

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання
лабораторних робіт з дисципліни
«Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем»
для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей

Луцьк – 2023

УДК 621.38(072)

M54

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем» (для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей) [Електронний ресурс] / уклад. : О.В. Вовна, Г.О. Шеїна. – Луцьк : ДонНТУ, 2023. – 38 с.

Методичні вказівки є лабораторним практикумом з дисципліни «Компоненти та матеріали інформаційно-вимірювальних систем», у них викладено необхідні положення під час підготовки до лабораторних робіт, порядок виконання та завдання до лабораторних робіт, зміст звіту та контрольні запитання.

Укладачі: Вовна О.В. – професор, д.т.н., зав. каф. електронної техніки.

Шеїна Г.О. – доцент, к.т.н., доцент каф. електронної техніки.

Рецензент Поцеваєв В.В. – доцент, к.т.н., зав. каф. автоматики та телекомунікацій.

Відповідальний за випуск: Вовна О.В. – завідувач кафедри електронної техніки, д.т.н., професор.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 4 від 31.01.2023 р.

Розглянуто на засіданні кафедри електронної техніки,
протокол № 7 від 19.01.2023 р.

© ДонНТУ, 2023 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 – Дослідження в Multisim характеристик і параметрів діодів	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 – Дослідження в Multisim характеристик і параметрів стабілітронів	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 – Дослідження в Multisim послідовного і паралельного включення діодів	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 – Дослідження в Multisim характеристик і параметрів біполярного транзистора за схемою включення зі спільною базою	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 – Дослідження в Multisim характеристик і параметрів біполярного транзистора за схемою включення зі спільною емітером	28
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 – Дослідження в Multisim характеристик і параметрів польового транзистора за схемою включення зі спільним витоком	32
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	39

ВСТУП

Електронні пристрої є універсальним й ефективним засобом для вирішення різних проблем в області збору й обробки інформації, автоматичного керування і перетворення інформації. Знання в області електроніки стають необхідними всі більш широку кругу фахівців. Сфера застосування електроніки постійно розширюється. Будь-яка складна технічна система оснащується електронними пристроями.

В цілому електроніка включає два напрями: енергетичний (силовий) й інформаційний. Дані методичні вказівки розглядають основи роботи тих електронних пристроїв, які забезпечують вимірювання, контроль і керування різним процесами в багатьох галузях. Вони є складовими систем перетворення і передачі інформації в системах керування. Знання фізичних основ електроніки потрібно для розроблення, проектування, виготовлення, дослідження й експлуатації електронних приладів і пристроїв, які використовуються в інформаційно-вимірювальних системах.

Розділи методичних вказівок присвячені виконанню експериментальних досліджень для вивчення фізичних процесів в діодах, в стабілітронах, в біполярних і польових транзисторах. Приведена методика проведення досліджень в Multisim, механізм аналізу отриманих результатів.

Кожна лабораторна робота містить короткі теоретичні відомості, порядок виконання роботи, рекомендації щодо обробки отриманих експериментальних даних, контрольні питання, а також посилання на літературні джерела.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ДІОДІВ

Мета роботи: знайомство з Multisim, дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) діодів для різних температур навколишнього середовища.

Теоретична частина

Електропровідність – це фізична величина, яка характеризує властивість речовини пропускати електричний струм під дією електричного поля. Електропровідність напівпровідника (НП) за величиною займає проміжне місце між провідниками і діелектриками. Електропровідність НП має виражену залежність: від зміни температури; від кількості домішок; від зміни освітлення; від магнітного поля; від електричного поля.

Власний НП – напівпровідник без домішок. Домішкова провідність НП – це провідність, викликана присутністю в НП домішок атомів з іншою валентністю.

Донорна домішка – це домішка, яка у НП збільшує вільні електрони. Напівпровідники з електронною провідністю (n типу) – напівпровідники, електропровідність яких підвищилася завдяки утворенню надлишку вільних електронів при введенні домішки.

Акцепторна домішка – це домішка, яка у НП збільшує вільні дірки. Напівпровідники з дірковою провідністю (p типу) – напівпровідники, електропровідність яких підвищилася завдяки утворенню надлишку вільних дірок при введенні домішки.

Внаслідок різниці концентрацій електронів і дірок у n и p областях буде відбуватися процес вирівнювання концентрацій зарядів шляхом дифузії (проникнення) електронів з n -області в p -область, а дірок з p -області в n -область – виникає потенціальний бар'єр (рис. 1.1).

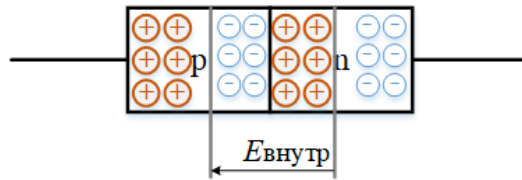
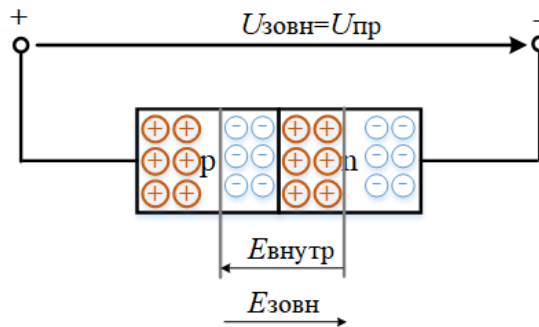


Рисунок 1.1

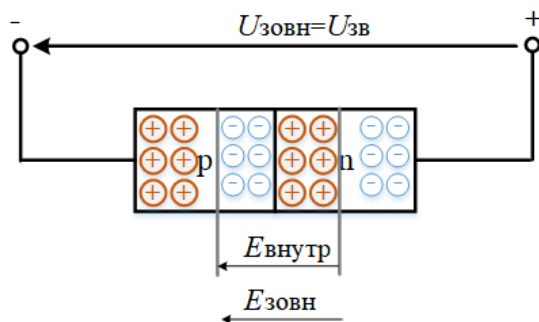
Пряме вмикання p - n – переходу (рис. 1.2): поле, створюване зовнішньою напругою в p - n – переході, спрямоване назустріч власному полю p - n – переходу. Потенціальний бар'єр зменшується до величини:

$$\Delta\varphi_{\text{конт}} = \varphi_{\text{конт}} - U_{\text{зовн}}.$$

Рисунок 1.2 – Пряме вмикання p - n – переходу

Зворотнє вмикання p - n – переходу (рис. 1.3): поле, створюване зовнішньою напругою в p - n – переході, спрямоване узгоджено з власним полем p - n – переходу. Потенціальний бар'єр між p - і n - областю зростає до значення:

$$\Delta\varphi_{\text{конт}} = \varphi_{\text{конт}} + U_{\text{зовн}}.$$

Рисунок 1.3 – Зворотнє вмикання p - n – переходу

Пряме і зворотнє вмикання p - n – переходу досліджується в практичній частині роботи.

Практична частина

Для досліджень використовуємо чотири схеми.

Перша схема (рис. 1.4) включає джерело постійної напруги ДЖ (1), діод $D1$ (2), мультиметр $XMM1$ (3), який використовується для визначення постійного струму, і мультиметр $XMM2$ (4), який використовується для визначення постійної напруги, активний опір R (5), який використовується для обмеження струму в колі діода, заземлення (6).

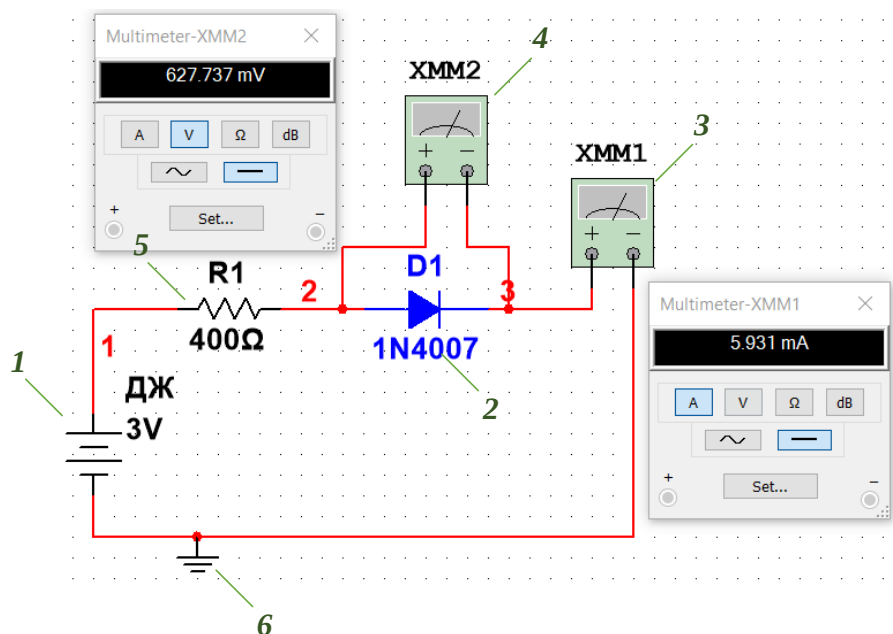


Рисунок 1.4 – Перша схема для досліджень

Друга схема (рис. 1.5) включає джерело регульованої постійної напруги ДЖ (1), діод $D1$ (2), мультиметр $XMM1$ (3), який використовується для визначення постійного струму, і мультиметр $XMM2$ (4), який використовується

для визначення постійної напруги, активний опір R (5), який використовується для обмеження струму в колі діода, заземлення (6).

