Схема пассивного полосового RC-фильтра

5. Выполнить п. 2 для схемы пассивного запирающего фильтра на рис.15.5. Значения параметров сопротивлений и конденсаторов задаются в соответствии с заданием по подгруппам для схемы на рис.15.2 с учетом, что $R1 = R2$, $C1 = C2$, $R4 = R3/2$.

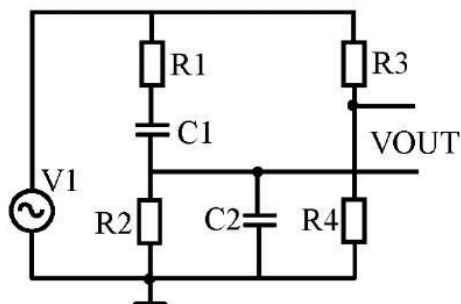


Рисунок 15.5. Мост Вина-Робинсона

6. Выполнить п. 2 для схемы низкочастотного фильтра второго порядка на рис.15.6. Рассчитать значение индуктивности, исходя из следующих данных: $f = 10$ Гц, $R1$ и $C1$ в соответствии с вариантом задания.

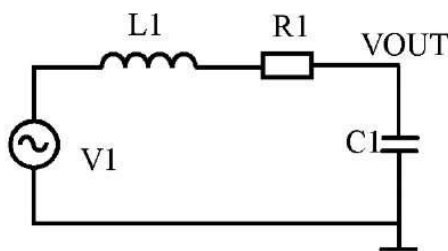


Рисунок 15.6. Схема LRC-фильтра

Методика выполнения лабораторной работы

1. Для настройки фильтра на определенную частоту необходимо рассчитать емкость конденсатора. Граничная частота пассивного фильтра первого порядка определяется выражением

$$f = \frac{1}{2\pi RC},$$

из которого, зная требуемую частоту и значение сопротивления резистора, можно определить емкость конденсатора:

$$C = \frac{1}{2\pi Rf}.$$

2. Схема моделирования частотных характеристик (рис.15.2) включает в себя описание схемы и обязательно подключение входного источника напряжения, который представляет собой источник типа АС. Этот источник синусоидальной формы (см. рис.15.1). Для упрощения пересчета коэффициента усиления по напряжению ($K = V_{OUT}/V_{IN}$), как правило, амплитуда этого источника задается 1 В. Частота его является переменной величиной.

3. Чтобы получить частотную характеристику, необходимо использовать директиву задания малосигнального анализа схемы, формат записи которой следующий:

.AC DEC <количество точек> <начальная частота> <конечная частота>.

В этом случае малосигнальный анализ выполняется в диапазоне от начальной до конечной частоты. При этом **DEC** указывает, что частота будет выводиться в логарифмическом масштабе по декадам. Также обязательно задается количество точек на декаду при выводе результатов моделирования (как правило, оно определяется от 10 до 100).

4. Амплитудная характеристика - это зависимость коэффициента передачи по напряжению от частоты. Часто используется логарифмическая единица измерения коэффициента, называемая децибел: $K[\text{дБ}] = 20 \lg K$. Чтобы получить амплитудно-частотную характеристику в децибелах, необходимо в окне вывода результатов выбрать выходной узел и указать функцию преобразования:

VDB(<номер выходного узла>).

K_0 - статический коэффициент усиления на $f = 0$.

5. Фазочастотная характеристика - это зависимость фазового сдвига выходного сигнала относительно входного. Для получения фазочастотной характеристики в окне вывода результатов указывается функция преобразования **VP** для выходного узла схемы:

VP (номер выходного узла).

6. По полученным графикам необходимо определить коэффициент передачи K_0 в децибелах и частоту среза f_0 как частоту, на которой спад коэффициента передачи K_0 равен -3 дБ (рис.7), и заполнить форму табл.15.2.

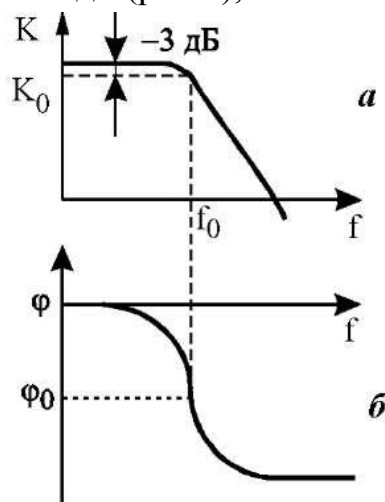


Рисунок 15.7. Определение параметров по частотным характеристикам:

a - амплитудно-частотная; *б* - фазочастотная

7. Выполнить пп. 1 - 6 для схемы высокочастотного пассивного фильтра первого порядка на рис.15.3.

8. Выполнить пп. 1 - 6 для схемы пассивного полосового фильтра на рис.4. Значения параметров сопротивлений и конденсаторов задаются в соответствии с

заданием по подгруппам для схемы на рис.4 следующим образом: $R1 = R2$, $C1 = C2$.

9. Выполнить пп. 1 - 6 для схемы пассивного запирающего фильтра на рис.5. Значения параметров сопротивлений и конденсаторов задаются в соответствии с заданием по подгруппам для схемы 5 следующим образом: $R1 = R2$, $C1 = C2$, $R4 = R3/2$.

10. Выполнить пп. 1 - 6 для схемы низкочастотного фильтра второго порядка на рис.6. Рассчитать значение индуктивности L_1 и сопротивления R_1 , исходя из данных: $f = 10$ Гц, $C1 = 10$ мкФ, по формулам:

$$R_1 = \frac{1,414}{2\pi f C_1} \quad L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_1}$$

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) Распечатку электрических схем моделирования;
- 2) Результаты моделирования изменения амплитуды и фазы выходного сигнала от частоты (рис.15.8 – 15.12).
- 3) Таблицу параметров (коэффициент передачи и частоту среза) для каждой схемы (табл.15.3).

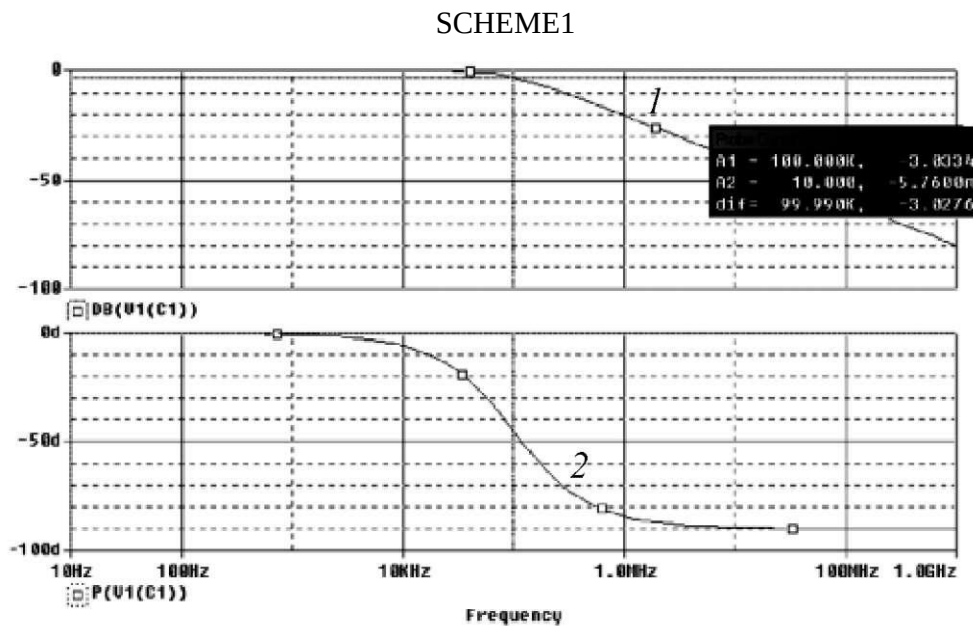


Рисунок 15.8. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики фильтра низких частот

SCHEME2

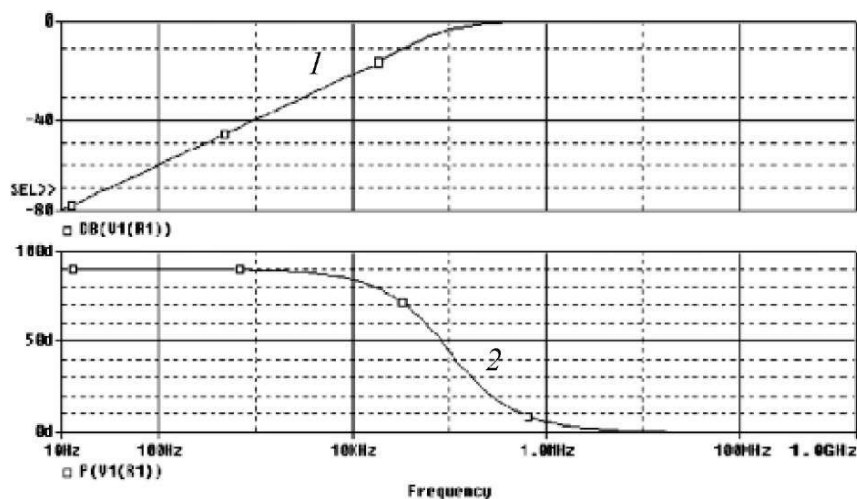


Рисунок 15.9. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики фильтра высоких частот

SCHEME3

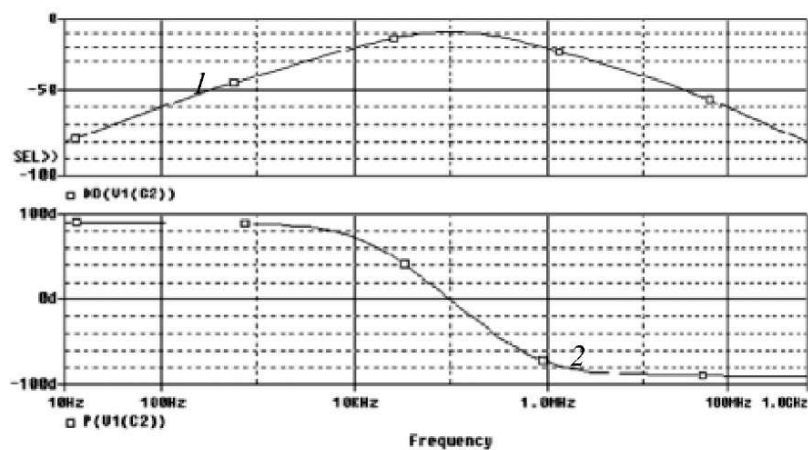


Рисунок 15.10. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики полосового фильтра

SCHEME4

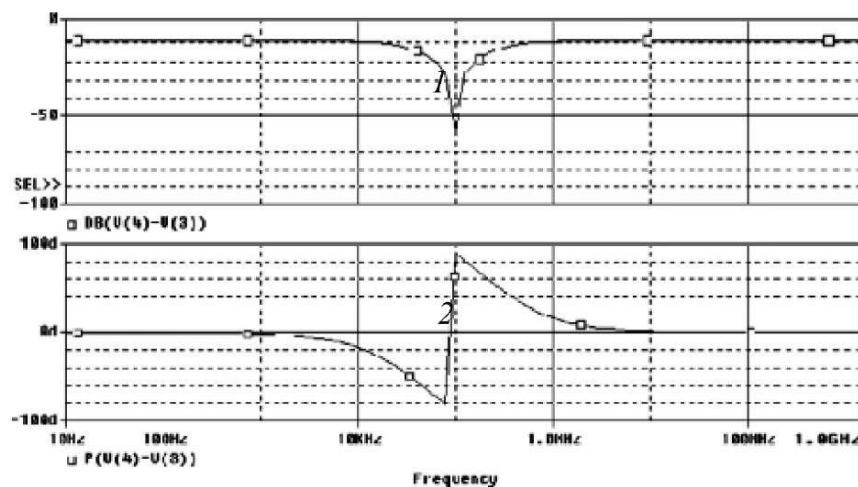


Рисунок 15.11. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики режекторного фильтра

SCHEME5

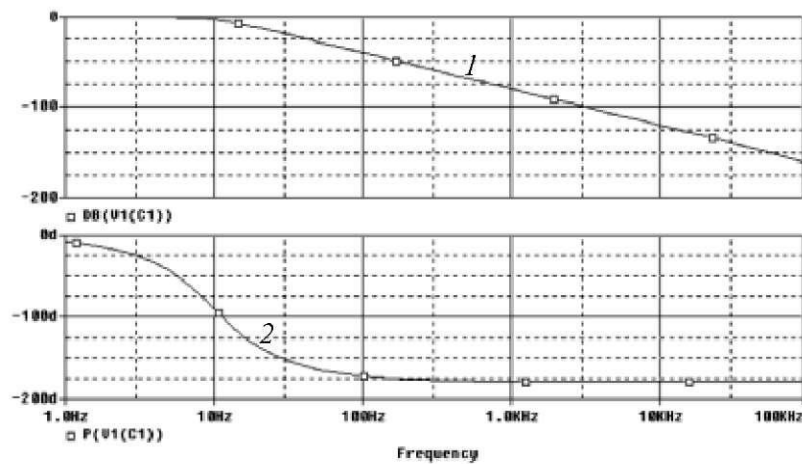


Рисунок 15.12. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики фильтра низких частот второго порядка для $f = 10$ кГц, $R1 = 2,25$ кОм, $C1 = 10$ мкФ, $L1 = 25,3$ Гн

Таблица 15.3

Определение параметров фильтров

SCHEME1	АЧХ	$k_0 = -3.033$
	ФЧХ	$\varphi_0 = -45.152^\circ$
SCHEME2	АЧХ	$k_0 = -2.987$
	ФЧХ	$\varphi_0 = 44.848^\circ$
SCHEME3	АЧХ	$k_0 = -12.597$ $f_{01} = 301.15\text{K}$ $f_{02} = 322.917\text{K}$
	ФЧХ	$\varphi_{01} = 45.094^\circ$; $\varphi_{02} = -44.375^\circ$
SCHEME4	АЧХ	$k_0 = -12.587$ $f_{01} = 301.15\text{K}$; $f_{02} = 322.917\text{K}$
	ФЧХ	$\varphi_{01} = -44.906^\circ$ $\varphi_{02} = 44.839^\circ$
SCHEME5	АЧХ	$k_0 = -3.001$ $f_0 = 10$
	ФЧХ	$\varphi_0 = -89.952^\circ$

Контрольные вопросы

1. В каком режиме моделирования в программе PSpice можно получить частотные характеристики схемы?
 2. Как составить схему моделирования для частотного анализа?
 3. Как в программе PSpice вывести в окне результатов АЧХ и ФЧХ?
 4. Как определяются частотные параметры схемы k_0 , f_0 , φ_0 по АЧХ и ФЧХ?
 5. Как изменится АЧХ схемы (рис.15.2), если увеличить емкость конденсатора в два раза?
 6. Почему сдвиг по фазе выходного сигнала (рис.15.8) относительно входного изменяется от 0 до $-\pi/2$ в диапазоне частот от 0 до ∞ ?
 7. Как изменится АЧХ схемы (рис.15.3), если увеличить емкость конденсатора в два раза?
 8. Почему сдвиг по фазе выходного сигнала (рис.15.9) относительно входного изменяется от $\pi/2$ до 0 в диапазоне частот от 0 до ∞ ?
 9. Как изменится АЧХ, если параллельно конденсатору включить резистор такого же номинала, что и R1 в схеме на рис.15.3?
 10. Объяснить принцип работы и частотные характеристики для схемы на рис.15.4.
 11. Как изменится АЧХ, если отношение емкостей конденсаторов C1/C2 уменьшить (или увеличить) в схеме на рис.15.4?
 12. Как изменится АЧХ, если уменьшить (или увеличить) емкость конденсаторов C1 = C2 в схеме на рис.15.4?
 13. Как изменится АЧХ, если уменьшить номинал резистора R3 в схеме на рис.15.5?
- Как изменится АЧХ, если отношение емкостей конденсаторов C1/C2 уменьшить (или увеличить) в схеме на рис.15.5?

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.

5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 16.

Логическое проектирование цифровых устройств

Цель работы: проектирование комбинационной цифровой схемы на библиотеке 74НС.

Задачи: приобрести практические навыки проектирования комбинационных цифровых схем.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

В настоящее время для ускорения разработки цифровых устройств практикуется проектирование на библиотечных стандартных вентилях. Для выбранного технологического маршрута изготовления схемы экстрагируются параметры моделей транзисторов. Затем на этих транзисторах разрабатываются стандартные вентили. Библиотека стандартных вентилей содержит простые логические функции (типа И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ на разное количество входов), элементарные комбинационные схемы (например, И-ИЛИ-НЕ, мультиплексоры, дешифраторы) и последовательностью схемы (например, триггеры, регистры).

Комбинационными называются цифровые схемы, состояние выходов которых зависит от комбинации входных цифровых сигналов в данный момент времени.

Последовательностями схемами называются цифровые схемы, состояние выходов которых зависит от последовательности входных сигналов.

Для выполнения лабораторной работы используется автоматизированная система проектирования **OrCAD**.

Задание

1. Каждый студент должен разработать комбинационную схему на библиотеке стандартных вентилей 74НС согласно индивидуальному заданию (табл.16.1).

2. Преобразовать функцию к совершенному виду (либо совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ), либо совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ)).

3. Заполнить карту Карно.

Индивидуальные варианты заданий

Номер варианта	Алгебраическое выражение логической функции
1	$F = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
2	$F = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
3	$F = \overline{A} (B + C) \overline{D} \overline{E}$
4	$F = A + \overline{B} \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
5	$F = \overline{A} + \overline{B} \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
6	$F = (A + \overline{B} \overline{C}) \overline{D} \overline{E}$
7	$F = (\overline{A} + \overline{B}) \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
8	$F = A + B + \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
9	$F = \overline{A} + B + \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
10	$F = A + B + \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
11	$F = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} \overline{D} \overline{E}$
12	$F = A + \overline{B} + \overline{C} + \overline{D} \overline{E}$
13	$F = \overline{A} + B + C + \overline{D} \overline{E}$
14	$F = A + B + C + \overline{D} \overline{E}$
15	$F = \overline{A} + \overline{B} + C + \overline{D} \overline{E}$
16	$F = \overline{A} + \overline{B} + C + \overline{D} \overline{E}$
17	$F = A + B + \overline{C} + \overline{D} \overline{E}$
18	$F = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \overline{D} \overline{E}$
19	$F = \overline{A} + B + \overline{C} + \overline{D} \overline{E}$
20	$F = \overline{A} + B + \overline{C} + \overline{D} \overline{E}$
21	$F = A + B + C + D + E$
22	$F = \overline{A} + \overline{B} + C + D + E$
23	$F = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + D + E$
24	$F = \overline{A} + \overline{B} + C + \overline{D} + \overline{E}$
25	$F = \overline{A} + B + \overline{C} + D + E$
26	$F = \overline{A} + B + \overline{C} + \overline{D} + \overline{E}$
27	$F = A + \overline{B} + \overline{C} + D + \overline{E}$
28	$F = (A + B)(C + D + E)$
29	$F = (A + B)C(D + E)$

4. Считать логическую функцию с карты Карно в СДНФ и в СКНФ, предварительно выполнив упрощение.

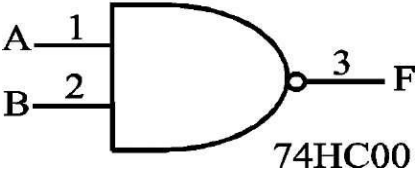
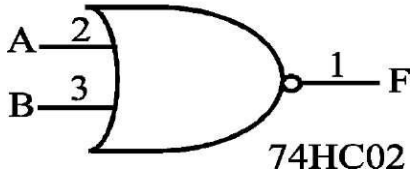
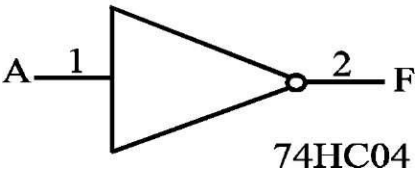
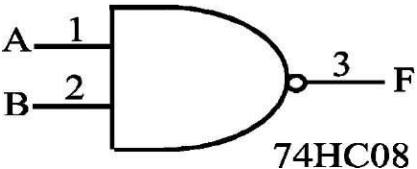
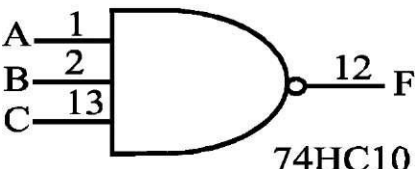
5. Минимизировать полученные выражения к элементному базису И-НЕ или ИЛИ-НЕ.

6. Разработать структурные схемы для двух вариантов на стандартных вентилях библиотеки 74НС (табл. 16.2).

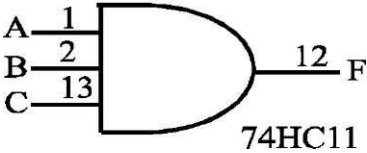
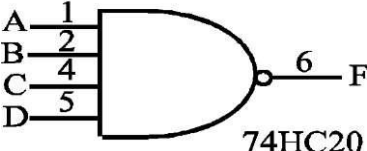
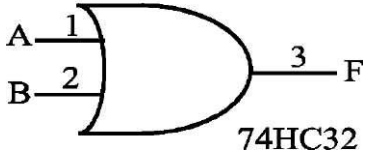
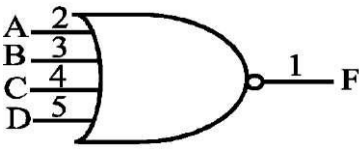
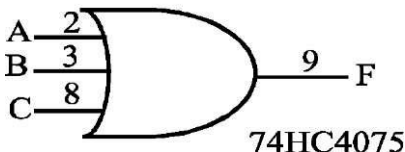
Описать схемы в графическом редакторе и выполнить моделирование переходной характеристики для проверки на функционирование.

