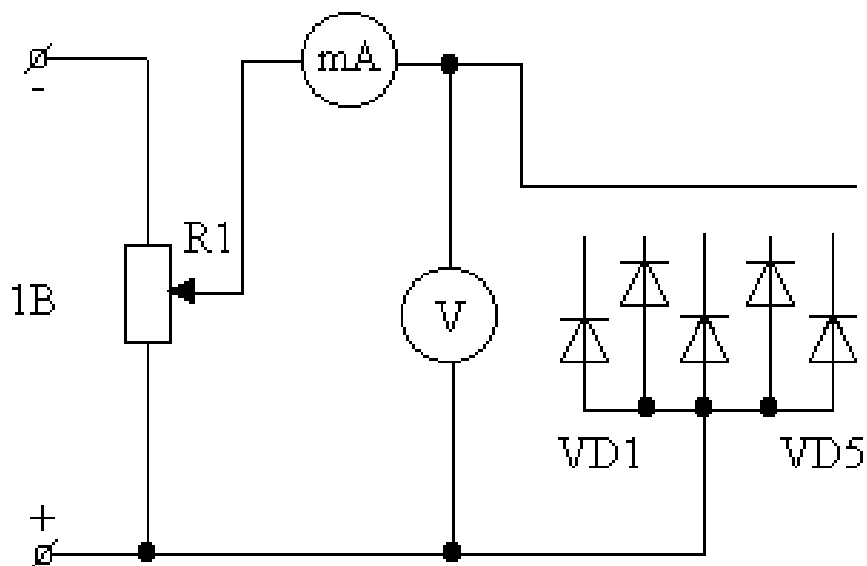


## Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Твердотільна електроніка»

для студентів напрямів  
“Мікро- та наноелектроніка”  
і “Електронні пристрої та системи”



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**з дисципліни «Твердотільна електроніка»**  
**для студентів напрямів**  
**“Мікро- та наноелектроніка”**  
**і “Електронні пристрої та системи”**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 7 від 18.03.2010 р.)

Рецензенти:

**О. В. Осадчук**, доктор технічних наук, професор

**О. О. Дрючин**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Твердотільна електроніка» для студентів напрямів “Мікро- та наноелектроніка” і “Електронні пристрої та системи” / Уклад. Ю. С. Кравченко, С. Ю. Кравченко. – Вінниця : ВНТУ, 2011. - 27 с.

Наведено основні вимоги щодо організації та проведення лабораторних досліджень приладів твердотільної електроніки, практичні рекомендації щодо забезпечення точності та достовірності таких досліджень.

Призначені для студентів електронних спеціальностей “Мікро- та наноелектроніка” і “Електронні пристрої та системи”.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
Лабораторна робота № 1. «Дослідження характеристик напівпровідникових діодів».....	6
Лабораторна робота № 2. «Дослідження характеристик кремнієвих стабілітронів».....	8
Лабораторна робота № 3. «Дослідження характеристик і параметрів діодів Шотткі».....	10
Лабораторна робота № 4. «Дослідження характеристик тунельного діода».....	12
Лабораторна робота № 5. «Дослідження характеристик тиристорів».....	14
Лабораторна робота № 6. «Дослідження характеристик і параметрів транзисторів у схемі із спільною базою».....	16
Лабораторна робота № 7. «Дослідження характеристик і параметрів транзисторів у схемі із спільним емітером».....	18
Лабораторна робота № 8. «Дослідження характеристик польового транзистора».....	20
ЛІТЕРАТУРА .....	22
Додаток А. Зразок титульної сторінки звіту про виконання лабораторної роботи.....	23
Додаток Б. Зразок побудови графіка за даними експериментальних досліджень.....	24
Додаток В. Довідкові дані .....	25

## **ВСТУП**

Чинні методичні вказівки розроблено відповідно до програми підготовки бакалаврів з електроніки за напрямками «Мікро- та наноелектроніка» і «Електронні пристрої та системи» та навчальної програми дисципліни «Твердотільна електроніка».

Мета даної розробки – допомогти студентові правильно організувати свою роботу при підготовці, виконанні і захисті лабораторних робіт з даної дисципліни.

## **ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Лабораторні роботи з дисципліни «Твердотільна електроніка» є обов'язковою складовою навчального плану підготовки бакалаврів з електроніки за напрямками «Мікро- та наноелектроніка» і «Електронні пристрої та системи» і проводяться з метою безпосереднього практичного засвоєння студентами теоретичних знань із дослідження параметрів та характеристик напівпровідникових структур та приладів, набуття ними навичок роботи з сучасною вимірювальною технікою.

Тематика і зміст лабораторних робіт визначені відповідно до вимог навчальної програми дисципліни і охоплюють всі найбільш принципові розділи даної програми.

Обсяг запропонованих досліджень в рамках окремої лабораторної роботи обмежується двома академічними годинами, які відведені на її проведення відповідним навчальним планом.

Лабораторні дослідження проводяться студентами під безпосереднім керівництвом викладача при технічному сприянні інженера даної лабораторії. Лабораторні роботи виконуються так званим бригадним методом, тобто лабораторні дослідження носять колективний характер, тобто і звіт про її виконання теж є результатом колективної праці студентів, що об'єднані в бригаду. Звіт про виконання лабораторної роботи складається і підписується всіма членами даної бригади, що брали безпосередню участь у відповідному дослідженні.

Сам звіт про виконання лабораторної роботи виконується з використанням стандартних аркушів паперу формату А4 з дотриманням основних вимог державного стандарту щодо оформлення результатів

наукових досліджень (ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення).

До складу звіту повинні входити: титульний аркуш (зразок наведено в додатку А чинних методичних вказівок) та основна частина звіту, яка повинна містити сформульовану мету даної роботи, паспортні дані на електронні прилади, які є об'єктом лабораторного дослідження, електричні схеми лабораторного макета, результати експериментальних досліджень у вигляді відповідних графіків або таблиць, розрахунки параметрів, що визначаються на основі отриманих дослідним шляхом результатів дослідження, висновки.

Згідно з вимогами державного стандарту (ДСТУ 3008-95) результати досліджень слід подавати лише в одному інформаційному вигляді, тобто або у вигляді таблиць, або у вигляді графіків відповідних залежностей. При цьому перевага надається більш наочним видам інформації, а саме графікам (зразок побудови такого графіка наведено в додатку Б).

