

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиотехники

## **ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине  
«Основы расчетов радиотехнических цепей»  
для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные  
системы и комплексы» (специализация «Радиоэлектронные  
системы передачи информации»)  
очной формы обучения

Воронеж 2018

УДК 621.3.011.719  
ББК 32.841я7

**Составитель** ст. преп. В. В. Жилин

Основы расчетов радиотехнических цепей: методические указания к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине «Основы расчетов радиотехнических цепей» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» (специализация «Радиоэлектронные системы передачи информации») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В. В. Жилин. Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2018. 47 с.

Целью лабораторного цикла является освоение методов расчета и схемотехнического моделирования физических процессов в радиотехнических цепях. Методические указания охватывают весь лабораторный цикл и включают 8 лабораторных работ общей трудоемкостью 36 часов. Изложен общий порядок выполнения лабораторных работ, определены цель, требуемые программно-аппаратные средства, представлены краткие теоретические сведения, указаны лабораторное задание и вопросы самоконтроля.

Предназначены для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле Методичка по ОРПТЦ.pdf.

Ил. 20. Табл. 4. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 621.3.011.719**  
**ББК 32.841я7**

**Рецензент** – В. П. Литвиненко, канд. техн. наук, доцент  
кафедры радиотехники

*Издается по решению учебно-методического совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ЦИКЛА**

Лабораторные работы цикла выполняются студентами индивидуально по вариантам.

Общий порядок выполнения лабораторных работ следующий:

- студенты заблаговременно самостоятельно до начала лабораторного занятия знакомятся с теоретическим и методическим материалом по теме предстоящей лабораторной работы;
- после краткой проверки преподавателем знаний студентов по теме лабораторной работы преподаватель объясняет цели, методы и порядок выполнения лабораторной работы;
- по разрешению преподавателя студенты приступают к выполнению работы в соответствии с заданием в настоящих методических указаниях;
- в ходе выполнения лабораторной работы студент может получить индивидуальные консультации, ход выполнения работы контролируется преподавателем;
- по окончании выполнения работы студент представляет преподавателю результаты (черновики) выполнения лабораторной работы; лабораторная работа считается выполненной, если получены верные результаты по каждому из лабораторных заданий;
- студент, выполнив работу, должен привести лабораторное место в исходное состояние: удалить свои файлы, убрать бумаги, выключить компьютер или иное лабораторное оборудование и т. д.;
- к следующему занятию каждый студент представляет отчет в электронном виде и защищает результаты работы;
- на этом лабораторная работа считается законченной.

Каждая последующая работа выполняется в этом же порядке. Лабораторные работы взаимосвязаны, поэтому зачет

по проделанной работе должен быть сдан до начала следующей.

Результаты лабораторной работы оформляются в виде отчета в электронной форме (общий объем — 10–18 страниц А4), содержащего следующие позиции:

- титульный лист (вуз, факультет, номер и название лабораторной работы, группа, Ф.И.О. студента, преподавателя, год, город);
- цель лабораторной работы;
- результаты выполнения работы — в соответствии с пунктами лабораторного задания;
- заключение (в соответствии с целью работы).

Отчет должен содержать результаты выполнения лабораторного задания в виде копий экрана (с наличием фамилии и группы студента, выполняющего лабораторное задание). Отчет строится в соответствии с пунктами лабораторного задания, которые необходимо нумеровать и описывать. Рисунки (результаты выполнения заданий), графики должны быть пронумерованы и иметь название. Следует не упускать из виду масштаб копии экрана — текст должен иметь размер символов, близкий к размеру шрифта отчета. По каждому пункту лабораторного задания следует делать выводы. В конце отчета также должны присутствовать выводы по всей лабораторной работе (в соответствии с тематикой и целью работы).

В случае пропуска занятия по уважительной причине студент может выполнить работу с другой студенческой группой.

## **2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1–2. ОСНОВЫ РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ ELECTRONICS WORKBENCH**

### ***2.1. Цель работы***

Знакомство с программным средством моделирования электронных схем Electronics Workbench 5.12 (EWB). Трудоемкость работы — 8 часов.

### ***2.2. Краткие сведения о симуляторе EWB***

#### ***2.2.1. Интерфейс пользователя***

Поле меню состоит из пяти компонентов: меню работы с файлами («File»), меню редактирования («Edit»), меню работы со схемами («Circuit»), меню анализа схем («Analysis»), меню работы с окнами («Window») и с англоязычной справочной системой («Help»). Панель инструментов состоит из «быстрых» кнопок, имеющих аналоги в меню, кнопок запуска и приостановки моделирования схем, библиотек радиоэлектронных аналоговых и цифровых радиокомпонентов, индикаторов, элементов управления и контрольно-измерительной аппаратуры.

Меню «File» позволяет производить стандартные операции со схемными файлами.

Меню «Edit» позволяет производить редактирование схемных файлов. Меню «Circuit» позволяет управлять расположением графического изображения компонентов, изменять масштаб изображения схемы, параметры элементов схемы, управлять отображением их идентификационных номеров и пр.

Подменю «Component Properties» предназначено для изменения свойств выбранного компонента.

- «Label» — позиционное обозначение компонента;
- «Value» — значение параметров элементов.

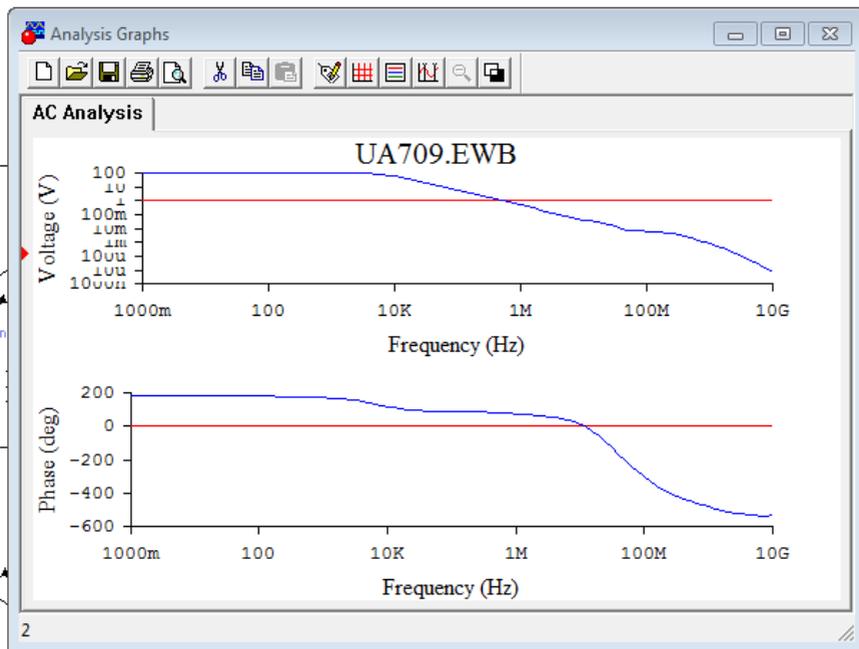
Подменю «Schematic Options» предназначено для управления отображением рабочего поля схем.

Меню «Analysis» позволяет осуществить различные виды анализа имитируемых радиотехнических цепей. Команда «Activate» (дублируется переключателем в правой части панели инструментов) запускает имитационное моделирование цепи. Команда «DC Operating Point» обеспечивает расчет режима имитируемой цепи по постоянному току; при этом из моделируемой цепи исключаются все конденсаторы (методом обрыва) и закорачиваются все индуктивности. После выполнения команды в окне «Analysis Graph» выводятся расчетные значения потенциалов контрольных точек (нод), а также токов, протекающих через индуктивности и источники напряжения. Команда «DC Sweep...» позволяет выявить конкретные зависимости постоянной составляющей потенциалов нод (токов в ветвях с индуктивностью или источниками напряжения) от величины параметров, используемых в схеме источников. Команда «AC Frequency...» обеспечивает расчет частотных характеристик цепи.

Результаты выполнения команды «AC Frequency ...» приводятся в окне «Analysis Graphs» в виде ненормированной амплитудно-частотной (верхняя кривая) и фазочастотной (нижняя кривая) характеристик (рис. 1). Следует помнить, что ненормированная АЧХ представляет собой зависимость от частоты амплитуды (!) выходного гармонического колебания в установившемся режиме; ее значения прямо пропорциональны амплитуде входного напряжения (при частотном анализе необходимо, чтобы на входе цепи присутствовал источник переменного напряжения).

Команда «Transient...» позволяет осуществить расчет переходных процессов в цепи. Отображение меняющихся во времени сигналов (напряжений) в контрольных точках цепи может быть оперативно произведено с помощью осциллографа (Oscilloscope).

Команда «Fourier...» обеспечивает проведение спектрального (Фурье-) анализа сигналов в моделируемой цепи.



**Рис. 1.** Результаты выполнения команды «AC Frequency ...»: АЧХ и ФЧХ

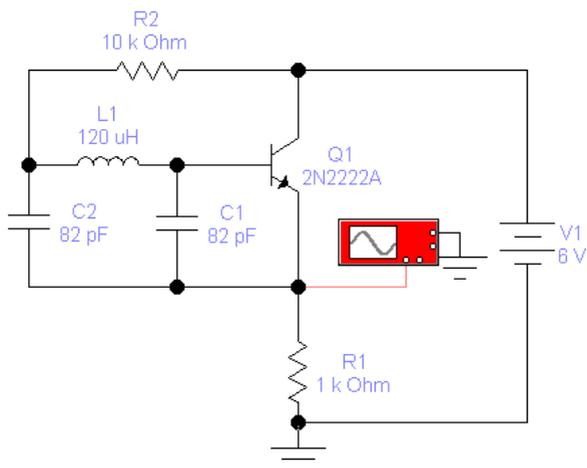
Команда «Parameter Sweep...» позволяет провести многократный расчет характеристик цепи при разных значениях задаваемого параметра компонента.

