

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. Полупроводниковые диоды

Электронное учебное издание

Полупроводниковые диоды

*Методические указания к выполнению лабораторного практикума по
дисциплине «Основы электроники»*

Часть 2 Исследование полупроводниковых диодов 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, 2016. 60 с.

Электронное учебное издание

Загидуллин Равиль Шамильевич

Лабораторный практикум по курсу «Основы электроники».
Полупроводниковые диоды ч.2

© 2014 МГТУ имени Н.Э. Баумана

СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ

ВАХ — вольтамперная характеристика;

ГТИ — генератор тактовых импульсов;

MSxx — программная среда NI Multisim 10 или 12 версии;

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

Оглавление

СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА:.....	6
ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Внесение в базу данных программы Multisim своего варианта диода.....	8
ЭКСПЕРИМЕНТ 2 Исследование ВАХ полупроводникового диода с использованием двух мультиметров.....	8
ЭКСПЕРИМЕНТ 3. Исследование ВАХ полупроводникового диода с использованием осциллографа и генератора.....	10
ЭКСПЕРИМЕНТ 4. Исследование ВАХ полупроводникового диода с использованием прибора IV analyzer.....	12
ЭКСПЕРИМЕНТ 5. Исследование вольтфарадной характеристики полупроводникового диода.....	14
ЭКСПЕРИМЕНТ 6. Включение модели полупроводникового диода в базу данных программы Multisim.....	21
ЭКСПЕРИМЕНТ 7. Исследование вольтфарадной характеристики полупроводникового диода с использованием прибора BODE PLOTTER.....	29
ЭКСПЕРИМЕНТ 8. Создание модели диода в подпрограмме MODEL.....	33

Приложения

1. Базы данных в программе Multisim.....	42
2. Управление базами данных в программе Multisim.....	44
3. Создание модели диода в Multisim с использованием Model maker.....	46
4. Осциллограф в Multisim.....	48
5. Требования к оформлению отчета.....	52
ЛИТЕРАТУРА.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержит описания лабораторных практикумов по курсу Основы Электроники. Лабораторный практикум направлен на изучение процессов в полупроводниковых устройствах, схемотехнических решений на их основе и освоение современных компьютерных технологий. Разработка современной радиоэлектронной аппаратуры, внедрение ее в производство и сопровождение выпуска изделия требует не только современных программных средств моделирования и автоматизированного проектирования, но и навыков использования автоматизированных систем сбора и обработки данных, управления научным экспериментом. Предполагается, что пользователи знакомы с теоретическими положениями, относящимися к материалу лабораторных работ.

Контрольные мероприятия – предварительный контроль и контроль при защите после проведения лабораторных работ, осуществляется на интернет ресурсе http://e-learning.bmstu.ru/portal_rk6/ - среда MOODLE. Там же находятся и тестовые задания и хранятся результаты контрольных мероприятий.

ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА:

Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевого полупроводниковых диодов с целью определение по ним параметров модели полупроводниковых диодов, размещения моделей в базе данных программ схемотехнического анализа. Приобрести навыки в использовании базовых возможностей программ схемотехнического анализа, на примере программы Multisim, для исследования статических и динамических характеристик полупроводниковых диодов с последующим расчетом параметров модели полупроводникового диода. Приобретение навыков расчета моделей полупроводниковых приборов по данным, полученным в экспериментальных исследованиях и включение модели в базу компонентов

ЭКСПЕРИМЕНТ 1

1. Внести в пользовательскую базу данных программы MULTISIM (стр. 21) полупроводниковый диод в соответствии с вариантом.

***Примечание:** Номер варианта задания определяется номером студента в списке группы и номером группы:*

- для группы 1 номер варианта задания (номер диода в файле библиотеки **Rusd.Lib**) совпадает с номером студента в списке группы (номера диодов считать самостоятельно), для группы 2 номер варианта задания (номер диода в файле библиотеки **Rusd.Lib**) определяется как (номер студента в списке группы) +16, для группы 3 номер варианта (номер диода в файле библиотеки **Rusd.Lib**) определяется как номер студента в списке группы +30. Если библиотека заканчивается, продолжение в библиотеке **SovDiod.lib**. Для группы 4 номер варианта задания определяется номером диода в библиотеке **SovDiod.lib**, для группы 5 - (номер студента в списке группы) +15, для группы 6 - (номер студента в списке группы) +25. Если библиотека заканчивается, продолжение в библиотеке **Rusd.Lib**.
- Библиотеки диодов находятся в архиве отечественных полупроводниковых приборов/Первая лабораторная работа/Модуль 1/Основы электроники ИУ-7/e-learning.bmstu.ru/rk6. Прочитать архивы можно любым текстовым редактором.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИМЕТРОВ

1. Для заданного варианта диода собрать стенд моделирования, показанный на рисунке 2.1 и снять таблицу измерений для тока через диод и напряжения на диоде. Мультиметр ХММ2 покажет ток через диод, а Мультиметр ХММ1 - напряжение на диоде $U_{пр}$ при прямом смещении. Мультиметры искать в Simulate/Instruments или в правой вертикальной панели. Для получения обратной ветви ВАХ необходимо перевернуть диод и снова запустить схему

на решение (клавиша F5 или кнопка запуска на панели инструментов).

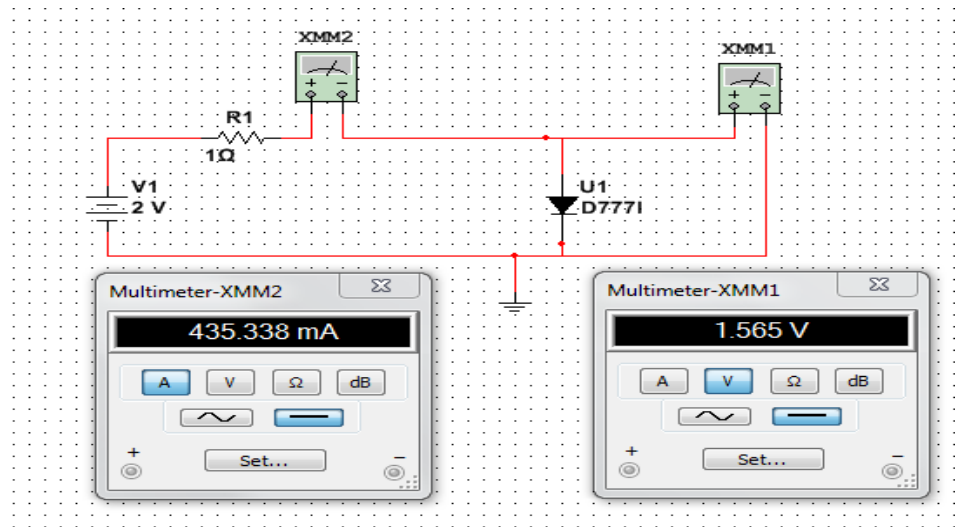


Рисунок 2-1

2. По результатам измерения построить и представить в отчете графики для прямой и обратной ветви ВАХ своего варианта диода и сохранить результаты измерений в файле, указав путь (крайняя правая пиктограмма в Grapher View).

Проведение анализа по постоянному току (Simulate -> Analyses -> DC Sweep, Analyses parameters, Output): - в качестве варьлируемого параметра выбираем напряжение источника V1 с диапазоном изменений 0...2 В и шагом 0.1В для прямой ветви и 0 – 10 В для обратной.

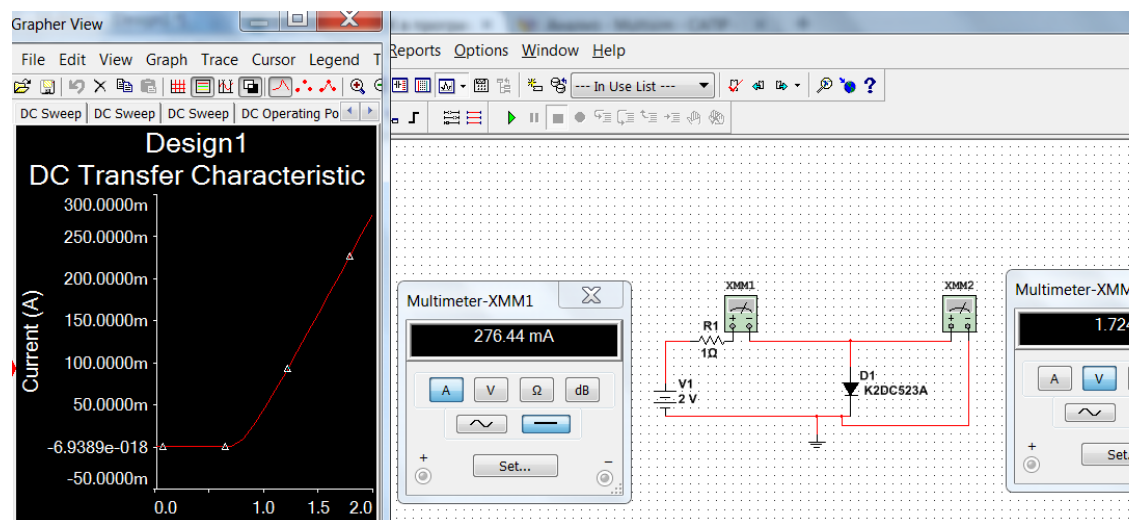


Рис. 2-2 Результат построения прямой ВАХ



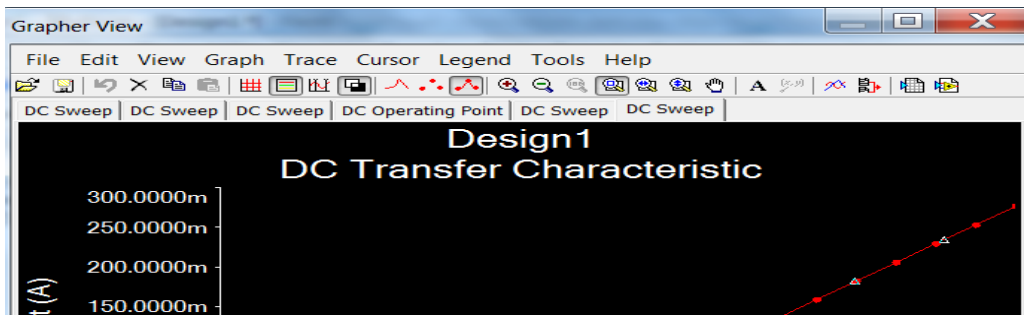


Рис. 2-3 Интерфейс Grapher View.

ЭКСПЕРИМЕНТ 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛОГРАФА И ГЕНЕРАТОРА

Осциллограф (приложение 4 стр. 42), как прибор с очень высоким входным сопротивлением более 10Мом, прекрасно подходит для любых измерений.

1. Смоделировать схему, представленную на рисунке 3.

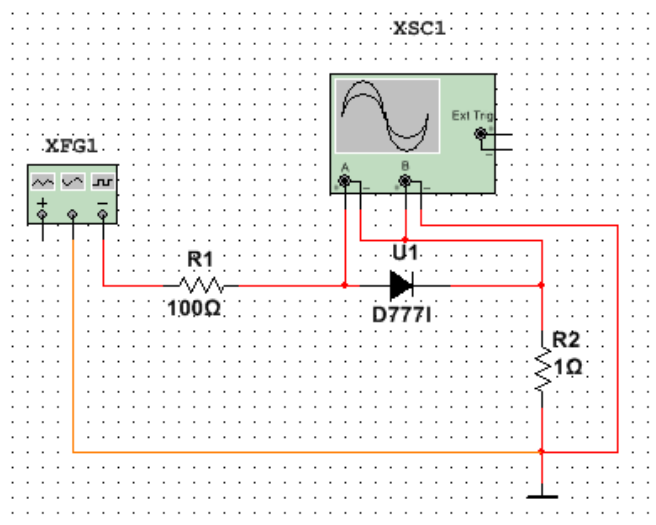


Рисунок 3-1

При таком подключении координата точки по горизонтальной оси осциллографа будет пропорциональна напряжению, а по вертикальной — току через диод. Настройка приборов для выполнения эксперимента показана на рис. 3-2.

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 в mA, а напряжение (канал А) по горизонтальной в mV.

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.

