



**«Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)»**

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

**О Т Ч Е Т**

**по домашней работе № 1**

**Дисциплина:** Электроника

**Название:** Исследование вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик  
полупроводникового диода (Вариант №19)

Студент ИУ6-42Б 08.03.24 А. П. Плюitto  
(Группа) (Подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Преподаватель 08.03.24 В.А. Карпухин  
(Подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Москва 2024 г.

## Содержание

1. Цель работы .....	3
2. Задание и требования к отчету .....	4
2.1. Задание .....	4
2.2. Требования к отчету .....	4
2.3. Задание по варианту .....	4
3. Выполнение работы .....	5
3.1. Задание 1 .....	5
3.2. Задание 2 .....	9
4. Вывод .....	14

## **1. Цель работы**

Исследование вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик модели полупроводникового диода в программе аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей Micro-Cap 12.

## 2. Задание и требования к отчету

### 2.1. Задание

1. Построить прямую и обратную ветви вольт-амперной характеристики диода (модель выбирается согласно варианту, см. приложенный к заданию файл). Оценить влияние допустимого рабочего диапазона температур на характеристики полупроводникового диода.
2. Проанализировать зависимость собственной барьерной емкости диода от напряжения смещения (рекомендуется использовать параллельный резонансный контур, при этом добротность контура и частоту резонанса при нулевом смещении выбрать согласно варианту).

### 2.2. Требования к отчету

Отчет должен полностью удовлетворять заданию, должен быть выполнен в соответствии с индивидуальным вариантом и должен быть предоставлен для проверки в обозначенные сроки. Для удобства оценки работы рекомендуется отображать в отчете все важные промежуточные этапы как с помощью вспомогательных иллюстраций, так и с помощью поясняющего текста. Отчет рекомендуется оформить в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017.

### 2.3. Задание по варианту

Модель элемента	$U_{ст}, В$				$aU_{ст}, \%/^{\circ}C$	$dU_{ст}, \%$
	мин.	ном.	макс.	$I_{ст}, мА$		
Д816Б	24, 2		29, 5	150	0, 12	5

$U_{пр}, В$	$r_{ст}, Ом$	$I_{ст}, мА$		$P_{пр}, Вт$	$T, ^{\circ}C$	Модель в МС12
При $I_{ст}, мА$		мин.	макс.			
1, 5(500)	8(150)	10	180	5	–60...130	D816B

Добротность контура	Частота резонанса, кГц
33	330

### 3. Выполнение работы

#### 3.1. Задание 1

Для получения прямой ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода на рабочем поле Micro-Cap 12 (MC12) составляется принципиальная схема, представленная на рис.1.

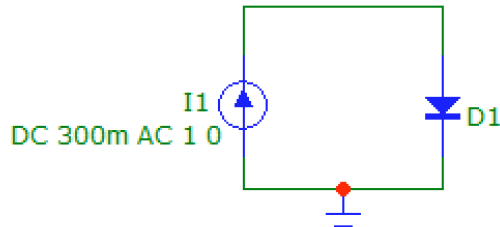


Рисунок 1 — Принципиальная схема

Построим прямую и обратную ветвь ВАХ для выбранной модели диода (рис. 2-3).

