

ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА



Проект 2: индивидуальная траектория обучения
и качество образования

Цель: ориентированное на требования рынка
образовательных услуг улучшение качества
подготовки и переподготовки специалистов

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра вычислительной техники

ТЕСТОПРИГОДНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИС И ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Составитель
С.Г. МОСИН

Владимир 2009

УДК 681.3 (621.3)

ББК 32.97

Т36

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой конструирования и технологии радиоэлектронных средств
Владимирского государственного университета
В. П. Крылов

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Тестопригодное проектирование ИС и электронных устройств :
Т36 метод. указания к лаб. работам / Владим. гос. ун-т ; сост.: С. Г. Мосин.
Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 36 с.

Содержат методические разработки и материалы для проведения лабораторного практикума по дисциплине «Тестопригодное проектирование ИС и электронных устройств». В ходе лабораторных работ изучается влияние катастрофических и параметрических неисправностей на работу аналоговых электронных схем, анализируется тестопригодность, исследуется чувствительность выходных откликов схемы при отклонении параметров ее внутренних компонентов.

Предназначены для бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлению 230100 – информатика и вычислительная техника.

Ил. 33. Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.3 (621.3)
ББК 32.97

ВВЕДЕНИЕ

Тестирование занимает существенное место в процессе проектирования и реализации электронных устройств. В настоящее время наблюдается тенденция увеличения стоимости тестирования на фоне снижения стоимости непосредственно производства ИМС. Высокие затраты связаны во многом с повышением сложности тестирования и необходимостью проведения тестовых мероприятий на каждом этапе процесса производства ИМС. Сокращение затрат на тестирование и, как следствие, снижение себестоимости готового продукта связывают в первую очередь с разработкой и использованием новых, высокоэффективных тестовых стратегий, которые позволили бы упростить процесс тестирования.

Предлагаемый курс лабораторных работ направлен на исследование поведения аналоговых схем и изучение степени влияния различных типов неисправностей (параметрических и катастрофических) на их работоспособность; исследование тестопригодности различных реализаций аналоговых схем; применение анализа чувствительности для выбора тестовых узлов и входных тестовых воздействий.

Выполнение лабораторных работ осуществляется с помощью специализированного пакета моделирования аналоговых схем *TeDiAC*, реализованного в пакете математических расчетов *Matlab*.

Лабораторная работа № 1

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ В НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

1 Цель работы. Исследовать поведение аналоговых схем в статическом режиме, частотной и временной областях при номинальных значениях внутренних компонентов и с учетом допустимых разбросов.

2 Описание аналоговой схемы

Из рабочего окна пакета математических расчетов *MATLAB* запустить приложение *editor*, экранная форма которого представлена на рис. 1.1. Для работы с описаниями схемы используют пункт меню **File**.

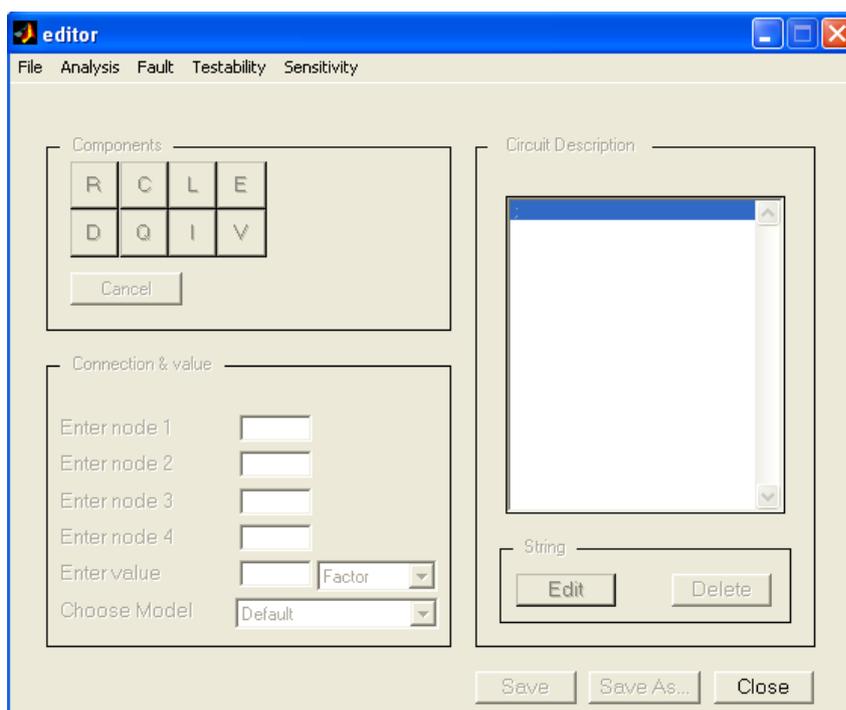


Рисунок 1.1. Экранная форма модуля File

Из данного пункта меню возможно:

- 1) открытие схемы (File -> Open),
- 2) создание схемы (File -> Create).
- 3) сохранение схемы,

4) изменять параметры ранее сохраненной схемы.

2.1 Создание схемы (File -> Create)

Рабочее окно состоит из трех областей:

- Первая область – **Components** отвечает за выбор элемента для новой схемы. Активизация данной области происходит при выборе вкладки **File -> Create**.

В качестве элемента схемы можно выбрать:

1. R – резистор,
2. C – конденсатор,
3. L – индуктивность,
4. E – источник напряжения управляемый напряжением,
5. D – диод,
6. Q – биполярный транзистор,
7. I – независимый источник тока,
8. V – независимый источник напряжения.

При нажатии любого элемента появляется поле Enter ID – ввод идентификатора, который может быть представлен цифрой или символом (рис. 1.2)

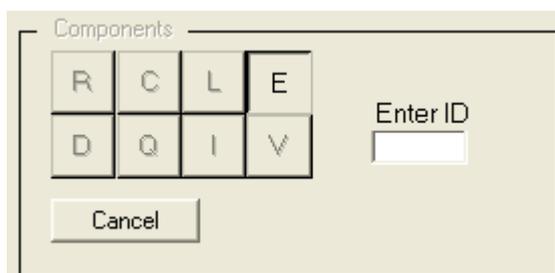


Рисунок 1.2. Панель выбора компонентов

Кнопка Cancel позволяет изменять текущий выбранный элемент.

- Вторая область – **Connection&Value**. В данной области указываются узлы подключения компонента в схеме, номинальное значение и величину допустимого разброса параметра.

Чтобы зафиксировать значения в поле **Circuit Description** необходимо повторно нажать активный элемент в области *Components*

Для различных компонентов схемы поле *Connection&Value* имеет различный вид:

1) Для элементов резистор (*R*), конденсатор (*C*) и индуктивность (*L*) область *Connection&Value* имеет вид представленный на рис. 1.3, где

Enter node1 – первый узел подключения,

Enter node2 – второй узел подключения,

Enter dev.,% – величина допуска,

Enter value – номинал.

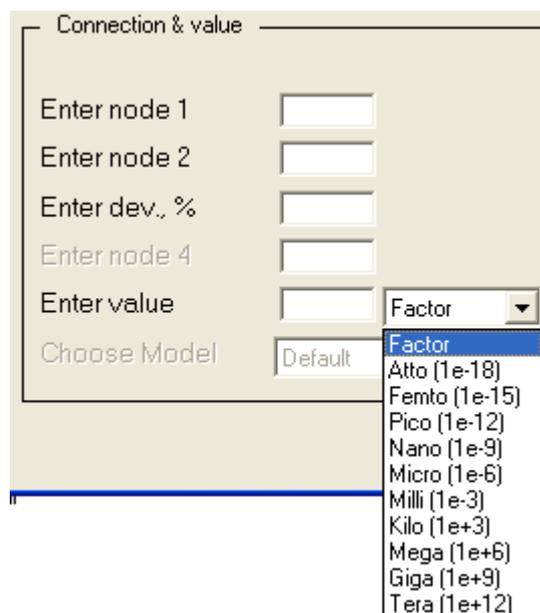


Рисунок 1.3. Поле спецификации параметров пассивных компонентов

В поле **Enter value** значение можно задавать числовыми константами, например, 4.7000, либо с помощью констант и символьных множителей – 4.7 Kilo(1e+3).

2) Для элемента источник напряжения управляемый напряжением (*E*) область *Connection&Value* имеет вид (рис. 1.4)

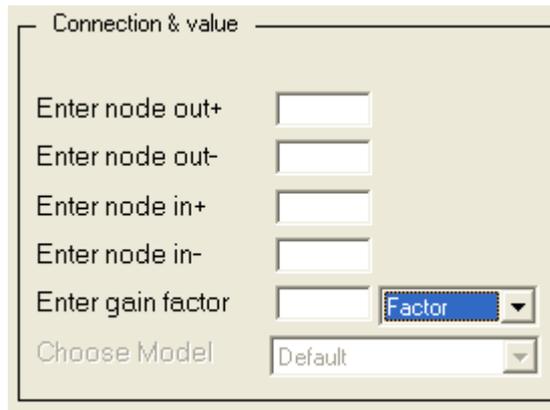


Рисунок 1.4. Поле спецификации параметров управляемого источника напряжения

Enter node out+, *Enter node out-*, *Enter node in+*, *Enter node in-* – это входные и выходные узлы подключения.

Enter gain factor – коэффициент передачи.

3) Для полупроводникового диода (*D*) область *Connection&Value* имеет вид (рис. 1.5)

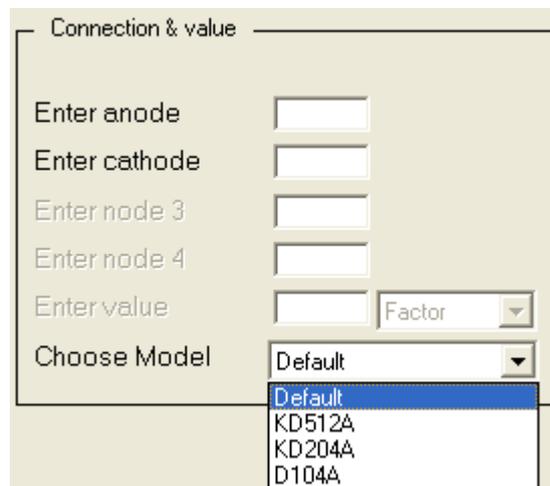
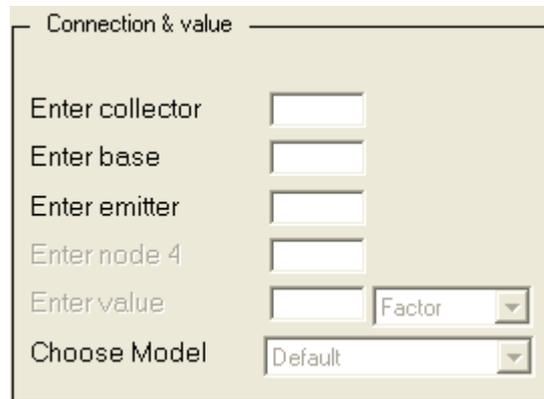


Рисунок 1.5. Поле спецификации параметров полупроводникового диода

Соответственно в областях *Enter anode*, *Enter cathode* – задают узлы анода и катода.