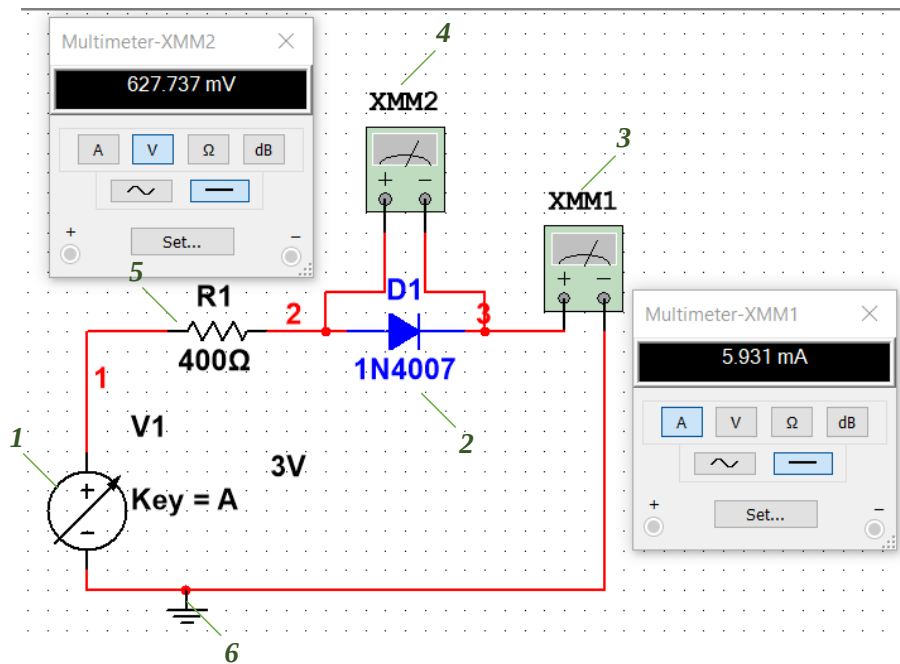


Рисунок 1.5 – Друга схема для досліджень

Третя схема (рис. 1.6) включає *IV analyzer XIV1* (1), діод *D1* (2).

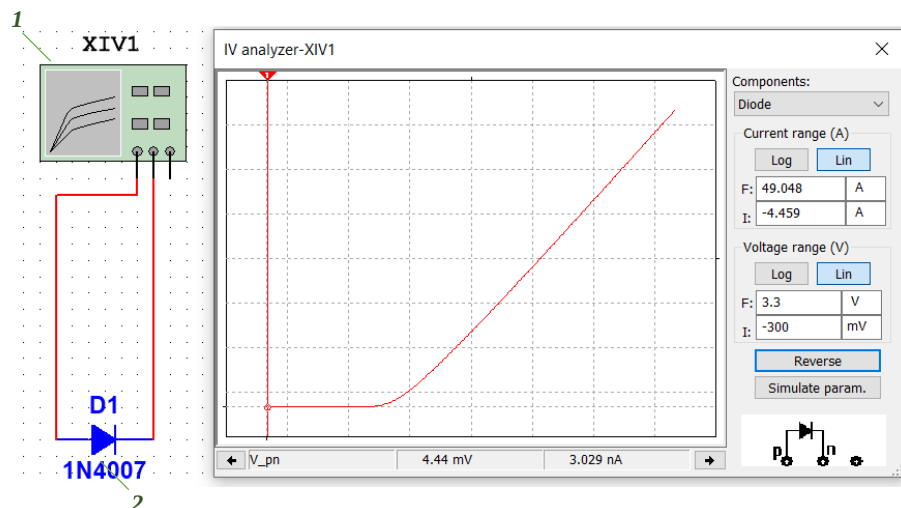


Рисунок 1.6 – Третя схема для досліджень

Четверта схема (рис. 1.7) включає генератор функцій *XFG1* (1), діод *D1* (2), осцилограф *XIC1* (3), активний опір *R* (4), який використовується для обмеження струму в колі діода, заземлення (5) і ВАХ (6).

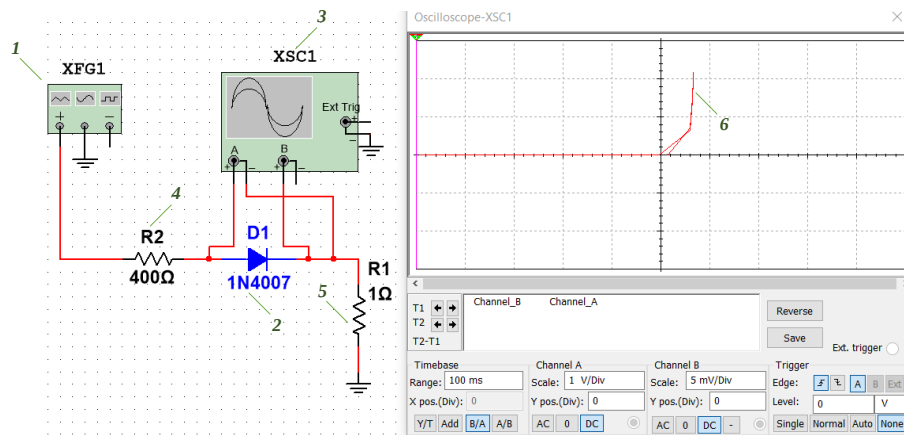


Рисунок 1.7 – Четверта схема для досліджень

Результати експериментальних досліджень ВАХ діодів (прямої та зворотної гілок) при 27 С, 125 С і -60 С зводять у табл. 1.1. За результатами табл. 1.1 будуються графічні залежності в одній системі координат (рис. 1.8).

Таблиця 1.1 – Експериментальні ВАХ діоду

U , В	I , мА	U , В	I , мА	U , В	I , мА
27 С		125 С		-60 С	
...	...	...	...	...	...

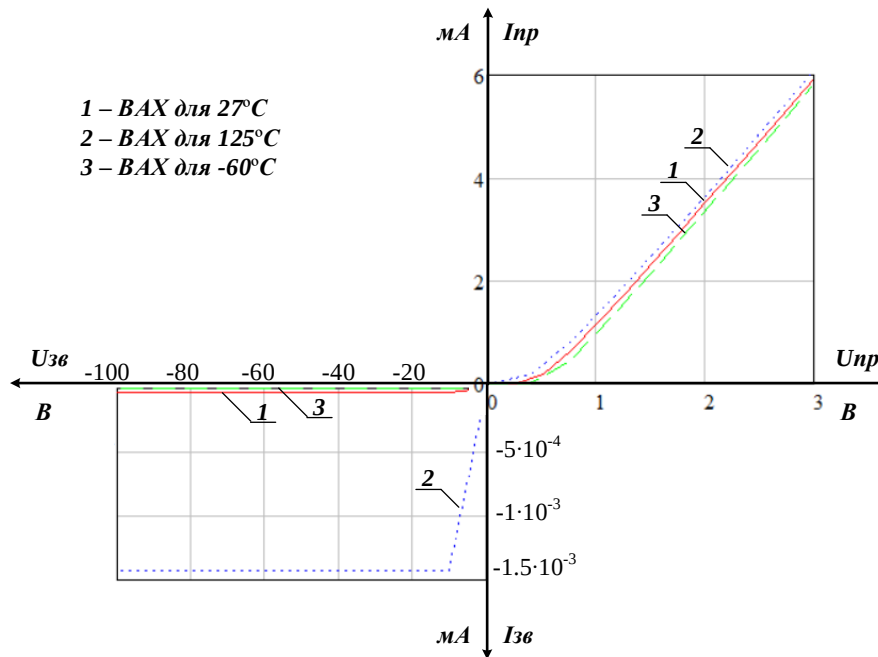


Рисунок 1.8 – Приклад ВАХ діода

Питання для самоперевірки

1. Властивості напівпровідників.
2. Електропровідність напівпровідників.
3. Механізми і типи електропровідності напівпровідників.
4. Механізм утворення області об'ємного заряду і потенціального бар'єра.
5. Механізм проходження струмів через р-п перехід для прямого та зворотного вмикання.

Література

[1-5].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛІТРОНІВ

Мета роботи: дослідити характеристики стабілітронів за допомогою програми Multisim.

Теоретична частина

Стабілітрон (діод Зенера) – це діод із точно заданою напругою пробією, розрахований на безперервну роботу в області пробією. Стабілітрон призначений: для стабілізації напруги, для обмеження напруги, для захисту від неприпустимого збільшення напруги.

Параметри стабілітрона:

1) зворотна напруга пробією U_{CT} (reverse breakdown knee voltage – U_{BV}).

2) зворотній струм пробією I_{CT} (reverse breakdown knee current – I_{BV}):

I_{CTmin} – це струм, при якому виникає стійкий пробій; I_{CTmax} – це струм, при якому потужність, що розсіюється на стабілітроні, не перевищує допустимого значення.

3) диференційний (динамічний) опір стабілітрона $r_{диф}$ (differential (dynamic) resistance) – відношення приросту напруги на стабілітроні до приросту струму в режимі стабілізації:

$$r_{диф} = \frac{\partial U_{CT}}{\partial I_{CT}} = \frac{U_{CTmax} - U_{CTmin}}{I_{CTmax} - I_{CTmin}}.$$

4) опір постійному струму (r_{CT}) – характеризує втрати в діоді в певній

робочій точці: $r_{CT} = \frac{U_{CT}}{I_{CT}}.$

5) добротність (коефіцієнт якості) стабілітрона – відношення статичного опору до диференційного (динамічного) при даному струмі стабілізації:

$$Q = \frac{r_{\text{ст}}}{r_{\text{диф}}} = \frac{\partial I_{\text{ст}}}{\partial U_{\text{ст}}} \cdot \frac{U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст}}}.$$

6) температурний коефіцієнт напруги стабілізації – показує зміну напруги стабілізації від температури:

$$\alpha_{\text{ст}} = \frac{1}{U_{\text{ст}}} \cdot \frac{\partial U_{\text{ст}}}{\partial T} \bigg|_{I_{\text{ст}}=\text{const}}.$$

7) максимальна потужність розсіювання $P_{\text{СТmax}}$ – максимальна потужність, при якій не виникає тепловий пробій переходу.

Параметри стабілітронів досліджуються в практичній частині роботи.

