

Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический университет



**ПРОГРАММА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ Micro-Cap9**

**Методические указания**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине

“САПР средств измерений”

для студентов специальности 7.090901

“Приборы точной механики”

дневной и заочной форм обучения

Севастополь  
2013



УДК 681.05.09

**Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap9:**  
**Методич. указания к выполнению лабораторных работ по**  
**дисциплине «САПР средств измерений» /** Разраб. канд. техн. наук, ст.  
преподаватель А. Н. Гаджибеков. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. -  
40 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ.

Приведены основные возможности программы схемотехнического моделирования Micro-Cap9 по сборке и анализу схем электронных устройств средств измерений, рассмотрены методы работы с программой при решении конкретных задач анализа и синтеза электронных схем.

Методические указания предназначены для студентов технических вузов приборостроительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Автоматизированные приборные системы» 13 ноября 2012 г., протокол № 3.

Допущено учебно-методическим центром и научно-методическим советом СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: В. Я. Копп, зав. кафедрой «Автоматизированные приборные системы», доктор технических наук, профессор.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                            | 5  |
| Лабораторная работа №1. Сборка и редактирование электронных схем с помощью программы Micro – Cap9                         | 7  |
| 1. Цель работы .....                                                                                                      | 7  |
| 2. Основные сведения .....                                                                                                | 7  |
| 3. Содержание работы .....                                                                                                | 12 |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                                                                        | 12 |
| 5. Содержание отчёта .....                                                                                                | 12 |
| 6. Контрольные вопросы .....                                                                                              | 12 |
| Лабораторная работа №2. Анализ переходных процессов в электронных схемах с помощью программы Micro-Cap9 .....             | 13 |
| 1. Цель работы .....                                                                                                      | 13 |
| 2. Основные сведения .....                                                                                                | 13 |
| 3. Содержание работы .....                                                                                                | 14 |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                                                                        | 14 |
| 5. Содержание отчёта .....                                                                                                | 15 |
| 6. Контрольные вопросы .....                                                                                              | 15 |
| Лабораторная работа №3. Динамический анализ по постоянному току в электронных схемах с помощью программы Micro-Cap9 ..... | 16 |
| 1. Цель работы .....                                                                                                      | 16 |
| 2. Основные сведения .....                                                                                                | 16 |
| 3. Содержание работы .....                                                                                                | 18 |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                                                                        | 18 |
| 5. Содержание отчёта .....                                                                                                | 18 |
| 6. Контрольные вопросы .....                                                                                              | 19 |
| Лабораторная работа №4. Синтез активных фильтров с помощью программы Micro-Cap9 .....                                     | 20 |
| 1. Цель работы .....                                                                                                      | 20 |
| 2. Основные сведения .....                                                                                                | 20 |
| 3. Содержание работы .....                                                                                                | 26 |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                                                                        | 27 |
| 5. Содержание отчёта .....                                                                                                | 28 |
| 6. Контрольные вопросы .....                                                                                              | 28 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лабораторная работа №5. Синтез пассивных фильтров<br>с помощью программы Micro-Cap9 ..... | 29 |
| 1. Цель работы .....                                                                      | 29 |
| 2. Основные сведения .....                                                                | 29 |
| 3. Содержание работы .....                                                                | 33 |
| 4. Порядок выполнения работы .....                                                        | 33 |
| 5.Содержание отчёта .....                                                                 | 34 |
| 6.Контрольные вопросы .....                                                               | 35 |
| Библиографический список .....                                                            | 36 |

## ВВЕДЕНИЕ

Программа схемотехнического анализа **Micro-Cap9** – это универсальная программа схемотехнического анализа, предназначенная для моделирования электронных устройств средней степени сложности. Программа приближается по возможностям к интегрированным пакетам для профессионального использования (**DESINGLAB, ORCAD**), вместе с тем наличие удобного и дружелюбного интерфейса, удобство в работе, нетребовательность к ресурсам компьютера, возможность анализировать электронные устройства с достаточно большим количеством электронных компонентов позволяют использовать её студентам, радиолюбителям и профессиональным разработчикам и использовать её в научно-исследовательской деятельности [1,2,3].

Основные возможности программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9** [1,2,3].

### 1. Графические возможности программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9**:

- построение функциональных и принципиальных электрических схем при помощи встроенного редактора при помощи библиотеки встроенных графических изображений электронных компонентов;
- создание собственных электронных компонентов с помощью встроенного редактора;
- изменение электронных компонентов;
- нанесение текстовых надписей на поле принципиальной схемы;
- добавление к принципиальной схеме рамки и штампа со сведениями о схеме;
- нанесение текстовых надписей на принципиальной схеме;
- отображение номеров узлов принципиальной схемы;
- возможность выбора показываемых атрибутов компонентов принципиальной схемы;
- возможность использования растягивающихся проводов, не нарушающих электрические соединения при перемещении электронных компонентов принципиальной схемы.

### 2. Возможности по моделированию программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9**:

- моделирование режимов работы электронных устройств, заданных с помощью функциональных и принципиальных схем;
- анализ переходных процессов в схемах при подаче напряжения питания и (или) воздействий произвольной формы с построением графиков переменных схемы и их функций:
  - а) зависящих от времени;
  - б) зависящих друг от друга;

-динамический анализ схемы по постоянному току с отображением по выбору напряжений, токов, мощностей, состояний ПП приборов при изменении с помощью регуляторов параметров пассивных компонентов.

3. Возможности программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9** по синтезу аналоговых фильтров:

- синтез фильтров в соответствии с заданными параметрами: типа фильтра, назначения фильтра, параметрами АЧХ;
- синтез пассивных фильтров в виде последовательного соединения RLC – звеньев;
- синтез активных фильтров в виде последовательного соединения звеньев второго порядка на основе ОУ.

4. Возможности программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9** по созданию новых моделей компонентов:

- создание моделей диодов, биполярных и полевых транзисторов, ОУ, магнитных сердечников на основе справочных или экспериментальных данных с помощью встроенного оптимизатора;
- оформление моделей в виде схем-макроопределений, которые далее добавляются в библиотеку в качестве новых компонентов.

5. Возможности программы схемотехнического анализа **Micro-Cap9** по обработке результатов анализа:

- панорамирование (протаскивание) активного окна графиков с помощью правой клавиши мыши;
- вывод на экран части графика, заключенного в прямоугольную рамку, обозначенную протяжкой левой клавиши мыши (лупа координат);
- нанесение на график значений координат X, Y выбранной точки выбранного графика активного графического окна;
- нанесение расстояния по горизонтали между двумя выбранными точками графика;
- нанесение расстояния по вертикали между двумя выбранными точками графика;
- нанесение на график текстовых надписей в относительных (относительно графика выходной переменной) и абсолютных координатах;
- управление координатной сеткой построенных графиков;
- управление параметрами графических окон (цвет, толщина и тип линий координатной сетки и графиков, цвет, тип и размер шрифтов для текстовой информации, цвет окна, цвет заднего фона и т. п.).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Сборка и редактирование электронных схем с помощью программы Micro – Cap9.

**1.Цель работы:** изучение принципов сборки и редактирования электронных схем и работы с библиотеками электронных компонентов в программе схемотехнического моделирования **Micro-Cap9**.

#### 2.Основные сведения.

2.1. Сборка и редактирование. При запуске программы открывается основное окно, в котором можно приступить к построению электронной схемы для моделирования

Первым этапом является разработка принципиальной схемы на бумаге, после чего она переносится на экран и запоминается. При сборке принципиальной схемы на экране необходимо [3,5,6,7]:

- выбрать из библиотек компонентов электронные компоненты и расставить их на экране согласно ранее разработанной схеме;
- связать соответственно той же схеме выводы компонентов электрическими соединениями.

Для выбора компонентов существует три возможности:

- использовать список наиболее часто употребляемых компонентов из строки панели инструментов;
- использовать перечень «**Минимизировать**» слева в основном окне;
- использовать позицию **КОМПОНЕНТЫ** главного меню.