Таблица 16.2

Библиотека стандартных вентилях 74НС

U1A  74HC00	2И-НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A \cdot B}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 9 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 23 \text{ ns}$
U2A  74HC02	2ИЛИ-НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A + B}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 9 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 23 \text{ ns}$
U3A  74HC04	НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 9 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 24 \text{ ns}$
U4A  74HC08	2И Выполняемая функция: $F = A \cdot B$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 10 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 25 \text{ ns}$
U5A  74HC10	3И-НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A \cdot B \cdot C}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 10 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 24 \text{ ns}$

Продолжение таблицы 16.2

U6A  74HC11	3И Выполняемая функция: $F = A \cdot B \cdot C$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 10 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 25 \text{ ns}$
U7A  74HC20	4И-НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A \cdot B \cdot C \cdot D}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 14 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 28 \text{ ns}$
U8A  74HC32	2ИЛИ Выполняемая функция: $F = A + B$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 10 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 25 \text{ ns}$
U10A 	4ИЛИ-НЕ Выполняемая функция: $F = \overline{A + B + C + D}$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 10 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 25 \text{ ns}$
U11A  74HC4075	3ИЛИ Выполняемая функция: $F = A + B + C$ Временные параметры: $t_{plhty} = t_{phlty} = 11 \text{ ns}$ $t_{plhmx} = t_{phlmx} = 25 \text{ ns}$

Методика выполнения лабораторной работы

1. Преобразовать предлагаемое выражение логической функции к виду, который можно реализовать с помощью стандартных вентилей библиотеки 74НС. Поэтому сначала приведем логическую функцию к совершенной форме с помощью аксиом и законов булевой алгебры.

Перечислим аксиомы булевой алгебры:

$$1 + A = 1 \quad A + A = A$$

$$0 \cdot A = 0 \quad A \cdot A = A$$

$$0 + A = A \quad A + \bar{A} = 1 \quad \bar{\bar{A}} = A$$

$$1 \cdot A = A \quad A \cdot \bar{A} = 0$$

Законы булевой алгебры:

- коммутативный
$$\begin{aligned} & A + B = B + A \\ & A \cdot B = B \cdot A \end{aligned};$$
- ассоциативный
$$\begin{aligned} & A + (B + C) = B + (A + C) = C + (A + B) \\ & A \cdot (B \cdot C) = B \cdot (A \cdot C) = C \cdot (A \cdot B) \end{aligned};$$
- дистрибутивный
$$\begin{aligned} & A \cdot (B + C) = AB + AC \\ & A + BC = (A + B) \cdot (A + C); \end{aligned}$$
- поглощения
$$\begin{aligned} & A \cdot (A + B) = A \\ & A + AB = A \end{aligned};$$
- дуальности (теорема де-Моргана)
$$\begin{aligned} \overline{A + B} &= \bar{A} \cdot \bar{B} \\ \overline{A \cdot B} &= \bar{A} + \bar{B} \end{aligned}$$

Алгебраическая форма логической функции имеет два представления:

а) **СДНФ** - совершенная дизъюнктивная нормальная форма - алгебраическое представление функции в виде суммы минтермов, соответствующих наборам переменных, для которых $f_i = 1$:

$$F_{\text{СДНФ}} = \sum_{i=0}^{q-1} f_i \cdot m_i,$$

где f_i - значение логической функции F (0 или 1); m_i - минтерм, соответствующий i -му набору входных логических переменных.

Минтерм (конституента 1) - конъюнкция всех переменных, которые входят в прямом виде, если значение данной переменной в наборе равно 1, либо в инверсном виде, если значение переменной равно 0 (табл.16.3).

$$\begin{aligned} F &= f_0 \cdot m_0 + f_1 \cdot m_1 + f_2 \cdot m_2 + f_3 \cdot m_3 = \\ &= 0 \cdot (\bar{A} \cdot \bar{B}) + 1 \cdot (\bar{A} \cdot B) + 1 \cdot (A \cdot \bar{B}) + 0 \cdot (A \cdot B) = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}. \end{aligned}$$

б) **СКНФ** - совершенная конъюнктивная нормальная форма - алгебраическое представление функции в виде произведения макстермов, соответствующих наборам переменных для которых $f_i = 0$:

$$F_{\text{СКНФ}} = \prod_{i=0}^{q-1} (f_i + M_i),$$

где f_i - значение логической функции F (0 или 1); M_i - макстерм, соответствующий i -му набору входных логических переменных.

Макстерм (конституента 0) - дизъюнкция всех переменных, которые входят в прямом виде, если значение данной переменной в наборе равно 0, либо в инверсном виде, если значение переменной в наборе равно 1 (см. табл.16.3).

$$\begin{aligned} F &= (f_0 + M_0) \cdot (f_1 + M_1) \cdot (f_2 + M_2) \cdot (f_3 + M_3) = \\ &= (0 + A + B) \cdot (1 + A + \bar{B}) \cdot (1 + \bar{A} + B) \cdot (0 + \bar{A} + \bar{B}) = (A + B) \cdot (\bar{A} + \bar{B}) \end{aligned}$$

Таблица 16.3

Минтермы, макстермы и значения функции

A	B	Минтермы m_i	Макстермы M_i	Значение функции f_i
0	0	$m_0 = \bar{A} \cdot \bar{B}$	$M_0 = A + B$	$f_0=0$
0	1	$m_1 = \bar{A} \cdot B$	$M_1 = A + \bar{B}$	$f_1=1$
1	0	$m_2 = A \cdot \bar{B}$	$M_2 = \bar{A} + B$	$f_2=1$
1	1	$m_3 = A \cdot B$	$M_3 = \bar{A} + \bar{B}$	$f_3=0$

Приведем пример преобразования функции:

$$F = (A\bar{B} + AC + BC) \cdot (A + D + E) \cdot (\bar{A} + \bar{C} + D + E) \cdot (B + C).$$

Эта функция не имеет совершенную форму, поскольку первая скобка не является мак- стермом. Чтобы привести ее к СКНФ, добавим к трем слагаемым первой скобки $B\bar{B}$, которое не меняет значение функции:

$$F = (A\bar{B} + AC + BC + B\bar{B}) \cdot (A + D + E) \cdot (\bar{A} + \bar{C} + D + E) \cdot (B + C).$$

Далее, воспользовавшись ассоциативным законом, сгруппируем слагаемые первой скобки:

$$\begin{aligned} F &= ((A\bar{B} + AC) + (BC + B\bar{B})) \cdot (A + D + E) \cdot (\bar{A} + \bar{C} + D + E) \cdot (B + C) = \\ &= (A(\bar{B} + C) + B(C + \bar{B})) \cdot (A + D + E) \cdot (\bar{A} + \bar{C} + D + E) \cdot (B + C) = \\ &= (A + B) \cdot (\bar{B} + C) \cdot (A + D + E) \cdot (\bar{A} + \bar{C} + D + E) \cdot (B + C). \end{aligned}$$

2. Полученное алгебраическое выражение в СКНФ, поэтому функция будет равна 0, если хотя бы один сомножитель будет равен 0.

$$1) (A+B)=0 \quad 2) (B+\bar{C})=0 \quad 3) (A+D+E)=0 \quad 4) (\bar{A}+\bar{C}+D+E)=0 \quad 5) (B+C)=0$$

$$\begin{cases} A=0 \\ B=0 \\ C=1;0 \\ D=1;0 \\ E=1;0 \end{cases} \quad \begin{cases} B=1 \\ C=0 \\ A=1;0 \\ D=1;0 \\ E=1;0 \end{cases} \quad \begin{cases} A=0 \\ D=0 \\ E=1 \\ B=1;0 \\ C=1;0 \end{cases} \quad \begin{cases} A=1 \\ C=1 \\ D=0 \\ E=0 \\ B=1;0 \end{cases} \quad \begin{cases} B=0 \\ C=0 \\ A=1;0 \\ D=1;0 \\ E=1;0 \end{cases}$$

Теперь можно заполнить карту Карно на 5 переменных по нулевым значениям функции (рис.16.1).

ABC \ DE	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	1	0	0	1	1	0
11	0	0	1	0	0	1	1	0
10	0	0	1	0	0	1	1	0

Рисунок 16.1. Заполненная карта Карно для заданной функции

3. Чтобы считать упрощенное выражение логической функции в СКНФ, объединим ее нулевые состояния. Для данной функции, выполнив четыре объединения (рис.16.2),

ABC \ DE	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	1	0	0	1	1	0
11	0	0	1	0	0	1	1	0
10	0	0	1	0	0	1	1	0

1 2 3 4

Рисунок 16.2. Упрощение функции в СДНФ по карте Карно

получим следующее выражение:

$$F = (A+B) \cdot (\bar{B}+C) \cdot (B+C) \cdot (D+E).$$

Применив закон поглощения для $(\bar{B}+C) \cdot (B+C) = C$, получим:

$$F = (A+B) \cdot C \cdot (D+E).$$

Чтобы считать упрощенное выражение логической функции в СДНФ, объединим ее единичные состояния. Для данной функции, выполнив четыре объединения (рис.16.3),

ABC DE	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	1	0	0	1	1	0
11	0	0	1	0	0	1	1	0
10	0	0	1	0	0	1	1	0

1 2 3 4

Рисунок 16.3 Упрощение функции в СКНФ по карте Карно

получим следующее выражение:

$$F = \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot E + A \cdot C \cdot D + A \cdot C \cdot E$$

Преобразуем это выражение, используя закон поглощения:

$$A \cdot C \cdot D = A \cdot C \cdot D + A \cdot B \cdot C \cdot D$$

$$A \cdot C \cdot E = A \cdot C \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot E$$

После подстановки и преобразования получим упрощенное выражение функции в СДНФ:

$$\begin{aligned} F &= (\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D + A \cdot B \cdot C \cdot D) + (\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot E) + A \cdot C \cdot D + A \cdot C \cdot E = \\ &= B \cdot C \cdot D + B \cdot C \cdot E + A \cdot C \cdot D + A \cdot C \cdot E \end{aligned}$$

4. Далее необходимо минимизировать логическую функцию СКНФ к базису ИЛИ-НЕ и СДНФ к базису И-НЕ. Для этого воспользуемся преобразованием функции с помощью правила двойной инверсии и теоремы де-Моргана:

$$\begin{aligned} F &= (A + B) \cdot C \cdot (D + E) = \overline{\overline{(A + B) \cdot C \cdot (D + E)}} = \overline{\overline{(A + B)} + \overline{C} + \overline{(D + E)}} \\ F &= B \cdot C \cdot D + B \cdot C \cdot E + A \cdot C \cdot D + A \cdot C \cdot E = \\ &= \overline{\overline{B \cdot C \cdot D + B \cdot C \cdot E + A \cdot C \cdot D + A \cdot C \cdot E}} = \\ &= \overline{\overline{B \cdot C \cdot D} \cdot \overline{B \cdot C \cdot E} \cdot \overline{A \cdot C \cdot D} \cdot \overline{A \cdot C \cdot E}} \end{aligned}$$

5. Зная выражения логических функций, можно построить комбинационные схемы на стандартных вентилях библиотеки 74НС. Схема, реализующая функцию, полученную из СКНФ, состоит из стандартных вентилях ИЛИ-НЕ (рис.16.4). Так как в библиотеке нет вентиля ЗИЛИ-НЕ, то можно реализовать эту функцию на двух последовательно включенных вентилях: ЗИЛИ и НЕ.

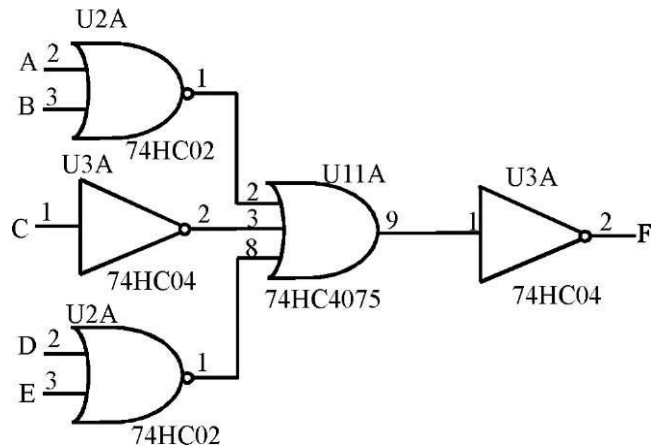


Рисунок 16.4. Схема, реализованная на вентилях ИЛИ-НЕ

Схема, реализующая функцию, полученную из СДНФ, состоит из стандартных вентилях И-НЕ (рис.16.5). Использование вентилях 3И-НЕ и 4И-НЕ позволяет легко реализовать эту функцию. Наилучшим вариантом реализации заданной функции является схема, приведенная на рис.16.5.

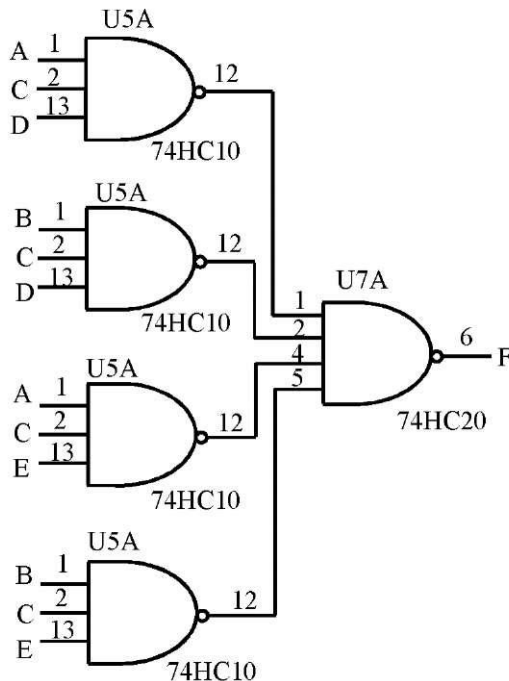


Рисунок 16.5 Схема, реализованная на вентилях И-НЕ

6. Далее нужно описать выбранную реализацию схемы в графическом редакторе **Schematics**.

Для описания схемы необходимы следующие файлы библиотек:

- 1) **__\Pspice\nom.lib** - библиотека параметров элементарных символов;
- 2) **__\Pspice\Library\74hc.ind** - библиотека логических символов;
- 3) **__\Pspice\Capture\Pspice\74hc.lib** - библиотека параметров логических символов;
- 4) **__\Pspice\Capture\Pspice\dig.io.lib** и **digfile.lib** - библиотеки входных цифровых сигналов.

Чтобы подключить эти библиотеки, следует выполнить следующие действия: **Library → Add → Include Files** и ввести необходимые библиотеки.

При описании схемы моделирования переходного процесса цифровой схемы в качестве входных источников напряжения подключают цифровые источники из библиотеки **Libraries/source.slb/DigClock**.

Входные цифровые источники описываются следующими параметрами:

- DELAY - время задержки входного сигнала;
- ONTIME - длительность полочки логической «1»;
- OFFTIME - длительность полочки логического «0».

Для проверки на функционирование диаграмма входных сигналов должна быть составлена таким образом, чтобы можно было проверить все возможные комбинации логических состояний, при этом не допускается одновременное переключение нескольких входных сигналов (рис.16.6).

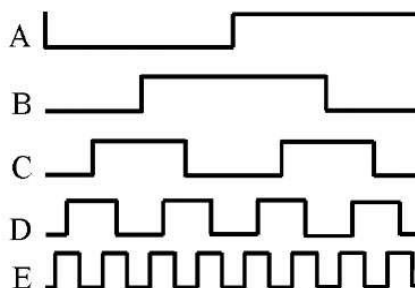


Рисунок 16.6. Диаграмма входных сигналов

Чтобы в цифровой схеме подключить порты входа/выхода, необходимо зайти в меню **Get New Part/Libraries/port.slb** и выбрать соответственно:

- IF_IN - порт входа;
- IF_OUT - порт выхода;
- INTERFACE - интерфейсный выход.

Перед моделированием нужно задать параметры библиотечных стандартных вентилях, выбрав в меню **Digital Setup** тип параметров:

- min - минимальные значения параметров;
- typ - типовые нормальные значения параметров;
- max - максимальные значения параметров.

Для моделирования переходной характеристики в графе меню **Transient** необходимо задать время моделирования, соответствующее времени полной проверки на функционирование цифровой схемы.

Результатом работы является распечатка электрической схемы и диаграммы входных и выходного сигналов.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) описание преобразования заданной логической функции и обоснование выбора схемы;
- 2) распечатку электрической схемы моделирования (рис.16.7);
- 3) результаты моделирования переходной характеристики цифровой схемы (рис.16.8).

Контрольные вопросы

1. Объясните преобразование заданной логической функции с помощью аксиом и законов булевой алгебры.
2. Как заполнить карту Карно, если функция представлена в СДНФ или СКНФ?
3. Как выполнить упрощение логической функции по карте Карно?
4. Как преобразовать алгебраическое выражение функции к заданному элементному базису?
5. Какие библиотеки необходимо подключать при выполнении логического проектирования?
6. Обоснуйте выбор наилучшего варианта реализации комбинационной схемы

Приложение

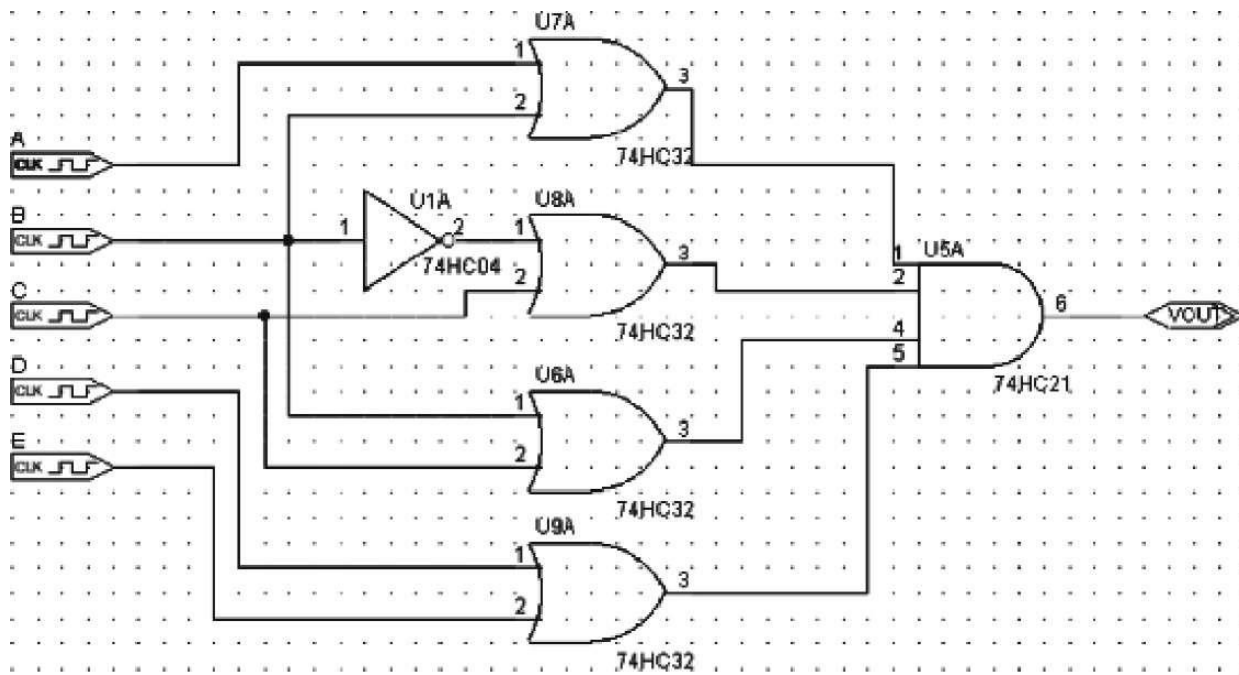


Рисунок 16.7 Схема моделирования

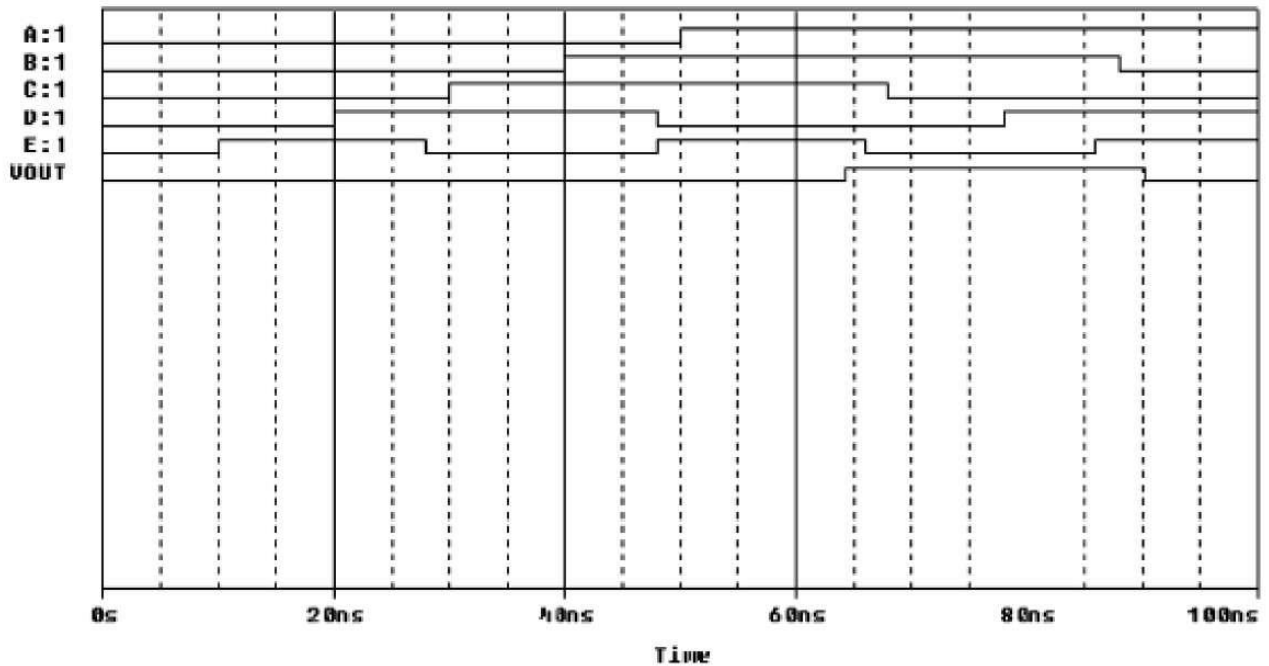


Рисунок 16.8 Результаты моделирования

Рекомендуемая литература

9. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
10. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
11. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
12. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
13. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
14. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
15. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
16. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

171 Практическая работа № 17. Проектное моделирование в системе OrCAD

Цель работы: схемотехническое проектирование иерархической схемы.

