

Асоціація «Приладобудівники України»  
ПрАТ «Електровимірювач»



## ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО НАБОРУ «ЕЛЕКТРОДИНАМІКА»

Частина 2. Електричний струм у напівпровідниках,  
технічне застосування напівпровідників.

Електричний струм у вакуумі, рух електронів у  
електричному і магнітному полях.

В посібнику описана методика і техніка демонстраційного  
шкільного фізичного експерименту по вище вказаним темам. У  
всіх описаних експериментах використовується  
демонстраційний набір «Електродинаміка», який розроблений  
і виготовляється публічним акціонерним товариством  
«Електровимірювач»

© Кулик В. А.  
Житомир 2021



## Зміст

1) «Залежність опору напівпровідника від температури».....	3
2) «Залежність опору напівпровідника від освітленості» .....	5
3) «Одностороння провідність напівпровідникового діода» .....	6
4) «Вольтамперна характеристика напівпровідникового діода».....	7
5) «Випрямлення змінного струму напівпровідниковим діодом ».....	8
6) «Будова транзистора ».....	9
7) «Підсилення постійного струму транзистором ».....	10
8) «Робота транзистора в ключовому режимі».....	13
9) «Підсилення змінного струму транзистором » .....	14
10) «Робота термореле » .....	15
11) «Робота фотореле » .....	16
12) «Джерело струму на основі напівпровідникового фотоелемента» .....	18
13) «Явище термоелектронної емісії в вакуумі».....	19
14) «Одностороння провідність вакуумного діода» .....	21
15) «Вольтамперна характеристика вакуумного діода».....	22
16) «Рух електронів в магнітному і електричному полі» .....	24
17) «Трьохелектродна лампа (тріод) » .....	25
ЛІТЕРАТУРА.....	28

## ДОСЛІД № 1

### «Залежність опору напівпровідника від температури»

**Мета дослід:** продемонструвати залежність опору напівпровідника від температури.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, термоповітродувка, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вимикача двопозиційного, міліамперметра і вольтметра постійного струму, терморезистора ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Однією з характерних властивостей напівпровідників є те, що вони мають від'ємний температурний коефіцієнт опору. На відміну від металів, опір яких при нагріванні збільшується, опір напівпровідників з підвищенням температури зменшується.

Для демонстрації цієї властивості напівпровідників складіть на демонстраційні дощці електричне коло зображене на рис. 1.

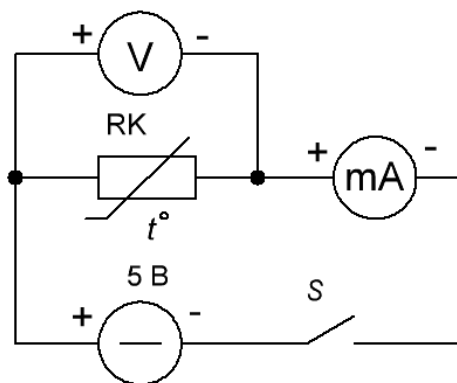


Рис. 1

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль міліамперметра для вимірювання сили постійного струму, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В Підключіть зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

Замкніть електричне коло. Знаючи напругу на термісторі і величину струму який через нього проходить розрахуйте за законом Ома величину опору термістора ( $R = \frac{U}{I}$ ) при кімнатній температурі. Підігріваючи термістор від джерела тепла, в якості якого найкраще використати термоповітродувку, спостерігаємо як збільшується сила струму в колі. При охолодженні термістора сила струму в колі зменшується, що свідчить про зростання опору термістора.

Демонструючи дослід слід звернути увагу учнів на таке. Багато учнів, розповідаючи про електричні властивості напівпровідників, говорять, що напівпровідники мають односторонню провідність. Це не зовсім правильно. Якщо в досліді з термістором повернути його на 180°, то можна впевнитись у тому, що струм у колі буде такий самий, як і при прямому вмиканні термістора. Односторонню провідність мають лише напівпровідникові прилади, в яких створено р-n-перехід, або запірний шар, про що йтиметься далі.

Зменшення опору напівпровідників з підвищенням їх температури пояснюється зростанням при цьому в них концентрації вільних носіїв заряду. Рухливість вільних носіїв заряду в напівпровідниках, як і в металах, з підвищенням температури зменшується, але концентрація вільних носіїв зарядів зростає значно швидше, що й зумовлює зменшення опору (концентрація вільних носіїв заряду в металах від температури практично не залежить).

Значна залежність опору напівпровідників від температури застосовується в термісторах (терморезисторах), що використовуються в різних установках автоматики і телемеханіки, в радіотехніці, термометрії для вимірювання температури, як індикатори теплового випромінювання, для регулювання пускових струмів електродвигунів, для стабілізації напруги в колах постійного і змінного струмів, для вимірювання швидкості потоку і ступеня розрідження газу та в

багатьох інших випадках. Принцип дії цих установок такий. Терморезистор включається в електричне коло того чи іншого пристрою. Його опір значно перевищує опір інших елементів кола і, що найголовніше, сильно залежить від температури. Тому сила струму в колі визначається опором терморезистора. З підвищенням температури терморезистора сила струму зростає, і навпаки, з пониженням температури сила струму зменшується. Таким чином, зміни температури терморезистора викликають зміни сили струму в колі. Це дає можливість застосовувати терморезистори в десятках різних схем, і створювати багато автоматичних пристроїв. За допомогою терморезисторів можна просто й надійно здійснювати дистанційне вимірювання і регулювання температури, пожежну сигналізацію, контроль за температурним режимом працюючих машин і механізмів тощо.

На сьогоднішній день промисловість виробляє різні типи терморезисторів із різними електричними характеристиками і конструкціями виконання.

## ДОСЛІД № 2

### «Залежність опору напівпровідника від освітленості»

**Мета досліду:** продемонструвати залежність опору напівпровідника від освітленості.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, джерело світла (електрична лампа на підставці або настільна тощо), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вимикача двопозиційного, міліамперметра і вольтметра постійного струму, фоторезистора; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Щоб показати залежність опору напівпровідників від освітленості встановіть на демонстраційній дошці зберіть електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис. 2.

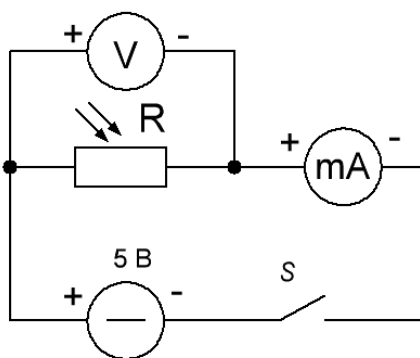


Рис. 2

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль міліамперметра для вимірювання сили постійного струму, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Підключіть зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

Затемніть фоторезистор (наприклад ковпачком), замкніть коло та спостерігайте, що міліамперметр не відмічає струму. В цьому випадку коли на фоторезистор не потрапляє світло він має великий опір (більше мегаома). Якщо ковпачок зняти то побачимо що міліамперметр покаже деякий, в залежності від освітленості кабінету, струм, що свідчить про зменшення опору фоторезистора. Запропонуйте учням, використовуючи закон Ома, визначити цей опір. Освітлюючи фоторезистор електричною лампою або іншим джерелом світла спостерігайте наступне збільшення струму.

Ще раз затемніть фоторезистор, та переконайтесь, що струм міліамперметром знову не відмічається.

Це явище пояснюється внутрішнім фотоелементом – звільненням носіїв заряду в середині напівпровідника під дією світла. Якщо освітленість фоторезистора залишається сталою, то в напівпровіднику через якийсь час встановиться рівновага між кількістю носіїв заряду, що звільнюються і кількістю носіїв, що рекомбінують. Опір матиме певну величину, і сила струму в колі буде сталою. Після припинення дії світла звільнені носії заряду рекомбінують, опір напівпровідника набуває попереднього значення.

Фоторезистори застосовуються у вимірювальній техніці, наприклад для визначення освітленостей різних об'єктів при відео- і фотозйомках. Фоторезистори широко застосовуються в різноманітних фотоелектричних пристроях автоматики й телемеханіки. Завдяки високій чутливості фоторезистори можна використовувати для фіксації випромінювань настільки малої потужності, що людське око на них не реагує. Одним з варіантів застосувань фоторезисторів є перетворення енергії модульованого світлового потоку в змінний струм, що використовується для відтворення інформації записаної на оптичних носіях.

### ДОСЛІД № 3

## «Одностороння провідність напівпровідникового діода»

**Мета дослід:** продемонструвати односторонню провідність р-n-переходу.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вимикача двопозиційного, амперметра постійного струму, напівпровідникового діода, лампа розжарювання 6,3 В; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Наявність напівпровідників з різними типами провідності дає змогу створити прилади з так званим р-n-переходом, або запірним шаром. Основною властивістю р-n-переходу є його одностороння провідність, яка застосовується в напівпровідникових діодах.

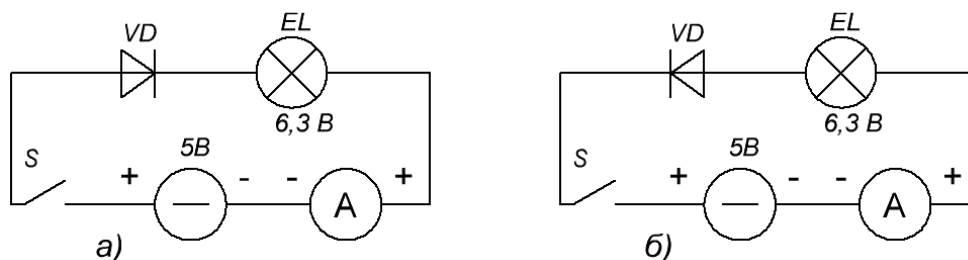


Рис. 3

Для демонстрування односторонньої провідності напівпровідникового діода складаємо на демонстраційній дошці електричне коло за схемою рис. 3,а. Під'єднайте модуль амперметра до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль для вимірювання в діапазоні 1А шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення. Підключіть зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

Замкніть коло, лампа повинна світитися, амперметр покаже величину струму в колі. Якщо змінити напрям діода в колі, як показано на рис. 3,б, то лампа світитися не буде і прилад струму не покаже.

Отже напівпровідниковий діод, а відповідно і р-n-перехід проводить струм лише в одному напрямку і може бути використаний для випрямлення змінних струмів.

