

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Факультет Електроніки
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ

Про виконання розрахункової роботи № 1
з дисципліни "Теорія поля"

Виконав студент 3-го курсу

Фіцай Б. П.

Перевірила:

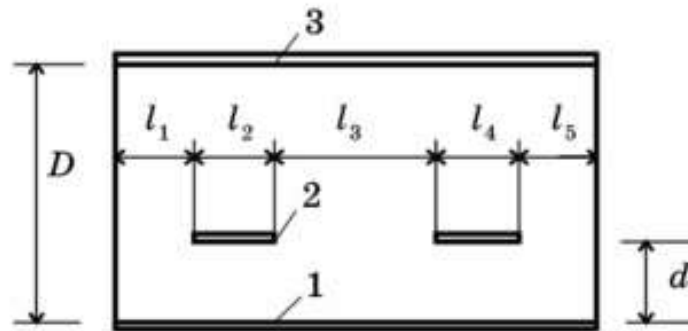
Саурова Т.А.

2020

ЗАВДАННЯ

1. Розрахувати розподіл потенціалу в міжелектродному просторі польового транзистора (варіант конструкції вибирається за передостанньою цифрою номера залікової книжки) з точністю до 0,01 В. Номер варіанту обирається за останньою цифрою номера залікової книжки.
2. Побудувати картини поля за допомогою еквіпотенціалей і векторів напруженості електричного поля. Побудувати косокутну проекцію потенціального рельєфу $U(x,y) = -e \cdot V(x,y)$

варіант 1



$$l_1 = l_2 = l_3/2 = l_4 = l_5 = 1,0 \text{ мкм}, d = 1,0 \text{ мкм}, \\ D = 3,0 \text{ мкм} \text{ 1 – витік, 2 – затвор, 3 – стік}$$

Вар. №	9
$-V_{3B}, \text{В}$	1,0
$V_{CB}, \text{В}$	5

Розрахунки

Одним з найбільш розповсюджених методів розрахунку розподілу потенціалу в міжелектродному просторі польового транзистора є метод скінченних різниць. В основу методу покладена заміна похідних в рівнянні Лапласа малими приростами. Розглянемо його для плоского поля $V(x, y)$. Надаючи по черзі аргументам x і y деякої неперервної функції $V(x, y)$ малого приросту з кроком h , можна приблизно (з точністю до величин другого порядку малості відносно h^2) замінити приватні похідні функції відношеннями різниць рис.1 :

$$\frac{\partial V}{\partial x} \approx \begin{cases} [V(x, y) - V(x - h, y)] / h & \text{— ліворуч,} \\ [V(x + h, y) - V(x, y)] / h & \text{— праворуч,} \end{cases}$$
$$\frac{\partial V}{\partial y} \approx \begin{cases} [V(x, y) - V(x, y - h)] / h & \text{— унизу,} \\ [V(x, y + h) - V(x, y)] / h & \text{— угорі.} \end{cases}$$

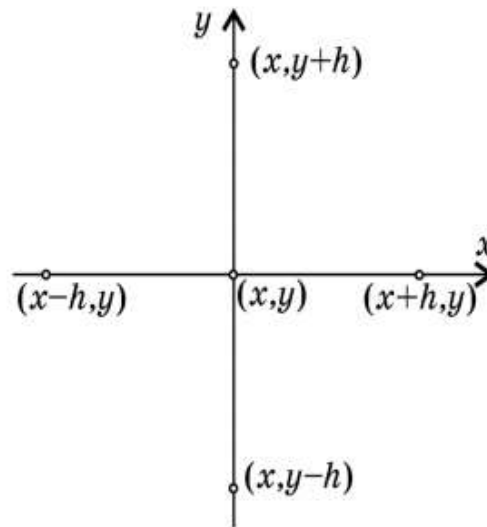


Рис. 1: П'ятиточкова схема для обчислення похідних через кінцеві прирости і розрахунку потенціалів..

Представимо всю площину транзистора як дискретний масив точок розмірністю 25×13 .