Задачи: приобрести практические навыки схемотехнического проектирования иерархических схем.

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

При проектировании ИС желательна максимальная автоматизация процесса разработки проекта. В этом случае предполагается, что проект имеет иерархическую структуру. Такая структура описания проекта соответствует условию, что верхний уровень описания схемы включает символьные обозначения некоторых подсхем, которые в свою очередь тоже могут иметь иерархическое описание. При такой структуре разработчику необходимо уметь получать символьные описания электрических схем, представляющие любой функциональный блок как «черный ящик» с описанием входов и выходов.

Задание

Каждый студент должен выполнить проектную работу, которая включает разработку триггерной схемы и создание собственной библиотеки в соответствии с индивидуальным заданием (табл.17.1).

Таблица 17.1

Варианты заданий

Номер варианта	Схема	U _{ИП} , В	Схема на рис.17.5		Схема на рис.17.6		L, мкМ
			W _п , мкМ	W _р , мкМ	W _п , мкМ	W _р , мкМ	
1	Рис.17.1, Рис.17.5	5	1	2	-	-	1
2	Рис.17.2, Рис.17.5	5	1	2	-	-	1
3	Рис.17.3, Рис.17.6	5	-	-	1	1	1
4	Рис.17.4, Рис.17.6	5	-	-	1	1	1
5	Рис.17.1, Рис.17.5	5	1,2	2,4	-	-	1
6	Рис.17.2, Рис.17.5	5	1,2	2,4	-	-	1

Продолжение таблицы 17.1

Номер варианта	Схема	U _{ип} , В	Схема на рис.17.5		Схема на рис.17.6		L, мкМ
			W _п , мкМ	W _р , мкМ	W _п , мкМ	W _р , мкМ	
7	Рис.17.3, Рис.17.6	5			1,2	1,2	1
8	Рис.17.4, Рис.17.6	5		-	1,2	1,2	1
9	Рис.17.1, Рис.17.5	5	1,4	2,8			1
10	Рис.17.2, Рис.17.5	5	1,4	2,8	-	-	1
11	Рис.17.3, Рис.17.6	5			1,4	1,4	1
12	Рис.17.4, Рис.17.6	5		-	1,4	1,4	1
13	Рис.17.1, Рис.17.5	5	1,6	3,2			1
14	Рис.17.2, Рис.17.5	5	1,6	3,2	-	-	1
15	Рис.17.3, Рис.17.6	5		-	1,6	1,6	1
16	Рис.17.4, Рис.17.6	5		-	1,6	1,6	1
17	Рис.17.1, Рис.17.5	5	1,8	3,6			1
18	Рис.17.2, Рис.17.5	5	1,8	3,6	-	-	1
19	Рис.17.3, Рис.17.6	5		-	1,8	1,8	1
20	Рис.17.4, Рис.17.6	5	-	-	1,8	1,8	1
21	Рис.17.1, Рис.17.5	5	2	4			1
22	Рис.17.2, Рис.17.5	5	2	4	-	-	1
23	Рис.17.3, Рис.17.6	5	-	-	2	2	1
24	Рис.17.4, Рис.17.6	5	-	-	2	2	1

1. Ввести описание предложенной схемы базового элемента (рис.17.5 или 17.6) с помощью графического редактора **Capture**.
2. Создать символьное представление базового элемента.
3. Ввести описание заданной триггерной схемы (рис. 17.1 – 17.4) с помощью графического редактора **Capture**.
4. Создать символьное представление триггерной схемы.
5. Ввести тестовую схему для моделирования переходной характеристики.
6. По полученным характеристикам определить измеряемые динамические параметры и заполнить форму табл.17.2.

Форма таблицы 2

Результаты моделирования

Параметр	t_C	t_Φ	$t_{зд}^{01}$	$t_{зд}^{10}$	$t_{здCP}$
Значение					

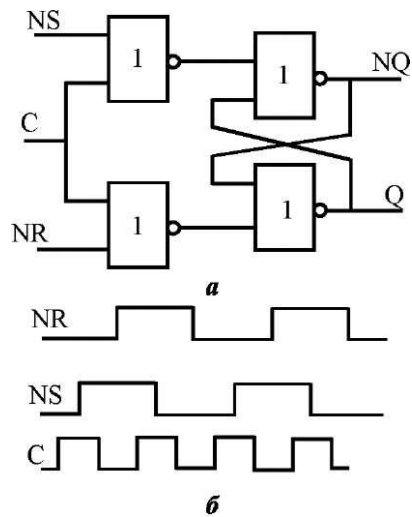


Рисунок 17.1. Синхронизируемый уровнем RS-триггер на элементах 2ИЛИ-НЕ (2NOR) и входные воздействия

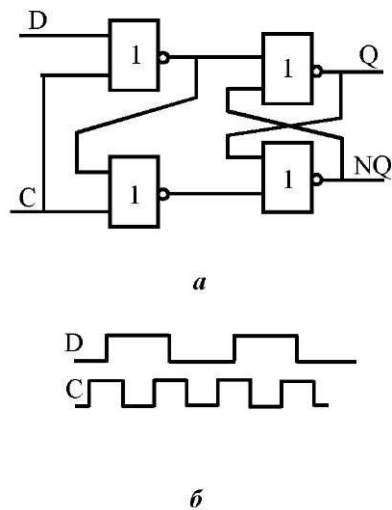


Рисунок 17.2. Синхронизируемый уровнем D-триггер на элементах 2ИЛИ-НЕ (2NOR) и входные воздействия

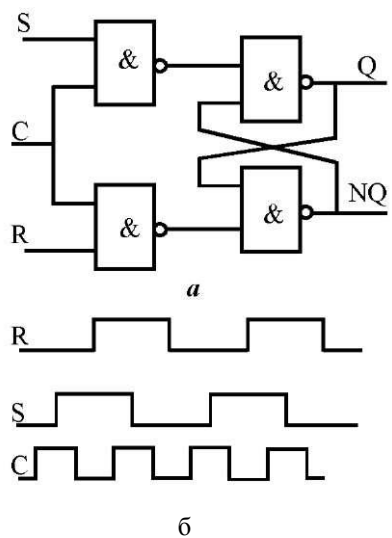
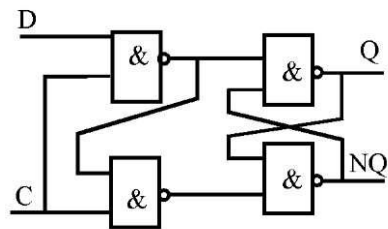
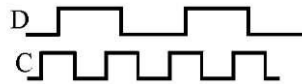


Рисунок 17.3. Синхронизируемый уровнем D-триггер на элементах 2И-НЕ (2NAND) и входные воздействия

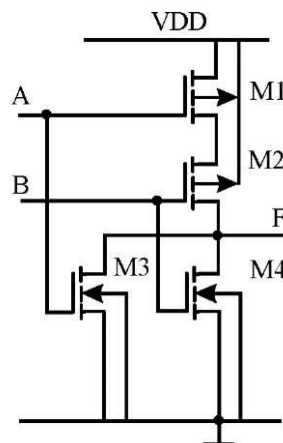


a

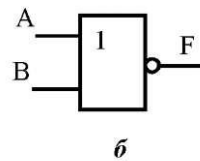


б

Рисунок 17.4. Синхронизируемый уровнем RS-триггер на элементах 2И-НЕ (2NAND) и входные воздействия

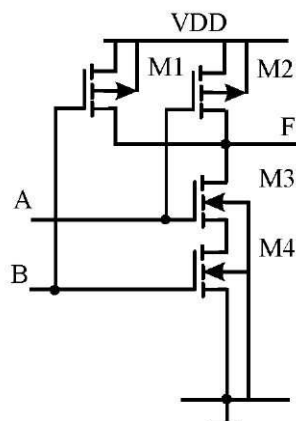


a

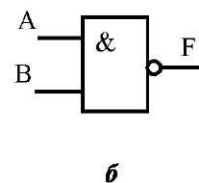


б

Рисунок 17.5. Электрическая схема и символ логического элемента 2ИЛИ-НЕ



a



б

Рисунок 17.6. Электрическая схема и символ логического элемента 2И-НЕ

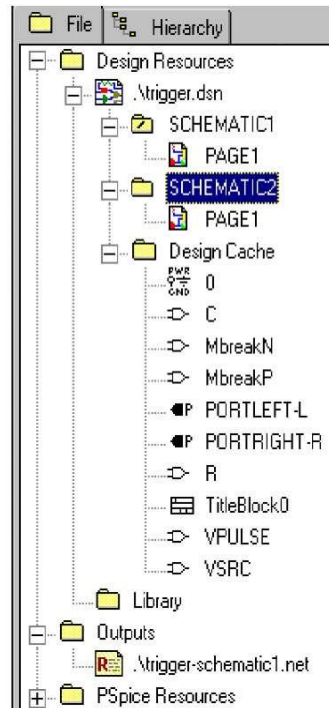


Рисунок 17.7. Пример содержания папки проекта

Методика выполнения лабораторной работы

1. Для выполнения проектных работ открыть **OrCAD → Capture**.
2. После вызова программы открывается основное окно **Capture**.

Создание проекта начинается с введения его названия: **File → New → Project → Analog or Mixed - Signal Circuit** (проектирование аналоговых, цифровых или смешанных схем) → **Create a blank project**. На экране с левой стороны высвечиваются друг за другом слои, которые соответствуют уровням иерархии.

В папке **Design Resources** первым элементом является создаваемый проект, который можно переименовать нажатием правой кнопки мышки **Save As... (trigger.dsn)**. (Задавая необходимые параметры в окне, возможно также создание новой папки, а в ней - новой страницы.) Имена или названия папкам и страницам можно подобрать по усмотрению.

Папка **Design Cache** содержит все используемые в проекте элементы (рис.17.7).

Папка **Library** включает названия всех подсоединенных к проекту библиотек.

В папку **Outputs** при моделировании проекта заносится путь создания **Netlist**.

3. Первый шаг - открывается любая папка с именем **SCHEMATIC2** (или та, которую переименовали), и осуществляется вход в **PAGE1** (или название той страницы, что обозначили самостоятельно). Если страница отсутствует, то необходимо ее создать: щелчком правой кнопки мышки по папке **SCHEMATIC2**

→ New Page...

В открытой странице описывается схема. Сначала на ней необходимо разместить символы логических элементов. С помощью **Place Part** размещаются символы логических элементов, которые содержатся в подключенной к проекту библиотеке. Если требуемые для создания проекта символы не содержатся в директории, то необходимо подключить дополнительные библиотеки.

Для этого в директории **Place Part ^ Add Library** выбираем необходимую нам библиотеку. Библиотеки (как и сами элементы) полностью идентичны тем, что содержатся в **Schematics**, с одним лишь отличием: они имеют расширение *.olb.

Для выбора n-МОП-транзистора и размещения его на экране войти в меню **Place Part** и выбрать строку **MbreakN** (рис.17.8). На экране появится символ n-МОП-транзистора, который необходимо привязать к определенному месту нажатием левой клавиши на мышке. Для размещения p-МОП-транзистора выбрать **MbreakP**. Разместить на экране необходимое количество транзисторов. Для поворота символа транзистора сначала выбрать нужный транзистор, подвести стрелку и нажать левую клавишу на мышке.

Для соединения размещенных элементов войти в меню **Place - Wire**. Соединение элементов выполняется в соответствии с электрической схемой.

Для выбора глобальных источников войти в меню: **Place Ground → Add Library → Source → 0** - для размещения символа "Глобальная земля"; через **Place Hierarchical Port → Capsym** задаются порты питания, входных и выходных сигналов.

Для размещения порта входного сигнала выбирается: **Place Hierarchical Port → Capsym → Portright**.

Для размещения условного обозначения порта источника питания постоянного напряжения выбирается: **Place Ground → Capsym → VCC**. Когда в конце будет прорисовываться общая тестовая схема, также вызвать его в отдельном месте на листе и подключить к нему источник **VSRC** и **GROUND**.

Для размещения порта выходного сигнала выбрать: **Place Hierarchical Port → Capsym → Portleft** (рис.17.9).

Чтобы задать параметры транзисторов (ширины и длины канала), необходимо подвести курсор под элемент и двойным щелчком левой клавиши мышки открыть окно редактора параметров (рис.17.10). В поле **Filter by** выбрать **Orcad-Pspice** и задать параметры транзистора.

К выходам тестовых схем подключить емкости небольшого номинала (~1pF).

4. Следующий шаг - создание символа логического элемента для использования в иерархии описания схем. Первоначально нужно ввести название символа, на которое в дальнейшем будут ссылки: **Place Hierarchical Block**.

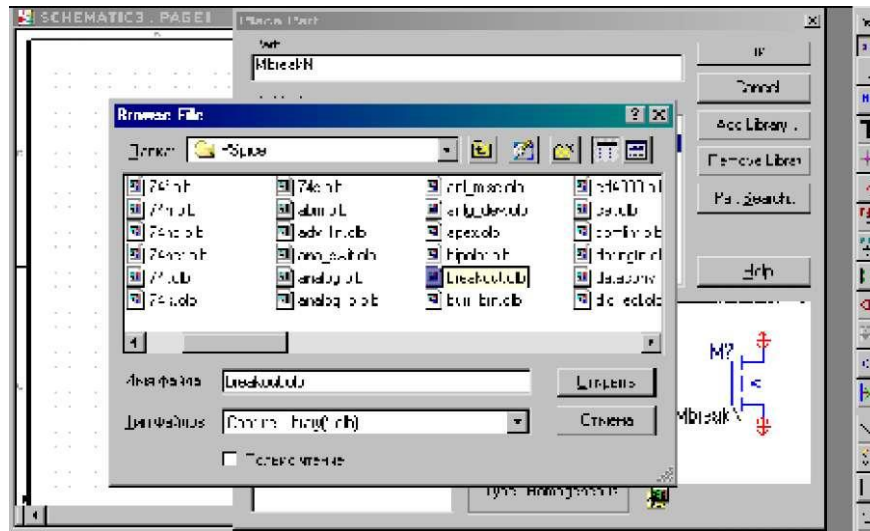


Рисунок 17.8. Выбор транзистора из библиотеки

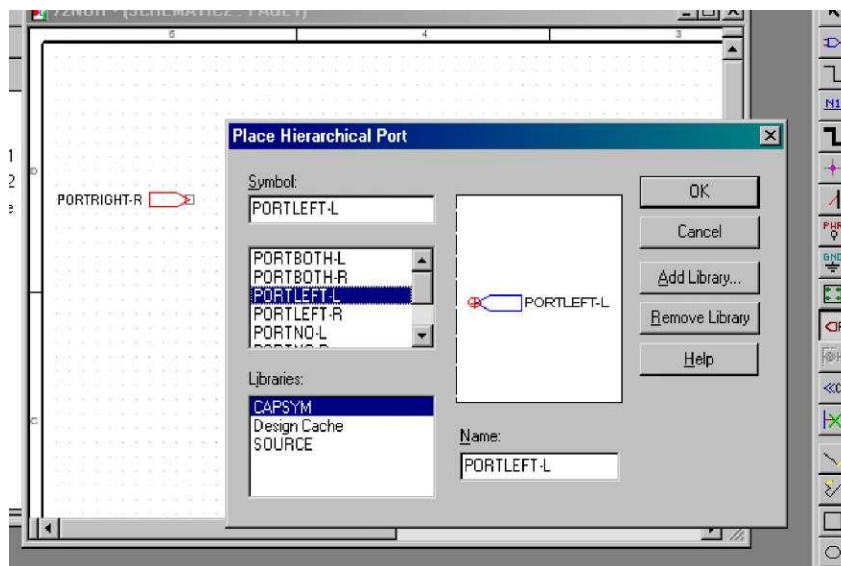


Рисунок 17.9. Размещение символов портов

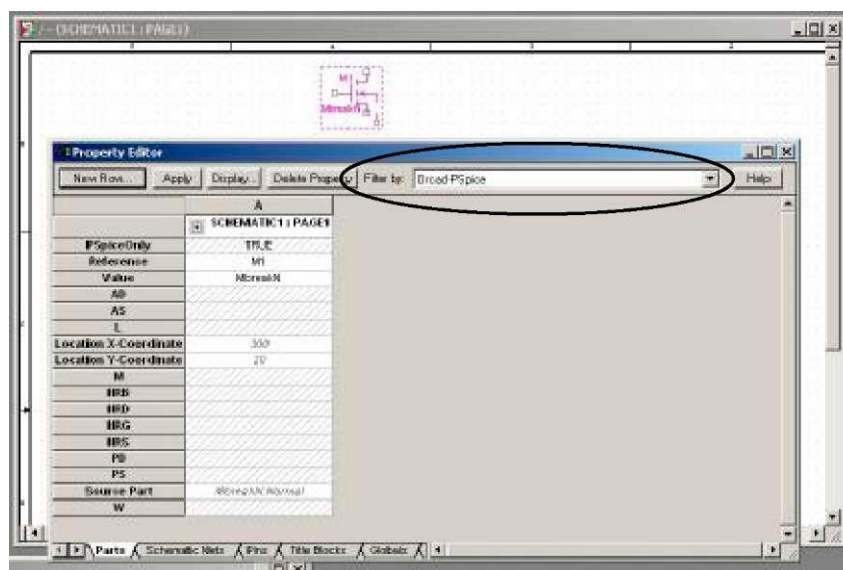


Рисунок 17.10. Окно задания параметров транзистора

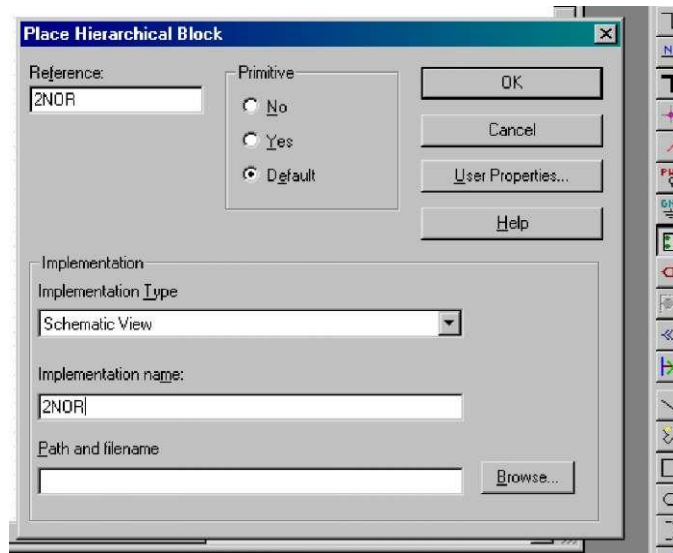


Рисунок 17.11. Создание иерархического блока

В открывшемся дополнительном окне (рис.17.11) задается:

- ^ **Reference** - имя символа;
- ^ **Primitive** (выбирается **default**);
- ^ **Implementation Type** (задается **Schematic View** - представление символа из схемотехнического описания);
- ^ **Implementation name** (указывается имя того подкаталога, на который ссылается символ, или название самого символа, так как он не имеет ссылки);
- ^ **Path and Filename** (указывается путь к имени каталога. Можно ничего не указывать, если создаваемый символ необходимо поместить в том же каталоге, где находится сам проект).

Теперь необходимо для элемента создать условное обозначение символа в виде прямоугольника (рис.17.12). По умолчанию он уже имеет все необходимые внешние выводы (pin). Созданный символ необходимо сохранить.

