

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра комп'ютерної інженерії

«Дослідження застосовності програмного забезпечення для виконання циклу  
лабораторних робіт з курсів схемотехніки та електроніки»

Кваліфікаційна робота бакалавра  
студента 4 курсу

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

Факультету радіофізики, електроніки  
та комп'ютерних систем

Гулівець Владислав Андрійович

Науковий керівник,

Кандидат технічних наук, асистент

Олександр БОРЕЦЬКИЙ

Рецензент:

Кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри електрофізики

Іван КОЛОМІЄЦЬ

\_\_\_\_\_ (підпис)

До захисту допускаю

Протокол засідання кафедри від

\_\_\_\_\_ 2022р. № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри

к.ф.-м.н., доцент, “ \_\_\_\_\_ ”

Юрій БОЙКО

## РЕФЕРАТ

Звіт бакалаврської дипломної роботи за об'ємом складає 54 сторінок, містить 57 рисунків, 2 таблиці, 1 додаток, використано 8 інформаційних джерел.

Предметом використання бакалаврської дипломної є курс лабораторних робіт з дисциплін схемотехніки та електроніки. Було обрано 13 лабораторних робіт, що охоплює ці курси. Кожна лабораторна робота була повністю проаналізована.

Об'єктом дослідження стали наявні програмні засоби як засіб для опрацювання та удосконалення своїх навичок у проектуванні електричних схем.

Предметом дослідження дипломної роботи є відомі програмні забезпечення, що мають у своєму функціоналі симуляції роботи мікросхем, плат, електричних приборів тощо. Було оглянуто та проаналізовано 5 програмних засобів для виконання поставлених схемотехнічних завдань.

Основною задачею дипломної роботи є огляд вже наявних програмних засобів, для виконання лабораторних робіт зі схемотехніки та електроніки та вибір найбільш доцільного з них для роботи.

Ключові слова : схемотехніка, електроніка, circuit design, schemas, програмне забезпечення, моделювання, CAD, симуляція, моделювання.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	5
1.1 Огляд лабораторних робіт з курсів схемотехніки та електроніки .....	5
1.2 Вимоги до програмного забезпечення для вирішення схемотехнічних завдань.....	11
1.3 Види наявних програмних засобів .....	12
2. ГОЛОВНИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Огляд програми Proteus .....	14
2.2 Огляд програми KiCad.....	16
2.3 Огляд програми Micro-Cap.....	17
2.4 Огляд програми QUCS .....	18
2.5 Огляд програми Multisim .....	19
2.6 Виконання лабораторних робіт у програмних засобах.....	21
2.7 Порівняльна характеристика програмних засобів.....	46
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ТА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	53

## ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що існує велика кількість різних програмних засобів, що можуть бути використаними для виконання лабораторних робіт. Незамінним сучасним інструментом для виконання схемотехнічних рішень є програми для симуляції роботи електричних схем та їх модулювання. Якісна і стабільна програма для виконання симуляцій – це запорука успішної реалізації подальших кроків при розробці складних електричних систем. Єдина помилка, неточність вихідних даних може повністю унеможливити усю подальшу роботу. Якщо отримані схеми за допомоги програми видають неправильні дані, то і сама схема ніколи не буде виконувати вірно свою роботу. Спираючись на все це існує велика потреба у стабільному програмному забезпеченні, що буде мати увесь функціонал для вирішення поставлених задач.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Огляд лабораторних робіт з курсів схемотехніки та електроніки

Було обрано 2 курси лабораторних робіт, що обидва потребують використання програм для симуляції роботи схем. Нижче приведений список лабораторних робіт з їх оглядом. [1][2][3]

### Курс схемотехніки

Лабораторна 1. «Моделювання роботи інтегруючої та диференціюючої RC-комірок під дією послідовності імпульсів»

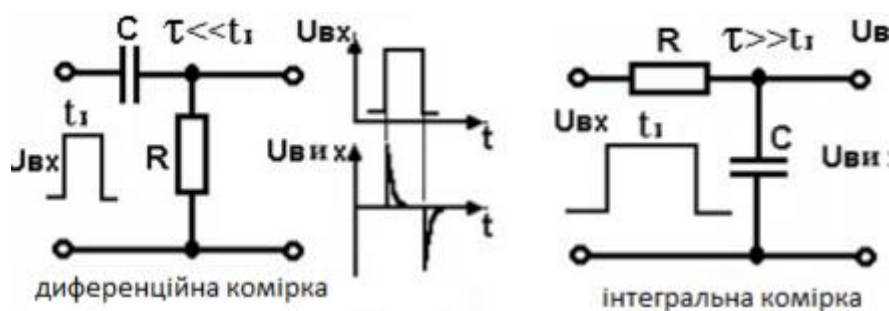


Рисунок 1. Схема RC-комірок

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, джерела струму, конденсатора та землі. Подібні компоненти наявні у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Також необхідним є засіб для відстежування роботи цих комірок та перевірки правильності її роботи. [4]

Лабораторна 2. «Послідовні та паралельні діодні обмежувачі амплітуди»

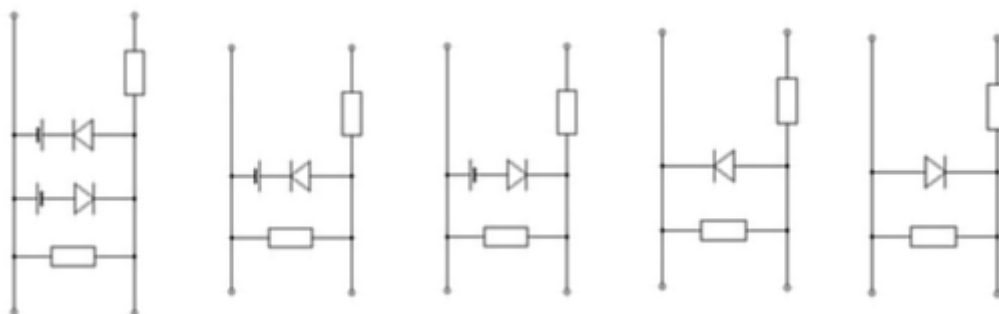


Рисунок 2. Схеми діодних обмежувачів

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, джерела струму, діоди різних характеристик та землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Також необхідним є засіб для відстежування роботи схем.

### Лабораторна 3. «Логічні елементи як базові основи різних схемотехнічних рішень»

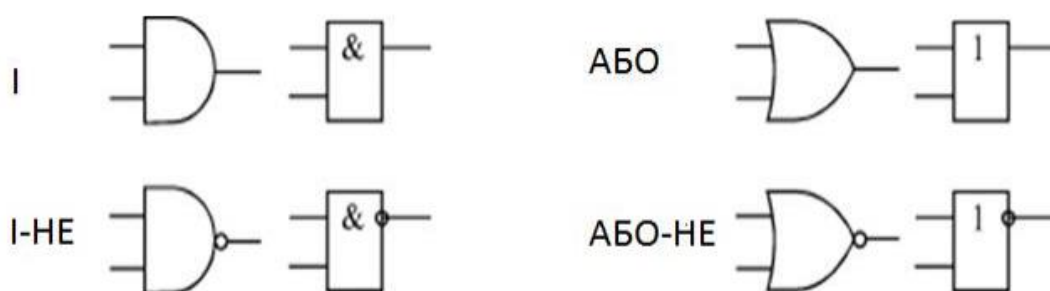


Рисунок 3. Логічні елементи

В цій лабораторній роботі потрібно проаналізувати роботу логічних елементів I, АБО, I-НЕ, АБО-НЕ, XOR. Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні різних логічних елементів, джерела струму та землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Також необхідним є засіб для відстежування роботи схем.

### Лабораторна 4. «Основні параметри серій ІМС»

В цій лабораторній роботі потрібно проаналізувати роботу цифрових інтегральних мікросхем, зробити їх порівняльний аналіз, порівняти різні серії цифрових ІМС. Для виконання цієї лабораторної роботи не потрібна наявність у програмному забезпеченні інтегральних мікросхем. Лабораторна робота виконується звичайним аналізом технічної документації у відкритих джерелах.