Во вкладке *Choose Model* выбирают одну из представленных моделей полупроводникового диода.

4) Для биполярного транзистора (Q) область *Connection&Value* имеет вид (рис. 1.6)



The dialog box titled "Connection & value" contains the following fields:

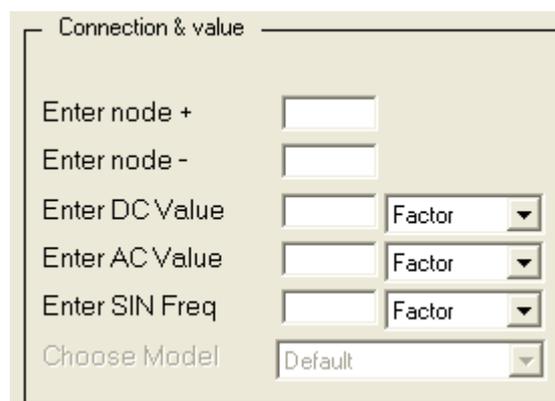
- Enter collector: [text input]
- Enter base: [text input]
- Enter emitter: [text input]
- Enter node 4: [text input]
- Enter value: [text input] with a "Factor" dropdown menu.
- Choose Model: [text input] with a "Default" dropdown menu.

Рисунок 1.6. Поле спецификации параметров биполярного транзистора

Соответственно в полях *Enter collector*, *Enter base*, *Enter emitter* задают узлы подключения коллектора, эмиттера и базы.

В поле *Choose Model* выбирают модель биполярного транзистора.

5) Для независимого источника тока (I) и независимого источника напряжения (V) область *Connection&Value* имеет вид (рис. 1.7)



The dialog box titled "Connection & value" contains the following fields:

- Enter node +: [text input]
- Enter node -: [text input]
- Enter DC Value: [text input] with a "Factor" dropdown menu.
- Enter AC Value: [text input] with a "Factor" dropdown menu.
- Enter SIN Freq: [text input] with a "Factor" dropdown menu.
- Choose Model: [text input] with a "Default" dropdown menu.

Рисунок 1.7. Поле спецификации параметров независимых источников тока и напряжения

Enter node+ и *Enter node-* – это узлы подключения;
Enter DC Value – постоянная составляющая;
Enter AC Value – амплитуда;
Enter SIN Freq – частота синусоидального сигнала.

- Третья область **Circuit Description** (Описание схемы). В данной области представлено общее описание схемы (рис. 1.8).

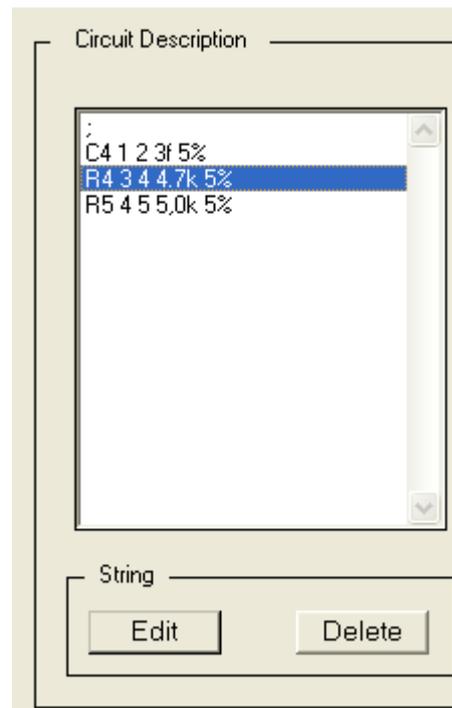


Рисунок 1.8. Окно отображения текстового описания схемы

При формировании схемы с использованием окна **Components** в окне **Circuit Description** будут автоматически помещаться текстовые описания для соответствующих компонентов.

Данная область содержит область *String*, которая имеет кнопки *Edit* (редактирование) и *Delete* (удаление).

При нажатии кнопки *Edit* появляется строка с необходимым для редактирования элементом (рис. 1.9). После внесения изменений в необходимых значениях необходимо повторно нажать кнопку *Edit* для внесения исправления в общее описание схемы.

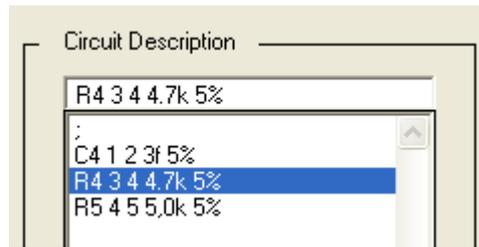


Рисунок 1.9. Редактирование описания схемы в текстовом окне

2.2 Открытие схемы (File-> Open)

При использовании пункта меню **File-> Open** в поле Circuit Description появляется строка, где необходимо задать имя и расширение файла с описанием аналоговой схемы (рис. 1.10).

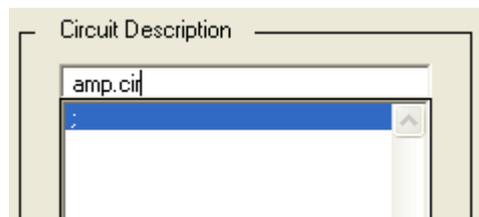
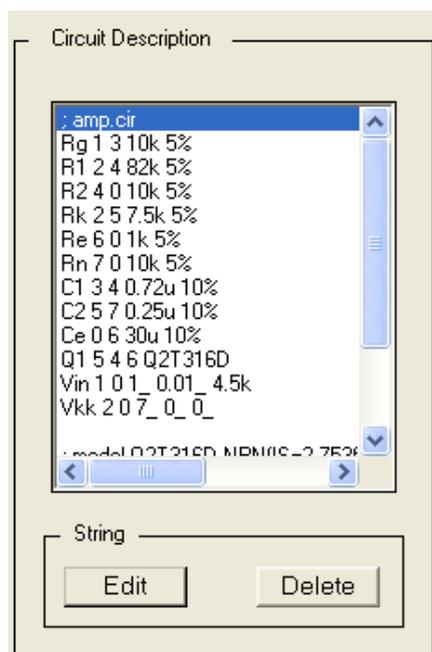


Рисунок 1.10. Загрузка текстового файла описания

После нажатия клавиши Enter в окне появляется описание схемы



Это описание можно редактировать. Для добавления новых элементов необходимо поместить курсор в пустую строку и нажать кнопку *Edit*, таким образом, область **Components** становится активной, что позволяет включить в описание новый элемент.

В окне **Circuit Description** описание данного элемента помещается в конец списка.

2.3 Сохранение схемы

После описания схемы ее можно просто сохранить *Save* или сохранить как *Save as...*

При нажатии кнопки *Save* или *Save as...* появляется строка в области *Circuit Description*, где необходимо вписать имя файла и расширение (рис. 1.11)

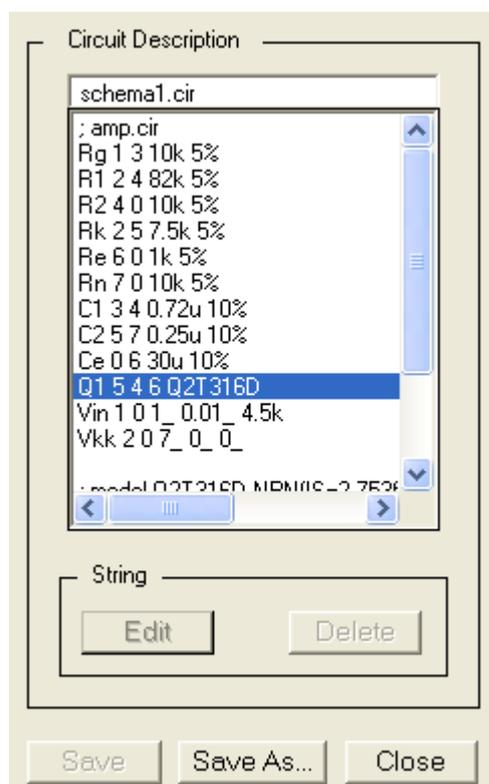


Рисунок 1.11. Пример сохранения файла описания

Для подтверждения операции нужно повторно нажать кнопку *Save* или *Save as...* соответственно.

При помощи клавиши *Delete* можно удалять строки, при этом запрашивается подтверждение удаления (рис. 1.12).



Рисунок 1.12. Окно запроса на подтверждение операции удаления выбранной строки описания

Для выхода из модуля File необходимо нажать кнопку *Close*.

3 Формирование задания на моделирование

Назначение задания на моделирование производят в рабочем окне analysis (рис. 1.13), которое загружают через пункт меню *Analysis* → *Analysis Setup*. Данный модуль позволяет произвести настройки для выполнения анализа схемы по постоянному току (статический режим), в режиме малого сигнала и временной области (анализ переходного режима).

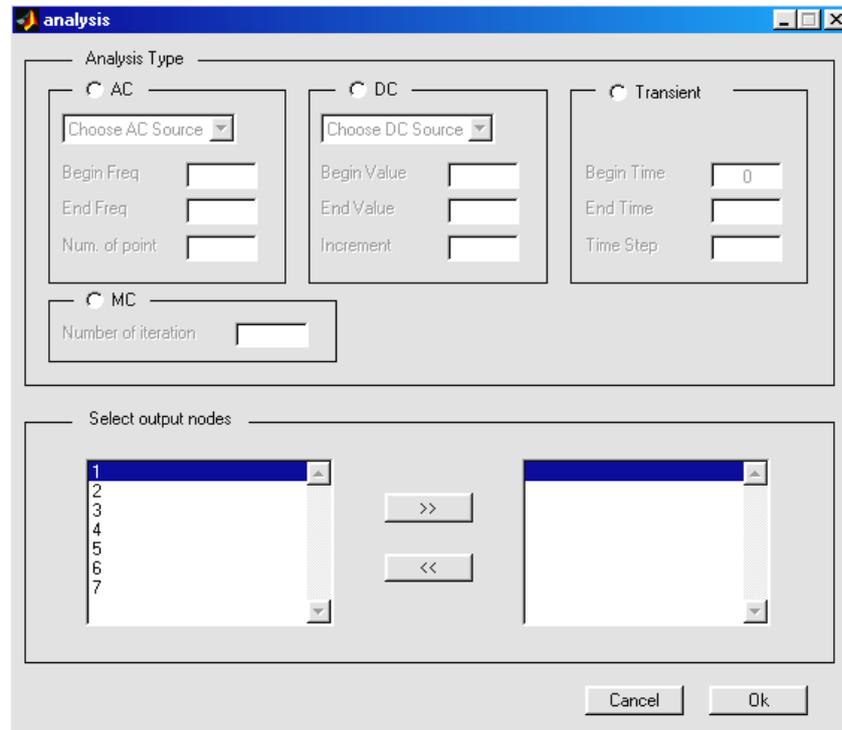


Рисунок 1.13. Рабочее окно модуля *Analysis*

3.1 Анализ в режиме малого сигнала

В главном диалоговом окне выбрать пункт меню *Analysis->Analysis Setup*.