Содержание библиотек будет рассмотрено ниже. В любом случае при выборе компонента на экране появляется его условное графическое обозначение. Оно перемещается по экрану при перемещении мыши и устанавливается в нужном месте щелчком левой кнопки. При этом на экране появляется окно задания параметров компонента. Для пассивных компонентов (резисторы, ёмкости, катушки) их номиналы вводятся с клавиатуры, для прочих – осуществляется выбор из предоставленного списка имеющихся в библиотеке компонентов с подходящими параметрами. Если подходящего по параметрам компонента в списке нет, можно выбрать обобщённую модель **GENERIC**. При закрытии окна у компонента автоматически появляется позиционное обозначение.

Компоненты схемы соединяются между собой проводниками. Проводники могут быть ортогональными или произвольными (диагональными). Вид проводника задаётся кнопкой на панели инструментов. Для осуществления соединения необходимо, перемещая мышь, подвести проводник к выводу соединения, при этом фактом осуществления соединения служит появление на выводе компонента красной точки. При использовании ортогональных проводников перемена направления на 90 градусов осуществляется щелчком левой кнопки.

Пересекающиеся проводники могут соединяться в точке пересечения (появление красной точки), могут не соединяться. Для осуществления соединения необходимо подвести один проводник к другому до точки пересечения и щёлкнуть левой клавишей мыши, после чего должна появиться красная точка. Моделируемая схема обязательно должна содержать точку присоединения к «земле» (GROUND). При редактировании схемы иногда возникает необходимость перемещения отдельных компонентов или участков схемы. Для этого на панели инструментов выбирается кнопка редактирования. При редактировании нажатие левой кнопки мыши вызывает выбор компонента, двойное нажатие – редактирование его параметров. Выбранный компонент можно перемещать, удерживая нажатой левую кнопку мыши, или вращать, нажимая правую клавишу при нажатой левой. Кроме того, при нажатой левой клавиши мыши можно выделить блок с компонентами и соединениями, потом переместить его в другое место.

Если включить опцию «Резиновые соединения», то при перемещении компонента за ним будут тянуться проводники с сохранением электрического соединения.

2.2. Библиотеки электронных компонентов. Как было показано выше, выбор электронных компонентов для сборки принципиальной схемы возможен из трёх источников [1,3]:

- использовать список наиболее часто употребляемых компонентов из строки панели инструментов;
- использовать перечень «**Минимизировать**» слева в основном окне;
- использовать позицию **КОМПОНЕНТЫ** главного меню.

В список наиболее часто употребляемых компонентов входят:

- земля;
- резистор;
- ёмкость;
- катушка индуктивности;
- биполярный транзистор;
- NMOS транзистор;
- ОУ;
- батарея;
- источник тока;
- источник напряжения.

В перечень «**Минимизировать**», располагающийся слева на экране в основном окне имеются позиции:

- аналоговые примитивы;
- аналоговые библиотеки;
- цифровые примитивы;
- анимация;



-фильтры.

Эти позиции можно также просмотреть, обратившись к пункту главного меню **КОМПОНЕНТЫ**. Этот пункт содержит каталог библиотек аналоговых и цифровых электронных компонентов. Он имеет систему разворачивающихся иерархических меню, открывающихся при наведении на них курсора мышью.

Основные разделы пункта главного меню **КОМПОНЕНТЫ** и их содержание.

#### **ANALOG PRIMITIVES:**

**Passive Components** – резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, длинные линии, трансформатор, магнитный сердечник, стабилитрон.

**Active Devices** – биполярные транзисторы, МДП – транзисторы, полевые транзисторы, операционные усилители.

**Waveform sources** – источник постоянного напряжения; источник импульсного сигнала; источник постоянного тока; источник напряжения, зависящий от времени и программируемый пользователем; источник синусоидального напряжения; источник напряжения ступенчатой формы; независимые источники напряжения и тока сложной формы, зависящие от времени.

**Function Sources** – функциональный источник напряжения, функциональный источник тока.

**Frequency**, выражение для передаточной функции -  $zexp$ .

**Dependent sources** - задаваемые коэффициентом передачи линейные зависимые источники: напряжения от тока ( $VofI$ ), тока от тока ( $/off$ ), тока от напряжения ( $IofV$ ), напряжения от напряжения ( $VoN$ ), задаваемые математическим выражением в виде полинома нелинейные зависимые источники напряжения от нескольких напряжений ( $EVofV$ ), тока от нескольких токов ( $FlofI$ ), тока от нескольких напряжений ( $GlofV$ ), напряжения от нескольких токов ( $HVofI$ ).

**Macros** - макроопределения (макромодели), представляющие собой модели компонентов электронных схем (корпуса с определенным числом выводов), внутреннее содержимое которых задано в виде соответствующим образом оформленных схемных файлов в формате MC8 (подробно рассмотрены в примерах каталога DATA).

**Subckts** - подсхемы (макромодели), представляющие собой модели компонентов электронных схем (корпуса с определенное число выводов), внутреннее содержимое которых задано в виде текстового описания в формате SPICE. Параметры такой подсхемы можно менять только корректировкой текстового описания.

**Connectors** - аналоговая земля (Ground); точка, заданная на схеме буквенной меткой (Tie); проводники без электрического соединения в

точке пересечения (Jumper). Следует отметить, что использование Tie позволяет не загромождать принципиальную схему цепями питания микросхем.

**SMPS** - макромоделли в виде схем и подсхем для моделирования импульсных источников питания. Включают непрерывные модели различных преобразователей постоянного напряжения (конверторов) для различных режимов управления (Voltage Mode, Current Mode), модели ШИМ-контроллеров для управления импульсными стабилизаторами, усилителя рассогласования, диодно-транзисторной оптопары, диода Шоттки, силовых МДП-транзисторов, многообмоточных трансформаторов. Следует отметить, что макромоделли, расположенные в группе SMPS, используются в примерах моделирования стабилизированных импульсных преобразователей постоянного напряжения, поставляемых в каталоге DATA.

**Special Purpose** - устройство выборки-хранения (Sample and Hold); ключ, управляемый напряжением (S); универсальный ключ, который управляется напряжением, током или временем (SWITCH); ключ, управляемый током (W); стрелка для обозначения информации о сигнале (Arrow); точки для обозначения контактов (bubble 1, 2).

**N-Port** - модели линейных 4-полюсников и 8-полюсников, заданных таблицей значений соответствующих параметров S, Y, Z, в частотной области в виде файлов с расширением s2p, s4p, y2p, y4p, z2p, z4p.

**BJT** - модели биполярных транзисторов и транзисторных сборок различного типа проводимости, реализованные в виде модели MC8 или подсхемы на языке SPICE.

**BJT PWR** - модели мощных биполярных транзисторов (в том числе и составных) различного типа проводимости, реализованные в виде модели MC8 или подсхемы на языке SPICE.

**Comparator** - модели компараторов, реализованных в виде подсхем на языке SPICE.

**Crystal** - модели кварцевых резонаторов, реализованные в виде макромоделли (схемы) MC8.

**Diode** - модели диодов и диодных мостов и сборок, реализованные в виде модели MC8 или подсхему SPICE.

**Ferrite** - модели магнитных сердечников.

**IGBT**- модели транзисторов IGBT, реализованные в виде подсхем SPICE.

**JFET**- модели полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом.

**MISC** - модели буферных усилителей, преобразователей постоянного напряжения, оптоэлектронных микросхем, микросхем таймеров.

**MOSFET**- модели МОП-транзисторов с индуцированным каналом.

**OPAMP**- модели операционных усилителей.

**Passive** - модели пассивных компонентов: резисторов с различной точностью, катушек индуктивности, трансформаторов, термисторов.

**Pulse Width Modulator** - ШИМ контроллеры для управления импульсными источниками питания.

**Reference** - модели источников опорного напряжения различного вида.

**Regulator**- модели регуляторов.

**RF** - модели биполярных и МОП-транзисторов, реализованные в виде подсхем SPICE.

**Sensor** - модели датчиков.

**Switch/Mux**- модели аналоговых коммутаторов сигналов.

**Thyristor** - модели тиристоров, реализованные в виде макромоделей (схемы) MC8-и подсхемы на языке SPICE, а также модели диодов и триодов.

