

Министерство образования Российской Федерации
ФГБОУ ВПО “МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ”
(национальный исследовательский университет)
Кафедра 402

КУРСОВАЯ РАБОТА

“Расчет параметров модели р-п перехода”
(плоскостного диода)
Вариант 7

Выполнил: Доморощенов Д.С.
Студент 2 курса
Группы М4О-212Б-21

Преподаватель:
Плохих Андрей Павлович

Содержание:

Работа №1. Вольтамперные характеристики полупроводникового диода.....	3
Цель работы.....	3
Исходные данные.....	3
Расчетные формулы.....	4
Построение графиков.....	6
Вывод.....	14
Работа №2. Барьерная ёмкость полупроводникового диода и электронная перестройка частоты колебательного контура	15
Цель работы.....	15
Исходные данные.....	15
Расчетные формулы.....	15
Построение графиков.....	16
Вывод.....	23

Работа №1.

Вольтамперные характеристики полупроводникового диода

Цель работы.

- I. Расчет и построение вольтамперных характеристик полупроводникового диода при различных электрофизических параметрах идеального р-п-перехода.
- II. Расчет и построение вольтамперных характеристик полупроводникового диода при учете сопротивления базы.

Исходные данные.

Исходные данные для проведения расчетов (Вариант 7)

L_p, L_n		$N_A,$ $\times 10^{16}$ см^{-3}	$N_D,$ $\times 10^{14}$ см^{-3}	$R_b,$ Ом	$S_{\text{пер}},$ $\times 10^{-4}$ см^2	$P_{\text{макс}},$ $\times 10^{-3}$ Вт
Si, Ge $\times 10^{-2}\text{см}$	GaAs $\times 10^{-4}\text{см}$					
0,7	4,0	5,0	8,0	40,0	7,0	100,0

Электрофизические параметры полупроводников, используемых в диодных структурах:

Параметр полупроводниковой структуры	Полупроводник		
	Ge	Si	GaAs
Плотность атомов $N, \text{см}^{-3}$	$4,42 \times 10^{22}$	$4,99 \times 10^{22}$	$2,21 \times 10^{22}$
Диэлектрическая проницаемость ϵ , отн. ед.	16	12	10,9
Ширина запрещенной зоны ΔE , эВ	0,67 – 0,72	1,12	1,43
Собственные концентрации электронов и дырок при $T = 300 \text{ К}$ n_i и $p_i, \text{см}^{-3}$	$2,5 \times 10^{13}$	2×10^{10}	8×10^6
Коэффициент диффузии электронов $D_n, \text{см}^2/\text{с}$	90	38	220
Коэффициент диффузии дырок $D_p, \text{см}^2/\text{с}$	45	13	11,2
Подвижность электронов $\mu_n, \text{см}^2/\text{с В}$	3800	1300	8500
Подвижность дырок $\mu_p, \text{см}^2/\text{с В}$	1800	500	400

Время жизни неосновных носителей заряда τ , с	10^{-3}	$2,5 \times 10^{-3}$	10^{-8}
--	-----------	----------------------	-----------

Расчетные формулы.

1. Определим максимальную силу тока I_{\max}

$$I_{\max} = \sqrt{\left(\frac{P_{\max}}{R_6}\right)} = \sqrt{\frac{0,1}{40}} = 0,05 \text{ A}$$

Величина обратного тока определяется соотношением:

$$I_0 = q S_{\text{пер}} \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right)$$

Для нахождения I_0 необходимо рассчитать концентрации неосновных носителей в p- и n- областях в равновесном состоянии перехода для германиевого (Ge), кремниевое (Si) и арсенида галлия (GaAs) диодов:

1. Для германиевого диода:

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(2,5 \times 10^{13})^2}{8 \times 10^{14}} = \frac{(2,5 \times 10^{13})^2}{8 \times 10^{14}} = 7,8125 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$$

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(2,5 \times 10^{13})^2}{5 \times 10^{16}} = 1,25 \times 10^{10} \text{ см}^{-3}$$

$$I_0 = q S_{\text{пер}} \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) = 5,805 \times 10^{-7} \text{ A}$$

2. Для кремниевое диода:

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(2 \times 10^{10})^2}{8 \times 10^{14}} = 5 \times 10^5 \text{ см}^{-3}$$

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(2 \times 10^{10})^2}{5 \times 10^{16}} = 8 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$$

$$I_0 = q S_{\text{пер}} \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) = 1,08864 \times 10^{-13} \text{ A}$$

3. Для арсенид галлиевого диода:

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(8 \times 10^6)^2}{8 \times 10^{14}} = 8 \times 10^{-2} \text{ см}^{-3}$$

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(8 \times 10^6)^2}{5 \times 10^{16}} = 1,28 \times 10^{-3} \text{ см}^{-3}$$

$$I_0 = q S_{\text{пер}} \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) = 3,29728 \times 10^{-19} \text{ А}$$

Основные обозначения и формулы:

$$p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D}, n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A}$$

n_i – концентрация носителей в собственном полупроводнике;

N_D и N_A – концентрации донорной и акцепторной примесей;

L_n и L_p – диффузионные длины электронов и дырок;

D_n и D_p – коэффициенты диффузии электронов и дырок

$q = 1.6 \times 10^{-19}$ Кл – заряд электрона

2. Рассчитываем вольтамперные характеристики идеального и реального переходов и зависимость дифференциального сопротивления от напряжения.

Построение графиков.

1. Германиевый диод:

График 1.1 ВАХ германиевого диода при прямых значениях напряжения.

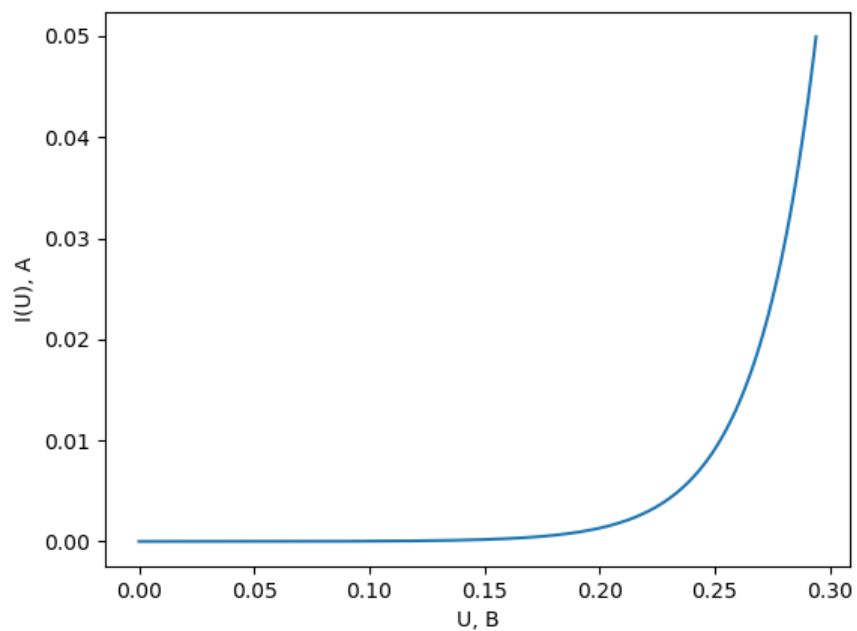


График 1.2 ВАХ германиевого диода при обратных значениях напряжения.

