

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ



О.М. Ткаченко, Н.В. Руденко, С.Р. Куфтеріна, А.В. Лемешко, І.І. Борисенко

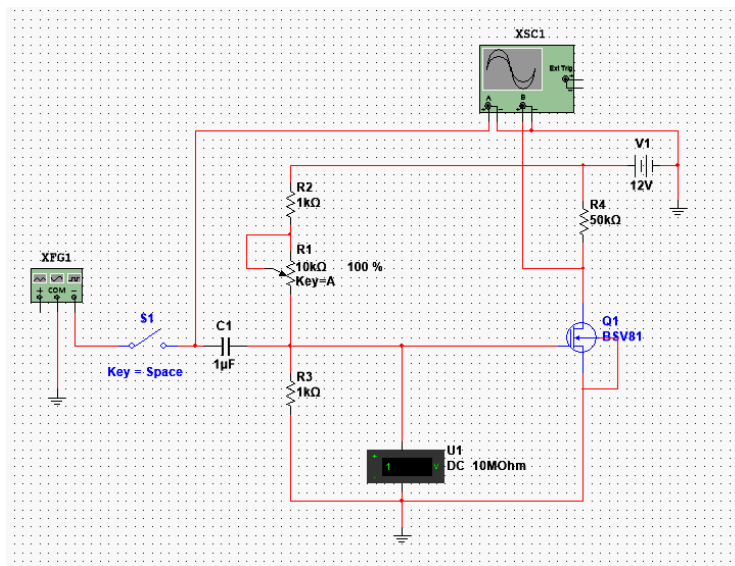
КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА

Навчальний посібник для виконання лабораторних робіт

з навчальної дисципліни "Комп'ютерна електроніка"

в електронному середовищі Multisim

(для здобувачів освіти спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія")



Київ 2021

УДК 621.3.049.77

С 92

Рекомендовано до видання вченою радою
Навчально-наукового інституту
інформаційних технологій
Державного університету телекомунікацій
(протокол № 8 від 31.03.2021 р.)

Укладачі: О.М. Ткаченко, Н.В. Руденко, С.Р. Куфтеріна, А.В. Лемешко, І.І. Борисенко.

Рецензенти:

д. т. н., проф. Сторчак К.П.

к. т. н., доц. Домрачева К.О.

Ткаченко О.М.

С 92 КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА. Навчальний посібник для виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Комп'ютерна електроніка" в електронному середовищі Multisim (для здобувачів освіти спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія") / О.М. Ткаченко, Н.В. Руденко, С.Р. Куфтеріна, А.В. Лемешко, І.І. Борисенко., К. : ДУТ, 2021, 136с

Учебний посібник містить короткі теоретичні відомості, загальні методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт в електронному середовищі Multisim, порядок їх виконання та вимоги до оформлення звіту. Посібник можна використовувати для проведення лабораторних робіт з курсу "Основи мікро - наноелектроніки"
Розраховано на студентів 2 курсу спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія"

УДК 621.3.049.77

О.М. Ткаченко, Н.В. Руденко, С.Р. Куфтеріна,
А.В. Лемешко, І.І. Борисенко. К. : ДУТ, 2021

Зміст

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 Правила виконання лабораторних робіт.....	8
1.1 Основні правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	8
1.2 Оформлення звітів з лабораторних робіт.....	9
1.3 Загальні методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт у середовищі Multisim.....	10
РОЗДІЛ 2 Виконання лабораторних робіт.....	25
2.1 Лабораторна робота № 1 Ознайомлення з інтерфейсом та основними можливостями програмного комплексу Multisim	25
2.2 Лабораторна робота № 2 Дослідження напівпровідникових діодів за допомогою програмного комплексу Multisim.....	34
2.3. Лабораторна робота № 3. Дослідження перехідних процесів діода	53
2.4. Лабораторна робота №4. Дослідження стабілітрона на основі напівпровідникового діода.....	69
2.5.Лабораторна робота № 5. Дослідження характеристик біполярного транзистора.....	80
2.6. Лабораторна робота № 6. Дослідження статичних характеристик біполярного транзистора за схемою з СБ	99
2.7. Лабораторна робота № 7. Дослідження підсилювачів на МДН-транзисторах	114
Список літератури.....	136

ВСТУП

Розробка електронних пристроїв завжди супроводжується фізичним або математичним моделюванням. Фізичне моделювання пов'язане з великими матеріальними витратами. Часто фізичне моделювання просто неможливо через надзвичайну складність пристрою. У цьому випадку використовують комп'ютерне моделювання. Для моделювання електронних пристроїв застосовуються програми: Micro-Cap V, Design Lab, APLAC 7.0, System View 1.9, Electronics Workbench, Circuit Marker 6.0, Multisim.

Програма Multisim використовується найчастіше завдяки простому і легкому на сприйняття призначеному для користувача інтерфейсу. Дана програма призначена для моделювання та аналізу електричних і електронних схем і надає наступні можливості:

- створити принципову схему пристрою;
- провести розрахунок статичного режиму;
- отримати вольтамперні характеристики приладів і т.д.

Multisim дозволяє будувати і аналізувати будь-які електронні схеми, від найпростіших до складних, а так само розраховувати статичні і динамічні характеристики напівпровідникових приладів таких як діоди, транзистори, тиристори і т.д.

Вивчення електроніки студентами в закладі освіти слід розпочинати з ознайомлення з елементною базою сучасних електронних систем.

Знання принципів функціонування особливостей конструкції і типових схем ввімкнення базових компонентів повинні стати тим фундаментом, який дозволить майбутньому фахівцеві розумно використовувати всі функціональні можливості тих електронних засобів, які він вивчав у вузі, а також швидко зрозуміти принципи побудови і можливості нових електронних засобів, а при потребі самостійно спроектувати електронну систему з потрібними функціональними можливостями.

У класичному розумінні лабораторний практикум з електроніки передбачає наявність спеціалізованої найсучаснішої лабораторної бази, що, в силу економічних причин здійснити досить важко. Проте застосування математичного моделювання з використанням Multisim дозволяє проводити лабораторні дослідження електронних компонентів і схем, моделювати аналогові, цифрові і цифроаналогові схеми великого ступеня складності.

Застосування інтегрованого середовища Multisim дає можливість студентам моделювати електронний пристрій від початкового етапу (постановки задачі) до програмної реалізації всіх можливих режимів. Результатом виконаної лабораторної роботи є повністю зібрана і налагоджена віртуальна апаратно-програмна модель системи.

Використання інтегрованих середовищ розробки обчислювальних систем для організації навчального процесу з дозволяє значно підвищити готовність студентів до вирішення практико-орієнтованих завдань високого рівня складності, сприяє залученню студентів до професійної діяльності.

Лабораторний практикум підготовлено згідно з робочою навчальною програмою дисциплін Комп'ютерна електроніка і Основи мікро- наноелектроніки
Мета лабораторних робіт – закріплення здобутих на лекційних заняттях теоретичних знань та набуття практичних навичок дослідження електронних компонентів напівпровідникової електроніки.

Основними завданнями як дисциплін в цілому, так і зокрема цього практикуму, є виховання професійної компетентності та професійного кругозору, уміння застосовувати знання про напівпровідникові прилади для розуміння роботи електронних систем у майбутньому фахівцеві; здатність організувати та проводити технічне обслуговування комп'ютерних електронних систем, розробляти та проектувати такі системи, а також організувати роботу технічного складу з їх обслуговування.

Під час виконання лабораторних робіт необхідно забезпечити досягнення наступних компетентностей:

Загальні компетентності

- (ЗК1) засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- (ЗК2) здатність до аналізу та синтезу;
- (ЗК3) здатність до застосування знань на практиці;
- (ЗК4) здатність здійснювати пошук та аналізувати інформацію з різних джерел;
- (ЗК5) мати дослідницькі навички;
- (ЗК6) уміння розв'язувати поставлені задачі та приймати відповідні рішення;
- (ЗК7) здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- (ЗК8) уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- (ЗК9) уміння ефективно спілкуватися на професійному та соціальному рівнях;
- (ЗК10) креативність, здатність до системного мислення;
- (ЗК11) потенціал до подальшого навчання;
- (ЗК12) відповідальність за якість виконуваної роботи.

Фахові компетентності:

(ФК1) базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;

(ФК2) базові знання основних нормативно-правових актів та довідкових матеріалів, чинних стандартів і технічних умов, інструкцій та інших нормативно-розпорядчих документів в галузі електроніки та телекомунікації;

(ФК3) базові знання технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації електронного устаткування та обладнання;

(ФК4) знання з обчислювальної техніки та програмування, володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;

(ФК5) знання основ охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки під час роботи з устаткуванням та обладнанням;

(ФК7) здатність використовувати та впроваджувати нові технології, брати участь в модернізації та реконструкції обладнання, пристроїв, систем та комплексів, зокрема з метою підвищення їх енергоефективності;

(ФК8) здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;

(ФК9) здатність використовувати знання й уміння для розрахунку, дослідження, вибору, впровадження, ремонту, та проектування електронних систем та їх складових;

(ФК10) уміння ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу систем і складових шляхом використання аналітичних методів і методів моделювання;

(ФК11) уміння аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих задач, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.

Під час виконання лабораторних робіт отримати такі уміння та програмні результати:

(ПК1) вміння демонструвати знання і розуміння наукових і математичних принципів, що лежать в основі електроніки;

(ПК2) вміння демонструвати знання в області електричних кіл постійного та змінного струму, напівпровідникової електроніки, основ математичного моделювання електронних пристроїв, теорії аналогових і цифрових систем, вимірювальної техніки та метрології, електроніки, комп'ютерного проектування електронних пристроїв;

(ПК3) здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах;

- (ПК4) здатність продемонструвати знання сучасного стану справ та новітніх технологій в галузі електроніки;
- (ПК5) застосовувати знання і розуміння для ідентифікації, формулювання і вирішення технічних задач, використовуючи відомі методи;
- (ПК6) застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;
- (ПК7) розраховувати, конструювати, проектувати, досліджувати, експлуатувати, ремонтувати, налагоджувати типові обладнання для обраної спеціалізації електроніки;
- (ПК8) здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач спеціальності;
- (ПК9) ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди;
- (ПК10) ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу систем електроніки та їх складових;
- (ПК11) виконувати відповідні експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою;
- (ПК12) оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення.

Лабораторні роботи виконуються за методом віртуального моделювання схем на комп'ютері за допомогою пакета моделювання електронних схем Multisim.

Теми лабораторних робіт присвячені дослідженню параметрів і характеристик напівпровідникових діодів, біполярних і польових транзисторів, тиристорів.

Роботи виконуються в три етапи:

На першому етапі, який передуює дослідженням в лабораторії, студент повинен ознайомитися з метою, відповісти на питання та підготувати протокол лабораторної роботи.

На другому етапі безпосередньо в лабораторії слід провести необхідні дослідження, занотувати отримані результати, та проаналізувати їх.

На завершальному етапі роботи треба накреслити отримані графіки, зробити висновки стосовно досліджуваних процесів, занотувати їх у звіт роботи. Відповісти на контрольні питання і захистити роботу.

Роботи оформлені доступно для сприйняття і відтворення з відповідними детальними інструкціями та ілюстраціями, тому студенти зможуть їх виконати навіть в умовах дистанційного навчання, що особливо важливо при заочній і дистанційній освіті.

До лабораторної роботи допускають студентів, які виконали перший етап запланованої роботи і мають повністю оформлену попередню роботу.

РОЗДІЛ 1 Правила виконання лабораторних робіт

Кожна лабораторна робота виконується на окремому робочому місці.

Виконання роботи передбачає складання схем, вимірювання, обробку отриманого дослідного матеріалу та складання звіту спостережень.

Перед складанням схеми необхідно ознайомитися з матеріальною частиною: приладами, джерелами живлення, мультиметрами та ін., які знаходяться в бібліотеці Multisim, записати їх паспортні дані.

На першому занятті студенти ознайомлюються з основними правилами техніки безпеки. Про знання цих правил та про відповідальність за їх виконання кожен студент розписується в журналі реєстрації інструктажу з техніки безпеки.

Під час роботи в лабораторії студенти повинні дотримуватись правил техніки безпеки й правил внутрішнього розпорядку вищого навчального закладу.

1.1 Основні правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт

Перед початком лабораторних занять студенти повинні ознайомитися з правилами техніки безпеки і суворо дотримуватися їх при виконанні лабораторних завдань. Необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

1. Перед початком роботи слід перевірити відсутність напруги на затискачах джерела.
2. Увімкнути схему під напругу, переконавшись, що ніхто не дотикається до струмопровідних частин схеми.
3. Перед вмиканням кола під напругу попередити про це всіх членів бригади.
4. Вмикати схему в мережу без попередньої перевірки її викладачем або лаборантом категорично забороняється.
5. Після вмикання схеми забороняється торкатися руками проводів і частин приладів, що знаходяться під напругою.
6. Будь-які зміни в схемі кола виконувати тільки після вимкнення її з мережі. Вмикання в мережу після внесених змін проводити з дозволу викладача.
7. При виявленні відхилень у роботі елементів кола негайно відключити його від мережі і повідомити про це викладача або лаборанта.
8. Категорично забороняється залишати без нагляду електроусткування, що знаходиться під напругою.
9. Розбирати коло тільки після відключення його від джерел напруги на

робочому місці.

10. Головні вимикачі вмикаються й вимикаються тільки викладачем або лаборантом.

11. При нещасному випадку негайно вимкнути напругу і надати першу допомогу тому, хто постраждав від електричного струму.

1.2 Оформлення звітів лабораторних робіт

По кожній виконаній роботі студенти складають звіт.

Заголовний лист звіту слід виконати за встановленою формою.

У звіті наводяться наступні відомості:

1. Назва лабораторної роботи.

2. Мета роботи

3. Необхідне обладнання: перелік апаратури та приладів, що використовуються в роботі, з їх технічними характеристиками (найменування, тип, система, номінальне значення напруги і струму, клас точності та ін.).

4. Принципова електрична схема досліджуваного кола. Усі схеми кресляться з дотриманням умовних графічних позначень, встановлених стандартами.

5. Порядок виконання роботи з таблицями результатів вимірювань та обчислень.

6. Графічні побудови. Графіки та векторні діаграми будуються за даними вимірювань і обчислень у масштабі в прямокутній системі координат. На вісях координат повинні бути вказані позначки, розмірність та числові значення величини.

7. Якщо декілька змінних є функцією будь-якої однієї змінної і ці змінні необхідно зобразити графічно, то усі криві слід креслити на одній діаграмі.

8. При побудові кривої за дослідними даними спочатку наносять точки, а потім проводять пряму або плавну криву, яка характеризує загальну закономірність зміни досліджуваної величини.

9. У звіті необхідно навести основні розрахункові формули, підставити в них експериментальні дані і дати кінцевий результат обчислень.

10. У кінці звіту необхідно навести основні висновки, що впливають із виконаної роботи, які повинні представляти собою самостійний аналіз проведеного експерименту.

1.3 Загальні методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт у середовищі Multisim

Слід запустити пакет Multisim. Після цього на екрані з'являється зображення монтажного столу (рис.1), на якому присутні:

- вікно розробки;
- стандартна панель інструментів;
- панель компонентів;
- панель популярного пошуку;
- панель приладів;
- рядок стану схеми;
- закладка активної схеми;
- кнопки запуску і припинення симуляції;
- кнопки масштабування, та ін.

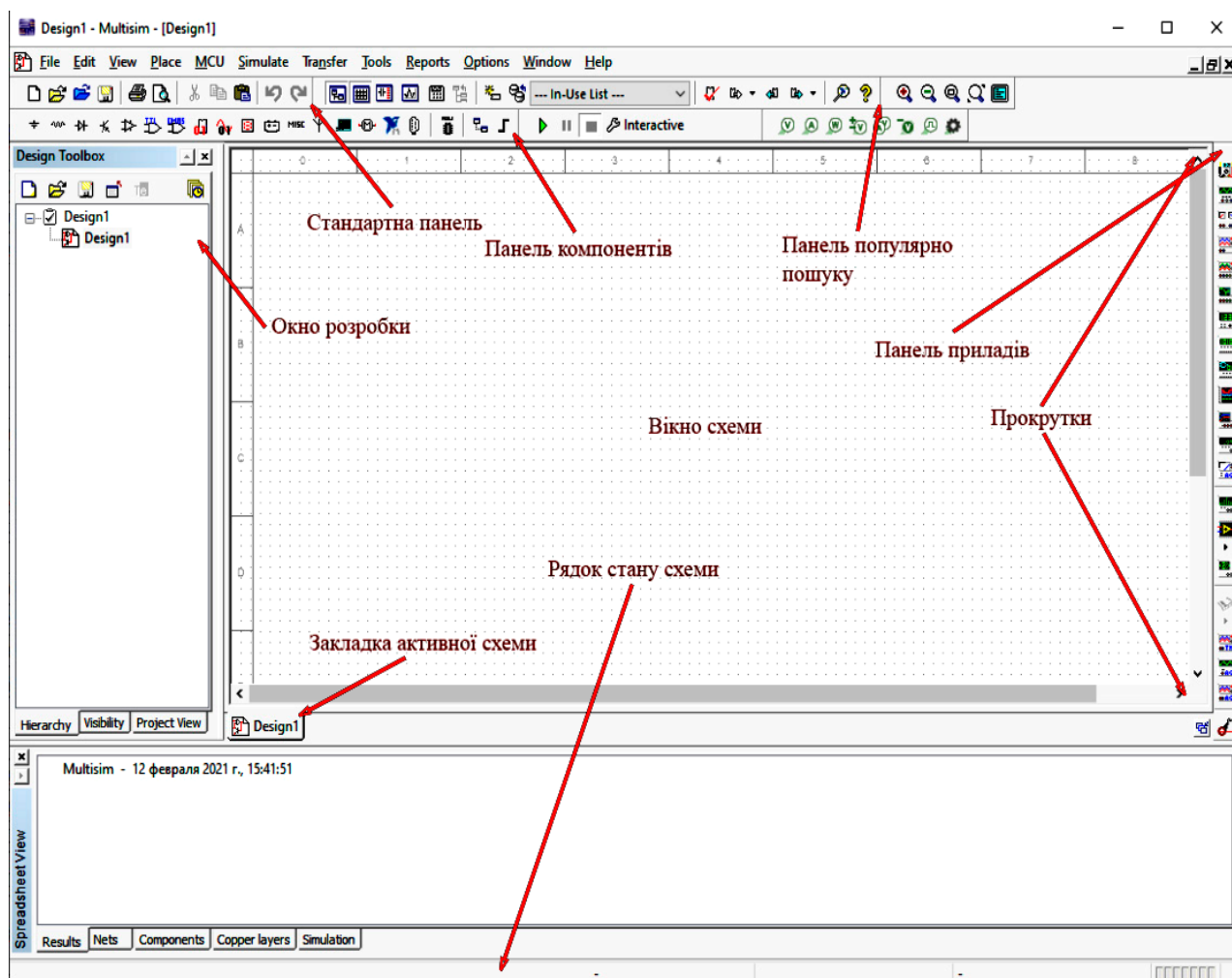


Рис.1.1 - зображення монтажного столу

Огляд компонентів

Вибір компонентів можна здійснювати декількома способами: або знайти необхідний компонент на панелі компонентів, або відкрити вкладку "Place" і натиснути "Select a Component..."

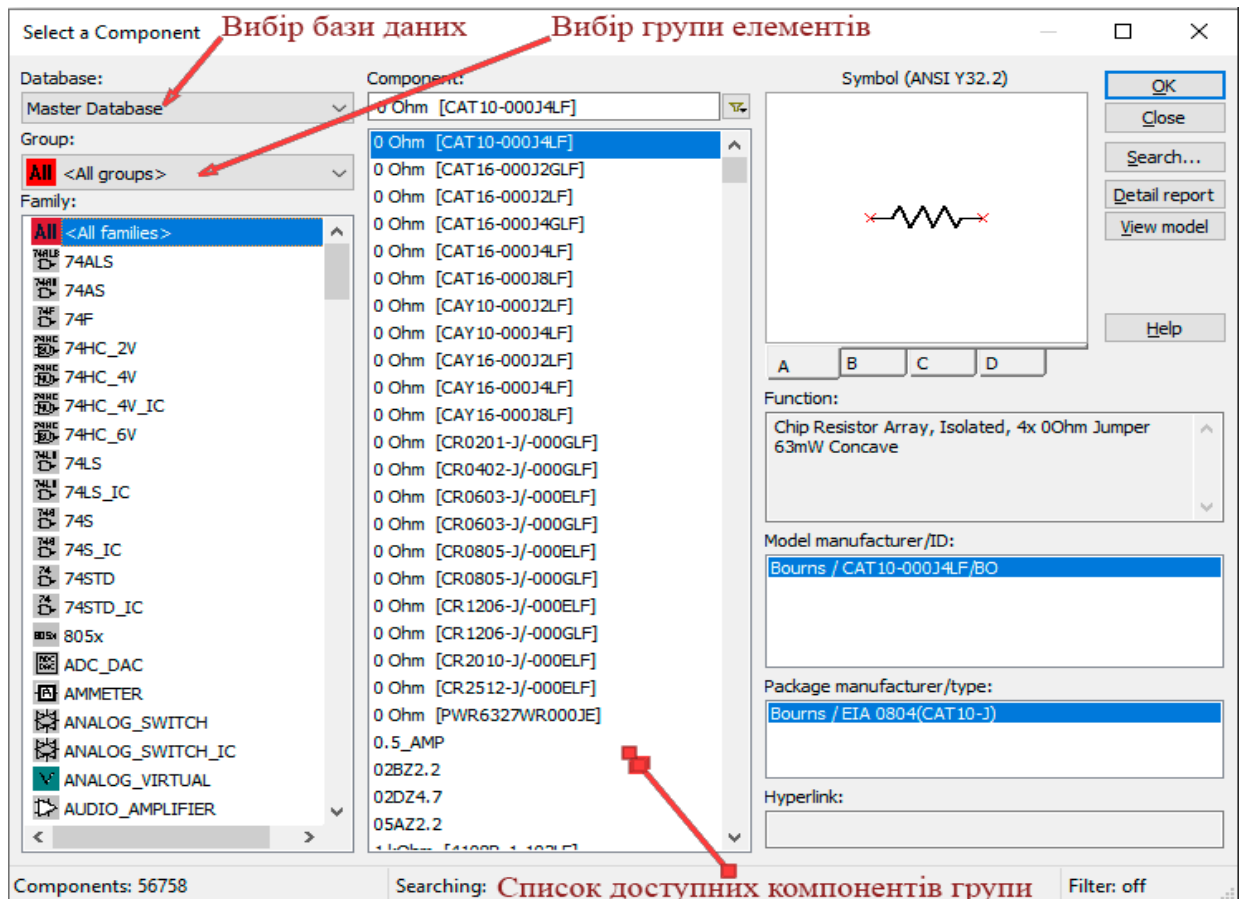


Рис.1.1 Вибір компонентів

Після відкриття вікна «Вибір компонентів» на вкладці з'явиться можливість вибрати базу даних (Database). Вкладка "Вибір бази даних" дозволяє користувачу вибирати між такими базами даних як:

1. Master Database - головна бібліотека компонентів, що встановлюється під час встановлення самої програми.
2. User Database - бібліотека компонентів, що належить користувачу комп'ютера, з якого здійснюються дії в програмі. Фактично, ця бібліотека є приватною і включає в себе особисті елементи користувача, тому бажано не відкривати її в загальний доступ для всіх.
3. Corporate Database - корпоративна бібліотека, що використовується у вузькому

середовищі, наприклад в компанії по розробці якихось схем, де робітники працюють зі зв'язаними між собою елементами і потребують швидкого доступу до них.

Далі потрібно вибрати групу елементів. "Вибір групи елементів" надає список всіх доступних елементів, що знаходяться в головній бібліотеці. Доступними типами елементів є:

1. Sources - сюди входять всі джерела живлення, струму і заземлення. Наприклад, Power Sources (джерела постійної та змінної напруги, заземлення, бездротові з'єднання - VCC, VDD, VSS, VEE), Signal Voltage Sources (джерела прямокутних імпульсів, джерело сигналу через визначені проміжки часу), Signal Current Sources (постійні, змінні джерела струму, джерела прямокутних імпульсів).

2. Basic - включає основні елементи схемотехніки: резистори, індуктивні елементи, ємнісні елементи, ключі, трансформатори, реле, коннектори і т.д.

3. Diodes - різні типи діодів: фотодіоди, діоди Шоттки, світлодіоди і т.д.

4. Transistors - список транзисторів різного призначення: pnp-, npn- транзистори, біполярні транзистори, МОН-транзистори, КМОН-транзистори і т.д.

5. Analog - включає в себе всі види підсилювачів: операційні, диференціальні, інвертуючі і т.д.

6. TTL - елементи транзисторо-транзисторної логіки.

7. CMOS - елементи КМОН-логіки.

8. MCU - керуючий модуль багатопунктового зв'язку (з англ. - Multipoint Control Unit).

9. Advanced Peripherals - зовнішні пристрої, які можна підключити (дисплеї, термінали, клавішні поля).

10. Misc. Digital - цифрові прилади.

11. Mixed - включає в себе комбіновані компоненти.

12. Indicators - список приладів для зняття вимірювань (вольтметр, амперметр), лампи і т.д.

Наступний рядок - "Список доступних елементів групи" відкриває список елементів вибраної вами групи.

Панель приладів

Дана панель розташована в правому боці нашої програми і включає в себе такі прилади:

1. **Мультиметр.** За допомогою цього приладу, ми можемо виміряти постійну та змінну напругу та струм. Діапазон вимірів мультиметра підбирається автоматично.

Внутрішній опір та струм є близькими до ідеального значення, але їх можна замінити. Для зняття показань або переналаштування приладу потрібно клацнути на його умовне зображення і клацнути на кнопки, які відповідають умовам ваших вимірювань.

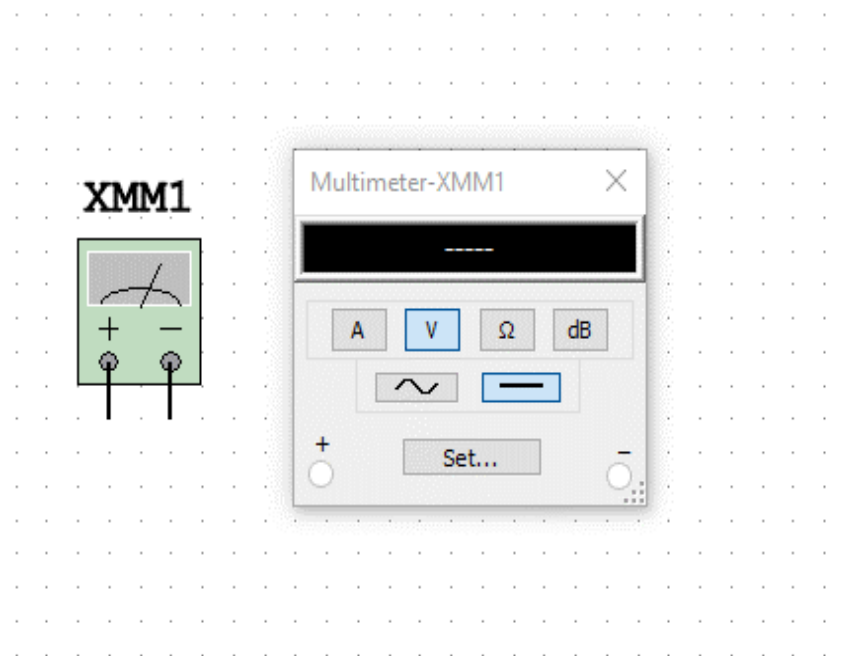


Рис.1.2 Мультиметр

2. **Генератор сигналів (function generator).** Даний прилад є джерелом живлення, який може створювати синусоїдальні, пилкоподібні і прямокутні імпульси. Можна змінювати форми сигналу, частоти, амплітуди, коефіцієнт заповнення і постійний зсув. Діапазон генератора достатній для того, щоб створити сигнал з частотами від декількох герц до аудіо і радіочастот.



Рис.1.3 Генератор сигналів

3. **Ватметр** - прилад для вимірювання потужності та коефіцієнту потужності.

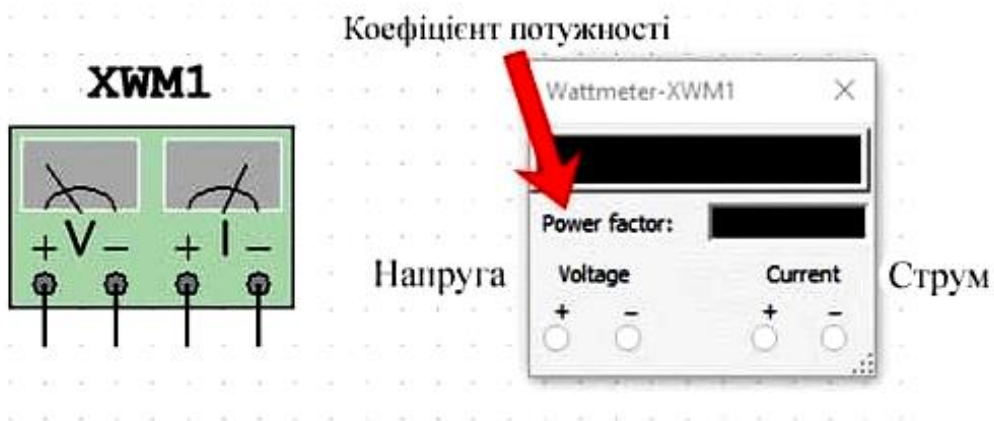


Рис.1.4 Ватметр

4. **Осцилограф**. В Multisim існує декілька модифікацій цього приладу:

В Multisim є такі види осцилографа:

- 2-х канальний
- 4-х канальний
- осцилограф змішаних сигналів Agilent 54622D
- 4-х канальний цифровий осцилограф із записом Tektronix TDS 2024

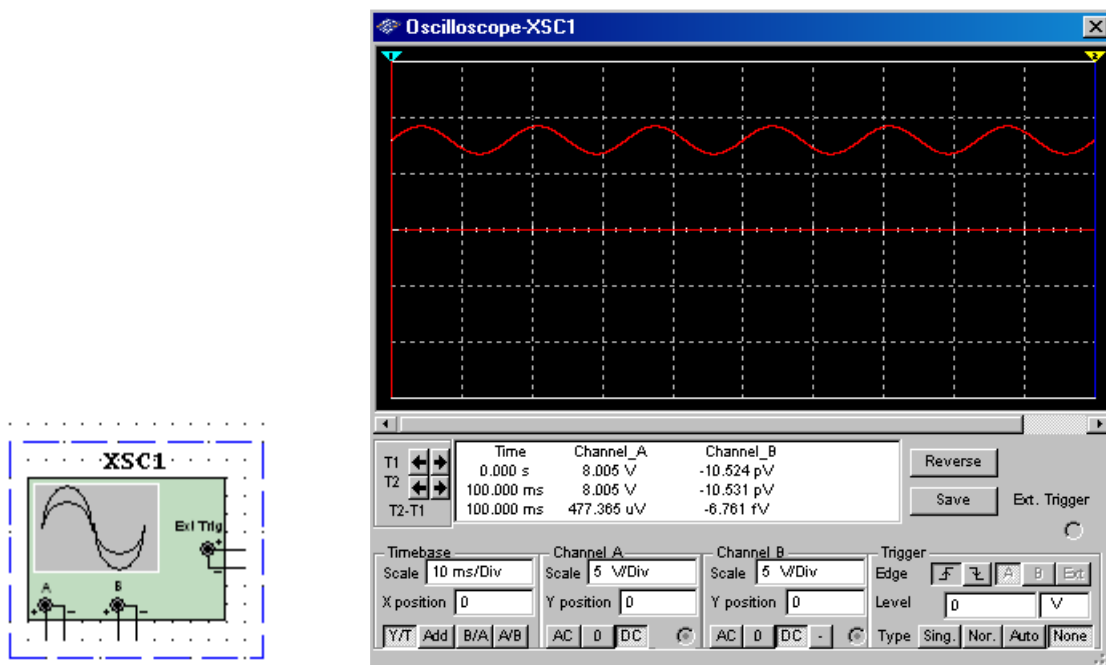


Рис.1.5 Осцилограф

З їх допомогою можна встановлювати тимчасові параметри розгортки та напруги, вибрати тип та рівень запуску вимірів. Також дані осцилографів можна подивитися після емуляції за допомогою самописця (Grapher) з меню "Вид/Плотер" (View /Grapher)

- Будівельник частотних характеристик (Буде Плотер).** Цей прилад відображає відносний фазовий або амплітудний відклик вхідного та вихідного сигналу. З його допомогою можна знімати вольт-амперні характеристики напівпровідникових приладів.

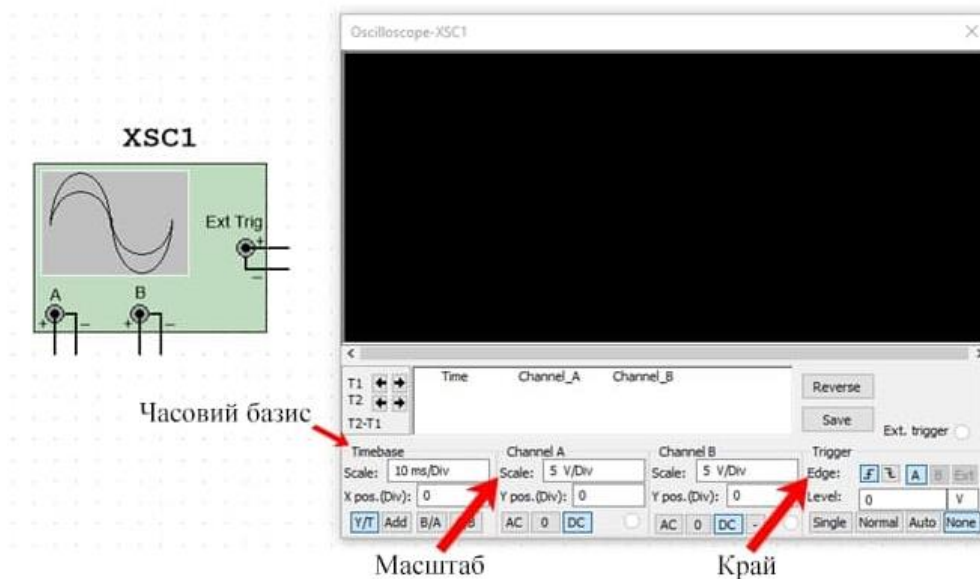


Рис.1.6 Буде плотер

- Струмів пробник.** Показує сталі і змінні напруги на ділянці кола, а також частоту сигналу.

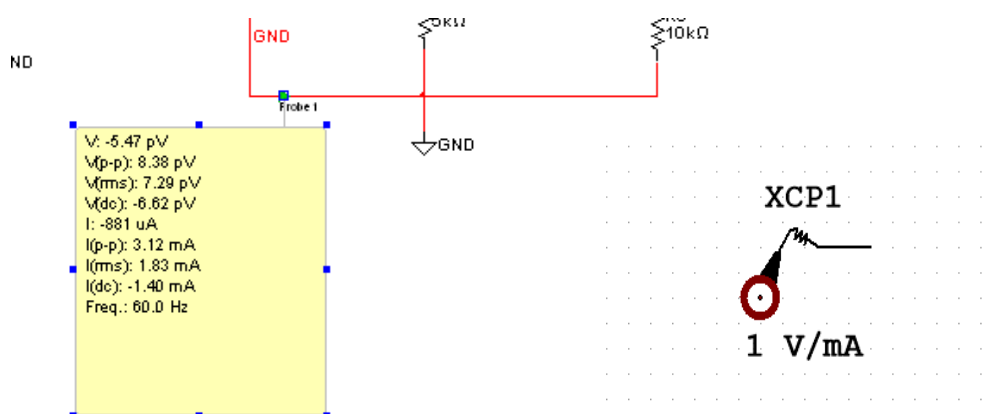


Рис.1.7 Струмів пробник

7. Спектральний аналізатор (Spectrum Analyzer).

Даний прилад використовується для виміру амплітуди гармоніки із заданою частотою. Також ним можна виміряти потужність сигналу і частотних компонентів, визначити наявність гармонік в сигналі. Результати роботи спектрального аналізатора відображається в частотній області, а не в часовій, на відміну від осцилографа, який опрацьовує сигнал, як функцію часу. При наявності додаткових гармонік в синусоїдальному сигналі за допомогою того ж осцилографа важко виміряти рівень сигналу. Якщо ж сигнал вимірюється спектральним аналізатором, то ми отримуємо частотний склад сигналу, в якому показується амплітуда основної та додаткових гармонік.

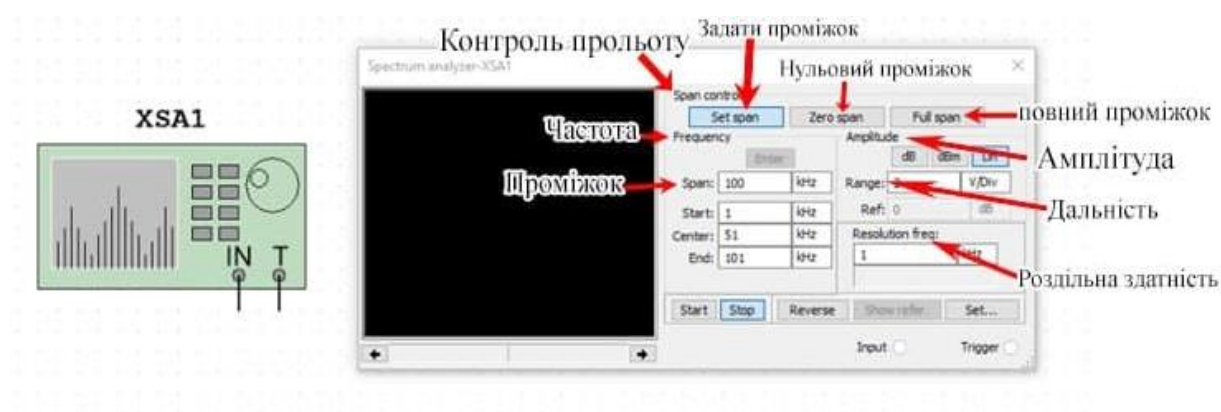


Рис.1.8 Спектральний аналізатор

8. Ватметр.

Прилад призначений для вимірювання потужності і коефіцієнта потужності.

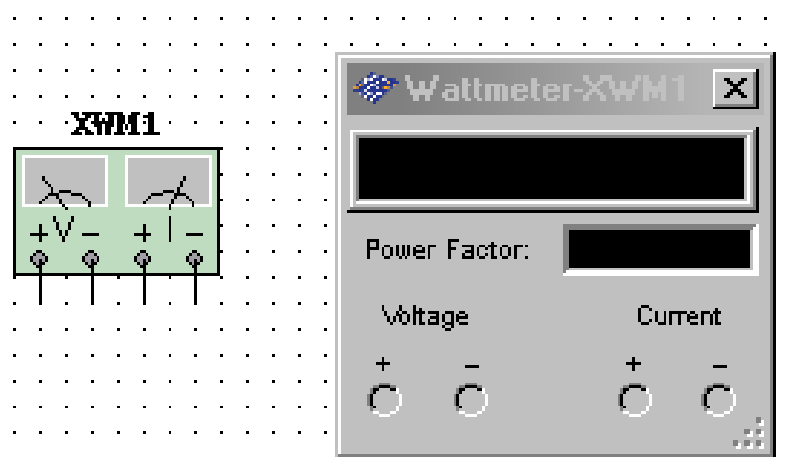


Рис.1.9 Ватметр

Аналіз даних

В програмі Multisim закладена можливість повного аналізу даних емуляцій, як простих, так і високого рівня складності.

Основні види аналізу:

1. DC Sweep - аналіз ланцюга з постійним струмом. Аналіз ланцюгів з постійним струмом виконується для резистивних схем. Це правило слідує з теорії про електричні ланцюги. Під час аналізу на постійному струмі конденсатори замінюють розривами, котушки індуктивності - коротким замиканням, нелінійні компоненти, такі як діоди і транзистори, замінюють їх опором постійному струму в робочій точці. Аналіз ланцюга на постійному струмі виявляє вузлові потенціали схеми, яку ви досліджуєте.

2. AC Sweep - аналіз ланцюга зі змінним струмом. Аналіз ланцюгів зі змінним струмом заключається в побудуванні частотних характеристик.

3. Transient - аналіз перехідних процесів. Такий спосіб аналізу дозволяє визначити форму перехідного сигналу, тобто побудувати графік сигналу, як функції часу.

Для того, щоб розпочати якийсь з типів аналізу, потрібно:

- 1) Відкрити вкладку Simulate, що знаходиться над стандартною панеллю.
- 2) Натиснути на Analyses and simulation, після чого відкриється список всіх доступних видів аналізу та симуляцій.

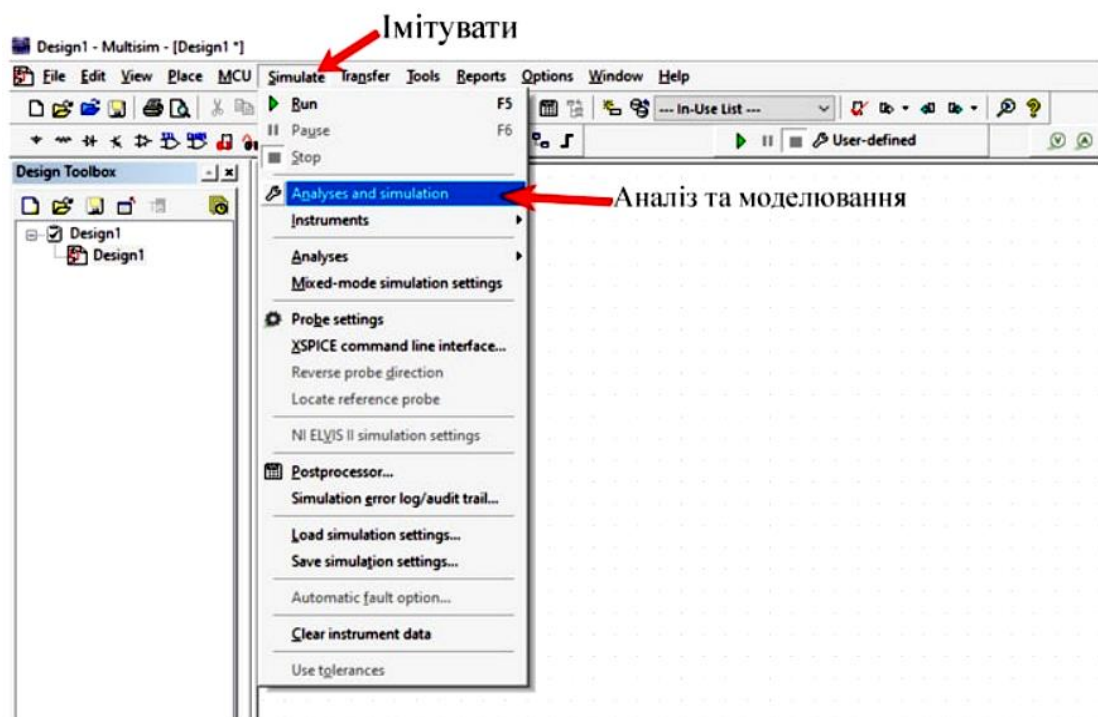


Рис.1.10 Список доступних видів аналізу

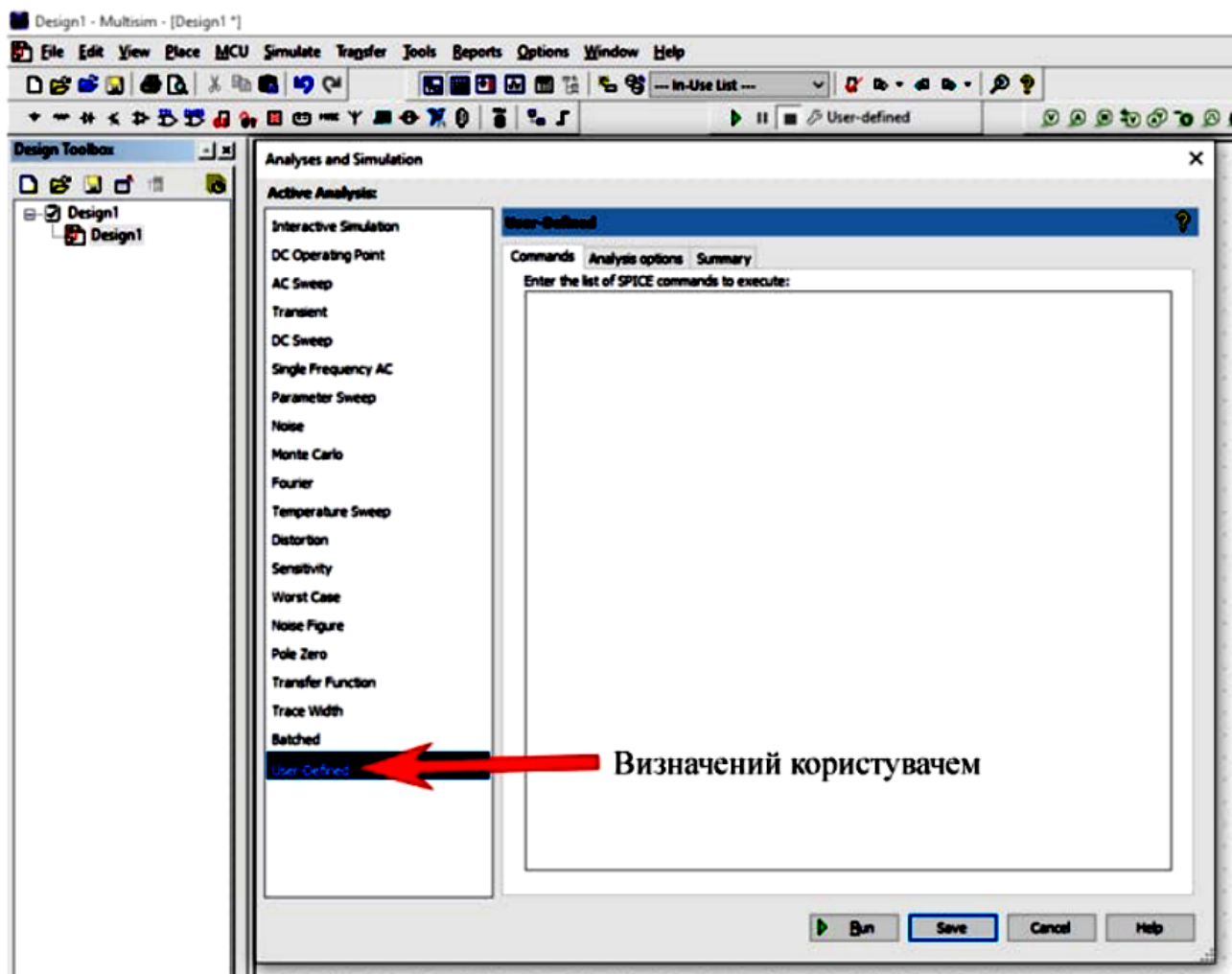


Рис.1.11 Вибір аналізу

Окрім вбудованих функцій аналізу є можливість визначення своєї функції за допомогою команд SPICE.

Перед тим, як розпочати аналіз, треба налаштувати саму функцію, наприклад, змінити діапазон частот для аналізатора змінного струму. Також потрібно вибрати вихідні канали.

Плоттер (Grapher) - основний інструмент для перегляду результатів емуляції. Відкрити його можна через меню View, після чого вибрати саме Grapher.

Сам плотер може бути налаштовано власноруч. Всі налаштування знаходяться в самому плотері.