## Лабораторна 5. «Узгодження логічних рівнів різних серій ІМС»

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, джерела струму, резистору, діоду, стабілітрону та оптрону, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Також необхідним є засіб для відстежування роботи схем.[5]

## Лабораторна 6. «Основи синтеза цифрових схем. Дешифратор та шифратори.»

Результатом виконання цієї роботи є синтез шифратора або дешифратора за допомогою цифрової схеми. Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні джерела струму, логічних елементів. Описи роботи логічних елементів наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Також необхідним є засіб для відстежування роботи схем.[6]

## Лабораторна 7. «Вивчення різних режимів роботи мікросхеми-таймера NE555»

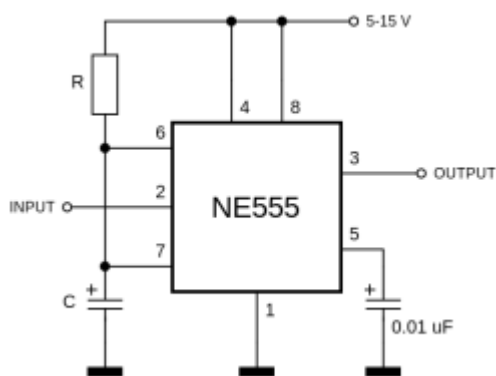


Рисунок 4. Схема таймера NE555

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, конденсатора, землі та мікросхеми-таймера NE555. NE555

наявний не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем.  
[7]

### Курс електроніки:

#### Лабораторна 1. «Дослідження напівпровідникових транзисторів»

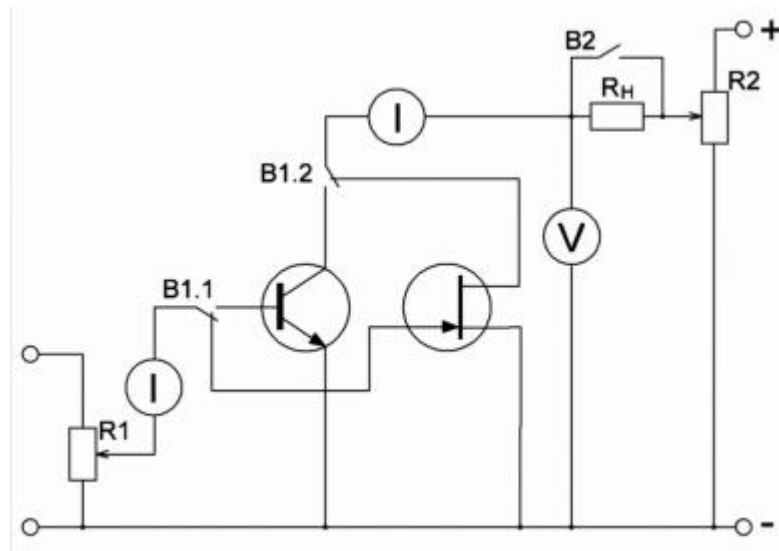


Рисунок 5. Схема з включенням різних транзисторів

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, джерела струму, резистору, транзисторів, вольтметра, ключа, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем.

#### Лабораторна 2. «Дослідження характеристик оптрона»

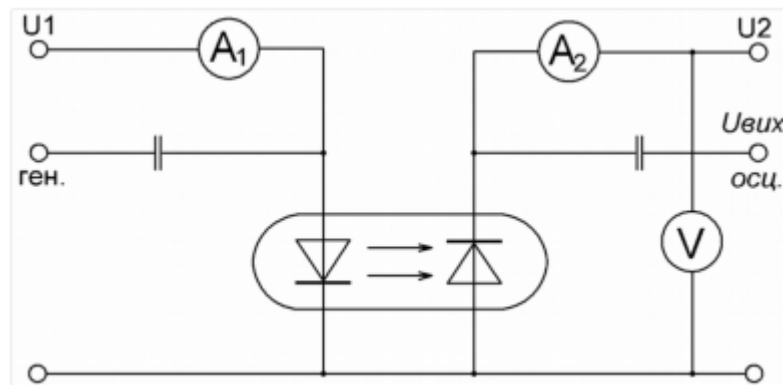


Рисунок 6. Схема підключення оптрона

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні конденсатора, джерела струму, вольтметра, осцилографа, оптрону, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням оптрону у безкоштовних версіях. [8]

### Лабораторна 3. «Дослідження RC – підсилювача»

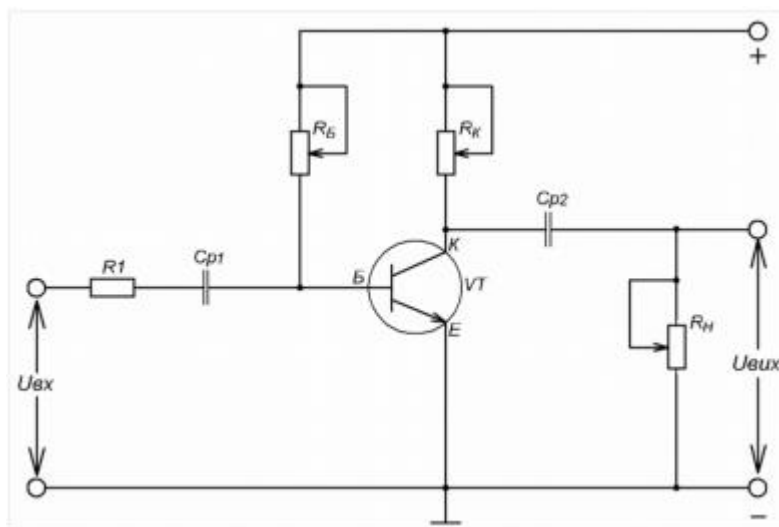


Рисунок 7. Схема RC-підсилювача

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні конденсатора, джерела струму, осцилографа, мультиметра, транзистора, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням оптрону у безкоштовних версіях. [9]

### Лабораторна 4. «Дослідження операційного підсилювача»

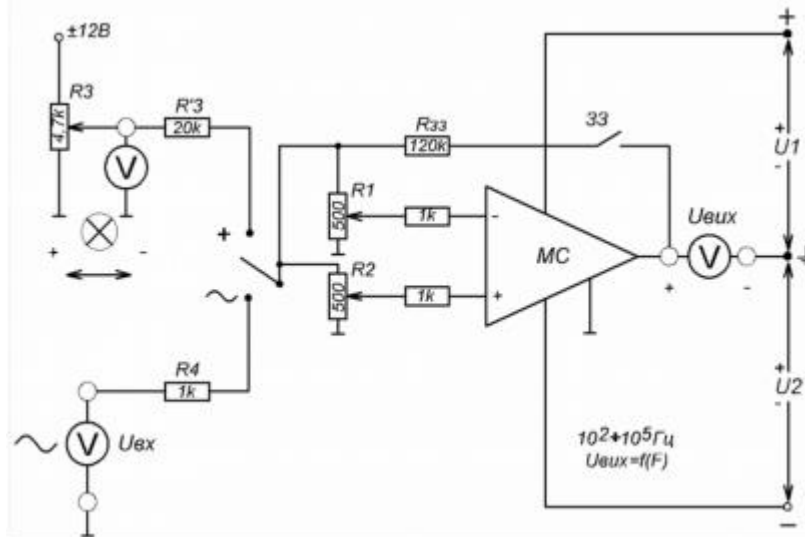


Рисунок 8. Схема операційного підсилювача

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні вольтметра, операційного підсилювача, генератор, осцилограф, вольтметр, резистор, джерело струму, ключа. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням оптрону у безкоштовних версіях. [10]

Лабораторна 5. «Виконання математичних операцій за допомогою операційного підсилювача»

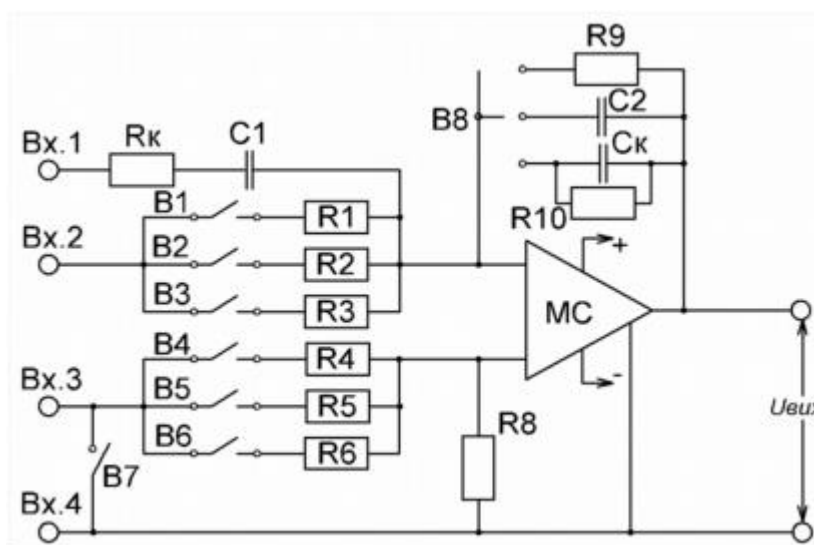


Рисунок 9. Схема операційного підсилювача

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні конденсатора, джерела струму, ключа, осцилографа, операційний підсилювач, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням оптрону у безкоштовних версіях. [11][12]