### ***2.2.2. Работа с виртуальными измерительными приборами***

Осциллограф (Oscilloscope), имитируемый EWB, представляет собой виртуальный аналог двухлучевого запоминающего осциллографа и имеет две модификации: простую и расширенную. На поле схем выводится уменьшенное изображение осциллографа — иконка (рис. 2).

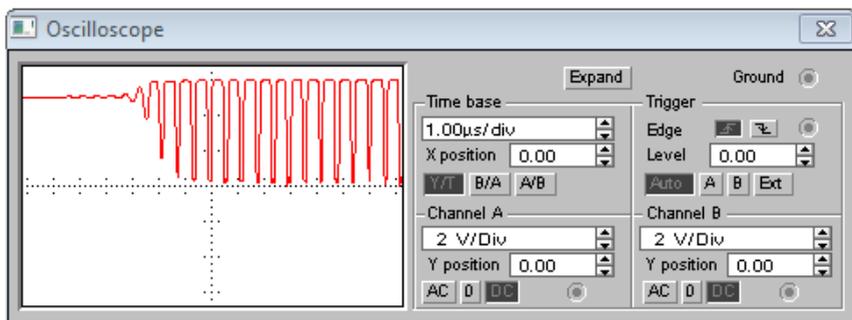
На ней имеется четыре клеммы:

- самая верхняя клемма — общая («земля»);
- чуть ниже — вход синхронизации;
- нижние клеммы — входы каналов «А» и «В».



**Рис. 2.** Изображение осциллографа на схеме

Двойной щелчок мышки по иконке позволяет раскрыть изображение лицевой панели простой модификации с кнопками управления и информационным экраном (рис. 3).



**Рис. 3.** Панель осциллографа

Для проведения измерений осциллограф следует настроить: задать режим и длительность развертки, установить требуемую чувствительность по каналам, режим

работы по входу (закрытый или открытый), режим синхронизации (внутренний или внешний). Настройка осциллографа производится при помощи кнопок управления, которые сгруппированы в четыре поля (области):

- Timebased — поле управления горизонтальной разверткой или масштабом времени,
- Trigger — поле синхронизации (запуск),
- Chanel A — поле управления каналом «А»,
- Chanel B — поле управления каналом «В».

Измеритель АЧХ и ФЧХ — бодэ-плоттер (Bodeplotter) — используется для отображения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик цепей. В режиме измерения АЧХ прибор фиксирует отношение амплитуд гармонических сигналов в двух точках схемы, при измерении ФЧХ — фазовый сдвиг между сигналами. Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью четырех клемм: двух входных («IN») и двух выходных («OUT»).

Прибор Function Generator представляет собой источник напряжения, периодически изменяющегося во времени: гармонической (синусоидальной), треугольной (пилообразной) и прямоугольной форм.

### ***2.2.3. Технология подготовки электрических схем***

Процесс реализации схемы в симуляторе EWB начинается с размещения на рабочем поле компонентов (из библиотек программы) в соответствии с подготовленным эскизом. Двенадцать разделов библиотеки компонентов могут быть вызваны с помощью иконок, расположенных во втором ряду панели инструментов.

После размещения компонентов на схемном поле производится соединение их выводов проводниками. При этом необходимо учитывать, что к выводу компонента можно подключить только один проводник. Для подключения к этим выводам других проводников в библиотеке «Basic» выбирается точка (символ соединения) и переносится на

проводник. Размещение соединительных проводников (разводка) производится EWB автоматически, причем препятствия — компоненты и другие проводники — огибаются по ортогональным направлениям (по горизонтали или вертикали).

При подключении осциллографа разумно изменить цвет проводников, соединяющих входы его каналов со схемой, поскольку их Color определяет цвет соответствующей осциллограммы.

### ***2.3. Лабораторное задание***

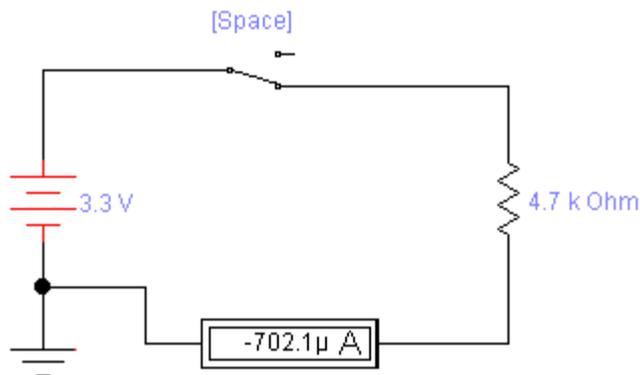
1. Запустите пакет WorkBench. Используя изложенные выше краткие сведения о программе, ознакомьтесь с меню панели «File», «Edit», «Circuit». Ознакомьтесь с назначением кнопок основной панели EWB.

2. Откройте существующий файл «UA709.EWB». Ознакомьтесь с примером построения электрической схемы. Включите выключатель в верхнем правом углу основной панели EWB, запустив тем самым процесс моделирования. Дважды щелкните на приборе в схеме, наблюдайте осциллограмму колебаний. Остановите моделирование. Создайте новый проект, закрыв «UA709.EWB» без сохранения изменений. Сохраните не заполненный еще проект под именем, соответствующим Вашей фамилии (что необходимо для последующей идентификации проекта).

3. Ознакомьтесь с составом электронных элементов пакета EWB: пассивных и активных радиоэлементов, источников питания и сигнала, индикаторов и измерительных приборов.

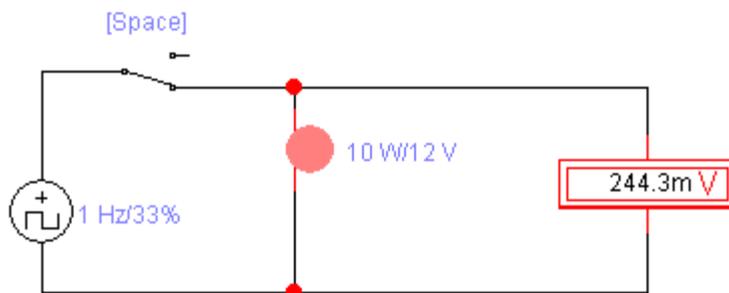
4. Ознакомьтесь с панелью «Sources» («Источники») моделей идеальных источников напряжения (постоянного, гармонического), тока. Соберите простейшую схему и измерьте силу тока в цепи (рис. 4), соблюдайте отраженные на схеме параметры элементов цепи, их расположение и ориентацию. В поле «Description» вставьте краткое описание схемы на английском (например, «Resistor»). Для включения в

отчет собранной схемы и результатов моделирования применяйте команду «Соруas Bitmap».



**Рис. 4.** Простейшая схема электрической цепи

5. Ознакомьтесь с панелью «Indicators» («Индикаторы»). Соберите новую схему в соответствии с заданными параметрами цепи, амплитуда импульсов — 11 В (рис. 5). Убедитесь в ее работоспособности, объясните (в отчете) причину нестабильности показаний вольтметра.



**Рис. 5.** Схема электрической цепи с источником прямоугольных импульсов

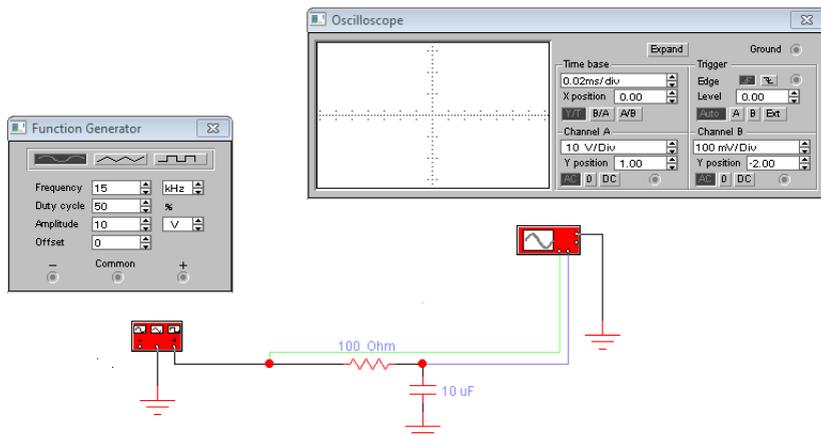
6. Ознакомьтесь с панелью «Instruments» измерительных приборов (мультиметр, генератор, осциллограф, бод-плоттер). Изучите панель измерительного прибора «Multimeter» («Мультиметр»). Замените индикатор

напряжения на мультиметр, а источник импульсов — на источник гармонического сигнала с амплитудой напряжения 9 В, 50 Гц. Повторите измерения, установив соответствующий режим измерения мультиметра. Сохраните схему.

7. Откройте новый проект. Соберите схему RC-цепочки (рис. 6), задайте указанные на рисунке параметры цепи.

8. Используя изложенное выше описание, ознакомьтесь с панелью прибора «Function Generator» («Функциональный генератор»). Подключите к RC-цепочке генератор, задайте указанные на рисунке параметры сигнала.

9. Используя изложенное выше описание, ознакомьтесь с панелью прибора «Oscilloscope» («Осциллограф»). Подключите осциллограф и задайте цвет лучей согласно рис. 6. Настройте осциллограф для удобного отображения сигналов. Наблюдайте колебания, сдвиг колебаний по фазе. Измените вид входного сигнала на прямоугольные импульсы со скважностью 20 %, наблюдайте выходной и входной сигналы. Сохраните схему под другим именем.



**Рис. 6.** Схема электрической цепи с генератором осциллографом

10. Откройте имеющийся в базе EWB пример электрической схемы (файл 1HP-FILT.EWB). Задайте параметры сигнала: 33 кГц, 200 мВ.