## ДОСЛІД № 4

### «Вольтамперна характеристика напівпровідникового діода»

**Мета досліду:** продемонструвати залежність струму в напівпровідниковому діоді від прикладеної напруги.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вимикача двопозиційного, міліамперметра і вольтметра постійного струму, напівпровідникового діода, резистора 47 Ом, потенціометра; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для демонстрації залежності струму в напівпровідниковому діоді від прикладеної до нього напруги при його прямому включенні, на демонстраційній дошці зберіть електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис. 4. Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль міліамперметра для вимірювання сили постійного струму, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку потенціометра поверніть проти годинникової стрілки до упору. Підключіть зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

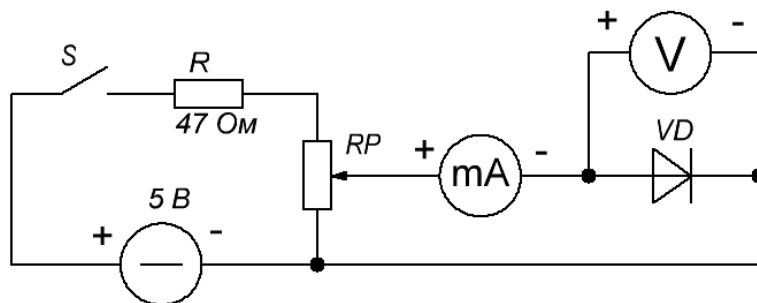


Рис. 4

Підготуйте на класній дошці таблицю для запису результатів вимірювань (табл. 1)

Табл. 1

Напруга, U, В	0	0,2	0,4	0,6	0,65	0,7
Сила струму I, А						

Замкніть вимикач. При нульовій напрузі струм в діоді дорівнює нулю, запишіть це значення до таблиці. Плавнo обертаючи ручку потенціометра за годинниковою стрілкою збільшіть напругу на діоді до 0,2 В. Струм через діод в цьому випадку також відсутній, запишіть це до таблиці. Збільшіть напругу до 0,4 В, при цьому вже може спостерігатися незначний струм, запишіть його значення до таблиці. Аналогічно виміряйте струм при інших напругах на діоді (див. табл. 1).

За результатами вимірювань побудуйте на класній дошці графічну залежність струму напівпровідникового діода від прикладеної напруги, яка називається вольтамперною характеристикою діода. На горизонтальній вісі графіка в умовно вибраному масштабі відкладіть напругу в вольтах, а на вертикальній – силу струму в міліамперах.

Із графіка видно, що вольтамперна характеристика напівпровідникового діода в загальному є нелінійною. Починаючи із певного значення, при підвищенні напруги струм спочатку плавно зростає, а далі починає різко зростати. Із графіка, також видно, що струм починаючи з деякого значення, залежить від напруги майже лінійно.

## «Випрямлення змінного струму напівпровідниковим діодом»

**Мета дослід:** продемонструвати однопівперіодне випрямлення змінного струму напівпровідниковим діодом.

**Обладнання:** гальванометр від амперметра демонстраційного, осцилограф, із набору "Електродинаміка": модулі – трансформатора, лампи розжарювання 6,3В, вимикача двопозиційного, амперметра, джерела змінного струму, напівпровідникового діода, реостат 0-6 Ом; з'єднувальні провідники.

Для демонстрації однопівперіодного випрямлення змінного струму на демонстраційній дошці зберіть електричне коло за схемою наведеною на рис. 5. На реостаті встановіть мінімальний опір, та під'єднайте паралельно йому гальванометр, який в досліді буде фіксувати постійний по напрямку струм, та осцилограф – для зняття осцилограми струму в колі.

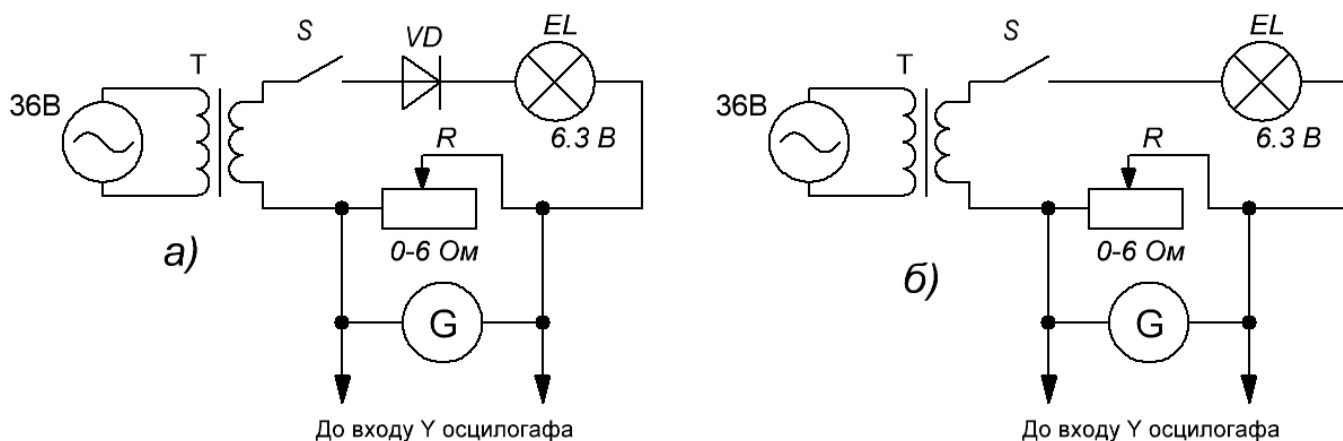


Рис.5

Осцилограф підготуйте для роботи в режимі внутрішньої синхронізації, ручку вхідного атенюатора по вісі Y встановіть в положення "0,05 V/ДЕЛ", а ручку розгортки – "5 mS/ДЕЛ".

Під'єднайте зібрану установку до мережі змінного струму 36 В.

Перед початком демонстрації, встановіть такий опір реостата, щоб стрілка гальванометра відхилялась до кінцевої поділки шкали, та отримайте на екрані осцилографа стійку осцилограму.

При замиканні кола засвічується лампа, зверніть увагу учнів на яскравість її світіння та на покази приладів: гальванометр фіксує постійний по напрямку струм, а осцилограф показує його форму.

Учням пояснюють, що під дією зовнішньої змінної напруги, запірний шар напівпровідникового діода "пульсує": змінюється його товщина та опір. Це створює сприятливі умови для проходження електричного струму від діркового напівпровідника до електронного (пропускний напрям) та несприятливі умови для проходження струму в зворотному напрямку. Тобто, протягом другого півперіоду струм стає настільки малим, що ним можна знехтувати.

Якщо діод виключити із схеми (рис. 5,б), або просто замкнути його провідником, то побачимо, що в цьому випадку, лампа світиться яскравіше ніж в попередньому випадку, а на осцилографі спостерігається струм синусоїдальної форми. Амперметр постійного струму на змінний струм не реагує.

## ДОСЛІД № 6 «Будова транзистора»

**Мета дослід:** продемонструвати електронно-діркові переходи транзистора

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – лампи розжарювання 6,3В, вимикача двопозиційного, джерела постійного струму, транзистора; з'єднувальні провідники.

Особливо широко почали застосовуватися напівпровідники в техніці після створення у 1948 році напівпровідникових підсилювачів електричних коливань — транзисторів. Транзистор є кристалом напівпровідника (кремнію або германію), в якому внесенням домішок створені три області з чергуванням типів провідності: діркова-електронна-діркова (p-n-p) або електронна-діркова-електронна (n-p-n), між якими містяться два p-n-переходи.

Ці три області називають відповідно емітером, базою і колектором транзистора.

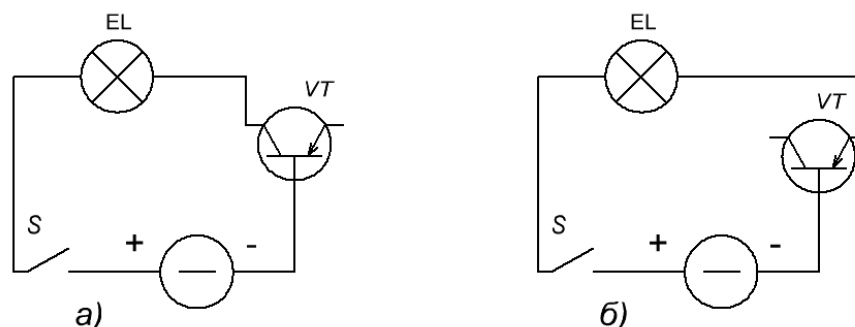


Рис. 6

Для дослідження використаємо транзистор структури p-n-p. Покажемо, що база має електронну провідність а колектор діркову. Для цього зберіть на демонстраційній дошці електричне коло у відповідності до рис. 6. Спочатку від'ємний полюс джерела живлення з'єднайте з базою транзистора, а додатній – вимикачем, лампою розжарювання на 6,3 В та колектором транзистора (рис. 6,а). Під'єднайте зібране коло до відповідних клем «+», «-» 5В джерела 43008-У. Якщо замкнути коло, то лампа загоряється, що вказує на наявність струму в колі. Якщо змінити полярність підключення джерела, то, при замиканні кола, лампа світитися не буде, – що вказує на наявність p-n-переходу між колектором і базою транзистора.

Далі додатній полюс джерела підключіть, через вимикач і лампу розжарювання, до емітера транзистора, а базу – до від'ємного полюса джерела. При замиканні кола лампа загоряється. При змінні полярності підключення джерела, лампа горіти не буде, тобто між емітером і базою транзистора також існує p-n-перехід.

Даний дослід, дозволяє зробити висновок, що транзистор має два електронно-діркові переходи. Для обох переходів транзистора структурі p-n-p пропусковим напрямком є такий, при якому до бази підключений від'ємний полюс джерела струму, а до емітера і колектора – додатній.

Таким чином, транзистор можна представити як два діоди, що мають одну спільну область. Але, необхідно наголосити, що представлення транзистора як звичайна сукупність двох діодів, які з'єднані послідовно, є неправильним. Справа в тому, що у транзистора струм колекторного переходу залежить від величини струму, який протікає через емітерний перехід. У двох окремих діодів при будь-якій схемі їх з'єднання струм в кожному окремому діоді залежить лише від величини і полярності прикладеної до нього напруги.

## ДОСЛІД № 7

### «Підсилення постійного струму транзистором»

**Мета дослід:** продемонструвати здатність напівпровідникового транзистора підсилювати постійний електричний струм.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, термоповітродувка, із набору "Електродинаміка": модулі – транзистора, потенціометра, резистора 470 Ом, вимикача, джерела постійного струму, міліамперметра та амперметра постійного струму; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для демонстрації підсилення постійного струму транзистором на демонстраційній дошці збирають електричне коло по схемі наведеній на рис.7.