Захист звіту про виконання лабораторної роботи носить індивідуальний характер і відбувається після його оформлення, але не пізніше наступного планового лабораторного заняття з даної дисципліни. Захист носить усний характер і включає окрім перевірки на предмет правильності оформлення самого звіту та відповідності отриманих результатів реальним параметрам досліджуваних приладів також відповіді на контрольні запитання щодо структури досліджуваних приладів, основ їх теорії, областей практичного застосування, методики визначення внутрішніх і зовнішніх параметрів, метрологічних особливостей виконання відповідних досліджень тощо.

Виконання лабораторних робіт є обов'язковим видом навчальних занять і потребує у випадку їх пропуску (навіть з поважних причин) обов'язкового відпрацювання за спеціальним графіком, узгодженим з викладачем і інженером даної лабораторії. Невиконання плану відпрацювання лабораторних робіт рівнозначне невиконанню навчального плану і є підставою для недопущення студента до іспиту з даної дисципліни.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ  
ДІОДІВ**

**Мета роботи:** дослідження характеристик і параметрів точкових та площинних напівпровідникових діодів, вивчення впливу зовнішньої температури на їх властивості.

**Схеми дослідження**

На рис. 1.1 і 1.2 наведені схеми для зняття прямих і зворотних вольт-амперних характеристик (ВАХ) напівпровідникових діодів. Для виявлення впливу зовнішньої температури на роботу діодів використовується термостат.

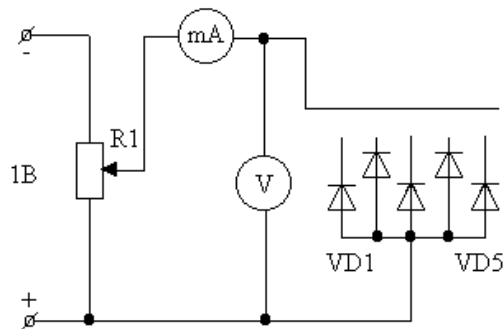


Рисунок 1.1 - Схема для зняття вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів при прямому їх зміщенні

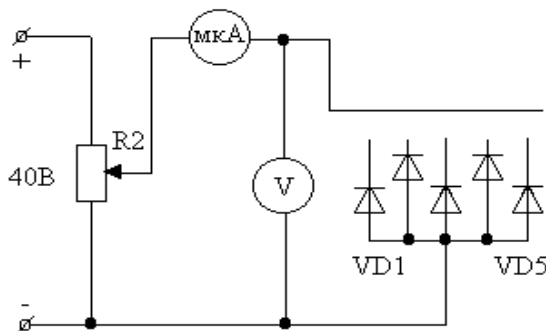


Рисунок 1.2 – Схема для зняття вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів при зворотному їх зміщенні

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

1. Вивчити умовні позначення діодів та їх маркування.
2. Ознайомитись з методикою визначення основних параметрів напівпровідникових діодів.

3. Ознайомитись з еквівалентними схемами діодів та параметрами цих схем.
4. Проаналізувати виведення формули ВАХ.

### **Робоче завдання**

1. Зняти прямі характеристики діодів при кімнатній температурі та при температурах 40 і 60 °С.
2. Зняти зворотні характеристики діодів при кімнатній температурі та при температурах 40 і 60 °С.

### **Склад звіту**

1. Паспортні дані та схема розміщення виводів діодів.
2. Схеми дослідження діодів.
3. Графіки прямих та зворотних характеристик для кожного діода окремо при трьох температурах.
4. Параметри діодів, які визначаються при прямому та зворотному номінальних струмах (або напругах) при кімнатній температурі.
5. Висновки.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке власна, електронна та діркова провідність напівпровідників?
2. Як залежить місце розташування рівня Фермі від концентрації домішок в напівпровідниках?
3. Як залежить концентрація неосновних носіїв від температури в напівпровідниках?
4. Нарисуйте енергетичну діаграму р-n-переходу.
5. Що таке контактна різниця потенціалів двох напівпровідників і чим визначається її величина?
6. Нарисуйте енергетичну діаграму р-n-переходу при включенні його в пряму та зворотному напрямку.
7. Що таке ширина р-n-переходу і як вона залежить від величини прикладеної напруги?
8. Ємності р-n-переходу, їх залежність від величини прикладеної напруги.
9. Чим відрізняються характеристики германієвих та кремнієвих напівпровідникових діодів і чому?
10. Чому відрізняються вольт-амперні характеристики р-n-переходу і реального діода?
11. Назвіть основні параметри діодів.



**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНІЄВИХ**  
**СТАБІЛІТРОНІВ**

**Мета роботи:** Дослідити характеристики і параметри кремнієвого стабілітрона та вивчити вплив температури навколишнього середовища на його властивості.

**Схеми дослідження**

На рис. 2.1 та 2.2 наведені схеми для зняття прямих та зворотних ВАХ кремнієвого стабілітрона.

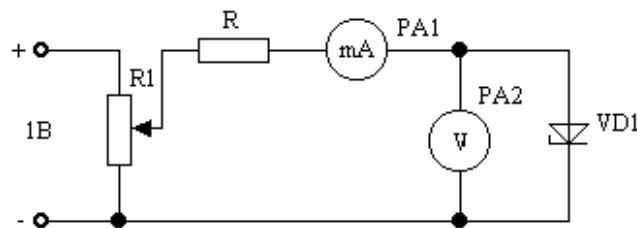


Рисунок 2.1- Схема для зняття прямої вольт-амперної характеристики кремнієвого стабілітрона

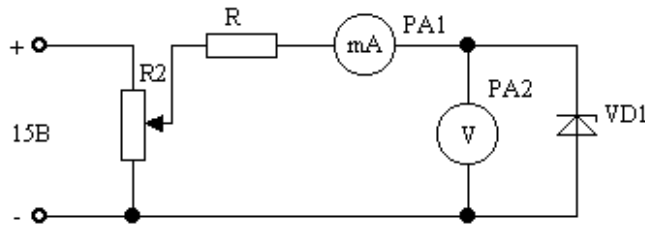


Рисунок 2.2 - Схема для зняття зворотної вольт-амперної характеристики кремнієвого стабілітрона

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

Ознайомитися з методикою визначення та обчислення основних параметрів кремнієвих стабілітронів: температурного коефіцієнта за напругою (ТКН), диференціального опору та коефіцієнта стабілізації.

