



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 «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

**ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1**  
**«РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ**  
**ДИОДА»** по курсу «Основы электроники»

Студент: Беляк Софья Сергеевна

Группа: ИУ7-32Б

Вариант: 2

Студент  
*подпись, дата*

\_\_\_\_\_ Беляк С.С.

Преподаватель  
*подпись, дата*

\_\_\_\_\_ Оглоблин Д. И.

Оценка \_\_\_\_\_ 2023

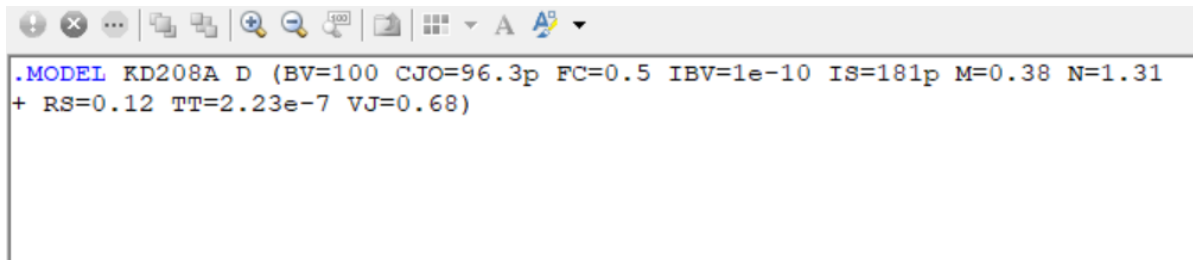
## **Цель работы**

Цель работы – проведение экспериментальных исследований (натурных и модельных в программах схемотехнического анализа MathCad 15 и Micro-Cap 12) полупроводникового диода с целью получения исходных данных для расчёта параметров модели полупроводникового диода и внесение модели в базу данных программ схемотехнического анализа.

## Параметры диода

В данной работе применяется диод KD208A.

Характеристики диода представлены ниже в текстовом виде, взятые из вкладки "Text" программы Microcap.



```
.MODEL KD208A D (BV=100 CJO=96.3p FC=0.5 IBV=1e-10 IS=181p M=0.38 N=1.31
+ RS=0.12 TT=2.23e-7 VJ=0.68)
```

Рис. 1. Параметры диода на вкладке Text программы Microcap.

## Получение цепи для вычисления емкости диода в программе Microcap

Диод, когда он находится в состоянии обратного смещения, ведет себя как переменная емкость, которая изменяется в зависимости от напряжения, применяемого к его концам.

Для определения этой емкости можно использовать косвенный метод, измеряя резонансную частоту вместе с подключенным диодом в известном контуре.

Для проведения измерения резонансной частоты можно создать следующую схему (см. рис. 2).

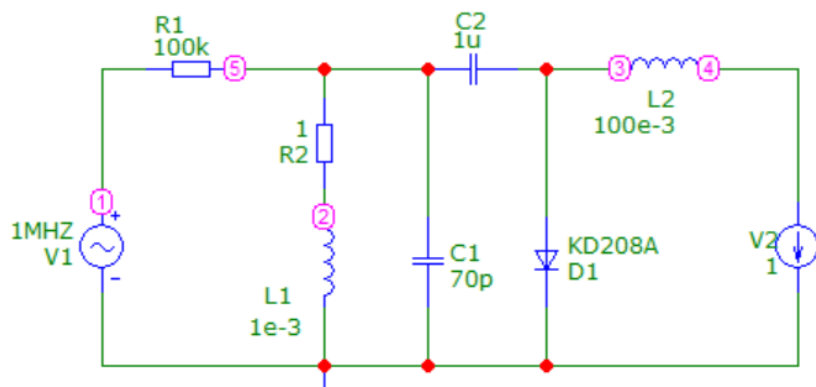


Рис. 2. Цепь для вычисления емкости диода.