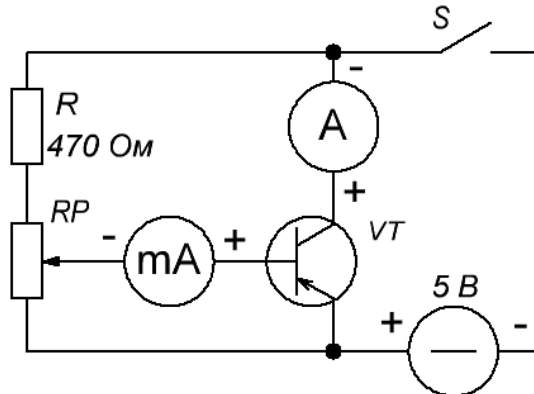


Рис. 7

В даному колі транзистор підключений по схемі із спільним емітером. При такому способі підключення транзистора отримують велике підсилення по струму. Емітений перехід транзистора включений в пропускну напрямку. Струм що буде підсилюватися береться із резистивного дільника, який складається із послідовно з'єднаних резистора і потенціометра, і під'єднаний до джерела живлення через вимикач. Рухомий середній вихід потенціометра під'єднується через модуль міліамперметра до бази транзистора.

Зворотна напруга на колекторний перехід транзистора в схемі із спільним емітером подається через емітерний перехід. Тому додатній полюс джерела живлення з'єднують із емітером а від'ємний під'єднують через вимикач і модуль амперметра до колектора транзистора.

Опір колекторного переходу в режимі зворотного струму в тисячі раз більший опору емітерного переходу. Тому вся прикладена напруга падає практично на високоомний колекторний перехід транзистора.

Для зручності, результати вимірювань краще записувати в заздалегідь підготовлену на класній дощі таблицю. (табл. 2).

Табл. 2

Струм бази, мА	0	1	2	3	4
Струм колектора, мА					

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль міліамперметра для вимірювання сили постійного струму, а амперметра – для вимірювання в діапазоні 1 А. Ручку потенціометра поверніть проти годинникової стрілки до упора. Підключіть зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

Замкнувши вимикач, спостерігають при нульовому струмі бази, спостерігають ледь помітний струм колектора, значення якого заносять до таблиці.

Поворотом ручки потенціометра за годинниковою стрілкою встановлюють струм бази 1 мА, спостерігають струм колектора в цьому випадку і записують його значення до таблиці. Аналогічно вимірюють стум колектора при інших струмах бази. Результати записують до таблиці.

Таким чином, дослід показує, що колекторний струм транзистора керується струмом бази і знаходиться в прямій залежності від його величини. Зміна струму в колі колектора в десятки разів перевищує зміну струму в колі бази.

Учням повідомляють, що відношення зміни сили струму колектора до зміни сили струму бази при постійній напрузі на колекторі називається коефіцієнтом підсилення транзистора по струму в схемі із спільним емітером.

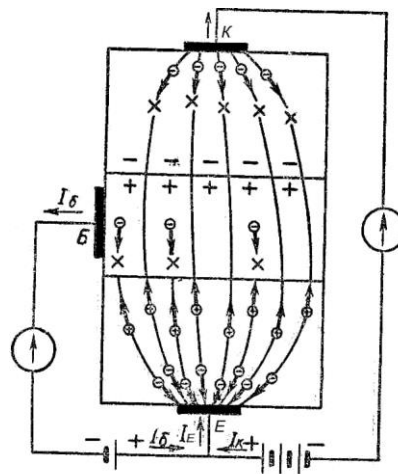


Рис.8

Пояснення фізичних явищ, що відбуваються при роботі транзистора, зручно робити з використанням, навчальної таблиці по рисунку аналогічному рис. 8.

Коли немає вхідного сигналу (потенціометр в крайньому нижньому положенні), то початковий струм колектора дуже малий. Це пояснюється тим, що колекторний перехід транзистора увімкнений в запірному напрямку та має великий опір.

При обертанні ручки потенціометра на емітерний перехід подається пряма напруга і в колі емітер-база виникає електричний струм. Цей струм називається струмом емітера і позначається  $I_E$ . Він в основному складається із дірок (вісім кружків із знаками плюс і стрілками вгору), які переходять із емітера в базу, та невеликої кількості електронів (три круги із знаками мінус і стрілками вниз), які рухаються в зворотному напрямку – із бази в емітер. Такий розподіл із значною перевагою дірок пояснюється тим, що емітер має набагато більшу кількість дірок, ніж база електронів.

Одночасно із інжекцією дірок в базу в зовнішнє коло із емітера переходить відповідна кількість електронів (вісім кружків із знаком мінус і стрілками вниз). Вихід електронів призводить до утворення в емітері нових дірок і тому їхня кількість не зменшується.

Інжектвані в базу дірки рухаються далі по колекторному переходу. Цей рух відбувається в основному через їх надлишок навколо емітерного переходу, а також під дією слабкого електричного поля між емітером і колектором транзистора.

За час руху в області бази (тисячні долі секунди) частина дірок встигає рекомбінуватися з електронами бази (рекомбінація показана трьома хрестиками). Часткове зменшення електронів в базі поповнюється їх надходженням із зовнішнього кола, тобто із кола дільника, який створює струм який називають струмом бази та позначають  $I_B$ . Внаслідок малої товщини бази (менше довжини дифузного зміщення носіїв заряду) та незначної концентрації в ній вільних електронів, значна частина дірок доходить до колекторного переходу і під дією електричного поля цього переходу втягується в область колектора. Тут дірки рекомбінуються із вільними електронами, що надходять із зовнішнього кола (рекомбінація показана п'ятьма хрестиками). Рух цих електронів і є струм колектора  $I_K$ .

Таким чином, якщо спочатку опір колекторного переходу, що був увімкнений в запірному напрямку, був великий, то, після того як в зону цього переходу проникли дірки, опір переходу різко зменшується. Це призводить до збільшення струму в колі колектора.

Величина струму колектора, як слідує із пояснення роботи транзистора, дещо менша струму емітера, через рекомбінацію частини дірок із електронами бази, але в той же час, струм колектора значно більший струму бази. Ці струми зв'язані між собою залежністю:  $I_E = I_B + I_K$ .

Після пояснення принципу дії транзистора, проводять ще один експеримент із вже зібраною схемою. Для цього, при певному струмі бази, спрямовують на транзистор струм гарячого повітря від термовітродувки і спостерігають за збільшенням струму колектора, та його зменшенням після припинення нагрівання і охолодження транзистора. Таким чином ми бачимо що параметри транзистора залежать від температури, не негативно впливає на його роботу, тому в практичних транзисторних підсилювачах використовують спеціальні схеми термокомпенсації.

Далі звертають увагу учнів на графіки вхідних і вихідних характеристик транзистора, що зображена на навчальній таблиці (рис. 9).

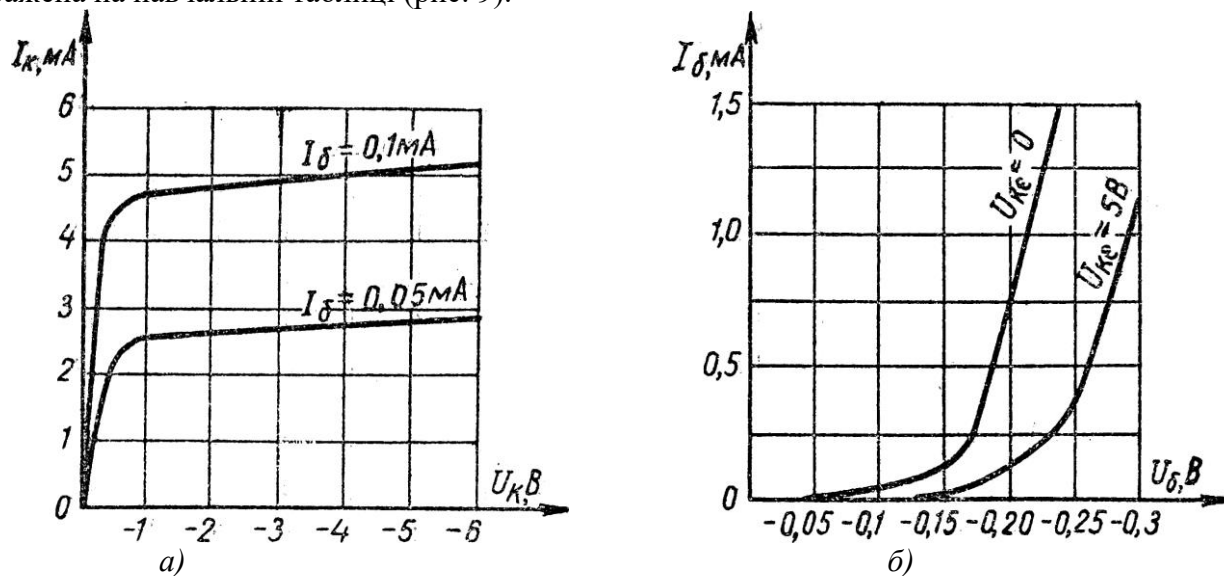


Рис. 9 Вихідні (а) і вхідні (б) характеристики транзистора

Графіки показують, що струм колектора при постійному струмі бази, починаючи з певної напруги на колекторі, практично перестає залежати від неї. В зв'язку з чим транзистор може працювати при малій напрузі живлення.

Користуючись вихідними характеристиками, можна ознайомити учнів з графічним методом визначення коефіцієнта підсилення по струму, коли транзистор підключений по схемі із спільним емітером. При заданій напрузі на колекторі по графікам визначають значення колекторних струмів при двох значеннях струму бази, а далі по відношенню різниці значень струмів колектора і різниці значень струмів бази отримують коефіцієнт підсилення по струму.

Графіки вхідних характеристик виражають залежність струму бази від напруги на базі. При різних напругах на колекторі і показують, що струм бази при малих напругах є нелінійним. Це дозволяє зробити важливий практичний висновок: для отримання неспотвореного підсилення на базу транзистора необхідно подати постійну напругу зміщення. Додаткове зміщення підвищує коефіцієнт підсилення транзистора.

## ДОСЛІД № 8

### «Робота транзистора в ключовому режимі»

**Мета дослід:** продемонструвати роботу транзисторного ключа.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – транзистора, потенціометра, резистора 1 кОм, лампи розжарювання 6,3 В, вольтметра, вимикача, джерела постійного струму; з'єднувальні провідники.