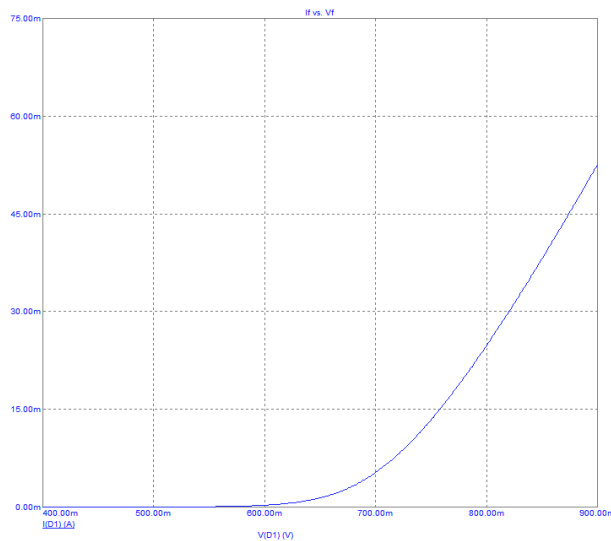


Рисунок 2 — Прямая ветвь ВАХ

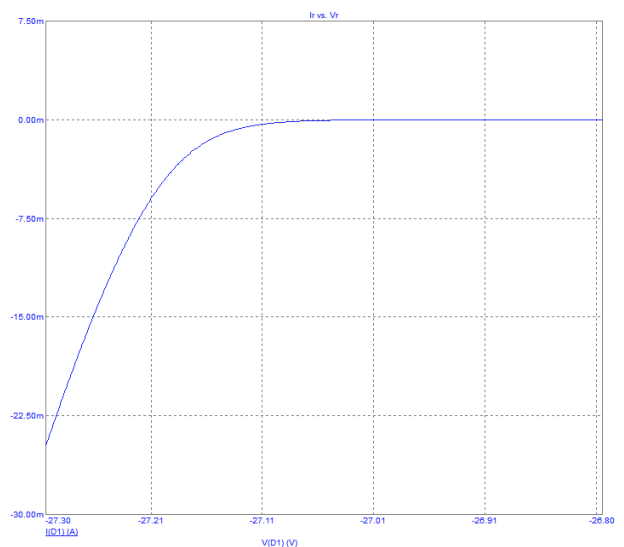


Рисунок 3 — Обратная ветвь ВАХ

Исследуем принципиальную схему, для этого проведем анализ Dynamic DC... . Этот анализ называется анализом динамических процессов по постоянному току.

Dynamic DC  
 Temperature=27  
 Displaying DC Voltages  
 PGT = Total power generated = 493.271m  
 PDT = Total power dissipated = 493.271m

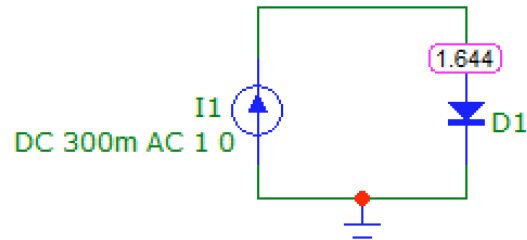


Рисунок 4 — Анализ динамических процессов по постоянному току

Тут видно, что при составлении схемы ошибок допущено не было.

Проведем теперь анализ DC... Этот анализ называется анализом передаточных характеристик по постоянному току. В данном случае будем анализировать зависимость ВАХ от изменения температуры.