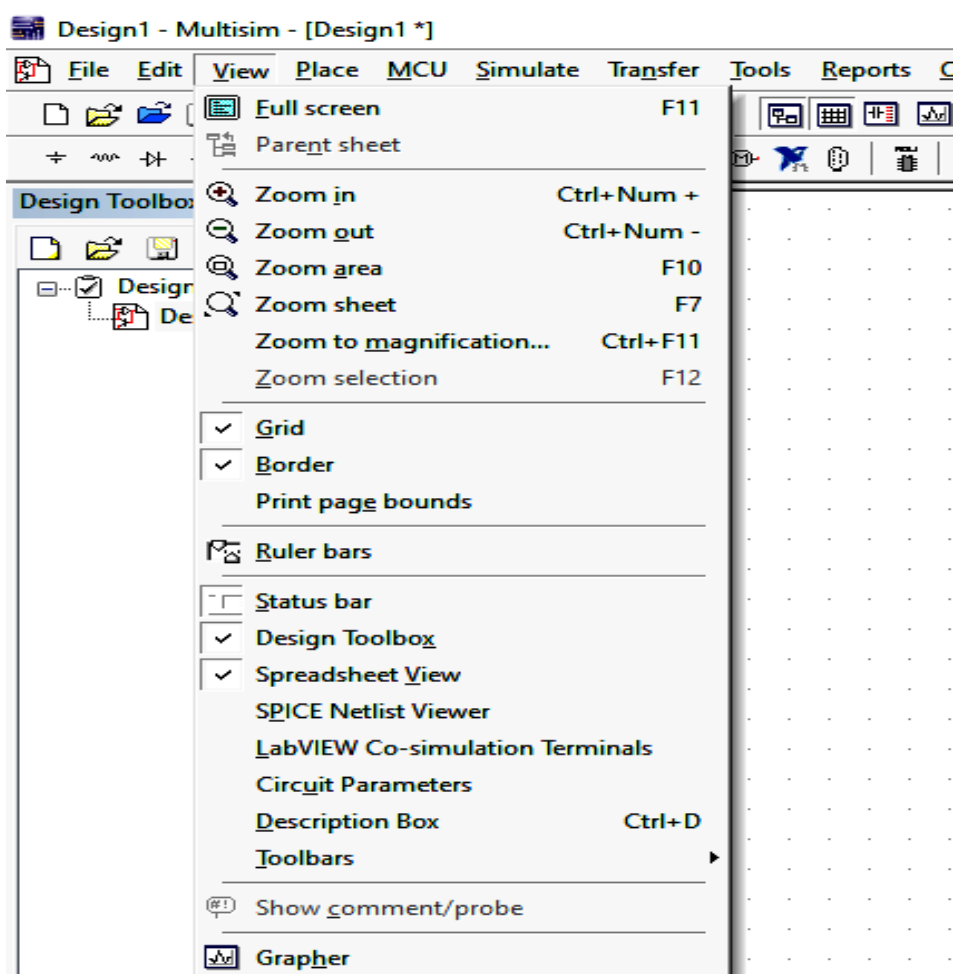


Рис.1.12 Вибір Grapher

Функції Postprocessor та Grapher

Postprocessor та Grapher - це додаткові програми пакету Multisim, які надають можливість зобразити результати вашої схеми у графічному вигляді. Для роботи з функцією Postprocessor потрібно знати назви вузлів. Тільки ті параметри (як вхідні, так і вихідні змінні), які вказуються при виконанні будь-якого виду аналізу (AC Sweep, DC Sweep, Transient і т. д.) зображуються на графіках цих функцій. За допомогою даних функцій можна створити декілька графіків, змінювати їх параметри, видаляти елементи, виконувати логічні та алгебраїчні операції над графіками. Для того, щоб задіяти функцію, потрібно натиснути на Simulate на верхній панелі, та згодом натиснути на Postprocessor:

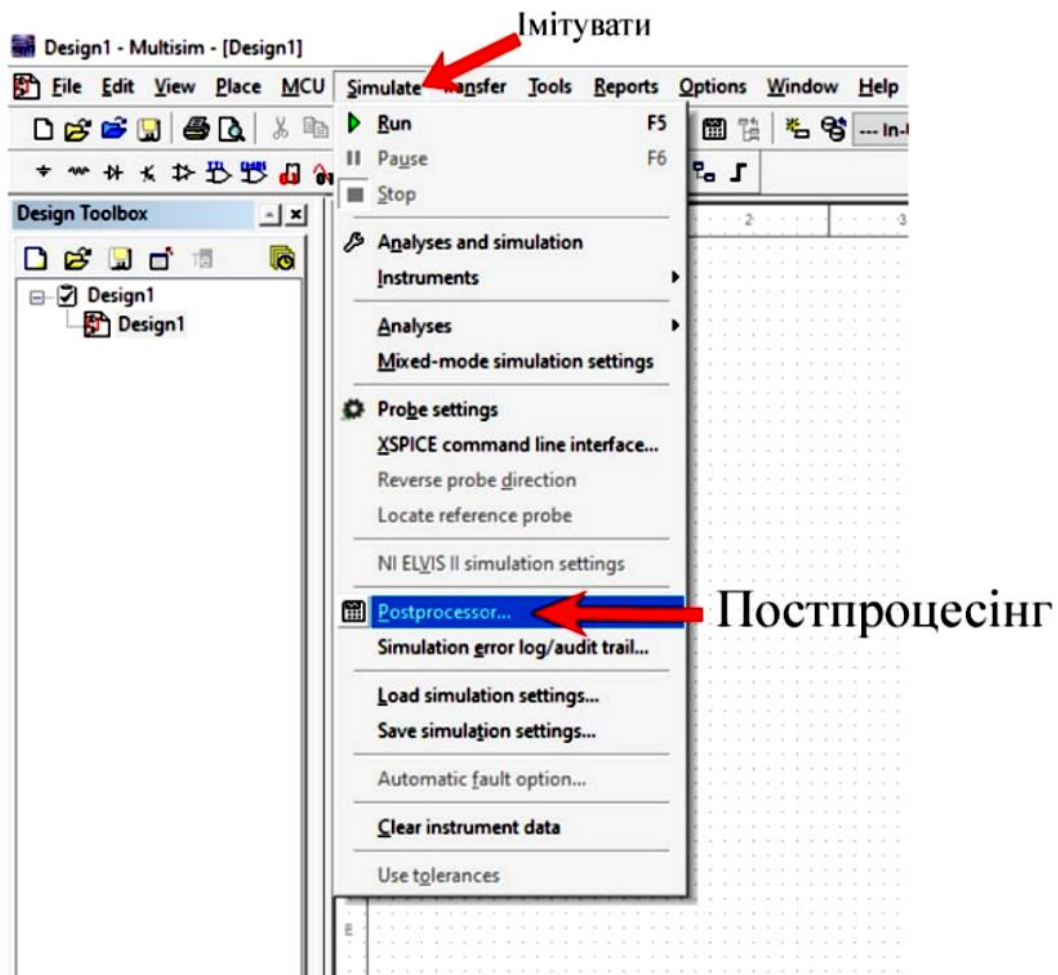


Рис.1.13 Вибір функції постпроцесінг

Створення графіка:

Для створення графіка у відкритій вкладці потрібно ввести дані, необхідні для побудування:

1. Select simulation result - додавання даних проведеного аналізу.
2. Variables - змінні, необхідні для побудови графіка.
3. Functions - алгебраїчні дії над графіками.

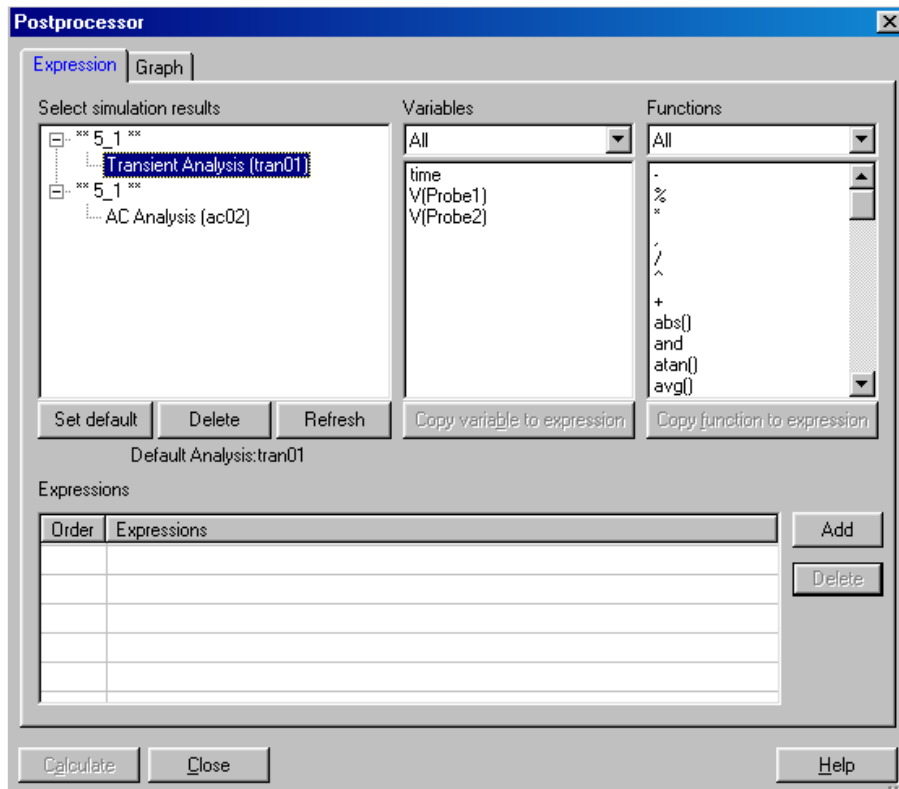


Рис.1.14 Внесення даних для побудови графіку

У вкладці Graph, після додавання даних проведеного аналізу, з'явиться ваш графік у вікні Expressions available. Вибираємо його і стрілочкою переносимо у вибрані.

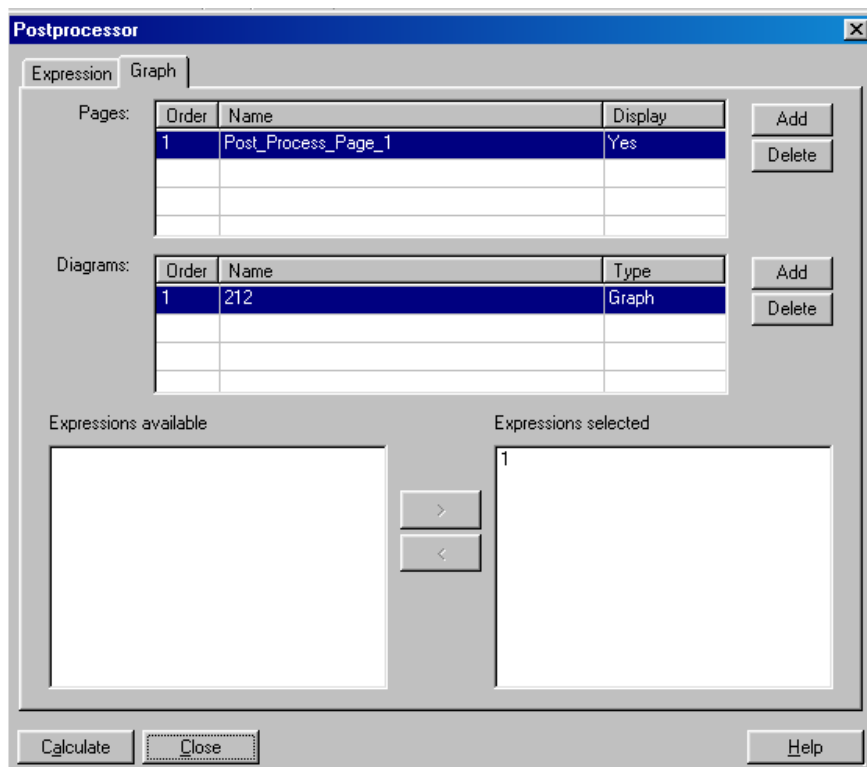


Рис.1.15 Вибір графіка

Складання електричної схеми.

Для відтворення електричної схеми на робочому столі потрібно:

Послідовно вибрати відповідний розділ на панелі інструментів і перенести необхідні елементи на робоче поле, клацнувши мишею на потрібному елементі і, не відпускаючи кнопки, перенести його в потрібне місце схеми.

Повернути елементи схеми можна за допомогою кнопок **Ctrl+R** вправо на 90° , або вліво **Ctrl+Shift+R** якщо їх розташування за умовчанням вас не влаштовує. З'єднати контакти елементів для отримання необхідної схеми, клацнувши по одному з контактів першого елементу лівою кнопкою миші так, щоб з'явилася чорна точка контакту і, не відпускаючи клавішу, довести курсор до необхідного контакту другого елементу. У разі появи точки контакту біля виведення іншого елементу відпустити кнопку миші. Переконайтеся, що провідник з'явився. У разі потреби можна додати додаткові вузли (розгалуження) – клавіші **Ctrl+J**.

Провідники можна виконати лініями різного кольору. Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавішею миші на зображенні провідника та вибрати потрібний колір з палітри. Якщо цим провідником до контрольної точки підключається вхід віртуального осцилографа, то цим же кольором буде забарвлена відповідна осцилограма на екрані приладу.

За необхідністю видалення провідника, слід виділити виведення компонента, куди підключений цей провідник, і, натиснувши ліву клавішу миші, перенести провідник від виводу, а потім відпустити клавішу. Крім того, для прибирання провідника, елемента або приладу з робочого поля треба виділити його і натиснути на клавішу Del на клавіатурі. У цьому випадку разом з вибраним об'єктом зникнуть й всі лінії зв'язку, підключені до цього об'єкту.

Для встановлення необхідних номіналів і властивостей елементу необхідно двічі клацнути по його зображенню мишею. В результаті з'явиться вікно властивостей елементу, в даному випадку резистора, в розділі Value якого треба встановити необхідне значення параметра, а в розділі Label слід задати його позиційні позначення.

Запуск процесу моделювання здійснюється шляхом натиснення на кнопку ввімкнення живлення на панелі інструментів. Через декілька секунд процес моделювання можна зупинити.

Якщо в схемі допущена істотна помилка (замикання елементу живлення, відсутність нульового потенціалу в схемі), то буде видане відповідне попередження.

Моделювання має такі загальні правила, як:

- 1) Кожна схема повинна мати хоча б один символ заземлення.
- 2) Будь-які два кінця провідника або контуру приладу, що зіткаються в точці, завжди вважаються з'єднаними. При з'єднанні трьох кінців (Т-з'єднання) необхідно використовувати символ з'єднання (вузол). Такі ж правила використовуються при з'єднанні чотирьох і більше контактів.
- 3) В схемах повинні бути присутніми джерела сигналу струму або напруги, що забезпечують вхідний сигнал, і не менше однієї контрольної точки (за виключенням аналізу схем постійного струму).
- 4) В схемі не має бути контурів котушок індуктивності та джерел напруги.
- 5) Джерела струму не повинні з'єднуватись послідовно.
- 6) Не повинно бути короткозамкнених котушок.
- 7) Джерело напруги має з'єднуватись з котушкою індуктивності і трансформатором через послідовно включений резистор.
- 8) Конденсатор, що підключений до джерела струму, обов'язково повинен мати паралельно підключений до нього резистор.

Комбінації «швидких» клавіш

Команда	Значення
Ctrl+N	Створити файл
Ctrl+O	Відкрити файл
Ctrl+S	Зберегти поточний файл
Ctrl+P	Друк графіків / поточного файлу
Ctrl+Z	Відміна дії
Ctrl+X	Вирізати
Ctrl+C	Копіювати
Ctrl+V	Вставити
Ctrl+D	Відкрити Circuit Description Box

Ctrl+F	Пошук
Delete	Видалити виділену групу
Ctrl+W	Вибір пристрою
Ctrl+J	Вставка вузла
Ctrl+Q	Додавання дроту
Ctrl+I	Вставка коннектору
Ctrl+B	Вставка підсхеми
Ctrl+T	Вставка тексту
F5	Запуск схеми
F6	Пауза
Alt+Y	Дзеркальне відображення по вертикалі
Alt+X	Дзеркальне відображення по горизонталі
Ctrl+R	Поворот на 90° вправо
Ctrl+Shift+R	Поворот на 90° вліво

РОЗДІЛ 2 Порядок виконання лабораторних робіт

2.1 Лабораторна робота №1 Ознайомлення з інтерфейсом та основними можливостями програмного комплексу Multisim

Тема. Ознайомлення з інтерфейсом та основними можливостями програмного комплексу Multisim.

Мета роботи: освоїти інтерфейс програми Multisim і навчитися за її допомогою створювати і досліджувати віртуальні принципи і електронні схеми.

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;

Теоретичні відомості

Програма Multisim являє собою засіб програмної розробки та імітації електричних ланцюгів.

Інтерфейс користувача складається із меню, панелі інструментів і робочої області.

На рисунку 1.1. зображено зовнішній інтерфейс користувача Multisim.

Вона складається з стандартної панелі, панелі популярного пошуку, панелі компонентів, вікна розробки, вікна схеми, закладок активної схеми, рядка стану схеми, вертикально розташованого рядка панелі приладів

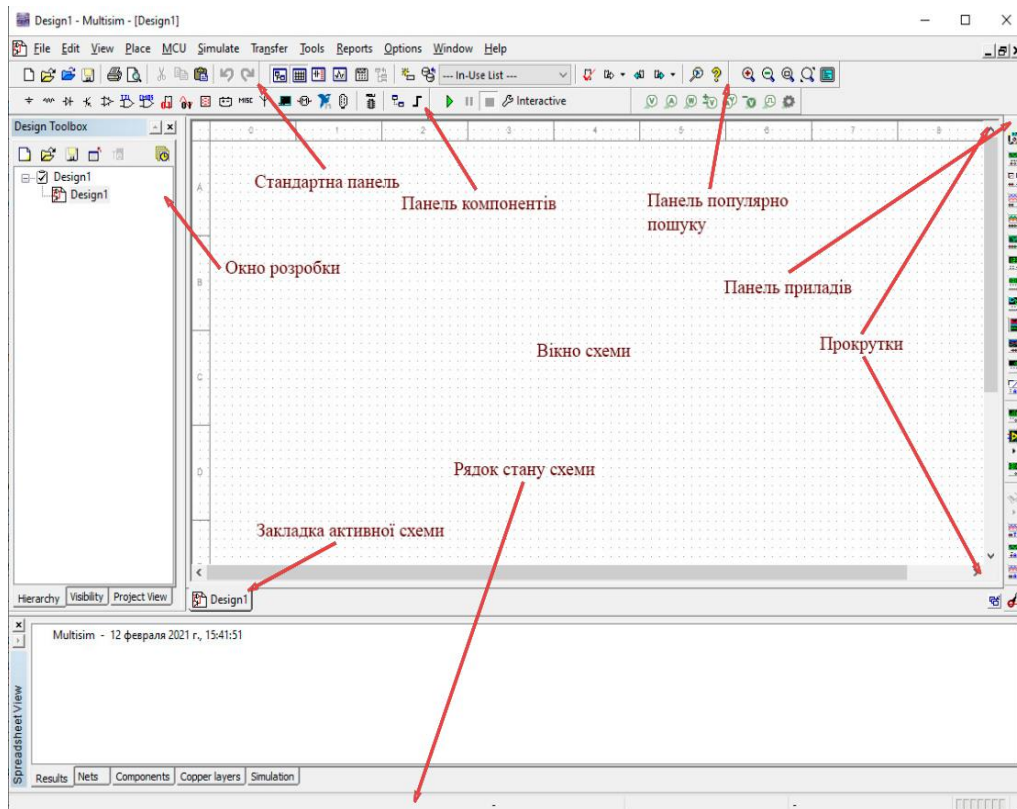


Рисунок 2.1.1 - Зовнішній вигляд екрана комп'ютера при роботі з програмою Multisim

Панель інструментів складається з “швидких кнопок”, що мають аналоги в меню:

- кнопок запуску і зупинки аналізу;
- набору зображень і відповідних моделей радіоелектронних аналогових і цифрових елементів;
- індикаторів, елементів керування й інструментів.

Перелік операцій з вказаних меню, порядок їх застосування і результати виконання детально розглянуті у розділі 2 даного посібника.

Порядок виконання роботи

1. Запустіть Multisim.

2. Підготуйте новий файл для роботи. Для цього необхідно виконати наступні операції з меню: File/New і File/Save as.

При виконанні операції Save as буде необхідно вказати ім'я файлу і каталог, у якому буде зберігатися схема.

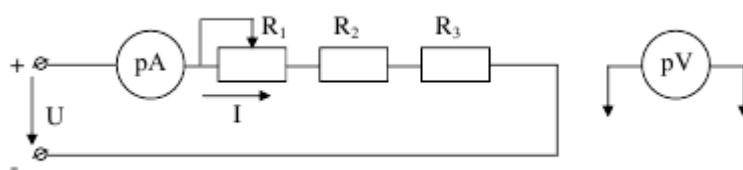
3. Зберіть схему запропоновану викладачем.

4. Перенесіть необхідні елементи з заданої схеми на робочу область Multisim. Для цього необхідно вибрати розділ на панелі інструментів (Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog Ics, Mixed Ics, Digital Ics, Logic Gates, Digital, Indicators, Controls, Miscellaneous, Instruments), у якому знаходиться потрібний вам елемент, потім перенести його на робочу область.
5. З'єднайте контакти елементів і розташуйте елементи в робочій області для одержання необхідної вам схеми. Для з'єднання двох контактів необхідно клацнути на один з контактів основною кнопкою миші і, не відпускаючи клавішу, довести курсор до другого контакту. У разі потреби можна додати додаткові вузли (розгалуження). Натисканням на елементі правою кнопкою миші можна одержати швидкий доступ до найпростіших операцій над положенням елементу, таким як обертання (rotate), розворот (flip), копіювання/вирізання (copy/cut), вставка (paste). Також можна скористатися «гарячими клавішами», які приведені у розділі 2 даного посібника.
6. Проставте необхідні номінали і властивості кожному елементу. Для цього потрібно двічі клацнути мишею на елементі і у відкритій вкладці поставити потрібні номінали. Важливо, що не в усіх елементах можна вносити корективи.
7. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку ввімкнення живлення на панелі інструментів. У випадку серйозної помилки в схемі (короткого замикання елементу живлення, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видане попередження і емуляція не працюватиме. Виправте помилки і знову запустіть емуляцію.
8. Зробіть аналіз схеми, використовуючи інструменти індикації. Виклик терміналу здійснюється подвійним натисканням клавіші миші на елементі.
9. При необхідності зробіть доступні аналізи в розділі меню Analysis.
10. Занесіть пояснення щодо створення схем у звіт.
11. Зробіть висновки

Алгоритм виконання роботи в Multisim:

Зібрати схему рисунок 2.1.2.

Рисунок 2.1.2 - Схема досліджень



1. Запускаємо програму **Multisim**
2. Створюємо новий файл для роботи.
3. Визначаємо потрібні нам елементи та розміщаємо їх у вікні схеми.

Для того, щоб зібрати дану схему нам потрібні такі компоненти: 3 резистори, амперметр, 3 вольтметри, джерело живлення і заземлення.

Ми відкриваємо вкладку "Place" і натискаємо "Component...", або ж вибираємо на панелі елементів, що розташована нижче, той список елементів, який нам потрібен, після чого сам елемент:

Натискаємо кнопку Place

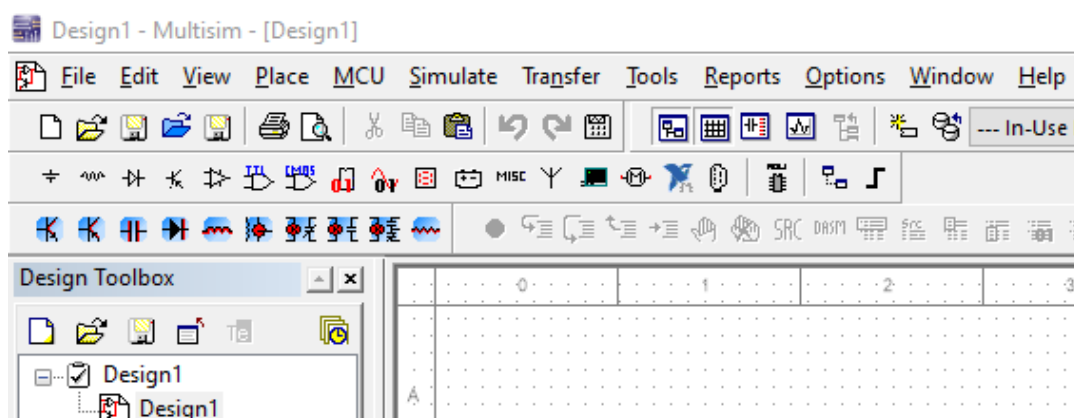


Рис.2.1.3 Вибір вкладки **Place**

Вибираємо: Component → Master Database → Basic → Resistor (Variable Resistor)

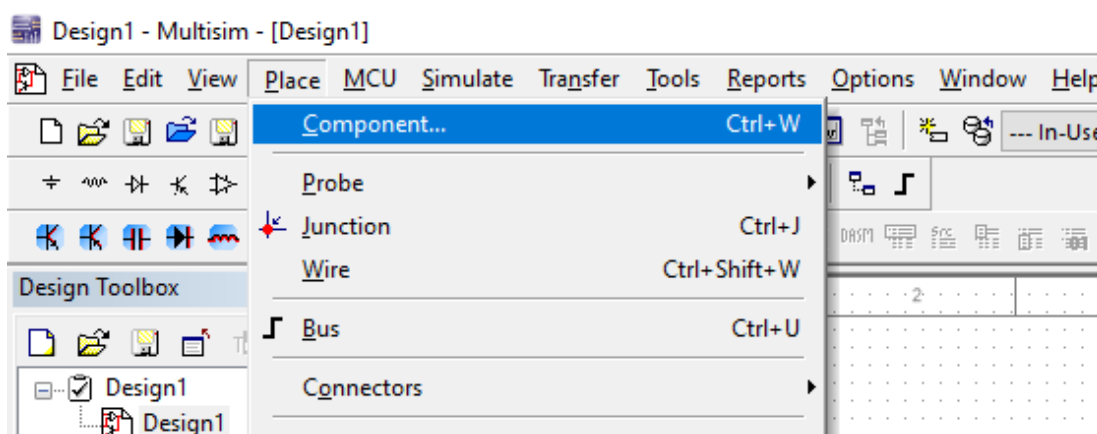


Рис.2.1.4 Вибір вкладки Component

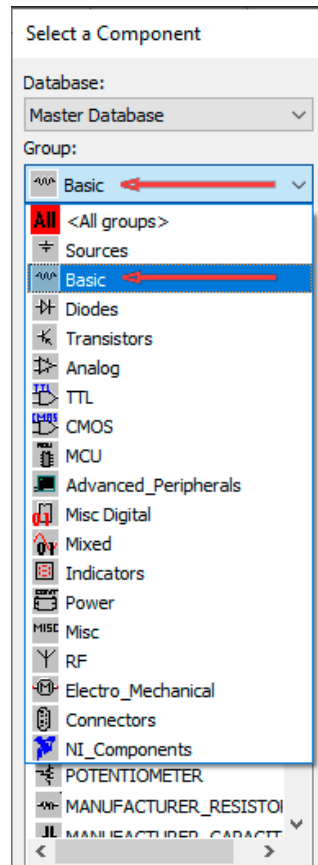


Рис.2.1.5 Вибір потрібних компонентів схеми

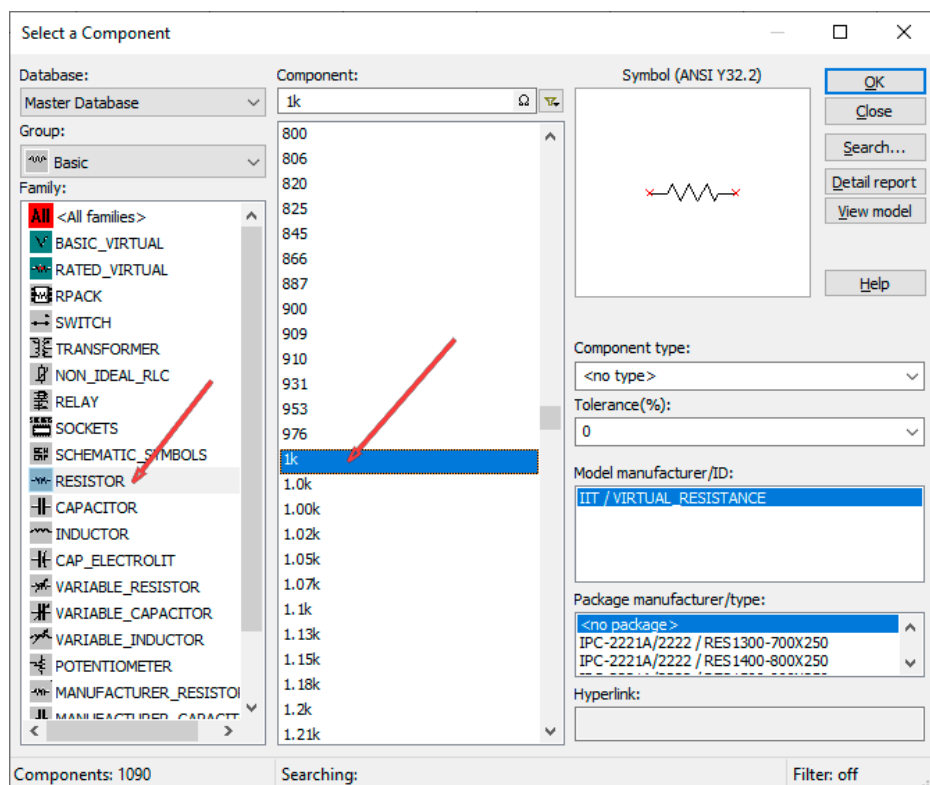


Рис.2.1.6 Вибір компонента з потрібним номіналом

Додаємо елементи на робоче місце, клацнувши на ОК.

Вибираємо наступні компоненти:

Component → Master Database → Source → DC power (джерело живлення);

Source → Ground (заземлення)

Додаємо елементи на робоче місце, клацнувши на ОК, після чого починаємо розташовувати їх, слідуючи нашому завданню.

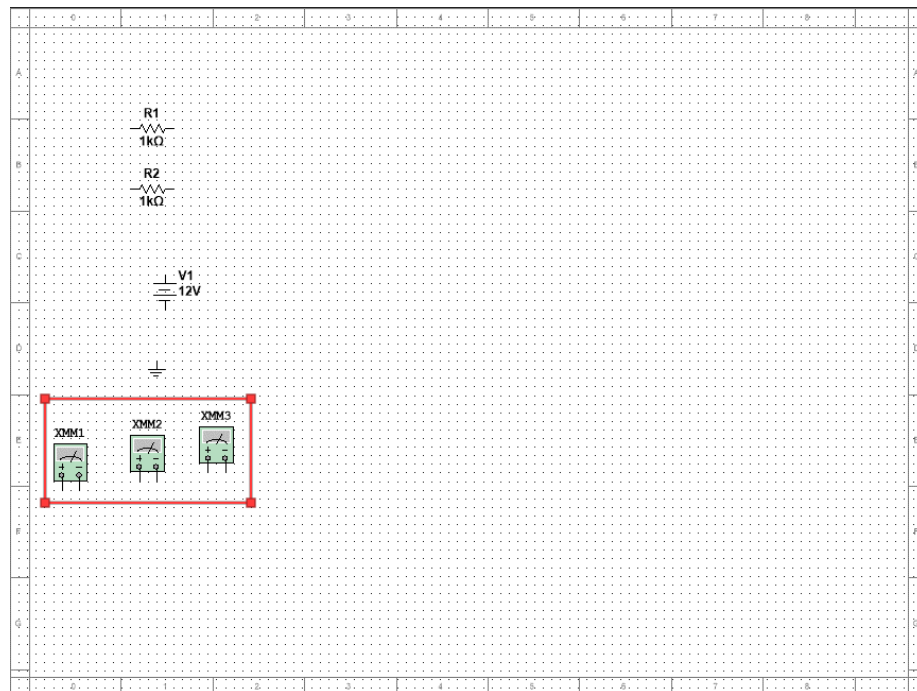


Рис.2.1.7 Зібрані елементи на робочому полі

Виділені червоною рамкою мультиметри знаходяться на панелі інструментів розташованій вертикально праворуч від вікна для схеми.



Рис.2.1.8 Вибір мультиметра

Додавання їх на робоче поле здійснюється клацанням на піктограму мультиметра.

Налаштування мультиметра на роботу як амперметра, або вольтметра здійснюється подвійним клацанням миші на його піктограму, там також присутній вибір роботи для постійного, або змінного струму.

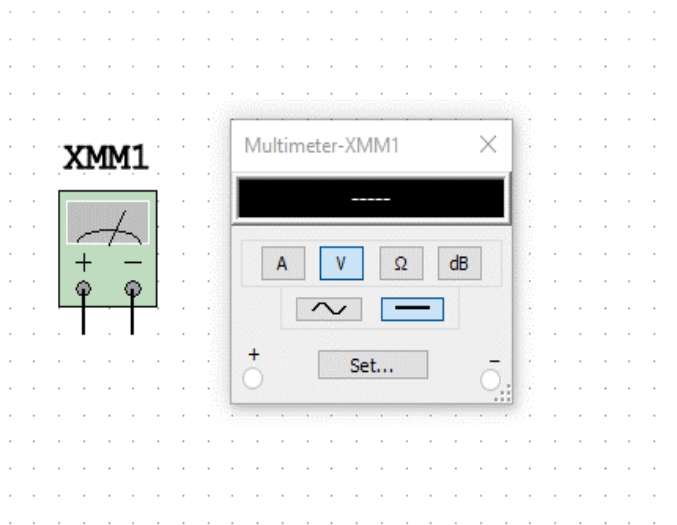


Рис.2.1.9 Налаштування роботи вольтметра

Для паралельного підключення приладу (в нашому випадку вольтметра) потрібно створити вузли (Ctrl+J) після чого протягуєте дроти до приладу.

Для налаштування резисторів потрібно натиснути на елемент схеми, після чого висвітлюється вікно, за допомогою якого можна налаштувати характеристики елемента

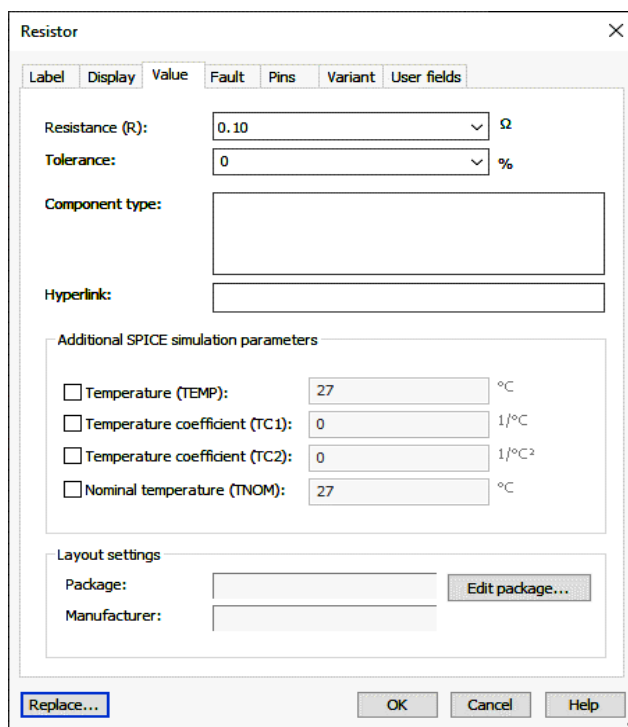


Рис.2.1.10 Налаштування резистора

4. Після розташування та підключення всіх елементів, натискаємо F5, або кнопку запуску емуляції на горизонтальній панелі інструментів, і якщо схема є правильною, то все повинно працювати.

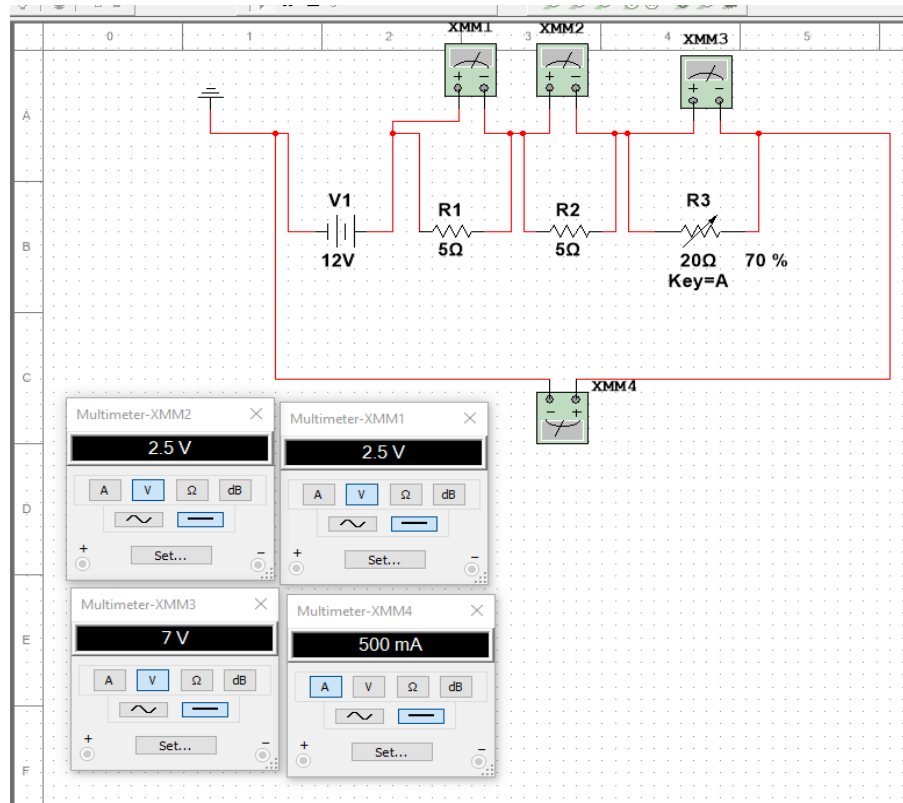


Рис.2.1.11 Вигляд робочої схеми

Якщо у вашому завданні потрібно створити дві схеми, ви створюєте нове вікно для схеми та будете в ньому новий проект.

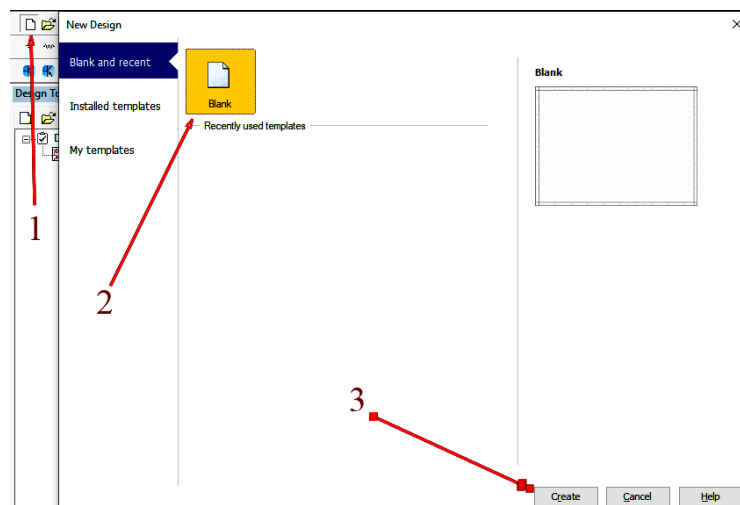


Рис.2.1.12 Вибір нового робочого вікна

5. Заповнюємо звіт.

Контрольні запитання

1. Що таке підсхема і як її створити?
2. Якими командами можна змінити графічне зображення компонента наприклад (конденсатора змінної ємності)?
3. Яким чином можна створити бібліотеку моделей компонентів, яка складається з вітчизняних комплектуючих?
4. Якою командою задаються параметри контрольно-вимірювальних приладів?

Література: 5, 6

2.2 Лабораторна робота №2 Дослідження напівпровідникових діодів за допомогою програмного комплексу Multisim

Тема. Дослідження напівпровідникових діодів за допомогою програмного комплексу Multisim.

Мета роботи: вивчення принципів дії та основних властивостей напівпровідникових діодів, стабілітронів; дослідження їх вольтамперних характеристик, ознайомлення з основними параметрами та використанням.

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості

Напівпровідниковим діодом називають напівпровідниковий прилад з одним електричним р-п переходом і двома виводами.

За функціональним призначенням діоди поділяються на випрямні, імпульсні, стабілітрони, варикапи, тунельні, фотодіоди, світлодіоди і ін.

Принцип дії напівпровідникового діода.

Роботу напівпровідникового діода засновано на односторонній провідності **р-п** переходу. **р-п** перехід – перехід між двома областями напівпровідника з різним типом провідності.

При сплаві двох зразків напівпровідників з електронною і дірковою провідністю на межі, внаслідок явища дифузії, електрони з області **n** будуть переміщатися в область **p**, а дірки, навпаки, з області **p** в область **n**. Зустрічаючись на межі **p** і **n** областей, дірки і електрони рекомбінують, внаслідок чого в при граничній зоні концентрація носіїв заряду істотно знижується: з боку області **n** з'являється надлишок позитивно заряджених іонів, а з боку області **p** – негативно заряджених іонів.

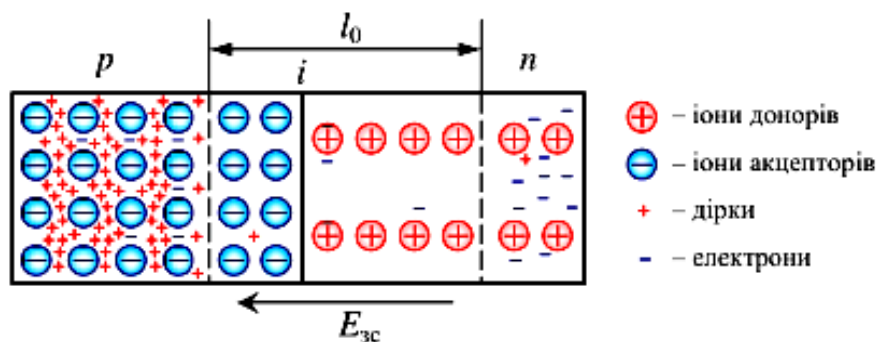


Рис. 2.2.1 – Виникнення в р-п переході шару, що запирає

Між ними виникає внутрішнє електричне поле $E_{зш}$ (просторовий заряд - електричний запираючий шар), спрямоване від області **n** до області **p**. Це електричне поле перешкоджає дифузії електронів з **n** області в **p** область і дірок в зворотному напрямку. Однак це поле не перешкоджає дрейфу через перехід неосновних носіїв, наявних в областях напівпровідника. При кімнатній температурі струм дифузії компенсується струмом дрейфу – **р-п** перехід знаходиться в термодинамічній рівновазі. Область **р-п** переходу ще називають шаром, що запирає, збідненим шаром, або *i*-областю.

Зовнішня напруга U , що прикладена до **р-п** переходу, в залежності від полярності буде посилювати чи послаблювати дію поля шару, що запирає.

Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до **p** області, а «-» – до **n** області (пряме включення), то електричне поле $E_{пр}$, яке створено зовнішнім джерелом живлення, буде направлено назустріч полю шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 2.2.2). Дія шару, що запирає при цьому слабшає і його ширина зменшується.

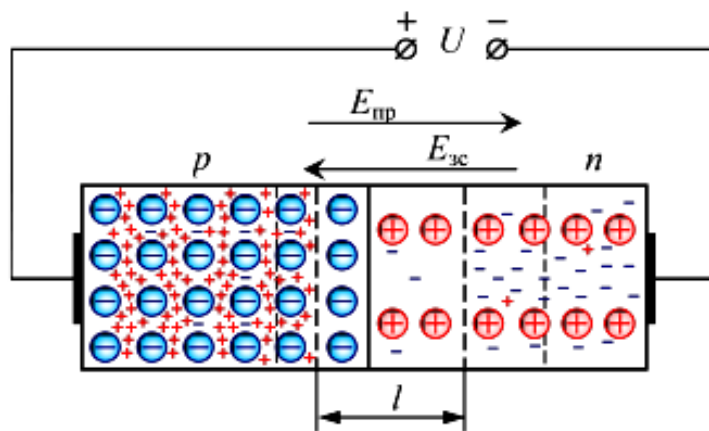


Рис. 2.2.2 – **p-n** перехід, увімкнений в прямому напрямку

При подальшому підвищенні напруги шар, що запирає зникає зовсім. Опір руху основних носіїв заряду знижується і через перехід потече струм, який називають прямим. Значення прямого струму при підвищенні зовнішньої напруги збільшується за експоненціальним законом.

Введення (нагнітання) носіїв заряду через електронно-дірковий перехід в область напівпровідника, де вони є неосновними, за рахунок зниження напруженості внутрішнього електричного поля $E_{зш}$, називається інжекцією. Якщо «+» зовнішнього джерела напруги прикласти до **n** області, а «-» – до **p** області (зворотне включення), то електричне поле $E_{зв}$, створюване зовнішнім джерелом живлення, буде додаватися до поля шару, що запирає $E_{зш}$ (рис. 2.2.3). При цьому ширина шару, що запирає збільшується і ще менша кількість основних носіїв заряду може подолати дію цього поля й перейти в сусідню область.

Через перехід протікає невеличкий зворотний (тепловий) струм I_0 , обумовлений рухом неосновних носіїв. Цей струм практично не залежить від зворотної напруги, прикладеної до **p-n** переходу, але сильно залежить від температури.

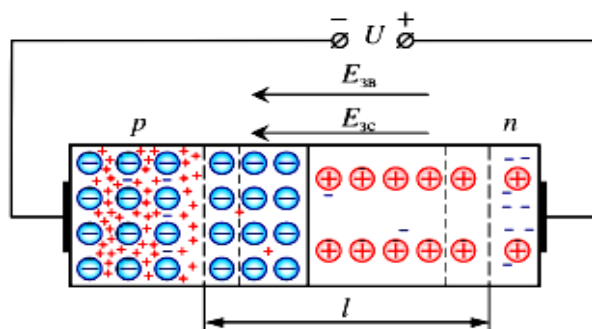


Рис. 2.2.3 – **p-n** перехід, включений в зворотному напрямку

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) **p-n** переходу описується виразом:

$$I = I_0 (e^{(U/\phi_T)} - 1),$$

де:

I_0 - тепловий струм;

U - прикладена зовнішня напруга;

ϕ_T - тепловий потенціал (26 мВ).

Інерційні властивості діода

При зворотному зсуві **p-n** переходу електрони і дірки знаходяться по обидва боки переходу, а в області самого **p-n** переходу їх дуже мало. Таким чином, при зворотному включенні діод має ємність, величина якої пропорційна:

площі **p-n** переходу;

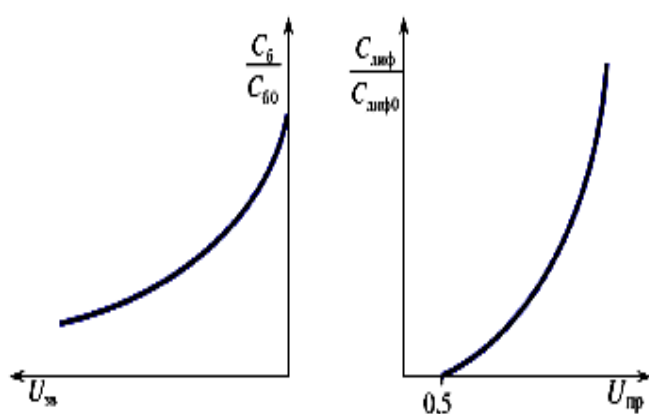
концентрації носіїв заряду;

діелектричної проникності напівпровідника.

Цю ємність називають бар'єрною ємністю C_b .

При збільшенні зворотної напруги бар'єрна ємність зменшується внаслідок зменшення ширини шару, що запирає. При прямому включенні бар'єрна ємність підвищується, однак, тут **p-n** перехід крім бар'єрної ємності має так звану дифузійну ємність C_d , яка в даному випадку грає домінуючу роль. Дифузійна ємність істотно не впливає на роботу діода, тому що вона завжди зашунтована малим прямим опором **p-n** переходу.

Залежність відносної зміни ємності **p-n** переходу при прямому і зворотному включенні наведені на (рис.2.2.4)



а – зворотне включення;

б – пряме включення

Рис. 2.2.4 – Вольт-фарадна характеристика діода

Сучасні електронні прилади працюють на високій частоті, і ємність **p-n** переходу багато в чому визначає як інерційні властивості напівпровідникових елементів так і області їх застосування. Зміну струму через випрямний діод при зміні полярності підключеної напруги демонструє рис. 2.2.5.

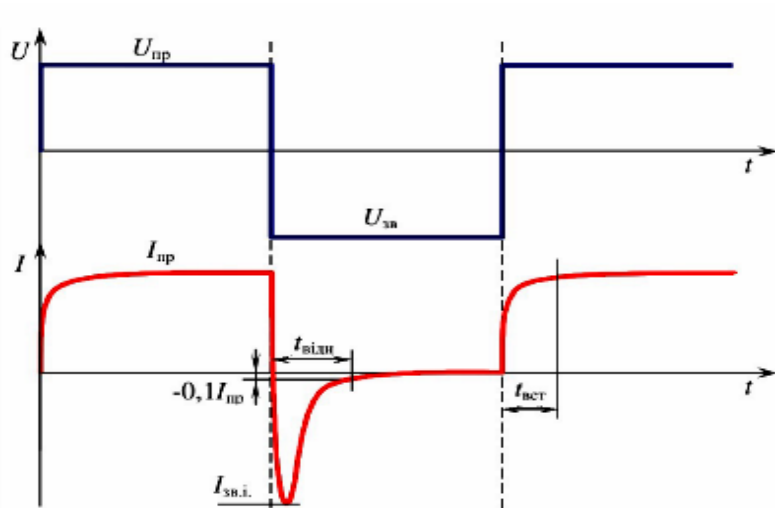


Рис. 2.2.5 – Перехідні процеси в p-n переході

Еквівалентні схеми діода показані на рис. 2.2.6, а, б, на яких позначено:

A – анод,

K – катод,

I – джерело струму,

R_s – об'ємний опір,

C – ємність переходу,

G_{\min} – провідність, обумовлена зворотним струмом переходу.

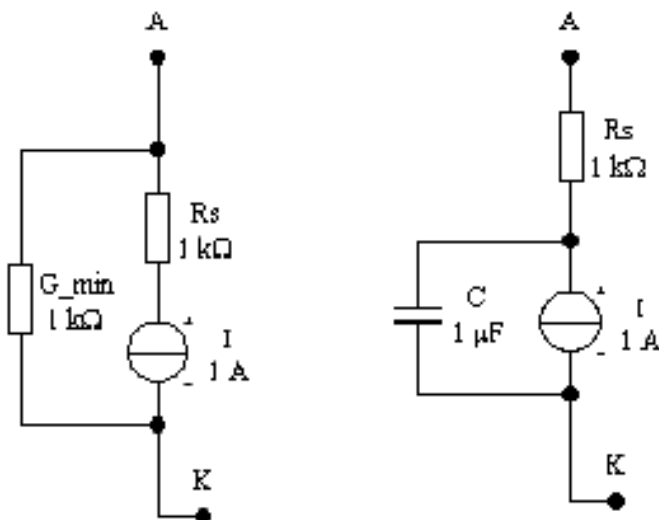


Рис. 2.2.6 - Еквівалентні схеми діода

Вольт-ампера характеристика діода визначається такими виразами:

- для прямої гілки:

$$I = I_0[\exp(U/(N \cdot U_t)) - 1] + U \cdot G_{\min} \quad \text{для } U \geq 0; \quad (2.1)$$

- для зворотної гілки:

$$I = I_0[\exp(U/(N \cdot U_t)) - 1] + U \cdot G_{\min} \quad \text{для } -5NU_t \leq U \leq 0; \quad (2.2)$$

$$I = I_0 + U \cdot G_{\min} \quad \text{для } -BV < U < -5N-U_t; \quad (2.3)$$

$$I = -IBV \quad \text{для } U = -BV; \quad (2.4)$$

$$I = I_0\{\exp[-(U + BV)/(N \cdot U_t)] - 1 + BV/U_t\} \quad \text{для } U < -BV. \quad (2.5)$$

Де:

$I_0 = I_s$ – зворотний струм діода при температурі $T_{\text{НОМ}}$;

N – коефіцієнт інжекції;

BV, IBV – напруга і струм пробою;

U_t – температурний потенціал переходу;

U – напруга на діоді.