**Робоче завдання**

1. Зібрати схему відповідно до рис. 2.1 та зняти прямі ВАХ для кімнатної та підвищеної температур.
2. Зібрати схему відповідно до рис. 2.2 та зняти зворотні ВАХ для кімнатної та підвищеної температур.

Таблиця 2.1 - Параметри деяких кремнієвих стабілітронів

Тип стабілітрона	Напруга стабілізації $U_{ст}$ , В	Струм стабілізації, мА		Диференціальний опір на робочій ділянці $R_{д}$ , Ом	Максимальна потужність розсіювання $P_{ст\ max}$ , Вт
		$I_{ст\ min}$	$I_{ст\ max}$		
Д808 - Д811, Д813	7 - 14	1,0	20-33	6 - 18	0,28
Д814А - Д814Д	7 - 14	1,0	24-40	6 - 18	0,34
Д818А - Д818Е	9,0	3,0	33	10	0,3
КС133А - КС168А	3,3 - 6,8	3,0	45-81	28 - 65	0,3
КС211А - КС211Д	11,0	5,0	33	15	0,28

### Склад звіту

1. Паспортні дані стабілітронів, що досліджувалися.
2. Прямі та зворотні вольт-амперні характеристики стабілітрона, зняті при різних температурах.
3. Основні параметри стабілітронів, розраховані або визначені за даними лабораторного дослідження.
4. Висновки.

### Контрольні запитання

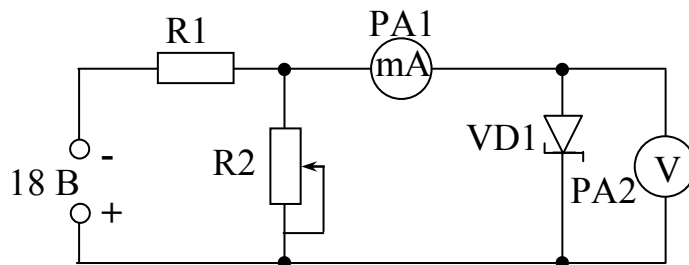
1. Назвіть основні види пробоїв р-п-переходів.
2. В чому полягає принцип роботи кремнієвого стабілітрона? Який вид пробою використовується в даному приладі?
3. Чому як матеріал для виготовлення даного типу діодів використовують саме кремній?
4. Що таке температурний коефіцієнт за напругою і як він визначається?
5. Як залежить ТКН від виду пробою р-п-переходу? Як його можна зменшити?
6. Чим обмежена величина найбільшого струму стабілізації?
7. Що таке коефіцієнт стабілізації і як він визначається?
8. Чому не використовується паралельне включення кремнієвих стабілітронів і широко використовується їх послідовне з'єднання?
9. Що таке стабістор і в чому полягає принципова відмінність цього приладу від кремнієвого стабілітрона?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ  
ДІОДІВ ШОТТКІ**

**Мета роботи:** Дослідити характеристики і параметри діода Шотткі та вивчити вплив температури навколишнього середовища на його властивості.

**Схеми дослідження**

На рис. 3.1 наведені схеми для зняття вольт-амперної характеристики (ВАХ) діода Шотткі при прямому і зворотному його включенні:  
пряме включення



зворотне включення

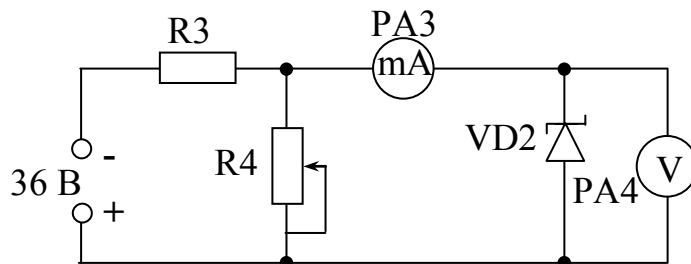


Рисунок 3.1 - Схеми для зняття характеристик діода Шотткі при прямому і зворотному включенні

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

1. Вивчити умовні позначення діодів Шотткі та їх маркування.
2. Ознайомитись з фізикою роботи, методикою дослідження та визначення параметрів напівпровідникових діодів Шотткі.
3. Ознайомитись з еквівалентними схемами діодів Шотткі та параметрами цих схем.
4. Проаналізувати виведення формули ВАХ.

## Робоче завдання

1. Зібрати схему та зняти прямі ВАХ для кімнатної та підвищеної температур.

2. Зібрати схему та зняти зворотні ВАХ для кімнатної та підвищеної температур.

Таблиця 3.1 - Паспортні дані діодів Шотткі 1N5818

Матеріал	$I_{пр.маx}$ , А	$I_{обр.маx}$ , мкА	$U_{обр.маx}$ , В	$U_{пр.маx}$ , В	$I_{пр}$ , А	$C_{д, пФ}$	$T^{\circ}C$
Si	1	1000	30	0,55	1	160	-65 ÷ 125

## Склад звіту

1. Паспортні дані та схема розміщення виводів діодів.
2. Схеми випробування діодів.
3. Графіки прямих та зворотних характеристик окремо при двох температурах.
4. Параметри діода, які визначаються при прямому та зворотному номінальних струмах (або напругах) при кімнатній температурі.
5. Висновки.

## Контрольні запитання

1. Які фізичні процеси відбуваються у контакті метал-напівпровідник?
2. Яка різниця між прямим і зворотним режимом роботи в контакті метал-напівпровідник ?
3. Нарисуйте енергетичну діаграму переходу Шотткі для рівноважного стану.
4. Нарисуйте енергетичні діаграми переходу Шотткі при включенні його в прямому та зворотному напрямках.
5. Чим відрізняються характеристики р-n-переходу і переходу Шотткі?
6. Чому відрізняються вольт-амперні характеристики переходу Шотткі і звичайного діода?
7. В чому полягає особливість частотних характеристик діодів Шотткі?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУНЕЛЬНОГО ДІОДА

**Мета роботи:** дослідити статичні характеристики та параметри тунельного діода.

### Схема дослідження

Схема для дослідження статичних характеристик тунельного діода показана на рис. 4.1. Струм тунельного діода визначається як різниця показників міліамперметра і струму через відомий опір  $R_2$ , що шунтує тунельний діод. Напруга на тунельному діоді вимірюється ламповим вольтметром.