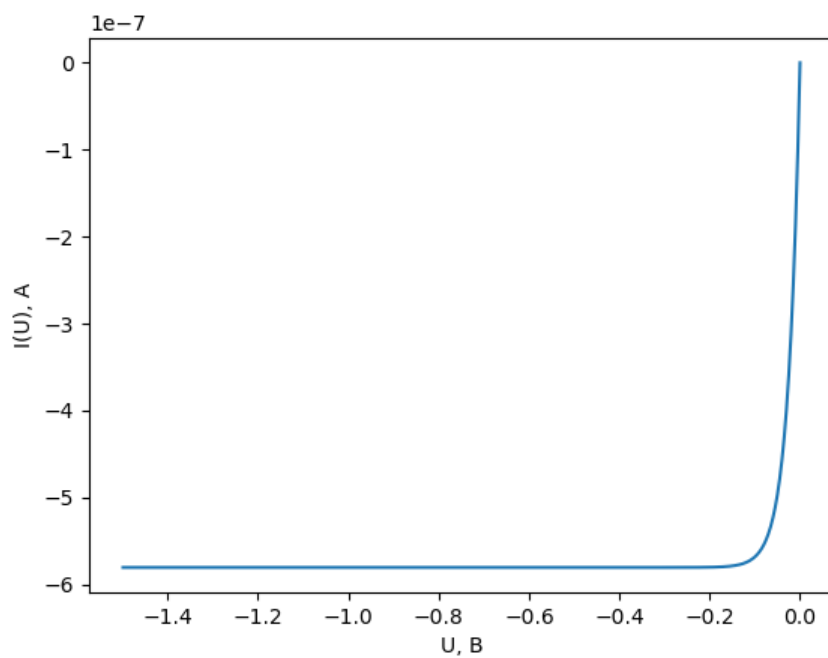


График 1.3 Зависимость дифференциального сопротивления от напряжения для германиевого диода при идеальном р-п переходе.

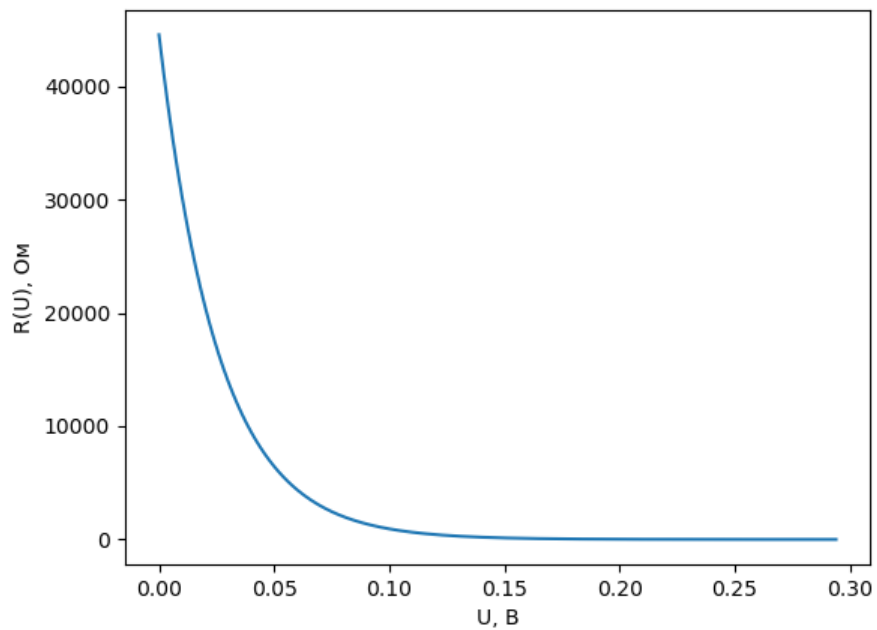


График 1.4. ВАХ германиевого диода при реальном р-п переходе.

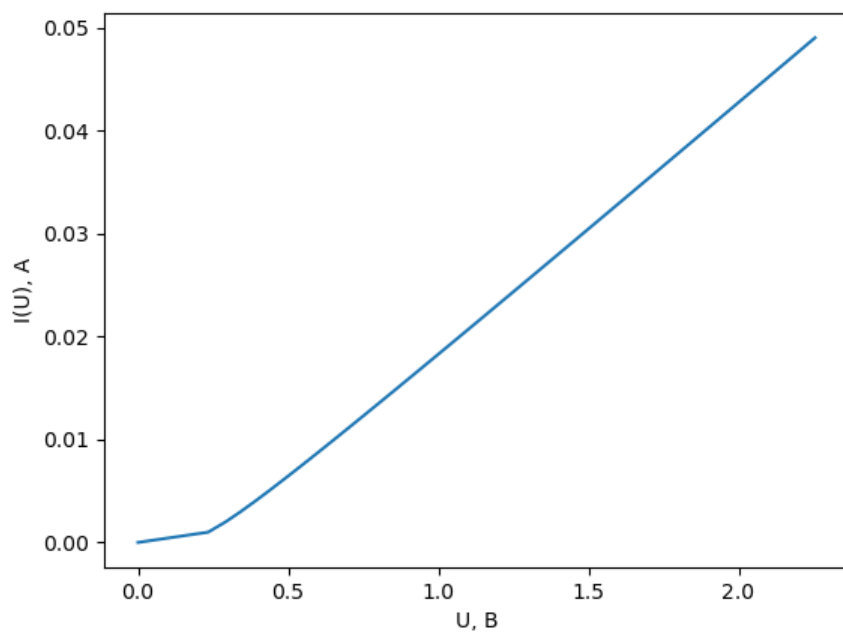
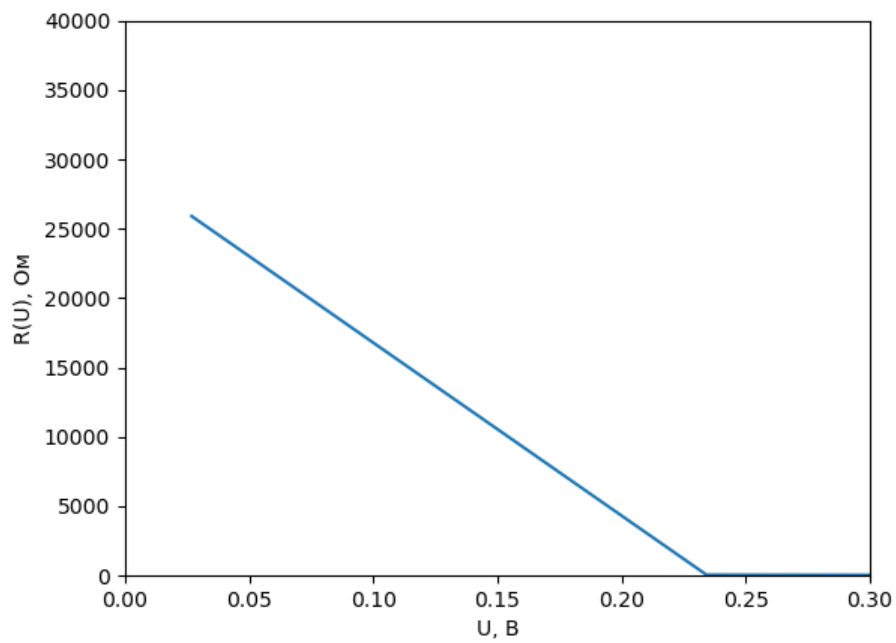


