

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю. М. Потєбні

Кафедра: Електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення

Лабораторна робота №2

з дисципліни Аналогова та оптохемотехніка

Дослідження характеристик напівпровідникових діодів

Студента (ки) 2 курсу, групи _____

(прізвище та ініціали)

Викладач _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Мета роботи – дослідження характеристик, параметрів і схем включення напівпровідникових діодів.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Напівпровідникові (ПП) діоди широко застосовуються в електронних пристроях як в інтегральному, так і в дискретному виконанні. Робота діода заснована на властивостях **p-n переходу**, який має односторонню провідність струму, рисунок 2.1.

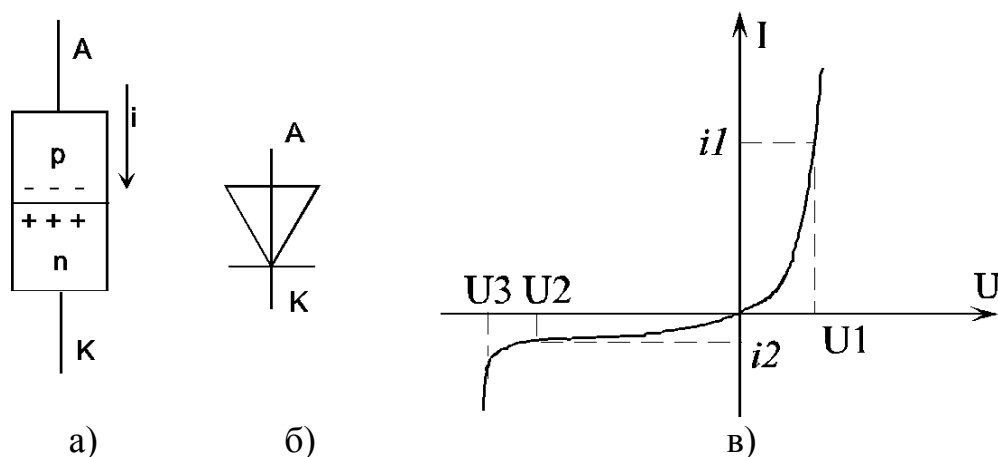


Рисунок 2.1 - Структура (а), умовне позначення (б) і ВАХ діода (в)

Матеріал з провідністю типу **p** утворює анод (А) діода, а матеріал типу **n** – його катод (К). За рахунок дифузії основних носіїв струму на межі **p** і **n** областей утворюється потенційний бар'єр, перешкоджаючий проходженню струму через p-n перехід.

При прямому включенні діода, коли плюс зовнішнього джерела живлення подається на анод, бар'єрний потенціал знижується і основні носії струму проходять через перехід. Тобто діод відкритий і його опір малий. Струм **i** через p-n-перехід визначається формулою:

$$i = I_0 \cdot \left[\exp \cdot \left(\frac{e \cdot U}{k \cdot T} \right) - 1 \right], \quad (2.1)$$

де I_0 – тепловий струм насичення, створюваний неосновними носіями; e – заряд електрона, k - постійна Больцмана; T – абсолютна температура; U – напруга на діоді.

Використовуючи ВАХ, нескладно знайти опір діода $R_{пр}$ і $R_{зв}$ при прямому і зворотному включеннях:

$$R_{пр} = \frac{U_1}{i_1}; \quad R_{зв} = \frac{U_2}{i_2}; \quad R_{пр} \ll R_{зв} \quad (2.2)$$

Ці формули визначають опори діода при роботі з постійними струмами. Якщо необхідно розглянути роботу діода в області якої-небудь точки, слід застосовувати поняття «диференціальний опір» R_i :

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta i}; \quad R_i \neq R_{пр} \quad (2.3)$$

При підвищенні температури струм через діод зростає, особливо на його зворотній гілці, приводячи до зниження $R_{зв}$.

При протіканні струму через діод, на аноді виділяється потужність P_a і відбувається нагрів діодної структури.

$$P_a = i \cdot U = i_2 \cdot R_{пр} \quad (2.4)$$

Тому потужні діоди виконуються з великою площею p-n переходу, низьким опором $R_{пр}$ і гарним тепловідводом. Такі діоди виготовляють, як правило, на основі кремнію (найбільша робоча температура $t_m = 135 \dots 140 \text{ }^\circ\text{C}$). Діоди на основі германію працюють при температурі до $50 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Знаючи допустиму максирисьну потужність розсіювану діодом P_{m20} при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ і максимальну температуру t_m кристала, можна розрахувати максирисьну потужність P_m , яка допустима для зовнішнього середовища з температурою t_0 :

$$P_m = P_{m20} \cdot \frac{t_m - t_0}{t_m - 20} \quad (2.5)$$

Розглянемо роботу діода на зворотній гілці ВАХ (рис. 2.1в). В області зворотної напруги U_3 спостерігається значне наростання зворотного струму, що відповідає передпробійному стану діода. Розрізняють електричний і тепловий пробій діода. До першого типу відносять лавинний пробій – різке збільшення зворотного струму і тунельний ефект. Електричний пробій обриває і зникає при зниженні напруги. Тепловий пробій структури приводить до необоротних руйнувань. Тому максирисьна допустима зворотна напруга:

$$U_{м\ проб} \leq 0,75 \cdot U_{проб}, \quad (2.6)$$

де $U_{проб}$ – напруга пробою діода.