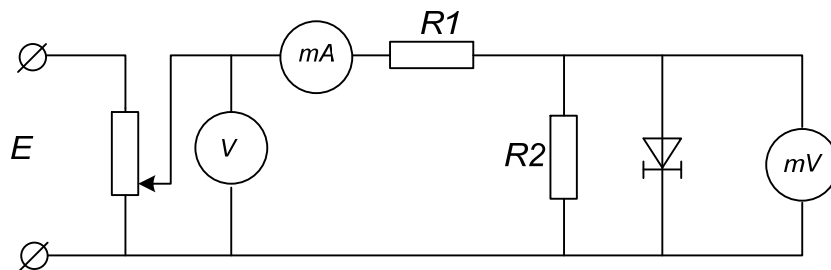


Рисунок 4.1 - Схема для дослідження статичних характеристик тунельного діода

### Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи

1. Вивчити умовні позначення тунельних діодів та їх маркування.
2. Ознайомитися з принципом роботи тунельного діода та його основними параметрами та характеристиками.
3. Проаналізувати еквівалентну схему тунельного діода.

### Робоче завдання

4. Записати паспортні дані досліджуваного тунельного діода та зарисувати схему розміщення виходів.
5. Скласти схему для зняття вольт-амперної характеристики тунельного діода (рис. 4.1).
6. Зняти ВАХ діода для кімнатної та підвищеної температури (+ 60 °С).

### Методичні вказівки

Перед включенням макета повзунок опору  $R$  перевести в крайнє ліве положення. Опір  $R_1 = 301 \text{ Ом}$ ;  $R_2 = 47 \text{ Ом}$ .

Величину середнього від'ємного опору тунельного діода можна знайти за формулою:

$$|-R_d|_{\text{сеп}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \approx \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1},$$

де  $U_2$  – напруга в точці мінімуму;

$U_1$  – напруга в точці максимуму;

$I_2$  – струм на початку ділянки від'ємного опору;

$I_1$  – струм в кінці ділянки від'ємного опору.

Таблиця 4.1 - Основні параметри деяких тунельних діодів

Тип діоду	Струм в максимумі вольт-амперної характеристики при 20°C, мА	Напруга, що відповідає струму в максимумі, мВ (не більше)	Відношення струму в максимумі до струму в мінімумі ВАХ при +20°C та -60°C (не менше)	Відношення струму в максимумі до струму в мінімумі ВАХ при +70°C (не менше)	Емність діоду на частоті 8 МГц при +20°C (не більше)
1ИЗ02А	1,7 – 2,3	60	4,5	3,5	80
1ИЗ02Б	4,3 – 5,8	60	4,5	3,5	150
1ИЗ02В	8,5 – 11,5	60	4,5	3,5	180
1ИЗ02Г	13 - 17	60	4,5	3,5	200
ЗИЗ01А, ЗИЗ01Г	2	180	8	-	12 - 50

### Склад звіту

1. Паспортні дані досліджуваного тунельного діода та схема розміщення виводів.

2. ВАХ діода  $I = f(U)$ .

3. Параметри досліджуваного діода:  $I_1 = I_{\max}$ ,  $I_2 = I_{\min}$ ,  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$ ,  $|-R_d|_{\text{сеп}}$ ,  $I_{\max} / I_{\min}$ .

### Контрольні запитання

1. Розкажіть про принцип дії тунельного діода.
2. Де і чому розташований рівень Фермі в вироджених напівпровідниках?
3. Що таке тунельний ефект?
4. Нарисуйте енергетичну діаграму р-п-переходу тунельного діода.
5. Яка товщина р-п-переходу тунельного діода?
6. Нарисуйте ВАХ тунельного діода і поясніть її.
7. Що таке обернений діод?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРІВ

**Мета роботи:** визначення основних властивостей, характеристик і параметрів тиристорів.

### Схема дослідження

На рис. 5.1 наведена схема для зняття вольт-амперних характеристик тиристорів

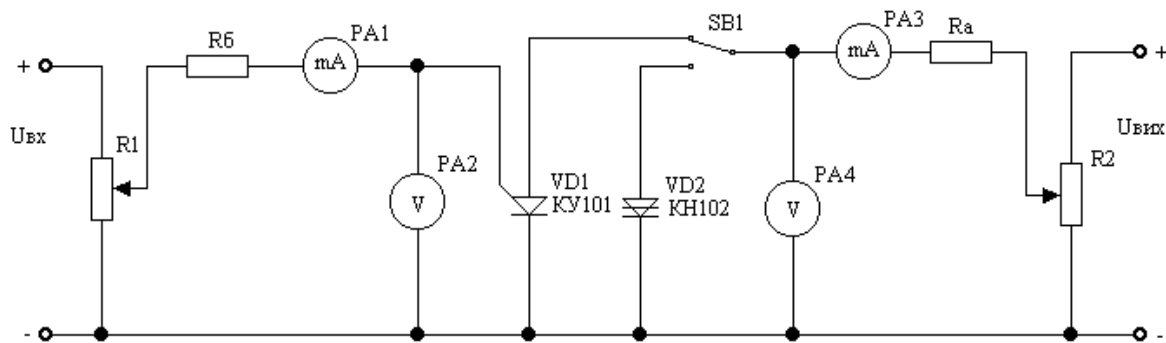


Рисунок 5.1- Схема для зняття вольт-амперних характеристик диністора та триністора

### Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи

1. Вивчити принцип дії, умовні позначення, конструкцію, схеми включення, основні характеристики, параметри і властивості тиристорів.
2. Ознайомитися з методикою визначення та обчислення основних параметрів тиристорів.