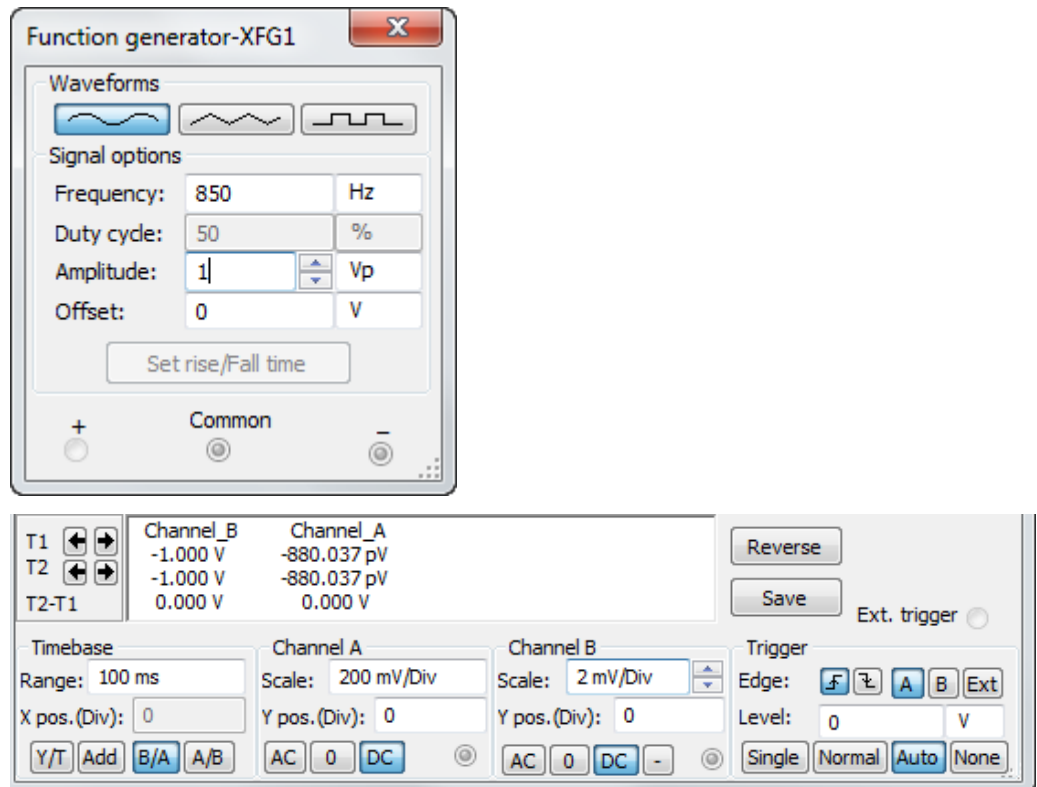


Рисунок 3-2

2. Получив кривую ВАХ на экране осциллографа,

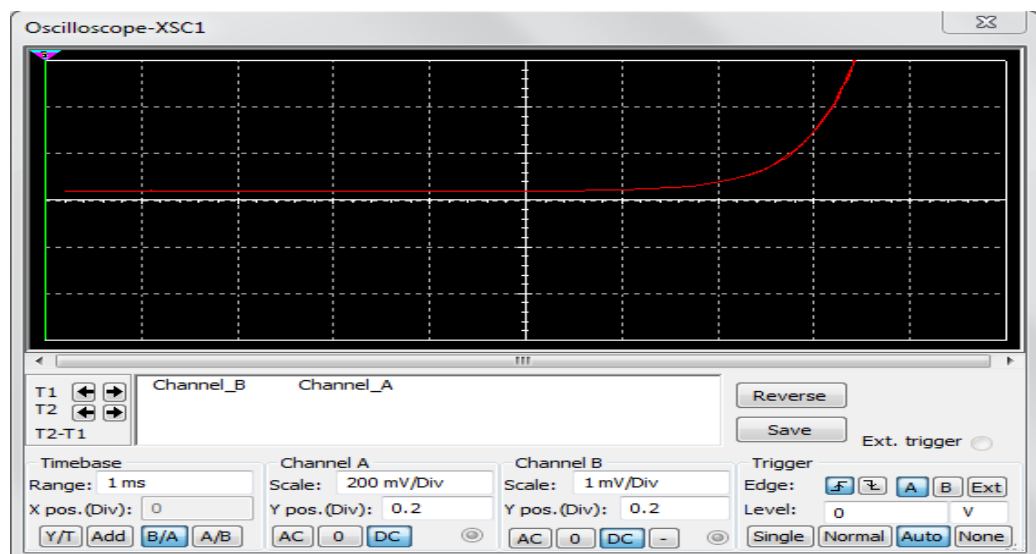


Рис.3-3

запустить Grapher View, используя кнопку Grapher на панели инструментов,



Рис.3-4

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

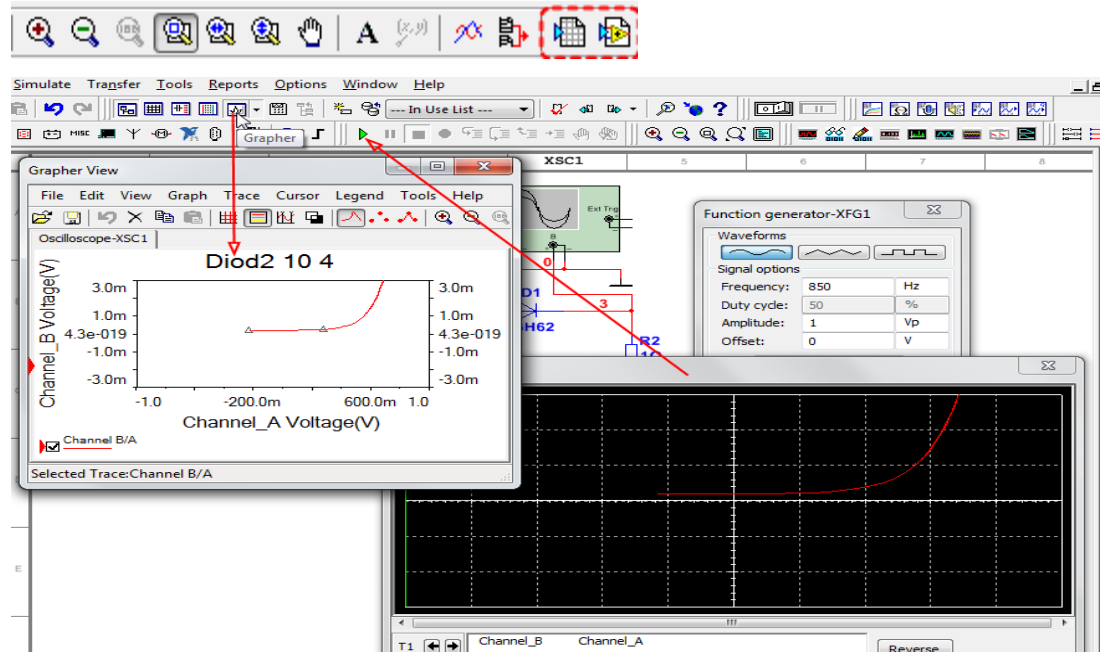


Рисунок 3-5

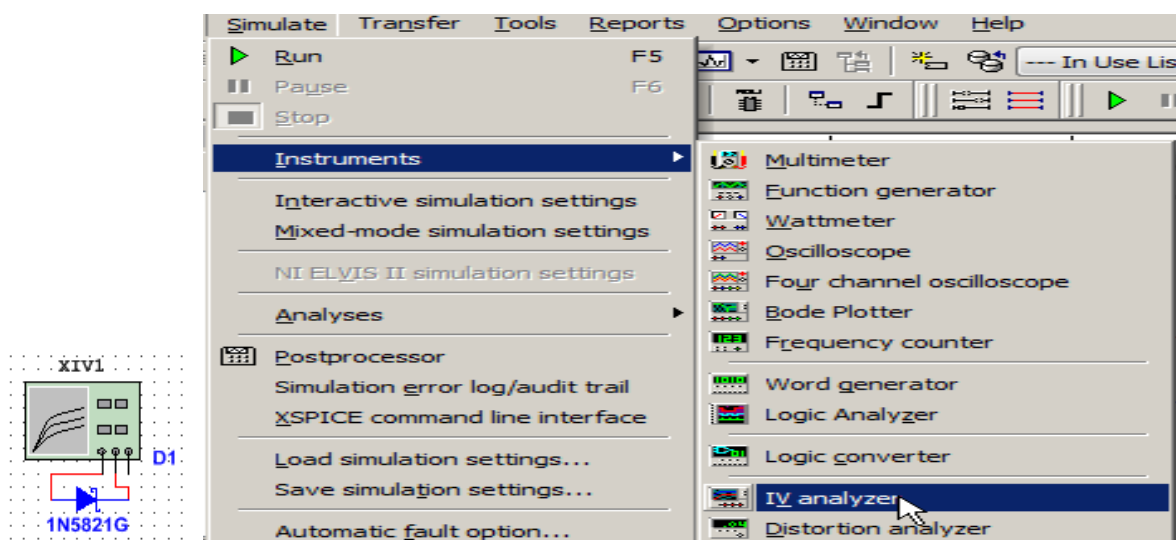
3. Использовать этот файл для передачи данных в *MathCAD*. Построить BAX в программе MCAD и рассчитать параметры модели (I_S , F_t) методом Given Minerr.
4. Сравнить две BAX в программе *MathCAD*.

ЭКСПЕРИМЕНТ 4

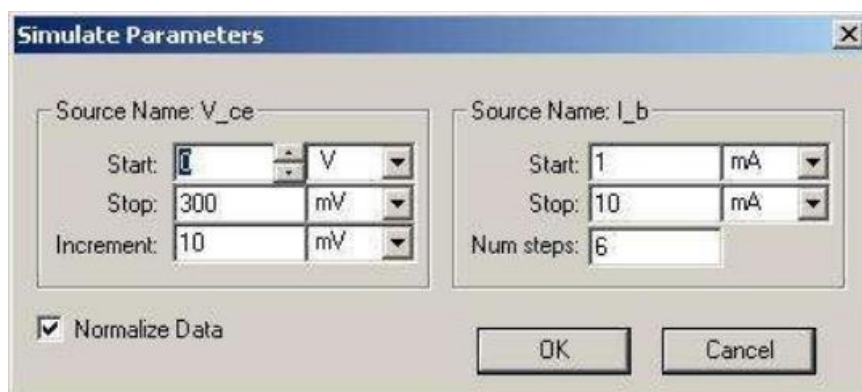
ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА IV ANALYZER

1. Получить ВАХ своего варианта диода в программе Multisim с применением виртуального прибора **IV analyzer**, используемого для снятия ВАХ p-n-переходов, диодов, транзисторов.

Настройка виртуального прибора IV analyzer в схеме осуществляется через пункт меню:



Настройка диапазона измерения в правой части экрана. В полях Current range или Voltage Range в линейном Lin или логарифмическом Log масштабе указываются начальные **I** или конечные **F** значения тока или напряжения. Кнопка Sim_Param вызывает диалоговое окно, в котором задаются начальные Start и конечные Stop значения параметров исследуемого прибора. Номенклатура этих параметров меняется в зависимости от типа прибора с определенной дискретностью (Increment), диапазоном изменения тока и количеством графиков NumSteps.



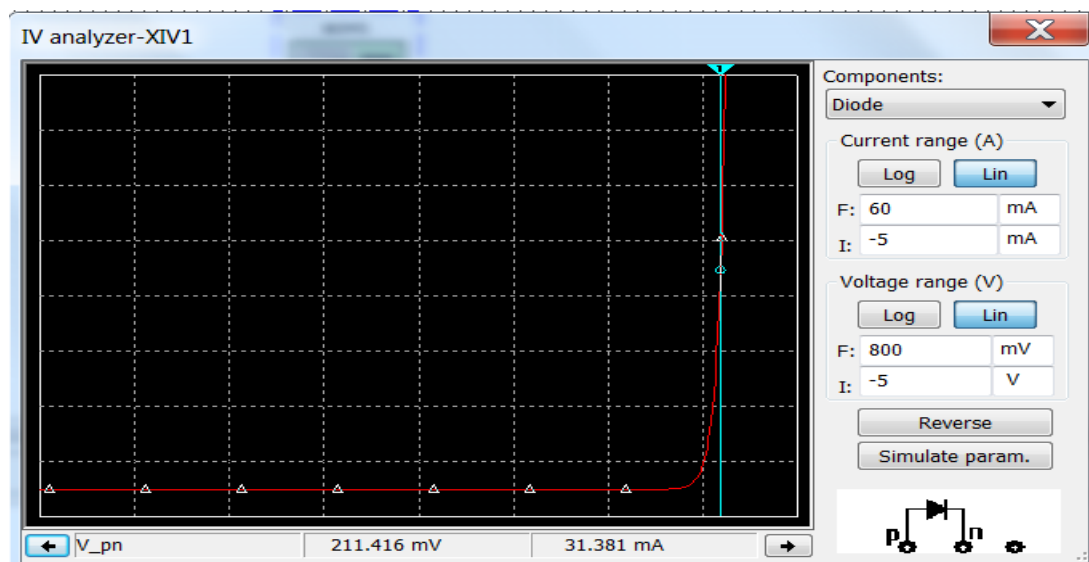
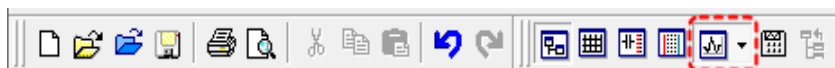


Рис. ВАХ арсенид-галлиевого диода 1N5821. Контрольные точки – ПКМ на линию (show select marks on trace)

2. Запустить Grapher View, используя кнопку Grapher на панели инструментов,

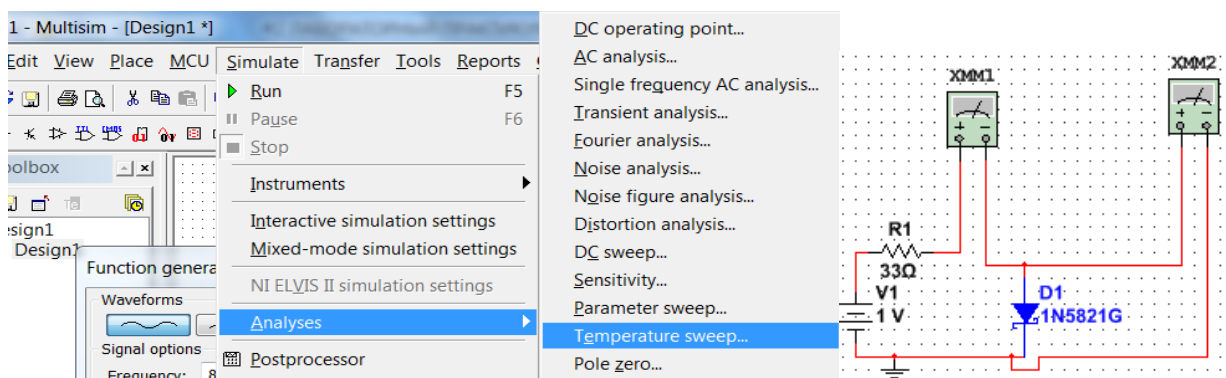


в окне Grapher View сформировать выходной текстовый файл с данными расчёта.



3. Исследовать ВАХ в диапазоне температур - 30 – 70 град. Цельсия.

С помощью **Simulate/Analysis** можно дополнительно провести другие виды анализа: спектральный анализ (Fourier), (Monte Carlo), анализ спектра внутренних шумов (Noise), расчет нелинейных искажений (Distortion), **анализ влияния изменения температуры на характеристики устройства (Temperature sweep)**.



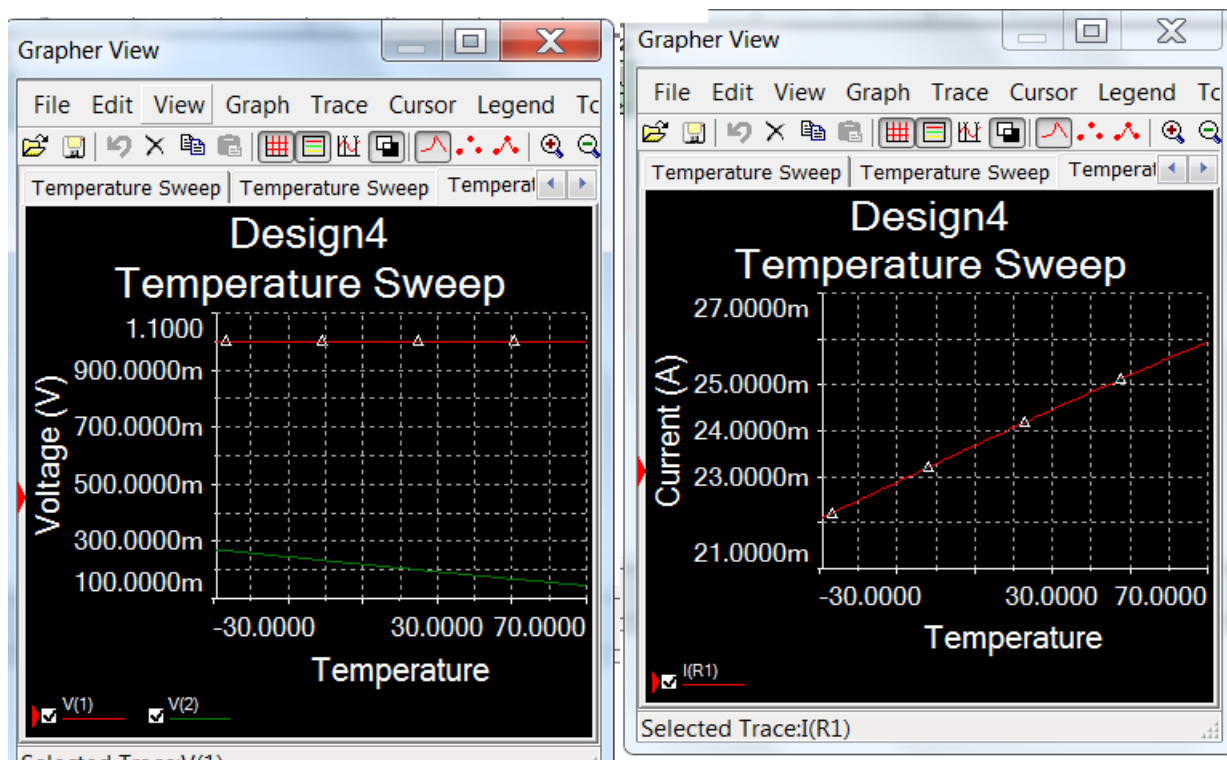
Настраиваем: Simulate/ Analyses/ Temperature sweep.

Устанавливаем температуру от -30 до 70 град., изменение – линейно, тип анализа – DC Operation Point (более подходящего нет) → требуется установить рабочую точку диода.

Для указанного выше диода выбираем $I = 24 \text{ mA}$, $U = 196 \text{ mV}$ (точка на графике IV analyser). Рассчитываем сопротивление для обеспечения такого режима при источнике 1В: $R = (U_{\text{ист}} - U_{\text{д}}) / I_{\text{д}} = 33,5 \text{ Ом}$. Схема представлена на рисунке.

Для правильного выполнения этого пункта задания нужно выбрать рабочую точку своего диода на графике ВАХ, снятом IV analyzer, и рассчитать величину сопротивления R_1 , которое обеспечит работу диода в выбранной рабочей точке с источником 1 В.

Запускаем (simulate), получаем а) зависимость V_1 , V_2 – напряжения на источнике и диоде от температуры в выбранной рабочей точке б) зависимость тока $I(R_1)$, равного току диода, от температуры. Видно, что напряжение на диоде упало с 260 до 140 мВ, ток диода увеличился с 22 до 26 мА при изменении температуры от -30 до 70 град. Цельсия.



4. По отдельному заданию. Использовать файл п.2 для передачи данных в MathCAD. Построить ВАХ в программе MCAD и рассчитать параметры модели (I_S , F_t) методом Given Minerr.
5. Сравнить две ВАХ (исходную и модельную) в программе MathCAD.

ЭКСПЕРИМЕНТ 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

1. Используя схему параллельного колебательного контура с подключенным к контуру полупроводниковым диодом в качестве переменной емкости (рис. 5-1), построить зависимость резонансной частоты от напряжения

управления и передать данные в программу MathCAD. По этим данным построить вольтфарадную характеристику полупроводникового диода.

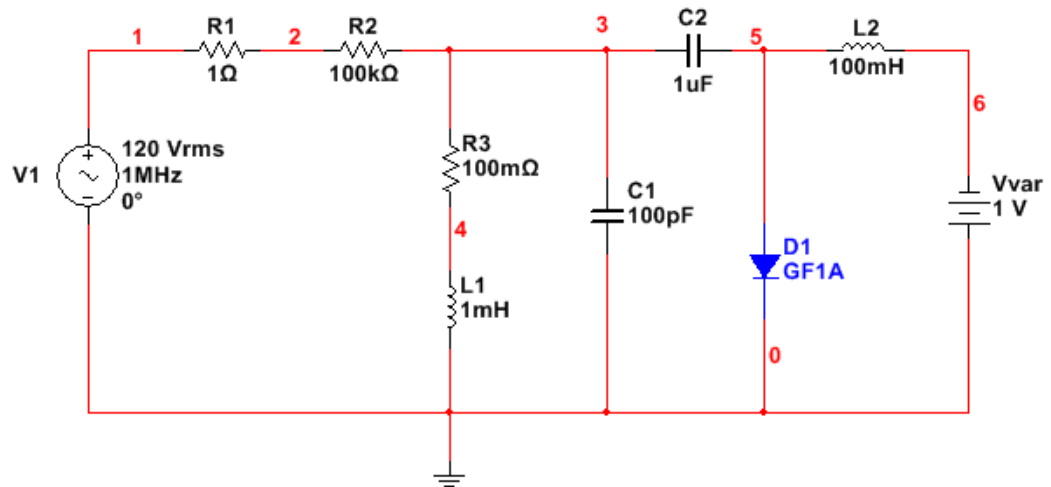


Рисунок 5-1

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.
3. Сформировать полную модель диода (с учетом ранее полученных результатов по статическим характеристикам) для отдельного размещения результатов в базе данных (файл с расширением .lib).

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СО СХЕМОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЧХ КОНТУРА В ПРОГРАММЕ MULTISIM

Прямое подключение диода к колебательному контуру при управлении от источника Vvar 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.