Практична частина

Відповідно до вихідних даних (табл. 2.1) в Multisim обирається тип стабілітрона – рис.2.1, і визначаються його параметри.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Тип стабілітрона	$U_{\text{ст}}$ В	$E_{\text{дж}}$ В	$r_{\text{нав}}$ кОм
1	1N4728A	3,3	9	5
2	1N4729A	3,6	9	5
3	1N4733A	5,1	15	4
4	1N4734A	5,6	18	3
5	1N4735A	6,2	18	3
6	1N4738A	8,2	24	3
7	1N4739A	9,1	27	2
8	1N4740A	10	30	2
9	1N4741A	11	33	2
10	1N4742A	12	36	2

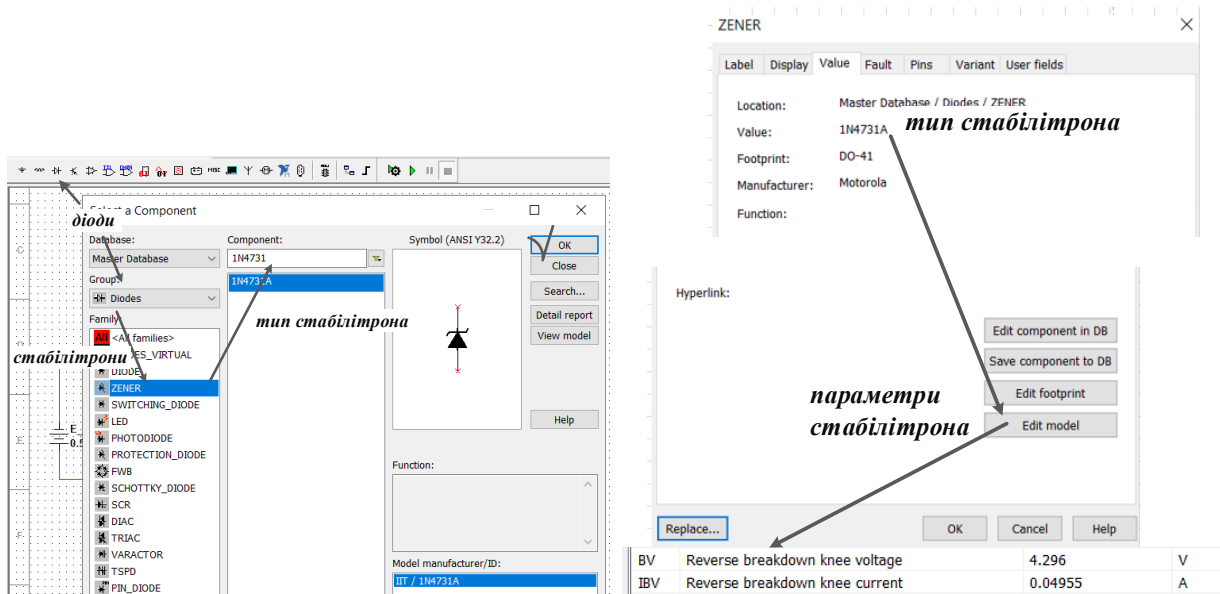


Рисунок 2.1 – Вибір типу стабілітрона і визначення його параметрів

Для заданого типу стабілітрона за напругою стабілізації U_{CT} і середнім струмом стабілізації I_{CT} визначається струм навантаження: $I_{наб} = \frac{U_{CT}}{r_{наб}}$.

Визначається обмежуючий активний опір: $r_{обм} = \frac{E_{дж} - U_{CT}}{I_{CT} + I_{наб}}$.

Складається схема для дослідження режимів як прямого (рис. 2.2, а), так і зворотного включення напруги живлення (рис. 2.2, б).

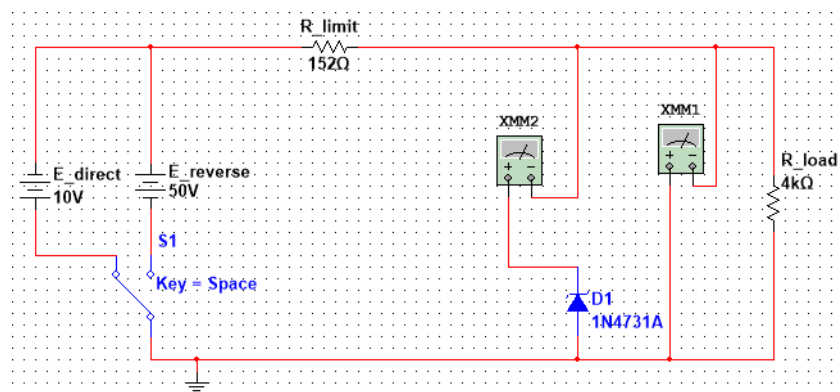


Рисунок 2.2 – Схема для досліджень режимів стабілітрона

Схема включає два джерела живлення постійного струму з прямою (direct) та зворотною (reverse) полярністю, і які перемикаються за допомогою ключа (рис. 2.3).

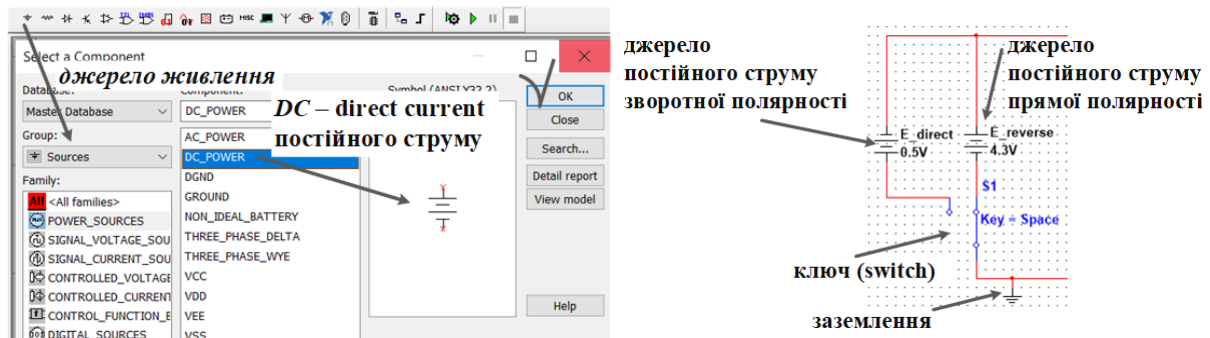


Рисунок 2.3 – Параметри джерела живлення

Результати експериментальних вимірювань заносимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Експериментальні вимірювання

$U_{\text{пр}}$ В	$I_{\text{пр}}$ мА	$U_{\text{зб}}$ В	$I_{\text{зб}}$ мА
...	...	...	...

На основі отриманих даних будуються ВАХ стабілітрона (рис. 2.4).

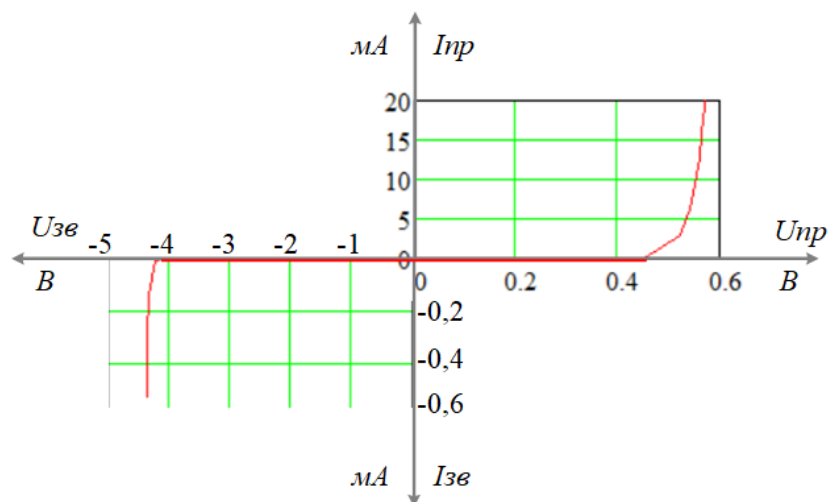


Рисунок 2.4 – Приклад експериментально отриманої ВАХ стабілітрона

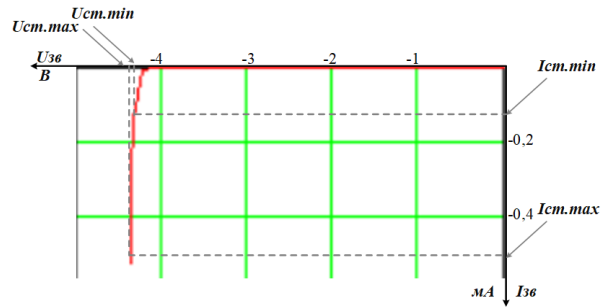


Рисунок 2.5 – Приклад зворотної гілки ВАХ стабілітрона

За даними зворотного режиму включення визначаються: $U_{CT_{max}}$, $U_{CT_{min}}$, $I_{CT_{max}}$, $I_{CT_{min}}$. Це дозволяє визначити диференційний опір стабілітрона – відношення приросту напруги на стабілітроні до приросту струму в режимі стабілізації:

$$r_{\text{диф}} = \frac{\partial U_{CT}}{\partial I_{CT}} = \frac{U_{CT_{max}} - U_{CT_{min}}}{I_{CT_{max}} - I_{CT_{min}}}.$$

Опір постійному струму характеризує втрати в діоді в певній робочій точці:

$$r_{CT} = \frac{U_{CT}}{I_{CT}}.$$

Добротність (коефіцієнт якості) стабілітрона – відношення статичного опору до диференційного (динамічного) при даному струмі стабілізації:

$$Q = \frac{r_{CT}}{r_{\text{диф}}}.$$

Питання для самоперевірки

1. Структура та принцип роботи випрямних діодів.
2. Структура та принцип роботи імпульсних діодів.
3. Структура та принцип роботи стабілітронів.
4. Структура та принцип роботи варикапів.
5. Структура та принцип роботи тунельних діодів

Література

[1-5].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ПОСЛІДОВНОГО І ПАРАЛЕЛЬНОГО ВКЛЮЧЕННЯ ДІОДІВ

Мета роботи: моделювання в Multisim і дослідження схем з використанням паралельного і послідовного включення діодів; дослідження ВАХ діода, статичного і динамічного опору.

