

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
АВТОМОБІЛЬНО– ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»
М.М. Чальцев
24.11.2011р.

Кафедра «Загальнонаукові дисципліни»

**МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ КУРСУ ФІЗИКИ
«ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА І АТОМНА ФІЗИКА»
ГАЛУЗІ ЗНАНЬ 0701 «ТРАНСПОРТ І ТРАНСПОРТНА
ІНФРАСТРУКТУРА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ
ПІДГОТОВКИ – 6.070106 «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ»,
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0601 – «БУДІВНИЦТВО І АРХІТЕКТУРА»,
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.060101 – «БУДІВНИЦТВО»**

15/ 38 – 2011 – 04

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Навчально – методична
комісія факультету
«Автомобільні дороги»
Протокол № 2 від 19.10.2011р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Кафедра
«Загальнонаукові дисципліни»
Протокол № 2 від 10.10.2011р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»
Навчально – методична
комісія факультету
«Автомобільний транспорт»
Протокол № 2 від 18.10.2011р.

Методичний посібник до виконання лабораторних робіт з розділу курсу фізики «Фізика твердого тіла і атомна фізика» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» для студентів напряму підготовки – 6.070106 «Автомобільний транспорт», галузь знань 0601 – «Будівництво і архітектура», напрям підготовки 6.060101 – «Будівництво» [Електронний ресурс] / укладачі: А. М. Галіахметов, О. О. Бруяка, О. І. Уколов. – Електрон. дані. – Горлівка: ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD– R); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 RAM; WINDOWS 98/2000/NT/XP; MS Word 2000. – Назва з титул. екрану.

Викладено методику, апаратуру і техніку виконання лабораторних робіт з фізики, що відбивають специфіку майбутньої спеціальності студентів. Наведено рекомендації для обробки експериментальних даних за допомогою ЕОМ.

Укладачі:

Галіахметов А. М., к.ф. – м. н., доц.
Бруяка О. О., к.т.н., доц
Уколов О. І.

Відповідальний за випуск:

Галіахметов А. М., к.ф. - м. н., доц.
каф. «Загальнонаукові дисципліни»

Рецензент:

Сирота В. М., к.т.н., доц.
каф. «Технічна експлуатація автомобілів»

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6.....	33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7	42
ДОДАТОК А.....	49
ДОДАТОК Б	50
ДОДАТОК В	51
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	52

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Фізика твердого тіла і атомна фізика – це найважливіші розділи фізики, знання основних положень яких необхідне студентам технічних спеціальностей для формування діалектико – матеріалістичного світогляду, створення теоретичної основи для вивчення спеціальних дисциплін, а також подальшої професійної діяльності.

Вивчення вказаних розділів фізики припускає використання трьох взаємозв'язаних форм занять: лекцій, лабораторних робіт і самостійної роботи студентів. Теоретичні знання, отримані студентами в курсі лекцій і при самостійній роботі, закріплюються і поглиблюються в лабораторному практикумі.

При виконанні роботи необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, вміти визначити ціну поділки шкали вимірювальних приладів, орієнтовно оцінювати правильність одержаних експериментальних даних, розраховувати похибки вимірювань.

До виконання лабораторної роботи необхідно готуватися заздалегідь: вивчити теоретичний матеріал даної теми за вказаною літературою і конспектом лекцій; підготуватися до виконання експериментів – уважно вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи, продумати її виконання і підготувати заготівку для оформлення звіту.

У заготівці для оформлення звіту вказують тему роботи, її мету, прилади та матеріали, теоретичні відомості і готують таблицю для записування результатів експерименту, враховуючи вказану кількість вимірювань. Заповнюється таблиця при проведенні дослідів.

Підготовку студента до лабораторної роботи перевіряє викладач і допускає до виконання лабораторної роботи. Непідготовлений студент не допускається до виконання лабораторної роботи, а замість цього він у лабораторії вивчає матеріал теми за підручником. Пропущена, таким чином, робота виконується в позаурочний час, що небажано.

Після виконання експериментальної частини необхідно упорядкувати своє робоче місце, оформити заготівку (заповнити таблицю, нижче таблиці записати похибки вимірювальних приладів, коефіцієнт Стюдента, тощо) і заготівку підписати у викладача. Решта часу лабораторного заняття використовується студентом для захисту роботи.

Робота вважається захищеною після подання викладачу звіту по експериментальній частині та з теорії.

Статистичну обробку результатів експерименту, студент виконує згідно з існуючими правилами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Градування спектроскопа. Вивчення спектру невідомої речовини (водню). Визначення постійної Рідбергу, маси електрона і величин радіусів борівських електронних орбіт.

Мета. Студент повинен знати гіпотезу Планка про квантовий характер випромінювання і поглинання електромагнітних хвиль, постулати Бора і висновки Резерфорда про будову атома.

Студент повинен вміти по спектру відомого елемента (гелію) проградувати спектроскоп. Вивчивши спектр невідомого елемента, визначити: цей елемент, постійну Рідберга, масу електрона, величини радіусів борівських електронних орбіт.

Прилади і матеріали. Трансформатор, котушка Румкорфа, штатив з утримувачем для спектральних трубок, спектральні трубки з гелієм і невідомим елементом (воднем), призматичний спектроскоп.

Практичне значення. Методи спектроскопії (розділ фізики, що вивчає спектри електромагнітного випромінювання) застосовуються при дослідженні якісного і кількісного складу сплавів, використовуваних в автомобілебудуванні, палив і змащувальних матеріалів, хімічних речовин, на збагачувальних фабриках кольорової металургії, в сільському господарстві, геології, криміналістиці, астрофізиці.

Короткі теоретичні відомості

Спектр випромінювання – це сукупність монохроматичних електромагнітних хвиль, на які може бути розкладене немонохроматичне випромінювання. Розжарені речовини випромінюють суцільні, лінійчаті і смугасті спектри. Смугасті спектри випромінюються збудженими молекулами, лінійчаті – атомами. Кожен хімічний елемент випромінює типовий для нього спектр.

Ця властивість використовується для визначення хімічного складу речовини. Для аналізу спектрів служать спектральні прилади. Одним з них є спектроскоп.

Спектроскопом називається прилад, який служить для просторового розділення променів різних довжин хвиль, причому спостереження отриманого спектру проводиться візуально.

Оптична схема простого спектроскопа надана на рис. 1.1 Основною частиною спектроскопа є призма P , яка розкладає в спектр пучок паралельних променів немонохроматичного світла, ліва частина приладу – *труба коліматора* – складається з вузької щілини S_1 і лінзи L_1 ; призначення коліматора – давати паралельний пучок світла, падаючий на призму.

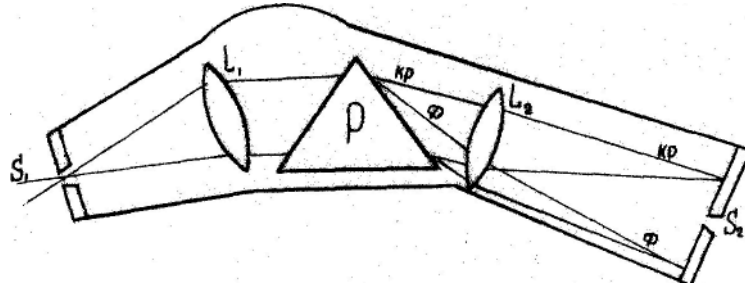


Рисунок 1.1 – Оптична схема простого спектроскопа

Для цього щілина розташовується в головній фокальній площині лінзи L_1 . Оскільки промені різної довжини хвилі відхиляються призмою на різні кути (дисперсія), то з призми виходять паралельні пучки різних напрямів.

Права частина приладу – *зорова трубка* – складається з лінзи L_2 і окуляра O з візирною ниткою; призначення зорової трубки – візуально спостерігати спектр випромінювання або окремі лінії спектру. Для цього за допомогою лінзи L_2 паралельні пучки, що вийшли з призми, збираються в різних точках її фокальної площини. В результаті на око проектується ряд зображень вхідної щілини. Якщо джерело світла випромінює хвилі всіляких довжин, то всі зображення вхідної щілини в різних променях примикають один до одного, тобто виходить суцільний спектр. При випромінюванні джерелом світла хвиль певних довжин зображення вхідної щілини опиняться просторово розділеними, і в результаті вийде лінійчатий спектр.

Коліматор, призма, зорова трубка змонтовані на столику, положення зорової трубки, а значить, і візирної лінії в окулярі регулюється мікрометричним гвинтом

На рис. 1.1 зображений хід променів світла, утворених червоними і фіолетовими променями. Для кожного спектроскопа будується експериментально градувальний графік, тобто графічна залежність між довжинами хвиль спектральних ліній і показання мікрометричного гвинта.

Використовуючи гіпотезу Планка про квантовий характер випромінювання світла і постулати Бора, можна стверджувати, що рух електрона можливий тільки по певних орбітах, радіуси яких задовольняють співвідношення (перший постулат Бора):

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad (1.1)$$

де m – маса електрона;

v_n – швидкість руху електрона на n -й орбіті;

r_n – радіус n -й орбіти;

h – постійна Планка;

$\pi = 3,14$;

$n = 1; 2; 3; 4$ – квантове число, яке вказує номер орбіти.

По другому постулату Бора частота випромінювання, відповідна переходу електрона з однієї орбіти на іншу, визначається співвідношенням:

$$h\nu = E_n - E_k, \quad (1.2)$$

де ν – частота випромінювання;

n і k – номери орбіт ($n > k$);

E_n, E_k – енергії електронів на відповідних орбітах.

Розглянемо електрон з електричним зарядом $-e$, який рухається в електричному полі атомного ядра із зарядом $+Ze$.

При $Z = 1$ така система відповідає атому водню, $Z > 1$ – воднеподібному іону, тобто атому з порядковим номером Z , з якого видалені всі електрони, окрім одного. Рівняння руху електрона отримаємо на підставі другого закону Ньютона:

$$ma = F,$$

де $a = \frac{v_n^2}{r_n}$ – нормальне прискорення, з яким рухається електрон по орбіті;

$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r_n^2}$ – кулонівська сила взаємодії між ядром і електроном.

Остаточне рівняння, що описує рух електрона, має вигляд:

$$m \frac{v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r_n^2}, \quad (1.3)$$

де ϵ_0 – електрична стала.

Електрон, що знаходиться в електричному полі, володіє потенціальною енергією $-E_p$ і кінетичною енергією $E_{кін}$.

$$E_p = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}, \quad E_{кін} = \frac{mv_n^2}{2}. \quad (1.4)$$

Повна енергія електрона E визначається за формулою:

$$E = E_p + E_{кін}. \quad (1.5)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1.1) і (1.3) відносно v_n і r_n , отримаємо формули для визначення v_n і r_n :

$$v_n = \frac{Z}{2n} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon_0 h}; \quad (1.6)$$

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \cdot \frac{n^2}{Z}. \quad (1.7)$$

Формула для обчислення повної енергії електрона в атомі на підставі виразів (1.4) і (1.5) матиме вигляд:

$$E = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{Z^2 m e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2}. \quad (1.8)$$

Підставивши (1.8) в (1.2), виразивши частоту випромінювання ν через довжину хвилі і швидкість світла у вакуумі c за формулою:

$$\nu = c/\lambda,$$

отримаємо узагальнюючу формулу Пальмера:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c Z^2 \left(\frac{1}{\kappa^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (1.9)$$

Формула (1.9) дозволяє знайти довжини хвиль або частоти для воднеподібних іонів в спектрі випромінювання.

Для водню $Z = 1$. Довжини хвиль спектральних ліній всіх серій визначається за формулою:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{\kappa^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1.10)$$

де: κ і n – номери орбіт, між якими здійснюється квантовий перехід.

R – стала Рідберга

При $\kappa = 1, n = 2, 3, 4, \dots$ – серія Лаймана.

При $\kappa = 2, n = 3, 4, 5, \dots$ – серія Бальмера у видимій області спектру.

При $\kappa = 3, n = 4, 5, 6, \dots$ – серія Пашена;

При $\kappa = 4, n = 5, 6, 7, \dots$ – серія Бреккета;

При $\kappa = 5, n = 6, 7, 8, \dots$ – серія Пфунда.

Серії Пашена, Бреккета, Пфунда лежать в інфрачервоній області спектра, а серія Лаймана – в ультрафіолетовій області. Серією називається сукупність спектральних ліній на даній ділянці спектра.

Стала Рідберга обчислюється за формулою:

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}. \quad (1.11)$$

У спектрі гелію видно такі спектральні лінії.

Колір лінії	Довжина хвилі
	нм.
Червона	706,5
Червона	667,8
Червона	656,0
Жовта	587,5
Зелена	492,1
Зелена	471,3
Блакитна	468,5
Синя	447,1
Синя	438,3
Фіолетова	412,0
Фіолетова	402,6
Фіолетова	388,8

Видима частина спектру випромінювання водню (серія Бальмера, $k = 2$) складається з ряду спектральних ліній, найбільш яскравими з них є:

- червона — $n = 3$;
- блакитна — $n = 4$;
- фіолетова — $n = 5$;
- фіолетова — $n = 6$.

Оскільки спектроскопи виготовляються різної роздільної здатності, то лінії деяких кольорів зливаються. В цьому випадку необхідно брати середнє значення довжини хвилі, відповідне середині широкої лінії. При точніших вимірах необхідно вести відлік по межі широкої лінії.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з трансформатора, котушки Румкорфа, штатива з утримувачами для спектральних трубок, спектральних трубок з гелієм і невідомим елементом (воднем) і призматичного спектроскопа.

На первинну обмотку трансформатора подається напруга від блока живлення або від мережі змінного струму. До вторинної обмотки трансформатора підключена первинна обмотка котушки Румкорфа. Напруга з вторинної обмотки котушки Румкорфа (до 20000 В) подається на спектральну трубку.

Порядок виконання роботи

Ознайомитися з лабораторною установкою.

Отримати від викладача дозвіл на проведення експериментів

Виконати завдання.

Завдання І. Проградувати спектроскоп по спектру відомого елемента (гелію).