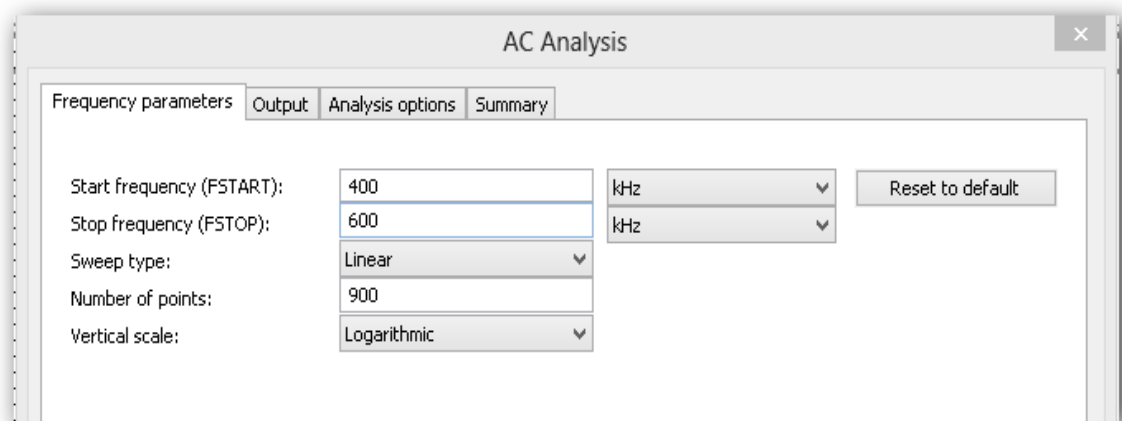


Рисунок 5-2

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

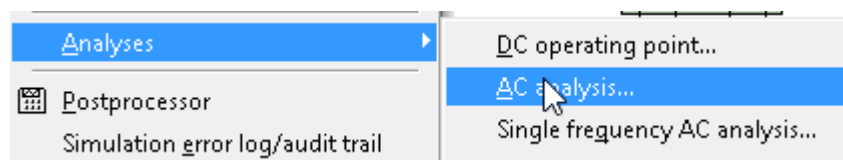


Рисунок 5-3

Пределы анализа устанавливаются после открытия диалогового окна пределов анализа:

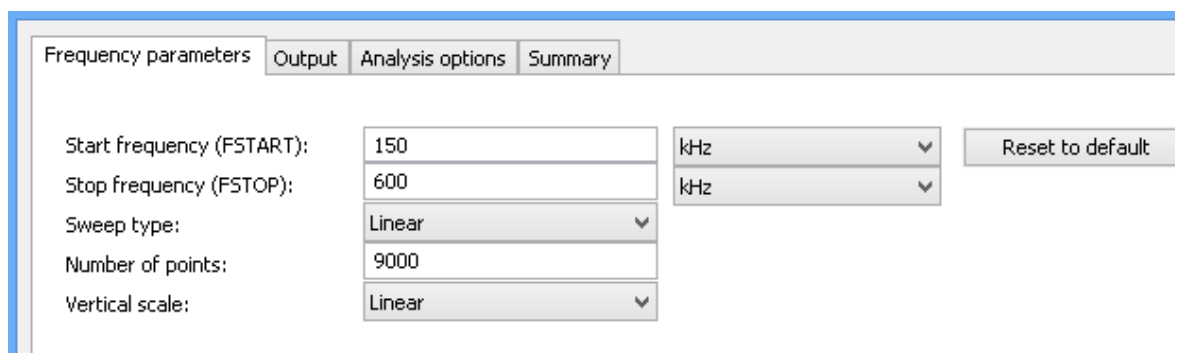


Рисунок 5-4

и назначения переменных визуализации:

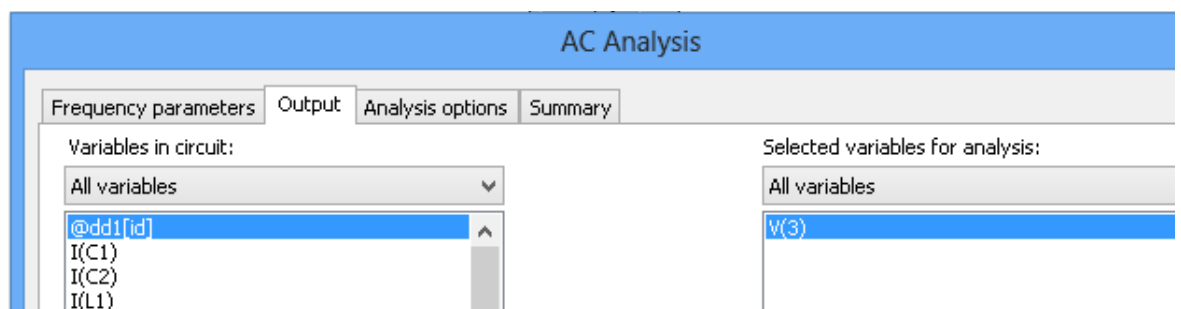


Рисунок 5-5

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:

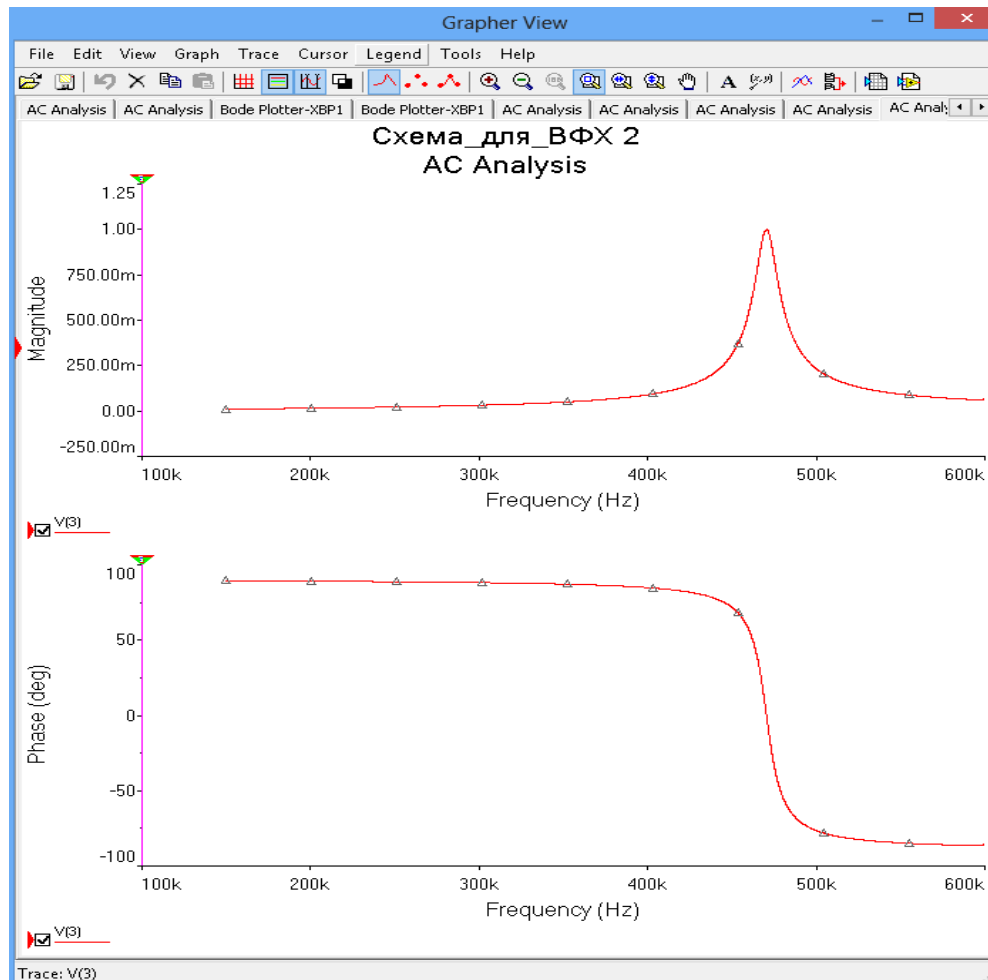


Рисунок 5-6

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 AC анализа, или за счет нажатия экранной кнопки Stepping):

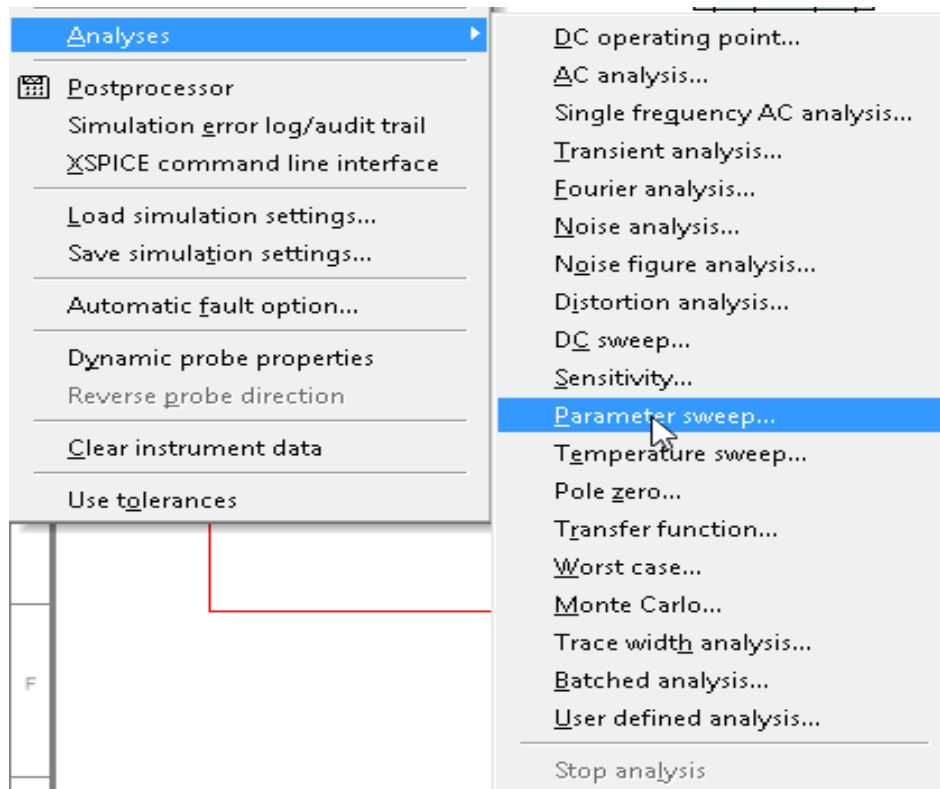


Рисунок 5-7

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

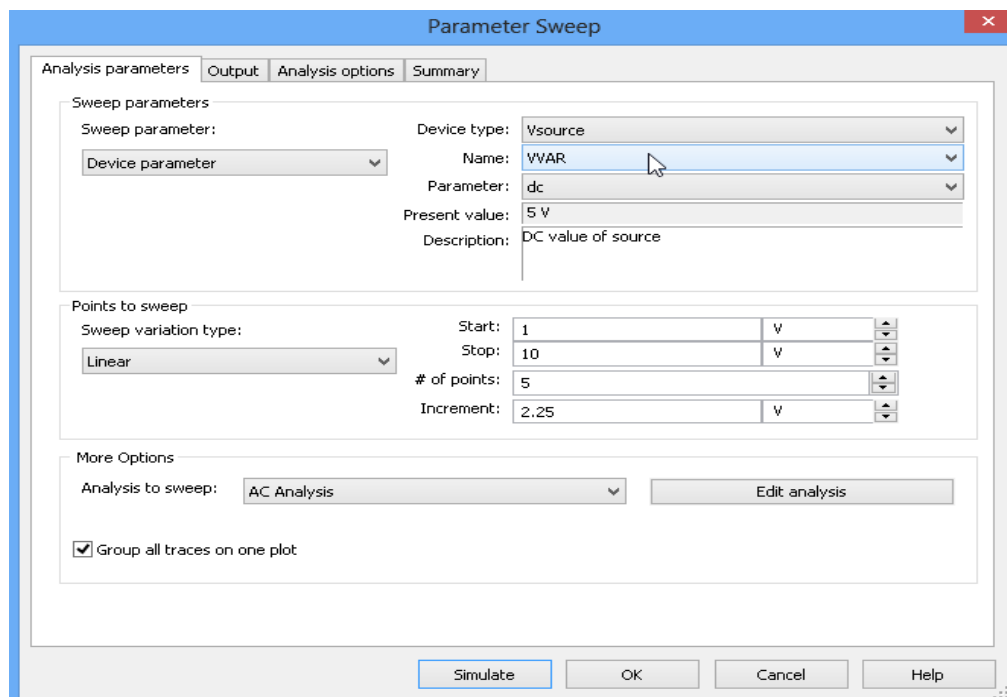


Рисунок 5-8

4. Результат виден как некоторое семейство резонансных кривых:

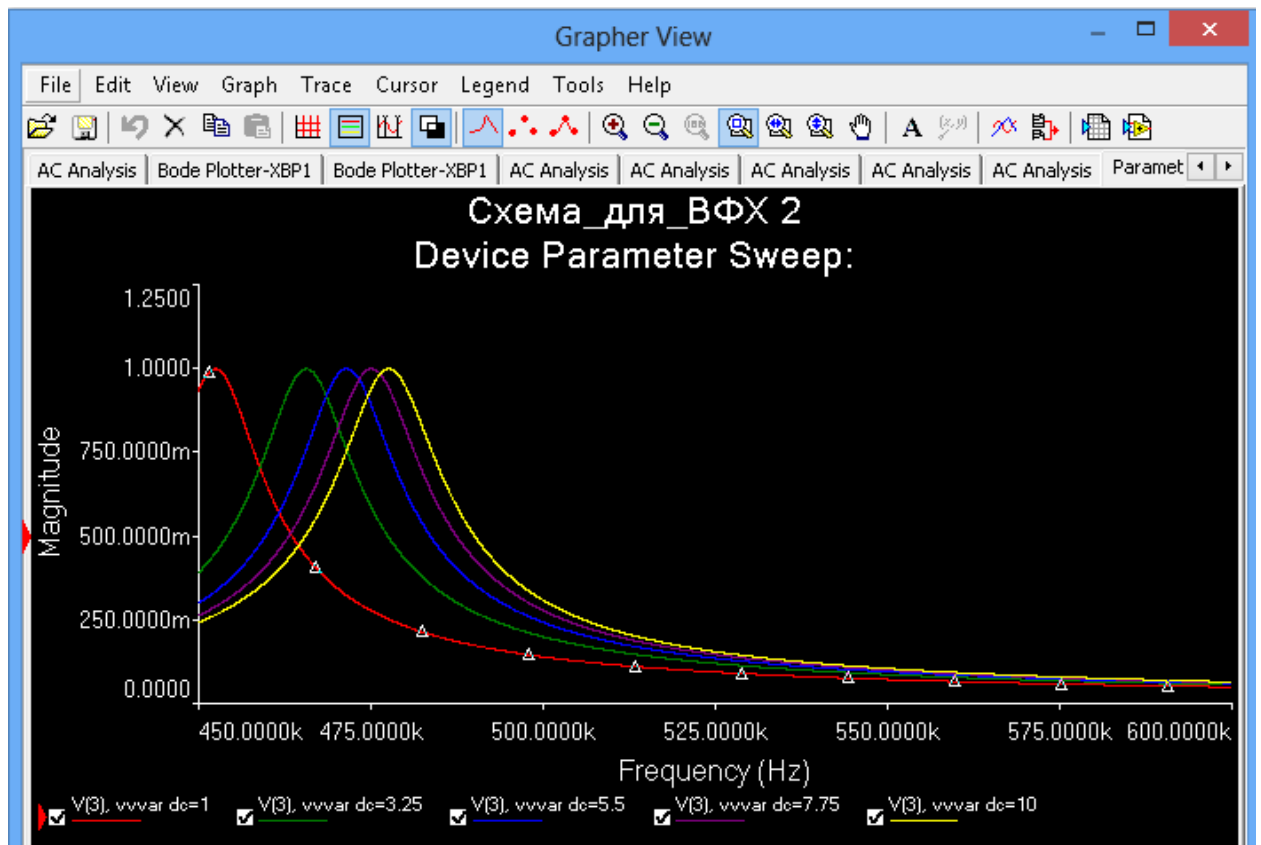


Рисунок 5-9

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 определить значение резонансной частоты. Имея значения резонансной частоты и значения напряжения смещения, можно рассчитать вольтфарадную характеристику.

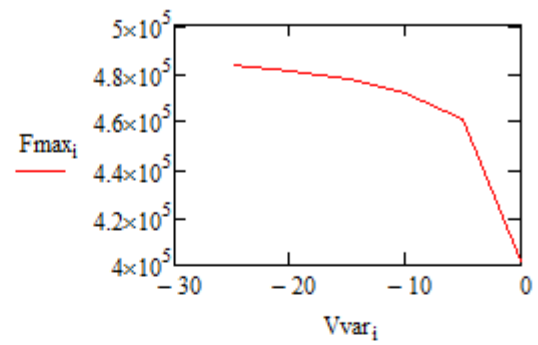
Резонансная частота определяется по формуле Томпсона, из этой формулы можно вычислить значение емкости диода для напряжения управления и построить вольтфарадную характеристику. Вид фрагмента программы *MathCAD* показан ниже на рисунке:

$i := 0..5$
 $F_{\max_i} :=$

401560
460612
471594
477175
480596
482937

 $V_{\text{var}_i} :=$

0
-5
-10
-15
-20
-25



$$Fr = \frac{1}{[2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(Ck + Cd) \cdot Lk}]}$$

Решение относительно Cd

$$Ck \cdot Lk - \frac{1}{4 \cdot Fr^2 \cdot \pi^2}$$

$$Lk$$

$Lk := 10^{-3}$

$Ck := 10^{-10}$

$\pi := 3.14$

$Fr_i := F_{\max_i}$

$$Cd := \frac{Ck \cdot Lk - \frac{1}{4 \cdot Fr^2 \cdot \pi^2}}{Lk}$$

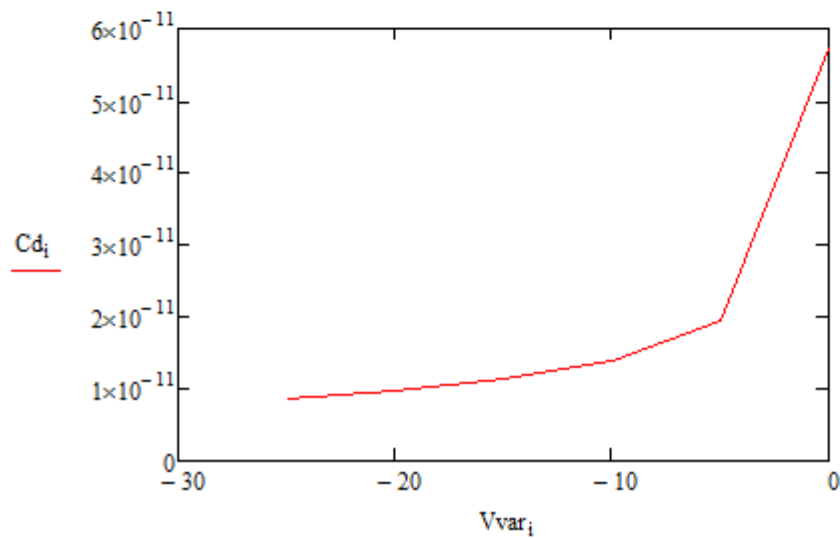


Рисунок 5-10

ЭКСПЕРИМЕНТ 6

ВКЛЮЧЕНИЕ МОДЕЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА, ЗАДАННОГО ОПИСАНИЕМ В ФОРМАТЕ PCPICE, В БАЗУ ДАННЫХ MULTISIM

Исходные данные или результаты расчета параметров модели по данным эксперимента в программе MODEL (файл модели с расширением *.lib), можно использовать для включения новой модели компонента в базу данных Multisim.