11. Настройте параметры отображения осциллографа, наблюдайте сигналы во времени, используя расширенную модификацию осциллографа. Выявите параметры сигнала:

- определите период колебаний;
- вычислите частоту колебаний;
- определите сдвиг колебаний по времени;
- вычислите величину сдвига колебаний в градусах.

12. Используя изложенное выше описание, ознакомьтесь с панелью прибора «Bode Plotter» («бодэ-плоттер»). Настройте бодэ-плоттер на диапазон от 100 Гц до 350 кГц. Постройте АЧХ и ФЧХ цепи. Отобразите отношение амплитуд входного/выходного сигналов (т. е. по вертикали) при частоте 1,5 кГц:

- в линейном (т. е. в размах);
- в логарифмическом (т. е. в дБ) масштабах.

13. Вернитесь к схеме рис. 6. Замените генератор сигналов батареей напряжением 9 В. Ознакомьтесь с меню команды «DC Sweep...». Выявите зависимость потенциала ноды от величины напряжения посредством команды «DC Sweep...», диапазон 0–35 В.

14. Вернитесь к схеме рис. 6, установите гармоническое колебание с частотой 22 кГц и амплитудой 1 В. Ознакомьтесь с меню команды «AC Frequency...». Посредством команды «AC Frequency...» рассчитайте частотные характеристики цепи в диапазоне от 1 Гц до 135 МГц, количество рассчитываемых точек — 555. Повторите расчет, увеличив емкость конденсатора до 300 нФ.

15. Ознакомьтесь с меню команды «Transient...». Посредством команды «Transient...» осуществите расчет переходных процессов в цепи (см. рис. 6) в диапазоне времени от 0 до 300 мкс. Сравните результаты расчета (амплитуду и период) с осциллограммой.

16. Ознакомьтесь с меню команды «Fourier...». Измените частоту генератора на 14 кГц (см. рис. 6). Выполните расчет спектра периодического колебания (команда «Fourier...») для

узла 2, используйте 30 гармоник. Сравните спектр с частотой генератора.

17. Ознакомьтесь с меню команды «Parameter Sweep...». Проведите многократный расчет АЧХ и ФЧХ (команда «Parameter Sweep...») для различных значений резистора (см. рис. 6): от 1 Ом до 10 кОм с шагом в 1 кОм. Охарактеризуйте влияние номинала резистора на АЧХ.

18. Закройте все проекты, с сохранением. Выйдите из пакета WorkBench.

19. Оформите отчет согласно пунктам лабораторного задания. Отрадите в выводах приобретенные навыки и умения.

#### ***2.4. Вопросы самоконтроля***

Ответы на вопросы предполагают демонстрацию соответствующих действий.

1. Каково назначение и действие команды «Copy as Bitmap» меню «Edit»?
2. Каково назначение закладки «Value» подменю «Component Properties» меню «Circuit»?
3. В чем заключается процесс моделирования работы электрической схемы в EWB?
4. Охарактеризуйте команду «DC Operating Point» меню «Analysis».
5. Охарактеризуйте команду «DC Sweep...» меню «Analysis».
6. Охарактеризуйте команду «AC Frequency...» меню «Analysis».
7. Охарактеризуйте параметр «Sweep type» команды «AC Frequency...» меню «Analysis».
8. Охарактеризуйте команду «Transient...» меню «Analysis».
9. Охарактеризуйте параметр «Minimum number of time point» команды «Transient...» меню «Analysis».
10. Охарактеризуйте команду «Fourier...» меню «Analysis».
11. Охарактеризуйте команду «Parameter Sweep...» меню «Analysis».
12. Охарактеризуйте параметры «Startvalue», «Endvalue» команды «Parameter Sweep...» меню «Analysis».

### **3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3–4. ОСНОВЫ РАБОТЫ В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ MATHCAD**

#### ***3.1. Цель работы***

Знакомство с системой компьютерной алгебры MathCAD (версия 15). Трудоемкость работы — 8 часов.

#### ***3.2. Краткие сведения о MathCAD***

##### ***3.2.1. Общая характеристика MathCAD***

MathCAD относится к системам компьютерной алгебры, то есть средств автоматизации математических расчетов. Основной областью применения MathCAD является решение задач инженерного характера. MathCAD обеспечивает вычисление по сложным математическим формулам, имеет большой набор встроенных математических функций, позволяет вычислять ряды, суммы, произведения, интегралы, производные, работать с комплексными числами, решать линейные, нелинейные и дифференциальные уравнения, проводить минимизацию и максимизацию функций, выполнять векторные и матричные операции, статистический анализ и т. д.

Программа русифицирована, MathCAD полностью поддерживает буквы кириллицы в комментариях, формулах и на графиках. Особой подготовки для набора формул не требуется.

Возможно дополнение MathCAD новыми функциями с помощью специализированных пакетов расширений и библиотек для решения специализированных задач:

- пакет для анализа данных (англ. Data Analysis Extension Pack);
- пакет для обработки сигналов (англ. Signal Processing Extension Pack), содержащий более 70 встроенных функций для аналоговой и цифровой обработки сигналов, анализа и представления результатов в графическом виде;

– электротехническая библиотека (англ. Electrical Engineering Library), содержащая стандартные вычислительные процедуры, формулы и справочные таблицы, используемые в электротехнике, и т. д.

Пакет имеет удобные возможности импорта/экспорта данных. Например, можно работать с электронными таблицами Microsoft Excel прямо внутри MathCAD-документа.

### 3.2.2. Интерфейс MathCAD

При открытии файла MathCAD.exe на экране появляется рабочее окно MathCAD с главным меню и основными панелями: Стандартная, Форматирование, Математические (рис. 7). Состав панелей можно изменять — в соответствии с требуемым для решения конкретных задач набором.

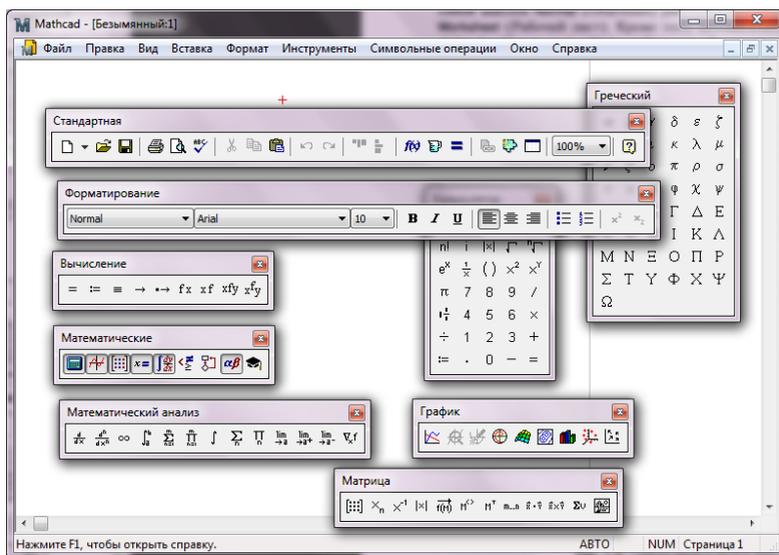


Рис. 7. Панели MathCAD

Рассмотрим панель, наиболее востребованную для расчетов радиотехнических цепей: Математические. Панель «Математические» позволяет включать посредством кнопок панели:

- «Калькулятор» — вставка шаблонов основных математических операций, цифр, знаков арифметических операций;
- «График» — вставка шаблонов графиков;
- «Матрица» — вставка шаблонов матриц и матричных операций;
- «Вычисление» — операторы присвоения значений и вывода результатов расчета;
- «Математический анализ» — вставка шаблонов дифференцирования, интегрирования, суммирования;
- «Булева алгебра» — вставка логических (булевых) операторов;
- «Программирование» — операторы, необходимые для создания программных модулей;
- «Греческие буквы»;
- «Символика» — вставка операторов символьных вычислений.

Имя выражения (все, что стоит слева от оператора присваивания) может состоять из латинских, русских, греческих и других букв и цифр, знаков подчеркивания, штриха, символа процента, знака бесконечности, вводимых с клавиатуры. MathCAD воспринимает прописные и строчные буквы как различные идентификаторы.

MathCAD не делает различий между именами переменных и функций. Если вначале определить функцию  $f(x)$ , а затем — переменную  $f$ , окажется невозможно использовать  $f(x)$  в расчетах где-либо после определения  $f$ .

Дискретная переменная фактически позволяет организовать цикл, группу расчетов для изменяющихся с заданным шагом в заданных пределах значений переменной (аргумента). Механизм дискретных переменных позволяет строить зависимости функций от переменных в виде таблиц и графиков.

Комплексное число создается посредством панели «Калькулятор», мнимая единица вводится кнопкой «  $i$  ».

Модуль комплексного числа вычисляется посредством кнопки « $|x|$ », а аргумент — командой  $\text{arg}(x)$ .

Для задания матриц, интегралов и т. п. — вызвать необходимую палитру, задать размерности и ввести в поля ввода соответствующие число или выражение.

Единицы измерения задаются посредством символа «мерной кружки» в основном меню.

Некоторые имена переменных зарезервированы MathCAD-ом, к таковым относятся константы:  $\pi$ ,  $e$ , скорость света  $c$ , символ бесконечности  $\infty$ , процент % (равен значению 0,01), мнимая единица  $i$  (обозначается также  $j$ ).

Красным цветом MathCAD отмечает ошибки пользователя. При наведении курсора на объект красного цвета всплывает подсказка по ошибке.

### **3.2.3. Определение функции**

Функция есть правило, согласно которому проводятся некоторые вычисления с её аргументами и вырабатывается её числовое значение. Для того чтобы определить функцию, нужно:

- ввести имя функции,
- ввести левую скобку « ( », список аргументов и закончить его правой скобкой « ) »,
- ввести двоеточие « : », что приведет к появлению знака присваивания « := »,
- напечатать в поле ввода выражение.