1. Включити в електричне коло трубку з гелієм.
2. Отримавши стійкий газовий розряд в трубці, направити на вузьку частину трубки коліматор спектроскопа. Спектр спостерігати через зорову трубку з візирною ниткою.
3. Встановити взаємнооднозначну відповідність положення спектральної лінії з напрямом зорової трубки. Напрямок зорової трубки задається мікрометричним гвинтом, при цьому спектральна лінія повинна збігатися з візирною ниткою.
4. Результати вимірювань записати в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Колір спектральної лінії гелію	Довжина хвилі спектральної лінії гелію	Свідчення мікрометричного гвинта
	нм	мм

Завдання 2. Вивчити спектр невідомого елемента. Визначити довжини хвиль спостережуваних спектральних ліній отриманого спектра.

1. Включити в електричне коло трубку з невідомим елементом.
2. Отримавши стійкий газовий розряд у трубці, направляємо на вузьку частину трубки коліматор спектроскопа. Спектр спостерігати через зорову трубку з візирною ниткою.
3. Встановити взаємнооднозначну відповідність положення спектральної лінії з напрямом зорової трубки. Напрямок зорової трубки задається мікрометричним гвинтом, при цьому спектральна лінія повинна збігатися суміщено з візирною ниткою.
4. Результати вимірювань записати в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Колір спектральної лінії невідомого елемента	Показання мікрометричного барабана	Довжина хвилі спектральної лінії (визначається за допомогою градуовального графіка)
	мм	нм

Обробка результатів експерименту

1. На підставі даних табл. 1.1 побудувати градувальний графік для спектроскопа, який використовувався при проведенні експериментів. На осі абсцис відкласти показання мікрометричного гвинта, а на осі ординат – довжини хвиль.

З'єднати точки відрізками прямих. Отриманий графік і буде градувальним графіком даного спектроскопа.

2. Користуючись градувальним графіком, визначити довжини хвиль невідомого елемента. Величини довжин хвиль записати у відповідну колонку табл. 1.2

3. Користуючись таблицями довжин світлових хвиль спектральних ліній, визначити елемент, який знаходиться в трубці. (Див. додаток).

4. За результатами експерименту (див. табл. 1.2) на підставі формули (1.10) визначити сталу Рідберга для кожної довжини хвилі (для кожної лінії спектра). Величина постійної Рідберга визначається як середнє арифметичне від величин, знайдених для кожної довжини хвилі. Оцінити помилки і остаточний результат записати у вигляді $R = R \pm \Delta \bar{R}$

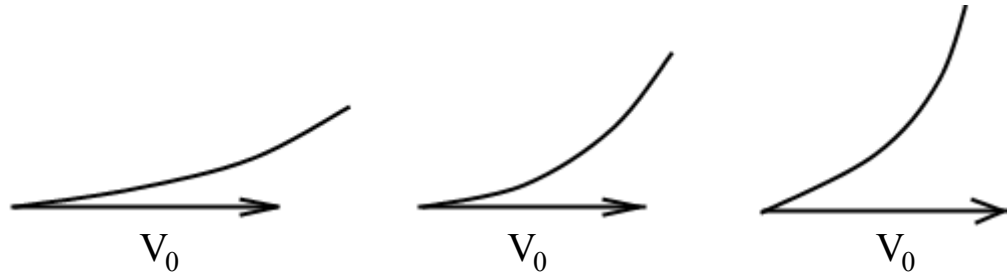
5. Користуючись формулою (1.7), визначити радіуси електронних орбіт.

6. Користуючись формулою (1.11), визначити масу електрона.

7. Порівняти результати розрахунків з табличними значеннями. Якщо результати розрахунків відрізняються від табличних більш ніж на 20 %, лабораторну роботу повторити.

Контрольні питання і завдання

1. Що називається спектром? Які бувають спектри?
2. Пояснити будову призматичного спектроскопа. Показати хід променів.
3. Що означає проградуювати спектроскоп?
4. Сформулювати гіпотезу Планка про квантовий характер випромінювання світла.
5. Записати постулати Бора у вигляді формул.
6. Дослід Франка і Герца (схема досліду, суть його).
7. На рис. 1.2 показані траєкторії руху α - частинок, їх розсіяння на тонкому шарі одного і того ж металу. Чому α - частинки змінили напрям свого руху? Чому зміна напрямку руху різна, хоча початкові швидкості однакові?

Рисунок 1.2 – Траєкторії руху α – частинок

8. Використовуючи принцип Паулі, визначити, яке максимальне число електронів в атомі може мати однакові квантові числа при головному квантовому числі $n = 2$; 5.

9. Скільки s , p , d – електронів знаходиться в атомі на першому, другому і третьому енергетичних рівнях.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема. Градування термопар

Мета. Студент повинен вивчити фізичні властивості контактів двох різнорідних речовин і вміти проградуювати термопару.

Устаткування. Термопара, гальванометр, дві посудини з рідиною, два термометри і нагрівальний елемент (електрична плитка).

Практичне значення. Ефекти, які виникають в контакті двох різнорідних речовин, лежать в основі високоточних датчиків температур. Ці ефекти використовуються в перетворювачах теплової енергії в електричну, в холодильних установках. Датчики температур є одним з елементів систем контролю при випробуваннях автомобілів.

Короткі теоретичні відомості

Робота, яку потрібно провести для видалення електрона з речовини у вакуум, називається роботою виходу.

Якщо дві різні речовини дотикаються, то між ними виникне різниця потенціалів, що називається контактною різницею потенціалів. Її виникнення з позицій класичної фізики можна пояснити двома чинниками. Перший чинник – це відмінність в роботі виходу електронів з речовин. Другий чинник – неоднакова концентрація електронного газу в речовинах.

Контактна різниця потенціалів, обумовлена обома чинниками

$$\Delta\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.1)$$

де: A_1 – робота виходу електрона з першої речовини;

A_2 – робота виходу електрона з другої речовини
 e – заряд електрона
 n_1 – концентрація електронів в першій речовині
 n_2 – концентрація електронів в другій речовині
 T – абсолютна температура спаю
 K – стала Больцмана.

Розглянемо замкнуте коло, що складається з двох металевих провідників 1 і 2 з температурами спаїв T_1 (контакт 1) і T_2 . (контакт 2), рис. 2.1 нехай $T_1 > T_2$. і $n_1 > n_2$.

Електрорушійна сила ξ , що виникає в колі, дорівнює сумі контактних різниць потенціалів в обох контактах (як при послідовному з'єднанні):

$$\xi = \Delta\varphi_{12} + \Delta\varphi_{21}.$$

Використовуючи вираз (2.1), отримаємо:

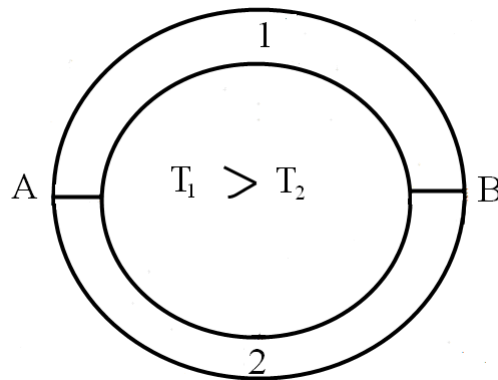


Рисунок 2.1 – Замкнуте коло двох металевих провідників

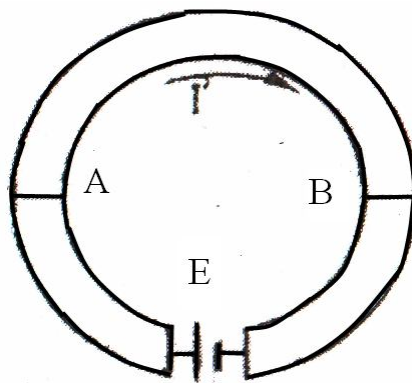


Рисунок. 2.2 – Напрямок електричного струму у замкнутому колі

$$\xi = \frac{k}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_1}{n_2}. \quad (2.2)$$

Таким чином, в замкнутому колі з'являється електрорушійна сила, прямо пропорційна різниці температур в контактах (спаях). Ця ЕРС нази-

вається термоелектрорушійною силою. Напрямок електричного струму в даному випадку при $T_1 > T_2$ і $n_1 > n_2$ показано на рис. 2.2

Вищерозглянутий ефект називається ефектом Зеебека, використовується для вимірювання температур і перетворення теплової енергії в електричну. Для вимірювання температури застосовуються термопари – датчики температур, що складаються з двох різнорідних металевих провідників. Якщо спаї провідників, утворюючих термопару, знаходяться при різних температурах, то в колі виникає термоелектрорушійна сила, залежна від різниці температур спаїв і хімічного складу матеріалів, які застосовувалися в цій термопарі.

Оскільки точний хімічний склад речовин практично не витримується, а вплив домішок не піддається теоретичному розрахунку, то кожна термопара градується.

Проградувати термопару – це означає побудувати експериментально графік залежності сили струму I від різниці температур ΔT спаїв.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із зібраного електричного кола (рис. 2.3), двох посудин з рідиною, двох термометрів і нагрівального елемента (електричної плитки), гальванометра.

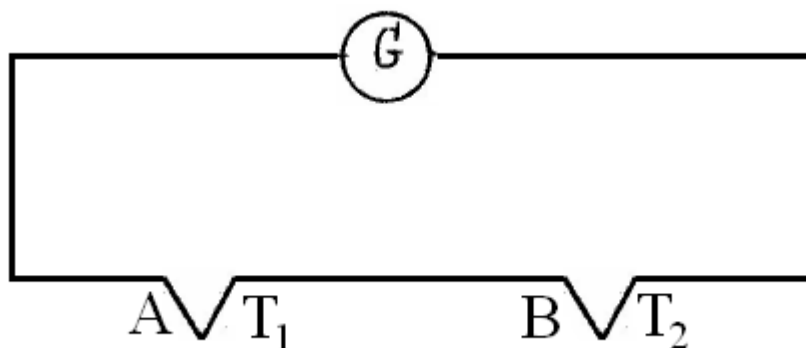


Рисунок 2.3 – Схема лабораторної установки для градування термопари

де G – гальванометр

A, B – спаї термопари.

Перепад температур створюється тим, що спаї занурені в посудини з рідиною різної температури. Посудину з одним із спаїв (будь-яким) нагрівають. При підвищенні температури в цьому колі виникає електричний струм. Величина сили струму I вимірюється гальванометром. Температура рідин – термометрами.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Отримати від викладача початкову інформацію (максимальну те-

мпературу нагріву посудини з рідиною) і дозвіл на проведення експерименту.

3. Виконати завдання по градуюванню термopари.

3.1. Від'єднати гальванометр від електричного кола, виставити стрілку на нуль і під'єднати гальванометр в ланцюг.

3.2. Записати в таблицю 2.1 температуру спаю, який не нагрівається – T_2 .

3.3. Включити нагрівальний елемент (електричну плитку), на якому знаходиться посудина з іншим спаєм.

3.4. Записати показання гальванометра і температуру спаю T_1 , що нагрівається, в таблицю 2.1. Крок зміни температури вибрати самостійно (не більш 5°).

Таблиця 2.1

№ з/п	T_1	T_2	$\Delta T = T_1 - T_2$	I	ε
	K	K	K	A	B

Обробка результатів експерименту

1. Побудувати градуювальну криву, відкладаючи по осі абсцис значення різниці температур, а по осі ординат – значення сили струму I ($I = f(\Delta T)$).

2. За формулою (2.2) розрахувати значення ε і записати в таблицю 2.1.

Прийняти: $3 \ln \frac{n_1}{n_2} = 1,$

3. Побудувати графік $\varepsilon = \varphi(\Delta T)$

4. Проаналізувати і зробити висновки.

Контрольні питання і завдання

1. Дати визначення роботи виходу електрона з речовини
2. Що називається контактною різницею потенціалів?
3. Дати визначення внутрішньої і зовнішньої контактної різниці потенціалів? Чим вони визначаються?
4. Пояснити фізичну суть ефектів Пелтьє, Томсона, Зеебека.
5. Що означає проградувати термopару?
6. Які переваги датчика температур на основі термopари в порів-

нянні з іншими приладами для вимірювання температур?

7. Пояснити електропровідність металів з точки зору електронної теорії.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема. Вивчення фотоелектричних властивостей фотоопору (фоторезистора)

Мета. Студент повинен вивчити фізичні властивості напівпровідників, опір яких міняється під дією світла (електромагнітного випромінювання), уміти зняти вольтамперні і світлові характеристики фотоопору і проаналізувати отримані результати.

Прилади і приладдя. Знижувальний трансформатор, джерело світла, реостат, блок живлення, потенціометр, фотоопір, вольтметр, мікроамперметр.

Практичне значення: Фотоопори і фотодіоди, встановлені на супутниках, стежать за запуском ракет.

Фотоопори використовуються в приладах, що вимірюють рівень штучної і природної освітленості на робочих місцях, в системах автоматичної охорони, в численних лічильниках, пристроях читання з перфокарт в ЕОМ, для вимірювання переміщень, вібрацій при випробуваннях автотранспорту і дорожніх машин.

Короткі теоретичні відомості

Речовини, що змінюють свій електричний опір при дії на них світлом, називаються фотоопорами (фоторезисторами).

Світло, падаючи на фотоопір, звільняє з його кристалічної решітки електрони, тобто має місце явище внутрішнього фотоефекту.

Носії струму (електрони і «дірки»), що утворилися при цьому, під впливом прикладеного до кристала електричного поля, приходять в рух. Провідність кристала зростає, тобто зменшується електричний опір фоторезистора.

Фотоопором є звичайний омичний опір, що складається з шару напівпровідника, що знаходиться між двома провідними електродами.

Якщо фотоопір розрахований на роботу в області власної провідності, максимум спектральної чутливості фоторезистора відповідатиме енергіям фотонів приблизно рівним енергії утворення електронно-діркової пари в даному напівпровіднику.

Якщо фоторезистор розрахований на роботу в області домішкової провідності, максимум спектральної чутливості відповідатиме енергії фотонів, приблизно дорівнюючий енергії іонізації домішки.

Чим менше енергія іонізації домішки, тим більше довгохвильове ви-

промінювання здатний зареєструвати фоторезистор і тим нижче повинна бути робоча температура фоторезистора, щоб уникнути іонізації домішки за рахунок теплових коливань решітки. Тому фоторезистор, призначений для реєстрації довгохвильового випромінювання, необхідно охолоджувати.