Резонансная частота параллельного колебательного контура предварительно может быть подсчитана по формуле Томпсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 1/f_{\text{рез}}$$

Предварительно оцениваем частоту контура встроенным калькулятором:

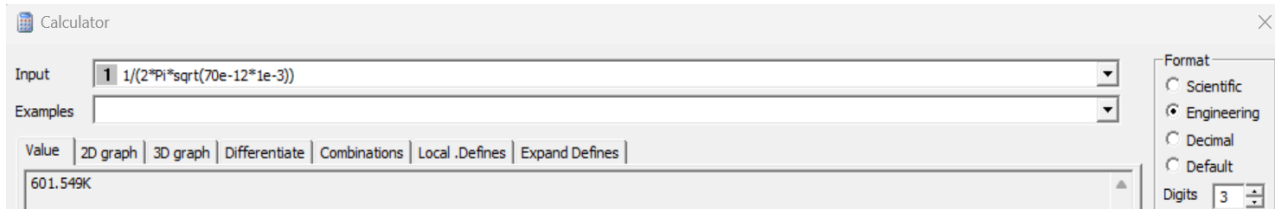


Рис. 3. Оценка частоты контура встроенным калькулятором.

Далее мы добавляем диод KD208A параллельно к нашей существующей схеме, а затем, используя экспериментальный метод, определяем резонансную частоту нового контура при различных значениях напряжения (V).

Для этой цели мы можем воспользоваться анализом переменного тока (AC analysis), устанавливая диапазон частот от 200 кГц до 600 кГц.

Этот диапазон выбран на основе формулы Томпсона, которая предсказывает, что частота колебаний контура без диода равна 600 кГц, и добавление диода уменьшит эту частоту.

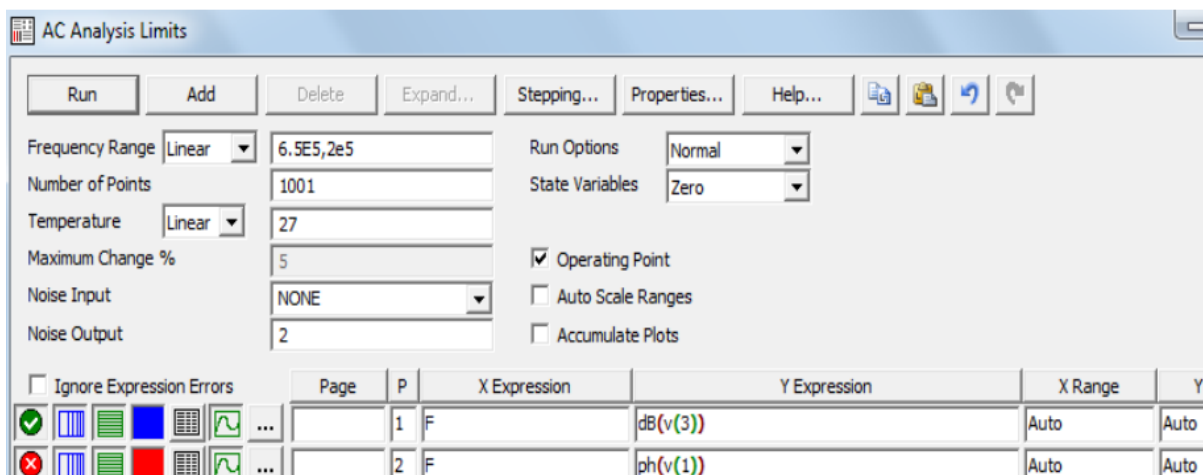


Рис. 4. Настройка пределов анализа по переменному току (AC).