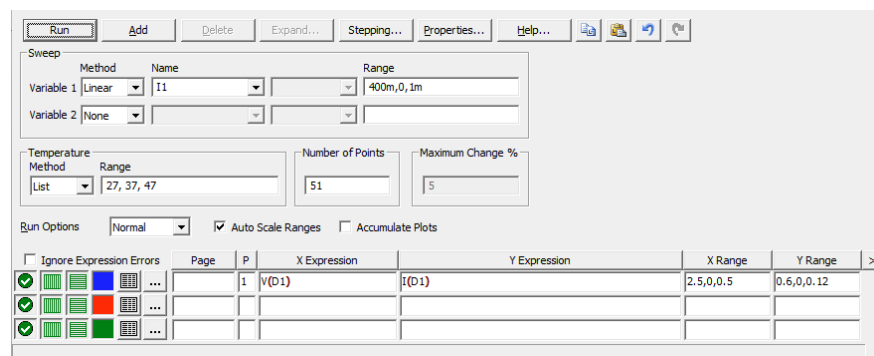


Рисунок 5 — Настройки анализа DC

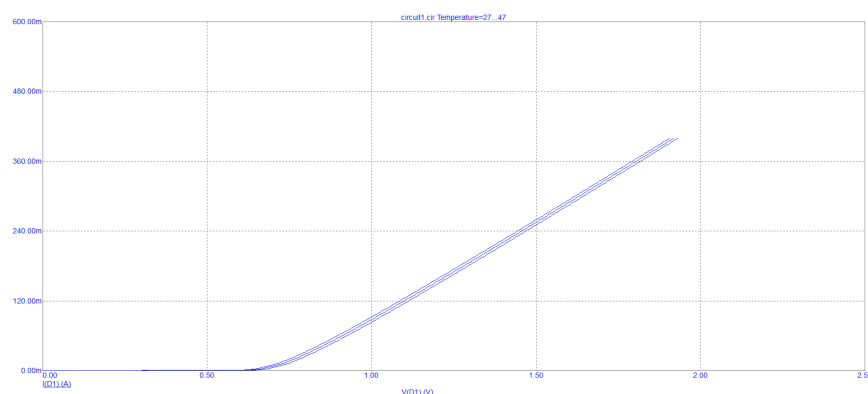


Рисунок 6 — Анализ DC

Получили 3 графика, наложенные друг на друга. Добавим на эти графики немного информации.

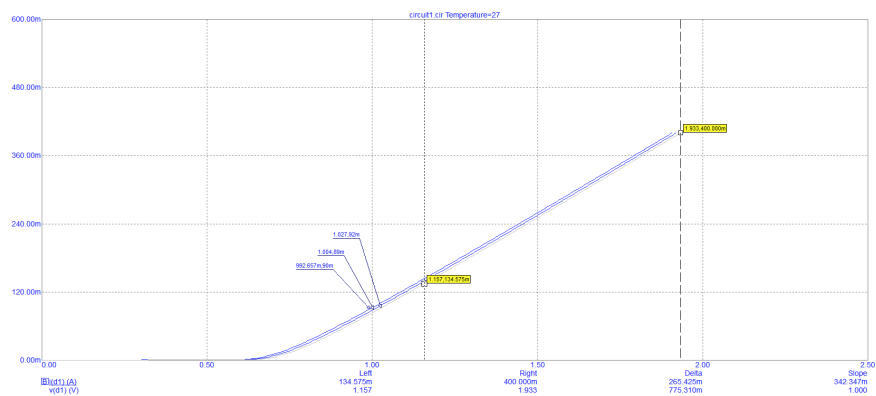


Рисунок 7 — Анализ **DC**

Добавим несколько температур: от  $-60$  до  $60$  с шагом  $20$ .

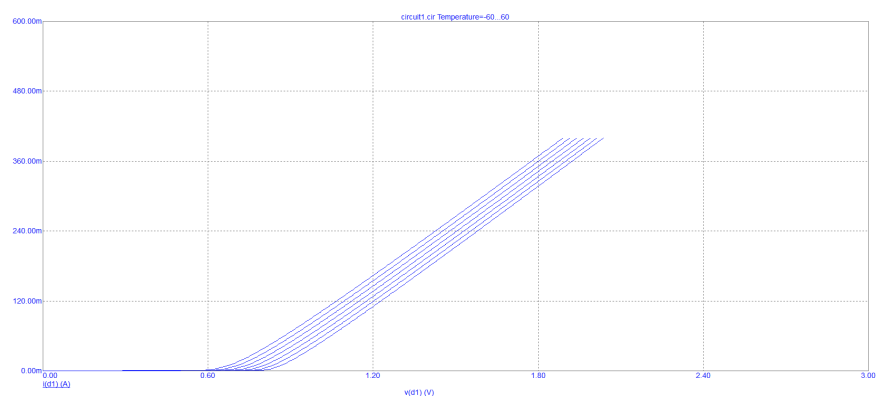


Рисунок 8 — Анализ **DC** для 7 температур

Графики получились похожие: чем больше температура тем сила тока возрастает быстрее с увеличением напряжения.

Теперь перестроим принципиальную схему для анализа обратной ветви.