Транзисторна імпульсна і цифрова техніка базується на роботі транзистора в якості ключа. Основне призначення транзистора в цьому випадку – замикання і розмикання кола навантаження. По аналогії з механічним ключем, якість транзисторного ключа визначається в першу чергу падінням напруги (залишковою напругою) в замкнутому (відкритому) стані, а також залишковим струмом транзистора у вимкненому (закритому) стані.

Для демонстрації роботи на демонстраційній дошці збирають електричне коло, у відповідності до рис. 10. Вимикач S встановлюють в замкнуте положення. Підключають зібрану установку до відповідних клем «+» і «-» 5В джерела живлення 43008-У.

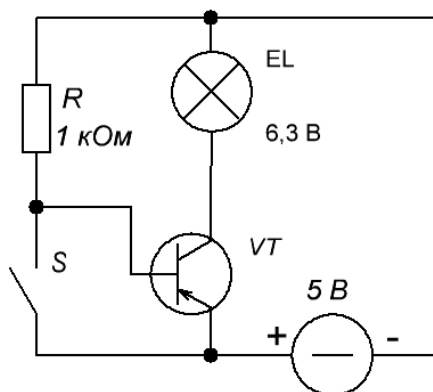


Рис. 10

При подачі напруги в коло при замкнутому вимикачі лампа не світиться. Якщо розімкнути вимикач лампа починає світитися.

В першому випадку, при замкнутому емітерному переході, транзистор перетворюється на діод, на який подається зворотна напруга, яка закриває транзистор. Через транзистор протікає лише незначний зворотній струм колекторного переходу, який не міг розжарити нитку лампи. В цей час транзистор знаходився в закритому стані. При розмиканні вимикача на базу транзистора через резистор 1 кОм подається від'ємна напруга, в результаті емітерний перехід відкрився, через нього пішов струм, який відкрив інший перехід транзистора – колекторний. Транзистор відкрився і по колу емітер-база-колектор пішов струм транзистора, який набагато більший струму кола емітер-база. Цей струм і розжарив нитку лампи.

В цьому досліді транзистор був в одному із двох станів: відкритому або закритому. Перемикання транзистора із одного стану в інший відбувалося під дією напруги на базі. Такий режим роботи транзистора називається режимом перемикання або ключовим режимом.

Роль резистора 1 кОм в цьому досліді – обмеження струму в колі бази, щоб не виникло теплового пробую транзистора.

## «Підсилення змінного струму транзистором»

**Мета дослід:** продемонструвати здатність напівпровідникового транзистора підсилювати змінний електричний струм.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, гучномовець електродинамічний (або радіотрансляційний динамік), генератор звукової частоти, із набору "Електродинаміка": модулі – транзистора, потенціометра, резистора 1кОм, вимикача, джерела постійного струму, трансформатора; з'єднувальні провідники.

Для демонстрації підсилення змінного електричного струму транзистором на демонстраційній дошці збирається підсилювач у відповідності до схеми зображеної на рис. 11,а.

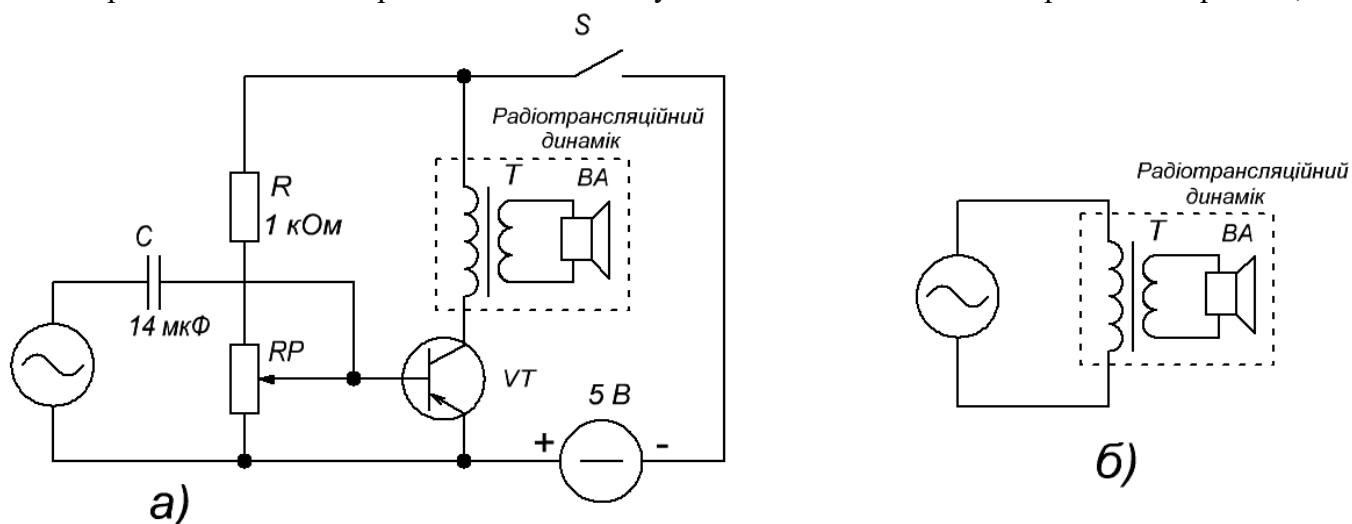


Рис. 11

В досліді використовується динамічний гучномовець опором 4 Ом який включається в колекторне коло транзистора через роздільний трансформатор, роль якого – узгодження високого вихідного опору транзистора і низького вхідного опору гучномовця, що забезпечує максимальне підсилення потужності. Також можна використати радіотрансляційний динамік, в схемі якого вже міститься трансформатор. В цьому випадку модуль трансформатора непотрібний і динамік включається безпосередньо в колекторне коло транзистора.

За допомогою дільника на резисторі 1 кОм і потенціометрі на базу транзистора подається постійна напруга зміщення для забезпечення лінійного режиму роботи підсилювача. Конденсатор 14 мкФ – роздільний.

Зібравши підсилювач, під'єднайте до нього джерело живлення і генератор. На генераторі встановіть частоту 400 Гц і мінімальний рівень вихідного сигналу. Ручку потенціометра на підсилювачі встановіть в середнє положення. Увімкніть підсилювач. Встановіть таку напругу на виході генератора, щоб гучномовці було чути достатньо гучний звук. Зверніть увагу учнів на гучність звуку, та як змінюється гучність його тон при обертанні ручки потенціометра, що пов'язано із переходом підсилювача в нелінійний режим.

Вимкніть підсилювач. Не змінюючи рівень сигналу генератора, включіть гучномовець безпосередньо до нього (рис. 11,б). Зверніть увагу наскільки зменшилась гучність звуку.

Також можна продемонструвати, використовуючи осцилограф, осцилограми вхідного і вихідного сигналу підсилювача. Для демонстрації вихідного сигналу і його зміни при обертанні потенціометра осцилограф під'єднують до емітера і колектора транзистора, а вхідного – паралельно генератору.

## ДОСЛІД № 10 «Робота термореле»

**Мета дослід:** продемонструвати принцип роботи термореле і його застосування в техніці.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, термоповітродувка, із набору "Електродинаміка": модулі – терморезистора, реле, лампи розжарювання 6,3В, вимикача, джерела постійного струму, з'єднувальні провідники.

Найпростіше термореле складаємо за схемою рис. 12.

Натиснути кнопку реле, щоб замкнути його контакти. При замиканні вимикача  $S$  загоряється лампа, якщо на терморезистор направити струмінь гарячого повітря то через деякий час реле спрацює і лампа згасне.

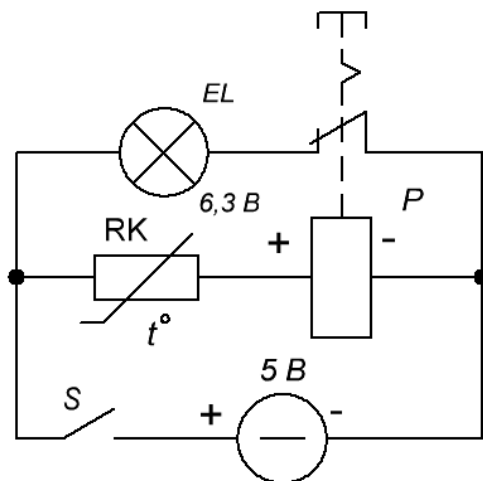


Рис. 12

На модулі реле встановлене реле автоматичного захисту яке використовується в комбінованих вимірювальних приладах. Реле спрацьовує при струмі 20-30 мА, при цьому його контакти розмикаються. При кімнатній температурі терморезистор має великий опір, при цьому струм який протікає через обмотку реле менший струму спрацювання. При нагріванні терморезистора його опір зменшується і струм в колі зростає. При певній температурі струм стає достатнім для того, щоб спрацювало реле.

Для повернення контактів реле у замкнене положення необхідно вимкнути живлення і натиснути кнопку.

Якщо знову увімкнути живлення, то реле знову спрацює, оскільки терморезистор ще не встиг охолонути і струм в колі обмотки ще достатній для спрацювання реле.

Через деякий час, коли терморезистор охолоне до певної температури, при подачі живлення реле вже не буде спрацьовувати.

## ДОСЛІД № 11 «Робота фотореле»

**Мета дослід:** продемонструвати принцип роботи термореле і його застосування в техніці.

**Обладнання:** Джерело живлення 43008-У, джерело світла (електрична лампа на підставці або настільна, ліхтарик тощо) із набору "Електродинаміка": модулі – фоторезистора, потенціометра, електромагнітного реле, лампи розжарювання 6,3В, вимикача, транзистора, джерела постійного струму, з'єднувальні провідники.

Струм світлочутливого елемента, що змінюється під дією світла, що на нього падає, малий. Але якщо цей струм підсилити транзистором, в колекторне коло якого включене електромагнітне реле, то отримаємо фотореле – пристрій, який дозволяє при зміні сили світла, що падає на його світлочутливий елемент, керувати різними іншими пристроями або механізмами. У техніці широко застосовують фотореле, в яких світлочутливим елементом є фоторезистор.