- Выбрать вид анализа кликнув мышью по радиокнопке с надписью *AC*, входящей в область *Analysis Type*.
- Необходимо выбрать источник тока (или напряжения), по которому производится анализ. Список всех источников, описанных в схеме, находится в выпадающем списке *Choose AC Source* области *Analysis Type (AC)*.
- Задать начальную частоту диапазона в поле *Begin Freq*
- Задать конечную частоту диапазона в поле *End Freq*
- В поле *Num of Point* задать количество точек, для которых будет произведен анализ (по этим точкам будет выведен график).
- В области *Select Output Nodes* выбрать номера узлов, для которых будет проводиться анализ.

После ввода параметров окно будет иметь следующий вид (рис. 1.14).

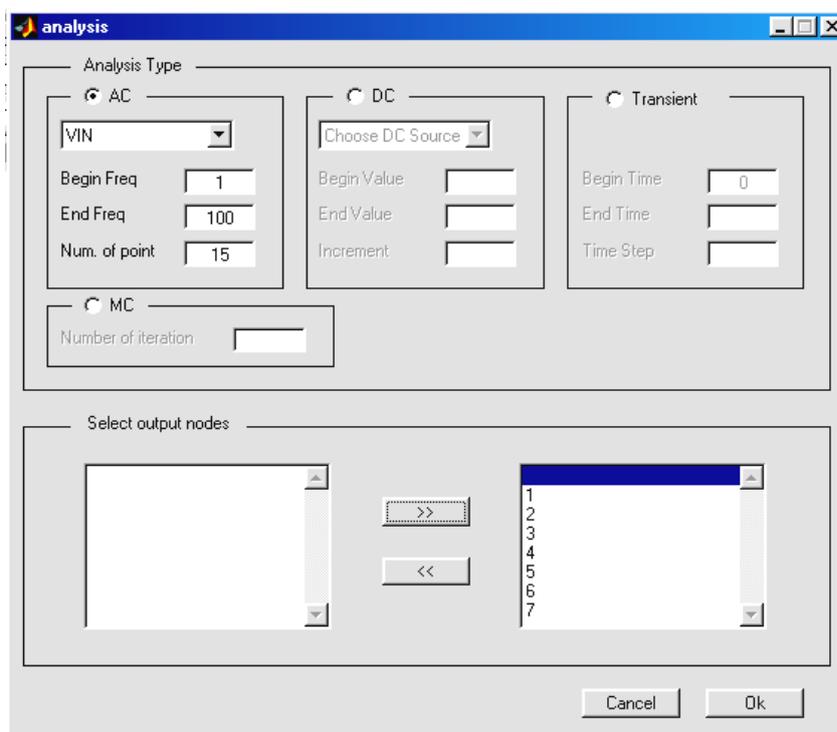


Рисунок 1.14. Инициализация моделирования схемы в режиме малого сигнала

Для фиксации заданных параметров нажать кнопку *Ок*.

Для выполнения моделирования в меню *Analysis* главной формы необходимо выбрать пункт *Analysis->Simulation*.

По завершению расчета автоматически формируются графики с результатами моделирования – зависимости амплитуды и фазы сигнала в выбранных узлах схемы от частоты входного сигнала (рис. 1. 15).

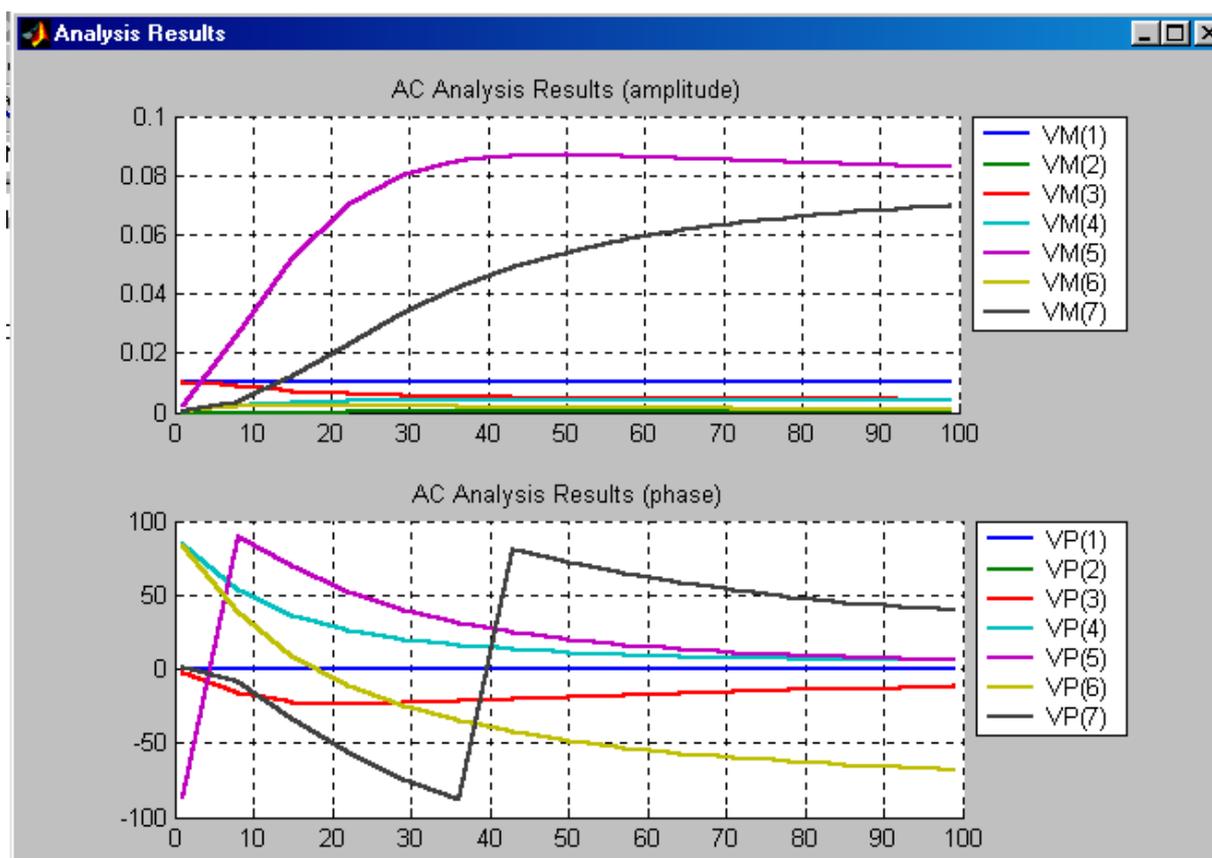


Рисунок 1.15. Окно результатов моделирования схемы в режиме малого сигнала

3.2 Анализ по постоянному току

В главном диалоговом окне выбрать пункт меню *Analysis->Analysis Setup*.

- Выбрать вид анализа кликнув мышью по радиокнопке с надписью *DC*, входящей в область *Analysis Type*.

- Необходимо выбрать источник постоянного тока (или постоянного напряжения), по которому производится анализ. Список всех источников, описанных в схеме, находится в выпадающем списке *Choose DC Source* области *Analysis Type (DC)*.
- В поле *Begin Value* задать начальное значение постоянного тока/напряжения.
- В поле *End Value* задать конечное значение постоянного тока/напряжения.
- Задать шаг приращения значений тока/напряжения *Increment*.
- В области *Select Output Nodes* выбрать номера узлов, для напряжения в которых будет проводиться анализ.

После ввода параметров окно будет иметь следующий вид (рис. 1.16).

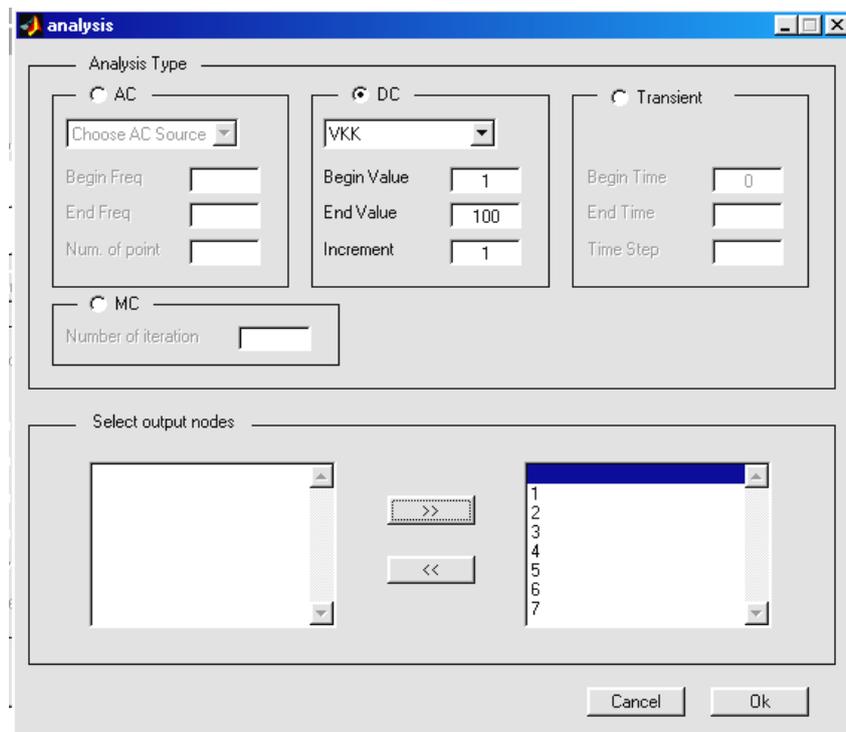


Рисунок 1.16. Инициализация моделирования схемы в статическом режиме

Для фиксации заданных параметров нажать кнопку *Ok*.