Чим менший час життя нерівноважних носіїв заряду, тим швидше реагуватиме фоторезистор на зміну світлового потоку, але за інших рівнозначних умов буде менша чутливість фотоопору.

Деякі з найважливіших параметрів фоторезисторів визначаються в основному властивостями напівпровідникового матеріалу, з якого вони виготовлені. До них належать темновий опір, діапазон спектральної чутливості і швидкодія.

Темновий опір визначається темною провідністю напівпровідникового матеріалу і його геометричними розмірами. Для фоторезисторів різних типів воно лежить в межах від $\sim 10^2$ до $\sim 10^8$ Ом. Невеликі значення темнового опору характерні для фотоопорів з високою швидкодією. Великі величини темнового опору характерні для відносно повільних, але чутливих фоторезисторів.

Діапазон спектральної чутливості, тобто діапазон довжин хвиль, до яких чутливий фотоопір, і довжина хвилі, відповідна максимуму чутливості, визначаються фундаментальними властивостями напівпровідникового матеріалу (величиною енергії утворення електронно-діркової пари і енергією іонізації домішки).

Швидкодія фоторезисторів характеризується постійною часу спаду і наростання фотоструму – τ (часом життя зайвих електронів)

Величина τ для фоторезисторів різних типів лежить в межах від $\sim 10^{-2}$ до $\sim 10^{-10}$ с.

Найшвидші фоторезистори використовуються для проведення фізичних експериментів, в яких необхідно фіксувати зміну в часі швидко змінних світлових потоків.

Важливість інших параметрів визначається характером застосування фоторезисторів. Не дивлячись на величезну різноманітність схем і пристроїв, в яких використовуються фоторезистори, можна умовно виділити два типи фотоопорів.

До першого типу належать фоторезистори, які застосовуються в схемах із спеціальним підсвічуванням (лічильники, фотореле, вимірники кутових прискорень і переміщень, охоронні системи тощо).

Для таких фоторезисторів, що працюють при великих світлових потоках, визначальним параметром є кратність зміни опору K (при певному рівні підсвічування). Величина K дорівнює відношенню темнового опору – R_t до опору освітленого фоторезистора. Типове значення лежить в межах від $\sim 10^2$ до $\sim 10^3$ (при освітленості 200 – 300 лк).

Характер застосування фоторезисторів другого типу вимагає здатнос-

ті виявляти мінімально можливі рівні світлових (променистих) потоків. Для таких фоторезисторів головний параметр отримав природну назву – пошукова здатність.

За визначенням пошукова здатність обернено пропорційна мінімальній потужності, яку здатний зареєструвати фотоприймач. Ці фоторезистори застосовуються в приладах нічного бачення, для спостереження за поверхнею Землі з космосу.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з двох автономних електричних кіл.

1. Електричне коло (рис. 3.1) призначене для регулювання яскравості джерела світла ДС. Вона складається із знижувального трансформатора ТР джерела світла ІС і змінного опору R_1 з шкалою яскравості.

2. Електричне коло (рис. 3.2) призначене для регулювання напруги на фотоопорі ФО. Воно складається з блока живлення БЖ, потенціометра R_2 для регулювання напруги, фотоопору ФО. Для контролю напруги і сили струму служить вольтметр V і мікроамперметра μA .

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, розібратися в принциповій електричній схемі (див. рис. 3.1 та рис. 3.2).

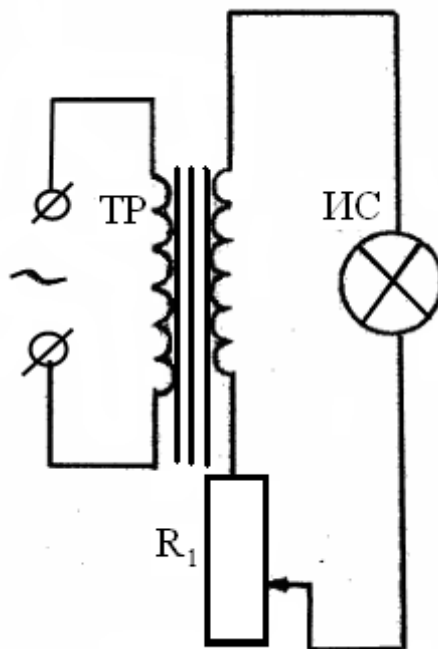


Рисунок 3.1 – Електричне коло регулювання яскравості джерела світла

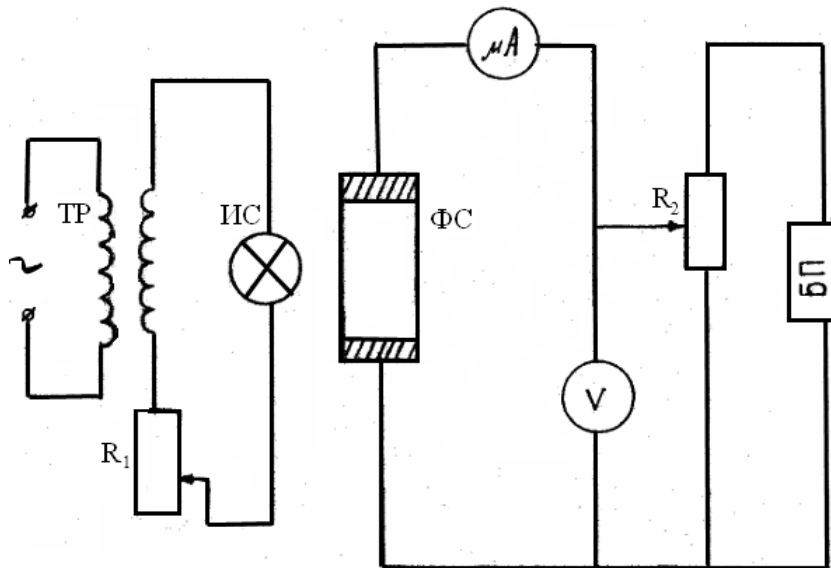


Рисунок 3.2 – Електричне коло регулювання напруги на фотоопорі

2. Отримати від викладача початкову інформацію і дозвіл на проведення експериментів.

3. Виконати завдання.

Початкова інформація, яку видає викладач, включає:

1. Величини освітленості, які задаються яскравістю – B_e джерела світла (лампочки) і відстанню l джерела світла до фотоопору.
2. Величини напруги U , що подається на фотоопір при знятті світлових характеристик.

Завдання 1. Зняття вольтамперних характеристик фотоопору.

1. Встановлюється джерело світла на заданій відстані – від фотоопору.
2. Опором R_1 задається яскравість джерела світла – B_e .
3. Змінюючи потенціометром R_2 напругу U , прикладену до фотоопору, записуємо значення сили струму в колі – I . Напруга вимірюється вольт– метром V , а сила струму мікроамперметром мкА.
4. Результати експерименту записуємо в табл. 3.1

Таблиця 3.1

$E \begin{cases} B_e = 0 \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$		$E \begin{cases} B_e = \\ l = \end{cases}$	
U	I	U	I	U	I	U	I
В	мкА	В	мкА	В	мкА	В	мкА

Завдання 2. Зняття світлових характеристик фотоопору.

1. Встановлюється джерело світла на заданій відстані l від фотоопору.
2. Змінюємо освітленість фотоопору, міняючи яскравість джерела світла B_e опором R_2 . Записуємо значення сили струму I .
3. Яскравість джерела світла B_e вимірюється в умовних одиницях (умов. од. яскр.). Шкала яскравості нанесена на опорі R_1 .
4. Результати експерименту записуємо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2

$U=$ $\ell=$		$U=$ $\ell=$		$U=$ $\ell=$		$U=$ $\ell=$	
B_e	I	B_e	I	B_e	I	B_e	I
умов.од. яскр.	мкА	умов.од. яскр.	мкА	умов.од. яскр.	мкА	умов.од. яскр.	мкА

Обробка результатів експериментів

1. Вольтамперні характеристики представити у вигляді сімейства графіків $I = f(U)$ (у одній системі координат) і зробити висновки.
2. Світлові характеристики представити у вигляді сімейства графіків $I = f(B_e)$ (у одній системі координат) і зробити висновки.
3. Визначити основні параметри фотоопору:
 - а) темновий опір;
 - б) кратність зміни опору при різній освітленості.

E – освітленість фотоопору (задається яскравістю B_e і відстанню ℓ від джерела світла до фоторезистора).

Записати: $E (B_e = \dots; \ell = \dots)$.

Контрольні питання і завдання

1. Яке явище називається фотоефектом? Його види.
2. Що називається фотопровідністю?
3. Які пристрої називаються фотоопорами?
4. У чому полягає вольтамперна характеристика?
5. У чому полягає світлова характеристика фотоопору?
6. Як визначаються основні параметри фотоопору (темновий опір, кратність зміни опору, діапазон спектральної чутливості, швидкодія, пошукова здатність)?

7. Які елементи служать матеріалом для фотоопорів?

8. На графіках рис. 3.3 і рис. 3.4 наведені залежності опорів металу і напівпровідника від температури. Чим пояснюється відмінність даних залежностей?

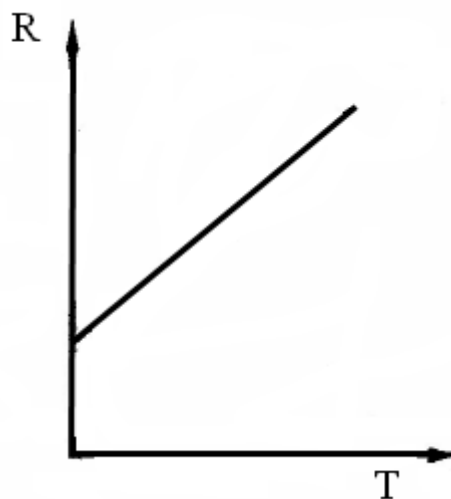


Рисунок 3.3 – Графік залежності опору металу від температури

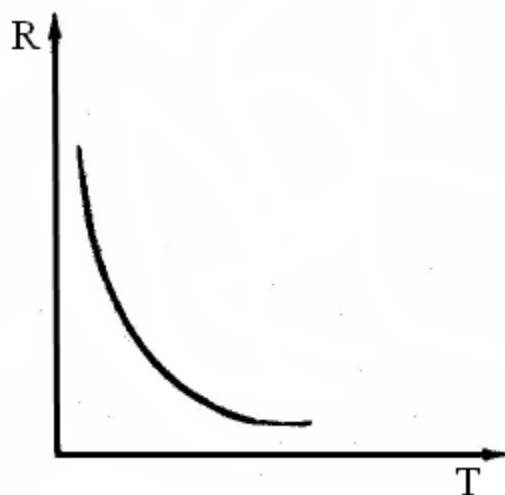


Рисунок 3.4 – Графік залежності опору напівпровідника від температури

9. На рис 3.5 наведена залежність сили струму I від напруги U для фотоопору при деякій освітленості E . Як мінятиметься ця залежність при зміні освітленості?

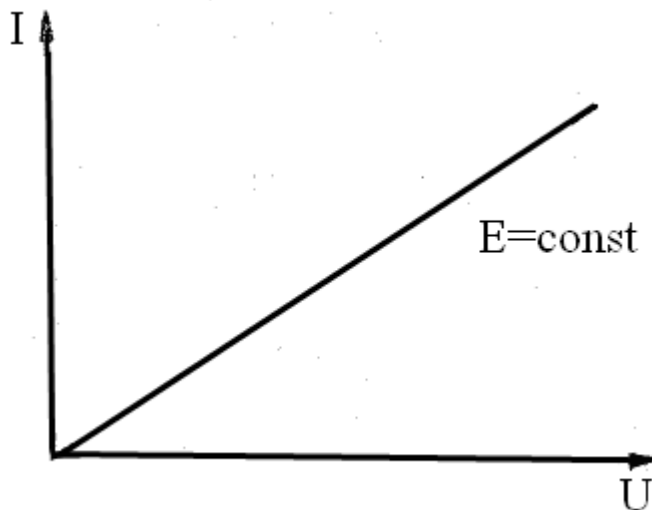


Рисунок 3.5 – Графік залежності струму від напруги для фотоопору при $E = \text{const}$

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема. Зняття вольт – амперних характеристик селенового і германієвого діодів.

Мета. Вивчити властивості напівпровідників, принцип роботи $(p - n)$ – переходу, вміти зняти вольт– амперну характеристику напівпровідникового діода і проаналізувати отримані результати.

Прилади і устаткування. Селеновий і германієвий діоди, міліамперметр, мікроамперметр, потенціометри, одно - і двополюсні ключі.

Практичне значення. Вивчивши властивості напівпровідників, можна розібратися в тому, як працює будь - який напівпровідниковий прилад.

Такого роду прилади: датчики Холла, діоди, діоди Ганна, лавинні діоди, транзистори широко використовуються в побуті, промисловості, в наукових дослідженнях і сільському господарстві. У автомобільному транспорті напівпровідникові прилади застосовуються в електронному запаленні, в системах контролю безпеки руху.

Короткі теоретичні відомості

Між частинами напівпровідникового кристала, одна з яких легована донорною, а інша – акцепторною домішкою, виникає енергетичний (потенціальний) бар'єр $(p - n)$ – переходу. У відсутність зовнішньої напруги висота цього бар'єру приблизно дорівнює ширині забороненої зони напівпровідника.

Зворотна зовнішня напруга («плюс» якого прикладений до n – області переходу, а «мінус» – до p – області) збільшує висоту бар'єра, Через $(p - n)$ – перехід при цьому тече дуже маленький зворотний струм. Діод з $(p - n)$ – переходом є опором дуже великої величини. При прямій напрузі

(«плюс» зовнішньої напруги прикладений до p – , а «мінус» – до n – області діода) висота бар'єра знижується. Величина прямого струму значно збільшується і навіть при невеликій напрузі може досягати великих значень.

Діод з $(p - n)$ – переходом є опором малої величини.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається зі зібраного електричного кола (рис. 4.1).

Селеновий і германієвий діоди змонтовані на одній панелі. Однополюсний ключ K служить для почергового включення в коло або селенового, або германієвого діодів. Двополюсний ключ $ПК$ дає можливість міняти напрям струму через діод. Величина прямого струму вимірюється міліамперметром mA , а зворотного – мікроамперметром μA (μA). Напруга на діоди подається з потенціометра R_2 . Потенціометр R_1 призначений для попередньої установки максимальної напруги (виконує роль обмежувача напруги).

