

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені**  
**ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Охріменко Г.М.**

**ЗВІТ**

**Дослідження ВАХ діодів**

**Київ. КНУ ім. Т. Шевченка, 2021**

**УДК 003.014 (002.21)**

**ББК 73Ц**

I-72

**Укладачі:** Г. М. Охріменко

I-72            Звіт. Дослідження ВАХ діодів./ укл. Г. М. Охріменко. – К. : КНУ ім. Т. Шевченка, 2021. – 14 с. (Укр. мов.)

Наведено загальний звіт виконання роботи з моделювання електронних схем у програмі LTspice<sup>TM</sup>.

**УДК 003.014 (002.21)**

**ББК 73Ц**

© Київський Національний  
Університет імені Тараса Шевченка,  
2021

## **РЕФЕРАТ**

Звіт про дослідження ВАХ діодів: 14 с., 12 рис.

Мета роботи – навчитися одержувати зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, дослідити властивості р-п–переходів напівпровідникових діодів різних типів.

Об'єкт дослідження – діоди: випрямлювальний, стабілітрон, світлодіод.

Предмет дослідження – теоретичні основи, принципи роботи, фізичний зміст і застосування діодів.

Методи дослідження – 1) одержання зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі характеристографа; 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 вимірювань у вигляді графіка.

**ДІОДИ, Р-Н ПЕРЕХІД, СВІТЛОДІОДИ, НАПІВПРОВІДНИКИ, ВАХ ДІОДІВ, LTSPICE.**

## **Зміст**

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	5
2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	5
ВИСНОВКИ.....	9
ВІДПОВІДІ НА КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	10
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	14

# 1. Теоретичні відомості

**Напівпровідниковий діод** (англ. semiconductor diode) – це напівпровідниковий прилад з одним р-п-перехідом і двома виводами.

**р-п-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 р-п-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  $U_D$ .

# 2. Практична частина

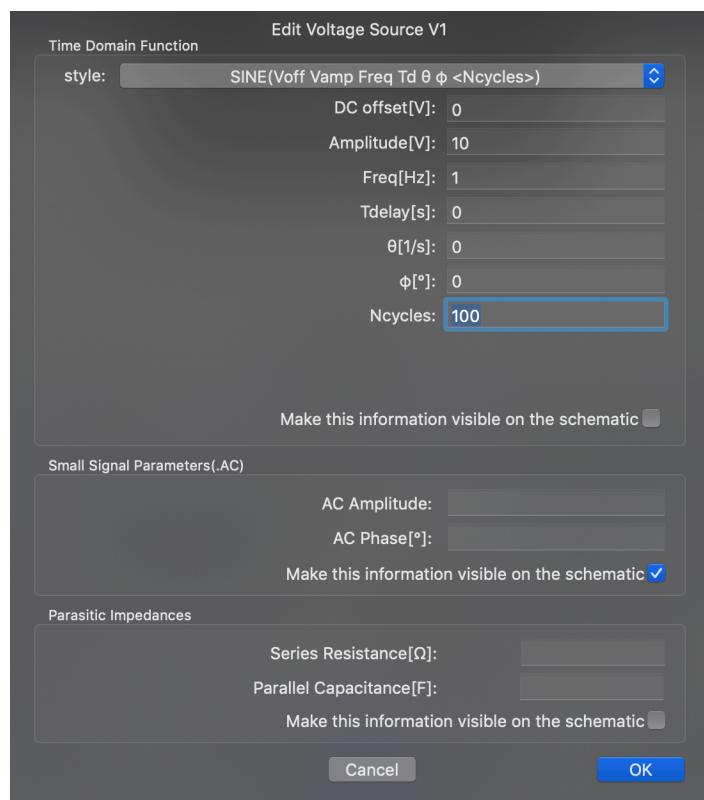
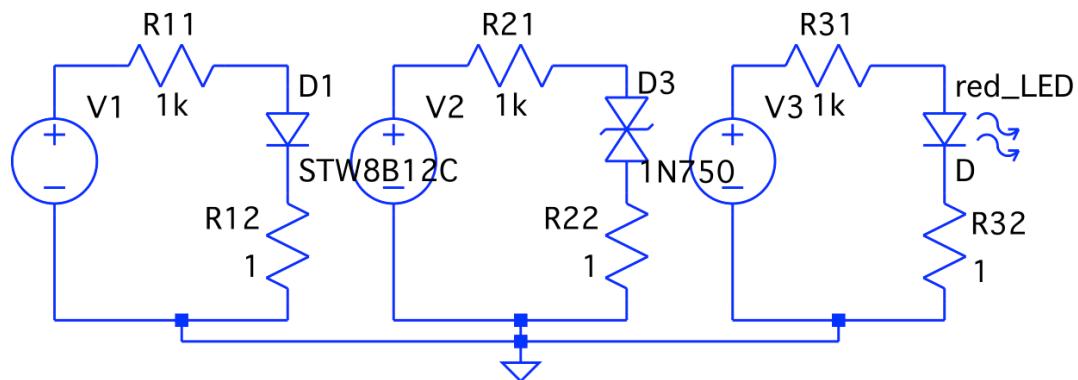


Рис. 1 Параметри джерел напруги



.tran 10s

Рис. 2 Схема установки з увімкненим Transient режимом

Серед доступних у LTspice моделей діодів я постараєся підібрати такі, які відповідають характеристикам наведених у посібнику з моделювання [1].