Для выполнения моделирования в меню *Analysis* главной формы необходимо выбрать пункт *Analysis->Simulation*.

3.3 Анализ переходного режима

В главном диалоговом окне выбрать пункт меню *Analysis->Analysis Setup*.

- Выбрать вид анализа кликнув мышью по радиокнопке с надписью *Transient*, входящей в область *Analysis Type*.
- В поле *End Time* задать время завершения моделирования (начальное время = 0)
- В поле *Time Step* задать шаг приращение времени.
- В области *Select Output Nodes* выбрать номера узлов, для напряжения в которых будет проводиться анализ.

Для фиксации заданных параметров нажать кнопку *Ок*.

Для выполнения моделирования в меню *Analysis* главной формы необходимо выбрать пункт *Analysis->Simulation*.

3.4 Статистический анализ методом Монте-Карло

Для каждого вида анализа можно выполнить статистическое моделирование схемы с учетом разброса параметров внутренних компонентов в допустимой области.

Инициализацию расчета методом Монте-Карло выполняют в области *MC*, где в поле *Number of Iteration* задают число итераций. При использовании данного вида моделирования для контроля можно указать только один выходной узел схемы.

4 Порядок выполнения работы

- 1) Получить индивидуальное задание;
- 2) Запустить программу *Matlab.exe*;
- 3) В рабочем окне набрать вызываемую функцию *editor*;
- 4) Описать предложенную в варианте схему;
- 5) Промоделировать схему в статическом режиме;
- 6) Промоделировать схему в малосигнальном режиме;
- 7) Промоделировать схему в переходном режиме;

8) Повторить пункты 6 – 7 в сочетании с проведением анализа методом Монте-Карло для трех внутренних узлов схемы.

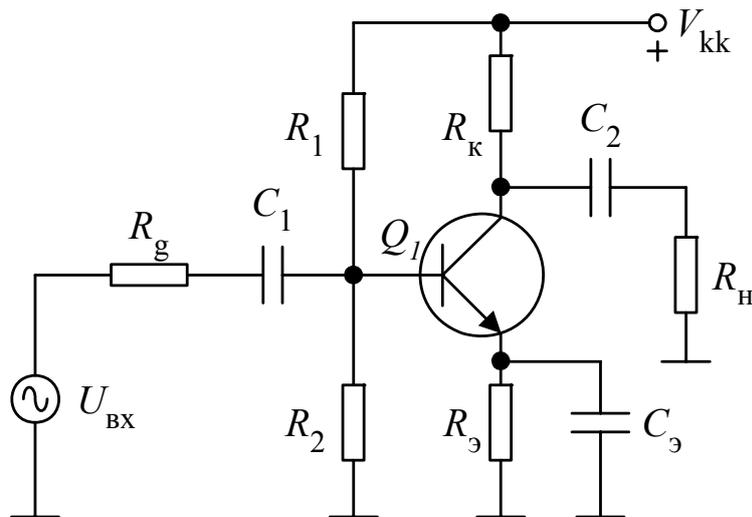
9) Провести анализ полученных результатов и оформить отчет.

5 Содержание отчета

- Отчет должен содержать:
- Титульный лист;
- Цель работы и задание;
- Графики результатов выполненного моделирования;
- Анализ полученных результатов;
- Выводы по работе.

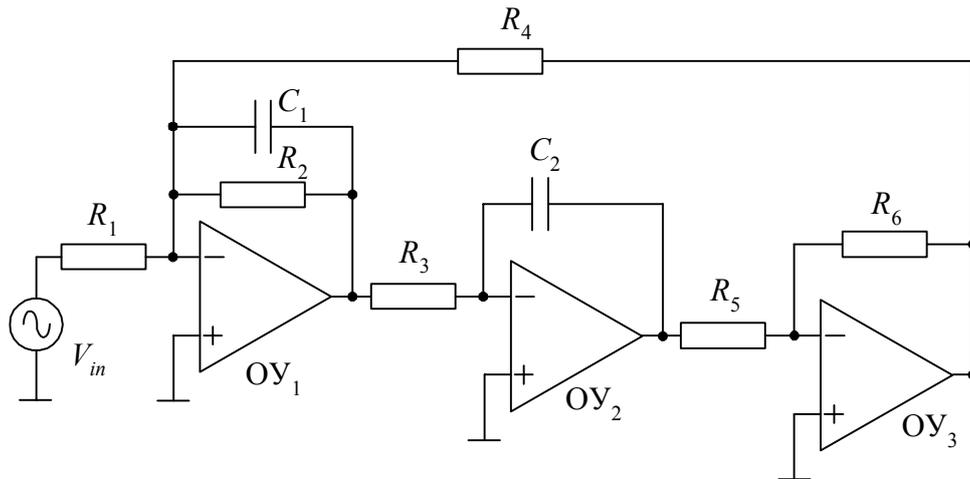
6 Варианты индивидуальных заданий

а) резисторный усилительный каскад



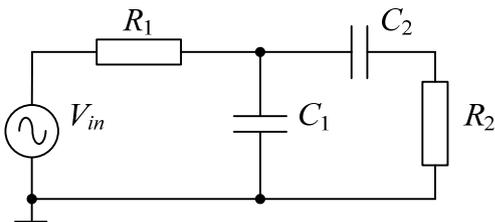
$R_g = 10k \pm 5 \%$; $R_1 = 82k \pm 5 \%$; $R_2 = 10k \pm 5 \%$; $R_k = 7.5k \pm 5 \%$;
 $R_3 = 1k \pm 5 \%$; $R_H = 10k \pm 5 \%$; $C_1 = 0.72\mu \pm 10 \%$; $C_2 = 0.25\mu \pm 10 \%$;
 $C_3 = 30\mu \pm 10 \%$; $Q_1 - 2T316D$; $V_{kk} = 15В$; $F_{cp} = 4.5кГц$; $U_{ВХ max} = 10mВ$

б) Полосовой фильтр второго порядка



$R_1 = 200\text{k} \pm 5\%$; $R_2 = 200\text{k} \pm 5\%$; $R_3 = 10\text{k} \pm 5\%$; $R_4 = 10\text{k} \pm 5\%$;
 $R_5 = 10\text{k} \pm 5\%$; $R_6 = 10\text{k} \pm 5\%$; $C_1 = 1.59\text{n} \pm 10\%$; $C_2 = 1.59\text{n} \pm 10\%$;
 V_{in} : DC = 1 В; AC = 1 В; $F_{cp} = 10\text{ кГц}$

в) Пассивный RC-фильтр



$R_1 = 1\text{k} \pm 5\%$; $R_2 = 10\text{k} \pm 5\%$;
 $C_1 = 10\text{n} \pm 10\%$; $C_2 = 100\text{n} \pm 10\%$;
 V_{in} : DC = 1 В; AC = 1 В; $F_{cp} = 10\text{ кГц}$

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите интерфейс пакета *TeDiAC*.
2. Как описать аналоговую схему в пакете *TeDiAC*?
3. Как сформировать задание на моделирование в пакете *TeDiAC*?
4. Каково назначение анализа схемы в статическом режиме?
5. Какие характеристики рассчитывают при моделировании схемы в режиме малого сигнала?
6. Каково назначение анализа схемы методом Монте-Карло?

Лабораторная работа № 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В АНАЛОГОВЫХ СХЕМАХ

1 Цель работы. Изучить способы моделирования параметрических и катастрофических неисправностей в аналоговых схемах. Исследовать влияние неисправностей на работу аналоговых схем.

2 Включение неисправности в описание схемы

Модуль *Fault* позволяет осуществить моделирование неисправностей в аналоговой схеме.

Для начала работы с рассматриваемым модулем необходимо:

1. Выбрать или создать тестируемую схему;
2. Провести любой из трех видов предлагаемых анализов схемы (анализ по постоянному току, малосигнальный анализ, анализ переходного режима);
3. Выбрать в пункте главного меню *Fault* режим “*On*”, при котором появляется окно описания неисправностей (рис. 2.1).

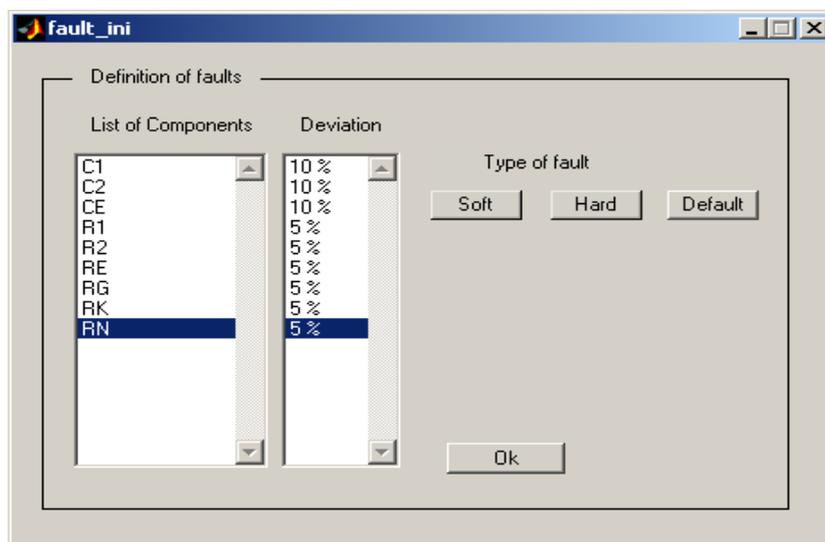


Рисунок 2.1. Окно описания неисправностей

В данном окне представлены следующие элементы:

- Список компонентов рассматриваемой схемы (*List of Components*).
- Соответствующее каждому компоненту допустимое отклонение параметра от номинала (*Deviation*).
- Кнопки включения двух типов неисправностей:
 - мягкие или параметрические (*Soft*);
 - жесткие или катастрофические (*Hard*).
- Кнопка *Default*, которая позволяет отказаться от включения неисправности.
- Кнопка *Ok*, подтверждающая вносимые изменения.

Параметрические неисправности

Для включения в описание параметрической неисправности необходимо:

1. Выбрать изменяемый компонент и нажать на кнопку *Soft*.
2. В поле *Enter deviation value* указать величину отклонения от номинала, как показано на рис. 2.2.