При розрахунку перехідних процесів використовуються еквівалентна схема діода (рис. 2.2.6, б), для якої ємність переходу визначається за допомогою виразів:

$$C = \tau(dI/dU) + C_{J0}(1 - U/U_t)^{-m} \quad \text{для } U < FC \cdot V_J; \quad (2.6)$$

$$C = \tau(dI/dU) + C_{J0}(F_3 - m U/U_t)/F_2 \quad \text{для } U \geq FC \cdot V_J, \quad (2.7)$$

де

$$F_2 = (1 - FC)^{1+m}; \quad F_3 = (1 - FC)^{(1-m)}.$$

В приведених формулах:

τ – час переносу заряду;

C_{J0} – бар'єрна ємність при нульовому зміщенні на переході;

V_J – контактна різниця потенціалів;

$m = 0,33 \dots 0,5$ – параметр переходу.

Порядок виконання роботи

1. Згідно варіанту, обираємо потрібний нам діод і виконуємо завдання лабораторної роботи:

Таблиця 2.1

№ п/п	Діод	Температура °С	№ п/п	Діод	Температура °С
1	1N3491	-50	21	1N3903	-25
2	1N3492	-30	22	1N3909	-15
3	1N3493	-10	23	1N3910	-10
4	1N3494	50	24	1N3911	-5
5	1N3495	70	25	1N3912	55
6	1N3495-1	90	26	1N3913	65
7	1N3879	110	27	1N4001	75
8	1N3880	-55	28	1N4001GP	85
9	1N3881	-45	29	1N4002	95
10	1N3882	-35	30	1N4002GP	105
11	1N3883	-55	31	1N4003	100
12	1N3889	-50	32	1N4003GP	95
13	1N3890	-54	33	1N4004	80
14	1N3891	75	34	1N4004GP	75
15	1N3892	80	35	1N4005	70
16	1N3893	85	36	1N4005GP	65
17	1N3999	90	37	1N4006	60
18	1N3900	95	38	1N4006GP	-60
19	1N3901	100	39	1N4007	-65
20	1N3902	105	40	1N4007GP	-55

При відсутності даного елемента потрібно створити елемент з аналогічними параметрами

2.2.1. Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

1. Запустіть Multisim
2. Підготуйте новий файл для роботи.
3. Зберіть схему запропоновану викладачем.

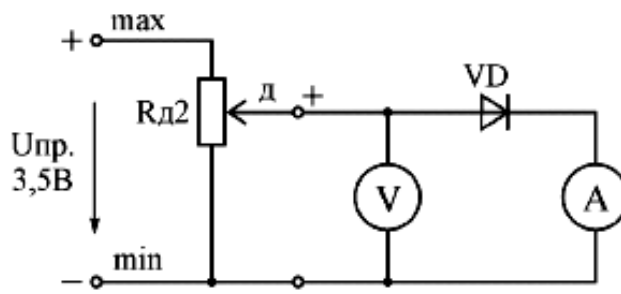


Рис. 2.2.7 – Схема для дослідження
(перша частина досліду)

Для дослідження характеристики діода в прямому включенні, відповідно до схеми запропонованої викладачем потрібні:

джерело живлення постійної напруги; потенціометр; діод; амперметр; вольтметр; заземлення.

Почнемо з вибору діода.

Тиснемо на кнопку Place і на вкладці вибираємо Component.

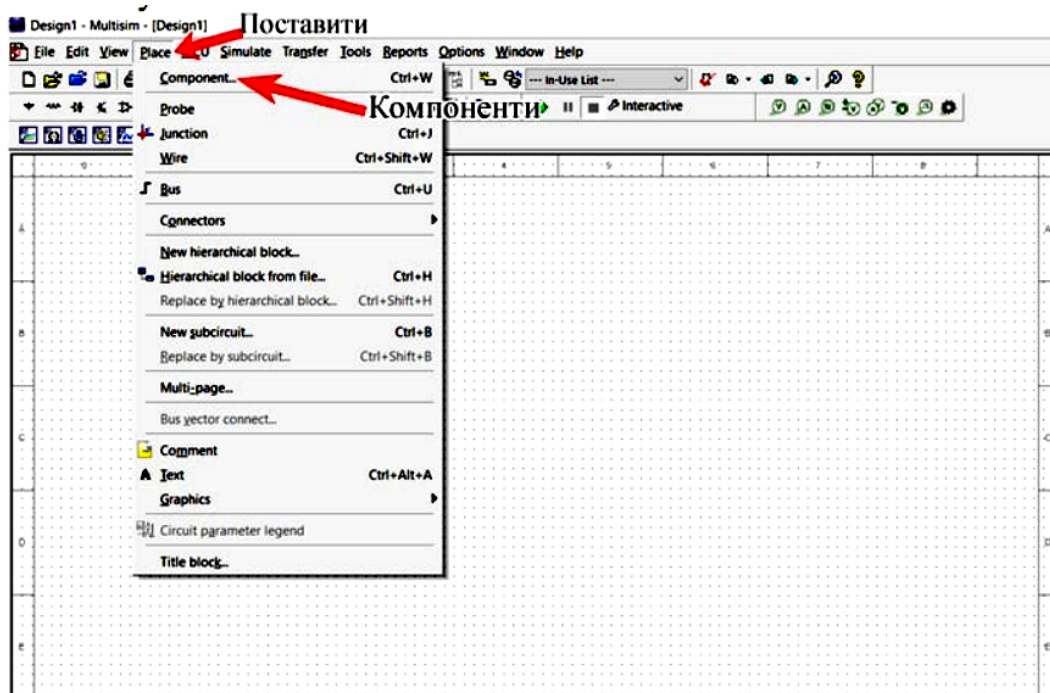


Рис. 2.2.8 – Середовище Multisim 14. Обирати у вкладці «Place» підпункт «Components» для обрання потрібного діода

Далі на вкладці обрати:

Component → Master Database → Diode

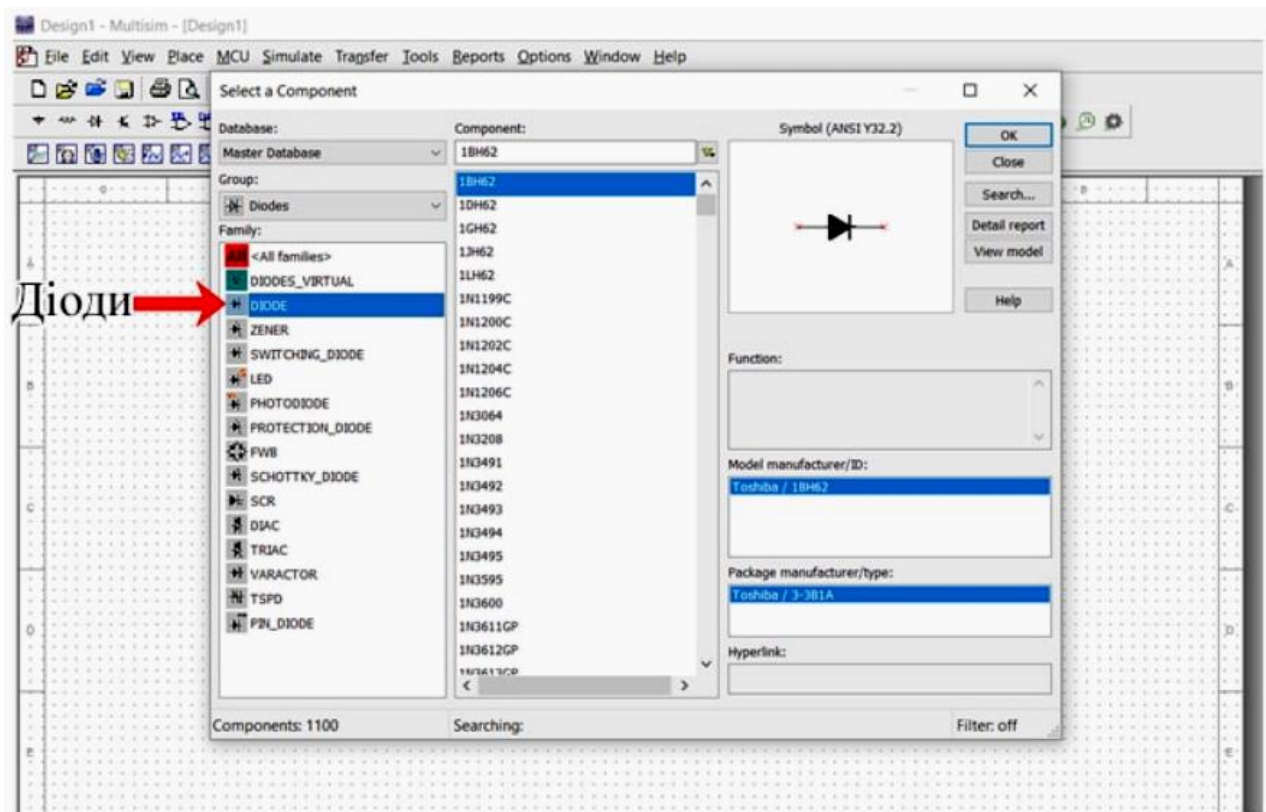


Рис. 2.2.9 – Зовнішній вигляд меню «Diodes».

Для виконання роботи потрібно вибрати діод перемістити його на робоче поле клацанням миші на кнопку OK. Далі перетягти діод на потрібне місце і клацнути на ньому. При натисканні двічі лівою клавшею на діод з'явиться ще одне вікно з якого можна визначити додаткові параметри. При клацанні на клавішу Edit з'являється вікно з параметрами компонентів, які можна роздрукувати в звіті. (Якщо ваша програма дозволяє, то можна змінити параметри діода, відповідно до параметрів діода вашого варіанта)

Наступним вибираємо джерело живлення постійної напруги 3.5 В. Його можна знайти під піктограмою джерел: Component → Master Database → Source → DC interactive voltage (джерело напруги)

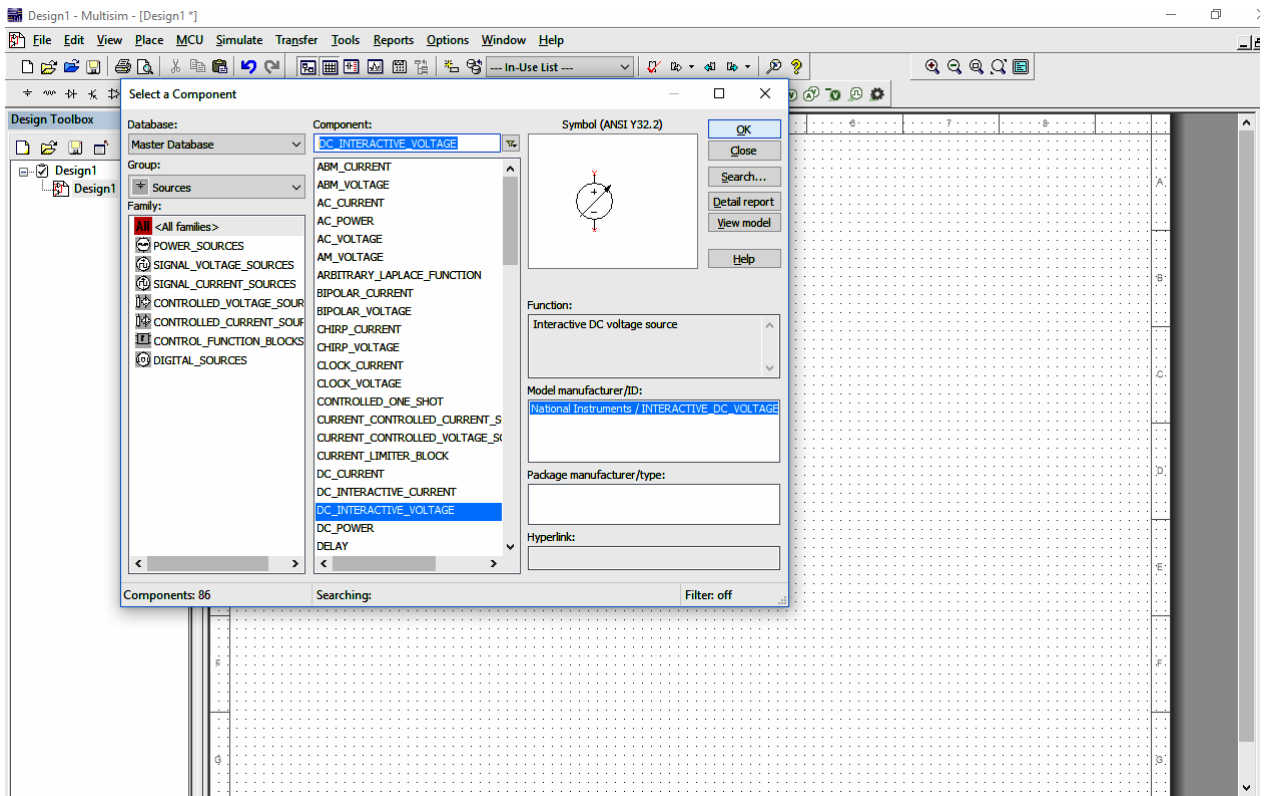


Рис. 2.2.10 – Зовнішній вигляд меню «Sources». Обрання потрібного живлення.

Заземлення, також знаходиться під піктограмою джерела (їх потрібно в нашій схемі 2 штуки):

Component → Master Database → Source → Ground (заземлення)

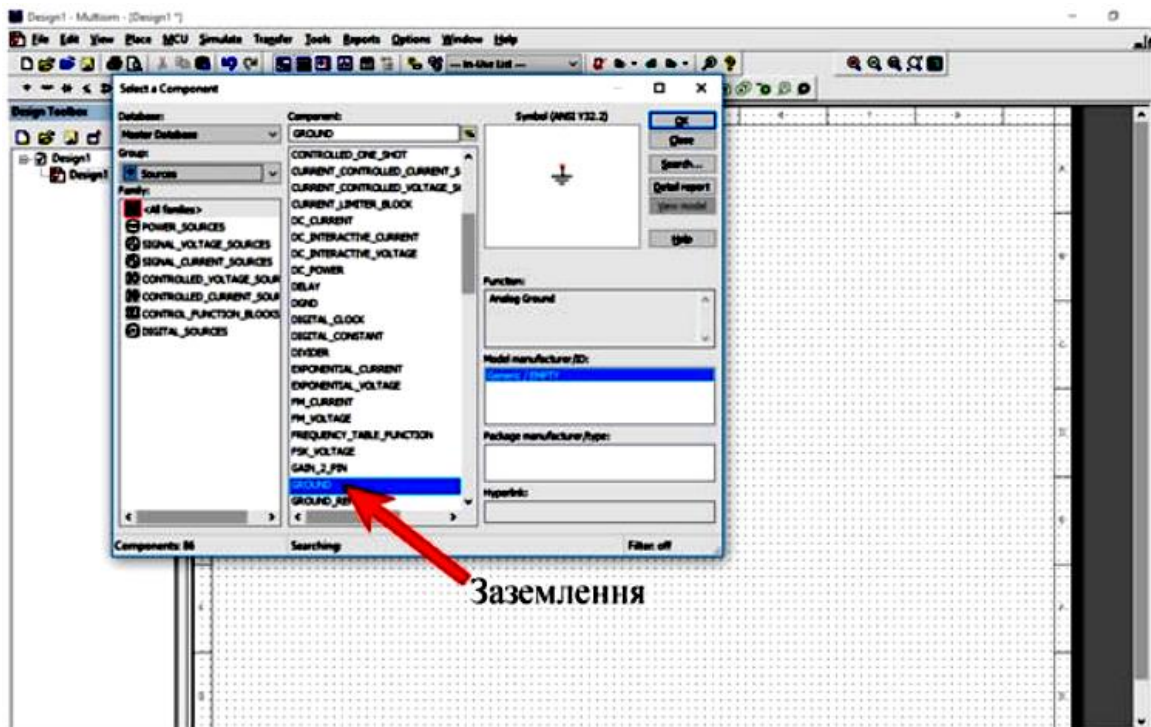


Рис. 2.2.11 – Зовнішній вигляд меню «Ground». Обрання потрібного заземлення.

Потенціометр.

Його можна знайти під піктограмою Basic:

Master Database → Basic → Potentiometer

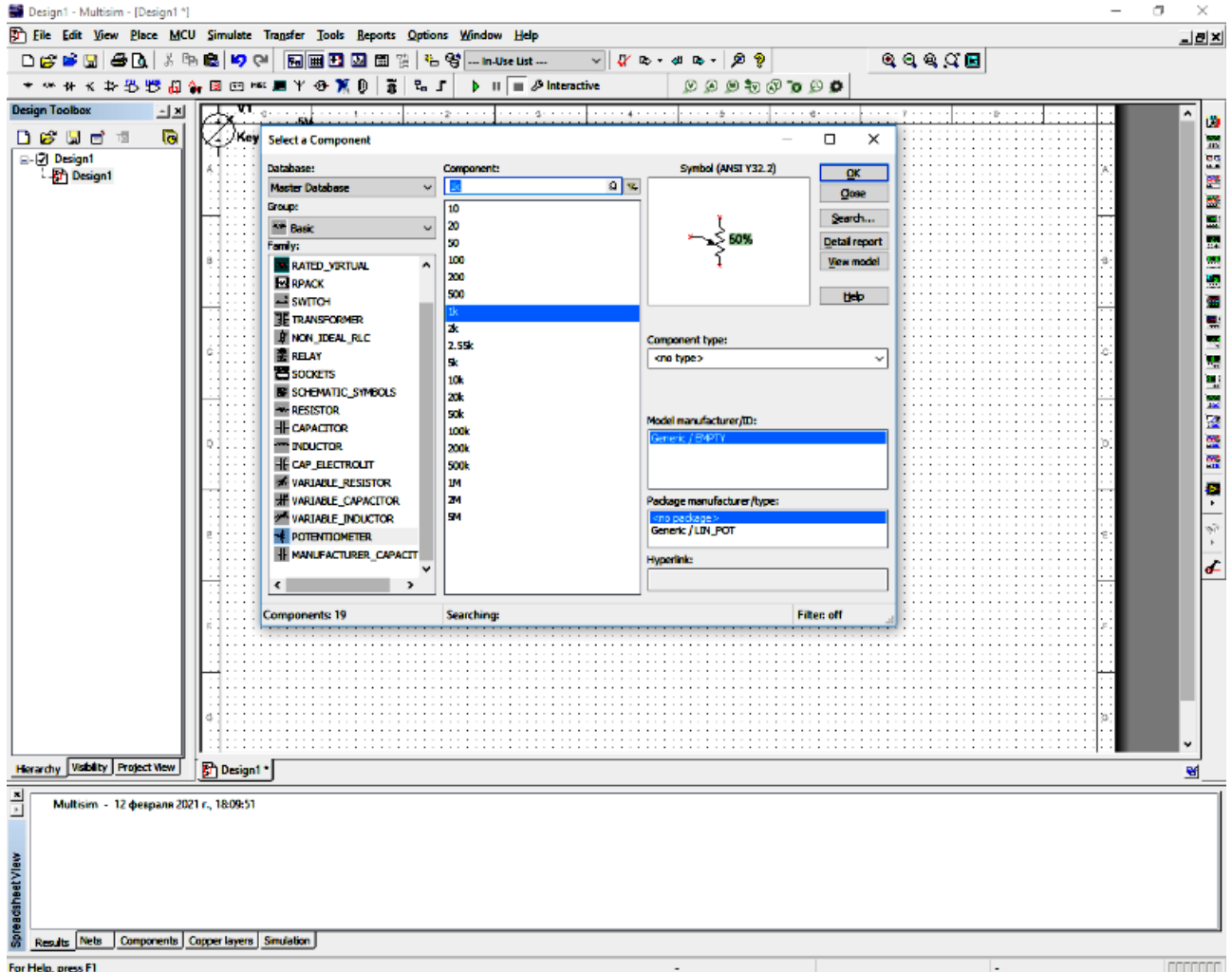


Рис. 2.2.12 – Зовнішній вигляд меню «Basic». Обирання потрібного потенціометра.

Також нам потрібні 2 мультиметра, які знаходяться праворуч на вертикальній лінійці, де знаходяться піктограми приладів.

За допомогою одного вимірюватимемо напругу, другого – струм:

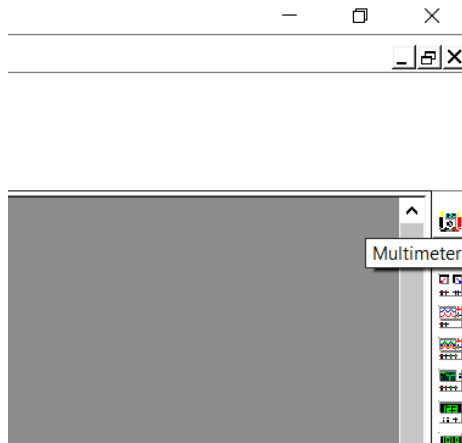


Рис. 2.2.13 – Мультиметр. Для вимірювання Напруги та Струму

Для перенесення його на робоче поле потрібно натиснути на піктограму:

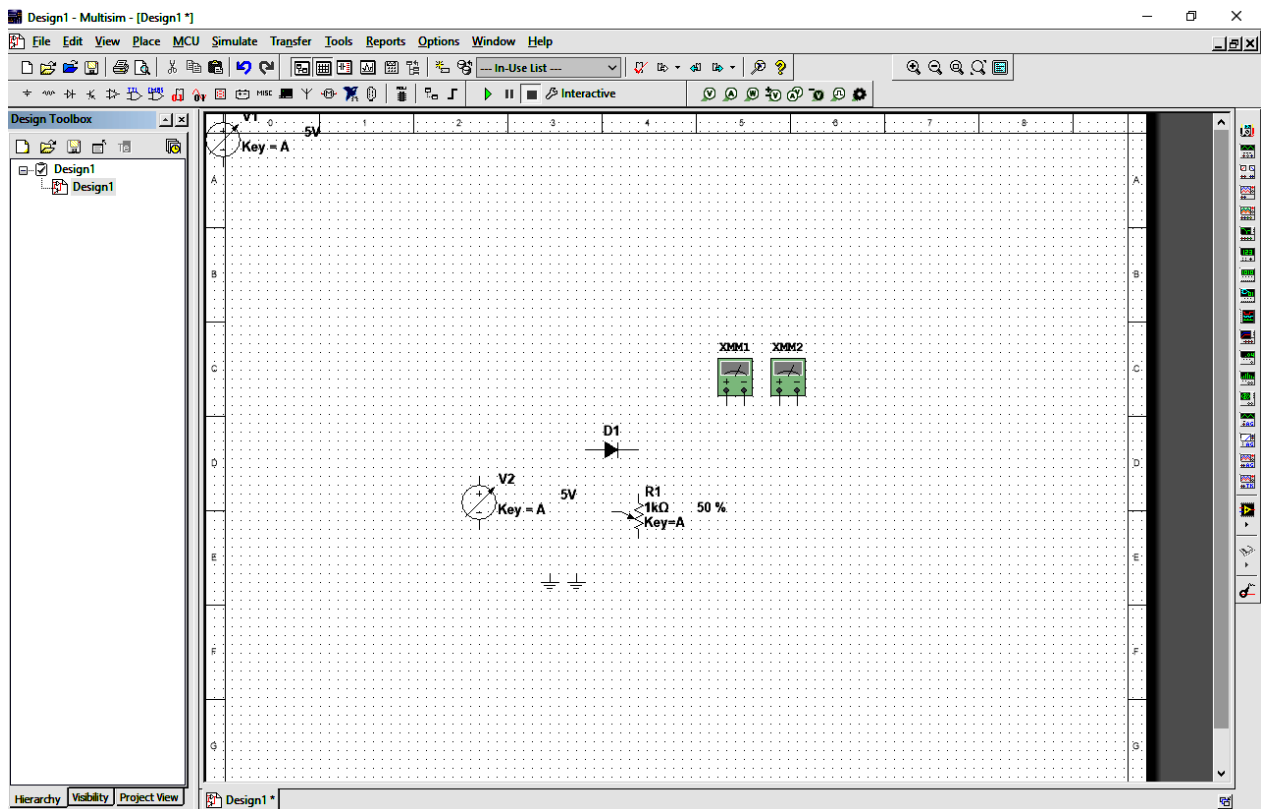


Рис. 2.2.14 – Два однакових мультиметри – один працюватиме як амперметр, інший - як вольтметр

Збираємо схему, переміщуючи прилади на їх місця, з'єднуючи провідниками. Після цього нажимаємо на два мультиметри і виставляємо в одному для вимірювання напруги (V), в іншому - струму (A).

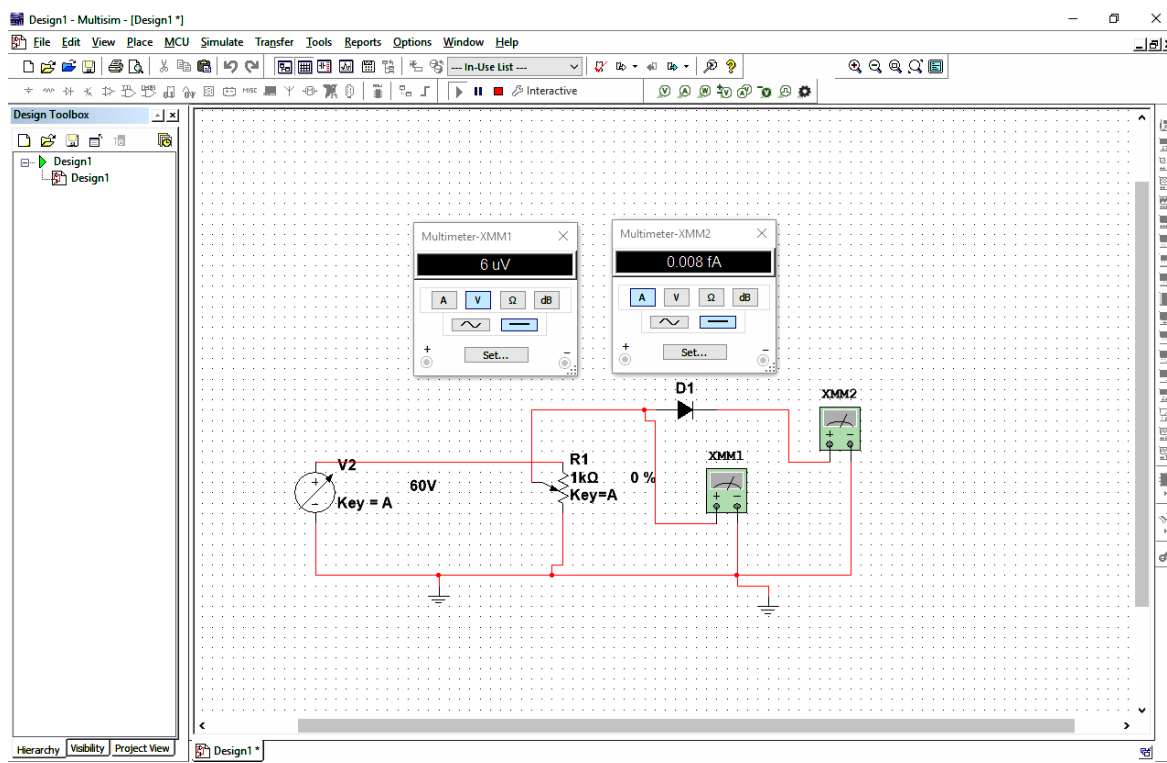


Рис. 2.2.15 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при прямому включенні

За допомогою потенціометра $R_{д2}$, змінюйте струм, що протікає через діод VD, від 0 до 100 мА. Ціну поділки можна регулювати, клацнувши на потенціометр (шаг визначається в відсотках від максимальної величини).

Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 2.1.

Результати вимірювань прямої гілки вольт-амперної характеристики діода

Таблиця 2.1.

$I_{пр}$, мА	0,1	0,5	1	5	10	20	40	80
$U_{пр}$, В								

2. Дослідження характеристики діода в зворотному включенні.

За допомогою меню File відкриваємо нову вкладку і збираємо схему згідно рис. 2.11.

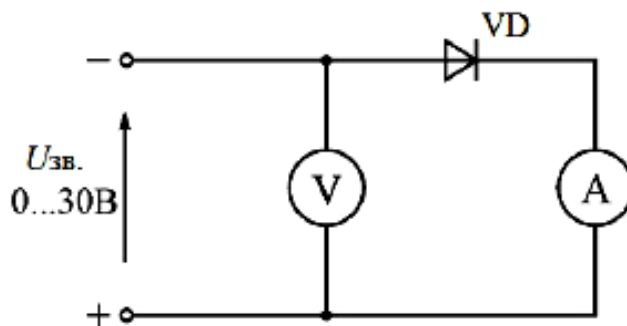


Рис. 2.2.16 – Схема Діода. Для дослідження в зворотному включенні.
(розвернути діод)

Діод, амперметр і вольтметр встановлюємо на робоче поле аналогічно попередньому експерименту, а джерело знаходимо в розділі Source – DC interactive current (змінне джерело постійного струму), ціну поділки якого встановлюємо клікнувши на нього мишею і виставивши процент, необхідний для вимірювань.

За допомогою ключа змінюйте напругу від 0 до 30 В.

Фіксуючи показання приладів, заповніть таблицю 2.2.

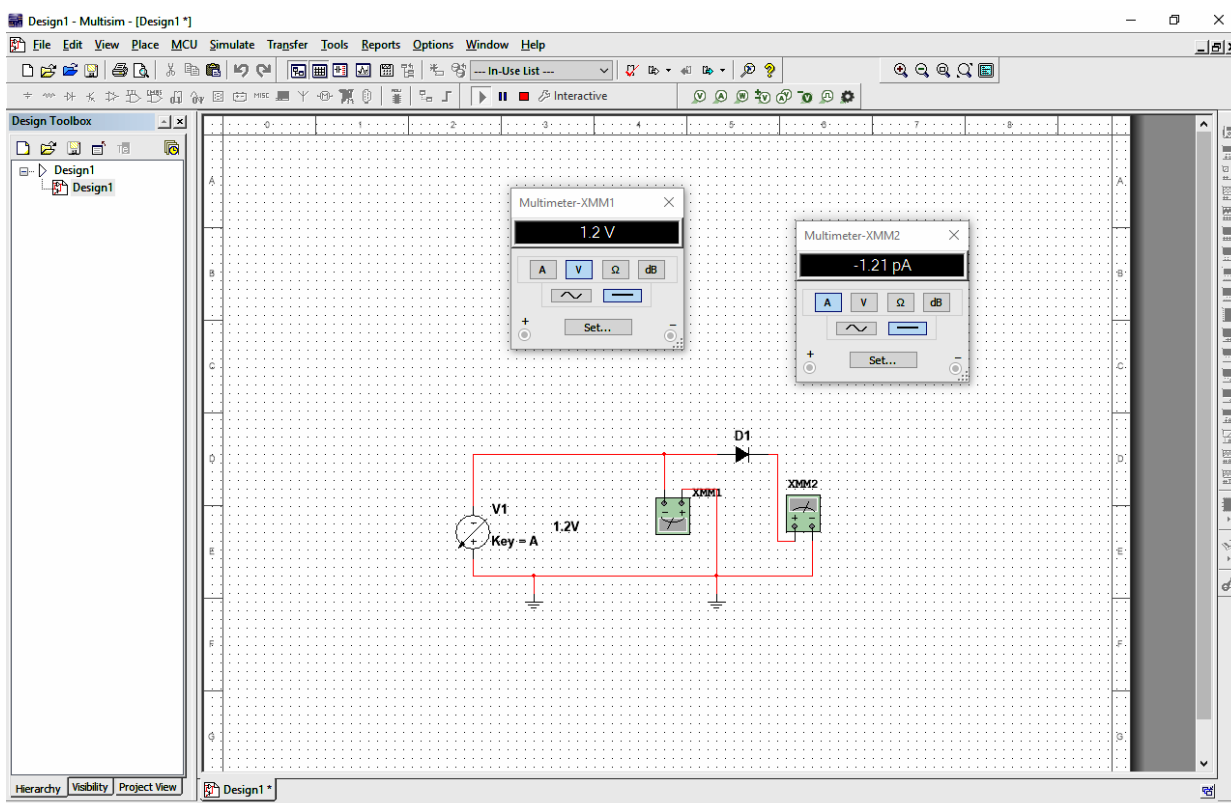


Рис. 2.2.16 – Схема для отримання вольт-амперної характеристики діода при зворотному включенні (при 1.2 В)

Результати вимірювання зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода (розвернути діод можна комбінацією Alt+X)

Таблиця 2.2.

$U_{\text{об}}, \text{В}$	1	2	3	5	10	15	20	25	30
$I_{\text{об}}, \text{мкА}$									

Побудувати вольт-амперні характеристики діода, використовуючи дані таблиці 2.1 і таблиці 2.2. Масштаб напруги для зворотного включення діода (третій квадрант графіка) взяти в 100 разів більше, а масштаб струму в 1000 разів більше, ніж для прямого включення діода.

3. Дослідження вольт-амперної характеристики діода за допомогою IV Analyzer

3.1. Вибрати в меню Diode діод для дослідження вольт-амперної характеристики, визначений викладачем і встановлюємо його на робочу поверхню:

Component → Master Database → Diode

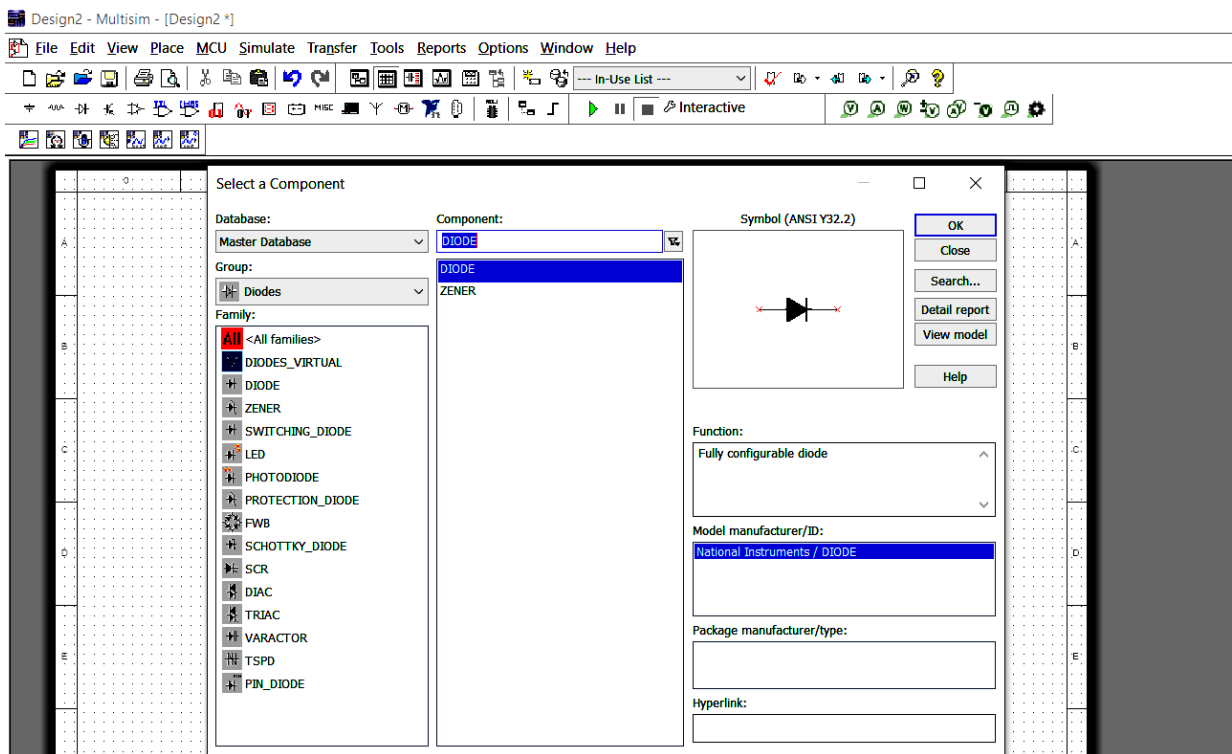


Рис. 2.2.17. Меню «Diodes». Обирання діода для вольт-амперної характеристики

На панелі вимірювальних приладів (вертикальний рядок праворуч) вибираємо IV Analyzer

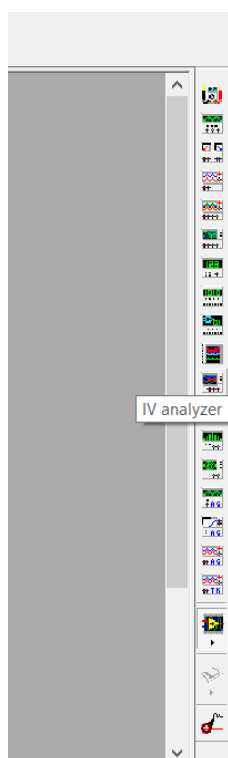


Рис. 2.2.18. Вертикальна панель. Обирання IV Analyzer для проведення експерименту

Збираємо схему:

Підключаємо до діодів IV Analyzer для проведення експерименту.

A screenshot of the Multisim software interface. The main workspace shows a circuit diagram on a grid. At the top, there is a menu bar (File, Edit, View, Place, MCU, Simulate, Transfer, Tools, Reports, Options, Window, Help) and a toolbar. Below the toolbar, there are several rows of component icons. The circuit diagram consists of an IV analyzer component labeled 'XIV1' and a diode component labeled 'D1'. The IV analyzer is connected to the diode via red wires. The diode is represented by a black triangle pointing to the right. The IV analyzer component has a small window showing a graph with three curves.

Рис. 2.2.19 – Схема для дослідження вольт-амперної характеристики за допомогою інструмента IV Analyzer

49

При натисканні на інструмент IV Analyzer, відкривається його зовнішнє меню, в якому потрібно вписати всі дані, які записані у таблицях 2.1 і 2.2.

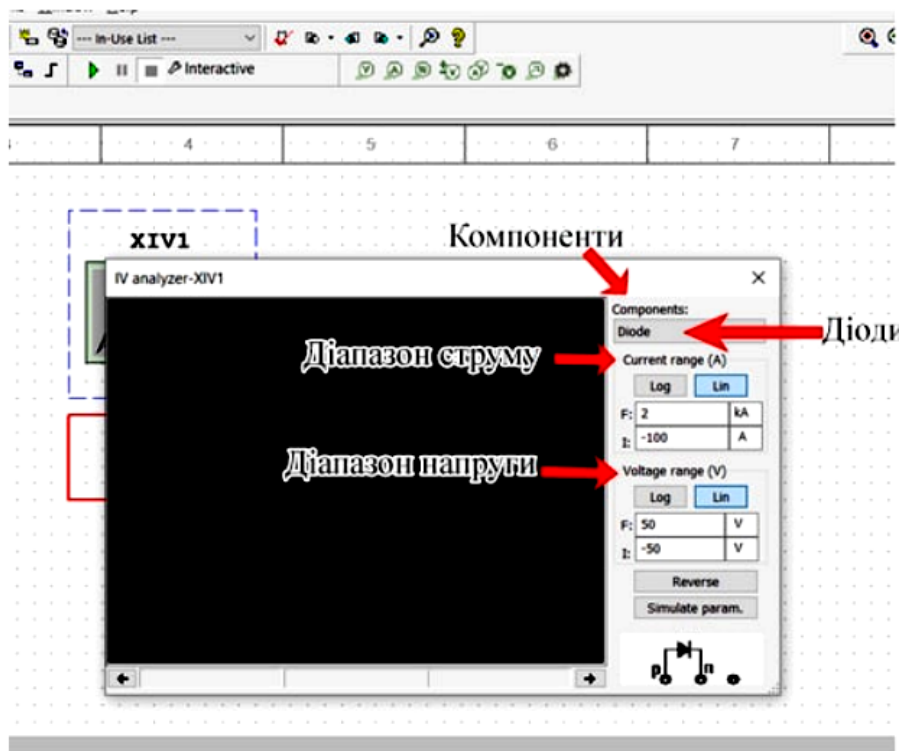


Рис. 2.2.20 - Зовнішній вигляд інструмента IV Analyzer.

Для завдання потрібних параметрів потрібно натиснути кнопку в правому нижньому куті «Simulate param» і у відкритому меню вписати потрібні характеристики та натиснути ОК.

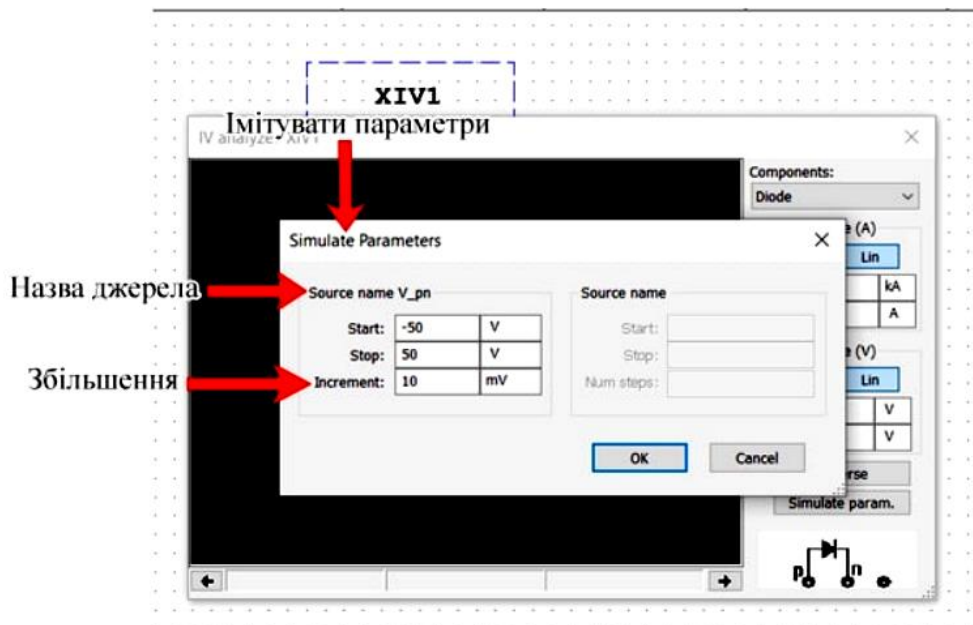


Рис. 2.2.21 - Введення параметрів для проведення експерименту.

Після цього потрібно натиснути F5. Ми отримаємо графік.

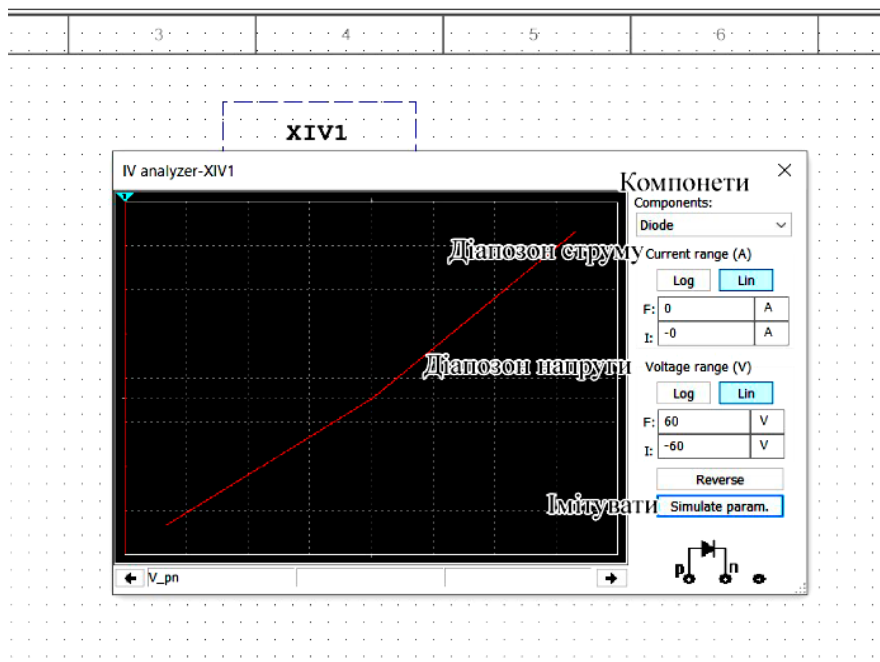


Рис. 2.2.22 - Графік вольт-амперної характеристики.

4.2. З отриманої ВАХ визначити величину статичних і динамічних (диференціальних) опорів діода при прямому і зворотному включенні, як показано на рис.2.32.

$$r_D = dU / dI \approx \Delta U / \Delta I = (m_U / m_I) \operatorname{ctg} \beta ; \quad R = U_E / I_E = (m_U / m_I) \operatorname{ctg} \alpha .$$

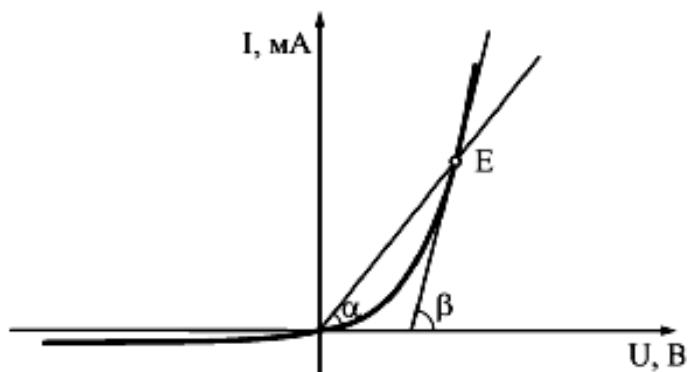


Рис. 2.2.23 – Визначення статичного і динамічного опорів діода..

4.3. Заповнити звіт.

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть процес утворення шару, що запирає в р-п переході.
2. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Які типи р-п переходів Ви знаєте ?
4. Як побудований напівпровідниковий діод?
5. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в зворотному напрямку.
6. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
7. Поясніть відміну динамічного опору від статичного. Для яких елементів ці опори рівні за величиною?
8. Чим зумовлена наявність ємності р-п переходу?
9. Поясніть, як впливає величина й напрямок прикладеної напруги на бар'єрну ємність?
10. Перерахуйте складові ємності р-п переходу?
11. Які електричні переходи мають найменшу ємність?
12. Чим обумовлені інерційні властивості діода і як це проявляється на практиці?
13. Чим пояснюються випрямні властивості діода?
14. Чому діод втрачає випрямні властивості?
15. Чому діод є температурно-залежним елементом?
16. Чому спостерігаються коливання зворотного струму діода при зміні зворотної напруги?
17. Назвіть і коротко охарактеризуйте типи напівпровідникових діодів?

Література: 2, 3, 6, 7, 9.

2.3. Лабораторна робота № 3. Дослідження перехідних процесів діода

Мета роботи: вивчення принципів дії та виконання перехідних процесів діодів; дослідження характеристик за допомогою програми Multisim , ознайомлення з основними параметрами заданої роботи .

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв’язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп’ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв’язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості.

Перехідні процеси завжди мали велику роль у використанні імпульсних діодів. Вони повинні мати маленьку тривалість процесу і використовувати будову імпульсної техніки.

Перехідні процеси у діодах існують завжди й особливо виявляються при роботі з імпульсами малої тривалості або миттєвими перепадами напруг і струмів. Вони пов'язані з процесами накопичення та розсмоктування носіїв у базі діода

Характеристика перехідних процесів.

Перехідний процес – це електромагнітний процес переходу електричного кола від одного робочого режиму до іншого. Він виникає в моменти комутації. Таким чином перехідний процес в електричному колі - це процес зміни в часі струмів та напруг на елементах кола, які викликані комутацією.

Перехідні процеси в першу чергу виникають, коли виконується задача, в якій процес переходить від одної задачі або режиму до іншої за певної умови. Але для виконання перехідних процесів, в колі обов'язково повинні бути реактивні елементи, що запроваджують перехід

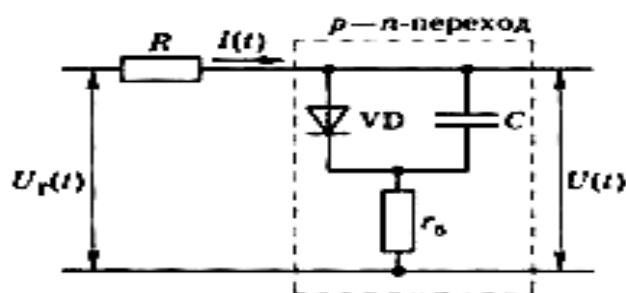


Рис. 2. 3.1 – Процес включення р-п переходу

Якщо розглянути рис. 2.3.1 то можна побачити, що позитивний струм через діод змінюється, через подачу імпульсу напруги на вхід системи. Тоді можна зрозуміти, що зовнішній ланцюг – по відношенню до діода і є джерелом струму.

Деякі вважають, що для кола комутація може бути миттєвою, тобто їх тривалість дорівнює нулю. Тому для даного розрахунку використовуються два закони комутації, які відображають також закон Ома та Кірхгофа.

1-й закон: Струм через індуктивність до виконання комутації може дорівнювати самому струму в час комутації і далі змінюватись, в це значення:

$$i_L(0^-) = i_L(0) = i_L(0^+).$$

2-й закон : Напруга, що застосовується в конденсаторі до процесу комутації має однакове значення з напругою в час моменту комутації і далі починає змінюватись як раз із цього значення:

$$u_C(0-) = u_C(0) = u_C(0+).$$

Значення струмів і напруг в колі до комутації називають початковими умовами. А значення $i_L(0-)$ та $u_C(0-)$ називають незалежними початковими умовами.

Метод перехідного процесу.

Класичний метод перехідних процесів в основному полягає у безпосередньому інтегруванні диференціальних рівнянь, що описують зміни струмів і напруг на ділянках кола у перехідному режимі. В основі оперативного методу лежить перетворення Лапласа та операційне числення.

