

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Р.Ш. Загидуллин

Лабораторный практикум по курсу Электроника. Семинары

Электронное учебное издание

Полупроводниковые диоды

*Методические указания к выполнению лабораторного практикума по
дисциплине «Электроника»*

Часть 2 Исследование в Multisim

Москва

(С) 2014 МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

УДК 517.31

Рецензент:

Загидуллин Р.Ш.

Лабораторный практикум по курсу Электроника. Полупроводниковые диоды - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, Часть 2 Исследование в Multisim 2015. 107 с.

Электронное учебное издание

Загидуллин Равиль Шамильевич

Лабораторный практикум по курсу Электроника. Полупроводниковые диоды

© 2014 МГТУ имени Н.Э. Баумана

СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ

ВАХ — вольтамперная характеристика;

ГТИ — генератор тактовых импульсов;

ЕСКД — единая система конструкторской документации;

MSxx — программная среда NI Multisim 10 или 12 версии;

МСxx — программная среда Multisim версии 7, 9 или 10;

Оглавление

| | |
|--|----------|
| СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ | 3 |
| РАБОТА: исследование полупроводникового диода. | 6 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 1 | 7 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 2 | 9 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 2 | 11 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 3 | 14 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 5 | 16 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 6 | 20 |
| ЭКСПЕРИМЕНТ 7 | 29 |
| БАЗА ДАННЫХ КОМПОНЕНТ MULTISIM | 30 |
| Уровни доступа к базе данных Multisim | 33 |
| УПРАВЛЕНИЕ БАЗАМИ ДАННЫХ В ПРОГРАММЕ MULTISIM..... | 34 |
| Добавление компонентов..... | 34 |
| Удаление семейства компонентов | 35 |
| Обмен компонентов между базами данных..... | 35 |
| Создание нового компонента | 37 |
| СОЗДАНИЕ НОВОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ MULTISIM..... | 44 |
| СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДИОДА В MULTISIM ИСПОЛЬЗУЯ MODEL MAKER | 53 |
| Начало работы, шаг 1 в Component Wizard..... | 55 |
| Шаг 2 в Component Wizard | 56 |
| Шаг 3 в Component Wizard | 59 |
| Шаг 4 в Component Wizard | 60 |
| Шаг 4 в Component Wizard | 60 |
| Шаг 6 в Component Wizard | 61 |
| Шаг 7 в Component Wizard | 63 |
| Шаг 8 в Component Wizard | 63 |

| | |
|--|-----|
| ОСЦИЛЛОГРАФ В ПРОГРАММЕ MULTISIM..... | 71 |
| РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ | 78 |
| ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ИХ СВОЙСТВА | 82 |
| МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА | 85 |
| ДИОД ВАРИКАП..... | 88 |
| РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА МЕТОДОМ ТРЕХ ОРДИНАТ..... | 96 |
| РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА GIVEN MINERR..... | 102 |
| ЛИТЕРАТУРА. ОСНОВНАЯ..... | 107 |
| Литература. Дополнительная | 107 |

РАБОТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приобрести навыки в использовании базовых возможностей программ схемотехнического анализа для исследования статических и динамических характеристик полупроводниковых диодов с последующим расчетом параметров модели полупроводникового диода. Приобретение навыков в исследовании полупроводниковых приборов и освоение математических программ расчета параметров модели полупроводниковых приборов на основе проведенных экспериментальных исследований и включении его модели в базу компонентов

ЭКСПЕРИМЕНТ 1

Собрать схемы, показанные на рисунках.

Схема для измерения напряжения на диоде мультиметром:

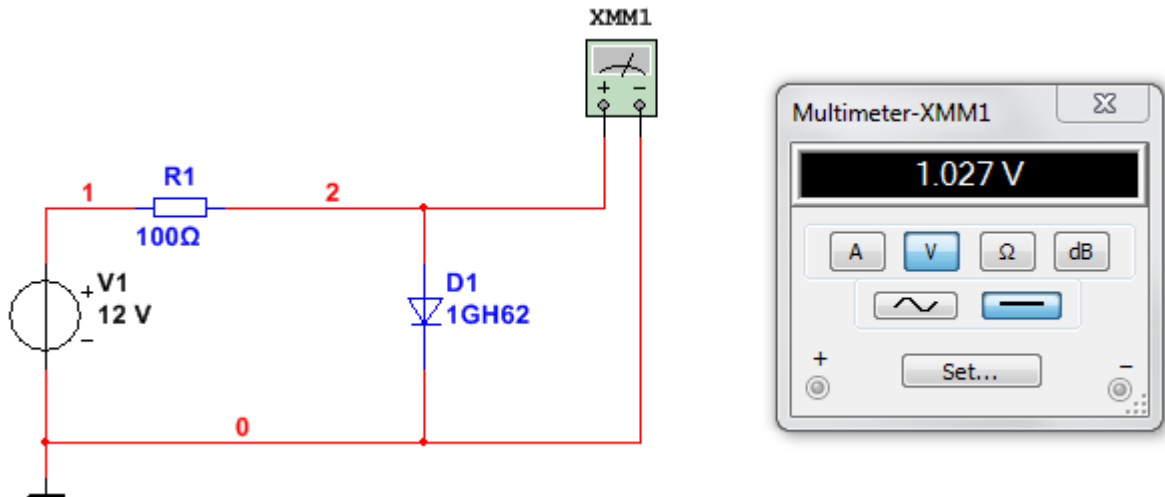


Рисунок 1

схема для измерения тока через диод мультиметром:

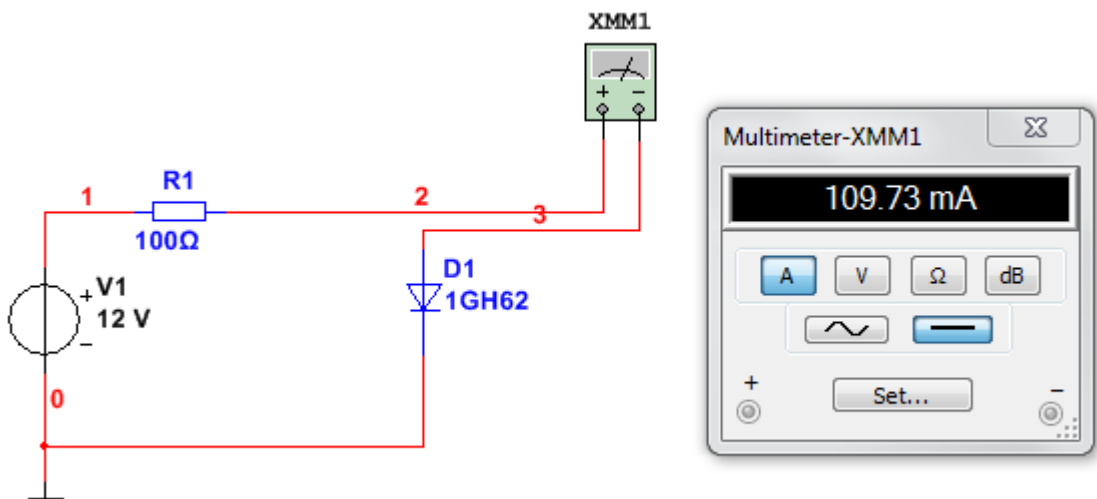


Рисунок 2

Измерять напряжение на диоде по схеме рисунке 1, можно подсоединяя к диоду через резистор источники с различным напряжением. При этом ток диода в прямом направлении можно вычислять из выражения

$$I_{np} = \frac{E - U_{np}}{R}$$

где E – ЭДС источника; $U_{пр}$ – напряжение на диоде в прямом направлении

Ток диода в обратном направлении может быть подсчитан как

$$I_{обр} = \frac{E - U_{обр}}{R}$$

где E – ЭДС источника; $U_{обр}$ – напряжение на диоде в обратном направлении

Точность при таких измерениях оставляет желать лучшего из-за разброса сопротивлений у резисторов одного номинала. И если необходимо получить более точную характеристику, используя только один мультиметр, необходимо сначала измерить напряжение в схеме рисунке 1, а затем ток в схеме рисунке 2. При этом можно пользоваться только мультиметром, подключая его то как вольтметр, то как амперметр.

Гораздо быстрее можно выполнить эту работу, если имеется вольтметр и амперметр. Тогда, включив их по схеме рисунке 3, можно сразу видеть ток и напряжение на табло этих приборов.

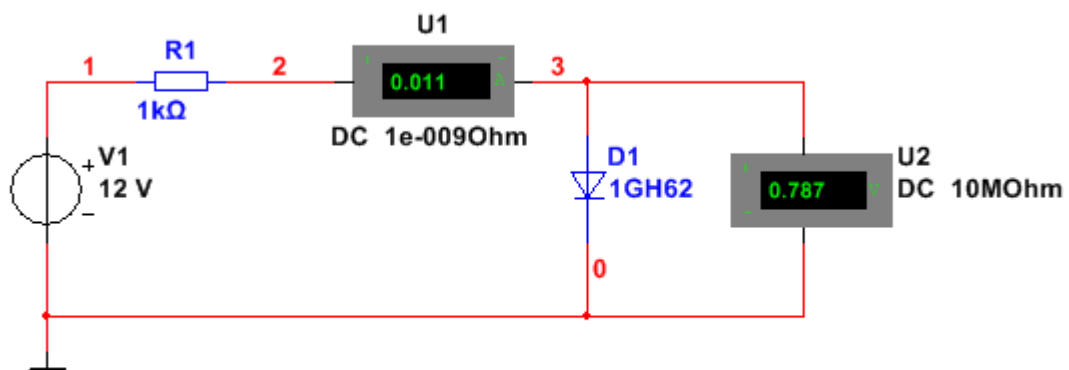


Рисунок 3

1. Включить схему, представленную на рисунке 1. Мультиметр покажет напряжение на диоде $U_{пр}$ при прямом смещении. Переверните диод и снова запустите схему. Теперь мультиметр покажет напряжение на диоде $U_{обр}$ при обратном смещении. Вычислите ток диода при прямом (шаг измерений 0.1 В, пределы от 0 до 1 В) и обратном смещении (шаг измерений 0.5 В, пределы от 0 до -10 Вольт) согласно формулам. Заполните таблицу в программе MathCAD:

| № | Напряжение на диоде, В | Ток диода, А | Сопротивление диода на постоянном токе |
|---|------------------------|--------------|--|
|---|------------------------|--------------|--|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

- По результатам измерения построить графики для прямой и обратной ветви характеристики и график сопротивления диода на постоянном токе.
- Включите схему, представленную на рисунке 3. Повторите эксперимент и заполните таблицу. Сравнить полученные результаты и сделать выводы.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

Быстро и удобно можно исследовать ВАХ, непосредственно наблюдая ее на экране [осциллографа](#) (рисунок 4).

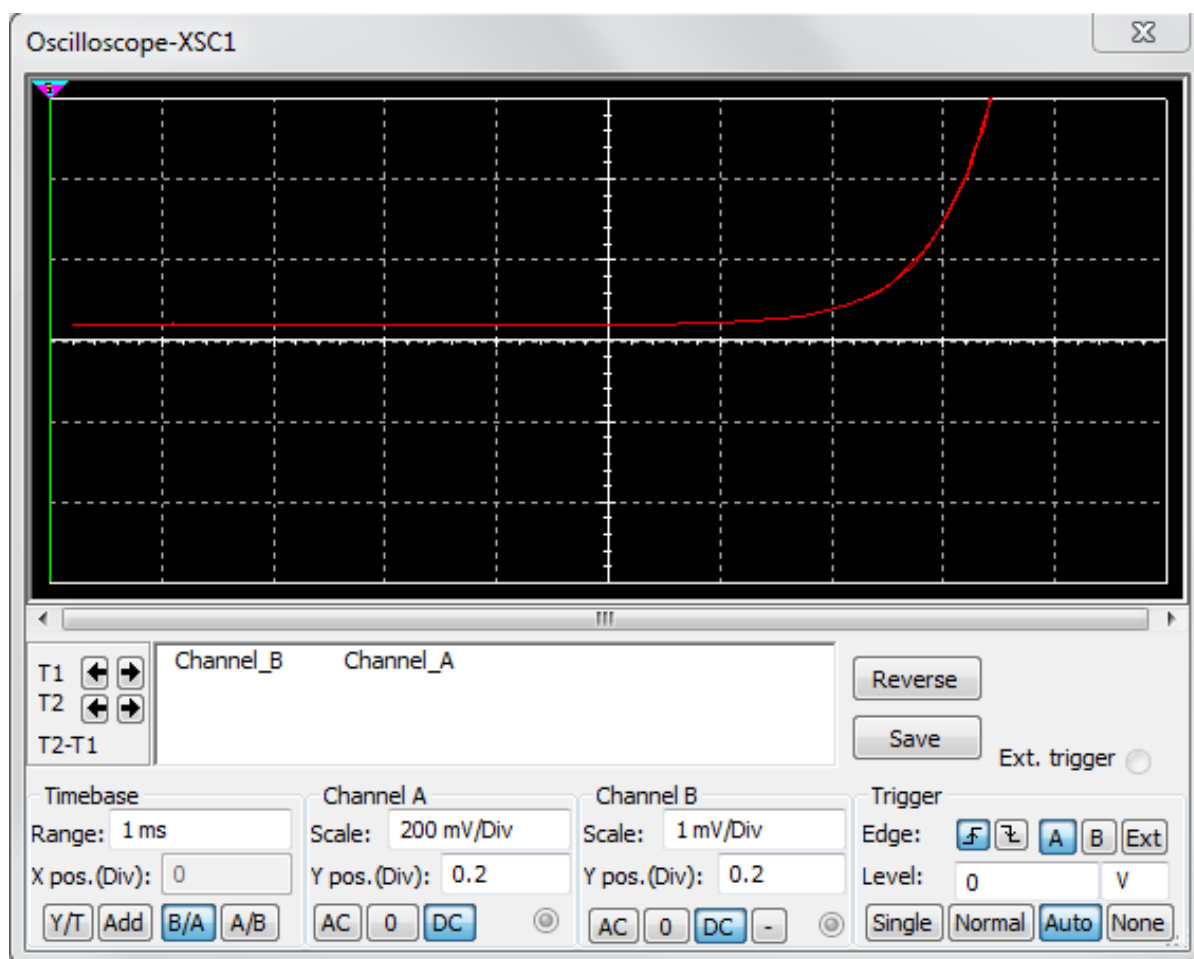


Рисунок 4

Схема стенда для получения ВАХ на экране осциллографа показана на рисунке 5. При таком подключении координата точки по горизонтальной оси осциллографа будет пропорциональна напряжению, а по вертикальной — току через диод. Поскольку

напряжение в вольтах на резисторе с сопротивлением 1 Ом численно равно току через диод в амперах

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{1} = U$$

по вертикальной оси можно непосредственно считывать значение тока. Если на осциллографе выбран режим В/А, то ток через диод (канал В) будет откладываться по вертикальной оси, а напряжение (канал А) по горизонтальной.

Примечание: при получении ВАХ диода с помощью осциллографа на канал А вместо точного напряжения на диоде подается сумма напряжений на диоде и на резисторе сопротивлением 1 Ом. Погрешность из-за этого будет невелика, так как падение напряжения на резисторе значительно меньше, чем напряжение на диоде.

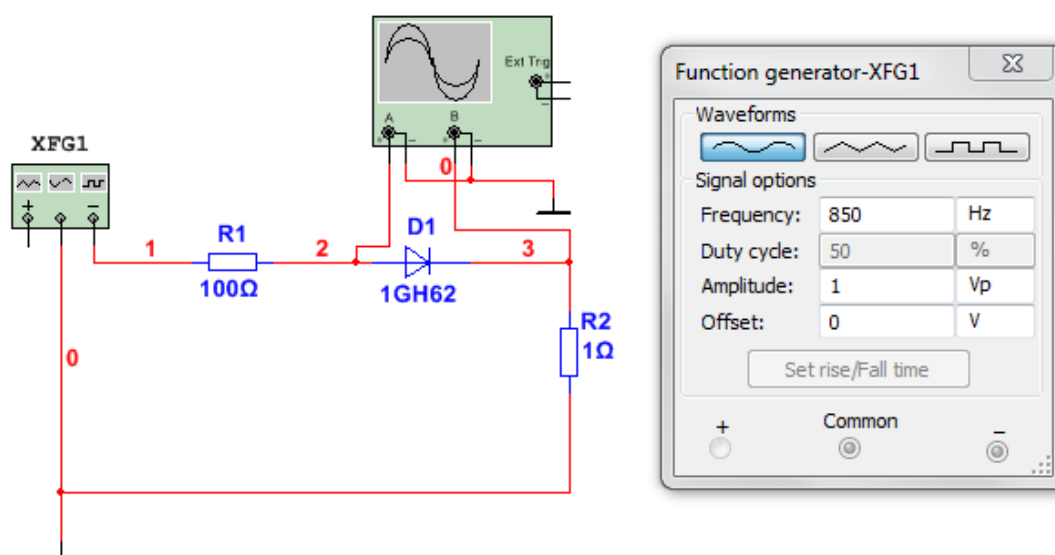
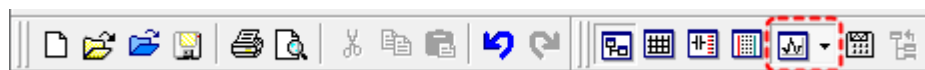


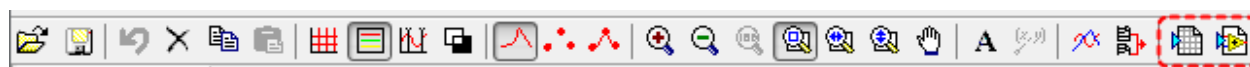
Рисунок 5

Тип диода определяется номером диода по списку в файле библиотеки в Master Database, Группы Diodes, причём, для первой группы номера вариантов и номера диода совпадают, для второй группы номер диода и номер варианта соотносятся как (номер диода по списку) = (номер варианта) + 25, для третьей группы номер диода определяется как (номер диода по списку) = (номер варианта) + 45.

1. Включить схему, представленную на рисунке 5. На ВАХ, появившейся на экране осциллографа, по горизонтальной оси считывается напряжение на диоде в милливольтках (канал А), а по вертикальной — ток в миллиамперах (канал В, 1 мВ соответствует 1 мА). Обратите внимание на изгиб ВАХ.
2. Получить кривую ВАХ на экране осциллографа, запустить Grapher View, используя кнопку Grapher на панели инструментов,



в окне Grapher View сформировать выходной текстовый файл с данными расчёта через:



3. Использовать этот файл для передачи данных в *MathCAD*. Построить BAX в программе MCAD и рассчитать параметры модели (IS, Ft) методом Given Minerr.
4. Сравнить две BAX в программе *MathCAD* и объяснить полученные результаты

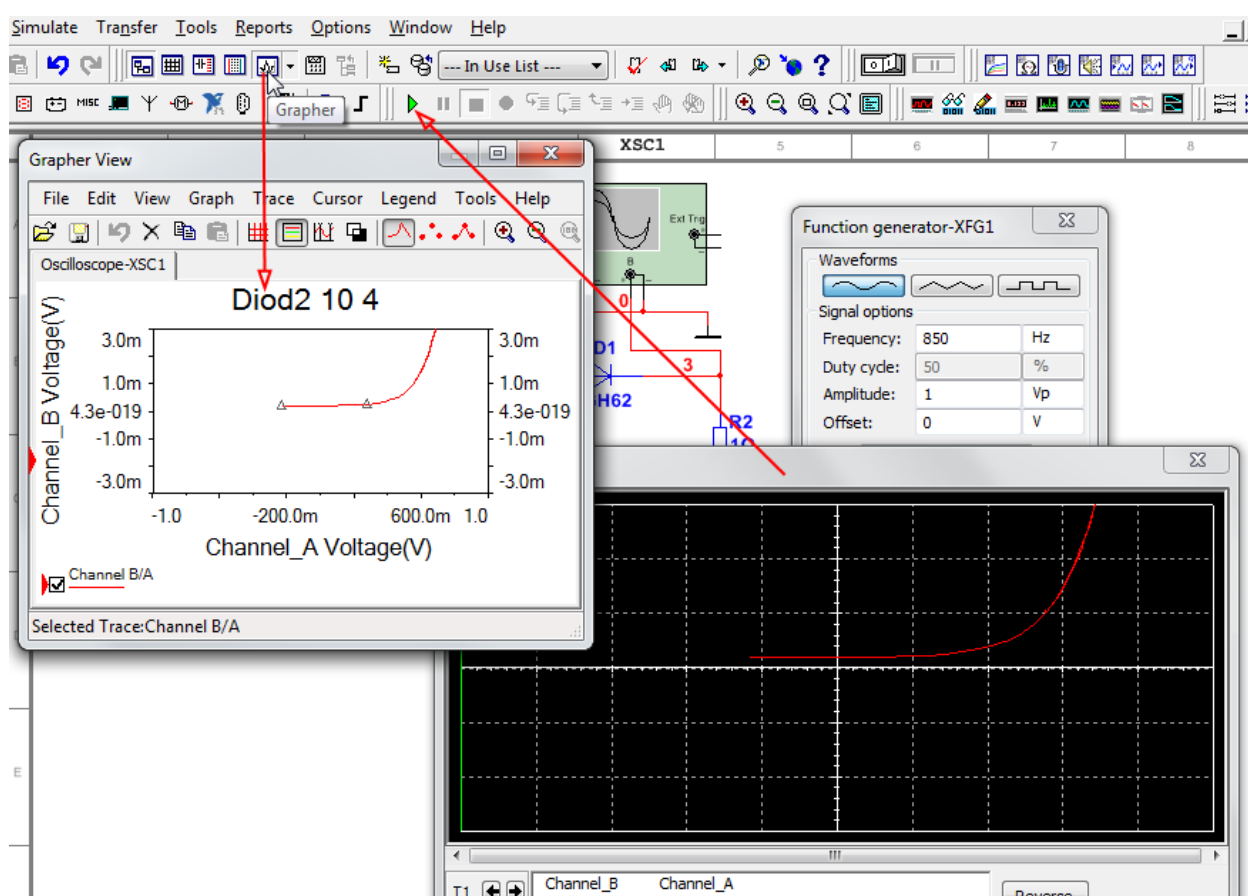


Рисунок 6

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

1. Получить BAX активных элементов в программе Multisim с использованием упрощённой схемы анализа – с использованием встроенного прибора IV.

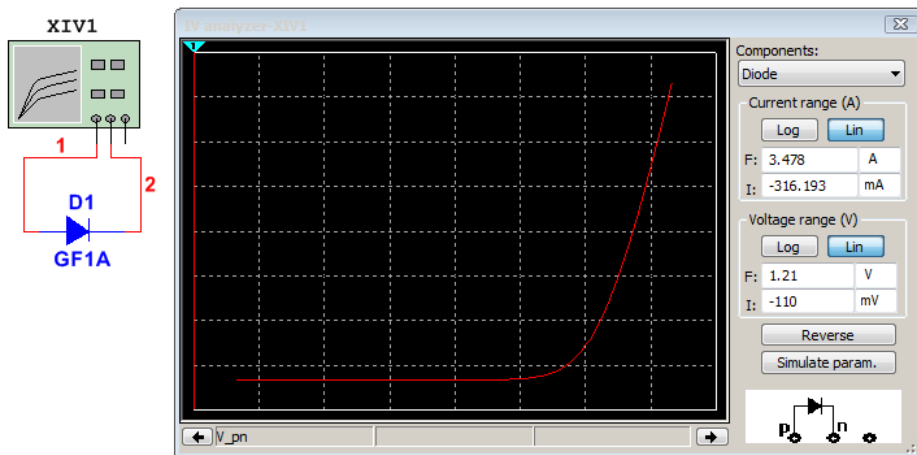


Рисунок 7

Установка встроенного прибора IV на схему осуществляется через пункт меню:

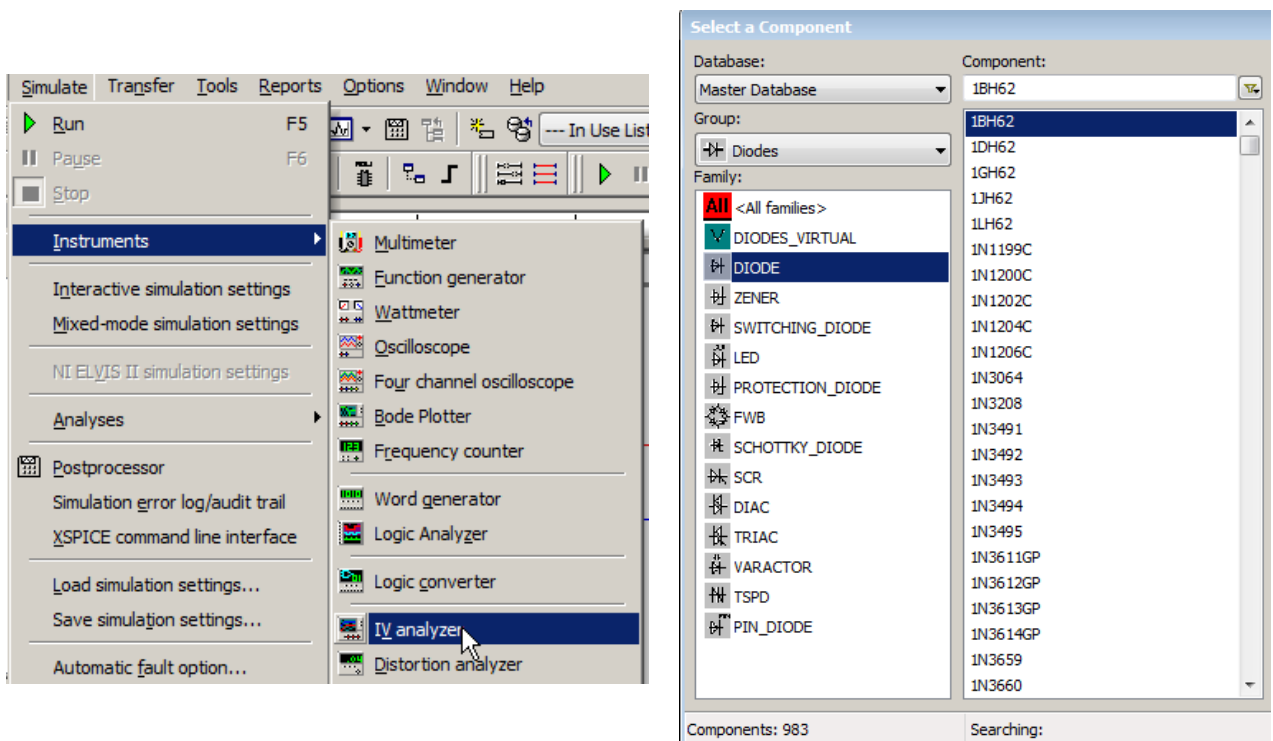
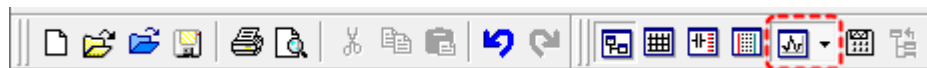


Рисунок 8

Тип диода определяется номером диода по списку в файле библиотеки в Master Database, Группы Diodes, причём, для первой группы номера вариантов и номера диода совпадают, для второй группы номер диода и номер варианта соотносятся как (номер диода по списку) = (номер варианта) + 25, для третьей группы номер диода определяется как (номер диода по списку) = (номер варианта) + 45.

2. Для заданного варианта модели полупроводникового диода провести получить ВАХ диода в программе Multisim на прямой ветви с использованием встроенного прибора IV.
3. Запустить Grapher View, используя кнопку Grapher на панели инструментов,



в окне Grapher View сформировать выходной текстовый файл с данными расчёта через:



4. Использовать этот файл для передачи данных в MathCAD. Построить ВАХ в программе MCAD и [рассчитать параметры модели \(IS, Ft\) методом Given Minerr.](#)
5. Сравнить две ВАХ (исходную и модельную) в программе MathCAD и объяснить полученные результаты

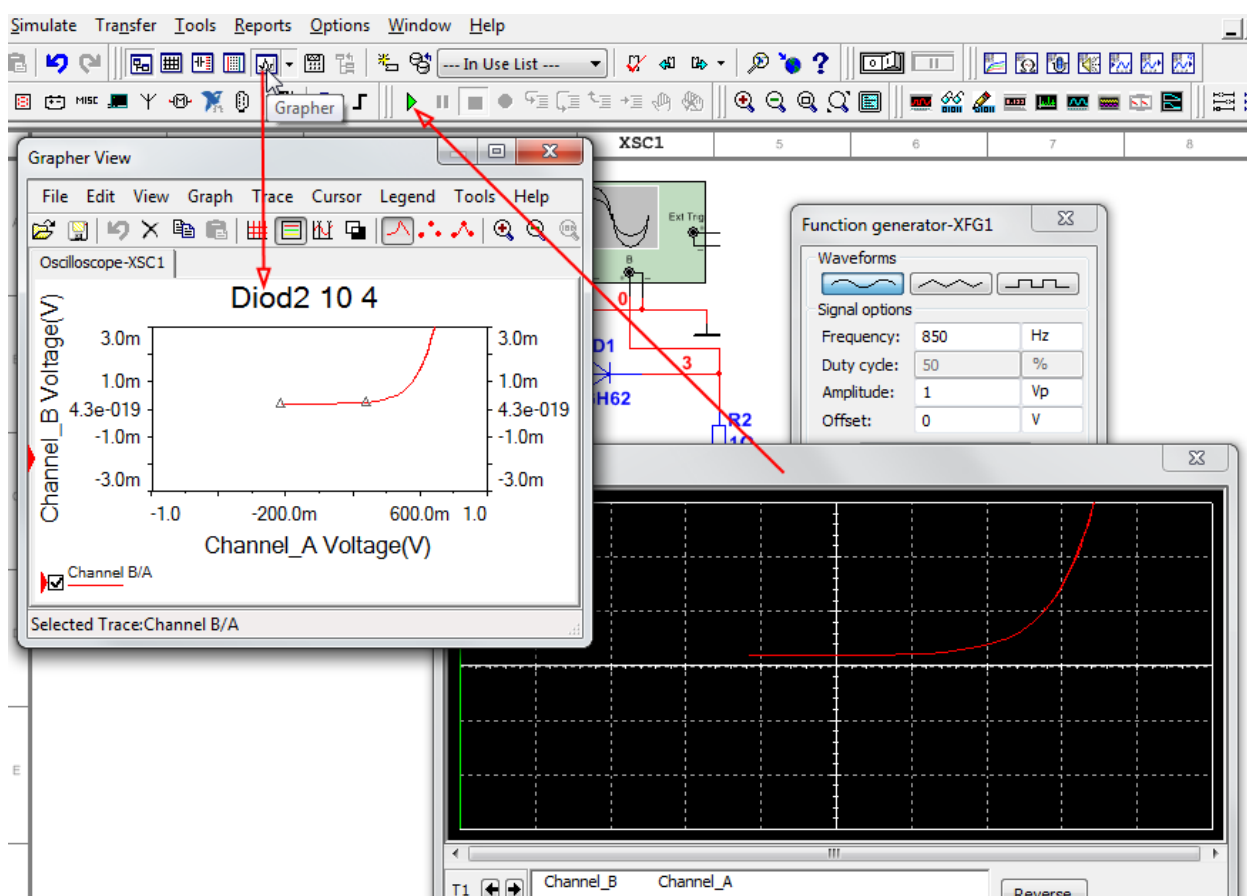


Рисунок 9

6. Передать данные расчета в программу MCAD сформировав текстовый файл данных. Построить ВАХ в программе MCAD и [рассчитать параметры модели \(IS, Ft\) методом трех отчетов.](#)
7. Сравнить две ВАХ (исходную и модельную) в программе MathCAD и объяснить полученные результаты

ЭКСПЕРИМЕНТ 3

Исследование диода-варикапа в Multisim классическим методом

Построение вольтфарадной характеристики варикапа.

Для построения вольтфарадной характеристики необходимо собрать схему, представленную на рисунке 2:

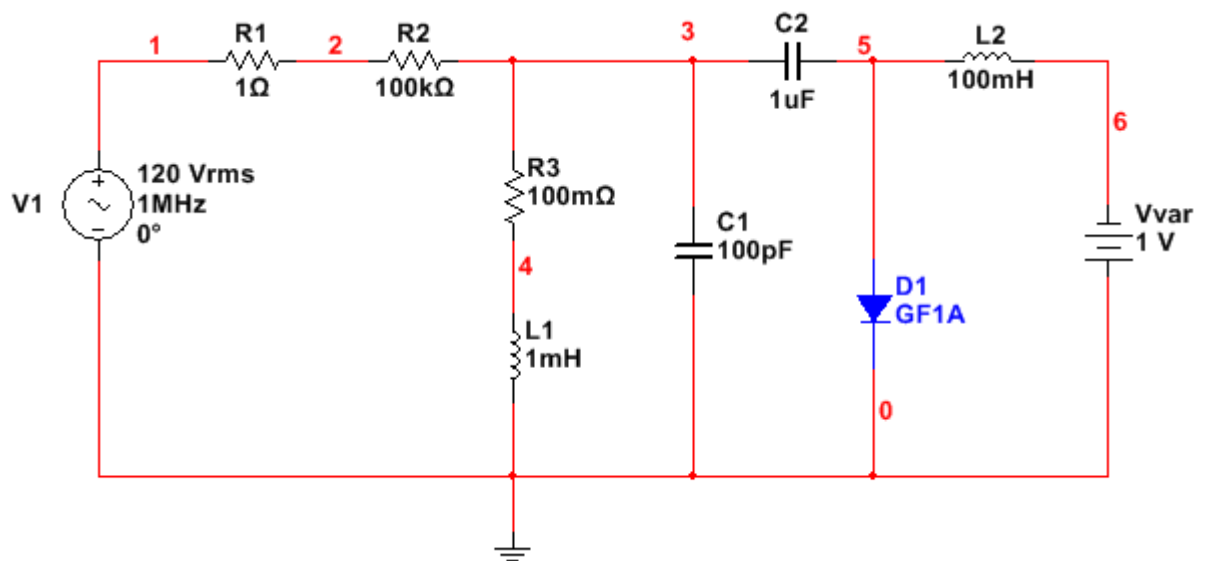


Рисунок 10

1. Используя схему параллельного колебательного контура с подключенным к контуру полупроводникового диода в качестве переменной емкости построить зависимость резонансной частоты от напряжения управления и передать данные в программу *MathCAD*. По этим данным построить вольтфарадную характеристику полупроводникового диода.
2. Из вольтфарадной характеристики и определить параметры модели диода (CJO, M, VJ) любым методом. Адекватность модели проверить по степени совпадения расчетных данных и данных модели в библиотеке. Оценить и объяснить полученные данные
3. Сформировать полную модель диода (с учетом ранее полученных результатов по статическим характеристикам) для размещения в базе данных (файл с расширением lib).

Поскольку резонансная частота определяется по формуле Томпсона, из этой формулы можно вычислить значение емкости диода для напряжения управления и

построить вольтфарадную характеристику. Вид фрагмента программы *MathCAD* показан ниже на рисунке:

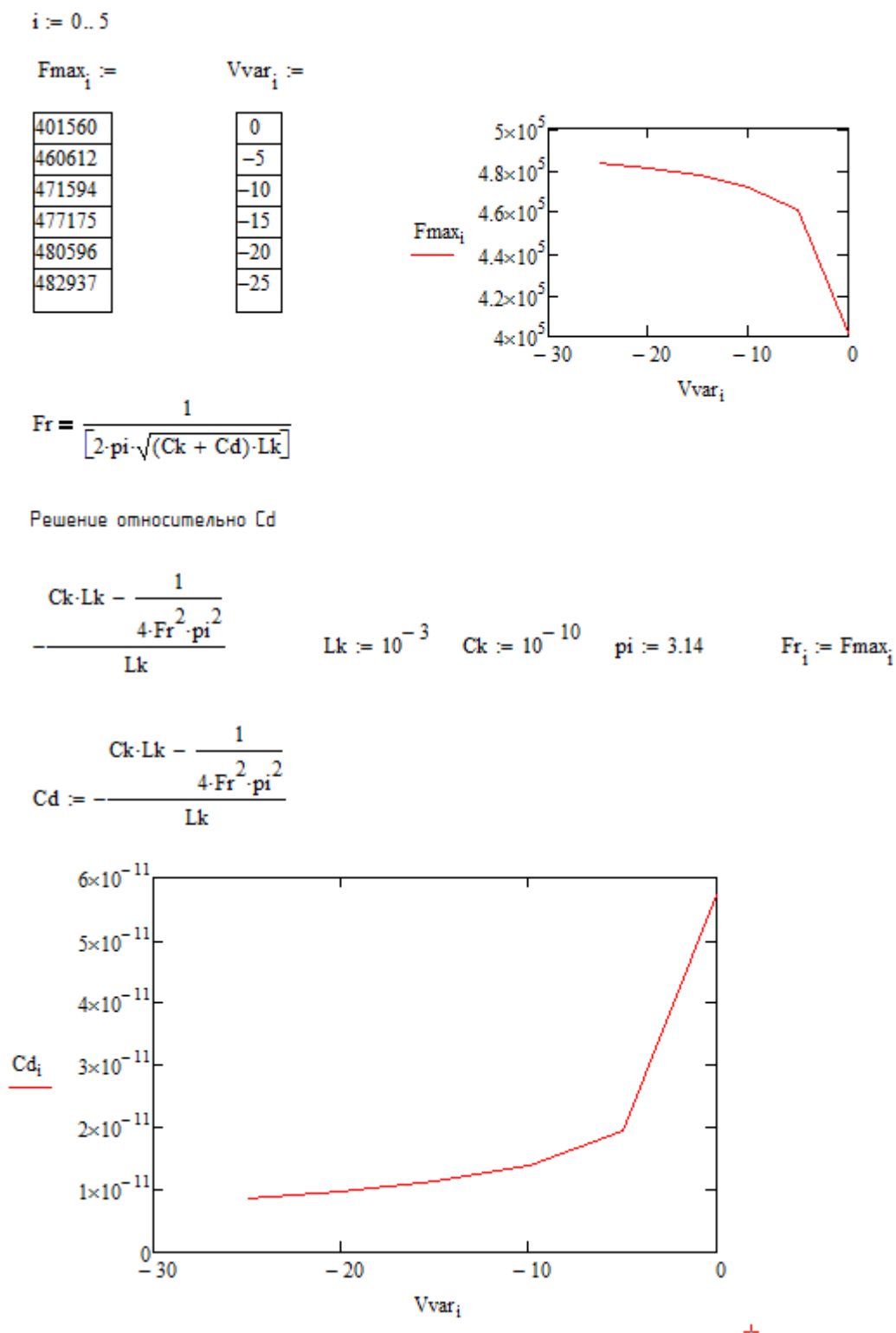


Рисунок 11

ЭКСПЕРИМЕНТ 5

Исследование диода-варикапа в Multisim методом установки в схему Bode Plotter

1. Используя схему параллельного колебательного контура с подключенным к контуру полупроводниковым диодом в качестве переменной емкости построить зависимость резонансной частоты от напряжения управления и передать данные в программу *MathCAD*.