Таблиця 5.1 - Параметри деяких тиристорів

Тип приладу	Напруга включення, $U_{вкл}$ , В	Струм, мА			Залишкова напруга, $U_{заль}$ , В	Максимально допустима пряма напруга $U_{пр\ max}$ , В	Максимально допустима зворотна напруга $U_{зв\ max}$ , В
		включення, $I_{вкл}$	виключення, $I_{вкл}$	управління, $I_{упр}$			
2У101А-2У101И	0,25 - 8	0,1-5	0,5-25	15	2,25	50-150	10-150
2У201А-2У201Л	< 6	0,1-100	100	200	2	25-300	25-300
КУ202А-КУ202Н	< 5	100	300	300	2	25-400	25-400

## Робоче завдання

1. Зняти і побудувати ВАХ діодного та тріодного тиристорів.
2. По знятих ВАХ визначити статичні і динамічні параметри тиристорів.

## Склад звіту

1. Паспортні дані та схеми розміщених виводів тиристорів, які досліджуються.
2. Графіки вольт-амперних характеристик діодного та тріодного тиристорів.
3. Параметри тиристорів, які визначаються по знятих вольт-амперних характеристиках.
4. Висновки.

## Контрольні запитання

1. Нарисуйте структуру та схему включення диністора та триністора.
2. Наведіть структуру діодного тиристора і замініть її моделлю на базі двох біполярних транзисторів.
3. Покажіть, які переходи в чотиришаровій структурі є емітер ними, а які колекторними.
4. Поясніть принцип дії тиристора.
5. Класифікація та умовні позначення тиристорів.
6. Основні параметри та характеристики тиристорів.
7. Поясніть процес включення та виключення тиристорів.
8. Як і чому виникає ділянка від'ємного диференціального опору на вольт-амперній характеристиці тиристора?
7. Динамічні параметри тиристорів.
8. Вплив температури на вихідну ВАХ тиристора.
9. Вплив керуючого струму на вихідну ВАХ.
10. Області використання тиристорів.
11. Що таке симістор? Де і як використовуються ці прилади?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ  
ТРАНЗИСТОРІВ У СХЕМІ ІЗ СПІЛЬНОЮ БАЗОЮ**

**Мета роботи:** дослідження характеристик біполярного транзистора, який включено за схемою із спільною базою, визначення його статичних параметрів.

**Схема дослідження**

На рис. 6.1 наведена схема дослідження біполярного транзистора при включенні його із спільною базою.

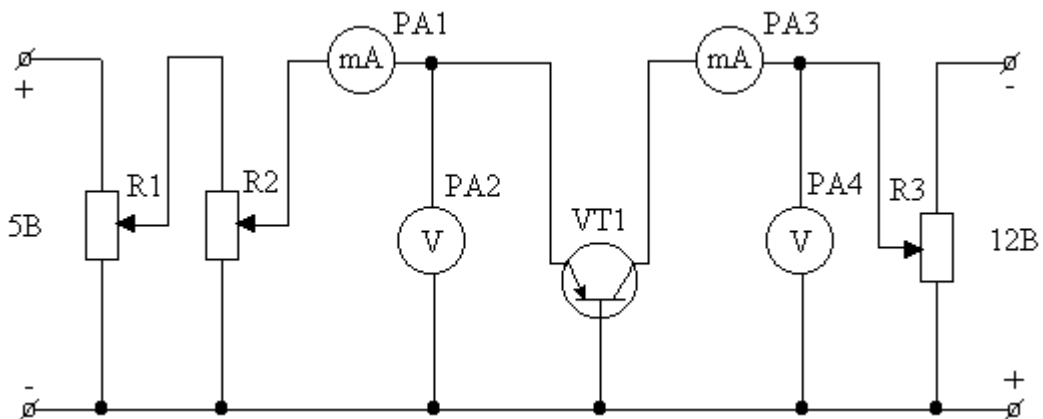


Рисунок 6.1 – Схема дослідження біполярного транзистора, який включено за схемою із спільною базою

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з методикою дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів.
2. Проаналізувати еквівалентні схеми транзистора для випадку включення його із спільною базою.
3. Ознайомитися з системою h-параметрів для випадку включення транзистора із спільною базою.

**Робоче завдання**

1. Скласти схему відповідно до рис. 6.1.
2. Зняти сім'ю вхідних вольт-амперних характеристик  $I_e = f(U_{еб})$  для декількох значень напруги  $U_{кб}$ .
3. Зняти сім'ю вихідних вольт-амперних характеристик  $I_k = f(U_{кб})$  для декількох значень струму  $I_e$ .
4. Зняти сім'ю характеристик передачі струму  $I_k = f(I_e)$  для кількох значень напруги  $U_{кб}$ .

5. Зняти сім'ю характеристик оберненого зв'язку за напругою  $U_{\text{еб}} = f(U_{\text{кб}})$  для декількох значень струму  $I_{\text{е}}$ .

### Методичні вказівки

При роботі з транзисторами категорично забороняється перевищувати максимальні значення струмів та напруг, а також потужності, що розсіюються на колекторі.

### Склад звіту

1. Паспортні дані та схеми розміщення виводів транзистора.
2. Схема для дослідження біполярного транзистора
3. ВАХ транзистора при включенні його із спільною базою.
4. Розраховані по ВАХ  $h$ -параметри для схеми із спільною базою.
5. Параметри Т-подібної еквівалентної схеми, що розраховані з використанням  $h$ -параметрів.
6. Висновки.

### Контрольні запитання

1. Нарисуйте енергетичні діаграми р-п-р та п-р-п транзисторів.
2. З яких компонентів складається струм через емітерний перехід?
3. Що таке коефіцієнт інжекції? Чому він повинен бути якомога ближчим до одиниці?
4. Яким повинно бути співвідношення між питомими опорами емітера та бази, щоб коефіцієнт інжекції був близький до одиниці?
5. Які процеси в базі характеризує коефіцієнт переносу?
6. Із яких компонентів складається струм бази?
7. Чому змінюється ширина бази при зміні колекторної напруги і до яких наслідків це призводить (назвіть явище)?
8. Із яких компонентів складається струм колектора?
9. Що таке коефіцієнт множення  $M$ ? В яких типах транзисторів  $M > 1$ , а в яких  $M = 1$ ?
10. Що таке струм  $I_{\text{к0}}$  і які причини його виникнення?
11. Поясніть особливості характеристик передачі струму транзистора для схеми включення транзистора із спільною базою для  $U_{\text{кб}} = 0$ .
12. Назвіть параметри транзистора як активного чотириполюсника в різних системах і дайте їх фізичне визначення.
13. Розкажіть про будову транзисторів різних типів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ  
ТРАНЗИСТОРІВ У СХЕМІ ІЗ СПІЛЬНИМ ЕМІТЕРОМ**

**Мета роботи:** дослідження характеристик біполярного транзистора, який включено за схемою із спільним емітером, визначення його статичних параметрів.