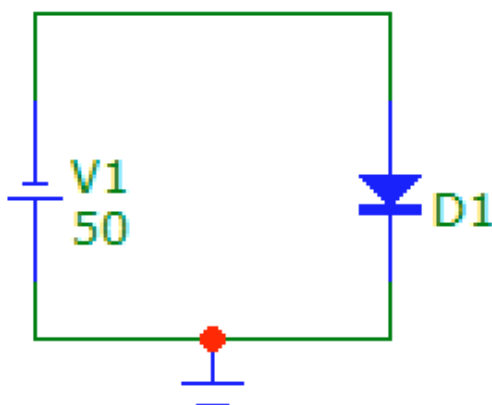


Рисунок 9 — Принципиальная схема №2

Снова запустим **Dynamic DC...** и увидим, что диод находится в закрытом состоянии.

Dynamic DC  
Temperature=27  
Displaying DC Voltages  
PGT = Total power generated = 403.553  
PDT = Total power dissipated = 403.553

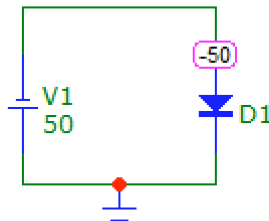


Рисунок 10 — **Dynamic DC** для второй схемы

Построим ВАХ относительно 3 температур.

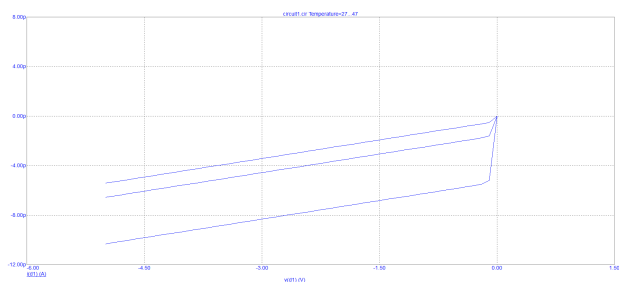


Рисунок 11 — Обратные ветви ВАХ при трех температурах

Теперь видно, что с увеличением температуры при уменьшении напряжения сила тока падает больше, причем эта зависимость нелинейна. Возьмем большее количество температур и снова запустим анализ.

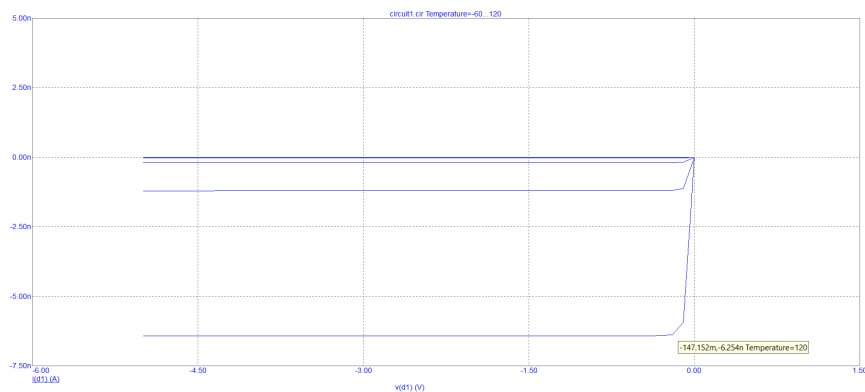


Рисунок 12 — **Dynamic DC** для второй схемы



Видно, что сила тока на температуре 120 упала настолько низко, что остальные графики практически слились в один.

## 3.2. Задание 2

Для начала определим собственную емкость диода (обозначим далее как  $C_{JO}$  ).