**Trans Line** - модели длинных линий.

**Tube** - модели электронных ламп (триодов и пентодов).

**Varistor**- модели варисторов.

## DIGITAL PRIMITIVES:

**Standard Gates** - модели стандартных логических вентилях В-, 3-, 4-, 5-, 9-входовых) И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, ИСКЛ-ИЛИ, ИСКЛ-ИЛИ-НЕ, инвертора (НЕ) и буфера (повторителя). Гг/ state Gates - модели логических вентилях В-, 3-, 4-, 5-, 9-входовых) И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, ИСКЛ-ИЛИ, ИСКЛ-ИЛИ-НЕ, инвертора (НЕ) и буфера (повторителя) с тремя состояниями С-е состояние - высокоимпедансное).

**Edge-Triggered Flip-Flops** - триггеры с динамическим управлением [срабатывающие по фронту (срезу)] импульса на синхровходе CLKВ.

**Gated Flip-Flops/Latches** - триггеры с потенциальным управлением (статический RS) и триггер-защелка (D), который устанавливается в соответствии с информационным сигналом на D-входе при наличии на разрешающем входе активного (высокого) уровня.

**Pullups/Pulldowns** - выводы подтягивающих (к источнику питания/земле) резисторов для временно неиспользуемых выходов логических микросхем с открытым коллектором.

**Delay line** - цифровая линия задержки.

**Programmable Logic Arrays** - программируемые логические матрицы.

**Logic Expressions** - логические выражения от двух входных логических переменных с одной или двумя выходными функциями.

**Pin Delay** - назначение задержки распространения сигналов устройствам, рассмотренным в предыдущем пункте.

**Constraints** - контроль соблюдения временных соотношений.

**AtoD converters** - 1-, 4-, 8-, 12-, 16-разрядные аналого-цифровые преобразователи.

**DtoA converters** - 1-, 4-, 8-, 12-, 16-разрядные цифроаналоговые преобразователи.

**Stimulus Generators** - генераторы цифровых сигналов.

### **3. Содержание работы.**

- 3.1. Изучить состав и возможности главного меню и панели инструментов, назначение и порядок использования отдельных элементов управления программой.
- 3.2. Изучить принципы сборки и редактирования электронных схем.
- 3.3. Изучить состав и назначение библиотек электронных компонентов и методы их использования при сборке схем.
- 3.4. Собрать электронную схему, выданную преподавателем.
- 3.5. Внести в неё изменения по указанию преподавателя.
- 3.6. Сохранить в памяти и вывести на печать собранную схему для включения в отчёт по выполненной работе.

### **4. Порядок выполнения работы.**

- 4.1. Собрать электронную схему, заданную преподавателем в следующей последовательности: выбрать электронные компоненты в рабочее поле, расставить их в рабочем поле в соответствии с заданной схемой, соединить выводы компонентов электрическим проводником в соответствии с заданной схемой.
- 4.2. При сборке использовать все доступные источники выбора электронных компонентов.
- 4.3. Отредактировать отдельные узлы и элементы собранной схемы по заданию преподавателя.
- 4.4. Запомнить в виде файла данных и вывести на печать собранную электронную схему.

### **5. Содержание отчёта.**

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Краткое изложение методов сборки и редактирования электронных схем.
- 5.3. Краткое перечисление источников электронных компонентов и методов их использования.
- 5.4. Порядок выполнения работы.
- 5.5. Результаты выполнения работы в виде распечатки собранной схемы
- 5.6. Заключение.

### **6. Контрольные вопросы.**

- 6.1. Начальные действия перед сборкой схемы.
- 6.2. Источники электронных компонентов.
- 6.3. Выбор электронного компонента.
- 6.4. Установка электронного компонента в рабочее поле.
- 6.5. Соединение выводов электронных компонентов.
- 6.6. Установка параметров электронных компонентов.
- 6.7. Редактирование собранной схемы.
- 6.8. Сохранение результатов сборки

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Анализ переходных процессов в электронных схемах с помощью программы Micro-Cap9

**1. Цель работы:** изучение возможностей программы схемотехнического моделирования **Micro-Cap9** при анализе переходных процессов в электронных схемах.

**2. Основные сведения.** Анализ переходных процессов позволяет рассмотреть поведение схем во временной области. Он позволяет ответить на вопрос, что произойдет, если к собранной схеме подключить источники питания и источники сигналов и т. п. Полученные графики позволяют просматривать процессы в моделируемой схеме так же, как это в реальности делается при помощи осциллографа или логического анализатора [1,2,3,5].

Для начала анализа необходимо вызвать анализируемую схему на экран. Затем устанавливаются на схеме точки, для которых определяется функциональная зависимость контролируемых величин в этих точках, или одна точка, для которой исследуется зависимость контролируемой величины от времени. Для этого вид курсора меняется на изображение буквы Т со стрелкой

При подведении стрелки к проводнику или выводу компонента открывается транспарант с перечнем точек, уже находящихся на проводнике или «=0», если таких точек нет. По щелчку левой кнопкой открывается окно **Grid Text**, в котором с клавиатуры вводится имя точки

Закрыв окно, получим на схеме красного цвета точку с присвоенным именем. Для проведения анализа необходимо инициировать опцию **АНАЛИЗ** главного меню. В открывшемся списке выбрать и инициировать позицию **АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**. Появляется окно **УСТАНОВКА АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

В верхней строке окна имеются кнопки **ЗАПУСТИТЬ**, **ДОБАВИТЬ**, **УДАЛИТЬ**, **STEPPING**, **СВОЙСТВА**, **ПОМОЩЬ**.

Под ней имеются окна для ввода данных:

ДИАПАЗОН ВРЕМЕНИ

МАКСИМАЛЬНЫЙ ШАГ ПО ВРЕМЕНИ

ЧИСЛО ВВЕДЕННЫХ ТОЧЕК

ТЕМПЕРАТУРА

ГРАФИКОВ

ЧИСЛО ПЕРЕЗАПУСКОВ

АВТОМАСШТАБИРОВАНИЕ

ОПЦИИ АНАЛИЗА

НАЧАЛЬНЫЕ

РАБОЧАЯ ТОЧКА НА DC

НАКОПЛЕНИЕ

Ниже имеются кнопки (слева направо)



Масштаб по оси X      Масштаб по оси Y      Цвет графика  
(лин. или логар-й.)      (лин. или логар-й.)

Нижняя строка содержит окна для ввода данных:

| СТРАНИЦА | ВЫРАЖЕНИЕ<br>ПО X | ВЫРАЖЕНИЕ<br>ПО Y | МАСШТАБ<br>ПО X | МАСШТАБ<br>ПО Y |
|----------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|----------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|

В позиции **ВЫРАЖЕНИЕ ПО X** проставляется контролируемая величина и имя контрольной точки для ввода данных по оси X, в позицию **ВЫРАЖЕНИЕ ПО Y** проставляется контролируемая величина и имя контрольной точки для ввода данных по оси Y, если по оси X имеет место время, то в позиции **ВЫРАЖЕНИЕ ПО X** проставляется Т. При задействовании **АВТОМАСШТАБИРОВАНИЯ** программа сама выбирает масштаб по осям при построении графика. При исследованиях временной зависимости без автомасштабирования необходимо подобрать соответствующие данные в окнах **МАСШТАБ ПО X**, **МАСШТАБ ПО Y**, **ДИАПАЗОН ВРЕМЕНИ**, **МАКСИМАЛЬНЫЙ ШАГ ПО ВРЕМЕНИ**, чтобы получить нужный вид графика. После заполнения всех необходимых позиций окна, нажимают кнопку **ЗАПУСТИТЬ**, на экране появляется соответствующий график функциональной зависимости

### 3. Содержание работы.

- 3.1. Изучить характеристики и классификацию переходных процессов в электронных схемах.
- 3.2. Изучить возможности программы по анализу переходных процессов в электронных схемах.
- 3.3. Повести анализ переходных процессов в электронной схеме.
- 3.4. Получить результаты анализа в виде графиков и использовать их при оформлении отчёта по лабораторной работе.

### 4. Порядок выполнения работы.

- 4.1. Вызвать на экран электронную схему для анализа переходных процессов и установить контрольную точку.
- 4.1. Провести анализ зависимости параметра в контрольной точке схемы от времени (параметр задаётся преподавателем).
- 4.3. Сохранить и вывести на печать электронную схему с контрольной точкой.
- 4.4. Получить результат анализа в виде графика, результат сохранить и вывести на печать.
- 4.5. Провести анализ функциональной зависимости параметров схемы в двух контрольных точках (контрольные параметры задаются преподавателем).