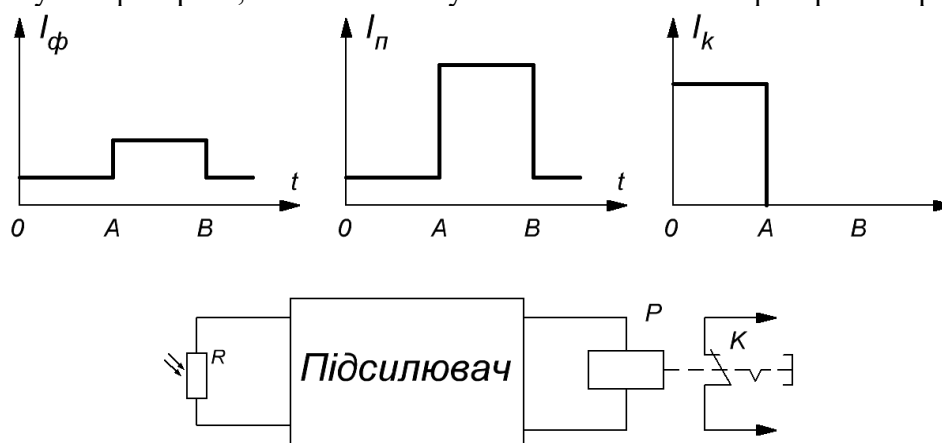


Рис. 13

Структурна схема фотореле та графіки, що ілюструють його роботу, зображена на рис. 13. Нехай фоторезистор  $R$  затемнений. В цей час (на графіках – ділянки  $OA$ ) струм в колі фотоелемента  $I_\phi$  і струм підсилювача  $I_n$  малі. Контакти  $K$  електромагнітного реле  $P$  замкнуті і через них протікає струм виконавчого пристрою  $I_k$ . Якщо фоторезистор освітити, то його струм різко зросте, це спричинить зростання струму підсилювача, в результаті реле спрацює (на графіках – ділянки  $AB$ ) і своїми контактами відключить виконавче коло. Так як на схемі показано реле без самоповернення, то після припинення освітлення фоторезистора, контакти реле залишаться розімкненими, а їх замикання здійснюється шляхом натискання спеціальної кнопки.

Головне в роботі фотореле перепад струму, що спричиняє спрацювання електромагнітного реле. При цьому в залежності від вибраного підсилювача електромагнітне реле може спрацювати при різній освітленості, або навпаки, при затемненому фоторезисторі. Результат же один – світло що падає на фоторезистор (або будь-який інший фотоелемент) керує колом виконавчого механізму, яким може бути електродвигун, система освітлення, прилади тощо.

Схема найпростішого фотореле, яке можна зібрати використовуючи набір «Електродинаміка» зображена на рис. 14.

Підсилювач тут зібраний на одному біполярному транзисторі, який включений по схемі із спільним емітером. Тут Фоторезистор  $R$  і потенціометр  $RP$  утворюють дільник напруги з якого подається зміщення на базу транзистора. Опір неосвітленого фоторезистора великий і напруга на базі транзистора мала, тому колекторний струм транзистора в цей час малий, тобто транзистор закритий. При освітленні фоторезистора його опір зменшується, в результаті напруга на базі збільшується, збільшується базовий струм і транзистор відкривається. Зростий колекторний струм призводить до спрацювання електромагнітного реле. Виконавчим пристроєм в схемі є лампа розжарювання, яка при спрацюванні реле згасає. За допомогою потенціометра можна регулювати чутливість фотореле.

Для демонстрації роботи фотореле, у відповідності до схеми рис. 13, зберіть його на демонстраційній дошці.

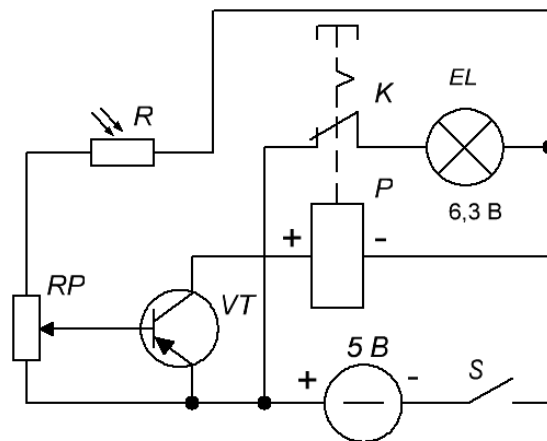


Рис. 14

Підключіть зібрану установку до відповідних клем джерела живлення «+», «-» 5В. Ручку потенціометра, за допомогою якого регулюється чутливість реле, поверніть проти годинникової стрілки до упора.

На модулі реле встановлене реле автоматичного захисту яке використовується в комбінованих вимірювальних приладах. Реле спрацьовує при струмі 20-30 мА, при цьому його контакти розмикаються. Для повернення контактів реле у замкнене положення необхідно вимкнути живлення і натиснути кнопку.

Вимикачем S увімкніть живлення фотореле, повинна загорітися лампа.

Встановіть таку чутливість фотореле, щоб воно спрацьовувало при кімнатному освітленні, для цього плавно обертайте ручку потенціометра за годинниковою стрілкою до тих пір, поки реле не спрацює. При спрацюванні реле лампа гасне. Вимкніть живлення та натисніть кнопку на модулі із реле. Затемніть фоторезистор ковпачком. Увімкніть живлення, лампа загорається. Якщо прибрати ковпачок із фоторезистора то реле спрацює і лампа згасне. Повторіть цей дослід декілька разів.

Далі зменшіть чутливість фотореле, щоб воно спрацьовувало при додатковому освітленні фоторезистора. Для цього поверніть ручку потенціометра проти годинникової стрілки до упора, натисніть кнопку на реле, освітіть фоторезистор та обертайте ручку потенціометра за годинниковою стрілкою до тих пір, поки реле не спрацює. Вимкніть живлення та натисніть кнопку на модулі із реле. Затемніть фоторезистор, увімкніть живлення, приберіть ковпачок із фоторезистора, тепер реле при кімнатному освітленні вже не спрацьовує, щоб воно спрацьовало потрібно освітити фоторезистор. Повторіть дослід декілька разів.

## «Джерело струму на основі напівпровідникового фотоелемента»

**Мета досліду:** продемонструвати виникнення фотоелектрорушійної сили при освітлюванні р-п-переходу.

**Обладнання:** модуль з фотодіодом, модуль вольтметра постійного струму, блок живлення вимірювальних модулів, з'єднувальні провідники, джерело світла (електрична лампа на підставці або настільна тощо).

При освітлюванні р-п-переходу виникає фотоелектрорушійна сила. Ця властивість р-п-переходів використовується у вентильних фотоелементах, прикладами яких можуть бути, кремнієві сонячні батареї, що застосовуються для живлення радіоелектронної апаратури, фотоекспозиметри, люксметри та ін.

Це явище покажемо із використанням фотодіода. Для цього встановіть на демонстраційній дошці модуль фотодіода і модуль вольтметра постійного струму. Під'єднайте вимірювальний модуль до блока живлення, увімкніть живлення та підготуйте модуль для вимірювання напруги в діапазоні 10 В та під'єднайте його, у відповідності із рис. 15,а, до фотодіода.

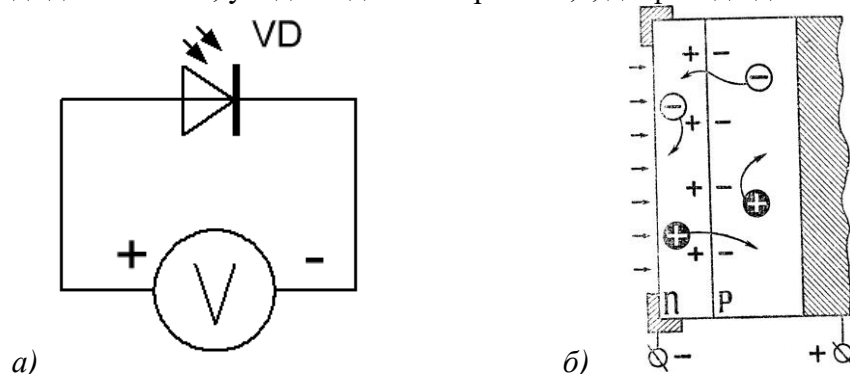


Рис. 15

При кімнатному освітленні спостерігають появу слабкої напруги, яку показує вольтметр. Далі освітлюють фотодіод. При наближенні джерела світла до фотодіода вольтметр показує спочатку поступове збільшення напруги, яка з певного моменту перестає збільшуватись. При затемненні фотодіода, напруга майже зникає. Таким чином ми переконалися, що напівпровідниковий фотоелемент є джерелом струму, в якому енергія світла перетворюється безпосередньо в електричну.

Процес виникнення фотоелектрорушійної сили можна пояснити, користуючись рис. 15, б, який, також, є на навчальній таблиці "Фотоелемент". Під дією світла в електронному напівпровіднику відбувається інтенсивне утворення вільних носіїв заряду, тобто електронів і дірок, які, беручи участь в тепловому русі, переміщуються в різних напрямках, а також і в напрямку до електронно-діркового переходу.

Тут під дією електричного поля електронно-діркового переходу відбувається розділення дифундуючих до нього зарядів. Дірки, що утворилися в електронному напівпровіднику, переходять через заперний шар в дірковий напівпровідник та накопичуються в ньому, а електрони залишаються в електронному напівпровіднику і заряджують його негативно.

Таким чином, пари що утворилися під дією світла, розділяються: електрони накопичуються в електронному напівпровіднику, а дірки – в дірковому.

Одночасно під дією електричного поля електронно-діркового переходу із діркового напівпровідника в електронний рухаються електрони. Одночасно настає динамічна рівновага між потоком дірок і електронів. В цей момент між електродами встановлюється деяка різниця потенціалів, яка і являє собою фотоелектрорушійну силу фотоелемента.

Величина фотоелектрорушійної сили ніколи не може бути більше різниці потенціалів електричного поля електронно-діркового переходу. Тому при збільшенні освітленості фотоелемента його електрорушійна сила спочатку збільшується, а далі досягає стану насичення, що і спостерігалось в досліді.

## «Явище термоелектронної емісії в вакуумі»

**Мета досліду:** шляхом експерименту сформувати у учнів поняття про термоелектронну емісію.

Для спостереження явища термоелектронної емісії, а також для пояснення будови та принципу дії електронних ламп використовується модуль із електронною лампою.

В модулі встановлений вакуумний люмінесцентний індикатор, який являє собою трьохелектродну лампу (тріод), в якому аноди-сегменти вкриті катодоліумінофором, який під дією електронного бомбардування світиться.