Теоретична частина

Для отримання напруги вище ніж $U_{\text{звор.мах}}$ використовується послідовне з'єднання діодів (рис. 3.1, а), кількість яких визначається:

$$n = \frac{U_m}{k_U \cdot U_{\text{звор.мах}}}.$$

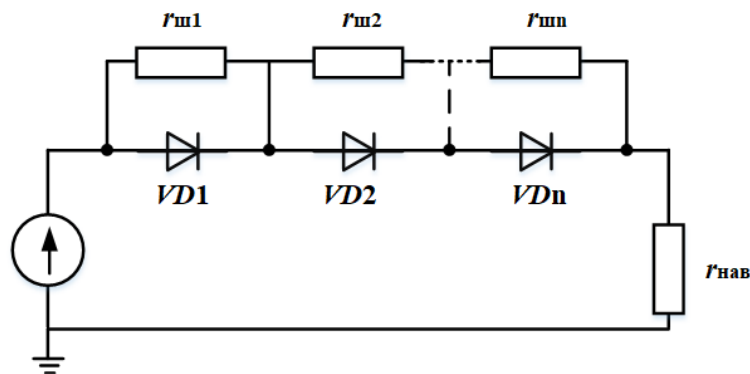


Рисунок 3.1 – Послідовне з'єднання діодів

Для рівномірно розподілу зворотної напруги між діодами вони шунтуються резисторами, опір яких визначається:

$$r_{ш} \leq \frac{n \cdot U_{\text{звор.мах}} - 1,1 \cdot U_m}{(n-1) \cdot I_{\text{звор.мах}}}.$$

Для отримання струму більшого ніж $I_{\text{пр.мах}}$ використовується паралельно з'єднання діодів (рис. 3.2, б), кількість яких визначається:

$$n = \frac{I_{\text{випр.м}}}{k_1 \cdot I_{\text{пр.мах}}}.$$

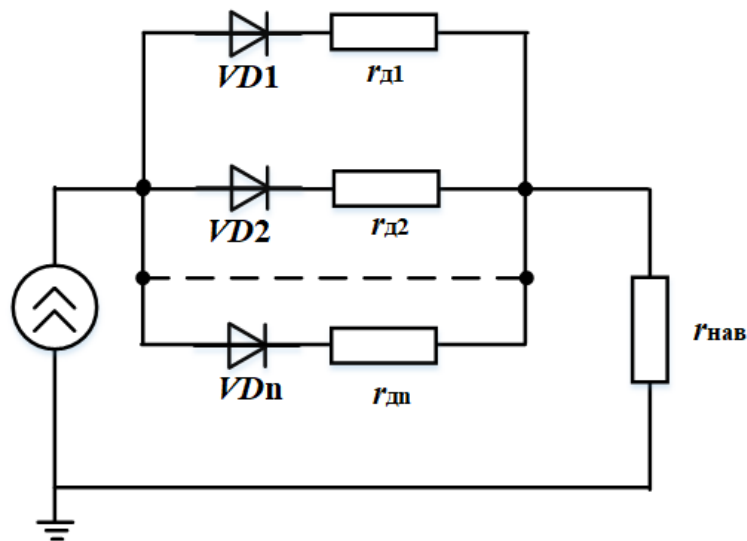


Рисунок 3.2 – Паралельне з'єднання діодів

Для зрівняння струмів через діоди послідовно до кожного з них вмикають додаткові резисторами, опір яких визначається:

$$r_{\text{д}} \geq \frac{U_{\text{пр}} \cdot (n-1)}{n \cdot I_{\text{пр.мах}} - 1,1 \cdot I_{\text{випр.мах}}}.$$

Послідовне і паралельне вмикання діодів досліджуються в практичній частині роботи.

Практична частина

Для заданого типу діода (табл. 3.1), наприклад BA157GP, в параметрах визначається $U_{\text{звор.мах}} = 100 \text{ В}$, $I_{\text{звор.мах}} = 100 \text{ мкА}$, $I_{\text{пр.мах}} = 1 \text{ А}$:

BV	Reverse breakdown knee voltage	100	V	☐
IBV	Reverse breakdown knee current	0.0001	A	☐

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Тип діоду	Коефіцієнт підсилення за напругою і струмом k_U, k_I	Амплітудне значення випрямленої напруги U_m В	Амплітудне значення випрямленого струму $I_{\text{випр.м}}$ А
1	1N4001	0,5	200	1,0
2	1N4001	0,6	200	1,1
3	1N4001	0,7	200	1,2
4	BA157GP	0,8	200	1,3
5	BA157GP	0,5	220	1,4
6	BA157GP	0,6	220	1,5
7	BYV10-20	0,7	220	1,6
8	BYV10-20	0,8	220	1,7
9	BYV10-20	0,5	240	1,8
10	BYV27-100	0,6	240	1,9

Як вище згадувалося, послідовне з'єднання діодів використовують для отримання напруги вище ніж $U_{\text{звор.мах}}$, тому кількість послідовно з'єднаних діодів:

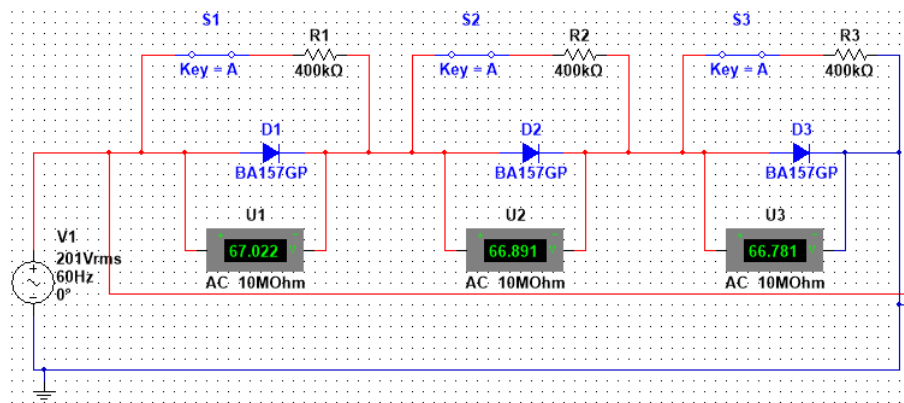
$$n = \frac{U_m}{k_U \cdot U_{\text{звор.мах}}} = \frac{200}{0,8 \cdot 100} = 2,5.$$

Отримане значення округляється до найбільшого цілого числа: $n = 3$.

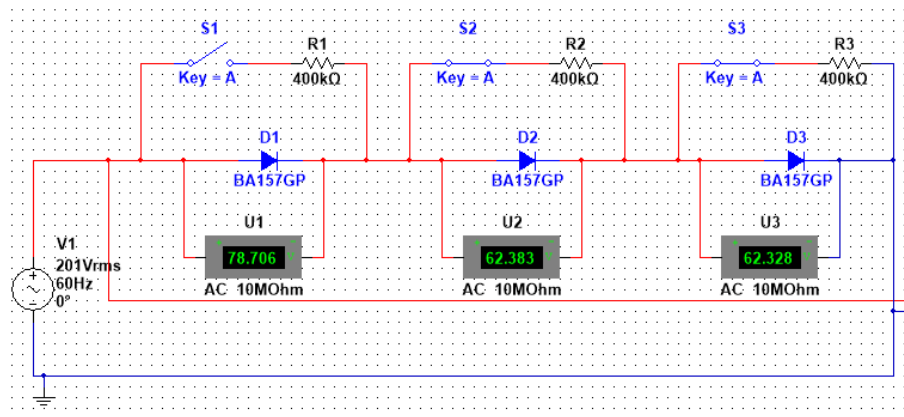
Для рівномірно розподілу зворотної напруги між діодами, застосовують шунтування діодів резисторами:

$$r_u \leq \frac{n \cdot U_{\text{звор. max}} - 1,1 \cdot U_m}{(n-1) \cdot I_{\text{звор. max}}} = \frac{3 \cdot 100 - 1,1 \cdot 200}{(3-1) \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 400 \text{ кОм.}$$

Схема послідовного з'єднання діодів і опорів, що шунтують, показані на рис. 3.3, а. При відсутності хоча б одного резистора (рис. 3.3, б, розімкнений ключ S1) розподіл напруги буде нерівномірним.



а



б

Рисунок 3.3 – Схема послідовного з'єднання діодів

Паралельне з'єднання діодів використовують для отримання струму більшого ніж $I_{\text{пр. max}}$. Для паралельного з'єднання діодів їх кількість визначається за виразом:

$$n = \frac{I_{\text{випр.м}}}{k_1 \cdot I_{\text{пр.мах}}} = \frac{1,3}{0,8 \cdot 1,0} = 1,625.$$

Округляємо до найбільшого цілого числа: $n = 2$.