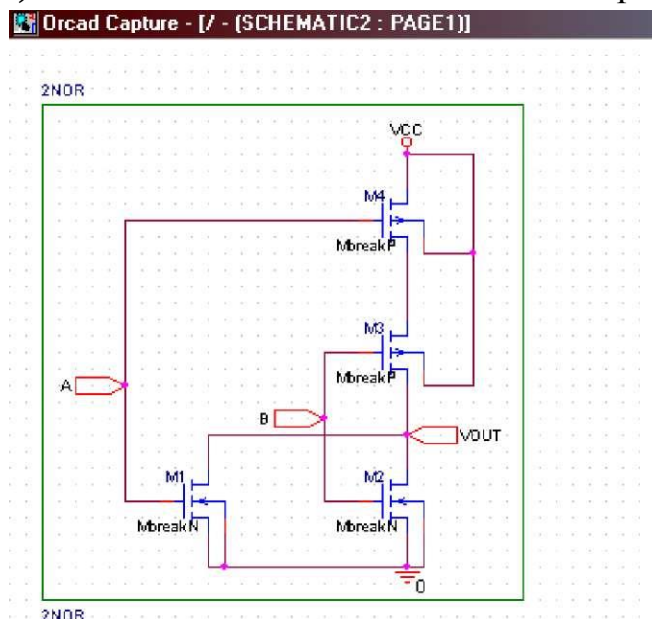


Рисунок 17.12. Символ элемента 2NOR

5. Включение символа в работу всего проекта. Создается новая папка **SCHEMATIC1**, а в ней новая страница (если их до сих пор нет).

Вызывается для размещения в окне схематика верхнего уровня символ, созданный на прошлом этапе:

Place Hierarchical Block → **Reference** (название символа, который был создан) → **Primitive(default)** → **Implementation Type** (задается **Schematic View**) → **Implementation name** (имя того подкаталога, в котором создан символ, - это имя папки, в которой работали на предыдущем этапе). Теперь выделяется прямоугольником область на странице, которая будет отведена под символ (рис.17.13). Прямоугольную область не обязательно делать большой, достаточно, чтобы она выделяла все выводы элемента.

Для использования источников входных воздействий войти в меню **Place Part** → **Add Library** → \ Orcad \ Capture \ ... \ Library \ source.olb - и указать путь для подключения библиотеки источников к проекту. Снова войти в окно **Place Part** → **Source** → **VPULSE** (для задания импульсных входных источников напряжения VC,VNS,VNR,VD,VS,VR); **VSRC** (для задания источника постоянного напряжения).

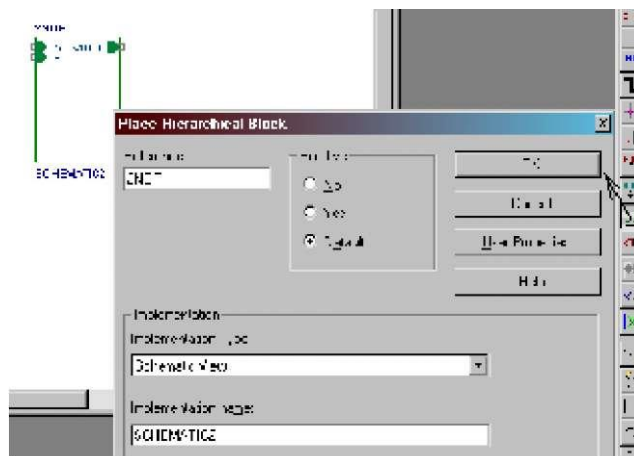


Рисунок 17.13. Размещение созданного символа

Для того чтобы задать параметры источников, выбрать поочередно источники напряжения и двойным щелчком мышки в открывшемся окне параметров задать значения.

Например: нижний уровень напряжения $V1 = 0$;
 верхний уровень напряжения $V2 = 5$;
 задержка $TD = 42n$;
 фронт $TR = 2ns$; спад $TF = 2ns$;
 длительность $PW = 150ns$;
 период $PER = 600ns$.

Необходимо обратить внимание на дерево иерархии. Та папка **SCHEMATIC1**, в которой был использован символ, помечена перечеркнутым значком (корневой каталог - root).

Если значок отсутствует, то выйти на дерево иерархии, сохранить схему и повторить цепочку описанных в п. 5 операций (рис.17.14).

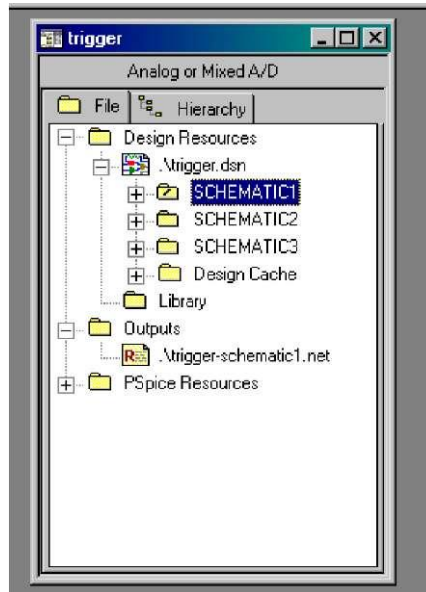


Рисунок 17.14. Библиотека проекта

Если все сделано правильно, то при выборе курсором символа (в корневой папке) и нажатии один раз правой кнопкой мышки открывается дополнительное окно (рис.17.15).

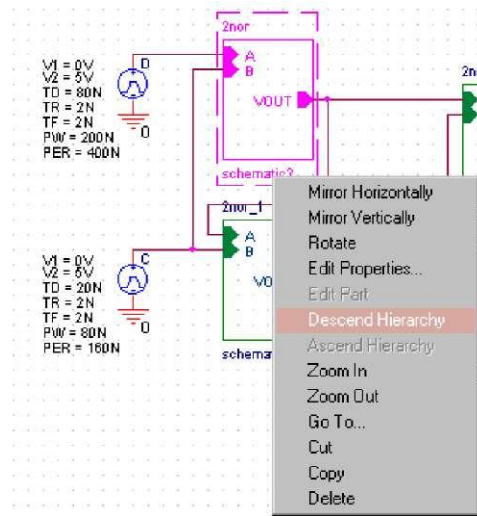


Рисунок 17.15. Переход на нижний уровень по иерархии проекта

Выбрав в нем **Descend Hierarchy**, перейти на одну иерархию ниже к схемотехническому представлению этого символа (рис.17.16).

Если в раскрытом элементе проделать ту же операцию, только выбрать **Ascend Hierarchy**, то осуществится возврат к схеме верхнего уровня.

6. После описания в графическом редакторе полностью всей схемы необходимо ее сохранить. Для этого войти в **New Simulation** → **Name:** указать имя проекта (рис.17) ^ и сразу можно подключить библиотеку транзисторов. Для этого перейти в **Edit Simulation Settings** → **Libraries** → **Browse** → **D:/Orcad/Capture/Library/PSpice/nom.lib** (стандартные библиотеки) (рис.17.18).

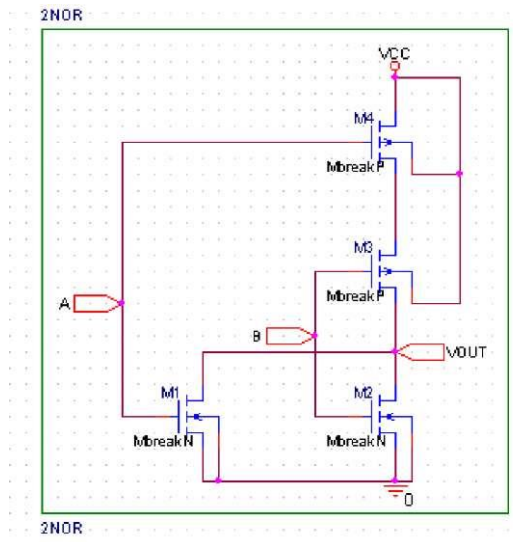


Рисунок 17.16. Раскрытие элемента проекта до нижнего уровня иерархии

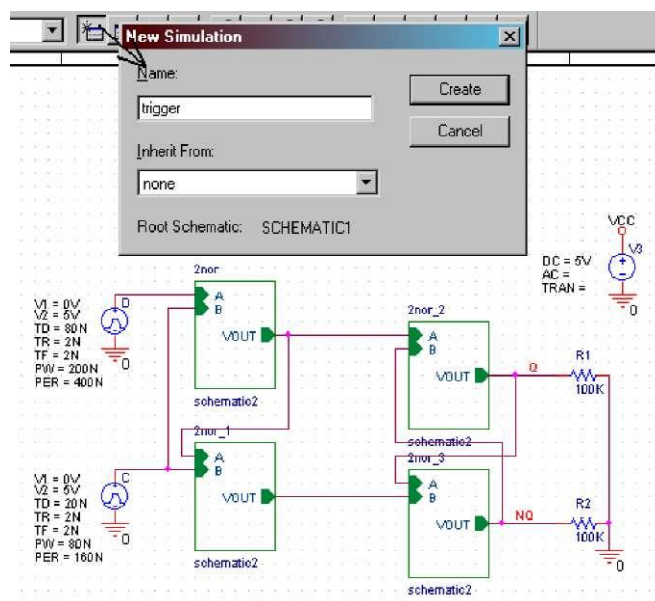


Рисунок 17.17. Сохранение проекта

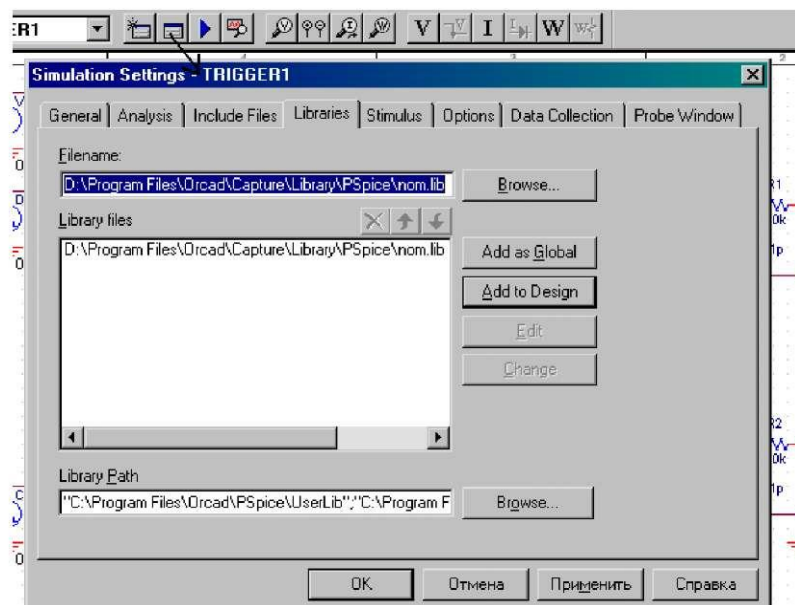


Рисунок 17.18. Подключение библиотеки транзисторов

После этого необходимо сохранить проект и можно производить моделирование схемы (F11). Моделирование начинается с трансляции проекта и создания списка соединений (Netlist). В результате работы программы на экране открывается окно **Session Log**, в котором автоматически отображается процедура генерации списка соединений и ошибки (рис.17.19).

После успешного исправления ошибок будет выполнено моделирование переходных характеристик.

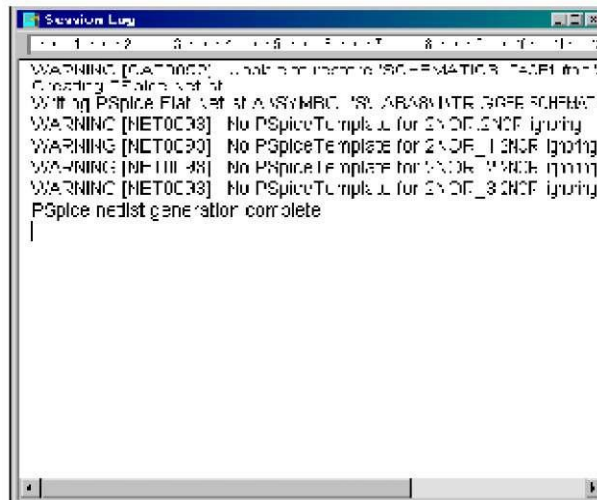


Рисунок 17.19. Окно выполнения моделирования или генерации Netlist

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) Распечатки всех электрических схем проекта (рис.17.16, рис.17.20);
- 2) Результаты моделирования переходной характеристики цифровой схемы (рис.17.21).
- 3) Заполненную по результатам моделирования форму табл.17.2 динамических измеряемых параметров триггера.

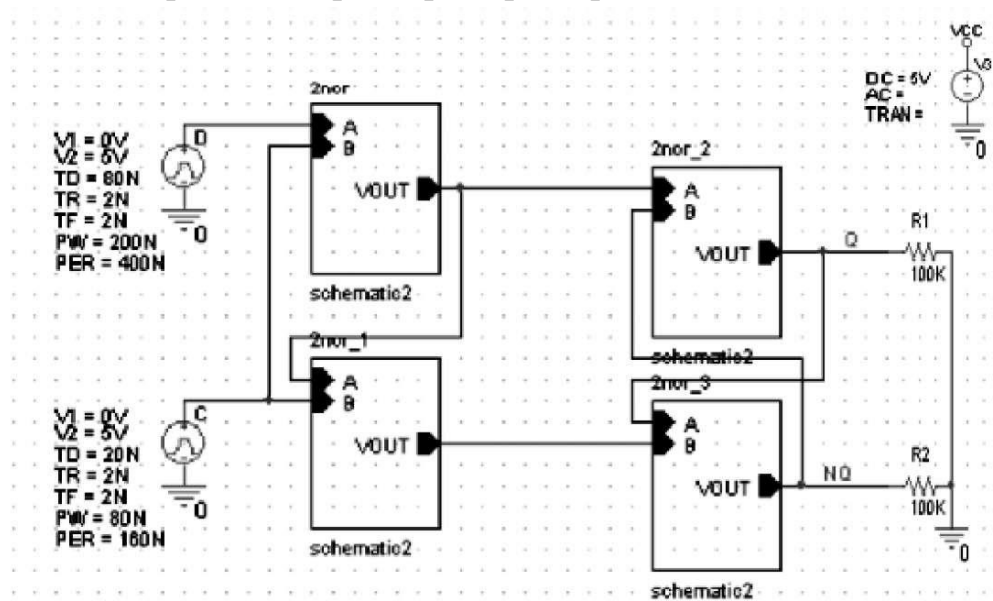


Рисунок 17.20. Верхний уровень схемы моделирования проекта

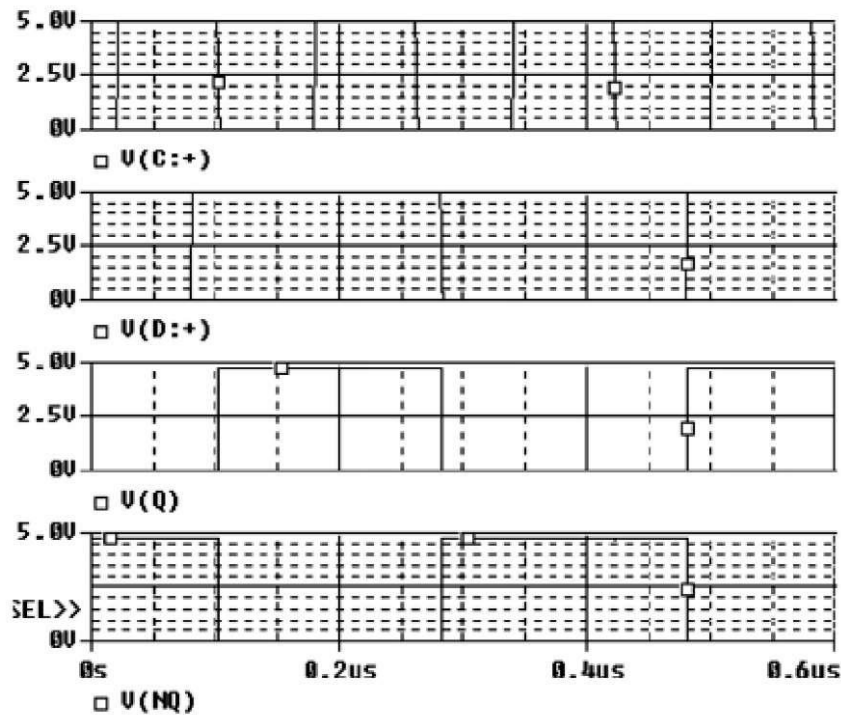


Рисунок 17.21. Результаты моделирования переходной характеристики

Контрольные вопросы

1. Как в графическом редакторе **Capture** создать иерархическую структуру проекта?
2. Создайте символ для синхронизируемого триггера. Составьте схему моделирования, как схему верхнего уровня и выполните моделирование.
3. Какие библиотеки должны быть подключены к проекту?
4. Как определяются динамические измеряемые параметры?

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.

6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Практическая работа № 18. Функциональное моделирование схем

Цель работы: моделирование схем, представленных функциональными блоками на зависимых источниках сигналов.

Задачи: приобрести практические навыки моделирования схем, представленных функциональными блоками на зависимых источниках сигналов..

Оборудование и материалы: ПК с установленной программной средой OrCAD 9.0 (или выше).

Указания по технике безопасности соответствуют указаниям, утвержденным для компьютерного класса, в котором проводятся занятия.

Теоретические сведения

Моделирование сложных нелинейных устройств, как правило, сопряжена с проблемами сходимости вычислений и длительностью расчета, связанного с достижением необходимой точности. В связи с возрастающей сложностью этих устройств в последнее время все чаще применяется функциональное моделирование, которое заключается в описании устройства на уровне функциональных блоков.

Для описания работы функционального блока используются зависимые источники сигналов. Зависимые источники напряжения и тока могут быть как линейными, так и нелинейными.

1. Линейный источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН), задается в виде:

$E_{xxx} < + \text{узел} > < - \text{узел} > < + \text{управляющий узел} > < - \text{управляющий узел} > < \text{коэффициент передачи} >$

Линейные управляемые источники описываются зависимостями $v = e \cdot v$, $v = h \cdot i$, где e , h - коэффициенты передачи.

2. При описании нелинейных источников используется полиномиальная функция POLY:

$$y = P_0 + P_1 x_1 + \dots + P_n x_n + P_{n+1} x_1^2 + P_{n+2} x_1 x_2 + \dots$$

Здесь $x_1, \dots, x_n$ - управляющие переменные. Они могут быть токами или разностями потенциалов. Все коэффициенты полинома P вводить не обязательно, однако вводиться они должны подряд без пропусков. При одномерном управлении ($n = 1$) допускается следующая форма полинома:

$$y = P_0 + P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots$$

При $n = 2$ полином приобретает вид:

$$y = P_0 + P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_1^2 + P_4x_1x_2 + P_5x_2^2$$

Поэтому нелинейный ИНУН имеет вид:

**Еxxx < + узел > < - узел > POLY(< n >) < + управляющий узел >
< - управляющий узел > + < коэффициент полинома >**

Например, линейный источник $ELIN = 2.5V_{10;11}$ описывается предложением:

ELIN 1 2 10 11 2.5

Нелинейный источник $ENLIN = 0 + 13.6V_{3,0} + 0.2V_{4,6} + 0.05V_{3,0}^2$ (рис.18.1) -

предложением:

ENLIN 50 51 POLY(2) (3,0) (4,6) 0.0 13.6 0.2 0.005

Задание

В соответствии с вариантом заданий:

- 1) Выполнить функциональное моделирование и получить переходную характеристику усилителя, включенного с обратной связью;
- 2) Выполнить функциональное моделирование и получить амплитудно-частотную характеристику RC-фильтра.

Таблица 18.1

Варианты заданий по подгруппам

Номер варианта	Коэффициент обратной связи (рис.18.2)	Передаточная функция фильтра (рис.18.4)
1	X	$1/(1+.01*s)$
2	X^2	$1/(1+.01*s+.002*s^2)$
3	X^3	$2/(1+.01*s)$
4	X	$2/(1+.01*s+.002*s^2)$
5	X^2	$3/(1+.01*s)$
6	X^3	$3/(1+.01*s+.002*s^2)$
7	X	$4/(1+.01*s)$
8	X^2	$4/(1+.01*s+.002*s^2)$
9	X^3	$1/(1+.02*s)$
10	X	$1/(1+.02*s+.004*s^2)$
11	X^2	$2/(1+.02*s)$
12	X^3	$2/(1+.02*s+.004*s^2)$
13	X	$3/(1+.02*s)$
14	X^2	$3/(1+.02*s+.004*s^2)$

Продолжение табл. 18.1

Номер варианта	Коэффициент обратной связи (рис.18.2)	Передаточная функция фильтра (рис.18.4)
15	X^3	$4/(1+.02*s)$
16	X	$4/(1+.02*s+ .004*s^2)$
17	X^2	$1/(1+.03*s)$
18	X^3	$1/(1+.03*s+ .006*s^2)$
19	X	$2/(1+.03*s)$
20	X^2	$2/(1+.03*s+ .006*s^2)$
21	X^3	$3/(1+.03*s)$
22	X	$3/(1+.03*s+ .006*s^2)$
23	X^2	$4/(1+.03*s)$
24	X^3	$4/(1+.03*s+ .006*s^2)$

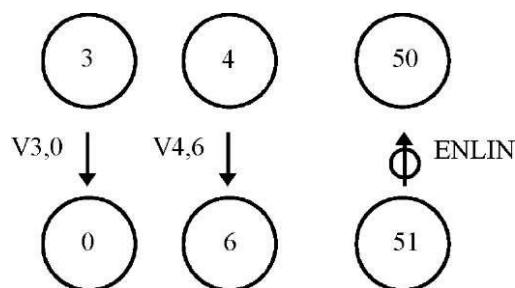


Рисунок 18.1. Описание нелинейного источника

Методика выполнения лабораторной работы

1. Рассмотрим в качестве примера усилитель постоянного тока с квадратором в цепи обратной связи, функциональная схема которого показана на рис.18.2. При бесконечно большом коэффициенте передачи усилителя $K \rightarrow \infty$ выходное напряжение $V_{OUT} = \sqrt{V_{IN}}$.