В лампі використовується оксидний катод прямого розжарювання із тонкого вольфрамового дроту. Катод розміщений перед анодами-сегментами. При розжарюванні катода візуально його світіння непомітне, так як його робоча температура така, щоб він не заважав спостереженню знаків, що світяться.

Щоб в процесі дослідів випадково не перевантажити катод та не допустити його перегорання, в модулі встановлений стабілізатор струму, який стабілізує встановлений струм катода незалежно від поданої на нього напруги. Струм встановлюється ручкою потенціометра в діапазоні 40-80 мА. Для розжарення катода можна використовувати будь-яке джерело постійного струму напругою 5-12 В і максимальним допустимим струмом не менше 100 мА.

При замиканні анода і сітки лампи її можна вважати діодом.

### Варіант 1

**Обладнання:** електрометр демонстраційний, джерело живлення 43008-У, провідник на ізоляційні ручці, ебонітова та скляна палички, із набору "Електродинаміка": модуль із електронною лампою та з'єднувальні провідники.

Для демонстрації явища термоелектронної емісії на демонстраційній дошці встановлюють модуль із електронною лампою. Ручку потенціометра на модулі встановлюють в середнє положення. Під'єднують катод лампи до джерела 43008-У (5В). Анод і сітку лампи з'єднують.

Пояснюють учням, що із розжареного катода, як із будь-якого розжареного тіла, в навколишнє середовище вилітають електрони, які несуть від'ємний заряд. Електрони мають різну швидкість, деякі із них досягають анода і від'ємно заряджають його. Це можливо виявити за допомогою демонстраційного електрометра із конденсатором у вигляді двох дисків. Один із дисків конденсатора встановлюють на стержень електрометра, а інший, що має ебонітову ручку, кладуть зверху, Корпус електрометра і верхній диск заземлюють. Провідником, на ручці із ізоляційного матеріалу, на деякий час з'єднують анод лампи із нижнім диском конденсатора і тим самим надають йому деякий заряд. Далі віддаляють верхній диск. Так як при віддаленні цього диску ємність приладу в багато разів зменшується, то потенціал збільшується і стрілка електрометра помітно відхиляється.

Після цього досліджують знак заряду електрометра. Для цього до електрометра на деякій відстані підносять від'ємно заряджену (ебонітову) паличку та спостерігають за збільшенням відхилення стрілки: електрометр отримав від'ємний заряд. Корисно повторити дослід збільшивши розжарення катода, для цього ручку потенціометра на модулі з лампою повертають проти годинникової стрілки до упора. В цьому випадку збільшуються покази електрометра, так як він отримує більший заряд.

Далі можна показати, що катод лампи, внаслідок емісії, втрачає електрони і заряджається позитивно. Для цього анод лампи заземлюють, а нижній диск конденсатора на деякий час з'єднують провідником із розжареним катодом. В цьому випадку після віддалення верхнього диска електрометр виявляється позитивно зарядженим.

Явище термоелектронної емісії можна продемонструвати і на іншому досліді. Зарядивши електрометр позитивно, наприклад від наелектризованої скляної палички, з'єднують його провідником на ручці із ізоляційного матеріалу із анодом діода. Звертають увагу учнів, що при

холодному катоді електрометр не заряджається. Далі вмикають струм в колі катода (ручка потенціометра повернута за годинниковою стрілкою до упора, тобто струм максимальний), та спостерігають, що стрілка електрометра швидко спадає, так як електрони, які випускає розжарений катод, притягуються позитивно зарядженим анодом та нейтралізують його заряд.

Якщо ж зарядити електрометр від'ємно та з'єднати його із анодом, то електрометр не розряджається при розжареному катоді. Електрони, що вилітають із катода тепер не притягуються анодом, а навпаки відштовхуються від нього і повертаються назад до катода. Можна від'ємно заряджений електрометр з'єднати із катодом лампи, заземлити анод. Тепер електрометр буде розряджатися, так як розжарений катод, внаслідок емісії втрачає електрони а його потенціал разом із потенціалом електрометра змінюється.

## Варіант 2

**Обладнання:** джерело живлення 43008-У, калібратор напруги 43006-У, із набору "Електродинаміка": модуль із електронною лампою, модуль із вимикачем, модуль джерела постійного струму та з'єднувальні провідники.

В цьому випадку для демонстрації явища термоелектронної емісії збирається електричне коло у відповідності до рис. 16. Ручку потенціометра на модулі з лампою встановлюють в крайнє праве положення, переконуються що вимикач в колі розжарення катода розімкнутий. Коло розжарення підключають до джерела 43008-У, а анод і катод лампи через модуль джерела постійного струму – до калібратора напруги 43006-У.

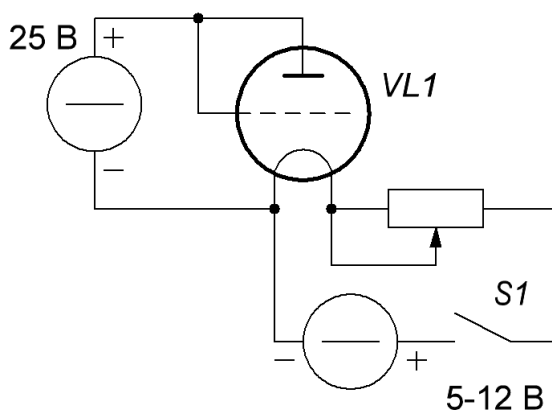


Рис. 16

Вмикають калібратор і встановлюють на ньому напругу 25 В. Пояснюють учням про описану вище властивість анода світитися під дією електронного бомбардування і звертають увагу на те, що при холодному катоді аноди-сегменти не світяться. Замикають коло розжарення лампи та спостерігають слабке світіння сегментів. Далі, обертаючи проти годинникової стрілки ручку потенціометра, поступово збільшують струм і відповідно розжарення катода та спостерігають за збільшенням яскравості світіння сегментів лампи.

## «Одностороння провідність вакуумного діода»

**Мета досліду:** продемонструвати односторонню провідність електронного вакуумного діода.

**Обладнання:** калібратор напруги 43006-У, джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модуль із електронною лампою, модуль із вимикачем, модуль міліамперметра, модуль для підключення джерела постійного струму, з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

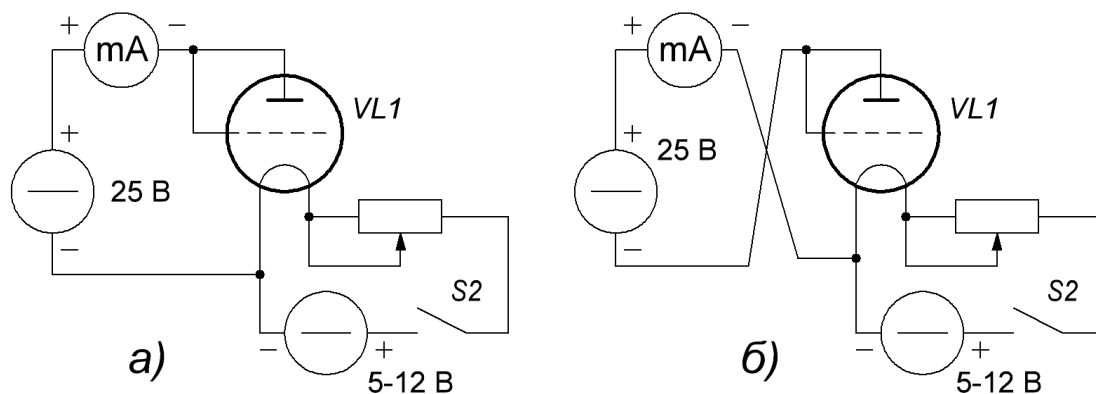


Рис. 17

Для демонстрації досліду на демонстраційній дошці збирають електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис.17,а. Під'єднують модуль міліамперметра до блока живлення 43009-У, вмикають живлення та підготовляють його для вимірювання постійного струму. Для розжарення катода використовується джерело 43008-У (можна використати і інше із параметрами вказаними першому досліді).

На калібраторі напруги 43006-У встановлюють напругу 25 В.

Спочатку, не вмикаючи коло розжарювання, подають напругу на анодне коло лампи, та звертають увагу учнів, що прилад не фіксує струм в колі. Високий вакуум є хорошим ізолятором. Далі замикають коло розжарювання та спостерігають появу струму в анодному колі. Збільшуючи розжарювання катода спостерігають збільшення анодного струму внаслідок збільшення термоелектронної емісії.

Далі змінюють полярність підключення лампи, як це показано на рис.17,б. Звертають увагу учнів, що тепер при будь-якому розжаренні нитки катода струм в анодному колі відсутній. При поясненні односторонньої провідності вакуумного діода зручно користуватися умовними схемами, які наведені на рис. 18, накресливши їх на класній дошці.

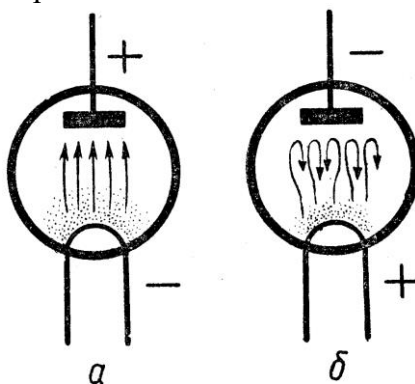


Рис. 18

У випадку з'єднання анода із позитивним полюсом джерела струму між анодом та катодом утворюється електричне поле, яке примушує електрони рухатися до анода (рис.18,а). В анодному колі при цьому з'являється струм. Якщо ж із анодом з'єднати негативний полюс джерела струму і напруженість поля має протилежний напрямок, електрони не досягають анода і струм в анодному колі відсутній (рис.18,б).

## «Вольтамперна характеристика вакуумного діода»

**Мета дослідю:** продемонструвати залежність анодного струму в вакуумному діоді від прикладеної до нього напруги та стан насичення діода.

**Обладнання:** калібратор напруги 43006-У, джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модуль із електронною лампою, модуль із вимикачем, модулі міліамперметра, вольтметра і джерела постійного струму, з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

В попередньому досліді було встановлено зміна анодного струму при зміні розжарення катода. Тепер потрібно продемонструвати залежність між струмом та напругою в анодному колі та ознайомити учнів із методом зняття анодної характеристики.