#### Лабораторна 6. «Дослідження автоколивального мультівібратора»

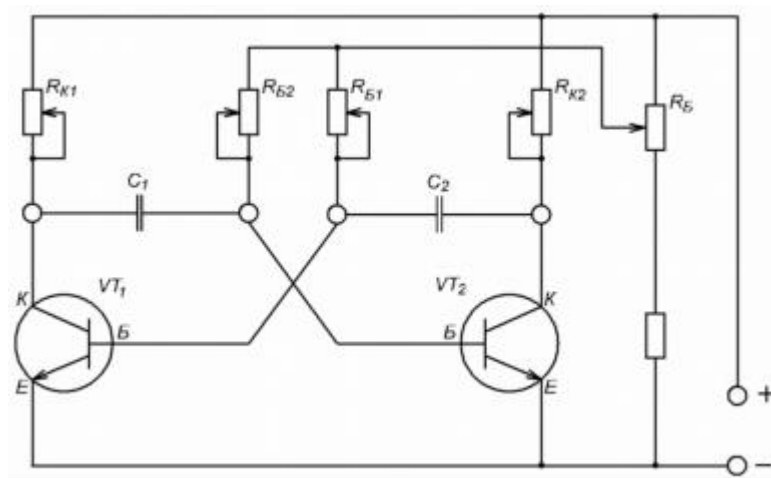


Рисунок 10. Схема автоколивального мультівібратора

Для виконання цієї лабораторної роботи потрібно наявність у програмному забезпеченні резистора, джерела струму, осцилографа, конденсатора, транзисторів, землі. Подібні компоненти наявні не у всіх програмних засобах для симуляції роботи електричних схем. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням оптрону у безкоштовних версіях. [13]

### 1.2 Вимоги до програмного забезпечення для вирішення схемотехнічних завдань

1. Програма має містити більшість, а в ідеалі усі необхідні компоненти для виконання лабораторних робіт. Відсутність певних компонентів збільшує час на виконання лабораторної роботи, пошуку схемотехнічного рішення.

2. Програма має мати гарні засоби для аналізу отриманих значень. До цього можна віднести гарний функціонал роботи з графіками або зручний інтерфейс отриманих кінцевих значень.
3. Програма має бути надійною, функціонально придатною для виконання технічних завдань та видавати коректні вихідні значення.
4. Програма має бути «доступною». Під «доступністю» розуміється невелика ціна ліцензій. Так як кінцевим користувачем в нас є студент, то доцільним буде компанія розробки програмне забезпечення, що може запропонувати студентам певні знижки або акції для використання програмне забезпечення.
5. Програма має бути безпечною. Цей пункт є загальним для усіх програм. Програма має бути безпечною для встановлення та користування на комп'ютерах та інших платформах. Програма має не містити вірусів або інших додатків, що можуть завдати шкоди комп'ютеру.
6. Програма має підтримуватись розробником. Сучасні проблеми потребують сучасних рішень. Так само і сучасні схемотехнічні задачі мають вирішуватись за допомоги новітніх програмних засобів. Подібні підтримка програмних засобів забезпечує можливість вирішення цих задач сучасними опціями.
7. Програма має бути багатоплатформною. Кінцевий користувач може використовувати різні системи для вирішення своїх задач. Чим більшу кількість систем підтримує програмний засіб, тим краще бути для кінцевого користувача.
8. Програма має бути продуктивною. Програма має вирішувати поставлені задачі без затримок, щоб не затримувати процес розробки.

### **1.3 Види наявних програмних засобів**

Станом на травень 2022 року існує велика кількість різних програмних засобів для вирішення схемотехнічних завдань. Деякі з них симулюють роботу електричних схем у «реальному часі», а для симуляції деяких потрібно спочат-

ку поставити програмі «завдання» для того щоб вона могла зробити перерахунок вихідних значень електричної схеми. Розвиток обчислювальних машин зробив можливим проектування різноманітних по складності схем за допомогою програмних засобів. Подібні програмні засоби розробляються великою кількістю організацій, невеличкими компаніями, так і великими корпораціями-гігантами світового рівня. Вони випускають спеціалізовані програми для самих різних сфер використання. Кожна з програм має свій рівень входження, кількість бібліотек, відкритість документації, що впливає на те, хто саме зможе корисно використовувати це програмне забезпечення для досягнення своїх цілей. Деякі програмні засоби блокують можливість моделювання роботи схем з використанням окремих компонентів у безкоштовних версіях. Для деяких програмних засобі попередньо потрібно запрограмувати логічний елемент. Цю дію можна виконувати завантаженням моделей роботи цих компонентів з інтернет ресурсів. Також запрограмувати компоненти можна власноруч використовуючи мову програмування SPICE.[14][15] Спираючись на все це була розглянута та проаналізована робота 5 різних програм від 5 різних компаній. Деякі з програм розповсюджуються безкоштовно, а деякі коштують великих коштів. Було обрано різні програми саме для того щоб порівняти наскільки відрізняється робота в них та чи варто переплачувати для отримання ліцензій деяких програм. Також фактором вибору стала кількість запитів на скачування програм для симуляції у період з 01.01.2022 по 25.05.2022.

Було обрано наступні програмні засоби:

«**Proteus**» від компанії Labcenter Electronics.

«**KiCad**» Не комерційний розробка

«**Micro-Cap**» від компанії Spectrum Software

«**QUCS**» Не комерційний розробка

«**NI Multisim**» від компанії National Instruments

## 2. ГОЛОВНИЙ РОЗДІЛ

Надалі буде розглянуто вже наявні програмні засоби та продемонстрована робота в них.

### 2.1 Огляд програми Proteus

**Proteus** – це пакетне програмне рішення, що розроблене компанією Labcenter Electronics Ltd. Proteus є поширеним застосунком та продається більш ніж у 50 країнах світу. Цей пакет містить дві основні програми:

1. Proteus ISI - дозволяє створення діаграм та проведення електричних моделювань.

2. Proteus ARES - дозволяє вести розробку друкованих плат. Наявна можливість створення 3D моделі друкованої плати.

Програма має інструменти що дозволяють підключати віртуальні пристрої до портів USB та COM комп'ютера. Proteus встановлюється разом з набором демонстраційних проектів для ознайомлення. Пакет є комерційним. Існує можливість безкоштовного встановлення пакету, але без наявності функції зберігання проектів на комп'ютері.



Рисунок 11. Офіційний сайт для скачування

<https://www.labcenter.com/downloads/>

Пакет підтримується по сьогоднішній день. Остання версія «8.14.32693.0». Починаючи з 8.0 версії програми до пакету було додана середовище розробки VSM Studio. Це середовище дозволяє писати програми для мікроконтролерів та компілювати їх. Також для навчальних закладів є варіант придбання офіційних версій зі знижкою до 20%. Для того щоб придбати товар зі знижкою треба підтвердити академічний статус закладу зв'язавшись з представником компанії.[16] Proteus має велику модульність, що розширює можливості розробки в цьому середовищі. Proteus може бути встановленим лише на операційну систему Windows. Для встановлення на операційну систему Linux треба використовувати програми, що імітують роботу операційної системи Windows. На мобільний телефон під керуванням Android, Proteus може бути встановлений завдяки програмам-імітаторам роботи Windows. На операційну IOS даний програмний засіб не може бути встановленим.

## 2.2 Огляд програми KiCad

KiCad – програмний комплекс з відкритим кодом для розробки друкованих плат та електричних схем. KiCad розроблюється невеликою групою розробників. KiCad дозволяє розробити принципову схему, по ній скласти монтажну плату та підготувати документацію необхідну для виробництва. KiCad є повністю багатоплатформним, що дозволяє використання його на системах під керуванням Linux, Windows, Mac OS X. Пакет програм складається з наступних компонентів:

- 1.kicad – менеджер пакетів.
- 2.eeschema – редактор електричних схем.
- 3.pcbnew – редактор друкованих плат.
- 4.gerbview – оглядач фотошаблонів.
- 5.wyeditor – текстовий редактор перегляду звітів.
- 6.c vpcb – програма вибори посадкових місць згідно схемі.