При аналізі роботи високочастотних і імпульсних діодів істотний вплив грає бар'єрна ємність C_b переходу, рухливість носіїв струму і інші чинники, які спотворюють форму робочих імпульсів.

На рисунку 2.2 показані схеми пристроїв для проведення експериментів.

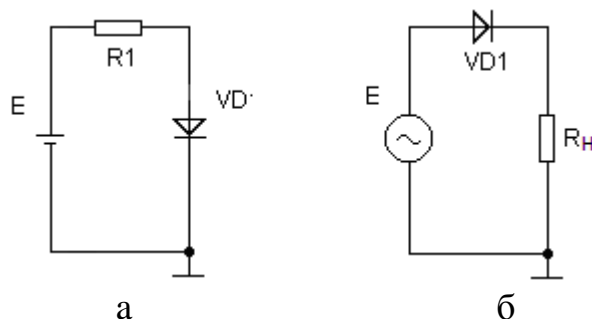


Рисунок 2.2 - Схема для зняття ВАХ (а) і спостереження сигналів на навантаженні (б)

У схемі (а) значення струму виводиться програмними методами. Зміна полярності джерела E досягається завданням діапазону напруги живлення від $-U_3$ до $+U_1$.

Схема (б) дозволяє спостерігати проходження як синусоїдального, так і імпульсного сигналу. При цьому період повторення і тривалість імпульсів необхідно вибирати сумірними з тривалістю перехідних процесів, що забезпечить зручність спостереження.

2.2 Опис віртуального EWB стенду

Перша схема (рис. 2.3) призначена для аналізу характеристик діода на постійному струмі.

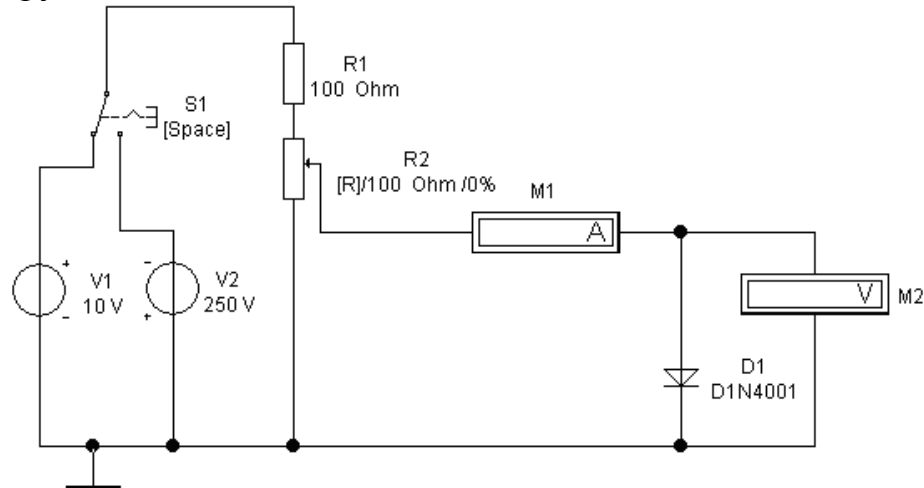


Рисунок 2.3 - Схема для дослідження та аналізу характеристик діода на постійному струмі

Вхідна напруга задається джерелами V1, V2. Перемикач S1 змінює полярність напруги живлення. Він управляється кнопкою «Пропуск» клавіатури. Регулювання величини напруги здійснюється потенціометром R2 дільника. Для його регулювання необхідно натискувати клавішу «R» для збільшення або комбінацію клавіш «SHIFT + R» для його зменшення.

Друга схема (рис. 2.4) дозволяє досліджувати роботу діода на змінному струмі.

Вона містить двохпроміневий осцилограф, який показує напругу джерела V1 і напругу на навантаженні R1. Вимірювання напруги проводиться по екрану осцилографа. При бажанні неважко викликати і підключити вольтметр. Крім того, в схемі передбачений частотний характериограф, який дозволяє дослідити роботу діода на різних частотах.

Третя схема (рис. 2.5) призначена для аналізу сумісної дії постійної та імпульсної напруг.

Схема дозволяє спостерігати сумісну дію джерела постійної напруги V2 і прямокутних імпульсів V1. Для контролю вхідної і вихідної напруг застосований двохпроміневий осцилограф.