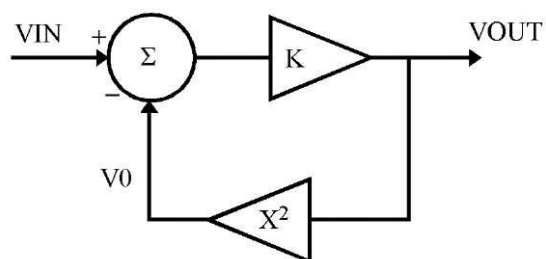


Рисунок 18.2. Схема включения усилителя с квадратором в цепи обратной связи

Составим схему замещения этого усилителя, используя компоненты, разрешенные в программе PSpice (рис.18.3). С помощью нелинейного источника E1 осуществляется вычитание напряжений V_{IN} , V_0 и усиление разностного сигнала в K раз. Выходное напряжение V_{OUT} возводится в квадрат с помощью нелинейного источника E2. Каждый источник напряжения замкнут на большое сопротивление, чтобы в схеме замещения не было разомкнутых контуров.

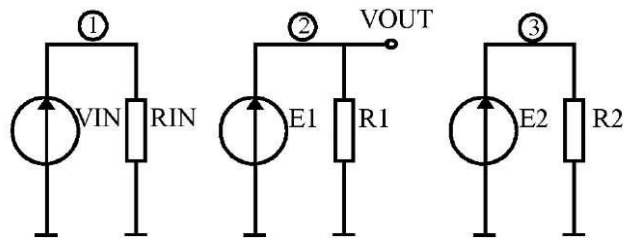


Рисунок 18.3. Функциональная схема усилителя с квадратором в цепи обратной связи

Для этого примера описание исходных данных для моделирования переходной характеристики с помощью программы PSpice примет вид:

```
amplifier
VIN 1 0 pulse(0 1 0 .25 .25 .5 1)
RIN 1 0 1MEG
E1 2 0 POLY(2) (1,0) (3,0) 0 1E6 -1E6
R1 2 0 1MEG
R2 3 0 1MEG
E2 3 0 POLY(2) (2,0) (2,0) 0 0 0 1
.TRAN .01 1.6
.PROBE V(E1) V(E2) V(VIN)
.END
```

2. Линейные функциональные блоки моделируются в терминах соотношения между выходными и входными переменными в частотной области. По директиве .AC определяются значения комплексного коэффициента передачи блока на каждой частоте. При расчете рабочей точки по постоянному току и по директиве .DC берется значение коэффициента передачи на нулевой частоте (поэтому изображения по Лапласу всех узловых потенциалов не должны иметь составляющих типа $1/s$). По директиве .TRAN выходная переменная блока вычисляется как интеграл Дюамеля (свертка входного воздействия с импульсной характеристикой блока), что значительно увеличивает длительность расчетов.

Передаточная функция управляемого источника задается с помощью преобразования Лапласа:

Exxx < + узел > < - узел > LAPLACE{< выражение>} = {< передаточная функция в s - области>}

В качестве примера рассмотрим передаточную характеристику пассивного RC-фильтра. Схема фильтра и схема, преобразованная для функционального моделирования в программе PSpice, приведены на рис.18.4, рис.18.5.

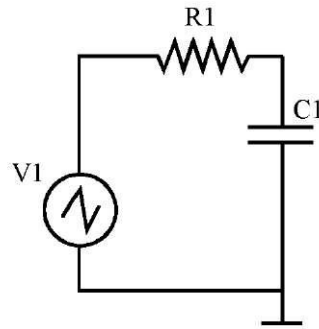


Рисунок 18.4. Схема моделирования RC-фильтра

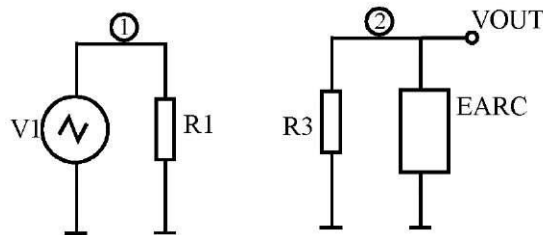


Рисунок 18.5. Схема функционального моделирования RC-фильтра

В описании фильтра используется управляемый источник преобразования Лапласа EARC. Программа в PSpice будет выглядеть следующим образом:

RC-filter

V1 1 0 AC 1

.AC DEC 10 10 1G

R2 1 0 1MEG

R3 2 0 1MEG

EARC 2 0 LAPLACE {V(1)}={5/(1+.01*s)}

.PROBE

.END

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- 1) Распечатку электрических схем моделирования;
- 2) Диаграммы моделирования.

Контрольные вопросы

1. Как описываются линейные зависимые источники?
2. Как описываются нелинейные зависимые источники?
3. Как составить схему для функционального моделирования усилителя с обратной связью?
4. Как описываются нелинейные зависимые источники преобразования Лапласа?
5. Как составить схему для функционального моделирования фильтра?

6. Какой передаточной функцией описываются фильтры первого порядка?
7. Какой передаточной функцией описываются фильтры второго порядка?

Рекомендуемая литература

1. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.-336с.: ил.
2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2 / В. Д. Разевиг. – М.: СОЛОН-Р, 2003. – 528 с.
3. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для вузов / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин и др.; под ред. В. Н. Ильина. – М.: Радио и Связь, 1987. – 386 с.
4. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
5. Болотовский Ю. И. OrCAD 9.x. OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г. И. Таназлы. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 208 с.
6. Златин И. Л. Схемотехническое и системное проектирование радиоэлектронных устройств в OrCAD 10.5 / И. Л. Златин. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2008. – 352 с.
7. Петраков О. М. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов / О. М. Петраков. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 208 с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПВЭМ: в 4-х выпусках / В. Д. Разевиг – М.: Радио и Связь, 1992.

Список основной литературы

1. Афонин В.В. Моделирование систем / Афонин В.В., Федосин С.А.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 269 с. [Электронный ресурс]
2. Сильвашко, С.А. Программные средства компьютерного моделирования элементов и устройств электроники : учебное пособие / С.А. Сильвашко, С.С. Фролов - Оренбург : ОГУ, 2014. - 170 с. : ил., схем. - Библиогр.: с. 162-163 [Электронный ресурс].
3. Болотовский Ю.И. OrCAD. Моделирование: учебное пособие/ Болотовский Ю.И., Таназлы Г.И.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 200 с. [Электронный ресурс]

Список дополнительной литературы

1. Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры: учебное пособие/ Поляков А.К.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 314 с.— [Электронный ресурс]
2. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров / Дьяконов В.П.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 577 с. [Электронный ресурс]
3. Перельройзен Е.З. Проектируем на VHDL [Электронный ресурс]/ Перельройзен Е.З.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008.— 448 с.— [Электронный ресурс]
4. Бибило П.Н. Синтез логических схем с использованием языка VHDL [Электронный ресурс]/ Бибило П.Н.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 384 с.— [Электронный ресурс]
5. А. А. Самарский, А. П. Михайлов Математическое моделирование. Москва: Физматлит, 2001. 320 с.
6. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
7. Плис А. И., Сливина Н.А. MathCAD: математический практикум для экономистов и инженеров. М.: Финансы и статистика, 1999. – 656 с.

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Составитель: Дюдюн Дмитрий Евгеньевич

Редактор: _____

Формат _____	Подписано в печать _____	Уч.-изд. л. – ____.
Бумага _____	Усл. п. л. – ____	Заказ _____
Печать _____	Тираж _____ экз.	

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издательство Северо-Кавказского федерального университета
Отпечатано в типографии СКФУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Основы моделирования электронных устройств»
для студентов направления подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь 2026 г.

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского федераль-
ного университета

УДК
ББК

Рецензент: доктор химических наук Валюхов Д. П.

Дюдюн Д.Е. Основы моделирования электронных устройств: методические указания для студентов по организации самостоятельной работы. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 20___. – 24 с.

Настоящие методические рекомендации предназначены для организации самостоятельной работы по дисциплине «Основы моделирования электронных устройств» для студентов направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. В методических рекомендациях приведён план график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, представлены вопросы для обсуждения, а также задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями и список основной литературы, рекомендуемой для самостоятельной работы. Представленный список дополнительной литературы, позволяющий студентам более глубоко познакомиться с изучаемым предметом.

Методические рекомендации к самостоятельной работе студентов составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, рабочими учебными планами и программами дисциплины «Основы моделирования электронных устройств».

УДК
ББК

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ».....	5
1.1 Цель и задачи самостоятельной работы студентов	5
1.2 Тематика выполнения СРС, указания по форме контроля	9
2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ СРС	11
3 КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ.....	11
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА	13
4.1 Работа с литературой	13
4.2 Критерии оценки для проверки уровня обученности в рамках текущего контроля.....	20
6 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	22
6.1 Основная литература.....	22
6.2. Дополнительная литература:.....	23

Введение

Современные стандарты подготовки специалистов предусматривают значительный объем внеаудиторной работы. Освоение программы курса предполагает получение как теоретических знаний по проблемам моделирования, так и формирование навыков практической работы. Поэтому самостоятельная работа в рамках курса ориентирована как на теоретический, так и на практический аспект.

Самостоятельная работа студентов – это выполнение теоретических и практических заданий студентами по усвоению изучаемой дисциплины «Основы моделирования электронных устройств».

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ»

1.1 Цель и задачи самостоятельной работы студентов

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим лабораторным и практическим занятиям, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению специальности;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации;
- овладение технологическим учебным инструментом.

Задача самостоятельной работы студентов – систематическое изучение дисциплин в течение семестра, закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовка к предстоящим занятиям, а также формирование культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний и умений, и, в том числе, формирование компетенций.

Основная тенденция инноваций в области образования определяется как переход от «научения к изучению»

Именно систематическое изучение учебной дисциплины позволяет студенту достигнуть уровня требований федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) к профессиональной подготовленности, которые сформулированы следующим образом: знать, уметь, владеть.

В современной науке существует несколько классификаций самостоятельной работы студентов. Один из вариантов такой классификации представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Виды самостоятельной работы студентов

Виды	Содержание
Репродуктивная	Повторение учебного материала, самостоятельный просмотр, прочтение, конспектирование учебной литературы; прослушивание, запоминание, заучивание и пересказ магнитофонных записей лекций, Интернет-ресурсы и др.
Познавательно-поисковая	Написание курсовых, контрольных работ и рефератов. Разработка сообщений, эссе, докладов, докладов с презентациями. Подготовка выступлений на практических и семинарских занятиях, проработка литературы по дисциплинарным проблемам, и др.
Творческая	Подготовка дипломной работы (дипломного проекта), научных статей, рефератов, участие в научно-исследовательской работе, в студенческих и научно-практических конференциях.

Студенты в ходе выполнения самостоятельной работы должны руководствоваться ориентировочной основой деятельности на каждом этапе:

- 1 этап – определить цели самостоятельной работы;
- 2 этап – конкретизировать познавательные (практические или проблемные) задачи;
- 3 этап – оценить собственную готовность к самостоятельной работе по решению познавательных задач;
- 4 этап – выбрать оптимальный способ действий (технологии, методы и средства), ведущий к достижению поставленной цели через решение конкретных задач;
- 5 этап – спланировать (самостоятельно или с помощью преподавателя) программу самостоятельной работы;
- 6 этап – реализовать программу самостоятельной работы.

Планирование и контроль преподавателем самостоятельной работы студентов необходим для успешного ее выполнения. Преподаватель заранее планирует систему самостоятельной работы, учитывает все ее цели, формы, отбирает учеб-

ную и научную информацию и методические средства коммуникаций, продумывает свое участие и роль студента в этом процессе.

Вопросы для самостоятельной работы студентов, указанные в рабочей программе дисциплины, предлагаются преподавателями в начале изучения дисциплины. Студенты имеют право выбирать дополнительно интересующие их темы для самостоятельной работы.

Содержание деятельности преподавателя и студента при выполнении самостоятельной работы представлено в табл. 2.

Таблица 2.

Содержание деятельности при выполнении самостоятельной работы

Основные характеристики	Деятельность преподавателя	Деятельность студентов
Цель выполнения СР	• объяснить смысл и цель самостоятельной работы; • дать подробный инструктаж о требованиях, предъявляемых к самостоятельной работе и методах ее выполнения; • продемонстрировать образец самостоятельной работы	• понять и принять цель самостоятельной работы как лично значимую; • познакомиться с требованиями и образцами самостоятельной работы
Мотивация	• раскрыть теоретическую и практическую значимость выполнения самостоятельной работы, • сформировать познавательную потребность студента и готовность к выполнению самостоятельной работы; • мотивировать студента на достижение цели	• сформировать у себя познавательную потребность в выполнении самостоятельной работы; • сформировать целевую установку и принять решение о выполнении самостоятельной работы
Управление	• осуществлять управление через воздействие на каждом этапе процесса выполнения самостоятельной работы; • дать оптимальные технологии выполнения самостоятельной работы	самому осуществлять управление самостоятельной работой (проектировать, планировать, рационально распределять время и т.д.) на основе предложенных технологий

Продолжение таблицы 2

Основные характеристики	Деятельность преподавателя	Деятельность студентов
Контроль и коррекция выполнения	• осуществлять входной контроль, предполагающий выявление начального уровня готовности студента к выполнению самостоятельной работы; • намечать дальнейшие пути выполнения самостоятельной работы; • осуществлять итоговый контроль конечного результата выполнения самостоятельной работы	• осуществлять текущий и итоговый операционный самоконтроль за ходом выполнения самостоятельной работы; • самоанализ и исправление допущенных ошибок и внесение корректив в работу; • ведение поиска оптимальных способов выполнения самостоятельной работы; • осуществлять рефлекссию к собственной деятельности
Оценка	• давать оценку самостоятельной работе на основе сличения результата с образцом; • давать методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы выявлять затруднения и типичные ошибки; подчеркивать положительные и отрицательные стороны; • устанавливать уровень и определять уровень продвижения студента и тем самым сформировать у него мотивацию достижения успеха в учебной деятельности	дать оценку собственной работе, своим познавательным возможностям и способностям сопоставляя достигнутый результат с целью самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает те разделы курса, которые не получили достаточного освещения на лекциях по причине ограниченности лекционного времени и большого объема изучаемого материала.

Методическое обеспечение самостоятельной работы состоит из:

- 1) Определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- 2) Подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- 3) Поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;

4) Определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;

5) Организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у обучающихся затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

1.2 Тематика выполнения СРС, указания по форме контроля

Тематика СРС соответствует рабочей программе дисциплины «Основы компьютерного моделирования» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», профиль «Промышленная электроника», «Микроэлектроника и твердотельная электроника». Темы разделов дисциплины и виды самостоятельной работы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Темы разделов дисциплины и виды самостоятельной работы

№	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание; вид самостоятельной работы	Форма контроля	Зачетные единицы (часы)
4 семестр			
	Подготовка к лекционным занятиям	Выборочный опрос	0,148 (4)
	Подготовка к лабораторным занятиям	Опрос в рамках допуска к работе	0,5 (13,5)
2	Моделирование в системе MathCad		0,037 (1)
	Самостоятельное изучение темы «Программирование в MathCad».	Выборочный опрос	0,037 (1)
3	Язык моделирования радиоэлектронных компонентов PSpice		0,259 (7)
	Самостоятельное дополнительное изучение темы «Модели пассивных компонентов».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельное дополнительное изучение темы «Модели биполярных транзисторов».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельное изучение дополнительное темы «Модели МОП-транзисторов».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельное изучение дополнительное темы «Макромодели».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельное дополнительное изучение темы «Источники сигналов и питания».	Выборочный опрос	0,037 (1)

	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Директивы управления заданием».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Моделирование цифро-аналоговых устройств в систем PSpice».	Выборочный опрос	0,037 (1)
4	Язык описания аппаратуры VHDL		0,148 (4)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Типы данных языка VHDL».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Синтаксис языка VHDL».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Описание VHDL-объекта».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной изучение дополнительное темы «Описание цифровых микросхем на языке VHDL».	Выборочный опрос	0,037 (1)
5	САПР OrCAD		0,185 (5)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Моделирование цифровых и цифро-аналоговых схем в ANALOG OR MIXED-SIGNAL CIRCUIT.».	Выборочный опрос	0,074 (2)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Моделирование цифровых схем в проекте PC BOARD и PROGRAMMABLE LOG-IC».	Выборочный опрос	0,074 (2)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Проектирование печатных плат в модуле LAYOUT PLUS».	Выборочный опрос	0,037 (1)
6	Среда проектирования MultiSim.		0,222 (6)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Интерфейс программы MultiSim».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Виртуальные приборы MultiSim».	Выборочный опрос	0,037 (1)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Виртуальные компоненты MultiSim».	Выборочный опрос	0,074 (2)
	Самостоятельной дополнительное изучение темы «Виды анализа в MultiSim».	Выборочный опрос	0,074 (2)
	Итого		1,5 (40,5)

2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ СРС

Подготовка к лекциям и практическим занятиям осуществляется непосредственно перед каждым занятием. План-график выполнения самостоятельной работы приведен в таблице 4.

Таблица 4 - План-график выполнения самостоятельной работы

Код реализуемой компетенции	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объём часов
4 семестр				
ОК-7; ОПК-6, ОПК-7; ОПК-9; ПК-1; ПК-2	Подготовка к лекционным занятиям	конспект	собеседование	4
ОК-7; ОПК-6, ОПК-7; ОПК-9; ПК-1; ПК-2	Подготовка к лабораторным занятиям	конспект	собеседование	13,5
ОК-7; ОПК-6, ОПК-7; ОПК-9; ПК-1; ПК-2	Самостоятельное изучение источников и литературы по разделу №№1-6	конспект	собеседование	23
Итого:				40,5

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля. Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных занятиях, а также защиту контрольной работы. Рейтинговая оценка знаний студентов в рамках текущего контроля приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Рейтинговая оценка знаний студентов.

№ п/п	Тип занятия (контрольной точки)	Кол-во баллов
4 семестр		
1.	Лабораторная работа №5.	11
2.	Лабораторная работа №9.	11
3.	Лабораторная работа №13.	11
4.	Лабораторная работа №15.	11
5.	Лабораторная работа №17.	11
	Итого за 4 семестр	55

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Опрос по темам, изученным самостоятельно, может проходить в интерактивной форме в виде дискуссий или презентаций.

Выполнение заданий ведется в тетрадях для СРС или в электронном виде. Второй вид может быть использован для конспектирования.

Подготовка к практическим занятиям представляет собой внеаудиторную самостоятельную работу студентов и заключается в чтении:

- конспекта соответствующей лекции (если она читалась по данной теме);
- соответствующего раздела учебника и первоисточников (основная и дополнительная литература, интернет-ресурсы).

4.1 Работа с литературой

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки является работа с литературой ко всем видам занятий: семинарским, практическим, при подготовке к зачетам, экзаменам, тестированию, участию в научных конференциях.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно заучить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее краткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым. Их отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объеме.

Преимущество плана состоит в следующем.

Во-первых, план позволяет наилучшим образом уяснить логику мысли автора, упрощает понимание главных моментов произведения.

Во-вторых, план позволяет быстро и глубоко проникнуть в сущность построения произведения и, следовательно, гораздо легче ориентироваться в его содержании.

В-третьих, план позволяет – при последующем возвращении к нему – быстрее обычного вспомнить прочитанное.

В-четвертых, с помощью плана гораздо удобнее отыскивать в источнике нужные места, факты, цитаты и т. д.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точностью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и даталогические сведения. В отдельных случаях — когда это оправданно с точки зрения продолжения работы

над текстом – вполне допустимо заменять цитирование изложением, близким к дословному.

Тезисы – сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме.

Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем. *Во-первых*, тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала. *Во-вторых*, в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями. *В-третьих*, чаще всего тезисы записываются близко к оригинальному тексту, т. е. без использования прямого цитирования.

Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности, а также для подготовки выступлений на защите, докладов и пр.

Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление. К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация.

Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста.

Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов. Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов. Но,

как и в случае с аннотацией, резюме излагается своими словами – выдержки из оригинального текста в нем практически не встречаются.

Конспект – сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему.

Для работы над конспектом следует:

- определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста;
- в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись наиболее существенного содержания оригинального текста — в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу;
- выполнить анализ записей и на его основе – дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, "фактурой", заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках);
- завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Обзор – краткое точное изложение сущности какого-либо вопроса, темы на основе одной или нескольких книг, монографий или других первоисточников. Обзор должен содержать основные фактические сведения и выводы по рассматриваемому вопросу.

Обзор выполняет следующие функции:

- информативная;
- поисковая;

- справочная;
- сигнальная;
- индикативная;
- коммуникативная.

Степень выполнения этих функций зависит от содержательных и формальных качеств обзора, а также от того, кто и для каких целей их использует. Язык обзора должен отличаться ясностью, точностью, краткостью и простотой. Содержание следует излагать объективно от имени автора.

При оценке обзора учитывается не только качество реферирования прочитанной литературы, но и аргументированное изложение собственных мыслей студента по рассматриваемому вопросу. Результат работы студента оценивается преподавателем по бальной системе. Также допускается оценивать работы, удовлетворяющие или не удовлетворяющие предъявляемым требованиям, «зачтено» или «не зачтено» соответственно.

