

**МГТУ им. Н.Э. Баумана**

**Дисциплина электроника**

**Лабораторный практикум №1**

**по теме: «Полупроводниковые диоды»**

**Работу выполнил:**

**студентка группы ИУ7-34Б**

**Ильченко Ева**

**Работу проверил:**

## Оглавление

Оглавление.....	2
Цель практикума.....	3
Часть 2.....	4
Получение цепи для вычисления емкости диода в программе Microcap.	4

## **Цель практикума**

Получение в программе схемотехнического анализа Microcap и исследование статических характеристик кремниевого полупроводникового диода с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов. Освоение программы Mathcad для расчёта параметров модели полупроводниковых приборов на основе данных экспериментальных исследований

## Часть 2

### 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

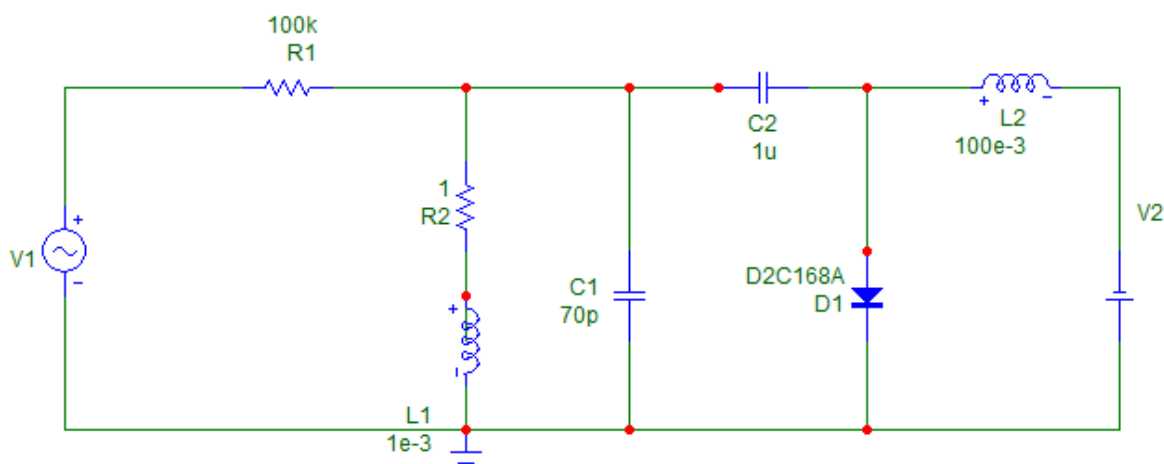


Рис. 13. Цепь для вычисления емкости диода

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:

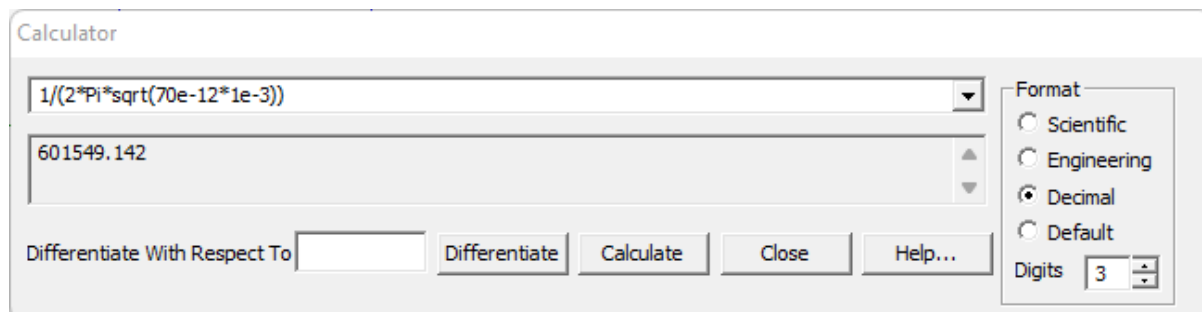


Рис. 14. Оценка частоты контура встроенным калькулятором.

Далее мы добавляем диод D2C168A 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.