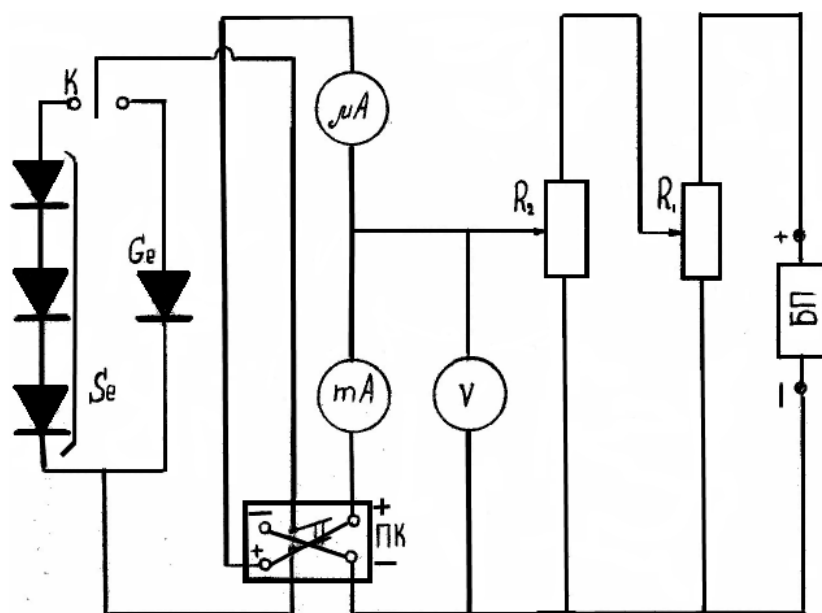


Рисунок 4.1 – Електричне коло лабораторної установки

Напруга вимірюється вольтметром V і на лабораторну установку подається з блока живлення $BC - 24 M$.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою. Розібратися в принциповій електричній схемі (рис. 4.1).
2. Отримати від викладача початкову інформацію і дозвіл на проведення експериментів.

Початкова інформація, яку видає викладач, включає:

- величину вихідної напруги на блоці живлення.
- величину максимальної напруги, яка подається на діоди.
- виконати завдання.

Завдання 1. Зняти вольтамперну характеристику германієвого діода.

- 1) Потенціометри R_1 і R_2 встановити в початкове положення, тобто вони повинні бути вимкнені з електричного кола.
- 2) Включити блок живлення, відрегулювавши вхідну напругу (згідно з вказівками викладача).
- 3) Потенціометри R_1 і R_2 встановлюються так, щоб вольтметр показував максимальну напругу, задану викладачем, яка подається на діод. В процесі подальшої роботи положення движка потенціометра R_1 не змінюємо.
- 4) Потенціометр R_2 встановлюємо в початкове положення, тобто він повинен бути виведений з електричного кола (на вольтметрі – нуль).
- 5) Перемикач струму ПК встановлюємо в положення «прямий струм».
- 6) Включаємо в електричне коло за допомогою ключа К германієвий діод.
- 7) Змінюємо напругу, що подається на германієвий діод потенціометром R_2 , яка вимірюється вольтметром V в межах $0 \leq U \leq U_{\max}$. Записуємо значення величини напруги і сили прямого струму (показання міліамперметра) в таблицю.
- 8) Повертаємо потенціометр R_2 в початкове положення (на вольтметрі – нуль).
- 9) Перемикач струму ПК встановлюємо в положення «зворотний струм».
- 10) Змінюємо напругу, що подається на германієвий діод в межах $0 \leq U \leq U_{\max}$. Записуємо величини напруги і сили зворотного струму (показання мікроамперметра μA в таблицю 4.1).

Таблиця 4.1

№ з/п	Діод – германієвий Ge				
	U_{np} (В)	I_{np} (мА)	$U_{звор}$ (В)	$I_{звор}$ (мкА)	$K = \frac{I_{np}}{ I_{звор} }$
1.					
2.					
3...					
8.					

Завдання 2. Зняти вольт – амперну характеристику селенового діода.

- 1) Потенціометр R_2 встановлюємо в початкове положення, тобто він повинен бути виведений з електричного кола (на вольтметрі – нуль).
- 2) За допомогою ключа K в електричне коло включаємо селеновий діод.
- 3) Повторити пункти 4 – 10 завдання 1 і дані записати в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

№ з/П	Діод – селеновий Se				
	U_{np} (В)	I_{np} (мА)	$U_{звор}$ (В)	$I_{звор}$ (мкА)	$K = \frac{I_{np}}{ I_{звор} }$
1.					
2					
...					
8.					

Обробка результатів експерименту

1) Вольт – амперні характеристики представити у вигляді графіків $I = f(U)$ (у одній системі координат для германієвого і селенового діодів) і зробити висновки.

Будують вольт – амперні характеристики германієвого і селенового діодів, відкладаючи на осі абсцис значення напруги, а по осі ординат значення сили струму. Пряму напругу і струми відкладають на позитивній півосі, а зворотна напругу і струми – на негативних.

2) За формулою $K = \frac{I_{np}}{|I_{звор}|}$ обчислити коефіцієнт випрямлення при відповідній напрузі (за умови, що $I_{звор}$ відмінно від нуля).

Контрольні питання і завдання

- 1) За якими ознаками речовини діляться на провідники, напівпровідники, діелектрики?
- 2) Що називається власною провідністю напівпровідників?
- 3) Які причини викликають генерування пар електрон – дірка?
- 4) Чому за незмінних зовнішніх умов кількість вільних носіїв зарядів в напівпровіднику залишається постійною, не дивлячись на те, що генерація пар електрон – дірок відбувається постійно?

рон - дірка відбувається безперервно?

5) Як зовнішнє електричне поле впливає на електропровідність напівпровідника?

6) Які напівпровідники називаються домішковими?

7) Поясніть вольт – амперну характеристику діода. Чому прямий струм в $(p - n)$ – переході значно більше зворотного при однаковій величині напруги?

8) Чим створюється зворотний струм в $(p - n)$ – переході?

9) Пояснити роботу випрямлячів (рис. 4.2, 4.3, 4.4). Викреслити і порівняти графіки вхідної напруги (сили струму) і напруги (сили струму) на опорі R навантаження для кожної схеми.

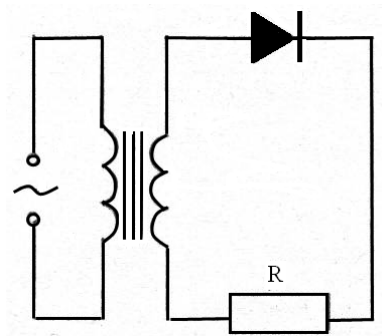


Рисунок 4.2 – Електричне коло з одним діодом

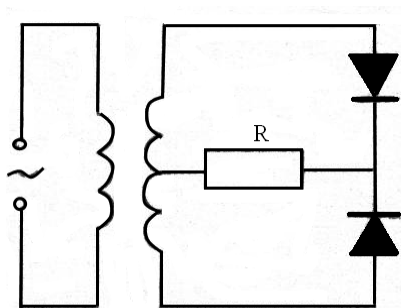


Рисунок 4.3 – Електричне коло з двома діодами

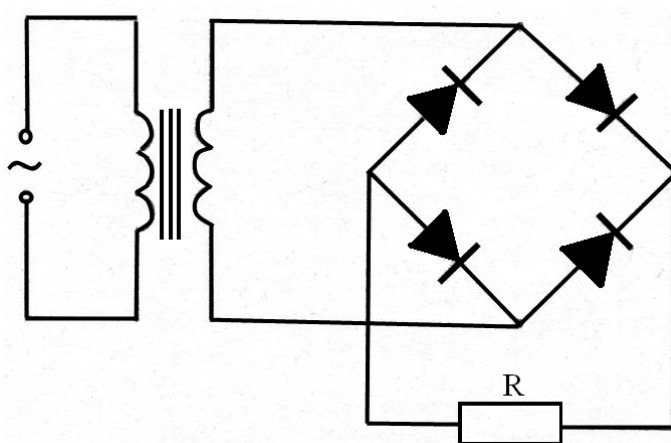


Рисунок 4.4 – Електричне коло з чотирма діодами

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема. Визначення абсолютної активності радіоактивного бета – випромінювача

Мета. Вивчити основні методи реєстрації радіоактивних випромінювань і частинок і вміти визначати активність радіоактивних препаратів.

Прилади і устаткування. Лічильник Гейгера – Мюллера, перерахунковий прилад ПР – 20, блок живлення, секундомір, радіоактивний бетта – випромінювач.

Практичне значення. Пристрої, що вивчаються, лежать в основі дозиметричної апаратури, використовуваної в цілях контролю за роботою різних радіаційних технічних установок і охорони праці обслуговуючого персоналу.

Короткі теоретичні відомості

У даній роботі реєстрація β – частинок проводиться за допомогою газового лічильника Гейгера – Мюллера (СГМ).

У основі роботи ЛГМ лежить самостійний газовий розряд. Конструктивно він виконаний у вигляді провідного циліндра (катода), виготовленого з алюмінію і центральної вольфрамової нитки (анода), ізольованої від циліндра (рис. 5.1).

Заряджені частинки високих енергій (α , β і ін.) проникають через стінки лічильника. Виникаючий самостійний розряд короткочасний, оскільки розрядний струм створює падіння напруги на опорі R , який великий ($R \sim 10^9$ Ом) і напруга між електродами зменшується настільки, що енергії електронів або іонів вже недостатньо для іонізації зустрічних молекул.

Відбувається швидка рекомбінація електронів і іонів, і газовий розряд припиняється. Лічильник приходить в початковий стан і може реєструвати іншу частинку.

Таким чином, кожна частинка, потрапляючи в лічильник, дає імпульс струму і стрибок напруги на R , який можна зареєструвати будь – яким лічильником імпульсів (ЛІ). Тривалість імпульсу напруги $\tau = 10^{-4} \div 10^{-6}$ с, отже, за 1 с можна зареєструвати 10^6 імпульсів (це максимально можливе число). Якщо потужність випромінювання більша, то лічильник не встигає спрацьовувати і треба використовувати інші прилади. Слід зазначити, що величина τ залежить від наявності добавок (етилену, парів ефіру) в середовищі лічильника, які прискорюють гасіння розрядів і зменшують τ .

При вимірюванні числа імпульсів (частинок) N за допомогою лічильника Гейгера – Мюллера необхідно враховувати наявність фону N_ϕ , який обумовлений космічним випромінюванням, радіоактивним забрудненням середовища. Тому N набуває значення:

$$N = N_i + N_\phi, \quad (5.1)$$

де N – зміряне число імпульсів, N_i – число імпульсів, одержаних від досліджуваного препарату (β – джерелом), N_ϕ – натуральний фон.

Величина N_ϕ залежить від пори року, місця знаходження установки і так далі і повинна визначатися кожного разу перед вимірюванням.

Слід зазначити, що при постійних N_ϕ і N_i величина N залежатиме від прикладеної напруги U між електродами.

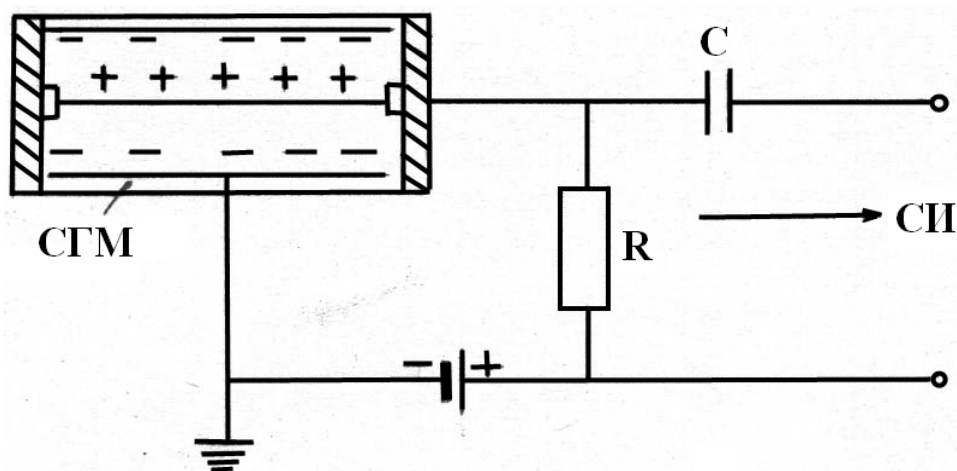


Рисунок 5.1 – Схема газоповодного лічильника Гейгера – Мюллера

Графік залежності $N(U)$ називається рахунковою характеристикою лічильника Гейгера – Мюллера (рис. 5.2).

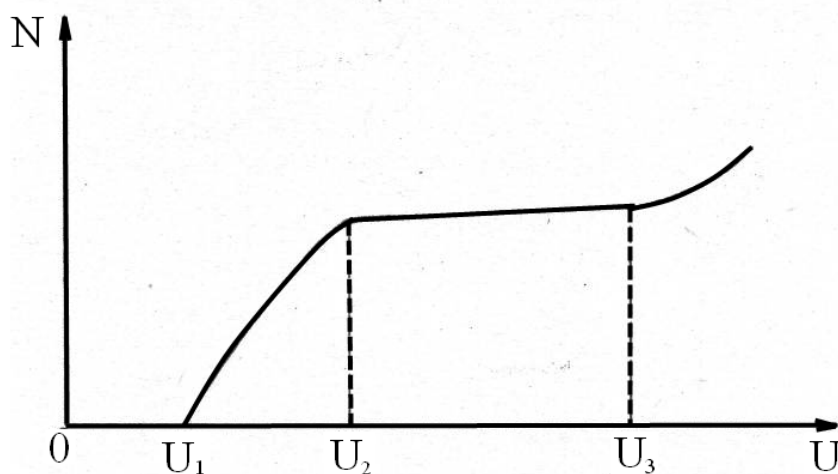


Рисунок 5.2 – Графік залежності $N(U)$

Напруга U_1 відповідає початку ударної іонізації, яка переходить в самостійний розряд, але не для всіх частинок, що потрапляють в лічильник. У інтервалі напруги $U_2 - U_3$ (ділянка плато) практично будь – яка частинка, що потрапляє в лічильник, буде зареєстрована. Ця область відносної незалежності числа імпульсів від напруги відповідає стійкому режиму роботи лічильника. В центрі цієї області рекомендується працювати. При збільшенні напруги $U > U_3$ в лічи-

льнику починається безперервний газовий розряд, відповідний пробою діелектрика, і лічильник стає непридатним для роботи.