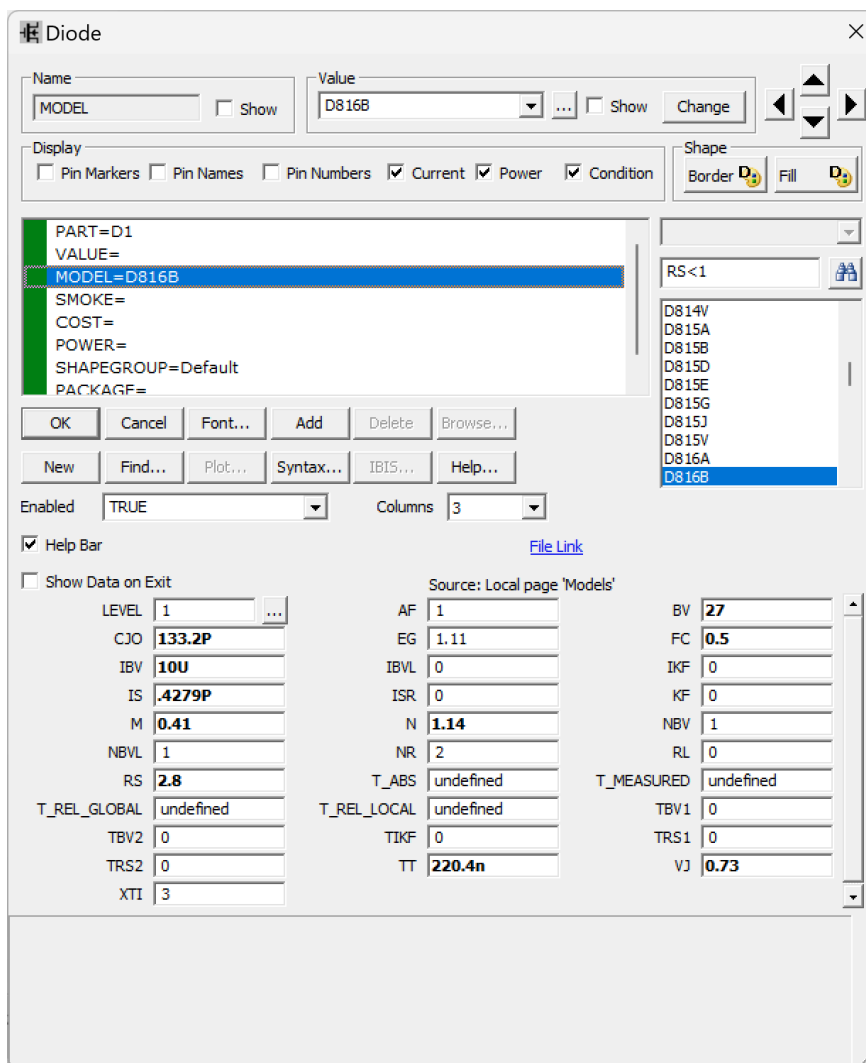


Рисунок 13 — Параметры диода

Как видим в поле  $C_{JO}$  собственная емкость диода равна 133.2 пикафарад.

Добавим в схему параллельный колебательный контур. В параллельном колебательном контуре присутствуют три элемента: катушка индуктивности, конденсатор и резистор. Определим номиналы этих элементов.

У конденсатора возьмем  $C_1 = 1..5 C_{JO} \approx 133.2$  пФ. Для разделительного конденсатора возьмем значение на порядок большее  $C_1$  и  $C_{JO}$ ,  $C_2 = 100..1000 C_{JO} \approx 65000$  пФ. Таким образом расчет сложной емкости

можно приближенно произвести без учета влияния разделительного конденсатора.

$$C_k = C_1 + \frac{C_2 \times \text{CJO}}{C_2 + \text{CJO}} \simeq C_1 + \text{CJO} = 433.2 \text{ пФ}$$

Номинал катушки индуктивности определим по формуле Томпсона:

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{1}{(2 \times \pi \times f_0)^2 \times (C_1 + \text{CJO})} = \\ &= \frac{1}{(2 \times 3.1415 \times 300 \cdot 10^3)^2 \times 433.2 \cdot 10^{-12}} \simeq \\ &\simeq 0,00065 \text{ Гн} = 650 \text{ мГн} \end{aligned}$$

Номинал резистора определяется параметрами контура и соотношением реактивных потерь в контуре к активным – то есть параметром добротности  $Q$  по следующей формуле:

$$R_1 = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \frac{1}{33} \sqrt{\frac{650 \cdot 10^{-6}}{300 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{33} \cdot 1471,96 = 44,6 \text{ Ом}$$