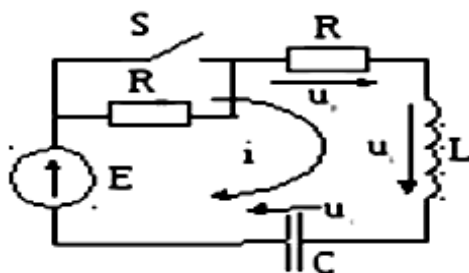


Рис. 2. 3.2 – Приклад класичного методу перехідного процесу

Вимикач S замикається, в контурі R, L, C, тому і виникає перехідний процес, після чого визначаються гілки та контури які розглядаються.

Далі описуються процеси в самому контурі R, L, C, які знаходяться завдяки другому закону Кірхгофа:

$$u_R + u_L + u_C = e \Rightarrow Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = e$$

Враховуючи, що:

$$i = C \frac{du_C}{dt},$$

перейдемо до рівняння відносно змінної u_C , щоб виключити операцію інтегрування для знаходження i , u_L та u_R :

$$u_L = L \frac{di}{dt} = LC \frac{d^2 u_C}{dt^2}, \quad u_R = RC \frac{du_C}{dt}. \quad LC \frac{d^2 u_C}{dt^2} + RC \frac{du_C}{dt} + u_C = e,$$

Отримане рівняння є лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням 2-го порядку з постійними коефіцієнтами. Порядок диференціального рівняння можна визначити за схемою кола після комутації: він дорівнює числу внутрішніх накопичувачів енергії L та C

Властивості процесів які відбуваються в переході .

Перехідний процес у лінійному нерозгалуженому колі описується одним лінійним диференціальним рівнянням, у розгалуженому колі - системою лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами. З математики відомо, що розв'язок неоднорідного диференціального рівняння є сумою окремого розв'язку неоднорідного рівняння і загального розв'язку однорідного рівняння. Відповідно до цього перехід кола від одного усталеного режиму до іншого можна розглядати як результат накладання двох режимів – вимушеного, який настав немов би одразу, і вільного, що існує тільки під час перехідного процесу

$$i = i + i, \quad u = u_{\text{вим}} + u_{\text{вільн}}$$

Слід пам'ятати, що кола з одним реактивним елементом завжди описуються диференціальним рівнянням першого порядку незалежно від типу джерела живлення.

При малому прямому струмі можна знехтувати падінням напруги на опорі бази, і напруга на переході i_n плавно і монотонно збільшується в міру заряду бар'єрної ємності

При малих токах дифузійна ємність помітно менше бар'єрної і нею можна знехтувати протягом перехідного процесу.

При великих прямих струмах і високому рівні інжекції необхідно враховувати падіння напруги на опорі бази і модуляцію цього опору. В цьому випадку, відбувається стрибок напруги.

Тепер слід розглянути процеси та що саме відбувається при переході. Весь перехідний процес при перемиканні напруги з прямого на зворотний зазвичай розділяється на дві стадії.

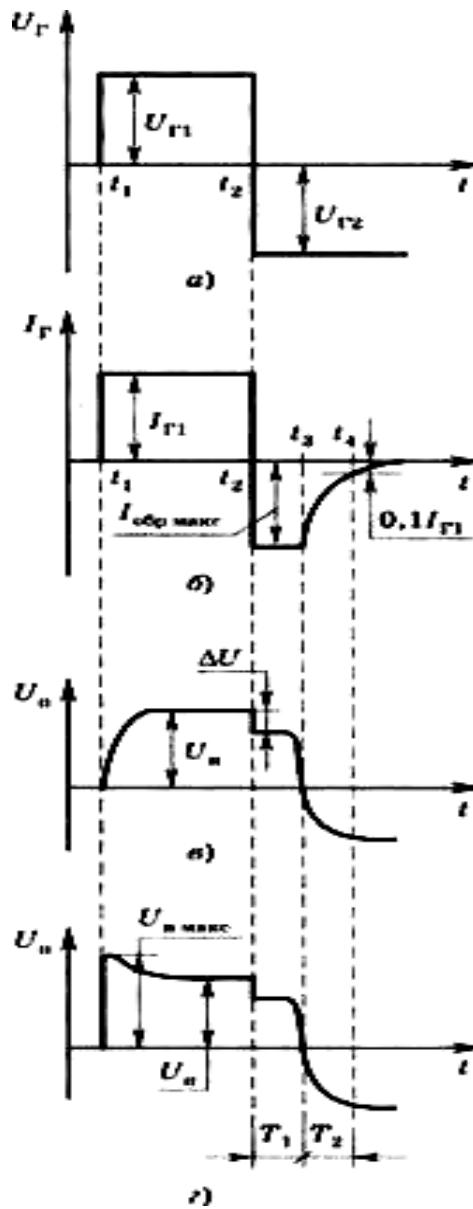


Рис.2.3.3 Розподіл концентрації дірок в базі та в різні моменти часу роботи

В першій стадії характеризується зворотна провідність, яка зумовлена наявністю в базі біля переходів цих самих процесів. Адже зворотній струм постійний і завжди має власне велике значення. Данні процеси можливо побачити на рис. (2.3.4), що відображають розподіл концентрації дірок в базі та в різні моменти часу роботи, після чого в даний момент напруга в колі стає рівною нулю де і закінчується перша стадія – стадія високої провідності. Далі відбувається відновлення зворотного опору переходу, що змінює струм зменшенням. Струм на цій стадії процесу визначається не тільки переходом залишившихся надлишкових неосновних носіїв з бази в емітер, але і перезарядженням бар'єрної ємності

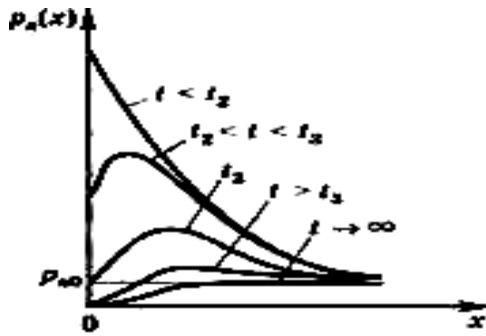


Рис. 2.3.4 - Розподіл концентрації дірок

Таким чином, розглянуті явища дозволяють зробити висновок, що тривалості перехідних процесів визначаються значеннями бар'єрних і дифузійних ємностей р-n переходу.

Порядок виконання роботи

1. Запустіть Multisim
2. Підготуйте новий файл для роботи.
3. Зберіть схему запропоновану викладачем.

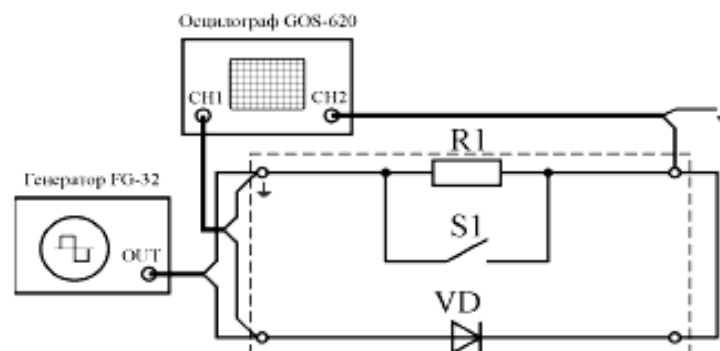


Рис. 2.3.5 – Схема для дослідження перехідних процесів діода

1. Отримайте осцилограми сигналів, відповідні рис.2. 3.6,а;
2. Збільшіть частоту джерела до значення, при якому діод починає втрачати випрямні властивості (див. рис.2. 3.6,б), і виведіть осцилограми.
3. Зафіксуйте частоту.

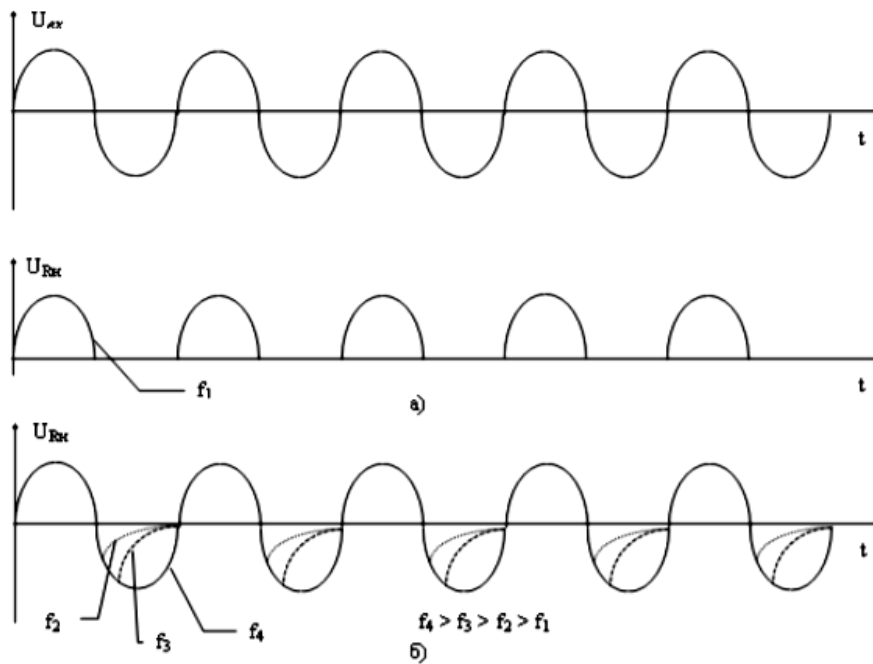


Рис. 2.3.6 – Сигнали Осцилографа

4. Збільшіть частоту джерела до значення, при якому діод повністю втрачає випрямні властивості. Вивести осцилограми і зафіксувати частоту.
5. На початковій частоті (100Гц) отримайте осцилограми зміни ємності і заряду всередині діода як функцій від величини прикладеної до діода напруги.
6. Встановіть у джерелі змінного сигналу постійну складову напруги -10В і отримайте осцилограму струму через діод як функцію зміни напруги на діоді.
7. Занесіть пояснення щодо створення схем у звіт.
8. Зробіть висновки

Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

Для виконання даної лабораторної роботи потрібно підготувати відповідно до алгоритму виконання робіт за допомогою Multisim робочий простір для збирання схеми запропонованої викладачем. Далі в рядку з піктограмами елементів знайти піктограму діоди і натиснути на кнопку, або зробити це через вкладку Place через підпункт Components:

Place → Component → Master Database → Diode

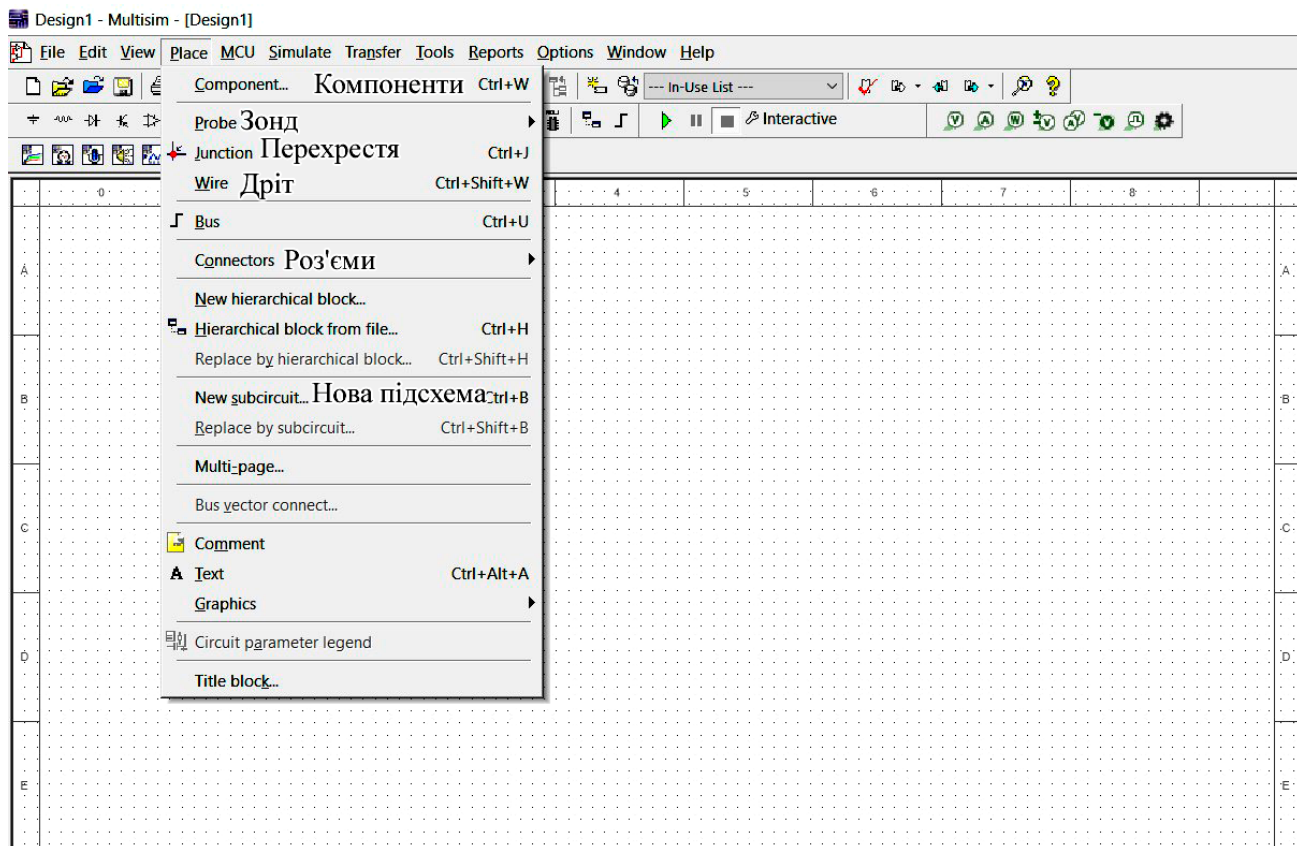


Рис. 2.3.7 – Середовище Multisim 14. Обирання у вкладці «Place» підпункт «Components» для обирання потрібного діода

Згідно варіанту, оберіть потрібний діод,

Таблиця 3.1

№ п/п	Діод	Температура °C	№ п/п	Діод	Температура °C
1	1N3491	-50	21	1N3903	-25
2	1N3492	-30	22	1N3909	-15
3	1N3493	-10	23	1N3910	-10
4	1N3494	50	24	1N3911	-5
5	1N3495	70	25	1N3912	55
6	1N3495- 1	90	26	1N3913	65
7	1N3879	110	27	1N4001	75
8	1N3880	-55	28	1N4001GP	85
9	1N3881	-45	29	1N4002	95
10	1N3882	-35	30	1N4002GP	105
11	1N3883	-55	31	1N4003	100
12	1N3889	-50	32	1N4003GP	95

13	1N3890	-54	33	1N4004	80
14	1N3891	75	34	1N4004GP	75
15	1N3892	80	35	1N4005	70
16	1N3893	85	36	1N4005GP	65
17	1N3999	90	37	1N4006	60
18	1N3900	95	38	1N4006GP	-60
19	1N3901	100	39	1N4007	-65
20	1N3902	105	40	1N4007GP	-55

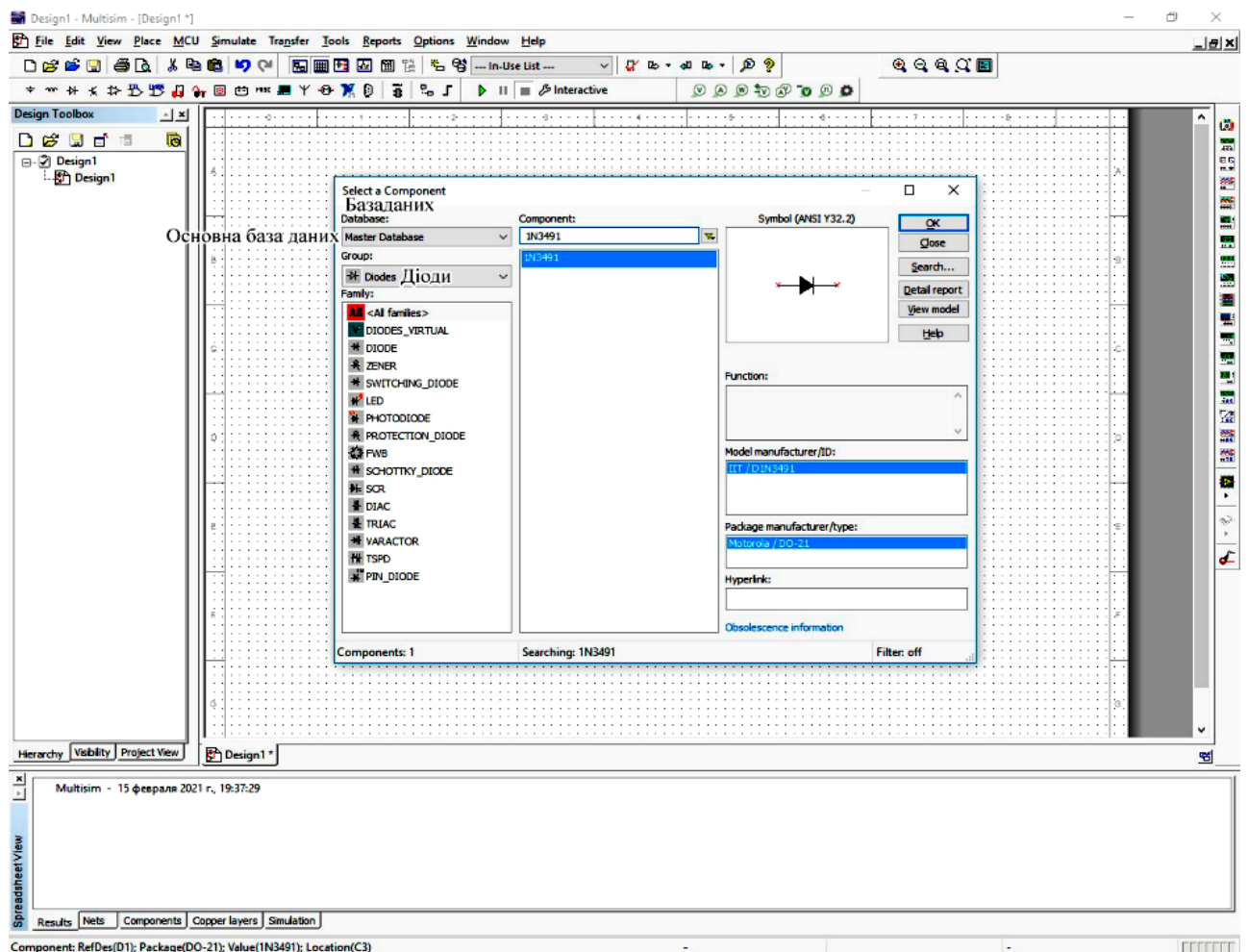


Рис.2. 3.8 – Зовнішній вигляд меню «Diodes».

Вибраний згідно вашого варіанта діод перемістіть на робоче поле клацанням миші на кнопку ok. Далі перетягніть діод на потрібне місце і клацніть на нього. При натисканні лівою клавішею на діод з'явиться ще одне вікно з якого можна визначити додаткові параметри. При клацанні на клавішу Edit з'являється вікно з параметрами компонентів, які можна роздрукувати в звіті. Параметри діода можна змінити натиснувши на кнопку Value.

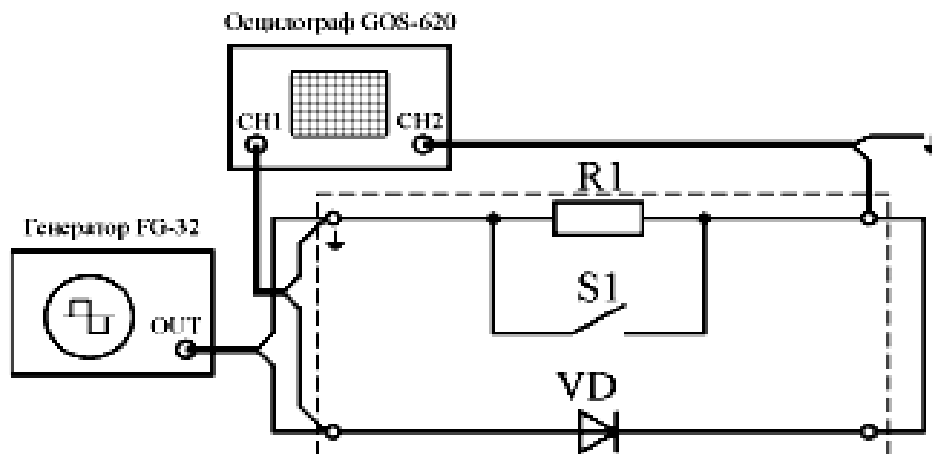


Рис. 2.3.9 – Схема для дослідження перехідних процесів діода

Для побудови схеми для дослідження перехідних процесів діода, крім вибраного нами діода потрібні будуть:

- джерело живлення змінної напруги;
- осцилограф;
- заземлення;
- діод;
- резистор;

Джерело живлення змінної напруги можна знайти під піктограмою джерел (Source):

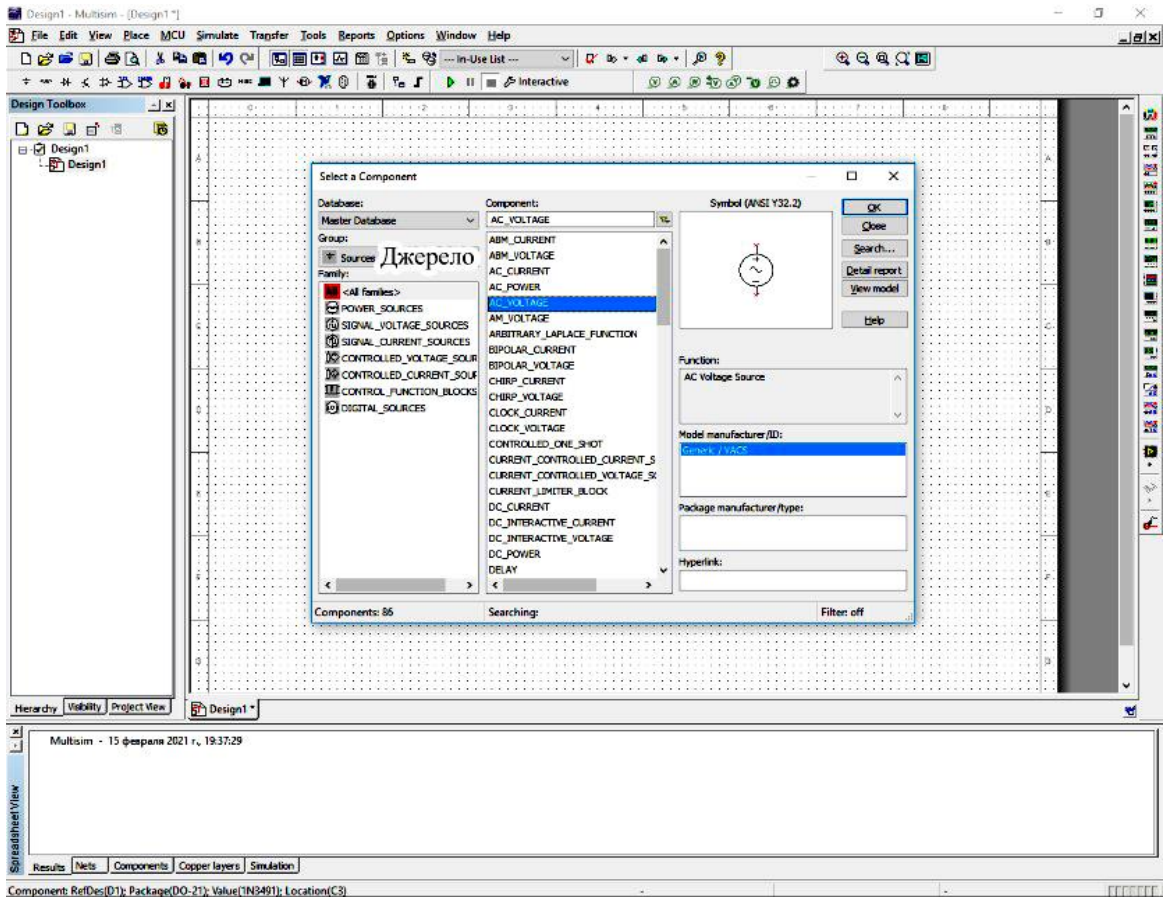


Рис.2. 3.10 – Зовнішній вигляд меню «Sources». Обирання потрібного живлення.

- Резистор , який знаходиться під піктограмою Basic:

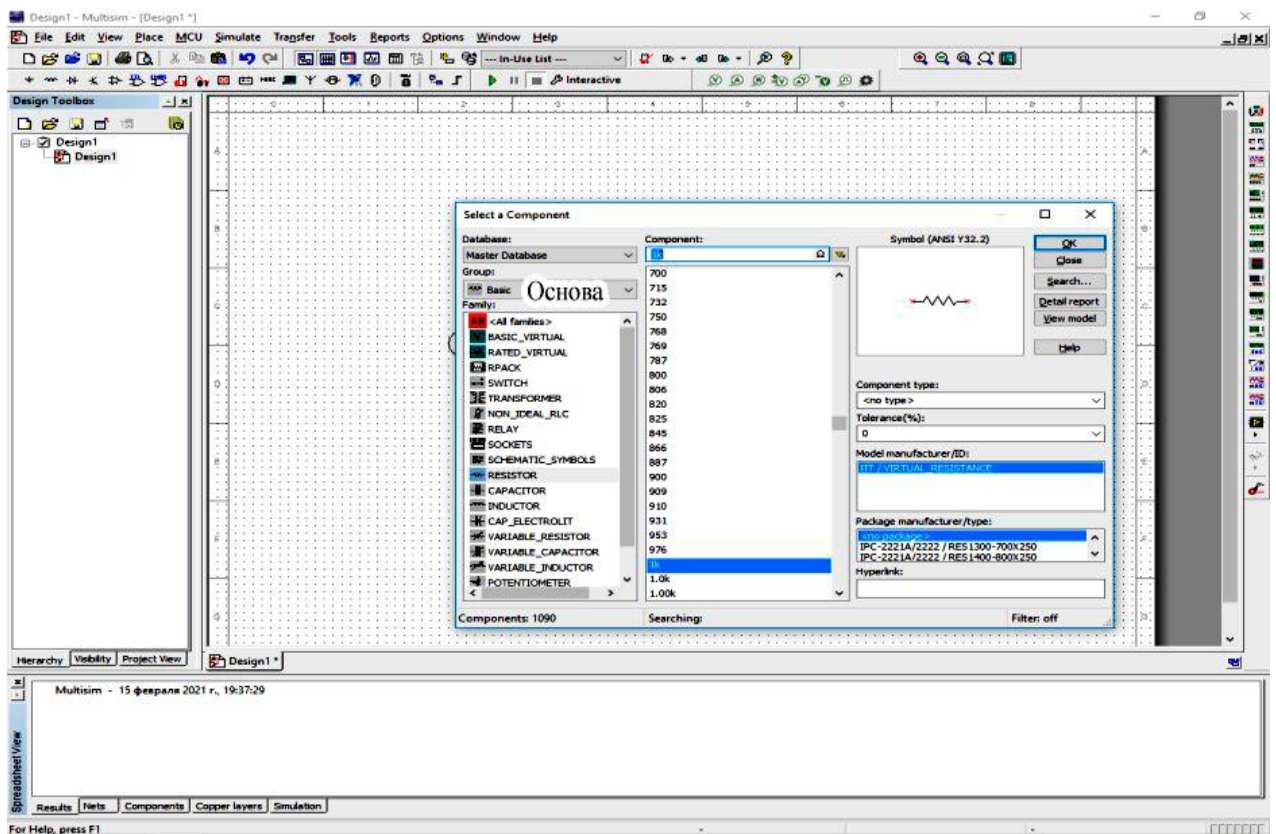


Рис. 2.3.11 – Зовнішній вигляд меню «Basic». Обирання потрібного резистора .

Заземлення (Ground) . Його можна знайти під піктограмою Source :

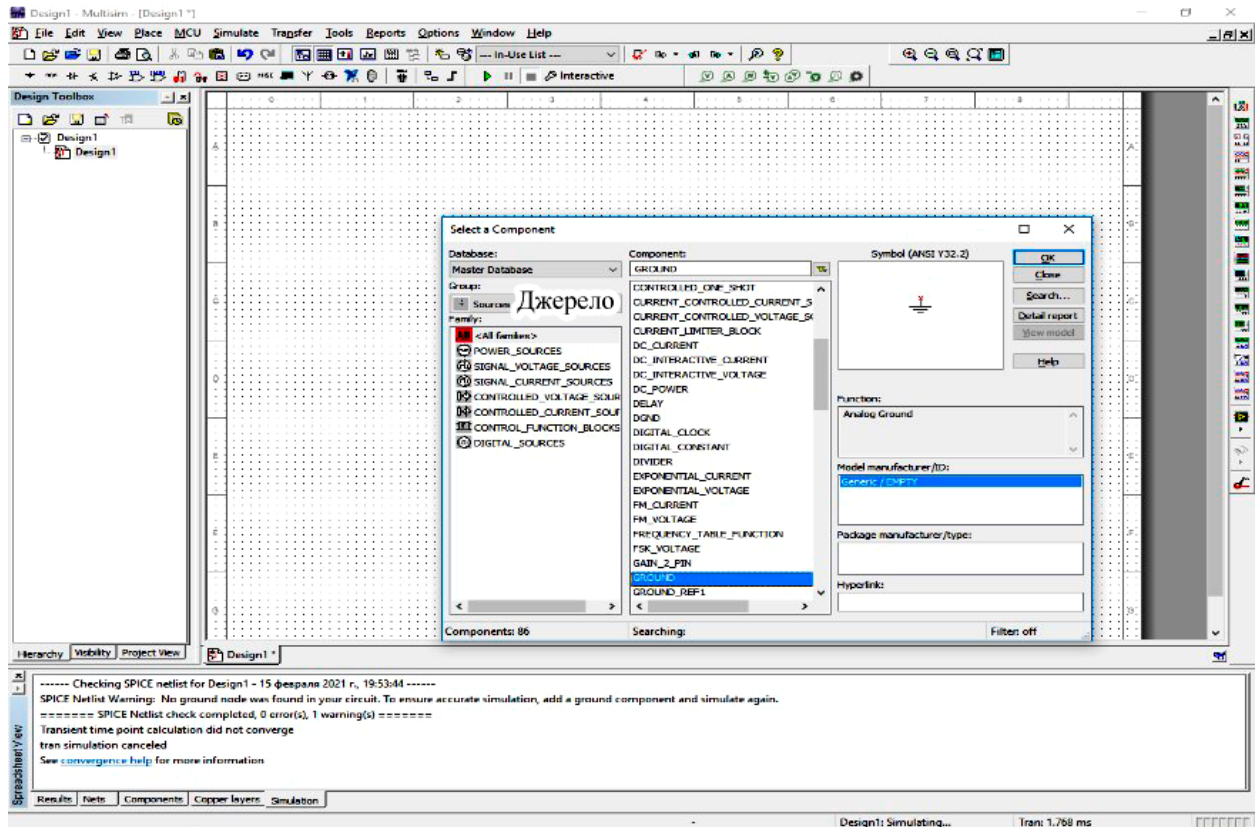


Рис. 2. 3.12 – Зовнішній вигляд меню «Source». Обирання потрібного Заземлення.

Також нам потрібен мультиметр, який знаходяться праворуч на вертикальній лінійці. За допомогою якого ми будемо вимірювати напругу

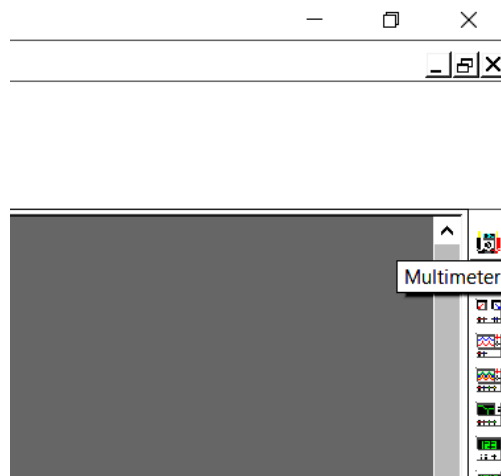


Рис. 2. 3.13 – Мультиметр. Для вимірювання Напруги та Струму

Для перенесення його на робоче поле потрібно натиснути на піктограму. Для налаштування його роботи в якості мультиметру потрібно натиснути на нього двічі і клацнути на кнопку V і на кнопку ~

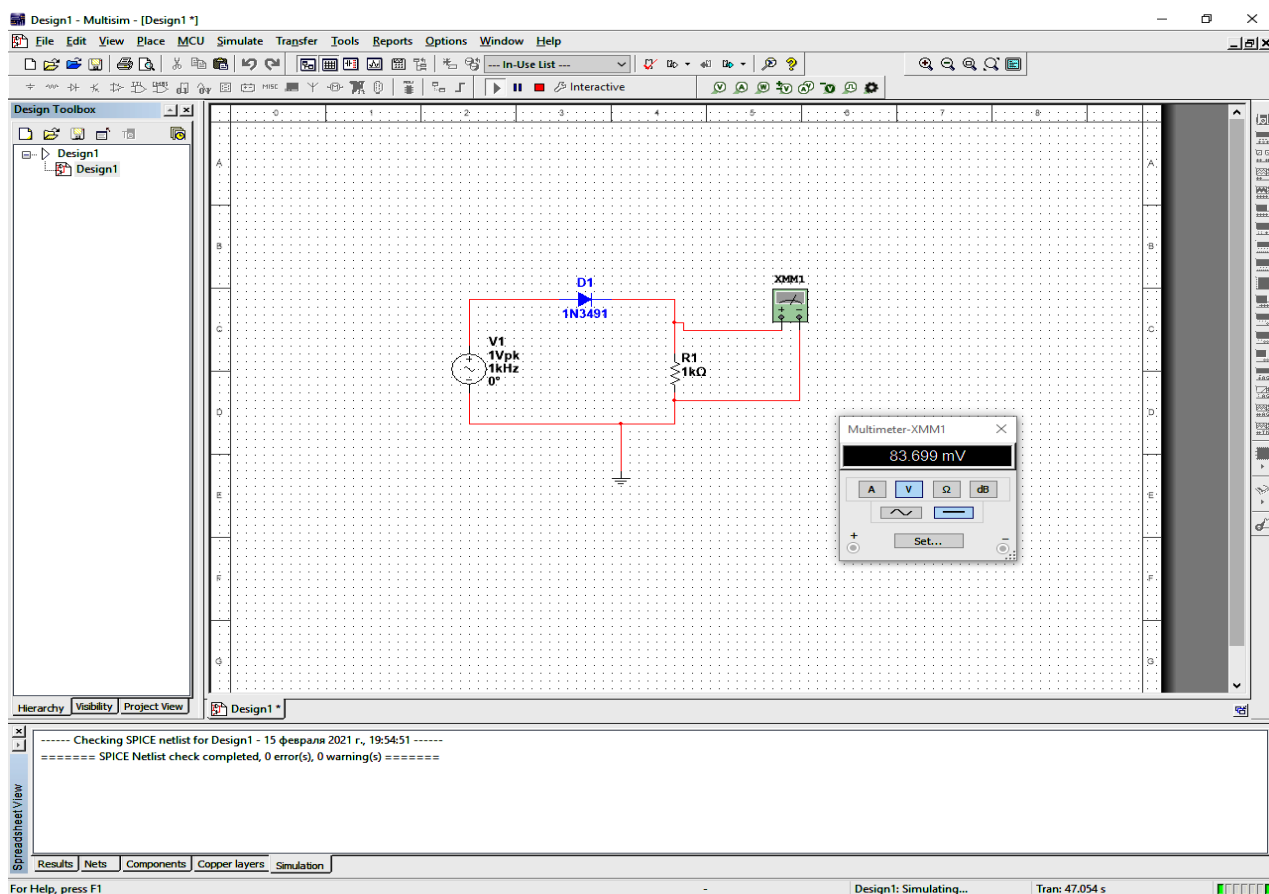


Рис. 2.3.14 – Мультиметр , що вимірює напругу (кнопка V)

Збираємо схему, переміщуючи прилади на їх місця.

Встановлюємо параметри джерела змінного струму, двічі натиснув на нього : амплітуда вихідного сигналу 3 В і частота 100 ГЦ

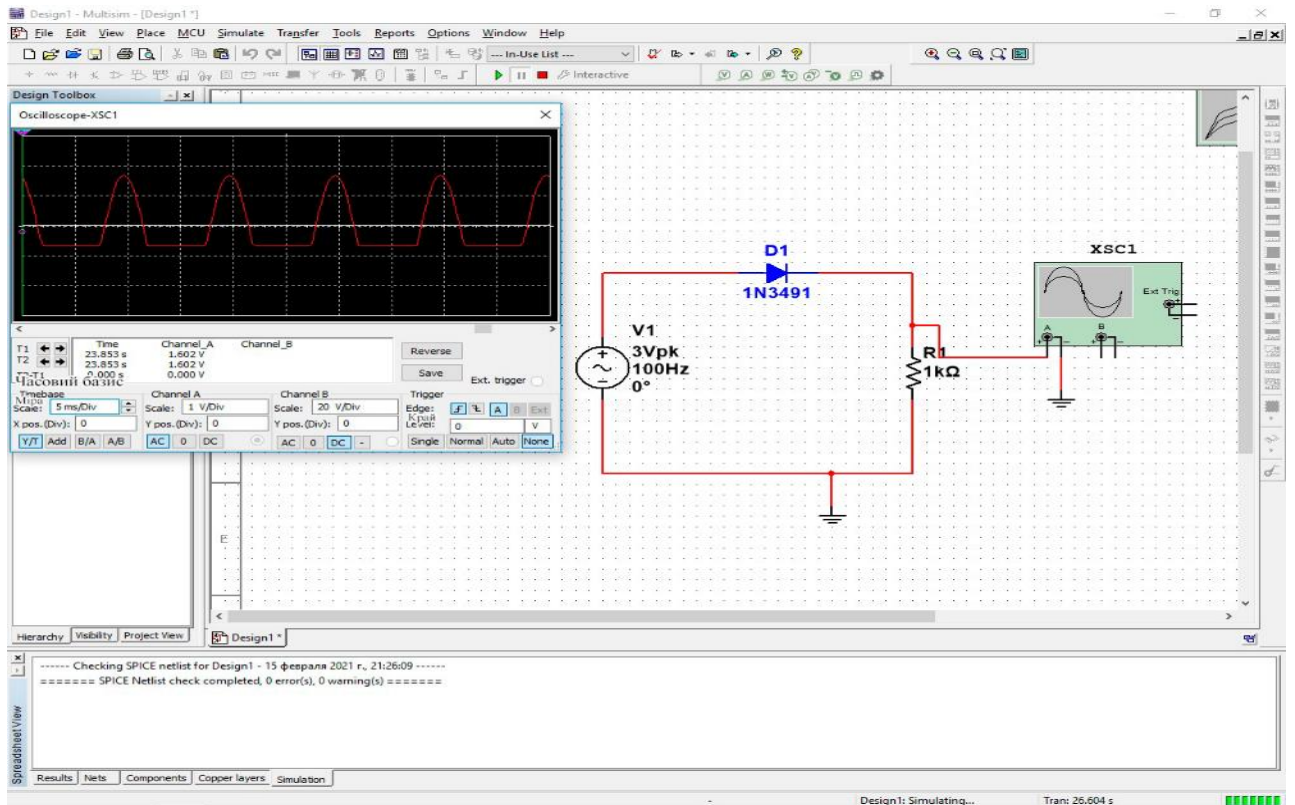


Рис. 2.3.15 – Схема заміни джерела живлення і отримання осцилограм сигналів

Збільшуємо частоту джерела до такого значення, при якому діод починає втрачати випрямні властивості і виводимо осцилограму на екран, фіксуємо частоту

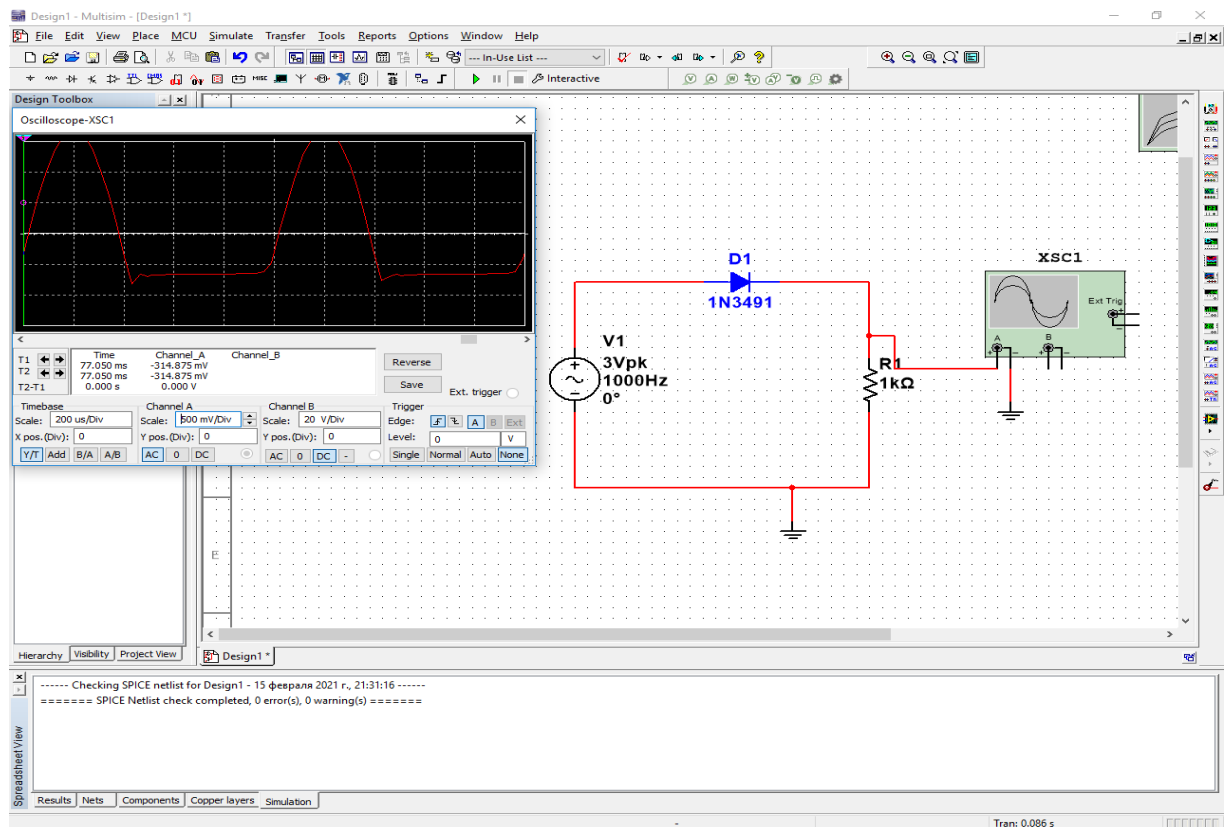


Рис. 2.3.16 – Схема заміни частоти джерела живлення і отримання осцилограм сигналів

Збільшуємо частоту джерела до значення в якому діод повністю витрачає випрямні властивості.

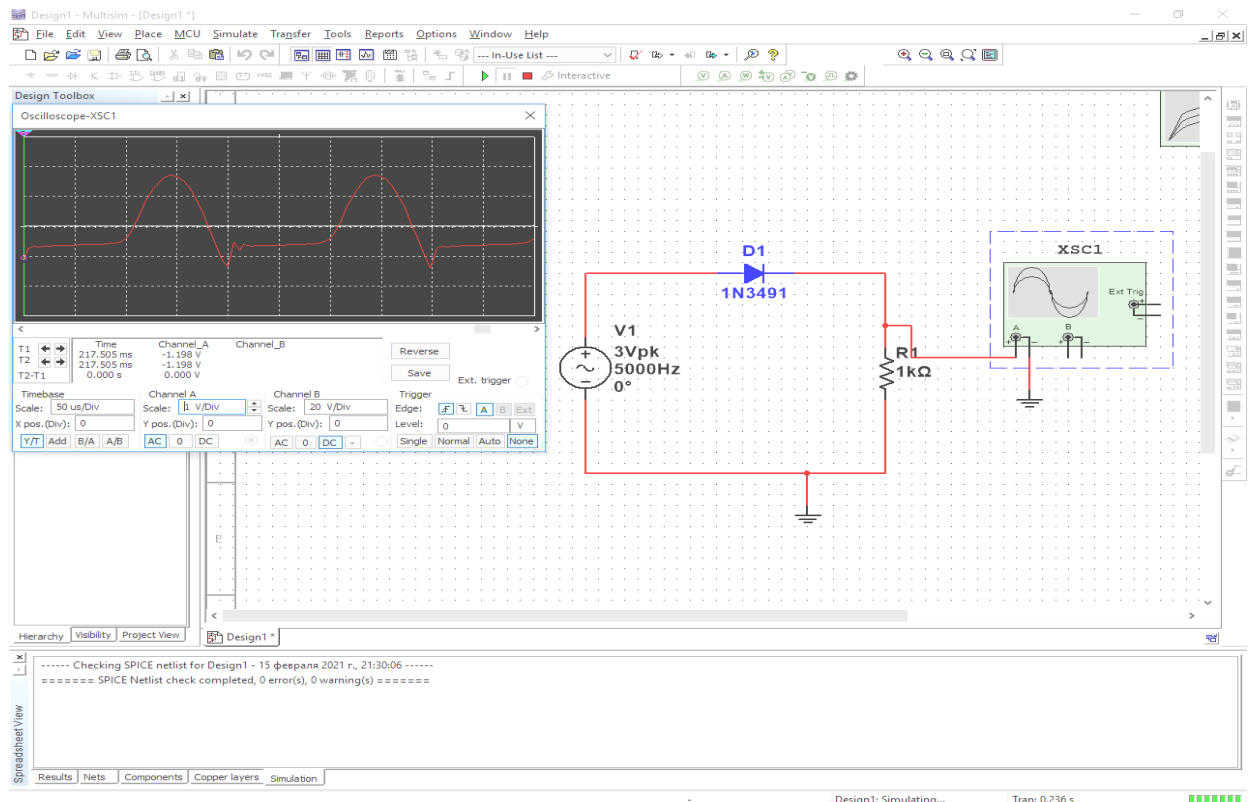


Рис. 2.3.17 – Схема заміни частоти джерела живлення і отримання осцилограми .

Далі встановлюємо у джерелі змінного сигналу постійну складову напруги в - 10В і отримуємо осцилограму струму через діод.

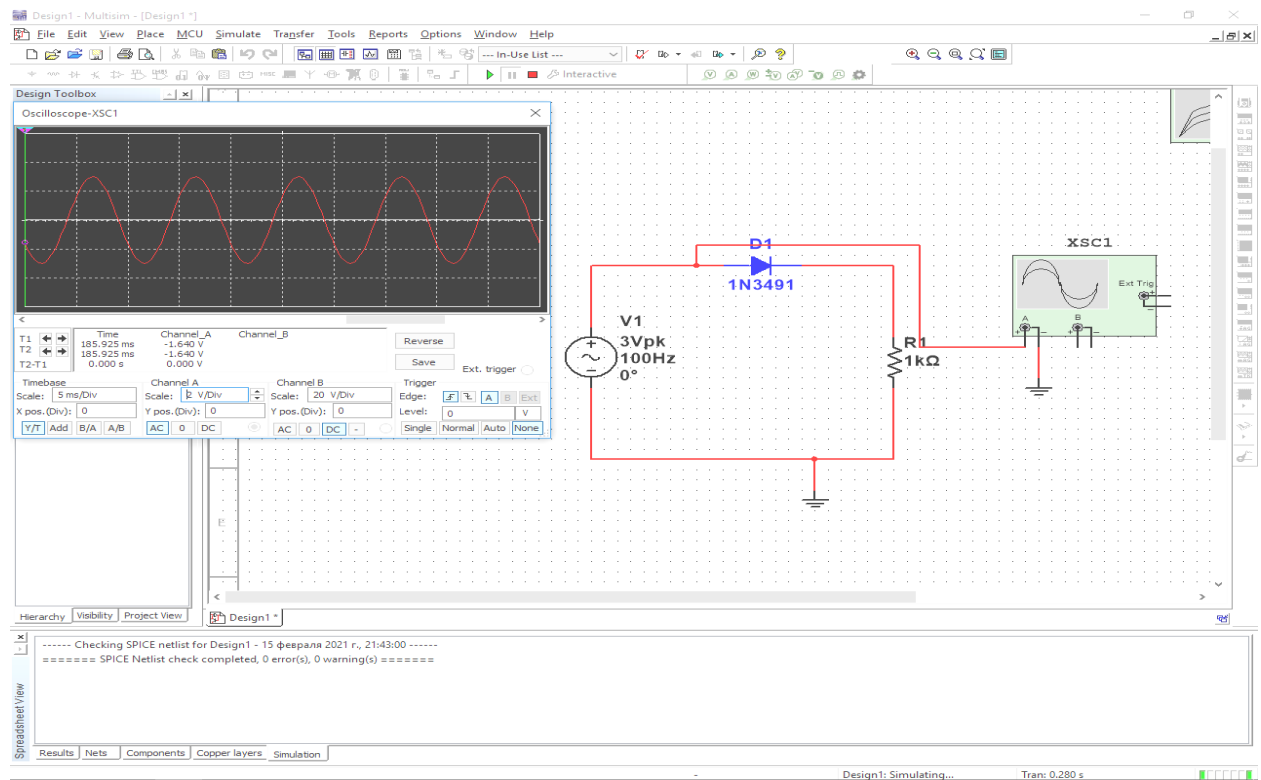


Рис. 2.3.18 – Встановлення напруги - 10В і отримання осцилограму струму

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть процес утворення шару, що запирає в р-п переході.
2. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Які типи р-п переходів Ви знаєте ?
4. Як побудований напівпровідниковий діод?
5. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в зворотному напрямку.
6. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
7. Поясніть відміну динамічного опору від статичного.
8. Для яких елементів ці опори рівні за величиною?
9. Чим зумовлена наявність ємності р-п переходу?
10. Поясніть, як впливає величина й напрямок прикладеної напруги на бар'єрну ємність?
11. Перерахуйте складові ємності р-п переходу?
12. Які електричні переходи мають найменшу ємність?
13. Чим обумовлені інерційні властивості діода і як це проявляється на практиці?