При проведенні вимірювань активності препарату необхідно мати на увазі, що число реєстрованих лічильником імпульсів не дорівнює числу частинок, що випускаються препаратом. Це пояснюється наявністю натурального фону і тим, що не всі частинки, що випускаються препаратом, потрапляють в чутливий об'єм лічильника. Лічильник реєструє лише ті частинки, які розповсюджуються в межах тілесного кута ω , який можна обчислити за формулою:

$$\omega = \frac{\alpha_0}{180^0} \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}, \quad (5.2)$$

де $\text{tg} \alpha_0 = d / 2h$.

Пояснення до формули (5.2) дає рис. 5.3.

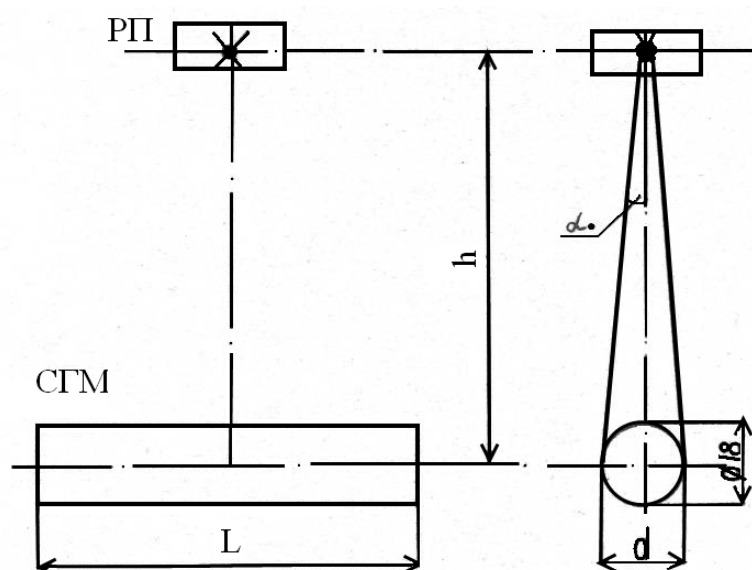


Рисунок 5.3 – Схема лабораторної роботи

РП – радіоактивний препарат

ЛГМ – лічильник Гейгера–Мюллера

d – діаметр трубки ЛГМ

L – довжина активної частини ЛГМ

h – висота розташування радіоактивного препарату над оссю ЛГМ

Абсолютна активність препарату в беккерелях визначатиметься за формулою:

$$A = \frac{4\pi}{t_3 \omega} N_i, \quad (5.3)$$

де $\pi = 3,14$,

ω – тілесний кут, що обчислюється за формулою (5.2);

$N_i = N - N_\phi$ – число імпульсів, одержаних від досліджуваного препарату (на підставі формули (5.1).

t_3 – час виміру, с.

Активність в системі СІ вимірюється в беккерелях. Беккерель – це активність такого препарату, який дає один розпад (імпульс) в секунду.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з секундоміра, радіометра Б - 3 і радіоактивного препарату.

Радіометр Б - 3 складається:

- а) з лічильника Гейзера – Мюллера;
- б) перерахункового приладу ПР - 20, що включає вхідний пристрій, перерахунковий пристрій, зібраний на газорозрядних лампах (дека – тронах);
- в) блоку живлення.

Радіоактивний препарат розміщений в камері з плексигласу, яка може переміщатися на штативі.

Порядок виконання роботи

- 1) Ознайомитися з установкою.
- 2) Отримати від викладача початкову інформацію і дозвіл на проведення експерименту. Початкова інформація включає висоту h розташування радіоактивного препарату над оссю ЛГМ, тривалість виміру – t_3 (не менше трьох хвилин) і кількість вимірів – n (не менше три).

Виконати завдання.

З а в д а н н я 1. Перевірка кількості імпульсів при підключенні радіометра Б – 3 до мережі змінного струму.

- 1) Підключити радіометр до мережі змінного струму.
- 2) Включити радіометр, натиснувши будь – яку клавішу. Прилад повинен прогрітися декілька хвилин.
- 3) Лічильник встановити на нуль, натиснувши клавішу «скидання».
- 4) Підключити лічильник до мережі змінного струму, натиснувши клавішу «перевірка», одночасно включити секундомір.
- 5) Після закінчення часу перевірки – t_{np} , натиснути клавішу «стоп» і вимкнути секундомір. Час перевірки $t_{np} = (60 \dots 120) \text{ с}$. Записати показання свідчення лічильника N_n і час перевірки t_{np} в таблицю 5.1.
- 6) Зробити висновок про вірність роботи перерахункового пристрою (порівняти величини N_n/t_{np} з частотою змінного струму – $\nu = 50 \text{ Гц}$).

Переконавшись в правильній роботі лічильника, приступити до виконання наступних завдань.

Таблиця 5.1

$t_{np} =$ $N_n =$		$\frac{N_n}{t_{np}} =$		$\mathbf{v} =$
$L =$		$d =$	$n =$	$t_3 =$
$\mathfrak{N}_{3\Pi}$	N_ϕ		N	
1				
2				
3				
$\sum_{k=1}^n N_{\Phi_K} =$		$\sum_{K=1}^n N_K =$		

З а в д а н н я 2. Визначення натурального фону.

- 1) Прогрітий лічильник імпульсів встановити на нуль, натиснувши клавішу «сброс».
- 2) Підключити лічильник імпульсів до лічильника Гейгера – Мюллера, натиснувши клавішу «пуск», одночасно включається секундомір.
- 3) Після закінчення часу виміру, одночасно натиснути клавішу «стоп» і вимкнути секундомір.
- 4) Записати показання лічильника імпульсів – N_{ϕ} в таблицю 5.1.
- 5) Повторити п. 1 – 4 не менше n разів (n – кількість вимірів).

З а в д а н н я 3. Визначення активності ізотопу.

- 1) Розташувати штатив на столі так, щоб камера з радіоактивним препаратом симетрично розташовувалася над лічильником Гейгера – Мюллера на заданій висоті h .
 - 2) Прогрітий лічильник імпульсів встановити на нуль, натиснувши на клавішу «скидання».
 - 3) Підключити лічильник імпульсів до лічильника Гейгера – Мюллера, натиснувши клавішу «пуск», одночасно включається секундомір.
 - 4) Після закінчення часу виміру t_3 одночасно натиснути клавішу «стоп» і вимкнути секундомір.
 - 5) Записати показання лічильника імпульсів – N в таблицю 5.1.
 - 6) Повторити п. 2 – 5 не менше n разів.
- До кожного завдання зробити висновок.

Обробка результатів експерименту.

Визначить активність препарату за формулою

$$A = \frac{\left(\sum_{K=1}^n N_K - \sum_{K=1}^n N_{\Phi_K} \right)}{n \cdot t_3} \cdot \frac{4\pi}{\omega},$$

де n – число вимірів;

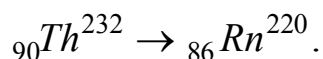
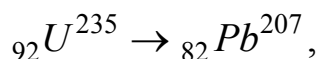
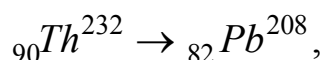
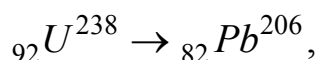
t_3 – довготривалість, с;

$\pi = 3,14$;

ω – визначається за формулою (5.2).

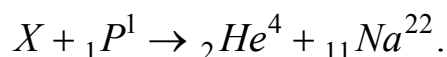
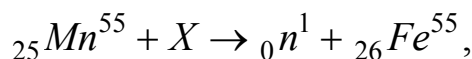
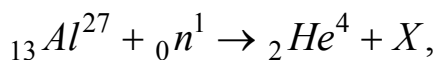
Контрольні питання і завдання

1. Що називається радіоактивністю?
2. Якому закону підпорядковується радіоактивний розпад? Вивести цей закон.
3. Що називається періодом піврозпаду $T_{1/2}$. Отримайте вираз для $T_{1/2}$.
4. Що називається активністю радіоактивного препарату? Одиниці активності.
5. Види радіоактивних перетворень. Їх схеми.
6. Властивості радіоактивних випромінювань.
7. Що таке дефект маси ядра та енергія зв'язку ядра? Як вони обчислюються?
8. Що називається ядерною реакцією? Їх типи. Як визначається енергетичний вихід ядерної реакції?
9. Задані початкові і кінцеві елементи чотирьох радіоактивних сімейств:



Скільки α і β перетворень відбулося в кожному сімействі?

10. Написати відсутні позначення X в наступних ядерних реакціях:



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема. Дослідження біполярного транзистора із загальною базою

Мета. Вивчити принцип роботи біполярного транзистора і навчитися знімати його характеристики.

Прилади і устаткування. Блоки живлення, транзистор, потенціометри, міліамперметри, вольтметр, однополюсні ключі.

Практичне значення. Транзистори є головними елементами сучасної електроніки. Оскільки транзистор може бути мікромініатюрним, надійним і споживати при роботі мало енергії, то на його основі створюються інтегральні схеми, мікромініатюрні прилади, що застосовуються у всіх галузях народного господарства і в автомобілебудуванні.

Короткі теоретичні відомості

Головними елементами сучасної електроніки є транзистори або напівпровідникові тріоди. На сьогоднішній день розроблено два типи напівпровідникових тріодів. Перший тип називається біполярним транзистором, а другий тип – польовим.

Фізичні принципи роботи польового і біполярного транзисторів абсолютно різні, але їх основне призначення, з якого витікають незліченні практичні застосування, одне і те ж – посилення електричних сигналів. Сигнал, що поступив на вхід транзистора, викликає появу на виході набагато могутнішого аналогічного сигналу.

Біполярні транзистори

Будова біполярного транзистора схематично показаний на рис. 6.1. Вузька область напівпровідника n – типу розміщується між двома областями з напівпровідника p – типу. Перша (ліва) область p – типу називається емітером, середня область n – типу базою, і права область p – типу – колектором.

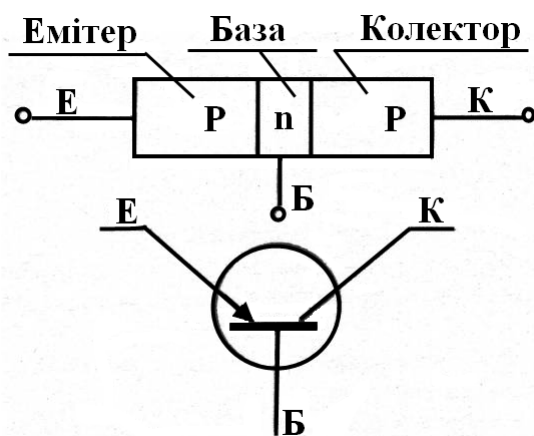


Рисунок 6.1 – Будова біполярного транзистора

Емітер сильно легований. Він здатний випустити (інжекторувати) в слабо-леговану область (базу) таке число неосновних носіїв, що їх концентрація може значно перевищити початкову концентрацію основних носіїв бази.

Основними параметрами бази є довжина і рівень легування (концентрація домішок).

Розглянемо, яким же чином біполярний транзистор із загальною базою підсилює електричні сигнали. Для того, щоб транзистор міг виконувати свої завдання, до $(p-n)$ – переходів, створюючих транзисторну структуру, повинна бути прикладена певна напруга (рис. 6.1).

Колекторний перехід до $((n-p) - \text{перехід між базою і колектором})$ повинен бути зміщений у зворотному напрямі, тобто до нього повинна бути прикладена зворотна напруга. Емітерний перехід транзистора $(p-n) - \text{перехід між емітером і базою})$ повинен бути зміщений в прямому напрямі, тобто до нього повинна бути прикладена пряма напруга.

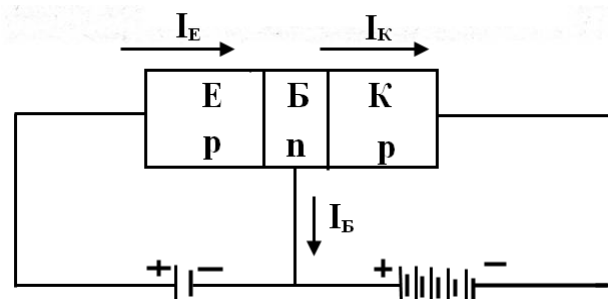


Рисунок 6.2 – Електрична схема біполярного транзистора із загальної бази

Поява потрібної напруги на переходах досягається включенням транзистора в зовнішнє коло, що містить джерело (або джерела) живлення, резистори, конденсатори і так далі

Приділимо увагу не способам створення потрібної напруги, а тому яким чином при виконанні необхідних умов транзистор набуває здатність підсилювати сигнали. Щоб з'ясувати принцип роботи транзистора, припустимо спершу, що база транзистора довга (рис. 6.3).

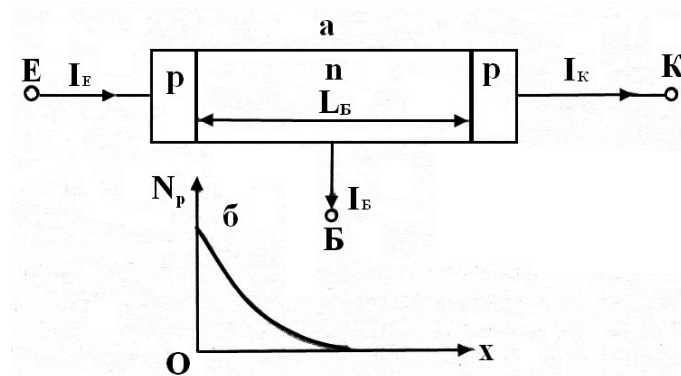


Рисунок 6.3 – Графік розподілу дірок в базі (б)

Довжина бази L_B значно більше дифузійної довжини дірок L_P в ній, тобто $L_B/L_P \gg 1$, що є визначенням довгої бази. Явище дифузії виникає в результаті різної концентрації електронів і дірок в різних елементах транзисторної структури (виникає дифузний потік електронів з n – області в p – область, і навпаки).