При цьому двомірне рівняння Лапласа

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

наближено заміняється наступним алгебраїчним рівнянням:

$$V(x+h, y) + V(x-h, y) + V(x, y+h) + V(x, y-h) - 4V(x, y) = 0 \quad (2)$$

Тепер за допомогою програми виводимо таблицю 1:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
4.279	4.283	4.283	4.281	4.277	4.276	4.276	Кві.28	4.286	4.294	4.302	4.308	Кві.31
3.572	3.579	3.577	Бер.57	3.562	3.556	3.557	3.564	3.579	3.597	3.614	3.627	3.632
2.888	2.896	Лют.89	2.874	2.856	2.843	2.842	2.854	2.879	2.912	2.944	2.967	2.976
2.236	2.245	2.229	2.196	2.158	2.132	2.127	2.145	2.186	2.242	2.296	2.335	Лют.35
1.627	1.636	1.603	1.536	1.461	1.413	1.401	1.427	1.492	1.588	Січ.68	1.744	1.767
1.078	1.087	1.024	0.9	0.751	0.67	0.649	0.683	0.78	0.953	1.108	1.208	1.243
0.616	0.622	0.52	0.299	-0.02	-0.125	-0.149	-0.117	0.001	0.348	0.604	0.75	0.798
0.274	0.279	0.144	-0.199	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.16	0.222	0.402	0.458
0.08	0.084	-0.018	-0.238	-0.554	-0.658	-0.682	-0.654	-0.541	-0.202	0.048	0.188	0.234
-0.001	0.002	-0.06	-0.178	-0.319	-0.395	-0.416	-0.39	-0.306	-0.15	-0.012	0.076	0.106
-0.015	-0.014	-0.042	-0.092	-0.149	-0.185	-0.196	-0.182	-0.142	-0.077	-0.017	0.024	0.038
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
4.309	4.304	4.297	4.289	4.283	Кві.28	4.281	4.284	4.289	4.294	4.296	4.296
3.629	3.618	3.601	3.584	3.571	3.565	3.566	3.574	3.586	3.597	3.603	3.603
2.969	2.948	2.918	2.887	2.863	2.852	2.855	2.871	2.894	2.916	2.929	2.929
2.338	2.302	2.249	2.195	2.155	2.138	2.145	2.174	2.217	2.258	2.281	2.281
1.747	1.686	1.596	1.501	1.437	1.412	1.426	1.477	1.557	1.631	1.672	1.672
1.211	1.114	0.961	0.788	0.691	0.658	0.68	0.763	0.917	1.049	1.119	1.119
0.754	0.61	0.354	0.007	-0.112	-0.144	-0.12	-0.013	0.311	0.539	0.649	0.649
0.405	0.227	-0.155	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.193	0.157	0.299	0.299
0.191	0.052	-0.198	-0.539	-0.652	-0.681	-0.657	-0.553	-0.233	-0.009	0.099	0.099
0.077	-0.009	-0.147	-0.304	-0.388	-0.415	-0.394	-0.318	-0.174	-0.054	0.011	0.011
0.025	-0.015	-0.076	-0.14	-0.181	-0.195	-0.184	-0.148	-0.091	-0.039	-0.01	-0.01
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Таблиця 1