Письменный обзор должен содержать следующие структурные элементы: титульный лист, заполненный по единой форме; оглавление с указанием всех разделов обзора и номерами страниц; введение объемом не более 1,5-2 печатные страницы; основная часть, которая содержит одну или несколько глав, состоящих из 2-3 параграфов (пунктов, разделов); заключение, которое содержит главные выводы основной части, и в котором отмечается выполнение задач и достижение цели, сформулированных во введении; приложения, включающие график и таблицы (если таковые имеются); библиографическое описание использованных источников оформленных по ГОСТ 7.82–2001, ГОСТ 7.1-2003. В тексте обзора обязательны ссылки на первоисточники.

Печатный вариант работы выполняется на белой бумаге формата А4 (210x297 мм). Текст работы излагается на одной стороне листа. Все линии, цифры, буквы и знаки работы должны быть черного цвета.

Текст обзора, рисунки, формулы, таблицы, а также номера страниц не должны выходить за пределы двухсантиметровой рамки листа А4. Номера страниц должны быть проставлены внизу по центру. При использовании текстового редактора Word, для выполнения этих условий необходимы следующие настройки:

- размер бумаги А4;
- поля слева, сверху, справа по 2 см, нижнее поле 2,5 см, расстояние от нижнего края страницы до нижнего колонтитула 2 см;
- номер страницы – внизу по центру.

Основной текст обзора быть должен быть набран шрифтом Times New Roman, размер 14 пт, начертание обычное, через полуторный интервал, выравнивание по ширине страницы. Для оформления таблиц и подписей к рисункам допускается Times New Roman, размер 12 пт.

Название каждой главы начинается с новой страницы, объем главы не может быть меньше 5 страниц. Заголовки и подзаголовки должны быть выделены и отличаться от основного текста (шрифтом, жирностью, курсивом и пр.). Подзаголовки следует отделять от основного текста сверху двумя строками, снизу – одной. В тексте должны отсутствовать сокращения, кроме общепринятых ГОСТ 7.88–2003, общепринятые или необходимые сокращения при первоначальном употреблении должны быть расшифрованы. Каждый рисунок, график или таблица в письменном обзоре должны быть пронумерованы и иметь заголовки или подпись. При наличии в обзоре ссылок на использованные научные или нормативные источники, ссылки должны быть оформлены в соответствии с установленной формой по ГОСТ 7.32–2001.

Письменный обзор должен быть переплетен в обложку или помещен в папку–скоросшиватель (картонную или пластиковую).

Письменный обзор должен быть предоставлен в установленный преподавателем срок. В случае несвоевременного представления работы, Письменный обзор не проверяется преподавателем и не зачитывается как выполненный.

В процессе работы над обзором можно выделить 4 этапа:

- вводный – выбор темы, работа над планом и введением;
- основной – работа над содержанием и заключением обзора;
- заключительный – оформление обзора;
- защита обзора (на практическом занятии, экзамене, студенческой конференции и т.д.)

Работа над обзором начинается с выбора темы исследования. Заинтересованность автора в проблеме определяет качество проводимого исследования и соответственно успешность его защиты. Выбирая круг вопросов своей работы, не стоит спешить воспользоваться списком тем, предложенным преподавателем. Надо попытаться сформулировать проблему своего исследования самостоятельно. При определении темы обзора нужно учитывать и его информационную обеспеченность. С этой целью, во-первых, можно обратиться к библиотечным каталогам, а во-вторых, проконсультироваться с преподавателем и библиотекарем.

Выбрав тему обзора и изучив литературу, необходимо сформулировать цель работы и составить план обзора. Возможно, формулировка цели в ходе работы будет меняться, но изначально следует ее обозначить, чтобы ориентироваться на нее в ходе исследования. Определяясь с целью дальнейшей работы, параллельно надо думать над составлением плана: необходимо четко соотносить цель и план работы.

План – это точный и краткий перечень положений в том порядке, как они будут расположены в обзоре, этапы раскрытия темы. Существует два основных типа плана: простой и сложный (развернутый). В простом плане содержание обзора делится на параграфы, а в сложном на главы и параграфы. При работе над планом обзора необходимо помнить, что формулировка пунктов плана не должна повторять формулировку темы.

При работе над введением необходимо опираться на навыки, приобретенные при написании изложений и сочинений. В объеме обзора введение, как правило, составляет 1-2 машинописные страницы. Введение обычно содержит вступление, обоснование актуальности выбранной темы, формулировку цели и задач обзора, краткий обзор литературы и источников по проблеме, историю вопроса и вывод. Содержание обзора должно соответствовать теме, полно ее раскрывать. Все рассуждения нужно аргументировать. Обзор показывает объективное отношение автора к излагаемому материалу. Следует стремиться к тому, чтобы изложение было ясным, простым и точным.

Заключение – самостоятельная часть обзора. Оно не должно быть переложением содержания работы. Заключение должно содержать основные выводы в сжа-

той форме, а также оценку полноты и глубины решения тех вопросов, которые вставляли в процессе изучения темы.

Объем заключения не должен превышать 2 печатных страниц.

Типичными ошибками, допускаемыми студентами при подготовке обзора, являются:

- недостаточное обоснование актуальности, практической и теоретической значимости полученных результатов, поверхностный анализ используемого материала;
- неглубокие критические оценки и рекомендации по решению исследуемой проблемы;
- поверхностные выводы и предложения;
- нарушение требований к оформлению письменного обзора;
- использование информации без ссылок на источник.

4.2 Критерии оценки для проверки уровня обученности в рамках текущего контроля

Оценка «отлично» выставляется студенту, если студент показал глубокое, прочное и аргументированное освоение программного учебного материала, при этом поставленный вопрос раскрыт последовательно, четко и логически стройно, в полном исчерпывающем объеме, основные категории, понятия и термины учебного курса формулировались правильно, не допущено при ответе ошибок

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент показал твердое знание программного учебного материала, при этом поставленный вопрос раскрыт грамотно и по существу, в достаточно полном объеме, основные категории, понятия и термины учебного курса формулировались правильно, допущены при ответе отдельные неточности или одна ошибка

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент показал знание только основной части учебного материала без его частных деталей, при этом поставленный вопрос раскрыт с нарушением логической последовательности, не в полном объеме; были допущены неточные формулировки основных катего-

рий, понятий и терминов учебного курса, а также ошибки (не более двух) или ряд незначительных неточностей, не исказивших существенно суть ответа.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки (более двух), существенно исказившие его суть. Оценка неудовлетворительно выставляется также, если отсутствует ответ на вопрос, либо студент отказался его сдавать.

По результатам опроса в рамках текущего контроля выставляется рейтинговый балл по каждому рейтинговому мероприятию. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом (Таблица 6):

Таблица 6 - Расчет рейтинговых баллов по результатам текущего контроля

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Конкретное значение рейтингового балла определяется распределением рейтинговых баллов по контрольным мероприятиям.

6 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

6.1 Основная литература

1. Афонин В.В. Моделирование систем / Афонин В.В., Федосин С.А.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 269 с. [Электронный ресурс]
2. Сильвашко, С.А. Программные средства компьютерного моделирования элементов и устройств электроники : учебное пособие / С.А. Сильвашко, С.С. Фролов - Оренбург : ОГУ, 2014. - 170 с. : ил., схем. - Библиогр.: с. 162-163 [Электронный ресурс].
3. Болотовский Ю.И. OrCAD. Моделирование: учебное пособие/ Болотовский Ю.И., Таназлы Г.И.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 200 с. [Электронный ресурс]

6.2. Дополнительная литература:

1. Поляков А.К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры: учебное пособие/ Поляков А.К.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 314 с.— [Электронный ресурс]
2. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров / Дьяконов В.П.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 577 с. [Электронный ресурс]
3. Перельройзен Е.З. Проектируем на VHDL [Электронный ресурс]/ Перельройзен Е.З.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008.— 448 с.— [Электронный ресурс]
4. Бибило П.Н. Синтез логических схем с использованием языка VHDL [Электронный ресурс]/ Бибило П.Н.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.— 384 с.— [Электронный ресурс]
5. А. А. Самарский, А. П. Михайлов Математическое моделирование. Москва: Физматлит, 2001. 320 с.
6. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
7. Плис А. И., Сливина Н.А. MathCAD: математический практикум для экономистов и инженеров. М.: Финансы и статистика, 1999. – 656 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
УСТРОЙСТВ

по направлению подготовки

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Составитель: Дюдюн Дмитрий Евгеньевич

Редактор: _____

Подписано в печать _____
Формат _____ Усл. п. л. – _____ Уч.-изд. л. – _____.
Бумага _____. Печать _____. Заказ Тираж _____ экз.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издательство Северо-Кавказского федерального университета
Отпечатано в типографии СКФУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к расчетно-графической работе

по дисциплине «**Основы моделирования электронных устройств**»
для студентов направления подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль)
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь 2026 г.

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского
федерального университета

УДК
ББК

Рецензент: Валюхов Д.П.

Лапин А.А. **Основы моделирования электронных устройств:** методические указания по выполнению расчетно-графической работы. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 20___. – 37 с.

Настоящие методические указания являются руководством по выполнению расчетно-графической работы на предложенные темы (по вариантам) по дисциплине «Основы моделирования электронных устройств» для студентов направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. В методических указаниях приведены: варианты задания, содержание и структура расчетно-графической работы, рекомендации по выбору темы, организации выполнения и порядку защиты, список рекомендуемой литературы.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, рабочим учебным планом и программой дисциплины «Основы моделирования электронных устройств».

УДК
ББК

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет», 20__

Введение

Цель освоения дисциплины: формирование набора профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение математических моделей электронных устройств;
- изучение языка описания моделей и принципов моделирования;
- приобретение навыков в разработке моделей электронных устройств в специализированном программном обеспечении.

В результате выполнения расчетно-графической работы (далее РГР) студенты должны на примере выполнения расчетов и моделирования различных электронных узлов (блоков или устройств) научиться решать задачи: расчета основных параметров и характеристик, моделирования устройств на ПК.

Содержание

1 Общие требования к выполнению РГР	5
2 Рекомендации по подготовке и оформлению РГР	22
2.1 Структурные элементы РГР	22
2.2 Правила оформления РГР	24
3 Рекомендации по организации работ над РГР	25
4 Порядок представления РГР к защите	26
5 Процедура защиты РГР	27
6 Список рекомендуемой литературы	28
Приложение А. Правила оформления титульного листа пояснительной записки к РГР, листа задания на РГР	30
Приложение Б. Примеры выполнения основной надписи по формам 1, 2, 2а и перечня элементов	32

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР

Расчетно-графическая работа (далее – РГР) призвана путем решения практических задач обучить студентов:

а) выполнять расчет элементов и компонентов электронных устройств, различных по структурному и функциональному признаку, с использованием специализированного программного обеспечения;

б) выполнять моделирование различных электронных узлов (блоков или устройств) с использованием специализированного программного обеспечения.

В ходе выполнения РГР необходимо выполнить расчет и моделирование электронных устройств, используя исходные данные, согласно варианту.

1.1 Методика расчетов.

1.1.1 Линейные аналоговые вычислительные устройства.

Схемы электрические принципиальные часто используемых линейных аналоговых вычислительных устройств приведены на рисунке 1.1.

Основные расчетные формулы для неинвертирующего усилителя:

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{R1 + R2}{R1} \cdot u_{\text{ВХ}}; \quad (1.1)$$

$$K_{U \text{ НЕИНВ.}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = 1 + \frac{R2}{R1}. \quad (1.2)$$

Основные расчетные формулы для инвертирующего усилителя:

$$u_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R2}{R1} \cdot u_{\text{ВХ}}; \quad (1.3)$$

$$K_{U \text{ ИНВ.}} = \frac{u_{\text{ВЫХ}}}{u_{\text{ВХ}}} = -\frac{R2}{R1}. \quad (1.4)$$

Основные расчетные формулы для дифференциатора:

$$u_{\text{ВЫХ}} = i_R \cdot R1 = -R1 \cdot C1 \cdot \frac{du_{\text{ВХ}}}{dt}; \quad (1.5)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{R1 \cdot C1}. \quad (1.6)$$

Основные расчетные формулы для интегратора:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = u_{C1} = -\frac{1}{R1 \cdot C1} \cdot \int_0^t u_{\text{ВХ}}(t) \cdot dt; \quad (1.7)$$

$$R2 \approx K_{UOY} \cdot R1. \quad (1.8)$$

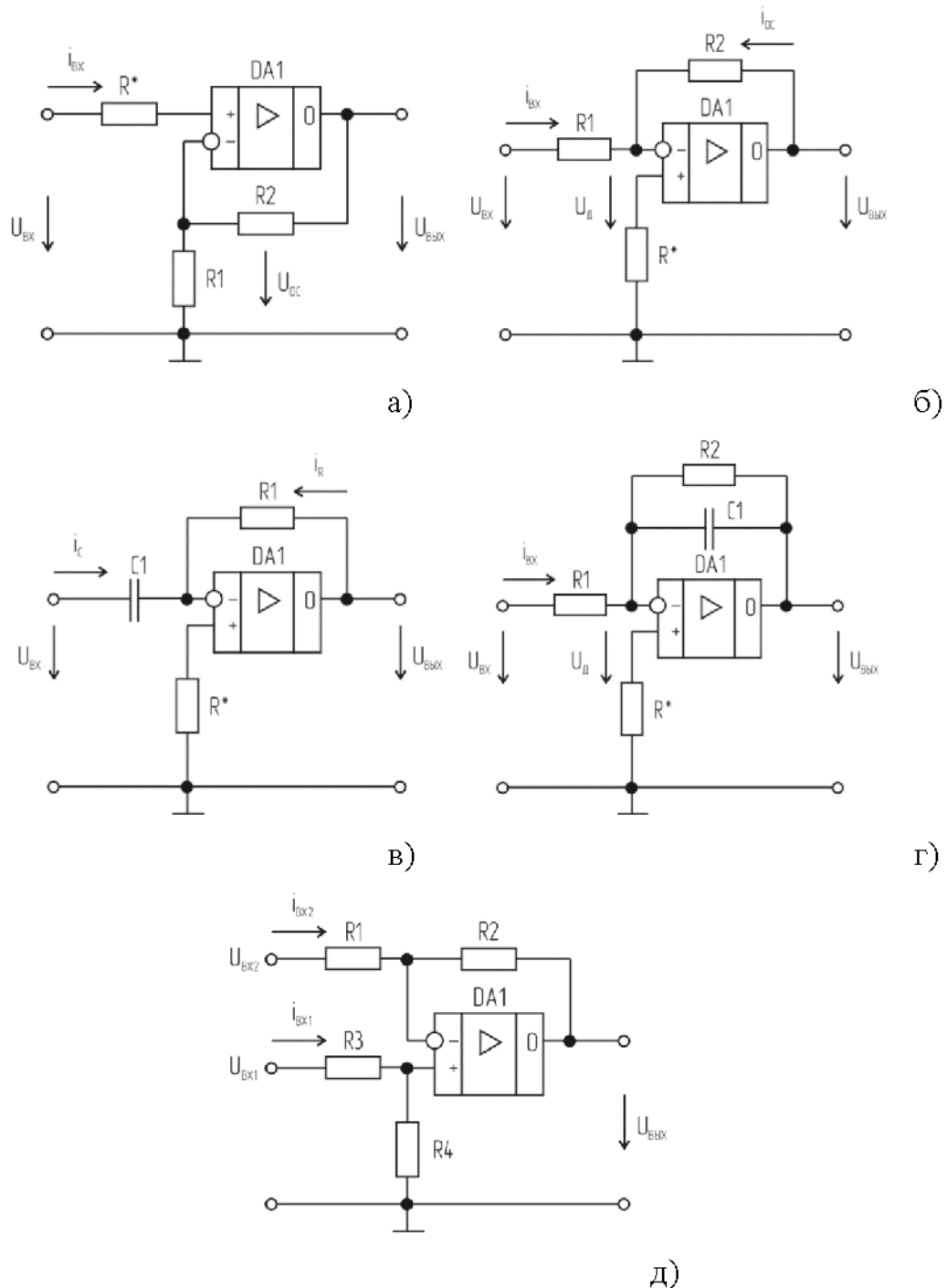


Рисунок 1.1 – Схемы электрические принципиальные линейных аналоговых вычислительных устройств: а – неинвертирующий усилитель; б – инвертирующий усилитель; в – дифференциатор; г – интегратор; д – разностный усилитель

При подаче на вход скачка напряжения постоянного значения $u_{BX} = const$ выходное напряжение составит величину:

$$u_{BЫX} = -\frac{u_{BX} \cdot t}{R1 \cdot C1} = -\frac{u_{BX} \cdot t}{\tau}. \quad (1.9)$$

Для устройств рисунка 1.1 (а и б) сопротивление резистора R^* рассчитывается по формуле:

$$R^* = \frac{R2 \cdot R1}{R2 + R1}. \quad (1.10)$$

Для устройств рисунка 1.1 (в и г) сопротивление резистора R^* допустимо выбирать из диапазона от 3 до 15 кОм в зависимости от типа ОУ.

Основные расчетные формулы для разностного усилителя:

$$\frac{R2}{R1} = \frac{R4}{R3 + R4} \cdot \frac{R1 + R2}{R1}; \quad (1.11)$$

$$R2 \cdot R3 = R1 \cdot R4; \quad (1.12)$$

$$u_{BЫX} = -\frac{R2}{R1} \cdot (u_{BX1} - u_{BX2}). \quad (1.13)$$

1.1.2. Устройства для реализации сложных арифметических функций.

Схемы электрические принципиальные устройств для реализации сложных арифметических функций приведены на рисунке 1.2.

Основные расчетные формулы для суммирующего инвертирующего усилителя:

$$u_{BЫX} = -\left(u_{BX1} \cdot \frac{R_{OC}}{R1} + u_{BX2} \cdot \frac{R_{OC}}{R2} + u_{BX3} \cdot \frac{R_{OC}}{R3}\right). \quad (1.14)$$

Основные расчетные формулы для суммирующего неинвертирующего усилителя:

$$u_{СУМ} = \frac{\left(\frac{u_{BX1}}{R1} + \frac{u_{BX2}}{R2} + \frac{u_{BX3}}{R3}\right) \cdot R1 \cdot R2 \cdot R3}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3}; \quad (1.15)$$

$$u_{BЫX} = \frac{R4 + R5}{R4} \cdot u_{СУМ}, \quad (1.16)$$

ЧТО В ИТОГЕ СОСТАВИТ:

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{R4 + R5}{R4} \cdot \left(\frac{u_{\text{ВХ1}}}{R1} + \frac{u_{\text{ВХ2}}}{R2} + \frac{u_{\text{ВХ3}}}{R3} \right) \cdot R1 \cdot R2 \cdot R3 \quad (1.17)$$

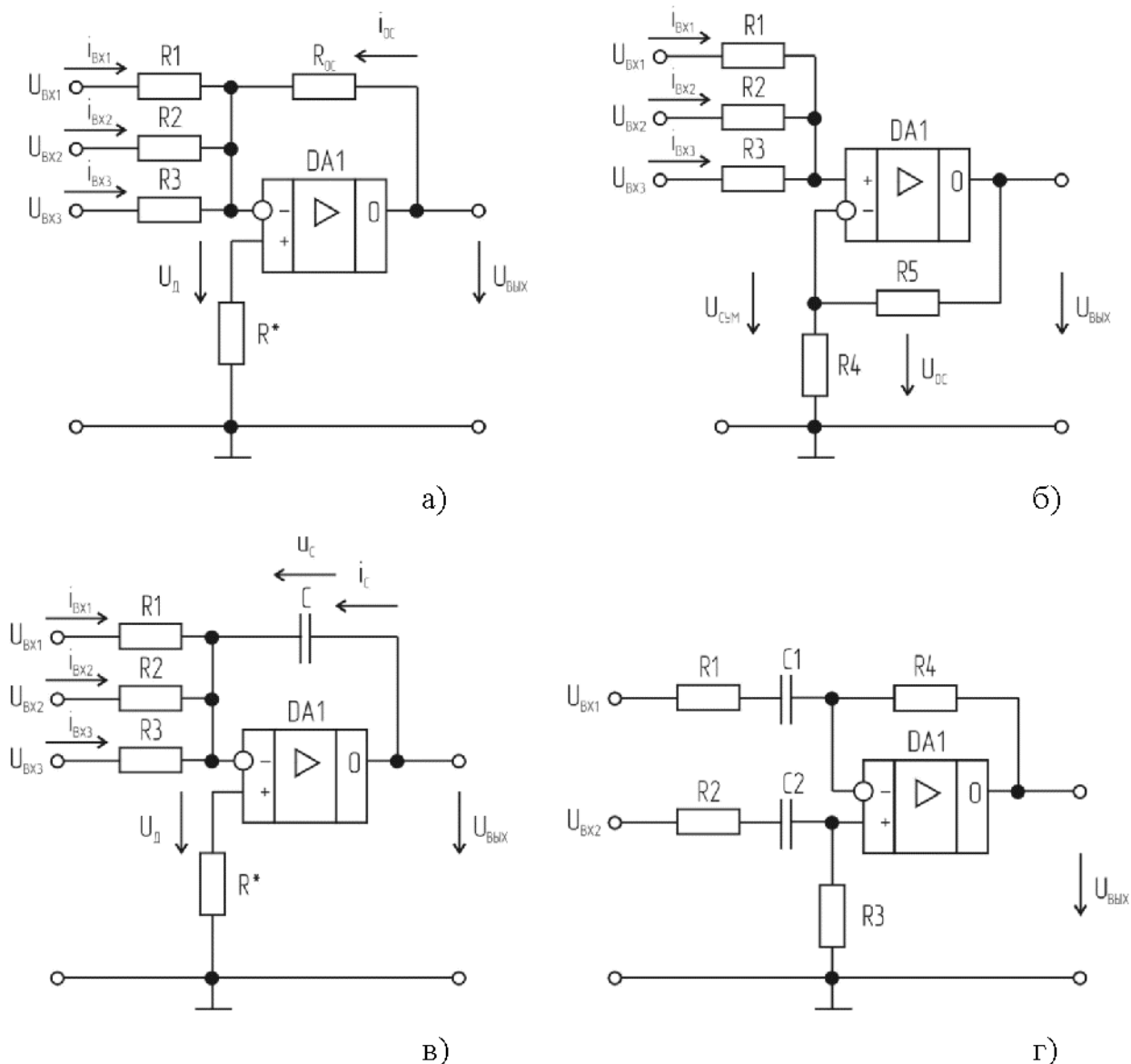


Рисунок 1.2 – Схемы электрические принципиальные устройств для реализации сложных арифметических функций: а – суммирующий инвертирующий усилитель; б – суммирующий неинвертирующий усилитель; в – интегратор-сумматор; г – дифференцирующее устройство с дифференциальным входом

Если коэффициенты усиления каждого канала равны между собой, то выходное напряжение, рассчитываемое по формуле (1.17), будет представлено

в виде:

$$u_{\text{БЫХ}} = \frac{R4 + R5}{R4} \cdot \frac{u_{\text{БХ1}} + u_{\text{БХ2}} + u_{\text{БХ3}}}{n}, \quad (1.18)$$

где n – количество входных каналов, шт.