Особливість цього виду дифузії в тому, що зайві носії, дифундуючи, рекомбінують. Відстань, яку проходять носії заряду від моменту виникнення до рекомбінації, називається дифузною довжиною (L_P – для дірок, L_n – для електронів). Процес дифузії також характеризується коефіцієнтом дифузії D), який визначається за формулою Ейнштейна:

$$D = \frac{\kappa T}{e} \mu, \quad (6.1)$$

де κ – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура;

e – заряд електрона;

μ – рухливість дірок (електронів)

При довгій базі надходження в базу електронів викликає інжекцію дірок з емітера, і дірки повністю рекомбінують на довгій базі і до колекторного переходу не підходять.

Розглянемо процеси в транзисторній структурі з вузькою базою ($L_B/L_P \ll 1$).

Емітерний і колекторний переходи в такій структурі не можна розглядати як два ізольовані ($p-n$) – переходи, тому, що надходження електронів в базу викликає інжекцію дірок з емітера в базу. Оскільки відстань до колекторного переходу менша, ніж дифузійна довжина, то частина дірок буде викинута полем переходу з бази в колектор.

Це, у свою чергу, означає, що колекторний струм I_K визначатиметься не тільки (і навіть не стільки) струмом зворотнозмщеного колекторного переходу, але і струмом дірок, які переходять з бази в колектор.

Струм дірок, що захоплюються колектором, залежить від концентрації дірок в базі, що визначається темпом надходження дірок в базу, тобто від струму емітера I_E . А цей струм, у свою чергу, залежить від величини струму бази I_B . Струми, що протікають через всі три електроди транзисторної структури, залежні один від одного. Встановимо цей зв'язок.

Посилення по струму. Хай в структурі з вузькою базою заданий струм бази I_B . Кожну секунду в базу надходять $N = I_B/e$ електронів (e – заряд електрона). Ці електрони викликають інжекцію дірок з емітера. Частина дірок, що надійшли в базу, буде захоплена полем колектора і перейде в колектор.

Електрони, що надійшли в базу, неодмінно повинні прорекомбінувати.

Вийти з бази вони не можуть і накопичуватися не повинні. Це означає, що емітер повинен інжектувати в базу дірок більше, ніж надходять в неї електронів.

Чим тонше база, тим більшу частку вхідних в базу дірок захоплює колектор. Якщо база вузька ($L_B / L_P \ll 1$) то частка дірок α , що захоплюються колектором, описується виразом:

$$\alpha = 1 - \frac{L_B^2}{2L_P^2}. \quad (6.2)$$

Залежно від типу і призначення транзистора відношення L_B / L_P лежить в межах 0,5 – 0,05.

Таким чином, значення коефіцієнта α , який називається коефіцієнтом перенесення, для різних транзисторів може лежати в межах від 0,9 до 0,999.

Отже, колектор забирає від 0,9 до 0,999 від загальної кількості дірок, що надійшли з емітера (рекомбінує з електронами, що надходять в базу, лише мала частина дірок – від 0,1 до 0,001 від загальної кількості).

В и с н о в о к . Струм, що надходять в базу транзистора, викликає появу в емітерному і колекторному колах струму в десятки, сотні і навіть тисячі разів більше.

Таким чином, якщо подавати струмовий сигнал, що потребує посилення, на базу транзистора, а вихідний сигнал реєструвати в колекторному або емітерному колі, то сигнал виявиться посиленням.

Коефіцієнт посилення транзистора по струму β визначається відношенням струму емітера I_E до струму бази I_B :

$$\beta = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha}. \quad (6.3)$$

На рис 6.4 показана схема включення транзистора в коло підсилювача. На перехід емітер – база подається постійна зміщуюча напруга U_E у прямому напрямі, а на перехід база – колектор – постійна зміщуюча напруга U_K у зворотному напрямі.

Підсилювана змінна напруга $U_{ВХІД}$ подається на невеликий вхідний опір $R_{ВХІД}$. Посилена напруга $U_{ВІХІД}$, знімається з вихідного опору $R_{ВІХІД}$. При вказаних на схемі знаках зміщуючої напруги опір переходу емітер – база невеликий, опір же переходу база – колектор, навпаки, дуже великий. Це дозволяє узяти в якості $R_{ВІХІД}$ опір великої величини. Підключення прямої напруги U_E знижує потенціальний бар'єр на першому переході, а підключення зворотної напруги U_K підвищує потенційний бар'єр на другому переході.

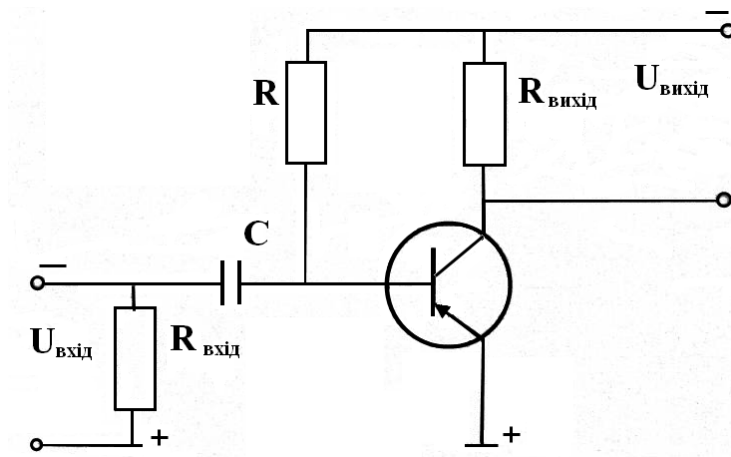


Рисунок 6.4 – Схема включення транзистора в коло підсилювача

Обумовлена зміною вхідної напруги зміна струму в колі емітера приводить до зміни кількості дірок, проникаючих в колектор, і отже, до зміни струму I_K в колі колектора.

Коефіцієнт посилення за напругою:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ВИХІД}}{\Delta U_{ВХІД}} = (\beta - 1) \frac{R_{ВИХІД}}{R_{ВХІД}} \quad (6.4)$$

Посилення за потужністю. Важливою характеристикою схеми є коефіцієнт посилення за потужністю, дорівнюючий відношенню потужності вихідного сигналу $P_{ВИХІД}$ до потужності вхідного сигналу $P_{ВХІД}$:

$$K_P = \frac{P_{ВИХІД}}{P_{ВХІД}} = (\beta - 1)^2 \frac{R_{ВИХІД}}{R_{ВХІД}}. \quad (6.5)$$

Підвищена потужність, що знімається з приладу, з'являється за рахунок джерела струму, включеного в коло колектора.

Швидкодія транзистора. Швидкодія транзистора разом з коефіцієнтом посилення за струмом β є однією з найважливіших його характеристик. Швидкодію транзистора можна характеризувати граничною частотою, яку здатна підсилювати або генерувати транзисторна структура. Швидкодія залежить від фізичних параметрів транзистора (ширина бази і так далі) і від схеми включення транзистора, тобто від того, на який електрод транзистора подається вхідний сигнал і з якого знімається вихідний.

Якщо вхідний сигнал подається в емітер транзистора, а вихідний сигнал знімається з колектора, то гранична робоча частота максимальна:

$$\nu \approx \frac{D_P}{L_B^2}, \quad (6.6)$$

де D_P – коефіцієнт дифузії дірок;

L_B – ширина бази;

ν – частота підсилюваного (сигналу, що генерується).

Сучасні надвисокочастотні біполярні транзистори здатні підсилювати і генерувати сигнали з частотою до десятків гігагерца.

Товщина бази таких транзисторів приблизно $L_B = 0,1$ мкм.

Якщо сигнал подається в базу транзистора, а вихідний знімається з колектора, то в цьому режимі транзистор здатний підсилювати і струм, і напругу.

В цьому випадку коефіцієнт посилення β максимальний, а швидкодія в β разів менша, ніж гранично можлива.

Аналогічними властивостями володіє і $(n - p - n)$ – транзисторна структура.

З вищевикладеного видно, що в роботі транзистора однаково важливу роль відіграють носії зарядів обох знаків – електрони і дірки. Тому вищерозглянута структура носить назву біполярного транзистора.

Польовий транзистор

Прилад складається з звичайного плоского конденсатора, однією з обкладинок якого служить шар металу, інша – пластина напівпровідника (рис. 6.5).

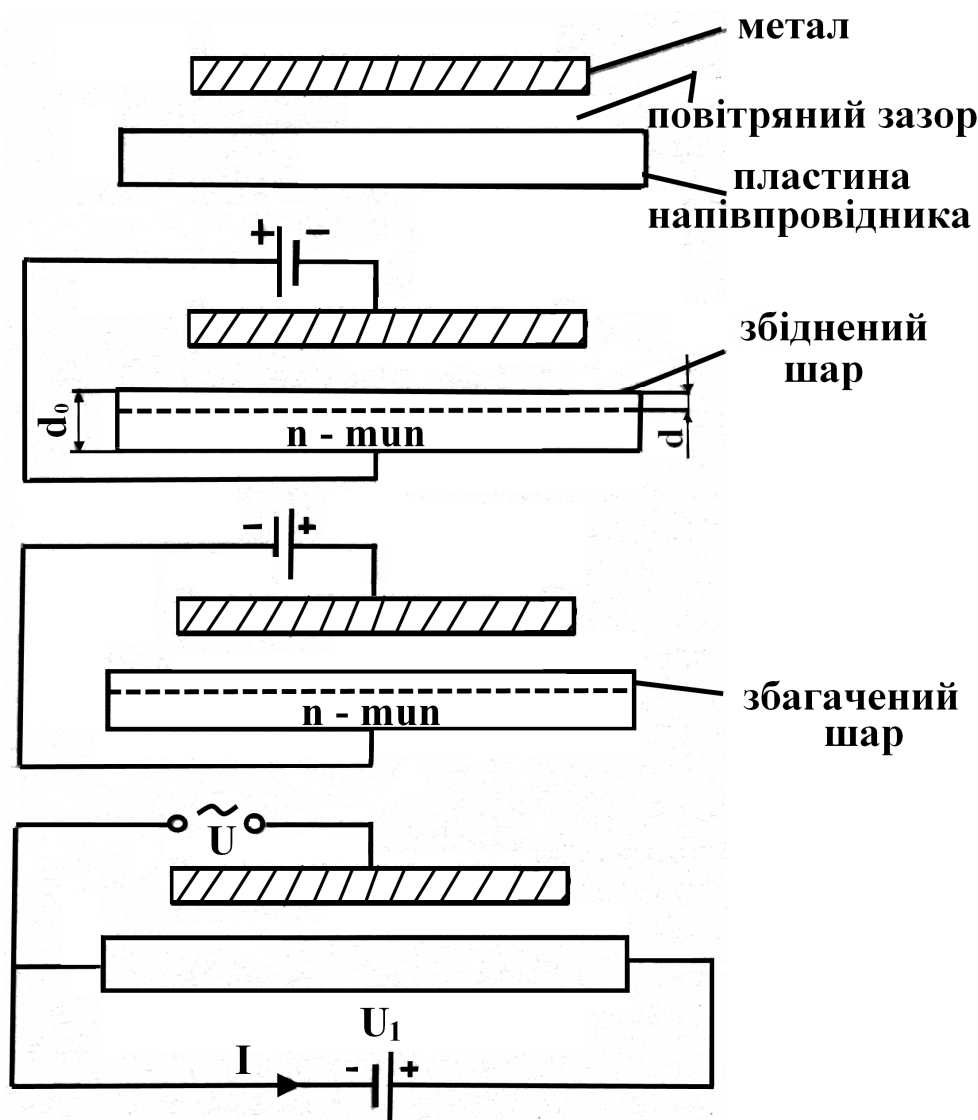
Якщо між обкладинками такого конденсатора прикласти напругу, то в зазорі конденсатора виникне електричне поле E . На поверхні напівпровідникової пластини, там де вона граничить з повітряним зазором, виникає поле $E_1 = E/\epsilon$, де ϵ – діелектрична проникність напівпровідника. Виникле на межі пластини поле проникає в напівпровідник на певну глибину, залежну від концентрації вільних носіїв в напівпровіднику. Залежно від напрямку це поле може або витіснити носії з приповерхневого шару напівпровідника, створивши шар, збіднений носіями, або, навпаки, збагатити приповерхневий шар надлишковими носіями заряду.

Якщо обкладинками конденсатора служить напівпровідник n – типу, як показано на рис. 6.5, то при негативному потенціалі на металевій пластині електрони відтіснятимуться з приповерхневого шару напівпровідника. При зміні полярності прикладеної до конденсатора напруги приповерхневий шар напівпровідникової пластини збагатиться надлишковими електронами.

А зараз прикладемо уздовж напівпровідникової пластини напругу від окремого джерела (рис. 6.5). Якщо прикладена до конденсатора напруга U має таку полярність, що частина напівпровідникової пластини обідняється носіями, то опір пластини зростає і струм I , в колі джерела U_1 , зменшується. Якщо частина пластини збагачується вільними носіями, її опір падає, і сила струму збільшується.

Струм, що протікає уздовж напівпровідникової пластини, керується перпендикулярним до струму електричним полем. Якщо сигнал, що керує перезарядкою

конденсатора U , буде слабкіший, ніж сигнал в колі живлення джерела U_1 , то за допомогою такого приладу буде реалізовано посилення електричних сигналів.



d_0 – товщина напівпровідникової пластини

d – товщина збідненого або збагаченого шару

Рисунок 6.5 – Будова польового транзистора

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається зі зібраного електричного кола (рис 6.6).

Біполярний транзистор змонтований на панелі. У колекторне коло включені однополюсний ключ K_K , потенціометр R_1 , вольтметр V_K , міліамперметр mA_K і джерело живлення, задаюче зворотну напругу $БП_K$.

У емітерне коло включені однополюсний ключ K_E , потенціометр R_2 , мікроамперметр mA_E , опір R і джерело живлення, задаюче пряму напругу $БП_E$.

