

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Білінський І. О.

ЗВІТ

Дослідження ВАХ діодів

Київ. КНУ ім. Т. Шевченка, 2021

УДК 001.002 (008.21)

ББК 73Ц

I-72

Укладачі: Білінський І. О.

I-72 Звіт. Дослідження ВАХ діодів./ укл. І. О. Білінський. – К. : КНУ
ім. Т. Шевченка, 2021. – 11 с. (Укр. мов.)

Наведено загальний звіт виконання роботи з моделювання електронних
схем у програмі NI Multisim™.

УДК 001.008 (002.21)

ББК 73Ц

© Київський Національний
Університет імені Тараса Шевченка,
2021

РЕФЕРАТ

Звіт про дослідження ВАХ діодів: 23 с., 11 рис.

Об'єкт дослідження: напівпровідникові діоди.

Мета роботи: навчитися одержувати зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, дослідити властивості *p-n*-переходів напівпровідникових діодів різних типів.

Метод вимірювання: 1) одержання зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі *характериографа*; 2) побудова ВАХ діодів шляхом вимірювання певної кількості значень сили струму I_d , що відповідають певним значенням та полярності напруги U_d , і подання результатів вимірів у вигляді графіка.

В роботі використано програмне забезпечення для моделювання електронних схем NI Multisim™.

Ключові слова: ВАХ – вольт-амперна характеристика, напівпровідниковий діод, стабілітрон, фотодіод, світлодіод.

ЗМІСТ

ВСТУП. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

ВСТУП. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Напівпровідниковий діод (англ. *semiconductor diode*) – це напівпровідниковий прилад з одним *p-n-переходом* і двома виводами. *p-n-перехід* (англ. *p-n junction*) – перехідний шар, що утворюється на межі двох областей напівпровідника, одна з яких має провідність *n*-типу, а інша – провідність *p*-типу.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) діода (англ. *current-voltage characteristic*) – це залежність сили струму I_D через *p-n*-перехід діода від величини і полярності прикладеної до діода напруги U_D .

Характериограф – електронно-променевий прилад, на екрані якого можна спостерігати графіки функцій будь-яких фізичних величин, що можуть бути перетворені у пропорційні їм напруги, наприклад, графіки залежності сили струму I_D від напруги U_D .

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Усі дані і параметри надано на рисунках. У даній роботі використовується схема на рис. 0.1. Відповідний діод досліджується вмиканням відповідного ключа із вимкненням усіх інших.