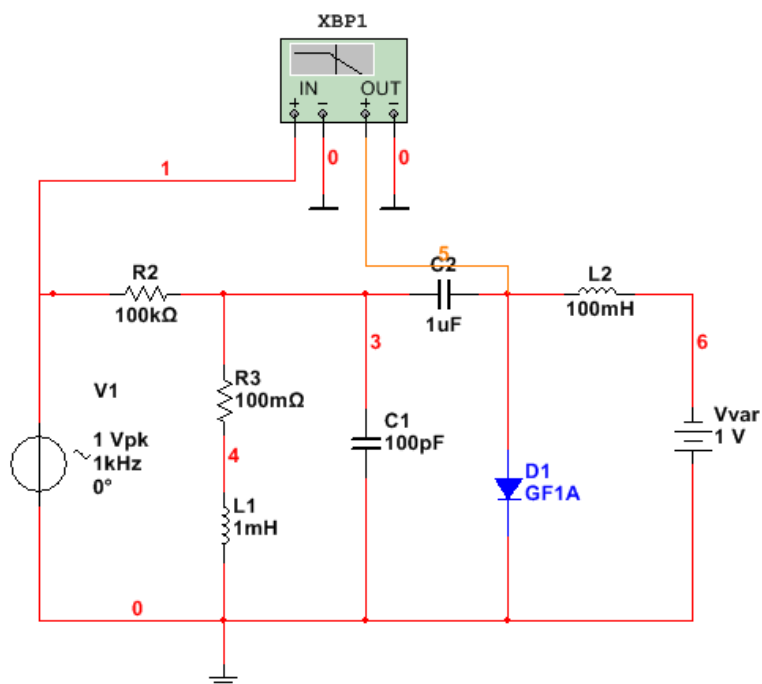


Рисунок 12

2. По этим данным построить вольтфарадную характеристику полупроводникового диода. Для получения результатов использовать встроенный прибор Bode Plotter:

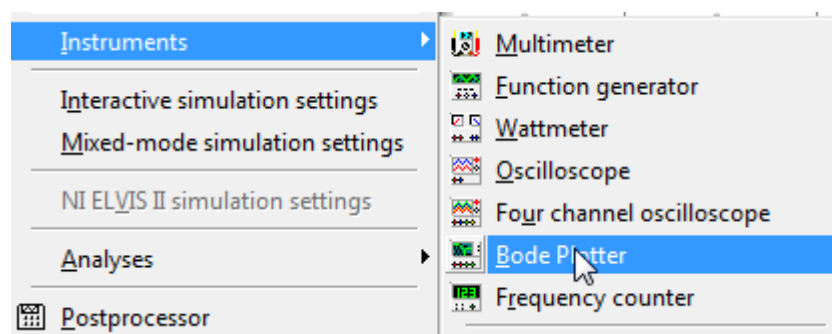


Рисунок 13

Для передачи данных в программу *MathCAD* использовать возможности встроенного средства Grapher View

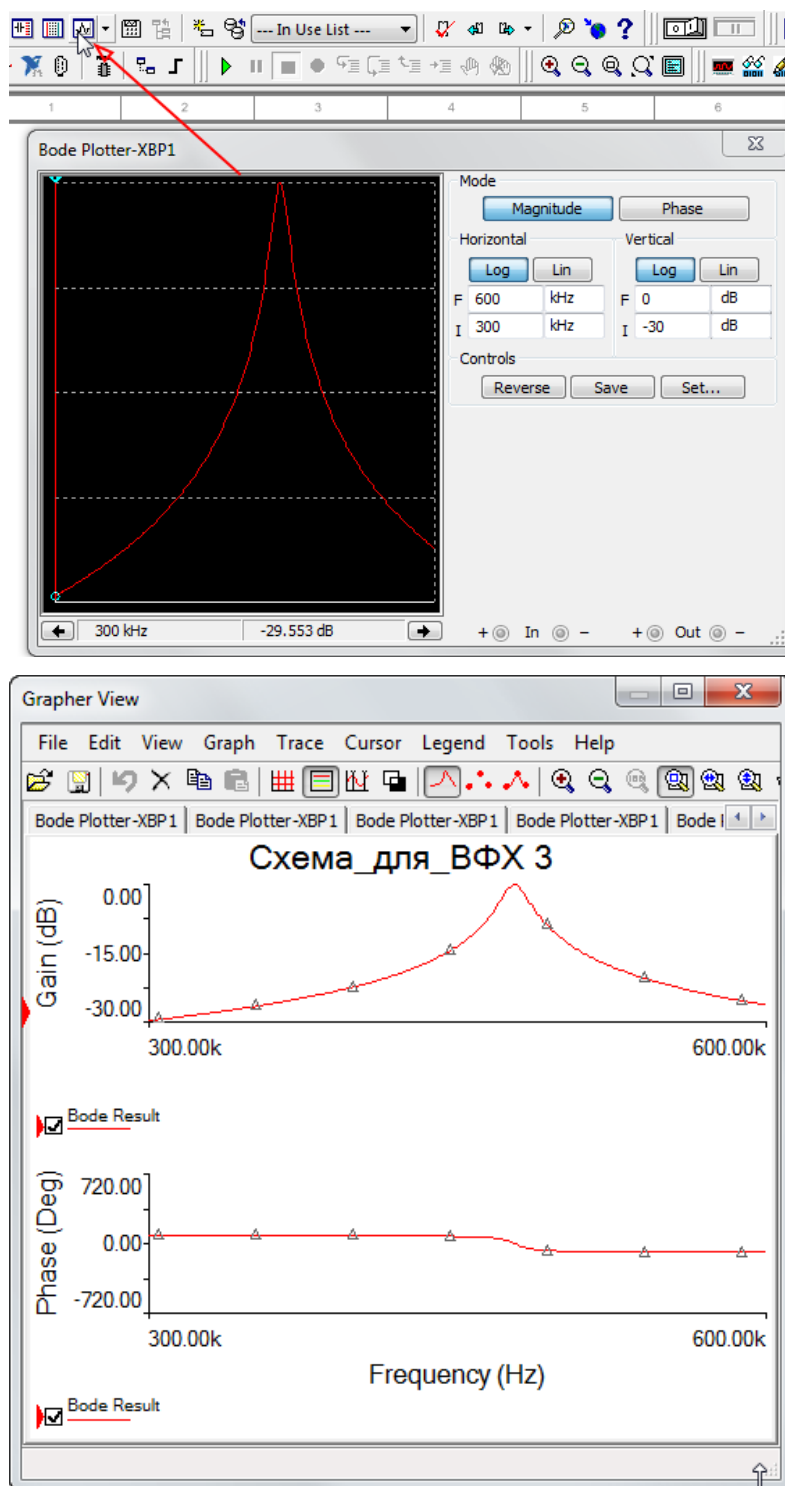


Рисунок 14

Чтобы использовать инструмент, щелкните по кнопке Bode Plotter на панели Instruments и щелкните по месту, где нужно расположить иконку в рабочей области. Иконка используется для подключения плоттера к схеме.

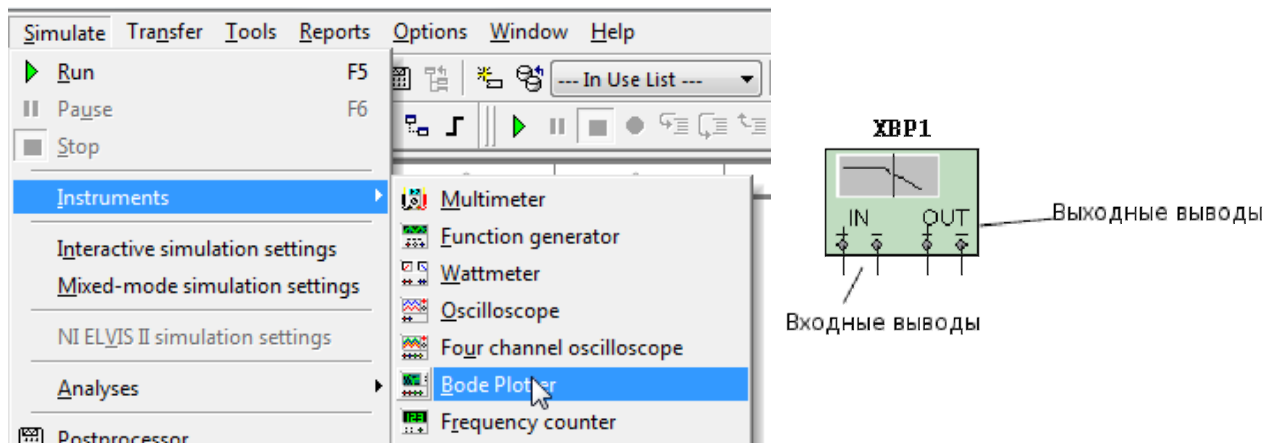


Рисунок 15

Плоттер Бode производит график частотную характеристику схемы и более всего полезен для анализа схем фильтров. Плоттер используется для построения амплитудно-и фазочастотных характеристик. Когда плоттер подключается к схеме, выполняется спектральный анализ.

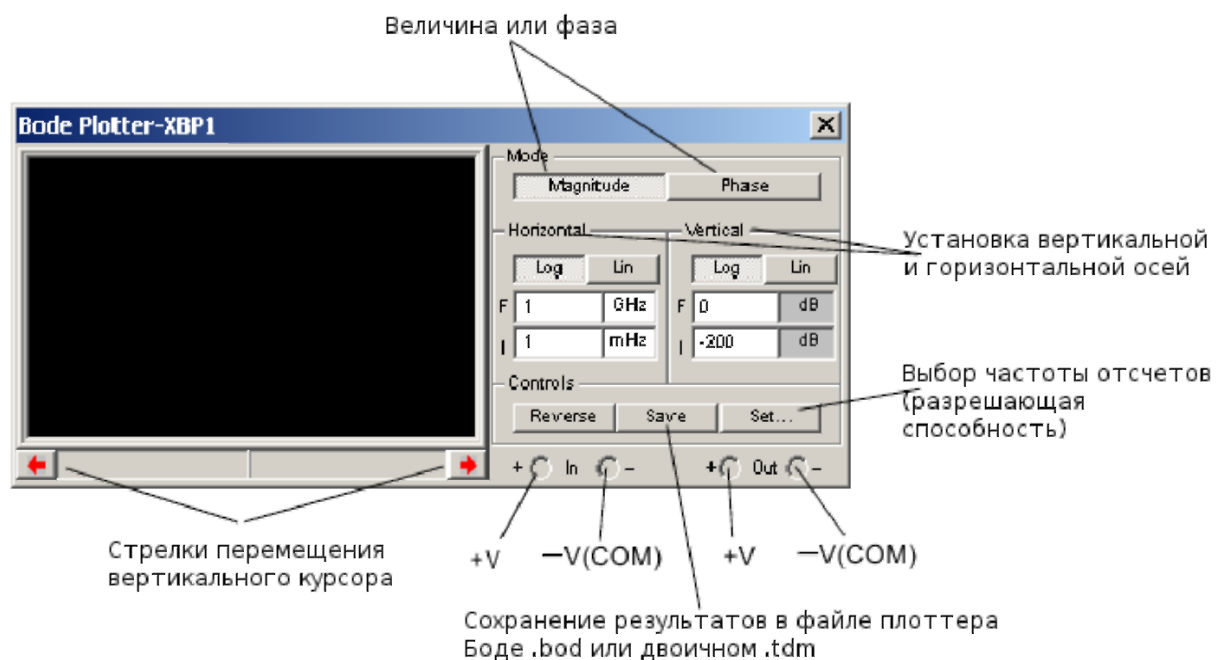


Рисунок 16

Примечание: С помощью кнопки Save плоттера Бode в можете сохранить результаты симуляции в окне Grapher.

Плоттер Бode генерирует ряд частот в заданном спектре. Работа любого источника АС (генератора) в схеме не сказывается на работе плоттера. Однако источник АС должен быть обязательно включен где-нибудь в схеме.

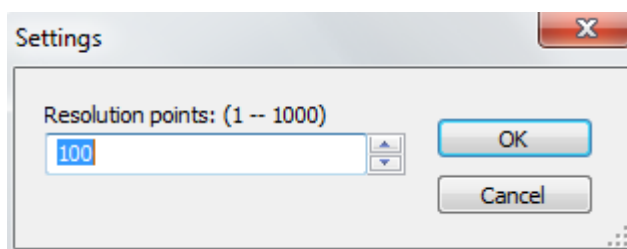
Начальное и конечное значения масштаба по вертикали и горизонтали предустановлены в максимум. Эти значения могут меняться для просмотра графика в разных масштабах. Если масштаб увеличивался или менялась база после окончания

моделирования, то может понадобится повторный запуск схемы, чтобы получить более детальное изображение. В отличие от многих приборов, если выводы плоттера Боде переносятся к другим узлам, необходимо заново запустить анализ схемы, чтобы получить правильные результаты.

Диалоговое окно **Resolution Points - Settings**

Для установки разрешения плоттера Боде:

1. Щелкните по Set, чтобы отобразить диалог Settings.
2. Введите нужное количество Resolution Points (точек разрешения) и щелкните Асепт.



Величина или фаза (Magnitude или Phase)

Magnitude измеряет отношение величины (усиления напряжения в децибелах) между двумя узлами, V+ и V-. Фаза измеряет сдвиг фаз (в градусах) между двумя узлами. Обе кривые в зависимости от частоты (в Гц).

Если V+ и V- единственные точки в схеме:

1. Подключите положительный вывод IN и положительный вывод OUT к соединителям V+ и V-.
2. Подключите отрицательные выводы IN и OUT к земле.

Если V+ (или V-) это значение величины или фазы через компонент, подключите оба вывода IN (или оба вывода OUT) с любой стороны компонента.

Двойной щелчок по иконке открывает панель инструмента, которая используется для ввода установок и просмотра результата измерения

3. Из вольтфарадной характеристики и определить параметры модели диода (CJO, M, VJ) любым методом. Адекватность модели проверить по степени совпадения расчетных данных и данных модели в библиотеке. Оценить и объяснить полученные данные
4. Сформировать полную модель диода (с учетом ранее полученных результатов по статическим характеристикам) для размещения в базе данных Мігосар (файл с расширением lib).

ЭКСПЕРИМЕНТ 6

Работа с программой MODEL для создания модели диода

Для версии Microcap 7 вызов программы может быть осуществлен непосредственно как из меню программы, так и запустив на выполнение файл model.exe. Исполняемый файл можно найти в каталоге программы на жестком диске.



| | | |
|-------|-----|-----------|
| mc7 | exe | 3 182 592 |
| model | exe | 249 856 |
| Mc7 | hlp | 1 410 004 |
| Model | hlp | 76 718 |

Рисунок 17

После выбора пункта New... в окне New File Name производится выбор типа прибора для ввода данных с целью получения параметров модели. В этом же окне задаётся и путь до файла с расширением MDL – файла программы MODEL.

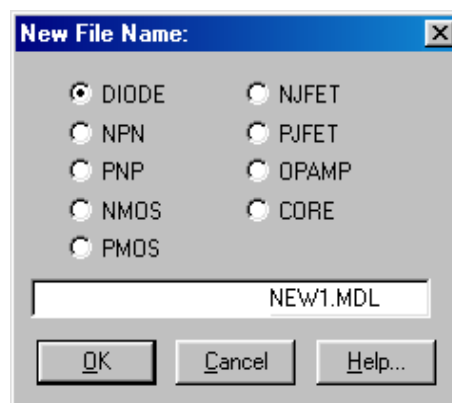
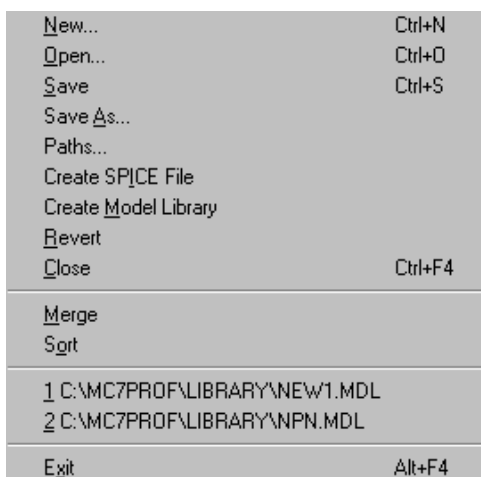


Рисунок 18

После этих действий программа представляет из себя набор окон (их четыре для полупроводникового диода), которые должны быть заполнены экспериментальными

данными и здесь же будут показаны результаты расчетов параметров модели. Для того, чтобы перейти в многооконный вид работы с программой расчета в пункте меню View необходимо выбрать All Graphs

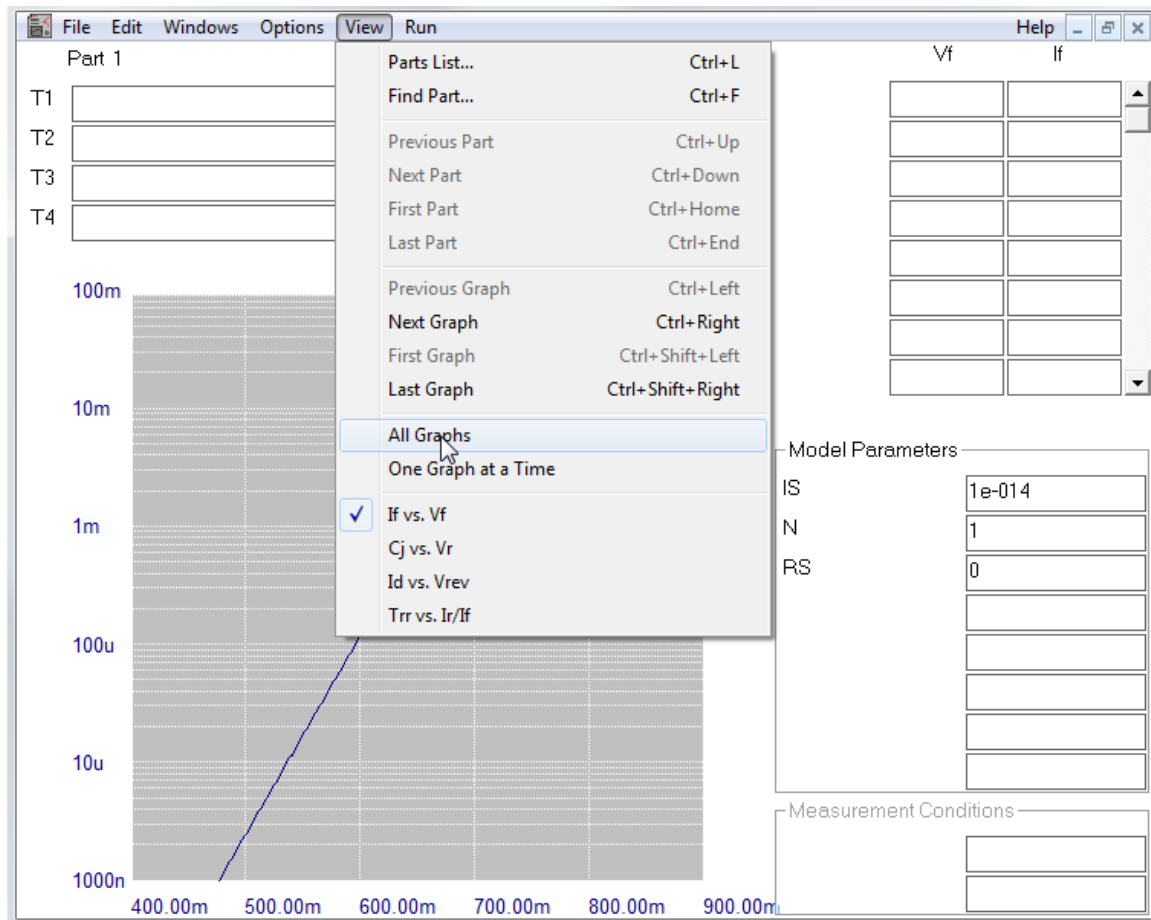


Рисунок 19

Тип расчета параметров определяет подчеркнутое название окна расчета:

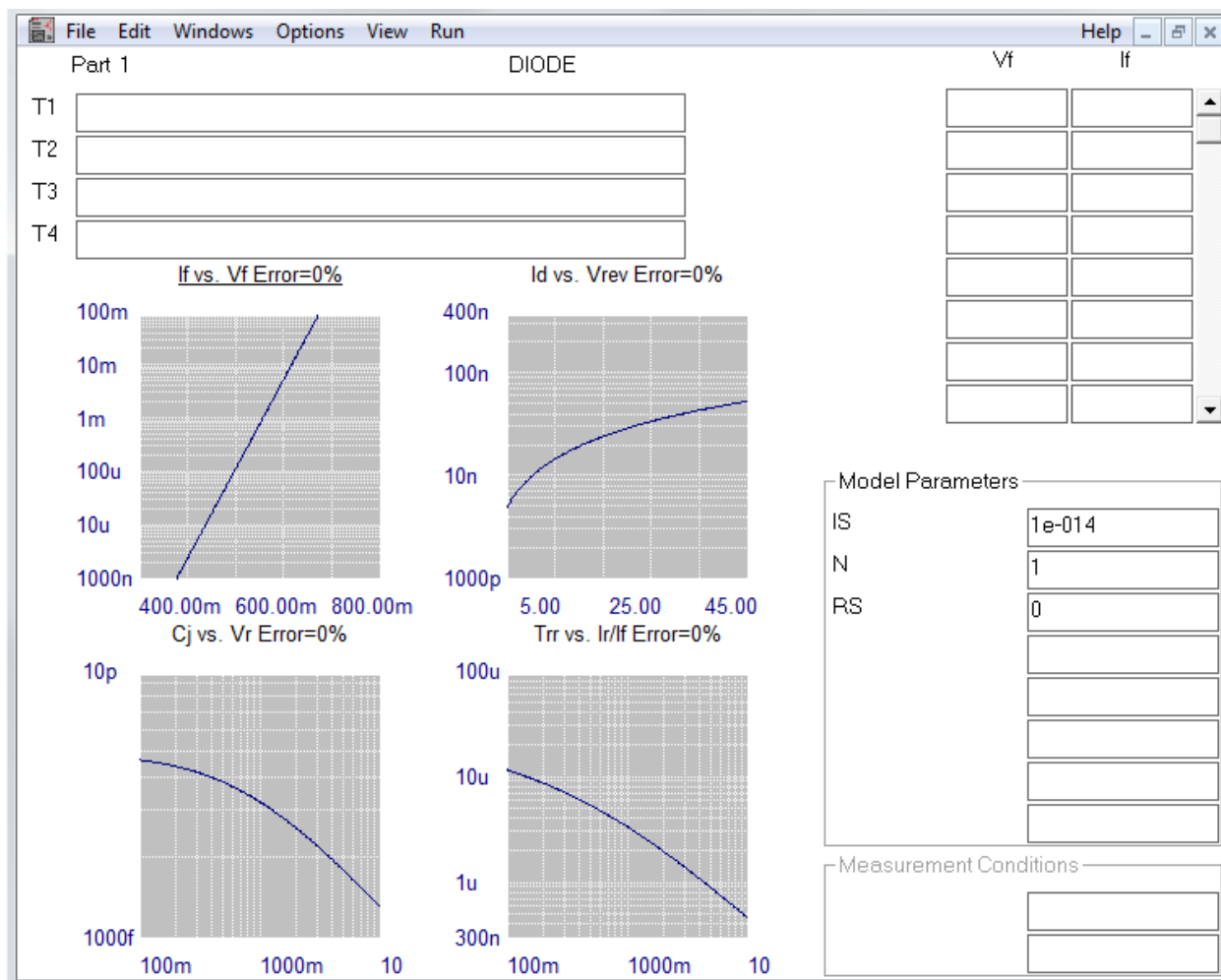


Рисунок 20

Основные компоненты любого окна MODEL следующие:

| Part 1 | DIODE |
|--------|---------------------------|
| T1 | D100MyDiod |
| T2 | Практикум по Электронике |
| T3 | Diod_In |
| T4 | Работа с программой Model |

Рисунок 21

Текстовые поля: имеются четыре поля текстовые поля: 'T1', 'T2', 'T3', и 'T4'.

'T1' и 'T3' импортируются в библиотеки модели MC7. Поле 'T1' определяет название компонента и используется в библиотеке. Другие текстовые поля служат только как дополнительная документация.

Числовые поля данных: имеют от одного до трех полей данных, в зависимости от Типа устройства и исходных графиков. В поле данных может быть введено от одной до пятидесяти позиций. Данные обычно получаются по VAX прибора. Если VAX нет, то может быть использована единственная пара значений, найденная в справочниках. Если же и в справочниках нет данных, то параметры модели задаются по умолчанию.

Примечание: Удалить данные из таблицы можно за счёт нажатия горячих клавиш CTRL/D, или через пункт меню Edit – Delete Data, предварительно выбрав строку данных

Начало работы с программой: первое окно расчёта параметров модели полупроводникового диода.

В полях **Model Parameters** расположены значения модельных параметров. Они могут быть исправлены пользователем по экспертным значениям. Поля Условий эксперимента **Measurement Condition**: здесь приводят значение условия проведения эксперимента в процессе получения исходных данных.

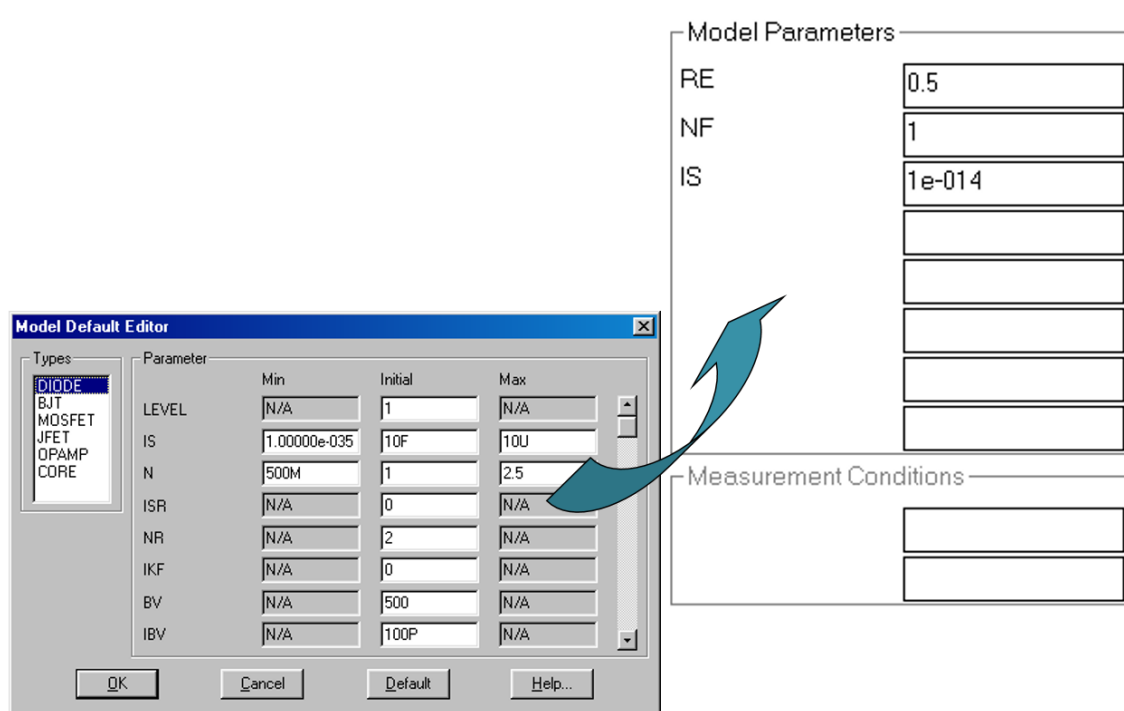


Рисунок 22

Примечание: Начальные, по умолчанию параметры задаются в окне Model Default Editor

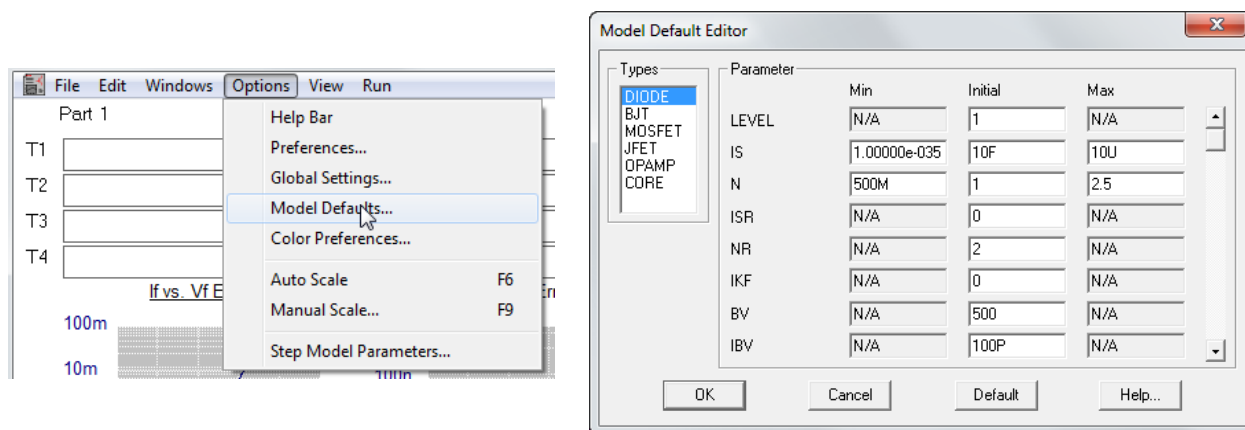


Рисунок 23

Расчет параметров модели происходит после последовательного выбора в пункте меню Run пунктов Initialize и Optimize

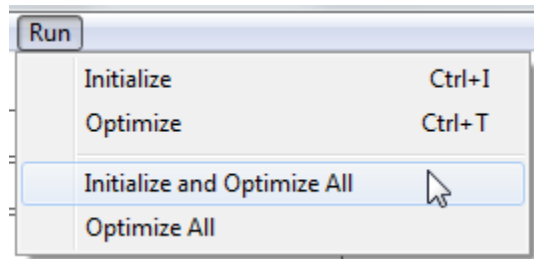


Рисунок 24

В первом окне расчета производится определение параметров расчета исходя из данных на прямой ветви

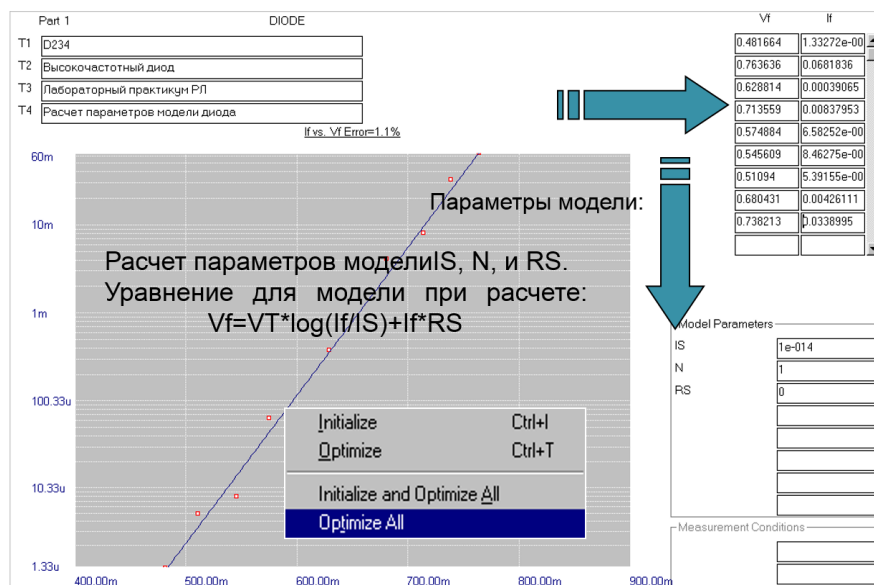


Рисунок 25

Вводить данные можно как в таблицу, так и графически (щелчком мыши на графике).

Второй экран посвящен расчету параметров из вольтфарадной характеристики.

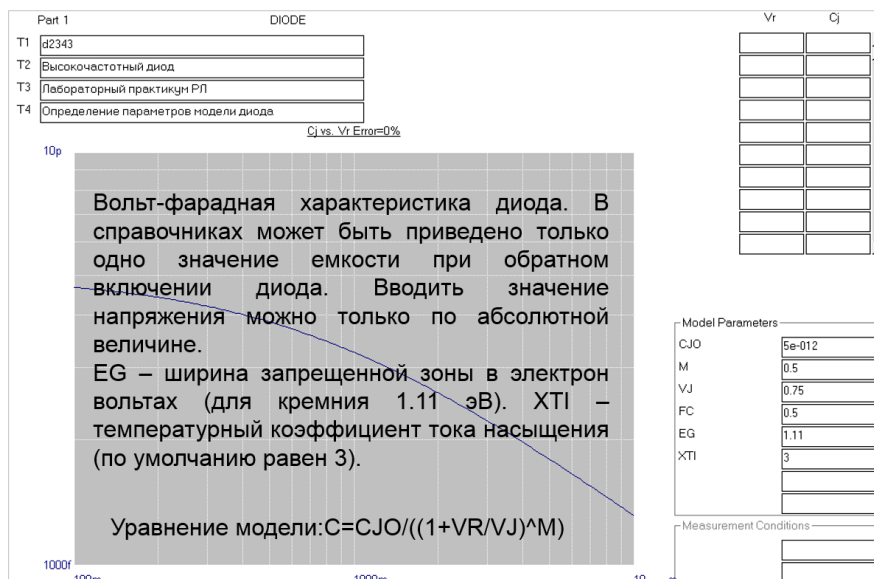


Рисунок 26

Третий экран программы обрабатывает данные, полученные при изучении обратной ветви ВАХ диода.

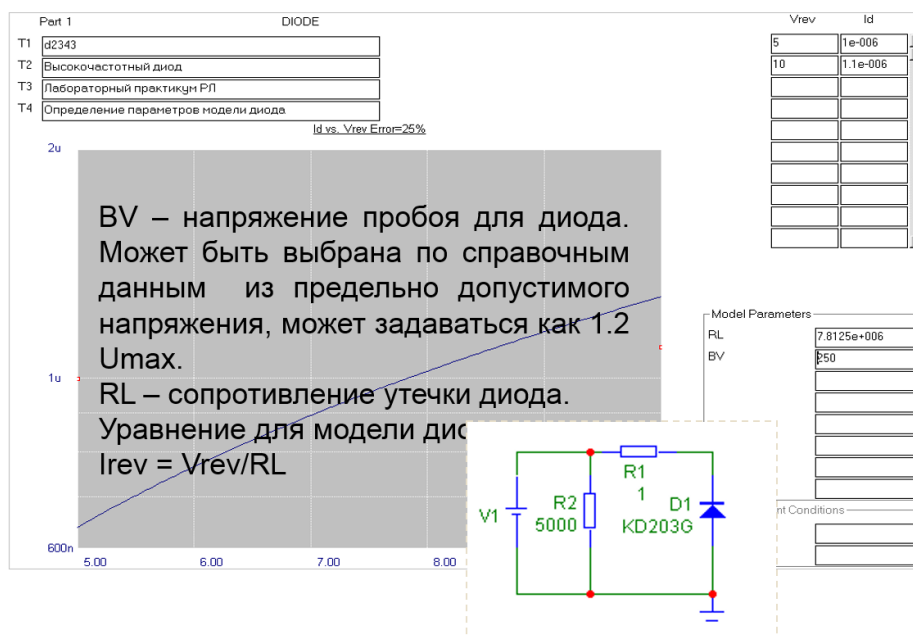


Рисунок 27

В этом расчете параметр BV – напряжение пробоя для диода. Он может быть выбрана по справочным данным из предельно допустимого напряжения, может задаваться как 1.2 Umax.