График 1.5. Зависимость сопротивления от напряжения для германиевого диода при реальном р-п переходе.



2. Кремниевый диод:

График 2.1. ВАХ кремниевого диода при прямых значениях напряжения.

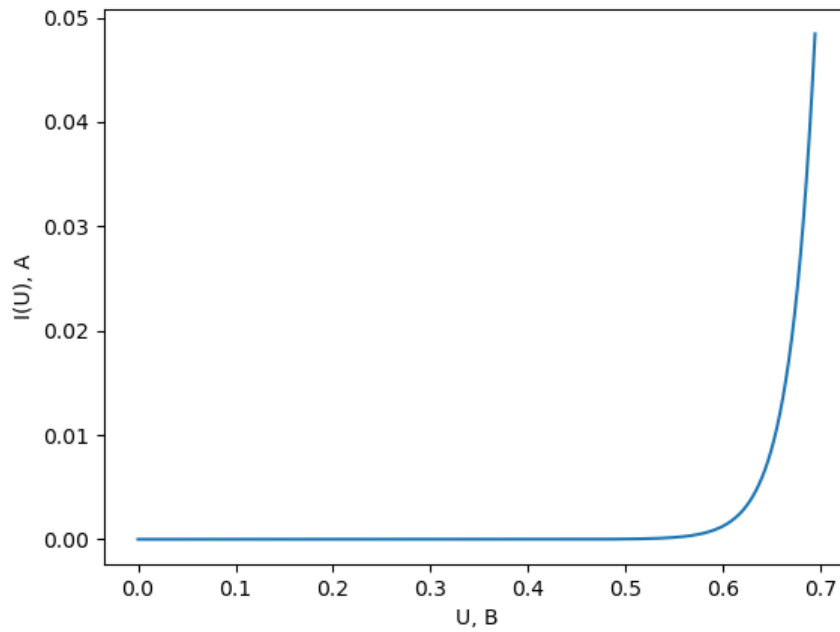


График 2.2. ВАХ кремниевого диода при обратных значениях напряжения.

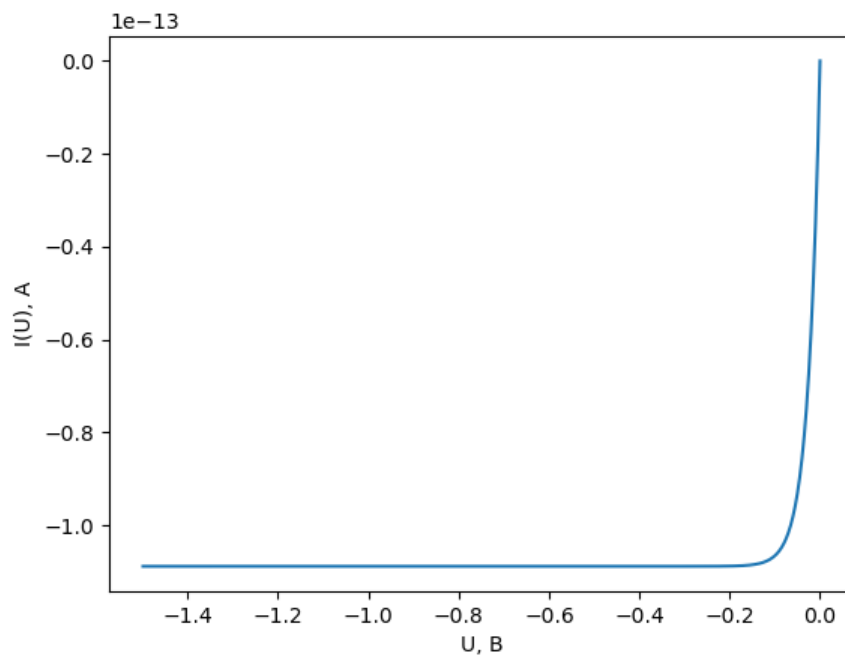


График 2.3. Зависимость дифференциального сопротивления от напряжения для кремниевого диода при идеальном р-п переходе.

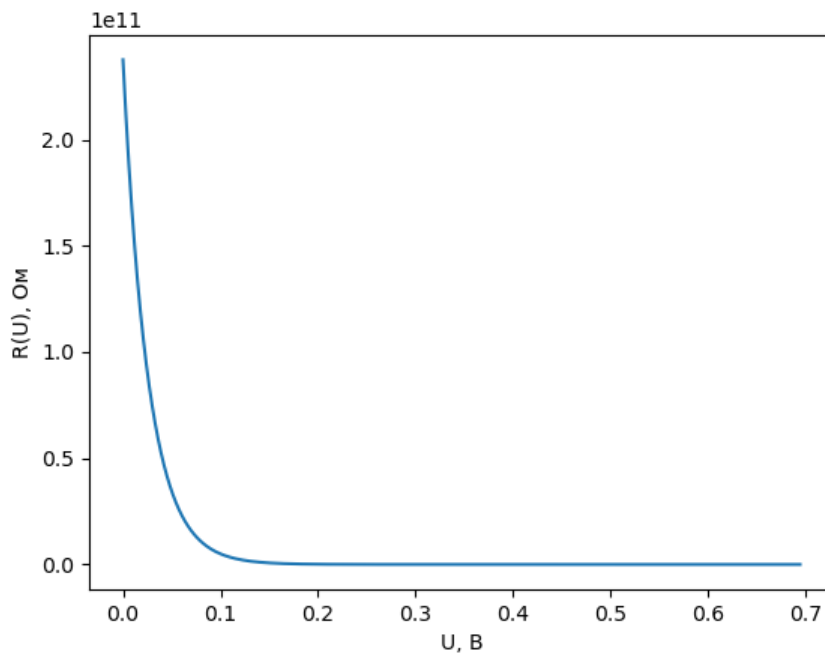


График 2.4. ВАХ кремниевого диода при реальном р-п переходе.