Візуалізація цих даних наведено на рис.3 та рис.4

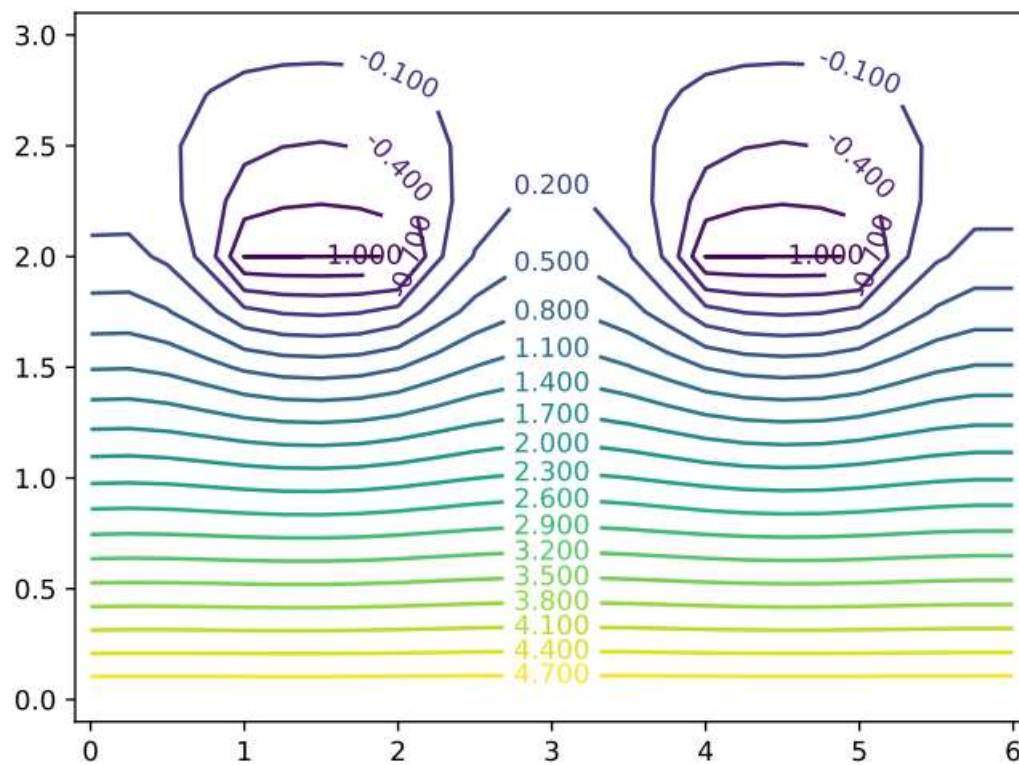


Рис.3 Картина поля за допомогою екіпотенціалей

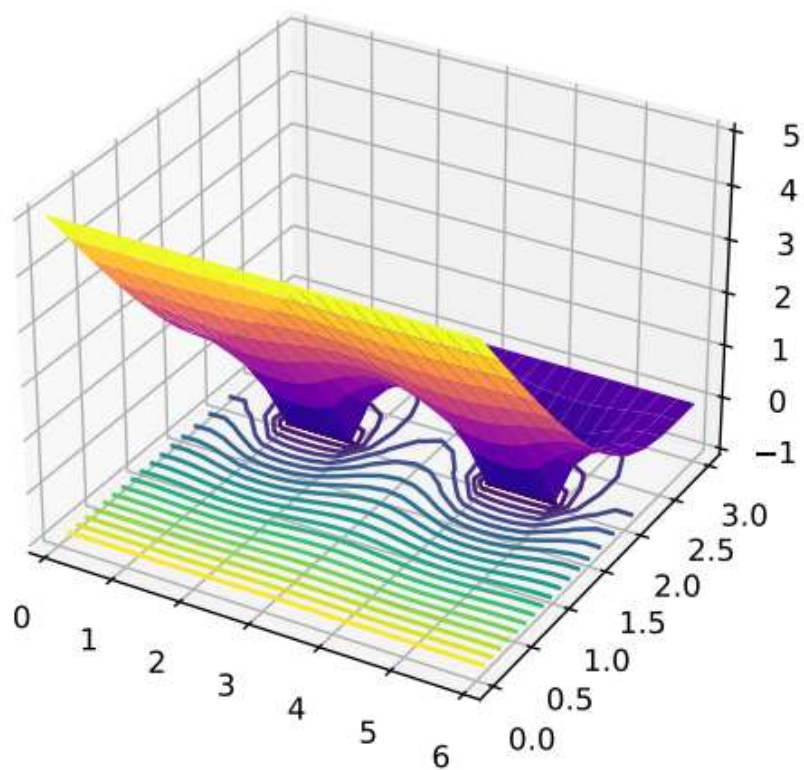


Рис. 4 Косокутна проекція потенціального рельєфу $U(x,y)$.

