

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Моделювання ВАХ діодів

Автор:

Холоімов Валерій

3 марта 2021 г.

Содержание

1	Вступна частина	3
1.1	Об'єкт дослідження	3
1.2	Мета	3
1.3	Методи дослідження	3
2	Теоретична частина	3
2.1	Термінологія	3
3	Практична частина	4
3.1	Вступ до практичної частини	4
3.2	Діод 1	5
3.3	Діод 2	6
3.4	Діод 3	7
3.5	Робота з Arduino	8
4	Відповіді на контрольні запитання	9
4.1	Напівпровідники n - та p -типу. Основні та неосновні носії заряду в таких напівпровідниках.	9
4.2	p - n -перехід. Власне електричне поле переходу. Контактна різниця потенціалів. Дифузійний та дрейфовий струми.. . . .	9
4.3	Пряме та зворотне включення p - n -переходу. Рух основних та неосновних носіїв через p - n -перехід під дією прямої та зворотної напруги	9
4.4	Вольт-амперна характеристика (ВАХ) випрямлювального діода, її залежність від температури. Застосування випрямлювальних діодів в техніці. . . .	9
4.5	Оборотний та необоротний електричний пробій p - n -переходу. ВАХ стабілітрона. Застосування стабілітронів.	10
4.6	Тунельний ефект. Енергетична діаграма та ВАХ тунельного діода. Застосування тунельних діодів	10
4.7	Випромінювальна рекомбінація носіїв заряду в напівпровідниках. Принцип роботи і застосування світлодіодів.	10
4.8	Внутрішній фотоефект у напівпровідниках. Принцип роботи і застосування фотодіодів. Сонячні батареї	11
5	Список використаної літератури	11

1 Вступна частина

1.1 Об'єкт дослідження

Визначення вольт-амперної характеристики діодів. Моделювання ВАХ діодів.

1.2 Мета

Дослідити ВАХ діодів. Порівняти ВАХ різних діодів.

1.3 Методи дослідження

Один з каналів отримує напругу на діоді. Другий канал отримує напругу на відомому резисторі, що дає можливість визначити нам сили струму на ділянці кола. На екрані двоканального осцилографа спостерігаємо графік залежності напруги на діоді від сили струму на ділянці кола.

2 Теоретична частина

2.1 Термінологія

Діод Електроний прилад, що пропускає струм лише в одному напрямку. Має відміну від провідника у власній будові, тому ВАХ діода має певну відмінність від ВАХ резистора.

Осцилограф Прилад, що призначений для вимірювання, спостереження та запису параметрів електричного сигналу. У роботі використовуємо осцилограф для побудови залежності напруги на діоді від сили струму на ділянці кола.

Резистор пасивний елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору. Основною характеристикою резистора є величина його електричного опору. Для випадку лінійної характеристики, значення електричного струму крізь резистор в залежності від електричної напруги, описується законом Ома.

Вольт-амперна характеристика це залежність сили струму I_d через $p - n$ -перехід діода від величини і полярності прикладеної до діода напруги U_d .

3 Практична частина

3.1 Вступ до практичної частини

В методичці "Вивчення радіoeлектронних схем методом комп'ютерного моделювання" можна знайти схему, що допомагає нам отримати значення сили струму на ділянці кола і напругу на діоді. Для складання цієї схеми нам необхідно використати наступні компоненти:

резистор опором 10 Ом,
діоди 1BH62,
XSC1 - осцилограф,
XFG1 - функціональний генератор,
ключі K1, K2, K3.

Переключаючи ключі, можемо отримати ВАХ для кожного з діодів а також їх комбінацій.