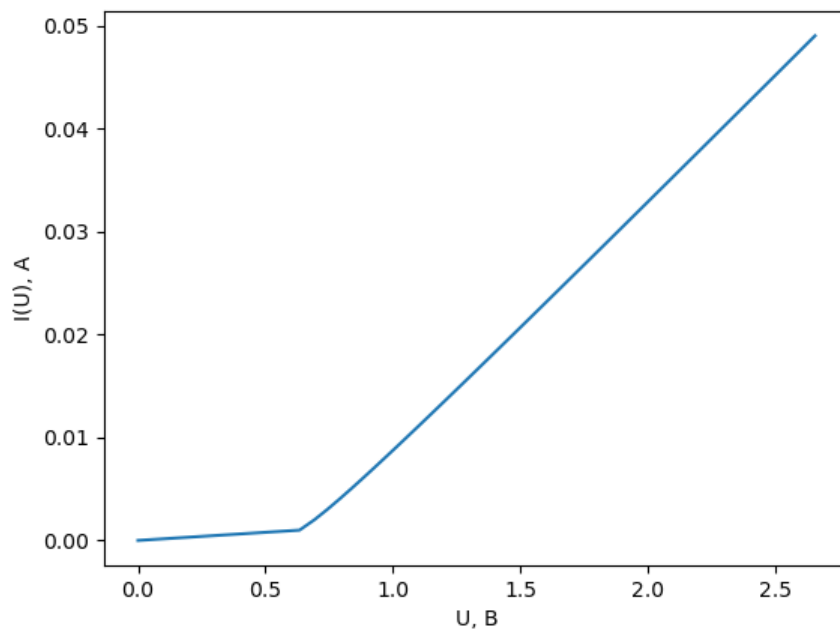
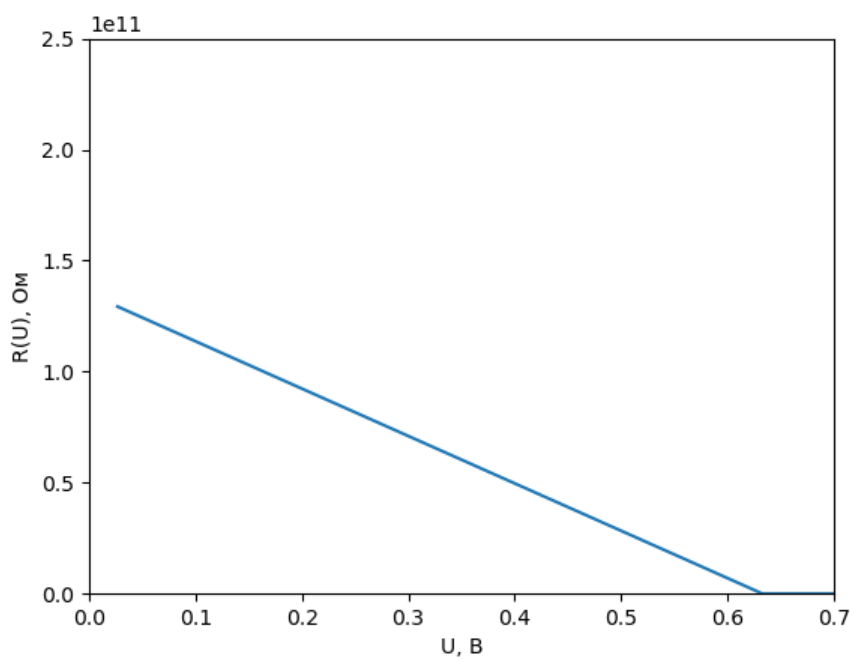


График 2.5. Зависимость сопротивления от напряжения для кремниевого диода при реальном р-п переходе.



3. Арсенид галлиевый диод:

График 3.1. ВАХ арсенид галлиевого диода при прямых значениях напряжения.

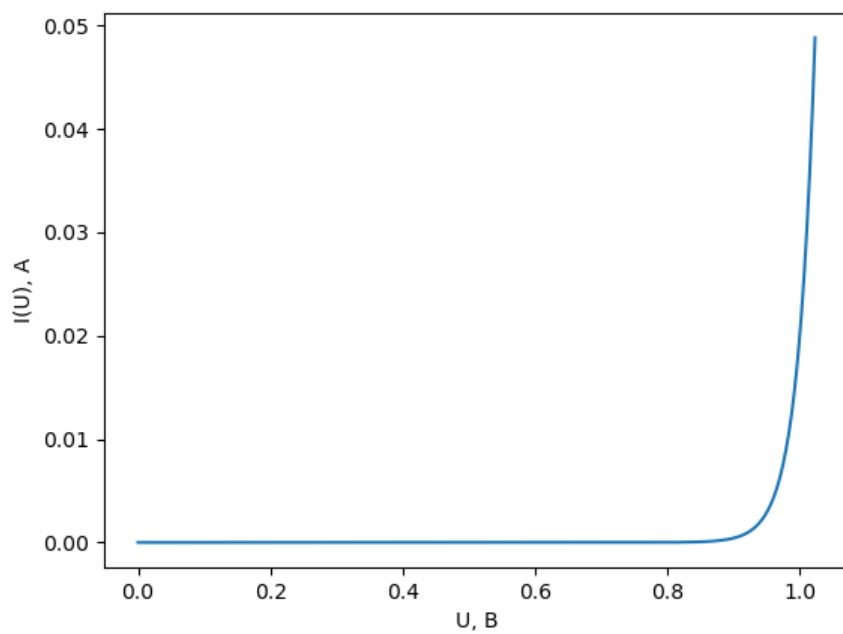


График 3.2. ВАХ арсенид галлиевого диода при обратных значениях напряжения.