**Схема дослідження**

На рис. 7.1 наведена схема дослідження біполярного транзистора при включенні його із спільним емітером.

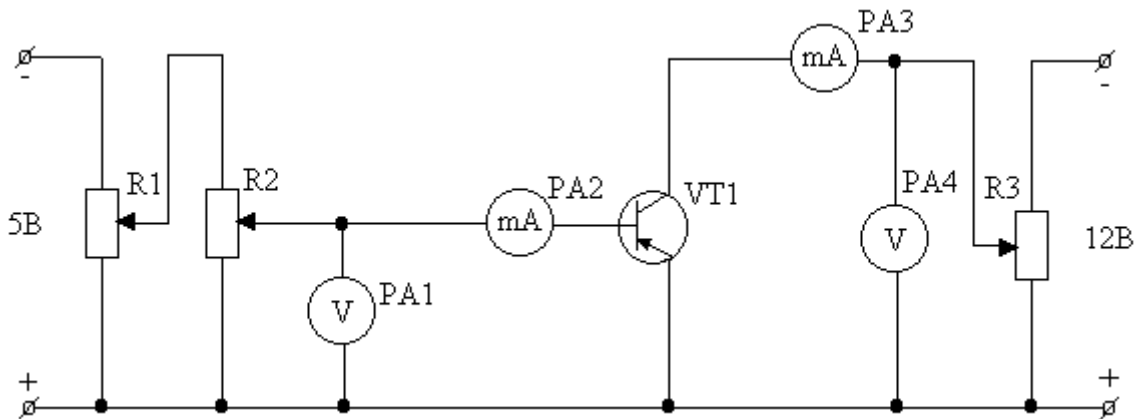


Рисунок 7.1 – Схема дослідження біполярного транзистора, який включено за схемою із спільним емітером

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з методикою дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів.
2. Проаналізувати еквівалентні схеми транзистора для випадку включення його із спільним емітером.
3. Ознайомитися з системою  $h$ -параметрів для випадку включення транзистора за схемою із спільним емітером.

**Робоче завдання**

1. Зібрати схему відповідно до рис. 7.1.
2. Зняти сім'ю вхідних вольт-амперних характеристик  $I_B = f(U_{еб})$  для декількох значень напруги  $U_{ке}$ .
3. Зняти сім'ю вихідних вольт-амперних характеристик  $I_K = f(U_{ке})$  для декількох значень струму  $I_б$ .

4. Зняти сім'ю характеристик передачі струму  $I_k = f(I_b)$  для декількох напруги  $U_{ке}$ .

5. Зняти сім'ю характеристик оберненого зв'язку за напругою  $U_b = f(U_{ке})$  для декількох значень струму  $I_b$ .

### Методичні вказівки

При роботі з транзисторами категорично забороняється перевищувати максимальні значення струмів та напруг, а також потужності, що розсіюються на колекторі.

### Склад звіту

1. Паспортні дані та схеми розміщення виводів транзистора.
2. Схема для дослідження біполярного транзистора.
3. ВАХ транзистора при включенні його із спільним емітером.
4. Розраховані по ВАХ  $h$ -параметри для схеми із спільним емітером.
5. Параметри Т-подібної еквівалентної схеми, розраховані з використанням  $h$ -параметрів.
6. Висновки.

### Контрольні запитання

1. Нарисуйте енергетичні діаграми р-п-р та п-р-п транзисторів.
2. Наведіть схему включення біполярного транзистора із спільним емітером і поясніть основні її переваги.
3. Чому температурні властивості схеми із спільним емітером гірші, ніж для схеми із спільною базою?
4. Що таке гранична частота для біполярного транзистора? Які особливості має біполярний транзистор, який включено за даною схемою, в частотному відношенні?
5. Чому схема із спільним емітером практично не використовується на надвисоких частотах?
6. Як визначається максимальна частота біполярного транзистора за потужністю?
7. Поясніть хід основних вольт-амперних характеристик біполярного транзистора, який включено за схемою із спільним емітером.
8. Наведіть схему практичного використання біполярних транзисторів, які включено за схемою із спільним емітером.
9. Поясніть, як визначаються  $h$ -параметри з вольт-амперних характеристик транзистора.
12. Назвіть параметри транзистора як активного чотириполюсника в різних системах і дайте їх фізичне визначення.
13. Розкажіть про будову транзисторів різних типів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬОВОГО  
ТРАНЗИСТОРА**

**Мета роботи:** Дослідження характеристик польового транзистора з р-n-переходом та визначення його основних параметрів.

**Схема дослідження**

На рис. 8.1 зображена схема дослідження польового транзистора.

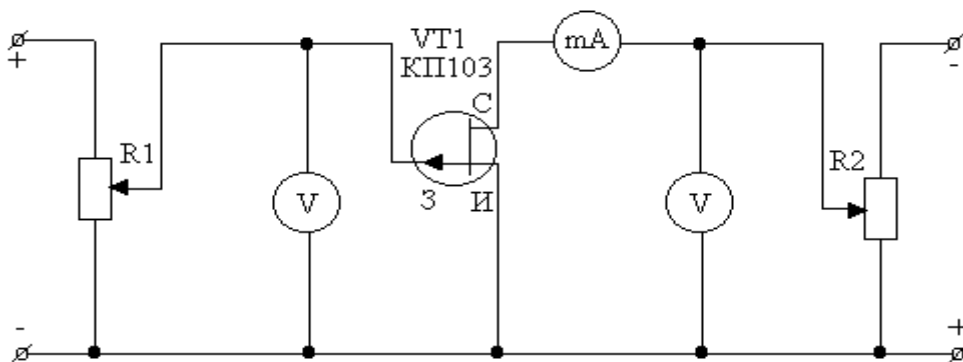


Рисунок 8. 1 - Схема дослідження польового транзистора з керуючим р-n-переходом

**Попередня підготовка до виконання лабораторної роботи**

1. Вивчити умовні позначення польових транзисторів всіх типів та їх маркування.
2. Проаналізувати еквівалентні схеми польового транзистора з управляючим р-n-переходом для областей низьких та високих частот.
3. Виконати аналітичне виведення ВАХ.