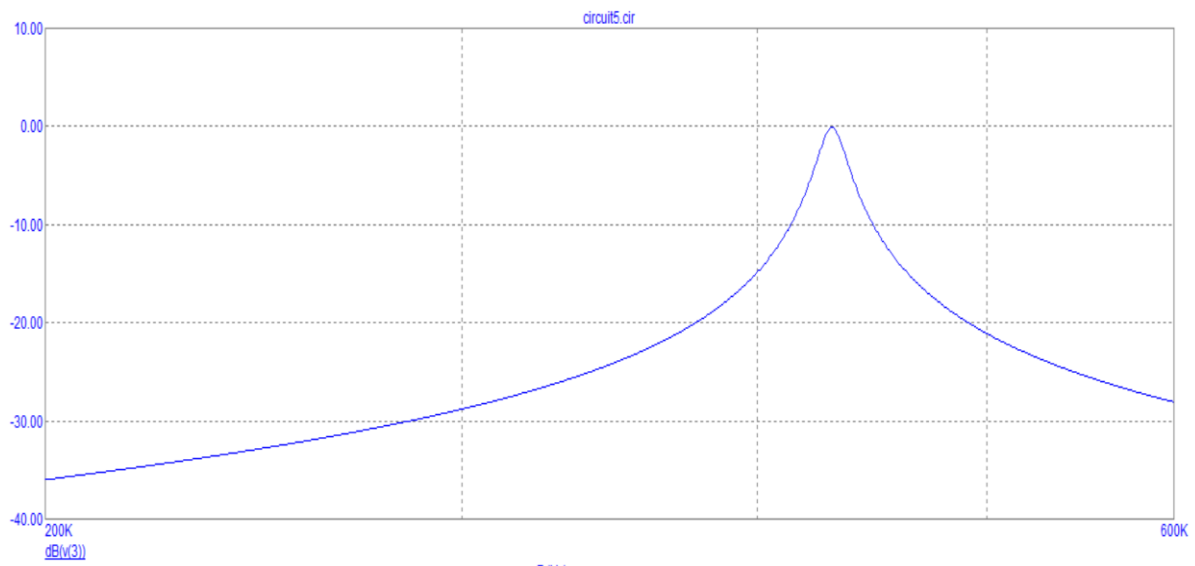


Рис. 5. Вид резонансной кривой.

Задавая значение напряжения источника управления V2, можно зафиксировать зависимость резонансной частоты от значения напряжения V2.

Включаем многовариантный режим анализа, используя возможности режима Stepping, запустив данный анализ для значений напряжения 1,2...10 вольт:

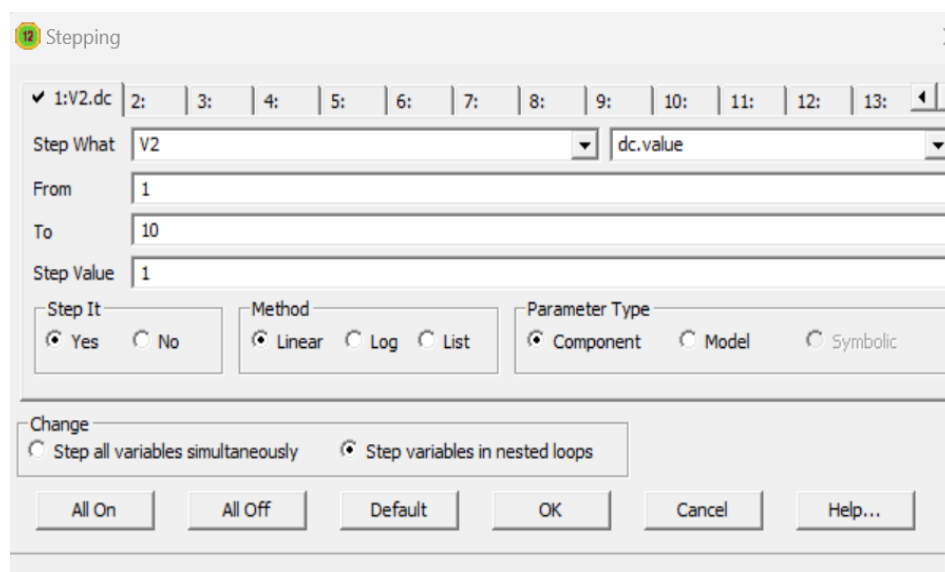


Рис. 6. Многовариантный режим анализа при помощи Stepping.

В результате решения будут получены несколько резонансных кривых, соответствующих указанным значениям напряжения управления.