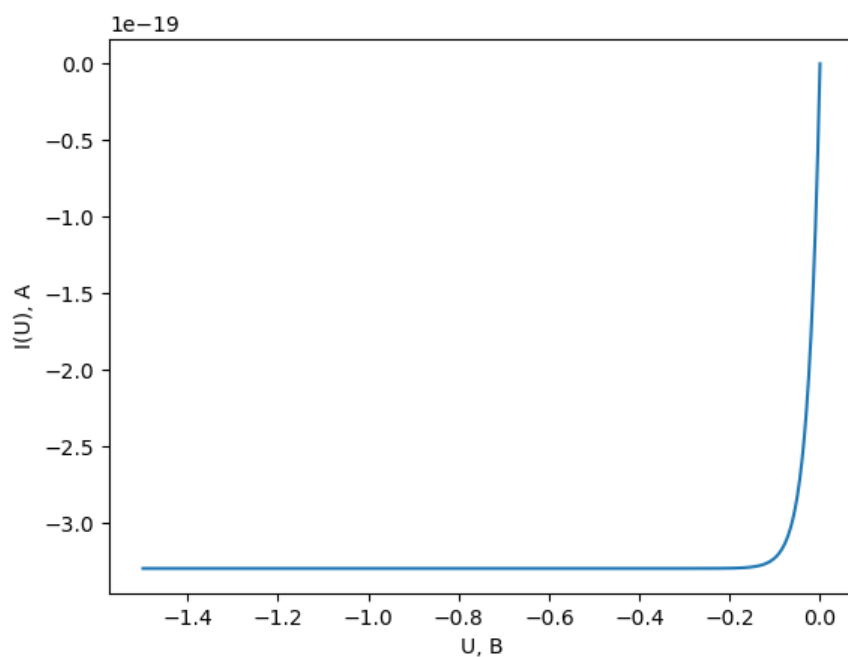


График 3.3. Зависимость дифференциального сопротивления от напряжения для арсенид галлиевого диода при идеальном р-п переходе.

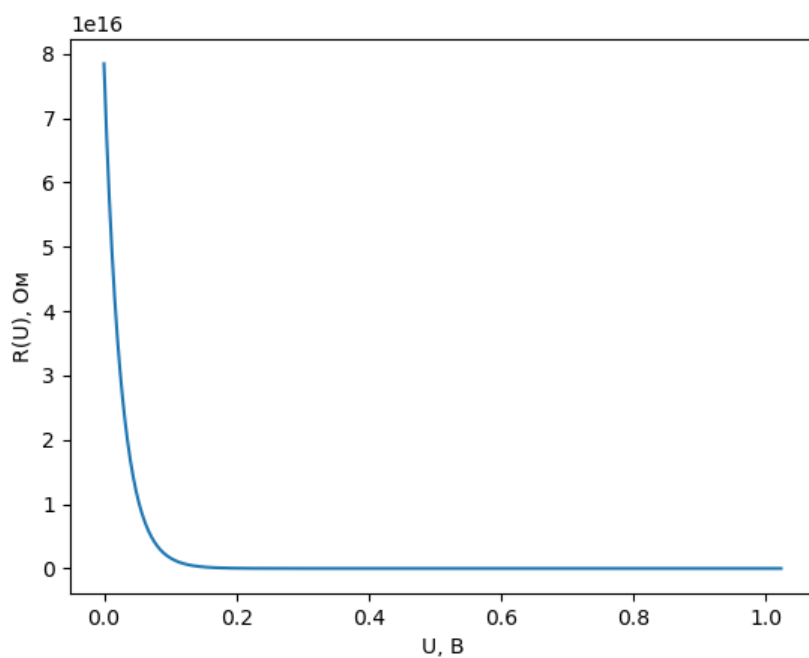


График 3.4. ВАХ арсенид галлиевого диода при реальном р-п переходе.

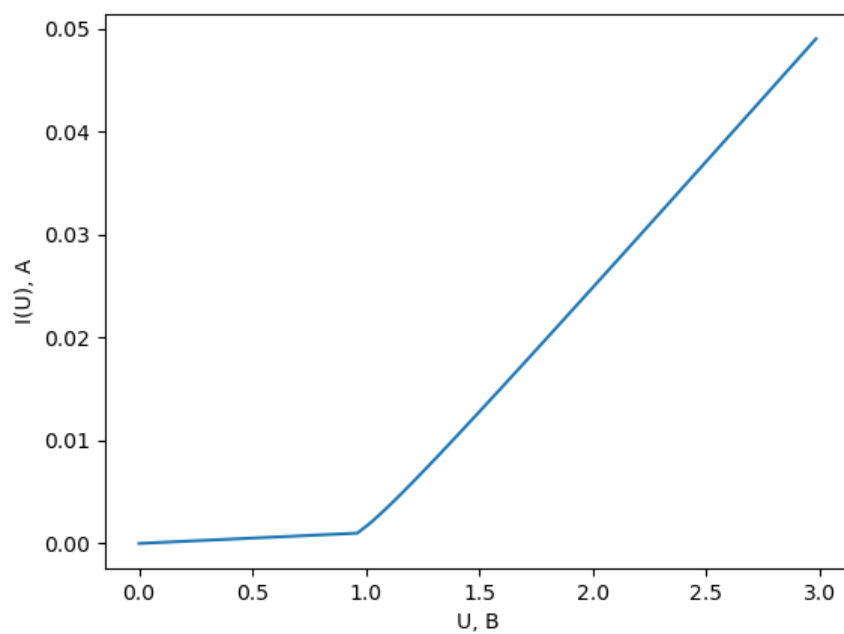
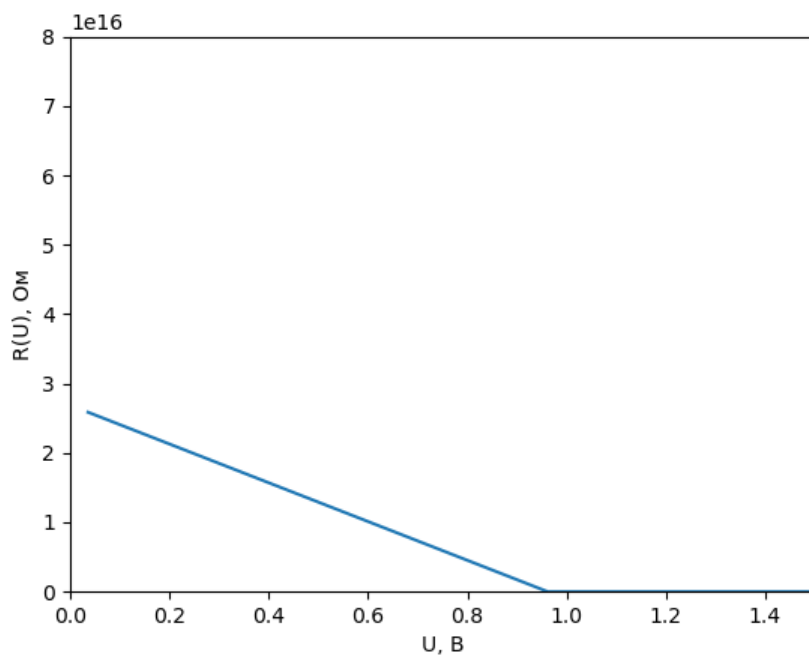


График 3.5. Зависимость сопротивления от напряжения для арсенид галлиевого диода при реальном р-п переходе.