**Робоче завдання**

1. Зняти сім'ю стоко-затворних характеристик  $I_c = f(U_{зв}) \Big|_{U_{св} = \text{const}}$  для декількох значень  $U_{св}$  (-5В...-1В).
2. Зняти сім'ю стокових характеристик  $I_c = f(U_{св}) \Big|_{U_{зв} = \text{const}}$  для декількох значень  $U_{зв}$  (0...1,5В).

## Методичні вказівки

При роботі з польовим транзистором забороняється перевищувати максимальні значення струмів та напруг на відповідних електродах, які є в паспортних даних.

Таблиця 8.1 - Основні параметри деяких польових транзисторів

Тип транзистора	Максимальний струм стоку $I_{c\max}$ , мА	Крутість характеристики струму стоку $S$ , мА/В	Напруга відсічки $U_0$ , В	Струм затвору $I_3$ , нА	Максимальна напруга між стоком і затвором $U_{c3\max}$ , В	Максимальна негативна напруга на затворі $U_{z\max}$ , В
КП101Г-КП101Е	2-5	0,15-0,3	5-10	10-50	-10	не допускається
КП102Е-КП102Л	0,55-6,0	0,25-1,3	2,8-10	15	-20	не допускається
КП103Е-КП103М	0,3-12	0,4-4,4	1,5-7	20	-15 ÷ -17	-0,5

### Склад звіту

1. Паспортні дані та схема розміщення виводів досліджуваного транзистора.
2. Схема дослідження.
3. Графіки стоко-затворних та стокових характеристик.
4. Параметри польового транзистора, які визначаються з експериментальних графіків.
5. Висновки.

### Контрольні запитання

1. Розкажіть про будову та принцип дії польового транзистора із затвором у вигляді р-n-переходу.
2. Які є ще типи польових транзисторів? Їх особливості.
3. Режими роботи польових транзисторів.
4. Чим можна пояснити високий вхідний опір польового транзистора порівняно з біполярним.
5. Які носії заряду (основні чи неосновні) беруть участь у протіканні струму стоку?
6. Що таке максимальна частота і чому вона дорівнює?
7. Порівняйте властивості польових та біполярних транзисторів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фізичні основи електронної техніки / З. Ю. Готра, І. Є. Лопатинський, Б. А. Лукіянець та ін. – Львів : Бескид Біт, 2004. – 880 с. – ISBN 966-8450-19-1.
2. Соколов В. Д. Физические основы электронной техники / В. Д. Соколов. – М. : Высшая школа, 1979. – 448 с.
3. Фридрихов С. А. Физические основы электронной техники / С. А. Фридрихов, С. М. Мовнин. – М. : Высшая школа, 1982. – 608 с.
4. Герасимов С. М. Физические основы электронной техники / С. М. Герасимов, М. В. Белоус, В. А. Москалюк. – К. : Вища школа, 1981. – 368 с.
5. Россадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / Л. Россадо – М. : Высшая школа, 1991. – 351 с.
6. Васильева Л. Д. Напівпровідникові прилади: Підручник / Л. Д. Васильева, Б. І. Медведенко, Ю. І. Якименко. – К. : ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2003. – 388 с. – ISBN 966-622-103-9.
7. Викулин И. М. Физика полупроводниковых приборов / И. М. Викулин, В. И. Стафеев. – М. : Радио и связь, 1990. – 296 с.
8. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – М. : Высшая школа, 1987. – 479 с.
9. Тугов Н. М. Полупроводниковые приборы / Н. М. Тугов, Б. А. Глебов, Н. А. Чарыков. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с. – ISBN 5-283-00554-2.
10. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. / С. Зи. – М. : Мир, 1984. – 456 с.
11. Осадчук В. С. Напівпровідникові діоди / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 162 с.
12. Осадчук В. С. Транзистори / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 207 с.
13. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники / И. П. Степаненко. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 496 с.
14. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник / А. В. Баюков, А. Б. Гитцевич, А. А. Зайцев и др.; под общ. ред. Н. Н. Горюнова. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 744 с.

## Додаток А

Зразок титульної сторінки звіту про виконання лабораторної роботи

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет  
Інститут радіотехніки, зв'язку та приладобудування  
Факультет медико-біологічного та електронного приладобудування

Кафедра електроніки

### ЗВІТ

про виконання лабораторної роботи № 2  
«ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНІЄВИХ  
СТАБІЛІТРОНІВ»  
з дисципліни «Твердотільна електроніка»

Виконали студенти гр.МЕ-08 \_\_\_\_\_ А. Петренко

\_\_\_\_\_ В. Іваненко

\_\_\_\_\_ С. Василенко

Перевірив  
доцент кафедри електроніки,  
к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_ Ю. С. Кравченко