4.6. Сохранить и вывести на печать электронную схему с контрольными точками.

4.7. Получить результат в виде графика, сохранить и вывести на печать.

## **5. Содержание отчёта.**

5.1. Цель работы.

5.2. Основные сведения.

5.3. Порядок выполнения работы.

5.4. Результаты выполнения работы:

-исходная электронная схема для анализа;

-электронная схема с контрольной точкой для анализа временной зависимости;

-график временной зависимости параметра в контрольной точке;

-электронная схема с двумя контрольными точками для анализа функциональной зависимости параметров в контрольных точках;

-график функциональной зависимости параметров в контрольных точках.

5.5. Выводы.

## **6. Контрольные вопросы**

6.1. Цель работы.

6.2. Смысл анализа переходных процессов в электронных схемах с помощью программы **Micro-Cap9**.

6.3. Порядок вызова на экран электронной схемы из архива.

6.4. Установка контрольных точек и контролируемых параметров.

6.5. Подготовка и проведение анализа переходных процессов с помощью окна «**Установка анализа переходных процессов**».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Динамический анализ по постоянному току в электронных схемах с помощью программы Micro-Cap9.

**1.Цель работы:** изучение возможностей программы схемотехнического моделирования **Micro-Cap9** при динамическом анализе по постоянному току в электронных схемах.

**2.Основные сведения.** Динамический анализ по постоянному току представляет собой интерактивный процесс, в ходе которого пользователь модифицирует схему, а программа сразу же вслед за этим рассчитывает результат и отображает его на схеме. Процесс состоит из следующих этапов:

- пользователь модифицирует схему;
- программа выполняет анализ схемы на постоянном токе;
- режимы по постоянному току сразу отображаются на схеме.

Для начала анализа необходимо вызвать анализируемую схему на экран. Затем нажатием **ALT+4** вызывается окно **УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДС АНАЛИЗА**

В верхней строке окна выведен ряд кнопок, позволяющих включать/отключать отображения на схеме следующих величин (слева направо):

- 1.Показ схемного текста.
- 2.Показ текстовых атрибутов.
- 3.Номера узлов.
- 4.Узловые потенциалы.
- 5.Токи.
- 6.Мощности.
- 7.Состояния ПП приборов.
- 8.Связи выводов компонент.

На главной панели MC9 имеются 4 кнопки, дублирующие кнопки в окне **УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДС АНАЛИЗА**:

- напряжений в узлах схемы;
- токов выводов компонентов;
- мощностей, рассеиваемых на компонентах;
- состояний полупроводниковых приборов.

После запуска режима анализа **Dynamic DC** по умолчанию активизируется кнопка показа узловых потенциалов. Для отображения на схеме других желаемых величин включаются/отключаются соответствующие кнопки. После запуска анализа можно производить любые изменения в схеме. Можно добавлять / удалять соединительные



проводники, компоненты, изменять значения параметров компонентов и др. Программа в ответ будет рассчитывать новый режим по постоянному току и отображать на схеме величины, его характеризующие.

Напряжения батарей, источников напряжения, токи источников тока, сопротивления резисторов могут изменяться при проведении анализа одним из двух способов:

1. Путем выбора компонента и использования клавиш I (Down) и T (Up) дополнительной клавиатуры для уменьшения и увеличения величины компонента соответственно. При этом способе регулировки можно синхронно регулировать величины параметров выделенной группы компонентов на фиксированное изменение в процентах (которое задается в поле ШАГ ДВИЖКОВ) при каждом нажатии соответствующей клавиши. Выбор компонента осуществляется левой кнопкой мыши, при этом он окрашивается в цвет, отличный от цвета фона.

2. Путем выбора компонента и протяжки мышью движка регулировки его величины (движок). Показ движковых регуляторов может быть разрешен/запрещен флажком **ПОКАЗАТЬ ДВИЖОК** закладки **ОПЦИИ** диалогового окна **ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ**. По умолчанию показ движков выключен.

Для их показа необходимо вызвать окно **ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ** путем нажатия **Shift+Ctrl+P**.

В этом окне в разделе **ОПЦИИ** необходимо инициировать позицию **ДВИЖОК КОМПОНЕНТА**. Появляется окно **ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ**

В этом окне имеются органы настройки и управления:

- флажок « Движок» (показать движок);
- расположение:
  - слева
  - справа
  - сверху
  - снизу
  - плавающий;
- окно «% при минимальном сдвиге»;
- окно «по умолчанию»;
- кнопка **ДА**;
- кнопка **Отмена**

У регулируемых компонентов появились изображения движков.

После выбора контролируемого компонента на схеме одним из двух рассмотренных выше способов изменяются номинальные значения выбранных для контроля величин у контролируемого компонента с заданным шагом и снимаются показания контролируемых величин у

других компонентов схемы. Процесс прекращается после достижения контролируемых параметров значений, удовлетворяющих разработчика. Результат анализа фиксируется для дальнейшего использования.

### 3. Содержание работы.

3.1. Изучить, что представляет собой динамический анализ по постоянному току в электронных схемах.

3.2. Изучить возможности программы для динамического анализа по постоянному току в электронных схемах.

3.3. Провести динамический анализ по постоянному току в электронной схеме.

3.4. Получить результаты анализа в виде графиков и использовать их при оформлении отчёта по лабораторной работе.

### 4. Порядок выполнения работы.

4.1. Вызвать на экран электронную схему для динамического анализа по постоянному току.

4.2. Вызвать окно **УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО DC АНАЛИЗА**.

4.3. Выбрать подлежащие контролю параметры компонентов схемы.

4.4. Выбрать компонент, параметры которого подлежат регулированию.

4.5. Провести изменение параметров контролируемого компонента с использованием клавиш I (Down) и T (Up) дополнительной клавиатуры для уменьшения и увеличения величины параметра соответственно (шаг и пределы изменения параметра задаются преподавателем).

4.6. При каждом шаге анализа контролировать изменения параметров других компонентов схемы, являющиеся результатом работы программы анализа.

4.7. Провести изменение параметров контролируемого компонента путём протяжки мышью движка регулировки величины параметра (шаг и пределы изменения параметра задаются преподавателем).

4.8. Повторить действия п. 4.6.

4.9. Сохранить и вывести на печать электронную схему после выбора параметров и компонента для анализа (до начала анализа) и после окончания анализа.

### 5. Содержание отчёта.

5.1. Цель работы.

5.2. Основные сведения.

5.3. Порядок выполнения работы.

5.4. Результаты выполнения работы:

-перечень контролируемых параметров, шаг изменения и предельное значение;

-исходная электронная схема для анализа;

-электронная схема после выбора параметров и компонента для анализа (до начала анализа);

-электронная схема после окончания анализа.

#### 5.5. Выводы.

### 6. Контрольные вопросы

6.1. Цель работы.

6.2. Смысл анализа динамического анализа по постоянному току в электронных схемах с помощью программы **Micro-Cap9**.

6.3. Порядок вызова на экран электронной схемы из архива.

6.4. Структура окна **УСТАНОВКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДС АНАЛИЗА**.

6.5. Последовательность установки контролируемых параметров.

6.6. Выбор компонента на схеме для анализа.

6.7. Установка шага изменения контролируемых параметров.

6.8. Способы изменения параметров контролируемого компонента.

6.9. Контроль параметров компонентов схемы при проведении анализа.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Синтез активных фильтров с помощью программы Micro-Cap9

**1. Цель работы:** изучение возможностей программы схемотехнического моделирования **Micro-Cap9** при синтезе активных фильтров.

#### 2. Основные сведения.

Программа **Micro-Cap9** имеет функцию **Filter Design**, которая позволяет синтезировать схемы фильтров [3,4]. По командам меню **Design** синтезируются активные и пассивные фильтры. Задание на синтез предусматривает выбор типа фильтра, ввод характерных частот и коэффициента усиления фильтра. В результате синтеза рассчитывается порядок фильтра при аппроксимации его передаточной функции полиномами различного типа и таблица нулей и полюсов отдельных звеньев фильтра. Далее рассчитываются стандартные реализации схем этих звеньев, которые записываются в отдельные файлы для дальнейшего использования. Доступны два типа проекта фильтра – проект активного фильтра и проект пассивного фильтра. Оба доступны из меню **Design**. Меню содержит две команды **Active Filters** и **Passive Filters** для синтеза активных и пассивных фильтров. Обе эти команды имеют однотипные диалоговые окна.