Однією з переваг KiCad є наявність вільною ліцензії для використання та відкритий код програми, форматів даних, бібліотек та схем. Програма підтримується по сьогодні. Останнє оновлення вийшло 25.12.2021 на версію 6.0.0. Силами небайдужих програму зараз підводять до стандартів ДСТУ, що значно розширює можливості використання KiCad великими компаніями.[17]

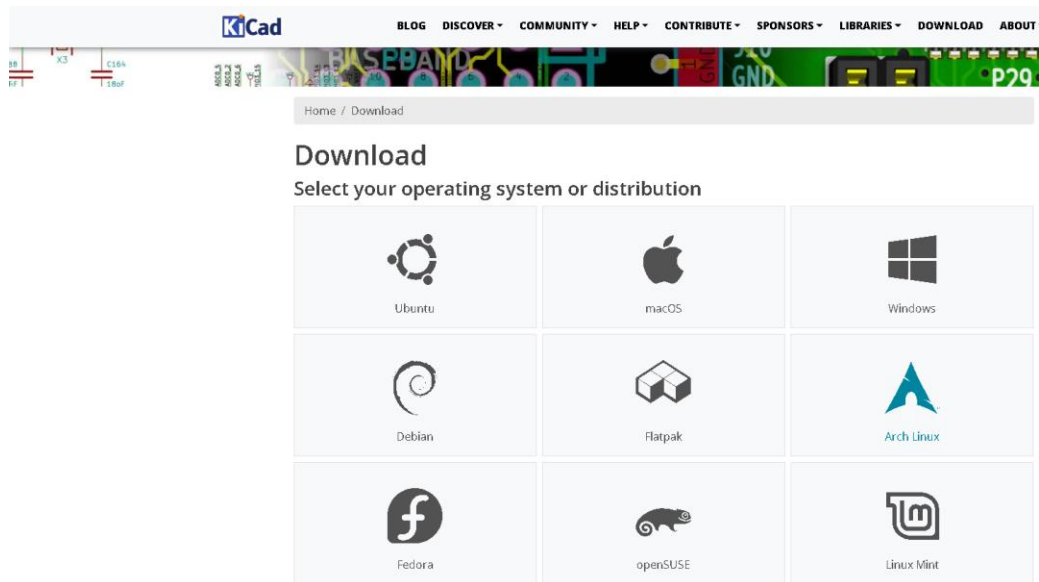


Рисунок 12. Офіційний сайт для скачування

<https://www.kicad.org/download/>

## 2.3 Огляд програми Micro-Cap

**Micro-Cap** – це програма для моделювання електричних схем з інтегрованим візуальним редактором. Програма дозволяє виставляти залежності параметрів(номіналів) елементів від температури, освітлення та частотних характеристик. Характерною особливістю програм цього сімейства є зручний та дружній графічний інтерфейс, що дозволяє використовувати програму не підготовленим користувачем. Програма розробляється компанією Spectrum Software. Програма поширюється безкоштовно. Останнє оновлення було 06.17.2021 на версію 12.2.0.5.

**Spectrum Software**

Home Products Download Newsletters Support Contact Us

Industrial Strength Simulation

Select:

Micro-Cap User Downloads

Micro-Cap 10, 11, and 12 are now free and require no key. You can download the full CD or the executable only.

**Full CD:** Use this option if you are new to Micro-Cap or want a fresh install.

**Executable only:** Use this option if you want to retain your old library edits.

Program	Version	Full CD	Executable only	Date	User's Guide	Reference Guide	Brochure	Key
Micro-Cap 12	12.2.0.5	CD (1.59M)	Executable (1.56M)	06/17/2021	User's Guide (1.59M)	Reference Guide (1.59M)	Brochure (6.2M)	NA
Micro-Cap 12	12.2.0.5	CD (1.59M)	Executable (1.56M)	06/17/2021	NA	NA	NA	NA
Micro-Cap 11	11.2.0.3	CD (1.42M)	Executable (1.39M)	11/18/2019	User's Guide (1.7M)	Reference Guide (8.4M)	Brochure (6.5M)	NA
Micro-Cap 11	11.2.0.3	CD (1.42M)	Executable (1.39M)	11/18/2019	NA	NA	NA	NA
Micro-Cap 10	10.2.0.0	CD (1.28M)	Executable (1.3M)	07/01/2019	User's Guide (1.5M)	Reference Guide (7.8M)	Brochure (6.4M)	NA

Рисунок 13. Офіційний сайт для скачування

<http://www.spectrum-soft.com/download>

Micro-Cap може бути встановленим лише на операційну систему Windows. Для встановлення на операційну систему Linux треба використовувати програми, що імітують роботу операційної системи Windows. На мобільний телефон під керуванням Android, Micro-Cap може бути встановлений завдяки програмам-імітаторам роботи Windows. На операційну IOS дане програмне забезпечення не може бути встановленим. Програма не симулює роботу у реальному часі. Замість цього користувач попередньо дає програмні «завдання» з вхідними даними та запускає симуляцію.[18][19]

## 2.4 Огляд програми QUCS

QUCS – програмне рішення з відкритим кодом для моделювання електричних схем. QUCS має велику бібліотеку моделей, що стабільно поповнюється завдяки відкритості коду. QUCS містить декілька автономних програм, що взаємодіють між собою завдяки інтерфейсу. Програма повністю безкоштовна. Остання версія програми вийшла у 2017 році на версію 0.0.19. QUCS може бути встановленим на операційні системи як під керівництвом Linux так і Windows. [20]

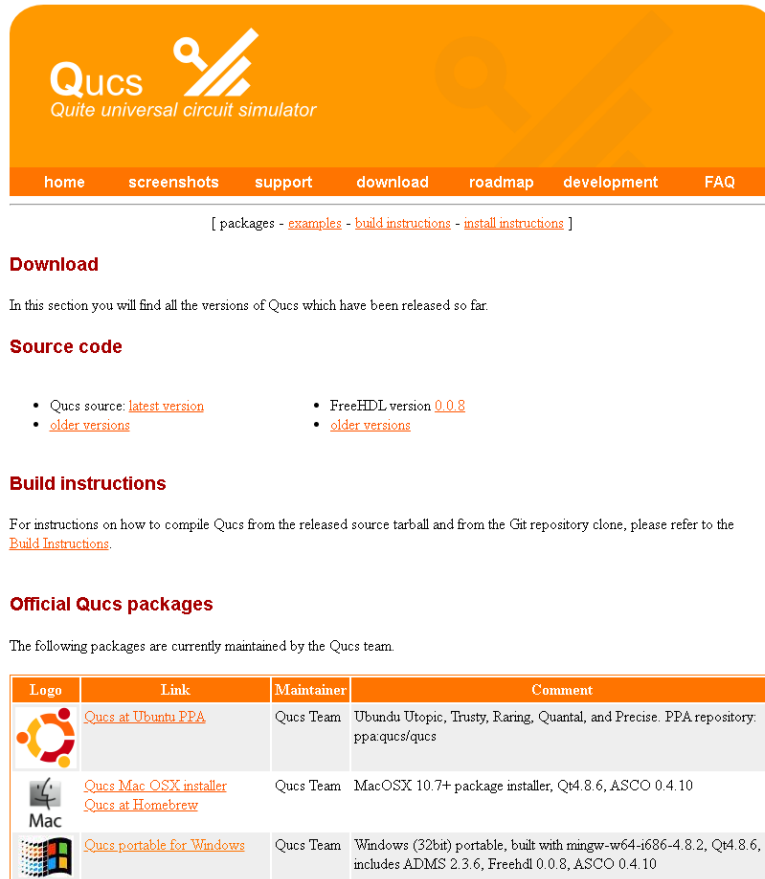


Рисунок 14. Офіційний сайт для скачування

<http://qucs.sourceforge.net/download.html/>

## 2.5 Огляд програми Multisim

**NI Multisim** – це комплекс програм для проектування та моделювання роботи електричних схем. Програма розповсюджується за допомогою ліцензії. NI Multisim програма для проектування схем, в якій використовується оригінальне забезпечення для моделювання, що засноване на Berkeley SPICE. Програма підтримує велику модульність за рахунок можливості розробки власних бібліотек та моделей. Існує можливість придбання ліцензії для навчання через компанію дистриб'ютора. Програма оновлювалась останній раз у 2019 році. NI Multisim може бути встановлений лише на операційну систему Windows.[21]