Основные расчетные формулы для интегратора-сумматора:

$$u_{\text{БЫХ}}(t) = - \left(\frac{1}{R1 \cdot C} \cdot \int_0^t u_{\text{БХ1}}(t) \cdot dt + \frac{1}{R2 \cdot C} \cdot \int_0^t u_{\text{БХ2}}(t) \cdot dt + \frac{1}{R3 \cdot C} \cdot \int_0^t u_{\text{БХ3}}(t) \cdot dt \right). \quad (1.19)$$

Основные расчетные формулы для дифференцирующего устройства с дифференциальным входом:

$$u_{\text{БЫХ}} = \frac{R4 \cdot C1 \cdot d(u_{\text{БХ2}} - u_{\text{БХ1}})}{dt}, \quad (1.20)$$

что несложно вывести согласно изложенным ранее формулам для соответствующих устройств. Формула выведена для случая, когда:

$$R1 = R2;$$

$$R3 = R4;$$

$$C1 = C2.$$

Для других значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов вид формулы (1.20) будет иной.

1.1.3. Активные электрические фильтры.

Схемы электрические принципиальные наиболее часто используемых активных электрических фильтров приведены на рисунке 1.3.

Основные расчетные формулы для ФНЧ:

$$K_{U_{\text{МАКС}}} = 20 \cdot \lg \frac{R2}{R1}. \quad (1.21)$$

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C2 \cdot R2}. \quad (1.22)$$

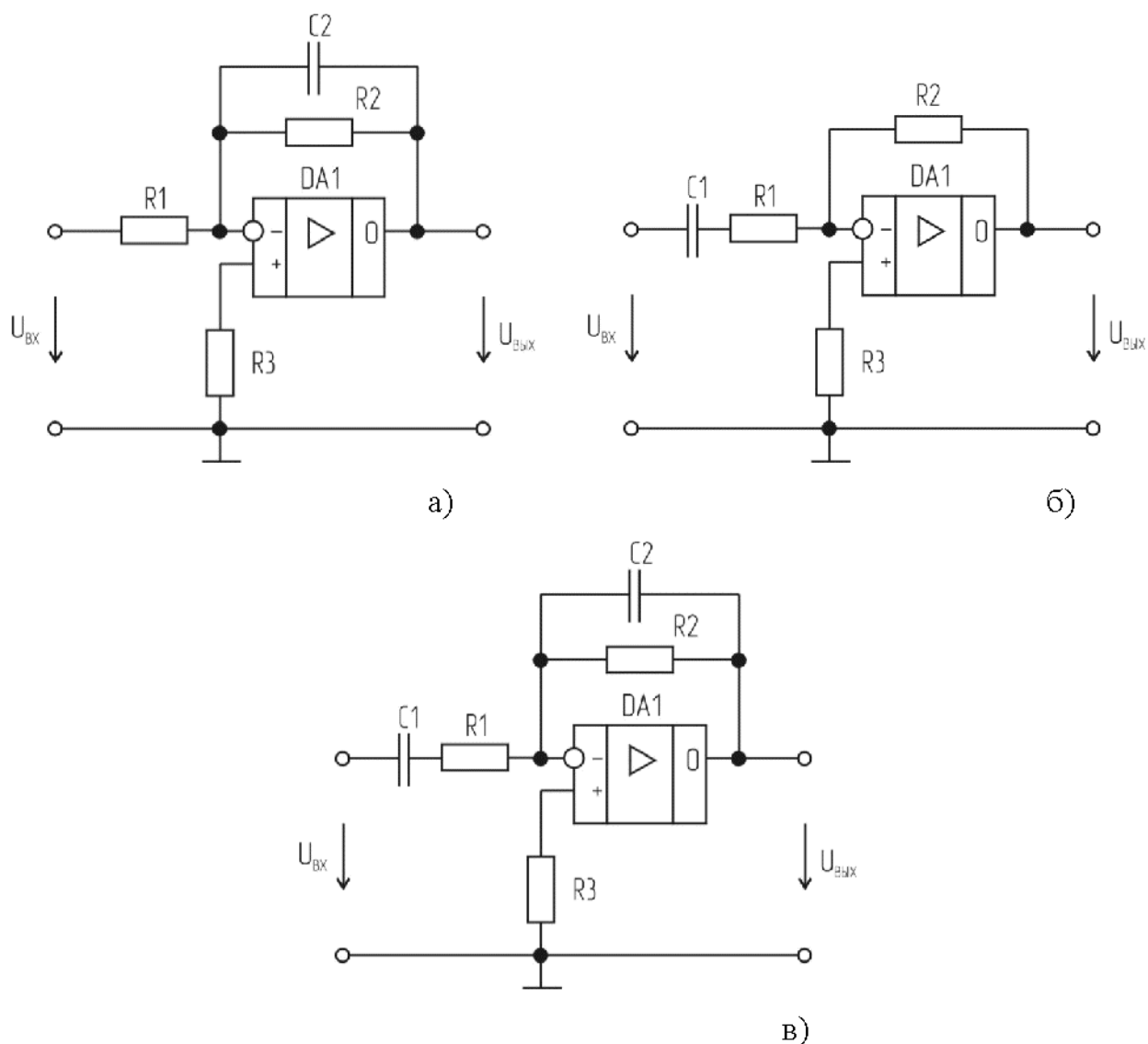


Рисунок 1.3 – Схемы электрические принципиальные активных электрических фильтров: а – фильтр низкой частоты (ФНЧ); б – фильтр высокой частоты (ФВЧ); в – полосовой фильтр (ПФ)

Основные расчетные формулы для ФВЧ:

$$K_{U_{МАКС}} = 20 \cdot \lg \frac{R2}{R1} \quad (1.23)$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C1 \cdot R1} \quad (1.24)$$

Основные расчетные соотношения ПФ соответствуют приведенным ранее для ФНЧ и ФВЧ.

Для устройств рисунка 1.3 сопротивление резистора $R3$ допустимо

выбирать из диапазона от 3 до 15 кОм в зависимости от типа ОУ.

1.1.4. Генераторы сигналов.

Схемы электрические принципиальные наиболее часто используемых генераторов сигналов приведены на рисунке 1.4.

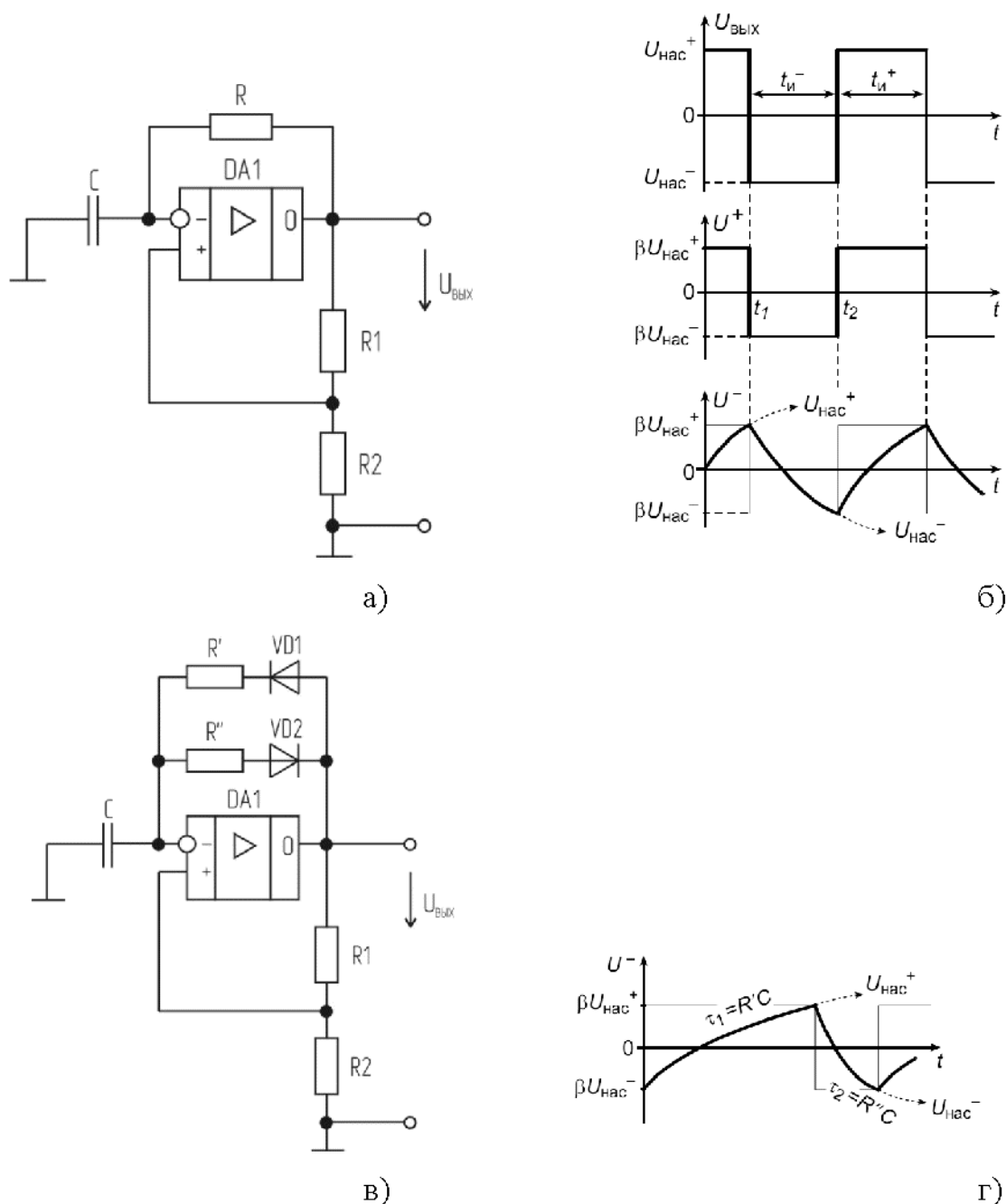
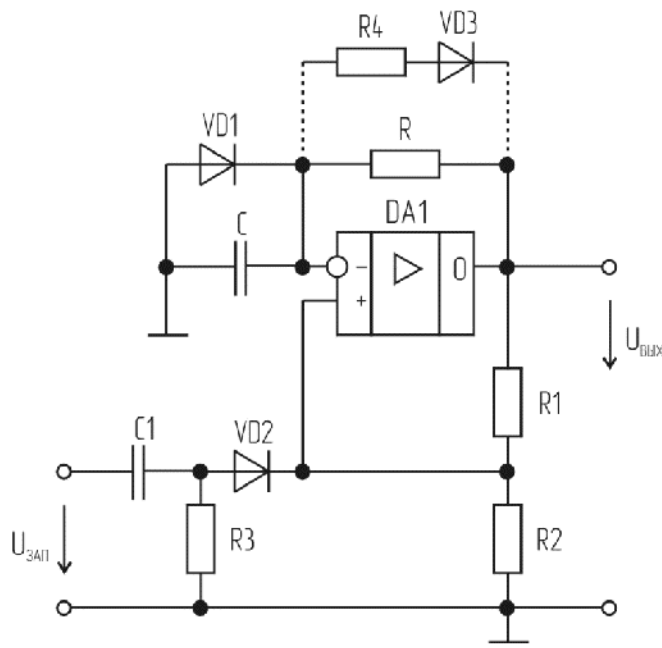
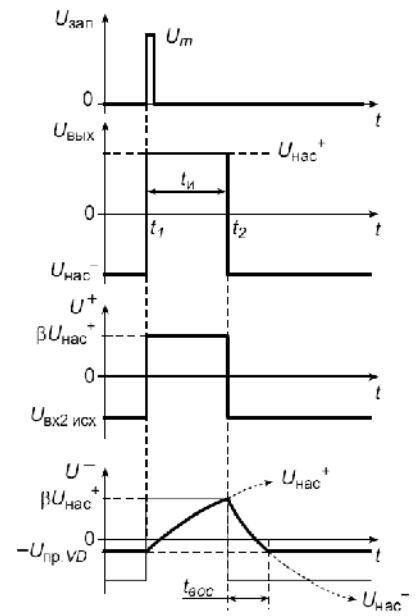


Рисунок 1.4 – Схемы электрические принципиальные генераторов сигналов: а – симметричный мультивибратор и временная диаграмма его работы (б); в – несимметричный мультивибратор и временная диаграмма его работы (г); д – ждущий мультивибратор и временная диаграмма его работы (е)



д)



е)

Рисунок 1.4 – Схемы электрические принципиальные генераторов сигналов: а – симметричный мультивибратор и временная диаграмма его работы (б); в – несимметричный мультивибратор и временная диаграмма его работы (г); д – ждущий мультивибратор и временная диаграмма его работы (е)

Основные расчетные формулы для симметричного мультивибратора:

$$t_{H}^{+} = RC \cdot \ln \left(1 + \left(1 + \frac{U_{HAC}^{-}}{U_{HAC}^{+}} \right) \frac{R2}{R1} \right), \quad (1.25)$$

$$t_{H}^{-} = RC \cdot \ln \left(1 + \left(1 + \frac{U_{HAC}^{+}}{U_{HAC}^{-}} \right) \frac{R2}{R1} \right). \quad (1.26)$$

Если принять $U_{HAC}^{+} = |U_{HAC}^{-}|$, тогда:

$$t_{H}^{+} = t_{H}^{-} = RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R1} \right), \quad (1.27)$$

$$T = 2 \cdot RC \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R1} \right). \quad (1.27)$$

Основные расчетные формулы для несимметричного мультивибратора:

$$t_{H}^{+} = R'C \cdot \ln \left(1 + 2 \frac{R2}{R1} \right), \quad (1.28)$$

$$t_H^- = R''C \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R2}{R1}\right), \quad (1.29)$$

$$T = (R' + R'')C \cdot \ln\left(1 + 2\frac{R2}{R1}\right). \quad (1.30)$$

Основные расчетные формулы для ждущего мультивибратора:

$$t_H = RC \cdot \ln\left(\left(1 + \frac{U_{\text{ИП.ВД}}}{U_{\text{НАС}}}\right) \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)\right), \quad (1.31)$$

$$t_{\text{БОС}} = RC \cdot \ln\left(\frac{1 + \frac{R2}{R1 + R2}}{1 - \frac{U_{\text{ИП.ВД}}}{U_{\text{НАС}}}}\right). \quad (1.32)$$

Рекомендуемые параметры цепи запуска:

- $C1$ – 680 пФ;
- $R3$ – 10 кОм.

Рекомендуемые параметры цепи ОС:

- $R1$ – 100 кОм;
- $R2$ – 10 кОм.

1.2 Задания для самостоятельного решения.

Задания расчетно-графической работы выполняются по вариантам. Вариант задается преподавателем. Требуемые расчеты необходимо производить с использованием системы компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования Mathcad.

1.2.1 Разработать линейное аналоговое вычислительное устройство. Для выполнения задания необходимо:

а) для инвертирующего и неинвертирующего усилителей:

- определить коэффициент усиления;
- определить напряжение на выходе;
- определить динамический диапазон входного и выходного напряжений;

- определить величину сопротивления R^* ;
- выполнить моделирование схемы в среде схемотехнического проектирования и моделирования – *NI Multisim* версии не ниже 10;
- в программе оценить основные параметры усилителя. Сравнить с расчетными данными;
- в программе построить амплитудную характеристику;
- исследовать временные диаграммы работы при подаче входных сигналов различной формы: синусоидальной, треугольной и прямоугольной, как без постоянной составляющей, так и с любым ее значением.

Входной сигнал для неинвертирующего усилителя имеет гармоническую форму:

$$U_{ex} = U_{lm} \cos(\omega_l t + \varphi_l), \quad (1.33)$$

а входной сигнал инвертирующего усилителя:

$$U_{ex} = U_{lm} \sin(\omega_l t + \varphi_l); \quad (1.34)$$

б) для дифференцирующего и интегрирующего устройств:

- определить коэффициент передачи усилителя;
- рассчитать и построить АЧХ коэффициента передачи усилителя (масштаб по оси частот логарифмический);
- нарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов усилителя, считая входной сигнал прямоугольным импульсом положительной полярности амплитудой U_0 , длительностью t ;
- выполнить моделирование схемы в среде схемотехнического проектирования и моделирования – *NI Multisim* версии не ниже 10;
- в программе выполнить построение АЧХ. Сравнить с расчетными данными;
- исследовать временные диаграммы работы при подаче входных сигналов различной формы: синусоидальной, треугольной и прямоугольной, как без постоянной составляющей, так и с любым ее значением.

Тип линейного аналогового вычислительного устройства задает

преподаватель. Все остальные исходные данные приведены в таблице 1.1. В качестве ОУ можно использовать модель «идеального ОУ» с возможностью задания напряжения питания E_{II} .

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчета линейных аналоговых вычислительных устройств

Вариант	$R1$, кОм	$R2$, кОм	U_m , мВ	φ	$\pm E_{II}$, В	$R1$, $R2$, кОм	$C1$, мкФ	t , мс	T_1 , мс	U_0 , мВ
	Инв., неинв.					Диф., инт.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	30	300	1	10	6	10	1	50	200	1
2	28	500	2	20	7	9	2	50	200	2
3	26	300	3	30	10	8	3	50	200	3
4	24	500	4	40	12	7	4	50	200	4
5	22	300	5	50	14	6	5	50	200	5
6	20	500	6	60	9	5	6	50	200	6
7	18	300	7	70	6	4	7	50	200	1
8	16	500	8	80	7	3	8	50	200	2
9	14	300	9	90	10	2	9	50	200	3
10	12	500	10	10	12	1	10	50	200	4
11	10	300	1	20	14	20	0,9	50	200	5
12	30	500	2	30	9	30	0,8	50	200	6
13	28	300	3	40	6	40	0,7	50	200	1
14	26	500	4	50	7	50	0,6	50	200	2
15	24	300	5	60	10	60	0,5	50	200	3
16	22	500	6	70	12	70	0,4	50	200	4
17	20	300	7	80	14	80	0,3	50	200	5
18	18	500	8	90	9	90	0,2	50	200	6

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	16	300	9	10	6	100	0,1	50	200	1
20	14	500	10	20	7	10	1	50	200	2
21	20	500	6	60	6	4	7	50	200	1
22	18	300	7	70	7	3	8	50	200	2
23	16	500	8	80	10	2	9	50	200	3
24	30	500	2	40	9	30	0,8	50	200	6
25	22	250	5	45	14	6	5	50	200	5
26	26	300	3	90	9	90	0,2	50	200	6
27	24	500	4	10	6	100	0,1	50	200	1
28	22	300	5	20	7	10	1	50	200	2

1.2.2 Разработать устройство для реализации сложной арифметической функции. Для выполнения задания необходимо:

- провести анализ заданной функции: разбить на простейшие подфункции; выявить простейшие узлы, на которых их можно реализовать; выбрать оптимальный набор каскадов, совместно реализующих заданную функцию;

- рассчитать параметры каждого каскада;

- рассчитать компоненты каждого каскада;

- выполнить моделирование схемы в среде схемотехнического проектирования и моделирования – *NI Multisim* версии не ниже 10;

- в программе оценить работу каждого каскада и основные параметры устройства. Сравнить с заданной функцией. При необходимости провести корректировку устройства;

- исследовать временные диаграммы работы каскадов и устройства в целом.

Исходные данные приведены в таблице 1.2. В качестве ОУ можно использовать модель «идеального ОУ» с возможностью задания напряжения

питания E_{Π} .