Розрахунок напруженості електричного поля провадиться за співвідношення $E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$, $E_y = \frac{\partial V}{\partial y}$ що наближено обчислюються через кінцеві різниці. Використовуючи значення похідних зліва і справа, можна знайти середнє арифметичне

$$E_{x\ i,j} = \frac{V_{(i-1),j} + V_{(i+1),j}}{2} \quad (3)$$

$$E_{y\ i,j} = \frac{V_{i,(j-1)} + V_{i,(j+1)}}{2} \quad (4)$$

Наступним кроком я графічно зобразив вектори напруженості електричного поля в нашому польовому транзисторі (рис. 5). Дивлячись на цей рисунок можна чітко побачити що електричне поле яке прямує із стоку до затвору набагато сильніше ніж те що йде йому на зустріч, про що свідчать довжини стрілок.

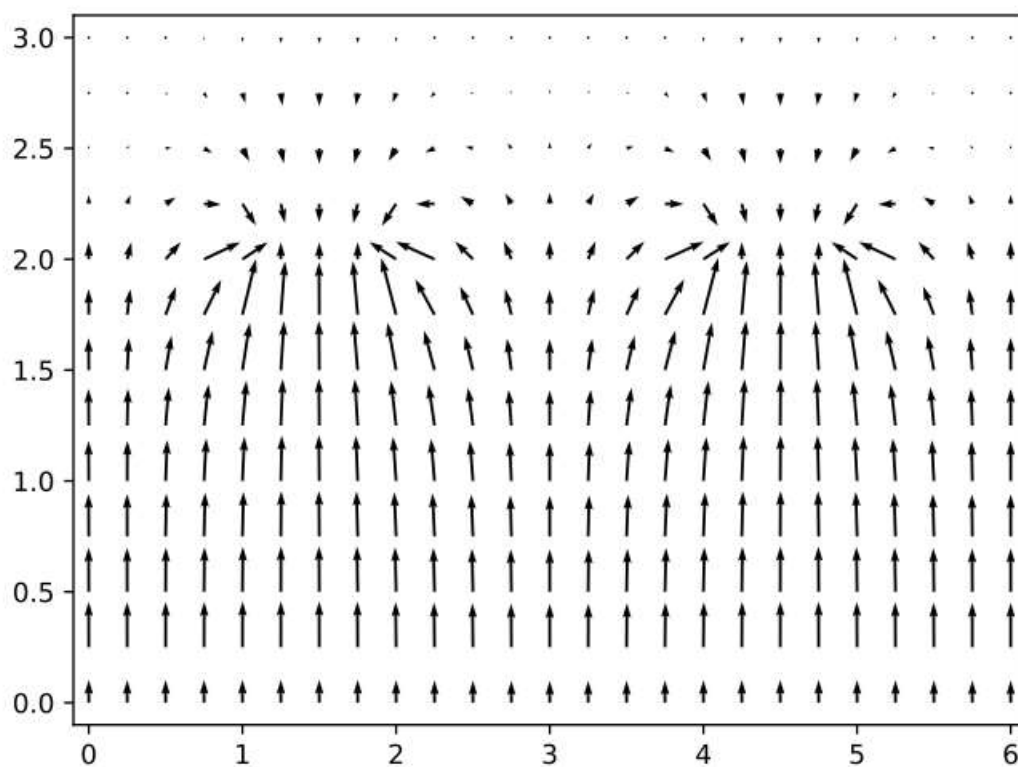


Рис. 5 Картина поля за допомогою векторів напруженості електричного поля

Будуємо косокутну проекцію потенціального рельєфу

$$U(x,y)=-eV(x,y) \text{ рис.6}$$

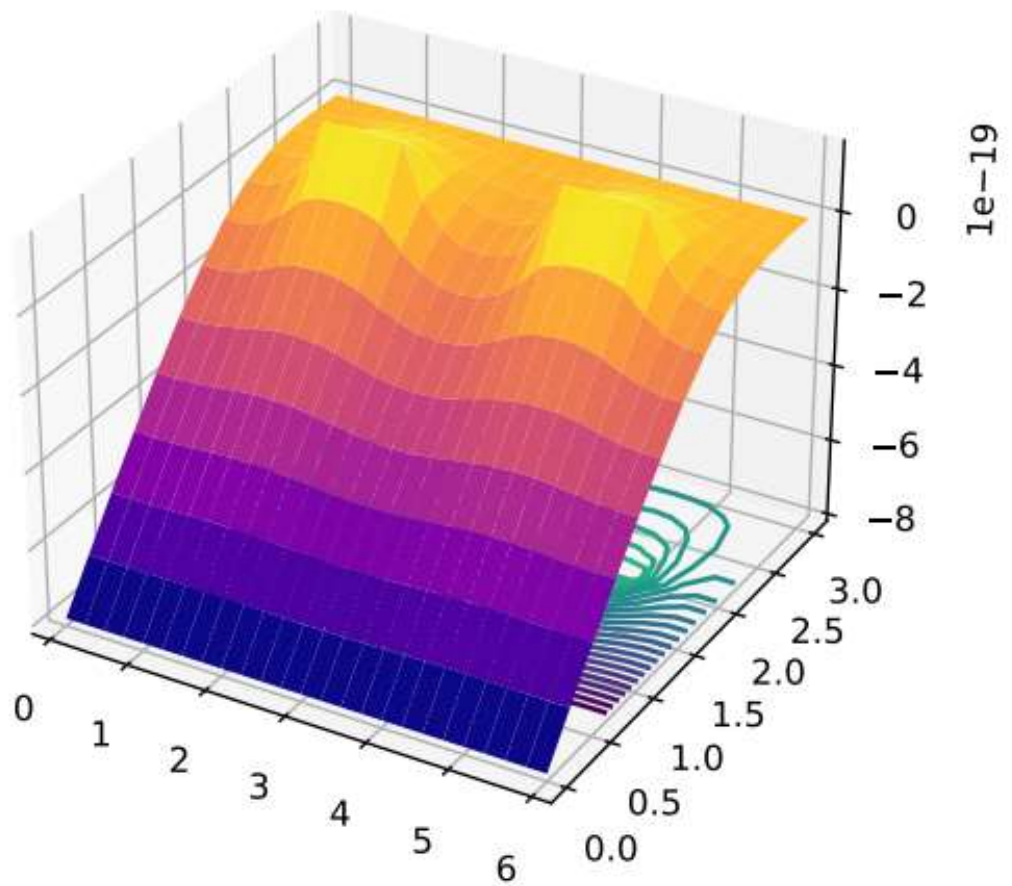


Рис.6 Косокутна проекція потенціального рельєфу

$$U(x,y)=-eV(x,y)$$

Висновки:

В даній розрахунковій роботі ми вивчили принципи та методи чисельного інтегрування рівнянь Лапласа, а також способи графічного зображення результатів. Для визначення потенціалів дискретної сітки був використаний метод скінченних різниць, а також використані граничні умови Діріхле та Неймана. За допомогою ітераційного методу була досягнута точність 0,01В, що задана в завданні. Також були побудовані картини розподілу поля за допомогою еквіпотенціальних ліній та векторів напруженості електричного поля і була побудована косокутна проекція потенціального рельєфу. З отриманого графіка еквіпотенціалей помітні 2 ділянки де є викривлення їхньої форми. Тут різко змінюється потенціал, оскільки – це затвор, на якому потенціал є постійним. При використанні векторів напруженості електричного поля, отримана картина буде показувати розподіл електричного поля в міжелектродному просторі. На отриманій просторовій сітці, можна побачити як вузли із розрахованим значенням потенціалу з'єднуються між собою прямими лініями, які і є еквіпотенціальними.