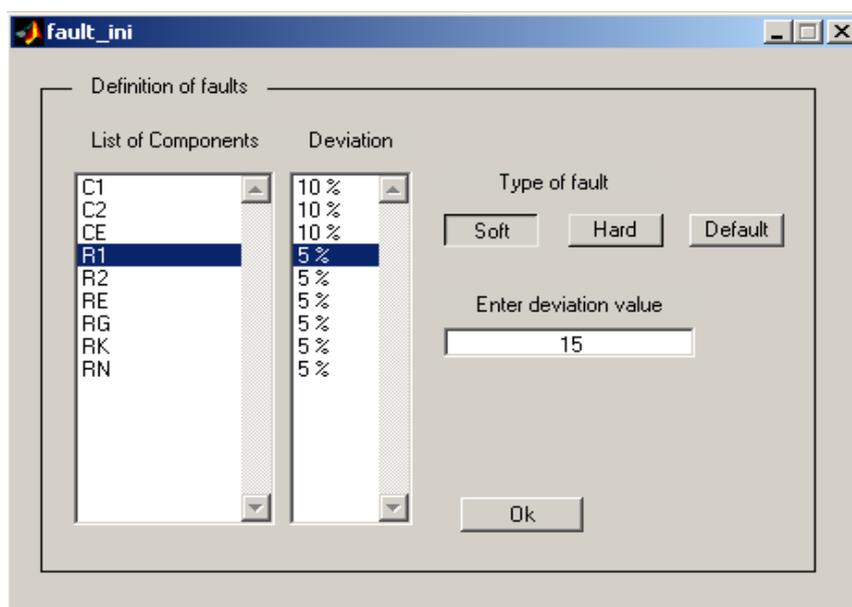


Рисунок 2.2. Назначение параметрической неисправности

3. Повторно нажать кнопку *Soft* для фиксации неисправности. При этом величина отклонения изменяемого компонента принимает значение, ука-

занное при выполнении предыдущего шага с символом F , который указывает на присутствие неисправности в данном компоненте (рис. 2.3).

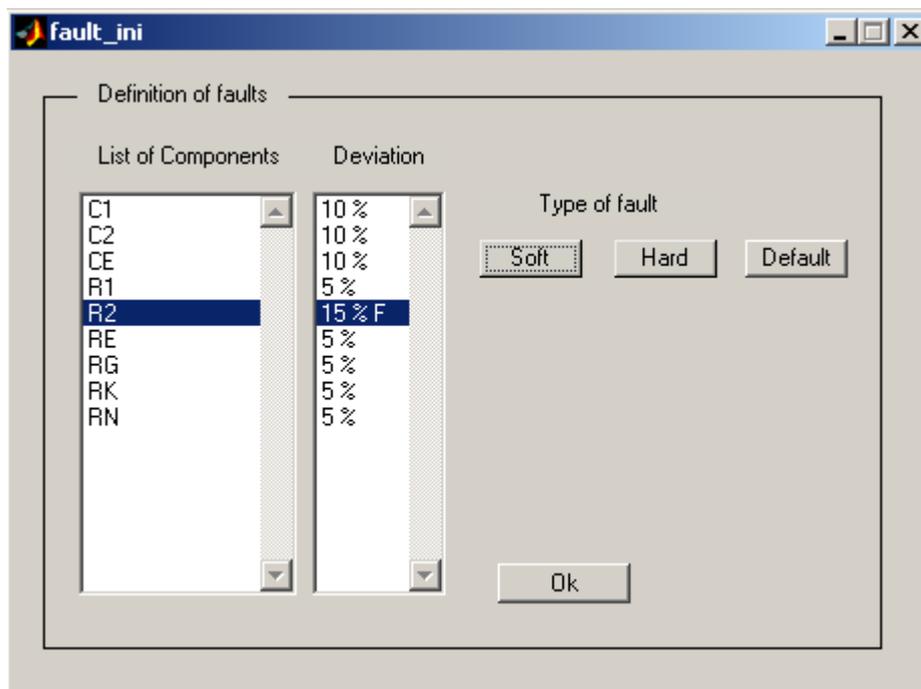


Рисунок 2.3. Назначение неисправности компоненту $R2$

3. При необходимости в описание можно включить несколько неисправностей.

4. Нажать кнопку *Ok*. При этом в появившемся окне, показанном на рис. 2.4, необходимо нажать кнопку *Yes*. После чего окно описания неисправностей будет закрыто.

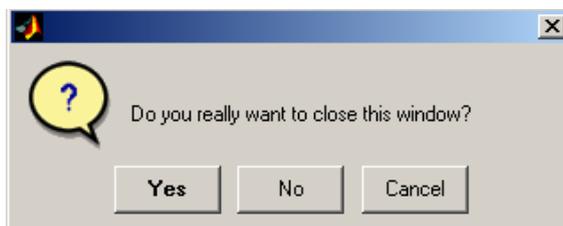


Рисунок 2.4. Запрос подтверждения закрытия окна описания неисправностей

5. В главном окне выбрать пункт *Analysis->Simulation* для моделирования схемы.

В результате будет сформирован график характеристик исследуемой схемы без внесения неисправностей (*Nominal*) и с наличием заданных неисправностей (*Faulty*) (рис. 2.5).

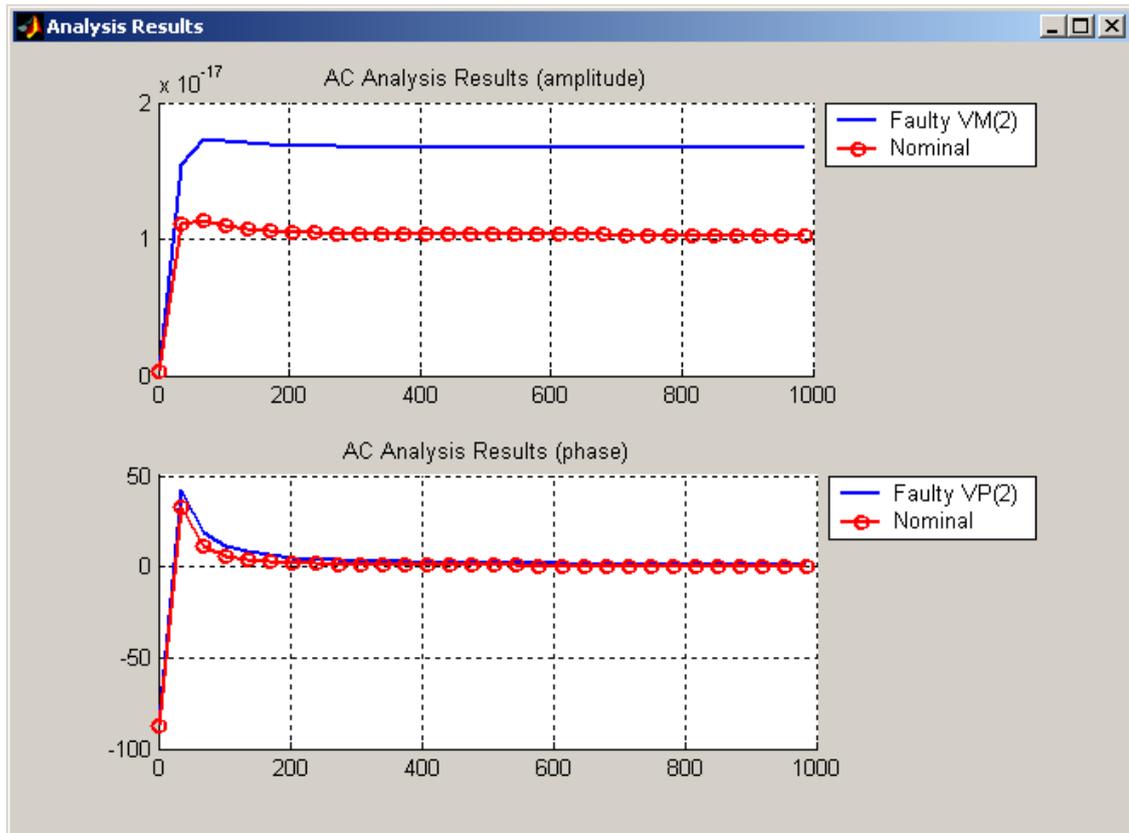


Рисунок 2.5. Результаты моделирования исправной схемы и схемы с заданными неисправностями

Катастрофические неисправности

Для включения в описание катастрофической неисправности необходимо нажать кнопку *Hard*, которая в свою очередь активизирует две кнопки *Open* и *Short*, соответствующие обрыву линии и короткому замыканию соответственно.

Для моделирования обрыва линии на том или ином компоненте необходимо:

1. Выбрать нужный компонент схемы из представленного списка;
2. Нажать на кнопки *Hard* и *Open*. При этом окно описания неисправностей будет выглядеть, как показано на рисунке 2.6.

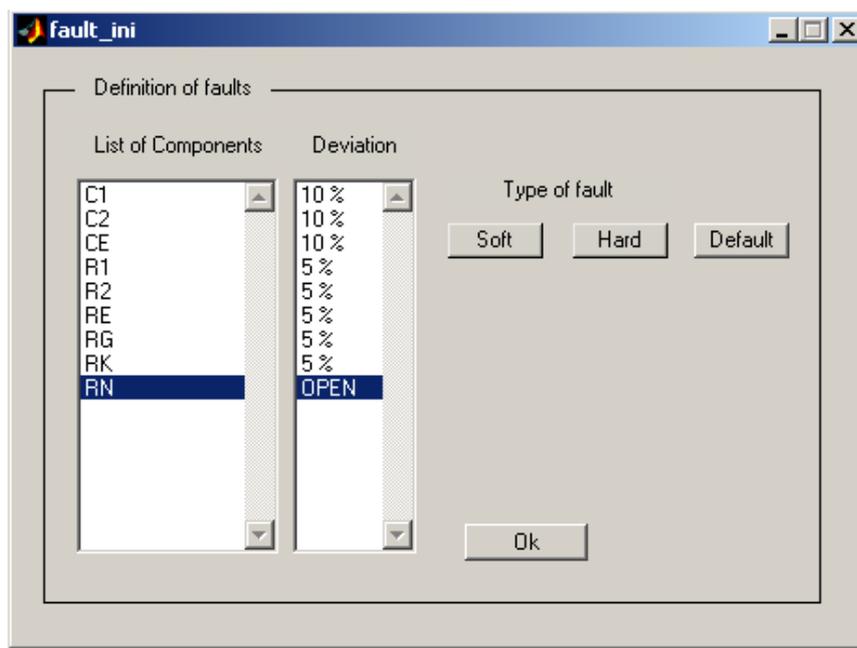


Рисунок 2.6. Описание неисправности «обрыв цепи»

3. Нажать кнопку *Ok* и закрыть окно.
4. Из главного окна промоделировать схему.