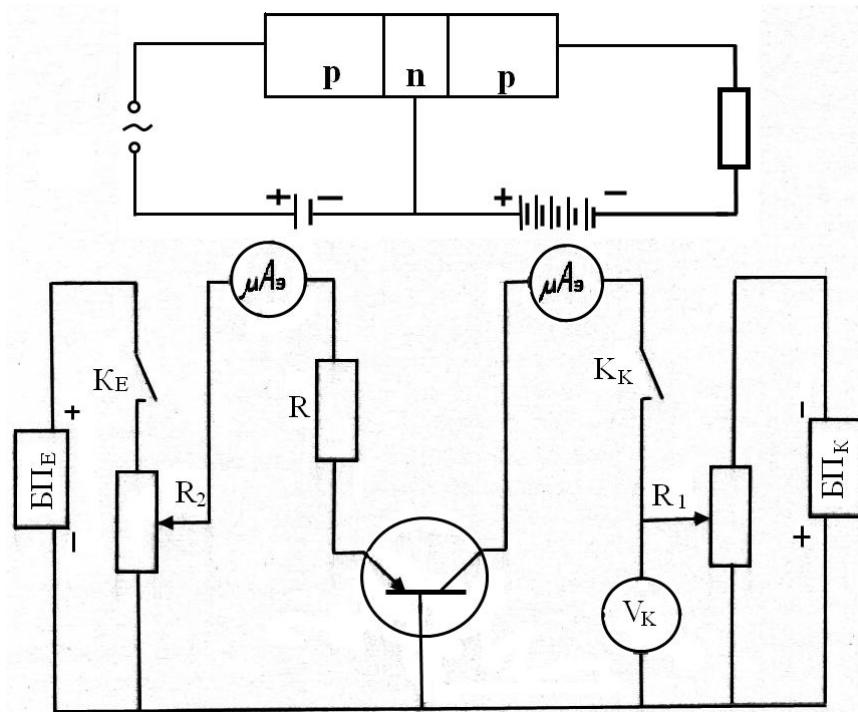


Рисунок 6.6 – Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Отримати від викладача початкову інформацію і дозвіл на проведення експерименту.

Початкова інформація, яку видає викладач, включає величини максимальної напруги, які подаються на емітер (не більше – 4 В) і колектор (не більше – 24 В).

3. Виконати завдання.

З а в д а н н я І. Вивчити залежність струму колектора I_K від напруги на колекторі. U_K при $I_E = const$.

1. Перевірити, щоб коло колектора і емітера були розімкнені (ключі K_K і K_E розімкнені).
2. Потенціометри R_1 і R_2 повинні бути виведені з колекторного і емітерного кіл.
3. Підключити блоки живлення колекторного і емітерного кіл до електричного кола.
4. Встановити за показаннями вольтметрів на блоках живлення максимальну напругу для колекторного і емітерного кіл відповідно до вказівок викладача.
5. Замкнути кола колектора і емітера за допомогою ключів K_K і K_E .
6. При незмінному струмі емітера зняти залежність струму колектора від напруги на колекторі. Отримати сімейство характеристик $I_K = f(U_K)$ при чотирьох фіксованих значеннях струму емітера.

Напруга на колекторі регулюється потенціометром R_1 і вимірюється вольт-

метром V_K . Сила струму I_K вимірюється мікроамперметром μA_K .

7. Змінювати напругу в колекторному колі в межах $0 \leq U_K \leq U_{MAX}$.

8. Результати вимірювань записати в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

	$I_E =$		$I_E =$		$I_E =$		$I_E =$	
№ _{ЗП}	U_K	I_K	U_K	I_K	U_K	I_K	U_K	I_K
	В	мА	В	мА	В	мА	В	мА

9. Схеми привести в початковий стан.

З а в д а н н я 2. Вивчити залежність струму колектора I_K від струму емітера I_E .

1. Перевірити, щоб кола колектора і емітера були розімкнені (ключі K_K і K_E розімкнені).

2. Потенціометри R_1 і R_2 повинні бути виведені з колекторного і емітерного кіл.

3. Підключити блоки живлення колекторного і емітерного кіл до електричних кіл.

4. Встановити за показаннями вольтметрів на блоках живлення максимальну напругу для колекторного і емітерного кіл відповідно до вказівок викладача.

5. Замкнути кола колектора і емітера за допомогою ключів K_K і K_E .

6. При незмінній напрузі на колекторі ($U_K = \text{const}$) зняти залежність струму колектора від струму емітера. Отримати сімейство характеристик $I_K = f(I_E)$ при чотирьох фіксованих значеннях напруги на колекторі.

Струм емітера регулюється потенціометром R_2 і вимірюється міліамперметром mA_E .

7. Результати вимірювань записати в табл. 6.2

Таблиця 6.2

	$U_K =$		$U_K =$		$U_K =$		$U_K =$	
№ _{ЗП}	I_E	I_K	I_E	I_K	I_E	I_K	I_E	I_K
	мА	мА	мА	мА	мА	мА	мА	мА

Обробка результатів вимірювань

1. Характеристики $I_K = f(U_K)$ представити у вигляді сімейства графіків в одній системі координат і зробити висновки.
2. Характеристики $I_K = f(I_E)$ представити у вигляді сімейства графіків в одній системі координат і зробити висновки.

Контрольні питання і завдання

1. Які речовини називаються напівпровідниками?
2. Які рухомі носії зарядів є в чистому напівпровіднику?
3. Яким способом створюють переважно діркову і електронну провідність?
4. Будова, принцип дії і застосування $(p - n)$ – переходу.
5. Що таке біполярний транзистор (тріод)? Його призначення, будова, принцип дії.
6. Чому концентрація домішок в емітері біполярного транзистора значно більше ніж в базі?
7. Який процес називається рекомбінацією електронів і дірок?
8. Як визначаються основні параметри біполярного транзистора: посилення по струму, напрузі, потужності?
9. За рахунок якої енергії посилюються електричні сигнали в транзисторі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Вивчення напівпровідникового тріода із загальним емітером.

Мета. а) вивчити роботу напівпровідникового тріода в статичному режимі за схемою із загальним емітером;

б) вивчити роботу одиночного каскаду підсилювача за схемою із загальним емітером;

в) розрахувати характеристики транзистора;

г) зняти осцилограми напруги у всіх характерних точках підсилювача;

Прилади і устаткування: стенд типу ЕС 4; ламповий вольтметр; електронний осцилограф.

Короткі теоретичні відомості

Транзистори – це напівпровідникові прилади з двома $(p - n)$ – переходами. Їх підрозділяють на дві великі групи **біполярні** і **уніполярні**.

У **біполярних транзисторах** в перенесенні електричного заряду в робочому проміжку беруть участь основні і неосновні носії заряду. Стосовно напівпровідника з провідністю p – типу основними носіями заряду є позитивно заряджені частинки – дірки, а неосновними – негативно заря-

джені електрони.

В **уніполярних транзисторах** перенесення електричних зарядів здійснюється основними носіями напівпровідника провідного шару.

Біполярний транзистор має тришарову структуру ($n - p - n$) або ($p - n - p$) – типу (рис. 7.1).

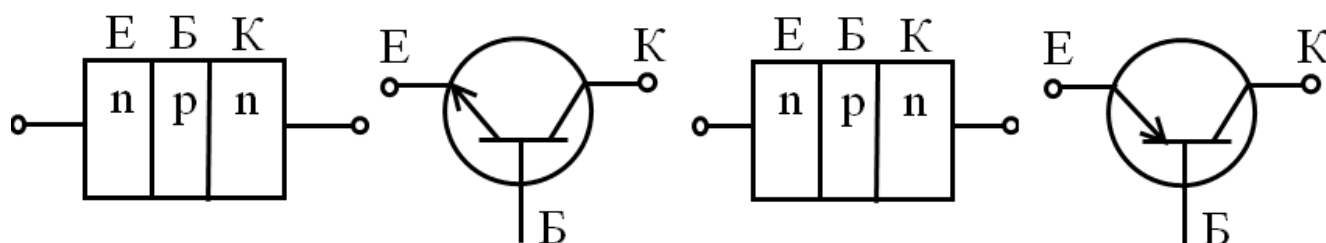


Рисунок 7.1 – Біполярні транзистори

Середня область між двома ($p - n$) – переходами називається **базою (Б)**. Товщина її робиться достатньо малою. Сусідні області називаються **емітером (Е)** і **колектором (К)**. Відповідно ($p - n$) – перехід емітер – база називається емітерним, а перехід база – колектор – колекторним.

Розрізняють наступні режими транзистора:

а) **режим відсічення струмів** (режим закритого транзистора), коли обидва переходи зміщено у зворотному напрямі (закриті), струми в транзисторі малі;

б) **режим насичення** (режим відкритого транзистора), коли обидва переходи зміщено в прямому напрямі, струми в транзисторі максимальні і не залежать від його параметрів;

в) **активний режим**, коли емітерний перехід зміщений в прямому напрямі, а колекторний – в зворотному.

У режимах відсічення і насичення управління в транзисторі відсутнє. Напруга між електродами (режим відсічення) і струми відкритого транзистора (режим насичення) визначаються параметрами компонентів зовнішніх кіл. У активному режимі емітерний струм ($p - n$) – переходу керує струмом колектора. Активний режим називається підсилювальним.

Залежно від загального електроду для вхідного і вихідного кіл транзистори можна включати трьома різними способами:

а) за схемою із **загальним емітером ЗЕ** (отримують найбільше посилення);

б) за схемою із **загальною базою ЗБ** (найбільша стабільність в роботі);

в) за схемою із **загальним колектором ЗК** (володіє високим вхідним і низьким вихідним опором).

Схема включення і напрям струмів ($n - p - n$) – транзистора з ЗЕ, що працює в активному режимі, наведена на рис. 7.2.

Емітерний перехід зміщується в прямому напрямі (до p – області під-

ключений позитивний полюс джерела струму, а до n – області – негативний). Це приводить до інжекції (уприскування) електронів з емітера n в базу p . Дірки з бази в емітер проникають також легко, для них емітерний перехід також включений в прямому напрямі. Але концентрація дірок в базі значно менше концентрації вільних електронів в області емітера. Тому струмом дірок з бази в область емітера можна нехтувати.

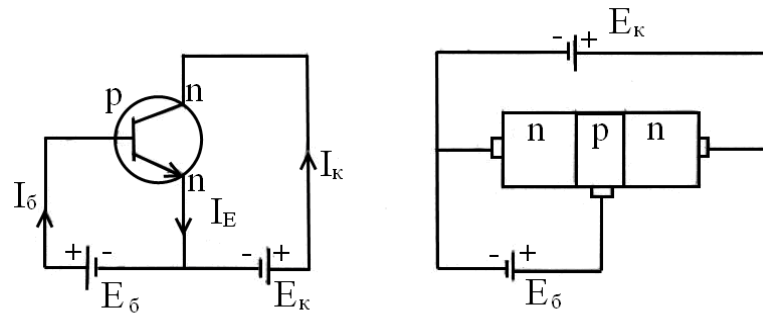


Рисунок 7.2 – Живлення постійним струмом ($n - p - n$) біполярного транзистора з ЗЕ

Біля однієї десятої частини електронів рекомбінують з дірками в області бази і через неї проходить слабкий струм $I_б$. Велика частина електронів дифундує крізь вузьку базову область в полі колекторного переходу, який для них відкритий. Таким чином, струм колектора практично рівний струму емітера, відрізняючись від нього на невелику частку унаслідок рекомбінації електронів в базовій області.

Вхідна змінна напруга, яку необхідно підсилити, подається на ділянку база– емітер. З опору навантаження R_H знімають вихідний сигнал (рис. 7.3).

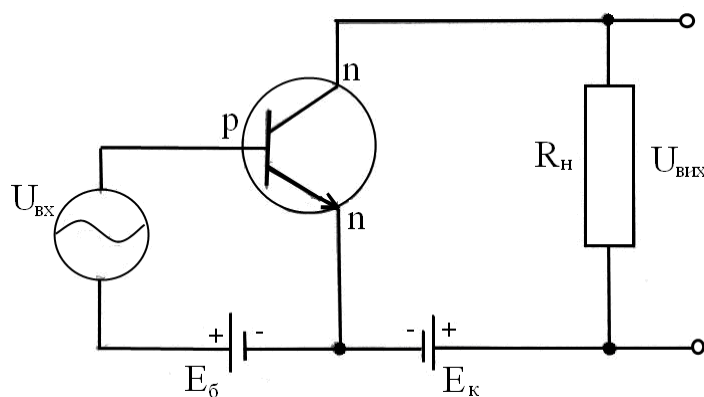


Рисунок 7.3 – Схема включення транзистора з ЗЕ

Коли $R = 0$, то режим **статичний**. В цьому випадку залежності між струмами і напругами транзистора називають **статичними характеристиками**. Статичні характеристики знімають на постійному струмі. У схемі

з ЗЕ вхідними характеристиками є $I_{\bar{o}} = f(U_{\bar{o}e})$ при $U_{ке} = \text{const}$ ($U_{\bar{o}e}, U_{ке}$ – напруга зсуву), а вихідними залежності $I_{\kappa} = f(U_{ке})$ при $I_{\bar{o}} = \text{const}$. По статичним характеристикам (рис. 7.4, а, б) транзистора за схемою з ЗЕ можна знайти вихідний опір (біля $20 \div 50$ кОм):

$$R_{BIX} = \frac{\Delta U_{ке}}{\Delta I_{\kappa}} \quad \text{при} \quad I_{\bar{o}} = \text{const};$$

вхідний опір (біля $1 \div 5$ кОм);

$$R_{BX} = \frac{\Delta U_{\bar{o}e}}{\Delta I_{\bar{o}}} \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

і коефіцієнт посилення струму бази

$$\beta = \frac{I_{\kappa}}{I_{\bar{o}}} \quad \text{при} \quad U_{ке} = \text{const};$$

зазвичай $\beta = 10 \div 1000$.

