

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.

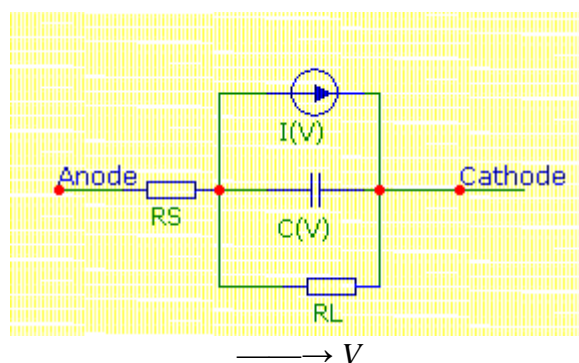


Рис. 2.1

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	∞	
<i>BV</i>	Обратное напряжение пробоя (положительная величина)	B	∞	
<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	×

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

$$C = C_D + C_B,$$

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

TT – время переноса заряда,

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

C_B – барьерная составляющая полной емкости диода.

Если $V \leq FC \cdot VJ(T)$, то

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

в противном случае

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

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...*).

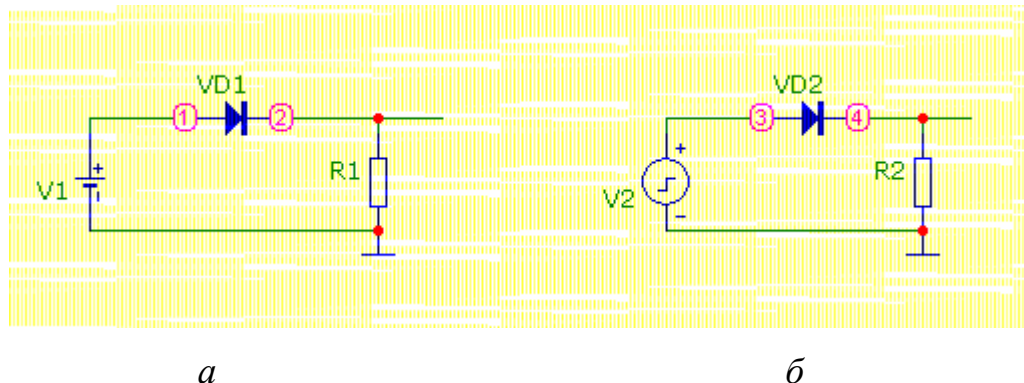


Рис. 2.2

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°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.