Сначала надо сформировать новое семейство компонент в User Database или Corporate Database (эти базы при первом включении программы пусты):

Для управления базами данных в Multisim используется менеджер баз данных, доступ к которому осуществляется через пункты меню **Tools\Database\Database Manager**. В диалоговом окне **Database Manager** перейти на закладку **Family**, в поле **Family Tree** выбрать **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. Здесь же необходимо указать схемное обозначение элемента в окне Component RefDes – D (диод).

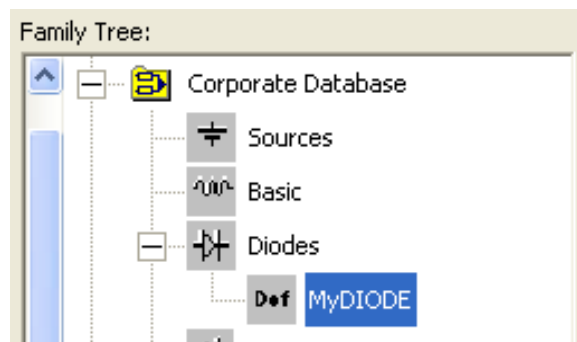
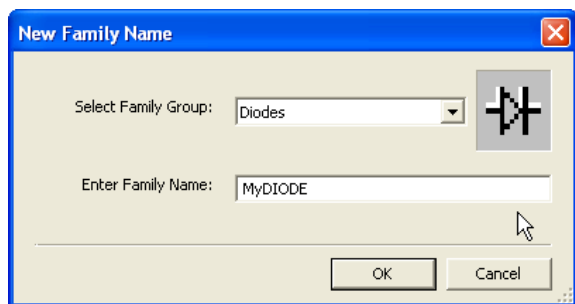


Рис. 6-1

Далее,

1. Запустить мастер создания компонента – **TOOLS/Component Wizard**, который «по шагам» поможет ввести компонент в созданную базу данных.

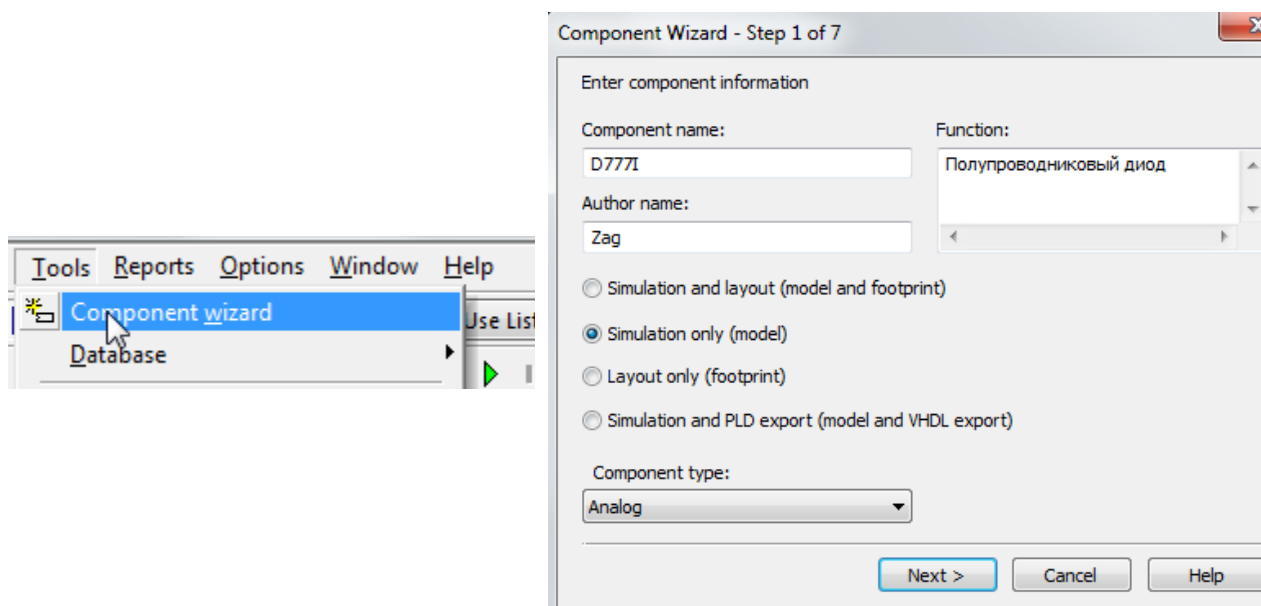


Рисунок 6-2 а) Запуск «мастера»

б) Имя компонента (свой вариант задания)

В диалоговом окне указывается имя вносимого компонента, его тип. 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. Далее выбирается последовательность действий, определяющих создание компонента имеющего только геометрический образ, только электрической модели, только для моделирования схемотехнического решения — используем **Simulation only(model)**. Поле **Function** - краткое описание назначения компонента, иногда бывает полезно для поиска в базе данных.

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.

2. После нажатия экранной кнопки **Next** появляется диалоговое **окно**, **соответствующее второму шагу** — здесь вводится информация о том, сколько выводов имеет компонент и какое исполнение компонента (один компонент или сборка компонентов).

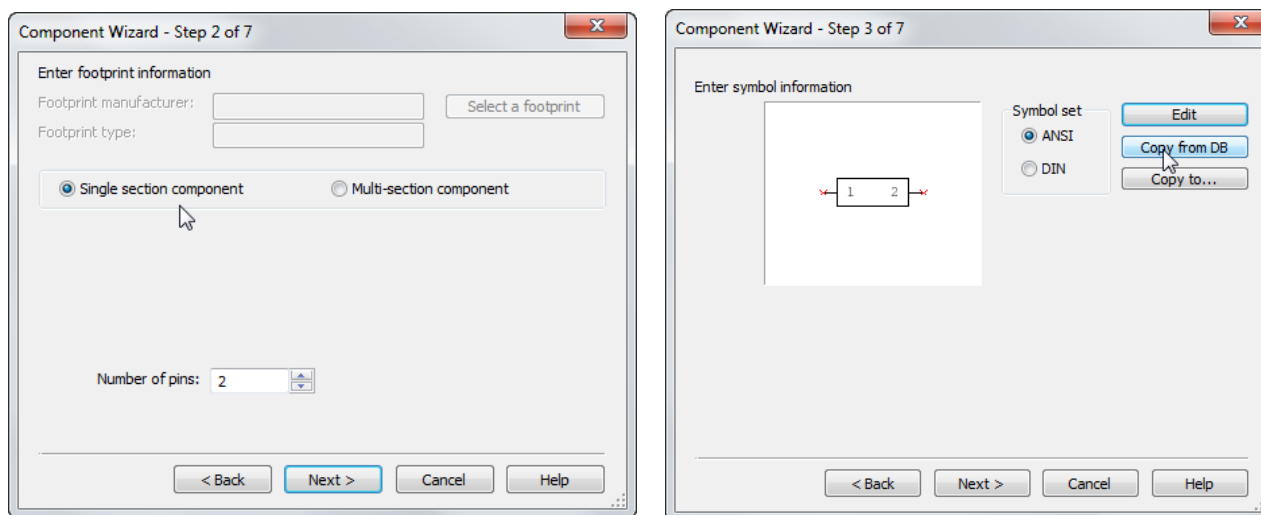


Рисунок 6-3

3. **Третий шаг по созданию компонента** – это определение его графического представления на принципиальной схеме. Для одного компонента выберем условное изображение, копируя символ из базы данных Multisim (экранная кнопка **Copy from DB**). Также 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.

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.

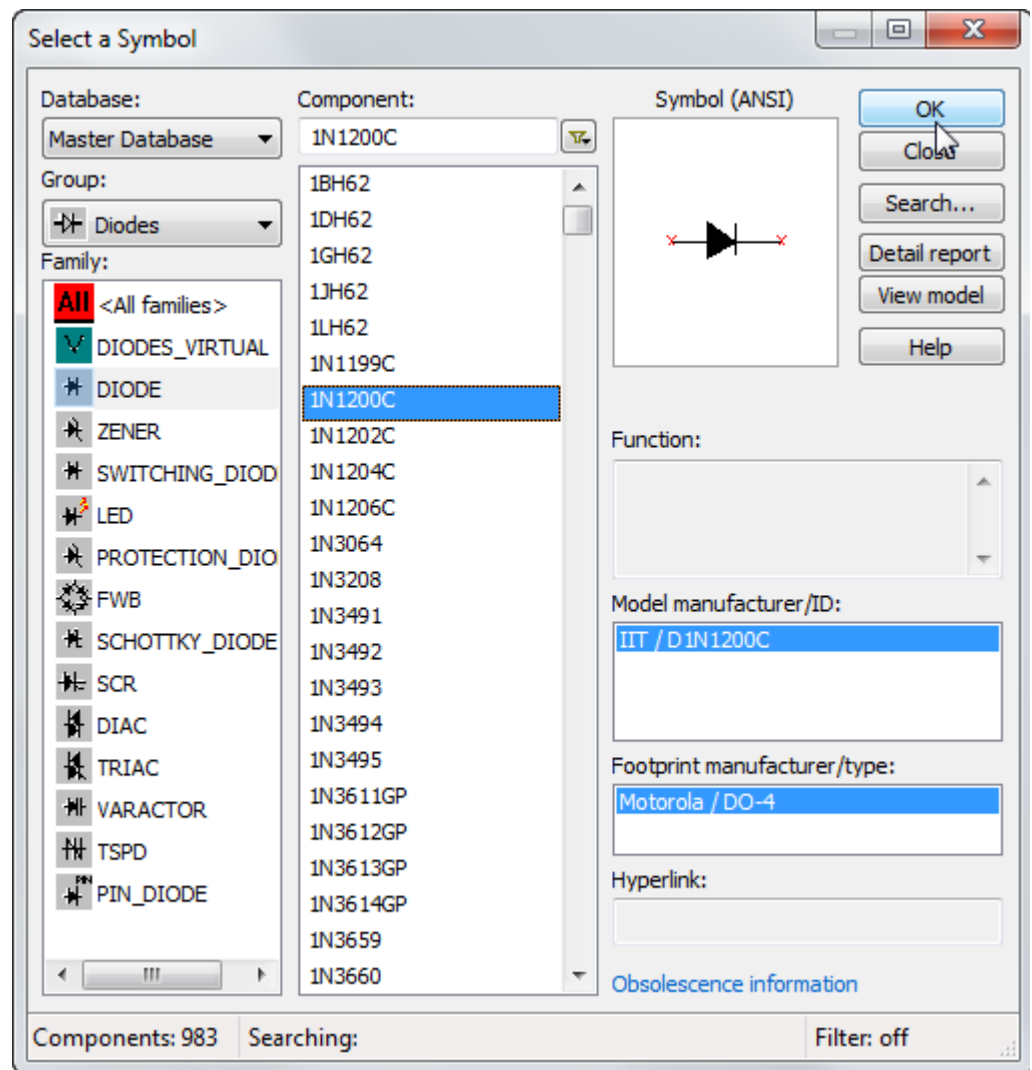


Рисунок 6-4

4. **Четвёртый шаг** – это определение параметров контактов компонента.

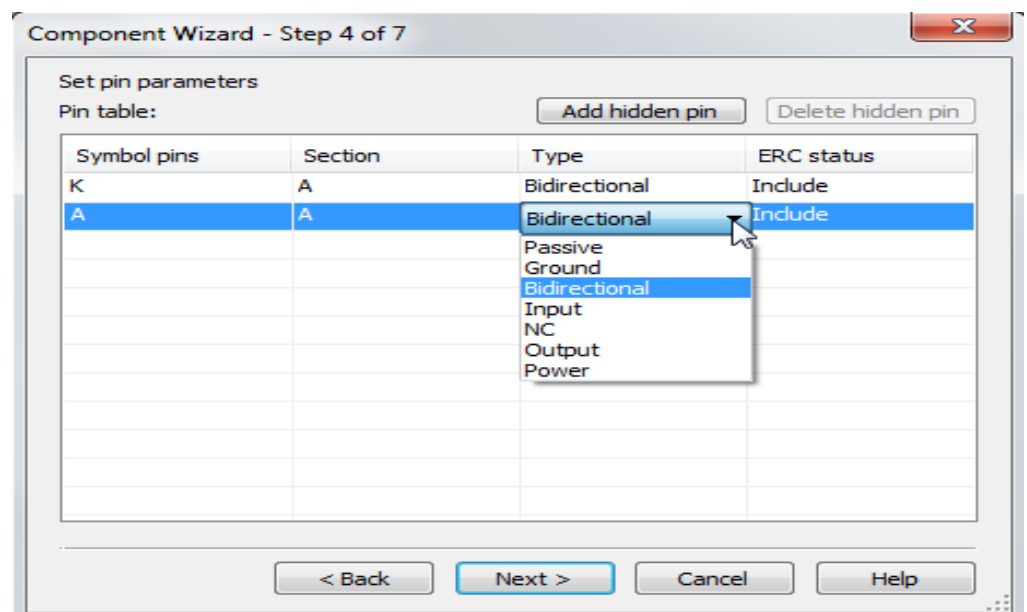


Рисунок 6-5

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). **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.

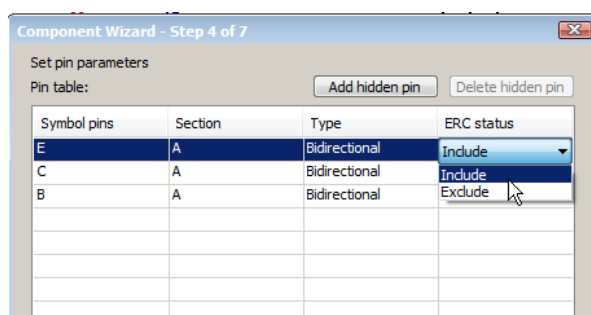


Рисунок 6-6

5. Следующий шаг - пятый, предполагает введение данных об электрической модели компонента. а) можно использовать простое копирование из текстового файла библиотеки в поле Model data или внесение уточненных данных, полученных в результате экспериментов 1 - 5.

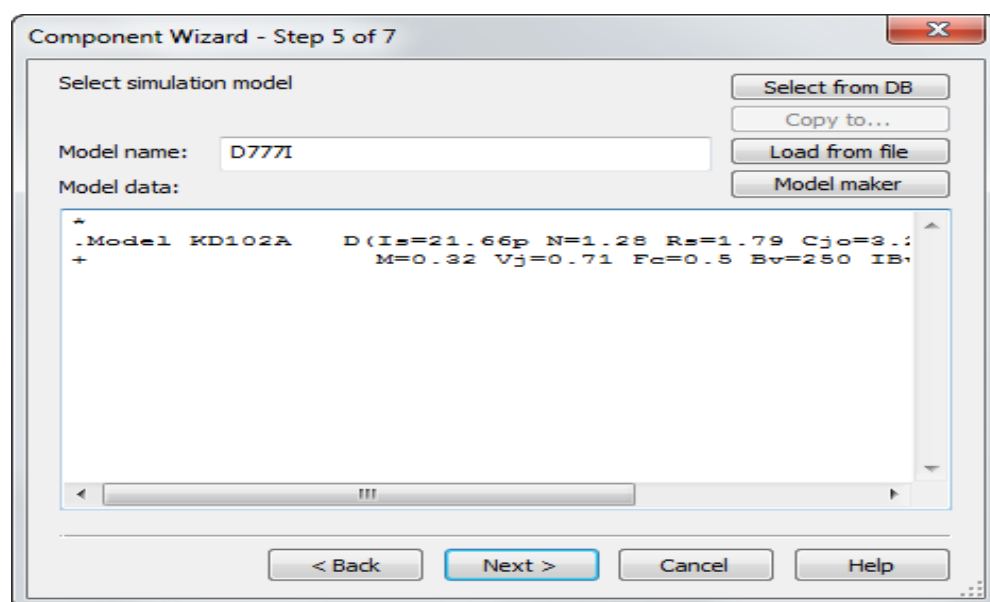
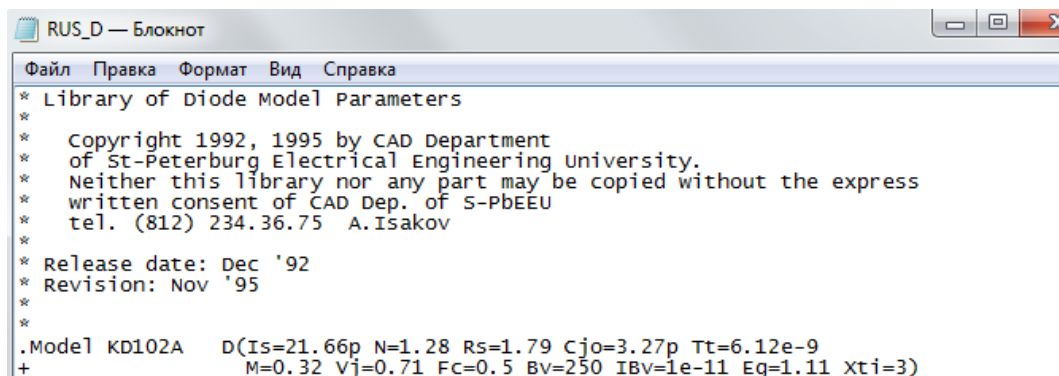


Рисунок 6-7

- б) копирование модели из базы данных (экранная кнопка **Select from DB**);
- в) использовать встроенную программу **Model Maker** (экранная кнопка **Model Maker**);
- г) загрузка сведения о модели из созданного в предыдущем эксперименте файла модели, рис 6-8.