Можно синтезировать следующие типы фильтров [3,4] :

- ФНЧ** (фильтры нижних частот);
- ФВЧ** (фильтры верхних частот);
- ПФ** (полосовой фильтр);
- РЖ** (режекторный фильтр);
- ФФ** (фазовый или задерживающий фильтр).

Первые четыре фильтра характеризуются графиками Боде, к которым относятся **АЧХ** (амплитудно-частотная характеристика), **ФЧХ** (фазочастотная характеристика) и зависимость группового времени запаздывания от частоты и могут быть реализованы в виде активных и пассивных фильтров. ФФ фильтры характеризуются временем задержки и могут быть реализованы только в виде активного фильтра.

В зависимости от типа аппроксимирующего полинома передаточной функции различают такие типы фильтров:

- фильтры Баттерворта;
- фильтры Чебышева;
- фильтры Бесселя;
- эллиптические фильтры;
- инверсные фильтры Чебышева.

Не все эти аппроксимирующие полиномы доступны для каждого типа фильтров. Схемные реализации для активных фильтров могут быть различными для каждого звена и включают:

- Sallen-Key
- MFB
- Tow-Thomas
- Fleisher-Tow
- Acker-Mossberg
- Tow-Thomas
- DABP.

### Синтез активных фильтров.

Выбор **СИНТЕЗ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ** в опции главного меню **ФИЛЬТРЫ** открывает диалоговое окно **ACTIVE FILTER DESIGNER**, имеющее вкладки **Design**, **Implementation** и **Option**.

Диалоговое окно синтеза активных фильтров (вкладка **Design**) имеет вкладки [3,4] :

1. **Тип (Type)** – позволяет выбрать один из перечисленных ранее типов фильтров (**ФВЧ, ФНЧ, ПФ, РФ, ФФ**).

2. **Частотная характеристик (Response)** – позволяет выбирать математическую аппроксимацию идеального фильтра из набора: фильтр Баттертворта, фильтр Чебышева, эллиптический фильтр, инверсный фильтр Чебышева. Фильтры Баттертворта требуют увеличения числа звеньев для получения заданных технических требований, но имеют постоянную временную задержку в пределах полосы пропускания. Фильтры Чебышева и инверсные фильтры Чебышева требуют меньшего количества звеньев, но имеют более ярко выраженное изменение временной задержки. Фильтры Бесселя являются ФНЧ с постоянной задержкой и используются в качестве элемента задержки. Число звеньев для реализации текущего проекта показывается здесь справа от аппроксимирующего полинома.

3. **Технические требования (Specification)** – сюда входят технические требования к фильтру.

Есть два способа определить фильтр: режим1 (**Mode1**) и режим2 (**Mode2**). В **Mode 1** определяются функциональные характеристики фильтра, на основе которых программа вычисляет число звеньев, используя указанную аппроксимацию частотной характеристики. Режим **Mode2** (упрощённый) позволяет непосредственно определить число звеньев фильтра и непосредственные значения параметров.

4. **Полюса и нули (Poles and Zeros)** – в этом окне показывается математический проект фильтра. При внесении изменений в предыдущих

трёх разделах программа пересчитывает полиномиальные коэффициенты и показывает в этом окне.

В диалоговом окне имеются также кнопки **Bode**, **Step**, **Impulse**, при нажатии которых можно вывести на экран графики передаточной характеристики, импульсной характеристики и идеальной АЧХ. Графики идеализированы, так как они основаны на стандартной полиномиальной формуле. Такие характеристики могут быть получены только с идеальными компонентами. Реальный фильтр, сделанный из реальных компонентов, будет вести себя по-другому. В реальности схема может быть создана на основе любого ОУ (реального или идеального) и из резисторов и конденсаторов, которые точно равны расчётным или выбраны из списка стандартных значений. Реальный ОУ и приблизительные значения компонентов могут оказать сильное влияние на графики частотных характеристик.

Вкладка **Implementation (реализация)** позволяет решать, как осуществить проект фильтра. Она имеет несколько полей и окон [3,4].

1. Окно **Stage Values (параметры звена)** обозначается в соответствии с выбранным типом фильтра и позволяет определить тип схемы для использования в каждом звене. Для изменения параметров звена надо выбрать нужную строку в столбце **Circuit**, открыв список доступных реализаций схемы для выбранного типа фильтра и типа аппроксимации частотной характеристики. Когда схема фильтра создана, звенья нумеруются слева направо. Здесь же имеются:

**Same Circuit for Each Stage** – установка галочки в этом окошке вынуждает все звенья использовать одну и ту же схему. Когда галочка отсутствует, можно использовать различные схемы для каждого звена.

**Impedance Scale Factor** – позволяет задать коэффициент масштабирования, применяющийся ко всем значениям пассивных компонентов. На этот коэффициент умножаются величины всех резисторов и делятся величины всех конденсаторов. При этом не изменяется форма графика частотной характеристики, но смещаются величины компонентов к более подходящим для реализации значениям.

**Opamp Model to Use** – позволяет выбрать модель операционного усилителя. По умолчанию устанавливается ОУ с идеальными характеристиками. Можно выбрать ОУ из предлагаемого списка.

**Odd Low Pass Stage** – позволяет выбирать последнее звено в ФНЧ.

**Odd High Pass Stage** – позволяет выбирать последнее звено в ФВЧ.

**Gain Adjust Stage** – позволяет выбирать звено, когда требуется установка усиления.

2. Окно **Resistor Values** определяет, какие значения резисторов выбрать. Когда схема создаётся, программа рассчитывает точные значения резисторов. Можно выбрать близкие значения из списков стандартных



компонентов. Списки хранятся в файлах с расширением RES. Кнопка **Browse** позволяет выбрать файл, содержащий значения резисторов, когда галочка в окошке **Exact** отсутствует.

3.Окно **Capacitor Values** определяет, какие значения конденсаторов выбрать. Она работает аналогично **Resistor Values**

Вкладка **Options** позволяет выбрать формат численных значений номиналов компонентов и параметров передаточных функций и имеет несколько групп [3,4] .

1.**Component Value Format** – позволяет выбрать, должны ли значения компонента быть определены в научной, инженерной или заданной по умолчанию системе обозначений.

2.**Polinomial Format** - позволяет выбрать, должны ли значения полиномиального коэффициента быть определены в научной, инженерной или заданной по умолчанию системе обозначений.

3.**Plot** – позволяет выбрать, что показать в графиках **Боде**:

а) **Gain** – **АЧХ**;

б) **Phase** – **АФХ**;

в) **Group Delay** – зависимость групповой задержки от частоты;

г) **Auto Scale** – автоматическое масштабирование графиков;

д) **Number of data points** – число точек в графике (по умолчанию – 500).

4. **Save to** - позволяет выбирать один из двух вариантов реализации схемы фильтра:

а) **New circuit** - в новой схеме;

б) **Current circuit** – в текущей схеме.

5. **Text** – позволяет решать, включать ли несколько дополнительных участков текста.

6. **Circuit: show** – показывает схему фильтра на заднем плане, реагируя на пользовательские изменения технических требований.

7. **Create** – позволяет выбирать схему реализации фильтра:

а) **Circuit** – в виде принципиальной схемы

б) в виде макромодели (функциональной схемы)

В нижней части диалогового окна имеется несколько кнопок:

а) **Default** – восстанавливает по умолчанию поля данных и опций;

б) **Bode** – показывает выбранные в панели **Option** графики Боде

в) **Step** – показывает переходную характеристику фильтра при изменении входного напряжения от 0 до 1 В

г) **Impulse** – показывает импульсную характеристику фильтра (рисунок 8). Характеристики воздействующего импульса: амплитуда от 0 до 1Е9 В, длительность 1Е – 9 с.

д) **OK** - формирует схему для выполнения выбранного проекта, используя указанные схемы для каждого звена.