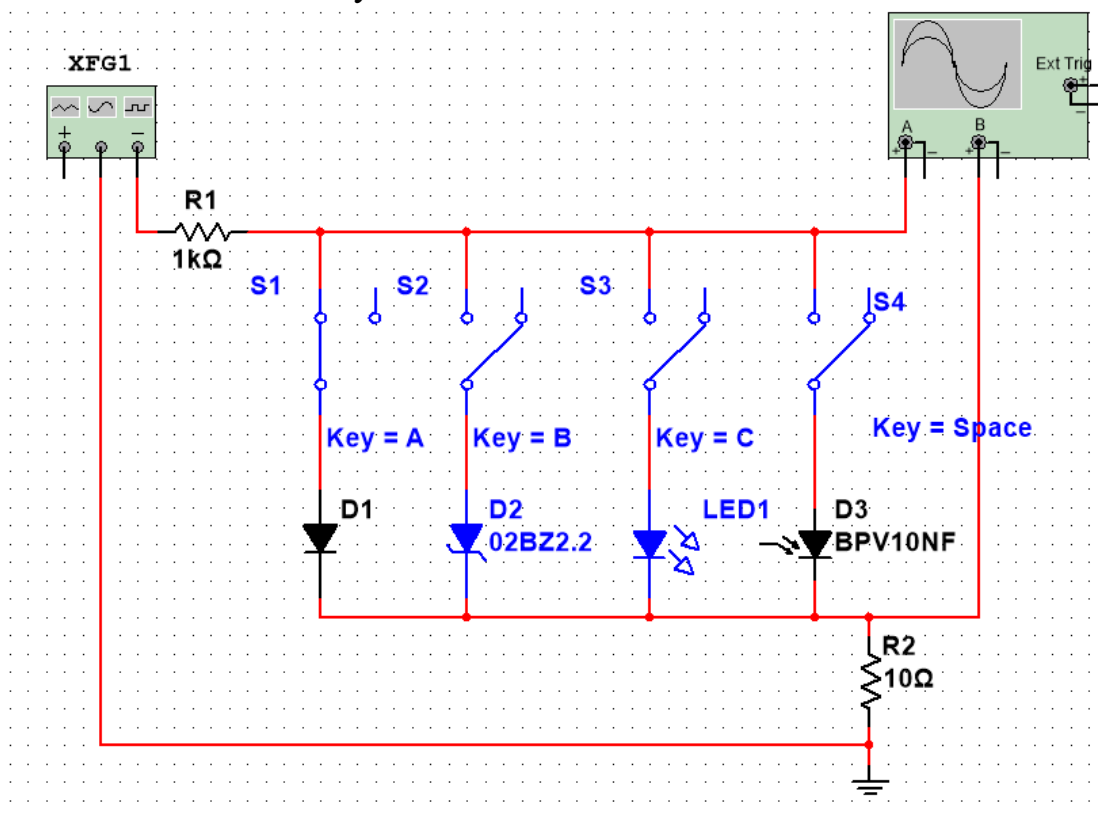


Рисунок 0.1. Схема роботи.

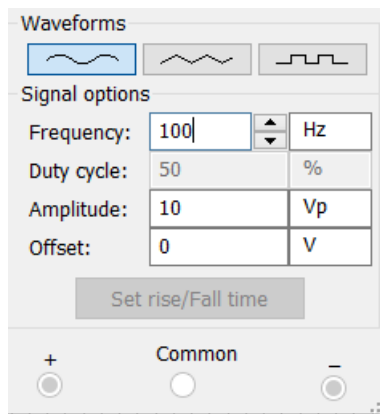


Рисунок 0.2. Параметри джерела для випрямляючого діода, фотодіода, стабілітрона

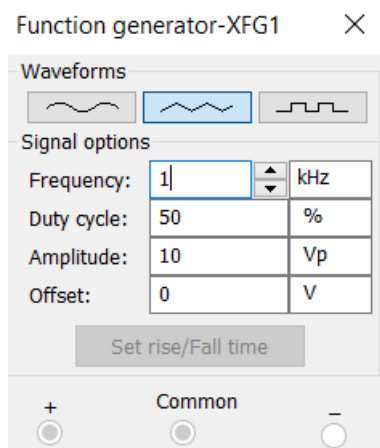


Рисунок 0.3. Параметри джерела для фотодіода

1. Випрямляючий діод

Na...	Description	Value	Units	Use defa...	Show on sche...
AREA	Area factor	1		<input checked="" type="checkbox"/>	None
TEMP	Instance temperature	27	°C	<input checked="" type="checkbox"/>	None
OFF	Initially off	0		<input checked="" type="checkbox"/>	None
IC	Initial device voltage	0	V	<input checked="" type="checkbox"/>	None