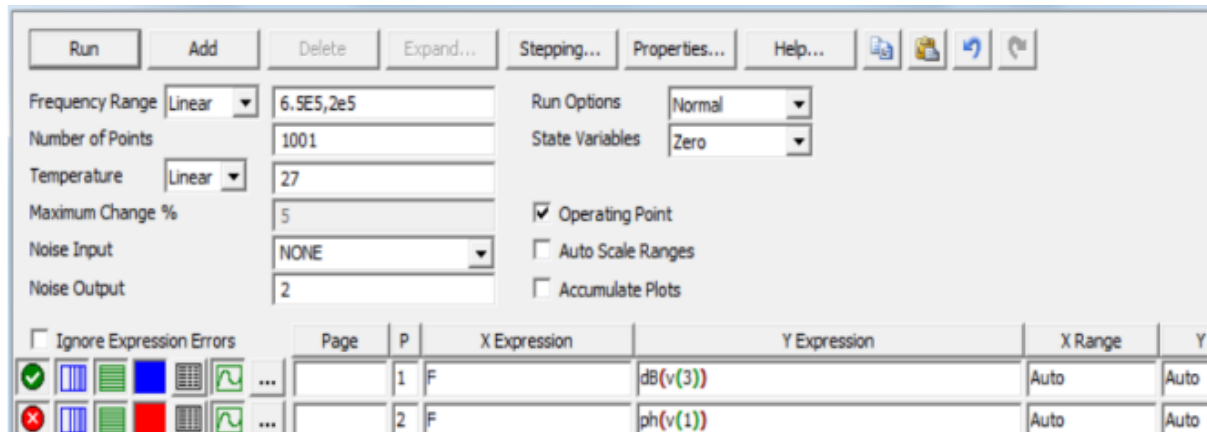


Рис. 15. Настройка пределов анализа по переменному току (AC).

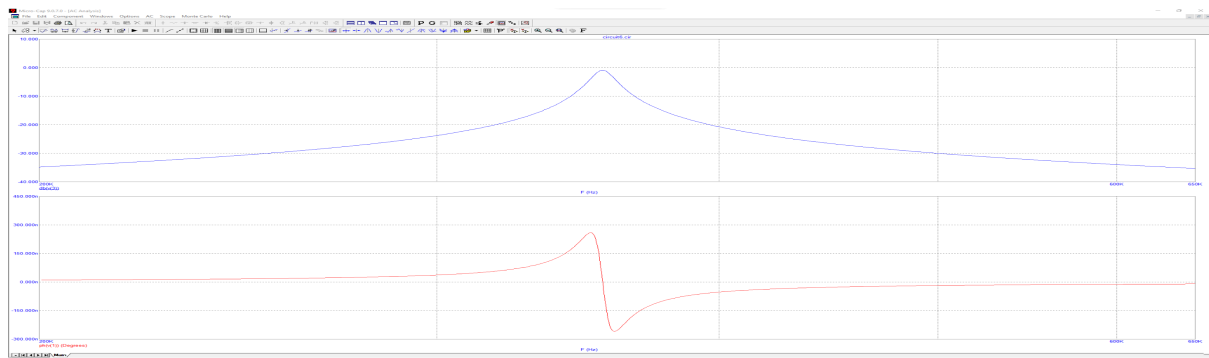


Рис. 16. Вид резонансной кривой.

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

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

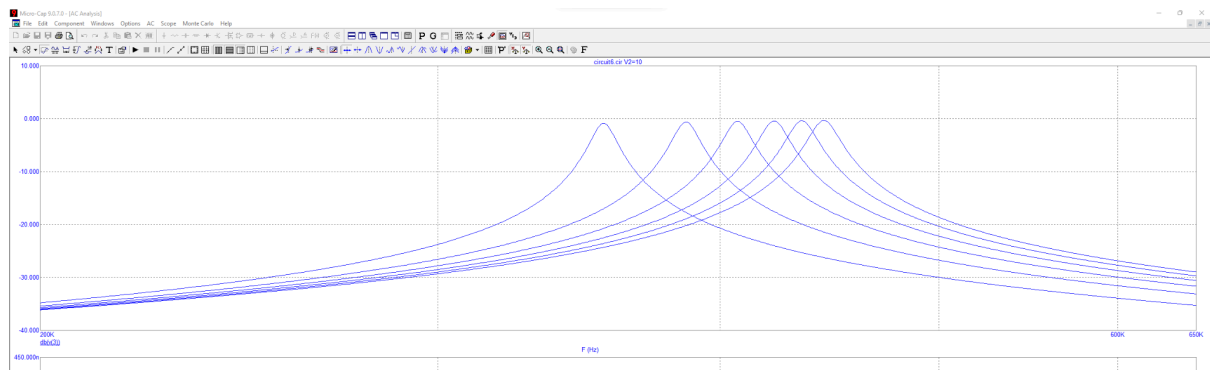


Рис. 17. Резонансные кривые в зависимости от смещения на диоде.

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.

После импорта снятых показаний из программы Microcap в программу Mathcad и записи их в матрицу DATA, в столбце Vvar содержатся значения напряжения, а в столбце Fmax - резонансные частоты

Vvar :=		Fmax :=	
	0		0
0	-1	0	$3.553 \cdot 10^5$
1	-2	1	$3.862 \cdot 10^5$
2	-3	2	$4.071 \cdot 10^5$
3	-4	3	$4.224 \cdot 10^5$
4	-5	4	$4.346 \cdot 10^5$
5	-6	5	$4.45 \cdot 10^5$
6	-7	6	$4.541 \cdot 10^5$
7	-8	7	$4.601 \cdot 10^5$
8	-9	8	$4.622 \cdot 10^5$
9	-10	9	$4.634 \cdot 10^5$

Рис. 18. Таблицы данных.