е) **Cancel** - закрывает диалоговое окно, не сохраняя измене



Программа синтеза активного фильтра использует два режима для определения технических требований к фильтру: **Mode 1** и **Mode 2** [3,4].

В режиме **Mode 1**:

Технические требования к **ФНЧ**

- а) **Passband Gain** – усиление на нижней частоте в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Passband Frequency** – частота, ниже которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.
- д) **Stopband Frequency** – частота, выше которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.

Технические требования к **ФВЧ**.

- а) **Passband Gain** – усиление на верхней частоте в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Passband Frequency** – частота, выше которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.
- д) **Stopband Frequency** – частота, ниже которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.

Технические требования к полосовому фильтру

- а) **Passband Gain** – усиление в полосе пропускания в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Center Frequency** – средняя частота полосы пропускания.
- д) **Passband** – полоса частот, где усиление фильтра равно максимальному усилению в полосе пропускания плюс или минус изменение усиления в полосе пропускания.
- е) **Stopband** – полоса частот, которая включает **Passband** плюс две переходные области выше и ниже полосы пропускания.

Технические требования к заградительному (режекторному) фильтру

- а) **Passband Gain** – усиление вне полосы пропускания в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления вне полосы пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление вне полосы пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Center Frequency** – средняя частота полосы пропускания.
- д) **Passband** – полоса частот, где усиление фильтра равно максимальному усилению в полосе пропускания плюс или минус изменение усиления в полосе пропускания.

е) **Stopband** – полоса частот, которая включает **Passband** плюс две переходные области выше и ниже полосы пропускания.

Технические требования к фильтрам в режиме **Mode 2**.

Для фильтров **ФНЧ** и **ФВЧ**.

а) **Gain** – Усиление на низшей (высшей) частоте, дБ.

б) **Passband Frequency** – частота, ниже (выше) которой частота равна **Gain**.

в) **Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания, дБ.

г) **Order** – порядок фильтра.

Для фильтров полосового и режекторного.

а) **Gain** – усиление на центральной полосе в полосовом фильтре или усиление на низших-высших частотах в режекторном фильтре.

б) **Passband Frequency** – частота, на которой достигается максимальное усиление для полосового фильтра или минимальное усиление для режекторного фильтра;

в) **Ripple** – изменение усиления в полосе частот, дБ.

г) **Order** – порядок фильтра.

д) **Q** – добротность.

При использовании кнопки **Bode** вкладки **Options** диалогового окна **Active Filters Designer** для полученного в результате синтеза фильтра можно получить **АЧХ** для идеального фильтра, рассчитанную программой для заданных начальных условий. В то же время, в результате синтеза фильтра он собирается из реально существующих компонентов, характеристики которых не всегда точно совпадают с заданными. В результате полученная ранее **ФЧХ** для идеального фильтра может не совпадать с **ФЧХ** для реально синтезированной схемы. Для получения реальной **ФЧХ** синтезированного фильтра пользуются функцией **ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ** из меню позиции **АНАЛИЗ** главного меню программы. При использовании позиции **ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ** на экран вызывается диалоговое окно **УСТАНОВКИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА**

В верхней части окна по горизонтали расположены команды **Запустить, Добавить, Удалить, Расширить, Stepping, Свойства, Помощь**, по своему функциональному назначению в основном совпадающие с аналогичными командами окна **УСТАНОВКА АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**.

В средней части окна расположены окна для ввода информации, необходимой для проведения расчётов:

Диапазон частот

Число выводимых точек

Температура

Максимальное изменение

Входной источник для расчёта шума

Выходные узлы для расчёта шума

Опции анализа

Начальные условия.

Большинство параметров в этих окнах устанавливаются программой по умолчанию. В нижней части окна расположены сгруппированные в три строки окна для ввода информации, определяющей содержание и вид графиков, построенных программой по результатам расчётов:

**Масштаб по оси X (логарифмический или нормальный)**

**Масштаб по оси Y (логарифмический или нормальный)**

**Цвет графика**

**Занесение результатов в файл числового вывода**

**Выбор системы координат (Декартова, полярная или диаграмма).**

**Страница**

**Г**

**Выражение по оси X**

**Выражение по оси Y**

**Масштаб по X**

**Масштаб по Y.**

Для наглядности первым из трёх возможных для вывода графиков делают исходную временную зависимость, проставляя в «**Выражение по оси X**» время  $T$ , по оси  $Y$  -  $V$  и номер контрольной точки:  $V(1)$ . Для операции по нахождению гармоник сигнала, определённого во временной области, в качестве «**Выражение по оси X**» необходимо вставить  $F$  (частота), в окно «**Выражение по оси Y**» вставляют:

-оператор **HARM**, который вычисляет гармоники сигнала в виде комплексного массива, возможные варианты:

**Re (harm(v(1)))** – показывает чётные гармоники;

**Im(harm(v(1)))** – показывает нечётные гармоники;

**Mag(harm(v(1)))** – показывает амплитуды чётных и нечётных гармоник;

**Ph (harm(v(1)))** - показывает фазовые сдвиги гармоник.

- оператор **FFT ( )** – прямое дискретное преобразование Фурье дискретных отсчётов сигнала.

Использование закладки **СВОЙСТВА** позволяет уточнить параметры и форму вывода результатов анализа при заполнении окна **СВОЙСТВА ДЛЯ ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ AC ANALYSIS**

Вызвав на экран схему фильтра и осуществив ввод необходимой информации в указанных выше окнах, инициируют вывод заданных графиков на экран с помощью кнопки **ЗАПУСТИТЬ**.

### 3. Содержание работы.

3.1. Изучить теоретические основы анализа и синтеза электронных фильтров.

3.2. Изучить возможности программы для синтеза активных электронных фильтров.

3.3. Повести синтез активного фильтра по заданным исходным данным.

3.4. Получить результаты анализа в виде графиков и использовать их при оформлении отчёта по лабораторной работе.

#### 4. Порядок выполнения работы.

4.1. Вызвать на экран меню опции **ФИЛЬТРЫ**.

4.2. Выбрать **СИНТЕЗ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ**.

4.3. В окне **ACTIVE FILTER DESIGNER**, поочередно вызывая вкладки **Design**, **Implementation** и **Option**, ввести параметры для синтеза фильтра:

заданный тип фильтра (**ФНЧ**, **ФВЧ**, полосовой, заграждающий), заданный тип характеристики (Баттерворта, Чебышева, эллиптический), коэффициент передачи, параметр частоты среза или центральной частоты (для некоторых типов фильтров коэффициент передачи устанавливается автоматически).

Данные для синтеза фильтров выбрать из таблицы 1.

**Таблица 1.**

|                         | Последнее число номера зачётной книжки |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1                                      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Тип фильтра             | 3                                      | 2    | 4    | 1    | 1    | 3    | 2    | 4    | 2    |
| Характеристика фильтра  | 1                                      | 3    | 2    | 2    | 3    | 2    | 1    | 1    | 2    |
| Частота среза, Гц       | 1000                                   | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 |
| Центральная частота, Гц | 5000                                   | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 |

Тип фильтра: 1- ФНЧ, 2-ФВЧ, 3- полосовой, 4-заграждающий.

Характеристика фильтра: 1- Баттерворта, 2- Чебышева, 3-эллиптический.

4.4. Произвести синтез фильтра, нажав кнопку **ЗАПУСТИТЬ**.

4.5. Получить результаты синтеза фильтра в виде макромодели и в виде принципиальной схемы, запомнить и вывести на печать.

4.6. Кнопкой **Bode** вызвать на экран графики **АЧХ** и **ФЧХ** синтезированного фильтра, запомнить и вывести на печать.

4.7. Кнопкой **Step** вызвать на экран переходную характеристику фильтра при изменении входного напряжения от 0 до 1 В, запомнить и вывести на печать.

4.8. Кнопкой **Impulse** вывести на экран импульсную характеристику фильтра, запомнить и вывести на печать.

4.8. Вызвать на экран меню опции **АНАЛИЗ**.

4.9. Выбрать **ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ**.

4.10. В окне **УСТАНОВКИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА** ввести параметры для расчёта реальной АЧХ синтезированного фильтра.

4.11. Провести расчёт АЧХ, нажав кнопку **ЗАПУСТИТЬ**.

4.12. Запомнить и вывести на печать график АЧХ.