Для зрівняння струмів через діоди послідовно до кожного з них вмикають додаткові резисторами (рис. 3.4):

$$r_o \geq \frac{U_{\text{пр}} \cdot (n-1)}{n \cdot I_{\text{пр.мах}} - 1,1 \cdot I_{\text{випр.мах}}} = \frac{1,3 \cdot (2-1)}{2 \cdot 1,0 - 1,1 \cdot 1,3} = 2,3 \text{ Ом.}$$

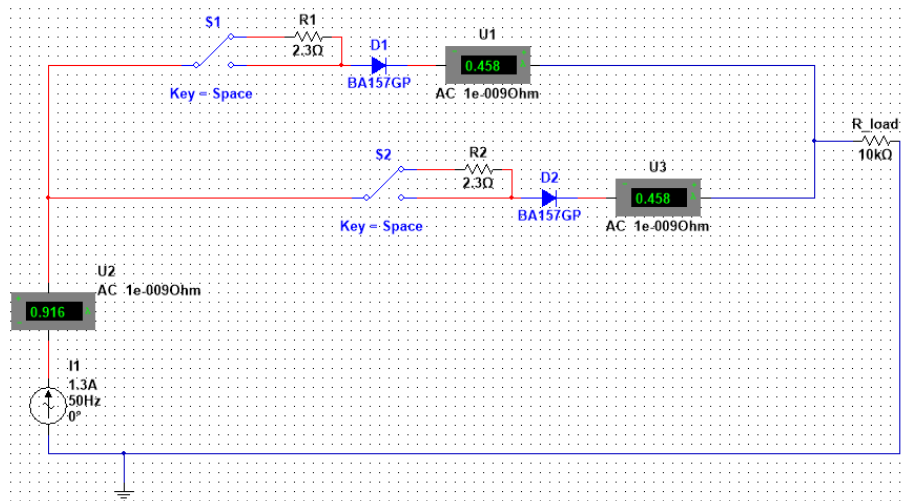


Рисунок 3.4 – Схема паралельного з'єднання діодів

Для визначення ВАХ діода збирається схему вимірювання – рис.3.5, а результати вимірювань заносяться в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – ВАХ діода

$I_{\text{пр}}$ А						
$U_{\text{пр}}$ В						

За даними табл. 3.1 визначаємо статичний опір (опір постійному струму), який характеризує втрати в діоді у певній робочій точці:

$$r_{CT} = \frac{U}{I},$$

де U , I – напруга і струм певної точки на ВАХ (в робочій зоні).

Диференціальний (динамічний) опір – це відношення приросту напруги на діоді до приросту струму:

$$r_{\partial} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

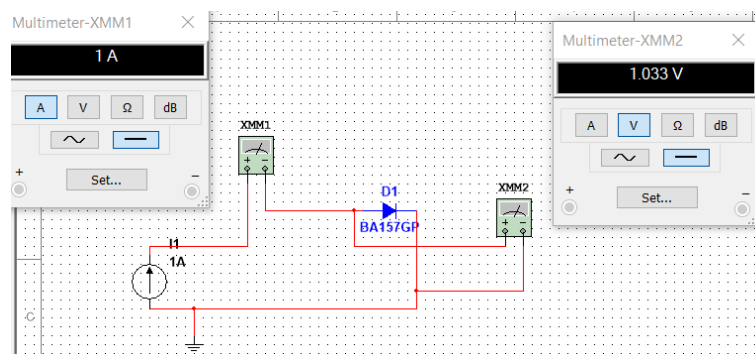


Рисунок 3.5 – Схема для визначення ВАХ діода

Питання для самоперевірки

1. Класифікація діодів за призначенням?
2. Коли застосовують паралельне з'єднання діодів?
3. Коли застосовують послідовне з'єднання діодів?

Література

[1 – 5].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

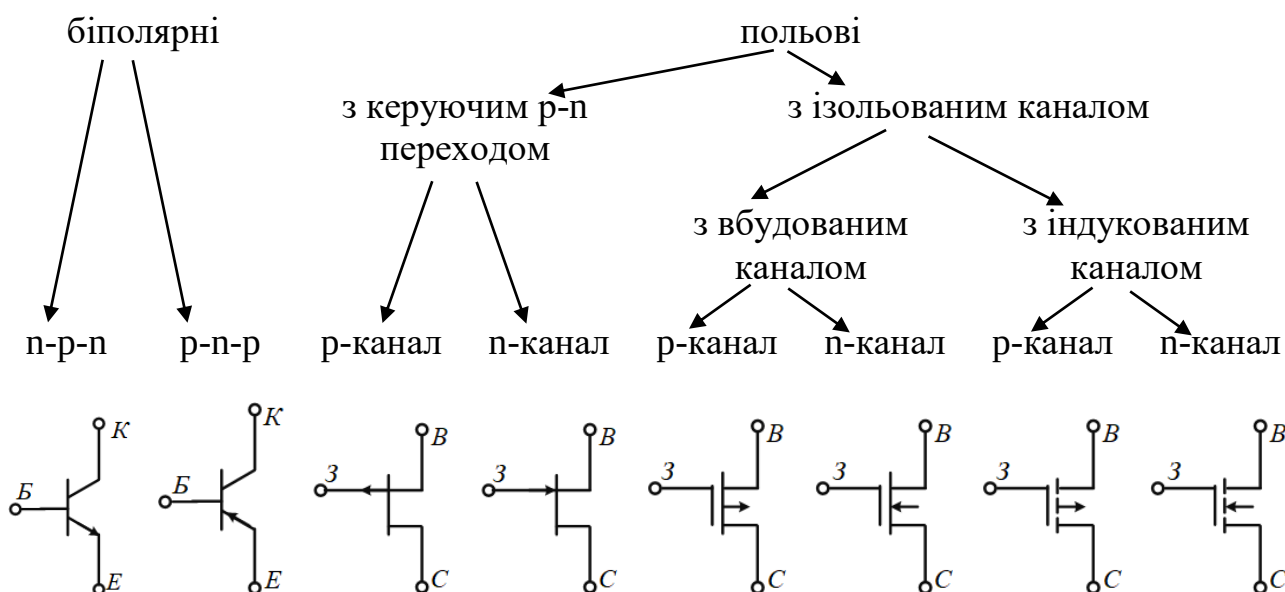
ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ БІПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА ЗА СХЕМОЮ ВКЛЮЧЕННЯ ЗІ СПІЛЬНОЮ БАЗОЮ

Мета роботи: моделювання в Multisim і дослідження схеми біполярного транзистора у схемі включення зі спільною базою.

Теоретична частина

Транзистор – напівпровідниковий прилад, який застосовується для підсилення потужності малопотужних електричних сигналів і генерації електричних коливань.

За конструкцією транзистори поділяють на:



Для біполярних транзисторів використовуються три схеми включення – зі спільною базою (СБ), зі спільним емітером (СЕ), зі спільним колектором (СК), основні властивості яких підсумовані у табл. 4.1. Схема включення біполярного транзистора (БПТ) зі СБ досліджується в практичній частині роботи.

Таблиця 4.1 – Схеми включення БПТ

Параметр	Схема включення		
	СЕ	СБ	СК
Коефіцієнт підсилювання струму $k_I = \frac{I_{\text{мвих}}}{I_{\text{мвх}}}$	$k_I = \frac{I_{\text{мК}}}{I_{\text{мБ}}}$ Статичний коефіцієнт передачі струму (режим без навантаження (XX), $U_{\text{КБ}} = \text{const}$): $\beta = \frac{\Delta i_{\text{К}}}{\Delta i_{\text{Б}}}$ $k_I = \text{десятки...сотні}$ $k_I < \beta$	$k_I = \frac{I_{\text{мК}}}{I_{\text{мЕ}}} \approx 1$ Статичний коефіцієнт передачі струму (режим без навантаження (XX), $U_{\text{КБ}} = \text{const}$): $\alpha = \frac{\Delta i_{\text{К}}}{\Delta i_{\text{Е}}}$ $k_I = \text{завжди менше одиниці}$ $k_I < \alpha$	$k_I = \frac{I_{\text{мЕ}}}{I_{\text{мБ}}} = \frac{I_{\text{мК}}}{I_{\text{мБ}}} + 1 = k_{I \text{ СЕ}} + 1$ $k_{I \text{ СК}} \gg k_{I \text{ СЕ}}$
	$(k_{I \text{ СБ}} < 1) \ll k_{I \text{ СЕ}} \ll k_{I \text{ СК}}$		
Коефіцієнт підсилювання напруги $k_U = \frac{U_{\text{мвих}}}{U_{\text{мвх}}}$	$k_U = \frac{U_{\text{мКЕ}}}{U_{\text{мБЕ}}}$ $k_U = \text{десятки...сотні}$	$k_U = \frac{U_{\text{мКБ}}}{U_{\text{мЕБ}}}$ $k_U = \text{десятки...сотні}$ $k_{U \text{ СБ}} \approx k_{U \text{ СЕ}}$	$k_U = \frac{U_{\text{мЕК}}}{U_{\text{мБК}}} = \frac{U_{\text{мЕК}}}{U_{\text{мБЕ}} + U_{\text{мЕК}}} < 1$ $k_U = \text{завжди менше одиниці}$
	$(k_{U \text{ СК}} < 1) \ll k_{U \text{ СБ}}, k_{U \text{ СЕ}}$		

Коефіцієнт підсилювання потужності $k_p = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}}$	$k_p = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{м вих}} I_{\text{м вих}}}{U_{\text{м вх}} I_{\text{м вх}}} = k_I k_U$ $k_p = \text{сотні...десятки тисяч}$	$k_I \approx 1$ $k_p = k_I k_U \approx k_U$ $k_p = \text{десятки...сотні}$ $k_p = k_U$	$k_U \approx 1$ $k_p = k_I k_U \approx k_I$ $k_p = \text{десятки...сотні}$ $k_p = k_I$
Вхідний опір $R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{м вх}}}{I_{\text{м вх}}}$	$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{м БЕ}}}{I_{\text{м Б}}}$ $R_{\text{вх}} \text{ сотні Ом або одиниці кОм}$	$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{м ЕБ}}}{I_{\text{м Е}}}$ $R_{\text{вх}} \text{ одиниці ... десятки Ом}$ $R_{\text{вх CE}} \gg R_{\text{вх СБ}}$	$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{м БК}}}{I_{\text{м Б}}} = \frac{U_{\text{м БЕ}} + U_{\text{м ЕК}}}{I_{\text{м Б}}} =$ $= \frac{U_{\text{м БЕ}} + U_{\text{м вих}}}{I_{\text{м Б}}}$ $R_{\text{вх СК}} = R_{\text{вх CE}} + \frac{U_{\text{м вих}}}{I_{\text{м Б}}}$ $R_{\text{вх}} \text{ десятки ... сотні кОм}$ $R_{\text{вх CE}} \ll R_{\text{вх СК}}$
	$R_{\text{вх СБ}} \ll R_{\text{вх CE}} \ll R_{\text{вх СК}}$		
Вихідний опір $R_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{м вих}}}{I_{\text{м вих}}}$	$R_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{м КЕ}}}{I_{\text{м К}}}$ $R_{\text{вих}} \text{ одиниці ... десятки кОм}$	$R_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{м КБ}}}{I_{\text{м К}}}$ $R_{\text{вих}} \text{ сотні кОм ... одиниці мОм}$	$R_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{м ЕК}}}{I_{\text{м Е}}}$ $R_{\text{вих}} \text{ сотні Ом ... одиниці кОм}$
	$R_{\text{вих СБ}} \gg R_{\text{вих CE}} \gg R_{\text{вих СК}}$		
Фазовий зсув	180°	0°	0°

Практична частина

Вихідні дані до роботи наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані

№ варіанту	Тип транзистора
1	2N2904
2	2N2905
3	2N2906
4	2N2907
5	2N3244
6	2N3250
7	2N3251
8	2N3485
9	2N3486
10	2N3494

За даними табл. 4.2 збирається схема досліджень і вимірювань (рис. 4.1).