Вывод

При выполнении работы мною были рассчитаны ВАХ различных полупроводниковых диодов, а именно германиевых, кремниевых и арсенид галлиевых. Ещё мною была рассчитана зависимость дифференциального сопротивления $R_{\text{диф}}$ от напряжения U по значениям тока I , которое я получил в ходе выполнения работы. Я выяснил, что наибольшую величину обратного тока I_0 имеют германиевые диоды.

Зависимости силы тока I от напряжения U при прямом включении для идеального р-п перехода, для которых мы построили графики, видно, что сила тока растет с ростом напряжения. Из-за того, что при росте напряжения высота потенциального барьера уменьшается. А при обратном включении напряжения сила тока быстро возрастает при достижении определенного значения напряжения.

При расчете ВАХ для реального перехода надо учитывать сопротивление базы R_6 .

По графикам зависимости дифференциальных сопротивлений от напряжения можно понять, что между напряжением и дифференциальным сопротивлением в идеальном р-п переходе есть обратная зависимость. Это означает, что, когда я увеличиваю напряжение, дифференциальное сопротивление будет стремиться к 0.

Работа №2.

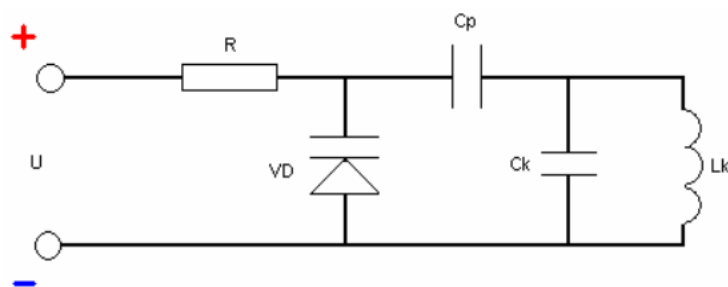
Барьерная ёмкость полупроводникового диода и электронная перестройка частоты колебательного контура

Цель работы.

- I. Расчет и построение зависимости ёмкости обратно смещенного p-n перехода от напряжения.
- II. Определение диапазона электронной перестройки частоты колебательного контура для заданных электрофизических параметров перехода.

Исходные данные.

Схема колебательного контура с использованием обратно смещенного p-n перехода в качестве элемента электронной перестройки частоты:



Исходные данные для проведения расчетов (Вариант 7)

Номер варианта	Материал диодной структуры	Концентрация примеси		Резонансная частота контура f_0 , МГц	Эквивалентная индуктивность контура L_k , мкГ
		$N_A, \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$	$N_D, \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$		
7	Si, Ge	5,0	8,0	70	40

Расчетные формулы.

Зависимость емкости обратно смещенного перехода (барьерной емкости) определяется выражением:

$$C_{\text{бар}} = S_{\text{пер}} \sqrt{\frac{q \varepsilon_n \varepsilon_0 N_A N_D}{2(N_A + N_D)(\varphi_0 - U)}}, \text{ где}$$

$$\varphi_0 = \varphi_T \ln(N_A N_D / n_i^2)$$

$$\varepsilon_n = 16 \text{ (Германий)}$$

$$\varepsilon_n = 12 \text{ (Кремний)}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{Ф/м}$$

Полная толщина обедненного слоя, формирующегося вблизи границы в р- и п-областях, определяется выражением:

$$L_{об} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_n \varepsilon_0 (N_A + N_D)}{q N_A N_D}} (\varphi_0 - U)$$

Зависимость резонансной частоты контура от напряжения на варикапе можно представить в виде:

$$f_0(U) = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_k (C_k + C_{бар})}}$$

Зависимость $f_0(U)$ можно рассматривать в качестве характеристики электрически управляемой частоты колебательного контура. Выбор рабочей точки на этой характеристике целесообразно производить на приблизительно линейном участке зависимости $C_{бар}(U)$, при этом можно оценить относительную перестройку частоты контура по соотношению:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta C_{бар}}{C_k + C_{бар0}}$$

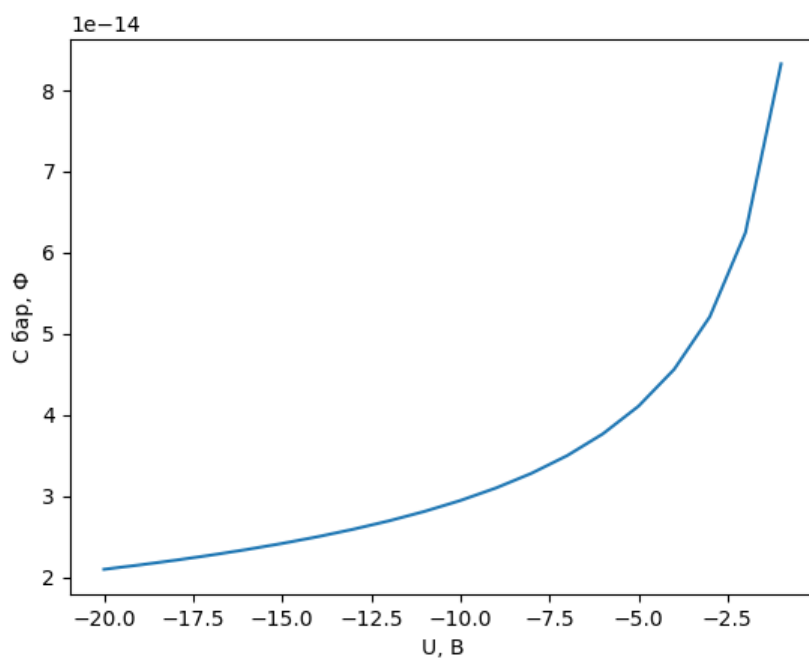
Построение графиков.

1. Зависимость барьерной емкости от напряжения.

1. Для германия

$U, \text{В}$	$C_{бар}, \text{Ф}$
-20	$2,096 \times 10^{-14}$
-19	$2,150 \times 10^{-14}$
-18	$2,208 \times 10^{-14}$
-17	$2,271 \times 10^{-14}$
-16	$2,340 \times 10^{-14}$
-15	$2,415 \times 10^{-14}$
-14	$2,498 \times 10^{-14}$
-13	$2,591 \times 10^{-14}$
-12	$2,694 \times 10^{-14}$
-11	$2,811 \times 10^{-14}$
-10	$2,944 \times 10^{-14}$
-9	$3,099 \times 10^{-14}$
-8	$3,280 \times 10^{-14}$
-7	$3,498 \times 10^{-14}$