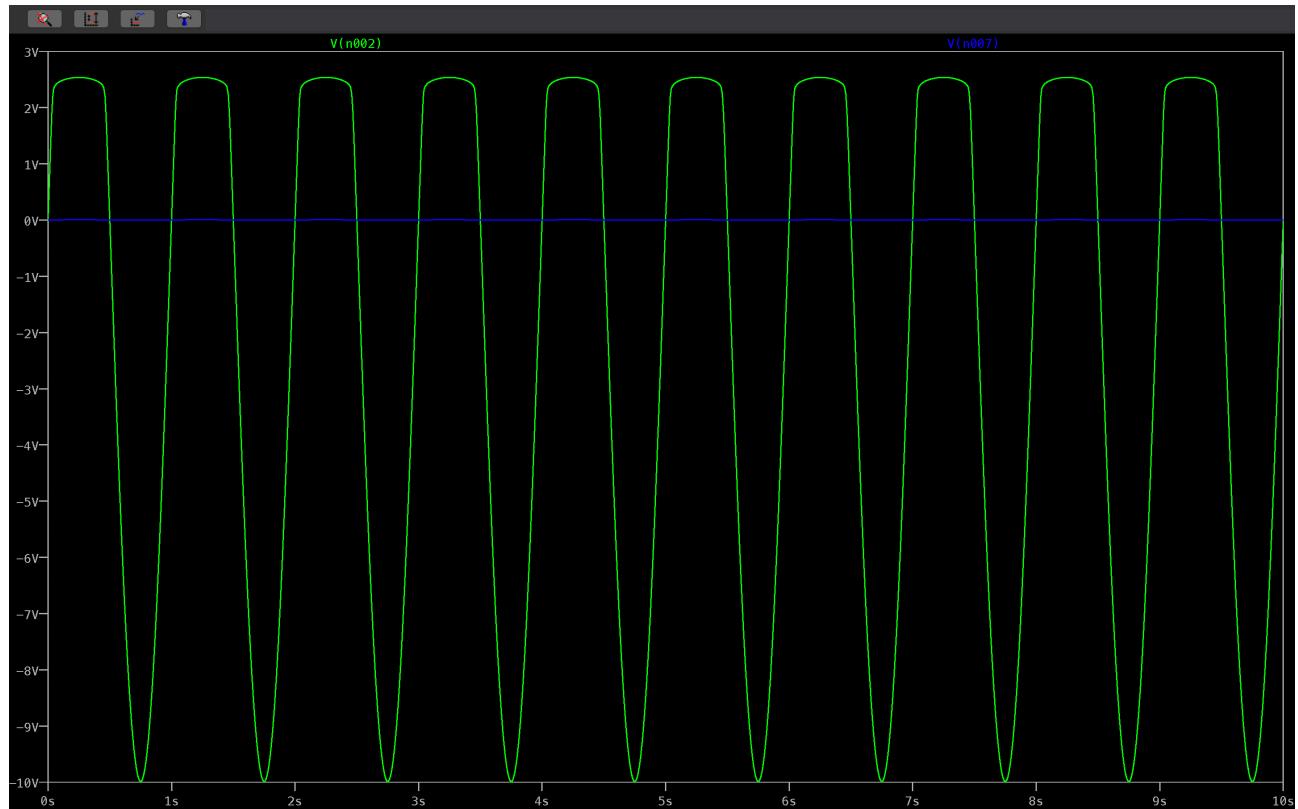


Рис. 3 ВАХ випрямлювального діода

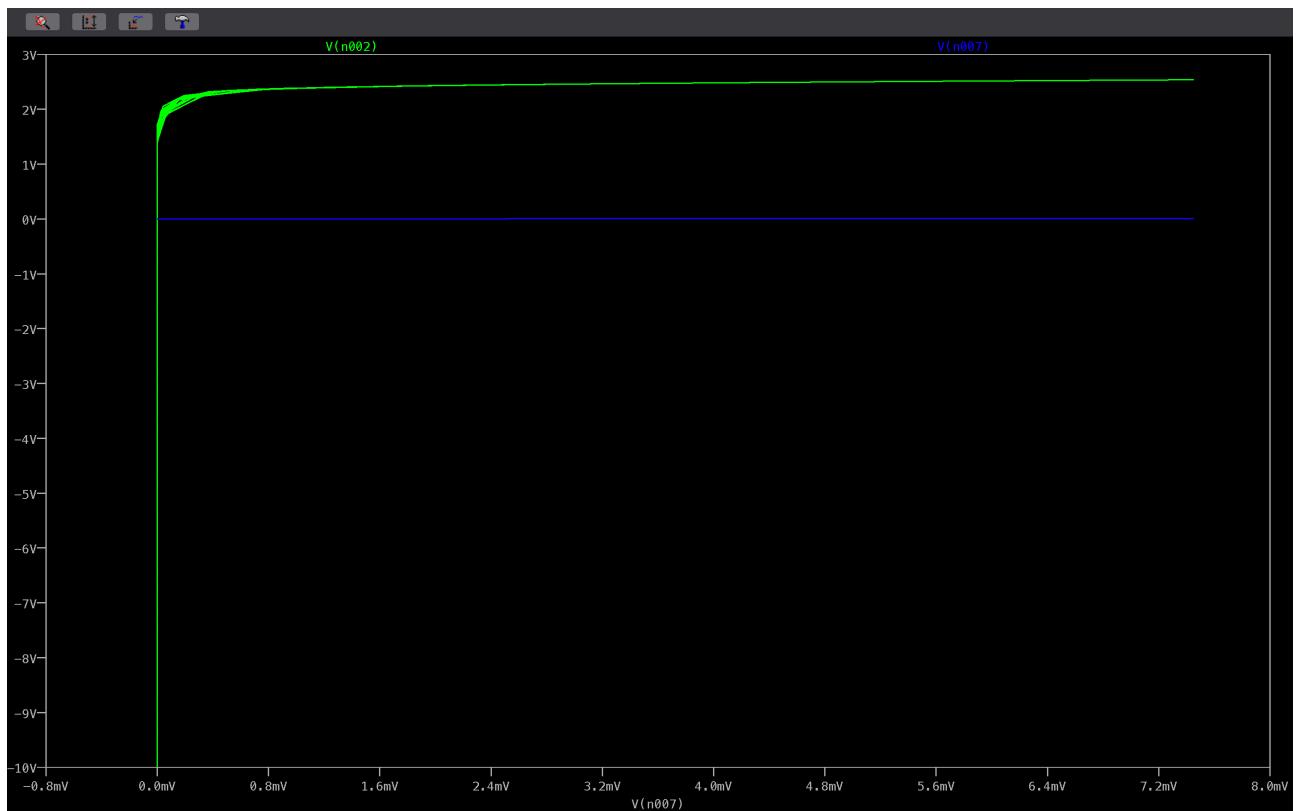


Рис. 4 ВАХ випрямлювального діода (характериограф)