В результате будет сформирован график характеристик исследуемой схемы без внесения неисправностей (*Nominal*) и с наличием обрыва цепи в заданных компонентах (*Faulty*) (рис. 2.7).

Для моделирования короткого замыкания на том или ином компоненте необходимо:

1. Выбрать нужный компонент схемы из представленного списка;
2. Нажать кнопки *Hard* и *Short*. При этом окно описания неисправностей будет выглядеть, как показано на рисунке 2.8.

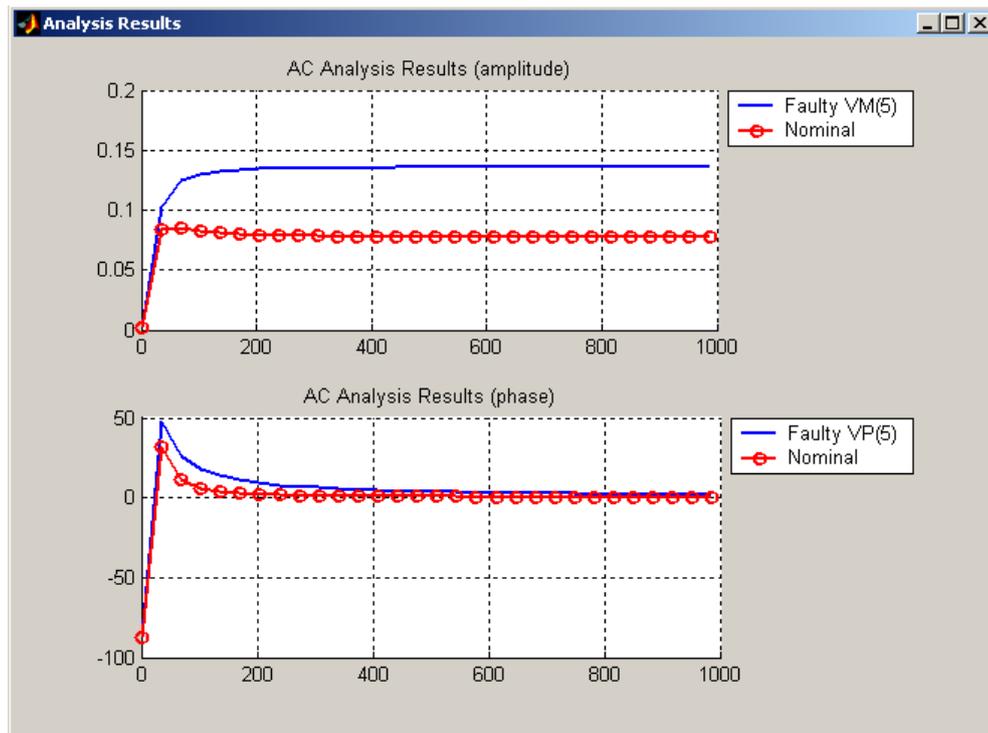


Рисунок 2.7. Результаты моделирования исправной схемы и схемы с обрывом цепи

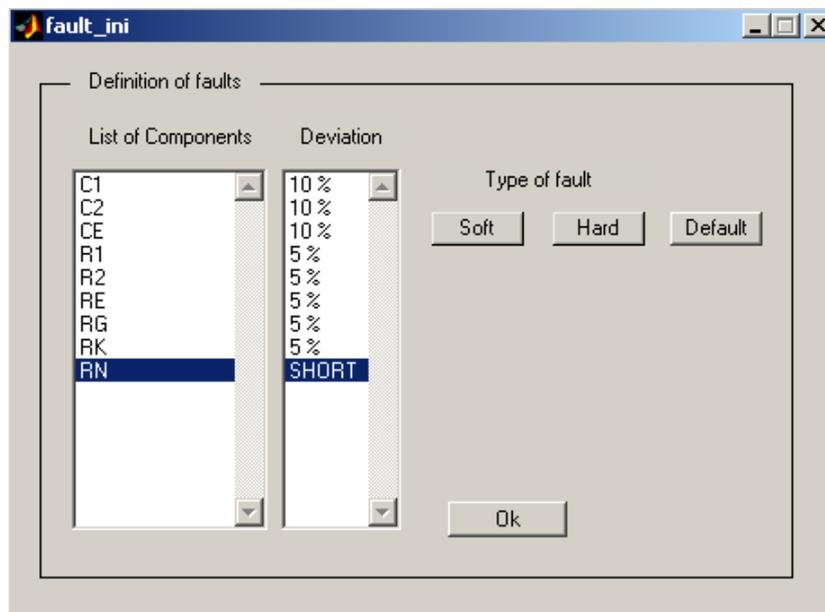


Рисунок 2.8. Описание неисправности «короткое замыкание»

3. Нажать кнопку *Ok* и закрыть окно.

4. Из главного окна промоделировать схему.

В результате будет сформирован график характеристик исследуемой схемы без внесения неисправностей (*Nominal*) и с наличием короткого замыкания в заданных компонентах (*Faulty*) (рис. 2.9).

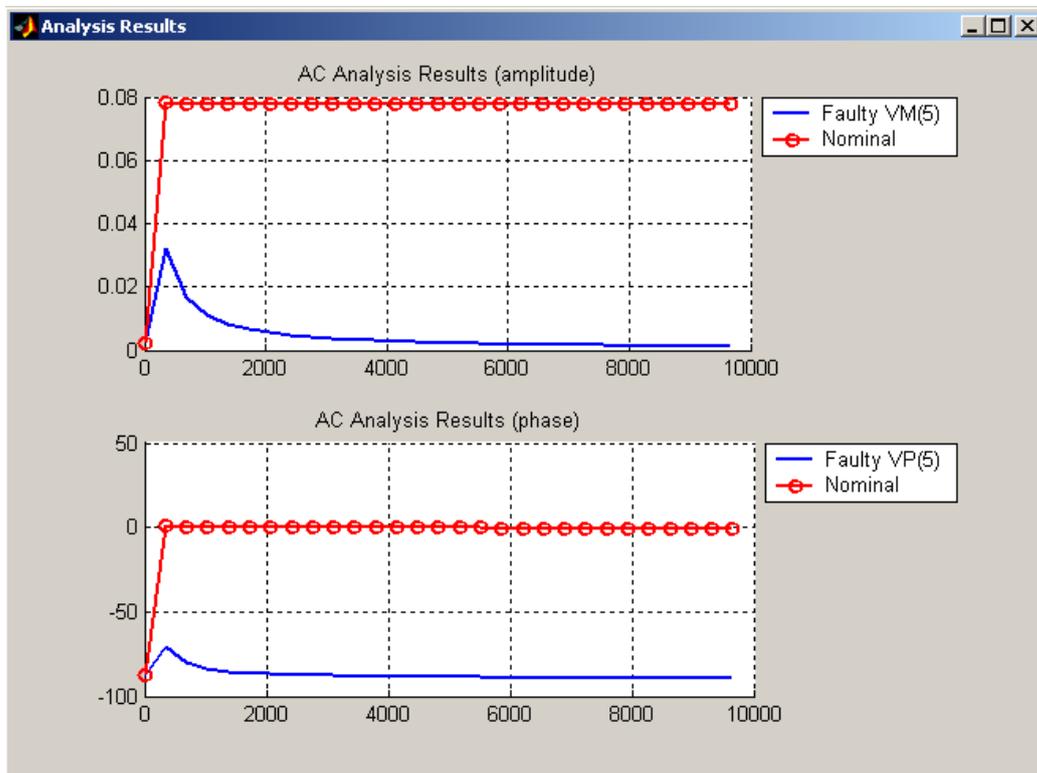


Рисунок 2.9. Результаты моделирования исправной схемы и схемы с коротким замыканием

Для выхода из режима моделирования неисправностей необходимо в пункте меню *Fault* выбрать режим *Off*.

3 Порядок выполнения работы

- 1) Получить индивидуальное задание;
- 2) Запустить программу *Matlab.exe*;
- 3) В рабочем окне набрать вызываемую функцию *editor*;
- 4) Описать предложенную в варианте схему;
- 5) Промоделировать схему для заданного набора неисправностей в статическом режиме;

- 6) Промоделировать схему для заданного набора неисправностей в малосигнальном режиме;
- 7) Промоделировать схему для заданного набора неисправностей в переходном режиме;
- 8) Провести анализ полученных результатов и оформить отчет.

4 Содержание отчета

- Отчет должен содержать:
- Титульный лист;
- Цель работы и задание;
- Графики результатов выполненного моделирования неисправностей;
- Анализ полученных результатов;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие существуют виды неисправностей аналоговых схем?
2. Какие неисправности называют катастрофическими?
3. Как в пакете *TeDiAC* описать параметрическую неисправность для пассивного компонента?
4. Как в пакете *TeDiAC* задать катастрофическую неисправность «обрыв цепи» или «короткое замыкание»?
5. Как параметрические неисправности влияют на работу аналоговой схемы?
6. Для чего необходимо моделирование неисправностей?

Лабораторная работа № 3

ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА ТЕСТОПРИГОДНОСТИ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ

1 Цель работы. Изучить способ анализа тестопригодности аналоговой схемы. Провести оценку тестопригодности аналоговой схемы в частотной области.

2 Оценка тестопригодности

Анализ тестопригодности выполняют с помощью модуля *Testability*, рабочее окно которого представлено на рисунке 3.1

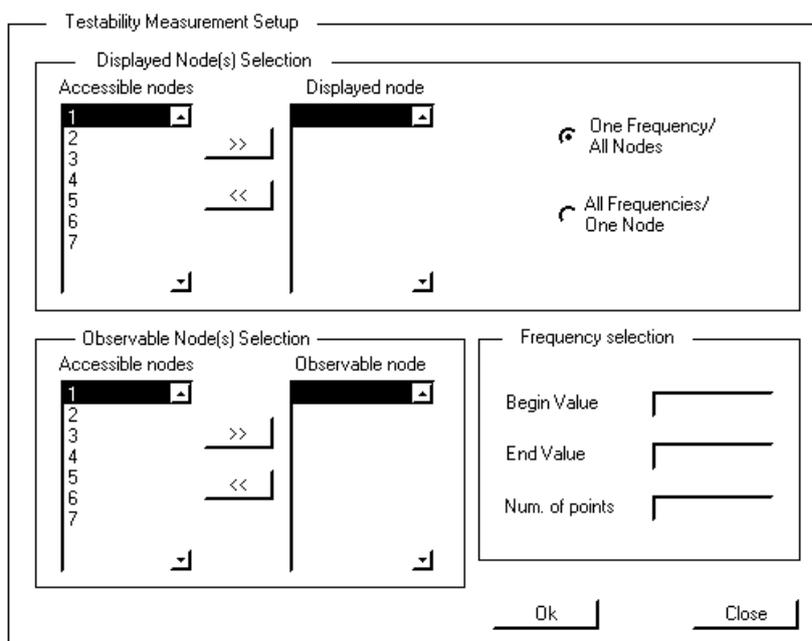


Рисунок 3.1. Рабочее окно модуля *Testability*

Данный модуль производит расчет управляемости, наблюдаемости, тестопригодности для каждого узла или частоты схемы и вычисление общей тестопригодности исследуемой схемы.