Література: 2, 3, 5, 6, 9,10

2.4. Лабораторна робота №4. Дослідження стабілітрона на основі напівпровідникового діода

Мета роботи: Визначення напруги стабілізації; обчислення струму і потужності, що розсіюється стабілітроном; дослідження зміни напруги стабілітрона при зміні вхідної напруги в схемі стабілізатора; дослідження зміни напруги на стабілітроні при зміні опору в схемі стабілізатора.

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості

Стабілітроном називають кремнієвий напівпровідниковий діод, ВАХ якого має ділянки малої залежності напруги від струму (рис.2. 4.1).

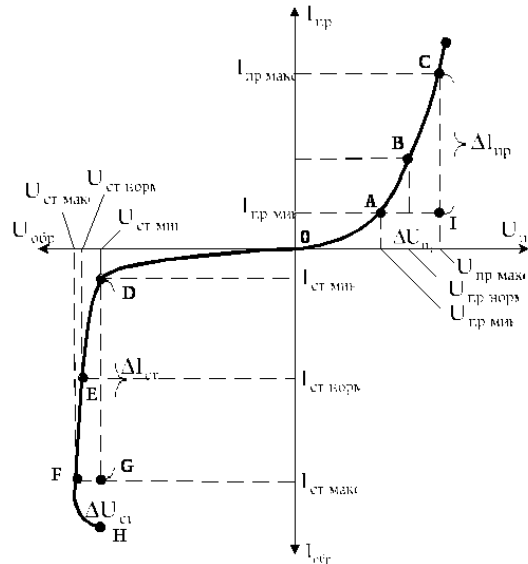


Рис.2. 4.1. – Вольт-амперна характеристика стабілітрона

На зворотній гілці такою ділянкою є ділянка D-F. При значних змінах напруги, напруга на стабілітроні змінюється незначно від $U_{ст.мін}$ до $U_{ст.макс}$. При цьому зворотний струм через стабілітрон змінюється від $I_{ст.мін}$ до $I_{ст.макс}$. На ділянці D-F стабілітрон працює в режимі неруйнівного електричного пробію; при цьому електричний пробій в тепловий не переходить. Він настає на ділянці F-H.

Основними параметрами стабілітронів є:

- $U_{ном}$ - номінальна напруга стабілізації, відповідне номінальному струму стабілізації;
- $U_{ст.ном}$ - розкид напруги стабілізації
- $\Delta U_{ст}$ це інтервал напруги стабілізації, в межах якого воно знаходиться

$$\Delta U_{ст} = U_{ст.макс} - U_{ст.мін}$$

- $\Delta I_{ст}$ - це інтервал струму стабілізації:

$$\Delta I_{ст} = I_{ст.макс} - I_{ст.мін}$$

- $I_{ст.макс}$ – максимально допустимий струм стабілізації, при перевищенні якого настає руйнує тепловий пробій (точка F на рис. 2.4.1);
- $I_{ст.мін}$ – мінімально допустимий струм стабілізації, нижче якого опір стабілітрона різко зростає і зменшується (точка D на рис. 2.4.1);
- $\alpha_{U_{ст}}$ – середній температурний коефіцієнт напруги стабілізації, що показує, на скільки відсотків змінюється при зміні температури на $1^\circ C$.

$$\alpha_{U_{ст0}} \% = \frac{\frac{\Delta U_{ст} \cdot 100\%}{U_{ст}}}{\Delta t}$$

- $R_{диф}$ – диференціальне опір, визначає стабілізуючі властивості стабілітрона і показує, в якому ступені залежить від

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}$$

Визначення диференціального опору стабілітрона проводиться шляхом побудови трикутника в районі точки E з $U_{ст.ном}$. Чим менше розміри трикутника DFG (рис.4.1), тим точніше визначається $R_{диф}$. Трикутник, за допомогою якого обчислюються потрібні параметри на вольтамперних характеристиках, називається характеристичним.

В першому квадранті ВАХ на рис.2. 4.1 наведена пряма гілка стабілітрона. Видно, що при значних змінах прямої напруги $U_{пр}$ - пряма напруга на діоді змінюється незначно від $U_{пр.мін}$ до $U_{пр.макс}$, при цьому прямий струм через діод змінюється від $I_{пр.мін}$ до $I_{пр.макс}$. Диференціальний опір діода при прямому включенні обчислюється за допомогою характеристичного трикутника АСІ (рис.2. 4.1)

$$R_{пр} = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}}$$

Діоди, що мають малу залежність $U_{пр}$ від $I_{пр}$, застосовуються для стабілізації малих опорів і називаються стабісторами.

Стабілітрони застосовуються для стабілізації напруги в широких межах. Стабілізатори напруги на основі стабілітронів називаються параметричними стабілізаторами (рис.2.4.2).

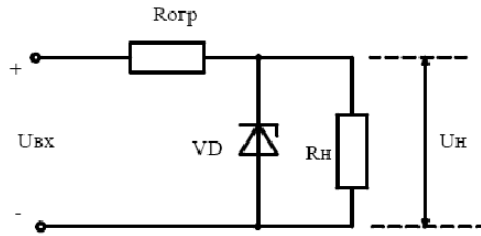


Рис.2.4.2 – Схема параметричного стабілізатора напруги

Основним параметром параметричного стабілізатора напруги є коефіцієнт стабілізації $K_{ст}$, що представляє відношення відносної зміни вхідної напруги $U_{вх}$ до відносної зміни вихідної напруги $U_{н}$

$$K_{ст} = \frac{\frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}}}{\frac{\Delta U_{н}}{U_{н}}}$$

При підключенні стабілітрона до джерела постійної напруги через резистор виходить найпростіша схема параметричного стабілізатора (рис. 2.4.3). Струм $I_{ст}$ стабілітрона може бути визначений обчисленням падіння напруги на резисторі R

$$I_{ст} = (E - U_{ст})/R \quad (4.1)$$

де E - напруга джерела живлення.

Напруга стабілізації $U_{ст}$ стабілітрона визначається точкою на вольт-амперній характеристиці, в якій струм стабілітрона різко збільшується. Потужність розсіювання стабілітрона $P_{ст}$ обчислюється як струм $I_{ст}$ на напругу $U_{ст}$:

$$P_{ст} = I_{ст} \cdot U_{ст}$$

Диференціальний опір стабілітрона обчислюється так само, як для діода, за нахилом вольт-амперної характеристики.

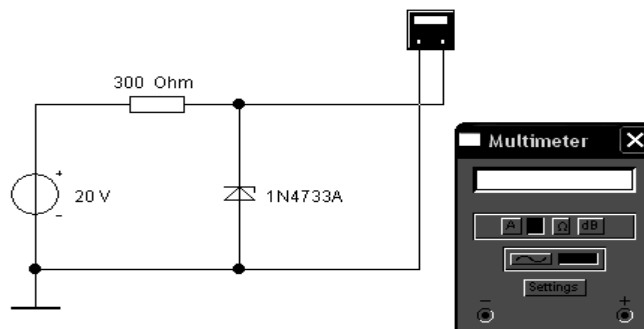


Рис.2.4.3 – Схема параметричного стабілізатора напруги

Порядок виконання роботи

1. Запустіть Multisim
2. Підготуйте новий файл для роботи.
3. Зберіть схему запроповану викладачем.

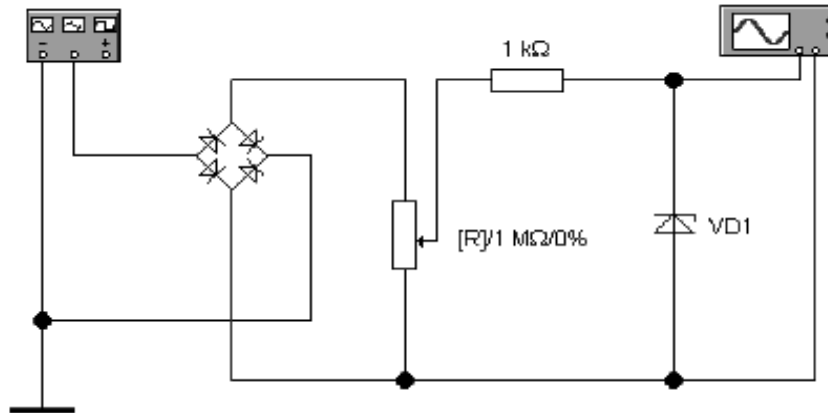


Рис.2.4.4 – Схема для дослідження стабілітрона

4. Приведіть осцилограму до виду представленому на рис. 2.4.5.
5. При необхідності зробіть доступні аналізи в розділі меню Analysis.

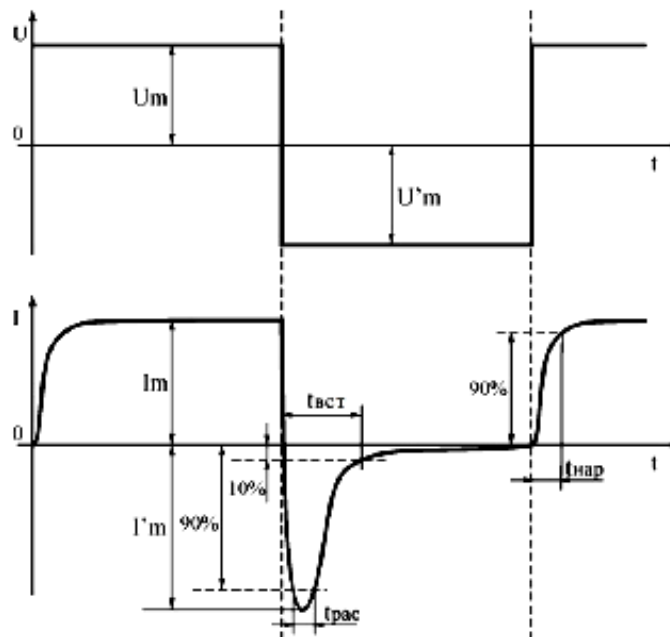


Рис.2.4.5 – Осцилограма дослідження перехідних процесів діода

6. Виміряйте всі необхідні параметри перехідного процесу згідно рис. 2.4.5 і занесіть в таблицю 4.2 (Результати дослідження параметрів перехідних процесів діода), враховуючи, що канал 2 осцилографа відображає падіння напруги на резисторі $R1$, знаючи номінал якого можна отримати струм I .

7.

Таблиця 4.2

$U_m, В$	$U'_m, В$	$I_{лп}, МА$	$I'_{лп}, МА$	$t_{вст}, МКС$	$t_{рас}, МКС$	$t_{нар}, МКС$

8. Занесіть пояснення щодо створення схем у звіт.

9. Зробіть висновки

Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

Для збирання схеми потрібно підготувати відповідно до алгоритму виконання робіт за допомогою Multisim робочий простір.

Далі в рядку з піктограмами елементів знайти піктограму діоди і натиснути на кнопку, або це зробити через вкладку «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Diode».

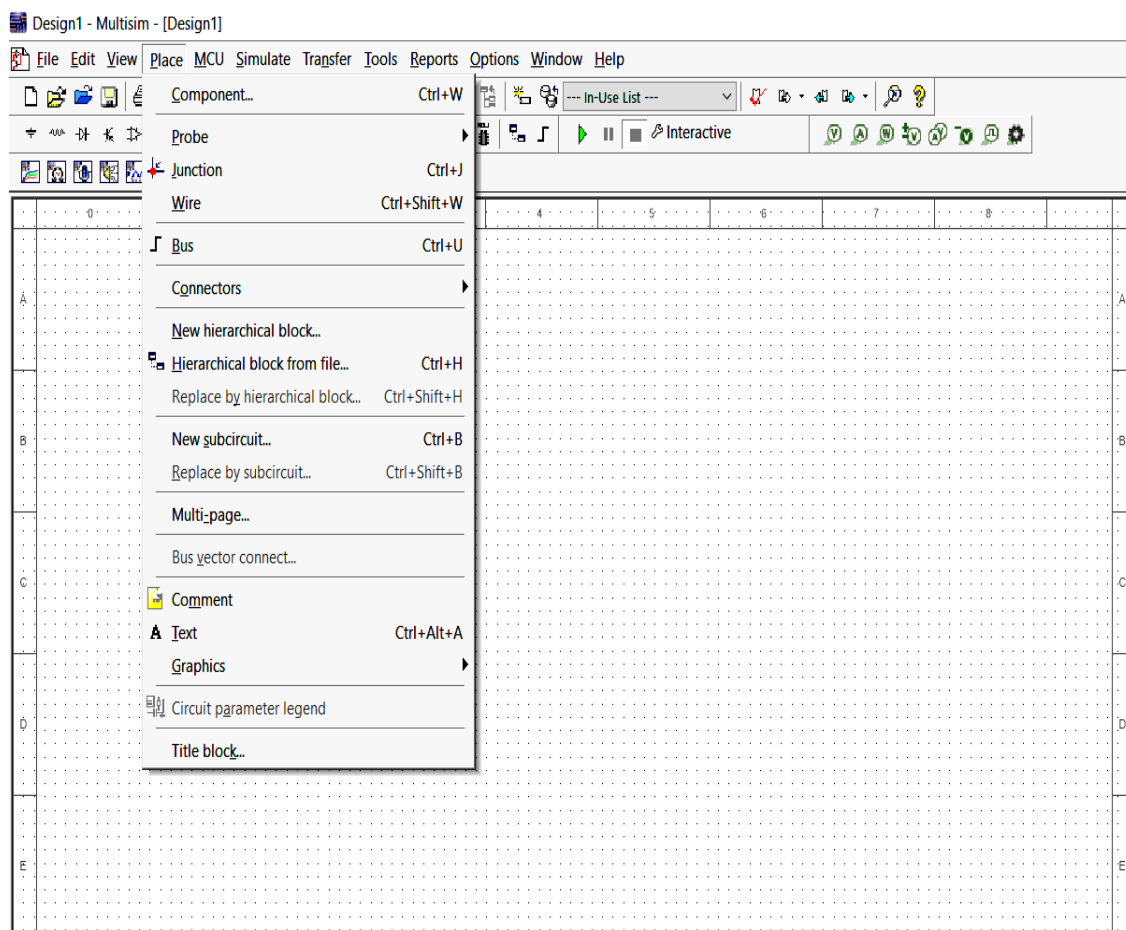


Рис. 2.4.6 – Середовище Multisim 14. Обрання у вкладці «Place» підпункт «Components» для обрання потрібного діода

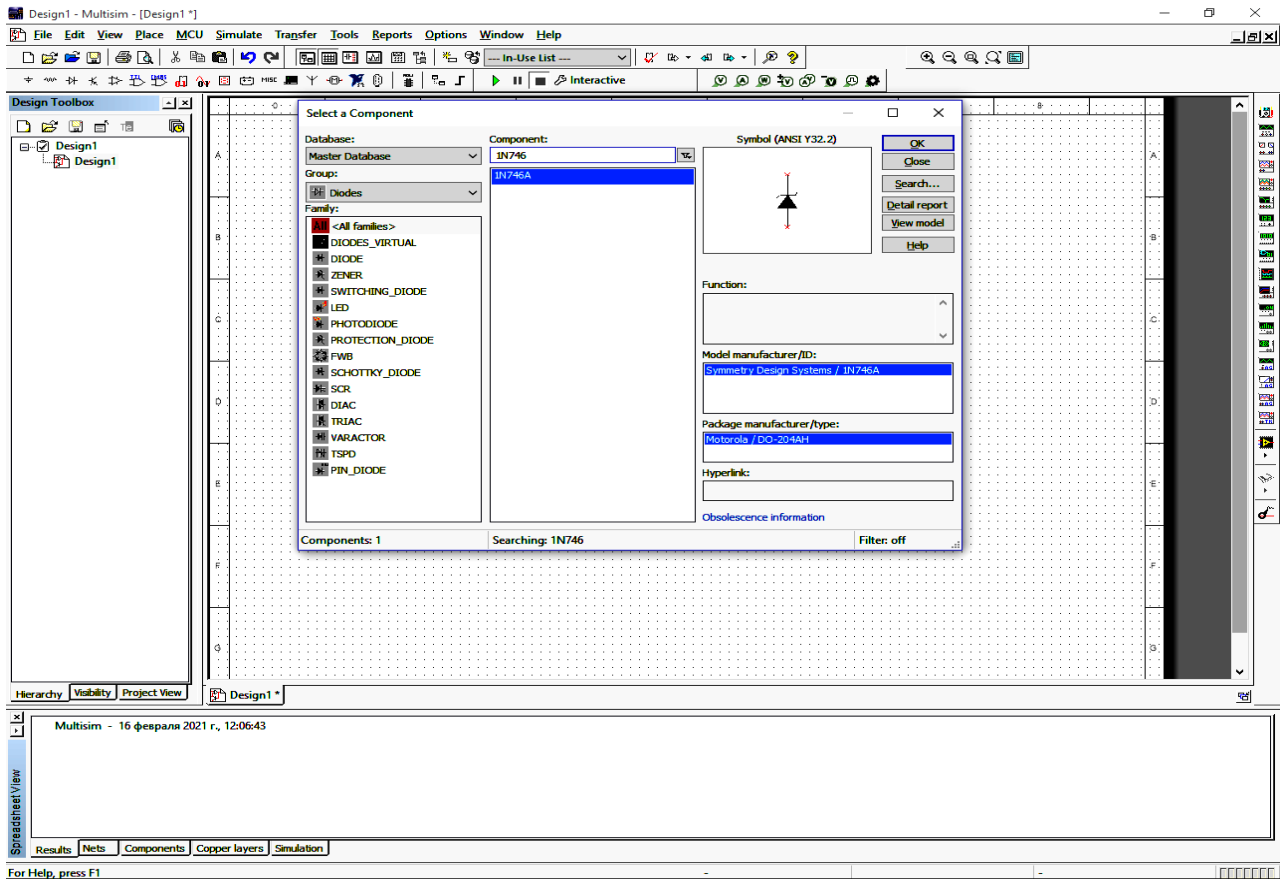


Рис. 2.4.7 - Зовнішній вигляд меню «Diodes». Вибір стабілітрона. Перенесення вибраного діода шляхом натиснення на кнопку ОК

На панелі інструментів, розташованій праворуч вибираємо осцилограф (Oscilloscope). Клацанням миші переносимо його на робоче поле.

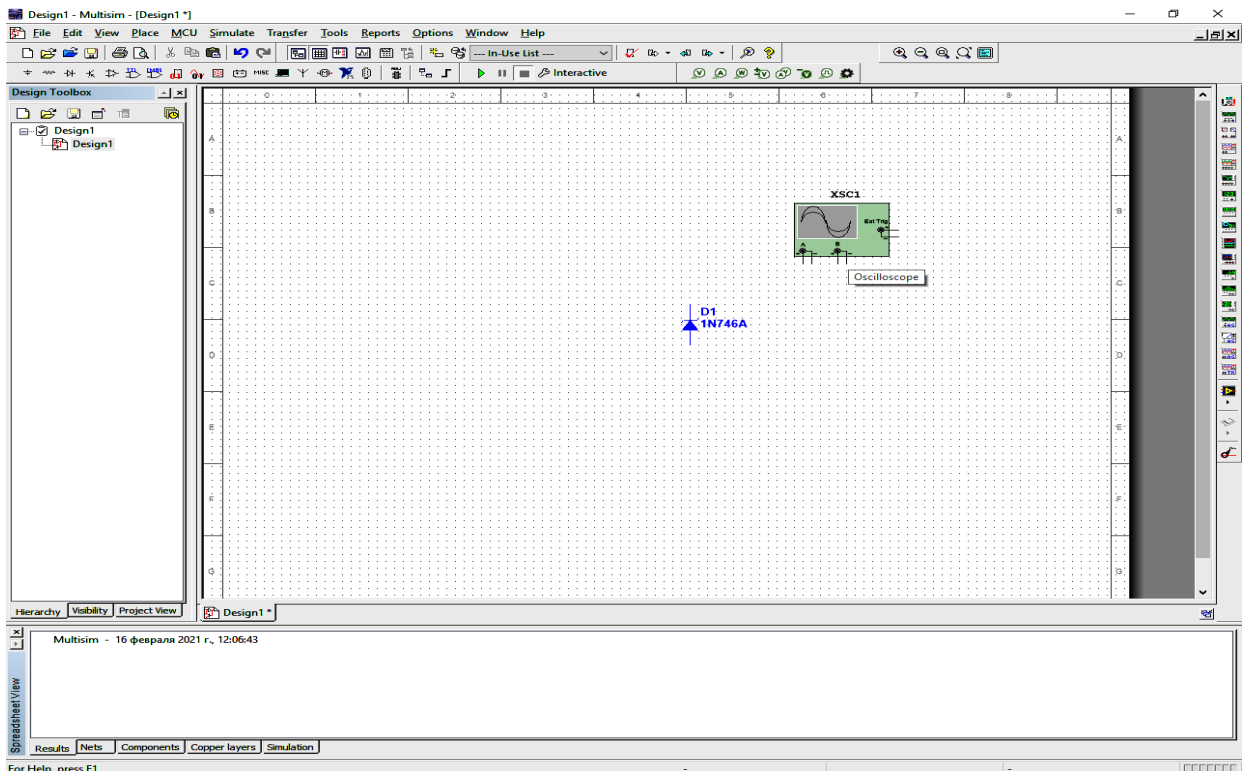


Рис. 2.4.8 – Додавання осцилографа

Додаємо резистор , він знаходяться під піктограмою Basic.

Component → Master Database → Basic → Resistor

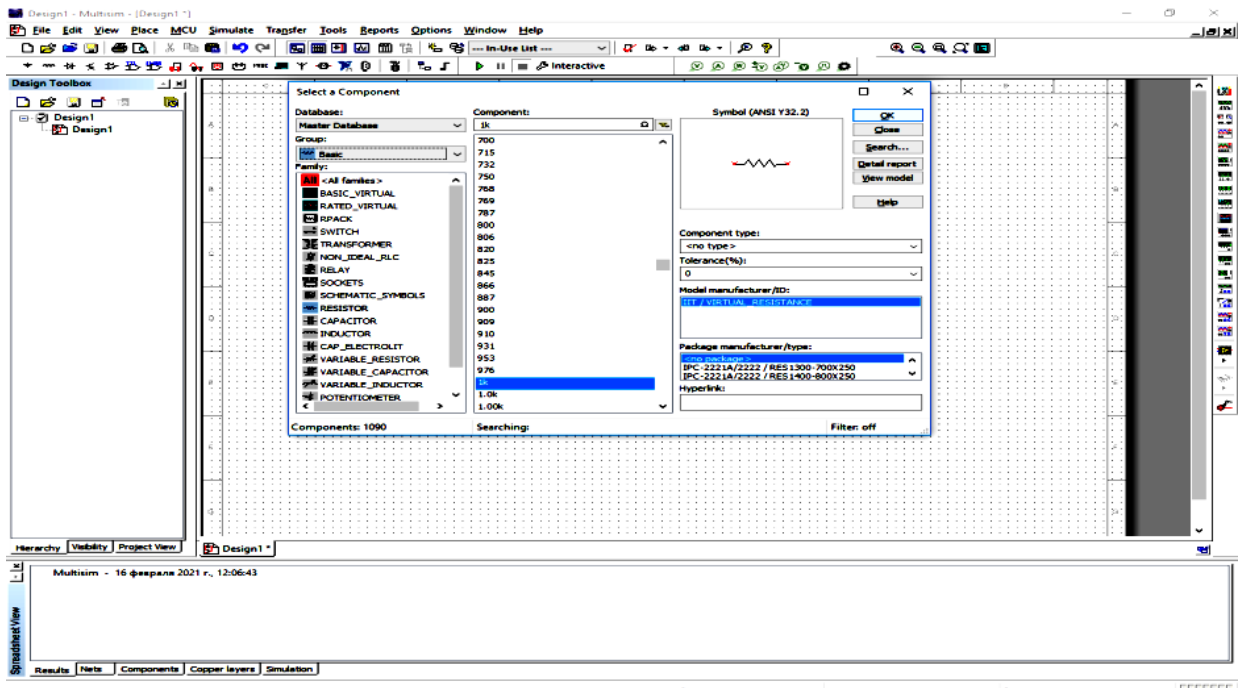


Рис. 2.4.9 – Зовнішній вигляд меню «Basic». Обирання потрібного резистора

Додаємо заземлення **Ground**. Його можна знайти під піктограмою Sources.

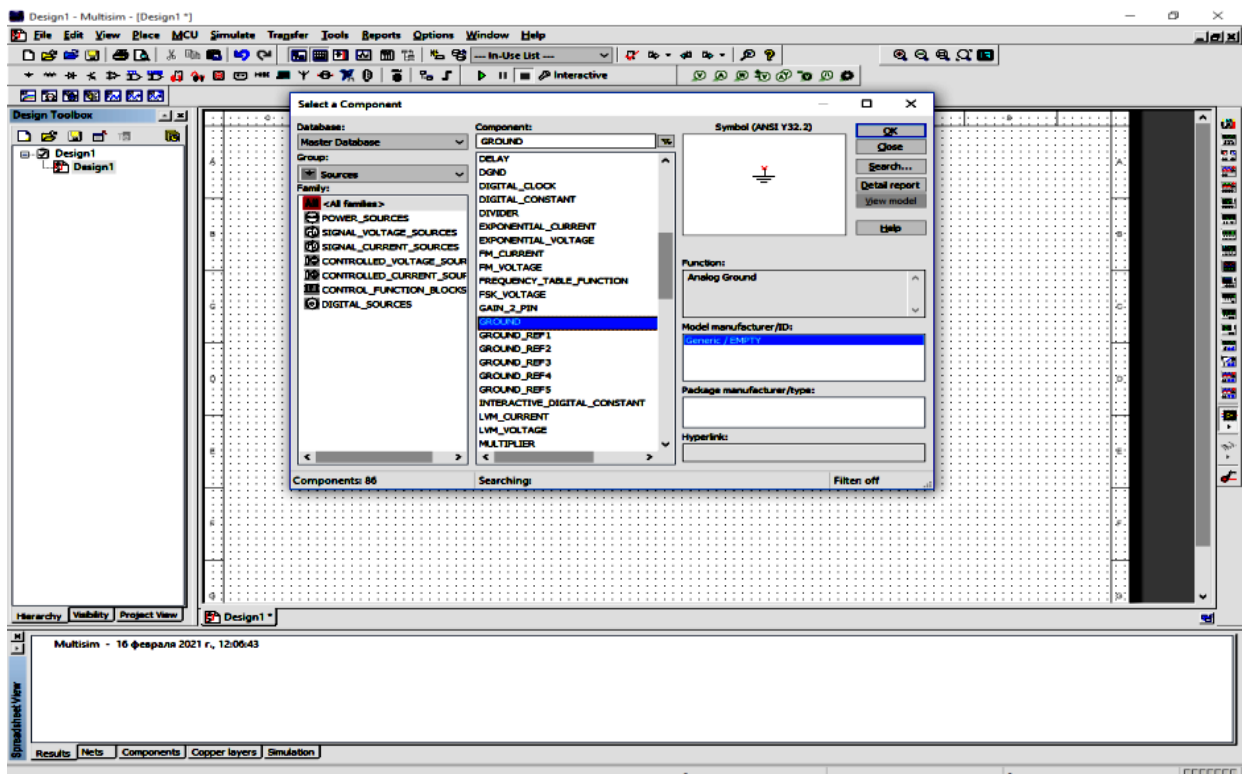


Рис. 2.4.10 – Зовнішній вигляд меню «Sources». Обирання потрібного заземлення.

Додаємо потенціометр. Він знаходиться в меню Basic.

Component → Master Database → Basic → Potentiometer

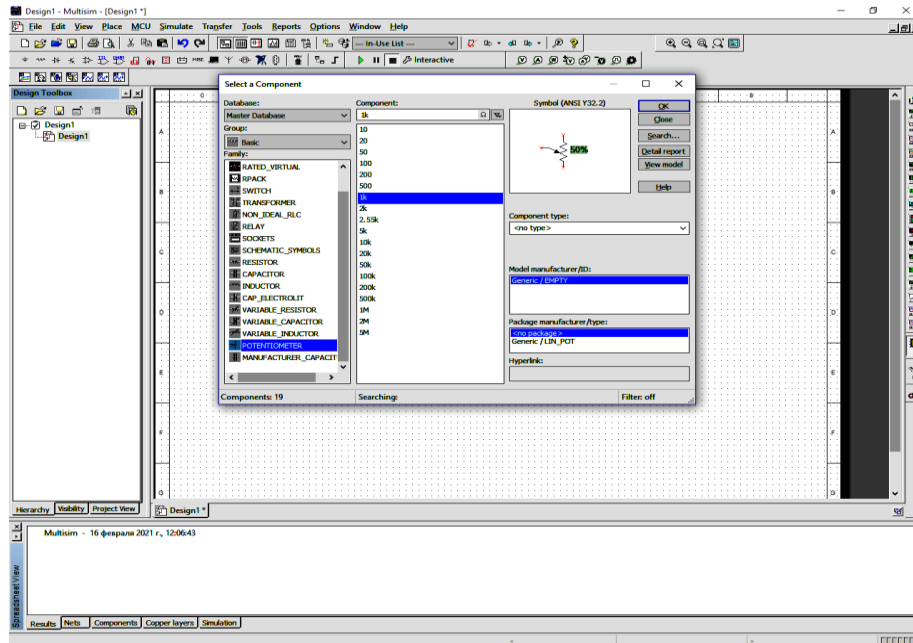


Рис. 2.4.11 Обрання потрібного потенціометра.

Обираємо спеціальний діод «1В4В42». Це діодний міст, він також знаходиться в меню діоди «Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «Diode»

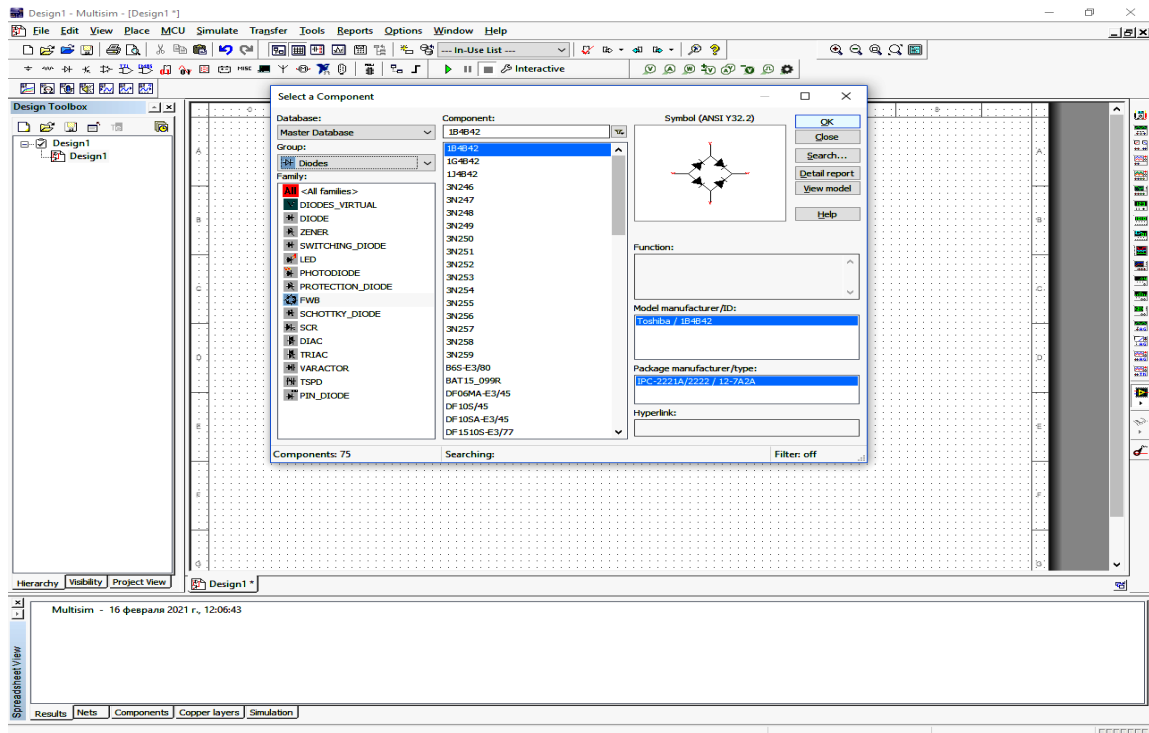


Рис. 2.4.12 – Зовнішній вигляд меню «Diodes». Обрання діодного моста «1В4В42»
Додаємо джерело живлення: вибираємо на панелі приладів Function generator XFG1.

Всі знайдені елементи розміщуємо на робочому столі

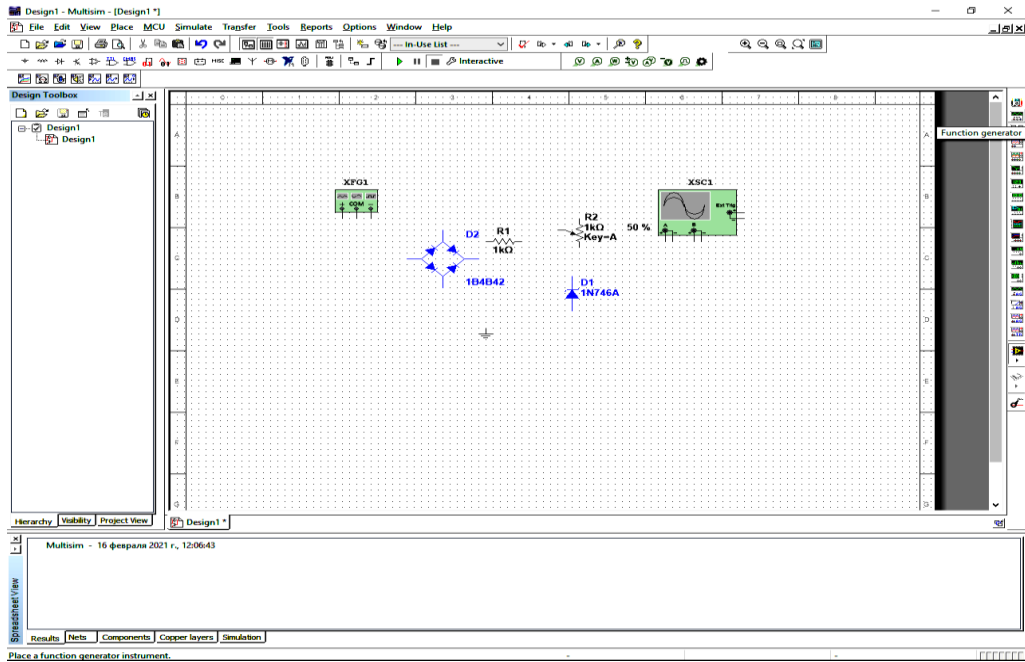


Рис. 2.4.13 – Компоненти для робочої схеми

Будуємо схему, з'єднуючи елементи.

Знімаємо вольт-амперну характеристику стабілітрона для прямої і зворотної напруги. На зворотній гілці має бути помітно ділянку стабілізації.

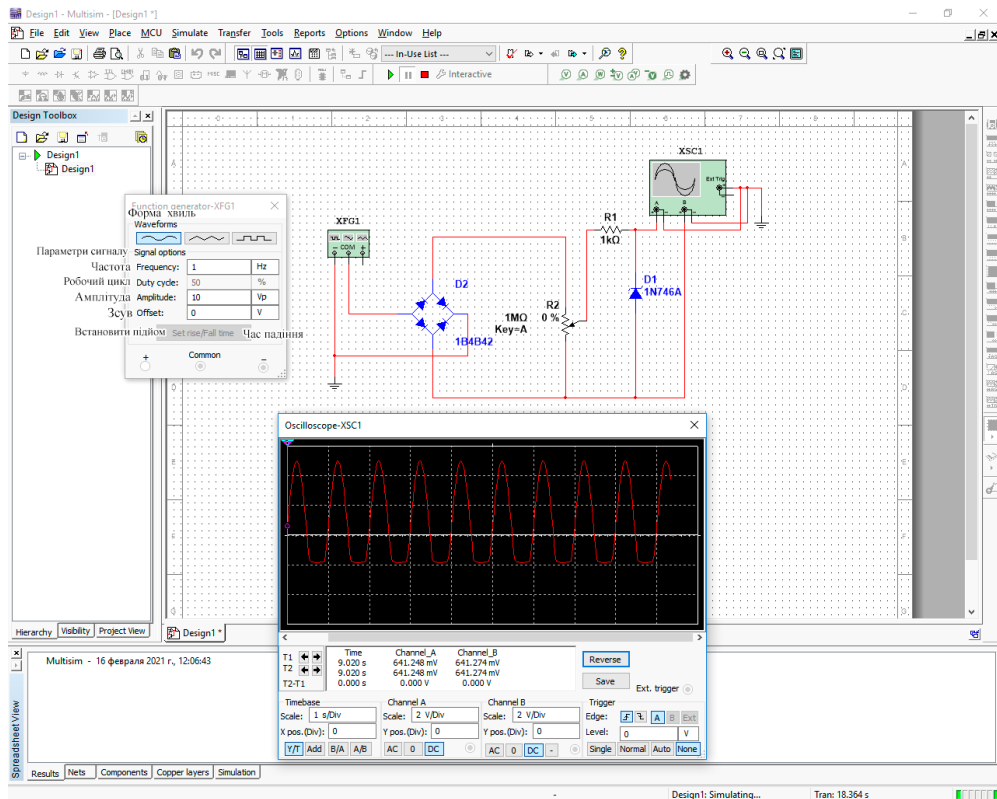


Рис. 2.4.14 – З'єднання компонентів і зняття вольт-амперної характеристики стабілітрона для прямої і зворотної напруги

Контрольні питання до роботи

1. Поясніть процес утворення шару, що запирає в р-п переході.
2. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в прямому напрямку.
3. Які типи р-п переходів Ви знаєте ?
4. Як побудований напівпровідниковий діод?
5. Поясніть виникнення струму через р-п перехід при підключенні діода в зворотному напрямку.
6. Зобразіть вольт-амперну характеристику випрямного діода.
7. Поясніть відміну динамічного опору від статичного. Для яких елементів ці опори рівні за величиною?
8. Чим зумовлена наявність ємності р-п переходу?
9. Поясніть, як впливає величина й напрямок прикладеної напруги на бар'єрну ємність?
10. Перерахуйте складові ємності р-п переходу?
11. Які електричні переходи мають найменшу ємність?
12. Чим обумовлені інерційні властивості діода і як це проявляється на практиці?
13. Чим пояснюються випрямні властивості діода?
14. Чому діод втрачає випрямні властивості?
15. Чому діод є температурно-залежним елементом?
16. Чому спостерігаються коливання зворотного струму діода при зміні зворотної напруги
17. Назвіть і коротко охарактеризуйте типи напівпровідникових діодів?

Література: 2, 3, 4, 6, 7

2.5. Лабораторна робота № 5. Дослідження характеристик біполярного транзистора

Мета роботи: виконати дослідження статичних характеристик біполярного транзистора *n-p-n* типу, з використанням програми Multisim 14.

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості:

Будова і принцип дії біполярних транзисторів.

Біполярний транзистор являє собою електронний напівпровідниковий прилад, що має два взаємодіючих електронно-діркових переходи і складається з трьох областей: емітера, бази і

колектора. $p-n$ перехід, що утворився на межі областей емітер-база, називається емітерним, а на межі база-колектор – колекторним. Провідність бази може бути як і електронною (n -типу), так і дірковою (p -типу). Відповідно розрізняють транзистори $p-n-p$ та $n-p-n$ типу.

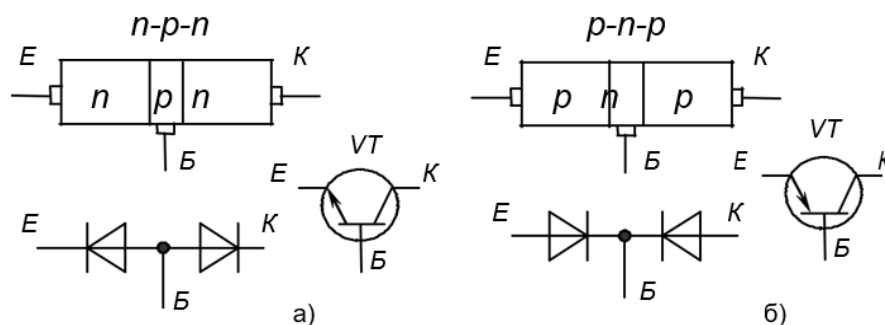


Рис. 2.5.1 - Будова і умовні позначення транзисторів $n-p-n$ (а) та $p-n-p$ (б)

Для забезпечення ефективного впливу емітерного переходу на колекторний, а отже забезпечення підсилюючих властивостей транзистора, необхідне виконання наступних типів основних вимог:

- 1) база повинна бути багато тоншою за довжину дифузійного пробігу інжектованих до неї з емітера носіїв електричного заряду;
- 2) концентрація основних носіїв у базі повинна бути значно меншою за концентрацію основних носіїв в емітері, а концентрація основних носіїв у колекторі повинна бути багато меншою, ніж в емітері;
- 3) площа колекторного переходу повинна бути у декілька разів більшою за площу емітерного переходу.

Принцип дії транзисторів обох типів однаковий. Розходження полягає лише у тому, що в транзисторі $p-n-p$ типу основний струм, що тече через структуру, створюється дірками, інжектованими з емітера, а у транзисторі $n-p-n$ типу – електронами (напрямок протікання струму через транзистор вказує стрілка на його умовному позначенні).

Розглянемо принцип дії біполярного транзистора на прикладі транзистора структури $n-p-n$ типу.

Якщо до приладу не прикладена зовнішня напруга, через обидва $p-n$ переходи протікають струми дифузії і дрейфу, як і в звичайному діоді. Оскільки вони врівноважують один одного, сумарний струм через кожен $p-n$ перехід, а значить і через весь прилад дорівнює нулю.

Ввімкнення джерела E_K , як показано на рис. 2.5.2, а, зміщує колекторний перехід у зворотному напрямку і, у результаті, через нього протікає невеликий струм, зумовлений дрейфом через перехід неосновних носіїв, що виникають з-за термогенерації (у даному разі, електронів) – струм I_{K0} .

Якщо підімкнути до транзистора також джерело E_E (між базою і емітером), як показано на рис.2.5.2, б, емітерний перехід зміщується у прямому напрямку, і через нього до бази з емітера інжектується велика кількість носіїв (електронів) – струм I_E .

Через те, що у базі основних носіїв (дірок) набагато менше, ніж у емітері (електронів) і товщина бази незначна, тільки невелика частина електронів, що надходять з емітера в базу, буде встигати рекомбінувати з дірками і створювати струм бази I_B . Електрони, що залишилися, починають дифундувати у базі за всіма напрямками, у тому числі і до колекторного переходу. Потрапляючи в область колектора, вони підпадають під дію поля джерела E_K і спрямовуються до його позитивного електроду (вони тут є потоком основних носіїв заряду), створюючи струм колектора I_K .

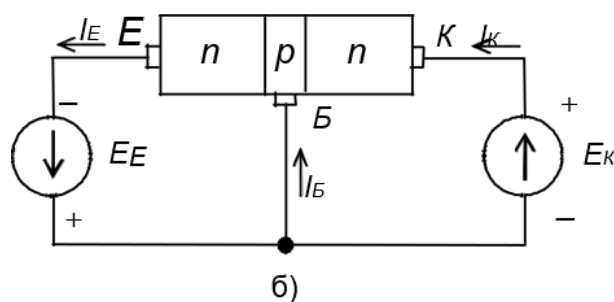
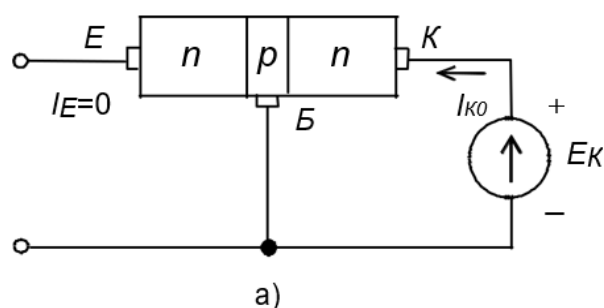


Рис. 2.5.2 - Спрощена схема вмикання транзистора
(а і б)

Оскільки виходить, що струм бази (керуючого електрода) набагато менший струму колектора (струму силового кола), транзистор має підсилюючі властивості.

Струми електродів транзистора зв'язані співвідношенням:

$$I_E < I_B < I_K \quad (5.1)$$

де I_E – струм емітера; I_B – струм бази; I_K – струм колектора.

Відношення струму колектора до струму емітера називається коефіцієнтом передачі струму емітера:

$$\alpha = I_K/I_E \quad (5.2)$$

Відношення колекторного струму до базового називається коефіцієнтом підсилення струму:

$$K_I = I_K/I_E \quad (5.3)$$

У сучасних транзисторів знаходиться у межах від 0,9 до 0,99, а α – від 10 до 100 і більше.

Зв'язок струмів електродів біполярного транзистора і прикладених між його електродами напругами виражається статичними вольт-амперними характеристиками (ВАХ): вхідними і вихідними. Вид цих характеристик залежить від схеми вмикання транзистора.

Залежно від того, який з електродів транзистора є спільною точкою за змінним струмом для вхідного і вихідного кіл, можливі три способи вмикання: зі спільною базою (з СБ) – рис. 2.5.3, а; зі спільним емітером (з СЕ) – рис. 5.3, б; зі спільним колектором (з СК) – рис. 5.3, в.

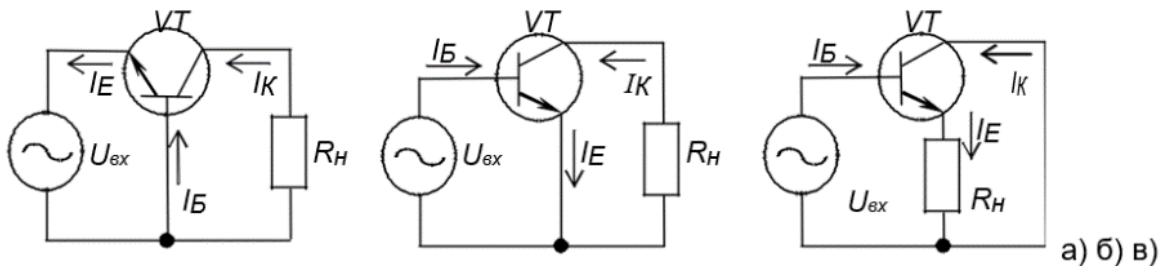


Рис.2.5.3 - Схеми вмикання транзистора: а) з СБ; б) з СЕ; в) з СК

Найбільше поширення у підсилюючих каскадах та імпульсних пристроях одержала схема з СЕ як така, що дає найбільше підсилення за потужністю, забезпечуючи підсилення і за напругою, і за струмом.

Вхідні і вихідні ВАХ транзистора, ввімкненого за схемою з СЕ, наведені на рис.2.5.4 .

Вхідні характеристики показують зв'язок між струмом бази I_B і напругою, прикладеною між емітером і базою U_{BE} .

Вхідна характеристика (рис. 2.5.4, а) при $U_{KE} = 0$ подібна до прямої гілки ВАХ діода. При $U_{KE} > 0$ вхідні характеристики дещо зміщуються вправо. Зменшення струму бази при цьому пояснюється зменшенням рекомбінацій у базі при її звуженні за рахунок розширення запираючого шару (зворотно зміщеного колекторного $p-n$ переходу).

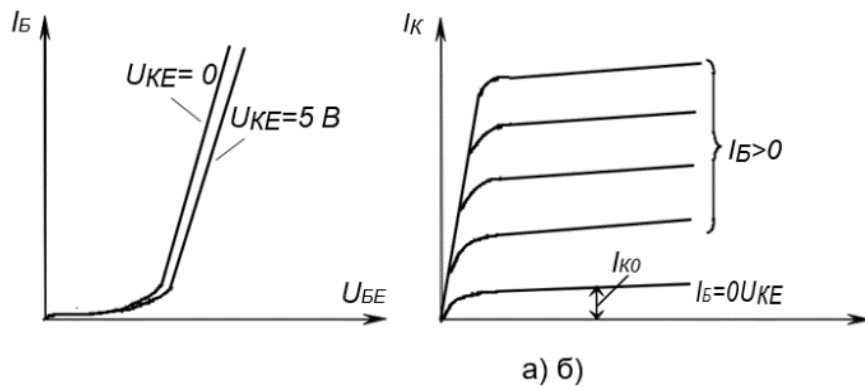


Рис.2.5.4 – ВАХ транзистора, увімкненого за схемою з СЕ:

а) вхідні; б) вихідні

Вихідні статичні характеристики (рис. 5.4, б) показують зв'язок між струмом колектора I_K та напругою між колектором і емітером U_{KE} залежно від значення струму бази I_B . При $I_B = 0$ маємо ВАХ зворотно зміщеного колекторного $p-n$ переходу. Зі збільшенням I_B струм колектора збільшується. При цьому його значення залежить від значення I_B і (десь при $U_{KE} > 1$ В) майже не залежить від значення U_{KE} , бо визначається тільки кількістю носіїв, що після інжекції із емітера в базу дифундували із бази в колектор.

На рис. 2.5.5, а показано лінію навантаження за постійним струмом (динамічну характеристику) і зони, що відповідають трьом характерним режимам роботи транзистора.

Рівняння лінії навантаження має вигляд:

$$U_{KE} = E_K - I_K R_K$$

Де:

E_K – напруга живлення;

R_K – навантаження транзистора за постійним струмом.

Лінія навантаження за постійним струмом проводиться через точки:

E_K , що відповідає $I_K = 0$ (режиму холостого ходу);

$I_K = E_K / R_K$, що відповідає $U_{KE} = 0$ (режиму короткого замикання).