Четвертый экран рассчитывает время жизни неосновных носителей из данных о времени восстановления обратного сопротивления диода. Числовая характеристика процесса восстановления равновесной концентрации определяется значением постоянной времени (обозначается как TT) для диода (среднее время жизни носителей). Это время можно определить следующими способами:

- В общем случае постоянная времени для диода может быть определено:
 $TT = t_{вос}(1 + \ln(I_{пр}/I_{обр}))$

- Постоянная времени для диода при сплавной технологии может быть определено как

$$TT = 4 t_{вос}(1 + \ln(I_{пр}/I_{обр})) \quad -- \quad [4 T_{rr} * (1 + \ln(I_{rr}/I_f))].$$

где – $t_{вос}$ время восстановления обратного сопротивления, $I_{пр}$ - значение прямого тока при котором было измерено значение времени восстановления обратного сопротивления (если данный параметр не указан в ТУ на диод, то вместо вводим значение постоянного прямого тока), $I_{обр}$ - постоянный обратный ток. При диффузионной технологии можно положить $TT = 1.6 t_{вос}$.

- При известной максимальной частоте выпрямления f_{max} можно оценить время постоянную времени как $TT = [1/(2 * \pi * f_{max})]$.

Обработка экспериментальных данных может быть проведена в программе MCAD:

$$I_{пр} := 25.854 \times 10^{-3}$$

$$I_{обр} := (2.7 \cdot 10^{-3}) \quad \text{ratio} := \frac{I_{обр}}{I_{пр}}$$

$$T_{вос} := 3.017 \times 10^{-9} \quad \text{ratio} = 0.104$$

$$T_{rr} := \frac{T_{вос}}{\ln\left(1 + \frac{I_{пр}}{I_{обр}}\right)} \quad T_{rr} = 1.279 \times 10^{-9}$$

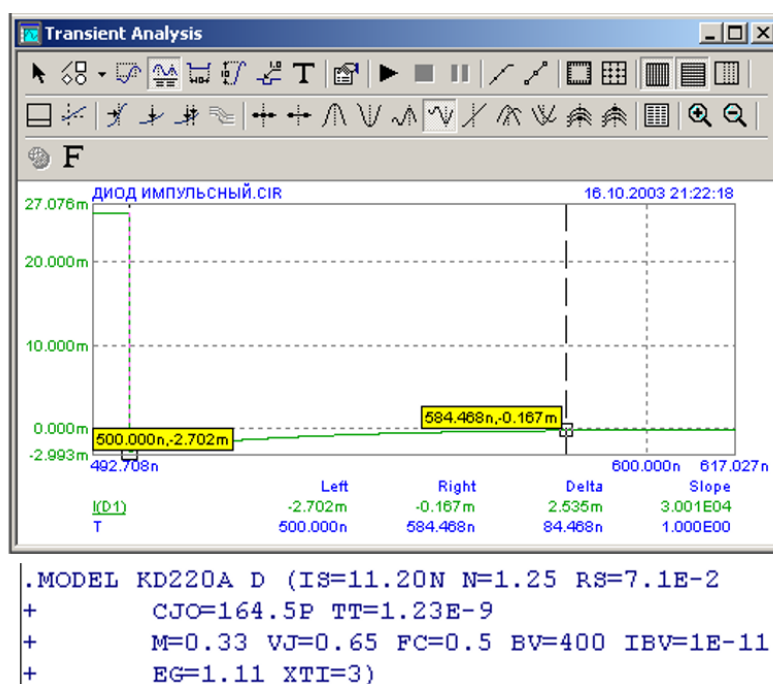


Рисунок 28

Примечание: программа предоставляет возможность изучить влияние вариации отдельных параметров на вид различных характеристик через пункт меню Step Model Parameters

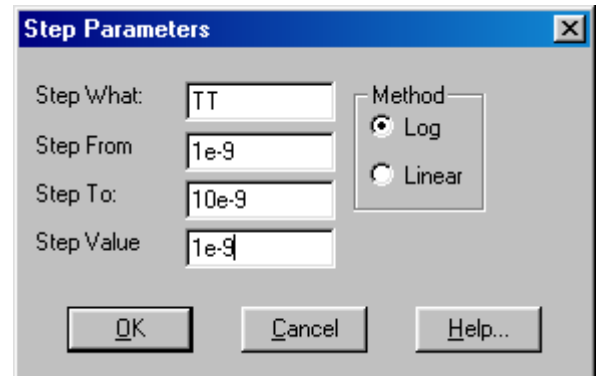
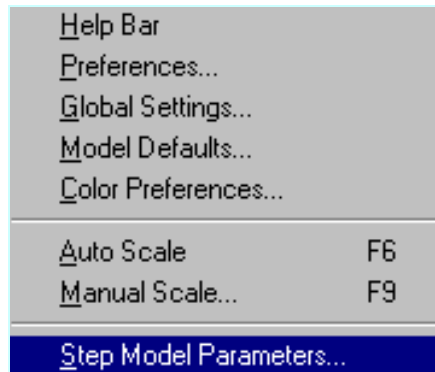
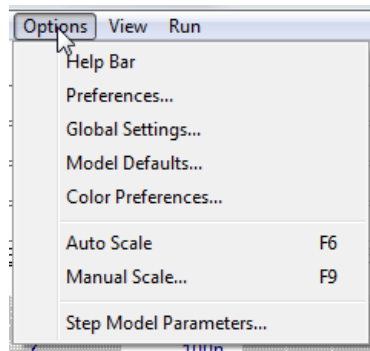


Рисунок 29

После нажатия экранной кнопки ОК программа будет готова к расчёту исходного графика с заданными пределами изменения параметра модели. Изменение параметра модели и перестроение графика произойдёт сразу после нажатия любой клавиши. Одновременно в окне Model Parameters будет указано значение этого параметра для перестроенного графика.

После расчёта параметров модели можно сохранить данные в форматах:

- В формате SPICE (файл с расширением LIB) и
- в формате упакованного файла для MC7 (расширение LBR).
- Соответственно пункты меню для этих расчетов Create SPICE File и Create Model Library

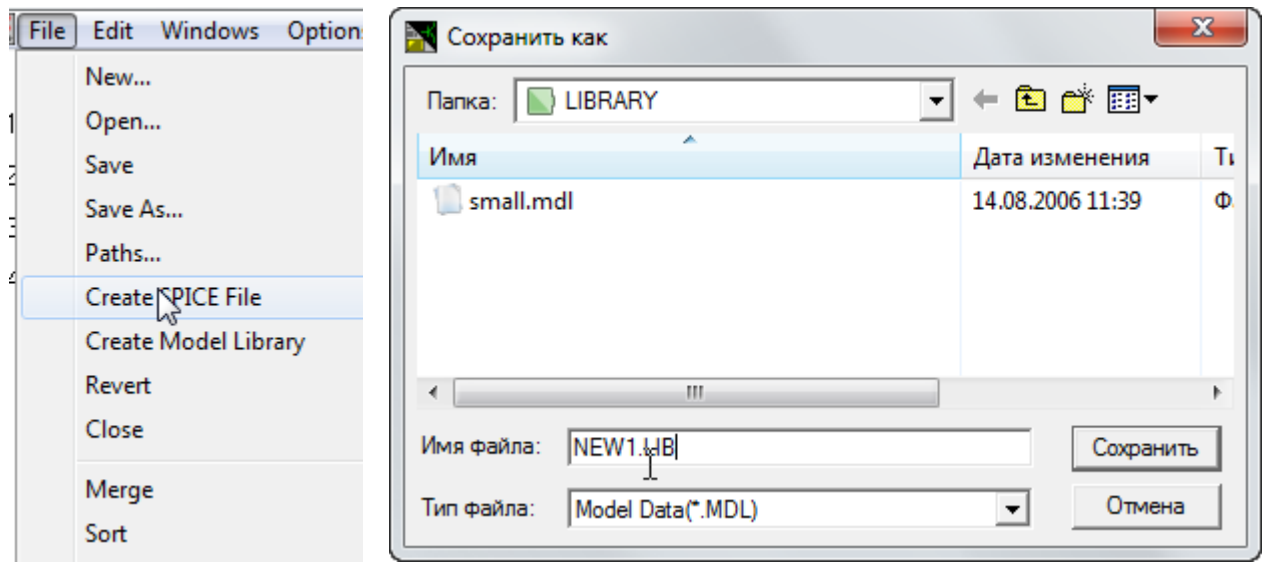


Рисунок 30

При сохранении файла библиотеки рекомендуется задавать расширение файла явно.

ЭКСПЕРИМЕНТ 7

Выполнить расчет модели полупроводникового диода в Multisim по данным, полученным в предыдущих упражнениях, воспользовавшись, при необходимости справочниками.

БАЗА ДАННЫХ КОМПОНЕНТ MULTISIM

База данных программы Multisim спроектирована так, чтобы можно было получить возможность описать любой компонент. Она содержит всё необходимое для схемотехнического моделирования графические образы компонент (**symbols**), модели (**models**) и информацию для геометрического размещения компонента при проектировании печатных плат (**footprints**) и другую информация о поведении электронного компонента в схеме.

База данных **Master Database** хранит компоненты изначально поставляемые с программой Multisim. Она изменяться не может, что сохраняет целостность исходной информации.

Корпоративная База данных **Corporate Database** хранит компоненты созданные или измененные индивидуальными пользователями. Она остается доступной для других пользователей.

Пользовательская База **User Database** данных хранит компоненты, измененные, импортированные или созданные разработчиком, она доступна только для него и закрыта от всех других пользователей.

Корпоративная База (**Corporate Database**) данных прежде всего предназначена для организаций (или групп пользователей), которые работают над большими проектами и где работа над проектом распределяется внутри группы или проекта.

Пользовательская База данных (**User Database**) и Корпоративная База данных (**Corporate Database**) пусты при первом запуске программы Multisim. Но Пользовательскую Базу данных (**User Database**) уже можно использовать для хранения часто используемых компонент или компонент, которые создаются пользователем.

Создавая новый компонент или сохраняя модифицированный компонент необходимо размещать их или в Пользовательской Базе (**User Database**) данных или в Корпоративной Базе (**Corporate Database**) данных.

Multisim подразделяет компоненты на логические группы внутри каждой из баз данных. Каждая группа содержит семейство связанных компонентов.

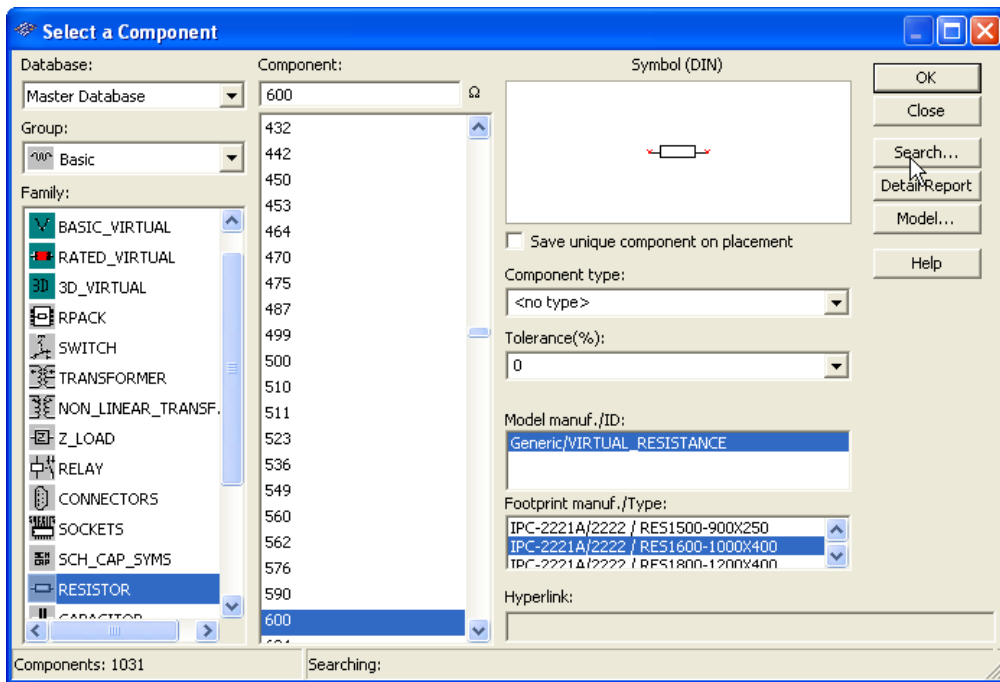


Рисунок 31

Для управления базами данных Multisim используется менеджер баз данных, доступ к которому осуществляется через пункты меню **Tools\Database\Database Manager**

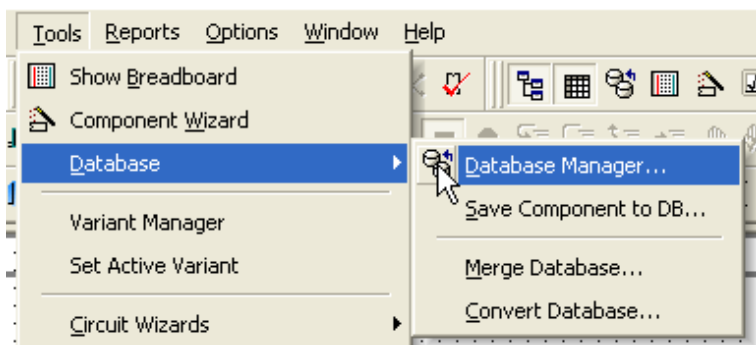


Рисунок 32

С его помощью можно добавлять и удалять составляющие семейства в Пользовательской Базе данных (**User Database**) или в Корпоративной Базе данных (**Corporate Database.**).

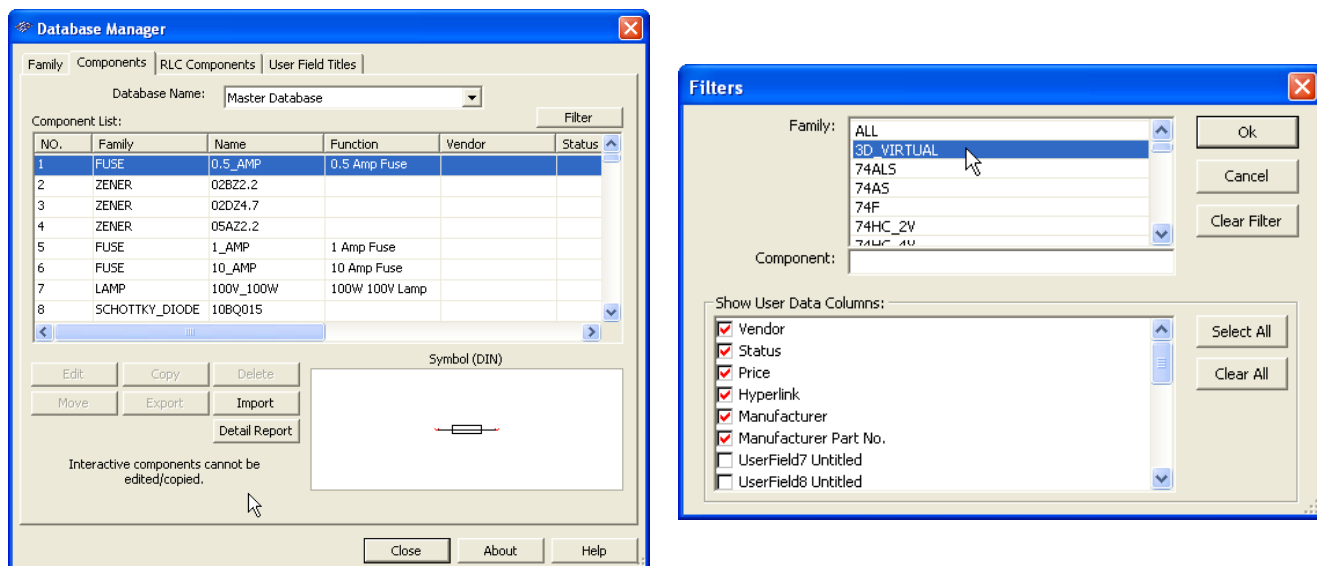


Рисунок 33

На закладке **Components** диалогового окна **Database Manager** можно осуществить фильтрацию отображаемых компонентов. Для этого необходимо выбрать базу данных из раскрывающегося списка **Database Name** и нажать экранную кнопку вызвавшего диалогового окна **Filters**. В этом окне в поле **Family** выбрать семейство (для множественного выбора можно использовать клавишу CTRL или SHIFT). В группе **Show User Data Columns** отметить необходимые поля индикации. После нажатия экранной кнопки ОК и возврата в окно **Database Manager** в нем будет отображен результат фильтрации по определенному выше критерию.

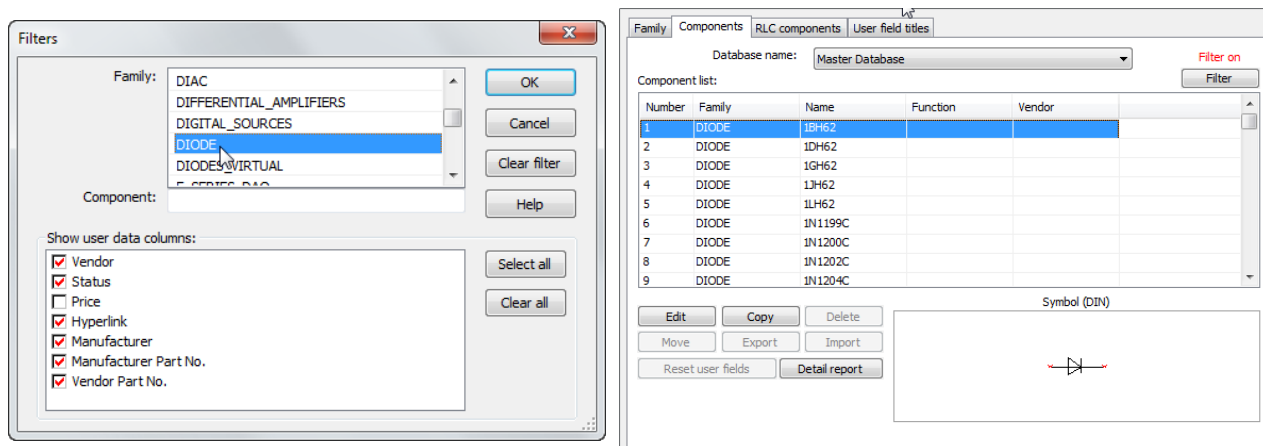


Рисунок 34

УРОВНИ ДОСТУПА К БАЗЕ ДАННЫХ MULTISIM

База данных Master Database хранит компоненты, изначально поставляемые с программой Multisim. Она изменяться не может, что сохраняет целостность исходной информации.

Корпоративная База данных Corporate Database хранит компоненты созданные или измененные индивидуальными пользователями. Она остается доступной для других пользователей.

Пользовательская База User Database данных хранит компоненты, измененные, импортированные или созданные разработчиком, она доступна только для него и закрыта от всех других пользователей.

Корпоративная База (Corporate Database) данных прежде всего предназначена для организаций (или групп пользователей), которые работают над большими проектами и где работа над проектом распределяется внутри группы или проекта.

Пользовательская База данных (User Database) и Корпоративная База данных (Corporate Database) пусты при первом запуске программы Multisim. Но Пользовательскую Базу данных (User Database) уже можно использовать для хранения часто используемых компонент или компонент, которые создаются пользователем.

Создавая новый компонент или сохраняя модифицированный компонент необходимо размещать их или в Пользовательской Базе (User Database) данных или в Корпоративной Базе (Corporate Database) данных.

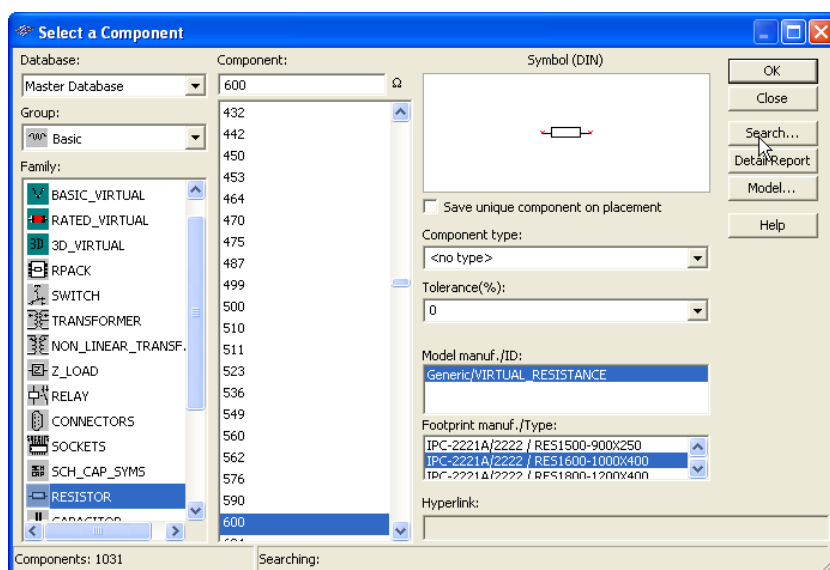


Рисунок 35

УПРАВЛЕНИЕ БАЗАМИ ДАННЫХ В ПРОГРАММЕ MULTISIM

Добавление компонентов

Для добавления компонентов семейства в User Database или Corporate Database необходимо:

перейти на закладку **Family** диалогового окна **Database Manager**. В поле **Family Tree** выбрать либо Corporate, либо User Database. Щелкнуть по экранной кнопке **Add Family** после чего отобразится диалоговое окно **New Family Name** в котором можно указать имя нового семейства где в будущем будут размещаться добавленные компоненты.

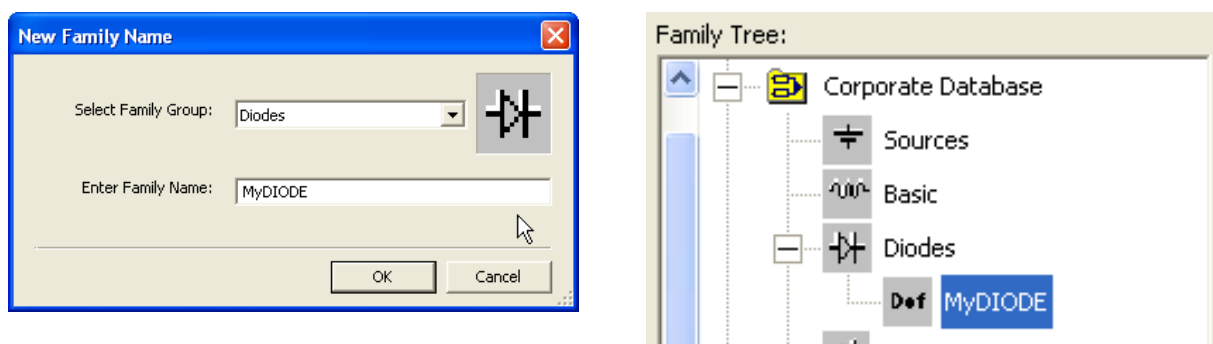


Рисунок 36

Здесь же можно определить внешний вид иконки нового семейства. После нажатия экранной кнопки **Load** (группа **Family**) можно выбрать файл-рисунок для обозначения иконки нового семейства в дереве семейств. Он может быть определен и для ANSI и для DIN. Некоторое редактирование в системном графическом редакторе возможно после нажатия экранной кнопки **Edit**. В конце операции необходимо нажать экранную кнопку **Close**.

Для управления базами данных Multisim используется менеджер баз данных, доступ к которому осуществляется через пункты меню **Tools\Database\Database Manager**. Для добавления компонентов семейства в User Database или Corporate Database необходимо перейти на закладку **Tools – Database - Database Manager**:

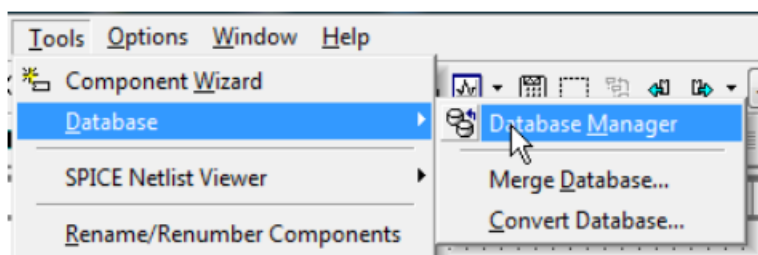


Рисунок 37

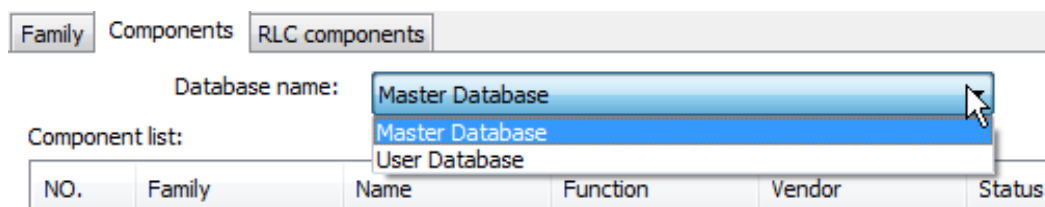
Здесь же можно будет объединять базы данных (**Merge Database...**) и проводить конвертацию одной базы данных в другую (**Convert Database...**). После перехода в диалоговое окно **Database Menage...**, при необходимости любое семейство базы данных может быть удалено - для этого, если семейство не пустое или же в нем нет компонентов, можно использовать экранные кнопки **Delete Family** и **Delete Empty Families** соответственно.

Удаление семейства компонентов

При необходимости любое семейство может быть удалено – для этого, если семейство не пустое или же в нем нет компонентов, можно использовать экранные кнопки **Delete Family** и **Delete Empty Families** соответственно

Обмен компонентов между базами данных

Во вновь созданное семейство можно поместить компоненты из других баз данных, например, из (**Master Database**), или из любой другой базы. Для копирования необходимо на закладке **Components** выбрать в выпадающем списке **Database Name** выбрать базу данных, содержащую нужные компоненты. Далее выбрать их в группе **Component List** (возможен выбор с использованием нажатой клавиши на клавиатуре **CTRL** или **SHIFT**). После этого нажать экранную кнопку **Copy** и в диалоговом окне **Select Destination Family Name** указать на дереве семейств место, куда следует поместить выбранные компоненты и нажать экранную кнопку **OK**. Это действие вернет на закладку **Components** диалогового окна **Database Manager**. Для завершения операции копирования надо нажать на экранную кнопку **Close**.



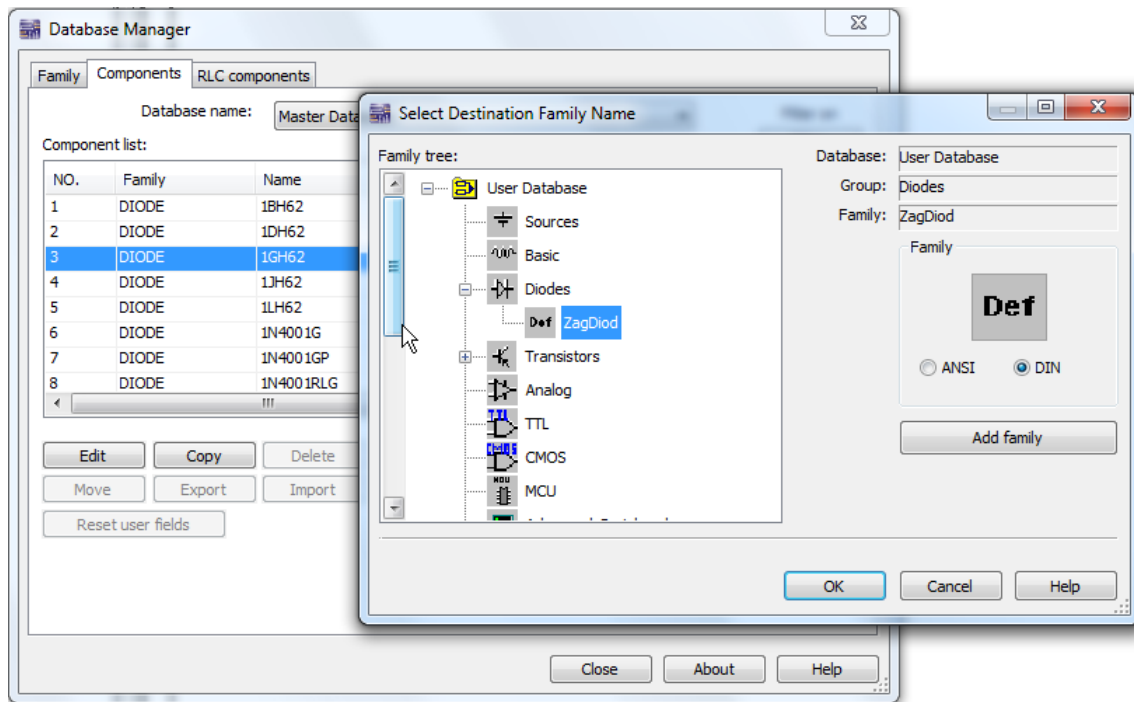


Рисунок 38

При необходимости любое семейство может быть удалено – для этого, если семейство не пустое или же в нем нет компонентов, можно использовать экранные кнопки **Delete Family** и **Delete Empty Families** соответственно.

Создание нового компонента

Для создания нового компонента Multisim имеет специальное средство – интерактивный диалог (мастер создания компонента) **Component Wizard**. Используя этот диалог можно создать новый компонент «по шагам». Для начала создания компонента можно либо выбрать и нажать экранную кнопку создания компонента, либо пункты меню **Tools/Component Wizard**:

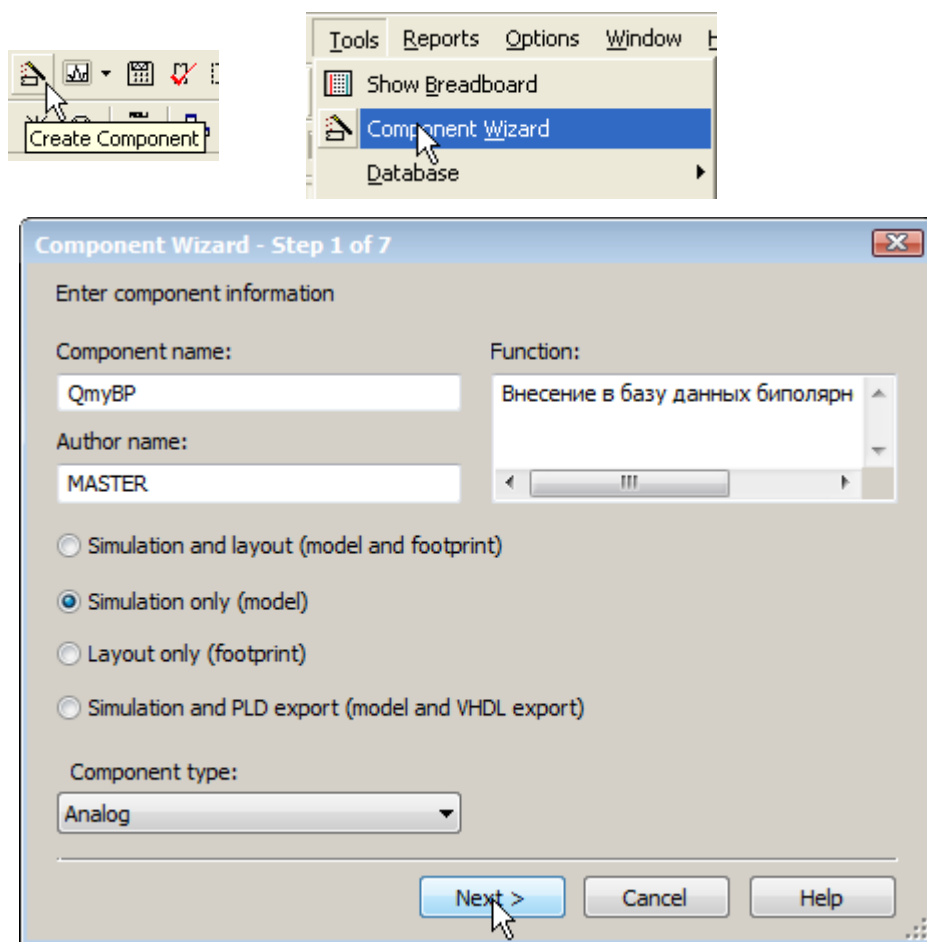


Рисунок 39

В диалоговом окне необходимо ввести имя вносимого компонента, задать его тип и выбрать последовательность действий - создание компонента только для разводки печатной платы, имеющего только геометрический образ, электрической модели, только для моделирования схемотехнического решения, или же и то и другое (отметить выбор: **I will use this component for both simulation and layout (model and footprint)**, **Simulation only (model)**, **Layout only (footprint)** соответственно). Поле **Component Name** — имя компонента, оно может включать значение, марку и так далее (например, 10 ohms, 2N2221, 2uF). Это обязательное поле, и оно не может содержать пробелы. Поле **Author**

Name – имя, которое определено системой (пользователь компьютера, администратор и т.д.). Если необходимо имя может быть изменено. Поле **Function** - краткое описание назначения компонента. Это поле иногда бывает очень полезно, особенно для поиска в базе данных необходимого компонента.

Примечание: число шагов для создания компонента будет зависеть того, для чего создаётся компонент. Если компонент создаётся как для моделирования, так и использования при создании печатной платы, процесс включает восемь шагов. Если компонент предназначен только для моделирования только, то процесс включает семь шагов, для создания печатной платы - шесть шагов, что отражается в заголовке окна при соответствующем выборе сценария создания компонента.

Рассмотрим работу мастера создания компонент только для создания электронной модели, например, диода. После нажатия экранной кнопки **Next** появляется диалоговое **окно, соответствующее второму шагу** для выбранного сценария создания компонента. Здесь вводится информация о том, сколько выводов имеет компонент и какое исполнение компонента (один компонент или сборка компонентов).

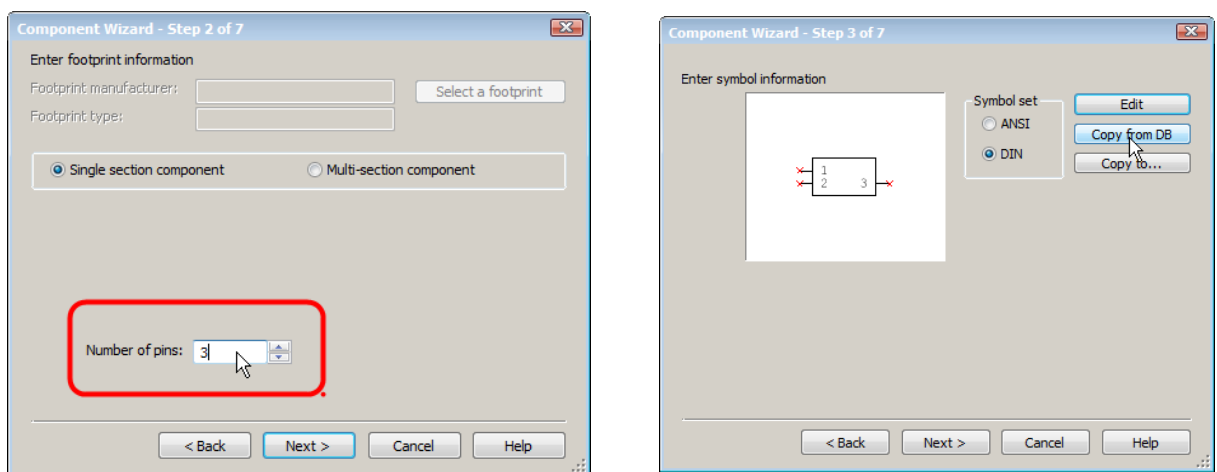


Рисунок 40

Третий шаг по созданию компонента – это определение его графического представления на принципиальной схеме. Здесь возможно использование встроенного в Multisim графического редактора изображения компонента (экранная кнопка **Edit**). Для создания многосекционного компонента необходимо использовать экранную кнопку **Copy to** для копирования подготовленного компонента в одной секции в другую. Для одного компонента выберем условное изображение, копируя символ из базы данных Multisim (экранная кнопка **Copy from DB**).

После нажатия на эту кнопку программа Multisim выдаст запрос на отбор исходной базы данных, исходного семейства и условно-графического обозначения компонента, которое будет принято для создаваемого компонента.