Помимо элементов контура в схеме присутствуют два резистора  $R_2$  и  $R_b$ , отвечающие за сопротивление источников переменного и постоянного напряжения. Номиналы этих резисторов выбираются в диапазоне от 1 до 5 значений сопротивления контура на резонансной частоте, а это сопротивление может быть определено из значений элементов контура как

$$R_{\text{рез}} = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{L_1}{C_1} = \frac{650 \cdot 10^{-6}}{33 \times 300 \cdot 10^{-12}} = 65,65 \text{ кОм}$$

$$R_2 = R_b = 1..5 R_{\text{рез}} \simeq 164,14 \text{ кОм}$$

Итак, мы рассчитали все номиналы для построения параллельного резонансного контура. Составим новую принципиальную схему, опираясь на эти значения.

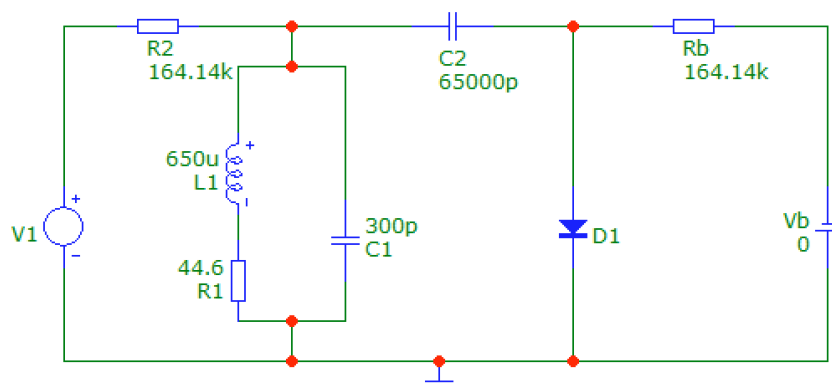


Рисунок 14 — Принципиальная схема для части 2

Заметим, что напряжение на  $V_b$  сейчас равно 0. В последствии мы будем изменять это напряжение и следить, как меняется резонансная частота.

Проведем анализ **АС...** — анализ частотных характеристик. Посмотрим на зависимость  $V(C1)$  от изменения частоты на генераторе. Минимальное и максимальное значения возьмем как в два раза меньшее и в два раза большее отклонение от частоты резонанса.

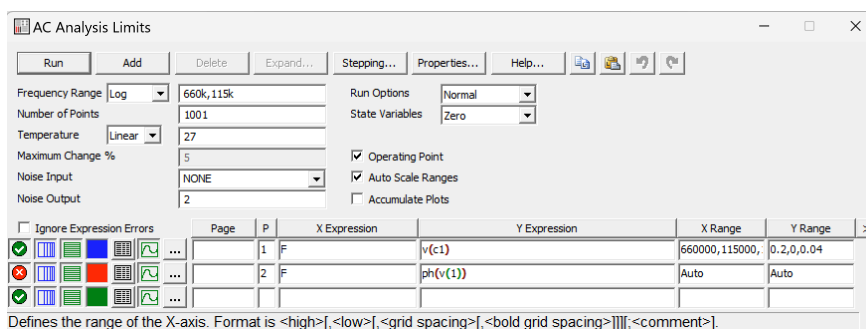


Рисунок 15 — Настройки анализа частотных характеристик

После этого проведем сам анализ и выделим максимум напряжения — он будет на частоте резонанса.