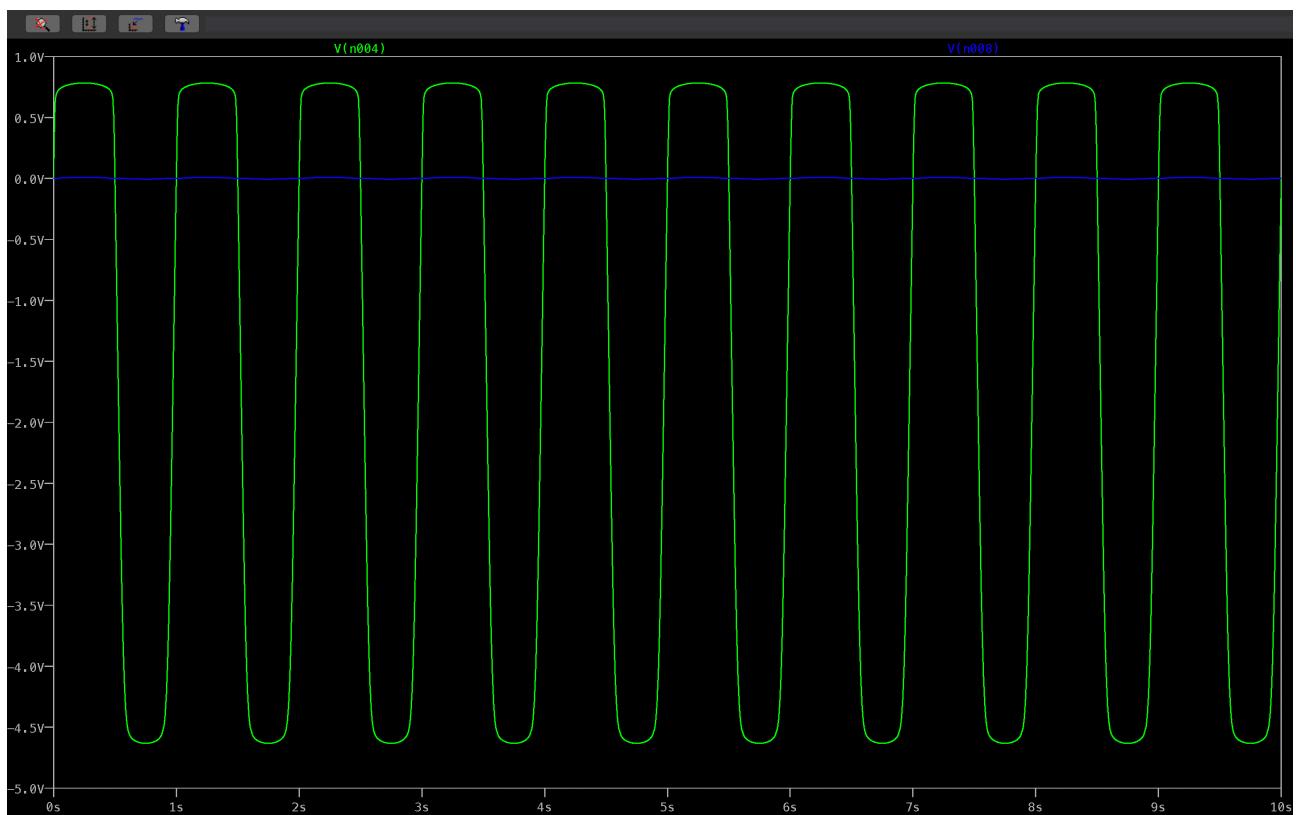


Рис. 5 ВАХ стабілітрона