Рисунок 15. Офіційний сайт для придбання NI Multisim

<https://www.studica.com/ni-circuit-design-suite-student-edition-downloads>

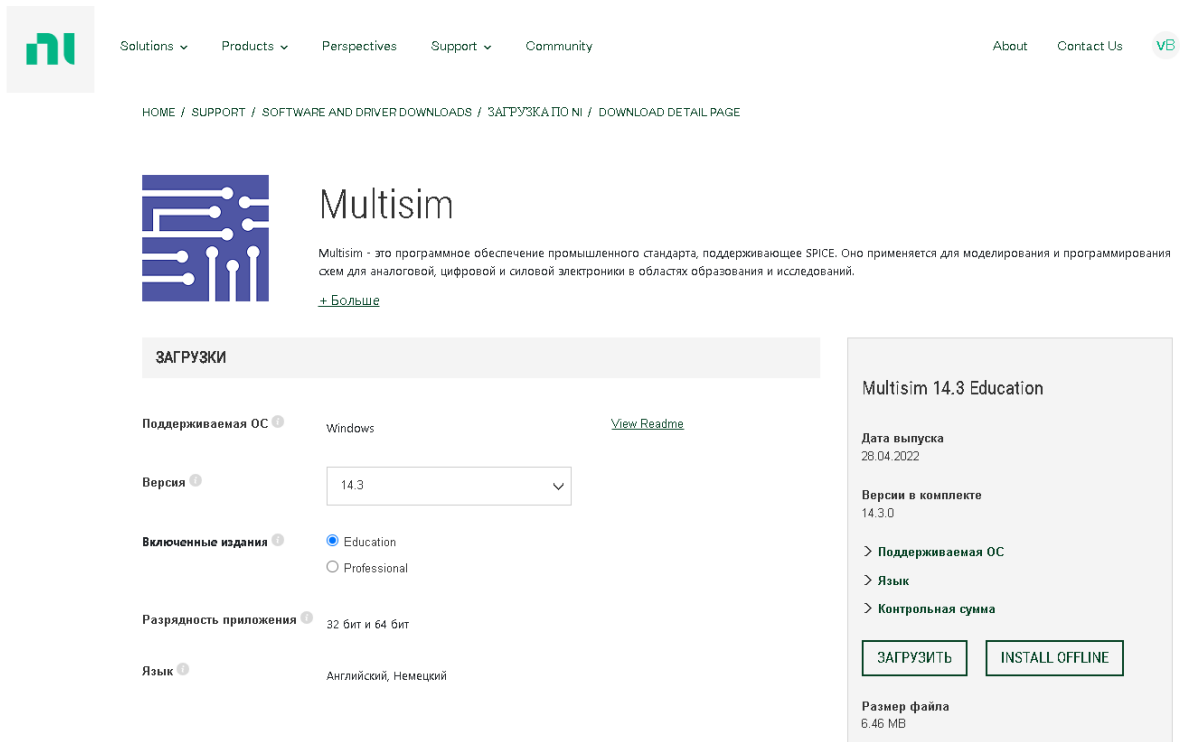


Рисунок 16. Офіційний сайт NI Multisim

<https://www.ni.com/ru-ru/support/downloads/software-products>

## 2.6 Виконання лабораторних робіт у програмних засобах

В цьому розділі будуть наведені виконання лабораторних робіт та описана робота з ними у різних програмних засобах. Стосовно кожної роботи буде дана рекомендація відповідно до того де її краще виконати та чому.

Лабораторна 1. «Моделювання роботи інтегруючої та диференціюючої RC-комірок під дією послідовності імпульсів»

Мета: вивчити роботу інтегруючої та диференціюючої RC-комірок;