Вінниця  
ВНТУ  
2011



## Додаток Б

Зразок побудови графіка за даними експериментальних досліджень

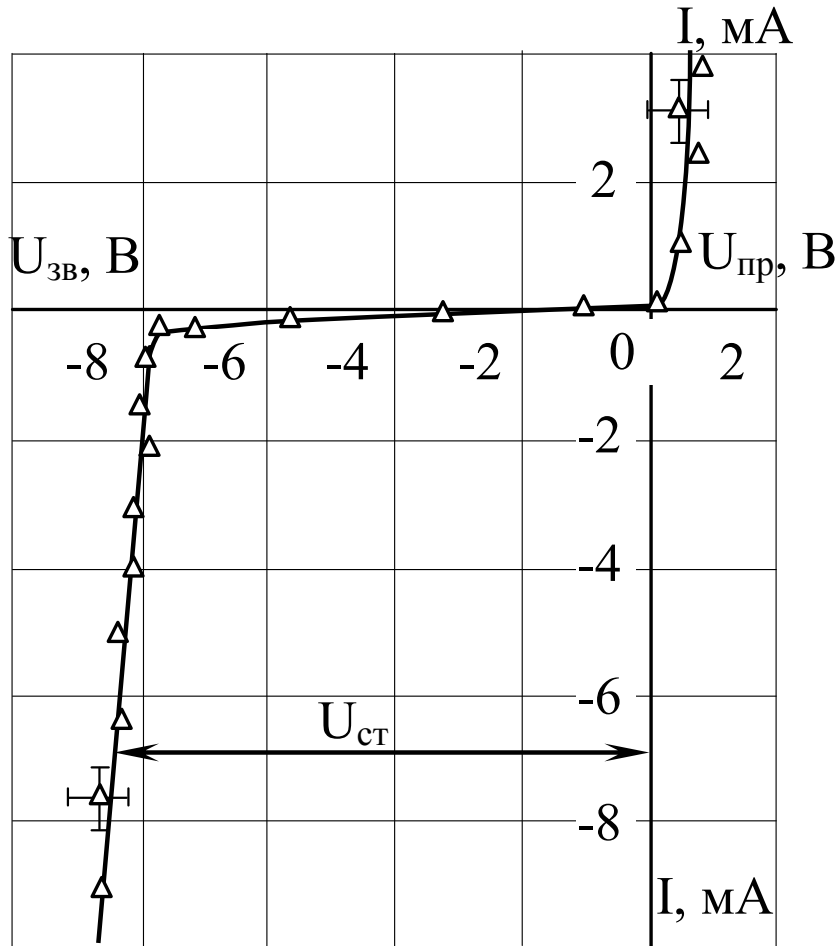


Рисунок Б.1 – Вольт-амперна характеристика кремнієвого стабілітрона

## Додаток В

Довідкові дані

Таблиця В.1 – Основні фізичні сталі

Стала Планка, $h$	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с $4,14 \cdot 10^{-15}$ еВ · с
Стала Больцмана, $k$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $0,86 \cdot 10^{-4}$ еВ /К
Маса електрона, $m_e$	$9,106 \cdot 10^{-31}$ кг
Заряд електрона, $e$	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0$	$8,86 \cdot 10^{-14}$ Ф/см
Магнітна проникність вакууму, $\mu_0$	$1,257 \cdot 10^{-8}$ Гн/см
Швидкість світла, $c$	$2,99778 \cdot 10^{10}$ см/с

Таблиця В.2 – Фізичні властивості напівпровідникових матеріалів

Параметр	Одиниця виміру	Ge	Si	GaAs
Атомний номер	-	32	14	-
Атомна (молекулярна) маса	-	72,59	28,08	144,64
Концентрація атомів, $N$	ат./м <sup>3</sup>	$4,4 \cdot 10^{28}$	$5,0 \cdot 10^{28}$	$1,3 \cdot 10^{28}$
Стала ґратки, $d$ (за 300 К)	м <sup>-10</sup>	5,65	5,43	5,65
Температура плавлення, $T$	°С	936,0	1412,0	1238,0
Діелектрична проникність, $\epsilon$	-	16	12	10,9
Ширина забороненої зони, $E_g$ :	еВ			
за 0 К		0,785	1,21	1,52
за 300 К		0,67	1,11	1,43
Концентрація носіїв заряду у власному напівпровіднику $n_i$ за 300 К	м <sup>-3</sup>	$2,1 \cdot 10^{19}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$8,9 \cdot 10^{12}$
Рухливість носіїв заряду за 300 К:	м <sup>2</sup> /(В · с)			
електронів $\mu_n$		0,39	0,135	0,85
дірок $\mu_p$		0,18	0,048	0,04
Коефіцієнт дифузії за 300 К:	м <sup>2</sup> /с			
електронів $D_n$		$9,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
дірок $D_p$		$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Таблиця В.3 – Формули для перерахунку параметрів чотириполюсника

	$z$	$y$	$h$
$z$	$z_{11} \quad z_{12}$ $z_{21} \quad z_{22}$	$\frac{y_{22}}{\Delta y} \quad \frac{y_{12}}{\Delta y}$ $\frac{-y_{21}}{\Delta y} \quad \frac{y_{11}}{\Delta y}$	$\frac{\Delta h}{h_{22}} \quad \frac{h_{12}}{h_{22}}$ $\frac{-h_{21}}{h_{22}} \quad \frac{1}{h_{22}}$
$y$	$\frac{z_{22}}{\Delta z} \quad \frac{-z_{12}}{\Delta z}$ $\frac{-z_{21}}{\Delta z} \quad \frac{z_{11}}{\Delta z}$	$y_{11} \quad y_{12}$ $y_{21} \quad y_{22}$	$\frac{1}{h_{11}} \quad \frac{-h_{12}}{h_{11}}$ $\frac{h_{21}}{h_{11}} \quad \frac{\Delta h}{h_{11}}$
$h$	$\frac{\Delta z}{z_{22}} \quad \frac{z_{12}}{z_{22}}$ $\frac{-z_{21}}{z_{22}} \quad \frac{1}{z_{22}}$	$\frac{1}{y_{11}} \quad \frac{-y_{12}}{y_{11}}$ $\frac{y_{21}}{y_{11}} \quad \frac{\Delta y}{y_{11}}$	$h_{11} \quad h_{12}$ $h_{21} \quad h_{22}$

Таблиця В.4 – Зв'язок між  $h$ -параметрами транзистора в різних схемах його включення

$h_{11E} = \frac{h_{11B}}{1 + h_{21B}};$	$h_{11K} = h_{11E};$	$h_{11B} = \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}};$
$h_{12E} = \frac{h_{11B}h_{22B}}{1 + h_{21B}};$	$h_{12K} = 1;$	$h_{12B} = \frac{h_{11E}h_{22E}}{1 + h_{21E}} - h_{12E};$
$h_{21E} = -\frac{h_{21B}}{1 + h_{21B}};$	$h_{21K} = h_{21E} + 1;$	$h_{21B} = -\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}};$
$h_{22E} = \frac{h_{22B}}{1 + h_{21B}};$	$h_{22K} = h_{22E};$	$h_{22B} = \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}}.$

*Навчальне видання*

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «Твердотільна електроніка»  
для студентів напрямів  
”Мікро- та наноелектроніка“  
і ”Електронні пристрої та системи“**

Редактор Т. Старічек

Укладачі: Юрій Степанович Кравченко  
Сергій Юрійович Кравченко

Оригінал-макет підготовлено Ю. Кравченком

Підписано до друку  
Формат 29,7 × 42¼ . Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.  
Наклад            прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.