### **3.2.4. Построение графиков (плоских)**

Для построения плоского графика следует выбрать на математической панели кнопку «График», предварительно задав функцию и ее аргумент (рис. 8), и, задав оси (по «у» — функция, по «х» — аргумент), получим график. Параметры отображения сформируются автоматически. На одном рисунке можно разместить несколько графиков, задав в поле функции через запятую другие функции (а в поле аргумента — новые аргументы).

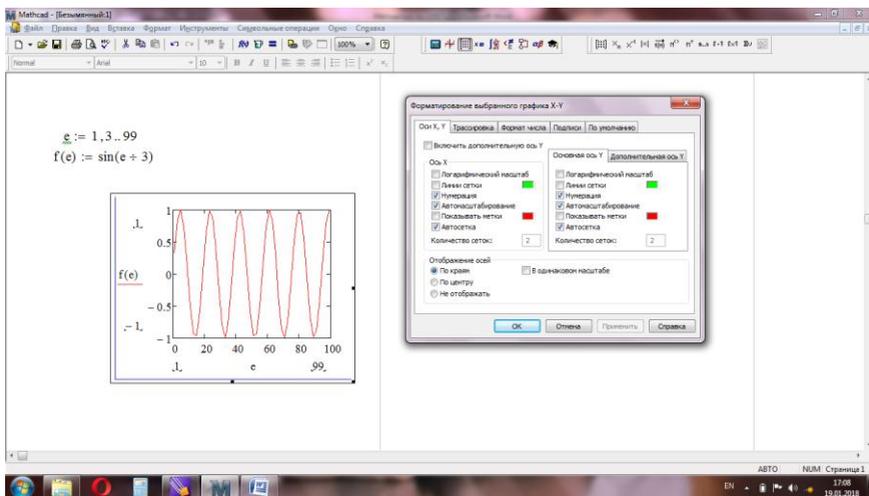


Рис. 8. Построение плоских графиков

### 3.2.5. Решение уравнений

Корни уравнения можно найти, используя функцию «Решить» панели «Символьные вычисления» (рис. 9).

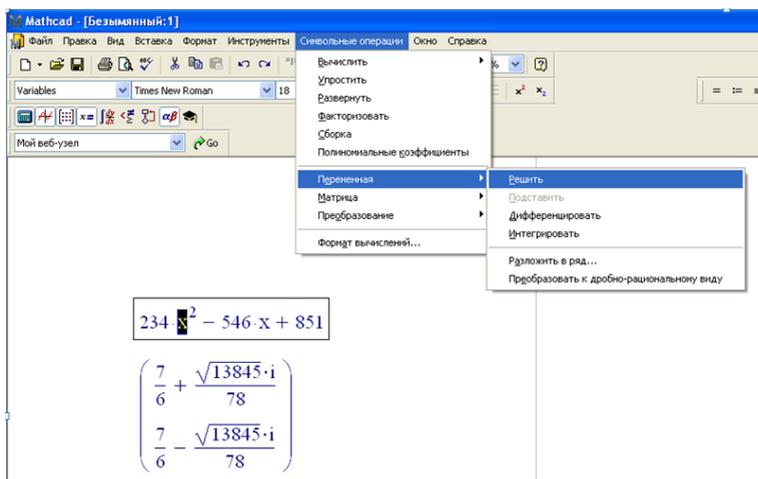


Рис. 9. Пример нахождения корней уравнения

Для этого сначала записывается квадратное уравнение (без приравнивания его нулю), затем выделяется переменная,

которую хотим найти (при каком значении выражение будет равно нулю). И далее — «Символьные вычисления» → «Переменная» → «Решить».

### **3.2.6. Матрица**

Матрица задается следующими действиями:

- указать имя матрицы, ввести знак присвоения « := »;
- на панели инструментов «Вектор и матрица» выбрать «Матрица или вектор»;
- в появившемся окне задать размерность матрицы (например,  $2 \times 5$ );
- каждую позицию матрицы заполнить значением или переменной.

Матрица из одного столбца называется вектор.

При обращении к элементам матрицы следует указать имя матрицы и два индекса элемента (первый — номер строки, второй — номер столбца); первый элемент массива имеет номер 0, 0.

Матрицы можно складывать, умножать, вычитать и т. д. Определителем, или детерминантом, квадратной матрицы называется число, которое ставится в соответствие этой матрице. Нахождение определителя матрицы позволяет решать системы линейных уравнений, посредством которых описываются процессы, происходящие в сложных электрических цепях. Вычисление определителя матрицы (выше третьего порядка) — процесс достаточно трудоемкий, MathCAD существенно его упрощает.

### **3.3. Лабораторное задание**

1. Запустите MathCAD. Ознакомьтесь с панелью «Стандартная». Сохраните еще не заполненный проект под именем, соответствующим Вашей фамилии (что потребуется для последующей идентификации проектов). Все задания выполняйте, не удаляя предыдущие пункты.

2. Ознакомьтесь с панелью «Математические». Включите панели «Калькулятор», «График», «Вектор и

матрица», «Вычисление», «Математический анализ», «Булева алгебра», «Программирование», «Греческие символы». Расположите их удобным образом (например, в верхней панели, справа в рабочем поле).

3. Ознакомьтесь с панелью «Калькулятор». Вычислите значения:

$$- 60 * 57 + 11,$$

$$- 365 / 24,$$

$$- 2\pi * 0,3333.$$

4. Ознакомьтесь с панелью «Греческий». Присвойте значение переменным  $x := 7$ ,  $n := 5$ ,  $\Omega 8 := -2$ ,  $a_3 := 1001$ . Найдите их произведение. Ознакомьтесь с панелью «Форматирование». Измените шрифт на «Times New Roman» размер 16. Измените вид представления результата на «Десятичный» (панель «Формат») с отображением 5 знаков после запятой.

5. Ознакомьтесь с панелью «Вставка единиц измерения» (открывается кнопкой «Мерная кружка»). Используйте любое обозначение переменных, первой задайте значение 5 В, второй — 172 мА. Найдите их произведение, обратите внимание на единицу измерения произведения. Вычислите, используя единицы измерения, задержку (время) распространения сигнала от геостационарного спутника (высота орбиты 36000 км).

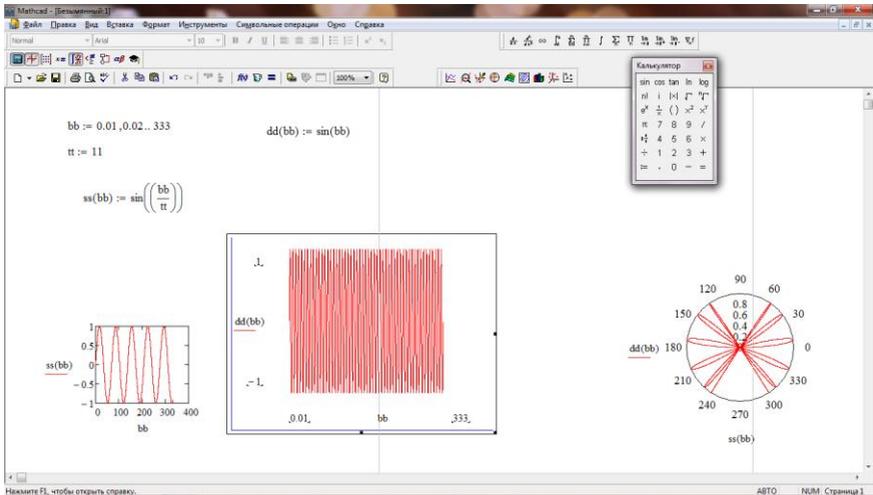
6. Ознакомьтесь с панелью «Вычисление». Присвойте дискретной переменной *otlichno* значения от 0 до 30 с шагом 5. Представьте таблично значения переменной *otlichno*.

7. Вычислите значения *факто* =  $n!$  для заданного (см. п. 4) значения  $n$ . Вычислите  $8!$ .

8. Присвойте переменным  $P_1$  и  $P_{ном}$  соответственно значения 3 Вт и 1 мВт. Вычислите  $D = 10 \lg P_1 / P_{ном}$ . Вычислите значение выражения для  $P_1 = 1 \text{ Вт}$ .

9. Задайте дискретную переменную  $r$ , начальное значение 0,001, шаг 0,008, конечное значение 19. Присвойте переменной  $\varphi$  значение  $\pi/3$ . Рассчитайте таблично функцию  $f35(r) = \sin(r + \varphi)$ .

10. Ознакомьтесь с панелью «График». Постройте графики согласно приведенному примеру на рис. 10.



**Рис. 10.** Построение графиков

11. Постройте график функции  $f_{35}(r) = \sin(r + \varphi)$  (см. п. 9) для  $r$  от  $0$  до  $12$ , шаг  $2$ . Измените шаг на  $0,03$ . Отрадите в выводе, на что влияет шаг.

12. Ознакомьтесь с панелью графика «Форматирование выбранного графика X-Y». Отобразите график в логарифмической шкале по вертикали. Измените цвет графика на синий. Нанесите сетку. Нанесите численные значения для сетки. Вставьте заголовок графика «Колесание 1». Увеличьте размер графика. Переместите график вправо.

13. Постройте график функции  $ttt(\omega) = 1 / \omega * \sin(\omega)$  оранжевого цвета для диапазона значений  $\omega$  от  $-12$  до  $55$ , шаг задайте  $0,01$ .

14. Ознакомьтесь с панелью графика «Формат 3D-графика». Создайте функцию  $ss3(x,y) = x^2y^2$ . Постройте трехмерный график функции  $ss3$ . Поверните график. Измените расцветку линий. Измените функцию, увеличив степень у до  $3$ . Выполните заливку контуров.