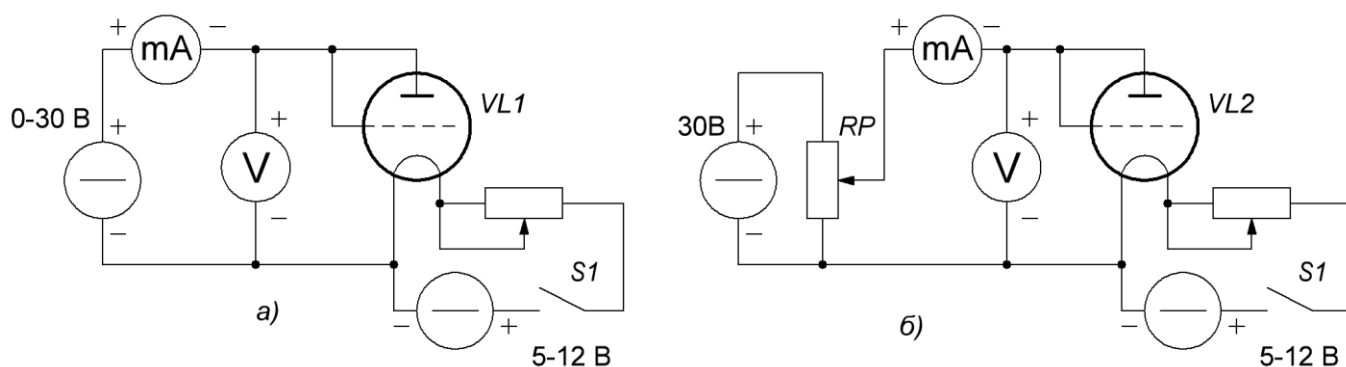


Рис. 19

На демонстраційній дощі збирають електричне коло у відповідності до схеми, яка наведена на рис. 19. Якщо для живлення анодного кола буде використовуватися джерело із регулюванням напруги, наприклад калібратор напруги 43006-У, то установка збирається за схемою рис. 19,а. У іншому випадку, коли буде використовуватися джерело із фіксованою напругою, – за схемою рис. 19,б.

Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення та підготовляють модуль міліамперметра для вимірювання постійного струму, а модуль вольтметра для вимірювання постійної напруги в діапазоні 50 В. Ручку потенціометра на модулі із лампою встановлюють в середнє положення.

Табл. 3

$U_a, \text{В}$	0	5	10	15	20	25	30
$I_{p1}$	$I_a, \text{мА}$						
$I_{p2}$	$I_a, \text{мА}$						

Перед початком дослідю на класній дощі креслять схему установки та таблицю (табл. 3) до якої будуть записувати результати вимірювань.

Замикають коло розжарювання лампи, попередньо встановивши ручкою регулятора напруги на джерелі (або ручкою потенціометра) нульове значення анодної напруги та відмічають відсутність струму в анодному колі.

Далі, не змінюючи розжарювання катода, збільшують напругу в анодному колі до 5В і фіксують величину анодного струму. Збільшують анодну напругу ще на 5В і знову фіксують величину струму. Продовжують дослід, при інших значеннях анодної напруги (див. табл.3). Всі результати вимірювань заносять до таблиці.

По отриманим даним на класній дощі будують графік залежності струму в анодному колі від прикладеної напруги (вольтамперна характеристика). Аналізуючи графік, звертають увагу учнів на те, що із збільшенням напруги анодний струм спочатку швидко збільшується, далі повільніше, і нарешті, його величина залишається майже без змін, хоч напруга і збільшується. Це

так званий стан насичення, коли всі електрони, що виходять із катода при даній температурі, притягуються анодом. Найбільший анодний струм, що виникає при цьому явищі, називається струмом насичення.

Якщо емісію електронів із катода збільшити, шляхом підвищення його температури, то струм насичення збільшиться. Це також потрібно показати учням на досліді. Для цього збільшують розжарення катода (обертаючи ручку потенціометра на модулі із електронною лампою проти годинникової стрілки) та повторюють дослід. Результати вимірювань заносять до таблиці, за якими, на тій же координатній сітці, будують другий графік, який розміщується вище першого. В цьому випадку струм насичення отримується при більш високій анодній напрузі.

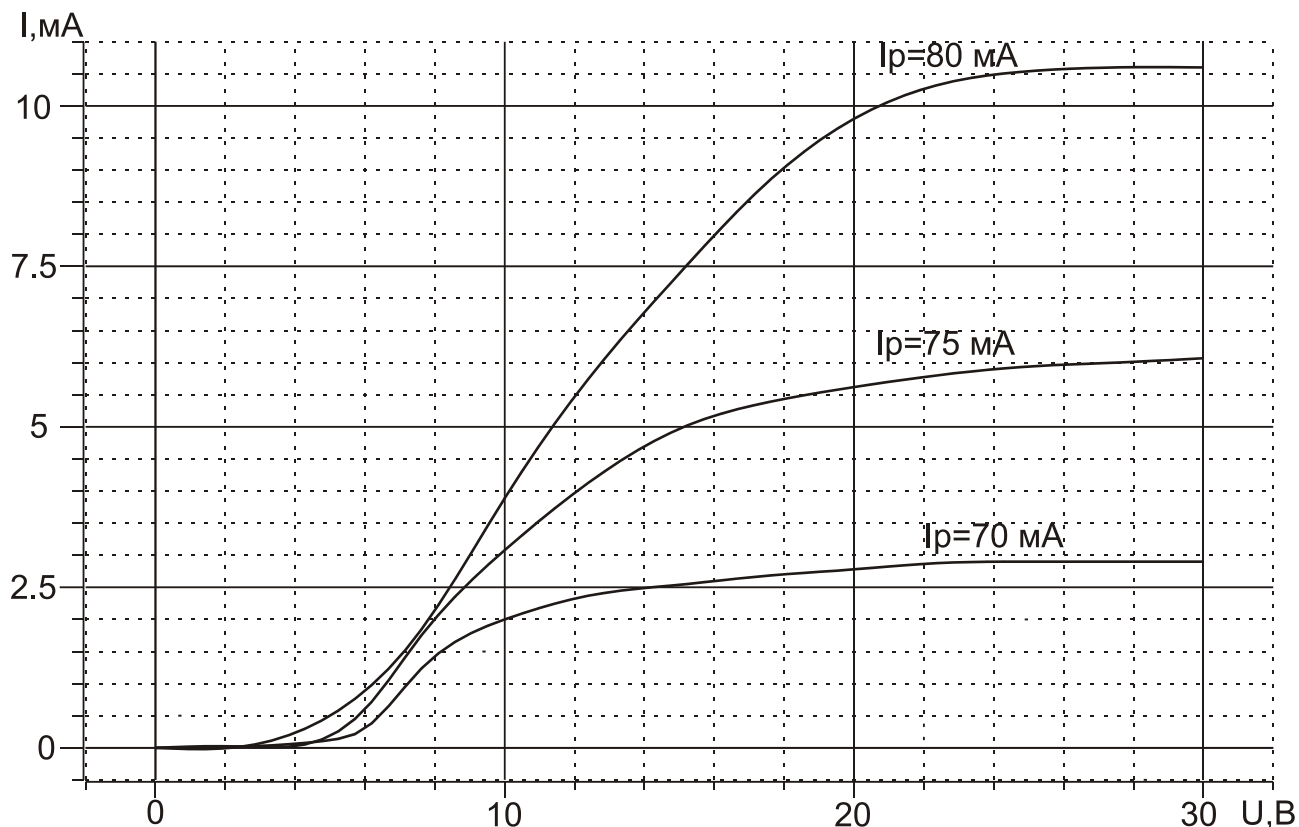


Рис. 5.

На рис.5 наведені експериментально побудовані вольтамперні характеристики модуля із електронною вакуумною лампою при діодному включенні і різних струмах розжарення.

## ДОСЛІД № 16

### «Рух електронів в магнітному і електричному полі»

**Мета дослід:** продемонструвати відхилення потоку електронів в магнітному та електричному полях.

**Обладнання:** калібратор напруги 43006-У, джерело живлення 43008-У, ебонітова та скляна палички, магніт, із набору "Електродинаміка": модуль із електронною лампою, модуль із вимикачем, модуль міліамперметра, модуль для підключення джерела постійного струму, з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для демонстрації відхилення потоку електронів в магнітному та електричному полях на демонстраційні дощці збирається електричне коло у відповідності до схеми наведеної на рис. 20.

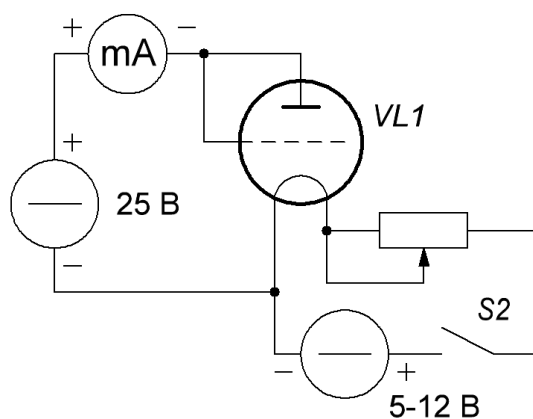


Рис. 20

Під'єднують модуль міліамперметра до блока живлення 43009-У, вмикають живлення та підготовляють його для вимірювання постійного струму. Для розжарення катода використовується джерело 43008-У (можна використати і інше із параметрами вказаними першому досліді).

Спочатку вмикають джерело розжарення а потім анодне джерело (калібратор напруги 43006-У), на якому встановлюють напругу 25 В. Встановлюють розжарення катода близьке до максимального. Далі підносять до лампи магніт та спостерігають зменшення струму в колі та зміною структури світіння анодів сегментів, так як частина потоку електронів відхиляється магнітним полем і не потрапляє на анод. Таке ж явище спостерігається при піднесенні наелектризованих паличок, як ебонітової, так і скляної.

## «Трьохелектродна лампа (тріод)»

**Мета дослід:** продемонструвати будову та принцип дії трьохелектродної електровакуумної лампи – тріода.

**Обладнання:** калібратор напруги 43006-У, джерело живлення 43008-У, блок живлення ВС4-12, ебонітова та скляна палички, кульовий кондуктор: модуль із електронною лампою, модуль із вимикачем, модулі міліамперметра та вольтметра, модуль для підключення джерела постійного струму, з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Перед початком дослідів необхідно ознайомити учнів із будовою електровакуумного тріода.

