

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### по проведению практического занятия №2

Тематически содержание этого занятия можно разбить на две части:

- 2.1. *SPICE*-модель полупроводникового диода.
- 2.2. Выдача индивидуальных расчетных заданий.

#### 2.1. *SPICE*-модель полупроводникового диода

Полупроводниковый диод относится к числу пассивных электронных компонентов. Здесь мы ограничимся рассмотрением маломощных полупроводниковых диодов, у которых рассеиваемая мощность не превышает  $P_{\text{рас}} \leq 150$  мВт.

Напомним, что *SPICE*-модель любого электронного компонента состоит из трех составляющих:

- эквивалентной схемы компонента (или его схемы замещения);
- списка (или перечня) параметров модели данного компонента;
- некоторой совокупности основных уравнений работы электронного компонента, которые отражают зависимости элементов эквивалентной схемы и ряда параметров модели от напряжений, токов, температуры и др.

Эквивалентная схема модели диода изображена на рис. 2.1.

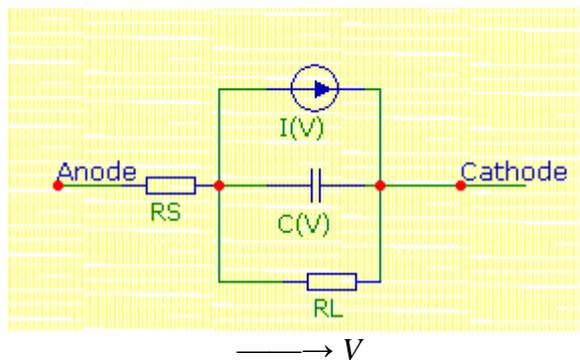


Рис. 2.1

На этом рисунке введены следующие обозначения:

$I(V)$  – вольтамперная характеристика «идеального диода» ( $p-n$  перехода);

$C(V)$  – зависимость полной емкости диода (при прямых и обратных смещениях);

$RS$  – объемное сопротивление диода;

$RL$  – сопротивление утечки перехода.

При графическом вводе, то есть при использовании формата схем, применяются следующие основные атрибуты:

- **PART**: <имя> - позиционное обозначение;
- **MODEL**: [имя модели].

Перечень параметров модели полупроводникового диода приведен в табл. 2.1 и содержит 31 позицию.

Таблица 2.1

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию	AREA
<i>Level</i>	Тип модели: 1 – <i>SPICE2G</i> , 2 - <i>PSpice</i>	-	1	
<i>IS</i>	Ток насыщения при температуре 27°C	A	$10^{-14}$	×
<i>N</i>	Коэффициент эмиссии (неидеальности)	-	1	
<i>ISR</i>	Параметр тока рекомбинации	A	0	×
<i>NR</i>	Коэффициент эмиссии (неидеальности) для тока <i>ISR</i>		2	
<i>IKF</i>	Предельный ток при высоком уровне инжекции	A	$\infty$	
<i>BV</i>	Обратное напряжение пробоя (положительная величина)	B	$\infty$	
<i>IBV</i>	Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению <i>BV</i> (положительная величина)	A	$10^{-10}$	×
<i>NBV</i>	Коэффициент неидеальности на участке пробоя	-	1	
<i>IBVL</i>	Начальный ток пробоя низкого уровня	A	0	×

<b><i>NBVL</i></b>	Коэффициент неидеальности на участке пробоя низкого уровня	–	1	
<b><i>RS</i></b>	Объемное сопротивление	Ом	0	/
<b><i>TT</i></b>	Время переноса заряда	с	0	
<b><i>CJO</i></b>	Барьерная емкость при нулевом смещении	Ф	0	×
<b><i>VJ</i></b>	Контактная разность потенциалов	В	1	
<b><i>M</i></b>	Коэффициент плавности <i>p-n</i> перехода (1/2 – для резкого, 1/3 – для плавного)	-	0.5	
<b><i>FC</i></b>	Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямо смещенного перехода	-	0.5	
<b><i>EG</i></b>	Ширина запрещенной зоны	эВ	1.11	
<b><i>XTI</i></b>	Температурный экспоненциальный коэффициент тока насыщения <i>IS</i>	-	3	
<b><i>TIKF</i></b>	Линейный температурный коэффициент <i>IKF</i>	°C <sup>-1</sup>	0	
<b><i>TBV1</i></b>	Линейный температурный коэффициент <i>BV</i>	°C <sup>-1</sup>	0	
<b><i>TBV2</i></b>	Квадратичный температурный коэффициент <i>BV</i>	°C <sup>-2</sup>	0	
<b><i>TRS1</i></b>	Линейный температурный коэффициент <i>RS</i>	°C <sup>-1</sup>	0	
<b><i>TRS2</i></b>	Квадратичный температурный коэффициент <i>RS</i>	°C <sup>-2</sup>	0	
<b><i>KF</i></b>	Коэффициент фликер-шума	-	0	
<b><i>AF</i></b>	Показатель степени в формуле фликер-шума	-	1	
<b><i>RL</i></b>	Сопротивление утечки перехода	Ом	∞	
<b><i>T_MEASURED</i></b>	Температура измерения	°C	-	
<b><i>T_ABS</i></b>	Абсолютная температура	°C	-	
<b><i>T_REL_GLOBAL</i></b>	Относительная температура	°C	-	
<b><i>T_REL_LOCAL</i></b>	Разность между температурой диода и модели-прототипа (АКО)	°C	-	

Приведем также основные уравнения работы диода в программе *Micro-Cap 10 demo*.