Точка *a* відповідає режиму відтинання транзистора, при якому струм у колі навантаження дуже малий, внаслідок чого майже вся напруга джерела живлення прикладається до транзистора.

Точка *б* відповідає режиму насичення транзистора. У цьому режимі на транзисторі падає незначна напруга (до 0,1 - 0,3 В), що практично не залежить від зміни керуючого струму бази. Відповідно напруга і струм у колі навантаження залишаються незмінними. Проміжок між точками *a* і *б* відповідає активному режиму.

Режими насичення і відтинання використовуються в ключових (імпульсних) схемах, а активний режим – у лінійних підсилювачах. Так для підсилюючого каскаду, що працює у режимі класу А, перетин лінії навантаження з характеристикою, яка відповідає струмові бази I_{0B} (робоча точка P), визначає струм спокою I_{0K} . Цей струм протікає у колі колектора за відсутності сигналу змінної напруги у вхідному колі і відповідає напрузі спокою за постійним струмом U_{0K} . Забезпечується режим спокою поданням у вхідне коло транзистора напруги зміщення U_{0B} з-за чого протікає струм спокою бази I_{0B} , як це показано на рис. 2.5.5, б.

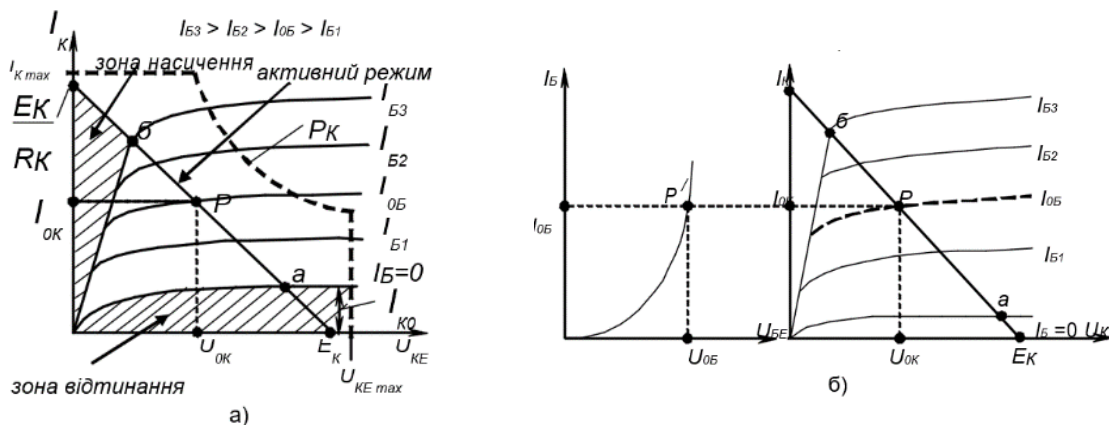


Рис. 2.5.5 – Побудова динамічної характеристики транзистора за постійним струмом і режими роботи транзистора

Порядок виконання роботи

1. Запустіть Multisim
2. Підготуйте новий файл для роботи.
3. Зберіть схему запропоновану викладачем на рис 2.5.6

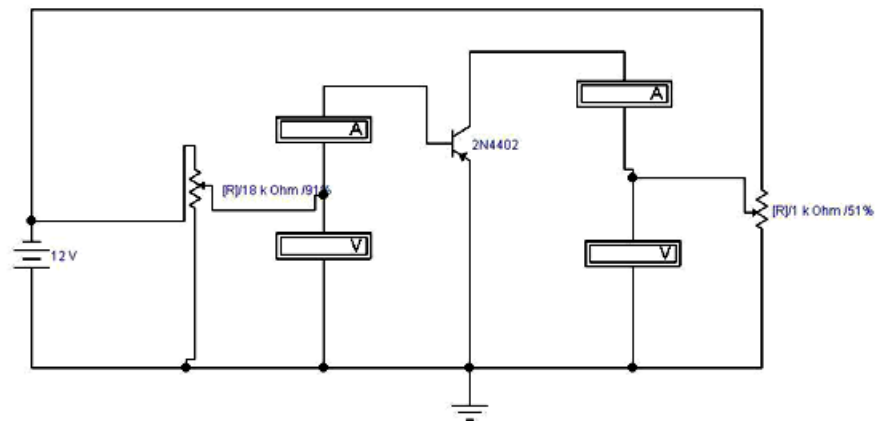


Рис. 2.5.6 – Схема для дослідження напівпровідникового транзистора

4. Згідно до варіанту, оберіть потрібний транзистор та необхідні номінали резисторів R_1 і R_2 .

Таблиця 5.1

№ п/п	Транзистор	R1	R2	№ п/п	Транзистор	R1	R2
1	2N2904A	14k	1k	21	2N4061	17k	1k
2	2N2925	8k	2k	22	2N4123	8k	2k
3	2N2923	16k	1k	23	2N4126	14k	1,5k
4	2N3019	9k	3k	24	2N4265	16k	2k
5	2N3020	17k	2k	25	2N4289	9k	1k
6	2N2907	20k	1k	26	2N4399	20k	1,5k
7	2N3251	8k	3k	27	2N4920	18k	1,2k
8	2N3251A	9k	1,5k	28	2N5039	18k	1k
9	2N3391	17k	3k	29	2N5087	14k	2,4
10	2N3392	14k	2k	30	2N5227	16k	3,6k
11	2N3415	16k	1,5k	31	2N5365	18k	3,6k
12	2N3441	9k	3k	32	2N5629	18k	1k
13	2N3485	17k	3k	33	2N5817	8k	1,5k
14	2N3486A	8k	1,5k	34	2N5885	16k	2k
15	2N3634	16k	3k	35	2N6213	17k	2,4
16	2N3711	9k	2k	36	2N6422	9k	1,5k
17	2N3792	14k	1,2k	37	2N6516	14k	2,4
18	2N3879	16k	1k	38	2N6671	16k	1k
19	2N3905	20k	1,2k	39	2N6687	9k	1,2k
20	2N3947	18k	1k	40	2N699	20k	1,2k

5. Коли схема зібрана і готова до запуску, натисніть кнопку ввімкнення живлення на панелі інструментів. У випадку серйозної помилки в схемі (короткого замикання елемента живлення, відсутність нульового потенціалу в схемі) буде видане попередження.
6. Зняти сімейство вхідних ВАХ $I_B = f(U_{BE})$ при значеннях $U_{KE} = const$. Потенціометром R_2 встановити нульову напругу між колектором та емітером

7. Змінюючи вхідний струм – струм бази за допомогою потенціометра R_2 від 0 до 300 мкА через 50 мкА, виміряти вхідну напругу U_{be} для кожного значення струму і записати в таблиці 5.2
8. Повторити пункт 7, встановивши напругу між колектором і емітером 2В; 4В

I _б , мкА	U _{be} , В		
	U _{ке} = 0 В	U _{ке} = 2 В	U _{ке} = 4 В
0			
50			
100			
150			
200			
250			
300			

Таблиця 5.2 - Результати вимірів вхідних ВАХ біполярного транзистора

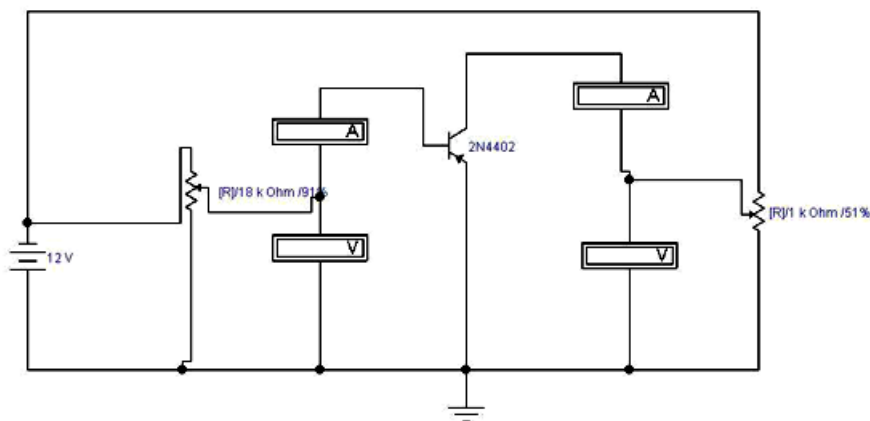
9. Зняти сімейство вихідних ВАХ $I_K = f(U_{KE})$ при фіксованих значеннях струму I_B .
Построїти графіки.
10. Занесіть пояснення щодо створення схем у звіт.
11. Зробіть висновки.

Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

Запустіть Multisim. Підготуйте новий файл для роботи.

Для виконання даної лабораторної роботи зберіть запропоновану викладачем схему

рис.5.6



Для виконання роботи, нам потрібно наступні елементи:

Потенціометр (кількість – 2) Резистори вибрати у групі «Basic» та знайти у списку «Potentiometer», після чого вибрати резистор потрібного номіналу (вказавши потрібний номінал в полі «Component:»).

«Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Basic» → «Potentiometer».

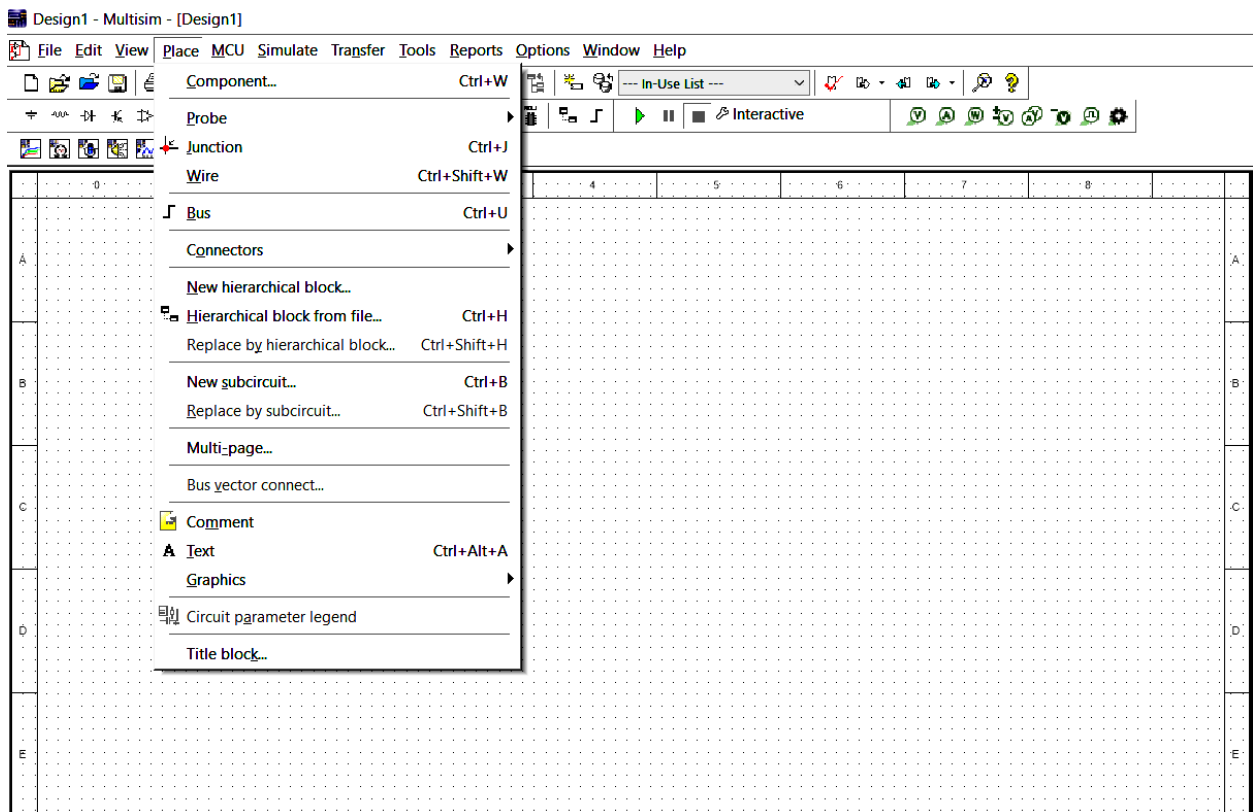


Рис. 2.5.7 – Обрання у вкладці «Place» підпункт «Components»

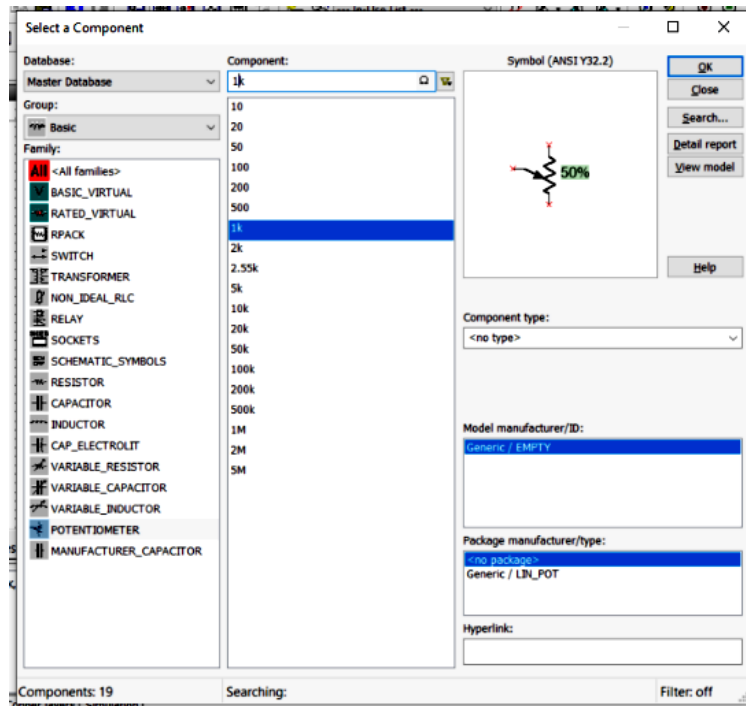


Рис. 2.5.8 – Потенціометр (резистор, з можливістю швидко змінити опір).

Примітка: щоб обрати потрібний номінал потрібно ввести його під заголовком «Component:», вказавши число з латинською буквою k

Постійне джерело живлення:

«Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Source» → «DC Power»

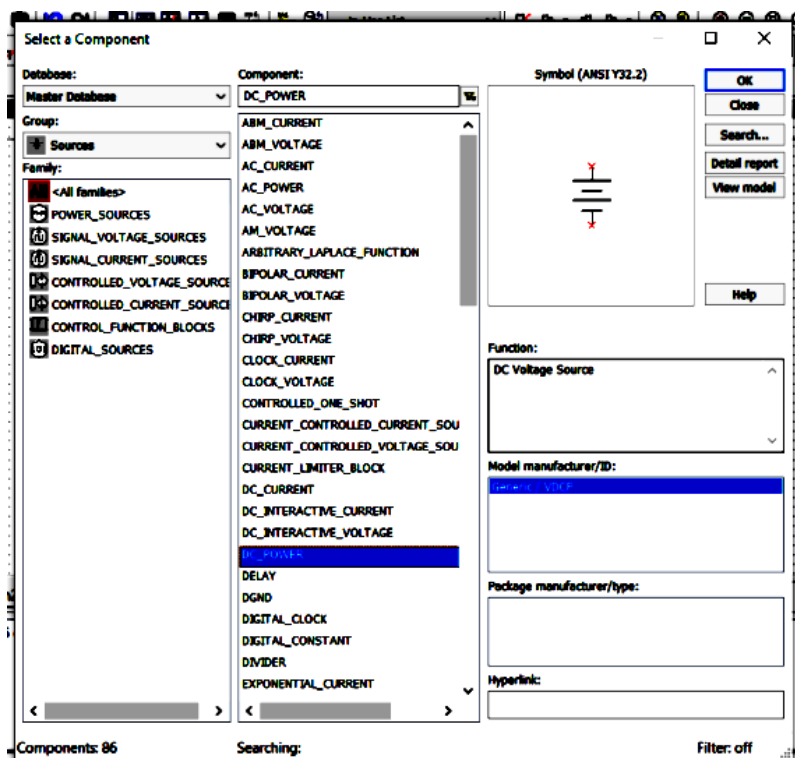


Рис. 2.5.9 – DC POWER (Постійна напруга, 12 В)

Примітка: По схемі потрібно буде його перевернути (натиснути на нього один раз, щоб виділити після того, як він буде створений, та скористатись комбінацією клавіш Ctrl+R)

Транзистор:

«Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Transistors»

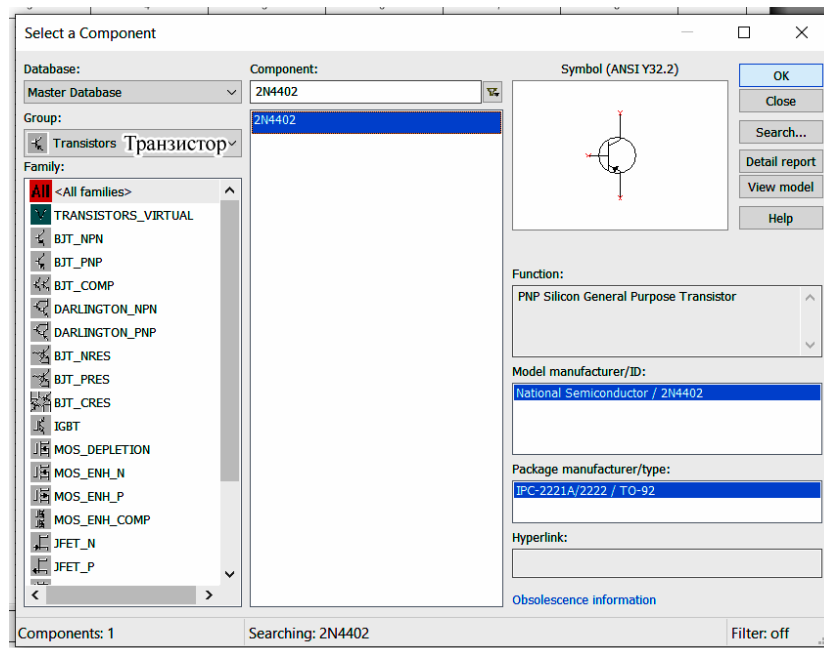


Рис.2.5.10 – Транзистор

Цифровий Вольтметр (кількість – 2): «Place» → «Components» → «Master database» → «All groups» → «All families» → «Voltmeter VR»

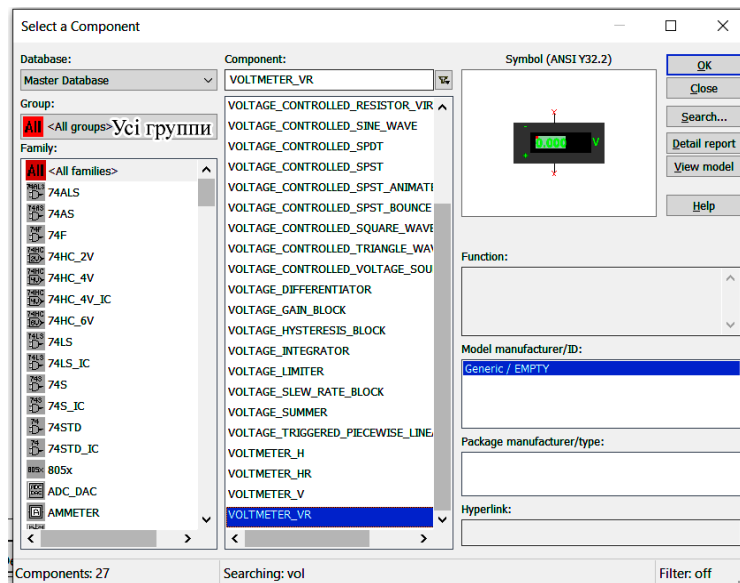


Рис. 2.5.11 – Вольтметр (Цифровий)

Примітка: Полярність: плюс знизу, мінус зверху

Амперметр (кількість – 2): «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «All groups» → «All families» → «Ammeter V»

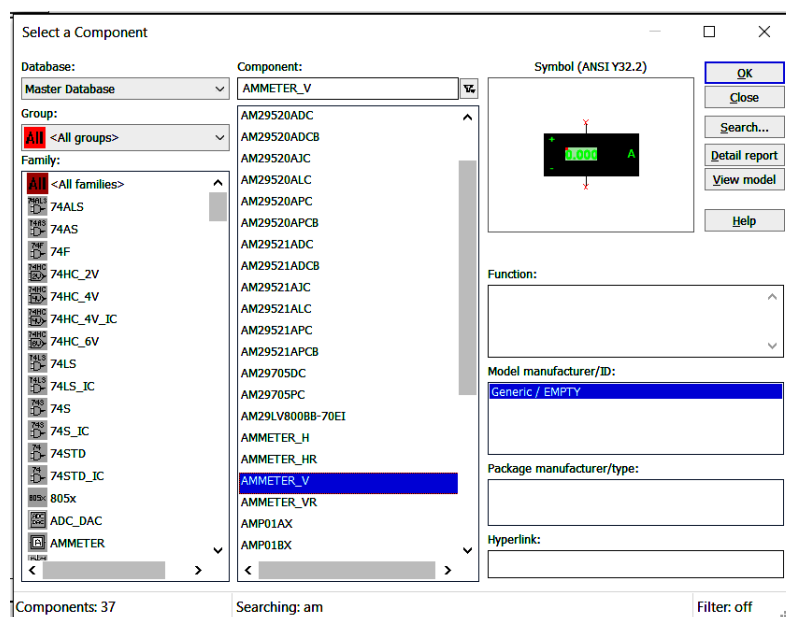


Рис. 2.5.12 – Амперметр (цифровий)

Аналізатор ВАХ - знаходиться на панелі приладів праворуч на вертикальній лінійці

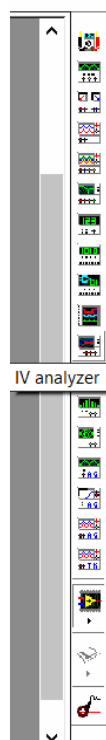


Рис. 2.5.13 – IV Analyzer (Для вольт-амперної характеристики)

Заземлення (кількість – 1)

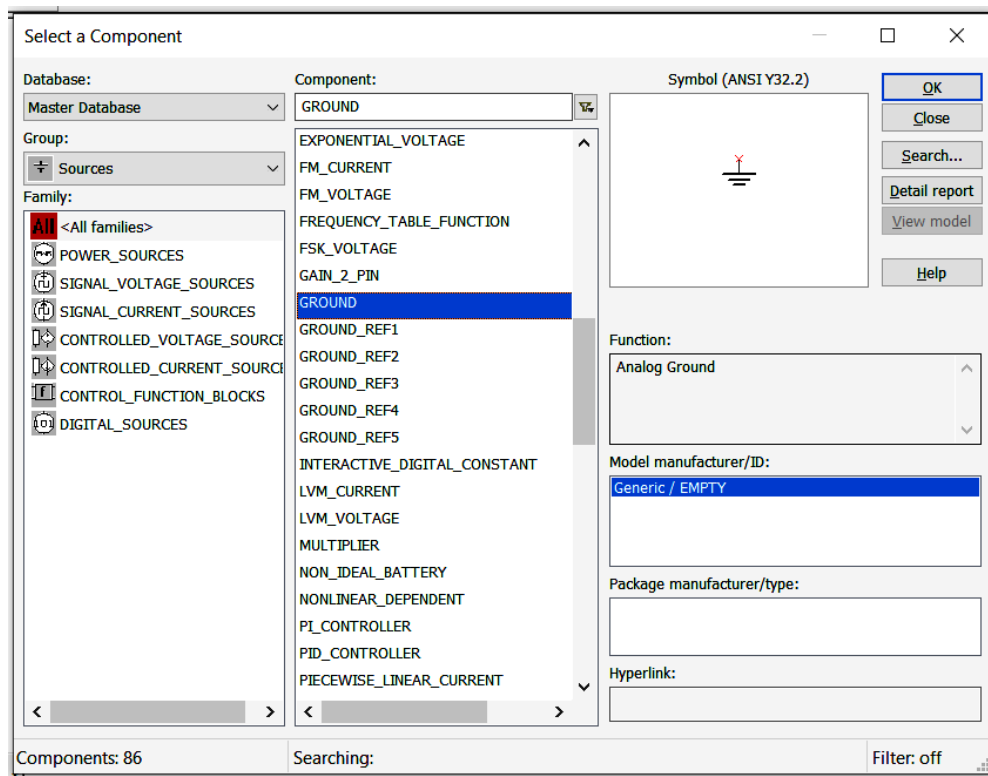


Рис.2.5.14 – Ground (Заземлення)

Всі елементи для дослідження винесені на робоче поле:

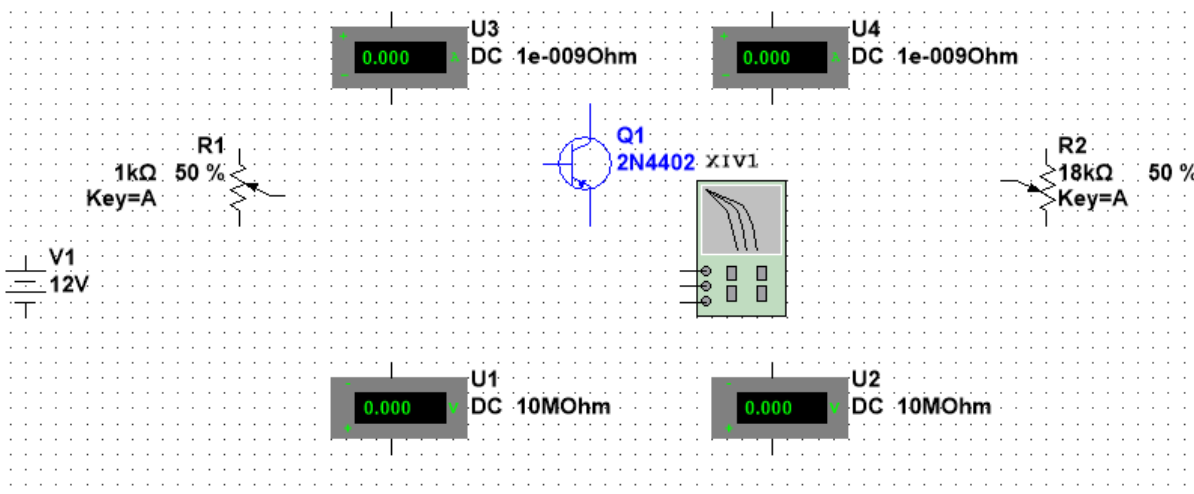


Рис. 2.5.15 – Елементи для досліджень

Примітка: поворот елемента - комбінація клавіш Ctrl+R

З'єднаємо всі елементи між собою. Там де потрібно, проводимо доріжки з'єднань в одну точку– вузол (натиснути кнопки ctrl j).

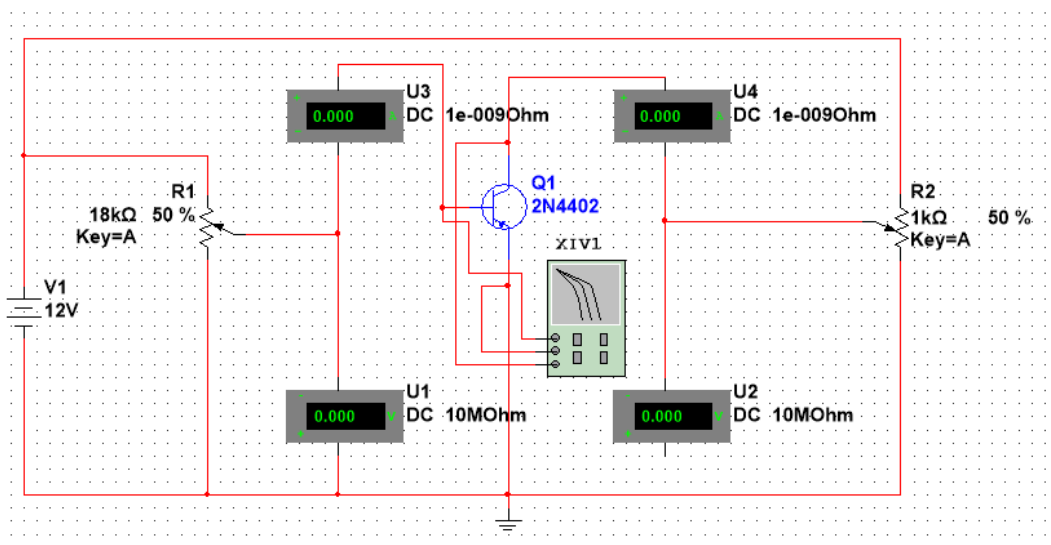


Рис. 2.5.16 – Зібрана схема досліджень

1. Для налаштування потенціометрів R1 та R2 потрібно два рази натиснути на кожний (налаштувати потрібно спочатку один, потім інший). Після цього у відкритому меню переходимо по вкладці «Value» та біля строки «Increment» ставимо 1 %.

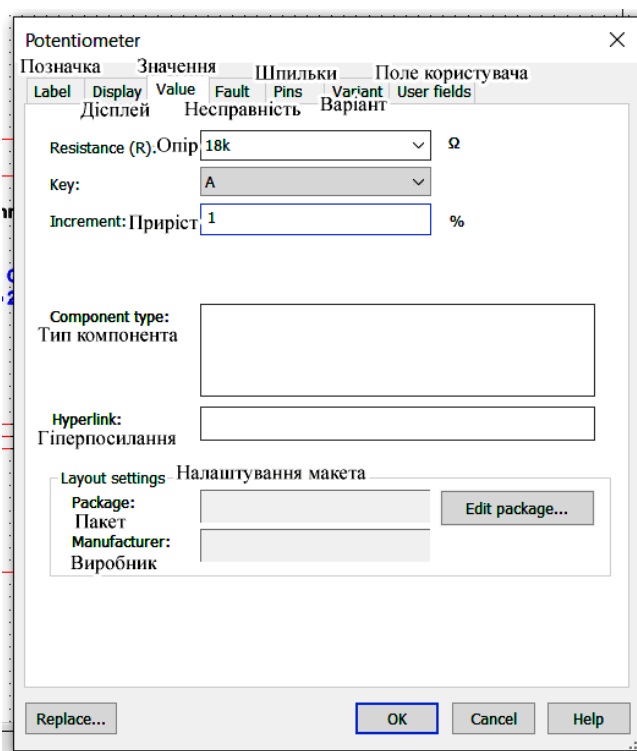


Рис. 2.5.17 – Меню налаштування елемента

Повторити для потенціометра R2.

Налаштуємо потенціометри: для R1 – виставляємо 91 %, для R2 – 51 %

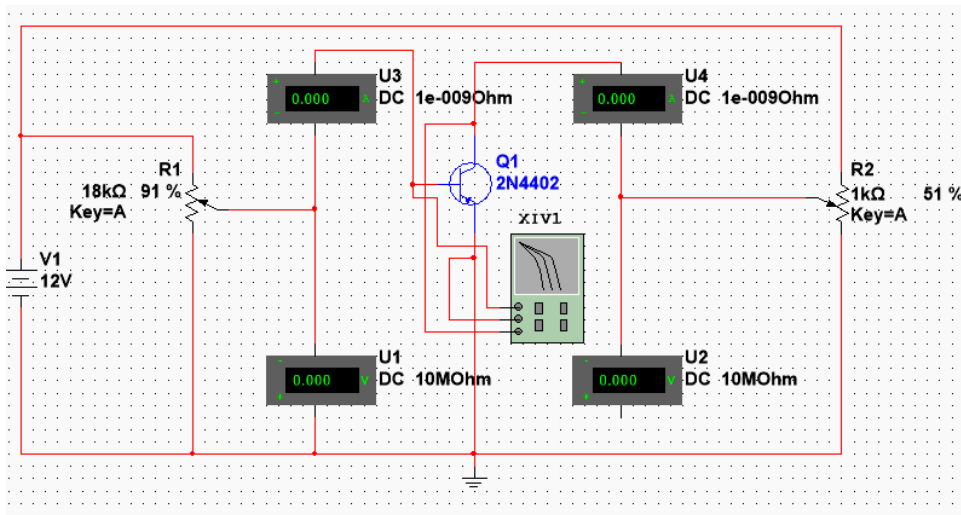


Рис. 2.5.18 – Схема після налаштування потенціометрів

Налаштуємо IV Analyzer. Натиснемо два рази ЛКМ на його піктограму.



Рис.2.5.19 – Зовнішній вигляд інструмента для вимірювання вольт-амперної характеристики

Далі вибираємо який саме компонент підключено, у нашому випадку - транзистор (знаходиться у вкладці Components, де на малюнку стоїть Diode). Змінюємо на транзистор BJT NPN.

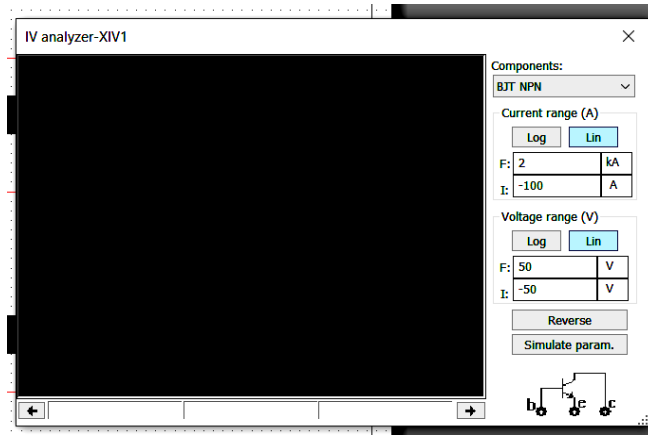


Рис. 2.5.20 – Вибір Компонента ВІТ NPN (біполярний транзистор)

Після цього змінюємо параметри, які є однаковими для всіх варіантів.

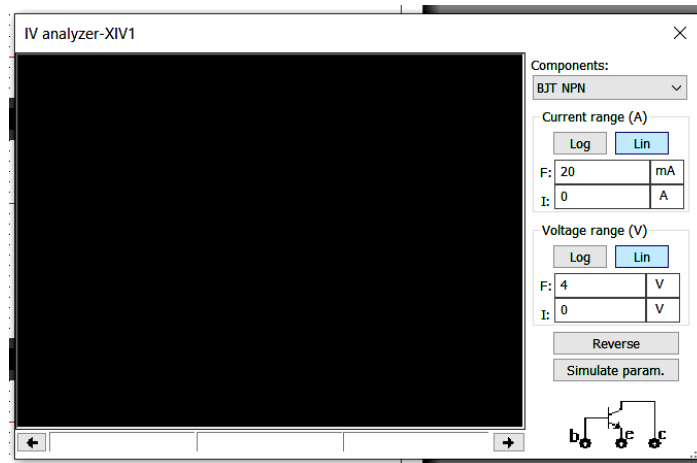


Рис. 2.5.21 – Налаштування для ВАХ.

Натискаємо кнопку Simulate param. Всі налаштування, виставляти згідно з рис. 2.5.22.

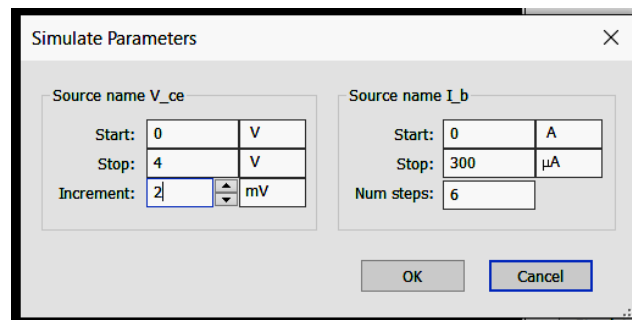


Рис. 2.5.22 – Налаштування для ВАХ.

Запускаємо емуляцію, натиснувши на F5, або на кнопку запуску.

Результати з отриманої вольт-амперної характеристики, записати у таблицю 5.2.

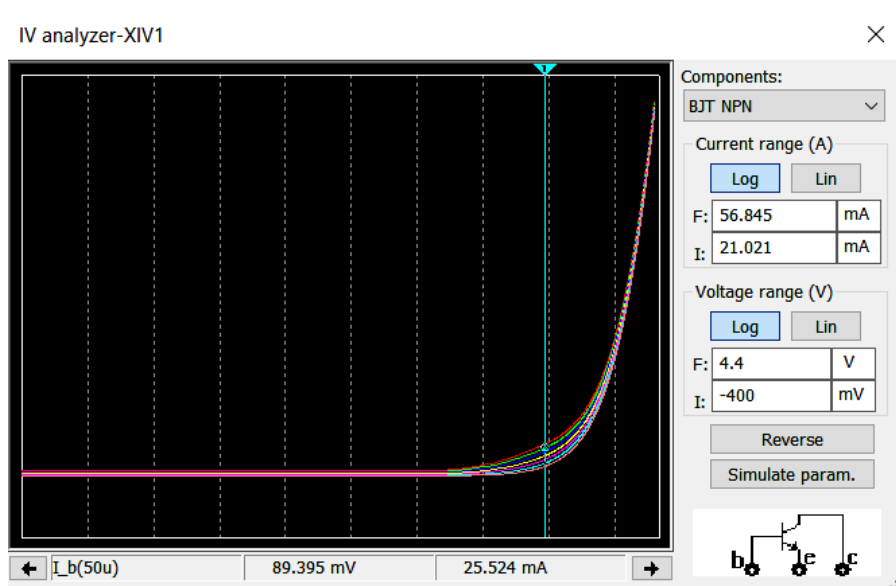


Рис. 5.23 –Вольт-амперна характеристика (ВАХ)

Примітка: Після дослідження можна змінити вигляд схеми, натиснувши на Log (логарифм, графік стрімко наближується до осі Y, але ніколи не перетинає її) під пунктом Current Range для A (ампер) і V(вольт).

Приклад заповненої таблиці 5.2

I _б , мкА	U _{бе} , В		
	U _{ке} = 0 В	U _{ке} = 2 В	U _{ке} = 4 В
0	24,277 мА	39,454 мА	53,853 мА
50	24,226 мА	39,219 мА	53,616 мА
100	24,176 мА	38,984 мА	53,379 мА
150	24,127 мА	38,748 мА	53,143 мА
200	24,08 мА	38,513 мА	52,906 мА
250	24,039 мА	38,278 мА	52,67 мА
300	24,013 мА	38,044 мА	52,434 мА

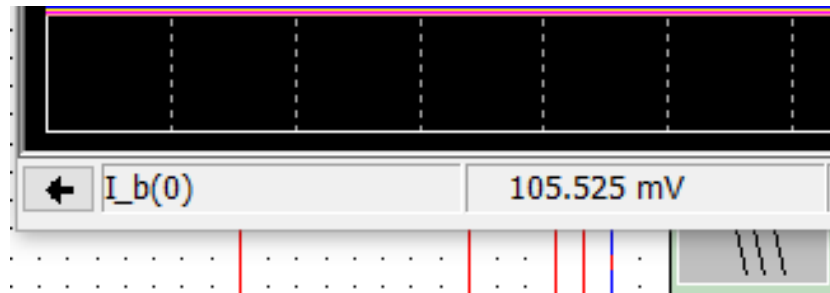


Рис. 2.5.24 – Значення Напруги (Вольт – V)

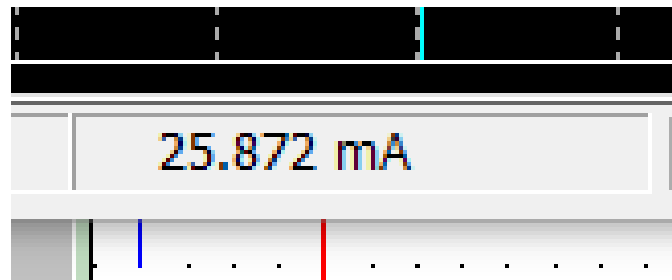


Рис. 2.5.25 – Значення Струму (Ампер – A)

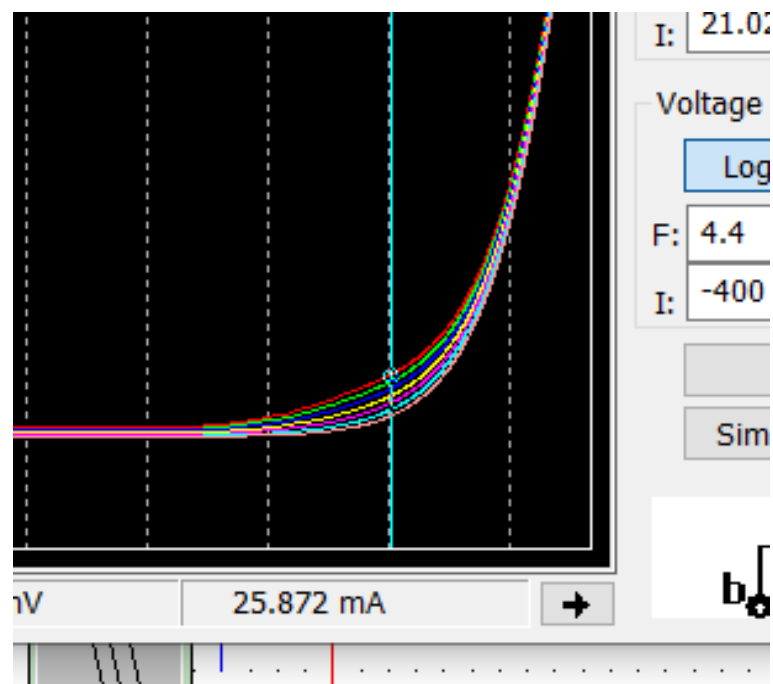


Рис. 2.5.26 – Зняття потрібних даних з графіка ВАХ

Примітка: Щоб отримати результати до таблиці, можна керувати точкою на графіці, яку можна зсувати ліворуч чи праворуч вздовж лінії. Для переходу на іншу лінію потрібно двічі натиснути ЛКМ по лінії, на якій буде проводитися збір даних.

Контрольні питання до роботи

1. У чому полягає відмінність транзистора від діода і тиристора?
2. Для яких цілей застосовуються в електронних схемах транзистори?
3. Зобразіть схему підсилювача зі спільним емітером на ррр-транзисторі.
4. Сформулюйте, чим відрізняються режими роботи транзистора (активний, відсічення, насичення).
5. Дайте визначення колекторної вихідній ВАХ транзистора.
6. Що таке передатна характеристика транзисторного підсилювача?
7. Як зміниться коефіцієнт передачі за струмом, якщо: а) зменшити напругу живлення колектора; б) зменшити опір навантаження R_k у колі колектора?
8. Чому при керуванні підсилювачем, що працює в ключовому режимі, прагнуть до того, щоб темп зміни керуючого (вхідного) сигналу був як можна великим?

Література: 2, 3,4,5, 6,7

2.6. Лабораторна робота № 6. Дослідження статичних характеристик біполярного транзистора за схемою СБ

Мета роботи: зняти статичні характеристики біполярного транзистора ввімкненого за схемою «спільна база»

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості:

Будова і принцип дії транзисторів. Транзистором називається трьохелектродний напівпровідниковий прилад. Основним елементом транзистора є кристал напівпровідника

(германію, кремнію), в якому створені три області різних провідностей. Схематичне і умовне позначення транзистора зображені на рисунку 2.6.1

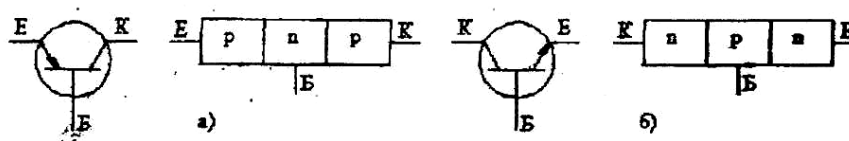


Рис. 2.6.1 – Будова та умовне позначення біполярних транзисторів різних типів провідностей

Транзистори, в яких крайні області мають діркову провідність, а середня — електронну, називаються транзисторами р-п-р - типу

(рис. 2.6.1, а). Транзистори, в яких крайні області мають електронну провідність, а середня - діркову, називаються транзисторами р-п-р типу (рис. 2.6.1, б). Середня область називається базою, крайні — емітером і колектором. На рисунку 1 видно, що в транзистора є два переходи: емітерний і колекторний. Відстань між ними дуже мала - порядку 10-20 мкм. Зокрема, концентрація атомів домішок в області бази набагато менша, ніж в емітері, що є важливою умовою роботи транзистора.

На рис. 2.6.2 зображений транзистор р-п-р - типу з підключеними джерелами живлення. При підключенні колекторної напруги $U_{кб}$ відбувається зворотне зміщення колекторного переходу, і в колекторному колі з'являється слабкий струм, обумовлений наявністю неосновних носіїв. При підключенні емітерною напруги $U_{еб}$ опір емітерного переходу зменшується і через нього проходить прямий струм, обумовлений переміщенням дірок з емітера в базу і електронів з бази в емітер. Оскільки в транзисторах, як було вказано раніше, концентрація носіїв заряду в базі значно менша, ніж в емітері, то число дірок, які поступили з емітера в базу, в багато разів більше числа електронів, які рухаються у протилежному напрямку. Отже, майже весь струм через емітерний перехід обумовлений дірками. Електронна складова емітерного струму є несуттєвою; вона замикається через коло бази і не бере участі в створенні струму колектора.

Дірки, при попаданні в базу, для якої вони є неосновними носіями заряду, починають рекомбінувати з електронами. Оскільки базовий шар дуже вузький, то майже всі дірки встигають досягнути колекторного р-п-р переходу до того часу, поки відбудеться рекомбінація. Підійшовши до колектора, дірки починають відчувати дію електричного поля, створеного джерелом $U_{кб}$. Воно для дірок є прискорюючим, і через це вони швидко втягуються з бази в колектор і приймають участь в створенні колекторного струму.

Приймаючи до уваги малу ступінь рекомбінації дірок з електронами в області бази, можна вважати струм колектора I_k приблизно рівним струму емітера I_e .

Ті дірки, які все ж таки рекомбінують в області бази з електронами, беруть участь у створенні струму I_b .

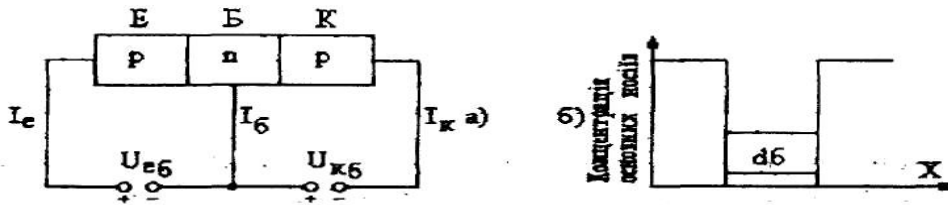


Рис. 2.6.2 – Ввімкнення транзистора

Принцип дії транзисторів р-п-р - типу не відрізняється від розглянутого раніше, лише полярність напруг повинна бути протилежна тій, яка вказана на рис. 2.6.2а.

Схеми вмикання транзисторів. В залежності від того, який електрод є загальним для вхідного і вихідного кола, розрізняють три схеми включення транзисторів: із спільною базою (СБ) рис. 2.6.3а, спільним емітером (СЕ) рис. 2.6.3б та спільним колектором (СК) рис. 6.3в.

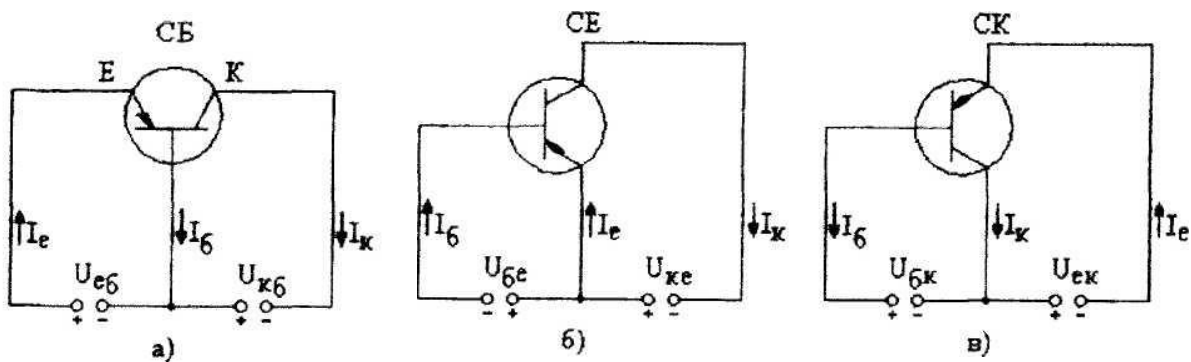


Рис. 2.6.3 – Схеми ввімкнення транзисторів

Одним з основних показників, які характеризують підсилювальні властивості транзистора, є коефіцієнт передачі за струмом, який визначається відношенням приросту вихідного струму, до приросту вхідного струму, що його викликав, при постійній напрузі в вхідному колі.

Для схеми з СБ вихідним є струм колекторного кола, а вхідним — струм емітерного кола. Тому коефіцієнт передачі за струмом для схеми з СБ:

$$a = \Delta I_k / \Delta I_e \quad \text{при} \quad U_k = \text{const}$$

завжди менший 1 і лежить в межах 0,96... 0,99.

В схемах з СЕ вихідним є струм колектора, а вхідним — струм бази. Тому коефіцієнт передачі за струмом в схемі з СЕ:

Статичні характеристики. Для всіх трьох схем включення можливо дослідним шляхом отримати вхідні і вихідні статичні характеристики. Вони поєднують між собою струми і напруги різних електродів.

На рис. 2.6.4 а, б зображені вхідні та вихідні характеристики транзистора, включеного за схемою СБ. Вхідні характеристики транзистора в даному випадку являють собою залежність $I_e = f(U_{eб})$ при $U_{кб} = \text{const}$, а вихідні — $I_k = f(U_{кб})$ при $I_e = \text{const}$. З рис. 6.4,а видно, що вхідна характеристика аналогічна ВАХ р - n - переходу для прямого струму, причому зміна напруги $U_{кб}$ мало впливає на струм емітера. Це пояснюється тим, що електричне поле, створене напругою $U_{кб}$, майже все знаходиться в колекторному переході і не має значного впливу на проходження зарядів через емітерний перехід.