Рабочее окно состоит из четырех областей:

- Первая область, представленная радиокнопками, входит в поле *Displayed Node(s) Selection* и отвечает за выбор варианта расчета:

1. *One Frequency / All Nodes* – данный вариант позволяет производить расчет для всех узлов схемы на одной частоте входного синусоидального сигнала.
 2. *All Frequency / One Nodes* – данный вариант позволяет производить расчет для одного узла схемы на множестве частот входного сигнала.
- *Displayed Node(s) Selection.* В данной области указывают узлы схемы, для которых необходимо рассчитать значения управляемости, наблюдаемости и тестопригодности. Добавление происходит с помощью выделения узлов из списка *Accessible nodes* и нажатия кнопки “>>”, аналогично можно удалить точки из списка *Displayed nodes*.
 - *Observable Node(s) Selection.* В данной области указывают непосредственно наблюдаемые узлы (их наблюдаемость равна 1). Добавление и удаление узлов происходит по аналогии с областью *Displayed Node(s) Selection*.

Примечание: Точки с управляемостью, равной 1, автоматически рассчитываются программой по описанию схемы.

- *Frequency Selection.* В данной области задают частоты входного сигнала. Возможны два варианта:
 1. Если выбран режим *One Frequency / All Nodes*, то задают только одно значение частоты входного синусоидального сигнала.
 2. Если выбран режим *All Frequency / One Nodes*, то указывают начальное, конечное значение частоты входного сигнала и количество точек в данном диапазоне, для которых будет произведен расчет.

После завершения установки параметров для расчета тестопригодности схемы, необходимо нажать кнопку *Ok*. В результате будут построены графики функций управляемости (*controllability*), наблюдаемости (*observability*) и тестопригодности (*testability*).

Возможно два варианта графиков:

- Результаты для режима *One Frequency / All Nodes* представлены на рисунке 3.2.

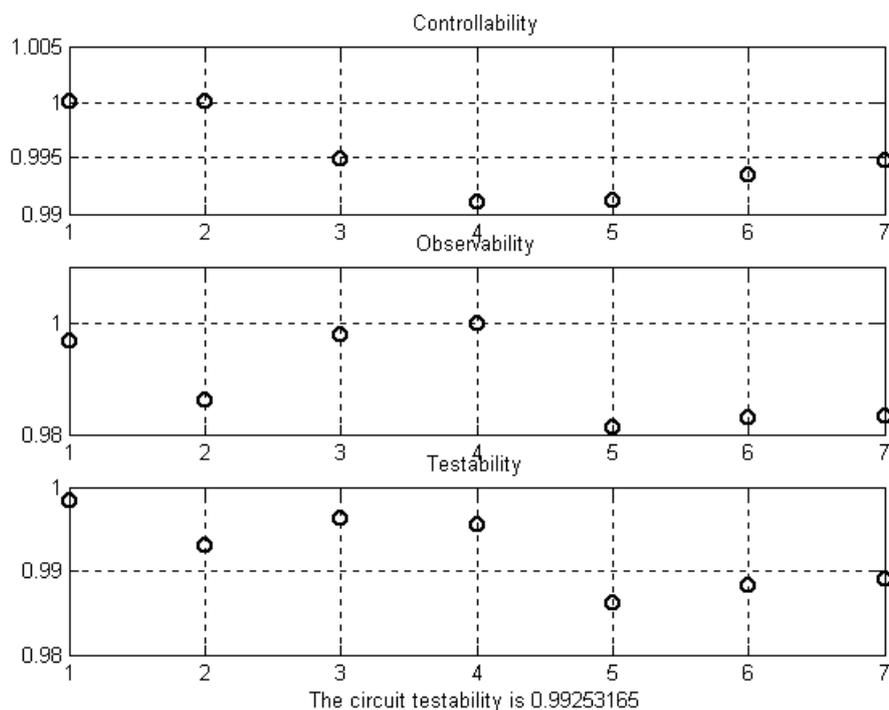


Рисунок 3.2. Результаты анализа тестопригодности
в режиме *One Frequency / All Nodes*

Данный расчет произведен для 7 узлов схемы при частоте входного синусоидального сигнала 100 Гц. Абсолютно наблюдаемой является узел 4.

Область графиков включает три координатные плоскости:

1. *Controllability* – управляемость для каждого узла схемы. Из графика видно, что 1 и 2 узлы абсолютно управляемы.
2. *Observability* – наблюдаемость для каждого узла. Из графика видно, что узел 4 абсолютно наблюдаемый.
3. *Testability* – тестопригодность каждого узла. Под данным графиком выведено значение тестопригодности всей схемы – *The circuit testability*.

Примечание: Возможно выполнять масштабирование графиков, для чего необходимо левой кнопкой мыши выделить область на координатной плоскости, которую необходимо увеличить. При нажатии правой кнопки мыши возвращаемся к исходному масштабу.

- Результаты для режима *All Frequency / One Nodes* представлены на рисунке 3.3.

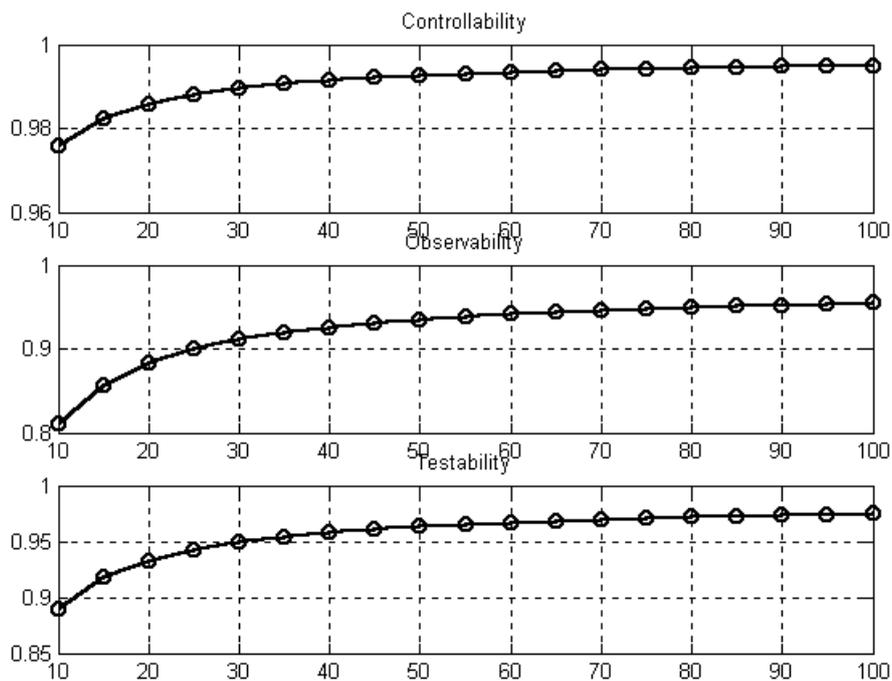


Рисунок 3.3. Графики для режима *All Frequency / One Nodes*

Данный расчет произведен для узла 3 на 20 частотах входного синусоидального сигнала из диапазона от 10 до 100 Гц. Узел 7 – абсолютно наблюдаемый.

Область графиков включает три координатные плоскости:

1. *Controllability* – управляемость для заданного узла схемы.
2. *Observability* – наблюдаемость для заданного узла.
3. *Testability* – тестопригодность каждого узла.

Для выхода из модуля *Testability* необходимо нажать кнопку *Close*.

3 Порядок выполнения работы

- 1) Получить индивидуальное задание;
- 2) Запустить программу *Matlab.exe*;
- 3) В рабочем окне набрать вызываемую функцию *editor*;
- 4) Описать предложенную в варианте схему;
- 5) Выполнить анализ тестопригодности схемы для заданных узлов и значений частоты входного синусоидального сигнала;

- 6) Выявить узлы с минимальной тестопригодностью. Определить для них причины низкой тестопригодности и способы ее повышения;
- 7) Провести анализ полученных результатов и оформить отчет.

4 Содержание отчета

- Отчет должен содержать:
- Титульный лист;
- Цель работы и задание;
- Графики результатов анализа тестопригодности аналоговой схемы;
- Анализ полученных результатов;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие существуют режимы расчета тестопригодности в пакете *TeDiAC*?
2. Что показывает управляемость узла и управляемость схемы?
3. Какие узлы схемы принято называть абсолютно управляемыми и абсолютно наблюдаемыми?
4. Как рассчитывают тестопригодность схемы?
5. Для чего необходимо оценивать тестопригодность внутренних узлов и схемы в целом?
6. Какую роль играет анализ тестопригодности в процессе проектирования аналоговых схем?

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ

1 Цель работы. Изучить способ анализа чувствительности аналоговой схемы. Исследовать влияние частоты входного синусоидального сигнала на функцию чувствительности контролируемого параметра в выходных узлах схемы к отклонению внутренних параметров компонентов.