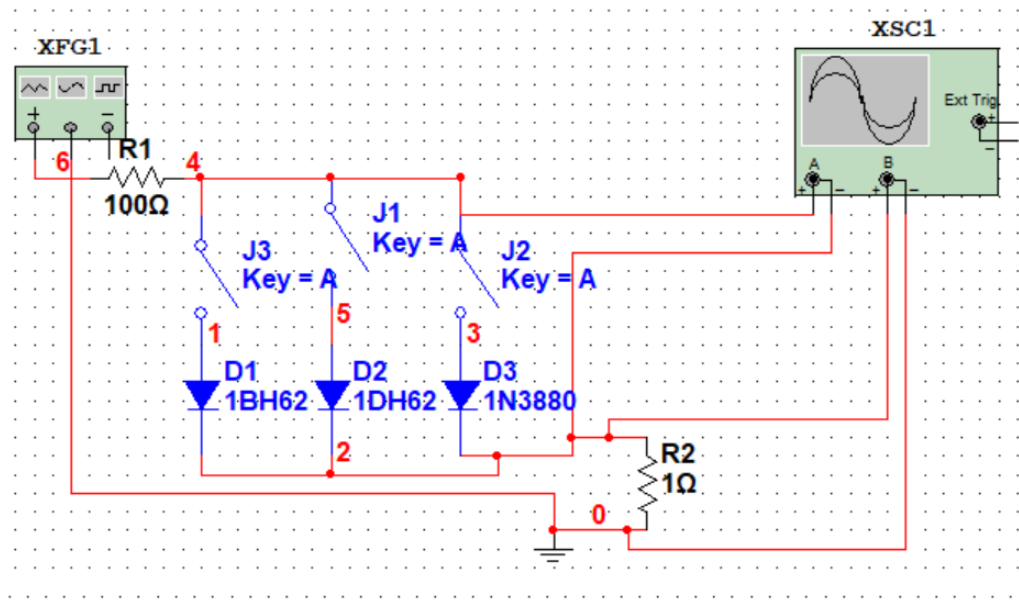


Рис. 1: ССхема, що використовувалась у роботі

3.2 Діод 1

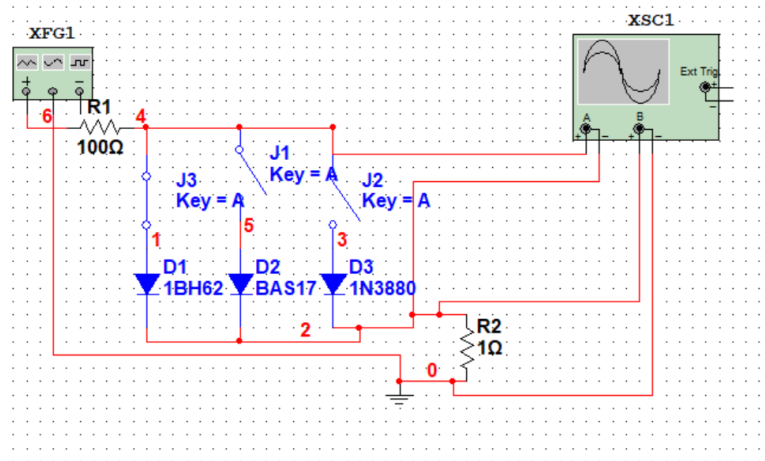


Рис. 2: Схема

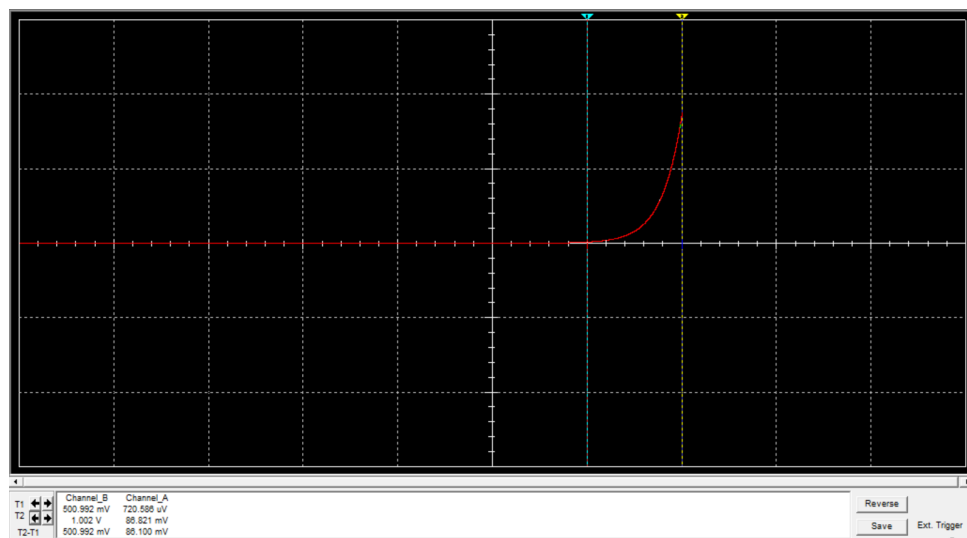


Рис. 3: Результати вимірів

	Channel_B	Channel_A
T1	500.992 mV	720.588 uV
T2	1.002 V	88.821 mV
T2-T1	500.992 mV	88.100 mV

Рис. 4: Результати вимірів

Оскільки канал А виводить напругу на резисторі опором 1Ω , можемо вважати, що отримані значення - сила струму у колі.