Текст файла библиотеки в формате SPICE

Рисунок 6-8

*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.*

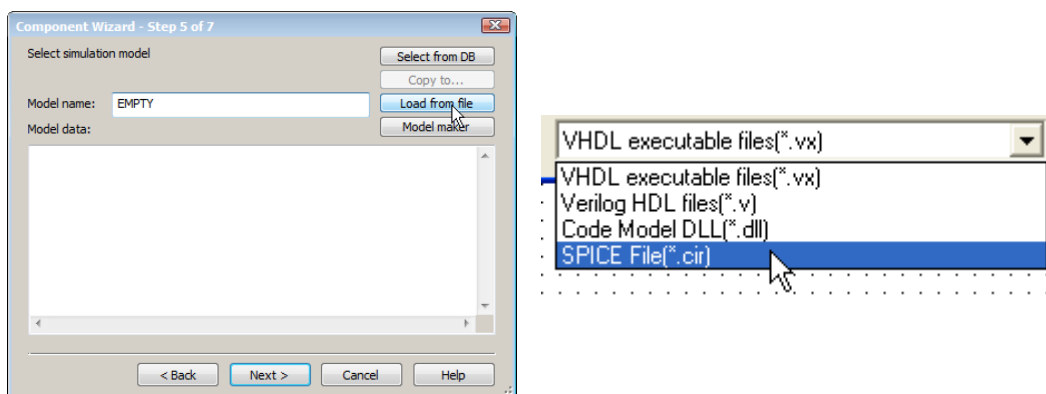


Рисунок 6-9

Если файл модели имеет другое расширение, то в запросе можно выбрать тип файла как (*.*). Имя файла модели будет оставлено прежним, и параметры ее будут соответствовать загруженному файлу.

В поле **Copyright** можно добавить информацию о проделанных операциях.

6. На шестом шаге устанавливается связь между информационным символом (условным изображением) и электрической моделью. 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**.

При установке параметров модели из файла сформированного программой MODEL для диода необходимо 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.

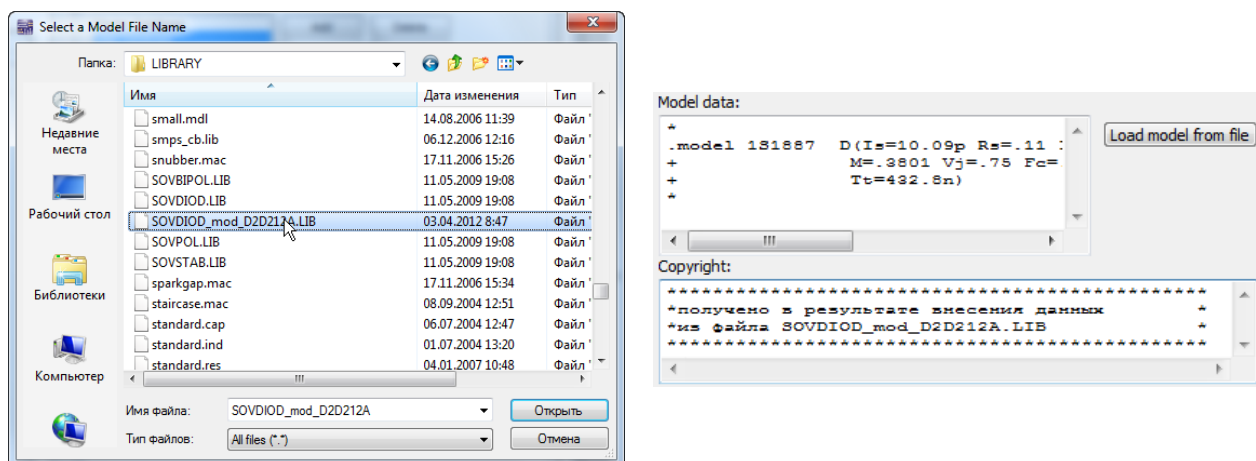
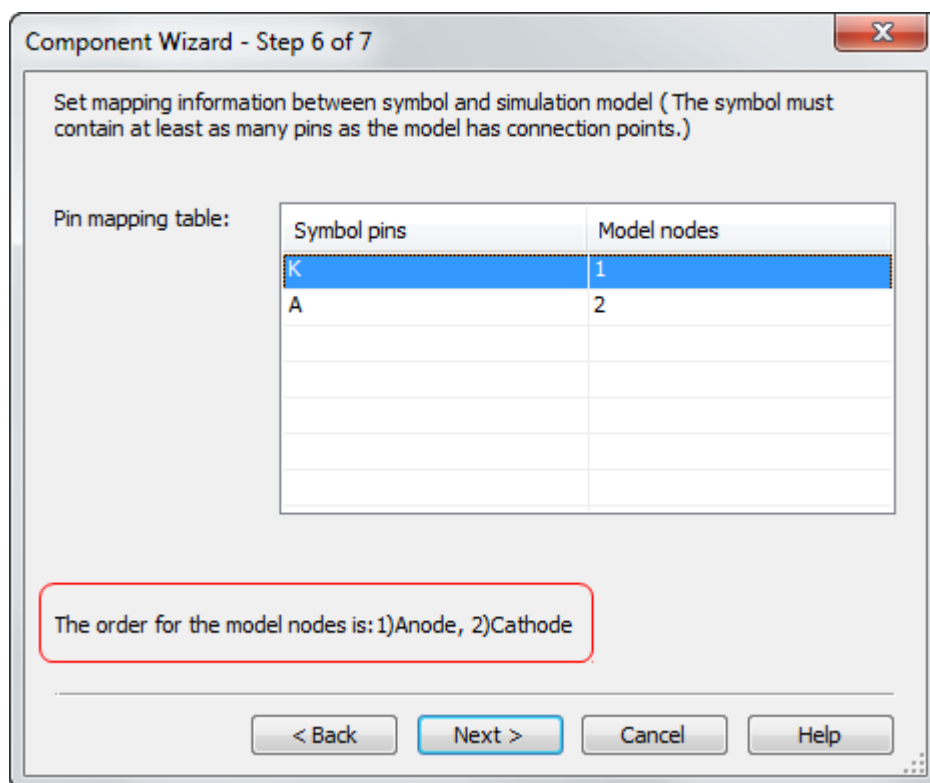


Рисунок 6-10



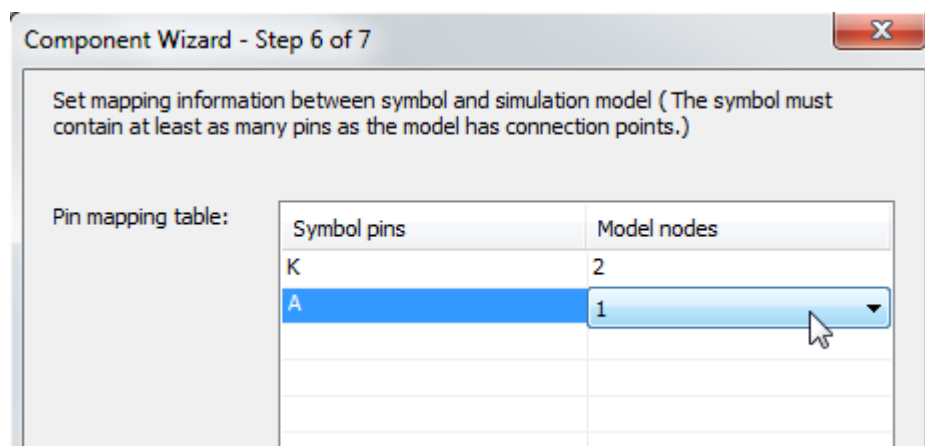


Рисунок 6-11

Для правильной работы модели необходимо переназначить узлы графического изображения и модельного представления для однозначного соответствия одному другому, как показано на рисунке 6-11, поменять местами номера контактов А и К.

7. **На седьмом шаге** осуществляется внесение подготовленного компонента в базу Multisim.

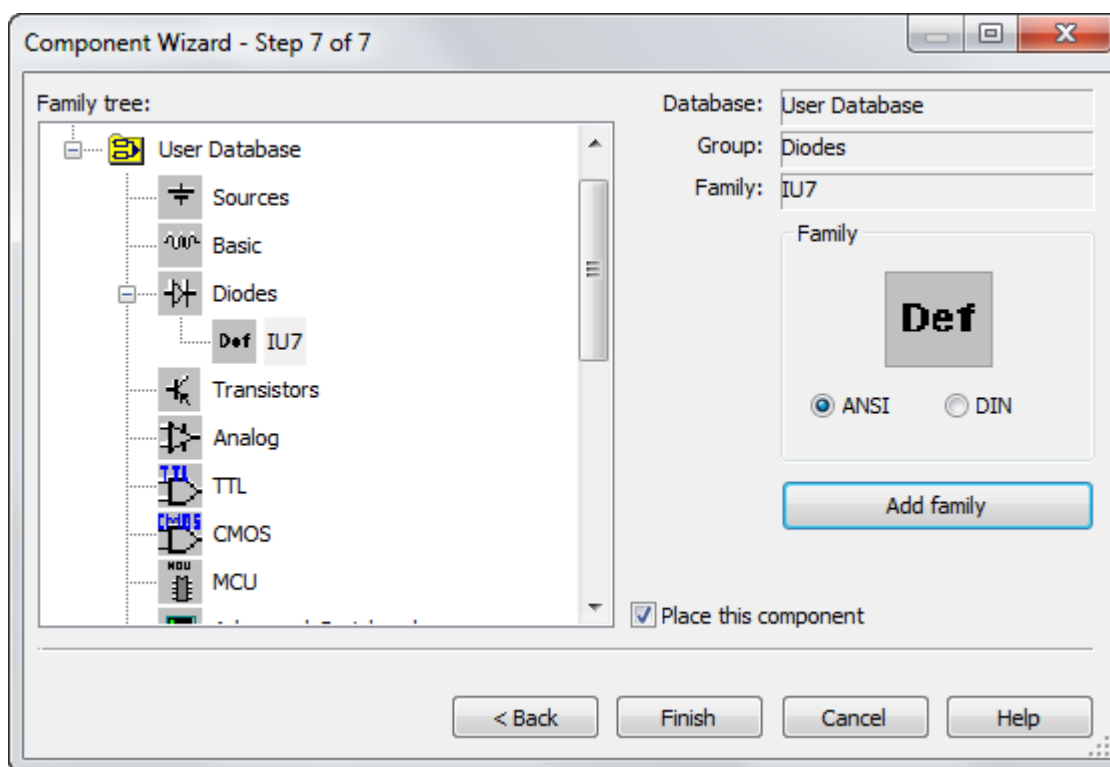


Рисунок 6-12

В результате проведённых операций в User database появится новый элемент – полупроводниковый диод D777I

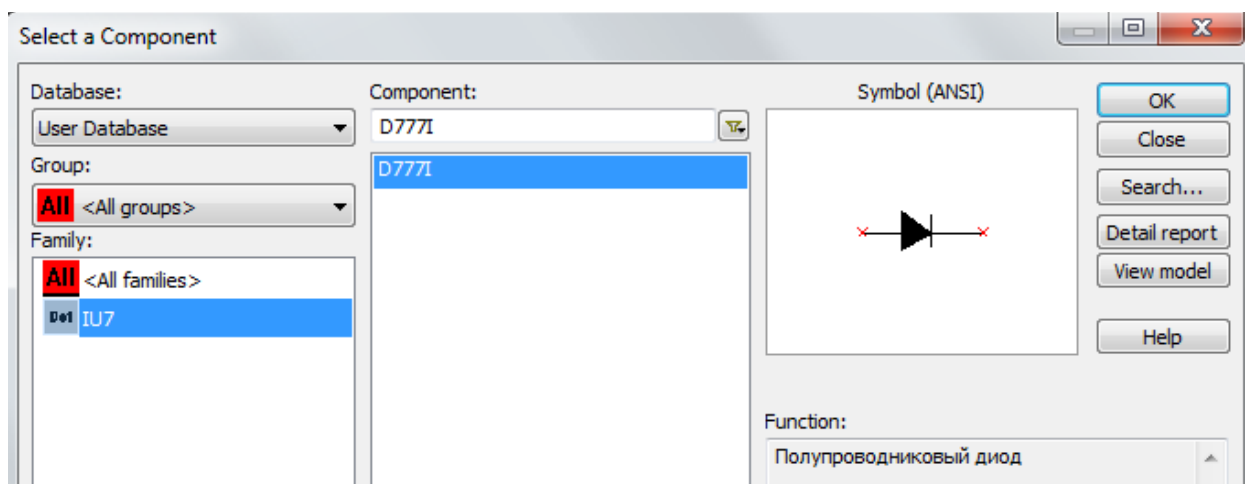


Рисунок 6-13

ЭКСПЕРИМЕНТ 7. (ПО ОТДЕЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА BODE PLOTTER

1. Собрать стенд, показанный на рис. 6-1 с использованием прибора Bode Plotter. Построить зависимость резонансной частоты от напряжения управления с возможностью передачи данных в программу *MathCAD*.

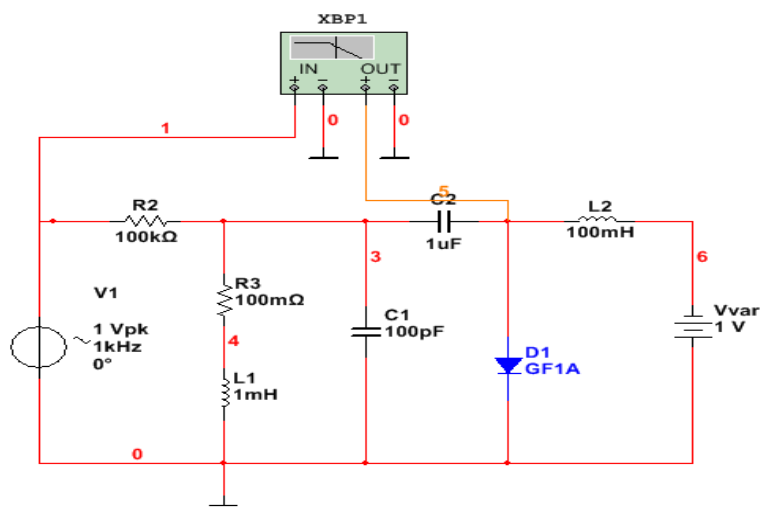


Рис.7-1

Bode Plotter:

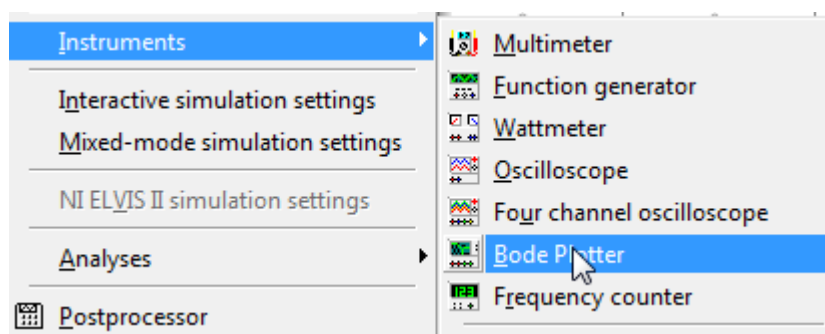
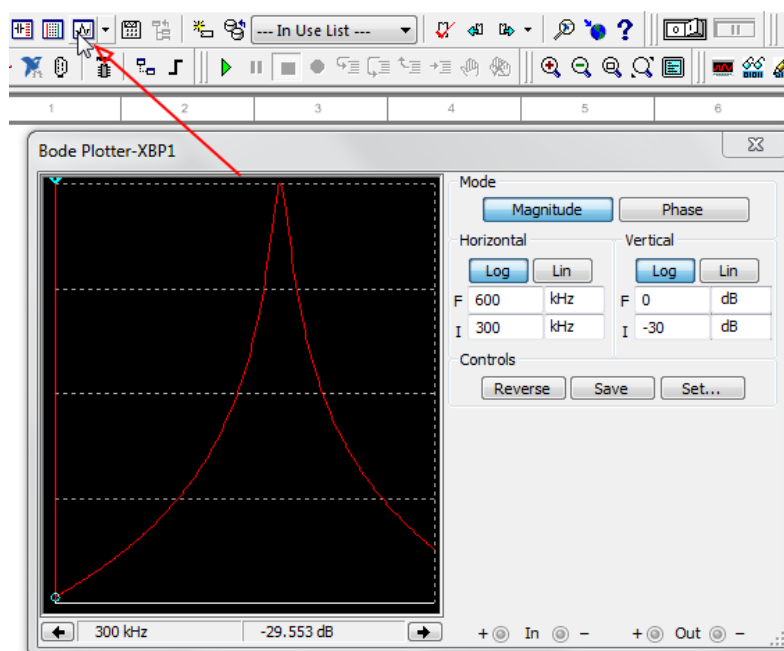


Рисунок 7-2

2. По этим данным построить вольтфарадную характеристику полупроводникового диода. Для получения результатов использовать встроенный прибор. Для передачи данных в программу *MathCAD* использовать возможности встроенного средства Grapher View.