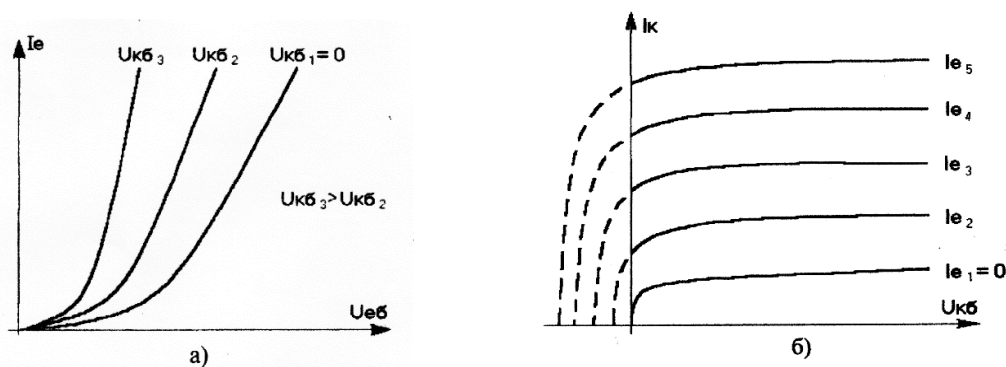


Рис.2.6.4 – Вхідна та вихідна вольт-амперна характеристики транзистора за схемою зі спільною базою

З рис. 2.6.4, б видно, що вихідні характеристики являють собою прямі лінії, які йдуть з дуже малим нахилом. Тому величина колекторного струму визначається головним чином величиною струму емітера і мало залежить від напруги $U_{кб}$. Навіть при $U_{кб} = 0$ струм колектора може мати значення, що наближається до величини струму емітера.

Порядок виконання роботи:

1. Запустіть Multisim. Підготуйте новий файл для роботи.
2. Зберіть схему запропоновану викладачем на рис. 2.6.5

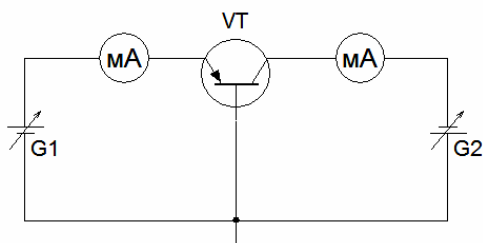


Рис. 2.6.5 – Схема для досліджень

3. Для цього виберіть розділ на панелі інструментів у якому знаходиться потрібний вам елемент, потім перенести його на робочу область.
4. Розташуйте елементи в робочій області. З'єднайте контакти елементів для одержання необхідної вам схеми.
5. Згідно до варіанту, оберіть потрібний транзистор

Таблиця 6.1

№ п/п	Транзистор	№ п/п	Транзистор
1	2N2904A	21	2N4061
2	2N2925	22	2N4123
3	2N2923	23	2N4126
4	2N3019	24	2N4265
5	2N3020	25	2N4289
6	2N2907	26	2N4399
7	2N3251	27	2N4920
8	2N3251A	28	2N5039
9	2N3391	29	2N5087
10	2N3392	30	2N5227
11	2N3415	31	2N5365
12	2N3441	32	2N5629
13	2N3485	33	2N5817
14	2N3486A	34	2N5885
15	2N3634	35	2N6213
16	2N3711	36	2N6422
17	2N3792	37	2N6516

18	2N3879	38	2N6671
19	2N3905	39	2N6687
20	2N3947	40	2N699

6. Зніміть дані залежності емітерного струму від напруги база-емітер при $U_{бк.} = 0$ (від'єднати провідник який з'єднує колектор з джерелом живлення):
7. Під'єднайте схему до джерел живлення: $V1 - 3\text{ В}$, $V2 - 15\text{ В}$.
8. Змінюючи напругу джерела живлення $V1$ з інтервалом $0,1\text{ В}$ занесіть дані в таблицю 6.2

Таблиця 6.2

$U_{бк.}$, В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I_e , мА											

9. Зніміть дані залежності емітерного струму від напруги база-емітер при $U_{бк.} = 10\text{ В}$ (так само як попередній дослід, лише подати напругу на колектор 10 В):
10. Під'єднайте схему до джерел живлення: $V1 - 3\text{ В}$, $V2 - 15\text{ В}$.
11. Змінюючи напругу джерела живлення $V1$ з інтервалом $0,1\text{ В}$ занесіть дані в таблицю 6.3

Таблиця 6.3

$U_{бк.}$, В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I_e , мА											

12. Зніміть дані залежності колекторного струму від емітерного при $U_{бк.} = 4 \div 5\text{ В}$:
13. Під'єднайте схему до джерел живлення: $V1 - 3\text{ В}$, $V2 - 15\text{ В}$.
14. Змінюючи струм бази з інтервалом $0,5\text{ мА}$ занесіть дані в таблицю 6.4

Таблиця 6.4

I_e , мА	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I_k , мА											

15. Нарисувавши лінійну систему координат побудувати графіки залежності емітерного струму від напруги база-емітер при різних $U_{бк}$ (графіки в одних координатних осях). Вісь $x - U_{бе}$; вісь $y - I_e$.
16. Нарисувавши лінійну систему координат побудувати графіки залежності колекторного струму від емітерного при різних $U_{бк}$ (графіки в одних координатних осях). Вісь $x - I_e$; вісь $y - I_k$.
17. Оформіть звіт.

Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

Запустіть Multisim 14.

Підготуйте новий файл для роботи.

Зберіть запропоновану викладачем схему на рис.2.6.5

Для виконання даної лабораторної роботи потрібно підготувати відповідно до алгоритму виконання робіт за допомогою Multisim робочий простір для збирання схеми запропонованої викладачем. Далі в рядку з піктограмами знайти надпис «Component» та обрати потрібні елементи, які вказуються в експериментів.

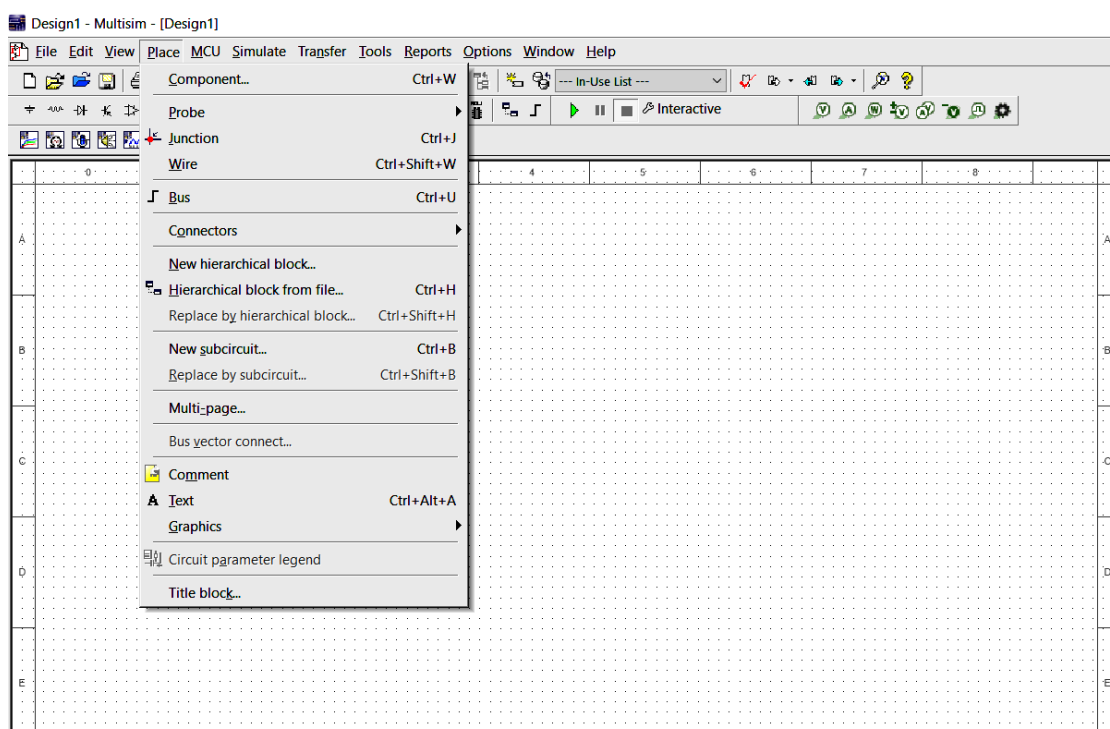


Рис. 2.6.6 – Середовище Multisim 14. Обрання у вкладці «Place» підпункт «Components»

Елементи схеми:

Джерело постійної напруги (кількість – 2). Для обрання джерел потрібно вибрати: «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Source» → «DC Power»

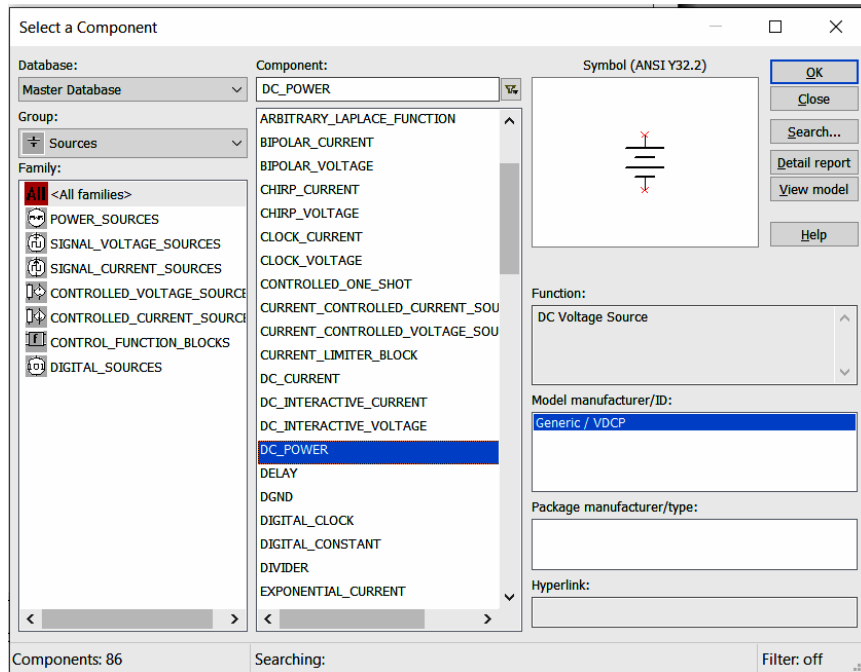


Рис. 2.6.7 – Постійна напруга DC

Примітка: для експерименту потрібно два джерела живлення, тому два рази обрати DC Power, та перемістити їх на робоче місце (кнопка ОК, для завершення вибору)

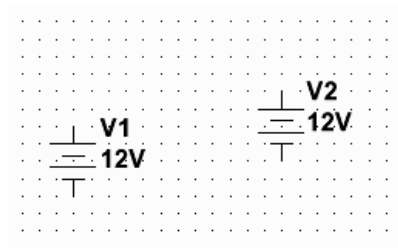


Рис.2.6.8 – Обрані елементи

Примітка: V2 – потрібно перевернути, виділивши його натиснувши ЛКМ та використовуючи комбінацію клавіш Ctrl+R.

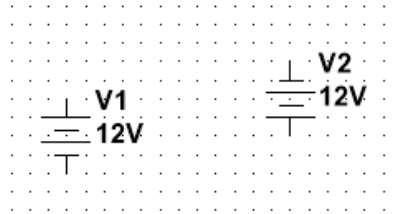


Рис. 2.6.9 – V2 перевернуто за допомогою кнопок Ctrl+R

Виставити потрібну напругу, яку вказано в завданні двічі клікнувши на елемент лівою клавішею.

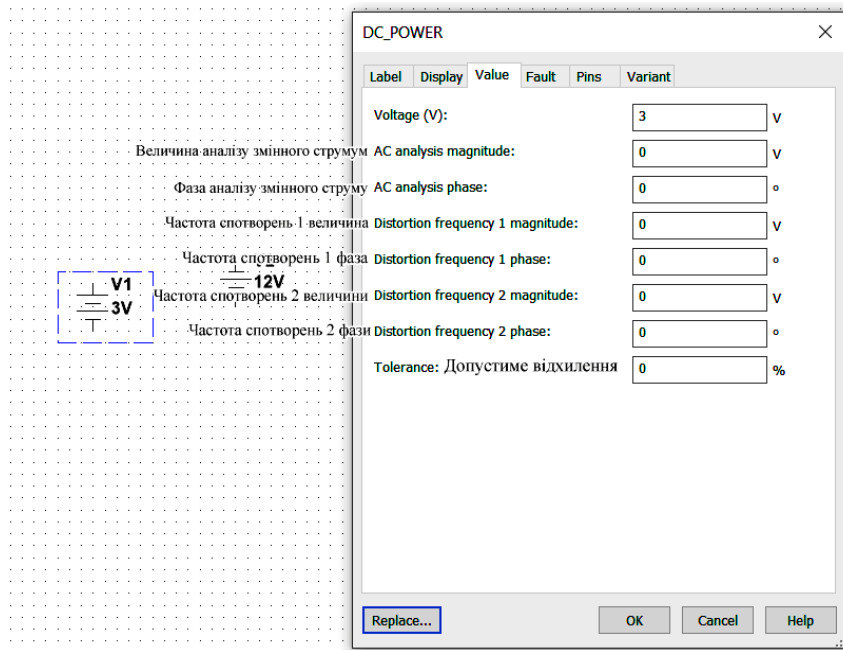


Рис. 2.6.10 – Присвоєння елементу V1 потрібних характеристик

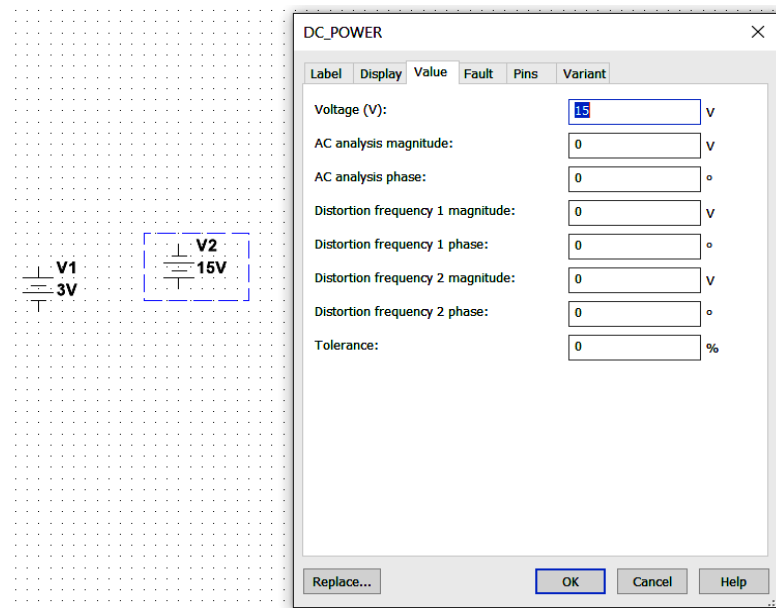


Рис. 2.6.11 – Присвоєння елементу V2 потрібних характеристик

Амперметр (кількість – 2): «Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «All groups» → «All families» → «Ammeter H»

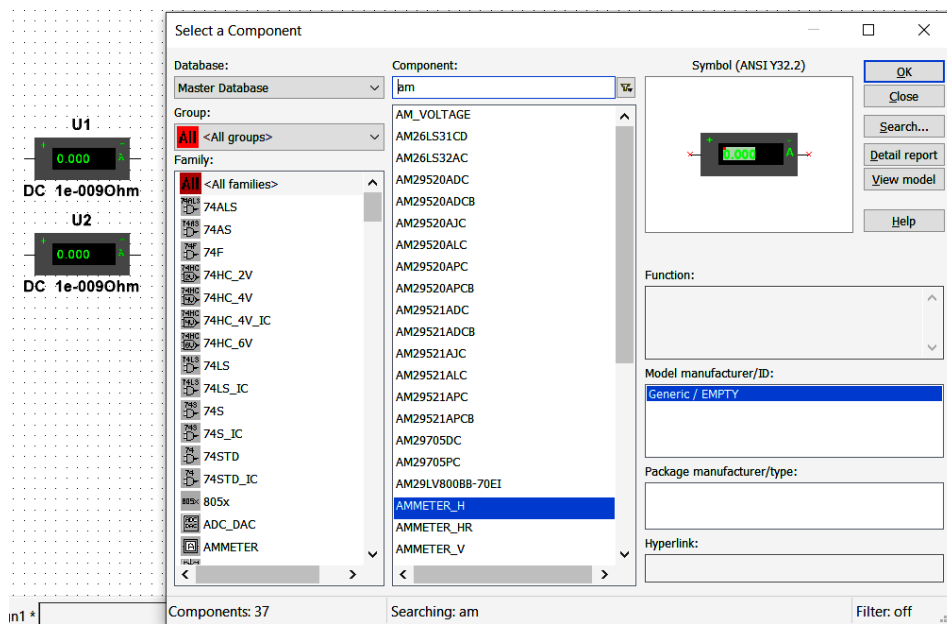


Рис. 2.6.12 – Цифровий амперметр

Заземлення Ground (кількість – 1):

«Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «Sources» → «Ground»

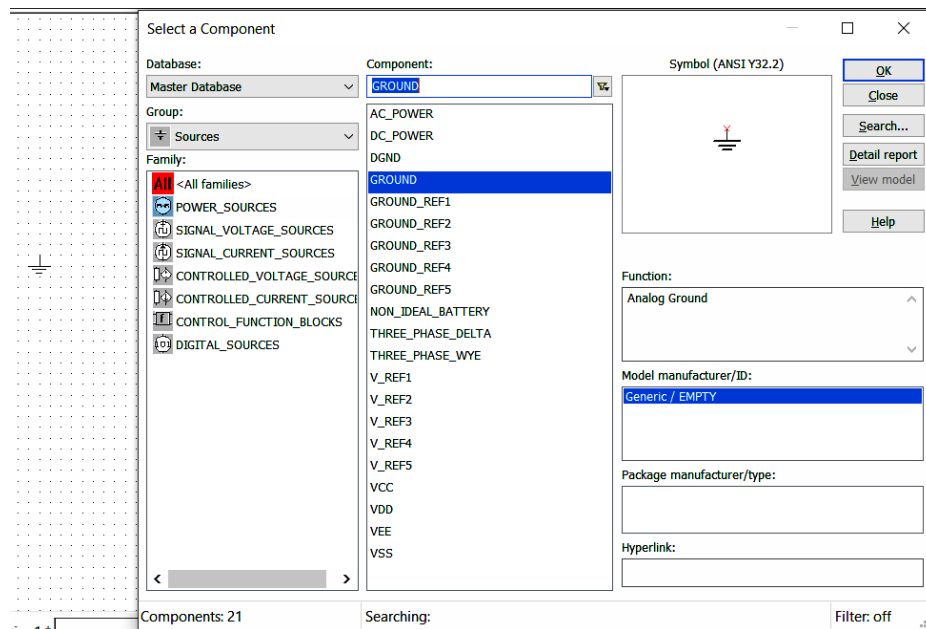


Рис. 2.6.13 – Заземлення

Транзистор (згідно варіанту) (кількість – 1):

«Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Transistors»

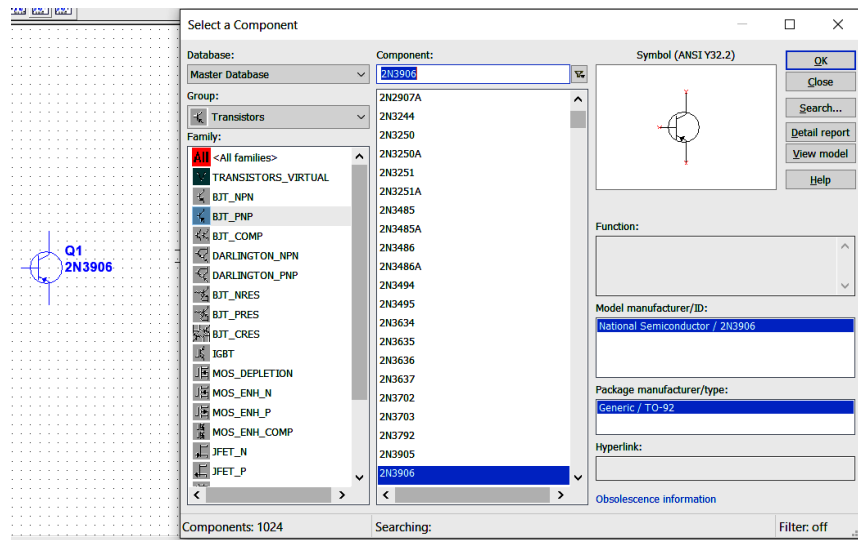


Рис. 2.6.14 – Транзистор

Примітка: Транзистор потрібно повернути згідно схеми. (Комбінацією Ctrl+R)

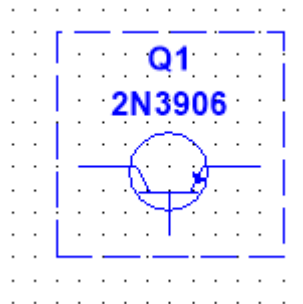


Рис. 2.6.15 – Транзистор

Примітка: Транзистор потрібно розвернути згідно схеми. (Комбінація Alt+X)

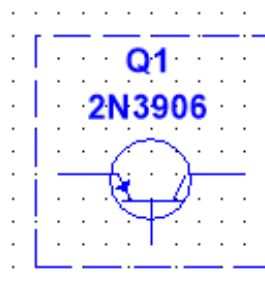


Рис. 2.6.16 – Транзистор (розвернений по горизонталі)

Збираємо схему.

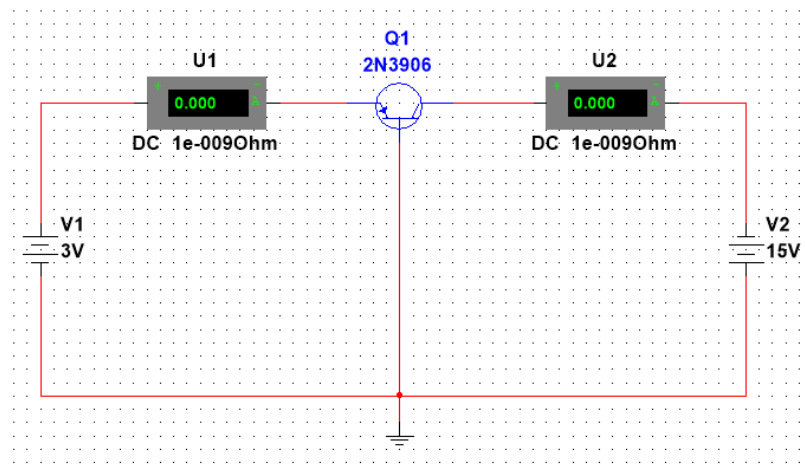


Рис. 2.6.17 – Зібрана схема

Від'єднуємо від колектора транзистора (праворуч від транзистора) джерело V2. В результаті на колектор транзистора буде подано 0 В.

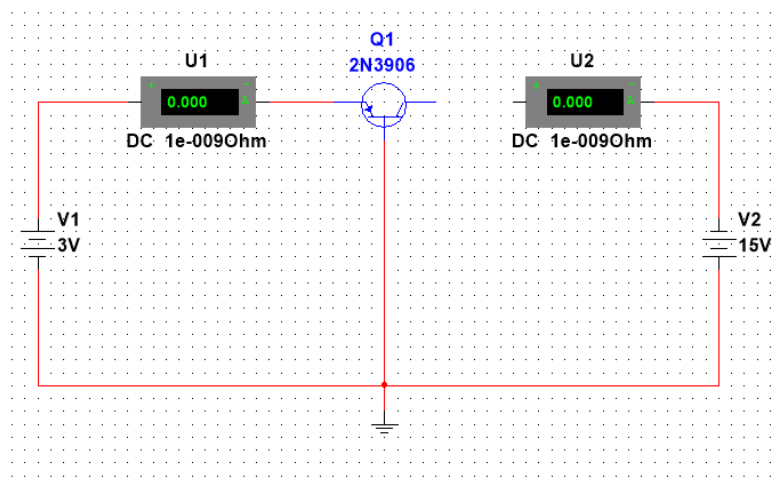




Рис. 2.6.18 – Від'єднання від колектору транзистора джерела V2

Далі, змінюємо номінал джерело живлення V1, від 0,1 до 1 В  (перше значення 0,1 В, проводимо дослід, натиснувши на кнопку емуляції та слідкуємо за показниками амперметра (U1 –ліворуч). У таблицю 6.2 записуємо значення. Після запису першого значення в таблиці 6.2, зупиняємо дослід, натиснувши 

Повторюємо дослід далі, кожного разу збільшуючи V1 на 0,1 і так до 1 В.

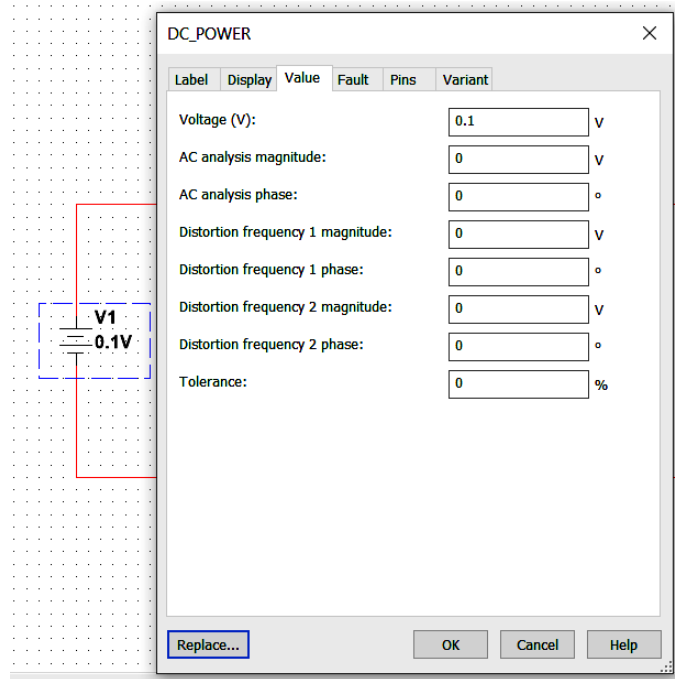


Рис. 2.6.19 – Змінення характеристик джерела V1

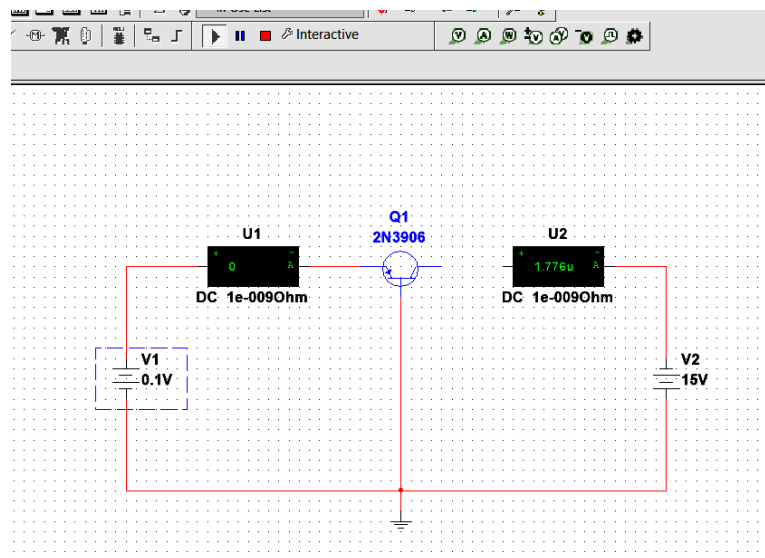


Рис. 2.6.20 – Проведення експерименту
(записуємо значення амперметра U1 в табл.6.2)

Повертаємо з'єднання колектора транзистора з джерелом живлення V2, номінал якого потрібно змінити на 10 В. Далі, значення V1 збільшуємо на 0,1 В від 0 до 1 В. Проводимо дослід, по аналогії з попереднім. Значення показника амперметра U1 записуємо у табл. 6.3.

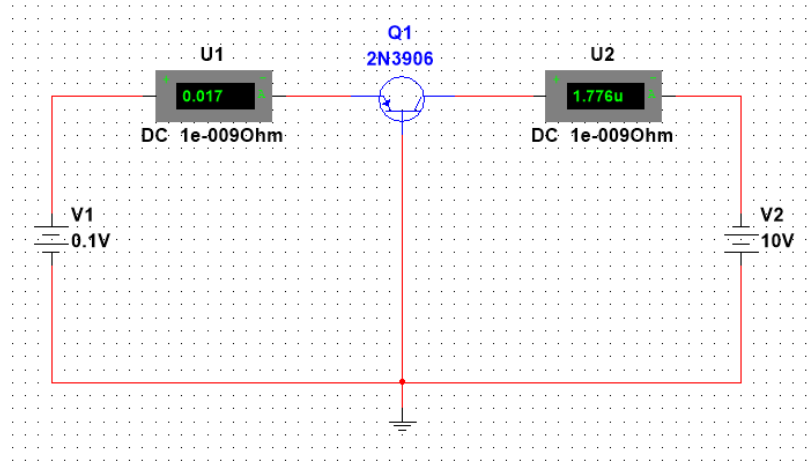


Рис. 2.6.21 – Зміна номіналу джерела живлення V2 на 10 В. Підключення до джерела живлення V2 колектора транзистора. Зміна величини напруги джерела живлення V1 на 0.1, і так до 1, перезапускаючи дослід кожного разу, коли було змінено напругу V1

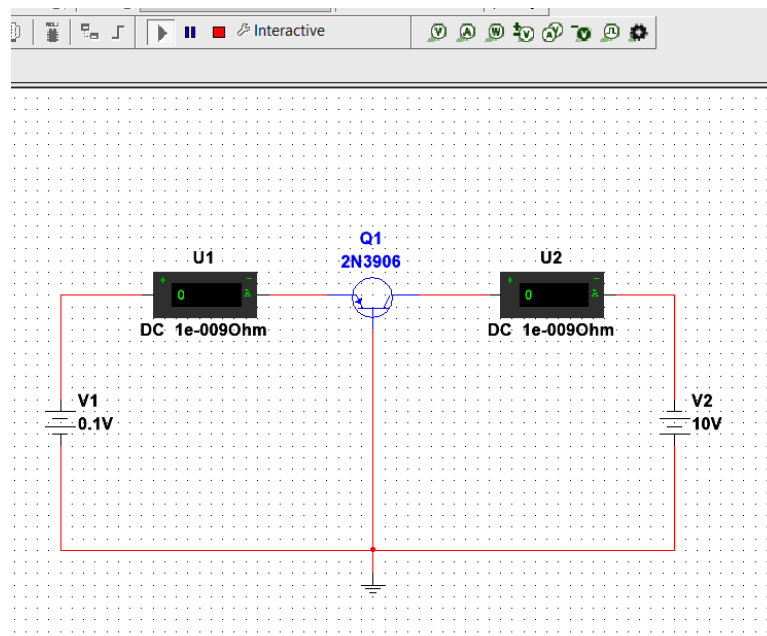


Рис. 2.6.22 – Проведення експерименту
(записуємо значення амперметра U1 в табл.6.3)

Виставити на джерело живлення V2 напругу – 4..5 В. Зняти показники приладів U1 і U2, але тепер їх потрібно переключити в режим роботи амперметром. Вони повинні показувати струм. Значення записати у таблицю 6.4).

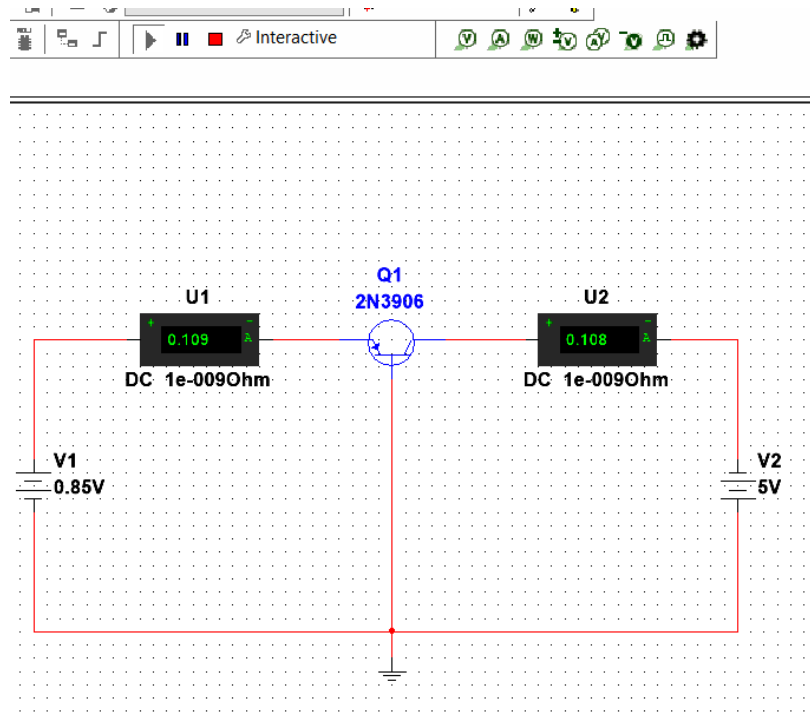


Рис. 6.22 – Проведення експерименту
(записуємо значення амперметра U2 в табл.6.4)

Контрольні питання до роботи

1. Що являє собою транзистор n-p-n типу?
2. Яку роль відіграє емітер, база і колектор в транзисторі?
3. Чому базу транзистора роблять тонкою?
4. Які носії заряду є основними і неосновними в емітерній, базовій і колекторній областях?
5. Для яких носіїв заряду колекторний перехід включається в зворотному напрямку?
6. Пояснити схожість між вхідними та вихідними характеристиками транзистора з одного боку і вольтамперної характеристикою діода – з іншого?
7. Як можна знайти величини вхідного і вихідного опорів транзистора?
8. Як можна визначити коефіцієнт підсилення транзистора по струму і напрузі?

Література: 6,7,9,10

2.7. Лабораторна робота № 7. Дослідження підсилювачів на МДН-транзисторах

Мета роботи: поглибити знання з теорії польових транзисторів, специфіки підсилювальних каскадів, уміти та досліджувати статичні характеристики для побудови лінії навантаження, динамічної вхідної характеристики й оптимального вибору режиму транзистора при посиленні гармонійних та імпульсних сигналів.

Компетентності:

- здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач
- здатність до письмової та усної комунікації українською мовою;
- уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- відповідальність за якість виконуваної роботи.
- володіння навичками роботи з комп'ютером для вирішення задач;
- засвоєння базових знань в галузі електроніки, необхідних для освоєння професійноорієнтованих дисциплін;
- базові знання наукових понять, теорій і методів, необхідних для розуміння принципів роботи та функціонального призначення систем електроніки та телекомунікації;
- здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язання типових задач, а також експлуатації електронних систем;
- здатність продемонструвати знання та навички щодо проведення експериментів, збору даних у електронних системах
- застосовувати знання технічних характеристик, конструкційних особливостей, призначення і правил експлуатації устаткування та обладнання для вирішення технічних задач;

Теоретичні відомості.

Підсилювальні каскади на польових транзисторах, на відміну від біполярних, керуються напругою, що прикладається до закритого р-п - переходу (в транзисторах з керуючим р-п - переходом) або між затвором і підкладкою (в МДП-транзисторах). Струм затвора в підсилюючих каскадах на польових транзисторах досить малий і для кремнієвих структур з керуючим р-п - переходом не перевищує 10 нА. Для МДП-транзисторів цей струм на кілька порядків менше. Для транзисторів з р-п - переходом вхідний опір на низьких частотах становить десятки мегом, а для МДП-транзисторів досягає десятків і сотень тера. З ростом частоти вхідний опір транзисторів істотно зменшується через вплив ємностей затвор-витік і затвор-стік.

Серед базових каскадів на польових транзисторах на практиці найбільшого поширення набули каскади із загальним витоком (аналог СЕ) і витоку повторювачі (аналог ЗК) (рис. 2.7.1). Вони відрізняються засобами реалізації статичного режиму: зміщення реалізується або за рахунок падіння напруги на резисторі в джерелі (рис. 2.7.1, а, в), або за рахунок подачі на затвор додаткової напруги (рис. 2.7.1, б, г). Беручи до уваги, що струм затвора польових транзисторів дуже малий, можна вважати в першому випадку напруга затвор-витік практично дорівнює напрузі опору.

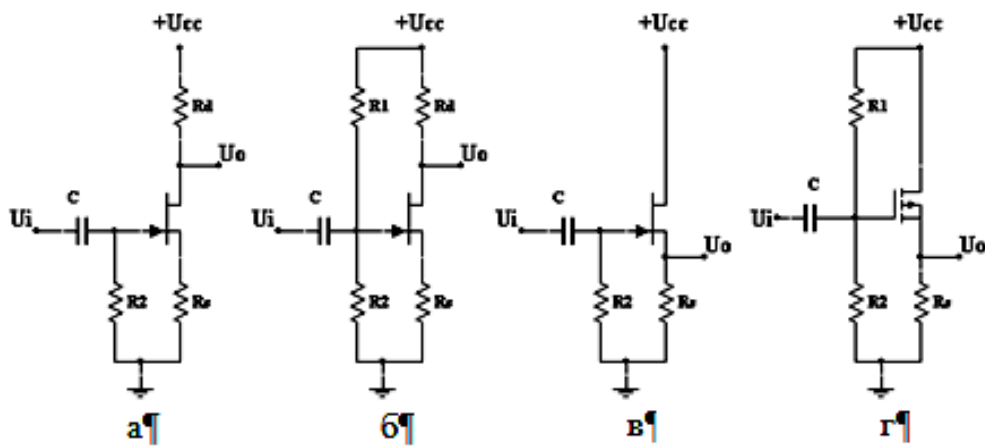


Рис. 2.7.1 Базові підсилювальні каскади на польових транзисторах

де:

- а) схема з ЗВ і реалізацією зсуву опором R_2 ;
- б) схема з ЗВ і реалізацією зсуву подільником напруги;
- в) схема з ЗС і реалізацією зсуву опором R_2 ;
- г) схема з ЗС і реалізацією зсуву подільником напруги

Для польового транзистора з керуючим р-п – переходом, який працює в широкому діапазоні температур, положення робочої точки може змінюватися через додаткове падіння напруги на резисторі R_2 , опір якого звичайно вибирається достатньо великим. Це пов'язано зі зміною зворотного струму р-п – переходу, який виконує роль затвору, зі зміною контактної різниці потенціалів затвор-канал і рухливості носіїв заряду в каналі.

Аналіз дестабілізуючих факторів, які викликають зміну струму стоку, показує, що при коливанні температури вони мають різні знаки і, відповідно, можлива їх взаємна компенсація. Точка, в якій за зміни температури зміна струму стоку мінімальна, називається температурно-стабільною точкою. Але ефективна компенсація можлива тільки в малому діапазоні температур. При цьому для польових транзисторів з ізольованим затвором температурно-стабільна точка відсутня взагалі.

Основним заходом підвищення температурної стабільності є збільшення глибини зворотного зв'язку. Це виконується за рахунок збільшення опору, що, в свою чергу, призводить до збільшення напруги зсуву. Як результат, при відносно малих напругах затвор-витік польові транзистори працюють близько режиму відсічки, де крутість характеристики мала.

Щоб уникнути цього недоліку, на затвор подається додаткова відкриваюча напруга від подільника напруги на резисторах (рис. 2.7.1, б, г). Це забезпечує роботу транзистора на ділянках з більшою крутістю.

Польові транзистори з індукованим каналом обов'язково повинні отримувати напругу зсуву від зовнішнього джерела, бо інакше транзистор буде закритим. Температурна стабілізація виконується за рахунок послідовного зворотного зв'язку, який здійснюють за допомогою опору.

Треба відмітити, що температурні зміни струму стоку в польових транзисторах значно менші за зміни в біполярних транзисторах. Тому, як правило, забезпечення необхідної температурної стабільності не викликає труднощів. Зворотній зв'язок, який виникає при цьому, нейтралізують шунтуванням резистора блокувальним конденсатором.

При аналізі підсилювальних каскадів на польових транзисторах оперують з крутістю характеристик і струмом стоку, які відповідають нульовій напрузі затвор-витік. При цьому характеристики польових транзисторів приблизно описуються виразами:

$$I_D = I_{D0} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right)^2 \quad (7.1)$$

$$S = \left(\frac{2I_{D0}}{U_{GS0}} \right) \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS0}} \right) \quad (7.2)$$

де I_D – поточне значення струму стоку, I_{D0} – початковий струм стоку за напруги відсічки U_{GS0} , S – поточне значення крутості характеристики, U_{GS} – поточне значення напруги затвор-витік.

Вхідний опір підсилювальних каскадів на рис. 2.7.1 в області середніх частот дорівнює опору резистора R_2 або $R_1 \parallel R_2$.

Вихідний опір каскаду з ЗВ дорівнює $R_d \parallel R_{dsd}$, де R_{dsd} – диференційний опір каналу стік-витік. Для каскадів ЗС за виконання припущень $S R_S \ll 1$; $S R_{dsd} \ll 1$ вихідний опір дорівнює $1/S$. Коефіцієнти підсилення за напругою каскадів ЗВ і ЗС визначаються за формулами:

$$K_{U_{ЗВ}} = S \cdot R_d^2 / (R_d + R_S) \quad (7.3)$$

$$K_{U_{ЗС}} = S \cdot R_S / (1 + S \cdot R_S) \quad (7.4)$$

Порядок виконання роботи

1. Запустіть Multisim. Підготуйте новий файл для роботи.
2. Зберіть схему запропоновану викладачем на рис. 2.7.2.

(згідно варіанту розставте потрібні параметри – таблиця 7.1)

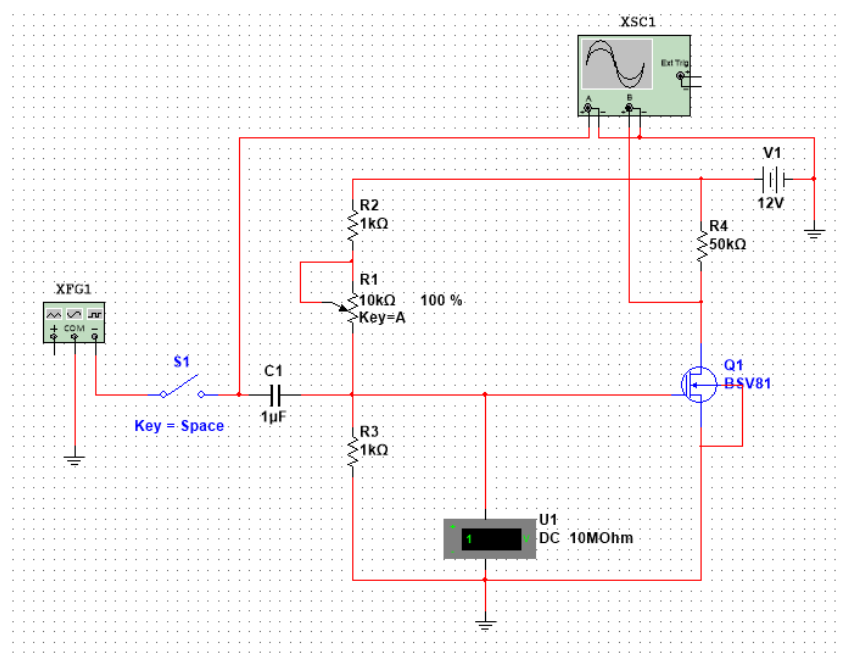


Рис. 2.7.2 – Схема для досліджень

Таблиця 7.1

№ п/п	R1	R2	R3	R4	№ п/п	R1	R2	R3	R4
1	10	1	1	50	21	16	1	1	50
2	12	2	2	48	22	10	2	2	48
3	10	3	3	46	23	12	3	3	46
4	8	1	1	52	24	8	1	1	52
5	6	3	3	50	25	10	3	3	50
6	10	2	2	48	26	12	2	2	48
7	16	1	1	46	27	8	1	1	46
8	14	3	3	52	28	6	3	3	52
9	10	2	2	50	29	10	2	2	50
10	6	1	1	48	30	12	1	1	48
11	10	3	3	46	31	10	3	3	46
12	12	2	2	52	32	8	2	2	52
13	10	1	1	50	33	6	1	1	50
14	8	3	3	48	34	12	3	3	48
15	12	2	2	46	35	16	2	2	46
16	8	1	1	52	36	10	1	1	52
17	12	3	3	50	37	8	3	3	50
18	10	2	2	48	38	12	1	1	48
19	8	1	1	46	39	8	2	2	46
20	6	3	3	50	40	16	1	1	50

3. З'єднайте контакти елементів і розташуйте елементи в робочій області для одержання необхідної вам схеми.

4. Початкові налаштування схеми:

- ключ розімкнено;
- опір потенціометра 100%;
- крок зміни опору потенціометра 20%;
- характеристики вхідного сигналу: форма – синусоїда, частота 1 кГц, амплітуда 1 В, зсув 0 В;
- настроювання осцилографа: часова шкала 1 мс/поділка, канал А 1 В/поділка, канал В 5 В/поділка, позиція Х та Y - 0, режими на входах DC.

5. Побудувати передавальну характеристику підсилювача.

Для цього:

- увімкнути моделювання;
- зафіксувати в протоколі вхідну і вихідну напруги;
- провести подібні виміри для всіх значень опору потенціометра;
- побудувати передавальну характеристику;
- вимкнути моделювання.

6. Дослідити роботу підсилювача на МДН- транзисторі при

подачі на вхід синусоїдального сигналу. Для цього:

- за допомогою клавіші «Space» замкнути ключ;
- потенціометр перевести в положення 100%;
- увімкнути моделювання;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол, зберігаючи їх положення відносно осей;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол при всіх інших положеннях потенціометра;
- вимкнути моделювання;
- порівняти і пояснити отримані результати.

7. Змінити налаштування схеми: на генераторі – форма сигналу

прямокутна, частота 10 кГц, скважність 50%, амплітуда 1 мВ; на осцилографі - часова шкала 100 мкс/поділка, канал А 1 В/поділка, канал В 5 В/поділка.

8. Дослідити роботу підсилювача на МДМ-транзисторі при

подачі на вхід прямокутних сигналів. Для цього:

- потенціометр перевести в положення 100%;
- увімкнути моделювання;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол, зберігаючи їх положення відносно осей;
- зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол при всіх інших положеннях потенціометра;
- вимкнути моделювання;
- порівняти і пояснити отримані результати.

9. Проаналізувати отримані результати, зробити висновки.

Алгоритм виконання лабораторної роботи засобами Multisim

Запустіть Multisim .

Підготуйте новий файл для роботи.

Зберіть запропоновану викладачем схему на рис.6.5

Для виконання даної лабораторної роботи потрібно підготувати відповідно до алгоритму виконання робіт за допомогою Multisim робочий простір для збирання схеми запропонованої викладачем. Далі натиснути «Place» вибрати надпис «Component» та обрати потрібні елементи, які вказуються в експериментів.