3.3 Діод 2

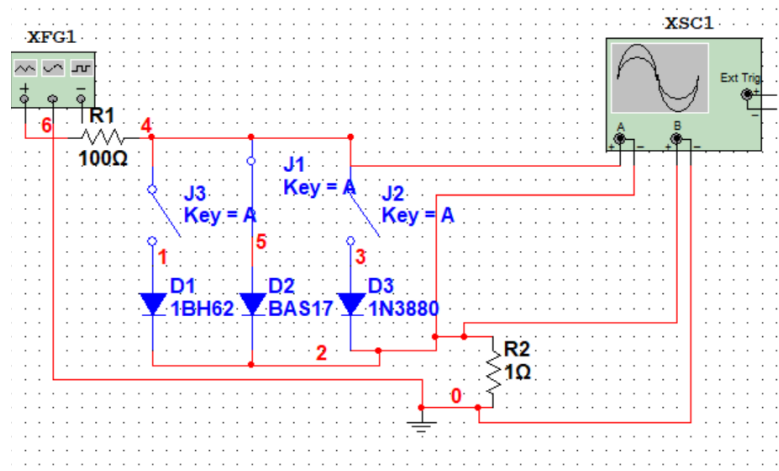


Рис. 5: Схема

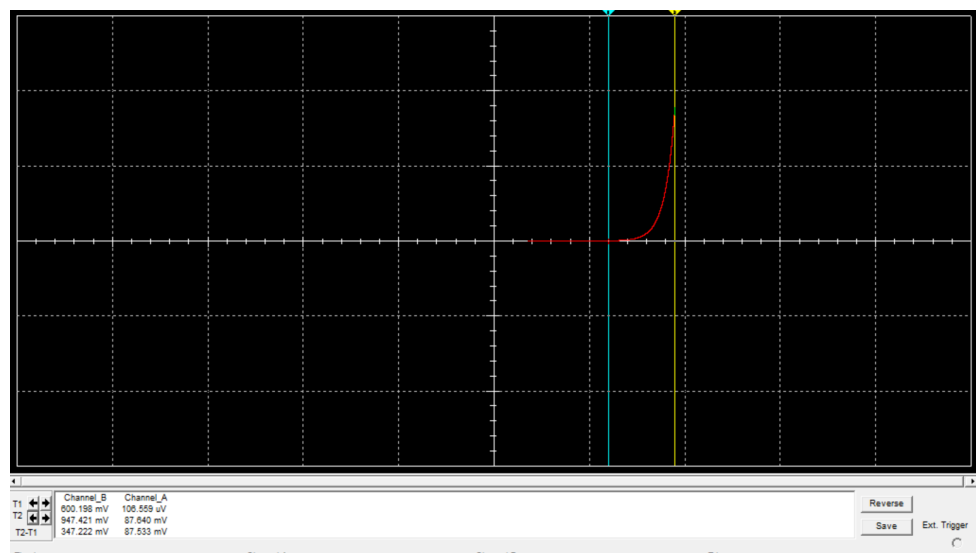


Рис. 6: Результати вимірів

	Channel_B	Channel_A
T1	800.198 mV	108.559 uV
T2	947.421 mV	87.640 mV
T2-T1	347.222 mV	87.533 mV