15. Ознакомьтесь с панелью «Матрица». Создайте вектор AAA емкостью 8 элементов. Заполните вектор нечетными числами. Умножьте вектор на 3. Вычислите произведение четвертого и последнего элемента.

16. Задайте вектор  $d\_b$  емкостью 9 элементов. Заполните числами: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81. Вычислите сумму нечетных номеров элементов.

17. Создайте матрицу METRO размером  $3 \times 5$ . Заполните матрицу последовательно целыми числами от  $-7$  до 7. Создайте матрицу DUC(3,5), заполните четными числами от 4 до 34. Выполните сложение матриц METRO и DUC.

18. Создайте квадратную матрицу TR\_D(3,3). Заполните ее числами, соответствующими квадрату номера элемента. Вычислите определитель матрицы (для самопроверки: его значение равно  $-216$ ).

19. Ознакомьтесь с панелью «Математический анализ». Для заданного ранее вектора  $d\_b$  вычислите сумму, используя кнопку « $\Sigma$ » панели «Матрица». Выполните обращение матрицы.

20. Присвойте переменным комплексные числа  $5 - j8$  и  $12 + j3$ . Найдите произведение переменных. Вычислите модуль и аргумент каждого комплексного числа.

21. Используя функцию «Решить» меню «Символьные операции», найдите корни уравнения  $(x - 5)(x - 7) = 0$ . Выполните еще один расчет: найдите корни уравнения  $x^3 - 5x^2 + 8x - 11 = 0$ . Обратите внимание на длительность расчета. Выявите, является ли результат комплексным числом. Упростите выражения для найденных корней.

22. Вставьте «Ползунок» (из панели «Вставка»). Присвойте посредством «Ползунка» переменной ЦУП18 значение 53. Вычислите значение ФАН45 =  $10 \log(\text{ЦУП18} / 100)$ . Наблюдайте значение ФАН45, изменяя положение движка на «Ползунке».

23. Найдите производную от функции  $f(x) = \sin(x + \pi / 3) / x$  для  $x = 27$ .

24. Найдите интеграл для  $\text{kof}(ner) = \sin(ner)$  на отрезке от  $-\pi$  до  $\pi$ . Постройте график функции для указанного отрезка, объясните (в отчете) посредством графика полученное значение.

25. Закройте проект с сохранением изменений.

26. Оформите отчет согласно пунктам лабораторного задания. Отразите в выводах приобретенные навыки и умения.

### **3.4. Вопросы самоконтроля**

Ответы на вопросы предполагают демонстрацию соответствующих действий.

1. Функциональные возможности MathCAD.
2. В каком порядке следования формул производятся вычисления?
3. Каким образом строится график функции в MathCAD?
4. Какие специализированные пакеты расширений и библиотек имеются в MathCAD?
5. Охарактеризуйте панель «Стандартная». Что означает кнопка «Мерная кружка»?
6. Охарактеризуйте панель «Вычисления».
7. Охарактеризуйте панель «Математические».
8. Охарактеризуйте панель «График».
9. Охарактеризуйте панель «Матрица».
10. Какие из перечисленных переменных нельзя использовать в MathCAD:  $\text{www}$ ,  $d\%d$ ,  $\sin\_l$ ,  $\pi\pi$ ,  $3\text{тон}$ ,  $x_n$ ,  $\cos$ ,  $r^2$ ,  $\text{TER}$ ,  $b=E$ ,  $\text{фф}$ ,  $\text{Корень}$ ?
11. Одинаково ли значение переменных: Один, ОДИН, один?
12. Назначение механизма дискретных переменных. Как вводится дискретная переменная?
13. Что такое функция в понимании MathCAD? Каков порядок определения функции?
14. Как задается формат числа? Какие форматы имеются в MathCAD?

## **4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5–6. ОСНОВЫ РАБОТЫ В ПРОГРАММЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА MICRO-CAP**

### ***4.1. Цель работы***

Знакомство с универсальной программой схемотехнического анализа Micro-Cap (версия 8).  
Трудоемкость работы — 8 часов.

### ***4.2. Краткие сведения о программе схемотехнического анализа Micro-Cap***

#### ***4.2.1. Общая характеристика Micro-Cap***

Программа Micro-Cap очень удобна для первоначального освоения схемотехнического моделирования электронных устройств небольшой степени сложности. Программа русифицирована, является более точной программой схемотехнического моделирования, чем пакет Electronics Workbench; в отличие от EWB, не загромождает схему имитацией измерительных приборов.

Программа позволяет:

- создать схему электрическую принципиальную проектируемого устройства и отредактировать ее;
- провести расчет статического режима по постоянному току;
- рассчитать частотные характеристики и переходные процессы;
- провести оценку уровня внутреннего шума и предельной чувствительности;
- провести многовариантный анализ, включая статистический анализ по методу Монте-Карло;
- наращивать библиотеку компонентов;
- представлять данные в форме, удобной для интерпретации и дальнейшего анализа.

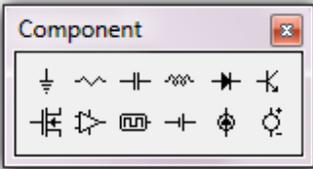
Micro-Cap содержит огромную базу примеров (несколько сотен) электрических схем, охватывающих

множество типов функциональных блоков радиотехники. В демонстрационной версии Micro-Cap приведены примеры моделирования практически всех типов электронных устройств (как аналоговых, так и цифровых), что существенно упрощает освоение программы и изучение приемов моделирования.

Основные панели меню и функции кнопок меню (в соответствии с порядком следования) представлены в табл. 1. Расширенные функции доступны при выполнении аналогичных команд: «Файл», «Редактирование», «Компоненты» и т. д.

Таблица 1

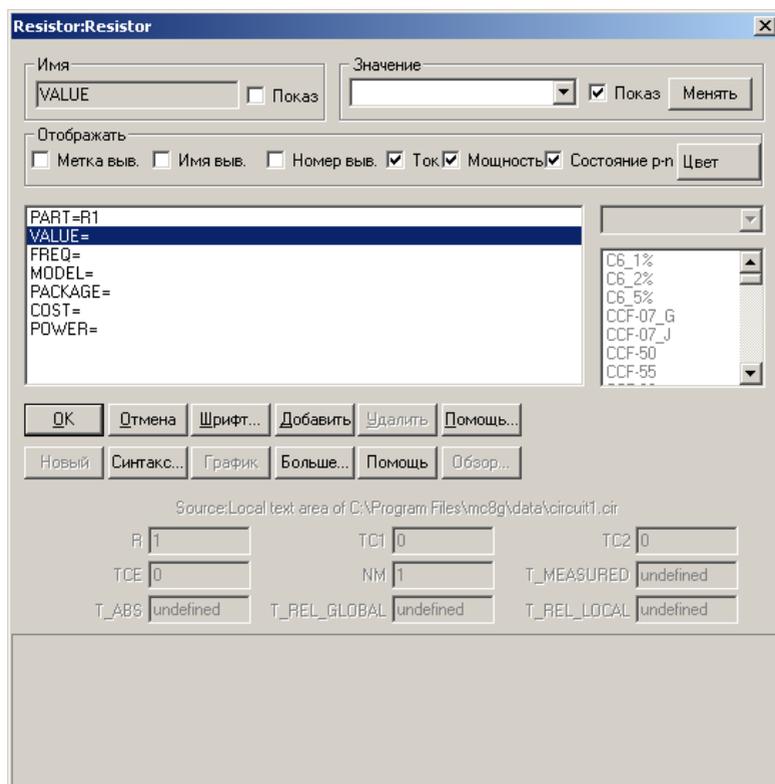
Основные панели меню

Панели меню	Функция кнопок меню
<p>Панель «Component» («Компонент»)</p> 	<p>Выбор элемента для схемы (по условному графическому обозначению)</p>
<p>Панель «Режим»</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выделение компонента (группы), установка компонента в схему,</li> <li>– Текст,</li> <li>– Соединительная линия с возможностью поворотов,</li> <li>– Прямая соединительная линия,</li> <li>– Графические объекты</li> </ul>

<p>Панель «Отображение» (начало)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Показывать текст,</li> <li>– Показывать порядковый номер и номинал,</li> <li>– Показывать номер соединительной точки,</li> <li>– Показывать напряжение в точках,</li> <li>– Показывать протекающие токи,</li> <li>– Показывать мощность рассеивания,</li> <li>– Показывать логическое состояние вкл./выкл.</li> </ul>
<p>Панель «Отображение» (продолжение)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Показывать все соединительные точки,</li> <li>– Курсор в виде перекрестия,</li> <li>– Координатная сетка,</li> <li>– Отображение рамки,</li> <li>– Рамка с титулом,</li> <li>– Привязка компонентов,</li> <li>– Настройка интерфейса</li> </ul>
<p>Панель «Вращение»</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Копирование выделенного элемента,</li> <li>– Копирование элемента с разворотом, поворот компонента,</li> <li>– Разворот относительно вертикали,</li> <li>– Разворот относительно горизонтали</li> </ul>

В панели «Компоненты» удобные первые 4 кнопки, поскольку в остальных случаях приходится перелистывать довольно большие списки возможных вариантов. При выборе пассивного компонента (резистора, конденсатора или индуктивности) после установки элемента появляется

диалоговое окно, в котором необходимо прописать номинал элемента (сопротивление, емкость или индуктивность). Множители мега, кило, микро, нано, пико данный симулятор понимает, поэтому достаточно написать, например, 3к, что будет означать 3 кОм; множители указываются английскими буквами. Сборка схемы осуществляется подобным EWB образом — выбором соответствующих радиоэлементов из меню «Компоненты» и их последующим соединением. Как и в EWB, элементы можно поворачивать, симметрично отображать. После размещения радиоэлемента открывается окно параметров, которое необходимо заполнить; например, для резистора (рис. 11) необходимо как минимум указать значение сопротивления.