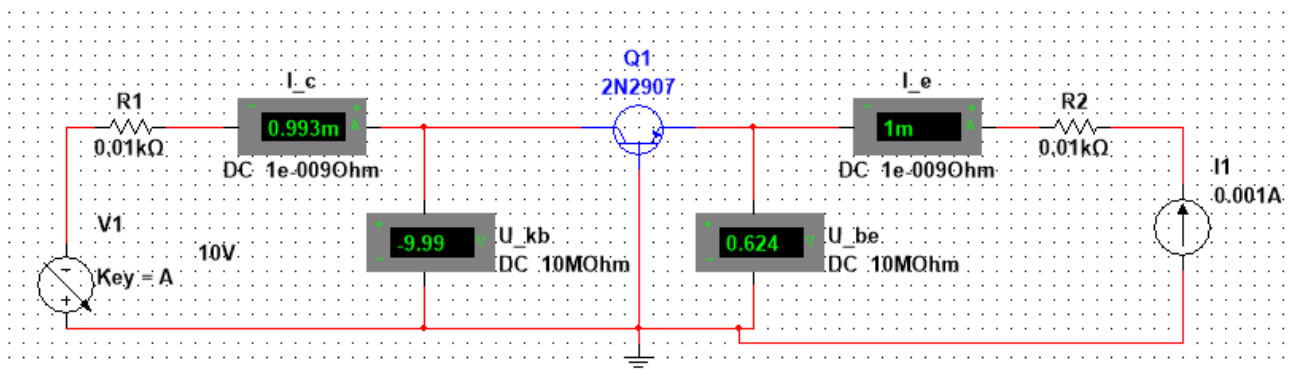


Рисунок 4.1 – Схема дослідження властивостей БПТ у включенні зі СБ

Підключити схему до блоку живлення, послідовно встановити величину напруги $U_{\text{КБ}} = 0 \text{ В}$, 5 В , 10 В , провести вимірювання електричних параметрів переходу емітер-база $I_{\text{Е}}$, $U_{\text{КБ}}$ при струмі емітера від $I_{\text{Е}} = 0$ до 10 мА (табл. 4.3).

Дані табл. 4.3 визначають входні ВАХ БПТ (рис. 4.2) для схеми зі СБ:

$$i_{\text{Е}} = f(u_{\text{БЕ}}), u_{\text{КБ}} = \text{const}.$$

Таблиця 4.3 – Електричні параметри для побудови вхідних ВАХ БПТ зі СБ

	i_E , мА	0	0,1	1	2	4	6	8	10
$u_{KB}=0$ В	u_{BE} , В								
$u_{KB}=5$ В	u_{BE} , В								
$u_{KB}=10$ В	u_{BE} , В								

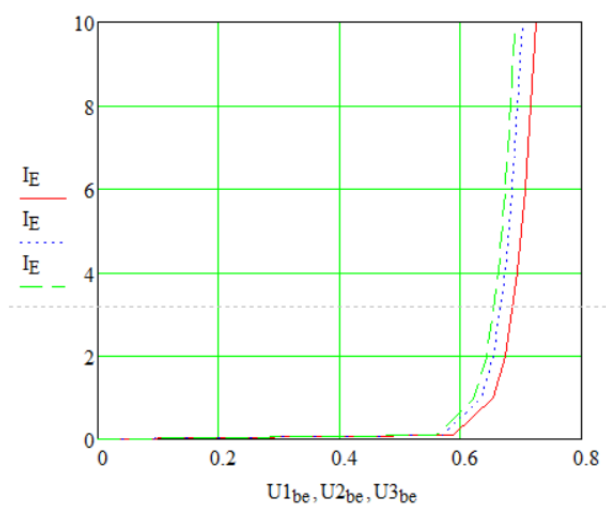


Рисунок 4.2 – Приклад визначення вхідних ВАХ БПТ

Змінюючи напругу на блоку живлення, послідовно встановити величину струму емітера: $I_E=0$; 2 мА; 4 мА; 6 мА; 8 мА. При кожному значенні струму емітера зняти залежність струму колектору I_K від напруги колектор-база U_{KB} . Шаг зміни напруги $U_{KB}=0,2$ В, при нарузі менше 1 В, і 1 В до напруги 10 В. Отримані дані занести в табл. 4.4. За даними в табл. 4.4 будується сімейство вихідних ВАХ БПТ для схеми зі СБ:

$$i_K = f(u_{KB}), i_E = const.$$

Таблиця 4.4 – Електричні параметри для побудови вихідних ВАХ БПТ зі СБ

	$u_{\text{кб}}, \text{В}$	0	0,5	1	2	6	7	8	10
$i_{\text{Е}}=0 \text{ мА}$	$i_{\text{к}}, \text{мА}$								
$i_{\text{Е}}=2 \text{ мА}$	$i_{\text{к}}, \text{мА}$								
$i_{\text{Е}}=4 \text{ мА}$	$i_{\text{к}}, \text{мА}$								
$i_{\text{Е}}=6 \text{ мА}$	$i_{\text{к}}, \text{мА}$								
$i_{\text{Е}}=8 \text{ мА}$	$i_{\text{к}}, \text{мА}$								

Питання для самоперевірки

1. Структура та принцип роботи транзистора.
2. Режимы роботи транзистора.
3. Фізичні процеси у транзисторі в активному режимі

Література

[1 – 5].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ БІПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА ЗА СХЕМОЮ ВКЛЮЧЕННЯ ЗІ СПІЛЬНИМ ЕМІТЕРОМ

Мета роботи: моделювання в Multisim і дослідження схеми біполярного транзистора у схемі включення зі спільним емітером.

Теоретична частина

У транзисторі можливі чотири комбінації знаків напруг, що подаються на емітерний (ЕП) та колекторний (КП) переходи (рис. 5.1).

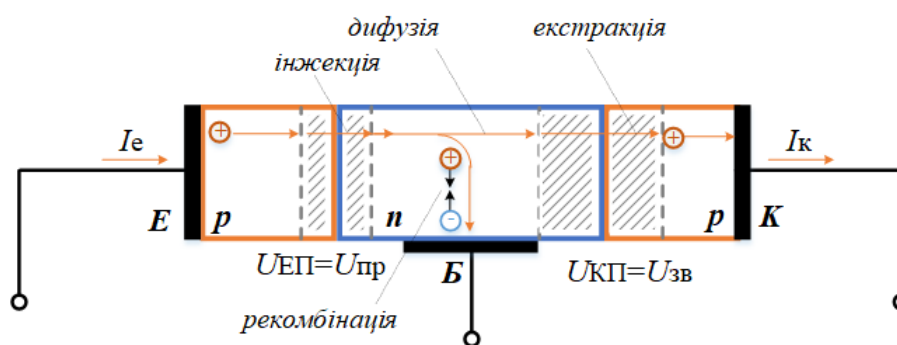


Рисунок 5.1 – Схема р-п-р біполярного транзистора

Відповідно до цього розрізняють чотири режими роботи транзистора:

1) активний нормальний режим (режим підсилення) – ЕП зміщено у прямому, а КП – у зворотному напрямі:

$$U_{ЕП} = U_{пр}, U_{КП} = U_{звор}.$$

2) режим відсікання (режим запирання) — обидва переходи зміщено у зворотному напрямі:

$$U_{ЕП} = U_{звор}, U_{КП} = U_{звор}.$$

3) режим насичення – обидва переходи зміщено у прямому напрямі:

$$U_{\text{ЕП}} = U_{\text{пр}}, U_{\text{КП}} = U_{\text{пр}}.$$

4) активний інверсний режим – КП зміщено у прямому, а ЕП – у зворотному напрямі:

$$U_{\text{ЕП}} = U_{\text{звор}}, U_{\text{КП}} = U_{\text{пр}}.$$

Схема включення біполярного транзистора (БПТ) зі СЕ досліджується в практичній частині роботи.

Практична частина

Вихідні дані до роботи наведені у табл. 4.2 (див. лаб. роб. 4). Змінюється схема включення транзистора – рис. 5.2.