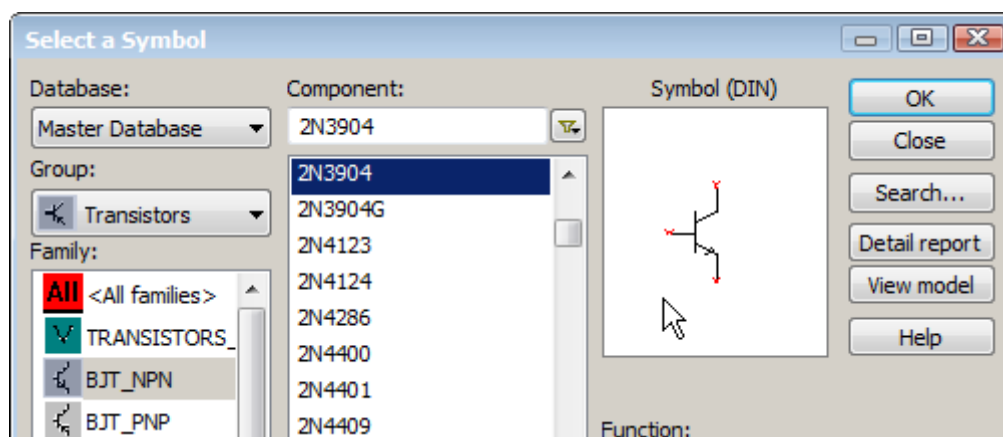


Рисунок 41

Четвёртый шаг – это определение параметров контактов компонента.

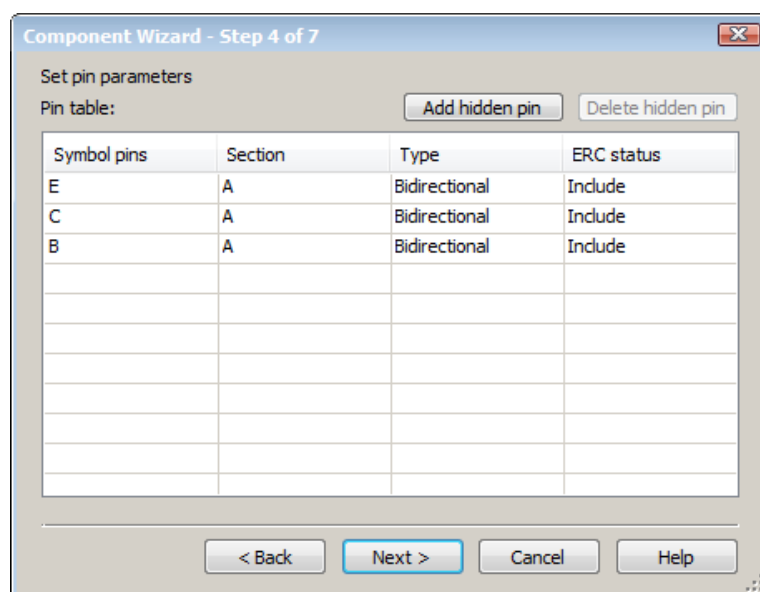


Рисунок 42

В этом окне экранная кнопка **Add Hidden Pin** служит для того, чтобы добавить в описание компонента скрытые контакты (например, подключение питания, земли или общий контакт). Экранная кнопка **Delete Hidden Pin** – для удаления ошибочно внесённых скрытых контактов

Поле **Section** — после щелчка по заголовку этого поля можно получить доступ к множественному выбору свойств контакта. Поле **Type** – здесь, после щелчка по заголовку, из раскрывающегося списка выбирают тип контакта: пассивный, земля, двунаправленный, входной, выходной и так далее. В поле **ERC Status** необходимо выбрать включать или не включать контакт в **Electrical Rules Check** (проверку электрических соединений) определяя это или INCLUDE (включить), или EXCLUDE (исключить). Значение по умолчанию - INCLUDE.

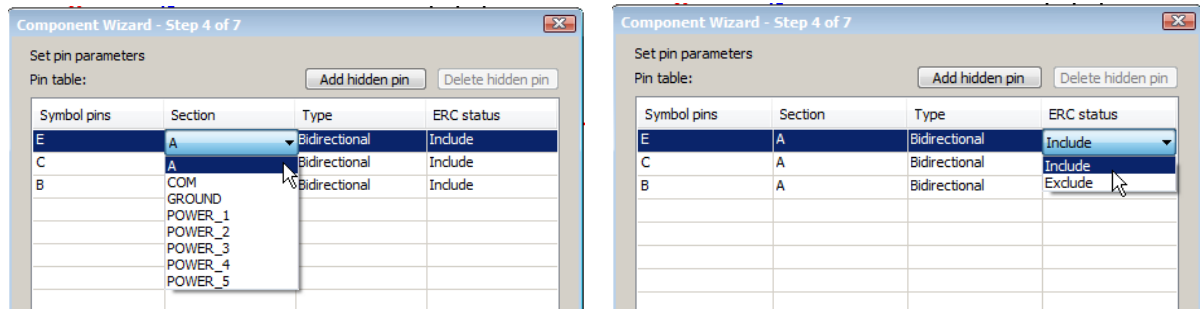


Рисунок 43

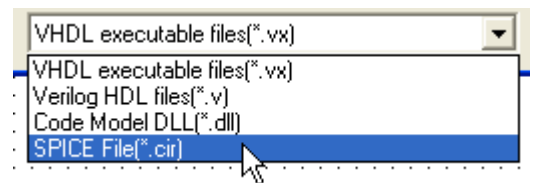
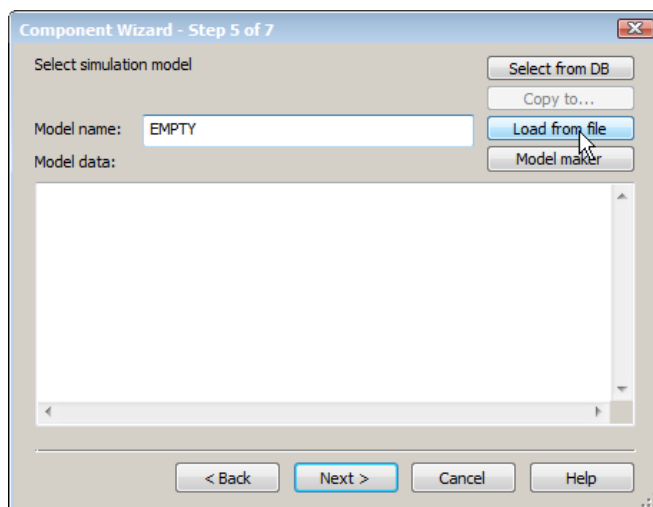
Следующий шаг - пятый, предполагает введение данных об электрической модели компонента. Здесь можно воспользоваться возможностями копирования модели из базы данных (экранная кнопка **Select from DB**), использовать встроенную программу **Model Maker** (экранная кнопка **Model Maker**) и, наконец, загрузить сведения о модели из файла.

```
*** NT Family
*
.model q159NT1a NPN(Is=1.32f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=67.4 Bf=406.4 Ne=1.352
+ Ise=1.32f Ikf=19.03m Xtb=1.5 Var=48 Br=.7633 Nc=2 Isc=840f Ikr=120u
+ Rb=72 Rc=5.4 Cjc=1.65p Vjc=.7 Mjc=.33 Fc=.5 Cje=6.15p Vje=.7 Mje=.33
+ Tr=155.2n Tf=146.9p Itf=48m Vtf=20 Xtf=2)
*
```

Текст файла библиотеки в формате SPICE

Рисунок 44

*Примечание: при выборе загрузки сведений о модели из файла Multisim определяет расширение файла базы данных, библиотеки так, как показано на рисунке. Если имеется библиотека в формате SPICE, с расширением *.lib, то надо просто изменить расширение этой библиотеки на расширение *.cir и внести данные в модель для Multisim.*



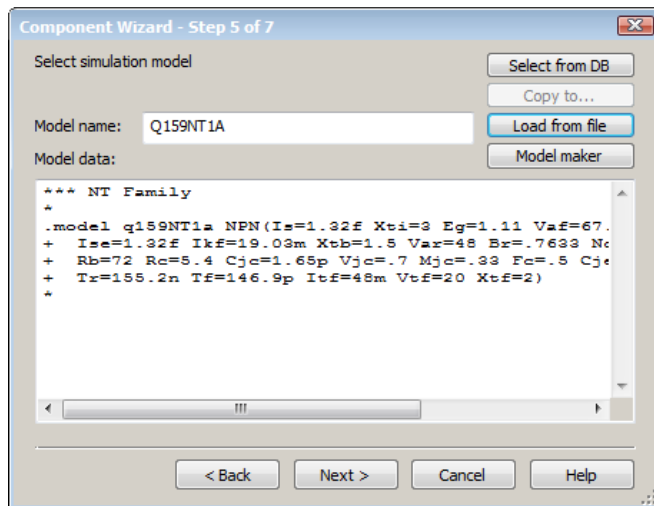


Рисунок 45

Примечание: на этапе ввода информации о модели можно использовать простое копирование из текстового файла библиотеки в поле Model data.

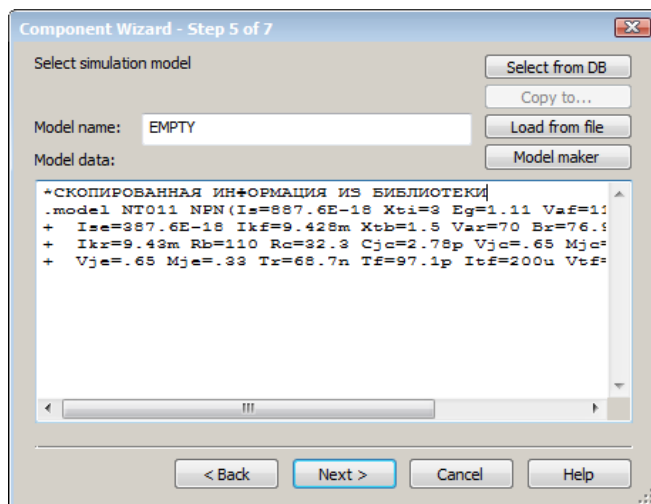


Рисунок 46

Но если файл (подготовленный программой MODEL – дополнением программы Microcap) имеет другое расширение, то можно выбрать любое. Единственное, что нужно отметить – имя модели будет оставлено прежним, но параметры ее будут соответствовать загруженному файлу

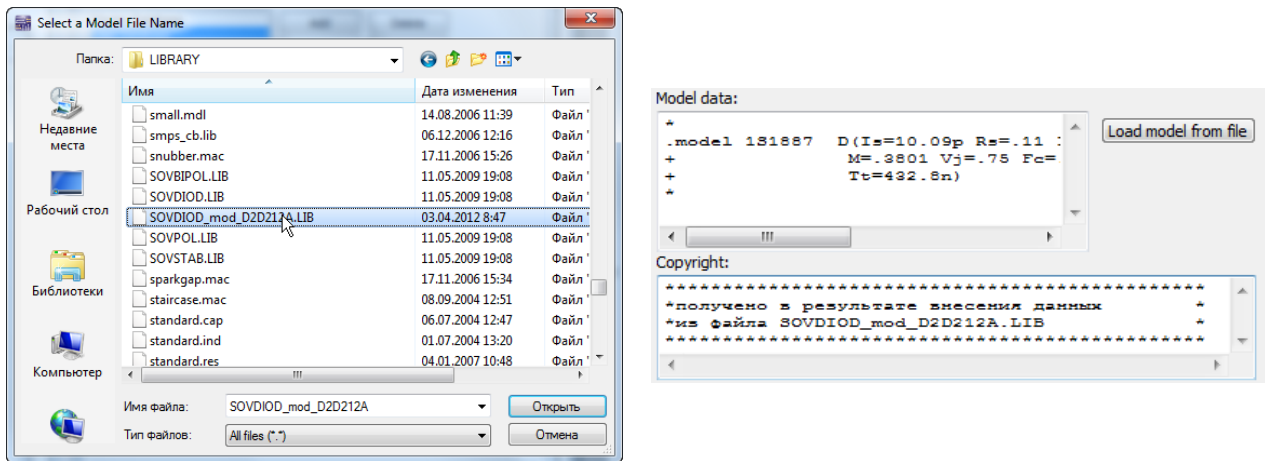


Рисунок 47

В поле **Copyright**: можно добавить информацию о проделанных операциях.
Примечание: при установке параметров модели из файла сформированного программой MODEL для диода необходим, для корректной работы прибора, проверить назначение выводов (pin) и их имен. В описание модели существует возможность посмотреть это нажав экранную кнопку «Show template»: d%p %tA %tK %m - эта запись означает, что к выводу 1 подключается анод диода, а к выводу 2 – катод.

Переназначить выводы можно за счет использования выпадающего списка Model nodes

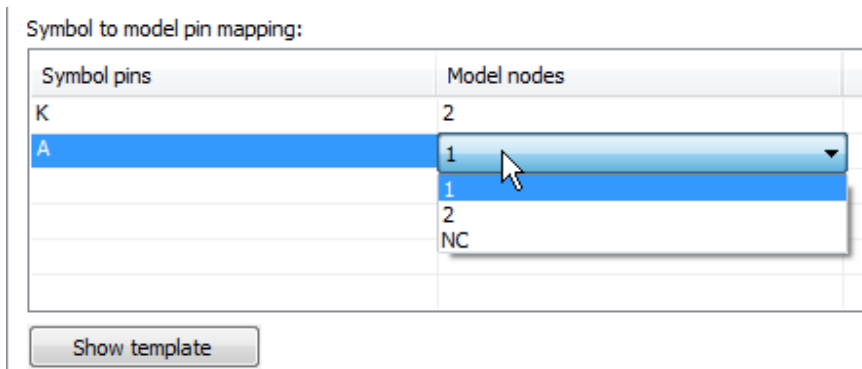


Рисунок 48

На шестом шаге устанавливается связь между информационным символом (условным изображением) и электрической моделью. Это тот случай, когда создаётся только электрическая модель.

Для каждого контакта графического изображения необходимо ввести номер узла, соответствующий узлу в модели. Эта информация будет отображаться на закладке **Model** в диалоговом окне **Component Properties**.

Если создаётся простой резистор, индуктивность или конденсатор, то этот диалог этого шага включает выбор в поле SPICE Model Type. Здесь имеется раскрывающийся список, где можно выбрать тип компонента, резистор, конденсатор или индуктивность,

причём поле Value будет соответствовать указанному выбору и обозначать значение величины компонента.

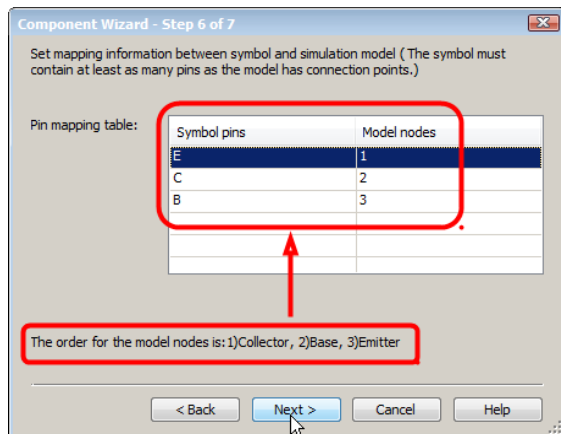


Рисунок 49

Для правильной работы модели необходимо переназначить узлы графического изображения и модельного представления для однозначного соответствия одному другому, как показано на рисунке.

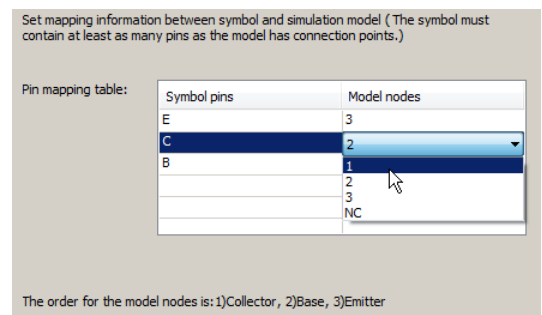
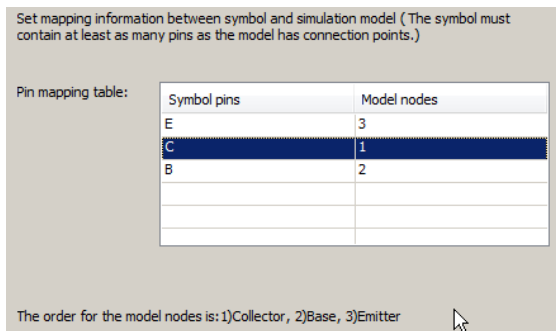
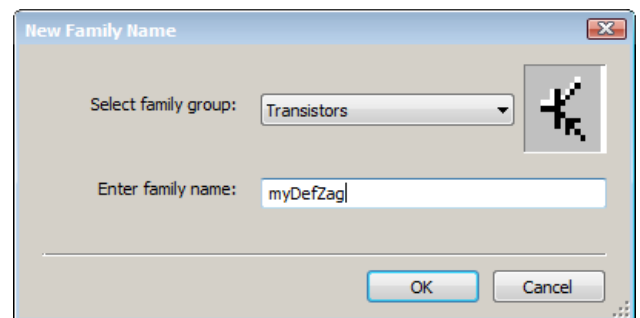
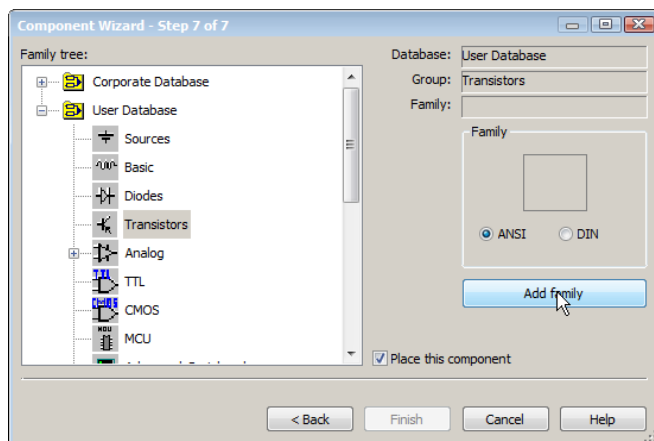


Рисунок 50

На седьмом шаге осуществляется внесение подготовленного компонента в базу Multisim.



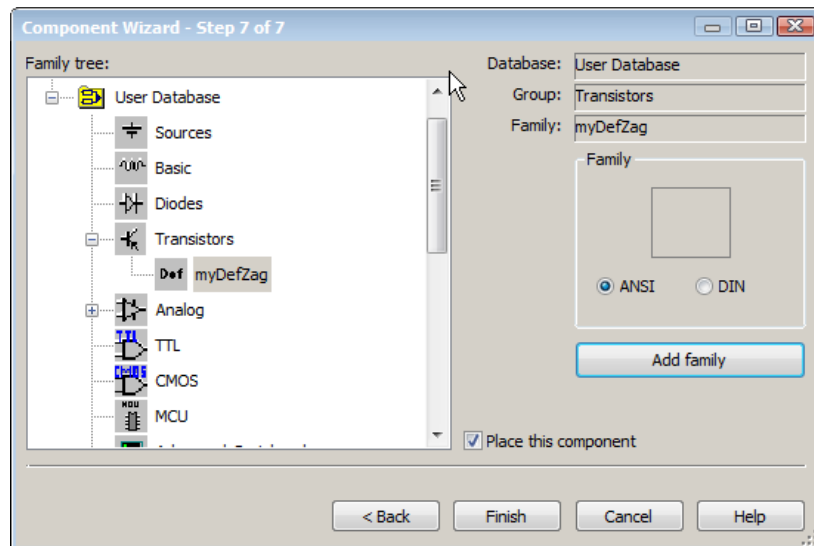


Рисунок 51

В результате проведённых операций в User database появится новый элемент – биполярный транзистор QmyBP

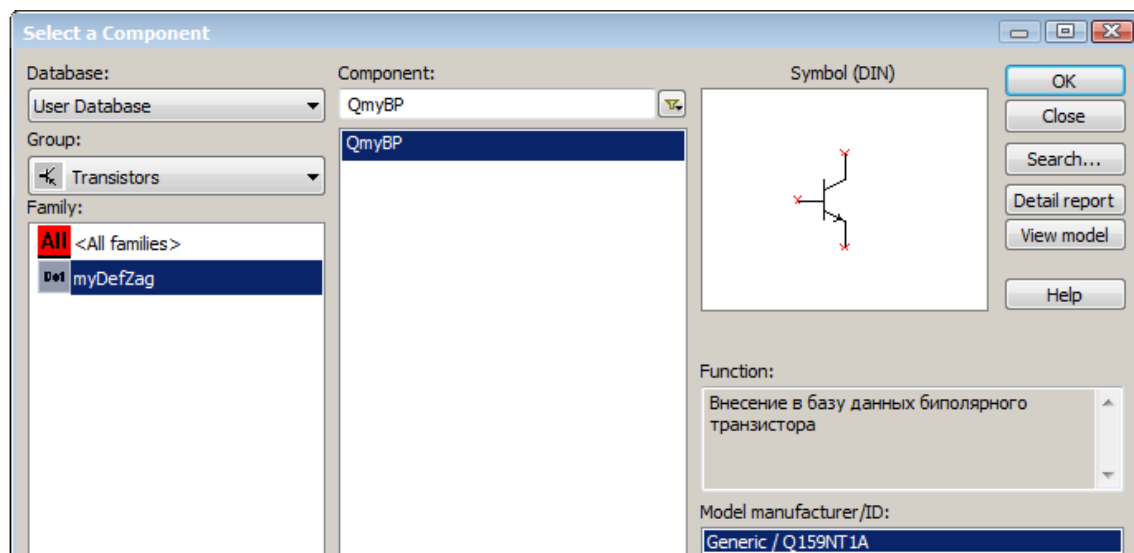


Рисунок 52

СОЗДАНИЕ НОВОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ MULTISIM

Для создания нового компонента Multisim имеет специальное средство – интерактивный диалог (мастер создания компонента) **Component Wizard**. Используя этот Полупроводниковые диоды. Multisim [Оглавление](#)

Загидуллин Р.Ш.

диалог можно создать новый компонент «по шагам». Для начала создания компонента можно либо выбрать и нажать экранную кнопку создания компонента, либо пункты меню **Tools/Component Wizard**:

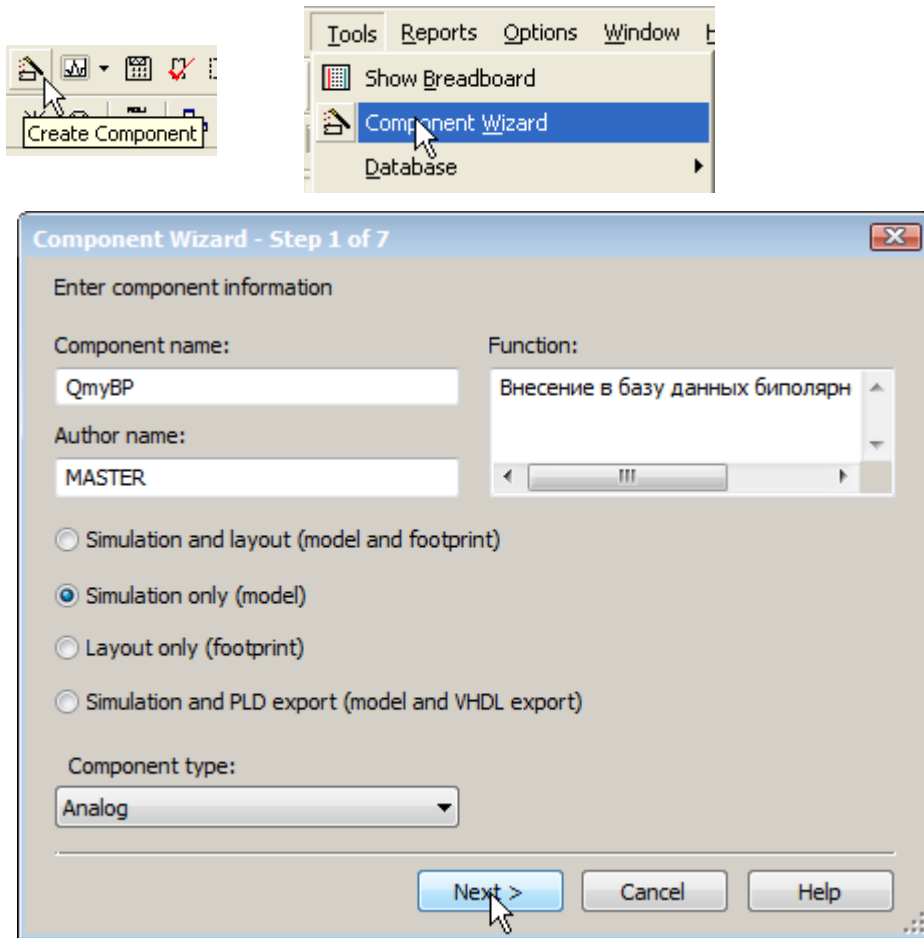


Рисунок 53

В диалоговом окне необходимо ввести имя вносимого компонента, задать его тип и выбрать последовательность действий - создание компонента только для разводки печатной платы, имеющего только геометрический образ, электрической модели, только для моделирования схемотехнического решения, или же и то и другое (отметить выбор: **I will use this component for both simulation and layout (model and footprint), Simulation only (model), Layout only (footprint)** соответственно). Поле **Component Name** — имя компонента, оно может включать значение, марку и так далее (например, 10 ohms, 2N2221, 2uF). Это обязательное поле, и оно не может содержать пробелы. Поле **Author Name** – имя, которое определено системой (пользователь компьютера, администратор и т.д.). Если необходимо имя может быть изменено. Поле **Function** - краткое описание назначения компонента. Это поле иногда бывает очень полезно, особенно для поиска в базе данных необходимого компонента.

Примечание: число шагов для создания компонента будет зависеть того, для чего создаётся компонент. Если компонент создаётся как для моделирования, так и использования при создании печатной платы, процесс включает восемь шагов. Если компонент предназначен только для моделирования только, то процесс включает семь шагов, для создания печатной платы - шесть шагов, что отражается в заголовке окна при соответствующем выборе сценария создания компонента.

Рассмотрим работу мастера создания компонент только для создания электронной модели, например, диода. После нажатия экранной кнопки **Next** появляется диалоговое **окно, соответствующее второму шагу** для выбранного сценария создания компонента. Здесь вводится информация о том, сколько выводов имеет компонент и какое исполнение компонента (один компонент или сборка компонентов).

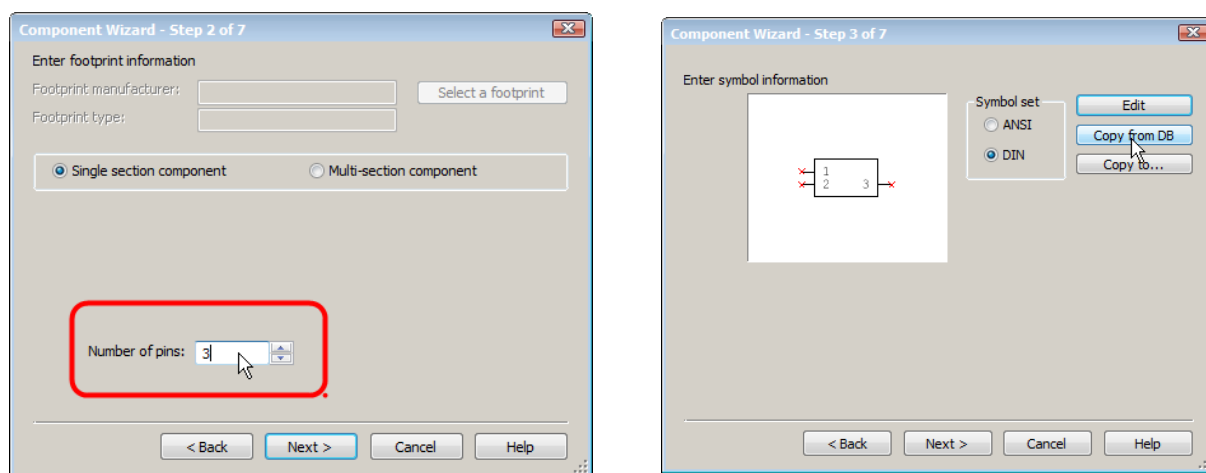


Рисунок 54

Третий шаг по созданию компонента – это определение его графического представления на принципиальной схеме. Здесь возможно использование встроенного в Multisim графического редактора изображения компонента (экранная кнопка **Edit**). Для создания многосекционного компонента необходимо использовать экранную кнопку **Copy to** для копирования подготовленного компонента в одной секции в другую. Для одного компонента выберем условное изображение, копируя символ из базы данных Multisim (экранная кнопка **Copy from DB**).

После нажатия на эту кнопку программа Multisim выдаст запрос на отбор исходной базы данных, исходного семейства и условно-графического обозначения компонента, которое будет принято для создаваемого компонента.

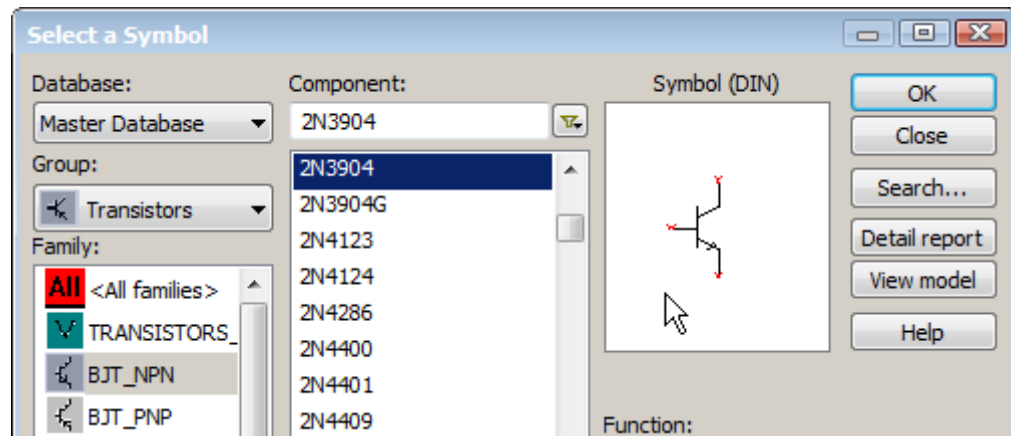


Рисунок 55

Четвёртый шаг – это определение параметров контактов компонента.

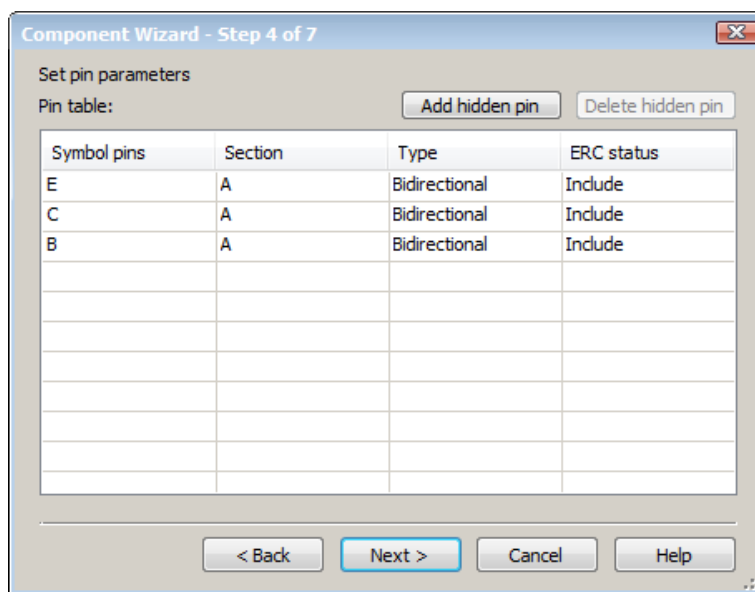


Рисунок 56

В этом окне экранная кнопка **Add Hidden Pin** служит для того, чтобы добавить в описание компонента скрытые контакты (например, подключение питания, земли или общий контакт). Экранная кнопка **Delete Hidden Pin** – для удаления ошибочно внесённых скрытых контактов

Поле **Section** — после щелчка по заголовку этого поля можно получить доступ к множественному выбору свойств контакта. Поле **Type** – здесь, после щелчка по заголовку, из раскрывающегося списка выбирают тип контакта: пассивный, земля, двунаправленный, входной, выходной и так далее. В поле **ERC Status** необходимо выбрать включать или не включать контакт в **Electrical Rules Check** (проверку электрических соединений) определяя это или INCLUDE (включить), или EXCLUDE (исключить). Значение по умолчанию - INCLUDE.

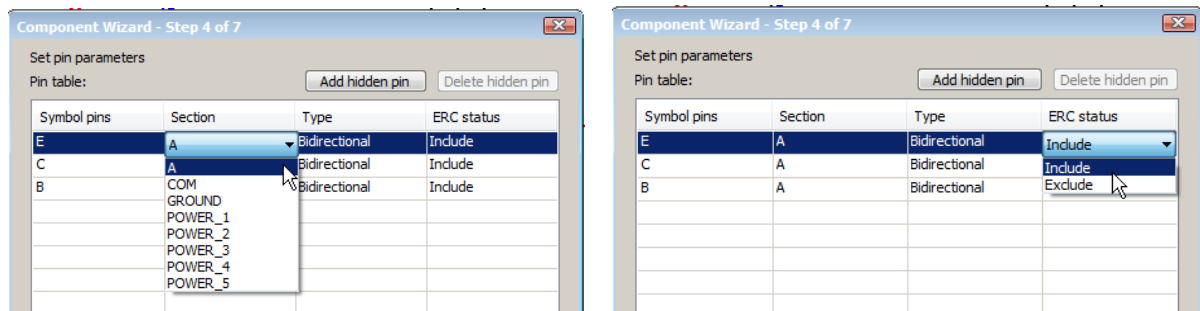


Рисунок 57

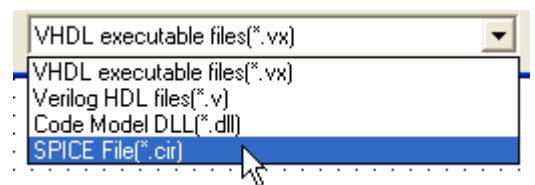
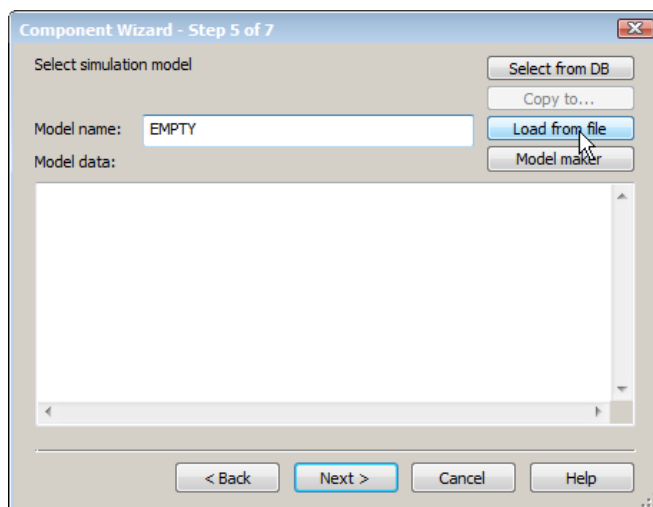
Следующий шаг - пятый, предполагает введение данных об электрической модели компонента. Здесь можно воспользоваться возможностями копирования модели из базы данных (экранная кнопка **Select from DB**), использовать встроенную программу **Model Maker** (экранная кнопка **Model Maker**) и, наконец, загрузить сведения о модели из файла.

```
*** NT Family
*
.model q159NT1a NPN(Is=1.32f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=67.4 Bf=406.4 Ne=1.352
+ Ise=1.32f Ikf=19.03m Xtb=1.5 Var=48 Br=.7633 Nc=2 Isc=840f Ikr=120u
+ Rb=72 Rc=5.4 Cjc=1.65p Vjc=.7 Mjc=.33 Fc=.5 Cje=6.15p Vje=.7 Mje=.33
+ Tr=155.2n Tf=146.9p Itf=48m Vtf=20 Xtf=2)
*
```

Текст файла библиотеки в формате SPICE

Рисунок 58

*Примечание: при выборе загрузки сведений о модели из файла Multisim определяет расширение файла базы данных, библиотеки так, как показано на рисунке. Если имеется библиотека в формате SPICE, с расширением *.lib, то надо просто изменить расширение этой библиотеки на расширение *.cir и внести данные в модель для Multisim.*



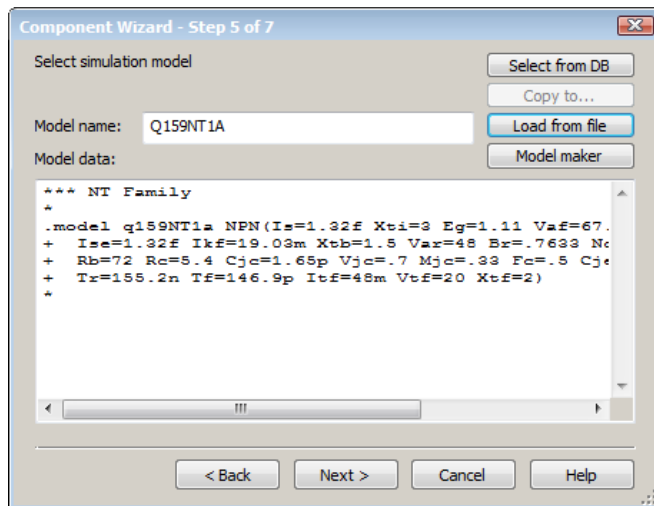


Рисунок 59

Примечание: на этапе ввода информации о модели можно использовать простое копирование из текстового файла библиотеки в поле Model data.