Рисунок 1.1. Параметри діоду

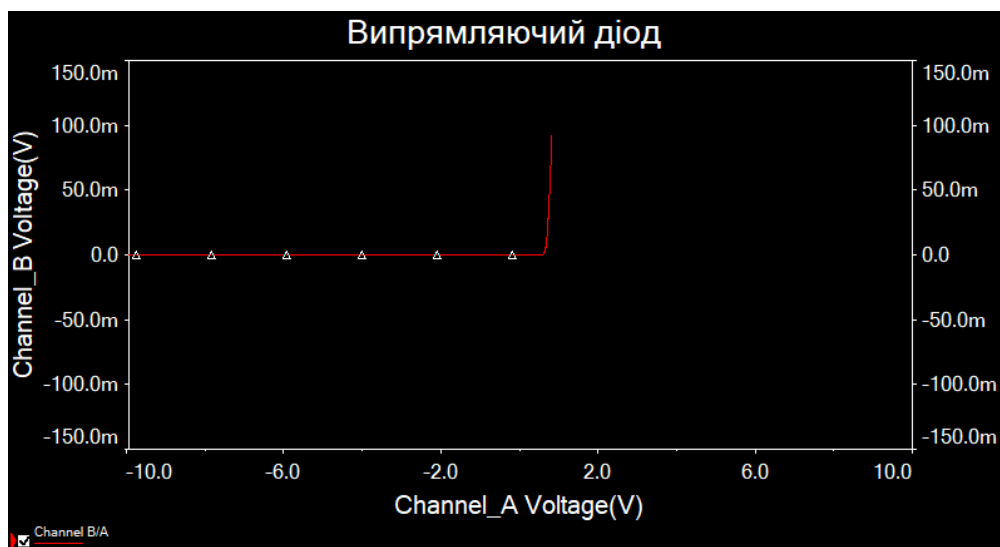


Рисунок 1.2. ВАХ випрямляючого діоду.

2. Стабілітрон

Value:	02BZ2.2
Footprint:	DO-35
Manufacturer:	Toshiba
Function:	