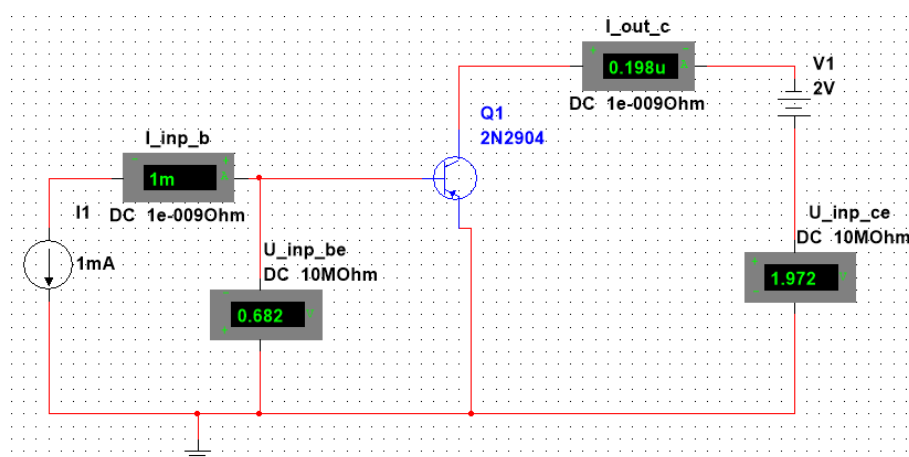


Рисунок 5.2 – Схема дослідження властивостей БПТ у включенні зі СЕ

Необхідно послідовно встановити величину напруги $U_{\text{КЕ}} = 0 \text{ В}, 5 \text{ В}, 10 \text{ В}$; провести вимірювання $I_{\text{Б}}, U_{\text{БЕ}}$ при струмі від $I_{\text{Б}} = 0$ до 10 мА (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Електричні параметри для побудови вхідних ВАХ БПТ зі СЕ

	$i_{\text{Б}}, \text{мА}$	0	0,1	1	2	4	6	8	10
$U_{\text{КЕ}} = 0 \text{ В}$	$u_{\text{БЕ}}, \text{В}$								
$U_{\text{КЕ}} = 5 \text{ В}$	$u_{\text{БЕ}}, \text{В}$								

$U_{KE}=10\text{ В}$	$u_{BE}, \text{ В}$								
----------------------	---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Дані табл. 5.1 визначаються вхідні ВАХ БПТ зі СЕ:

$$i_B = f(u_{BE}), u_{KE} = const.$$

Далі послідовно встановити величину струму бази: $I_B=0\text{ мА}$; 2 мА ; 4 мА ; 6 мА ; 8 мА . При кожному значенні струму зняти залежність I_K від U_{KE} . Шаг зміни напруги $U_{KE}=0,2\text{ В}$, при напрузі менше 1 В , і 1 В до напруги 10 В (табл. 5.2). За даними в табл. 5.2 будуються вихідні ВАХ БПТ зі СЕ:

$$i_K = f(u_{KE}), i_B = const.$$

Таблиця 5.2 – Електричні параметри для побудови вихідних ВАХ БПТ зі СЕ

	$u_{KE}, \text{ В}$	0	0,5	1	2	6	7	8	10
$i_B=0\text{ мА}$	$i_K, \text{ мА}$								
$i_B=2\text{ мА}$	$i_K, \text{ мА}$								
$i_B=4\text{ мА}$	$i_K, \text{ мА}$								
$i_B=6\text{ мА}$	$i_K, \text{ мА}$								
$i_B=8\text{ мА}$	$i_K, \text{ мА}$								

Питання для самоперевірки

1. Принцип роботи транзистора.
2. Режим роботи транзистора.
3. Фізичні процеси у транзисторі в активному режимі

Література

[1 – 5].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ В MULTISIM ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА ЗА СХЕМОЮ ВКЛЮЧЕННЯ ЗІ СПІЛЬНИМ ВИТОКОМ

Мета роботи: моделювання в Multisim і дослідження схеми біполярного транзистора зі спільним витоком.

Теоретична частина

Польовий транзистор — це підсилювальний прилад, принцип дії якого полягає в керуванні вихідним струмом за рахунок змінювання внутрішньої провідності каналу під впливом керувального електричного поля.

Структура польового транзистора включає: виток — електрод, від якого починають рухатися носії заряду; затвор — вивід, який об'єднуються між собою два інверсних шари, які створено відносно каналу; сток — електрод, до якого рухаються носії заряди. Канал — частина НП між двома р-п-переходами.

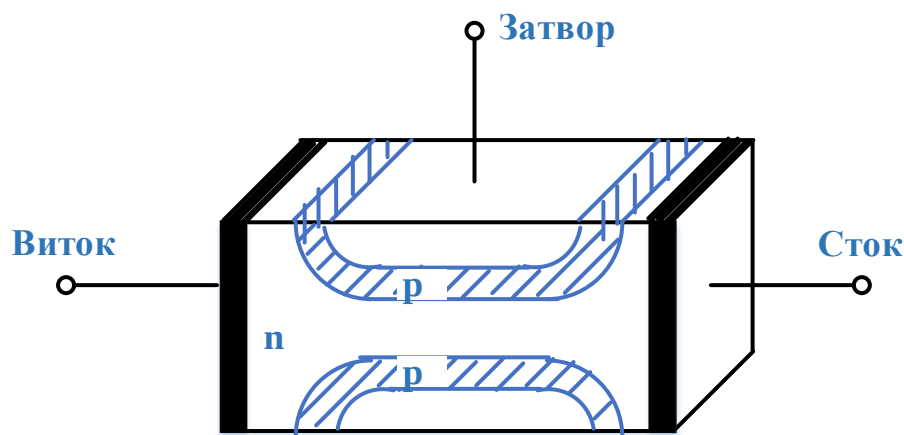


Рисунок 6.1 – Схема польового транзистора

Схема включення біполярного транзистора зі спільним витоком досліджується в практичній частині роботи. Вихідні дані до роботи в табл. 7.1.

Практична частина

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

№ варіанту	Тип транзистора
1	2N3370
2	2N3458
3	2N3459
4	2N3684
5	2N3685
6	2N3686
7	2N3687
8	2N3821
9	2N3822
10	2N3823

Схема для дослідження польового транзистора - рис. 6.2.

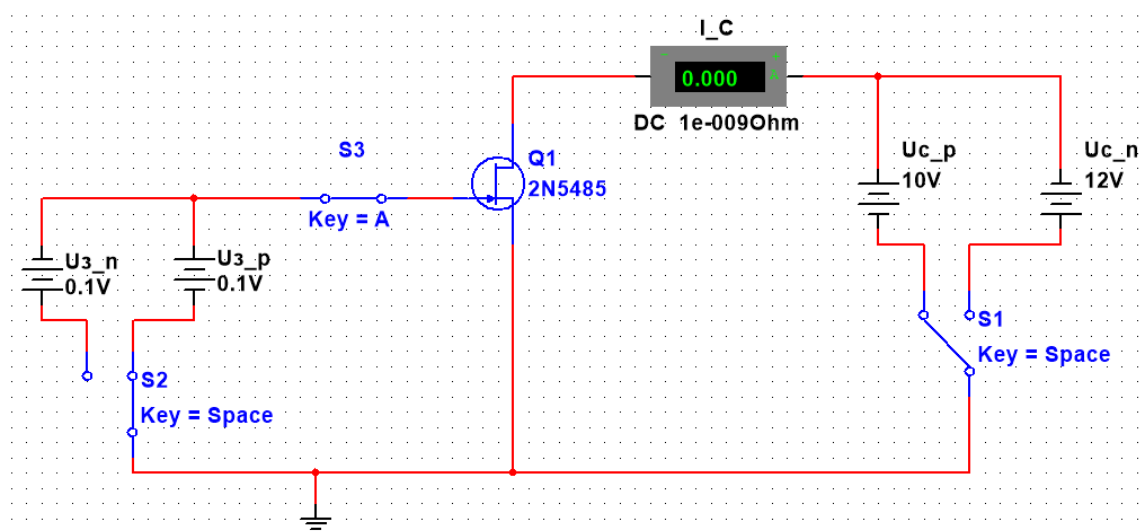


Рисунок 6.2 – Схема дослідження польового транзистора у включенні зі
СПІЛЬНИМ ВИТОКОМ

Спочатку експериментальним шляхом визначається напруга відсічення U_{30} і початковий струм стоку I_{C0} .

На блоку живлення встановлюється напруга на затворі 0 В і напруга на стоці 10 В (рис. 6.3): за амперметром визначається початковий струм стоку I_{C0} .

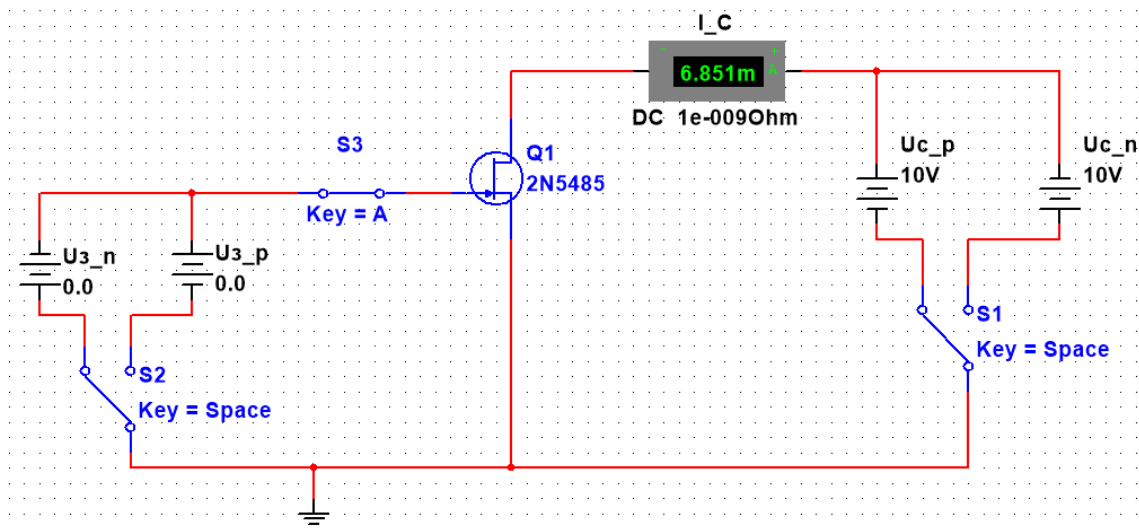


Рисунок 6.3

Плавно збільшуючи негативну напругу на затворі домогтися падіння струму стоку до $\sim 10 \text{ мкА} = 0,01 \text{ мА}$. Показання вольтметра U_3 , при якому струм стоку зменшиться до $\sim 10 \text{ мкА}$, буде відповідати напрузі відсічення $U_{3\text{Відс}}$ (рис. 6.4).