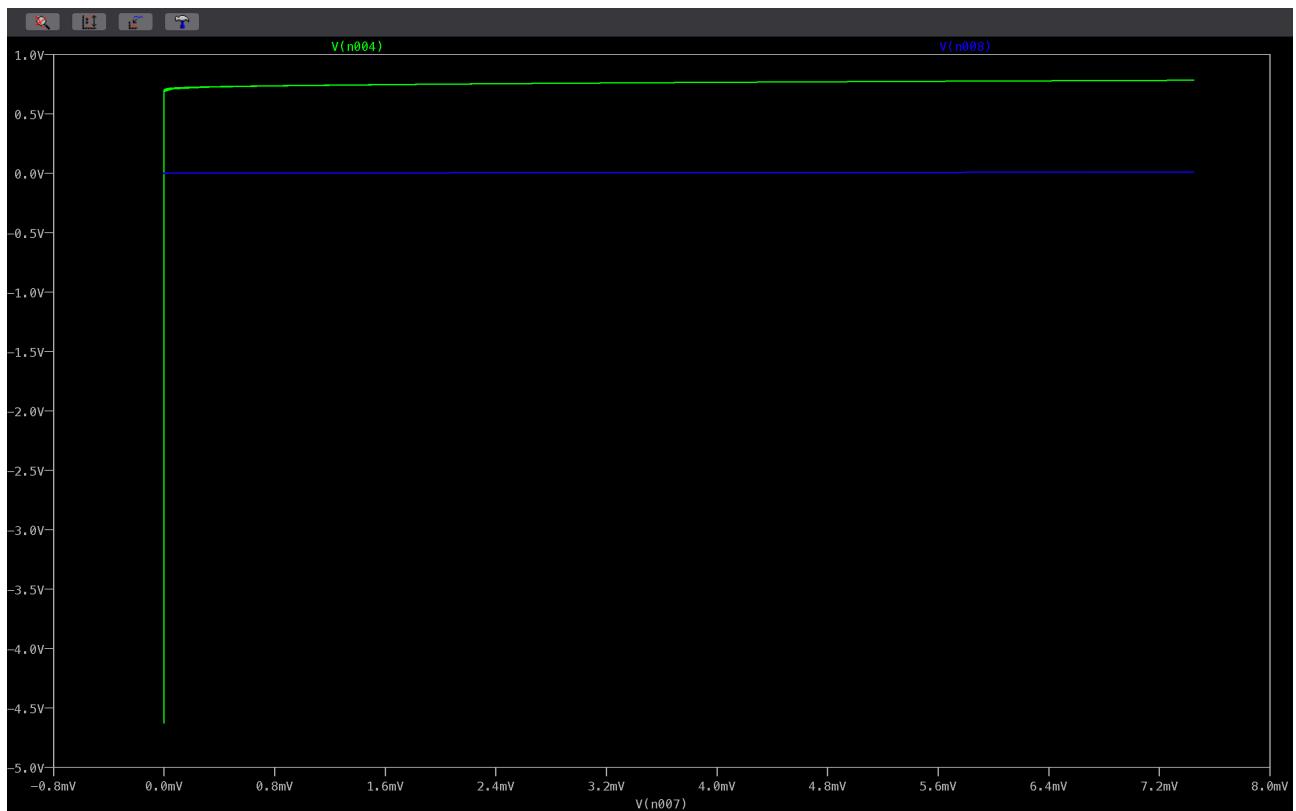


Рис. 6 ВАХ стабілітрона (характериограф)