Уравнение для источника тока диода:

$$I = I_{\text{пр}} - I_{\text{обр}},$$

где  $I_{\text{пр}} \approx IS(T) \left( e^{\frac{V}{V_T \cdot N}} - 1 \right)$ ,

$V_T = \frac{kT}{q}$  – температурный потенциал,

$k$  – постоянная Больцмана,

$q$  – заряд электрона,

$T$  – абсолютная температура в Кельвинах.

Уравнения для емкостей диода:

$$C = C_{\text{д}} + C_{\text{б}},$$

где  $C_{\text{д}} = TT \times g_{\text{п}}$  – диффузионная составляющая полной емкости диода,

$TT$  – время переноса заряда,

$g_{\text{п}}$  – дифференциальная проводимость  $p$ - $n$  перехода для текущих значений  $I$  и  $V$ ,

$C_{\text{б}}$  – барьерная составляющая полной емкости диода.

Если  $V \leq FC \cdot VJ(T)$ , то

$$C_{\text{б}} = CJO(T) \cdot \left[ 1 - \frac{V}{VJ(T)} \right]^{-M};$$

в противном случае

$$C_{\text{б}} = CJO(T) \cdot [1 - FC]^{-(1+M)} \cdot \left[ 1 - FC(1 + M) + M \cdot \frac{V}{VJ(T)} \right].$$

Примеры описания температурных эффектов диода:

$$BV(T) = BV \cdot [1 + TBV1 \cdot (T - T_{\text{ном}}) + TBV2 \cdot (T - T_{\text{ном}})^2],$$

$$RS(T) = RS \cdot [1 + TRS1 \cdot (T - T_{\text{ном}}) + TRS2 \cdot (T - T_{\text{ном}})^2].$$

Студентам учебной группы предлагается провести компьютерное моделирование пассивных схем с полупроводниковым диодом,

изображенных на рис. 2.2, с использованием подпрограммы расчета передаточных функций по постоянному току (*Analysis > DC...*) и подпрограммы расчета во временной области (*Analysis > Transient...*).

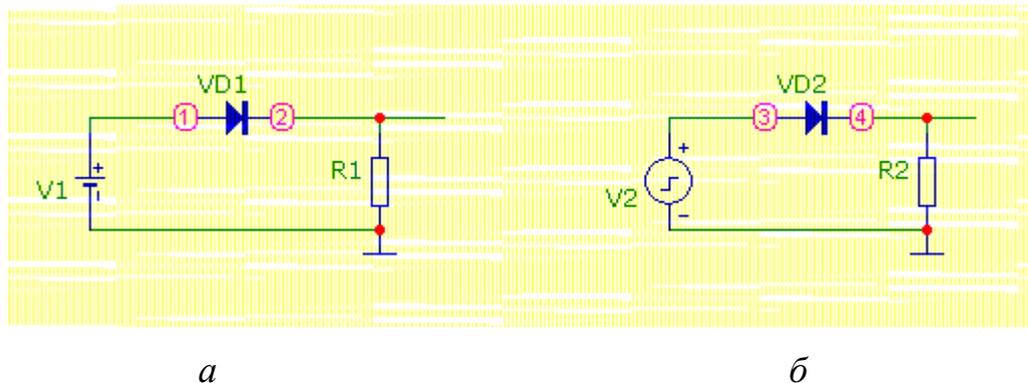


Рис. 2.2

Тип диода, величина постоянного напряжения  $V1$ , значения импульсного сигнала  $V2$  ( $VZERO$  и  $VONE$ ) и величина сопротивления резистора  $R$  приведены в табл. 2.2 для каждой бригады.

Таблица 2.2

№ бригады	Тип диода (VD1 и VD2)	V1, В	R1, R2, Ом	V2	
				VZERO	VONE
1	1N752	1,0	10	-2	1,0
2	1N4729	1,25	15	-3	1,25
3	1N4742	1,5	15	-5	1,5
4	2S191G	1,75	10	-2,5	1,75
5	D74	2,0	25	-3	2,0
6	KD104A	2,25	25	-4	2,25

С помощью подпрограммы моделирования  $DC$  следует провести измерение статической ВАХ диода, при этом в графе *X Expression*

указывается напряжение на диоде  $V(D1)$  (или  $V(1) - V(2)$ ), а в графе *Y Expression* – ток через диод  $I(D1)$  (или  $-I(R1)$ ). Задав диапазон изменения температуры окружающей среды в пределах  $+60^{\circ}\text{C} \dots -60^{\circ}\text{C}$  с шагом  $20^{\circ}\text{C}$ , можно получить семейство ВАХ, которое показывает температурную зависимость этих характеристик. Целесообразно обсудить и назвать причины такой температурной зависимости.

С помощью подпрограммы моделирования *Transient* следует провести анализ переходных процессов в схеме, которая изображена на рис. 2.2, б, и обсудить полученные результаты. Параметры источника импульсного сигнала  $V2$  принять равными:

$$P1 = 100 \text{ н}, P2 = 105 \text{ н}, P3 = 500 \text{ н}, P4 = 505 \text{ н}, P5 = 1 \text{ м}.$$

## **2.2. Выдача индивидуальных расчетных заданий**

В этой части упражнения преподавателю следует использовать методические указания, которые специально разработаны лектором по дисциплине «Основы компьютерного проектирования РЭС» и предваряют выдачу студентам конкретных индивидуальных расчетных заданий.