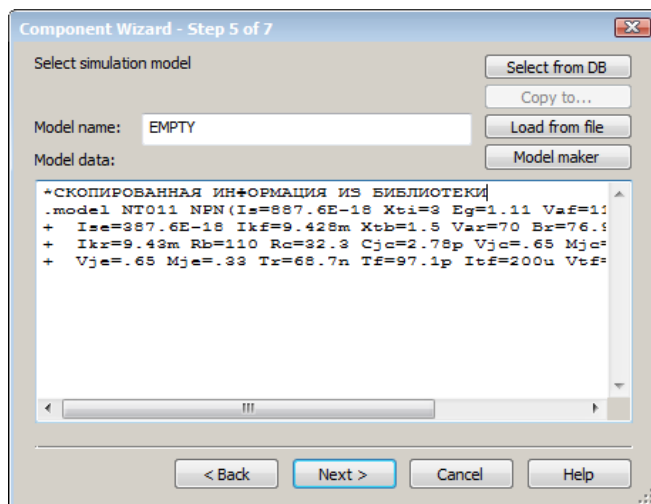


Рисунок 60

Но если файл (подготовленный программой MODEL – дополнением программы Microcap) имеет другое расширение, то можно выбрать любое. Единственное, что нужно отметить – имя модели будет оставлено прежним, но параметры ее будут соответствовать загруженному файлу

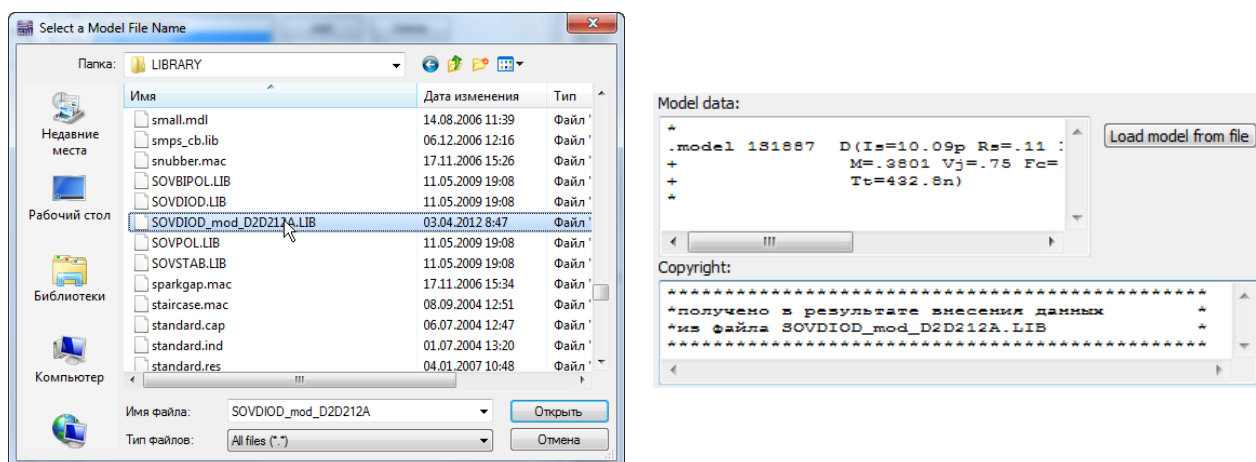


Рисунок 61

В поле **Copyright**: можно добавить информацию о проделанных операциях.
Примечание: при установке параметров модели из файла сформированного программой MODEL для диода необходим, для корректной работы прибора, проверить назначение выводов (pin) и их имен. В описание модели существует возможность посмотреть это нажав экранную кнопку «Show template»: d%p %tA %tK %m - эта запись означает, что к выводу 1 подключается анод диода, а к выводу 2 – катод.

Переназначить выводы можно за счет использования выпадающего списка Model nodes

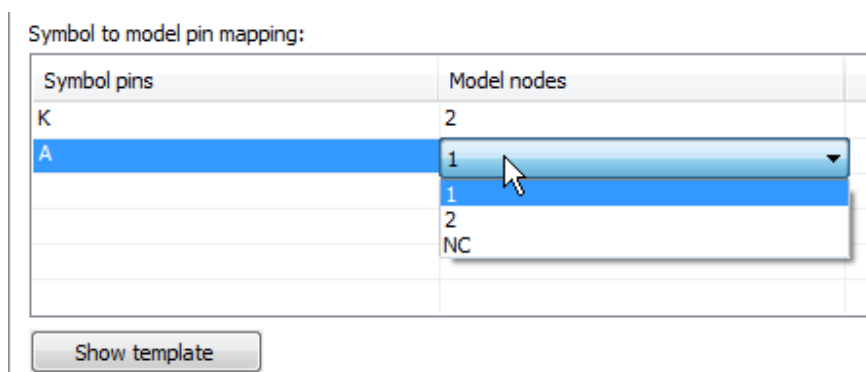


Рисунок 62

На шестом шаге устанавливается связь между информационным символом (условным изображением) и электрической моделью. Это тот случай, когда создаётся только электрическая модель.

Для каждого контакта графического изображения необходимо ввести номер узла, соответствующий узлу в модели. Эта информация будет отображаться на закладке **Model** в диалоговом окне **Component Properties**.

Если создаётся простой резистор, индуктивность или конденсатор, то этот диалог этого шага включает выбор в поле SPICE Model Type. Здесь имеется раскрывающийся список, где можно выбрать тип компонента, резистор, конденсатор или индуктивность,

причём поле Value будет соответствовать указанному выбору и обозначать значение величины компонента.

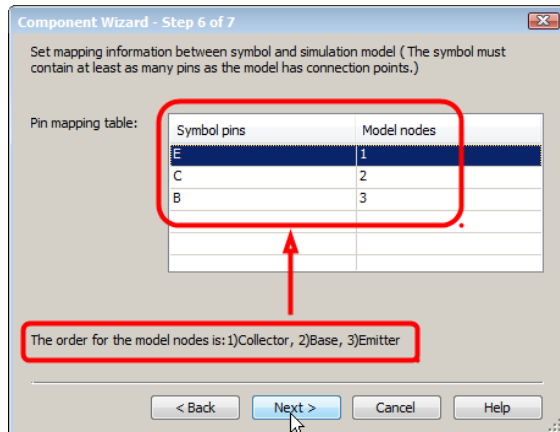


Рисунок 63

Для правильной работы модели необходимо переназначить узлы графического изображения и модельного представления для однозначного соответствия одному другому, как показано на рисунке.

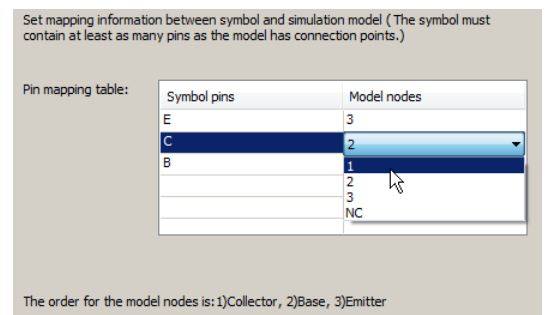
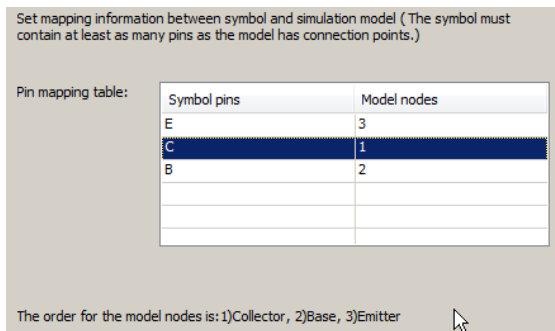
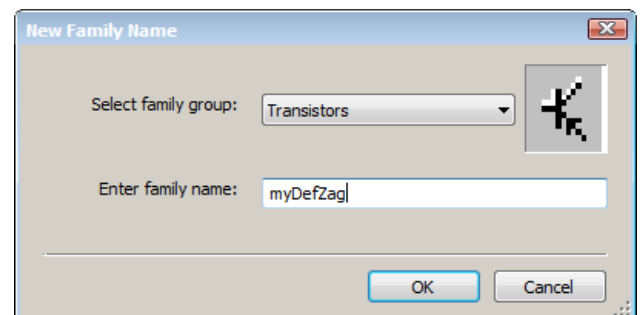
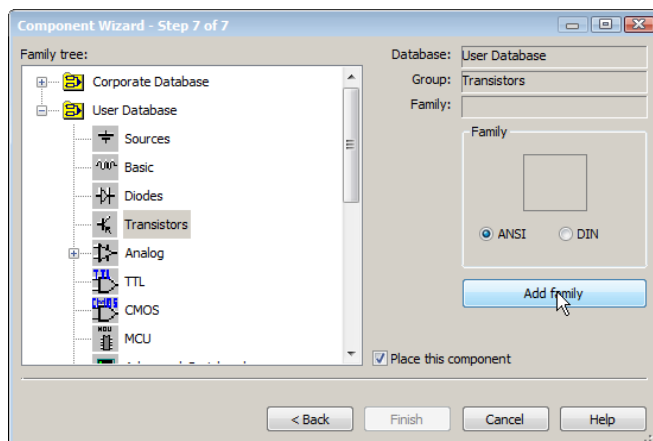


Рисунок 64

На седьмом шаге осуществляется внесение подготовленного компонента в базу Multisim.



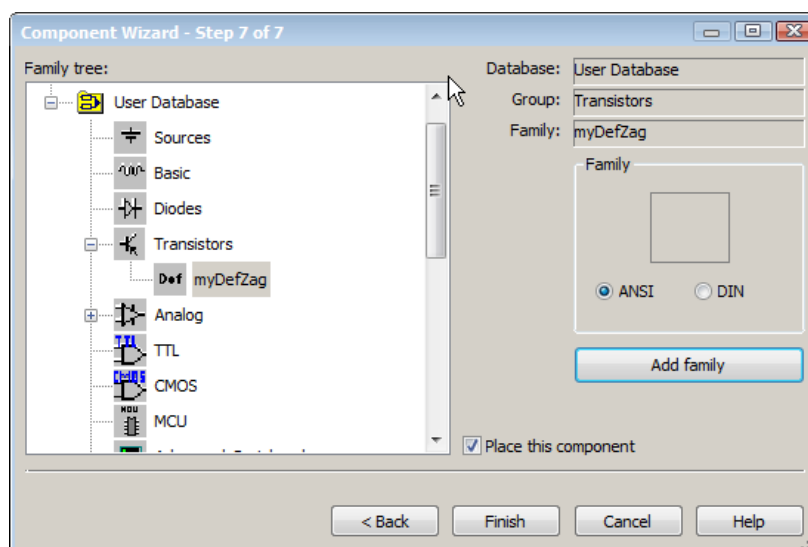


Рисунок 65

В результате проведённых операций в User database появится новый элемент – биполярный транзистор QmyBP

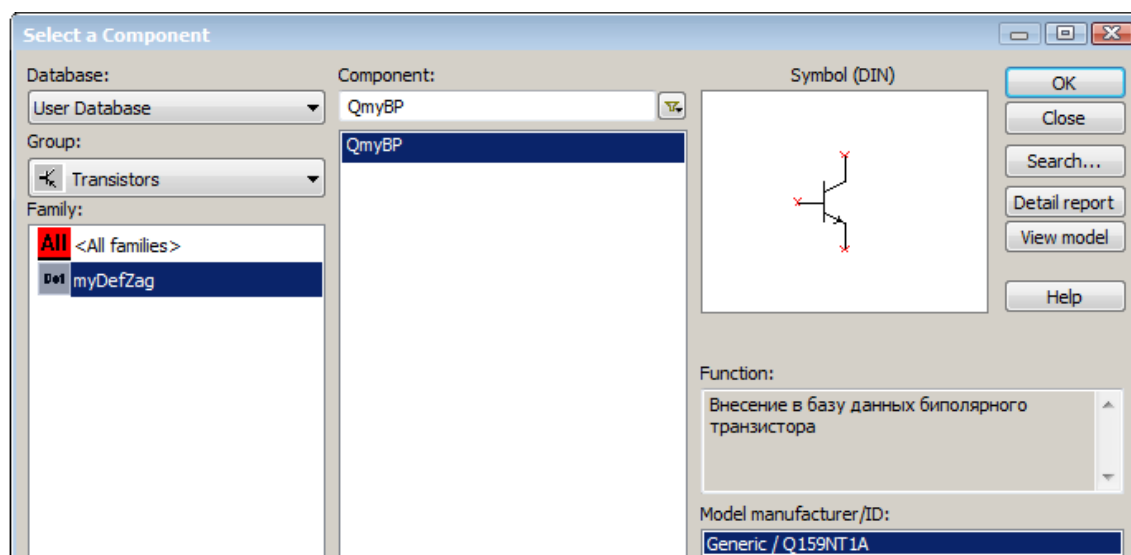


Рисунок 66

Multisim предлагает встроенную средство, Model Makers, которая автоматически генерирует модели, для этого достаточно ввести лишь справочные значения. Model Makers сохраняет время разработки модели, но требует некоторого опыта и умения для работы с ним.

Для каждого расчёта Model Maker определяет начальные значения параметров для заданных моделей. Однако это не предопределённые значения, и можно выбрать числовые значения, основываясь на компоненте, используя данные из справочника (databook).

При работе со справочником, нужно помнить, что разные справочники предоставляют параметры для моделей компонентов в разных видах. Если одна информация представлена численно в таблицах или списках для специфических целей, другая дана в форме диаграмм или графиков. Оба типа информации могут быть использованы для Multisim Model Makers.

В случае таблиц или списков понадобится ввести нужные рабочие точки и значения. Для диаграмм и графиков способ выбора точек на соответствующих кривых повлияет на точность параметров конечной модели. Ниже показаны методы выбора точек, представленные в процедурах для Model Makers. Нужно заметить, что информация, предоставляемая справочниками, обычно стандартна и не изменяется от производителя к производителю, даже если типы компонент или марки и описания параметров различны.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДИОДА В MULTISIM ИСПОЛЬЗУЯ MODEL MAKER

В Multisim можно редактировать компоненты, используя следующие методы:

- **Component Wizard**— используется для создания и редактирования новых компонентов.
- Диалоговое окно **Component Properties** — используется для редактирования существующих компонентов и доступно из диалогового окна **Database Manager**.

Можно модифицировать любой компонент, хранящийся в базе данных Multisim. Например, существующий компонент может быть сегодня доступен в новой конструктиве (был создан для «дырочного» монтажа, сегодня для поверхностного). Можно легко скопировать информацию о компоненте и изменить только детали конструктива, чтобы создать новый компонент. Можно также создать собственный компонент и поместить его в базу данных или загрузить компонент из другого источника.

Невозможно только редактировать **Master Database**. Однако можно копировать компоненты в корпоративную или пользовательскую базу данных, а затем модифицировать их, как нужно. Рекомендуется, там, где возможно, модифицировать существующие или похожие компоненты, а не создавали новые.

Каждый компонент в базе данных идентифицируется информацией располагающейся на соответствующей закладке диалогового окна **Component Properties**.

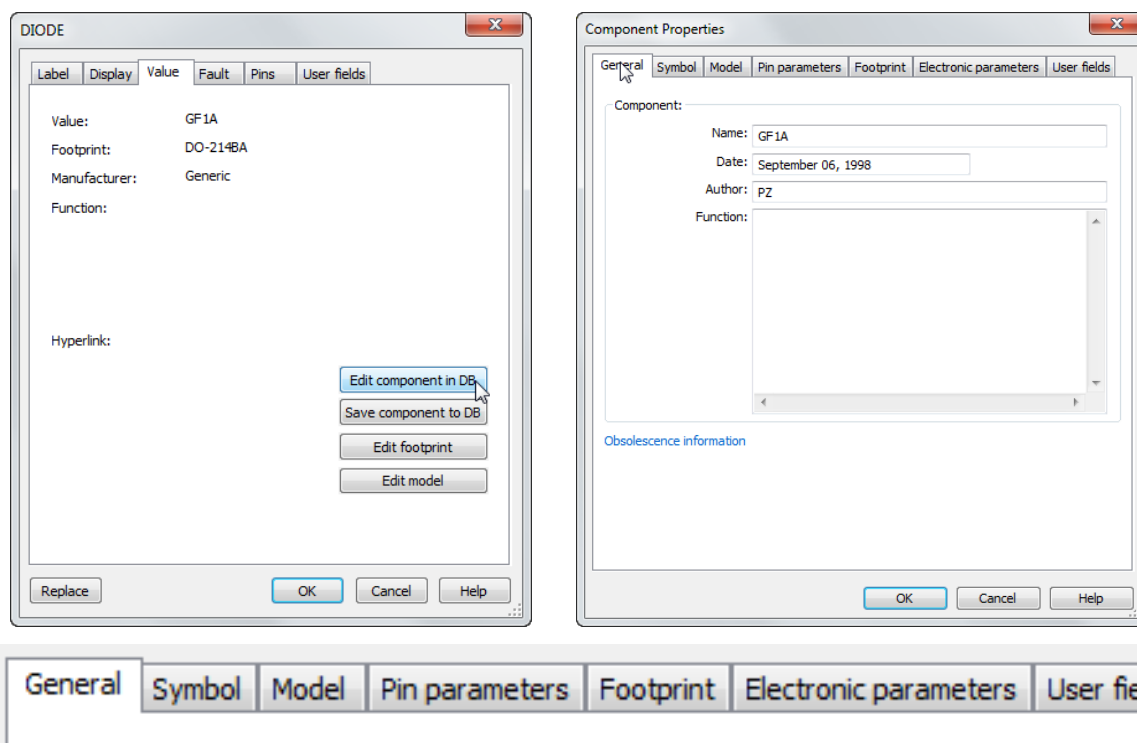


Рисунок 67

- Основная информация (как имя, производитель, дата и автор).
- Символ (графическое представление компонента для ввода в схему).
- Модель (информация, используемая для представления конкретных операций/поведения компонента в процессе симуляции) — необходима только для компонентов, которые будут симулироваться.
- Модель выводов (информация используется для представления поведения выводов в процессе симуляции).
- Цоколевка (footprint, упаковка, конструктив, которую Multisim использует, когда экспортирует схему, содержащую этот компонент, в программу разводки платы, такую как Ultiboard).
- Электрические параметры компонента.
- Пользовательские поля (если используются для дальнейшего определения компонентов).

Multisim включает **Component Wizard** (помощник), который быстро по шагам проводит вас по процессу создания аналоговых, цифровых или VHDL компонентов для использования при вводе схемы, равно как и при симуляции или разводке, или все вместе.

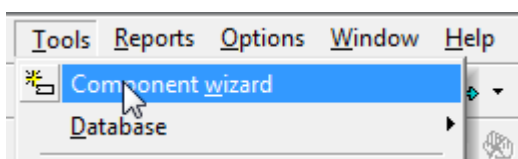


Рисунок 68

Аналоговые компоненты схемы, как диоды и транзисторы, могут создаваться следуя процедуре, показанной ниже. Здесь можно создавать резисторы, индуктивности и конденсаторы. Однако резисторы, индуктивности и конденсаторы, созданные с использованием этой процедуры, будут содержать только базовую информацию модели.

Начало работы, шаг 1 в Component Wizard

Выберите Tools/Component Wizard.

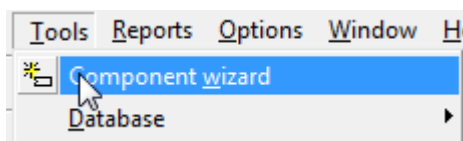


Рисунок 69

В появившемся окне Component Wizard заполните следующее поля:

Component Name — значение компонента. Примеры — 10 ohms, 2N2221, 2uF. Это поле запросов и не должно содержать разделителей.

Author Name — заполняется системой, измените, если нужно, то можно изменить.

Function — краткое описание компонента. Это может быть полезно при поиске, эту запись можно использовать как функциональное поле для заданного типа компонента при размещении его на схеме.

Выберите одно из:

- Simulation and layout (model and footprint)— для использования компонента и для моделирования, и для разводки печатной платы.
- Simulation only (model) — для использования компонента только для симуляции.
- Layout only (footprint) — для использования компонента только для разводки.

Примечание: Число шагов, которые необходимо выполнить, зависит от выбора, сделанного на этом шаге. Если выбрано использование компонента и для моделирования, и для разводки, помощник включит восемь шагов. Если выбрано использование компонента только для моделирования, помощник включит семь шагов, если только для разводки, он включит шесть шагов.

Далее выберите Analog из выпадающего списка Component Type.

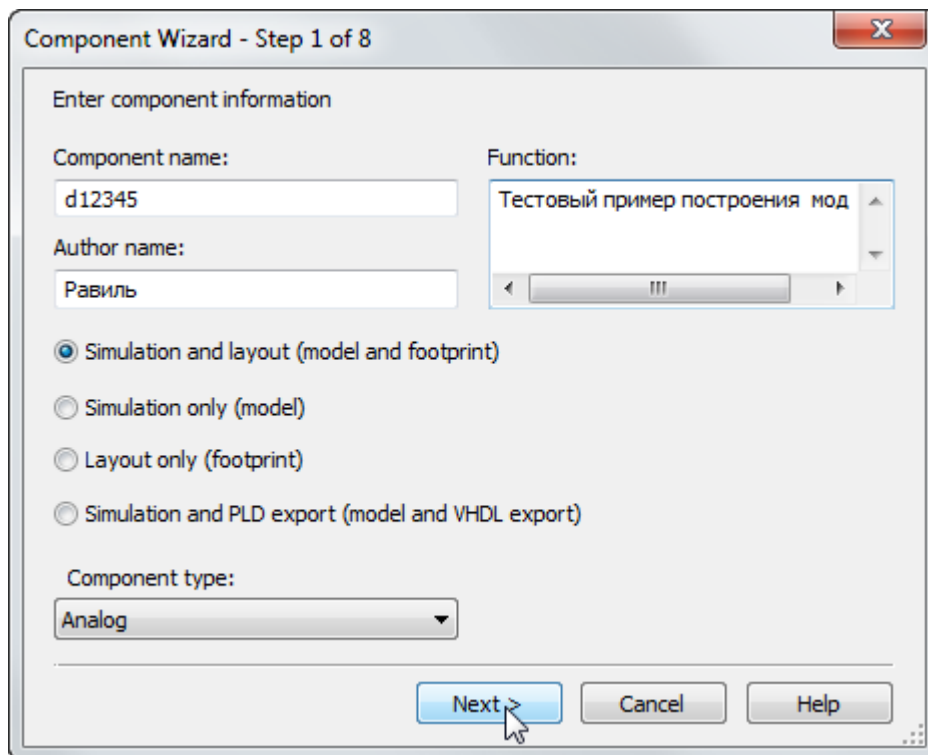


Рисунок 70

Шаг 2 в Component Wizard

Щелкните экранную кнопку Next. Появится диалоговое окно следующего шага, где вы вводите информацию о цолевке (footprint) компонента (если это необходимо).

Щелкните Select a Footprint. Появится диалоговое окно Select a Footprint, где вы выбираете цолевку из одной из баз данных.

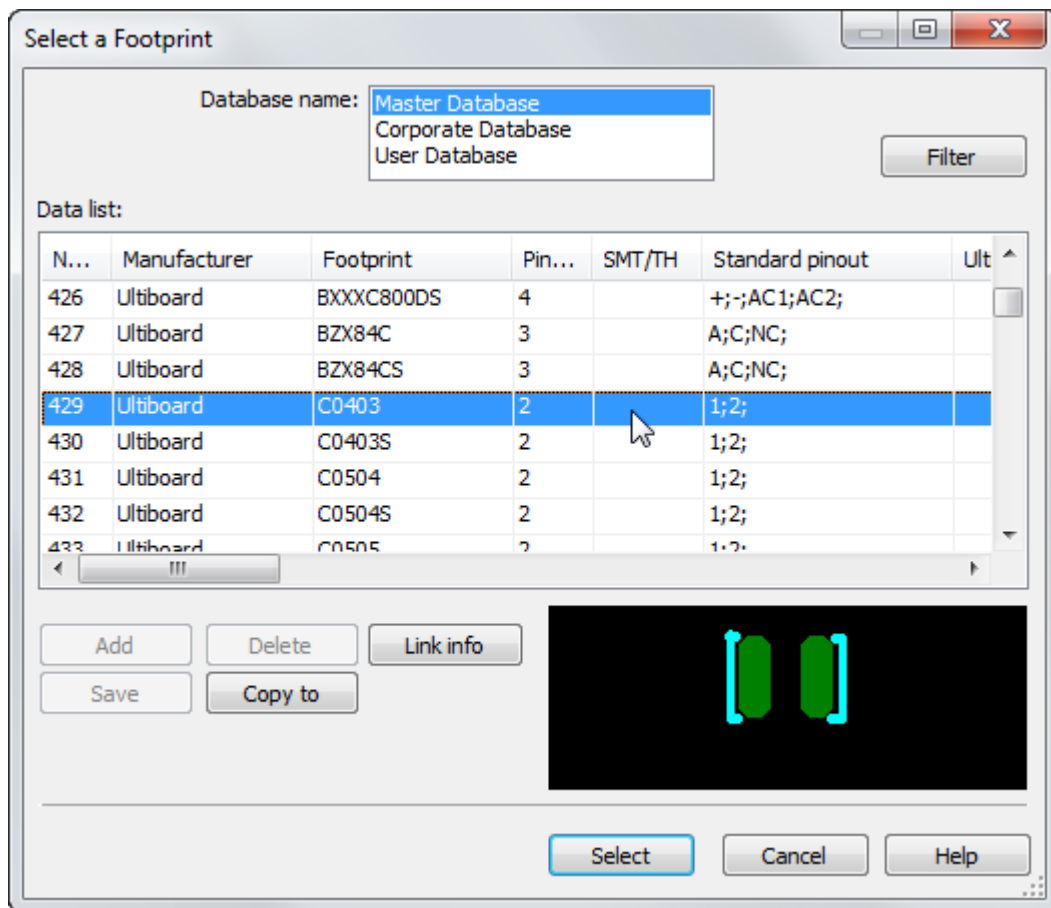


Рисунок 71

Выберите нужное Database Name, прокрутите вниз список внизу диалогового окна и щелкните по нужной цоколевке Footprint, например, для диода, два вывода, C0403..

Примечание: Если на этом этапе нет необходимости назначать, можно выбрать базу данных, где будет храниться компонент, и щелкнуть по кнопке Add. Появится диалоговое окно Add a Footprint. Введите имя в поле Footprint, например, placeholder (заглушка). Введите «Generic» поле manufacturer и щелкните ОК.. После того, как задано имя цоколевке здесь, создать ее можно позже в Ultiboard. *Убедитесь, что ввели имя в правильное поле.*

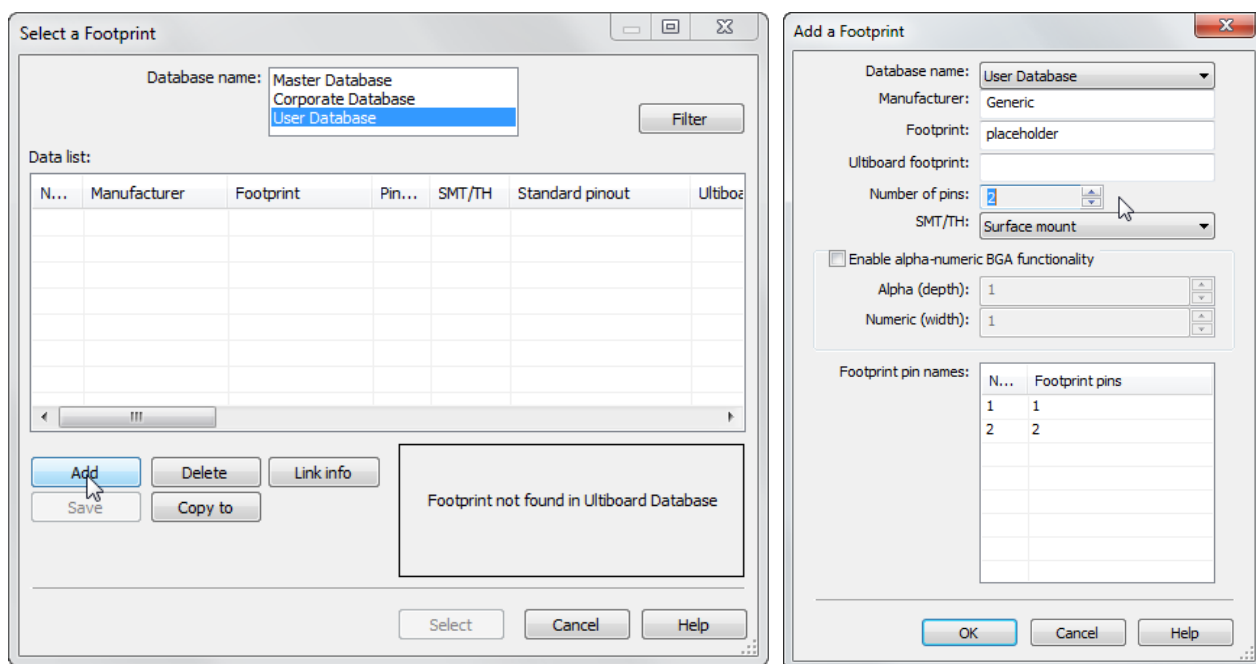


Рисунок 72

Щелкните по Select. Вы вернетесь в Component Wizard. Поля Footprint Manufacturer и Footprint Type были заполнены на основании выбора footprint.

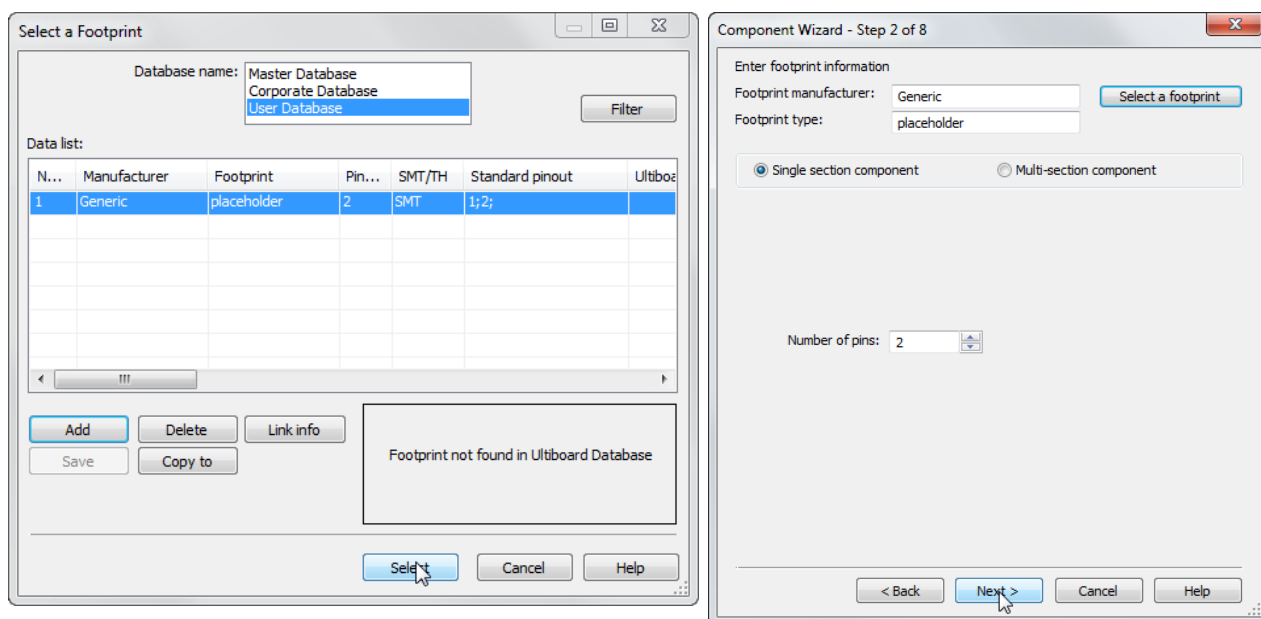


Рисунок 73

Примечание: можно также ввести значение непосредственно в поля Footprint Manufacturer и Footprint Type вместо использования диалогового окна Select a Footprint. Но, если будет введено значение в эти поля, которые не содержатся в Master или User Database, то предложено подтвердить, что надо добавить информацию к новой цоколевке. Если выбрать Yes, то появится диалоговое окне Add a Footprint.

Заполните Number of Pins (количество выводов) для компонента (два для диода или три для транзистора).

Выберите Single Section Component для одиночного компонента или Multi-Section Component, для многосекционного компонента. Если выбрать Multi-Section Component, то к диалогу добавятся Number of Sections и Section Details elements. Можно создать многосекционный компонент с числом секций до 96.

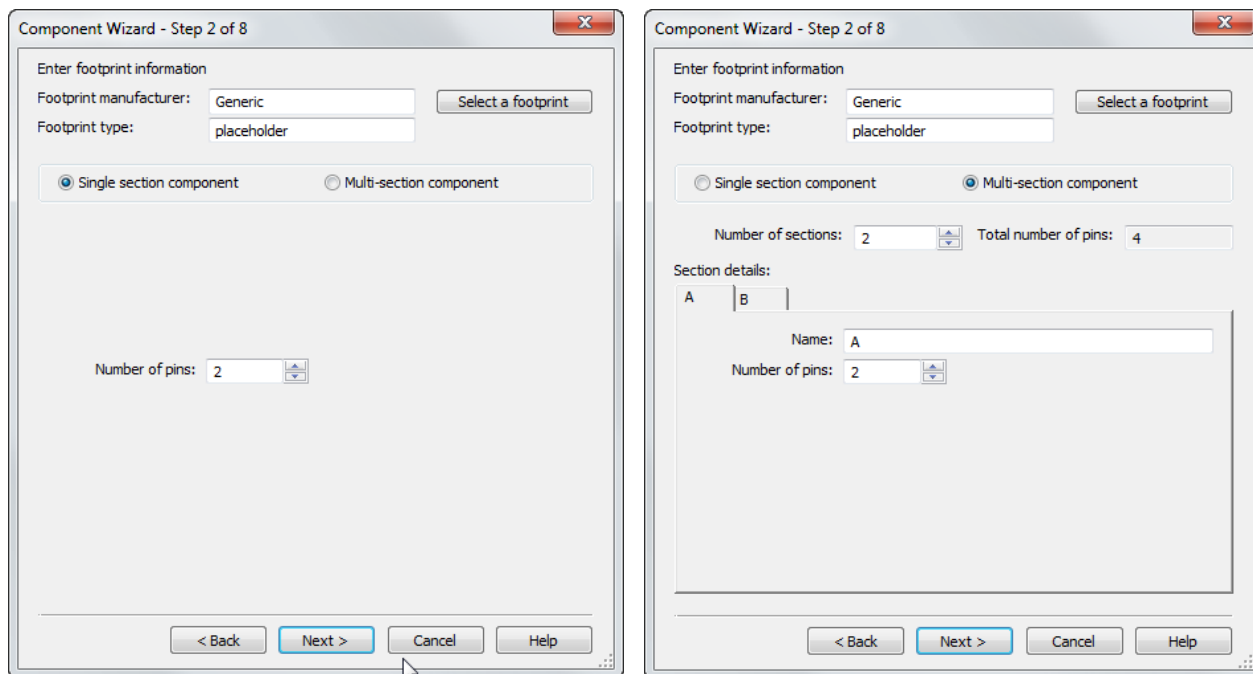


Рисунок 74

Щелкните Next, чтобы отобразить следующий шаг.

Шаг 3 в Component Wizard

Здесь вводится символ для компонента. Символ, который назначится этому компоненту появится, когда он будет размещается на схеме.

В области Symbol Set выберите ANSI или DIN.

Щелкните по кнопке Copy From DB, чтобы перейти к базе данных компонента, если вы хотите использовать символ существующего компонента.

Дополнительно для модификации символа щелкните по Edit, чтобы запустить редактор символов..

Щелкните Copy To, чтобы использовать тот же символ и для DIN, и для ANSI Symbol Set. Можно также использовать эту кнопку для копирования символа многосекционного компонента в другую секцию этого же компонента.