**Рис. 11.** Окно ввода параметров резистора

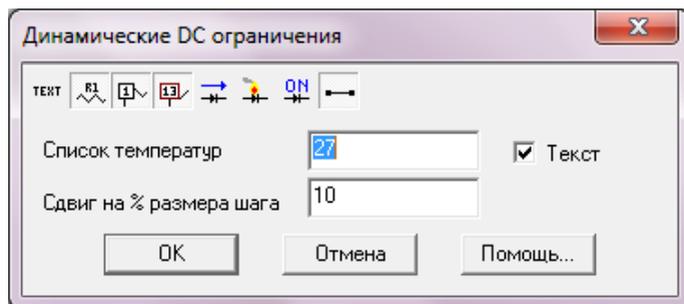
База радиоэлементов Micro-Cap включает огромное количество изделий (более 18 тыс. радиокомпонентов), содержащих подробное описание на уровне параметров математической модели, модель радиоэлемента представлена достаточно подробно. Для соединения элементов между собой используются кнопки .

Актуальными являются расчеты:

- расчет режима по постоянному току и динамическое отображение на схеме узловых потенциалов, токов ветвей и рассеиваемой мощности;
- расчет передаточных функций по постоянному току (DC) (в частности, построение выходных и входных статических характеристик транзисторов);
- анализ переходных процессов (реакция устройств и систем на типовые входные воздействия, реализуемые соответствующими источниками сигналов);
- анализ частотных характеристик;
- расчет малосигнальных (т. е. линеаризованных) передаточных функций по постоянному току.

#### ***4.2.2. Расчет режима по постоянному току (DC)***

Расчет режима по постоянному току (DC) производится посредством команды «Расчет по постоянному току...» меню «Анализ». Всплывающее окно «Динамические DC ограничения» позволяет настроить параметры расчета цепи по постоянному току (рис. 12).



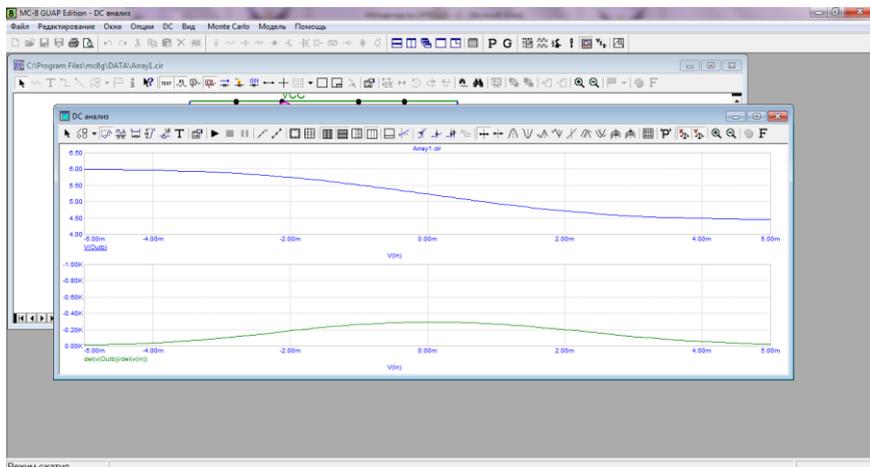
**Рис. 12.** Окно параметров расчета по постоянному току



Выходным сигналом является разность узловых потенциалов или ток через ветвь, в которую включен резистор.

После перехода в режим «Передаточные характеристики по постоянному току...» программа проверяет правильность схемы. При отсутствии ошибок — составляет топологическое описание схемы, выполняет подготовку к численному расчету нелинейных уравнений итерационным методом (метод Ньютона-Рафсона) и открывает окно задания параметров моделирования «Динамические DC ограничения».

Результатом расчета являются графики передаточных функций по постоянному току (рис. 14). При этом открывается окно «DC расчет», где можно провести подробный анализ рассчитанных передаточных функций.



**Рис. 14.** Пример расчета передаточных функций по постоянному току

#### ***4.2.4. Анализ переходных процессов***

Расчет «Анализ переходных процессов» отражает изменения сигналов в исследуемой цепи с течением времени, т. е. осциллограмму (подобную осциллографу в EWB).

После перехода в режим расчета переходных процессов меняется состав меню команд:

- «Режим сжатия» — выделенная курсором область будет растянута на все рабочее поле,
- «Курсор» — перемещение его вдоль графика позволяет получать значения по осям X и Y,
- «Горизонтальный режим» — позволяет указать размерной стрелкой расстояние от одной расчетной точки до другой по оси X,
- «Вертикальный режим» — то же, но для оси Y,
- «Режим признака» — отражает на графике координаты точки.

#### **4.2.5. Расчет частотных характеристик АС**

Кнопки внизу окна параметров имеют ту же функцию, что и при расчете «Передаточные характеристики по постоянному току...», добавляется еще одна кнопка, определяющая тип вывода графиков и занимающая одно из значений:

-  — вывод графиков в прямоугольной (декартовой) системе координат;
-  — вывод графиков в полярной системе координат;
-  — вывод графиков на круговой диаграмме (диаграмме Смита).

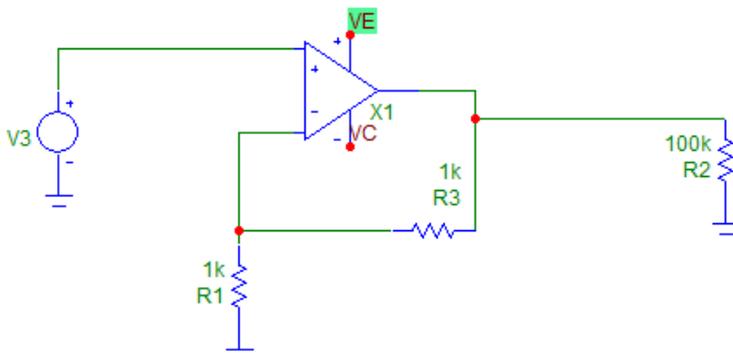
Подробное описание актуальной версии Micro-Cap 8 представлено на сайте разработчика. Первое знакомство с программой Micro-Cap 8 можно осуществить и просмотрев видео по адресу <http://soundbarrel.ru/softina/amp01.html>.

### **4.3. Лабораторное задание**

1. Запустите Micro-Cap 8. Ознакомьтесь с панелями программы. Сохраните еще не заполненный проект под именем, соответствующим Вашей фамилии (что потребуется для последующей идентификации проектов). Используя кнопку «Имя окна», задайте имя «Лабораторная по ОРРЦ», в третьем поле рамки напечатайте свою фамилию. Обратите

внимание на следующую строку рамки, дополните ее текущим временем. Отобразите координатную сетку на рабочем листе. Вверху, посередине листа, напишите «Операционный усилитель». Расположите дополнительную панель слева от рабочего поля, щелкнув по свободному месту во втором ряду кнопок. Вынесите на рабочее поле панель «Component» («Компонент»), отобразите ее в формате как в табл. 1.

2. Соберите схему согласно рис. 15, в качестве операционного усилителя используйте тип GENERIC, обратите внимание на полярность. Параметры источника напряжения измените на «DC 10 AC 0 0 Pulse10 5 100n 10n 10n 400n 1u», т. е. 10 В постоянного напряжения. Отобразите узлы схемы.



**Рис. 15.** Схема операционного усилителя

3. Подключите вольтметр к источнику сигнала (рис. 16). Измените шкалу на 30 В (AUTOSCALE = Off, HIGH = 30). Выполните расчет по постоянному току для узлов цепи.

4. Измените напряжение источника на 12 В. Переключите прибор в режим цифрового. Отобразите результат расчета. Сравните расчетные значения и показания амперметра. Спрячьте результаты расчета (по постоянному току) напряжения в узлах.

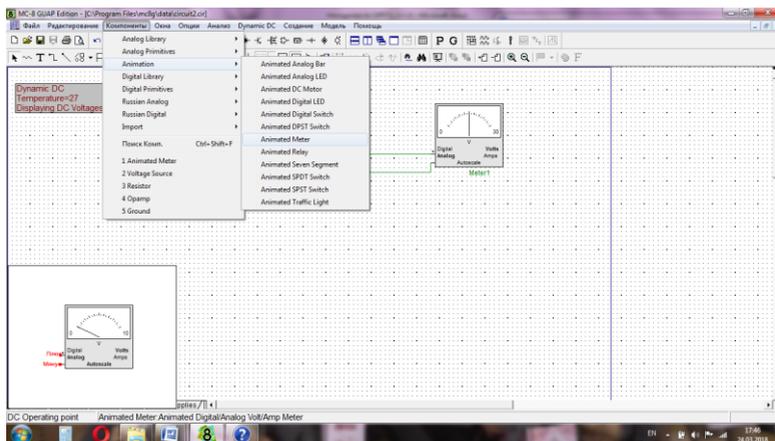


Рис. 16. Выбор вольтметра

5. Отсоедините прибор. Включите в режим измерения тока, цифровой режим, автошкала. Дополните схему резистивным делителем (из резисторов по 4,7 кОм) на выходе источника напряжения. Включите прибор в цепь между резисторами делителя. Отобразите направления и значения протекающих токов в радиоэлементах. Сравните расчетные значения и показания амперметра. Отключите амперметр.

6. Уберите токи в радиоэлементах цепи. Отобразите мощность рассеивания на радиоэлементах. Опишите, каким образом отличается отображение результатов расчета по постоянному току (DC): напряжения, тока, рассеиваемой мощности.

7. Измените параметры источника напряжения на «DC 0 AC 1 0 Pulse10 5 100n 10n 10n 400n 1u», что соответствует 1 В переменного напряжения. Отобразите узлы схемы.