Рис. 7: Результати вимірів

3.4 Діод 3

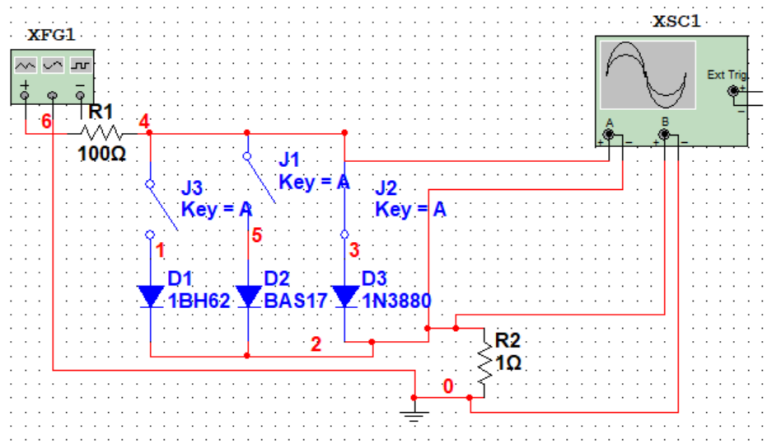


Рис. 8: Схема

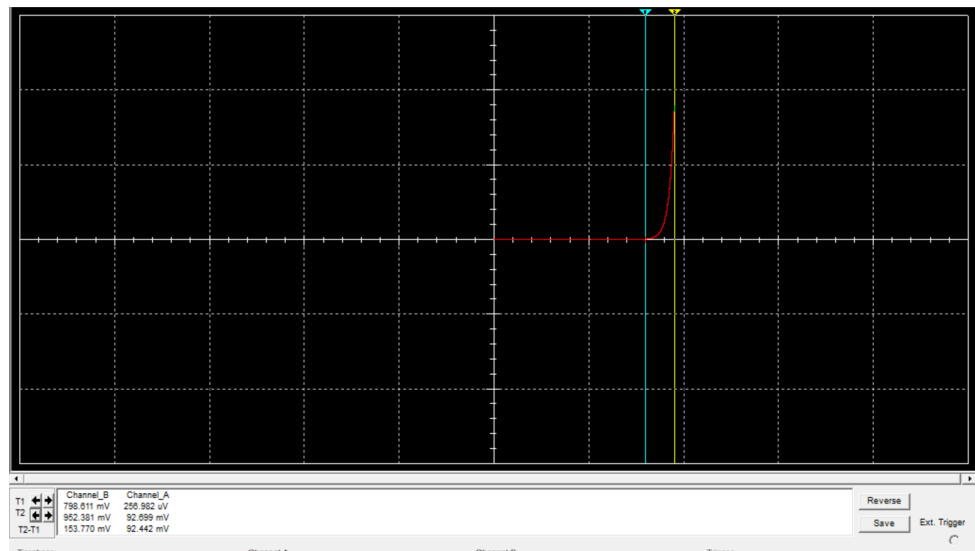


Рис. 9: Результати вимірів

	Channel_B	Channel_A
T1	798.611 mV	258.982 uV
T2	952.381 mV	92.699 mV
T2-T1	153.770 mV	92.442 mV

Рис. 10: Результати вимірів

3.5 Робота з Arduino

Окрім моделювання ВАХ діодів я також дослідив ВАХ світлодіода, що мав у комплекті з Arduino. Для світлодіода було досить складно отримати ВАХ, що схожа на результати отримані в результаті моделювання, оскільки необхідним був досить малий струм.

У роботі з Arduino я використовував наступну схему, що дозволяла виміряти напругу на резисторі, визначивши сигнал, що подається на вихід A0, а також визначити напругу на світлодіоді, знайшовши різницю між сигналами, що подається на вихід A0 і A1.