2 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности в частотной области выполняют с использованием модуля *Sensitivity*, рабочее окно которого представлено на рисунке 4.1

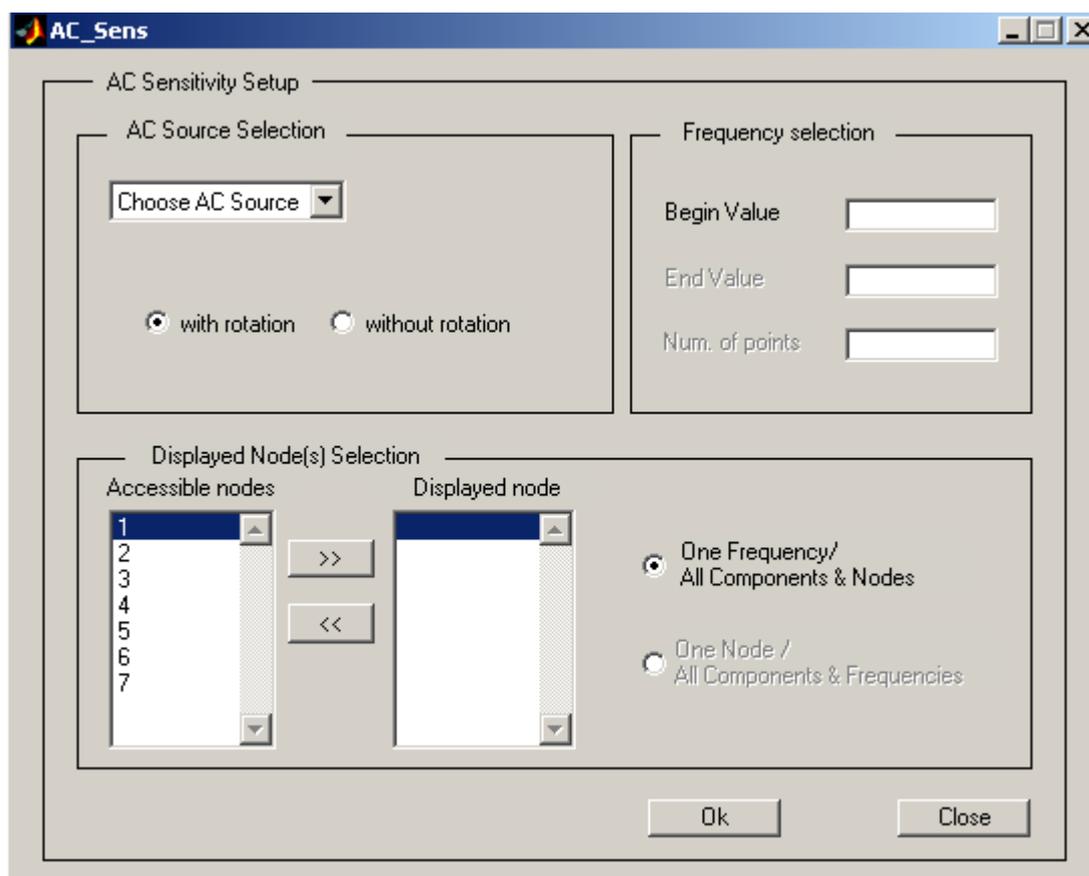


Рисунок 4.1. Рабочее окно модуля *Sensitivity*

Для работы с модулем *Sensitivity* необходимо создать описание схемы (*File*→*Create*) или открыть уже существующее описание (*File*→*Open*).

Для проведения анализа чувствительности необходимо:

1. В главном диалоговом окне выбрать пункт *Sensitivity*.
2. В появившейся форме в окне *AC Source Selection* (рис. 4.2) выбрать источник тока или напряжения, по которому будет производиться анализ.

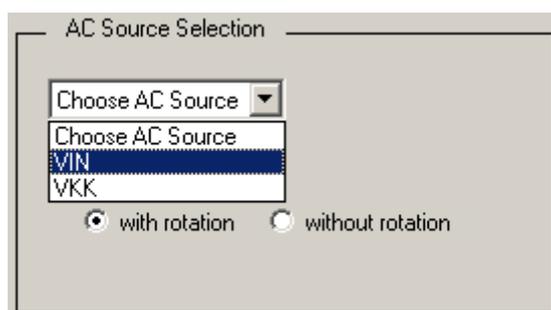


Рисунок. 4.2. Окно *AC Source Selection*

При необходимости вращения полученного трехмерного графика-результата необходимо поставить метку “*with rotation*”, если такой необходимости нет, то поставить метку “*without rotation*”, это позволит сэкономить время при вычислениях.

3. Далее в окне *Displayed Node(s) Selection* (рис. 4.3) необходимо выбрать режим расчета *One Frequency / All Components & Nodes* или *One Nodes / All Components & Frequency*. В первом случае расчет выполняют на одной частоте входного синусоидального сигнала, но для всех компонентов и внутренних узлов схемы. Во втором случае – для одного узла, но всех компонентов и частот из заданного диапазона.

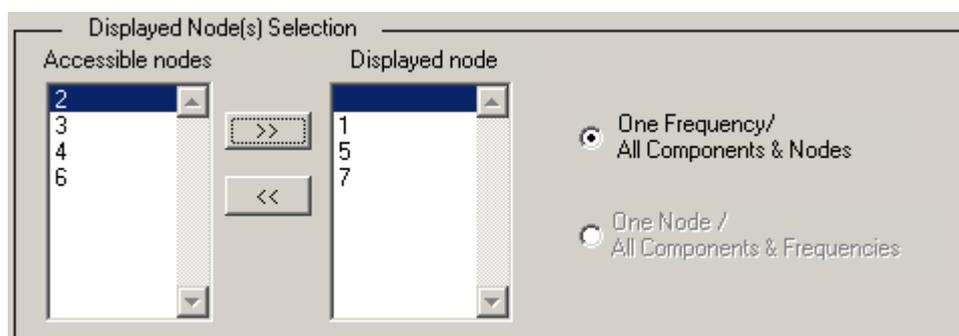


Рисунок. 4.3. Окно *Displayed Node(s) Selection*

4. Из поля *Accessible nodes* выбрать узлы, относительно которых будут рассчитаны значения функции чувствительности выходного параметра, и поместить их в список *Displayed nodes*.

5. Если выбран режим *One Frequency / All Components & Nodes*, то в окне *Frequency selection* (рис. 4.4) останется активной только строка *Begin Value*. В ней необходимо указать значение частоты входного сигнала, на котором будет произведен расчет.

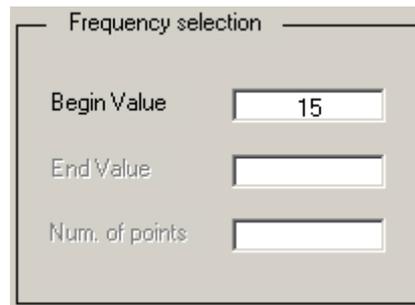


Рисунок. 4.4. Окно *Frequency selection*

6. Нажмите кнопку *Ok*. В результате расчета будет построен график функции чувствительности (рис. 4.5).

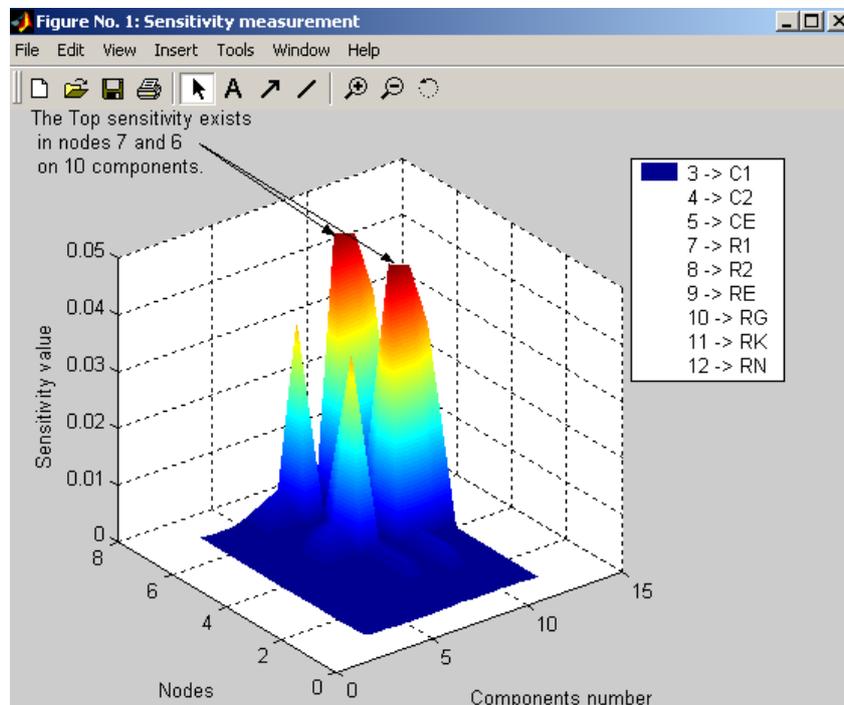


Рисунок. 4.5. Окно с результатами анализа чувствительности

7. Если выбран режим *One Nodes / All Components & Frequency*, то в окне *Frequency selection* необходимо указать начальное и конечное значение частоты входного сигнала и шаг изменения.

3 Порядок выполнения работы

- 1) Получить индивидуальное задание;
- 2) Запустить программу *Matlab.exe*;
- 3) В рабочем окне набрать вызываемую функцию *editor*;
- 4) Описать предложенную в варианте схему;
- 5) Выполнить анализ чувствительности для каждого узла схемы на заданном диапазоне частот входного сигнала. Определить набор частот (**F**), на которых функция чувствительности принимает максимальное значение.
- 6) Выполнить анализ чувствительности для каждой частоты из множества **F** для всех компонентов и узлов схемы. Определить узлы и компоненты, для которых функция чувствительности принимает максимальное значение.
- 7) Провести анализ полученных результатов и оформить отчет.

4 Содержание отчета

- Отчет должен содержать:
- Титульный лист;
- Цель работы и задание;
- Графики результатов анализа чувствительности аналоговой схемы;
- Анализ полученных результатов;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое функция чувствительности?
2. Опишите интерфейс рабочего окна модуля *Sensitivity*.
3. Как используют результаты анализа чувствительности при тестопригодном проектировании аналоговых схем?
4. Что показывают результаты анализа чувствительности в режиме *One Frequency / All Components & Nodes*?

5. Что показывают результаты анализа чувствительности в режиме *One Nodes / All Components & Frequency*?

6. Какие методы используют для расчета функции чувствительности?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.G. Mosin, Handbook of Testing Electronic Systems. Chapter 6: Analog Test and Diagnosis, Czech Technical University Publishing House, 2005, pp. 302 – 331. – ISBN 80-01-03318-X.

2. С.Г. Мосин. Обучающая подсистема САПР тестопригодного проектирования аналоговых схем // Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB: Труды Всероссийской научной конференции. – Москва: ИПУ РАН, 2004. – С. 245 – 261.

4. M. Slamani, B. Kaminska, “Analog Circuit Fault Diagnosis Based on Sensitivity Computation and Functional Testing”, IEEE Design and Test of Computers, No. 3, pp. 30 – 39, 1992.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ В НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ	4
Лабораторная работа № 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В АНАЛОГОВЫХ СХЕМАХ	19
Лабораторная работа № 3. ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА ТЕСТОПРИГОДНОСТИ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ	27
Лабораторная работа № 4. АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АНАЛОГОВОЙ СХЕМЫ	32
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	36

ТЕСТОПРИГОДНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИС И ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания к лабораторным работам

Составитель
МОСИН Сергей Геннадьевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.Н. Ланцов

Подписано в печать 10.02.09
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 50 экз.

Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.