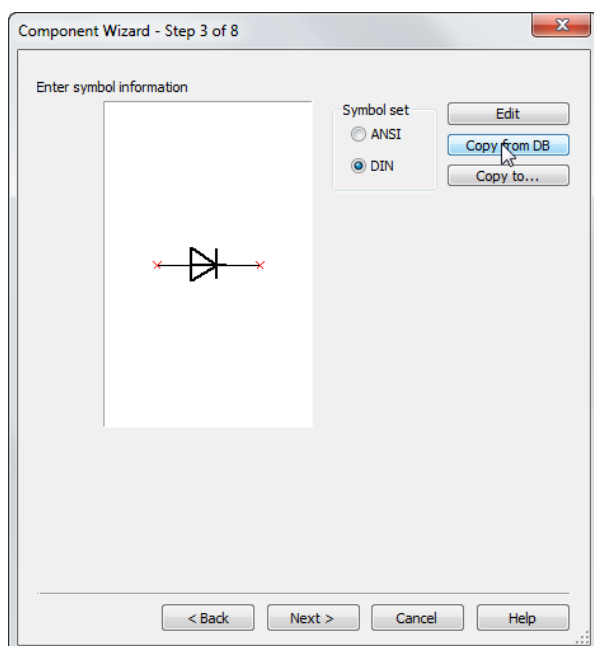


Рисунок 75

Щелкните по Next, чтобы отобразить следующий шаг Component Wizard.

Шаг 4 в Component Wizard

Введите параметры выводов компонента, как описано ниже:

Кнопка Add Hidden Pin — щелкните для добавления скрытых выводов: Power, Ground, Common. Скрытые выводы — это часть модели и/или цоколевки (footprint), которая не показывается на схеме.

Колонка Section — щелкните по полю в этой колонке и выберите нужную секцию для этого вывода. Это для многосекционных компонентов.

Колонка Type — щелкните по полю в этой колонке и выберите тип вывода из выпадающего списка, который появится. Выбор: passive (пассивный), ground, bidirectional (двунаправленный), input (вход), no connection (не соединено), output (выход) и power (питание). Эти типы выводов сказываются на сообщении ERC и выводах drivers/receivers для цифровых компонентов.

Колонка ERC Status — щелкните по полю в этой колонке и выберите, включить или исключить вывод из проверки ERC. См. «Проверка электрических соединений».

Чтобы принять отображенную информацию о символе, щелкните Next.

Шаг 4 в Component Wizard

Здесь заполняется информация о символе и цоколевке, что необходимо для экспорта в footprint корпуса. Вывод символа — имя вывода у символа,

например, VCC. Вывод корпуса — номер или имя этого вывода на цоколевке в разводке платы. Выводы символа и цоколевки должны совпадать в плане передачи данных в разводку.

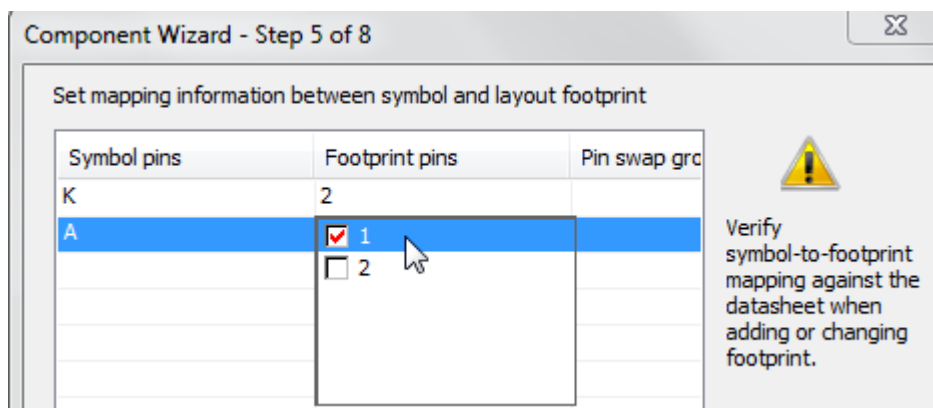


Рисунок 76

Для каждого вывода символа надо ввести соответствующий вывод цоколевки (footprint). Информация, которую будет здесь введена, будет отображаться на закладке Footprint диалогового окна Component Properties.

Для доступа к опциям развернутого картирования щелкните Map Pins. Появится диалоговое окно Advanced Pin Mapping.

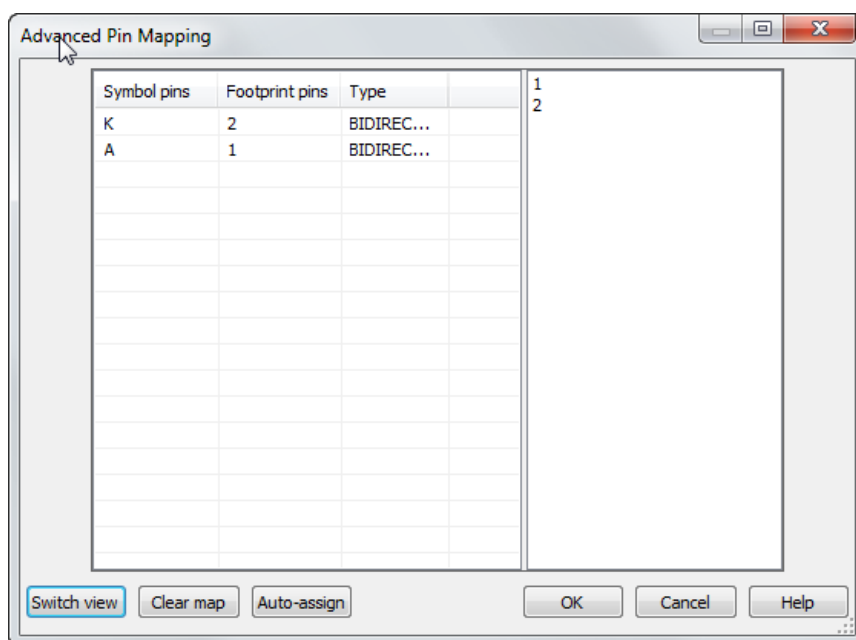


Рисунок 77

Щелкните Next, чтобы отобразить шаг Select Simulation Model (выбор модели симуляции). Если компонент не требует моделирования, этот шаг не появится.

Шаг 6 в Component Wizard

Кнопки на этом шаге работают, как описано ниже.

Select from DB — отображает диалоговое окно SelectModel Data, где вы копируете данные модели существующего компонента.

Model Maker — отображает диалоговое окно Select Model Maker, где можно выбрать модель, которую будет создавать Model Maker, основываясь на значениях справочных данных (datasheet).

Load from File — отображает стандартный проводник файлов, где производится выбор файла модели.

Copy to — отображает диалоговое окно Select Target. Используется копирование информации о модели из выделенной секции многосекционного компонента для выбранной секции, которую была задана в диалоговом окне Select Target. Это обычно производится после использования кнопки Select from DB, для копирования данные модели из другого компонента. Сами данные модели будут скопированы только в выбранную секцию компонента. Используя Copy to, можно копировать информацию в оставшиеся секции компонента.

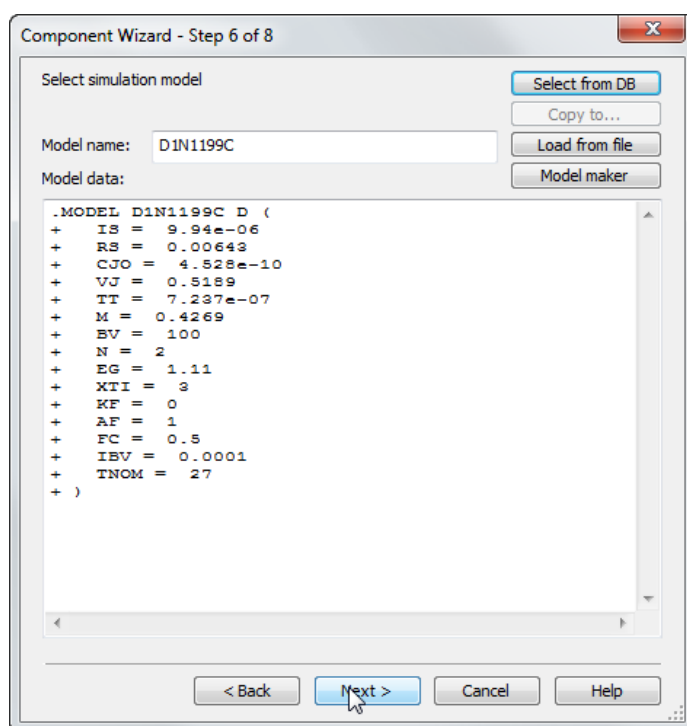


Рисунок 78

Щелкните Next, чтобы отобразить следующий шаг, где создается соответствие между символом и моделью.

Шаг 7 в Component Wizard

Для каждого вывода символа вводится номер узла, соответствующий узлу в модели. Информация, которую введена здесь, будет отображаться на закладке Model диалогового окна Component Properties.

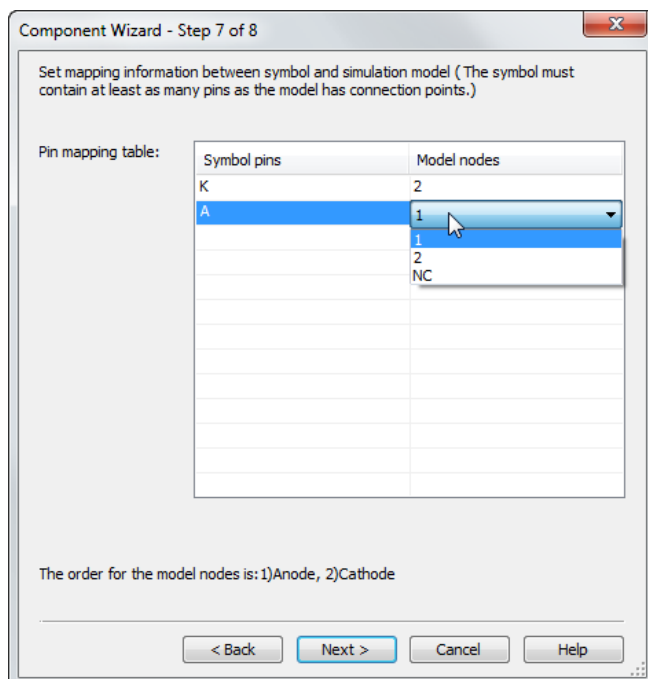


Рисунок 79

Щелкните Next.

Шаг 8 в Component Wizard

Диалоговое окно, которое появится, позволит показать, где будет сохранен компонент. Если нет семейства в группе, в котором необходимо сохранить компонент, то можно можете добавить новое семейство, щелкнув по кнопке Add Family.

Расположите выбор к семейству, в которое вы хотели бы поместить компонент и щелкните по Finish. Компонент будет сохранен в выбранном семействе.

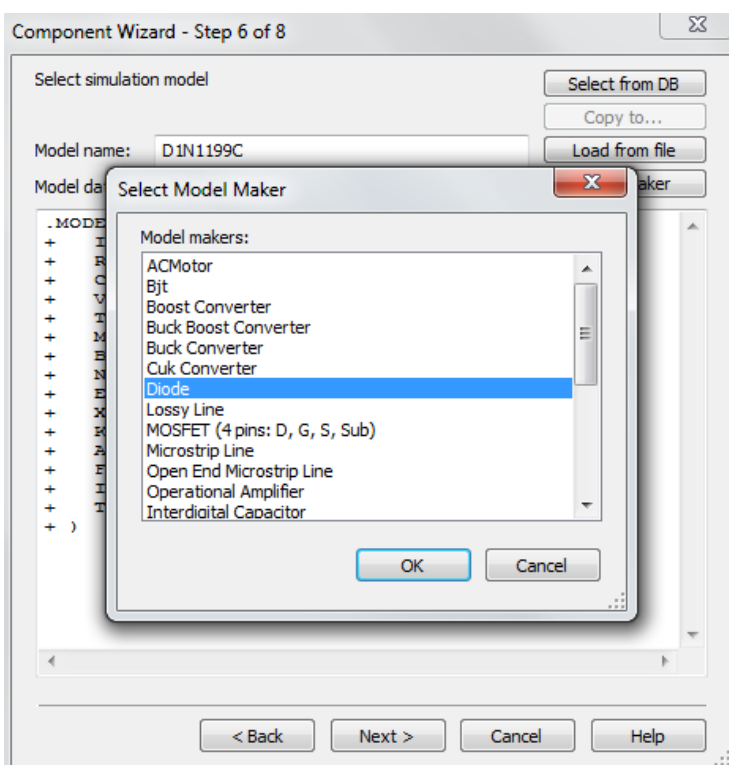


Рисунок 80

Из списка **Model Maker List** надо выбирать **Diode** щелкнуть **OK** (или **Cancel**, чтобы вернуться на закладку **Model**). Появится диалоговое окно **Diode Model**.

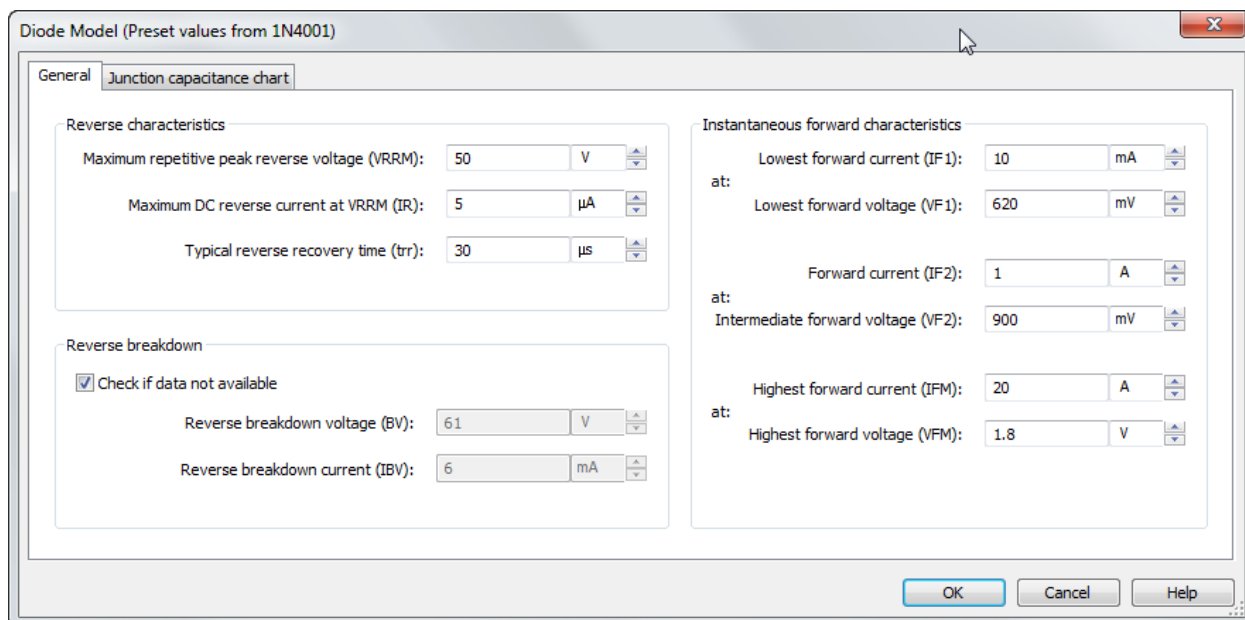


Рисунок 81

*Примечание: Диалоговое окно **Diode Model** показывает предустановленные значения для модели 1N4001.*

Ввод основных данных для статических параметров модели

Щелкните по закладке **General**. Далее необходимо найти данные для диода в справочнике.

Для ввода **Reverse Characteristics** данных:

1. В справочнике найдите таблицу «Maximum Ratings and Electrical Characteristics» (Предельные значения параметра). Основываясь на информации в этой таблице, введите следующие значения:

- **Maximum repetitive peak reverse voltage (VRRM)** (Максимально допустимое обратное напряжение)
- **Maximum DC reverse current at VRRM (IR)** (Максимально допустимый прямой ток)
- **Typical reverse recovery time (trr)** (Время восстановления обратного сопротивления)

Reverse characteristics

Maximum repetitive peak reverse voltage (VRRM): 50 V

Maximum DC reverse current at VRRM (IR): 5 μ A

Typical reverse recovery time (trr): 30 μ s

Чтобы ввести **Reverse Breakdown** (Напряжение пробоя) данные:

1. В справочнике найдите график «**Reverse Voltage vs. Reverse Current**» (Обратная ветвь ВАХ). Если данные недоступны, установите **Check if data not available**.

Reverse breakdown

☒ Check if data not available

Reverse breakdown voltage (BV): 61 V

Reverse breakdown current (IBV): 6 mA

Обычно в справочниках используют графики, приведенные окружающей температуры 25° C. Используйте координаты этой точки для ввода значений для:

- **Reverse Breakdown Voltage (BV)** (Обратное напряжение пробоя)
- **Reverse Breakdown Current (IBV)** (Ток при напряжении пробоя)

В справочниках, как правило приводятся значения максимально допустимого напряжения и тока. Взяв эти данные за основу можно ввести вышеуказанные данные с коэффициентом (1.2 – 1.5)

Для ввода Instantaneous Forward Characteristics данных в справочнике найдите график «Typical Instantaneous Forward Characteristics» (Типичная прямая ветвь ВАХ), например, так может выглядеть ВАХ прямой ветви диода в логарифмическом масштабе:

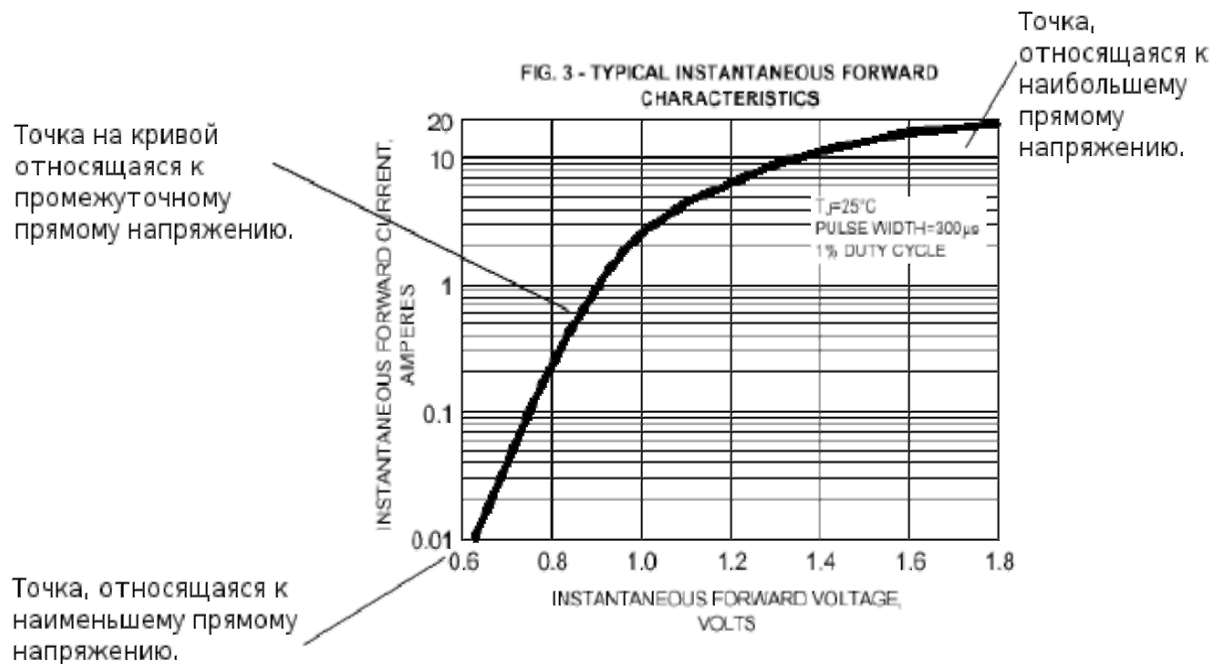


Рисунок 82

Найдите точку наименьшего прямого напряжения или начальную точку кривой. Используйте координаты этой точки для ввода значений:

Lowest forward current (IF1) (Наименьшей прямой ток)

Lowest forward voltage (VF1) (Наименьшее прямое напряжение)

Найдите точку наибольшего прямого напряжения или конечную точку кривой. Используйте координаты этой точки для ввода значений для:

Highest forward current (IFM) (Наибольшее прямой ток)

Highest forward voltage (VFM) (Наибольшее прямое напряжение)

Используйте линейку, чтобы найти вторую промежуточную точку на кривой, которая, наилучшим образом идентифицирует точку перехода кривой.

Примечание: Указания по выбору промежуточной точки различаются от одного справочника к другому. Если график построен в логарифмическом формате, что обычно имеет место, неплохо поискать эту точку, расположив линейку вдоль начала кривой в области маленьких напряжений, где она будет выглядеть подобно прямой. Там, где кривая начинает отклоняться от линейки, и будет та точка, которую можно использовать в качестве промежуточной точки. Если график представлен в линейном формате, приведите данные к логарифмическому виду и следуйте процедуре с линейкой.

Используйте координаты этой точки для ввода значений для:

Forward current (IF2)

Intermediate forward voltage (VF2)

Точка, относящаяся к наименьшему обратному напряжению.

Выберите вторую точку на кривой в области малых напряжений для второй к наименьшему обратному напряжению.

Выберите третью точку на кривой в области малых напряжений для третьей к наименьшему, второй к наибольшему обратному напряжению.

Точка, относящаяся к наибольшему обратному напряжению.

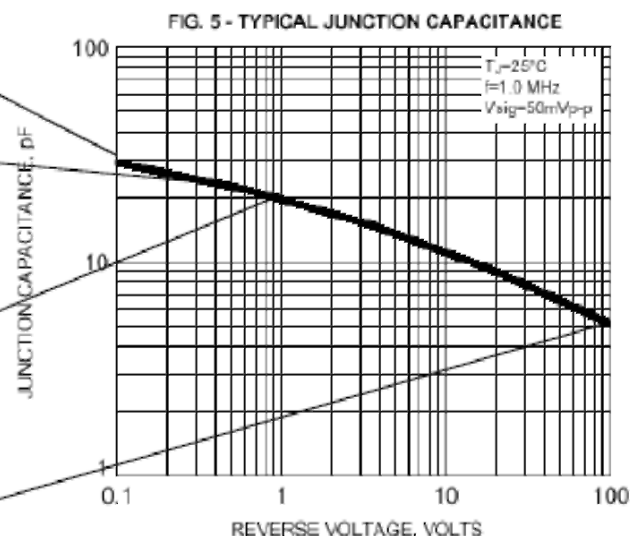


Рисунок 83

Ввод основных данных для динамических параметров модели

Ввод данных о **Capacitance** (емкость диода)

Чтобы ввести **Junction Capacitances** (емкости переходов) данные:

Щелкните по закладке Junction Capacitance Chart. В справочнике найдите диаграмму «Typical Junction Capacitance» (Вольтфарадная характеристика), например:

Точка, относящаяся к наименьшему обратному напряжению.

Выберите вторую точку на кривой в области малых напряжений для второй к наименьшему обратному напряжению.

Выберите третью точку на кривой в области малых напряжений для третьей к наименьшему, второй к наибольшему обратному напряжению.

Точка, относящаяся к наибольшему обратному напряжению.

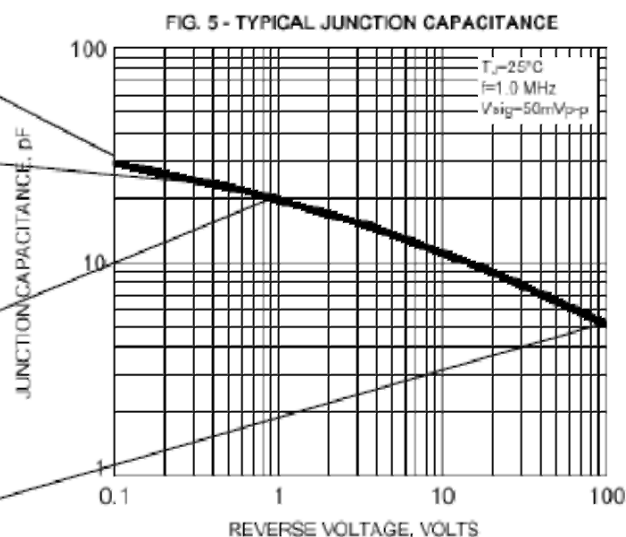


Рисунок 84

Найдите емкость перехода при нулевом обратном напряжении и введите ее в поле **Junction capacitance at zero reverse voltage (CJO)**. Если этой информации нет в справочнике, установите **Check if data not available**.

CJO

☐ Check if data not available

Junction capacitance at zero reverse voltage (CJO): 0 F

Рисунок 85

Найдите точку наименьшего обратного напряжения или начальную точку кривой. Используйте координаты этой точки для ввода значений для:

Junction capacitance (CJ1) (Барьерная емкость CJ1)

Lowest Reverse Voltage (Vr1) (Наименьшее обратное напряжение)

Найдите точку наибольшего обратного напряжения или конечную точку кривой и введите значения координат в поля **Junction capacitance (CJ4)** и **Highest Reverse Voltage (Vr4)**.

Выберите две дополнительные промежуточные точки на графике, больше чем наименьшее обратное напряжение, но в области малых значений обратного напряжения. Используйте значения координат второй точки для ввода:

Junction capacitance (CJ2)

Second to Lowest Reverse Voltage (Vr2)

Используйте значения координат третьей точки для ввода:

Junction Capacitance (CJ3)

Second to Highest Reverse Voltage (Vr3)

После нажатия экранной кнопки ОК будет сформирована модель компонента

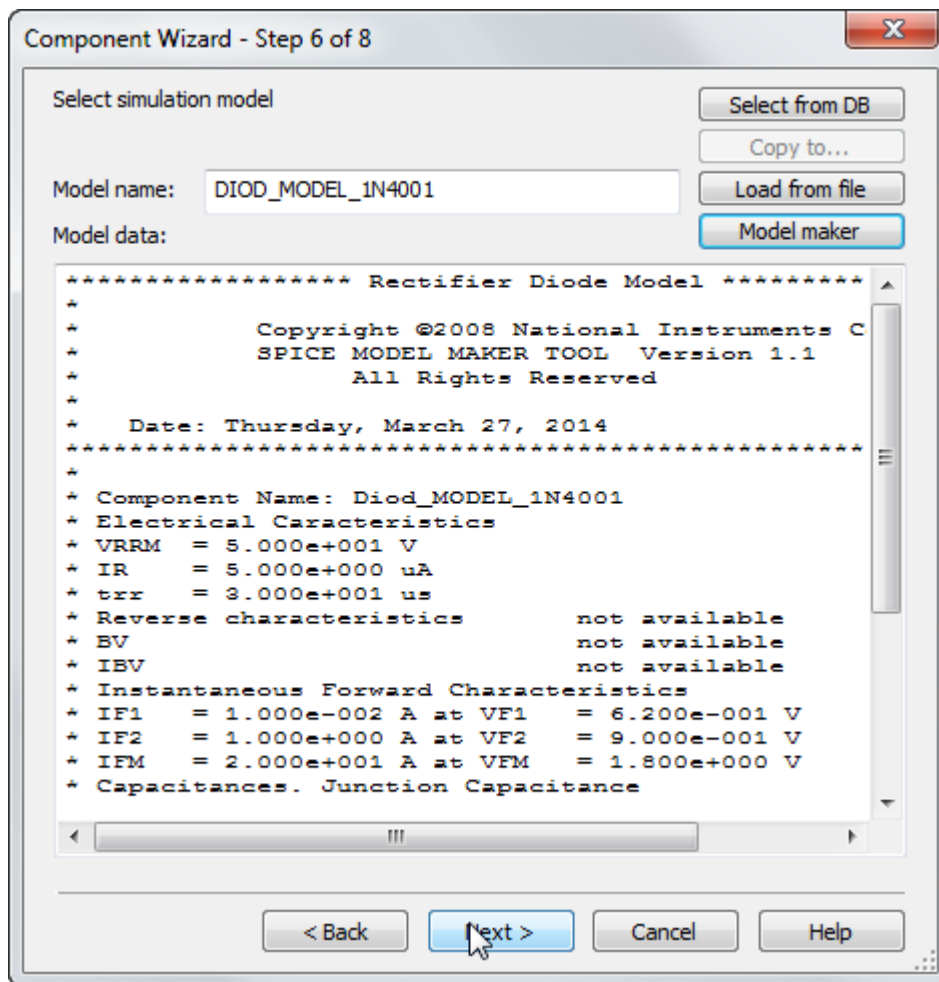


Рисунок 86

Дальнейшие действия аналогичны ранее показаны (шаг 7 и 8).

ОСЦИЛЛОГРАФ В ПРОГРАММЕ MULTISIM

В программе Multisim доступны три разных осциллографа — стандартный двухканальный осциллограф:

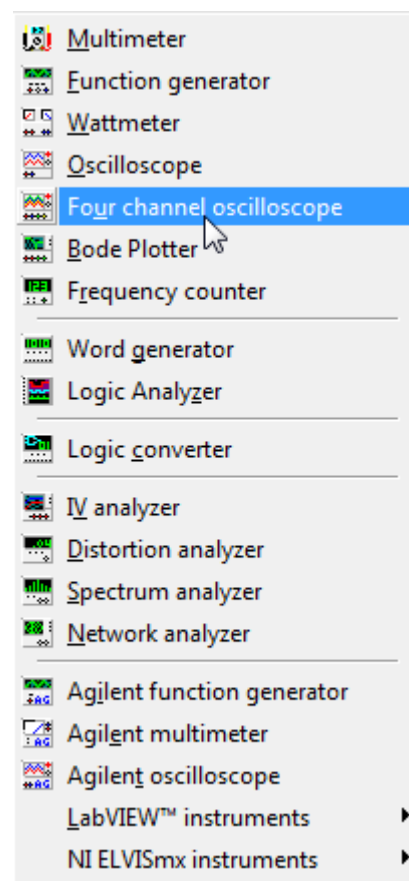
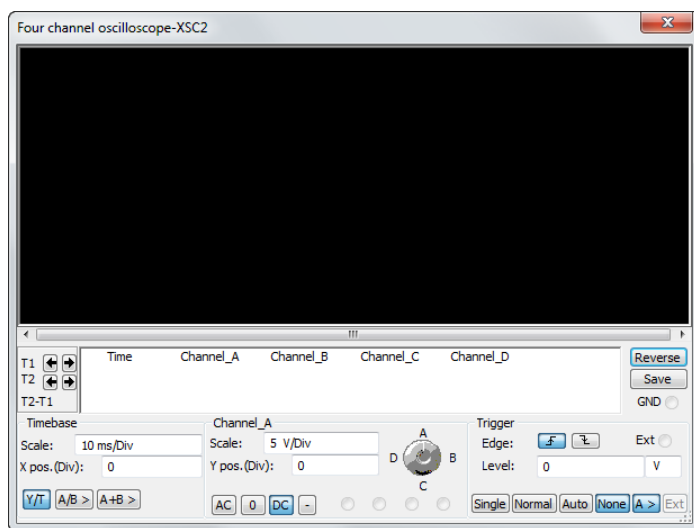
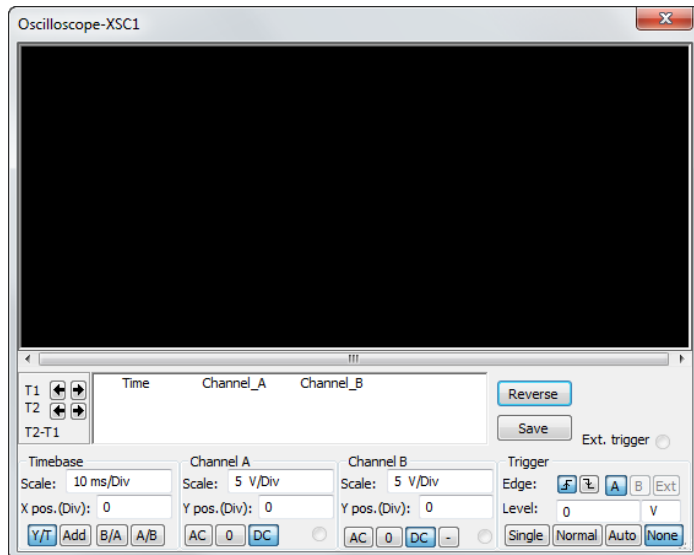




Рисунок 87

Двух- и четырёхканальные осциллографы работают практически одинаково и отличаются только количеством каналов. Осциллограф Agilent работает так же, как и обычный лабораторный осциллограф (и имеет такой же интерфейс). Это значит, что его использование несколько отличается от использования двух- и четырёхканальных осциллографов.

Настройки виртуальных осциллографов напоминают настройки обычного лабораторного. Их основные параметры — это: время, по горизонтальной оси, напряжение в вольтах, по вертикальной оси и синхронизация.

XSC1

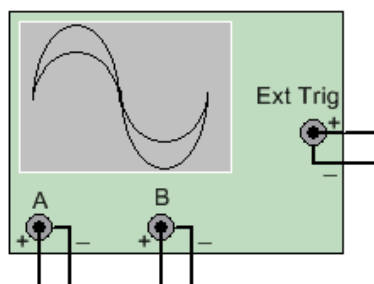


Рисунок 88

Рассмотрим входы осциллографа подробнее:

A, B, Ext Trig — это выходы осциллографа, к которым можно подключать другие компоненты. Вывод заземления позволяет подключать осциллограф к заземлению.

Однако стоит отметить, что наличие клеммы заземления позволяет снизить уровень шумов.

Контакт земли осциллографа в программе Multisim является полным аналогом контакта заземления стандартного осциллографа. Если не подключить этот контакт осциллограф все равно будет заземлен, и можно измерять напряжение относительно

земли. Это значит, что подключение контакта осциллографа не повлияет на работу схемы. Как и лабораторные осциллографы, осциллограф в программе Multisim заземляется автоматически.

Выводы А и В представляют собой сигнальные входы осциллографа. Они подключаются к схеме, и напряжения, которые они измеряют, отображаются на экране осциллографа. Лабораторные осциллографы используют входные делители напряжения с коэффициентом деления 10:1 с измерительными тунами и клеммами заземления. Осциллограф Multisim не имеет измерительных щупов и клемм заземления. Для лабораторного осциллографа эти устройства необходимы, так как они снижают уровень шумов и позволяют отображать высокочастотные осциллограммы. Однако щупы и клеммы заземления не нужны в модели Multisim. Потому что модель дает возможность выполнить точные измерения без их помощи. Поэтому осциллограф Multisim имеет только один контакт А и один контакт В. Если подключить любой вход к узлу в схеме, то инструмент отобразит напряжение данного узла относительно земли. Процедура очень похожа на работу с лабораторным осциллографом, за исключением того, что нет измерительного щупа с коэффициентом деления 10:1 и не нужно подсоединять клемму заземления.

Вывод Ext Trig — это вход внешней синхронизации осциллографа, который моделирует аналогичный вход лабораторного осциллографа. Обычно осциллографы создают сигналы синхронизации с помощью сигналов, измеряемых на каналах А или В. При работе с сигналами высокого уровня можно без проблем использовать канал А или В в качестве запускающего; но при измерении небольших сигналов могут возникнуть сложности с созданием сигнала синхронизации, и в результате осциллограммы будут беспорядочно перемешаться, но экрану. Чтобы избежать этого, воспользуемся каналом внешней синхронизации (Ext Trig). Даже если напряжение на входах А и В незначительно, сигнал на входе синхронизации будет достаточно высоким. Сигнал синхронизации должен быть синхронизирован с напряжениями на входах А и В, но иметь намного более высокое значение, чтобы легко осуществлять синхронизацию.

Настройка осциллографа

Временной масштаб: отметим, что если нажата кнопка Y/T, то это значит, что горизонтальная ось представляет собой ось времени и все диаграммы являются временными.

Сигнал канала А и/или В откладывается, по оси у. Напряжение канала А отображается по вертикальной оси (или оси у). При использовании масштаба 5V/Div

каждое деление на вертикальной оси содержит 5 В. Так как сигнал имеет амплитуду 1 В, он занимает только 1/5 часть квадрата по вертикали.

Чтобы осциллограмма выглядела более крупной, нужно изменить масштаб напряжения для канала А. Если необходимо, чтобы осциллограмма занимала один квадрат как в положительном, так и в отрицательном направлении, то следует настроить данный параметр на 1 В/дел. Для этого щелкнем по полю Scale. В нем появится курсор, кроме того, рядом с полем появятся стрелки:

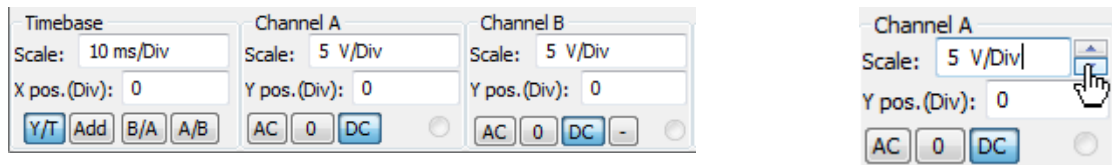


Рисунок 89

Можно щелкать, как по стрелкам, так и можно пользоваться клавиатурными клавишами со стрелками. Поле Y Position (Смещение по оси y) является аналогом регулятора стандартного осциллографа; оно позволяет перемещать осциллограмму по экрану. Например, при изменении значения на 1 пулевая линия осциллограммы переместится на одно деление вверх.

Регулятор положения и опция Y Position в программе Multisim дают возможность перемещать осциллограммы. При работе с одной кривой опция Y Position обычно равна нулю. Если используют каналы А и В, можно разделить кривые и применить опцию Y Position, чтобы расположить их на экране нужным образом.