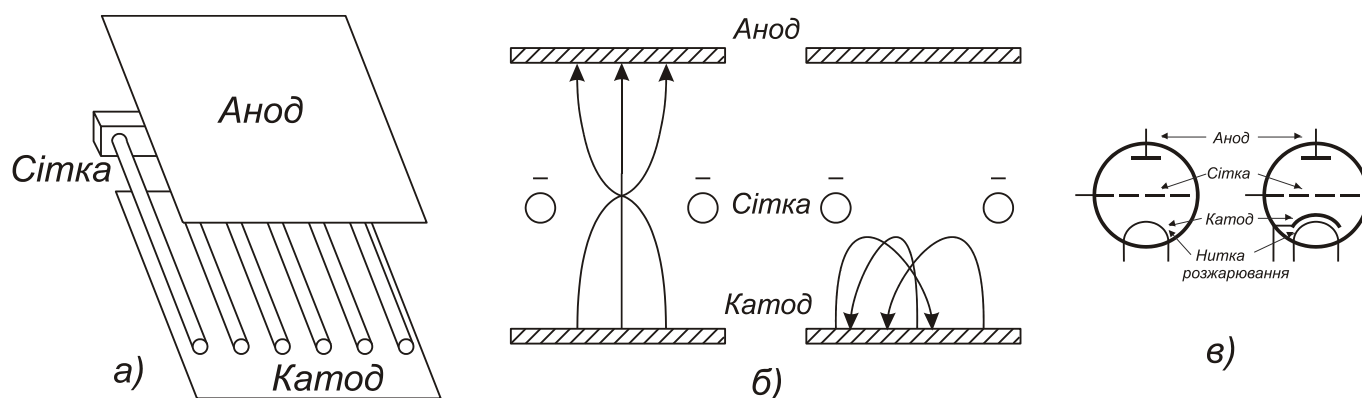


Рис.21

Запропонуйте учням уявити електровакуумний прилад із плоским катодом, який емітує електрони, плоским анодом та третім електродом – дротяною решіткою (сіткою), що розміщена між катодом і анодом в вакуумі, при цьому замалювавши на класній дошці рис. 21,а. Напругу на аноді відносно катода позначимо  $U_a$ , а напругу на сітці відносно катода,  $U_c$ . Сітка введена для того, щоб шляхом незначної зміни напруги  $U_c$  здійснювати значну зміну анодного струму  $I_a$ . Тобто сітка – це електрод який призначений керувати анодним струмом.

Лампа із трьома електродами називається тріодом.

Електрони, які рухаються від катода до анода, взагалі мають можливість пролітати між стержнями сітки. Але кількість електронів, які пролітають крізь сітку за секунду, суттєво залежить від напруги на сітці. Якщо вона від'ємна по відношенню до катода, то сітка гальмує рух електронів, створюючи на їх шляху відштовхуючий бар'єр. Можна встановити таку величину від'ємної напруги на сітці. При якій поблизу катода прискорююче поле анода зникне, а при подальшому підвищенні відерної напруги на сітці поле біля катода стане гальмуючим і анодний струм припиниться. В цьому випадку говорять, що на сітку подана «запірна» напруга.

Якщо на сітку подати додатну по відношенню до катода напругу, то в просторі між сіткою і катодом напруженість прискорюючого поля підвищиться, і це призведе до збільшення анодного струму. Отже, зміною напруги на сітці можна змінювати анодний струм від нуля до найбільшої досяжної величини.

На рис. 21,б зображені траєкторії електронів, що виходять із зони просторового заряду перпендикулярно до поверхні катода при додатній напрузі на аноді і від'ємній на сітці. Лівий рисунок відповідає невеликій від'ємній напрузі на сітці (тут показані лише два сусідні стержні сітки). Електрони, які почали рух прямолінійно, далі відхиляються від'ємно зарядженими стержнями сітки і відхиляються тим більше, чим ближче до стержня проходить початкова траєкторія електрона. В деякій зоні за сіткою траєкторії електронів перетинаються, або, як прийнято говорити електронний потік фокусується, а потім прямує пучком, що розходить, до поверхні анода. Правий рисунок відповідає значній від'ємній напрузі на сітці. Електрони, в цьому випадку, не можуть пролітати бар'єр, створений електричним полем сітки, і повертаються до катода; анодний струм відсутній.

При додатній напрузі на сітці не лише збільшується анодний струм, а й частина електронів, що рухаються від катода, може перехоплюватися сіткою. Отже, струм буде існувати не лише в колі анода, а й в колі сітки. Зазвичай струм сітки  $I_c$  корисної роботи не виконує.

У реальних типів тріодів сітка виконана у вигляді циліндричної спіралі, а анод у вигляді круглого або плоского циліндра. Фізичні процеси в таких тріодах подібні до описаних вище; у кругло циліндричних конструкціях електричне поле і траєкторії електронів спрямовані по радіусах циліндрів.

На рис. 21,в, показано умовне графічне позначення тріода прямого та непрямого розжарювання.

Описані властивості сітки електровакуумного тріода можна продемонструвати зібравши на демонстраційній дошці електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис. 22.

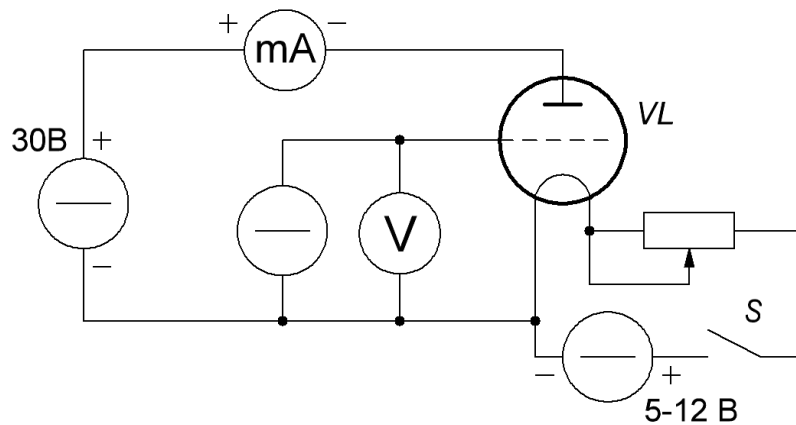


Рис. 22

Дослід проводять в такій послідовності:

- спочатку збирають коло розжарювання катода та анодне коло, а сітку поки не підключають;
- Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення та підготовляють модуль міліамперметра для вимірювання постійного струму, а модуль вольтметра для вимірювання постійної напруги в діапазоні 50 В.
- від джерела 43008-У подають живлення в коло розжарювання;
- вмикають анодне коло, на калібраторі напруги встановлюють напругу 30В, та при неспідключеній сітці та максимальному розжаренні катода відмічають, що міліамперметр фіксує незначний анодний струм (при цьому спостерігається і слабе світіння анодів-сегментів);
- на джерелі ВС4-12 встановлюють мінімальну напругу 4 В і підключають його позитивний полюс до катода лампи, а негативний до анода; в результаті спостерігають зменшення анодного струму (анода сегменти при цьому повністю згасають).
- Далі змінюють полярність в колі сітки, до катода підключають негативний полюс, а до сітки – позитивний, та спостерігають збільшення анодного струму лампи, із збільшенням якого спостерігається і збільшення яскравості світіння анодів-сегментів;
- Збільшивши напругу на сітці спостерігають за подальшим збільшенням анодного струму.

Існування струму сітки при подачі на неї позитивної напруги можна продемонструвати шляхом включення модуля міліамперметра в коло сітки.

Демонстрацію дії сітки можна провести і дещо іншим способом. Для цього в попередній установці виключають елементи, що підключені до сітки. А сітку тріода з'єднують довгим проводом (1,5-2 м) із металевим кульовим кондуктором, який закріплений на ізолюючому штативі.

Встановивши максимальне розжарення катода та напругу на аноді 30 В. Відмічають помітний анодний струм.

Після чого підносять до кулі наелектризовану ебонітову паличку (від'ємний заряд). Внаслідок електростатичної індукції куля заряджається позитивно, а негативний заряд, котрий

йому дорівнює, переходить на сітку лампи. Негативно заряджена сітка перешкоджає руху електронів, які вилітають із катода. Тому струм в анодному колі зменшується. Прибирають паличку, і прилад знову показує попереднє значення анодного струму. Наближаючи та віддаючи наелектризовану паличку, спостерігають, що струм змінюється в такт з рухами руки, вказуючи на можливість керування анодним струмом.

Повторюють дослід, користуючись позитивно зарядженою скляною паличкою та спостерігають за збільшенням анодного струму при її наближенні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Прокопенко. М. М. Опис лабораторних занять із набірним полем «Школяр». Житомир 2007. - 80 с.
2. Перечни учебной техники и наглядных средств обучения для общеобразовательной школы: Сб. перечней по образовательным областям и предметным дисциплинам / М. Издательство «Педагогика», 2011, – 418 с.
3. Фізика, 8 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк. / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.: Ірпінь: ВТФ "Перун", 2000. – 192 с.
4. Фізика, 10 кл.: Підручник для середньої загальноосвітньої школи / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.: Ірпінь: ВТФ "Перун", 2003. – 296 с.
5. Гончаренко С. У. Фізика: Пробн. навч. посібник для. ліцеїв та класів природничо-наукового профілю. 10 клас.– К.: Освіта, 1995. – 430 с.
6. Перышкин, Л. В. Физика. 8 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин. — 13-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2010. — 191, [1]с. : ил.
7. Касьянов В. А. Физика. 11 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. — 4-е изд., стереотип. — М.: Дрофа, 2004. — 416 с: ил., 8 л. цв. вкл.
8. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. Под ред. А. А. Покровского. Изд. 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1978. –351с.
9. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 2. Колебания и волны, оптика, физика атома. Под ред. А. А. Покровского. Изд. 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1979. –287с.
10. Шахмаев Н. М. и др. Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика / Н. М. Шахмаев, Н. И. Павлов, В. И. Тышук.— М.: Просвещение, 1991.— 223 с.
11. Коршак Е. В. Напівпровідники в демонстраційному фізичному експерименті. – К.: «Радянська школа», 1967. – 127 с.
12. Коршак Е. В. Коливання і хвилі. – К.: Радянська школа, 1974. – 120 с.
13. Цілінко М. Г. Саморобні електронні прилади в навчальному експерименті: Посібник для вчителя – К.: Радянська школа, 1990. – 141 с.
14. Хорошавин С. А. Техника и технология демонстрационного эксперимента.– М.: Просвещение, 1978. – 174 с.
15. Горев. Л. А. Занимательные опыты по физике в 6-7 классах средней школы. Кн. Для учителя.– М. : Просвещение, 1985. – 175 с.
16. Шпрокхоф. Г. Эксперимент по курсу элементарной физики. Часть 5. Электричество.– М. : Просвещение, 1967. – 344 с.