Таблица 1.2 – Исходные данные для расчета устройства, реализующего сложную арифметическую функцию

Вариант	Арифметическая функция
1	2
1	$y = 5x_1 - 7,2x_2 - 3 \int x_3 dt$
2	$y = - \int (2x_1 + 5x_2) dt + (0,8x_3 - 0,6x_4)$
3	$y = \int (3x_1 + 4x_2 - 5x_3) dt - 0,25x_4$
4	$y = -2,6 \frac{dx_0}{dt} + 0,15x_1 - 2x_2 - 3x_3$
5	$y = 6 \frac{dx_0}{dt} - 2 \int (x_2 - x_1) dt$
6	$y = 5 \frac{dx_0}{dt} - 4 \frac{dx_1}{dt} + 7,5x_2$
7	$y = \int (3x_0 + 4x_1) dt - 7 \frac{dx_2}{dt}$
8	$y = 3(x_0 + x_1) - 4(x_2 + 0,5 \int x_3 dt)$
9	$y = 0,6(x_0 + x_1 - x_2) - 0,46 \int x_3 dt$
10	$y = 3,2 \left(x_0 + x_1 - 0,8 \frac{dx_2}{dt} \right) - 3,3x_3$
11	$y = 9 \left(\frac{dx_0}{dt} - \int dx_1 dt \right) + 11x_2$
12	$y = 0,25 \left(\frac{d(x_0 - x_1)}{dt} \right) + 6x_2$
13	$y = 0,8x_0 - 0,9x_1 - 0,11x_2 - 0,15x_3$
14	$y = - \left(0,65 \int x_1 dt + 1,1 \int x_2 dt \right) - 0,48x_3$
15	$y = -16(x_0 + x_1 - x_2) - 2,2 \int x_3 dt$
16	$y = -8(x_0 - x_1) + 0,8 \frac{d(x_3 - x_2)}{dt}$
17	$y = 0,12 \left(x_0 - \frac{dx_1}{dt} \right) - 16 \int x_2 dt$

Продолжение таблицы 1.2

1	2
18	$y = 5 \int x_0 dt - 6 \int x_1 dt - 7 \int x_2 dt$
19	$y = 0,3x_0 - 0,4x_1 - 5,5 \frac{d(x_2 - x_3)}{dt}$
20	$y = \int (0,5x_1 + 0,4x_0) dt + 5(x_3 - x_2)$
21	$y = 1,5(x_0 - x_2) - 4,5 \int (x_1 + x_3) dt$
22	$y = -2,6 \frac{dx_0}{dt} + 0,15x_1 - 16 \int x_2 dt$
23	$y = 5 \frac{dx_0}{dt} + 2 \frac{dx_1}{dt} - 5x_0$
24	$y = -16 \left(5 \frac{dx_0}{dt} + x_1 \right) - 2,2 \int x_3 dt$
25	$y = 2 \left(16 \int x_0 dt - \frac{dx_1}{dt} \right) + 6x_2$
26	$y = \frac{d(x_0 - x_1)}{dt} - 0,11x_2 - 0,15x_3$
27	$y = 3 \left(x_0 + 0,8 \frac{dx_1}{dt} \right) - 4,5 \int x_2 dt$
28	$y = -2,6 \frac{dx_0}{dt} - 3x_1 - (3x_2 + 2,3x_3)$

1.2.3 Разработать активный электрический фильтр. Для выполнения задания необходимо:

- рассчитать компоненты фильтра;
- рассчитать и построить АЧХ фильтра (масштаб по оси частот логарифмический);
- выполнить моделирование схемы в среде схемотехнического проектирования и моделирования – *NI Multisim* версии не ниже 10;
- в программе оценить основные параметры фильтра. Сравнить с расчетными данными;
- в программе выполнить построение АЧХ. Сравнить с расчетными данными;
- исследовать временные диаграммы работы фильтра при подаче входных

сигналов различной формы: синусоидальной, треугольной и прямоугольной, как без постоянной составляющей, так и с любым ее значением.

Исходные данные приведены в таблице 1.3. В качестве ОУ лучше использовать «реальный ОУ», например, 35544М.

Таблица 1.3 – Исходные данные для расчета активного электрического фильтра

Вариант	Тип фильтра	K_U , дБ	f_1 , кГц	f_2 , кГц
1	2	3	4	5
1	ФНЧ	12	–	50
2	ФВЧ	30	0,3	–
3	ПФ	13	1,8	652
4	ФНЧ	17	–	40
5	ФВЧ	28	10	–
6	ПФ	18	2,9	555
7	ФНЧ	25	–	30
8	ФВЧ	32	2,5	–
9	ПФ	29	12,2	40,7
10	ФНЧ	10	–	200
11	ФВЧ	15	12	–
12	ПФ	34	26,5	58,9
13	ФНЧ	15	–	150
14	ФВЧ	20	18	–
15	ПФ	24	15,8	33,3
16	ФНЧ	30	–	10
17	ФВЧ	27	23	–
18	ПФ	10	9,5	347,1
19	ФНЧ	40	–	5
20	ФВЧ	33	7,4	–
21	ПФ	22	12,2	40,7

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5
22	ФНЧ	13	–	425
23	ФВЧ	31	0,22	–
24	ПФ	29	15	55
25	ФНЧ	21	–	351
26	ФВЧ	11	0,05	–
27	ПФ	15	1,3	25,3
28	ФНЧ	38	–	129

1.2.4 Разработать генератор сигналов. Для выполнения задания необходимо:

- рассчитать компоненты генератора;
- нарисовать временные диаграммы работы генератора;
- выполнить моделирование схемы в среде схемотехнического проектирования и моделирования – *NI Multisim* версии не ниже 10;
- в программе оценить основные параметры генератора. Сравнить с расчетными данными;
- исследовать временные диаграммы работы генератора. Сравнить с расчетными данными;
- для симметричного мультивибратора выявить возможность изменения скважности. Исследовать временные диаграммы для двух дополнительных значений скважности;
- для несимметричного мультивибратора выявить возможность изменения скважности. Исследовать временные диаграммы для трех значений скважности: 0,15; 0,5 и 0,8;
- для ждущего мультивибратора рассчитать время восстановления t_{BOC} и выявить возможность его уменьшения. Выполнить схемные изменения таким образом, чтобы указанное время стало минимальным при сохранении других основных параметров мультивибратора. Исследовать временные диаграммы с

минимальным временем восстановления.

Исходные данные приведены в таблице 1.4. В качестве ОУ лучше использовать «реальный ОУ», например, 35544М.

Таблица 1.4 – Исходные данные для расчета генератора сигналов

Вариант	Тип генератора	$t_{И}^+$, мс	$t_{И}^-$, мс	$t_{И}$, мс
1	2	3	4	5
1	Симметричный	0,05	0,05	–
2	Несимметричный	140	20	–
3	Ждущий	–	–	120
4	Симметричный	0,1	0,1	–
5	Несимметричный	100	60	–
6	Ждущий	–	–	50
7	Симметричный	1,0	1,0	–
8	Несимметричный	80	90	–
9	Ждущий	–	–	30
10	Симметричный	20	20	–
11	Несимметричный	30	150	–
12	Ждущий	–	–	150
13	Симметричный	50	50	–
14	Несимметричный	50	130	–
15	Ждущий	–	–	12
16	Симметричный	100	100	–
17	Несимметричный	90	60	–
18	Ждущий	–	–	0,5
19	Симметричный	200	200	–
20	Несимметричный	110	30	–
21	Симметричный	12	12	–
22	Несимметричный	25	95	–

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4	5
23	Ждущий	–	–	15
24	Симметричный	45	45	–
25	Несимметричный	25	55	–
26	Ждущий	–	–	58
27	Симметричный	1	1	–
28	Несимметричный	5	22	–

Для возможности презентации результатов схемы разработанных устройств должна быть собрана (смоделированы) в соответствующем программном обеспечении и сохранены на накопитель для возможности демонстрации.

2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ОФОРМЛЕНИЮ РГР

2.1 Структурные элементы РГР

РГР должна быть представлена к защите в виде пояснительной записки объемом от 15 до 25 листов формата А4.

РГР должна иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- лист задания на РГР;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованной литературы;
- приложения (при необходимости).

Титульный лист содержит реквизиты: Министерство образования и науки

Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет», название института, кафедры, наименование дисциплины и темы РГР, фамилию, имя, отчество автора работы с указанием курса, группы, формы обучения; ученую степень, звание, должность, фамилию и инициалы руководителя, графу «Дата защиты», «Оценка», место и год защиты (Приложение А).

В задании перечисляются все исходные данные к разработке устройства согласно варианту (Приложение А).

В **содержании** необходимо отразить все структурные единицы РГР с указанием номера страницы начала каждой.

Во **введении** необходимо обосновать важность тематики РГР согласно теме.

Основная часть должна отражать ход выполнения РГР по расчету и моделированию заданного электронного узла (блока или устройства) с подтверждающими копиями экране (скринами) из указанного программного обеспечения.

В **заключении** следует подвести итог проделанной работы: кратко охарактеризовать рассчитанные устройства и результаты моделирования.

Список использованной литературы должен содержать сведения обо всех источниках, использованных студентом в процессе выполнения и оформления РГР. Не следует включать в него источники, которые в ходе работы реально не использовались.

Список использованных источников должен быть оформлен по ГОСТ 7.1 – 2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления (последнее изменение 22.05.2013 г.).

Приложения не являются обязательной частью РГР (вспомогательный материал); они оформляются как продолжение пояснительной записки.

К вспомогательному материалу относятся промежуточные расчеты, таблицы вспомогательных цифровых данных, статические и динамические параметры используемых интегральных микросхем, чертежи их условно-графических обозначений и габаритных размеров, иллюстрации вспомогательного характера и т. д.

Страницы приложения входят в сквозную нумерацию страниц пояснительной записки.

2.2 Правила оформления РГР

Общие требования к оформлению текстовой части РГР приведены в ГОСТ Р 2.105 – 2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

Текст РГР выполняют с использованием компьютера на одной стороне листа белой бумаги формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,5. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа. Страницы текстового материала следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Титульный лист текстового документа и листы задания включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на указанных листах не проставляют. Расстояние от края бумаги до границ текста следует оставлять: в начале строк – 30 мм; в конце строк – 10 мм; от верхней или нижней строки текста до верхнего или нижнего края бумаги – 20 мм. Размер абзацного отступа должен быть одинаковым по всему тексту работы и равным 12,5 мм.

Каждый раздел необходимо начинать с нового листа. Записывается номер раздела, вид раздела и его название.

В пределах каждого раздела допускается разбиение на подразделы, которые можно разбивать на пункты и подпункты. Оформление вышеназванных элементов пояснительной записки (способ нумерации, оформление названий, перечислений, примеров, расстояния между заголовками, подзаголовками и текстом и т. д.) необходимо выполнять по

ГОСТ Р 2.105 – 2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

Требованиями ГОСТ Р 2.105 – 2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам также руководствуются при:

- выборе стиля изложения текста, терминологии, сокращений, оформлении поясняющих надписей, условных буквенных обозначений, изображений, знаков, численных значений и их диапазонов физических и других величин;
- оформлении формул, математических выражений, математических и логических уравнений, функций и их систем, а также ссылок на них;
- оформлении примечаний для текстового документа, рисунков, таблиц;
- оформлении ссылок на данный документ, стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в пользовании документом;
- оформлении иллюстраций и приложений;
- построении таблиц, их заполнении, оформлении ссылок в них, примечаний;
- оформлении сносок и пояснений, примеров.

3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД РГР

Руководство РГР начинается с выдачи задания студентам. В этот период необходимым условием, обеспечивающим эффективность дальнейшего руководства, является индивидуальная беседа руководителя со студентом по заданию. В ходе беседы руководитель должен выяснить степень подготовленности студента к выполнению данного задания, рекомендовать необходимую литературу и информировать о порядке выполнения задания. В результате индивидуальной беседы может быть уточнена или выбрана студентом другая тема РГР.

Задание выдается за подписью руководителя РГР, датируется днем выдачи, утверждается заведующим кафедрой и регистрируется в кафедральном журнале.

Темы РГР выдаются в первые две недели учебного семестра. Защита РГР проводится не позднее, чем за две недели до зачетно-экзаменационной сессии. Примерный календарный план работы над РГР представлен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Примерный календарный план работы над РГР

Раздел РГР	Неделя семестра
Ознакомление с системой компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования Mathcad	1-2
Анализ схем. Расчет элементов и компонентов, характеристик схем электронных устройств	3-8
Ознакомление со средой схемотехнического проектирования и моделирования – <i>NI Multisim</i> версии не ниже 10	9
Моделирование схем электронных устройств	10-14
Оформление РГР	15
Защита РГР	16-17

4 ПОРЯДОК ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РГР К ЗАЩИТЕ

В рамках отведенного для руководства РГР времени должны регулярно проводиться индивидуальные консультации.

Одной из важных форм руководства является предварительный просмотр выполненной РГР. Если работа содержит эмпирическую (практическую, расчетно-графическую) часть, то руководитель, прежде всего, должен провести экспертизу этой части, а затем указать все ошибки, неточности по работе в целом. После проверки руководителем выполнения одного этапа работы студенту (в случае положительного заключения) разрешается перейти к следующему этапу.

Выполненная РГР сдается преподавателю на проверку. Факт сдачи на

проверку фиксируется в специальном бланке и заверяется подписью студента с указанием даты.

В случае предоставления РГР с решением варианта задания, не совпадающего с зафиксированным у преподавателя, работа студенту не зачитывается.

При представлении к проверке в одной группе более одного идентичного по варианту РГР всем студентам, представившим такие РГР, работы не зачитываются.

5 ПРОЦЕДУРА ЗАЩИТЫ РГР

Защита РГР является обязательной формой проверки выполнения работы. Защита производится на заседании кафедры, научно-методического семинара кафедры, научной проблемной группы специальной комиссией, утверждаемой директором института, состоящей обычно из 3 преподавателей кафедры, при непосредственном участии руководителя, в присутствии студентов. Результаты наиболее интересных РГР могут быть доложены на научных конференциях. Публичная защита стимулирует научный интерес, творчество, ответственность студентов.

Защита состоит:

- в коротком докладе студента по выполненной работе;
- в презентации работы схем электронных устройств в соответствующем программном обеспечении;
- в ответах на вопросы присутствующих на защите.

Научный руководитель зачитывает отзыв на РГР студента.

Результаты защиты РГР, согласно действующему Положению о текущем контроле и промежуточной аттестации в СКФУ, оцениваются дифференцированной отметкой по пятибалльной системе. Оценка РГР является рейтинговым баллом для формирования контрольной точки.

Защита РГР, предусмотренных учебным планом, проводится не позднее,

чем за две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии.

Студент, не представивший в установленный срок РГР или не защитивший ее по неуважительной причине, не получает соответствующий рейтинговый балл.

Выполненные РГР после их защиты должны храниться на, не считая года написания; затем РГР, не представляющие для кафедры интерес, уничтожаются по акту.

6 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

6.1 Основная

1. Афонин В.В. Моделирование систем / Афонин В.В., Федосин С.А.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 269 с. [Электронный ресурс].

2. Сильвашко, С.А. Программные средства компьютерного моделирования элементов и устройств электроники : учебное пособие / С.А. Сильвашко, С.С. Фролов - Оренбург : ОГУ, 2014. - 170 с. : ил., схем. -Библиогр.: с. 162-163 [Электронный ресурс].

6.2 Дополнительная

1. ГОСТ Р 2.105 – 2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2019. – 28 с.

2. Алексеенко А. Г. Основы микросхемотехники. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Юнимедиастайл, 2002.

3. ГОСТ 7.1 – 2003. СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 50 с.

4. А. А. Самарский, А. П. Михайлов Математическое моделирование. Москва: Физматлит, 2001. 320 с.

5. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирова-

ние радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. - М.: Техносфера, 2007. - 128 с.

6. Плис А. И., Сливина Н.А. MathCAD: математический практикум для экономистов и инженеров. М.: Финансы и статистика, 1999. - 656 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цифрового развития

Кафедра инфокоммуникаций

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине

«»

на тему:

«»

Выполнил:

Фамилия Имя Отчество

студент __ курса группы _____

направления подготовки

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

направленность (профиль)

«Промышленная электроника»

очной формы обучения

(подпись)

Руководитель работы:

ученое звание, ученая степень, должность

Фамилия Имя Отчество

РГР допущена к защите _____

(подпись руководителя)

(дата)

РГР выполнена и

защищена с оценкой _____

Дата защиты _____

Члены комиссии:

(должность)

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Ставрополь, 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
инфокоммуникаций

Подпись, инициалы, фамилия
«___» _____ 20__ г.

Институт цифрового развития

Кафедра инфокоммуникаций

Направление 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) «Промышленная электроника»

ЗАДАНИЕ

на расчетно-графическую работу

студента фамилия, имя, отчество в родительном падеже

по дисциплине _____

1. Тема РГР «_____».

2. Цель: _____

3. Задачи: _____

4. Перечень подлежащих разработке вопросов:

а) по теоретической части: _____

б) по аналитической части: _____

5. Исходные данные:

а) по литературным источникам: _____;

б) по вариантам, разработанным преподавателем: _____;

в) иное: _____

6. Список рекомендуемой литературы: _____

7. Контрольные сроки представления отдельных разделов расчетно-графической работы:

25 % - _____ «___» _____ 20__ г.

50 % - _____ «___» _____ 20__ г.

75 % - _____ «___» _____ 20__ г.

100 % - _____ «___» _____ 20__ г.

8. Срок защиты студентом расчетно-графической работы

«___» _____ 20__ г.

Дата выдачи задания «___» _____ 20__ г.

Руководитель расчетно-графической работы

(ученая степень, звание)

(личная подпись)

(инициалы, фамилия)

Задание принял(а) к исполнению студент(ка) очной формы обучения
__ курса _____ группы _____

(личная подпись) (инициалы, фамилия)

Примеры выполнения основной надписи по формам 1, 2, 2а и перечня элементов

Заглавные листы аннотации и перечня элементов (в случае, если он входит в состав пояснительной записки), необходимо выполнять с применением основной надписи по форме 2 (ГОСТ 2.104 – 68. ЕСКД. Основные надписи (переиздание – март 2001 г.)). На рисунке Б.1 приведен пример заполнения граф основной надписи указанной формы. Все размеры приведены в государственном стандарте.

Для расчетно-графической работы здесь и далее вместо «КП» необходимо указывать «РГР».

Аннотация										
В данном курсовом проекте...										
КП – курсовой проект Аббревиатура кафедры Три последние цифры номера зачетной книжки Две последние цифры года окончания выполнения проекта										
КП-СебКаВГТУ-ЭМ-403-06										
Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Полное наименование темы курсового проекта. Пояснительная записка				Лист	Лист	Листов
Разраб.	Фамилия И.О.							КП	3	40
Проб.	Фамилия И.О.							СебКаВГТУ гр. ПЗ-021		
Н. контр.	Фамилия И.О.									
Утв.	Фамилия И.О.									
Личные подписи				Дата подписи		Номер по порядку сквозной нумерации пояснительной записки		Количество листов пояснительной записки		

Рисунок Б.1 – Пример основной надписи по форме 2 для аннотации

Последующие листы текстовой или конструкторской документации необходимо выполнять с применением основной надписи по форме 2а (ГОСТ 2.104 – 68. ЕСКД. Основные надписи (переиздание – март 2001 г.)). На рисунке Б.2 приведен пример заполнения граф основной надписи указанной формы. Все размеры приведены в государственном стандарте.

					КП-СебКаВГТУ-ЭМ-403-06	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

Рисунок Б.2 – Пример основной надписи по форме 2а для последующих листов текстовой или конструкторской документации

Перечень элементов оформляют согласно государственному стандарту (ГОСТ 2.701 – 84 – (2000). ЕСКД. Правила выполнения схем), используя основную надпись по форме 2 (для первого листа) и 2а (для последующих листов), как показано на рисунках Б.3 и Б.4 соответственно. Все необходимые размеры приведены в государственном стандарте.

Поз. обозна- чение	Наименование	Кол	Примечание
	Разъемы		
XS1	IDC-2MR	1	
XS2	IDC-4MR	1	
КП-СебКабГТУ-ЭМ-403-06			Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.
		Дата	
			2

Рисунок Б.4 – Пример выполнения перечня элементов с основной надписью по форме 2а

Основная надпись для чертежей и схем выполняется по форме 1 (ГОСТ 2.104 – 68. ЕСКД. Основные надписи (переиздание – март 2001 г.). На рисунке Б.5 приведен пример заполнения граф основной надписи указанной формы. Все необходимые размеры приведены в государственном стандарте.

КП – курсовой проект Аббревиатура кафедры Три последние цифры номера зачетной книжки Две последние цифры года окончания выполнения проекта

КП-СебКаВГТУ-ЭМ-403-06

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Логическое устройство управления на мультимплексорах. Схема электрическая принципиальная	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Фамилия И.О.				КП		1 : 1
Пров.	Фамилия И.О.						
Н. контр.	Фамилия И.О.				Лист 36	Листов 1	
Утв.	Фамилия И.О.				СебКаВГТУ гр. ПЭ-021		

Личные подписи Дата подписи Номер по порядку сквозной нумерации пояснительной записки Количество листов графической части

Обозначение материала детали, печатной платы или корпуса
 (графу заполняют только на чертежах деталей, печатных плат или корпуса.
 Например, Стеклотекстолит (СФ – 2 – 50)

Рисунок Б.5 – Пример основной надписи по форме 1 для чертежей и схем

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания по выполнению расчетно-графической работы

по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
УСТРОЙСТВ»

для студентов направления подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Составитель: Лапин А.А.

Редактор:

Формат _____	Подписано в печать _____	Уч.-изд. л. – _____
Бумага _____	Усл. п. л. – _____	Заказ _____
Печать _____	Тираж _____ экз.	

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355029, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издательство Северо-Кавказского федерального университета
Отпечатано в типографии СКФУ