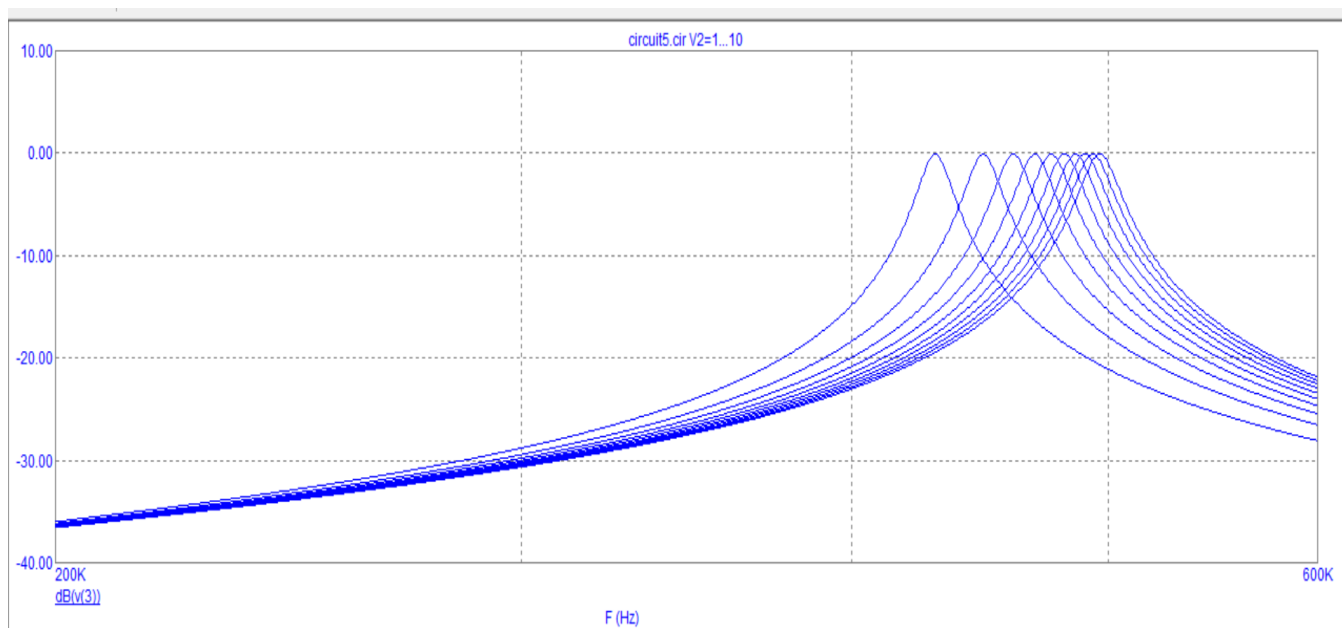


Рис. 7. Резонансные кривые в зависимости от смещения на диоде.

Исходя из графиков, мы можем выявить резонансные частоты, то есть точки максимума, при различных уровнях напряжения. Записываем эти резонансные частоты в файл вместе с соответствующими значениями напряжения в форме таблицы.

Важно отметить, что значения напряжения будут отрицательными, так как диод подключен в обратном направлении.

C:\MC12\data\circuit5.ANO	
-1	430114
-2	448237
-3	460456
-4	469083
-5	476000
-6	481592
-7	486078
-8	490019
-9	493696
-10	496806

Рис. 8. Таблица с напряжениями и резонансными частотами для Mathcad.

После импорта снятых показаний из программы Microsar в программу Mathcad и записи их в матрицу DATA, в столбце Vvar содержатся значения напряжения, а в столбце Fmax - резонансные частоты (см. рис. 9).

DATA := READPRN("C:\MC12\DATA\circuit5.DNO")	
Vvar := DATA <sup>(0)</sup>	Fmax := DATA <sup>(1)</sup>
	0
0	-1
1	-2
2	-3
3	-4
4	-5
5	-6
6	-7
7	-8
8	-9
9	-10

	0
0	4.301·10 <sup>5</sup>
1	4.482·10 <sup>5</sup>
2	4.605·10 <sup>5</sup>
3	4.691·10 <sup>5</sup>
4	4.76·10 <sup>5</sup>
5	4.816·10 <sup>5</sup>
6	4.861·10 <sup>5</sup>
7	4.9·10 <sup>5</sup>
8	4.937·10 <sup>5</sup>
9	4.968·10 <sup>5</sup>

Рис. 9. Таблицы данных.

Построим график зависимости резонансной частоты от напряжения:

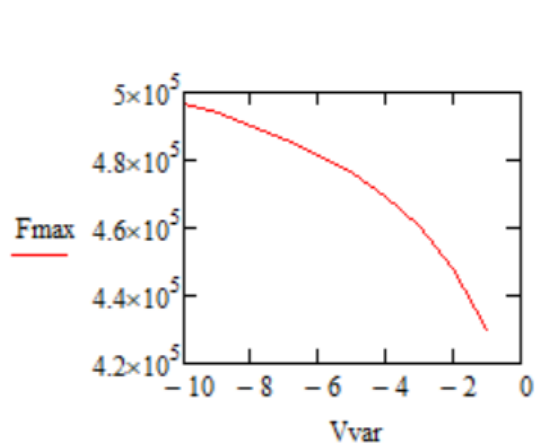


Рис. 10. График зависимости резонансной частоты от напряжения.