Кнопки AC, O и DC используются для настройки каналов осциллографа. Они являются аналогами кнопок AC, O, DC обычного осциллографа. При настройке значения для канала на ноль (или при подключении заземления на обычном осциллографе) входной сигнал канала тоже будет равен нулю, даже если этот канал подключен к узлу и измеряет напряжение. В результате канал осциллографа будет постоянно показывать напряжение 0 В.

Параметр DC отобразит осциллограмму полностью. Если измеряется напряжение, которое имеет переменную и постоянную составляющие, осциллограф отобразит как переменную составляющую, так и смещение.

Выбор режима AC равносителен введению емкостного фильтра в пень сигнала, при этом отображается ТОЛЬКО переменная составляющая колебания. Если измеряется напряжение постоянного тока, осциллограф покажет нулевое значение. Если измеряется напряжение, которое содержит постоянную и переменную составляющие, то будет показана только переменная составляющая.

При работе с лабораторным осциллографом настройка синхронизации — это одна из самых сложных задач. Если осциллограф использует катодную трубку, кривая рисуется на экране с помощью электронного луча. При воздействии электронного луча на экран люминофорное покрытие начинает светиться, в результате чего осциллограмма становится видна пользователю. Можно провести аналогию между электронным лучом и пером, которое рисует кривую на экране. Луч начинает движение слева и перемещается вправо. Опция Timebase информирует осциллограф о том, как быстро должна перемещаться кривая. Сигнал на входе А (Channel A) определяет, насколько должен луч двигаться вверх и вниз по вертикали. Сигнал синхронизации информирует о том, когда следует начать движение.

Когда на экране осциллографа рисуется линия, происходит следующее. Луч располагается в левой части экрана и не перемещается, пока осциллограф не получит сигнала синхронизации. После получения сигнала луч начинает движение вправо и рисует на экране видимую линию. Достигнув правой части экрана, луч автоматически перемещается в его левую часть. Затем он останавливается и больше не двигается, пока не получит новый сигнал синхронизации.

Таким образом, сигнал синхронизации сообщает осциллографу о начале рисования кривой. Если осциллограф не получает сигнала синхронизации, то луч не будет перемещаться, и осциллограмма не будет нарисована на экране, в результате экран осциллографа останется пустым. Если сигнал синхронизации приходит в случайные моменты времени, которые не синхронизированы с измеряемым сигналом, осциллограмма будет произвольно перемещаться по экрану. Если сигнал синхронизации настроен правильно, осциллограмма будет правильно показана на экране прибора.

Осциллограф Multisim имеет три режима синхронизации. — Normal (Обычный). Single (Однократный) и Auto (Автоматический).

Режим **Normal**. Как правило самый распространенный режим, этот режим, при котором луч ожидает сигнала синхронизации, находясь в левой части экрана. Этот сигнал создается напряжением указанного источника (Channel A, Channel B или External Trigger) и пересекает уровень запуска. После этого луч перемещается вправо и рисует кривую. Когда он достигает правой части экрана, то возвращается в левую часть и ожидает следующего сигнала синхронизации. В этом режиме осциллограмма на экране неподвижна.

Режим **Single**. Данный режим работает аналогично режиму Normal, за исключением того, что на экране формируется ТОЛЬКО одна кривая. При активации опции Single осциллограф переходит в режим ожидания сигнала синхронизации. После

получения сигнала синхронизации рисуется кривая, а йотом луч отключается. Другие кривые не создаются до тех пор, пока пользователь повторно не активирует режим ожидания запуска, а система не получит сигнал запуска. Обычно этот режим используется при работе с одиночными осциллограммами (например с кривыми импульсов, которые не повторяются).

Режим Auto. В этом режиме сигнал синхронизации создается автоматически, а не путем сравнения заданного значения и уровня триггера. Во многих осциллографах для создания сигнала синхронизации используется напряжение частотой 50 Гц от источника питания. Момент запуска не синхронизируется с измеряемым сигналом, в результате осциллограмма будет перемещаться по экрану. Получаемая в этом режиме осциллограмма никак не связана с моментом запуска. Это значит, что начальная точка кривой является произвольной и постоянно изменяется.

Режим автоматической синхронизации используется в двух случаях. Первый случай — это измерение напряжения постоянного тока. Такое напряжение не изменяется, поэтому измеряемый сигнал не может пересечь уровень запуска, и в режиме обычного или однократного запуска сигнал синхронизации создан не будет. Единственный способ решения проблемы заключается в том, чтобы переключиться в режим автоматического запуска.

Второй случай — это ситуация, в которой осциллограф не может создать сигнал запуска в обычном или одиночном режиме. Здесь следует переключить осциллограф в режим автоматического запуска. В результате осциллограмма появится на экране, после чего станет ясно, как следует изменить уровень синхронизации, чтобы отобразить осциллограмму в обычном режиме.

РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Решение систем линейных и нелинейных уравнений и неравенств возможно с помощью вычислительного блока Given который ограничивается функциями Find, Minerr, Maximize, Minimize. Построение решения осуществляется по правилам:

Начало блока решения, задание начальных условий до начала блока Given-Minerr и задание ограничений на Ft в блоке Given-Minerr

$IS := 10^{-6}$ $Ft := 0.03$ Начальные приближения для неизвестных

Given

$$IS \cdot \left[\exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{38}}{Ft} \right] - 1 \right] = (DataOFdiod^{(1)})_{38}$$

38 точка напряжение-ток исходных данных

$$IS \cdot \left[\exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{40}}{Ft} \right] - 1 \right] = (DataOFdiod^{(1)})_{40}$$

40 точка напряжение-ток исходных данных

otvet := Minerr(IS, Ft)

$otvet_1 = 2.544E-002$ $otvet_0 = 9.208E-013$ +

Параметры источника тока в МС $1e-12 \cdot (\exp(v(In)/0.0255) - 1)$

$$otvet_0 \cdot \left[\exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{38}}{otvet_1} \right] - 1 \right] = 3.796E+002 \quad (DataOFdiod^{(1)})_{38} = 3.796E+002$$

$$otvet_0 \cdot \left[\exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{40}}{otvet_1} \right] - 1 \right] = 9.752E+002 \quad (DataOFdiod^{(1)})_{40} = 9.752E+002$$

Параметры источника тока в MC $1e-12 \cdot (\exp(v/In)/0.0255) - 1$

$$otvet_0 \cdot \exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{38}}{otvet_1} \right] - 1 = 3.796E+002 \quad (DataOFdiod^{(1)})_{38} = 3.796E+002$$

$$otvet_0 \cdot \exp \left[\frac{(DataOFdiod^{(0)})_{40}}{otvet_1} \right] - 1 = 9.752E+002 \quad (DataOFdiod^{(1)})_{40} = 9.752E+002$$

Рисунок 90

Для того, чтобы ввести жирный знак равно требуется нажать клавиши [CTRL + =]. Ограничительные условия обычно задаются в виде неравенств или равенств, которые должны удовлетворяться решению уравнения.

Следует помнить, что система уравнений или неравенств должна быть записана после или правее ключевого слова Given.

Блок Given не пригоден для поиска индексированных переменных.

Признаком окончания системы служит функция Find, если необходимо найти точное решение системы, или же функция Minerr, если система не может быть решена точно и следует найти наилучшее приближение, которое обеспечивает минимальную погрешность.

Функции Find, Minerr должны иметь столько же или меньше аргументов, сколько уравнений и неравенств содержит блок Given (максимальное число уравнений доведено до 200 в последних версиях MathCAD). Если окажется, что блок содержит слишком мало уравнений или неравенств, то блок может быть дополнен тождествами или повторяющимися выражениями.

ЧТЕНИЕ ДАННЫХ ИЗ ФАЙЛА В ПРОГРАММЕ MATHCAD

Чтение файла данных в программе MathCAD осуществляется встроенной функцией READPRN

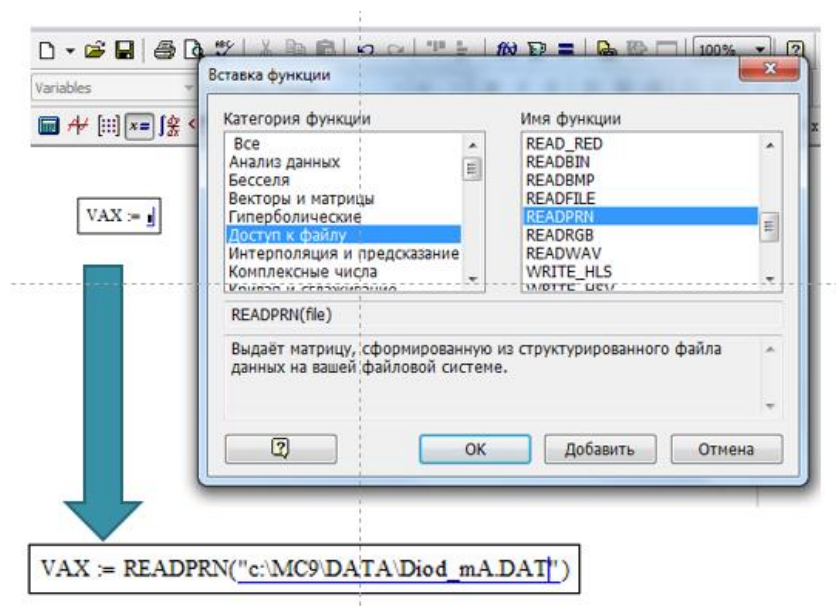


Рисунок 91

Полученную матрицу данных можно использовать как для доступа к отдельным элементам полученных данных:

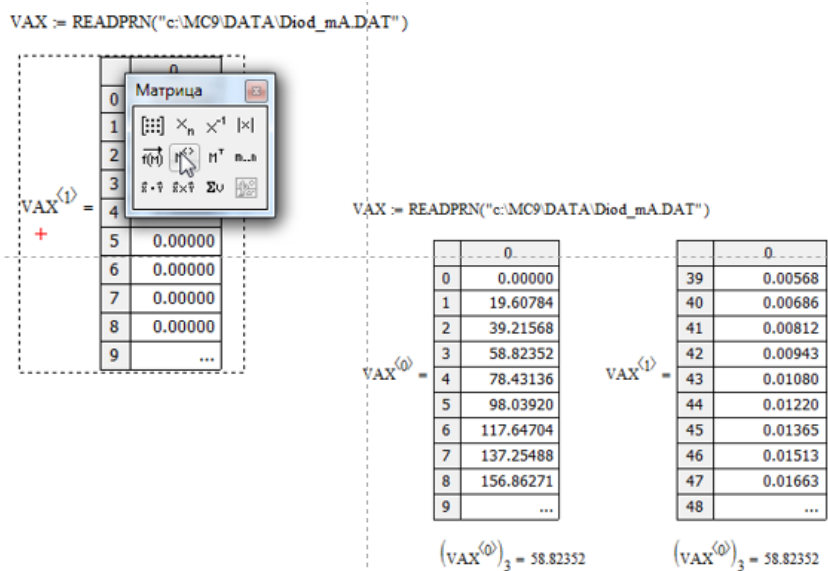


Рисунок 92

так и для построения графиков

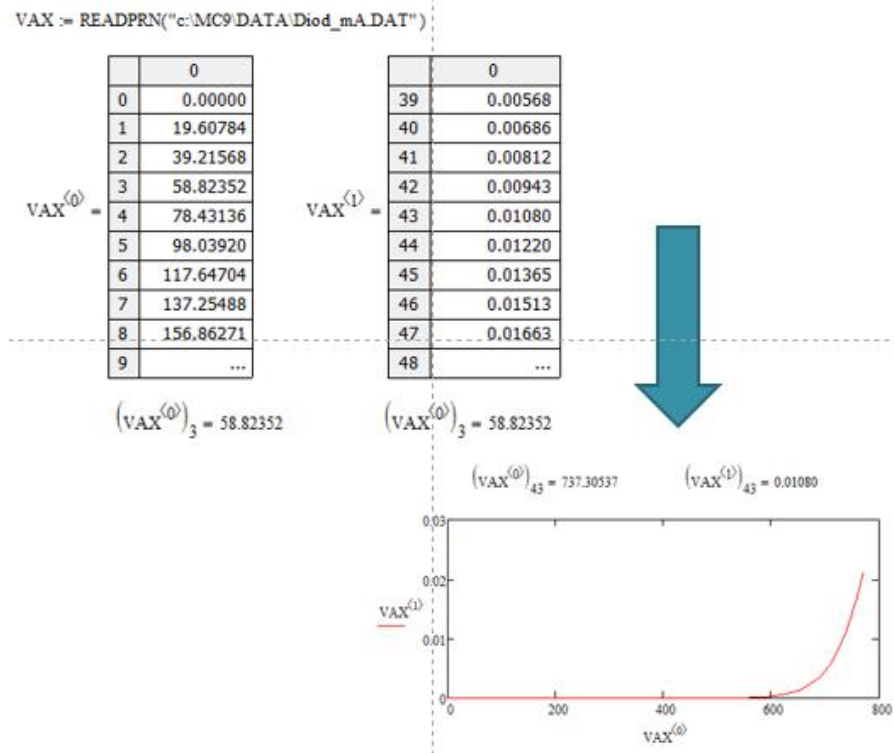


Рисунок 93

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ИХ СВОЙСТВА

Полупроводниковым диодом называют прибор с одним р-п-переходом, имеющим два вывода: анод А и катод К. Теоретическая вольтамперная характеристика р-п-перехода и отличие реальной ВАХ диода (кривая 2) от теоретической (кривая 1) показаны ниже на рисунке

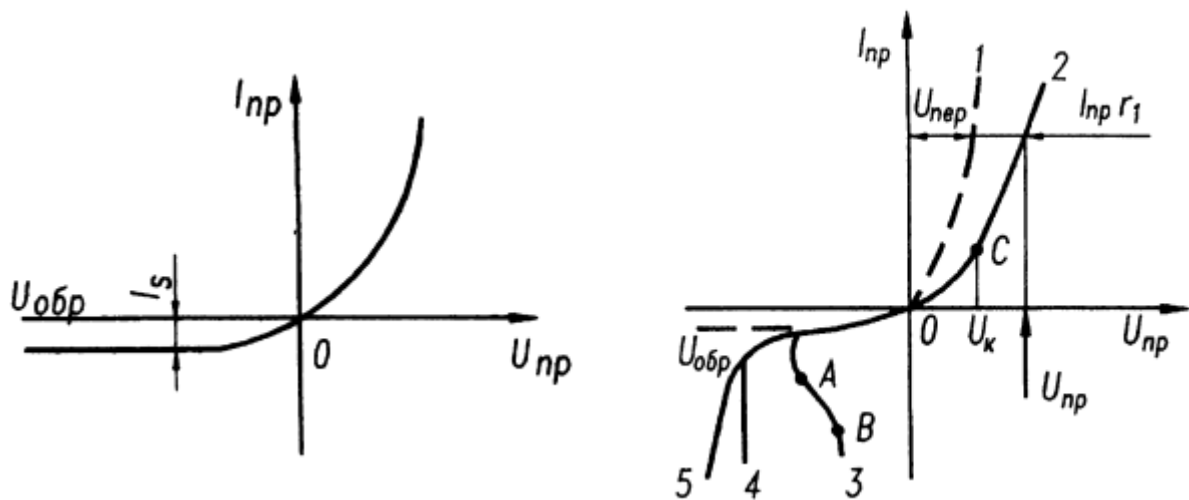


Рисунок 94

При обратном включении р-п-перехода отличия обусловлены генерацией носителей зарядов и пробоем р-п-перехода. Количество генерируемых носителей пропорционально объему запирающего слоя, который зависит от ширины р-п-перехода. Поскольку ширина запирающего слоя пропорциональна $\sqrt{U_{обр}}$, ток генерации будет расти при увеличении обратного напряжения. Поэтому на реальной характеристике при увеличении обратного напряжения до определенного значения наблюдается небольшой рост обратного тока. Возрастанию обратного тока способствуют также токи утечки.

При некотором обратном напряжении наблюдается резкое возрастание обратного тока. Это явление называют пробоем р-п-перехода. Существуют три вида пробоя: туннельный, лавинный и тепловой. Туннельный и лавинный пробой представляют собой разновидности электрического пробоя и связаны с увеличением напряженности электрического поля в переходе. Тепловой пробой определяется перегревом перехода.

Туннельный пробой обусловлен прямым переходом электронов из валентной зоны одного полупроводника в зону проводимости другого, что становится возможным, если напряженность электрического поля в р-п-переходе из кремния достигает значения $4 \cdot 10^5$

В/см, а из германия $2 \cdot 10^5$ В/см. Такая большая напряженность электрического поля возможна при высокой концентрации примесей в р- и n-областях, когда толщина р-n-перехода становится весьма малой. Под действием сильного электрического поля валентные электроны вырываются из связей. При этом образуются парные заряды электрон-дырка, увеличивающие обратный ток через переход. На рисунке кривая 5 представляет собой обратную ветвь вольт-амперной характеристики перехода, соответствующую туннельному пробое.

В широких р-n-переходах, образованных полупроводниками с меньшей концентрацией примесей, вероятность туннельного просачивания электронов уменьшается и более вероятным становится лавинный пробой. Он возникает тогда, когда длина свободного пробега электрона в полупроводнике значительно меньше толщины р-n-перехода. Если за время свободного пробега электроны накапливают кинетическую энергию, достаточную для ионизации атомов в р-n-переходе, наступает ударная ионизация, сопровождающаяся лавинным размножением носителей зарядов. Образовавшиеся в результате ударной ионизации свободные носители зарядов увеличивают обратный ток перехода. Увеличение обратного тока характеризуется коэффициентом лавинного умножения М:

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{ОБР}}{U_{ПРОБ}}\right)^m}$$

где $U_{ПРОБ}$ - напряжение пробоя; m зависит от материала полупроводника.

Тепловой пробой обусловлен значительным ростом количества носителей зарядов в р-n-переходе за счет нарушения теплового режима. Подводимая к р-n-переходу мощность расходуется на его нагрев. При плохих условиях отвода теплоты от перехода возможен его разогрев до температуры, при которой происходит тепловая ионизация атомов. Образующиеся при этом носители заряда увеличивают обратный ток, что приводит к дальнейшему разогреву перехода. В результате такого нарастающего процесса р-n-переход недопустимо разогревается и возникает тепловой пробой, характеризующийся разрушением кристалла (кривая 3 на приведенном выше рисунке).

Из ВАХ диода следует, что он обладает неодинаковой электрической проводимостью в прямом и обратном направлениях его включения. Поэтому полупроводниковые диоды используют в схемах выпрямления переменного тока.

Так как напряжение на полностью открытом диоде не превышает 0,5...0,7 В, то для приближенных расчетов диод рассматривают как вентиль: открыт — закрыт, имеющий ВАХ, изображенную на рисунке

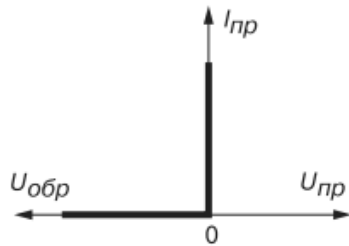


Рисунок 95

Анализ типовых ВАХ диодов показывает, что прямое напряжение $U_{пр}$ на германиевом диоде почти в два раза меньше, чем на кремниевом, при одинаковых значениях прямого тока $I_{пр}$, а обратный ток $I_{обр}$ кремниевого диода значительно меньше обратного тока германиевого при одинаковых обратных напряжениях $U_{обр}$. К тому же, германиевый диод начинает проводить ток при ничтожно малом прямом напряжении $U_{пр}$, а кремниевый — только при $U_{пр} = 0,4...0,5$ В.

Исходя из этих свойств, германиевые диоды применяют как в схемах выпрямления переменного тока, так и для обработки сигналов малой амплитуды (до 0,3 В), а кремниевые, наиболее распространённые — как в схемах выпрямления, так и в схемах устройств, в которых обратный ток недопустим или должен быть ничтожно мал. К тому же, кремниевые диоды сохраняют работоспособность до температуры окружающей среды 125... 150 °С, тогда как германиевые могут работать только до 70 °С.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Задача исследования лабораторной работы и состоит в том, чтобы по экспериментальным данным получить параметры модели диода. В данном случае - статические параметры модели.

Математическую модель элемента можно рассматривать как некоторый оператор F ; ставящий в соответствие системе внутренних параметров компонента или схемы $X=x_1, x_2, \dots, x_n$ совокупность связанных с ними внешних параметров $Y=y_1, y_2, \dots, y_n$.

Содержание внутренних и внешних параметров, их физический смысл меняется в зависимости от назначения модели.

Математические модели технических устройств быть классифицированы по ряду признаков:

По характеру отображаемых процессов выделяют **статические и динамические модели**. По способу представления модели различают **аналитические, графические и табличные**. Аналитические модели определяют прибор или компонент в виде уравнений, описывающих его ВАХ или в форме дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в моделируемой схеме и характеризующие инерционность элемента.

Графические модели позволяют представить компоненты в виде графиков ВАХ или в виде эквивалентных схем замещения.

Табличные модели позволяют представить схему или элемент в виде цифровых таблиц, полученных в ходе экспериментального исследования объекта моделирования и соответствующих графикам экспериментальных ВАХ. Табличные модели используют обычно в том случае; если аналитическую модель построить трудно вследствие сложной зависимости.

Модель полупроводникового диода в программе Multisim имеет следующий вид:

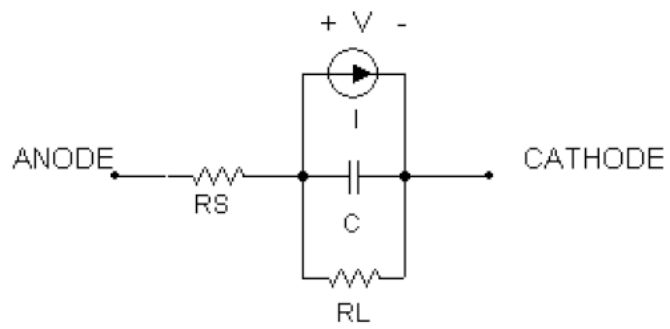


Рисунок 96

Математическая модель (вариант модели PSPICE) диода задаётся параметрами, перечисленными в таблице.

Таблица

| Обозначение | Параметр модели |
|-------------|--|
| IS | Ток насыщения при температуре 27°C |
| RS | Объемное сопротивление |
| N | Коэффициент эмиссии (не идеальности) |
| ISR | Параметр тока рекомбинации |
| NR | Коэффициент эмиссии (не идеальности) для тока ISR |
| IKF | Предельный ток при высоком уровне инжекции |
| TT | Время переноса заряда |
| CJO | Барьерная емкость при нулевом смещении |
| VJ | Контактная разность потенциалов |
| M | Коэффициент плавности p-n перехода (1/2 — для резкого, 1/3 — плавного) |
| EG | Ширина запрещенной зоны |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямо смещённого перехода |
| BV | Обратное напряжение пробоя (положительная величина) |
| IBV | Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (положительная величина) |
| NBV | Коэффициент не идеальности на участке пробоя |
| IBVL | Начальный ток пробоя низкого уровня |
| NBVL | Коэффициент не идеальности на участке пробоя низкого уровня |
| XTI | Температурный коэффициент тока насыщения IS |
| TIKF | Линейный температурный коэффициент IKF |
| TBV1 | Линейный температурный коэффициент BV |
| TBV2 | Квадратичный температурный коэффициент BV |
| TRS1 | Линейный температурный коэффициент RS |
| TRS2 | Квадратичный температурный коэффициент RS |
| KF | Коэффициент фликкер-шума |
| AF | Показатель степени в формуле фликкер-шума |
| RL | Сопротивление утечки перехода |

Параметры модели диода, отвечающие за его частотные свойства, определены как:

| ОБОЗНАЧЕНИЕ | Параметр модели |
|-------------|--|
| TT | Время переноса заряда |
| CJO | Барьерная ёмкость при нулевом смещении |
| VJ | Контактная разность потенциалов |
| M | Коэффициент плавности р-п перехода (1/2 — для резкого, 1/3 — плавного) |
| EG | Ширина запрещённой зоны |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямо смещённого перехода |

ДИОД ВАРИКАП

Полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости барьерной емкости $C_{бар}$ от значения приложенного обратного напряжения называется варикапом. Это позволяет применить варикап в качестве элемента с электрически управляемой емкостью.

Основной характеристикой варикапа является вольтфарадная характеристика - зависимость барьерной емкости от значения приложенного обратного напряжения. Схематическое изображение варикапа и его вольтфарадная характеристика приведены на рисунке 1.

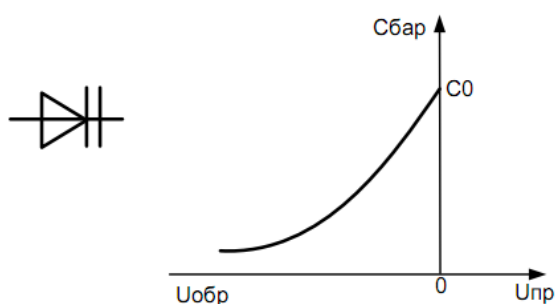


Рисунок 97

В выпускаемых промышленностью варикапах значение емкости может изменяться от единиц до сотен пикофард. Основными параметрами варикапа являются: C_v - емкость, измеренная между выводами варикапа при заданном обратном напряжении; K_c - коэффициент перекрытия по емкости, используемый для оценки зависимости $C_v = f(U_{обр})$ и равный отношению емкостей варикапа при двух заданных значениях обратного

напряжения ($K_c = 2 - 20$). Варикапы применяются в качестве конденсатора с управляемой емкостью. Их делят на построечные и умножительные, или варакторы. Подстроечные варикапы используют для изменения резонансной частоты колебательных систем.

В упражнении определяется вольтфарадная характеристика полупроводникового диода, полученная при экспериментальном исследовании резонансных характеристик параллельного колебательного контура к которому параллельно подсоединён полупроводниковый диод. При изменении управляющего напряжения от источника постоянного тока меняется барьерная ёмкость полупроводникового диода, что вызывает изменение резонансной частоты собственно контура. Фиксируя эти изменения и зная параметры колебательного контура можно рассчитать величину барьерной ёмкости диода, которая вызывает смещение резонансной частоты, и построить вольтфарадную характеристику барьерной компоненты ёмкости диода.

В теории доказывается, что образование р-п перехода связано с возникновением объёмных зарядов Q , создаваемых неподвижными ионизованными атомами примесей. Приложенное к переходу внешнее напряжение изменяет величину объёмного заряда в переходе.

Следовательно, р-п переход ведёт себя как своеобразный плоский конденсатор. Обкладками конденсатора служат проводящие области п и р, а изолятором обеднённый носителями слой объёмного заряда, имеющий большое сопротивление. В зависимости от физической природы изменяющегося заряда различают емкости зарядную (барьерную) и диффузионную.

Особенностью этого конденсатора, отличающей его от обычного, является то, что ёмкость меняется при изменении приложенного напряжения. Действительно, объёмный заряд образуется неподвижными атомами примеси, и любое увеличение его должно быть связано с изменением ширины области, занимаемой объёмным зарядом. Это эквивалентно увеличению расстояния между пластинами обычного конденсатора и уменьшению его ёмкости. Ёмкость резкого перехода получается равной

$$C_b = S \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot q}{2 \cdot \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right)} \cdot \frac{1}{\varphi_{кон} + U}}$$

Выражение определяет так называемую барьерную ёмкость р-п перехода при заданном напряжении на нем. Её существование не связано с протеканием тока через переход, и, за исключением нелинейности, барьерная ёмкость р-п перехода аналогична по свойствам ёмкости обычного конденсатора.

Барьерная ёмкость р-п перехода диода при нулевом напряжении Cb , в параметрах модели эта ёмкость обозначается как CJO.

Барьерная ёмкость связана с напряжением выражением

$$Cb = \frac{Cdiod}{\exp\left(\frac{M \cdot \ln(\varphi_{кон} - Vdiod)}{\varphi_{кон}}\right)}$$

Где $Vdiod$ напряжение на диоде в момент измерения; $Cdiod$ ёмкость диода при напряжении $Vdiod$; $\varphi_{кон}$ контактная разность потенциалов перехода, в параметрах модели этот параметр обозначается как VJ; M показатель степени, который зависит от технологии изготовления диода: если диод сплавной, то переход резкий и $M = 0.5$, если диффузионный, то переход плавный и $M = 0.33$. Для реального диода значения M могут лежать в указанном диапазоне.

Характер зависимости барьерной составляющей емкости диода от приложенного напряжения имеет вид, показанный на рисунке, вольтфарадная характеристика,

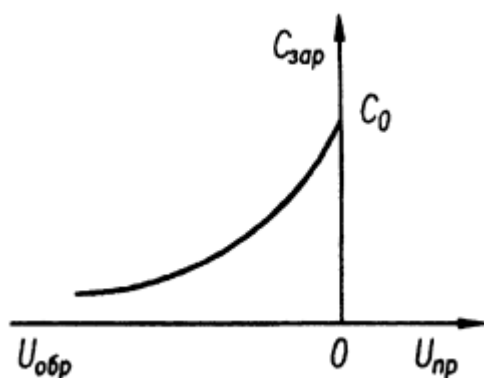


Рисунок 98

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СО СХЕМОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЧХ КОНТУРА В ПРОГРАММЕ MULTISIM

Особенности схемы состоят в том, что прямое подключение диода к колебательному контуру, при управлении от источника V_{var} невозможно. Малое внутреннее сопротивление источника управления резко снизит добротность контура. Поэтому в схему введены два элемента – разделительный конденсатор $C2$ и индуктивность дросселя $L2$. Сопротивление дросселя на высокой частоте устраняет влияние малого сопротивления источника питания на добротность контура.

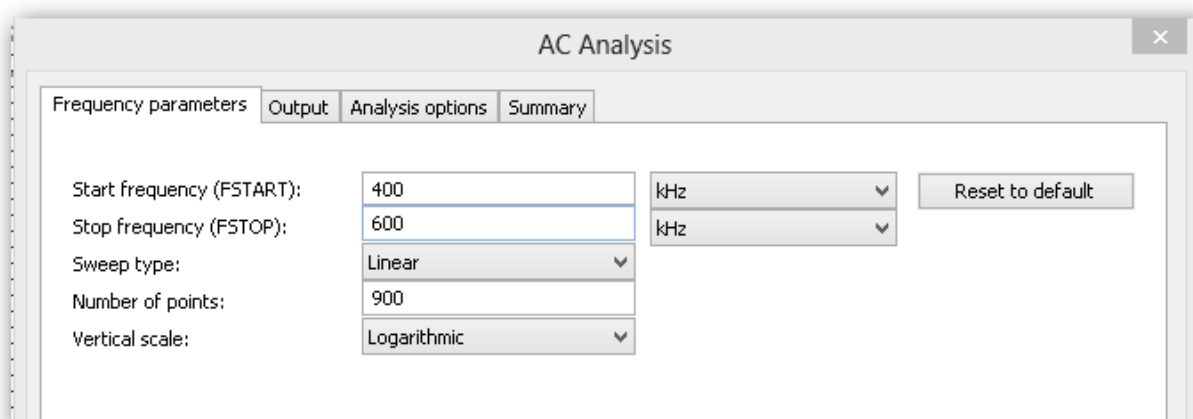


Рисунок 99

При проведении частотного анализа диалоговое окно пределов анализа определяет основные параметры анализа

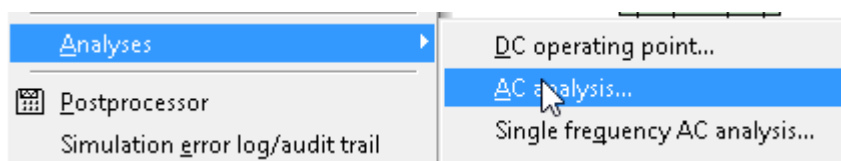


Рисунок 100

Пределы анализа устанавливаются после открытия диалогового окна пределов анализа:

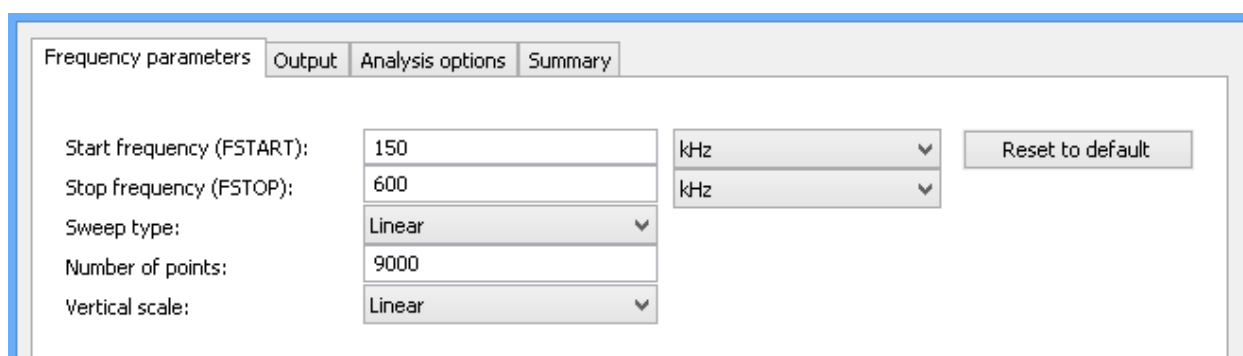


Рисунок 101

и назначения переменных визуализации:

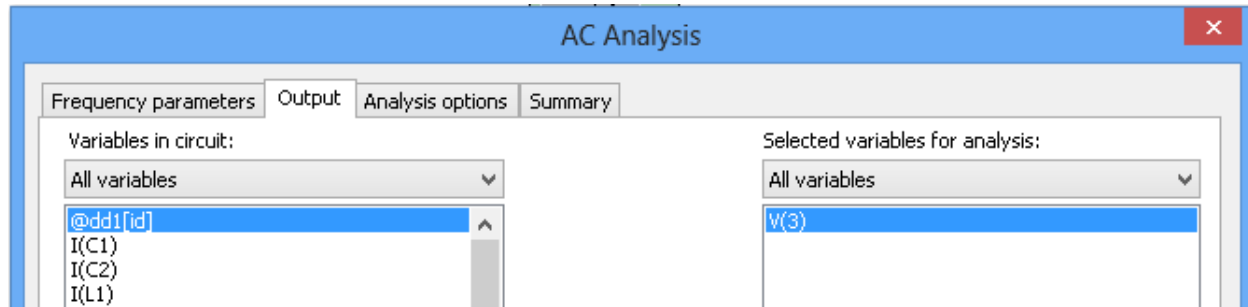


Рисунок 102

Пределы анализа должны быть выбраны так, чтобы резонансная частота контура лежала бы в пределах от FSTART до FSTOP. Вид полученного решения показан ниже на рисунке:

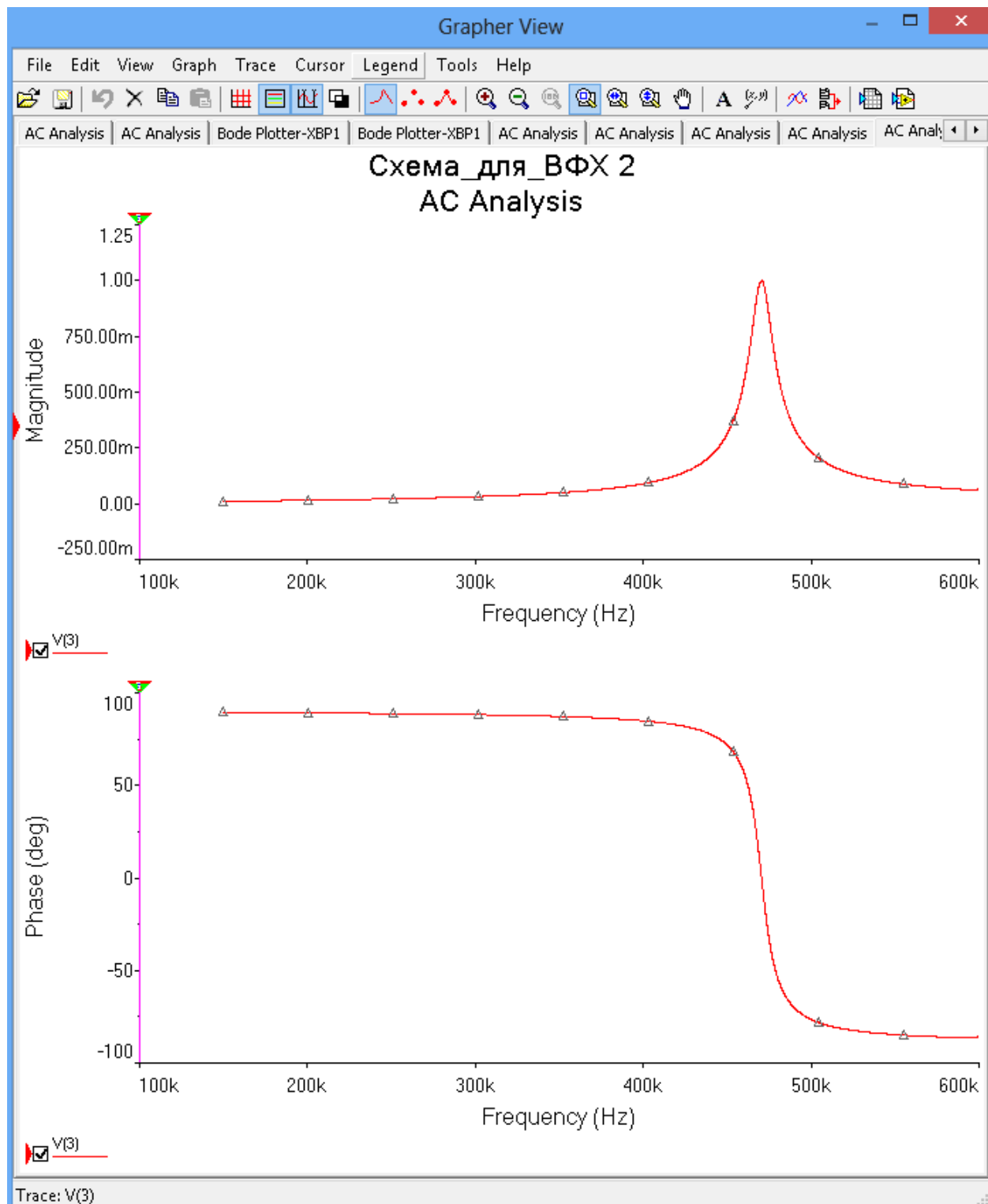


Рисунок 103

Задавая значение напряжения источника управления V_{var} можно получить зависимость резонансной частоты от значения напряжения. Иногда выгодно включить многовариантный режим анализа, используя возможности режима Parameter Sweep...(доступ к режиму возможен либо через меню АС анализа, или за счет нажатия экранной кнопки Stepping:

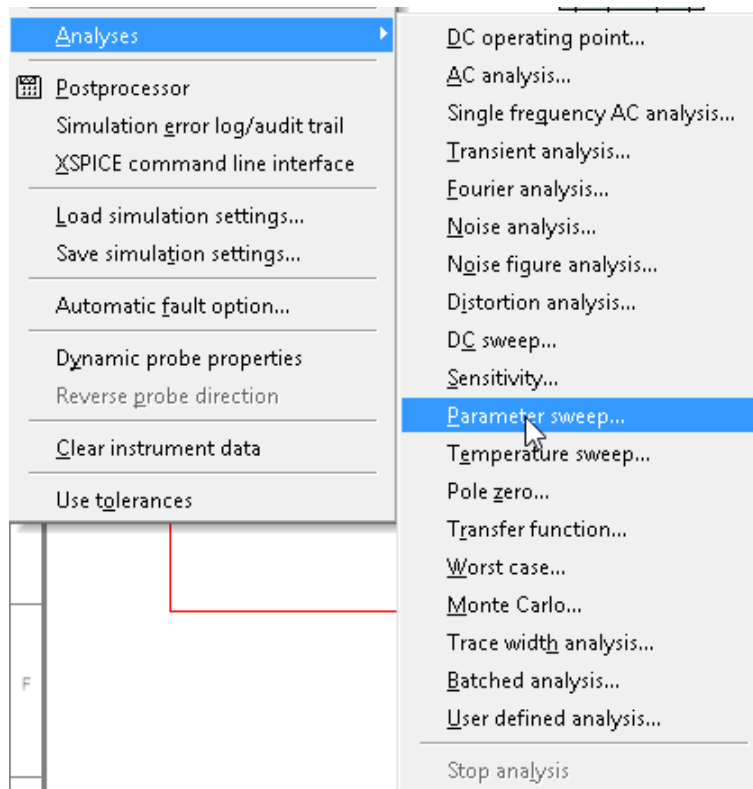


Рисунок 104

В диалоге этого режима задается вид анализа, варьируемые параметры. Здесь же можно отредактировать и параметры основного (в нашем случае – частотного анализа).