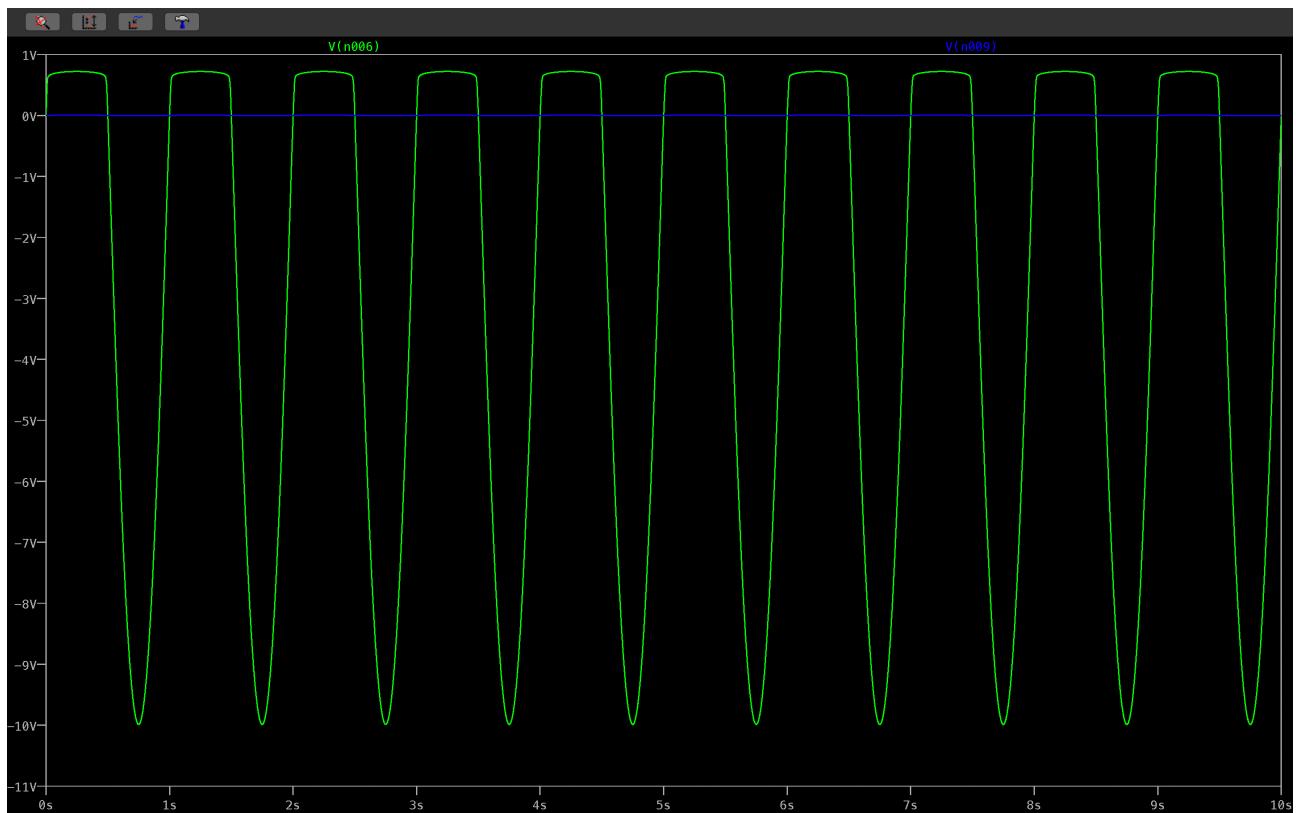


Рис. 7 ВАХ світлодіода

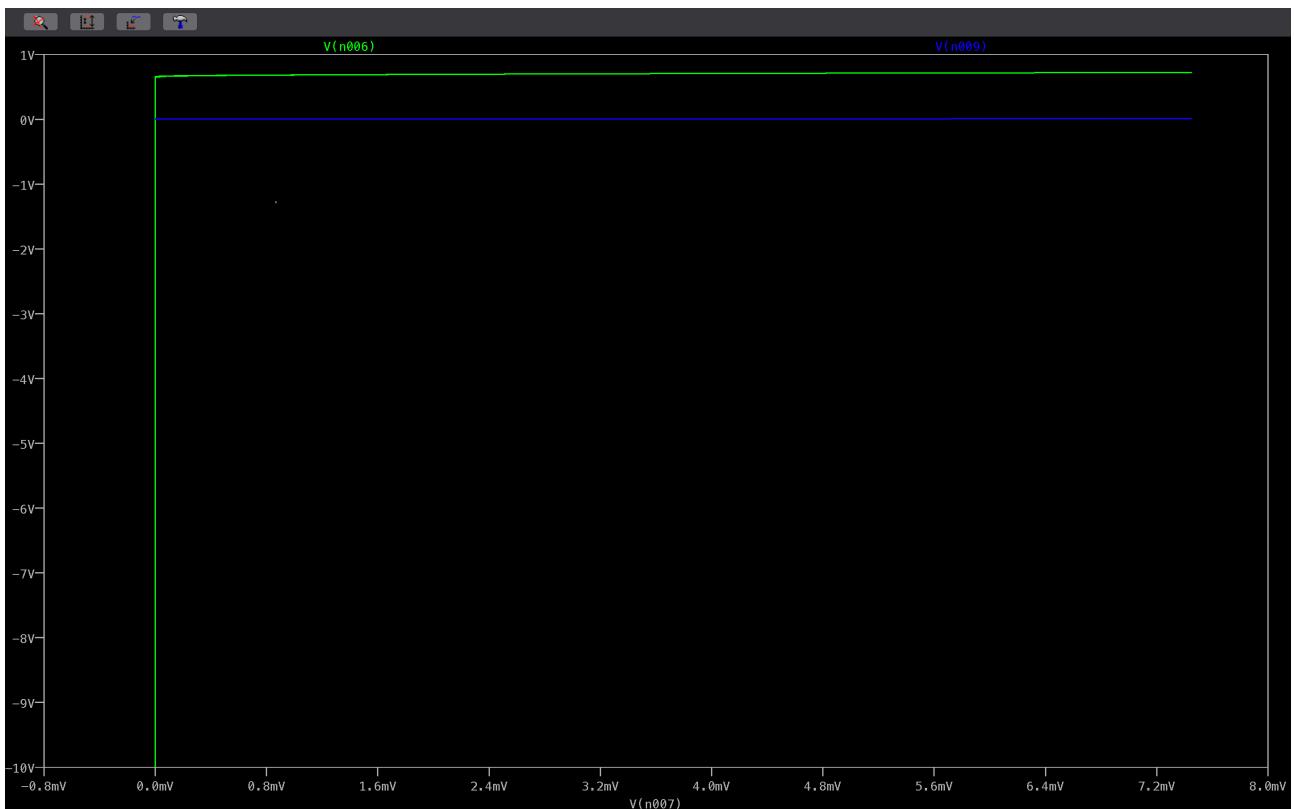


Рис. 8 ВАХ світлодіода (характериограф)

## Висновки

У ході даної лабораторної роботи ми навчилися одержувати зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, дослідили властивості р-п-перехідів напівпровідникових діодів різних типів. Ми одержали зображення ВАХ діодів на екрані двоканального осцилографа, який працює в режимі характериографа, і таким чином наочно побачили відмінності між різними типами діодів, що дає уявлення про їх можливе застосування (див. контрольні запитання).

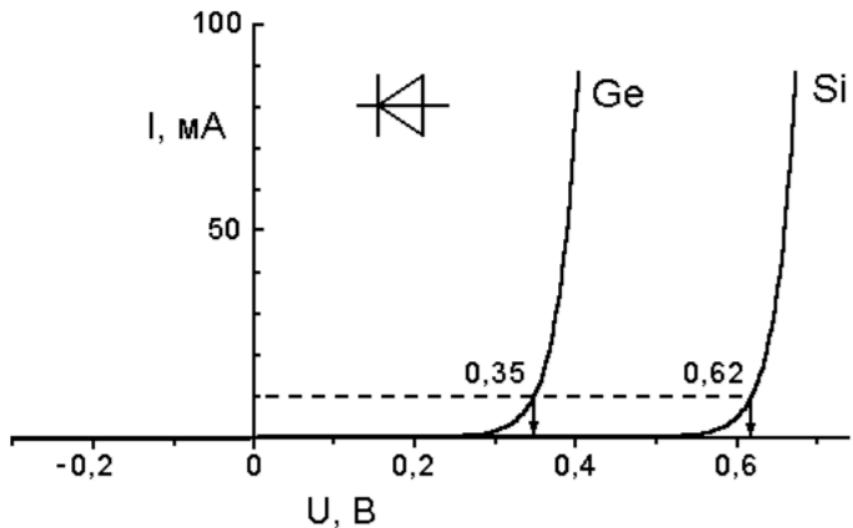
## Відповіді на контрольні запитання

1. Напівпровідники п– та р–типу. Основні та неосновні носії заряду в таких напівпровідниках.

Залежно від того, чи віддає домішковий атом електрон, чи захоплює, його називають донорним або акцепторним. Характер домішки може змінюватися залежно від того, який атом гратки вона заміщує, в яку кристалографічну площину будовується. Під час розриву зв'язку між електроном і ядром з'являється вільне місце в електронній оболонці атома. Це обумовлює перехід електрона з іншого атома на атом з вільним місцем. На атом, звідки перейшов електрон, входить інший електрон з іншого атома і т. д. Цей процес обумовлюється ковалентними зв'язками атомів. Таким чином, відбувається переміщення позитивного заряду без

переміщення самого атома. Цей умовний позитивний заряд називають діркою. Зростом температури число вільних електронів і дірок збільшується, тому напівпровідник, що не містить домішок, маєвищий питомий електричний опір, ніж з домішками. Умовно прийнято вважати напівпровідниками елементи з енергією зв'язку електронів меншою від 1,5...2 еВ. Електронно-дірковий механізм електричної провідності проявляється у *власних напівпровідниках* (тобто у хімічно чистих з ідеально правильними кристалічними гратками). Він називається *власною провідністю* напівпровідників. Згідно із зонною теорією твердих тіл власна провідність напівпровідника пов'язана з тим, що в результаті теплового збудження частина електронів перекидається з валентної зони  $E_v$  у зону провідності  $E_p$ . Ці електрони називають *електронами провідності*; під дією зовнішнього електричного поля вони набувають у напівпровіднику впорядкованого руху (дрейфу), утворюючи електричний струм. 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**.