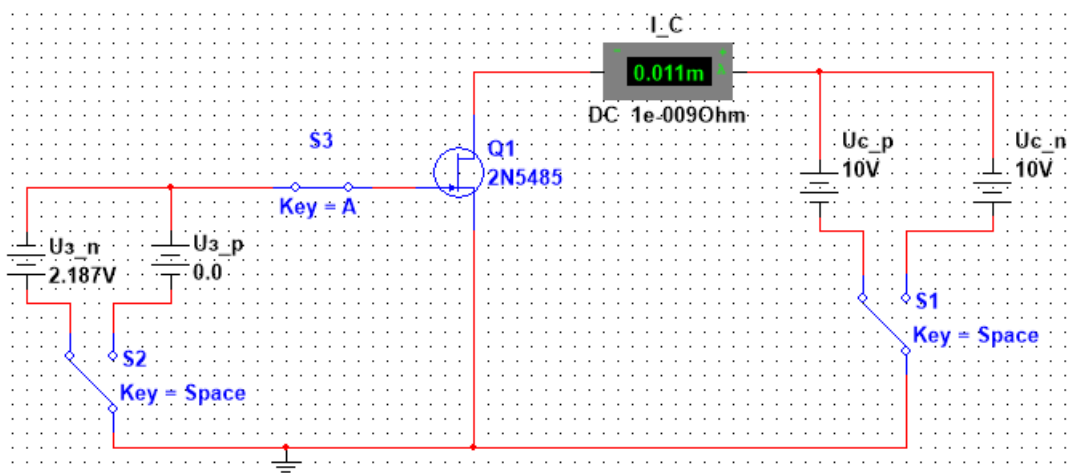


Рисунок 6.4

Змінюючи напругу на затворі провести вимірювання електричних параметрів переходу затвор-виток, та занести їх до табл. 6.2. Побудувати графік передавальної характеристики $I_C = f(U_{зв})$ (рис.6.5).

Таблиця 6.2 – Електричні параметри для побудови передавальної характеристики польового транзистора

	$U_{CB}=10\text{ В}$										
$U_{зв}$ В											
I_C мА											
S А/В											
	$U_{CB}=5\text{ В}$										
$U_{зв}$ В											
I_C мА											
	$U_{CB}=1\text{ В}$										
$U_{зв}$ В											
I_C мА											

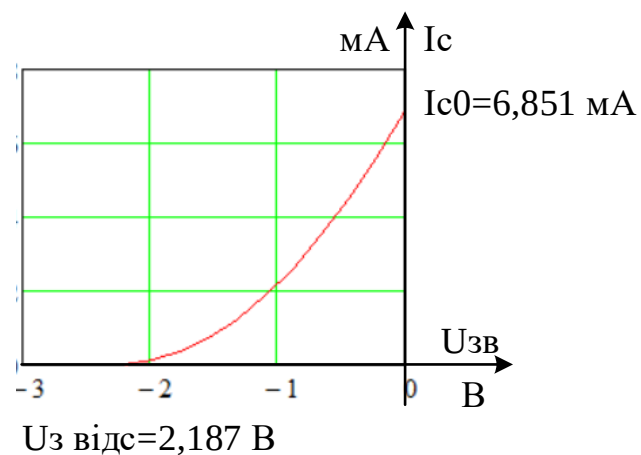


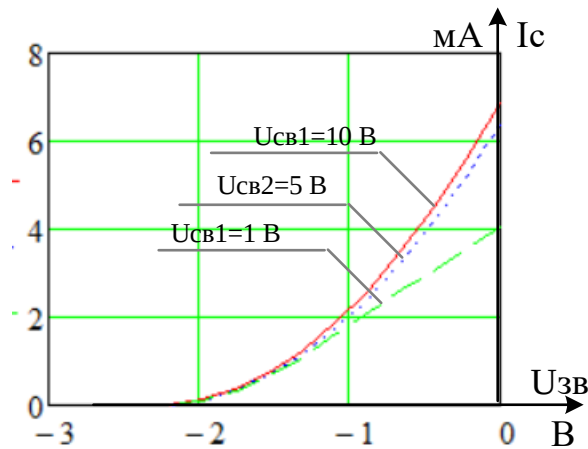
Рисунок 6.5 – Приклад передавальної характеристики ($U_{св}=10\text{ В}$)

Рисунок 6.6 – Приклад сімейства передавальних характеристик

Далі необхідно визначити крутизну польового транзистора для кожної напруги і результати розрахунку занести в табл. 6.2:

$$S_{\max} = \frac{2I_{C\max}}{U_{ЗВ\text{відс}}}, \quad S = S_{\max} \cdot \left(1 - \frac{U_{ЗВ}}{U_{ЗВ\text{відс}}}\right).$$

Наступним кроком досліджуємо вихідні характеристики польового транзистора (рис. 6.6). Виконуються заміри сімейства вихідних характеристик польового транзистора $I_C = f(U_{св})$ в пологій області для різної напруги затвора $U_{ЗВ}$. Наприклад: $U_{ЗВ}=0$; $0,2 \cdot U_{ЗВ\text{відс}}$; $0,4 \cdot U_{ЗВ\text{відс}}$; $0,8 \cdot U_{ЗВ\text{відс}}$; $-0,4 \cdot U_{ЗВ\text{відс}}$. Останні дві характеристики допустимо знімати, тільки якщо $U_{ЗВ\text{відс}} < 0,5\text{ В}$. Змінюючи напругу на блоку живлення U_C від 0 до 10 В, послідовно, провести вимірювання електричних параметрів. Отримані дані занести в таблицю 6.3.

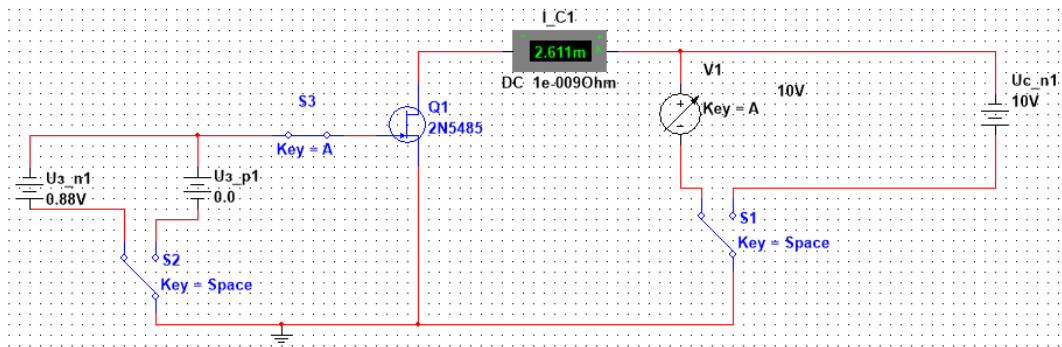


Рисунок 6.6 – Схема вимірювання вихідних ВАХ польового транзистора

Таблиця 6.3 – Електричні параметри для побудови вихідних вольт-амперних характеристик польового транзистора

	$U_{3B} = 0 \text{ В}$									
U_{CB} В										
I_C мА										
	$ U_{3B} = 0,44 \text{ В } (0,2 \cdot U_{3B \text{ відс}})$									
U_{CB} В										
I_C мА										
	$ U_{3B} = 0,88 \text{ В } (0,4 \cdot U_{3B \text{ відс}})$									
U_{CB} В										
I_C мА										
	$ U_{3B} = 1,76 \text{ В } (0,8 \cdot U_{3B \text{ відс}})$									
U_{CB} В										
I_C мА										
	$U_{3B} = 0,88 \text{ В}$									
U_{CB} В										
I_C мА										

Примітка: не перевищувати максимально допустимий постійний струм стоку

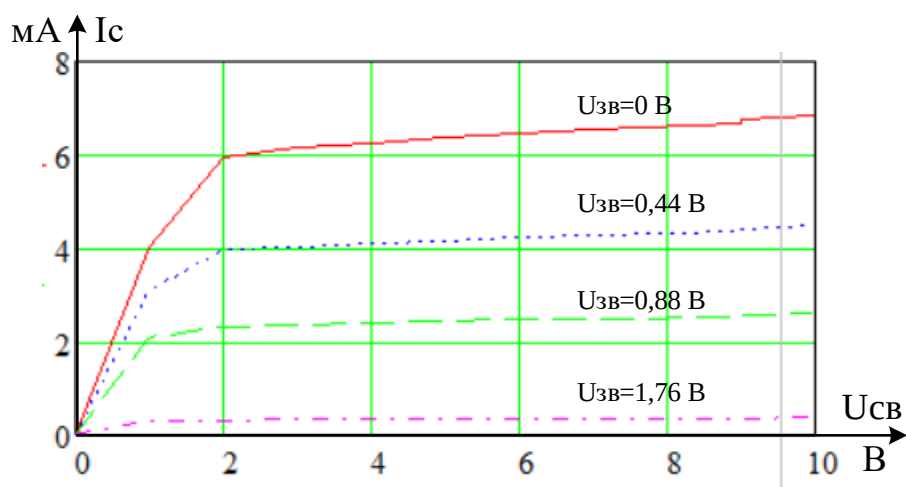


Рисунок 6.7 – Приклад вихідних ВАХ польового транзистора з п-каналом

За отриманими даними робляться висновки.

Питання для самоперевірки

1. Принцип роботи транзистора.
2. Структура та принцип роботи польового транзистора з керувальним р-п переходом.
3. Структура та принцип роботи польового транзистора з ізольованим заслоном.

Література

[1 – 5].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Давиденко О. П. Електроніка у вимірювальній техніці / О. П. Давиденко, І. В. Григоренко, Р. П. Мигущенко. – Харків : Підручник НТУ «ХПІ». – 2015. – 428 с.
2. Основи твердотільної електроніки: навч. посіб. / О. В. Борисов ; за ред. Ю. І. Якименка. – К. : Освіта України, 2011. – 462 с.
3. Основи схемотехніки : підручник / О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко. – Одеса : Фенікс, 2009. – 388 с.
4. Електроніка та мікросхемотехніка : навч. посіб. для викон. лаборат. робіт / С. О. Квітка, С. Ф. Курашкін, О. В. Соломаха. – Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2018. – 184 с.
5. Титце У. Полупроводниковая схемотехника : в 2-х т. : пер. с нем. / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2007.