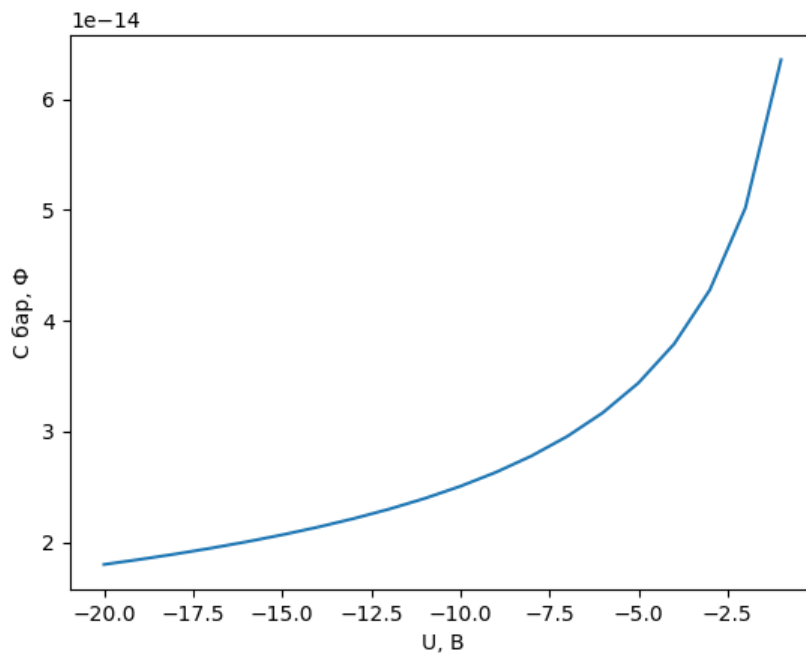
-6	$3,766 \times 10^{-14}$
-5	$4,107 \times 10^{-14}$
-4	$4,561 \times 10^{-14}$
-3	$5,209 \times 10^{-14}$
-2	$6,246 \times 10^{-14}$
-1	$8,327 \times 10^{-14}$
0	$1,765 \times 10^{-13}$



2. Для кремния

$U, \text{В}$	$C_{\text{бар}}, \Phi$
-20	$1,799 \times 10^{-14}$
-19	$1,844 \times 10^{-14}$
-18	$1,893 \times 10^{-14}$
-17	$1,946 \times 10^{-14}$
-16	$2,004 \times 10^{-14}$
-15	$2,067 \times 10^{-14}$
-14	$2,136 \times 10^{-14}$
-13	$2,213 \times 10^{-14}$
-12	$2,299 \times 10^{-14}$
-11	$2,395 \times 10^{-14}$
-10	$2,505 \times 10^{-14}$
-9	$2,632 \times 10^{-14}$
-8	$2,780 \times 10^{-14}$
-7	$2,956 \times 10^{-14}$
-6	$3,170 \times 10^{-14}$
-5	$3,439 \times 10^{-14}$
-4	$3,790 \times 10^{-14}$

-3	$4,278 \times 10^{-14}$
-2	$5,019 \times 10^{-14}$
-1	$6,357 \times 10^{-14}$
0	$1,010 \times 10^{-13}$

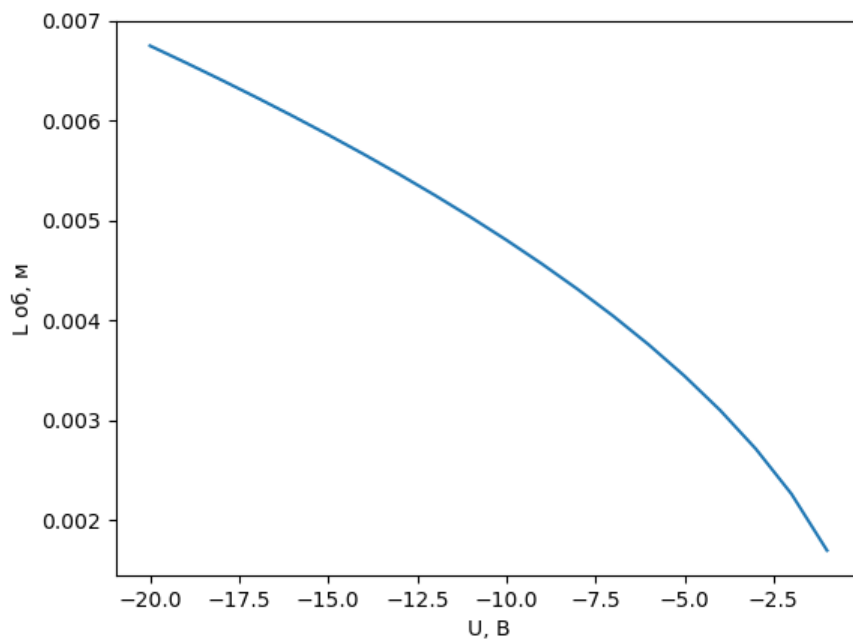


2. Зависимость толщины обедненного слоя от напряжения.

1. Для германия

$U, \text{В}$	$L_{\text{об}}, \text{м}$
-20	0,00675
-19	0,00658
-18	0,00641
-17	0,00623
-16	0,00605
-15	0,00586
-14	0,00566
-13	0,00546
-12	0,00525
-11	0,00503
-10	0,00480
-9	0,00456
-8	0,00431
-7	0,00404
-6	0,00375
-5	0,00344
-4	0,00310

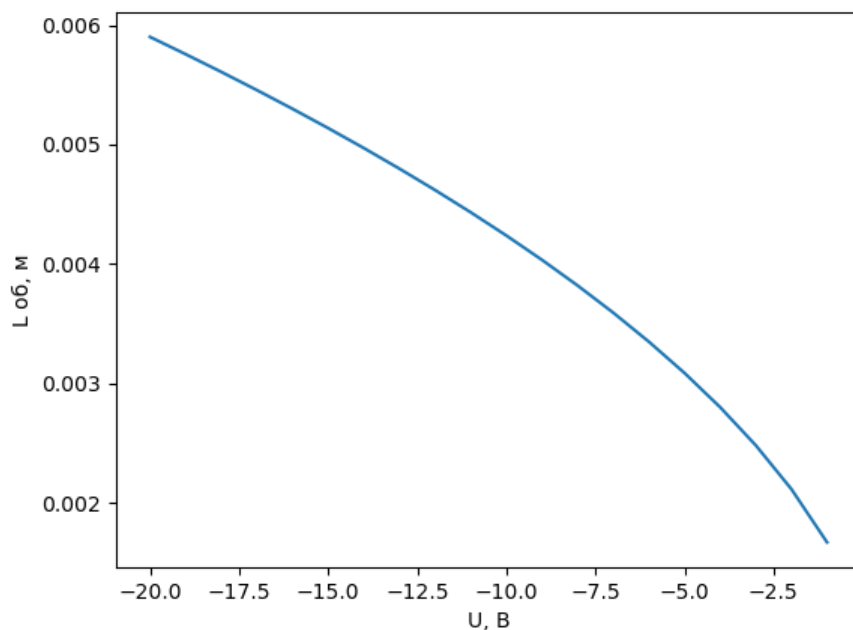
-3	0,00271
-2	0,00226
-1	0,00170
0	0,00080