2. p–n-перехід. Власне електричне поле переходу. Контактна різниця потенціалів. Дифузійний та дрейфовий струми.  
При встановленні контакту між двома напівпровідниковими матеріалами, 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  $\phi_K$ , а вищезгадане електричне поле – полем p–n-перехіду  $E_{p-n}$ . В основі **дифузійного струму** лежить хаотичний рух носіїв заряду, при якому вони переходят із області, де їх більше у область, де їх менше. **Дрейфовий струм** – електричний струм, зумовлений рухом носіїв електричного заряду під дією електричного поля.
3. Пряме та зворотне включення p–n-перехіду. Рух основних та неосновних носіїв через p–n-перехід під дією прямої та зворотної напруги.  
Якщо до p–n-перехіду 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.



**Рис. 4.** Вольт-амперні характеристики випрямлювальних діодів, виготовлених з германію і кремнієм.

4. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) випрямлювального діода, її залежність від температури. Застосування випрямлювальних діодів в техніці.

Струм  $I_0$  залежить від температури та ширини забороненої зони напівпровідника:  $I_0 = I_{00} e^{-\frac{E_g}{kT}}$ , де  $I_{00}$  — множник, що слабко залежить від температури. Діоди, що мають таку ВАХ, називають випрямлювальними (англ. rectifier diode) і використовують у пристроях випрямлення, обмеження, детектування. Найпотужніші з них здатні працювати при значеннях прямого струму до кількох тисяч ампер і витримувати без пробою зворотні напруги в десятки кіловольт.

5. Оборотний та необоротний електричний пробій р–п-переходу. ВАХ стабілітрона. Застосування стабілітронів.

При великих зворотних напругах р–п-переход і "пробивається" і через нього протікає дуже великий струм. Пробій є відновлюваним, доки теплова потужність, розсіювана на р–п-переході, не перевищує припустимої, при якій відбувається його руйнування. Ця ділянка ВАХ, що відповідає зворотній напрузі, використовується на практиці в пристроях стабілізації напруги, а діоди, що мають таку ділянку, називають стабіліtronами (англ. Zener diode). Напругу пробою можна регулювати технологічно (як правило, варіюванням концентрації домішок в р- і п-областях) в широких межах – від одиниць до сотень вольт. Для стабілізації напруги використовується і вертикальна ділянка ВАХ в прямому напрямку.

6. Тунельний ефект. Енергетична діаграма та ВАХ тунельного діода. Застосування тунельних діодів.

Якщо виготовити р–п-переход з сильнолегованого напівпровідника (з великою концентрацією домішок), то переход стане тонким і носії заряду зможуть "просочуватися" (тунелювати) через область р–п-переходу при прикладанні невеликої як зворотної, так і прямої напруги. Діоди з таким р–п- переходом називаються тунельними (англ. tunnel diode). ВАХ таких діодів поблизу початку координат ( $U = 0$ ) являє собою відрізок прямої, тобто подібна до ВАХ звичайного резистора. Важливою особливістю ВАХ тунельних діодів є наявність на її прямій гілці ділянки з від'ємним диференціальним опором:  $r_{\text{диф}} = dU/dI < 0$  (пунктирна лінія на Рис. 9), що дозволяє використовувати їх як підсилювачі та генератори електричних коливань надвисокочастотного діапазону (до десятків гігагерц). Такі діоди використовуються також як швидкодійні перемикачі, а також як елементи пам'яті в запам'ятовувальних пристроях з двійковим кодом.

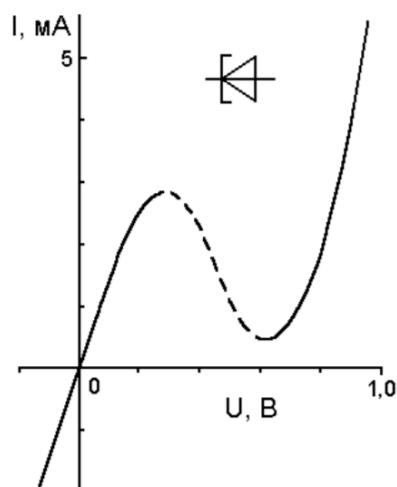


Рис. 9. Вольт-амперна характеристика тунельного діода. Пунктирною лінією показано ділянку ВАХ з від'ємним диференціальним опором.