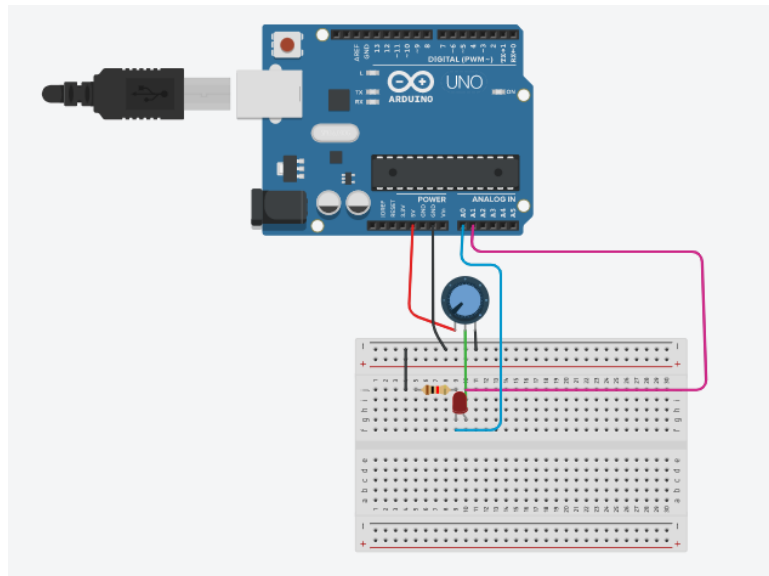


Рис. 11: Схема проекту

Замість генератора гармонічного сигналу був використаний потенціометр, що дає змогу змінювати напругу на світлодіоді від 0 до 5 В.

Для ардуіно ми не маємо точних амперметрів та вольтметрів, тому на шкалі X та Y маємо лише відносне значення сили струму та напруги.



Рис. 12: Результати вимірів

4 Відповіді на контрольні запитання

4.1 Напівпровідники n - та p -типу. Основні та неосновні носії заряду в таких напівпровідниках.

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*.

Для того, щоб отримати напівпровідник n -типу, власний напівпровідник легують донорами. Здебільшого це атоми, які мають на валентній оболонці на один електрон більше, ніж атоми напівпровідника, який легується.

Напівпровідники p -типу отримують методом легування власних напівпровідників акцепторами. Тобто атомами, що мають на один електрон менше, ніж атоми напівпровідника.

4.2 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 ϕ_k , а вищезгадане електричне поле – полем p - n -переходу E_{n-p} .

В основі дифузійного струму лежить хаотичний рух носіїв заряду, при якому вони переходять із області, де їх більше у область, де їх менше. Дрейфовий струм – електричний струм, зумовлений рухом носіїв електричного заряду під дією електричного поля.

4.3 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 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 .

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

Струм I залежить від температури та ширини забороненої зони напівпровідника: $I = I_0 e^{\frac{E_g}{kT}}$, де I_0 – множник, що слабо 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.

4.5 Оборотний та необоротний електричний пробій p – n -переходу. ВАХ стабілітрона. Застосування стабілітронів.

При великих зворотних напругах p – n -перехід "пробивається" і через нього протікає дуже великий струм. Пробій є відновлюваним, доки теплова потужність, розсіювана на p – n -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 стабілітронами. Напругу пробою можна регулювати технологічно (як правило, варіюванням концентрації домішок в p - і n -областях) в широких межах – від одиниць до сотень вольт. Для стабілізації напруги використовується і вертикальна ділянка ВАХ в прямому напрямку.

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

Якщо виготовити p – n -перехід з сильнолегованого напівпровідника (з великою концентрацією домішок), то перехід стане тонким і носії заряду зможуть "просочуватися" (тунелювати) через область p – n -переходу при прикладанні невеликої як зворотної, так і прямої напруги. Діоди з таким p – n -переходом називаються тунельними. 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: $R_{dif} = \frac{\delta U}{\delta I} < 0$ (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.

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

У будь-якому прямозміщеному (включеному в прямому напрямку) p – n -переході при протіканні струму має місце рекомбінація носіїв заряду, в тому числі й випромінювальна, тобто з народженням фотонів. Випромінювально рекомбінує лише частина носіїв. І лише частина фотонів, уникнувши поглинання в самому діоді, може вийти назовні. Для створення практично придатного світловипромінювального діода (світлодіода) необхідні матеріали з високою імовірністю випромінювальної рекомбінації. Якщо для випромінювальних діодів використовуються переважно германій Ge і кремній Si , то матеріалом для світлодіодів є арсенід галію $GaAs$, фосфід галію GaP і потрібні 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 світіння) близька до ширини забороненої зони напівпровідника, то на основі перелічених напівпровідникових матеріалів були створені світлодіоди, що випромінюють у всій видимій, інфрачервоній та ближній ультрафіолетовій областях спектра.

4.8 Внутрішній фотоелектричний ефект у напівпровідниках. Принцип роботи і застосування фотодіодів. Сонячні батареї

Внутрішній фотоелектричний ефект - перерозподіл електронів по енергетичних рівнях у діелектриках і 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 включенні 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 – англ. 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.

5 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 «Принтлайн», 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