2. Для кремния

$U, \text{В}$	$L_{об}, \text{м}$
-20	0,00590
-19	0,00575
-18	0,00560
-17	0,00545
-16	0,00529
-15	0,00513
-14	0,00497
-13	0,00479
-12	0,00461
-11	0,00443
-10	0,00423
-9	0,00403
-8	0,00381
-7	0,00359
-6	0,00334
-5	0,00308
-4	0,00280
-3	0,00248
-2	0,00211
-1	0,00167

0	0,00105
---	---------



3. Зависимость частоты колебательного контура от напряжения

Рассчитаем собственную емкость колебательного контура.

$$f_0(U) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K(C_K + C_{\text{бар}})}}$$

При $C_{\text{бар}} = 0$:

$$f_0(U) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_K}}$$

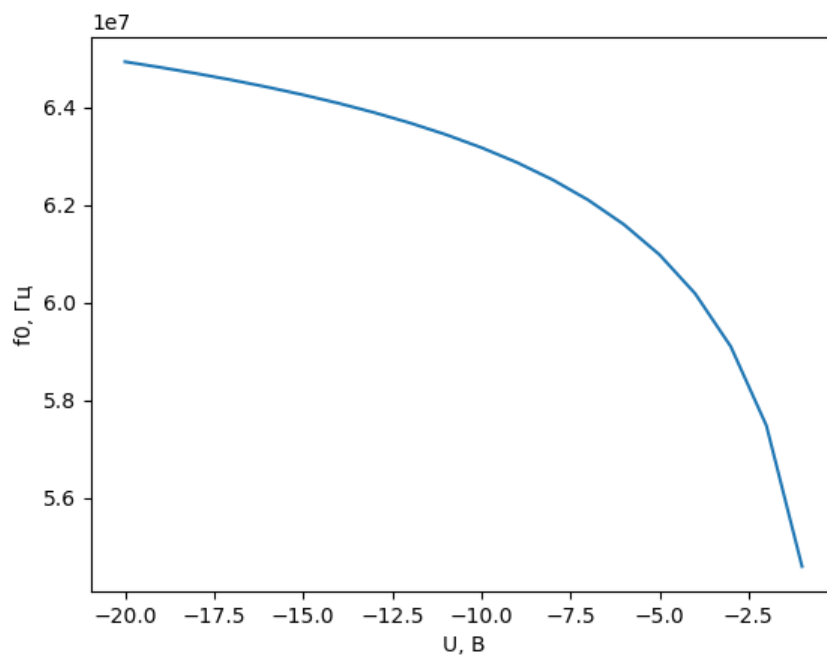
Выражая C_K , получаем:

$$C_K = \frac{1}{4\pi^2 L_K f_0^2} = 1,29 \times 10^{-13} \text{Ф}$$

1. Для германия

$U, \text{В}$	$f_0, \text{Гц}$
-20	64930370,727
-19	64814667,443
-18	64690291,434
-17	64556080,389
-16	64410638,852
-15	64252273,888
-14	64078907,496
-13	63887955,039

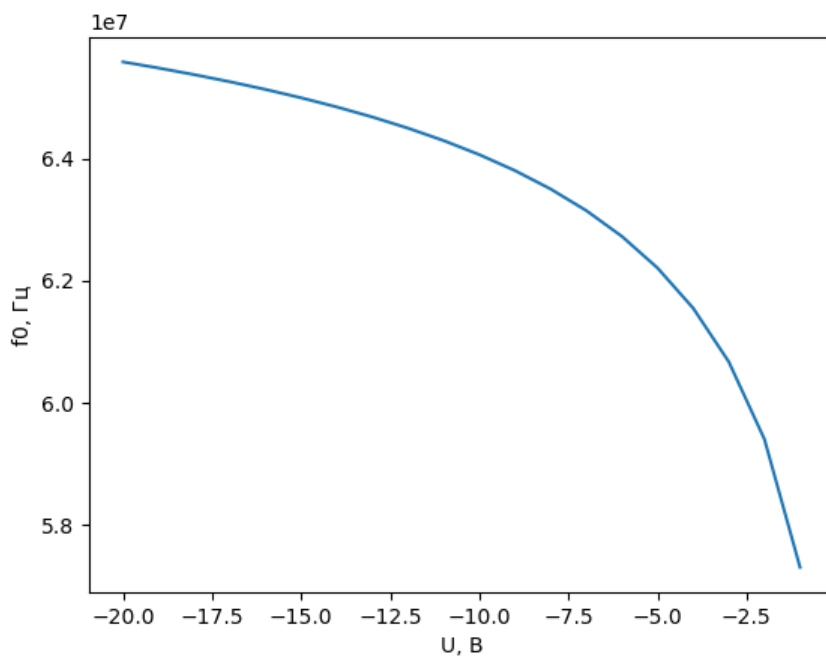
-12	63676152,861
-11	63439307,721
-10	63171922,066
-9	62866614,640
-8	62513188,510
-7	62097058,764
-6	61596439,408
-5	60976921,593
-4	60179952,075
-3	59094813,386
-2	57475257,076
-1	54588137,283
0	45508294,633



2. Для кремния

$U, \text{В}$	$f_0, \text{Гц}$
-20	65582464,386
-19	65481997,974
-18	65374074,378
-17	65257707,086
-16	65131714,711
-15	64994668,167
-14	64844819,084
-13	64680001,067
-12	64497490,592
-11	64293806,418
-10	64064412,325

-9	63803262,478
-8	63502079,683
-7	63149157,236
-6	62727258,284
-5	62209672,156
-4	61552125,366
-3	60674079,077
-2	59407311,963
-1	57308849,746
0	52438333,314



4. Определим диапазон перестройки частоты колебательного контура для германия и кремния.

Для германия: $\frac{\Delta f}{f_0} = 0,0294$

Для кремния: $\frac{\Delta f}{f_0} = 0,0127$

Вывод

В работе мною были проведены расчеты и построены графики зависимости барьерной емкости $C_{бар}$ p-n перехода от обратного напряжения. Я определил, что ширина обедненной зоны $L_{об}$ пропорциональна обратному напряжению. Мною была определена зависимость частоты колебательного контура от обратного напряжения.

Барьерная емкость $C_{бар}$ такая же, как емкость плоского конденсатора, в нем на концах обедненной зоны будут собираться ионы.

Если посмотреть на графики, которые были построены мною в ходе выполнения работы то можно определить, что с уменьшением обратного напряжения величина барьерной емкости $C_{бар}$ растет, а ширина уменьшается. Также в ходе выполнения работы мною было найдено, что от материала полупроводникового диода зависит коэффициент наклона графика зависимости барьерной емкости от напряжения.