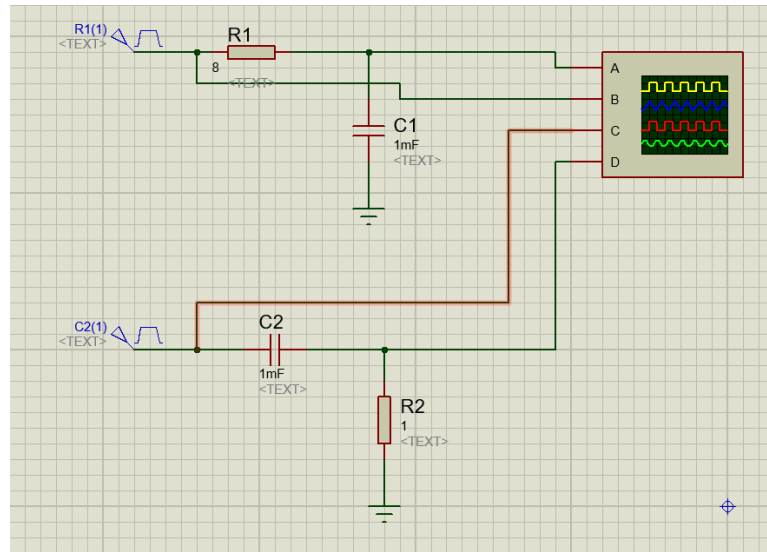


Рисунок 17. Моделювання схеми RC-комірок в Proteus

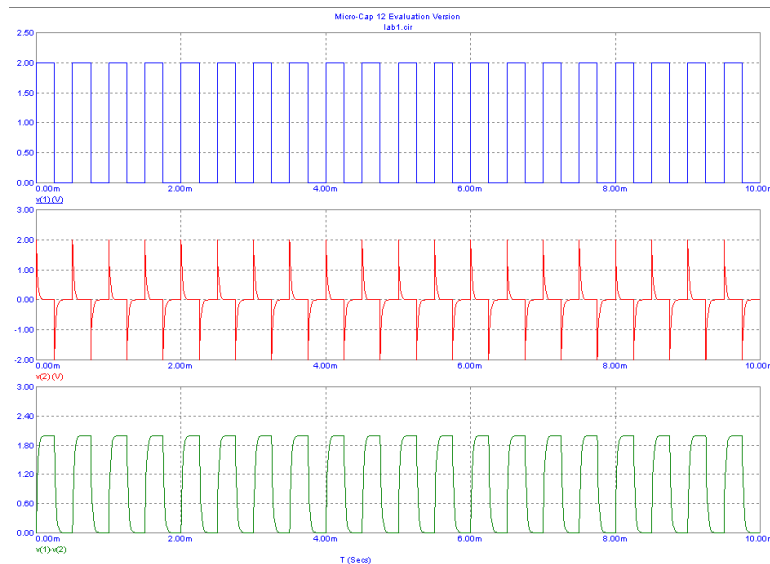


Рисунок 18. Моделювання роботи RC-комірок в Мікро-Сар

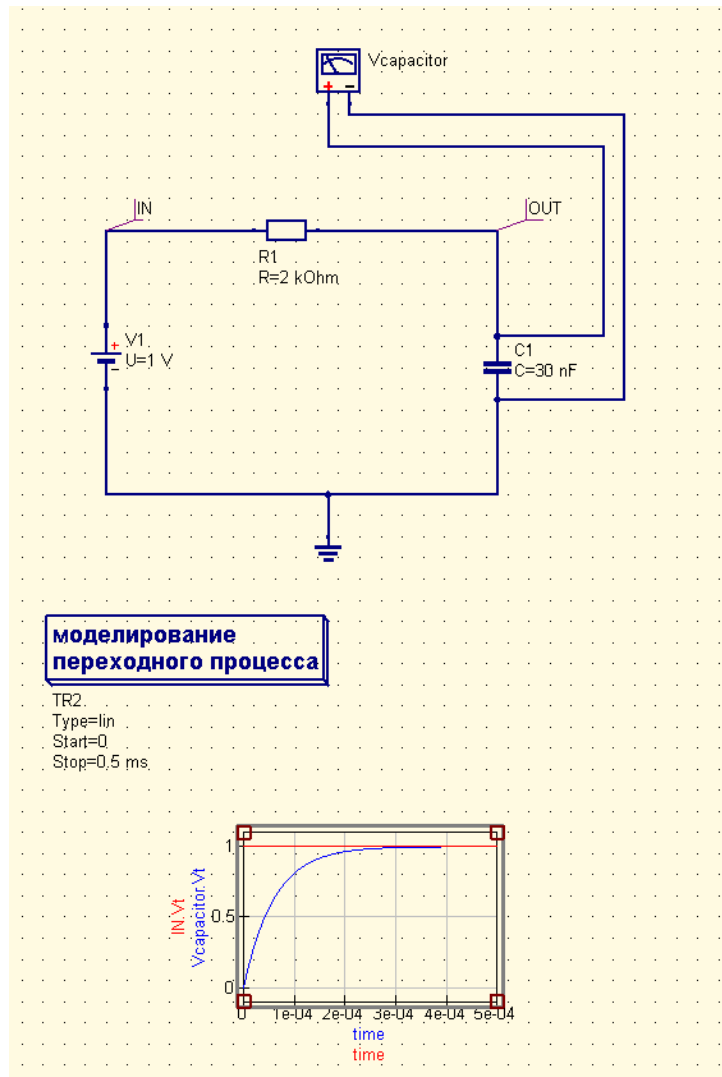


Рисунок 19. Моделивання роботи інтегруючої RC-комірки в QUCS

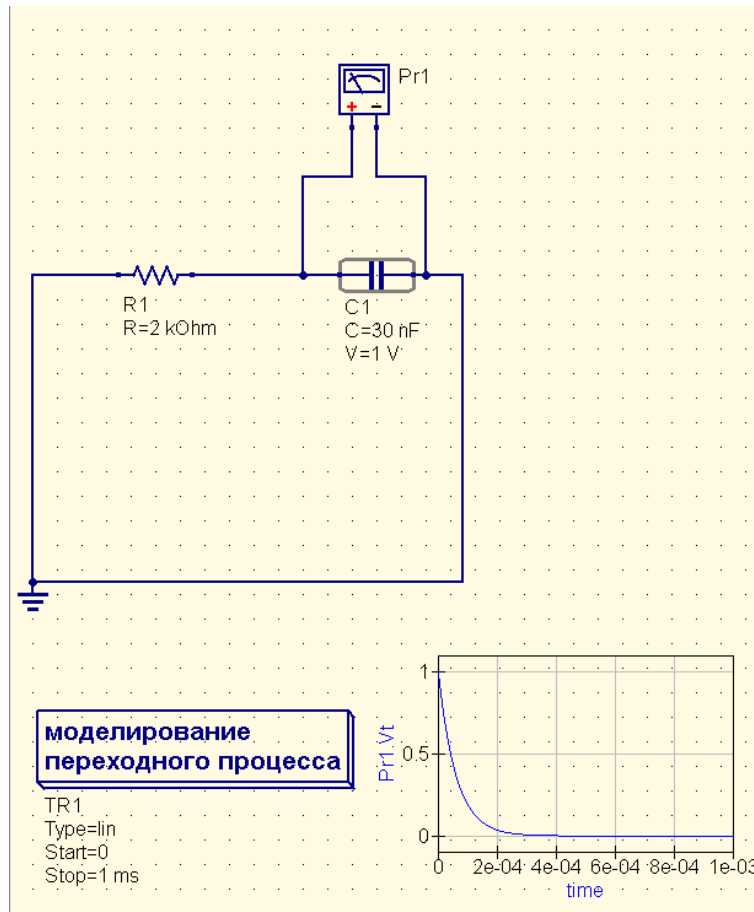


Рисунок 20. Моделювання роботи RC-кірок в QUCS

Рекомендації до лабораторної 1:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має у своєму функціоналі необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Подібним функціоналом забезпечені усі програмні засоби для схемотехнічних задач. Особливих складнощів під час огляду роботи не було знайдено. Лабораторна робота є нескладною у своєму виконанні, тому її виконання можна зробити у на апаратному забезпеченні.

Лабораторна 2. «Послідовні та паралельні діодні обмежувачі амплітуди»

Мета: ознайомитись з різновидами діодних обмежувачів амплітуди; отримати досвід розробки діодних обмежувачів для схемотехнічних рішень.

Побудуємо діодний обмежувач із нульовим порогом та покажемо залежність сигналу при прямому та зворотному підключенні діода.

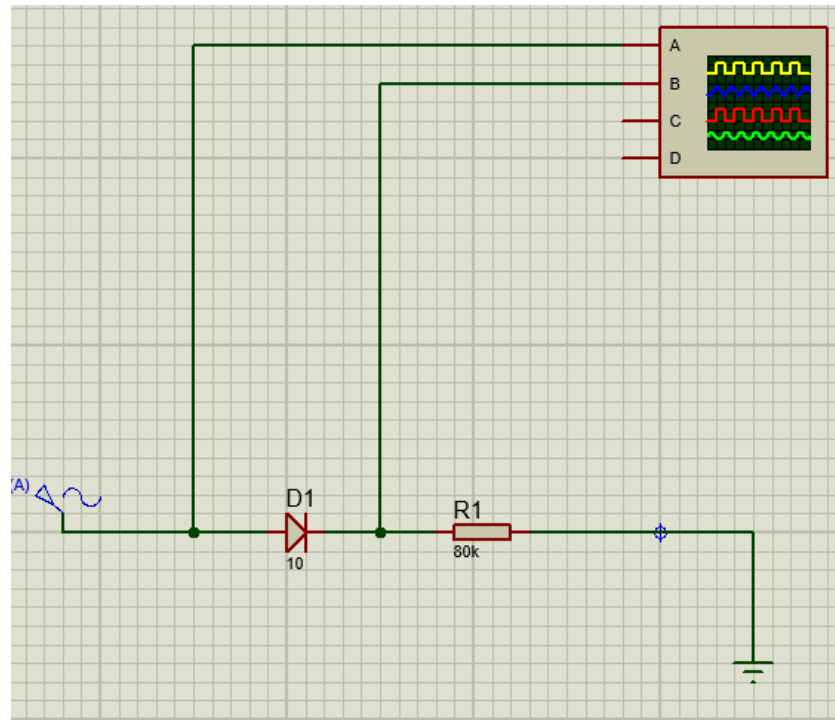


Рисунок 21. Схема діодного обмежувача із нульовим порогом в Proteus

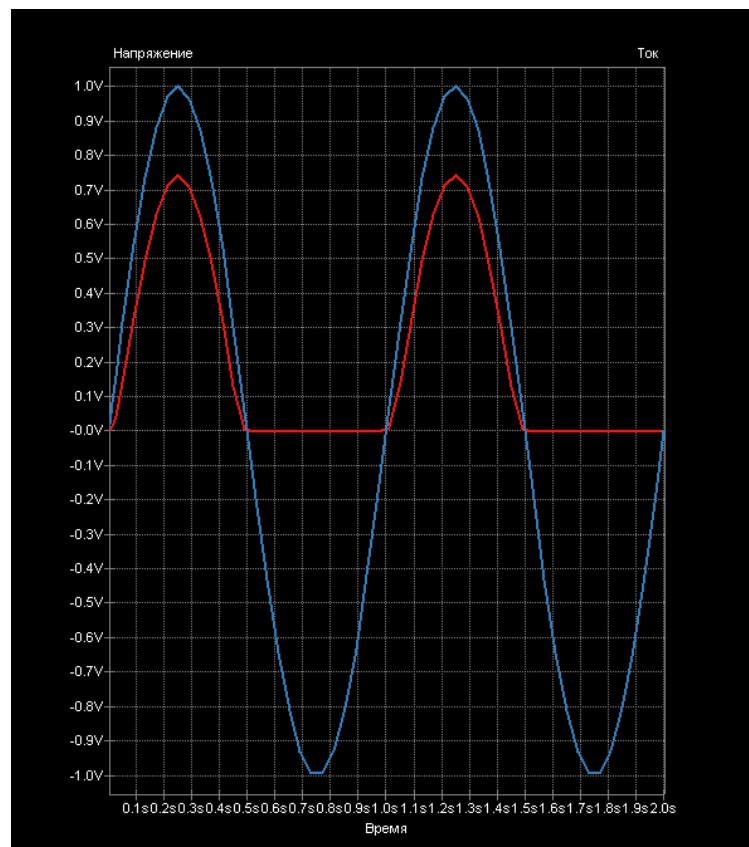


Рисунок 22. Моделювання роботи діодного обмежувача із нульовим порогом в KiCad (пряме підключення)

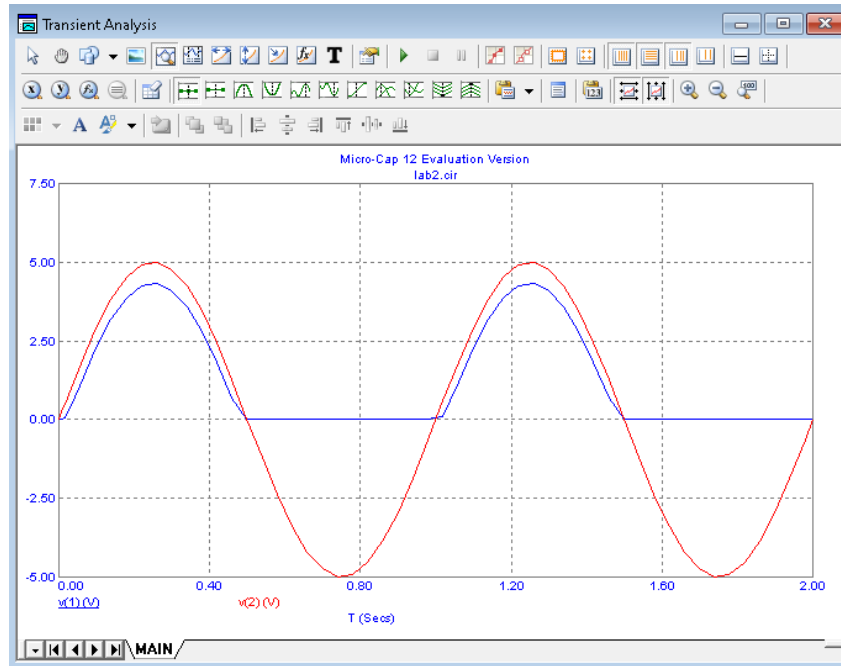


Рисунок 23. Моделювання роботи діодного обмежувача із нульовим порогом в Micro-Cap (пряме підключення)