## 5.. Содержание отчёта.

5.1. Цель работы.

5.2. Основные сведения.

5.3. Порядок выполнения работы.

5.4. Результаты выполнения работы:

-перечень параметров для расчёта: тип фильтра, частотные характеристики, технические параметры.

-схемы фильтра в виде макромодели и принципиальной схемы;

-расчётные АЧХ и ФЧХ фильтра;

-переходная характеристика фильтра;

-импульсная характеристика фильтра;

-реальная АЧХ фильтра.

5.5. Выводы.

## 6. Контрольные вопросы

6.1. Цель работы.

6.2. Назначение, классификация и основные характеристики фильтров.

6.3. Что является результатом синтеза фильтра в программе **Micro-Cap9**.

6.4. Последовательность действий при синтезе активного фильтра в программе **Micro-Cap9**.

6.5. Структура окна **ACTIVE FILTER DESIGNER**.

6.6. Какие зависимости получают при использовании кнопок **Bode**, **Step**, **Impulse**.

6.7. Необходимость в проведении частотного анализа.

6.8. Последовательность действий при проведении частотного анализа.

6.9. Структура окна **УСТАНОВКИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА**.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Синтез пассивных фильтров с помощью программы Micro-Cap9

**1. Цель работы:** изучение возможностей программы схемотехнического моделирования **Micro-Cap9** при синтезе пассивных фильтров.

#### 2. Основные сведения.

Программа Micro-Cap9 имеет функцию **Filter Design**, которая позволяет синтезировать схемы фильтров [3,4]. По командам меню **Design** синтезируются активные и пассивные фильтры. Задание на синтез предусматривает выбор типа фильтра, ввод характерных частот и коэффициента усиления фильтра. В результате синтеза рассчитывается порядок фильтра при аппроксимации его передаточной функции полиномами различного типа и таблица нулей и полюсов отдельных звеньев фильтра. Далее рассчитываются стандартные реализации схем этих звеньев, которые записываются в отдельные файлы для дальнейшего использования. Доступны два типа проекта фильтра – проект активного фильтра и проект пассивного фильтра. Оба доступны из меню **Design**. Меню содержит две команды **Active Filters** и **Passive Filters** для синтеза активных и пассивных фильтров. Обе эти команды имеют однотипные диалоговые окна.

Можно синтезировать следующие типы фильтров [3,4]:

- ФНЧ** (фильтры нижних частот);
- ФВЧ** (фильтры верхних частот);
- ПФ** (полосовой фильтр);
- РЖ** (режекторный фильтр);
- ФФ** (фазовый или задерживающий фильтр).

Первые четыре фильтра характеризуются графиками Боде, к которым относятся **АЧХ** (амплитудно-частотная характеристика), **ФЧХ** (фазочастотная характеристика) и зависимость группового времени запаздывания от частоты и могут быть реализованы в виде активных и пассивных фильтров. ФФ фильтры характеризуются временем задержки и могут быть реализованы только в виде активного фильтра.

В зависимости от типа аппроксимирующего полинома передаточной функции различают такие типы фильтров:

- фильтры Баттерворта;
- фильтры Чебышева;
- фильтры Бесселя;
- эллиптические фильтры;
- инверсные фильтры Чебышева.

Не все эти аппроксимирующие полиномы доступны для каждого типа фильтров.



### Синтез пассивных фильтров.

Выбор **СИНТЕЗ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ** в опции главного меню **ФИЛЬТРЫ** открывает диалоговое окно **PASSIVE FILTER DESIGNER**, имеющее вкладки **Design**, **Implementation** и **Option**.

Диалоговое окно синтеза пассивных фильтров (вкладка **Design**) имеет вкладки [3,4]:

1. **Тип (Type)** – позволяет выбрать один из перечисленных типов фильтров (**ФВЧ**, **ФНЧ**, **ПФ**, **РФ**).

2. **Частотная характеристик (Response)** – позволяет выбирать математическую аппроксимацию идеального фильтра из набора: фильтр Баттерворта, фильтр Чебышева, эллиптический фильтр. Фильтры Баттерворта требуют увеличения числа звеньев для получения заданных технических требований, но имеют постоянную временную задержку в пределах полосы пропускания. Фильтры Чебышева и инверсные фильтры Чебышева требуют меньшего количества звеньев, но имеют более ярко выраженное изменение временной задержки. Фильтры Бесселя являются **ФНЧ** с постоянной задержкой и используются в качестве элемента задержки. Число звеньев для реализации текущего проекта показывается здесь справа от аппроксимирующего полинома.

3. **Технические требования (Specification)** – сюда входят технические требования к фильтру. Есть два способа определить фильтр: режим1 (**Mode 1**) и режим2 (**Mode 2**). В **Mode 1** определяются функциональные характеристики фильтра, на основе которых программа вычисляет число звеньев, используя указанную аппроксимацию частотной характеристики. Режим **Mode2** (упрощённый) позволяет непосредственно определить число звеньев фильтра и непосредственные значения параметров.

. **Полюса и нули (Poles and Zeros)** – в этом окне показывается математический проект фильтра. При внесении изменений в предыдущих трёх разделах программа пересчитывает полиномиальные коэффициенты и показывает в этом окне.

В диалоговом окне имеются также кнопки **Bode**, **Step**, **Impulse**, при нажатии которых можно вывести на экран графики передаточной характеристики, импульсной характеристики и идеальной **АЧХ**. Графики идеализированы, так как они основаны на стандартной полиномиальной формуле. Такие характеристики могут быть получены только с идеальными компонентами. Реальный фильтр, сделанный из реальных компонентов, будет вести себя по-другому.

Вкладка **Implementation** позволяет решать, как осуществить проект пассивного фильтра. Она имеет несколько полей и окон

1. Здесь выбирается тип пассивного **LC** – фильтра (**Standart** или **Dual**).

2. **Resistor values** – позволяет выбрать между использованием точным значением резисторов или фиксированных значений из определённого файла.

3. **Capacitor Values** - позволяет выбрать между использованием точным значением емкостей или фиксированных значений из определённого файла

4. **Inductor Values** - позволяет выбрать между использованием точным значением индуктивностей или фиксированных значений из определённого файла.

5. **Impedance Scale Factor** – позволяет применить коэффициент масштабирования ко всем значениям пассивных компонентов.

6. **Source/Load Resistor** – позволяет определить значения сопротивления источника и нагрузки.

Вкладка **Options** позволяет выбрать формат численных значений номиналов компонентов и параметров передаточных функций и имеет несколько групп [3,4] .

1. **Component Value Format** – позволяет выбрать, должны ли значения компонента быть определены в научной, инженерной или заданной по умолчанию системе обозначений.

2. **Polinomial Format** - позволяет выбрать, должны ли значения полиномиального коэффициента быть определены в научной, инженерной или заданной по умолчанию системе обозначений.

3. **Plot** – позволяет выбрать, что показать в графиках Бode:

а) **Gain** – АЧХ;

б) **Phase** – АФХ;

в) **Group Delay** – зависимость групповой задержки от частоты;

г) **Auto Scale** – автоматическое масштабирование графиков;

д) **Number of data points** – число точек в графике (по умолчанию – 500).

4. **Save to** - позволяет выбирать один из двух вариантов реализации схемы фильтра:

а) **New circuit** - в новой схеме;

б) **Current circuit** – в текущей схеме.

5. **Text** – позволяет решать, включать ли несколько дополнительных участков текста.

6. **Circuit: show** – показывает схему фильтра на заднем плане, реагируя на пользовательские изменения технических требований.

7. **Create** – позволяет выбирать схему реализации фильтра:

а) **Circuit** – в виде принципиальной схемы

б) в виде макромодели (функциональной схемы)

В нижней части диалогового окна имеется несколько кнопок:

а) **Default** – восстанавливает по умолчанию поля данных и опций;

б) **Bode** – показывает выбранные в панели **Option** графики Бode

в) **Step** – показывает переходную характеристику фильтра при изменении входного напряжения от 0 до 1 В

- г) **Impulse** – показывает импульсную характеристику фильтра (рисунок 8). Характеристики воздействующего импульса: амплитуда от 0 до  $1\text{E}9\text{ В}$ , длительность  $1\text{E} - 9\text{ с}$ .
- д) **OK** - формирует схему для выполнения выбранного проекта, используя указанные схемы для каждого звена.
- е) **Cancel** - закрывает диалоговое окно, не сохраняя измене

Программа синтеза активного фильтра использует два режима для определения технических требований к фильтру: **Mode 1** и **Mode 2** [3,4].