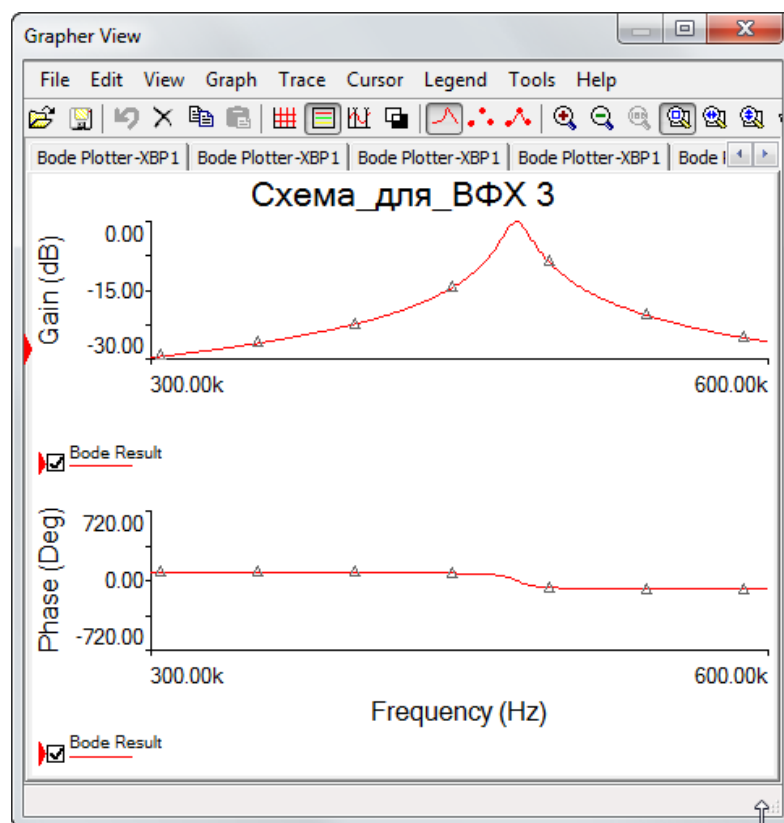


Рисунок 7-3

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.

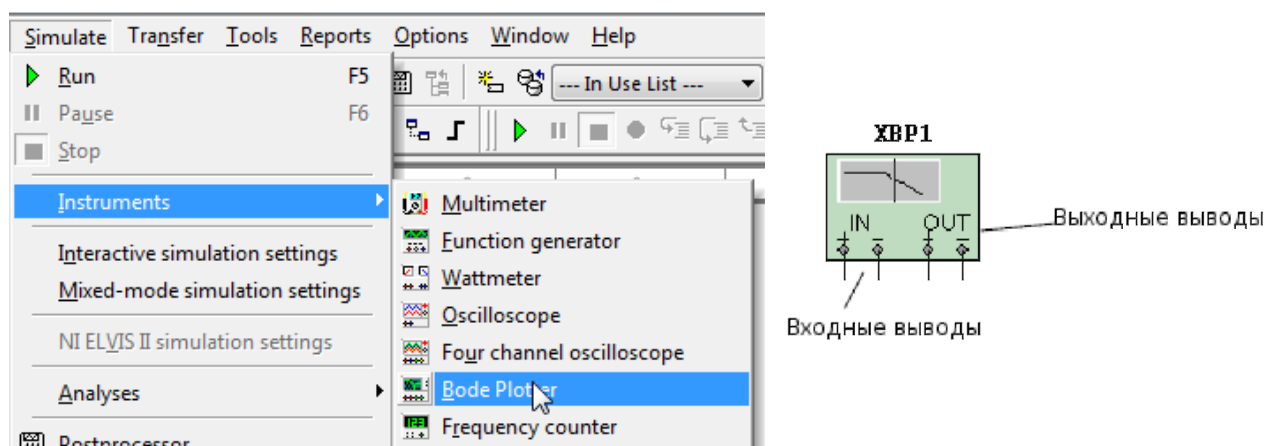


Рисунок 7-4

Плоттер Боде используется для построения амплитудно- и фазочастотных характеристик. Когда плоттер подключается к схеме, выполняется спектральный анализ.

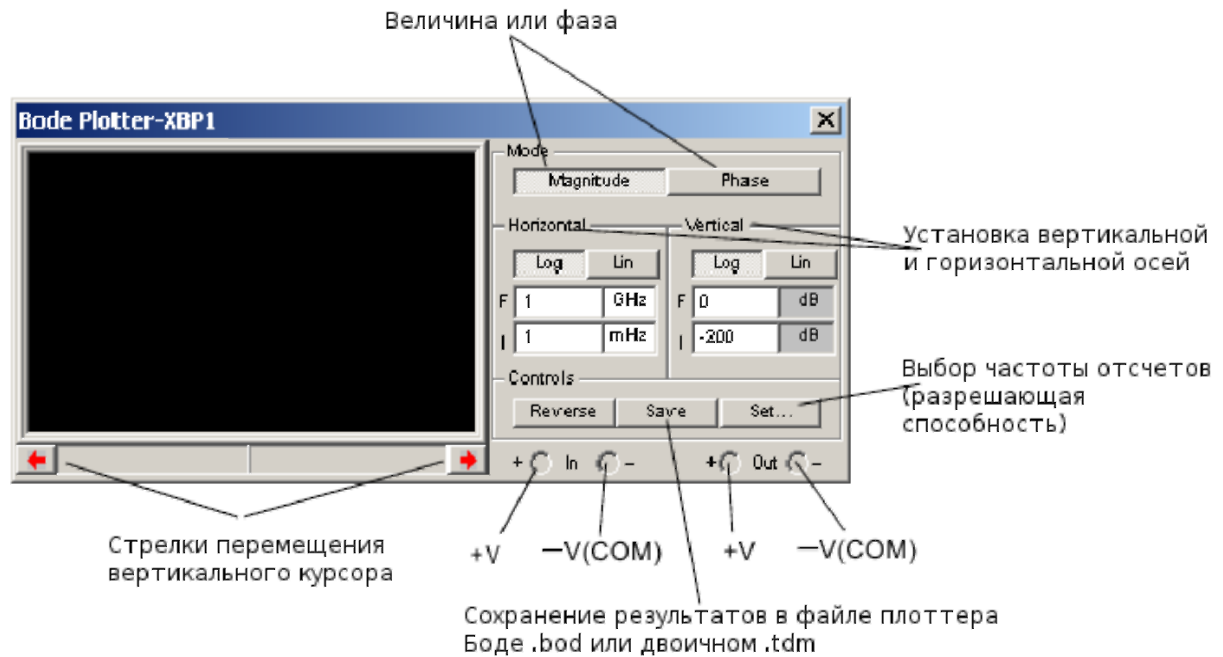


Рисунок 7-5

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. Если выводы плоттера Бode переносятся к другим узлам, необходимо заново запустить анализ схемы, чтобы получить правильные результаты.

Диалоговое окно **Resolution Points – Settings** рис.7-6

Для установки разрешения плоттера Бode:

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

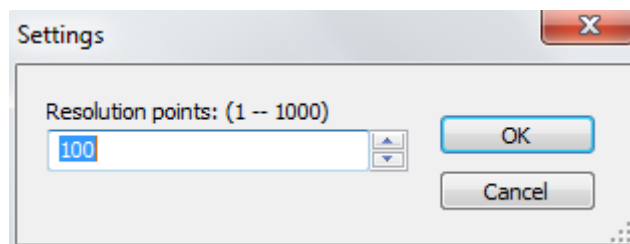


Рис.7-6

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 определить параметры модели диода (CJO, M, VJ) любым методом. Адекватность модели проверить по степени совпадения расчетных данных и данных модели в библиотеке.
4. Сформировать полную модель диода (с учетом ранее полученных результатов по статическим характеристикам) для отдельного размещения результатов в базе данных Microcap (файл с расширением lib).

ЭКСПЕРИМЕНТ 8 (ПО ОТДЕЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ)

РАБОТА С ПРОГРАММОЙ MODEL ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ДИОДА В ПРОГРАММЕ MICROCAP

1. Запустить программу MODEL.

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	hip	1 410 004
Model	hip	76 718

Рисунок 8-1

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.

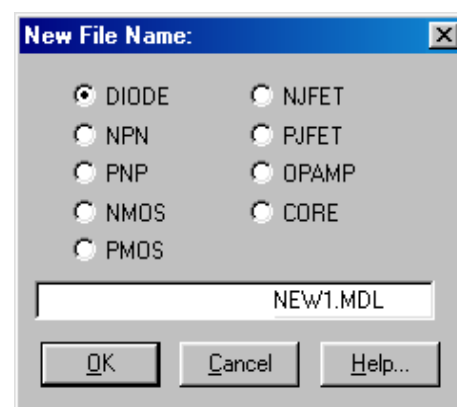
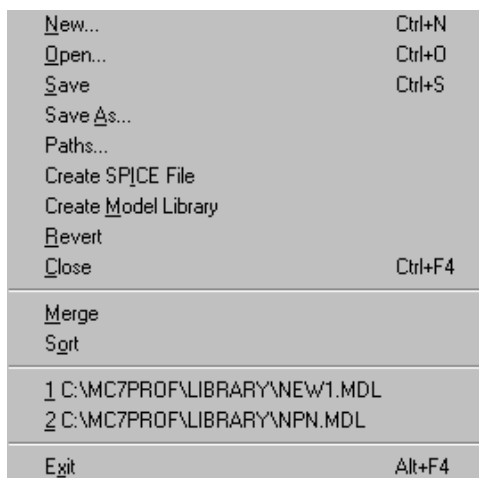


Рисунок 8-2

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. Чтобы перейти в многооконный режим работы с программой расчета, в пункте меню View необходимо выбрать All Graphs

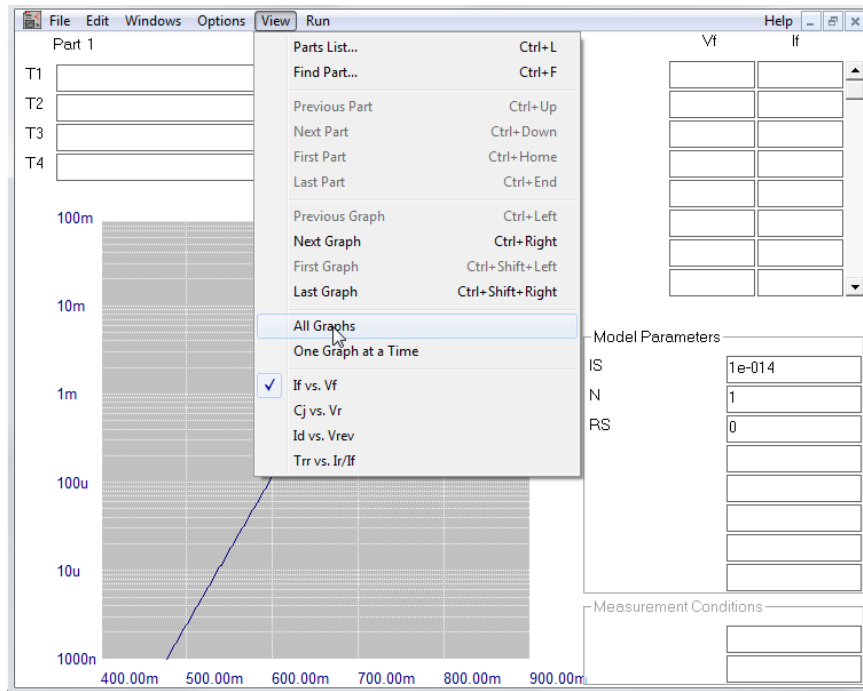


Рисунок 8-3

Тип расчета параметров определяет подчеркнутое название окна расчета:

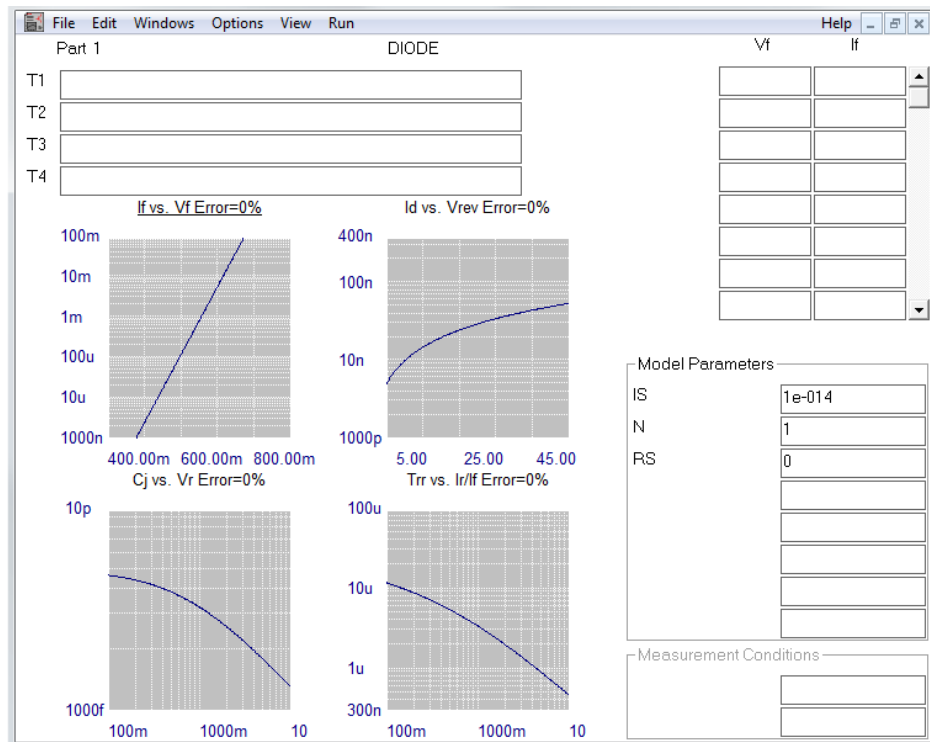


Рисунок 8-4

Основные компоненты любого окна MODEL следующие:

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

Рисунок 8-5

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

'T1' и 'T3' импортируются в библиотеки модели MS7. Поле 'T1' определяет название компонента и используется в библиотеке. Другие текстовые поля служат только как дополнительная документация.

Числовые поля данных от одного до трех, в зависимости от типа устройства и исходных графиков. В поле данных может быть введено от одной до пятидесяти позиций. Данные обычно получаются их ВАХ прибора. Если ВАХ 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 строчку данных

Начало работы с программой: первое окно расчёта параметров модели полупроводникового диода - **Model Parameters** (значения модельных параметров). Они могут быть исправлены пользователем по экспертным данным. Поля Условий эксперимента **Measurement Condition**: здесь приводят значение условия проведения эксперимента в процессе получения исходных данных.

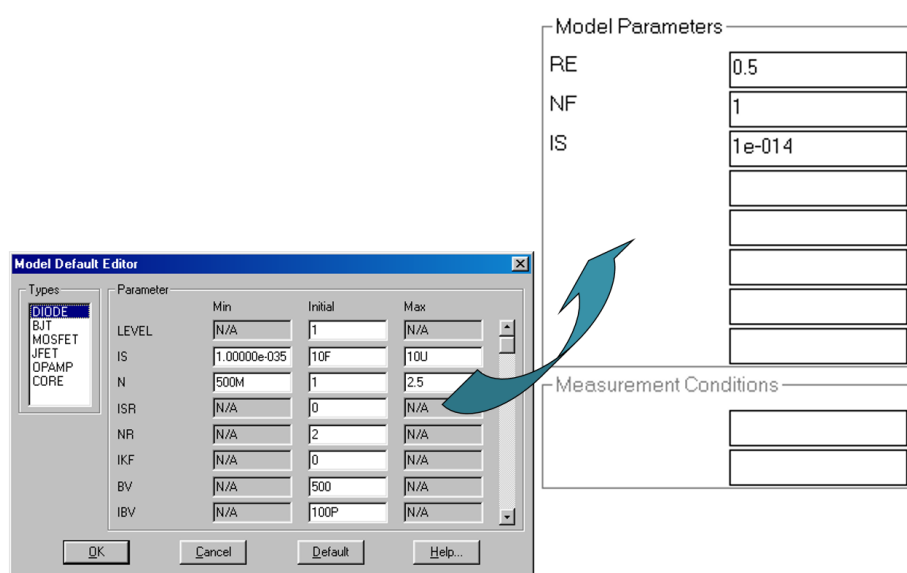


Рисунок 8-6

Примечание: По умолчанию начальные параметры задаются в окне Model Default Editor

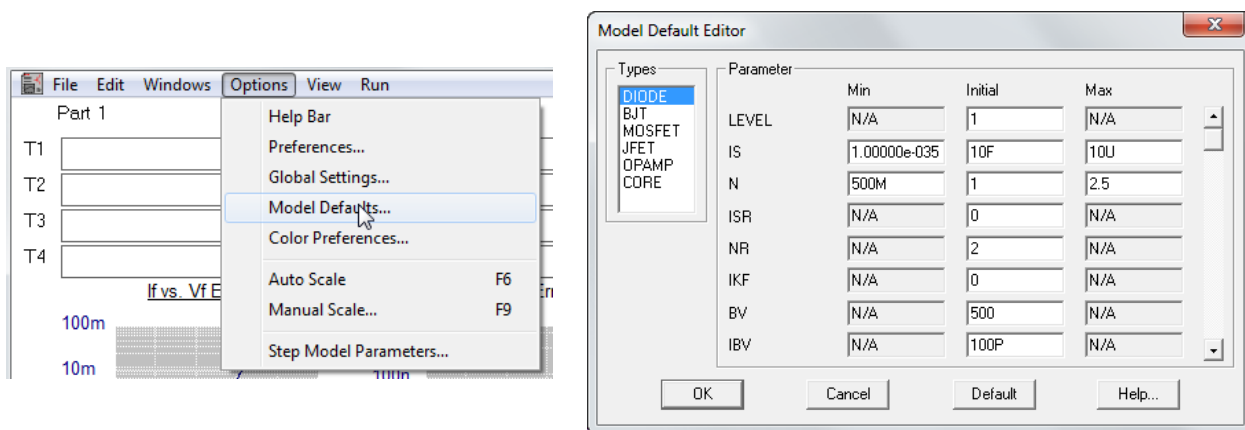


Рисунок 8-7

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

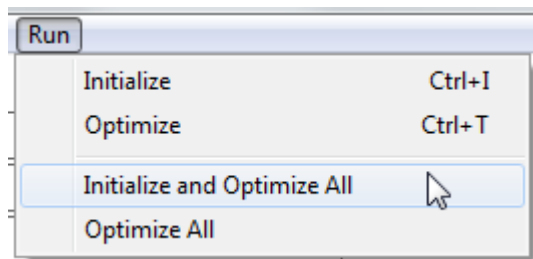


Рисунок 8-8

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

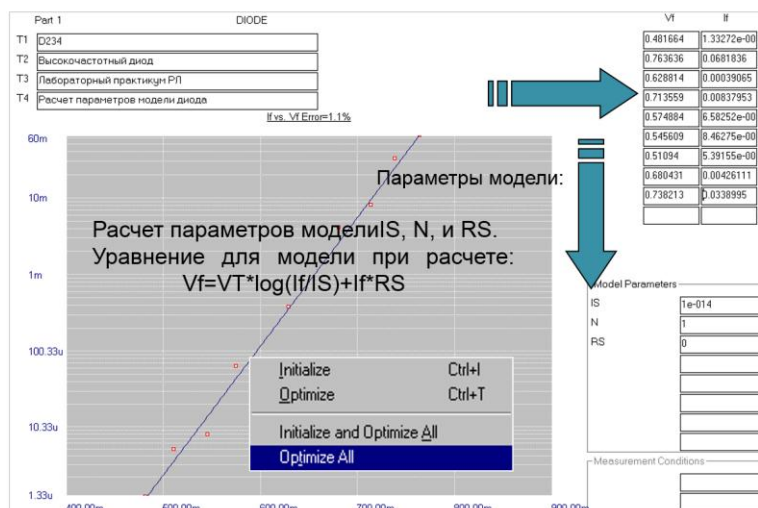


Рисунок 8-9

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

Второй экран посвящен расчету параметров из вольтфарадной характеристики.