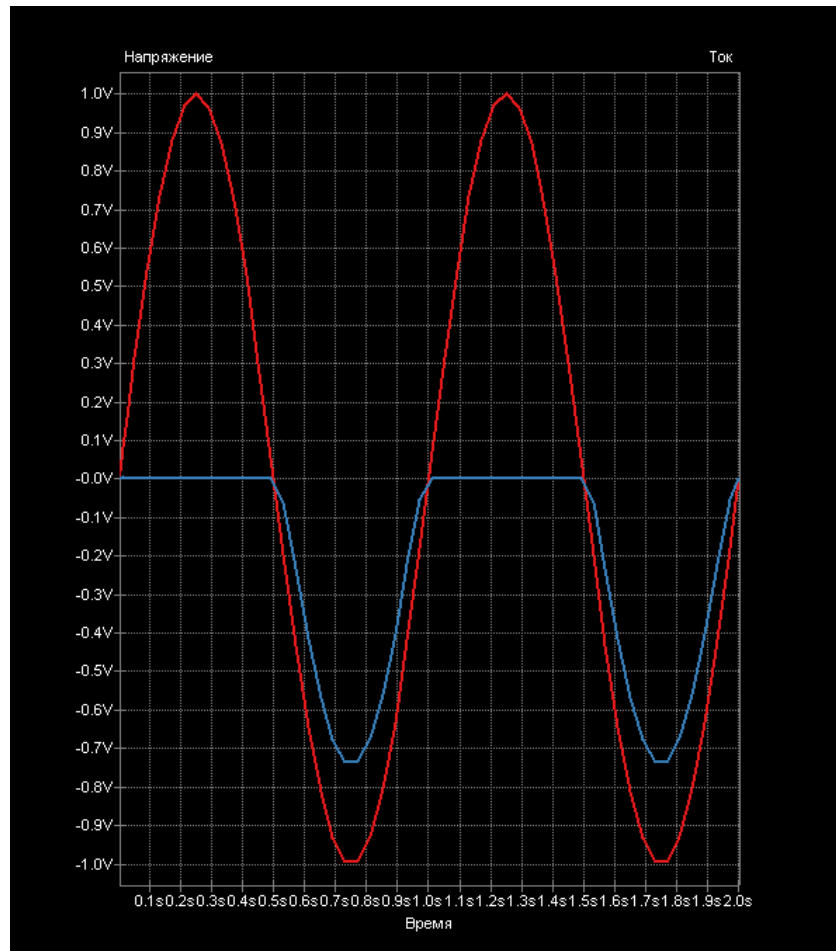


Рисунок 24. Моделювання роботи діодного обмежувача із нульовим порогом в KiCad (зворотне підключення)

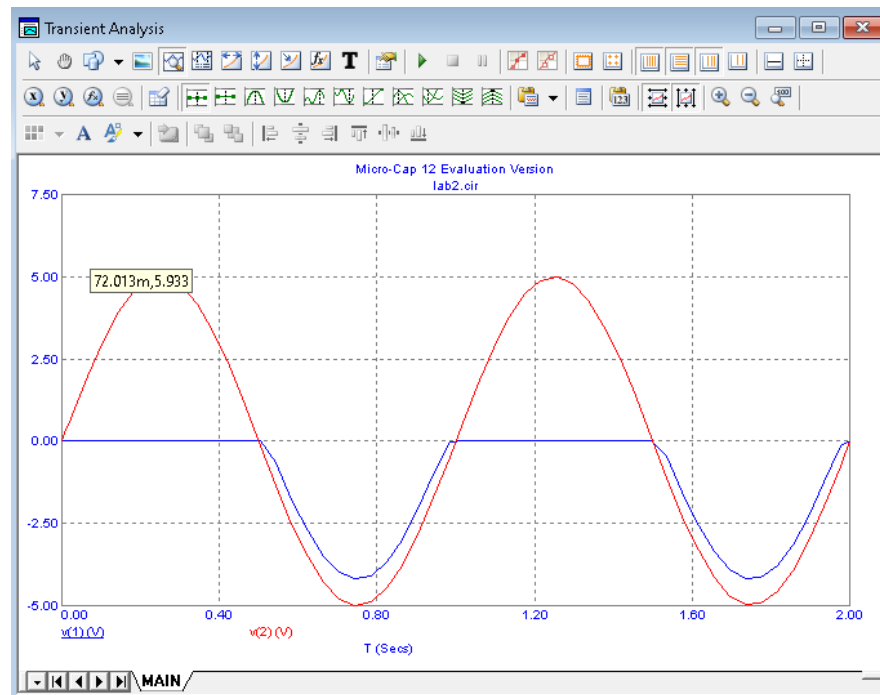


Рисунок 25. Моделювання роботи діодного обмежувача із нульовим порогом в Micro-Cap (зворотне підключення)

Бачимо, що графіки співпадають з теоретичними, а отже моя симуляція добре ілюструє роботу діодного обмежувача.

Побудуємо діодний обмежувач із регульованим порогом, та покажемо залежність сигналу при прямому та зворотному підключенні діода.

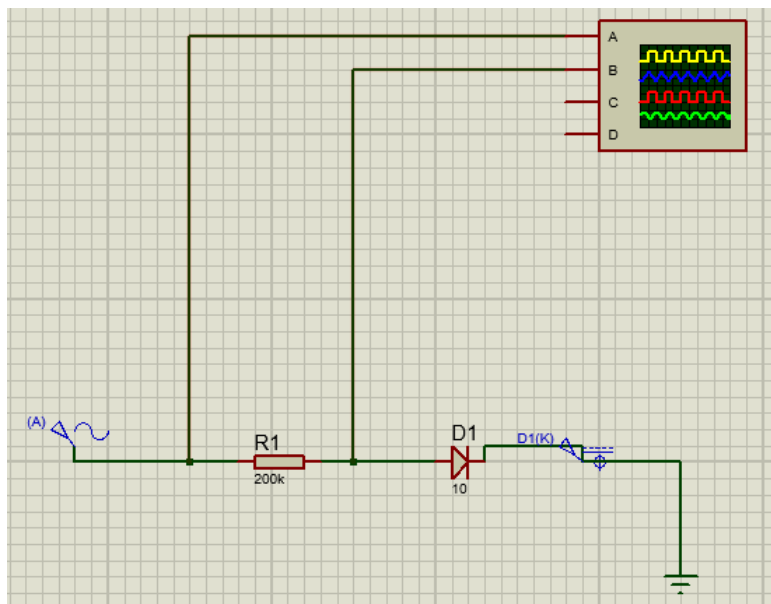


Рисунок 26. Схема діодного обмежувача із регульованим порогом в Proteus (пряме підключення)

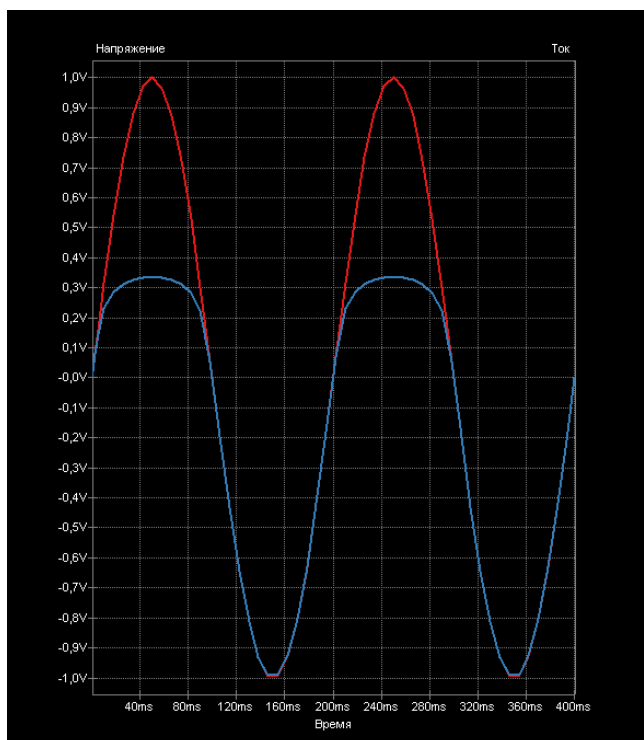


Рисунок 27. Моделювання роботи діодного обмежувача із регульованим порогом в KiCad (пряме підключення)

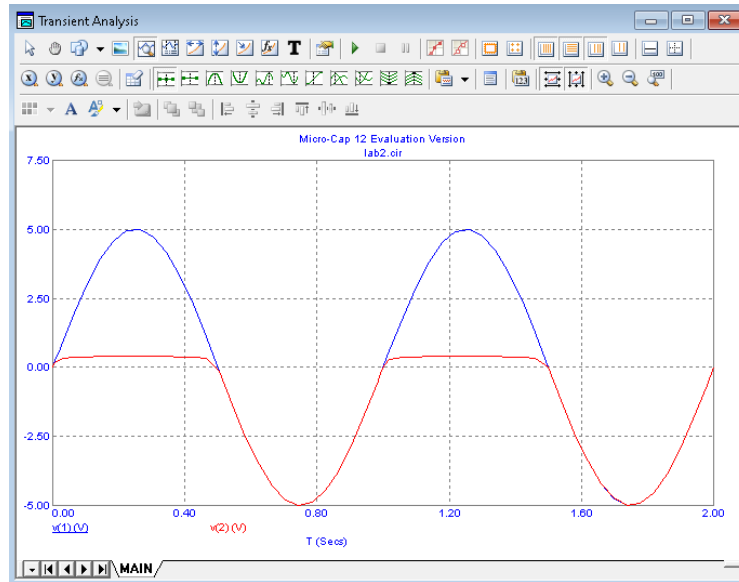


Рисунок 28. Моделювання роботи діодного обмежувача із регульованим порогом в KiCad (пряме підключення)