8. Откройте схему ECLGATE.cir. Расположите окна каскадом.

9. Для схемы ECLGATE.cir выполните расчет «Передаточные характеристики по постоянному току», указав в окне параметров расчета автоматический масштаб. Ознакомьтесь с кнопками окна расчета. Повторите расчет,

изменив масштаб оси X на логарифмический, а цвет графика — на светло-зеленый. Отобразите точки данных.

10. Для схемы ECLGATE.cir выполните расчет «Анализ переходных процессов». Наведите курсор на любую точку графика, опишите (в отчете) назначение всплывших чисел.

Используя кнопку  «Горизонтальный режим», измерьте длительность импульса на уровне  $-1,6$ . Используя кнопку  «Вертикальный режим», укажите разность уровней двух сигналов для точки 16нс.

11. Для схемы ECLGATE.cir выполните «Расчет частотных характеристик», при этом задайте параметры расчета согласно рис. 17.

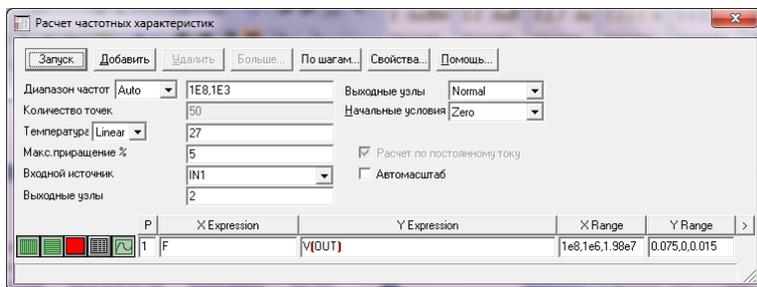


Рис. 17. Параметры «Расчета частотных характеристик»

12. Выполните расчеты «Передаточные характеристики по постоянному току», «Анализ переходных процессов» и «Расчет частотных характеристик» для схемы п. 7, самостоятельно определив параметры расчета.

13. Закройте проекты. Выйдите из программы Micro-Cap.

#### 4.4. Вопросы самоконтроля

Ответы на вопросы предполагают демонстрацию соответствующих действий.

1. Функциональные возможности Micro-Cap.
2. Охарактеризуйте панель «File» («Файл»).
3. Охарактеризуйте панель «Edit» («Редактирование»).

4. Охарактеризуйте панель «Component» («Компонент»).
5. Охарактеризуйте панель «Режим».
6. Охарактеризуйте панель «Отображение».
7. Охарактеризуйте панель «Вращение».
8. Как много параметров модели транзистора учитывает программа Micro-Cap? Подтвердите ответ соответствующим окном программы.
9. Какие расчеты позволяет выполнить программа Micro-Cap?
10. Каким образом отобразить нумерацию узлов (точек)? Продемонстрируйте.
11. Каким образом отобразить на схеме направления и значения токов в радиоэлементах цепи? Продемонстрируйте.
12. Каково назначение кнопки ? Продемонстрируйте.
13. Каковы действия программы Micro-Cap после перехода в режим «Передаточные характеристики по постоянному току...»?
14. Возможно ли использовать анимационный прибор (вольтметр) для измерения переменного напряжения?
15. Каково назначение кнопок внизу окна параметров расчета «Передаточные характеристики по постоянному току»?
16. Каково назначение кнопок «X Expression» и «Y Expression» окна «Анализ переходных процессов»?
17. Каково назначение кнопок «X Range» и «Y Range» окна «Анализ переходных процессов»?
18. Каким цветом выделяются стрелки разности уровней двух сигналов на графике «Анализ переходных процессов» при удалении группы объектов посредством кнопки «Выбрать режим»? Продемонстрируйте.
19. Каково назначение кнопок «X Expression» и «Y Expression» окна «Параметры расчета» панели «Переходные процессы»?

## **5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

### ***5.1. Цель работы***

1. Закрепление знаний и умений работы с программами:
  - Electronics Workbench,
  - MathCAD,
  - Micro-Cap.
2. Приобретение навыков расчета простых цепей посредством перечисленных выше пакетов.  
Трудоемкость работы — 4 часа.

### ***5.2. Сведения о расчете линейных цепей постоянного тока***

Сведения по расчету линейных цепей постоянного тока представлены в Комплексе лекций по дисциплине (в электронном виде).

Напомним лишь законы Кирхгофа.

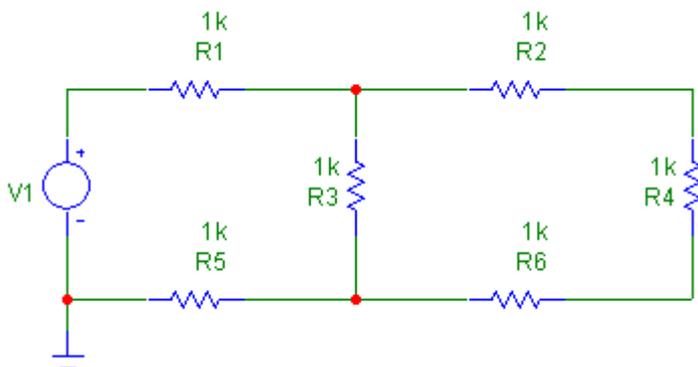
Первый закон Кирхгофа: «Сумма всех токов, втекающих в узел, равна сумме всех токов, вытекающих из узла». Иная трактовка: «Алгебраическая сумма всех токов в узле равна нулю».

Второй закон Кирхгофа: «Алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех резистивных элементах в этом контуре». Термин «алгебраическая сумма» означает, что величина ЭДС и величина падения напряжения на элементах могут быть как со знаком «+», так и со знаком «-».

Выходная ВАХ транзистора представляет собой зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе.

### ***5.3. Лабораторное задание***

Базовой схемой для проведения расчетов является рис. 18. Параметры радиоэлементов выбираются согласно варианту из табл. 2.



**Рис. 18.** Исследуемая простая цепь

Таблица 2

Варианты задания

Номер варианта	Источник V1, В	R1, кОм	R2, кОм	R3, кОм	R4, Ом	R5, кОм	R6, кОм
1	15	1	1	1,5	560	5,6	10
2	13	2	1,2	1,8	680	6,8	12
3	16	3	1,5	2,2	820	0	15
4	18	4	1,8	2,7	100	10	1,8
5	14	5	2,2	3,3	120	12	2,2
6	17	6	2,7	3,9	150	15	2,7
7	11	7	0	4,7	180	1,5	15
8	14	8	3,9	5,6	220	1,8	18
9	33	9	4,7	6,8	0	1	1,5
10	14	10	5,6	8,2	330	0	1,8
11	15	11	1,8	8,2	330	1,5	0
12	9	12	6,8	10	270	1,5	1
13	27	13	8,2	12	330	1,8	1,2
14	18	14	10	15	100	2,2	1,5
15	21	15	12	18	120	2,7	3,9
16	19	16	15	22	150	3,3	4,7
17	15	17	0	27	390	1	5,6
18	12	18	22	33	470	1,2	6,8
19	18	19	27	2,7	560	1,5	15
20	30	20	33	0	220	1,8	1

Выполняемые расчеты и проектируемые схемы необходимо сохранять.

1. В программе MathCAD проведите расчет токов, напряжений и рассеиваемой мощности для каждого элемента схемы рис. 18. Результаты расчета сведите в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета цепи

Параметр цепи		Источник V1, В	R1, кОм	R2, кОм	R3, кОм	R4, кОм	R5, кОм	R6, кОм
Номинал радиоэлемента								
Ток в радиоэлемента, мА	MathCAD							
	Electronics Workbench							
	Micro-Cap							
Напряжение на радиоэлемента, В	MathCAD							
	Electronics Workbench							
	Micro-Cap							
Рассеиваемая мощность на радиоэлемента, Вт	MathCAD							
	Electronics Workbench							
	Micro-Cap							

2. Расчеты можно выполнить, придерживаясь следующего порядка:

– используя формулы  $R_{эКВ} = R_1 + R_2 + R_3$  и  $R_{эКВ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

Комплекта лекций по дисциплине, в MathCAD рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи из резисторов;

– на основе закона Ома определите ток источника;

– определите напряжение на R3;

– вычислите ток в ветви R3 и ветви, включающей R2, R4, R6;

– рассчитайте напряжение на элементах R2, R4, R6;

– рассчитайте рассеиваемую мощность на каждом радиоэлемента.

3. В программе Electronics Workbench соберите схему согласно рис. 18, параметры радиокомпонентов установите в соответствии с вариантом (см. табл. 3). Выдержите расположение и нумерацию радиоэлементов. Дополните ее

необходимыми измерительными приборами. Измерьте напряжение и токи в ветвях, заполните поля таблицы (см. табл. 3). Рассеиваемую мощность рассчитайте по формуле  $P_r = U_i = i^2 r = U^2 q$  Комплекта лекций по дисциплине.

4. Соберите эту же схему (рис. 18) в программе Micro-Cap 8. Проведите расчет режима по постоянному току. Отобразите результаты расчета: токи, напряжения, рассеиваемые мощности. Сведите результаты расчета в табл. 3.

5. Соберите схему, заменив цепи резисторов одним эквивалентным. Сравните ток источника до и после упрощения схемы.

6. Посредством MathCAD проверьте выполнение 1-го и 2-го законов Кирхгофа для собранной схемы.

7. Перенеси данные табл. 3 в MathCAD. Постройте три графика в одной системе координат для токов в каждом резисторе (по оси OX — номер резистора):

- 1) значения по MathCAD,
- 2) значения по Electronics Workbench,
- 3) значения по Micro-Cap.