Согласно формуле Томпсона, резонансная частота контура связана с

характеристиками следующим образом:

$$Fr = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(Ck + Cd) \cdot Lk}}, \text{ где}$$

- $Ck$  - емкость известного конденсатора (C1).
- $Lk$  - известная индуктивность (L1).
- $Cd$  - емкость диода

Исходя из этой формулы, емкость диода ( $C_d$ ) может быть рассчитана следующим

$$\frac{C_k \cdot L_k - \frac{1}{4 \cdot F_r^2 \cdot \pi^2}}{L_k}$$

образом:

Перенесем из программы Microcap известные значения, относящиеся к характеристикам контура:

$$C_k := 70 \cdot 10^{-12} \quad L_k := 10^{-3} \quad \pi := 3.14$$

Рис. 11. Характеристики контура.

Проведем расчет емкости диода для всех значений напряжения:

$$C_k := 70 \cdot 10^{-12} \quad L_k := 10^{-3} \quad \pi := 3.14$$

$$C_d := \frac{C_k \cdot L_k - \frac{1}{4 \cdot F_{\max}^2 \cdot \pi^2}}{L_k}$$

Cd =

+

	0
0	$6.706 \cdot 10^{-11}$
1	$5.62 \cdot 10^{-11}$
2	$4.959 \cdot 10^{-11}$
3	$4.523 \cdot 10^{-11}$
4	$4.191 \cdot 10^{-11}$
5	$3.933 \cdot 10^{-11}$
6	$3.732 \cdot 10^{-11}$
7	$3.56 \cdot 10^{-11}$
8	$3.403 \cdot 10^{-11}$
9	$3.273 \cdot 10^{-11}$

Рис. 12. Таблица емкостей диода.

Получим график зависимости емкости диода от напряжения:

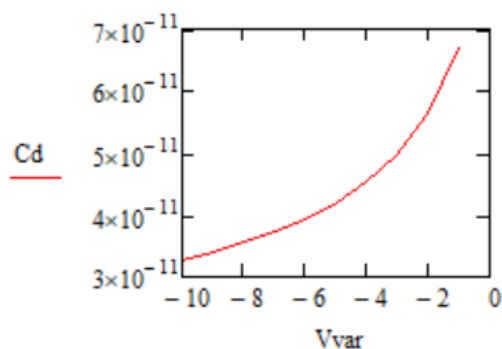


Рис. 13. График зависимости емкости диода от напряжения.



Вычислим характеристики диода: барьерную емкость и контактную разность

$$C_d(U) := C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{U}{V_{J0}}\right)^{-M}$$

потенциалов, используя следующую формулу:

Для расчета параметров барьерной емкости по указанной формуле, мы можем применить метод решения системы нелинейных уравнений с использованием вычислительного блока Given-Minerr.

Для этого мы задаем систему из трех уравнений и начальное приближение:

---

Given

$$(C_{d_0}) = C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var_0}}{V_{J0}}\right)^{-M}$$

$$(C_{d_1}) = C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var_1}}{V_{J0}}\right)^{-M}$$

$$(C_{d_2}) = C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var_2}}{V_{J0}}\right)^{-M} \quad +$$

$$\text{Minerr}(C_{J0}, V_{J0}, M) = \begin{pmatrix} 9.083 \times 10^{-11} \\ 0.985 \\ 0.433 \end{pmatrix}$$

*Рис. 14. Значение параметров диода.*

Сравним со значениями одноименных параметров, указанных в архиве отечественных полупроводниковых приборов:

.Model KD208A D(Is=181p N=1.31 Rs=0.12 **Cjo=96.3p** Tt=2.23e-7

+ **M=0.38 Vj=0.68** Fc=0.5 Bv=100 IBv=1e-10 Eg=1.11 Xti=3)

Cjo: у модели KD208A: 96.3 пФ. Полученные данные: 90.83 пФ. Данные имеют немного меньшее значение Cjo по сравнению с моделью KD208A (6 пикофарад), но разница не кажется критической.

Vj: у модели KD208A: 0.68 В. Полученные данные: 0.985 В. Потенциал немного выше, чем у модели KD208A.

М: у модели KD208A: 0.38. Полученные данные: 0.433. Полученные данные показывают, что значение М больше, чем у модели KD208A. Это также указывает на небольшое различие в характеристиках.

В целом, различия между полученными данными и характеристиками модели KD208A не кажутся критически важными, но они могут повлиять на работу диода.

## **Вывод**

В ходе данной работы, я ознакомилась с интерфейсами и инструментами Microcap 12 и Mathcad 15. Я приобрела навыки построения электрических цепей для измерения емкости диода или любой другой емкости с использованием резонансного метода. Кроме того, я освоила расчет барьерной емкости диода, используя статистические данные о его применении.