В режиме **Mode 1**:

Технические требования к **ФНЧ**

- а) **Passband Gain** – усиление на нижней частоте в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Passband Frequency** – частота, ниже которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.
- д) **Stopband Frequency** - частота, выше которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.

Технические требования к **ФВЧ** .

- а) **Passband Gain** – усиление на верхней частоте в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Passband Frequency** – частота, выше которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.
- д) **Stopband Frequency** - частота, ниже которой усиление которой равно **Passband Gain + Passband Ripple**.

Технические требования к полосовому фильтру

- а) **Passband Gain** – усиление в полосе пропускания в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания.
- в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление в полосе пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.
- г) **Center Frequency** – средняя частота полосы пропускания.
- д) **Passband** – полоса частот, где усиление фильтра равно максимальному усилению в полосе пропускания плюс или минус изменение усиления в полосе пропускания.
- е) **Stopband** – полоса частот, которая включает **Passband** плюс две переходные области выше и ниже полосы пропускания.

Технические требования к заградительному (режекторному) фильтру

- а) **Passband Gain** – усиление вне полосы пропускания в дБ.
- б) **Passband Ripple** – изменение усиления вне полосы пропускания.

в) **Stopband Attenuation** – максимальное усиление вне полосы пропускания минус максимальный коэффициент в полосе задерживания, дБ.

г) **Center Frequency** – средняя частота полосы пропускания.

д) **Passband** – полоса частот, где усиление фильтра равно максимальному усилению в полосе пропускания плюс или минус изменение усиления в полосе пропускания.

е) **Stopband** – полоса частот, которая включает **Passband** плюс две переходные области выше и ниже полосы пропускания.

Технические требования к фильтрам в режиме **Mode 2**.

Для фильтров **ФНЧ** и **ФВЧ**.

а) **Gain** – Усиление на низшей (высшей) частоте, дБ.

б) **Passband Frequency** – частота, ниже (выше) которой частота равна **Gain**.

в) **Ripple** – изменение усиления в полосе пропускания, дБ.

г) **Order** – порядок фильтра.

Для фильтров полосового и режекторного.

а) **Gain** – усиление на центральной полосе в полосовом фильтре или усиление на низших-высших частотах в режекторном фильтре.

б) **Passband Frequency** – частота, на которой достигается максимальное усиление для полосового фильтра или минимальное усиление для режекторного фильтра;

в) **Ripple** – изменение усиления в полосе частот, дБ.

г) **Order** – порядок фильтра.

д) **Q** – добротность.

Для получения реальной **ФЧХ** синтезированного фильтра ползуются функцией **ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ** из меню позиции **АНАЛИЗ** главного меню программы в порядке, предусмотренном в лабораторной работе №4.

### 3. Содержание работы.

3.1. Изучить теоретические основы анализа и синтеза электронных фильтров.

3.2. Изучить возможности программы для синтеза пассивных электронных фильтров.

3.3. Повести синтез пассивного фильтра по заданным исходным данным.

3.4. Получить результаты анализа в виде графиков и использовать их при оформлении отчёта по лабораторной работе.

### 4. Порядок выполнения работы.

4.1. Вызвать на экран меню опции **ФИЛЬТРЫ**

4.2. Выбрать **СИНТЕЗ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ**.

4.3. В окне **PASSIVE FILTER DESIGNER**, поочередно вызывая вкладки **Design**, **Implementation** и **Option**, ввести параметры для синтеза фильтра:

заданный тип фильтра (ФНЧ, ФВЧ, полосовой, заграждающий), заданный тип характеристики (Баттерворта, Чебышева, эллиптический), коэффициент передачи, параметр частоты среза или центральной частоты (для некоторых типов фильтров коэффициент передачи устанавливается автоматически).

Данные для синтеза фильтров выбрать из таблицы 1.

**Таблица 1.**

|                         | Последнее число номера зачётной книжки |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1                                      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Тип фильтра             | 3                                      | 2    | 4    | 1    | 1    | 3    | 2    | 4    | 2    |
| Характеристика фильтра  | 1                                      | 3    | 2    | 2    | 3    | 2    | 1    | 1    | 2    |
| Частота среза, Гц       | 1000                                   | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 |
| Центральная частота, Гц | 5000                                   | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 |

Тип фильтра: 1- ФНЧ, 2-ФВЧ, 3- полосовой, 4-заграждающий.

Характеристика фильтра: 1- Баттерворта, 2- Чебышева, 3-эллиптический.

4.4. Произвести синтез фильтра, нажав кнопку **ЗАПУСТИТЬ**.

4.5. Получить результаты синтеза фильтра в виде макромодели и в виде принципиальной схемы, запомнить и вывести на печать.

4.6. Кнопкой **Bode** вызвать на экран графики **АЧХ** и **ФЧХ** синтезированного фильтра, запомнить и вывести на печать.

4.7. Кнопкой **Step** вызвать на экран переходную характеристику фильтра при изменении входного напряжения от 0 до 1 В, запомнить и вывести на печать.

4.8. Кнопкой **Impulse** вывести на экран импульсную характеристику фильтра, запомнить и вывести на печать.

4.8. Вызвать на экран меню опции **АНАЛИЗ**.

4.9. Выбрать **ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ**.

4.10. В окне **УСТАНОВКИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА** ввести параметры для расчёта реальной АЧХ синтезированного фильтра.

4.11. Провести расчёт АЧХ, нажав кнопку **ЗАПУСТИТЬ**.

4.12. Запомнить и вывести на печать график АЧХ.

## 5.. Содержание отчёта.

5.1. Цель работы.

5.2. Основные сведения.

5.3. Порядок выполнения работы.

#### 5.4. Результаты выполнения работы:

- перечень параметров для расчёта: тип фильтра, частотные характеристики, технические параметры.
- схемы фильтра в виде макромодели и принципиальной схемы;
- расчётные АЧХ и ФЧХ фильтра;
- переходная характеристика фильтра;
- импульсная характеристика фильтра;
- реальная АЧХ фильтра.

#### 5.5. Выводы.

### 6. Контрольные вопросы

6.1. Цель работы.

6.2. Назначение, классификация и основные характеристики фильтров.

6.3. Что является результатом синтеза фильтра в программе **Micro-Cap9**.

6.4. Последовательность действий при синтезе пассивного фильтра в программе **Micro-Cap9**.

6.5. Структура окна **PASSIVE FILTER DESIGNER**.

6.6. Какие зависимости получают при использовании кнопок **Bode**, **Step**, **Impulse**.

6.7. Необходимость в проведении частотного анализа.

6.8. Последовательность действий при проведении частотного анализа.

6.9. Структура окна **УСТАНОВКИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА**.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Знакомимся с программой MicroCAP [Электронный ресурс]: URL: <http://www.merphi.ru/students/labs/chair8/MicroCAP.pdf> (дата обращения 12.12.2012).
2. Изменения в порследних версиях Micro – Cap. Изменения в Micro-Cap9 по сравнению с Micro-Cap8 [Электронный ресурс]: URL: <http://micro-cap-model.Narod.ru/MC9-new/htm> (дата обращения 12.12.2012).
3. Амелина М.А.. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap8/М.А.Амелина, С.А.Амелин.- М.: Горячая линия – Телеком, 2007, 464 с.
4. Златин И. Синтез аналоговых активных и пассивных фильтров в MicroCap8 [Электронный ресурс]://Компоненты и технология; электр. журн. 2006. №1. URL:[http://kit-e.ru/articles/cade/2006\\_1\\_120.php](http://kit-e.ru/articles/cade/2006_1_120.php) (дата обращения 12.12.2012).
5. Резевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap7. М.: Горячая линия – Телеком, 2003.- 308 с.
6. Резевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap6. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.- 368 с.
7. Резевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-CapV. М.: Солон, 1997.- 273 с.

Заказ № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ Тираж \_\_\_\_\_ экз.

Изд – во СевНТУ