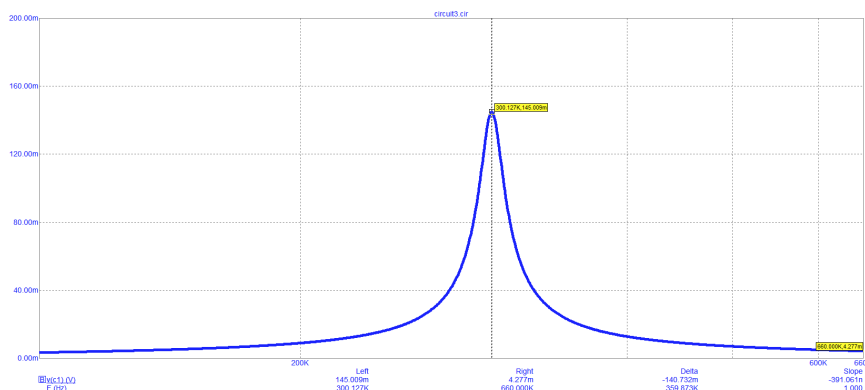


Рисунок 16 — Анализ частотных характеристик при  $V_b = 0V$

При увеличении  $V_b$  частота резонанса и максимальное значение напряжения будут увеличиваться. Покажем это на 10 наложенных друг на друга графиках – при  $V_b = 0..10$  В.

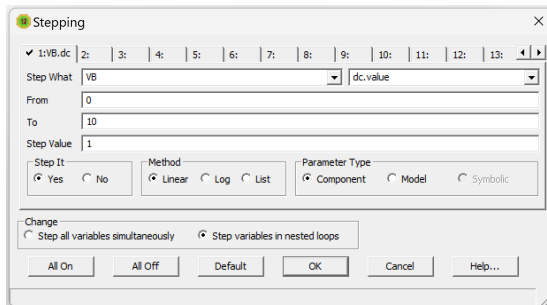


Рисунок 17 — Настройки Stepping

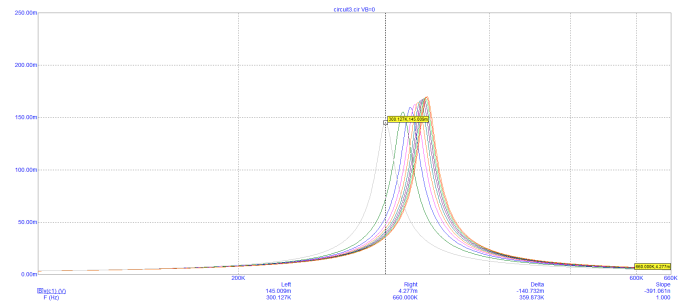


Рисунок 18 — АС анализ при разных значениях  $V_b$

Теперь по этим 10 значениям построим зависимость  $CJO$  от  $V_b$ . Для этого используем механизм Performance Windows. По оси X выбираем  $V_b$ , а по оси Y может быть любая формула, поэтому введем формулу для вычисления  $CJO$  через частоту резонанса:

$$CJO = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_0)^2 \times L_1} - C_1$$

В MC12 эту формулу можно записать так:  $1/((2*3.14*Peak\_X(v(C1),1,1))^2*L(L1))-C(C1)$ . Где Peak\_X – функция взятия значения по X (частоты) из графиков анализа.