8. Постройте выходную ВАХ транзистора КТ315В. Для этого соберите схему, включающую источник тока 1 мА, подключенный к базе, и источник напряжения 10 В, подключенный к коллектору. Эмиттер заземлен. Примените параметры расчета: напряжение на коллекторе от 0 до 10 В с шагом 0,01 В, ток базы от 0 до 1,2 мА с шагом 0,1 мА. Масштаб по осям OX и OY — автоматический.

9. Вычислите коэффициент усиления по току транзистора КТ315В. Для этого измерьте (отметив стрелками на графике) значение тока коллектора между двумя кривыми, отстоящими по току базы на 1 мА.

10. Повторите п. 7 и 8 для температуры 80 °С.

11. Сведите в таблицу и сравните коэффициенты усиления по току транзистора:

- полученный в п. 8,

- параметр «BF» модели транзистора,
- полученный в п. 9.

12. Оформите отчет согласно пунктам лабораторного задания. Отрадите в выводах приобретенные навыки и умения, а также влияние нагрева транзистора на его коэффициент усиления по току.

#### ***5.4. Вопросы самоконтроля***

Ответы на вопросы предполагают демонстрацию соответствующих действий.

1. Закон Кирхгофа для узла цепи.
2. Закон Кирхгофа для замкнутого контура.
3. В какой пропорции делит сигнал резистивный делитель? Подтвердите демонстрацией в Micro-Cap 8.
4. Как найти эквивалентное сопротивление двух параллельных резисторов? Покажите на примере (используя программы MathCAD и Electronics Workbench).
5. Как найти эквивалентное сопротивление трех последовательно соединенных резисторов? Покажите на примере (используя программы MathCAD и Electronics Workbench).
6. Что такое проводимость? Чему равна проводимость двух последовательно соединенных резисторов?
7. Что такое проводимость? Чему равна проводимость двух параллельно соединенных резисторов?
8. Как определить коэффициент усиления по току транзистора посредством Micro-Cap 8?
9. Охарактеризуйте назначение поля «XExpression» окна расчета «Передаточные характеристики по постоянному току».
10. Охарактеризуйте назначение поля «YExpression» окна расчета «Передаточные характеристики по постоянному току».
11. Охарактеризуйте назначение поля «XRange» окна расчета «Передаточные характеристики по постоянному току».
12. Охарактеризуйте назначение поля «YRange» окна расчета «Передаточные характеристики по постоянному току».

## 6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ГАРМОНИЧЕСКОГО ТОКА

### 6.1. Цель работы

1. Закрепление знаний и умений работы с программами:
  - Electronics Workbench,
  - MathCAD,
  - Micro-Cap.
2. Приобретение навыков расчета простых цепей посредством перечисленных выше пакетов.  
Трудоемкость работы — 4 часа.

### 6.2. Сведения о расчете линейных цепей гармонического тока

Сведения по расчету линейных цепей постоянного тока представлены в Комплекте лекций по дисциплине (в электронном виде).

### 6.3. Лабораторное задание

Базовыми схемами для проведения расчетов являются рис. 19 и рис. 20. Параметры радиоэлементов выбираются согласно варианту из табл. 4. Выполняемые расчеты и проектируемые схемы необходимо сохранять.

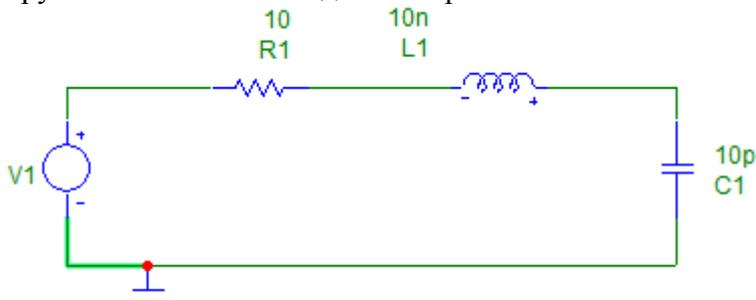
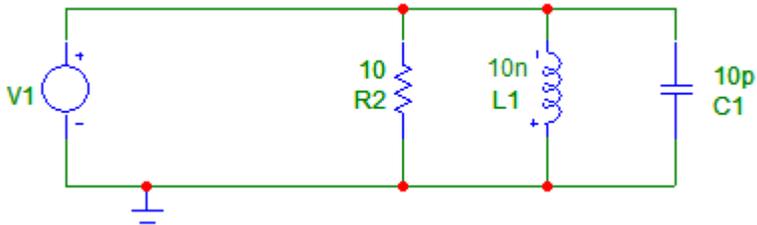


Рис. 19. Исследуемая простая цепь (последовательный контур)



**Рис. 20.** Исследуемая простая цепь (параллельный контур)

Таблица 4

Варианты задания

Номер варианта	Источник V1, В	R1, Ом	L1, мГн	C1, пФ	R2, кОм
1	5	5,6	1	1,5	820
2	3	6,8	1,2	1,8	820
3	6	3,9	1,5	2,2	100
4	8	10	1,8	2,7	120
5	14	12	2,2	3,3	120
6	17	15	2,7	3,9	150
7	11	1,5	10	4,7	180
8	14	1,8	3,9	5,6	220
9	13	1	4,7	6,8	270
10	11	10	5,6	8,2	150
11	15	1,5	1,8	8,2	180
12	9	1,8	6,8	10	150
13	17	10	8,2	12	220
14	18	1	10	15	270
15	21	1,2	12	18	330
16	19	1,5	15	22	100
17	15	3,9	100	27	820
18	12	4,7	22	33	390
19	18	5,6	27	2,7	470
20	10	6,8	33	10	120

1. В программе MathCAD проведите расчет резонансной частоты для последовательного контура (схема рис. 19, параметры радиоэлементов — по вариантам в табл. 4).

2. В программе Electronics Workbench соберите схему согласно рис. 19, параметры радиокомпонентов установите в соответствии с вариантом (см. табл. 4). Частоту генератора задайте в соответствии с полученной в п. 1.

3. Подключите осциллограф и отобразите в развернутом виде осциллограммы напряжения:

- на генераторе колебаний,
- на конденсаторе  $C1$ ,
- на катушке индуктивности  $L1$ .

4. В программе Micro-Cap 8 соберите схему согласно рис. 19, параметры радиокомпонентов установите в соответствии с вариантом (см. табл. 4). Частоту генератора задайте в соответствии с полученной в п. 1.

5. Проведите расчет режима по постоянному току. Отобразите результаты расчета: токи, напряжения. Постройте АЧХ, сравните рассчитанную в п. 1 резонансную частоту и максимум АЧХ.

6. В программе Micro-Cap 8 проведите расчет переходных процессов на радиоэлементах (напряжения):

- на генераторе колебаний,
- на конденсаторе  $C1$ ,
- на катушке индуктивности  $L1$ .

7. Сравните осциллограммы, полученные в п. 2 и в п. 6.

8. Выполните п. 5 для схемы параллельного контура (см. рис. 20). Сравните резонансные частоты параллельного и последовательного контуров.

#### ***6.4. Вопросы самоконтроля***

Ответы на вопросы предполагают демонстрацию соответствующих действий.

1. Какова последовательность расчета резонансной частоты последовательного контура в программе MathCAD?
2. Как соотносятся фазы тока и напряжения в конденсаторе  $C1$  последовательного контура?
3. Как соотносятся фазы тока и напряжения в индуктивности  $L1$  последовательного контура?

4. Как соотносятся фазы тока и напряжения в резисторе R1 последовательного контура?
5. Как соотносятся фазы тока в конденсаторе C1 и в индуктивности L1 последовательного контура?
6. Как соотносятся модуль напряжения на конденсаторе C1 и катушке индуктивности L1 последовательного контура?
7. Какова последовательность расчета резонансной частоты параллельного контура в программе MathCAD?
8. Как соотносятся фазы тока и напряжения в конденсаторе C1 параллельного контура?
9. Как соотносятся фазы тока и напряжения в индуктивности L1 параллельного контура?
10. Как соотносятся фазы тока и напряжения в резисторе R1 параллельного контура?
11. Как соотносятся фазы тока в конденсаторе C1 и в индуктивности L1 параллельного контура?
12. Как соотносятся модуль напряжения на конденсаторе C1 и катушке индуктивности L1 параллельного контура?
13. Каково соотношение фаз тока на конденсаторе C1 последовательного и параллельного контуров?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение / В. И. Карлащук. – М. : Солон-Р, 1999. – 506 с.
2. Литвиненко В. П. Основы электротехники. Ч. 1: Цепи постоянного тока, линейные цепи при гармонических воздействиях : учеб. пособие / В. П. Литвиненко. – Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 152 с.
3. Литвиненко В. П. Расчет линейных электрических цепей : учеб. пособие / В. П. Литвиненко, Ю. В. Литвиненко. – Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. – 243 с.
4. Макаров Е. Г. MathCAD: Учебный курс (+CD) / Е. Г. Макаров. – СПб. : Питер, 2009. – 384 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Порядок выполнения лабораторных работ цикла.....	3
2. Лабораторная работа № 1–2. Основы работы с программой моделирования электронных схем Electronics Workbench .....	5
3. Лабораторная работа № 3–4. Основы работы в системе компьютерной алгебры Micro-Cap.....	15
4. Лабораторная работа № 5–6. Основы работы в программе схемотехнического анализа Micro-Cap.....	25
5. Лабораторная работа № 7. Расчет линейных цепей постоянного тока.....	37
6. Лабораторная работа № 8. Расчет линейных цепей гармонического тока.....	42
Библиографический список .....	46

# **ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине  
«Основы расчетов радиотехнических цепей»  
для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные  
системы и комплексы» (специализация «Радиоэлектронные  
системы передачи информации»)  
очной формы обучения

Составитель Жилин Владимир Васильевич

Компьютерный набор Жилина В. В.

Редактор Сахарова Д. О.

Подписано к изданию 10.12.2018.

Уч.-изд. л. 2,8.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14