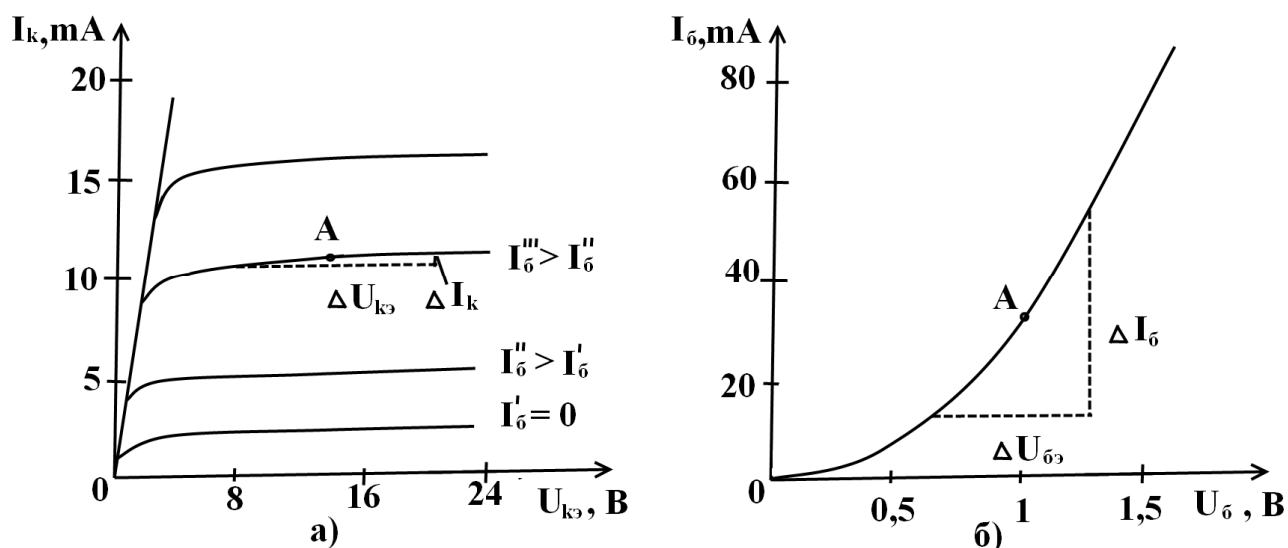


Рисунок 7.4 – Статичні характеристики біполярного транзистора, включеного за схемою з ЗЕ: а) вихідні, б) вхідна.

Опис принципової схеми

Принципова схема стенду ЕС 4 показана на рис. 7.5.

Прилад ІІ 1 служить для вимірювання струму бази. У разі вивчення одиночного підсилювального каскаду в колі бази тече змінний струм. Діоди $D_1 - D_4$ служать для випрямлення цього струму.

Опір R_1 є обмежуючим в колі бази. Опори R_2, R_9 використовуються для вибору робочої точки тріода. Опори R_3, R_4 є опорами в колі колектора і дозволяють за допомогою тумблерів B_3, B_4 змінювати величину R_{κ} від 0 до 3–х кОм. Опори R_5, R_7, R_{10} включені в коло емітера, опір R_5 викорис-

товується разом з конденсатором C_2 як коло автоматичного зміщення тріода при дослідженні схеми з загальним емітером. Опори R_7 і R_{10} є опорами в колі емітера при дослідженні каскаду з загальним колектором. Величина опорів вибирається за допомогою тумблерів B_6, B_9, B_{11} . Опори R_6 і R_8 є опорами загрузки для одиночного каскаду. Регулювання напруги вхідного сигналу здійснюється потенціометром.

Прилад ІІ 2 служить для вимірювання величини струму колектора, а ІІ 3 – для вимірювання напруги джерела живлення, яке можна регулювати за допомогою R_{11} .

Методика проведення лабораторної роботи

З а в д а н н я 1. Зняття сімейства вихідних характеристик.

Тумблер B_{12} поставити в положення « $U_{вх}$ ». Тумблери $B_1, B_3, B_4, B_9, B_{11}$ необхідно поставити в положення «вкл». Тумблери B_2 і B_5 розімкнути.

Регулювання вхідної напруги здійснюється потенціометром R_{12} і контролюється ламповим вольтметром, включеним в гніздо Γ_1 .

У статичному режимі зняти залежності $I_k = f(U_{ке})$ при $I_{\bar{o}} = 40, 50, 60, 70$ мкА. Результати вимірювань занести у таблицю.

Після вимірювань зменшити напругу і струми в схемі до мінімуму.

Побудувати графіки залежності $I_k = f(U_{ке})$ і струми $I_{\bar{o}}$ як параметра. По графіку знайти точку (А), відповідну середині лінійної ділянки і записати відповідне значення $I_{\bar{o}}^*$ і $U_{ке}^*$. Визначити для цієї точки коефіцієнт посилення по струму β і величину вихідного опору транзистора $R_{ВХ}$.

З а в д а н н я 2 Зняття вихідних характеристик.

Для значень $U_{ке} = 0$ В і $U_{ке} = U_{ке}^*$ зняти залежності $I_{\bar{o}} = f(U_{\bar{o}e})$. Результати занести в таблицю і побудувати графіки залежності $I_{\bar{o}} = f(U_{\bar{o}e})$. Для графіка, побудованого для значення $U_{ке} = U_{ке}^*$, для точки $I_{\bar{o}} = I_{\bar{o}}^*$ по нахилу графіка визначити величину вхідного опору транзистора $R_{ВХ}$.

З а в д а н н я 3. Вивчення роботи одиночного каскаду підсилювача за схемою з ЗЕ.

У цьому режимі роботи стенду необхідно тумблер B_{12} поставити в положення « $U_{вх} \sim$ », тумблер B_{14} в положення «із загальним емітером», тумблер B_1 розімкнути, тумблера B_2 і B_5 замкнути, тим самим вибирається необхідна напруга зсуву підсилювального каскаду.

Далі тумблерами $B_3, B_4, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}, B_{11}, B_{16}$ вибираються необхідні величини елементів підсилювача і навантаження, які досліджуються за завданням викладача.

Вихідна напруга перевіряється ламповим вольтметром, підключеним до гнізда Γ_2 .

Встановити режим роботи транзистора $U_{ке} = U_{ке}^*$ $I_{\bar{o}} = I_{\bar{o}}^*$. Для різних значень опорів R_k і навантаження R_n зняти значення U_{BX} , U_{BIX} і визначити коефіцієнт посилення каскаду по напрузі: $K = \frac{U_{BIX}}{U_{BX}}$. По екрану ос-

цилографа переконатися в збільшенні амплітуди після посилення сигналу.

Закінчивши вимірювання зменшити до мінімуму напругу і струми в схемі, вимкнути прилади.

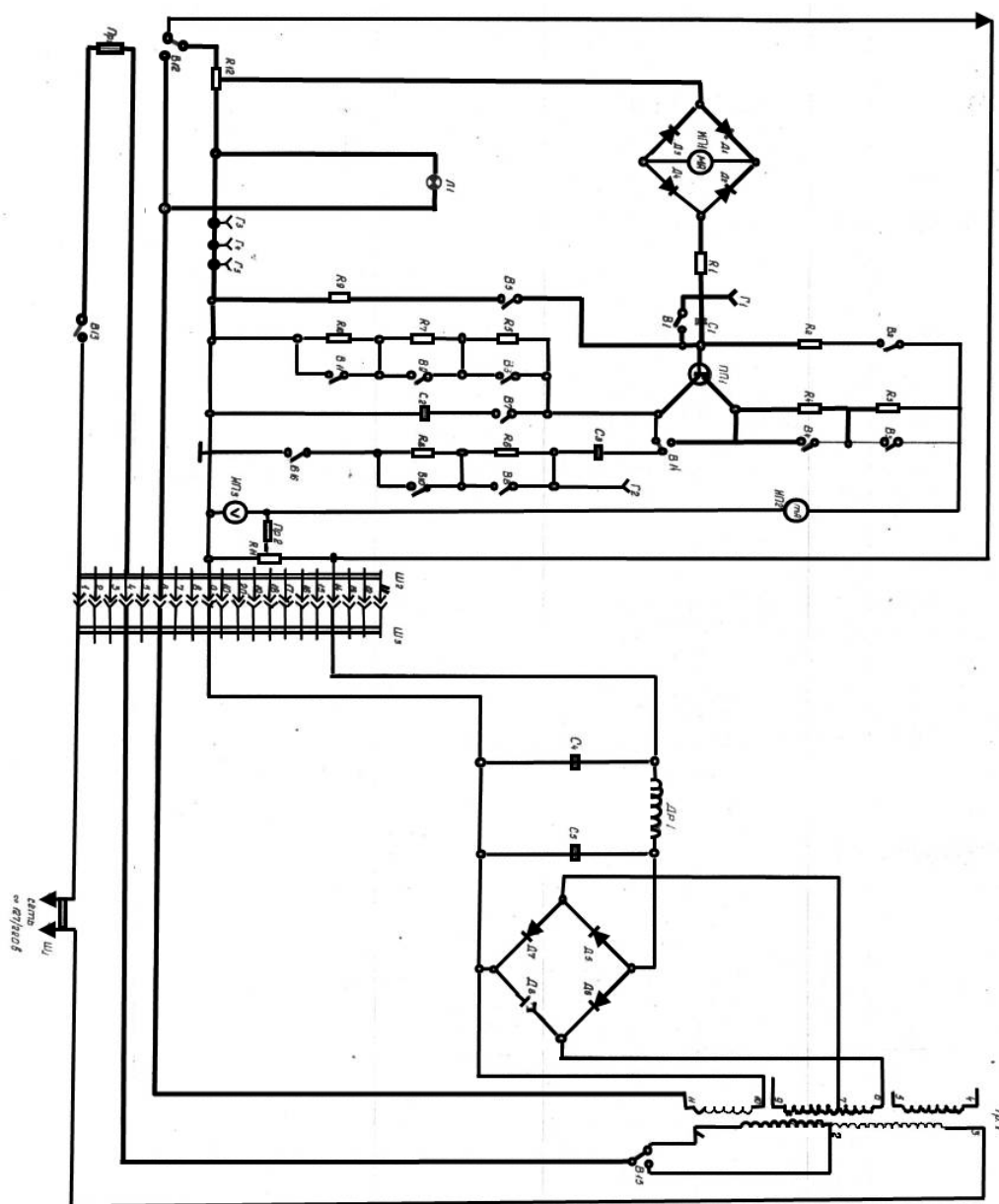


Рисунок 7.5 – Принципова схема стенду ЕС 4

Контрольні питання і завдання.

1. Що таке транзистор? Назвіть типи і режими роботи транзистора.
2. Намалюйте принципову схему включення $(n - p - n)$ і $(p - n - p)$ тран-

зисторів з ЗЕ.

3. Які носії заряду є основними і неосновними в колекторній, емітерній і базовій областях транзистора?
4. Який принцип роботи транзистора з ЗЕ в активному режимі?
5. Дайте аналіз експериментальних статичних характеристик $I_k = f(U_{ke})$, $I_o = f(U_{oe})$.
6. Як визначаються параметри транзистора ($R_{BIX}, R_{BX}, \beta, K$)?

ДОДАТОК А

Обробка експериментальних даних за допомогою ЕОМ

1. Увімкнути ЕОМ та принтер. Вставити папір.
2. Увійти в каталог **ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА**.
3. Запустити потрібний файл, користуючись таблицею А1.
4. Увести: прізвище, ім'я та по батькові, назву групи, дату виконання розрахунків.
5. Результати комп'ютерної обробки лабораторної роботи показати викладачу, а потім підклеїти їх у зошит.

Таблиця А1

Номер лабораторної роботи	Назва ехе – файла	Назва Excel – файла
Фізика твердого тіла		
1 т		
2 т		2 т
3 т	3_2т.ехе	3 т
4 т		4 т
5 т		5 т
6 т	6_2т.ехе	6 т
7 т		

ДОДАТОК Б

Коефіцієнти Стюдента

Таблиця Б.1

n	α – довірна імовірність	
	0,9	0,95
2	6,31	12,7
3	2,92	4,3
4	2,35	3,18
5	2,13	2,78
6	2,02	2,57
7	1,94	2,45
8	1,90	2,37
9	1,86	2,31
10	1,83	2,26
11	1,81	2,23
12	1,80	2,20
13	1,78	2,18
14	1,77	2,16
15	1,76	2,15
16	1,75	2,13
17	1,75	2,12
18	1,74	2,11
19	1,73	2,10
20	1,73	2,09
21	1,73	2,09
22	1,72	2,08
23	1,72	2,07
24	1,71	2,07
25	1,71	2,06
26	1,71	2,06
27	1,71	2,06
28	1,70	2,05
29	1,70	2,05
30	1,70	2,05
31	1,70	2,04

ДОДАТОК В

Табличні постійні

Числові значення фізичних постійних, таких, що зустрічаються в даних методичних вказівках

$e = -1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд електрона;

$m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг – маса спокою електрона;

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постійна Больцмана;

$R = 1,097 \cdot 10^7$ м⁻¹ – постійна Рідберга;

$c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у вакуумі.

Таблиця В.1

Довжини хвиль деяких спектральних ліній (нм)					
Елемент	λ	Елемент	λ	Елемент	λ
He	388,9	H	397,0	Li	460,3
	402,6		410,2	Na	610,4
	447,1		434,0		670,8
	471,3		486,1		589,0
	492,2		656,3		589,6
	501,6		404,5		
	587,6		691,1		
	657,8		693,9		
	706,5		766,5		

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т.3.: учебное пособие. – 3–е изд., перераб. / И. В. Савельев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 320 с.
2. Трофимова Т. И. Курс физики: учебник для студентов вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 432 с.
3. Яворский Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.
4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 351 с.
5. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров/ ред. кол. Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
6. Льовінштейн М. А. Ознайомлення з напівпровідниками / М. А. Льовінштейн. – М.: Наука, 1984.

Галіахметов Алмаз Мансурович

Бруяка Ольга Олегівна

Уколов Олексій Іванович

**МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ КУРСУ ФІЗИКИ
«ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА І АТОМНА ФІЗИКА»
ГАЛУЗІ ЗНАНЬ 0701 «ТРАНСПОРТ І ТРАНСПОРТНА
ІНФРАСТРУКТУРА» ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ
ПІДГОТОВКИ – 6.070106 «АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ»,
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 0601 – «БУДІВНИЦТВО І АРХІТЕКТУРА»,
НАПРЯМ ПІДГОТОВКИ 6.060101 – «БУДІВНИЦТВО**

Підписано до випуску 24.11.2011р. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 3,25 Зам. № 454.

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Автомобільно– дорожній інститут
84646, м. Горлівка, вул. Кірова, 51
Е – mail:druknt@rambler.ru

Редакційно– видавничий відділ

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 2982 від 21.09.2007р.