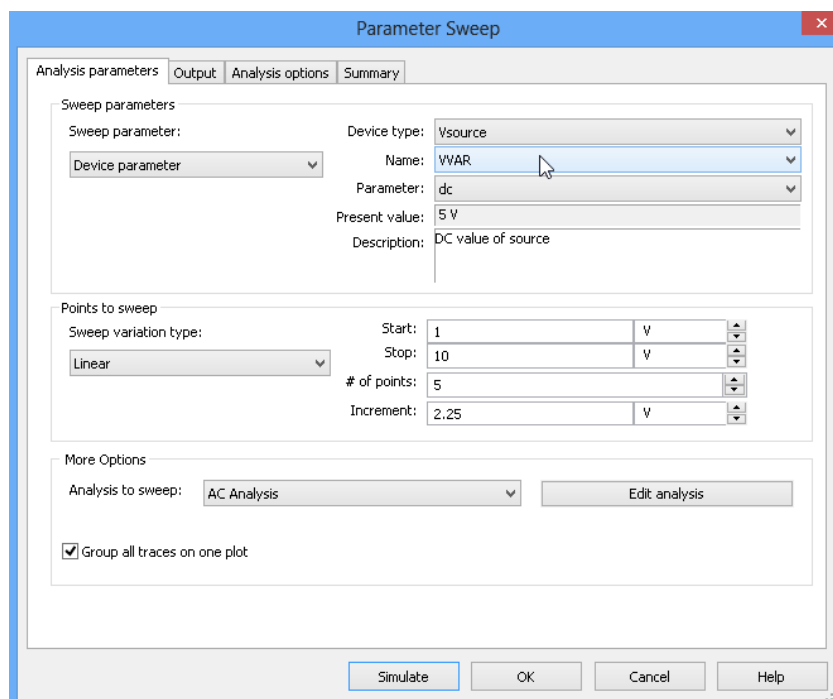


Рисунок 105

Результат виден как некоторое семейство резонансных кривых:

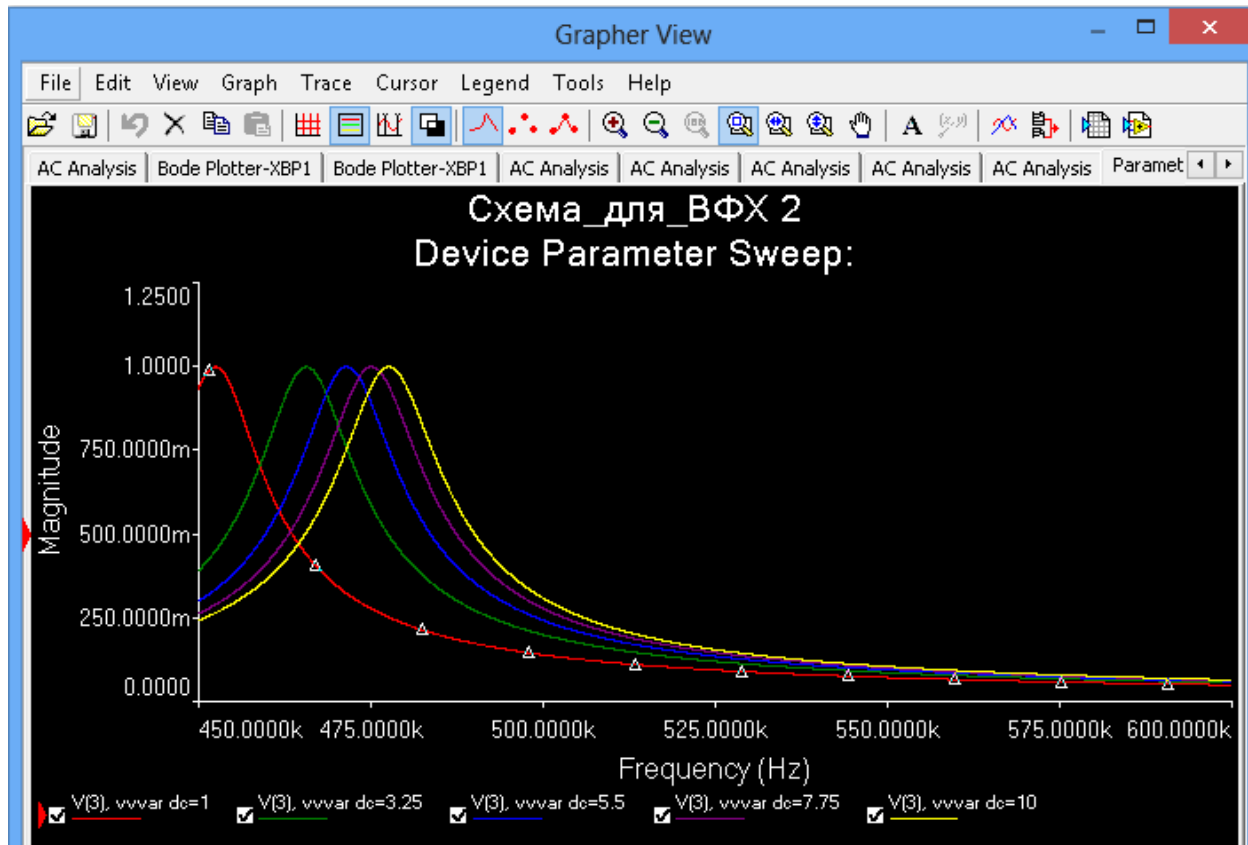


Рисунок 106

В режиме работы с курсорами в нижней части окна видны обозначения кривых (их цвет) и, рядом, значения напряжения V_{var} . Установив курсор в максимум резонансной кривой, можно получить значение резонансной частоты. Имея значения резонансной частоты и значения напряжения смещения можно рассчитать вольтфарадную характеристику.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА МЕТОДОМ ТРЕХ ОРДИНАТ

Уравнение для модели диода с учётом объёмного сопротивления области базы

$$I_d = I_o * (\exp(\frac{U_d - I_d * R_b}{N * F_t}) - 1)$$

Решая это уравнение относительно напряжения (например, используя символьное решение в MathCAD) можно получить выражение относительно напряжения:

$$U_d = I_d * R_b + N * F_t * \ln(\frac{I_d + I_o}{I_o})$$

Для определения трёх неизвестных R_b , $N * F_t$ и I_o следует составить по трём отсчётам статической характеристики и решить систему из трёх нелинейных уравнений. Для упрощения решения при выборе отсчётов $I_d(U_d)$ целесообразно обеспечить неравенство $I_d' \gg I_o$. Это позволит заменить уравнение для напряжения упрощёнными

$$\begin{cases} U_{d1}' = R_b * I_{d1}' + N * F_t * \ln(\frac{I_{d1}'}{I_o}) \\ U_{d2}' = 2 * R_b * I_{d1}' + N * F_t * \ln(\frac{2 * I_{d1}'}{I_o}) \\ U_{d3}' = 4 * R_b * I_{d1}' + N * F_t * \ln(\frac{4 * I_{d1}'}{I_o}) \end{cases}$$

и даст возможность получить решение в виде:

$$\begin{cases} R_b = \frac{(U_{d1}' - 2 * U_{d2}' + U_{d3}')}{I_{d1}'} \\ N * F_t = \frac{(3 * U_{d2}' - 2 * U_{d1}' - U_{d3}')}{\ln(2)} \\ I_o = I_{d1}' * \exp(\frac{-(2 * U_{d2}' - U_{d3}')}{N * F_t}) \end{cases}$$

В рассмотренном примере требуется достаточно точное определение значений U_{di}' , которое не всегда удастся обеспечить. Это требование можно ослабить при выборе для параметра ($N * F_t$) его теоретического значения, зависящего от материала и свойств полупроводника.

$$N * F_t = \frac{kT}{q} = \frac{273 + T^0C}{11608}$$

В этом случае остальные параметры R_b и I_o определяются по двум точкам характеристики I_{d1}' и $2 * I_{d1}'$, что соответствует системе уравнений:

$$\begin{cases} Ud1' = Rb * Id1' + N * Ft * \ln\left(\frac{I1'}{Io}\right) \\ Ud2' = 2 * Rb * Id1' + N * Ft * \ln\left(\frac{2 * I1'}{Io}\right) \end{cases}$$

С решением:

$$\begin{cases} Rb = \frac{(Ud1' - 2 * Ud2' + Ud3')}{Id'} \\ Io = Id1' * \exp\left(\frac{(Ud2' - 2 * Ud1')}{N * Ft}\right) \end{cases}$$

При использовании программы MCAD расчёт параметров модели по трем отсчетам в экспериментальной BAX может быть выполнен в соответствии с текстом программы MCAD показанной ниже.

В программе производится считывание таблицы значений BAX из текстового файла за счёт использования функции READPRN, строится график BAX и рассматривается введённая таблица данных:

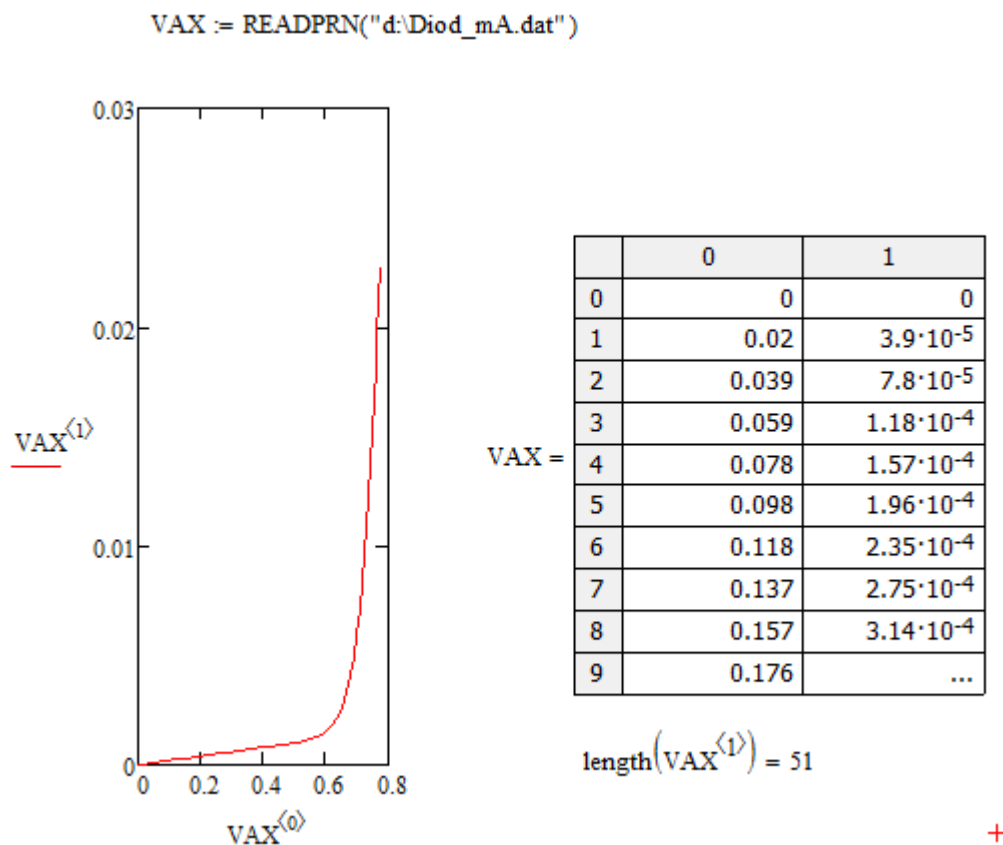


Рисунок 107

Здесь же определяется длина введённой таблицы и показывается возможность обращения к любому элементу таблицы, как к значениям тока, так и значениям напряжения.

$$Id3 := \max(VAX^{(1)})$$

$$Id3 = 0.023$$

Значение индекса максимального тока

$$nMax := \text{match}(Id3, VAX^{(1)})$$

$$nMax = (50)$$

Значение максимального напряжения для максимального тока

$$Ud3 := (VAX^{(0)})_{50} \quad Ud3 = 0.772$$

$$nId1 := \text{match}\left(\frac{Id3}{4}, VAX^{(1)}\right)$$

$$nId2 := \text{match}\left(\frac{Id3}{2}, VAX^{(1)}\right)$$

$$nId1 = \begin{pmatrix} 37 \\ 38 \end{pmatrix}$$

$$nId2 = \begin{pmatrix} 42 \\ 43 \end{pmatrix}$$

Рисунок 108

После чего рассчитываются параметры модели. Плотность данных (число точек) полученных в процессе эксперимента может не удовлетворить расчёт, поэтому может потребоваться интерполяция между узловыми точками графика для определения значений токов в расчёте. Это может быть сделано за счёт построения графика и интерполяции между точками 37 и 38 исходных данных для получения значения $Ud3$ и $Id3$.

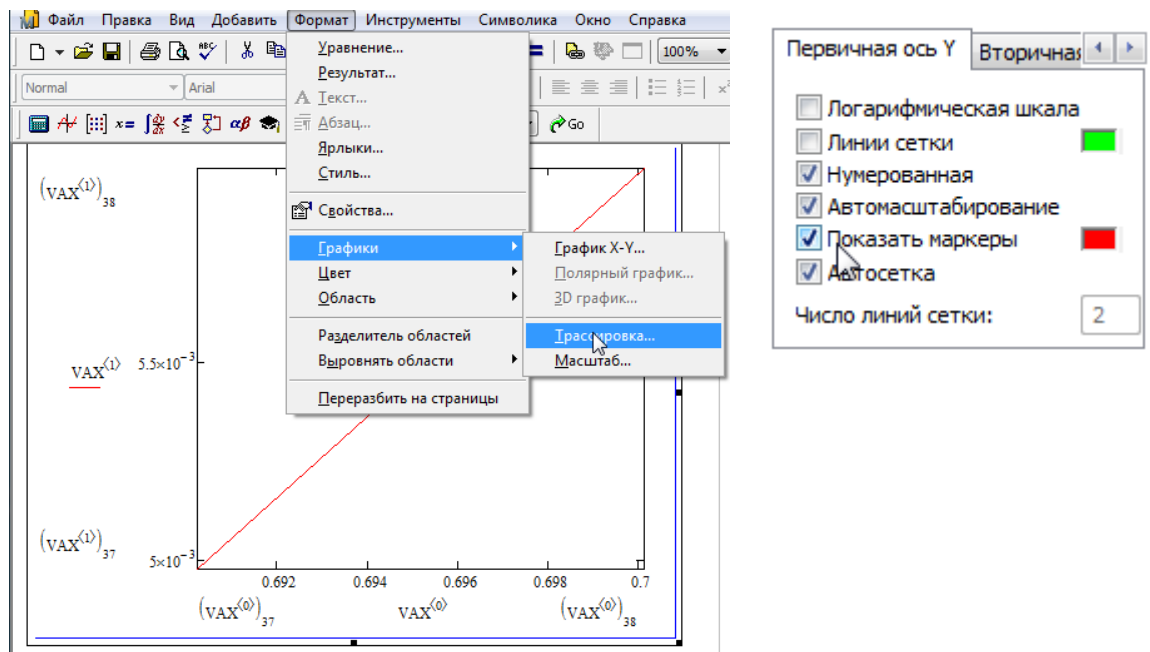


Рисунок 109

Дополнительно можно ввести на график маркеры, то есть линии для значений интересующих токов. Таким образом, можно получить данные по напряжению и току точек:

$$\frac{Id3}{4} = 5.704 \times 10^{-3}$$

вычисленное значение тока Id1

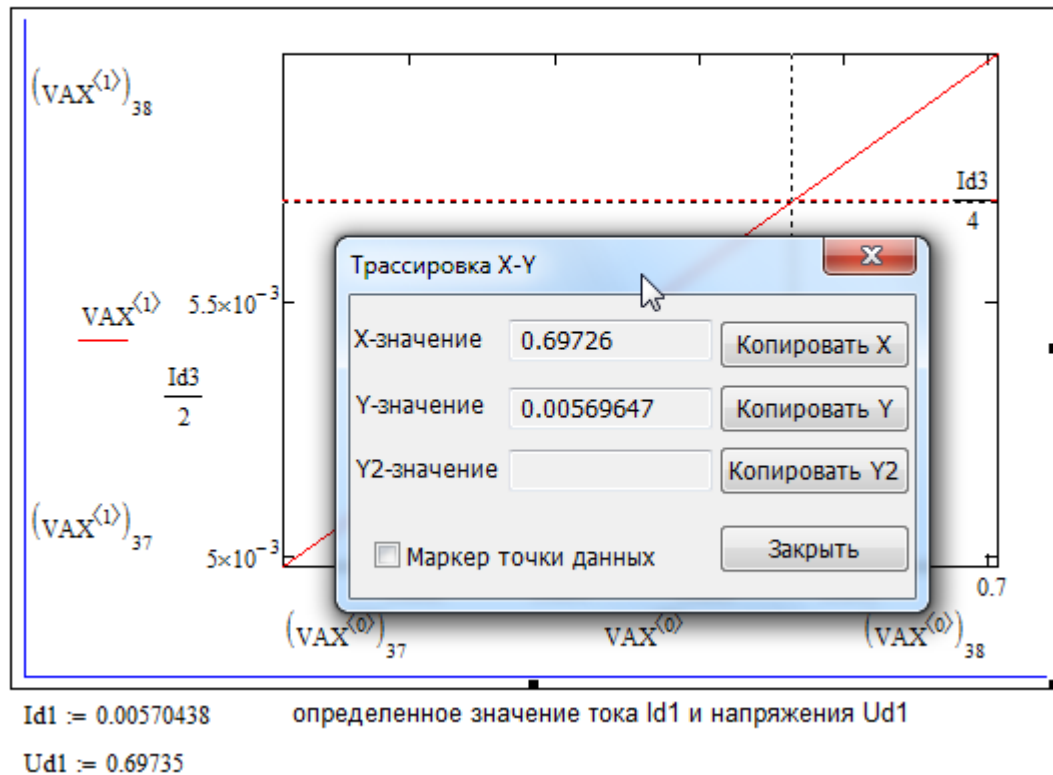


Рисунок 110

Большой интерес представляется вычисление значений интерполированных точек с использованием встроенных функций MCAD.

| | | |
|--|--------------------|------------------------|
| $Ud1 := \text{linterp}(VAX^{(1)}, VAX^{(0)}, \frac{Id3}{4})$ | $Ud1 = 0.697$ | $Id1 := \frac{Id3}{4}$ |
| $Ud2 := \text{linterp}(VAX^{(1)}, VAX^{(0)}, \frac{Id3}{2})$ | $Ud2 = 0.733$ | $Id2 := \frac{Id3}{2}$ |
| $Rb := \frac{(Ud1 - 2 \cdot Ud2 + Ud3)}{Id1}$ | $Rb = 0.414$ | |
| $NFt := \frac{[(3 \cdot Ud2 - 2 \cdot Ud1) - Ud3]}{\ln(2)}$ | $NFt = 0.049$ | |
| $Is0 := Id1 \cdot \exp\left[\frac{-1}{NFt} \cdot (2 \cdot Ud1 - Ud3)\right]$ | $Is0 = 1.572E-008$ | |

Рисунок 111

Полученный результат требует проверки, а поскольку главной целью построения модели является адекватность модели, то проверку можно провести, построив на одном графике ВАХ экспериментальную и ВАХ модельную.

Необходимо только обеспечить равенство масштабов по осям токов и напряжений. Пример проверки показан на рисунке.

$$L_{\text{tab}} := \text{length}(VAX^{(0)}) \quad \min(VAX^{(1)}) = 0 \quad \max(VAX^{(1)}) = 0.023$$

$$\Delta I := \left(\frac{\max(VAX^{(1)}) - \min(VAX^{(1)})}{L_{\text{tab}}} \right) \quad \Delta I = 4.474 \times 10^{-4}$$

$$I := \min(VAX^{(1)}), (\min(VAX^{(1)}) + \Delta I) .. \max(VAX^{(1)})$$

$$Is0 = 1.572 \times 10^{-8}$$

$$Rb = 0.414$$

$$U(I) := I \cdot Rb + \ln \left[\frac{(I + Is0)}{(Is0)} \right] \cdot NFt$$

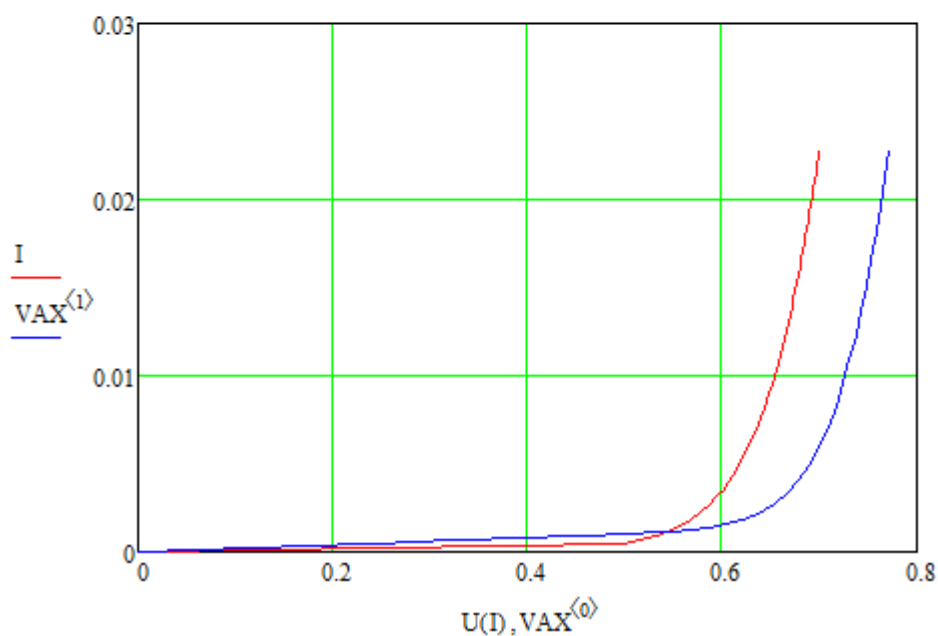


Рисунок 112

При определении тока $Is0$ могут возникнуть трудности в визуализации этого тока. По умолчанию MCAD все значения менее 10^{-15} будет считать нулём. Для отображения меньших значений можно использовать возможности форматирования полученного результата установив нулевой порог отображения числа

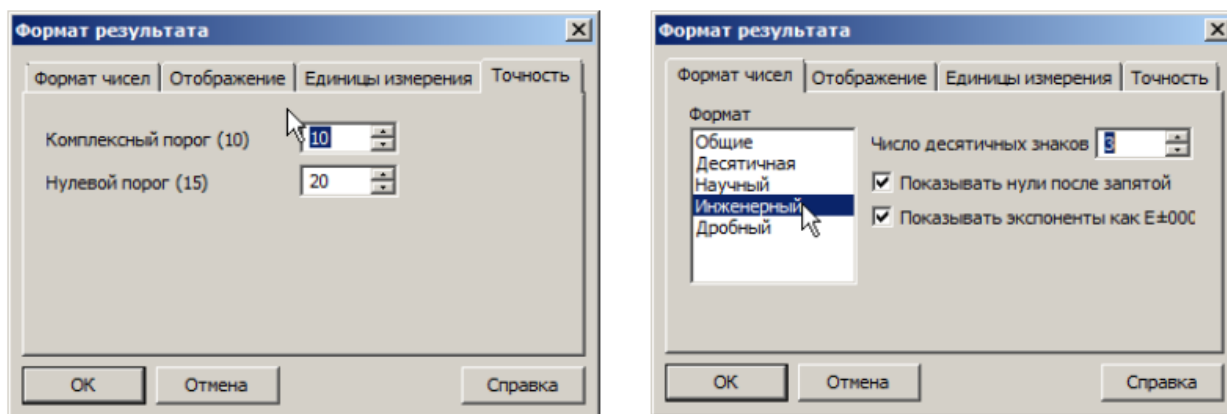


Рисунок 113

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА GIVEN MINERR

Многие уравнения и системы не имеют аналитических решений. Численные решения с заданной точностью (не более значения, заданного системной переменной TOL). При решении системы нелинейных уравнений используют специальный вычислительный блок, открываемый служебным словом – директивой Given и имеющий следующую структуру:

начальные приближения неизвестных переменных
 Given
 Уравнения (знак присвоения между левой и правой частью Ctrl =)
 Ограничительные условия
 Выражения с функциями Find и Minerr

Проверка решения.
 Find(v1,v2,...vn) – возвращает значение одной или ряда переменных для точного решения;
 Minerr(v1,v2,...vn) – возвращает значение одной или ряда переменных для приближенного решения.
 Find используется, когда решение реально существует. Minerr функция пытается найти максимальное приближение даже к несуществующему решению путем минимизации среднеквадратической погрешности решения.

левая часть уравнение вида $F(x)=0$ для модели полупроводникового диода запишется как:

$$IS \cdot \left[\exp \left[\frac{(U_d - I_d \cdot R_b)}{m \cdot F_t} \right] - 1 \right] - I_d$$

Решение $F(x)=0$ для переменной U_d .

$$I_d \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + I_d)}{IS} \right] \cdot m \cdot F_t = U_d,$$

которое получено **Символика- Переменная- Решение:**

$$I_d \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + I_d)}{IS} \right] \cdot m \cdot F_t$$

Построение графика функции:

$$F_t := 0.0255 \quad IS := 10^{-10} \quad R_b := 1 \quad m := 2$$

$$I_d := 0, 10^{-5} \dots 10^{-3} \quad U_d(I_d) := I_d \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + I_d)}{IS} \right] \cdot m \cdot F_t$$

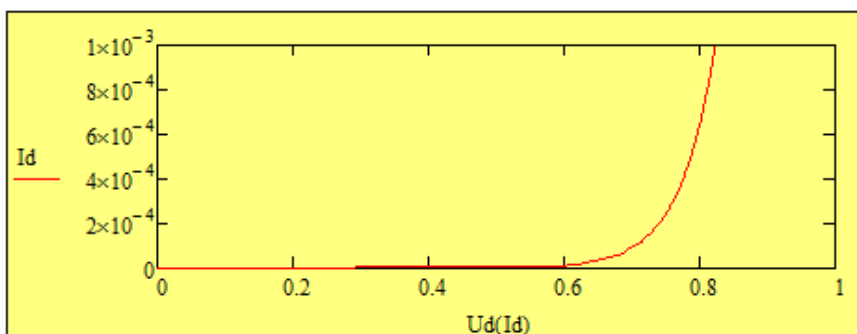


Рисунок 114

На рисунке представлена часть листинга программы по определению параметров модели полупроводникового диода с использованием директив Given Minerr

Собственно, решение системы нелинейных уравнений, показан ниже:

Вычисление ВАХ при заданных параметрах

$$x := 10^{-0} \quad F(x) := x \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + x)}{IS} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$F(x) = 2.174$$

Заданные параметры модели

$$R_b = 1 \quad IS = 1 \times 10^{-10} \quad m = 2$$

$$Ft = 0.026$$

Given открывает блок решения системы

$$0.823 = 10^{-3} \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + 10^{-3})}{IS} \right] \cdot m \cdot Ft$$

первая точка ВАХ, заданная током и напряжением

$$0.949 = 10^{-2} \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + 10^{-2})}{IS} \right] \cdot m \cdot Ft$$

вторая точка ВАХ, заданная током и напряжением

$$1.157 = 10^{-1} \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + 10^{-1})}{IS} \right] \cdot m \cdot Ft$$

третья точка ВАХ, заданная током и напряжением

$$2.174 = 10^{-0} \cdot R_b + \ln \left[\frac{(IS + 10^{-0})}{IS} \right] \cdot m \cdot Ft$$

четвертая точка ВАХ, заданная током и напряжением

Diod_P := Minerr(IS, R_b, m, Ft)

$$\text{Diod_P} = \begin{pmatrix} 1.013 \times 10^{-10} \\ 1 \\ 1.972 \\ 0.026 \end{pmatrix}$$

$$\text{Diod_P}_0 = 1.013 \times 10^{-10} \quad \text{Diod_P}_1 = 1 \quad \text{Diod_P}_2 = 1.972 \quad \text{Diod_P}_3 = 0.026$$

Проверка решения:

$$Id := 10^{-3}$$

$$F(Id) := Id \cdot \text{Diod_P}_1 + \ln \left[\frac{(\text{Diod_P}_0 + Id)}{\text{Diod_P}_0} \right] \cdot \text{Diod_P}_2 \cdot \text{Diod_P}_3$$

$$F(Id) = 0.823$$

Рисунок 115

Важным моментом расчета является процедура проверки полученного решения. Для реализации проверки должен быть построен график, на котором будут

присутствовать две кривые – исходная и модельная ВАХ. На графике, таким образом должны совместиться исходная кривая, представленная матрицей данных и график определенной формулой.

.MODEL KD102A D (IS=21.66P N=1.28 RS=1.79 CJO=3.27P TT=6.12E-9
+ M=0.32 VJ=0.71 FC=0.5 BV=250 IBV=1E-11 EG=1.11 XPI=3)

MCxxin := READPRN("DIOD_F.dat") - данные из MCxx demo, массив данных

| | | | |
|----------|-------------------|-------------------|------------------------|
| | 0 | 1 | 2 |
| MCxxin = | 0 | 0 | 0 |
| 1 | $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ | $2.14 \cdot 10^{-14}$ |
| 2 | $2 \cdot 10^{-5}$ | $2 \cdot 10^{-5}$ | $4.282 \cdot 10^{-14}$ |
| 3 | $3 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ | ... |

$L := \text{length}(MCxxin^{(2)})$ - число точек массива MCxx demo $L = 1.009 \times 10^3$

$\Delta I := \left(\frac{\max(MCxxin^{(2)}) - \min(MCxxin^{(2)})}{L} \right)$ - шаг графика массива MCxx demo
 $\Delta I = 3.231 \times 10^{-5}$

$I := \min(MCxxin^{(2)}), \min(MCxxin^{(2)}) + \Delta I \dots \max(MCxxin^{(2)})$

$R_s := 3 \cdot R_s$

+

$U(I) := I \cdot R_s + \ln\left(\frac{I + I_s}{I_s}\right) \cdot N \cdot F_t$ - модельная характеристика с параметрами модели, полученными в процессе расчета по исходным данным MCxx

Рисунок 116

При правильном расчете модельных параметров эти кривые должны совпасть с требуемой точностью:

Совместный график, по данным тсххdemo и расчетом в MathCad

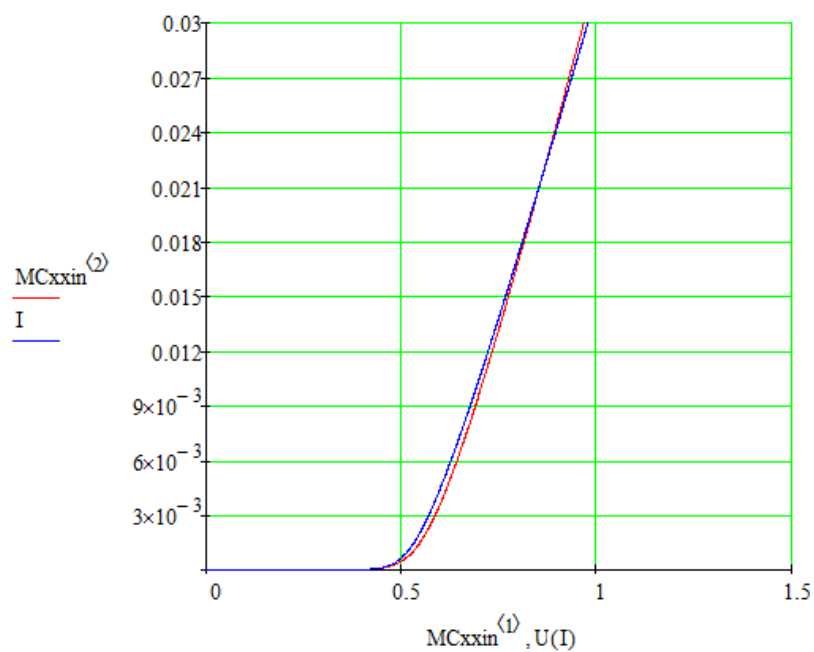


Рисунок 117

ЛИТЕРАТУРА. ОСНОВНАЯ.

1. Загидуллин Р.Ш. Лабораторный практикум по курсам «Дополнительные главы Информатики», «Основы Электроники». Часть 1. 1 Введение в работу с программой MathCAD. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. – 73 с. ил
2. Марченко А. Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов/А. Л. Марченко. — М.: ДМК Пресс. 2008. — 296 с. ил. Табл. 25. Ил. 252. Библиогр. 26 назв. ISBN 978-5-94074-432-0
1. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. - Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. -617 с, ил.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2-х томах. Пер. с англ.-М.: Мир, 1983. - т. 1. 598 с: ил.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2-х томах. Пер. с англ.-М.: Мир, 1983. -т.2. 590 с: ил.
4. Гурский Д. А. Турбина Е. С. Вычисления в Mathcad 12. — СПб.: Питер. 2006. — 544 с.: ил. ISBN 5-469-00639-6
5. Хернитер Марк К. Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) / Пер. с англ. Осипов А.И. - М.; Издательский дом ДМК-пресс, 2006. 488 с: ил..

ЛИТЕРАТУРА. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

6. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и PSpICE для схемотехнического моделирования на ПЭВМ, В 4 выпусках. - М.: Радио и связь, 1992год.
7. MATHCAD 6.0 PLUS Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows-95. Перевод с англ. - М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1996. -712 с.