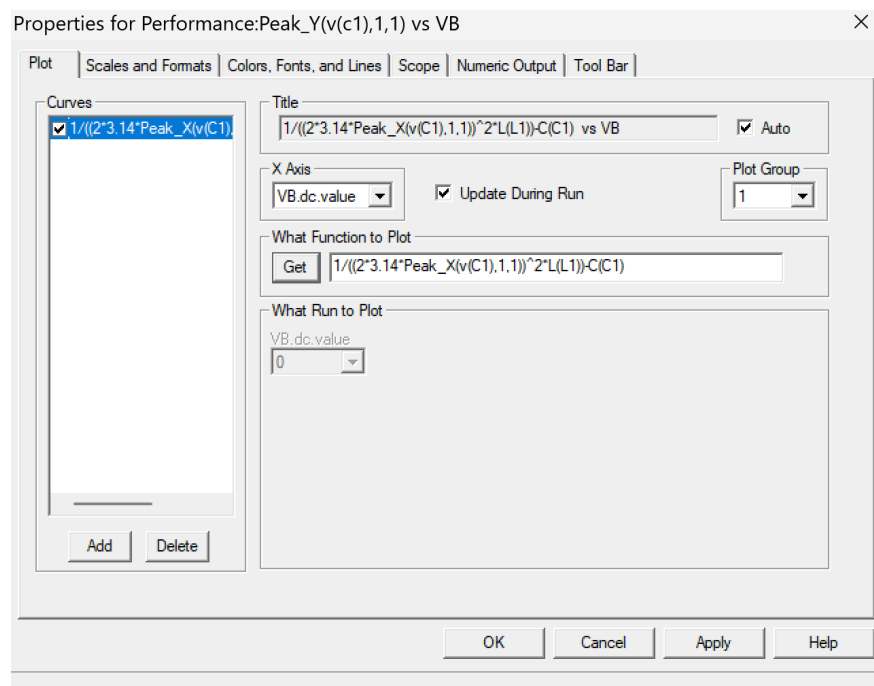


Рисунок 19 — Настройки Performance Windows

Получаем такой график:

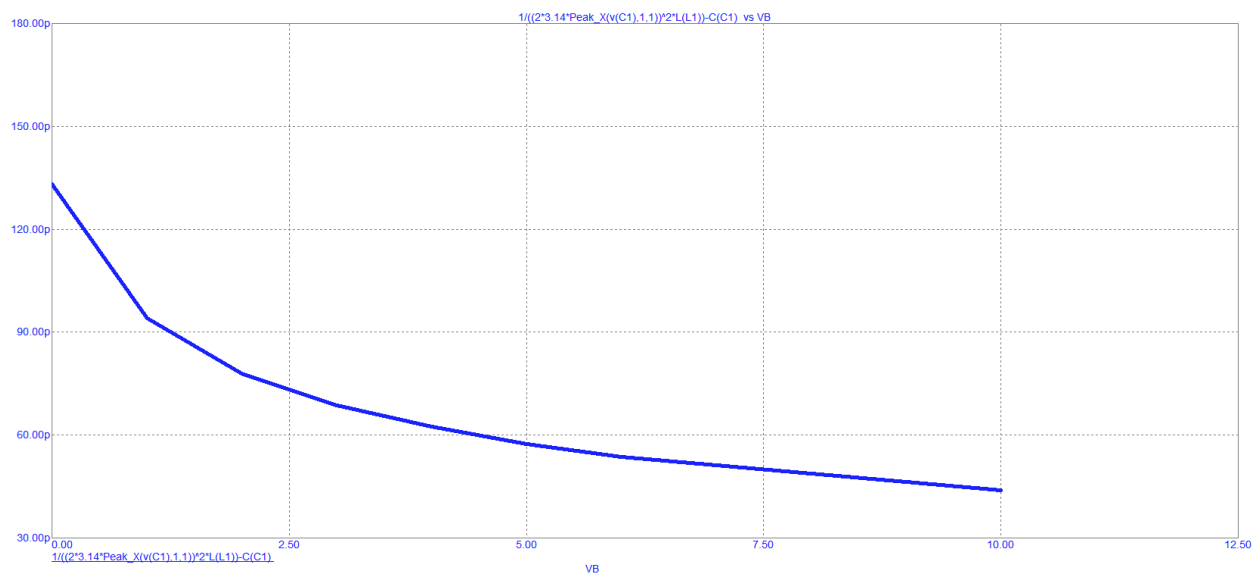


Рисунок 20 — График  $C_{JO}(f_0)$  (ВФХ диода)

Как мы видим, при увеличении напряжения собственная емкость диода падает, но при  $V_b = 0$  емкость диода соответствует емкости в документации (рис. 13).

#### **4. Вывод**

В процессе работы были исследованы вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики модели полупроводникового диода в программе аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей Micro-Cap 12. Построены прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики диода. Оценено влияние допустимого рабочего диапазона температур на характеристики полупроводникового диода. Проанализирована зависимость собственной барьерной емкости диода от напряжения смещения.