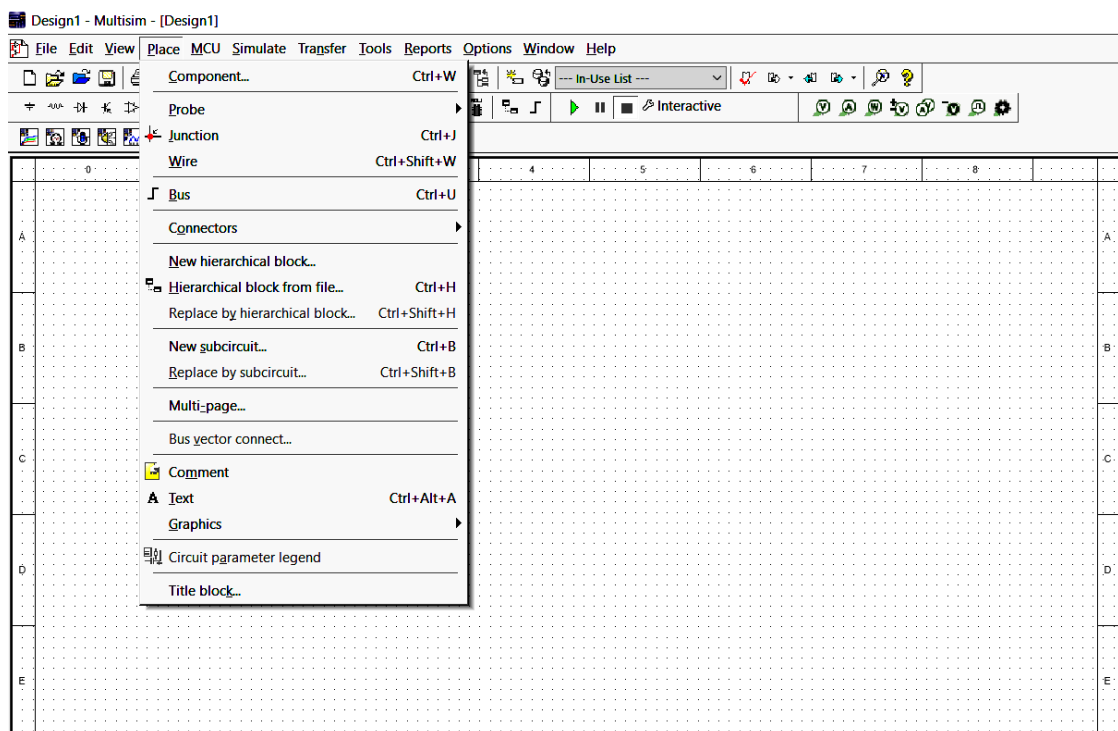


Рис. 2.7.3 – Середовище Multisim 14. Обрання у вкладці «Place» підпункт «Components»

Елементи схеми:

Генератор сигналів (кількість –1) - знаходиться ліворуч, на панелі інструментів

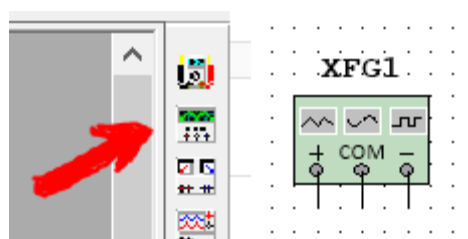


Рис. 2.7.4 – Обрання та вигляд генератору сигналів

Налаштування генератора сигналів: після подвійного натискання на піктограму з'явиться вікно налаштування: (форма – синусоїда, частота 1 кГц, амплітуда 1 В, зсув 0 В)

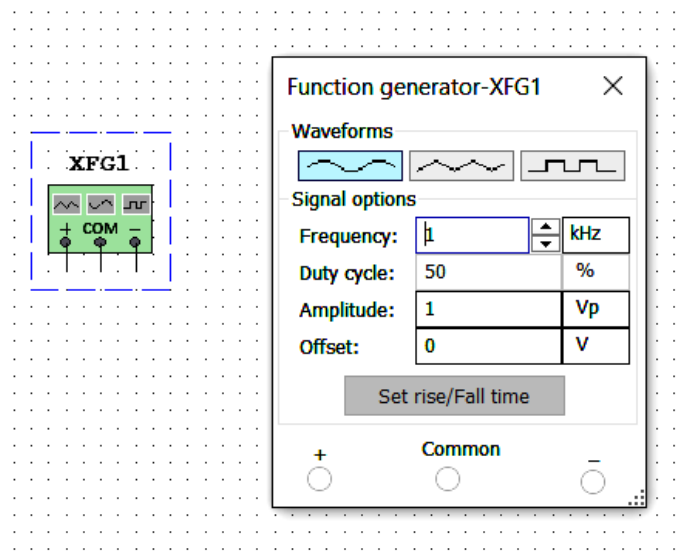


Рис. 2.7.5 – Налаштування генератора сигналів

Заземлення (кількість – 3) - знаходиться у вкладці Source:

«Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «Sources» → «Ground»

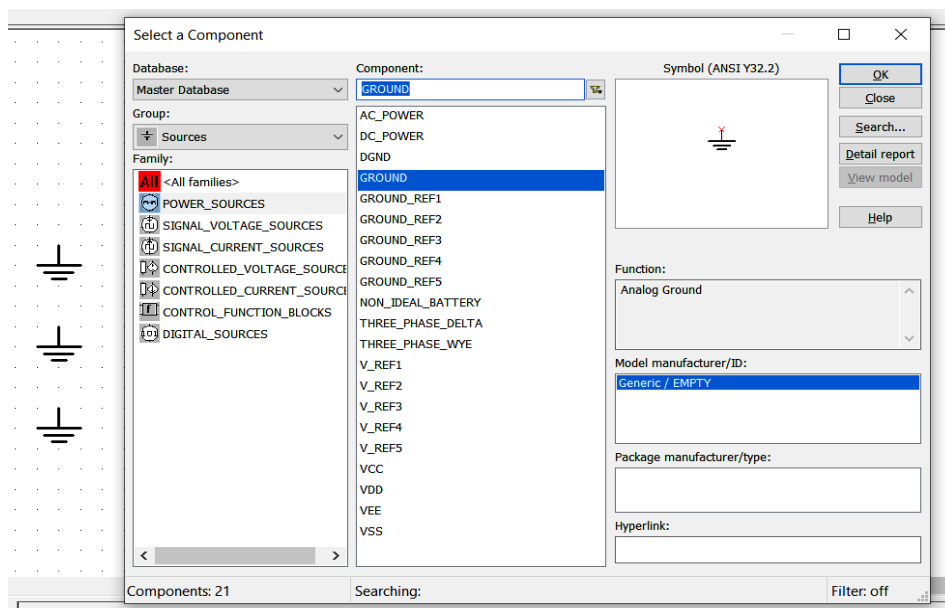


Рис. 2.7.6 – Заземлення

Перемикач (кількість – 1) Switch: «Master database» → «Basic» → «Switch»

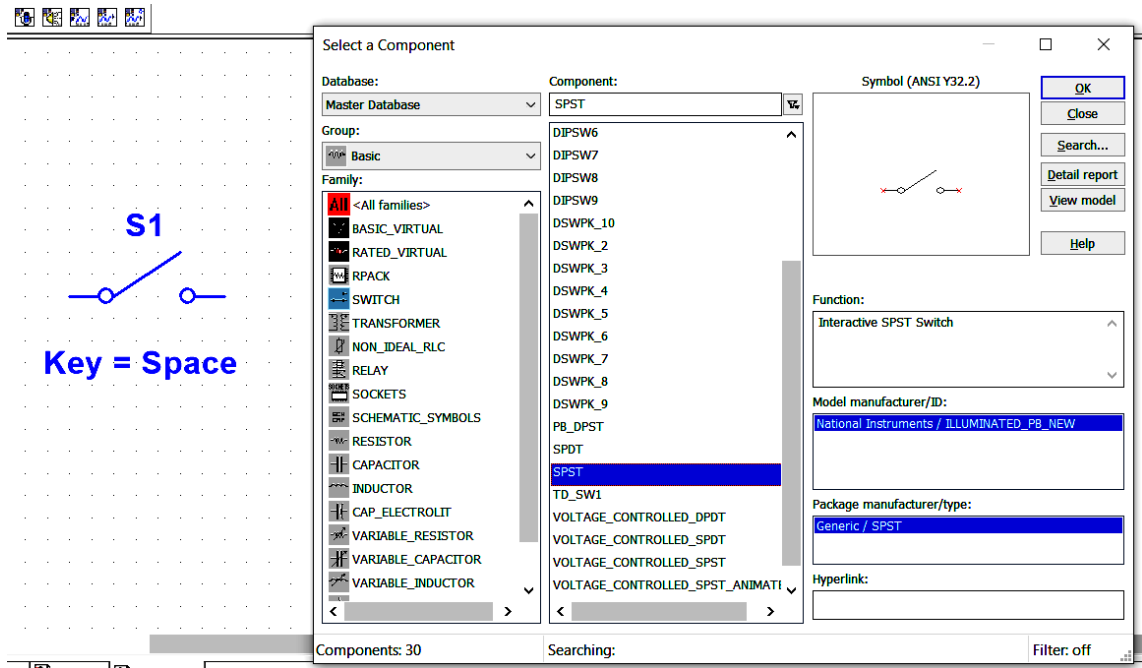


Рис. 2.7.7 – Перемикач

Конденсатор (кількість – 1) «Master database» → «Basic» → «Capacitor»

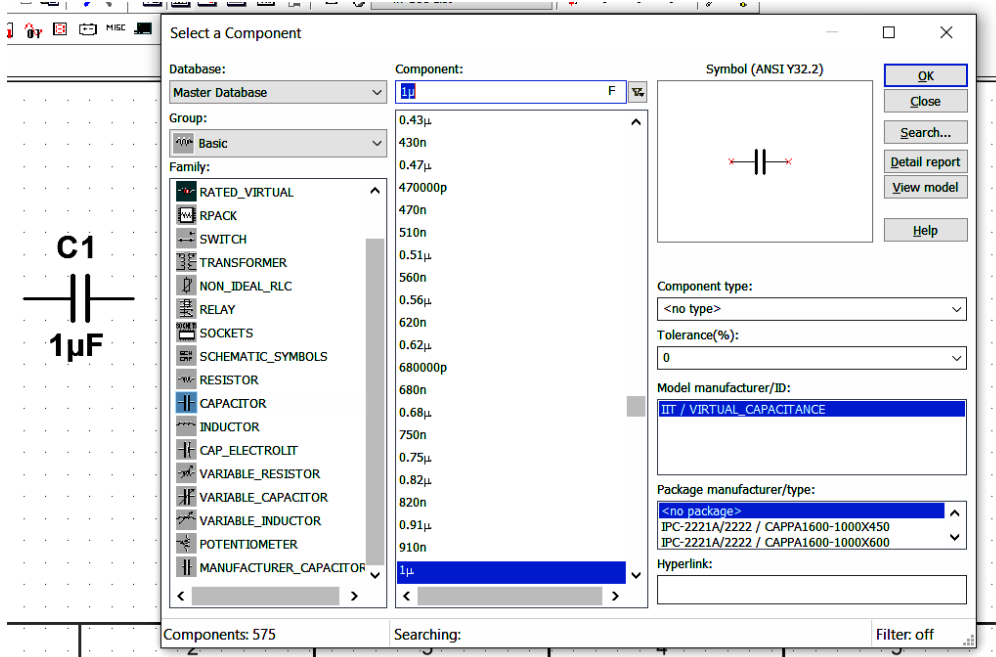


Рис. 2.7.8 – Конденсатор (однаковий для всіх варіантів)

Потенціометр (кількість – 1): «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Basic» → «Potentiometer».

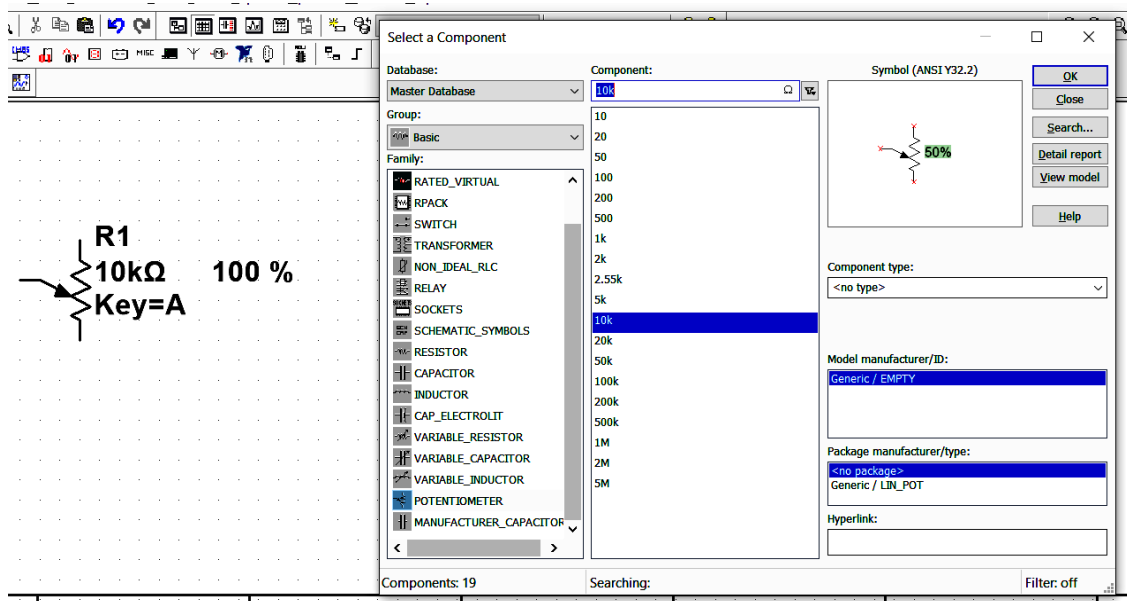


Рис. 2.7.9 – Потенціометр (згідно з варіантом)
(опір потенціометра 100%)

Примітка: Крім виставлення величини опору, потрібно змінити крок зміни опору (для всіх варіантів)

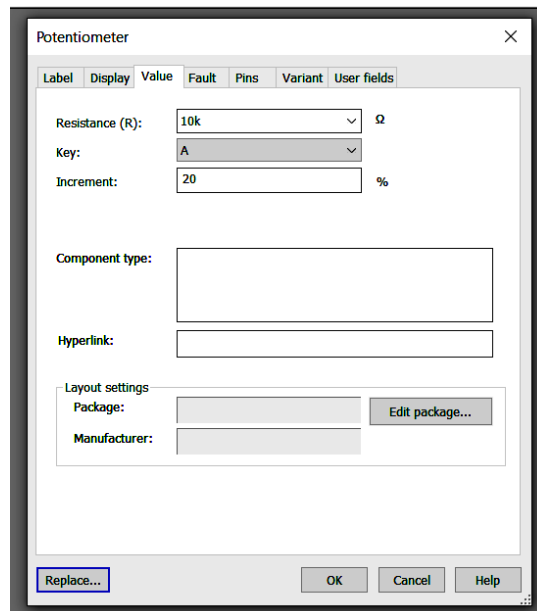


Рис. 2.7.10 – Налаштування потенціометра (згідно з варіантом)
(крок потенціометра 20%)

Резистор (кількість – 3): «Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «Basic» → «Resistor».

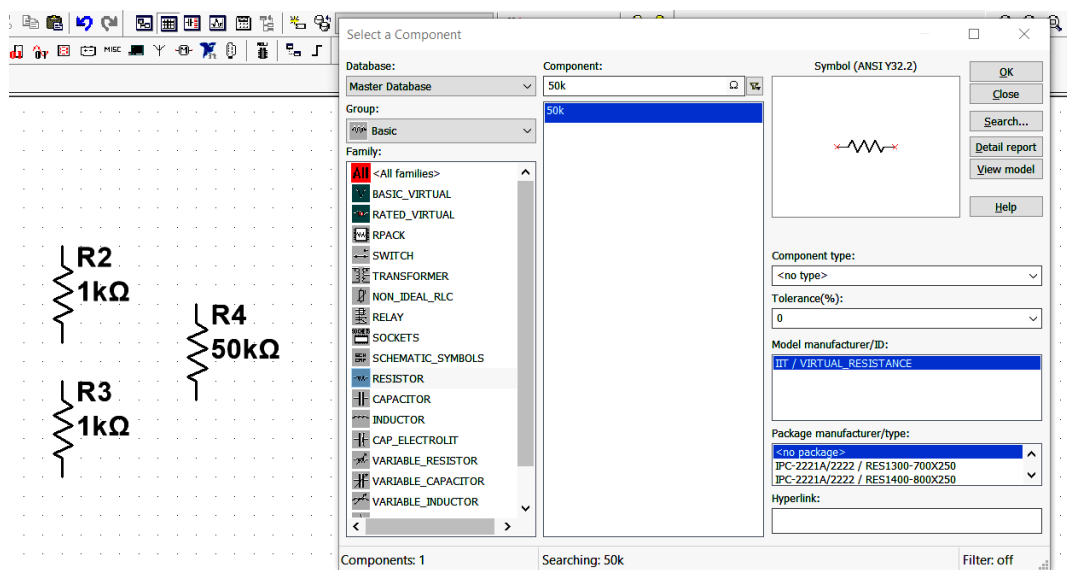


Рис. 2.7.11 – Резистор (згідно з варіантом)

Примітка: кожен резистор розвернути (ЛКМ на потрібний резистор та комбінація клавіш Ctrl+R)

Цифровий Вольтметр (кількість – 1): «Place» підпункт «Components»→ «Master database» → «All groups» → «All families» → «Voltmeter_V»

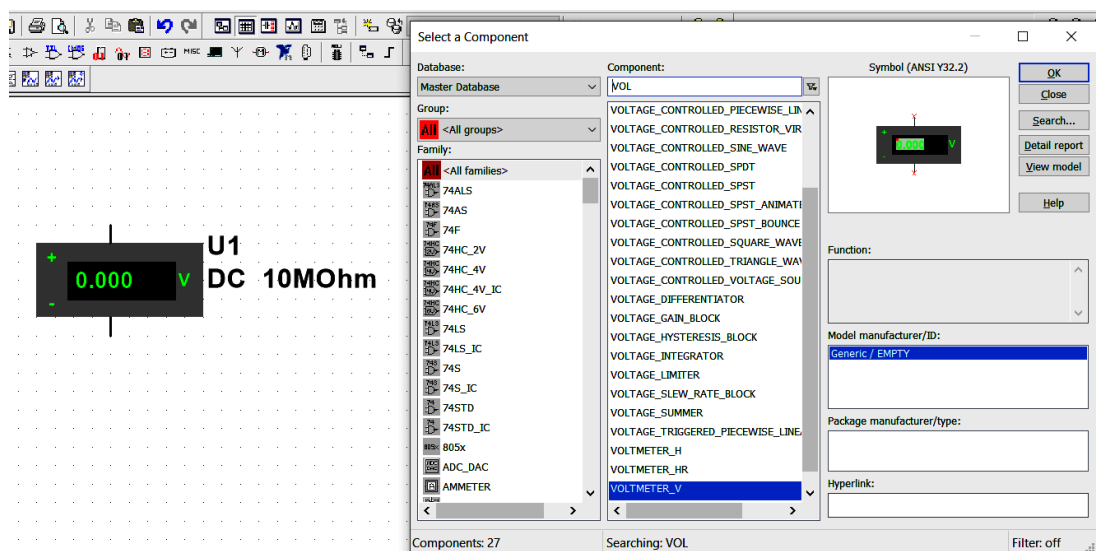


Рис. 2.7.12 –Цифровий Вольтметр

Постійне Джерело напруги (кількість – 1) «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «Source» → «DC power»

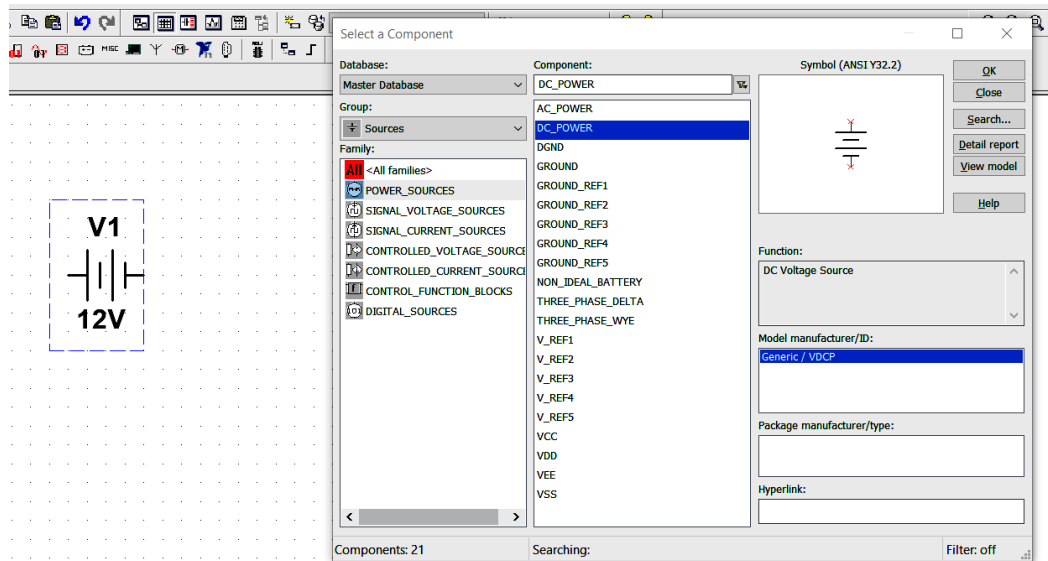


Рис. 2.7.13 – Постійне Джерело Струму

МДН – Транзистор BSV81 (кількість – 1) «Place» підпункт «Components» → «Master database» → «All groups» → «All families» → «BSV81»

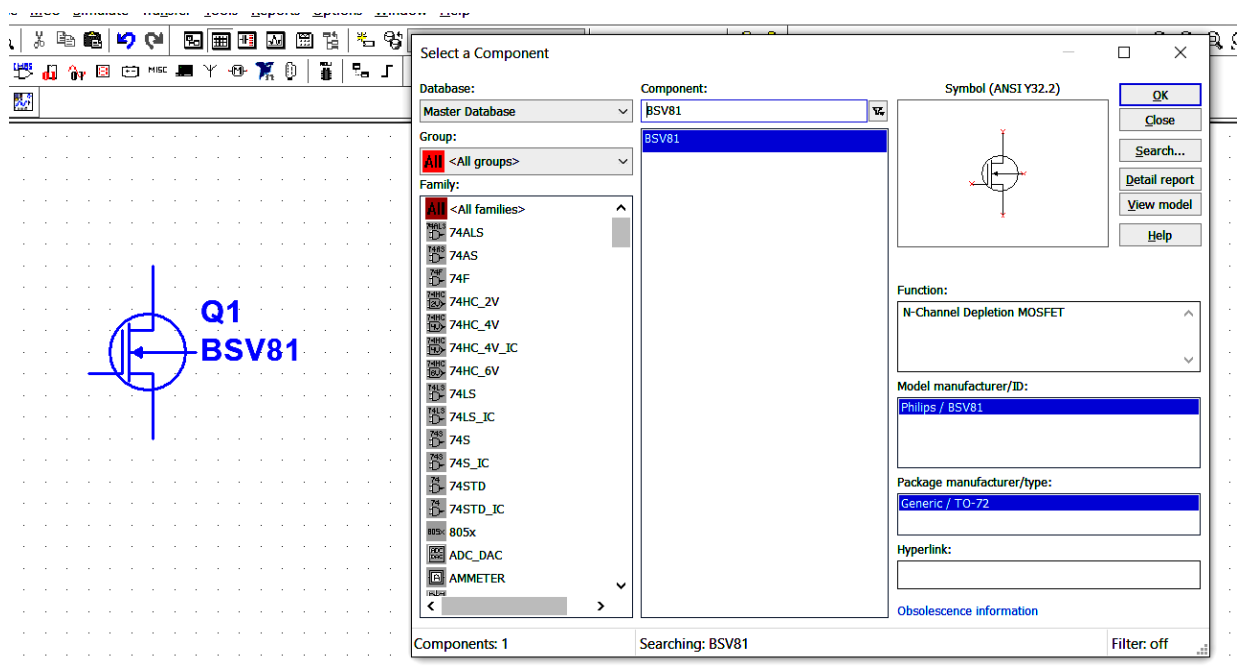


Рис. 2.7.14 – МДН – Транзистор BSV81

(однаковий для всіх варіантів)

Осцилограф (кількість – 1) – знаходиться справа на вертикальній панелі приладів



Рис. 2.7.15 – Обрання осцилографу

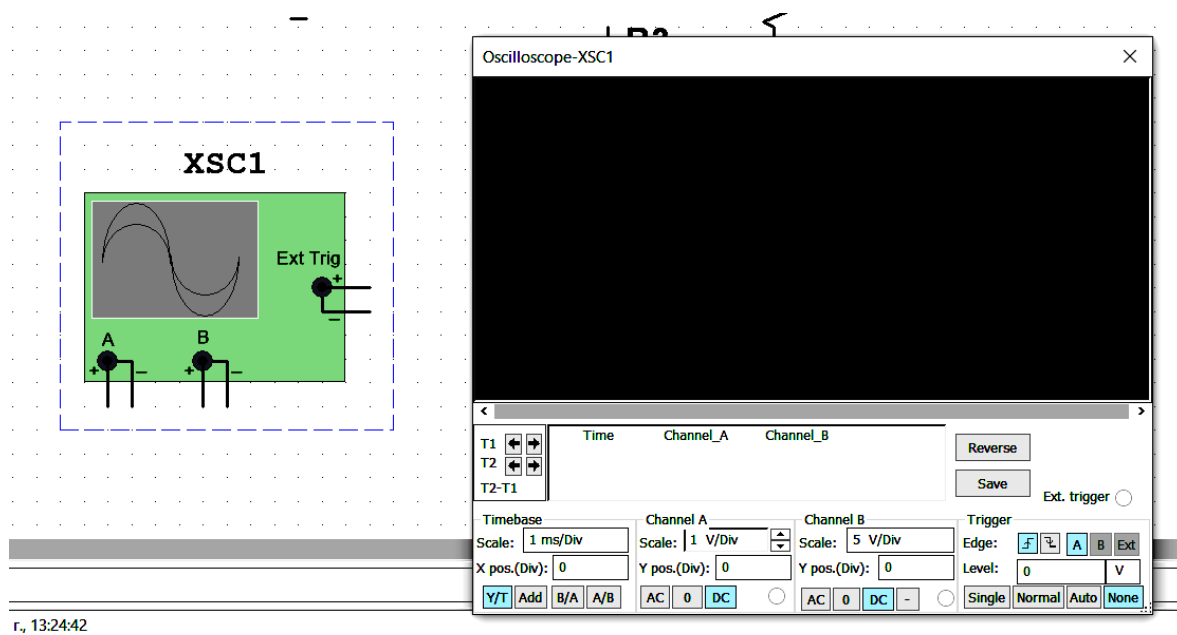


Рис. 2.7.16 – Налаштування осцилографу
(часова шкала 1 мс/поділка, канал А 1 В/поділка,
канал В 5 В/поділка, позиція Х та Y - 0, режими на входах DC)

Збираємо схему

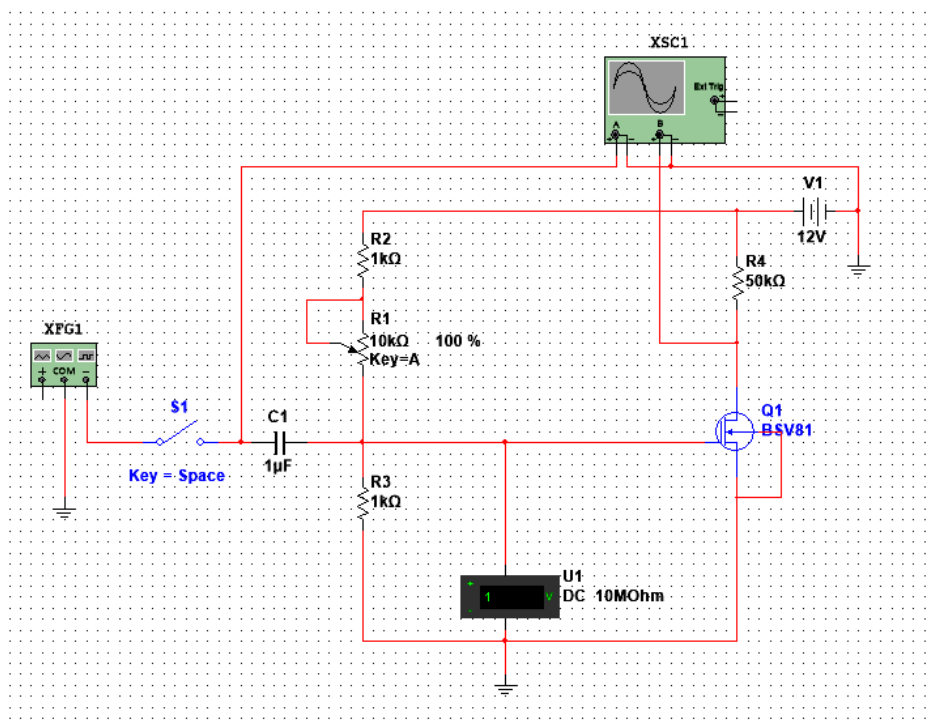




Рис. 2.7.17 – Зібрана схема

Будуємо передавальну характеристику підсилювача.

Для цього спочатку натискаємо на осцилограф та натиснувши  починаємо дослідження, після чого відразу змінюємо опір потенціометра, плавно від 0 до 100 %. Після проведення досліджу, натиснувши на , підводимо підсумки.

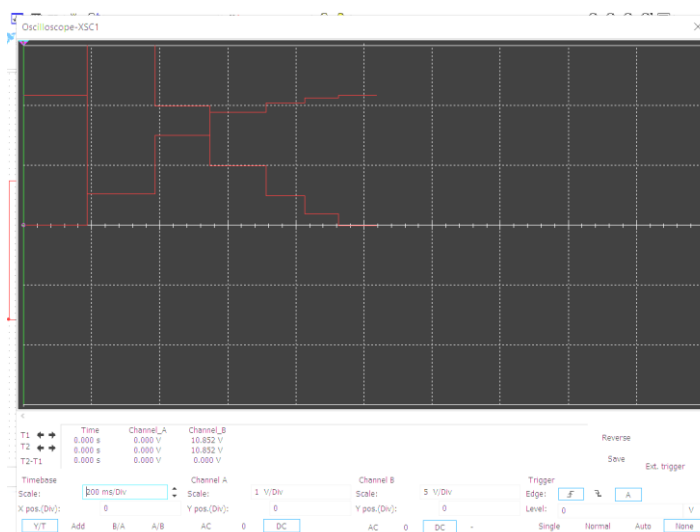




Рис. 2.7.18 – Побудова характеристики та визначення початкових та кінцевих значень вхідної і вихідної напруги

Приклад зняття початкових та кінцевих значень $U_{ВХ}$ та $U_{ВНХ}$:

- Початкове та кінцеве значення для А каналу – 0 В
- Початкове та кінцеве значення для В каналу - 10.852 В та 0 В

Досліджуємо роботу підсилювача на МДН-транзисторі при подачі на нього синусоїдального сигналу. Для цього за допомогою клавіші Space замикаємо ключ S1, потенціометр переводимо в положення 100 % (змінюємо під час досліду від 0 до 100%, зафіксувавши це сканом). Для цього спочатку натискаємо на осцилограф та натиснувши  починаємо дослідження. Після проведення досліду, натиснувши на , підводимо підсумки.

Приклад фіксування синусоїдальних сигналів при всіх положеннях потенціометра:

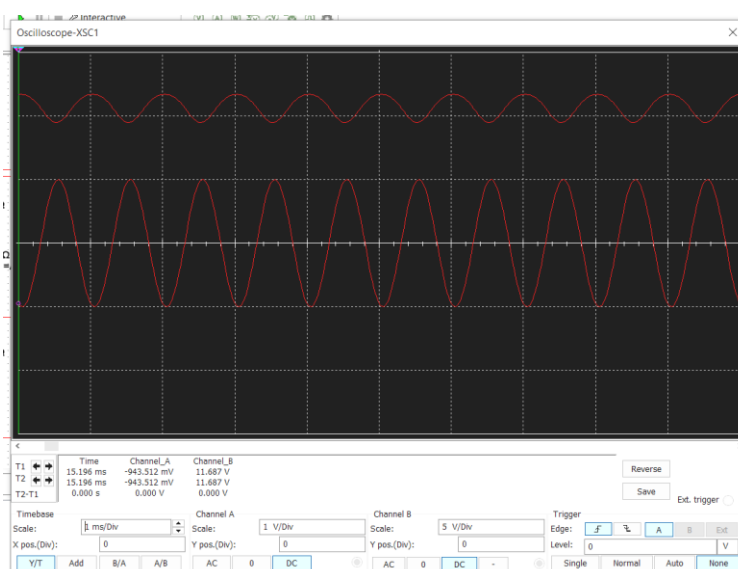


Рис. 2.7.19 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 100%

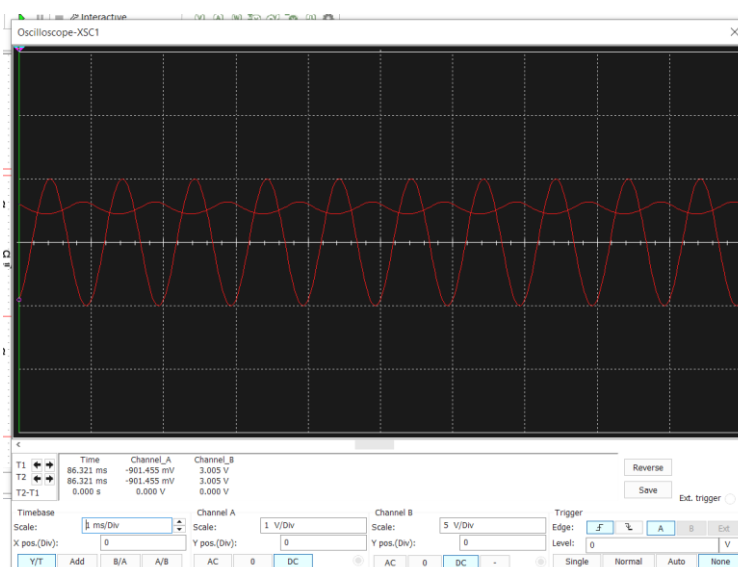


Рис. 2.7.20 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 0%

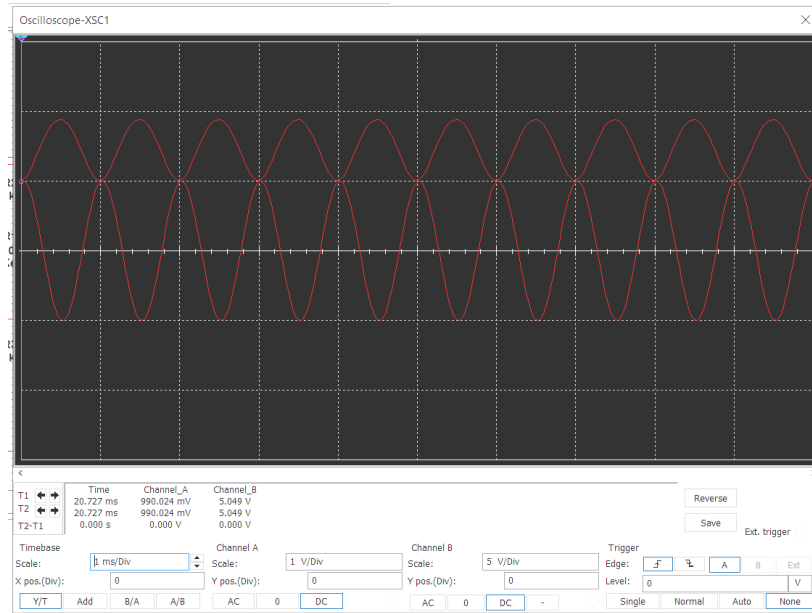


Рис. 2.7.21 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 20%

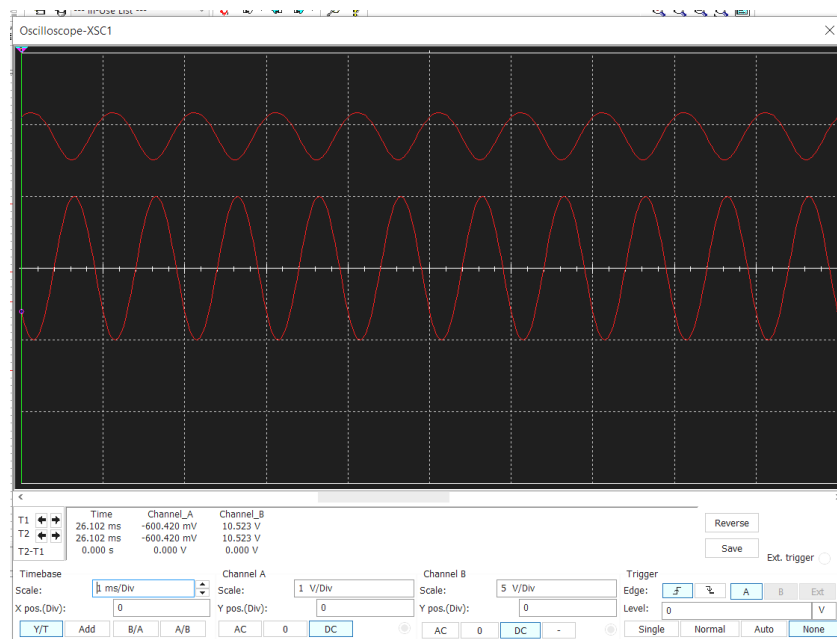


Рис. 2.7.22 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 40%

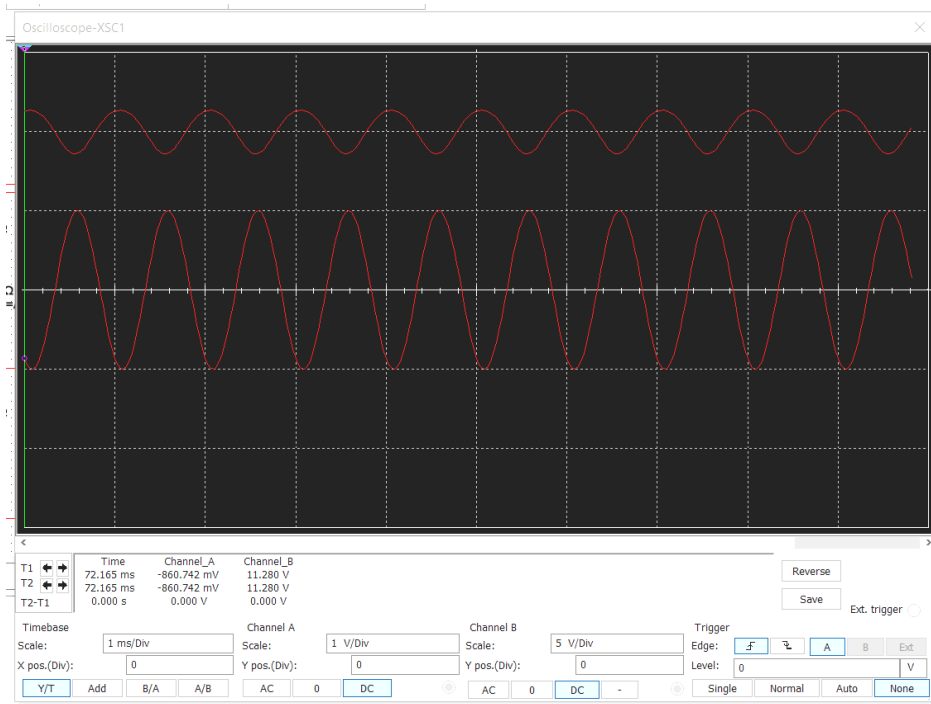


Рис. 2.7.23 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 60%

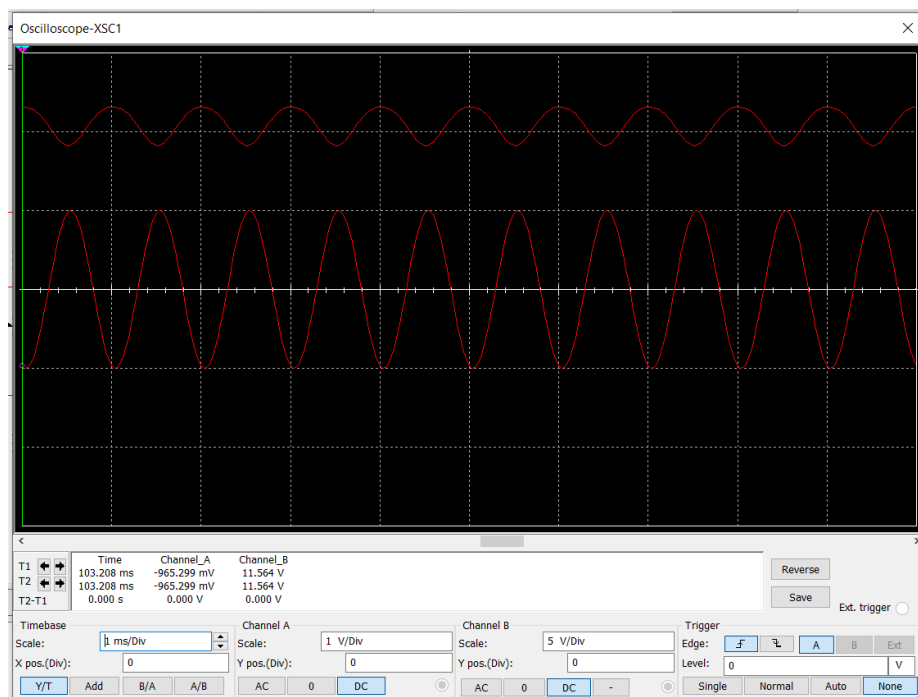






Рис. 2.7.24 – Синусоїдальний сигнал при положенні потенціометра – 80%

Досліджуємо роботу підсилювача на МДН-транзисторі при подачі на нього синусоїдального сигналу. Для цього за допомогою клавіші Space замикаємо ключ S1, потенціометр переводимо в положення 100 % (змінюємо під час досліду від 0 до 100%, зафіксувавши це сканом). Для цього спочатку натискаємо на осцилограф та натиснувши  починаємо дослідження. Після проведення досліду, натиснувши на , підводимо підсумки.

Для останнього досліду потрібно налаштувати схему:

- на генераторі сигналів – виставити форму сигналу прямокутну, частоту 10 кГц, скважність 50%, амплітуду 1 мВ;
- на осцилографі – часову шкалу 100 мкс/поділлка, канал А – 1 В/поділлка, канал В – 5 В/поділлка.

Далі, досліджуємо роботу підсилювача на МДН – транзисторі при подачі на нього прямокутного сигналу. Для цього за допомогою клавіші Space замикаємо ключ S1, потенціометр переводимо в положення 100 % (змінюємо під час досліду від 0 до 100%, зафіксувавши це сканом). Для цього спочатку натискаємо на осцилограф та натиснувши  починаємо дослідження. Після проведення досліду, натиснувши на , закриваємо Multisim та проводимо підсумки.

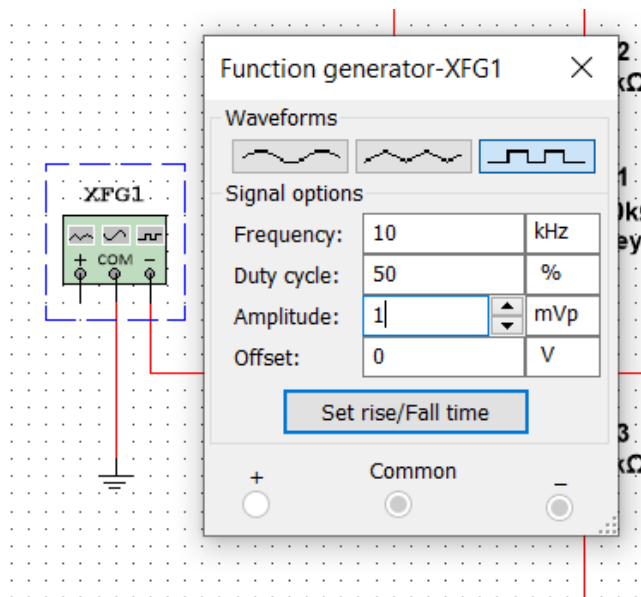


Рис 2.7.25 – Зміна налаштувань на Генераторі Сигналів
(для всіх варіантів – однаково)

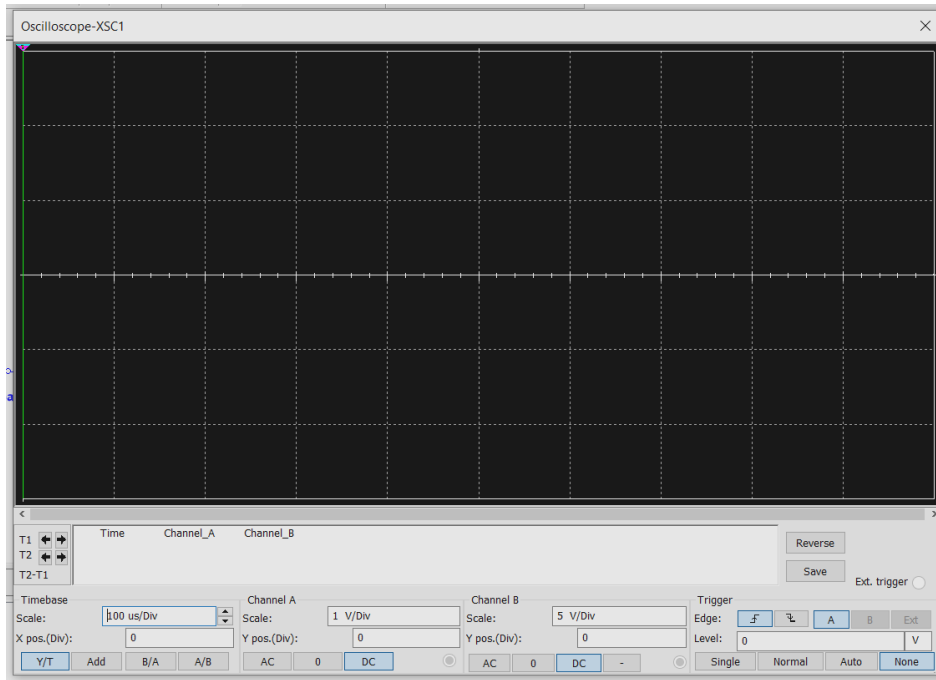


Рис 2.7.26 – Зміна налаштувань на Осцилографі
(для всіх варіантів – однаково)

Приклад фіксування прямокутних сигналів при всіх положеннях потенціометра (на одному графіку):

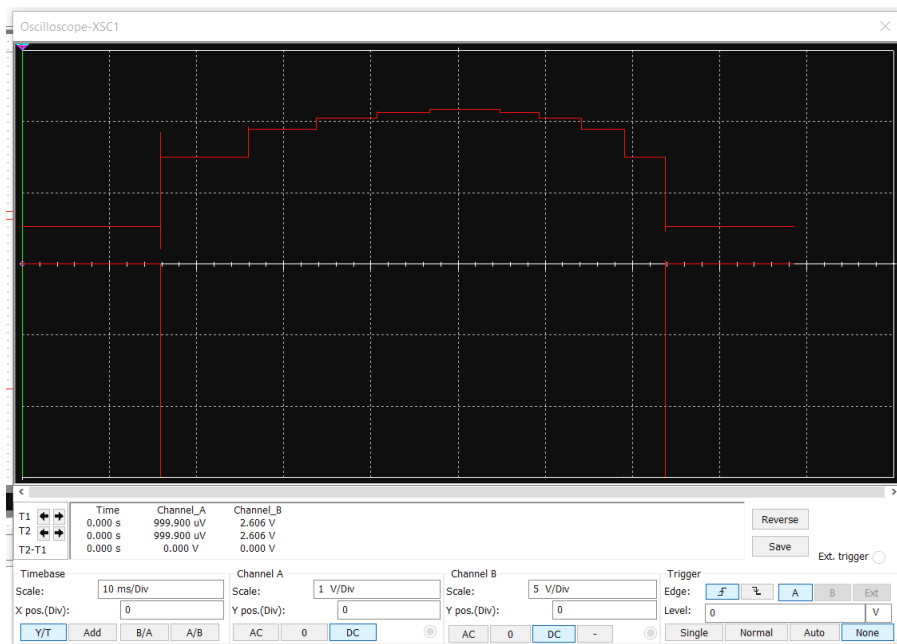


Рис. 2.7.27 – Прямокутний сигнал
під час зміни потенціометра від 0 до 100%

Контрольні питання до роботи

1. Нарисуйте підсилювальну ланку на біполярному транзисторі з ЗВ і ЗС і поясніть призначення елементів.
2. Для чого потрібний зворотній зв'язок в колі витоку?
3. На якій ділянці вольт-амперних характеристик повинен працювати транзистор для досягнення найбільшого коефіцієнта підсилення?
4. Поясніть роботу підсилювальної ланки на МДН-транзисторі.
5. Переваги та недоліки підсилювальної ланки на МДН-транзисторі.
6. Перелічіть особливості роботи МДН-транзистора у ключовому режимі.

Література: 3, 5, 6,7,9,10

Список умовних скорочень

IS – зворотний струм діода, А;

RS – об'ємний опір, Ом;

CJO - бар'єрна ємність р-п переходу при нульовій напрузі, Ф;

VJ – контактна різниця потенціалів, В;

TT – час переносу заряду, с;

M – конструктивний параметр р-п переходу;

BV – напруга пробою, В; для стабілітронів замість цього параметра використовується параметр

VZT – напруга стабілізації;

N – коефіцієнт інжекції;

EG – ширина забороненої зони, еВ;

XTI – температурний коефіцієнт струму насичення;

KF – коефіцієнт флікер-шуму;

AF – показник ступеня в формулі для флікер-шуму;

FC – коефіцієнт нелінійності бар'єрної ємності прямозмщеного переходу;

IBV – початковий струм пробою при напрузі BV, А; для стабілітронів замість цього параметра використовується параметр

IZT – початковий струм стабілізації;

TNOM – температура діода, °С.

АЧХ - амплітудно-частотна характеристика.

БТ - біполярний транзистор.

ВАХ - вольт-амперна характеристика.

ДТЛ - діодно-транзисторна логіка.

З - затвор.

В- витік.

ДВЕ - джерело вторинного електроживлення.

ДОН - джерело опорної напруги.

К – колектор

Е – емітер

Б – база

КОСС - коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу.

ЛЕ - логічний елемент.

МДП - метал-діелектрик-напівпровідник.

СБ - спільна база.

СВ - спільний витік.

СК - спільний колектор.

НЗЗ - негативний зворотний зв'язок.

ЗЗ - зворотний зв'язок.

ОП - операційний підсилювач. **СЕ** - спільний емітер.

ПГП - програмований генератор прямокутних імпульсів.

ПЗЗ - позитивний зворотний зв'язок.

ПТ - польовий транзистор.

РЕ - регулюючий елемент.

С - стік.

СДП - симетричний диференціальний підсилювач.

СТ - складений транзистор.

ПШЕ - порівнюючий і підсилювальний елемент.

СЧ - середні частоти.

ТКН - температурний коефіцієнт напруги.

ТТЛ - транзисторно-транзисторна логіка.

ППС - підсилювач постійного струму.

ФЧХ - фазо-частотна характеристика.

Список літератури:

1. Готра З. Ю., Технологія електронної техніки: навчальний посібник, Львів: Видавництво «Львівська політехніка», 2014. 888с.
2. Калашников С. Г. Електрика. М., Физматлит. 2004.
3. Каташлян А.С. Електротехніка і електроніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної форми навчання напрямку «інженерна механіка» Хмельницький: ХНУ, 2014.32с.
4. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка та мікросхемотехніка: підручник 2-е вид. К.: Каравела, 2009. 416 с.
5. Кирина М., Фомина К. Описание программы Multisim 33с
6. Марченко А. Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов. М., ДМК Пресс, 2009, 294 с
7. Медведенко Б.І. Напівпровідникові прилади: підручник. К.: Кондор, 2008. 553с.
8. Поплавко Ю.М. Мікроелектроніка і наноелектроніка, Лисенко В.П. Вступ до спеціальності: навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2015, 160с.
9. Стахів П.Г. Основы електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів. Магнолія плюс, 2013, 208с
10. Чешко І.В. Вступ до спеціальності «Електроніка»: навчальний посібник. Суми Сумський державний університет, 2017,148с.
11. Щупляк Н.М. Основы електроніки і мікроелектроніки Електр. підручник. <http://dmtc.org/wp-content/uploads>
12. Електроніка, мікроелектроніка та наноелектроніка
[URL:http://yatskova.vtc.vn.ua](http://yatskova.vtc.vn.ua)