Рисунок 2.1. Дані про стабілітрон

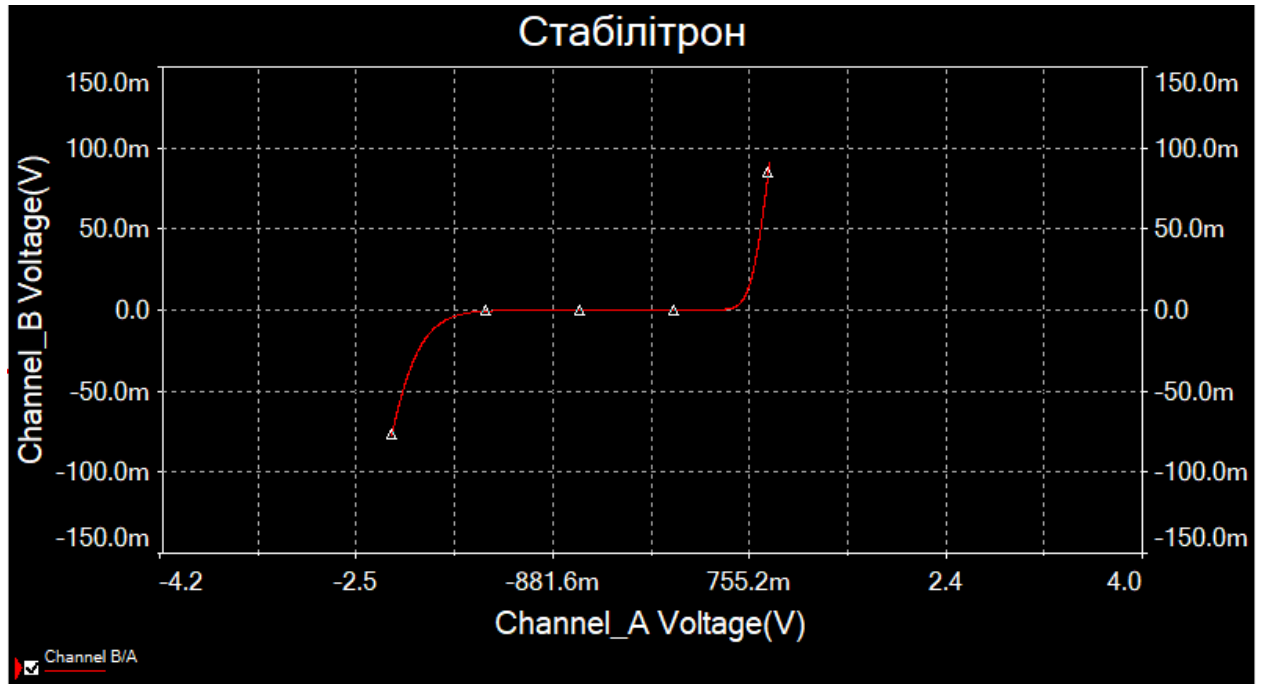


Рисунок 2.2. VAX стабілітрону

3. Світлодіод

On current (I_{on}): A

Рисунок 3.1. Параметри світлодіоду

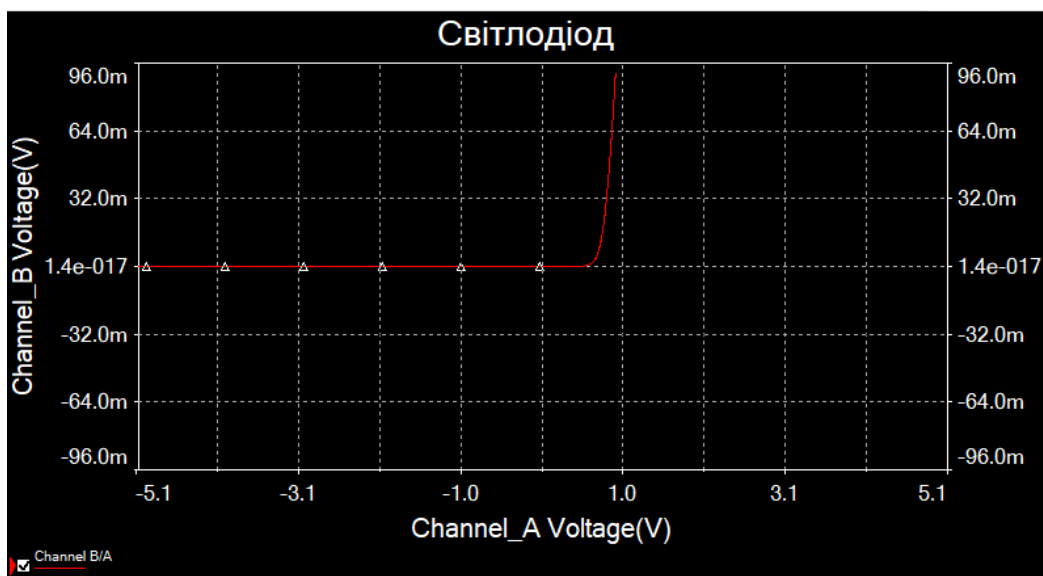


Рисунок 3.2. VAX світлодіоду

4. Фотодіод

Value: BPV10NF
Footprint:
Manufacturer: Generic
Function: 60V 790nm to 1050nm Silicon PIN photodiode