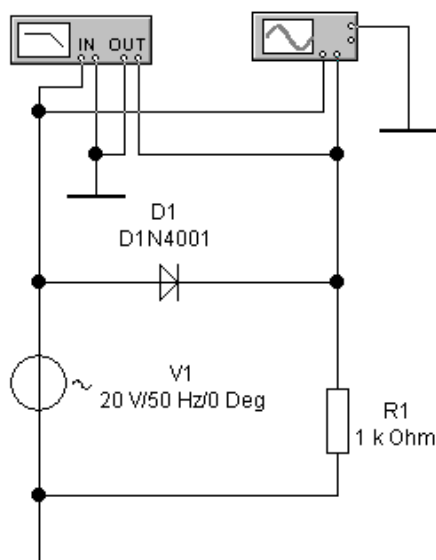


Рисунок 2.4 - Схема для дослідження та аналізу характеристик діода на змінному струмі

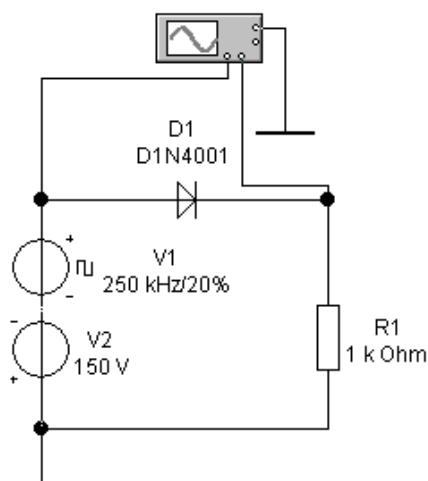


Рисунок 2.5 - Схема з комбінованим живленням

2.3 Порядок виконання роботи

Виконання роботи зручно почати з виконання пунктів 2, 4, 5 на стендах EWB. Потім необхідно проаналізувати результати моделювання по решті пунктів.

1. Зібрати схему по рисунку 2.3. Вибрати з бібліотеки компонентів кремнієвий діод, наприклад 1N4001 або інший. Вузли схеми пронумерувати.

2. Для отримання ВАХ викликати режим DC (постійного струму). Встановити межі зміни напруги живлення $U_2 = -250$ В; $U_1 = +10$ В. Для аналізу вивести на екран струм у вихідній гілці. Провести обчислення і результати занести в таблицю 2.1. З метою можливої економії часу ознайомитися з пунктом 3.

Таблиця 2.1 – Значення струмів кремнієвого діода при різних температурах

Номер дослідження	Напруга анода, В					Температура, °С
	-250			0	+25	
1						-50
2						+27
3						+40
4						+100

За умовчанням моделювання проводиться для температури 27 °С. Тому результати заносяться в другий рядок.

3. Досліджувати залежність параметрів діода від температури за програмою пункту 2. При цьому необхідно встановлювати потрібні значення температури. Результати занести в таблицю 2.1.

4. Спостерігати проходження синусоїдального сигналу різних частот на навантаженні. Зібрати схему по рисунку 2.4. Встановити джерело U1 з напругою 5 ... 20 В. Змінювати частоту в межах 50 Гц ... 100 МГц. Форму вихідної напруги U2 замалювати.

5. Спостерігати проходження імпульсного сигналу прямокутної форми. Для цього необхідно зібрати схему по рисунку 2.5. Встановити температуру 27 °С. В режимі аналізу перехідних процесів запрограмувати джерело вхідної напруги U1 так, щоб воно формувало короткі імпульси позитивної полярності від запираючого рівня U2 по рисунку 2.5. Наприклад, нижній рівень U2 = -150 В, амплітуда імпульсу $U_m = 160$ В, тривалість імпульсів $\tau_n = 1$ мкс, період повторюваності T = 4 мкс.

2.4 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схеми по яких проводилося моделювання.
3. ВАХ кремнієвого діода по таблиці 2.1
4. Розрахунок приростів струмів, напруг і величин $R_{пр}$, $R_{зв}$, R_i по формулах (2.2), (2.3) при різних температурах за даними таблиці 2.1.
5. Графік залежності $R_{зв}$ від температури при одній фіксованій зворотній напрузі.
6. Результати по пунктах 4 і 5 для германієвого діода.
7. Осцилограми вихідних сигналів.
8. Висновки.

2.5 Контрольні питання

1. Конструкції і типи сучасних діодів. Діодні складки. Силкові діоди.
2. Розрахунок потужності, що виділяється на діоді.
3. Вибір типу діода для конкретного виробу.
4. Паралельне і послідовне з'єднання діодів.

Література

1. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с.
2. Гельжинський І. І., Голяка Р. Л., Готра З. Ю., Марусенкова Т. А. Мікросхемотехніка: підручник. Львів : Ліга - Прес, 2015. 492 с.