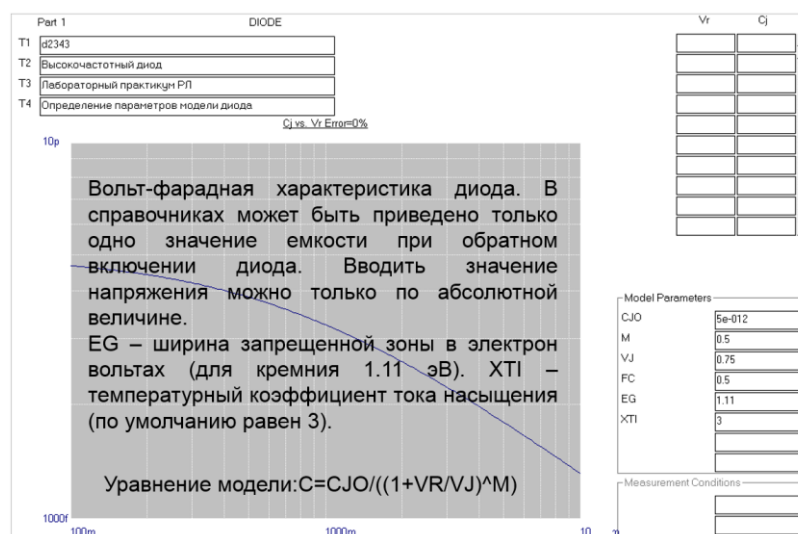


Рисунок 8-10

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

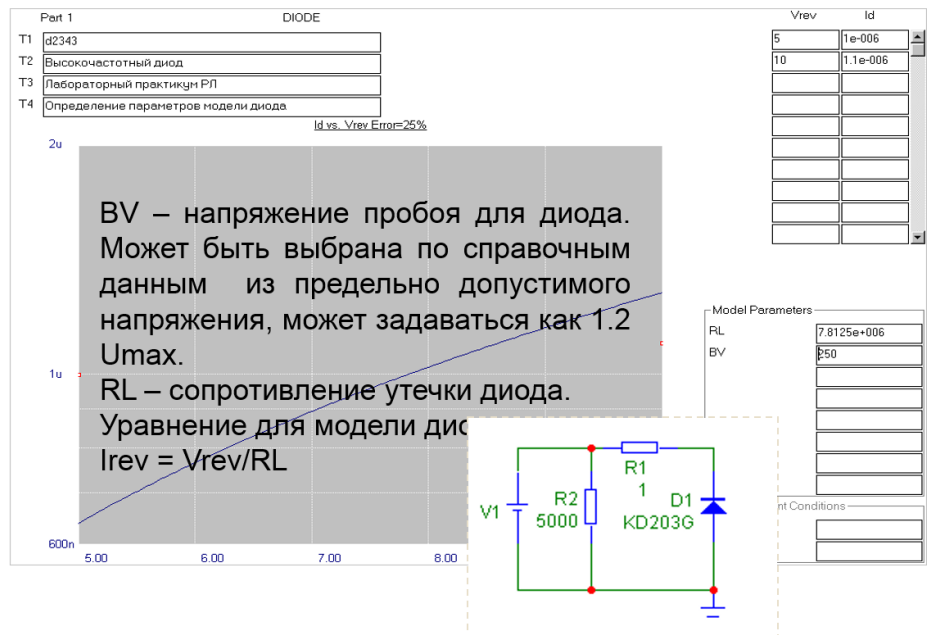


Рисунок 8-11

В этом расчете параметр BV – напряжение пробоя для диода. Он может быть выбран по справочным данным из предельно допустимого напряжения, может задаваться как $1.2 U_{max}$.

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 постоянному времени как $TT = [1/(2 \cdot \pi \cdot f_{max})]$.

Обработка экспериментальных данных может быть проведена в программе MCAD:

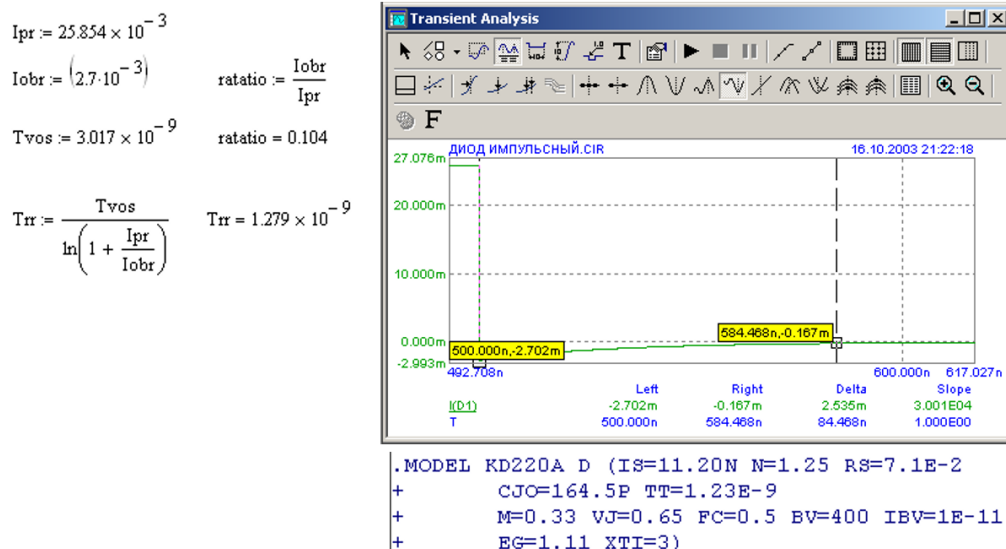


Рисунок 8-12

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

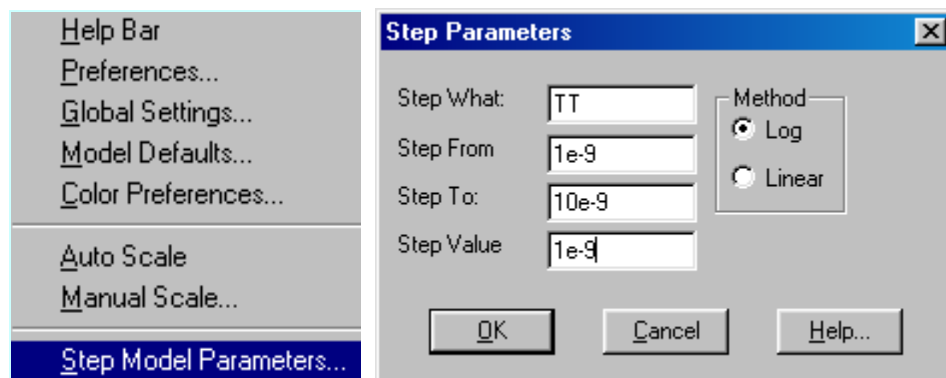


Рисунок 8-13

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

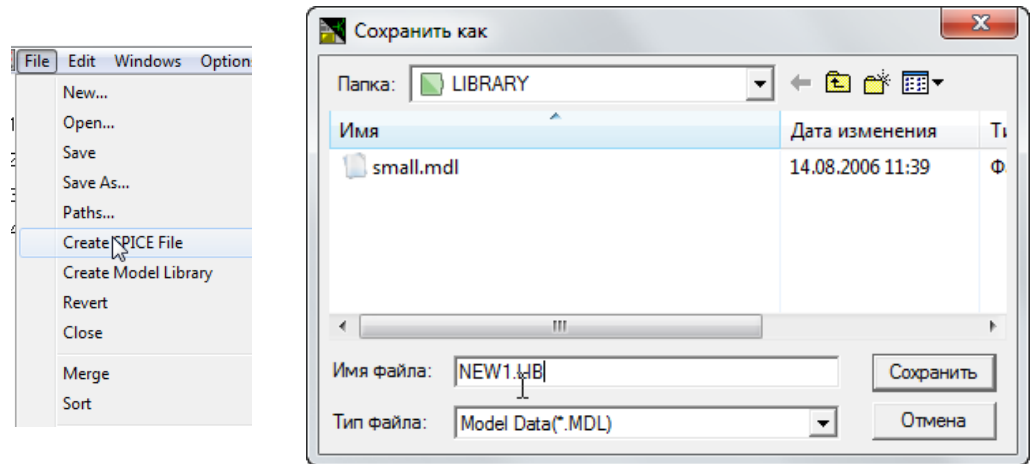


Рисунок 8-14

При сохранении файла библиотеки рекомендуется задавать расширение файла явно.

ПРИЛОЖЕНИЯ.

1. БАЗЫ ДАННЫХ ПРОГРАММЫ MULTISIM

Базы данных программы Multisim содержат всё необходимое для схемотехнического моделирования: графические образы компонентов (**symbols**), модели (**models**), 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. Эта база 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 **User Database** данных хранит компоненты, измененные, импортированные или созданные разработчиком, она доступна только для него и закрыта для всех других пользователей.

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

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

Для управления базами данных Multisim используется менеджер баз данных, доступ к которому осуществляется через пункты меню **Tools\Database\Database Manager**. С его помощью можно добавлять и удалять составляющие семейства в Пользовательской Базе данных (**User Database**) или в Корпоративной Базе данных (**Corporate Database**).

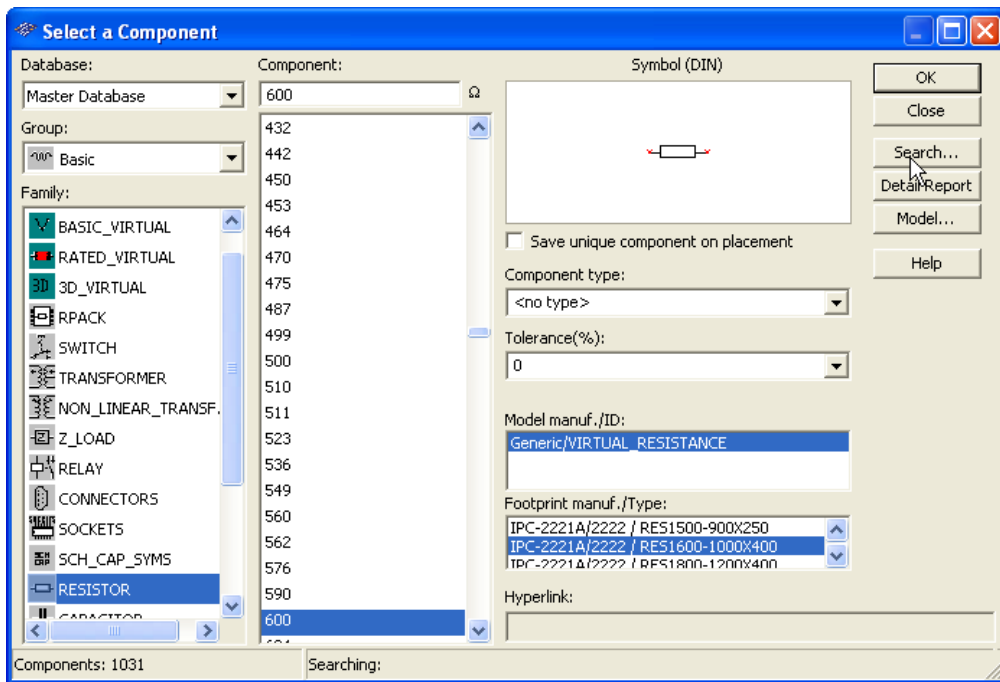


Рисунок П1-1 Выбор компонента из Master Database

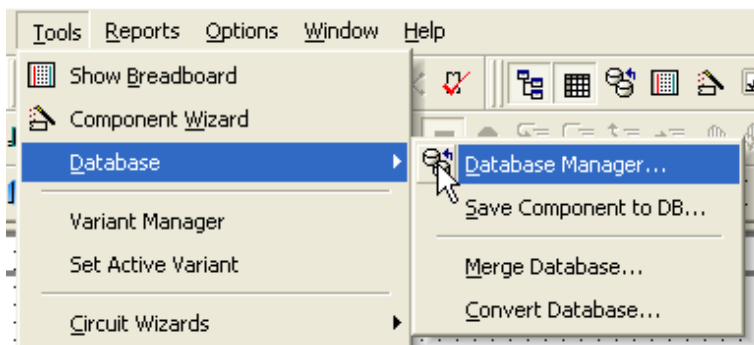


Рисунок П1-2 Database Manager

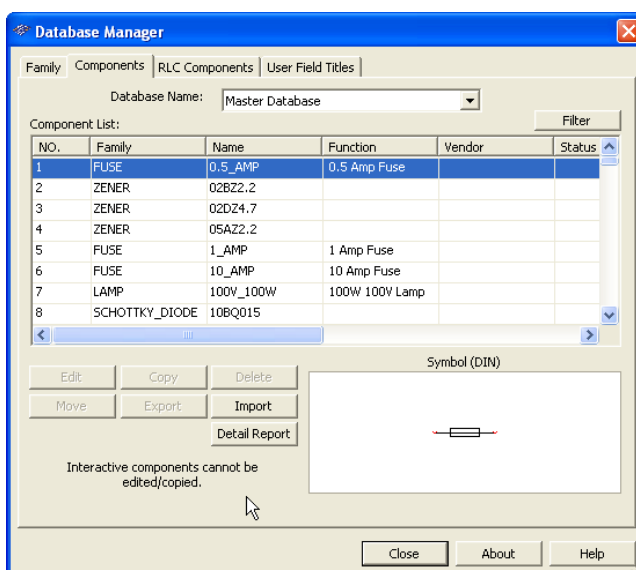
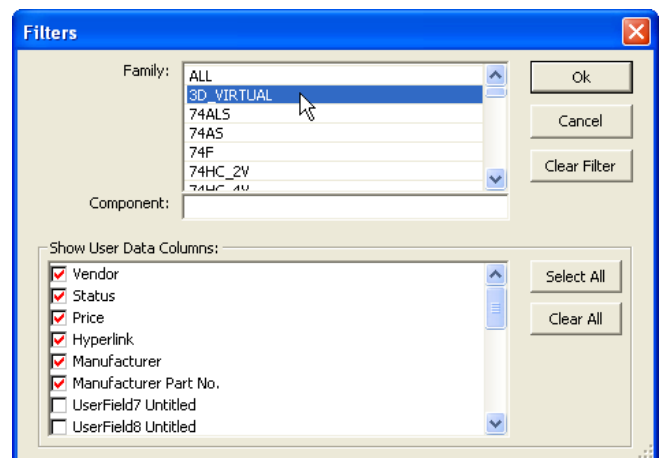


Рисунок П1-3



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

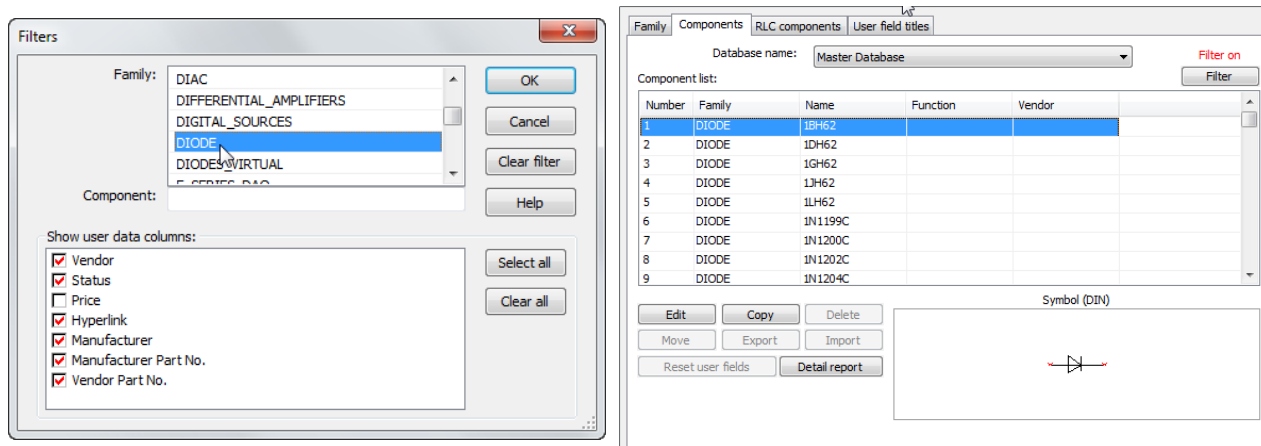


Рисунок П1-4

2. 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 **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.