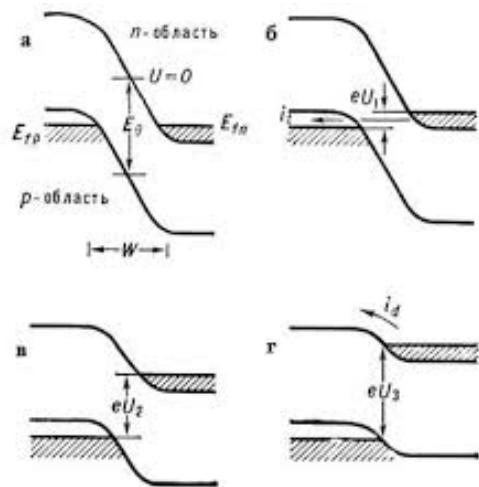


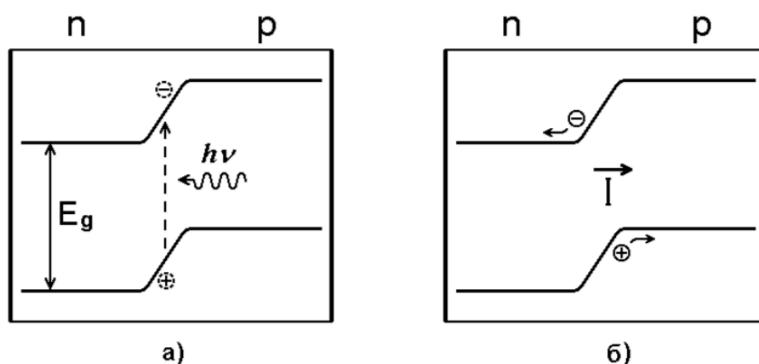
Рис. 10 Енергетична діаграма тунельного діода

7. Випромінювальна рекомбінація носіїв заряду в напівпровідниках. Принцип роботи і застосування світлодіодів.

У будь-якому прямозміщеному (включенному в пряму напрямку) р–п-переході при протіканні струму має місце рекомбінація носіїв заряду, в тому числі й випромінювальна, тобто з народженням фотонів.

Випромінювальною рекомбінацією лише частина носіїв. І лише частина фотонів, уникнувши поглинання в самому діоді, може вийти назовні. Для створення практично придатного світловипромінювального діода (світлодіода) (англ. light-emitting diode, LED) необхідні матеріали з високою імовірністю випромінювальної рекомбінації. Якщо для

випрямлювальних діодів використовуються переважно германій Ge і кремній Si, то матеріалом для світлодіодів є арсенід галію GaAs, фосфід галію GaP і потрійні напівпровідникові сполуки на їх основі, а також карбід кремнію SiC. Сьогодні більш ефективними є світлодіоди, у яких використовуються не p-n-переходи, а так звані гетеропереходи – переходи між двома напівпровідниковими матеріалами з різною шириною забороненої зони. Оскільки енергія фотонів випромінювання (колір свічення) близька до ширини забороненої зони напівпровідника, то на основі перелічених напівпровідниківих матеріалів були створені світлодіоди, що випромінюють у всій видимій, інфрачервоній та близькій ультрафіолетовій областях спектра.



**Рис. 6.** Принцип дії фотодіода: а) поглинання фотона в області p-n-переходу й утворення електронно-діркової пари, б) рознесення електрона й дірки в різні боки електричним полем p-n-переходу (виникнення струму).

8. Внутрішній фотоефект у напівпровідниках. Принцип роботи і застосування фотодіодів. Сонячні батареї. Внутрішній фотоефект - перерозподіл електронів по енергетичних рівнях у діелектриках як напівпровідниках (але не в металах) під дією світла. Якщо енергія кванта  $h\nu$  падаючого світла перевищує ширину забороненої зони в діелектрику або напівпровіднику, то електрон, що поглинув квант, переходить із валентної зони в зону провідності. У результаті цього переходу утворюється пара носіїв: у зоні провідності електрон, а у валентній зоні - дірка. Таким чином, у зоні провідності з'являються носії заряду, і при включені напівпровідника в ланцюг по ній буде протікати струм або при додатку зовнішнього електричного поля буде протікати струм, що змінюється залежно від освітленості. Фотовольтаїчний модуль – це спеціальна конструкція, яка складається з набору взаємозв'язаних фотоелектричних комірок. Кожна з цих комірок, або селів (cell – анг. комірка), виготовлена з певного напівпровідника, наприклад кремнію, який в переважній більшості застосовується для створення сонячних панелей, оскільки демонструє наразі найвищі показники продуктивності. Коли сонячні промені потрапляють на цей напівпровідник, то він починає нагріватися, частково поглинаючи виділену від променів енергію. Фотони світла «вибивають» електрони з загальної атомної структури

напівпровідника, і вільні електрони формують заряд.

## **Список використаної літератури**

1. Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк,
2. Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.
3. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” : Методичне видання. – К.: 2006.- с.
4. [https://sun-energy.com.ua/articles/yak\\_pratsuyut\\_sonyachni\\_paneli](https://sun-energy.com.ua/articles/yak_pratsuyut_sonyachni_paneli)