Рисунок 4.1. Параметри фотодіоду

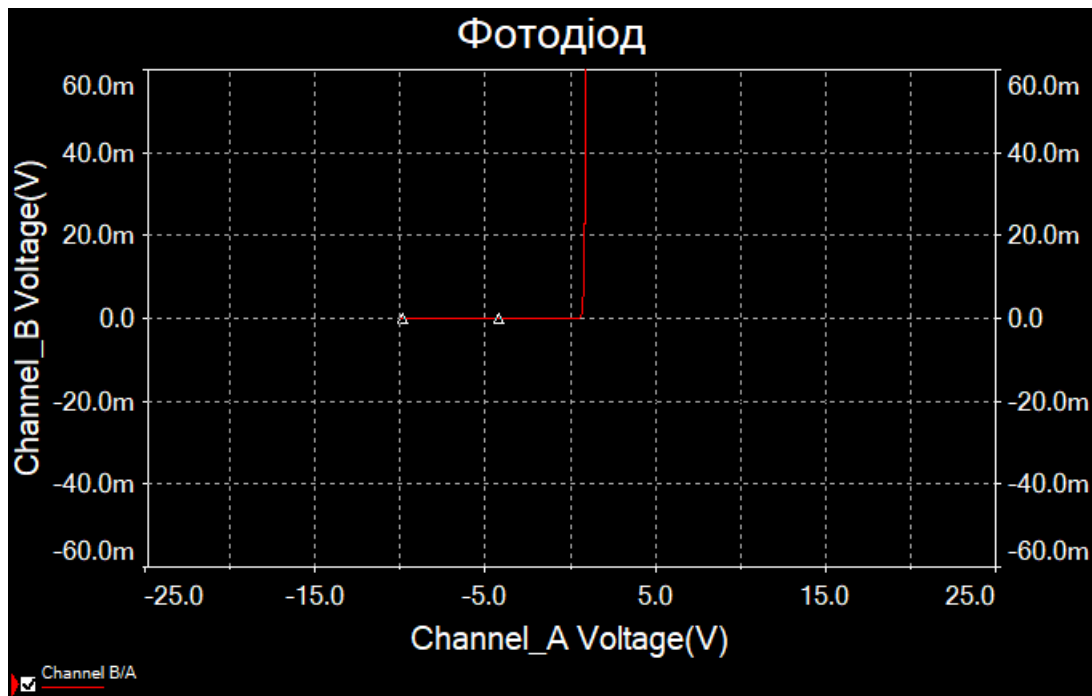


Рисунок 4.2. ВAX фотодіоду

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено дослідження вольт-амперної характеристики напівпровідникових діодів різних типів, результати надано на рисунках. Було використано наступні методи:

- 1) одержання зображення ВAX діодів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі *характериографа*;
- 2) побудова ВAX діодів шляхом вимірювання певної кількості значень сили струму I_d , що відповідають певним значенням та полярності напруги U_d , і подання результатів вимірів у вигляді графіка. Усі побудови виконано способами NI Multisim™ і подано на рисунках.

Отримали ВAX для таких пристроїв: випрямляючого діода, стабілітрона, фотодіода, світлодіода (параметри див. на рис. 1-4.1).

ВІДПОВІДІ НА ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ

- 1-2. Напівпровідники n - та p -типу. Основні та неосновні носії заряду в таких напівпровідниках. P - n -перехід. Власне електричне поле

переходу. Контактна різниця потенціалів. Дифузійний та дрейфовий струми.

Напівпровідники із внесеною акцепторною домішкою мають p -тип, а напівпровідники із внесеною донорною домішкою – n -тип.

Розглянемо роботу p – n -переходу, утвореного на межі поділу двох середовищ, які являють собою один і той же напівпровідник, в одну з частин якого введені донорні домішки і яка відповідно має провідність n -типу (тобто перше середовище – це матеріал n -типу), а в іншу введені акцепторні домішки і яка має провідність p -типу (друге середовище – матеріал p -типу).

Концентрація вільних електронів в матеріалі n -типу набагато більша, ніж концентрація вільних дірок. Тому електрони в матеріалі n -типу називають *основними носіями заряду*, а дірки – *неосновними носіями заряду*. В матеріалі p -типу – навпаки: дірки є основними носіями заряду, а електрони – неосновними. Якщо матеріал n -типу привести в контакт з матеріалом p -типу, то почнеться процес дифузії електронів з матеріалу n -типу (де їх концентрація велика) в матеріал p -типу (де їх концентрація мала).

Аналогічно, дірки будуть дифундувати з матеріалу p -типу (де їх концентрація велика) в матеріал n -типу (де їх концентрація мала). Зрозуміло, що при двох вищезгаданих процесах матеріал n -типу буде втрачати негативний заряд і набувати позитивного заряду, а матеріал p -типу, навпаки, буде втрачати позитивний заряд і набувати негативного заряду. В результаті в області контакту буде виникати електричне поле, яке буде протидіяти подальшому переходу електронів в p -область та дірок в n -область, і між матеріалом n -типу і матеріалом p -типу виникатиме різниця потенціалів. Ця різниця потенціалів називається *контактною різницею потенціалів* Φ_k , а вищезгадане електричне поле – *полем p – n -переходу*. Розглянемо поведінку носіїв заряду після виникнення контактної різниці потенціалів в області p – n -переходу. Для того щоб основні носії заряду (наприклад, електрони з n -області) могли пройти через область контакту, вони повинні подолати потенціальний поріг, зумовлений цією контактною різницею потенціалів.