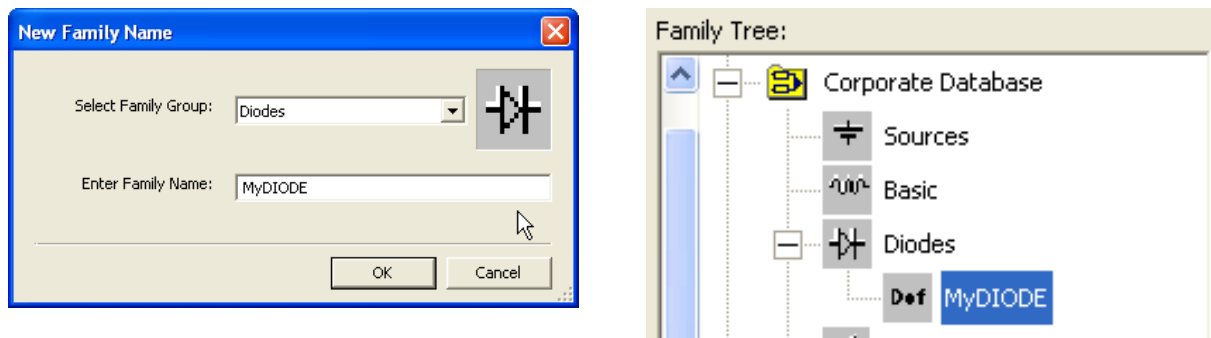


Рисунок П2-1.

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 (*American National Standards Institute*) и для DIN (*Deutsches Institut für Normung*) в рамках Международной организации по стандартизации — ISO (*International Organization for Standardization*). 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 П2-2.

Здесь же можно будет *объединять* базы данных (**Merge Database...**) и проводить конвертацию (вложение) одной базы данных в другую (**Convert Database...**). После перехода в диалоговое окно **Database Manager...**, 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.

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** 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**.

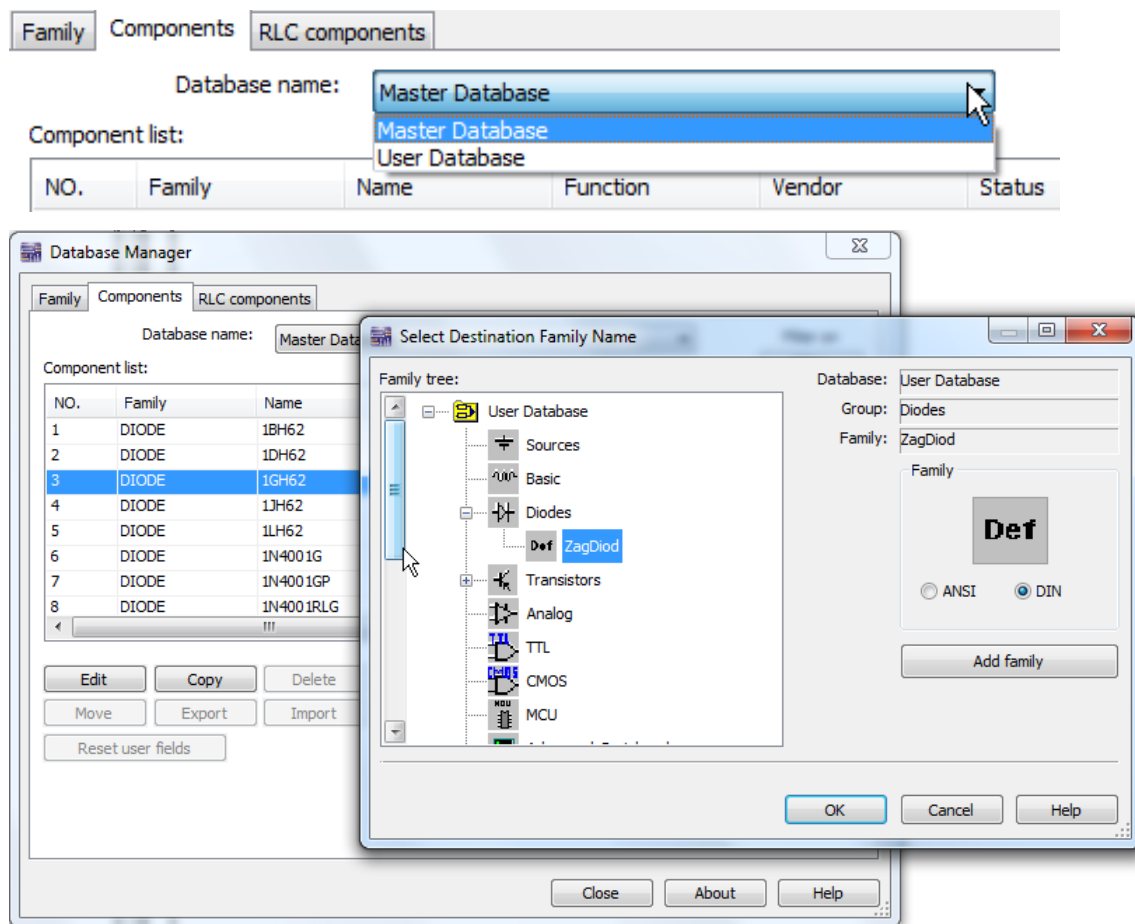


Рисунок П2-3

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.

3. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДИОДА В MULTISIM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MODEL MAKER

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

Для каждого расчета Model Maker определяет начальные значения параметров для заданных моделей. Однако это не предопределенные значения и можно выбрать числовые значения компоненты, 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.

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 доступен в новом конструктиве (был создан для «дырочного» монтажа, переделан для поверхностного). Можно 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 модифицировать существующие или похожие компоненты, а не создавать новые.

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

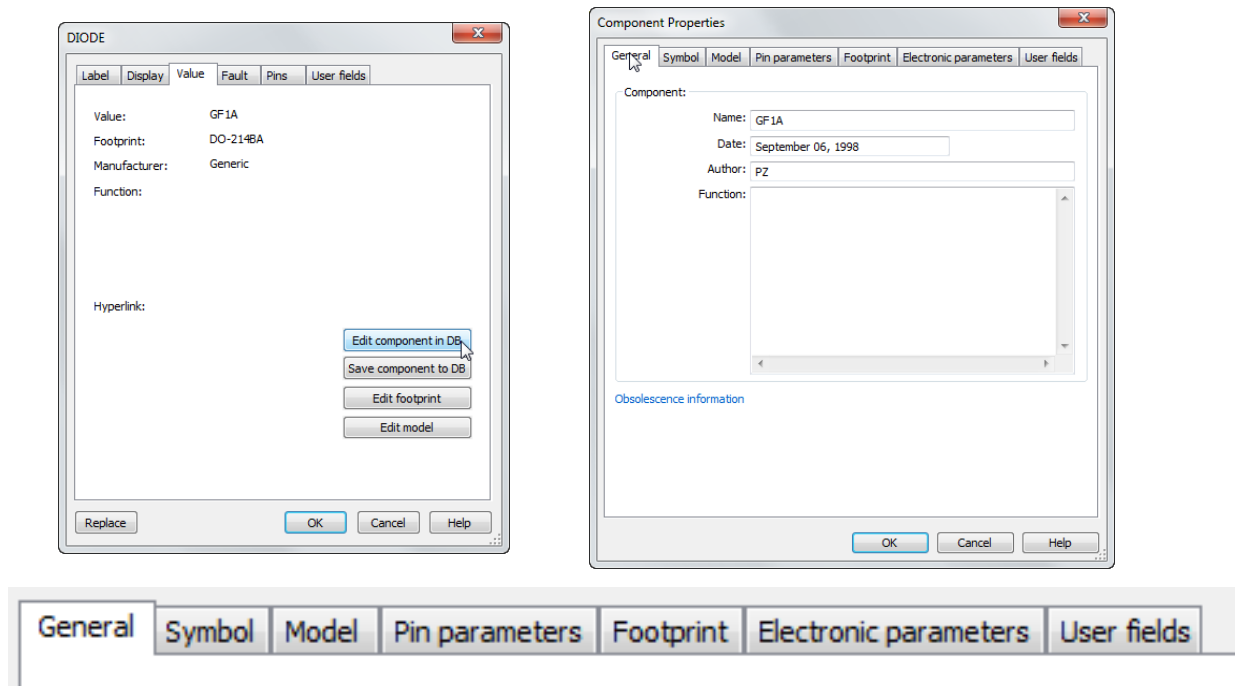


Рисунок ПЗ-1

- 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).

4. ОСЦИЛЛОГРАФ В ПРОГРАММЕ MULTISIM

В программе Multisim доступны три разных осциллографа — стандартный двухканальный осциллограф, четырехканальный и Agilent. Осциллограф смешанных сигналов Agilent объединяет в себе уникальную возможность параметрического анализа сигналов и многоканального анализа временных диаграмм логического анализатора,

позволяя наблюдать сложные взаимодействия между сигналами одновременно по 18 каналам.

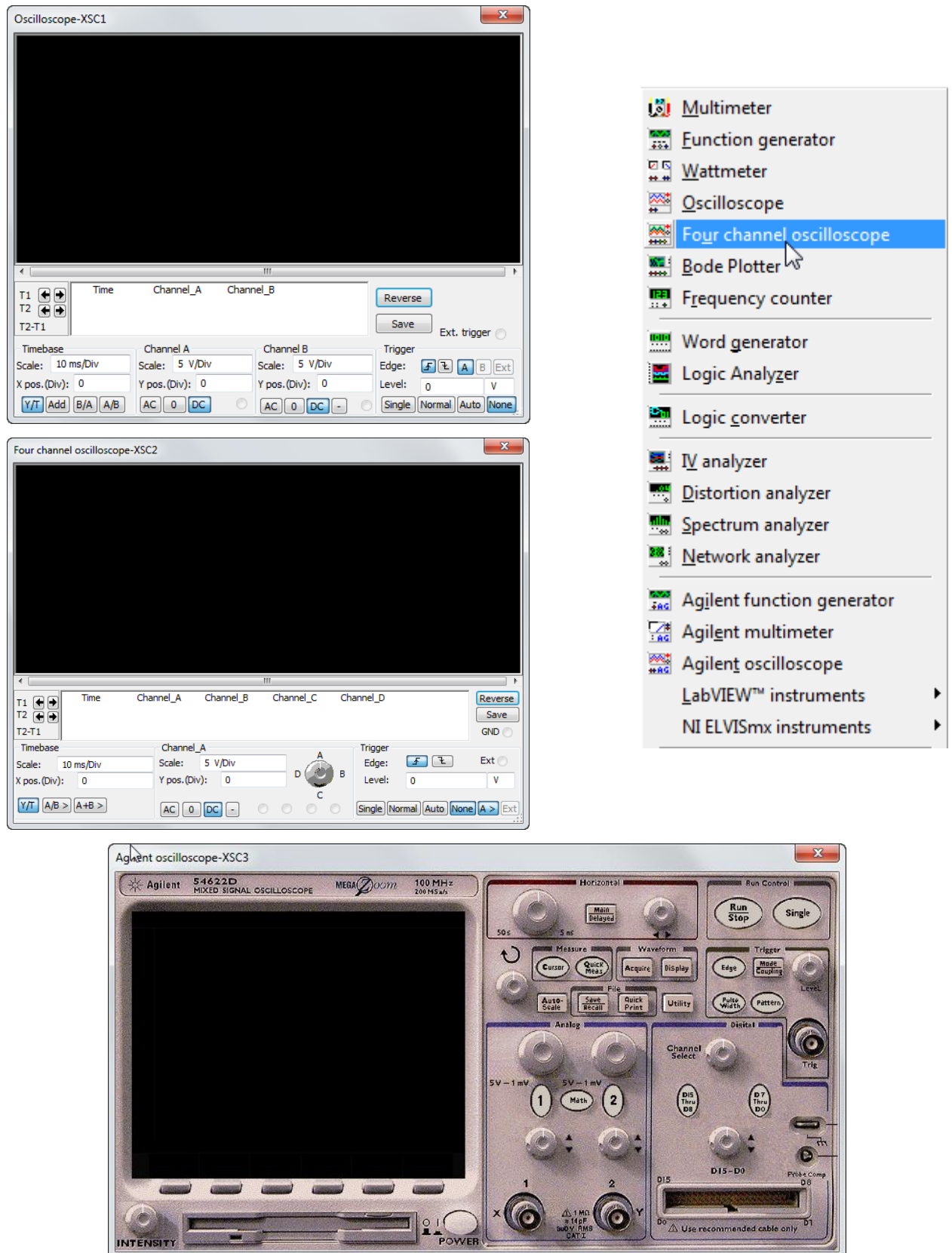


Рисунок П4-1

Двух- и четырёхканальные осциллографы работают практически одинаково и отличаются только количеством каналов.

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

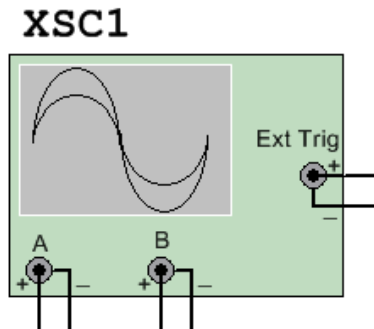


Рисунок П4-2

Рассмотрим входы осциллографа подробнее:

A, B, Ext Trig — это выходы осциллографа, к которым можно подключать другие компоненты. Вывод заземления подключает осциллограф к земле, что позволяет снизить уровень шумов. Как и лабораторные осциллографы, осциллограф в программе Multisim заземляется автоматически.

Выводы **A** и **B** представляют собой сигнальные входы осциллографа. Они подключаются к схеме, и напряжения, которые они измеряют, отображаются на экране осциллографа. В модели осциллографа Multisim щупы и клеммы заземления не нужны. Поэтому осциллограф Multisim имеет только один контакт **A** и один контакт **B**. Если подключить любой вход к узлу в схеме, то инструмент отобразит напряжение данного узла относительно земли.

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 **A** или **B**. При работе с сигналами высокого уровня можно без проблем использовать канал **A** или **B** в качестве запускающего, но при измерении небольших сигналов могут возникнуть сложности с созданием сигнала синхронизации, в результате чего осциллограммы будут беспорядочно перемешаться по экрану. Чтобы избежать этого используется канал внешней синхронизации (**Ext Trig**), где сигнал синхронизации будет достаточно высоким.

Настройка осциллографа

Временной масштаб: 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. По умолчанию масштаб 5V/Div, поэтому сигнал с амплитудой 1 В занимает только 1/5 часть квадрата по вертикали.

Чтобы осциллограмма выглядела более крупной, следует настроить данный параметр на 1 V/div. Для этого щелкнем по полю Scale. Появится курсор, рядом с полем появятся стрелки, которые помогут выставить 1V/Div.

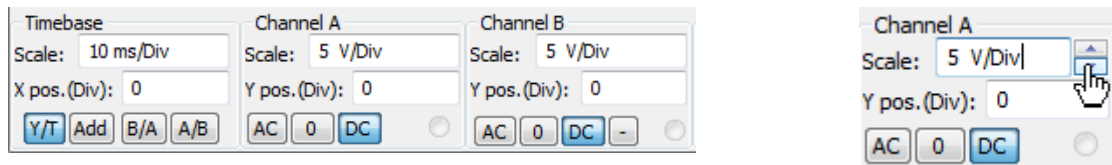


Рисунок П4-3.

Регулятор положения и опция Y Position дают возможность перемещать осциллограммы при использовании каналов А и В, располагая их на экране нужным образом.

Кнопка О аналогична подключению заземления на обычном осциллографе, входной сигнал канала будет равен нулю, даже если этот канал подключен к узлу и измеряет напряжение.

Режим DC измеряет напряжение, которое имеет и переменную и постоянную составляющие.

Режим AC равносителен введению разделительной емкости фильтра в цепь сигнала, при этом отображается только переменная составляющая. Если измеряется напряжение, которое содержит постоянную и переменную составляющие, то будет показана только переменная составляющая.

Опция Timebase информирует виртуальный осциллограф о том, как быстро должна перемещаться кривая. 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 правого края экрана, луч автоматически перемещается в его левую часть и больше не двигается, пока не получит новый сигнал синхронизации.

Таким образом, сигнал синхронизации сообщает осциллографу о начале рисования кривой.

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

Режим **Normal**, луч ожидает сигнала синхронизации, находясь в левой части экрана. Этот сигнал создается напряжением указанного источника (Channel A, Channel B или External Trigger) и определяет момент запуска, после чего луч перемещается вправо и рисует кривую. 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. После получения сигнала синхронизации рисуется кривая, а потом 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 импульсами, которые не повторяются.

Режим **Auto**. В этом режиме сигнал синхронизации создается автоматически, а не путем сравнения заданного значения и уровня триггера. Получаемая в этом режиме осциллограмма никак не связана с моментом запуска. Начальная точка кривой является произвольной и постоянно изменяется.

Режим автоматической синхронизации используется в двух случаях: а) это измерение напряжения постоянного тока; б) когда осциллограф не может создать сигнал запуска в обычном или одиночном режиме. Здесь следует переключить осциллограф в режим автоматического запуска. Если осциллограмма появится на экране, станет ясно, как следует изменить уровень синхронизации, чтобы отобразить осциллограмму в обычном режиме.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете следует привести цель и задачи работы, краткую методику проведения экспериментов, как при моделировании, так и при работе на физическом стенде.

Построение экспериментальных ВАХ и определение по ним параметров диода, с помощью которых строятся его эквивалентные схемы, рекомендуется проводить с использованием математического пакета MCAD. Получение ВФХ желательно снабдить пояснением работы MCAD в режиме аналитических вычислений. Выбор методов численного решения остается за студентом, желательно этот выбор пояснить.

Проверка адекватности результатов построения модели осуществляется по сравнению ВАХ модельной и экспериментальной. К параметрам модели диода динамическим (барьерная и диффузионная компоненты) особых требований по точности не предъявляется.

ЛИТЕРАТУРА.

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..