Построим график зависимости резонансной частоты от напряжения:

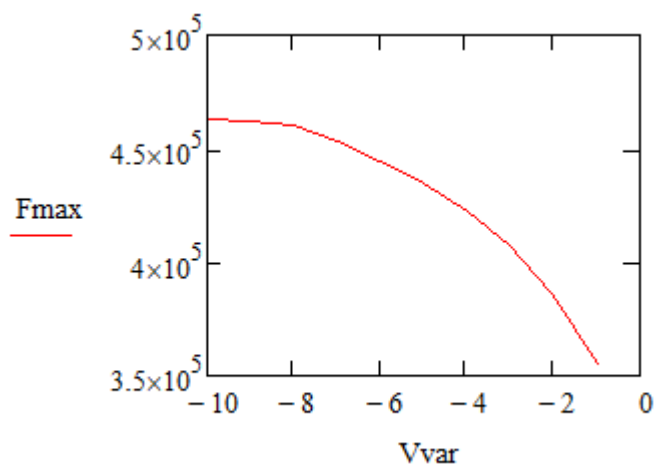


Рис. 19. График зависимости резонансной частоты от напряжения.

Емкость диода ( $C_d$ ) может быть рассчитана следующим образом

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

$$\frac{\quad}{L_k}$$

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

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

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

	0
0	$1.909 \cdot 10^{-10}$
1	$1.6 \cdot 10^{-10}$
2	$1.43 \cdot 10^{-10}$
3	$1.321 \cdot 10^{-10}$
4	$1.242 \cdot 10^{-10}$
5	$1.181 \cdot 10^{-10}$
6	$1.13 \cdot 10^{-10}$
7	$1.098 \cdot 10^{-10}$
8	$1.087 \cdot 10^{-10}$
9	$1.081 \cdot 10^{-10}$

Рис. 20. Таблица емкостей диода.

Получим график зависимости емкости диода от напряжения:

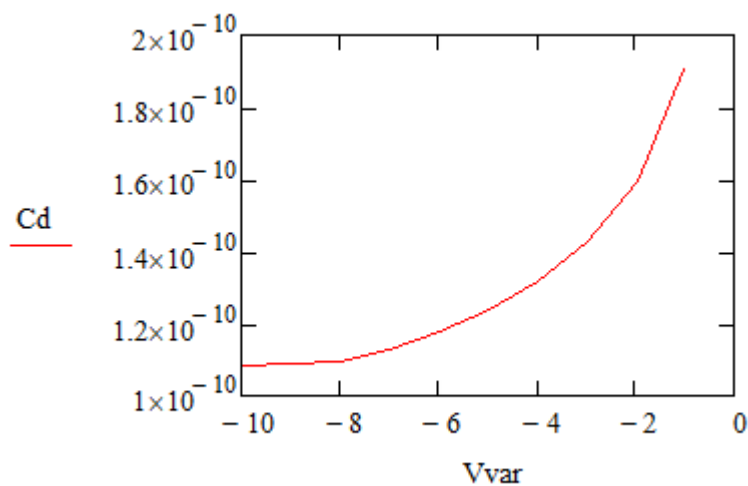


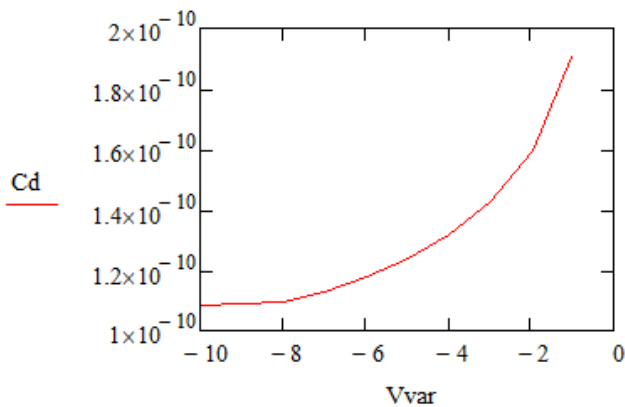
Рис. 21. График зависимости емкости диода от напряжения.

Вычислим характеристики диода: барьерную емкость и контактную разность потенциалов, используя следующую формулу:

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

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:





$$M := 0.5 \quad VJ0 := 0.6 \quad CJO := 10^{-12}$$

Given

$$(Cd_0) = CJO \cdot \left(1 - \frac{Vvar_0}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$(Cd_1) = CJO \cdot \left(1 - \frac{Vvar_1}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$(Cd_2) = CJO \cdot \left(1 - \frac{Vvar_2}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$Minerr(CJO, VJ0, M) = \begin{pmatrix} 2.985 \times 10^{-10} \\ 0.315 \\ 0.313 \end{pmatrix}$$

Рис. 22. Значение параметров диода.

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

model D2C168A D(Is=31.47f Rs=9.494 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11 **Cjo=220p**  
**M=.5959 Vj=.75** Fc=.5 Isr=2.035n Nr=2 Bv=6.848 Ibv=95.79m Nbv=28  
 Ibvl=3m Nbv1=120 Tbv1=600u)

Cj0: Полученные данные немного больше истинных данных, но разница не кажется критической

Vj: Полученные данные немного ниже истинных

M: Полученные данные немного ниже истинных

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

## **Вывод**

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