Зрозуміло, що зробити це буде тим важче, чим більшою буде висота порогу. В той же час, неосновні носії (наприклад, дірки з p -області), які опиняються поблизу p – n -переходу, "звалюються" з потенціального порогу в область з іншим типом провідності незалежно від висоти цього порогу! Таким чином, струм, зумовлений переходом через p – n -перехід неосновних носіїв (так званий *струм неосновних носіїв* I_0), не залежить від висоти потенціального порогу. Процес зростання висоти порогу під час дифузії носіїв через p – n -перехід припиниться, коли буде досягнута динамічна рівновага між кількістю переходів через p – n -перехід основних і неосновних носіїв заряду одного й того ж самого знаку (наприклад, електронів), тобто коли *струм основних носіїв* заряду $I_{осн}$ через p – n -перехід зрівняється зі струмом неосновних носіїв I_0 , який протікає у протилежному напрямку.

Приймаючи розподіл електронів за енергіями в зоні провідності близьким до розподілу Больцмана, $n = n_0 e^{-\frac{E}{kT}}$, де n – концентрація електронів у зоні

провідності, n_0 – стала величина, E – енергія електрона, можна записати струм основних носіїв як $I_{\text{осн}} = Ae^{-\frac{e\varphi_k}{kT}}$, де A – деяка стала величина, $e\varphi_k$ – висота потенціального порогу для електронів, k – стала Больцмана, T – температура.

3. Пряме та зворотне включення p – n -переходу. Рух основних та неосновних носіїв через p – n -перехід під дією прямої та зворотної напруги.

Якщо до p – n -переходу прикласти зовнішню різницю потенціалів (напругу) U , то вона змінить висоту потенціального порогу. Якщо напрям зовнішнього електричного поля збігається з напрямом електричного поля p – n -переходу, то висота потенціального порогу зростатиме, а якщо ж він буде протилежним, то висота порогу зменшуватиметься. Якщо висота потенціального порогу зменшується, то струм основних носіїв через p – n -перехід збільшується і кажуть, що зовнішня напруга U *прикладена в прямому напрямку* (при цьому "+" джерела напруги приєднано до p -області, а "-" джерела – до n -області). Зовнішнє поле виштовхує в область p – n -переходу негативно заряджені електрони з n -області та позитивно заряджені дірки з p -області.

Струм основних носіїв заряду при прикладанні зовнішньої напруги U до p – n -переходу дорівнює

$$I_{\text{осн}} = Ae^{-\frac{e(U-\varphi_k)}{kT}},$$

Повний струм через p – n -перехід можна записати як алгебраїчну суму струмів основних та неосновних носіїв:

$$I = I_{\text{осн}} - I_0$$

де знак мінус означає, що ці струми течуть у протилежних напрямках.

Зрозуміло, що при $U = 0$, коли має місце вищезгадана динамічна рівновага, повний струм $I = 0$, тобто

$$I = Ae^{-\frac{e(U-\varphi_k)}{kT}} - I_0 = 0$$

Отже, повний струм через p – n -перехід дорівнює

$$I = I_0 \left[e^{-\frac{e(U-\varphi_k)}{kT}} - 1 \right]$$

Якщо до p – n -переходу прикласти зовнішню напругу у *зворотному напрямку* ($U < 0$) і збільшувати її, то струм основних носіїв прямуватиме до нуля і при достатньо великих значеннях зворотної напруги повний струм I (його ще називають *зворотним струмом*) буде повністю визначатися струмом неосновних носіїв і перестане залежати від U :

$$I \rightarrow I_0$$

Якщо ж до p – n -переходу прикласти зовнішню напругу у *прямому напрямку* ($U > 0$), то через p – n -перехід протікатиме повний струм I , який називають *прямим струмом*. При $eU \gg kT$ можна знехтувати одиницею в (6) (тобто струмом неосновних носіїв) і одержати експоненційну залежність повного струму I від зовнішньої напруги U :

$$I = I_0 e^{\frac{eU}{kT}}$$

Прямий струм значно перевищує зворотний струм, який обмежений струмом неосновних носіїв I_0 . Така властивість p – n -переходу пропускати струм в одному напрямку, а саме при прикладанні до нього прямої напруги, зумовлює широке застосування діодів в електроніці й електротехніці.