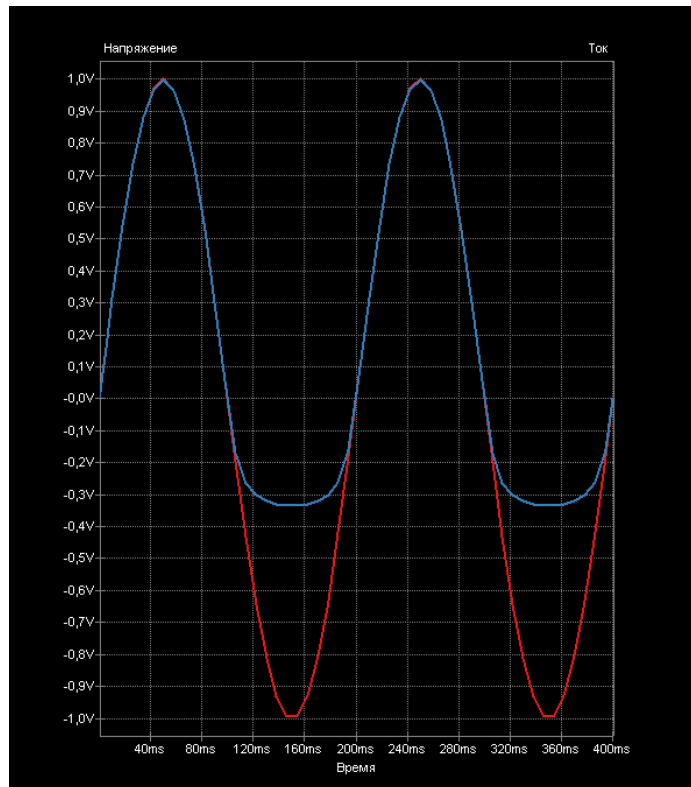


Рисунок 29. Моделювання роботи діодного обмежувача із регульованим порогом в KiCad (зворотнє підключення)

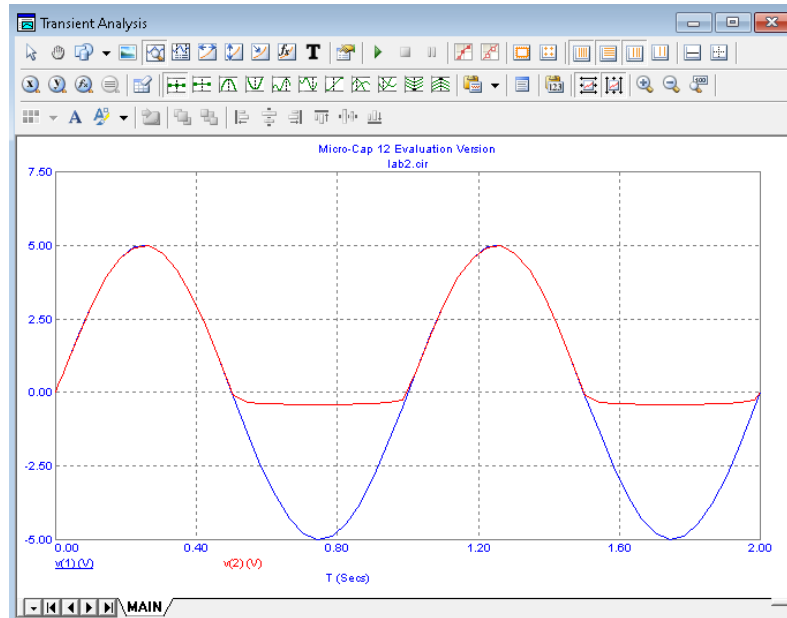


Рисунок 30. Моделювання роботи діодного обмежувача із регульованим порогом в Мікро-Сар (зворотнє підключення)

У цих випадках графіки з симуляції також співпадають з теоретичними. Побудуємо паралельну схему діодного обмежувача – для обмеження сигналу згори і знизу одночасно.

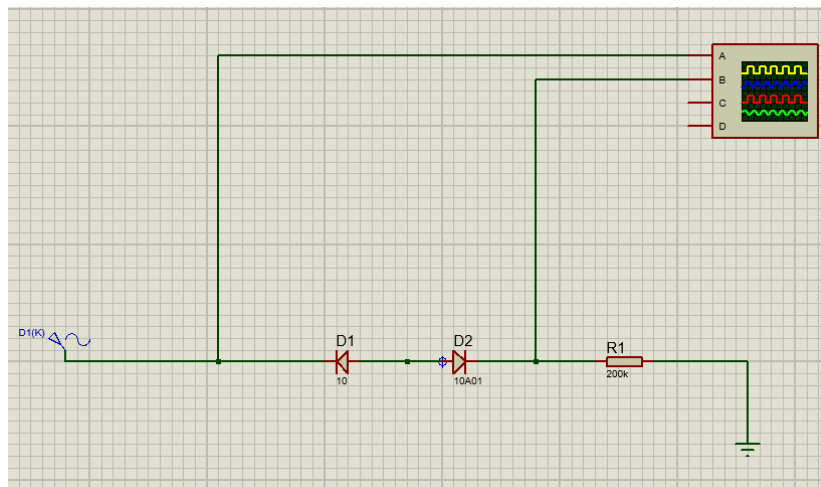


Рисунок 31. Схема діодного обмежувача із обмеженням сигналу згори і знизу одночасно в Proteus

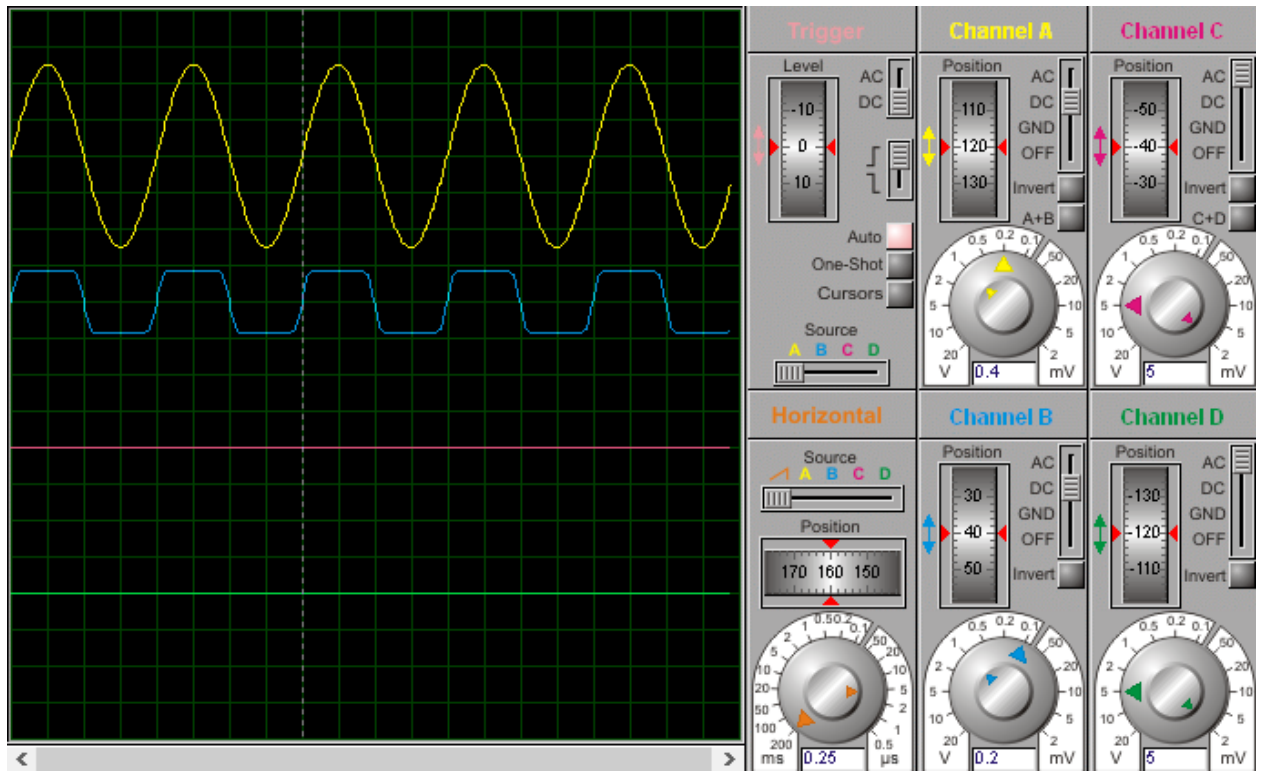


Рисунок 32. Моделювання діодного обмежувача із обмеженням сигналу згори і знизу одночасно в Proteus

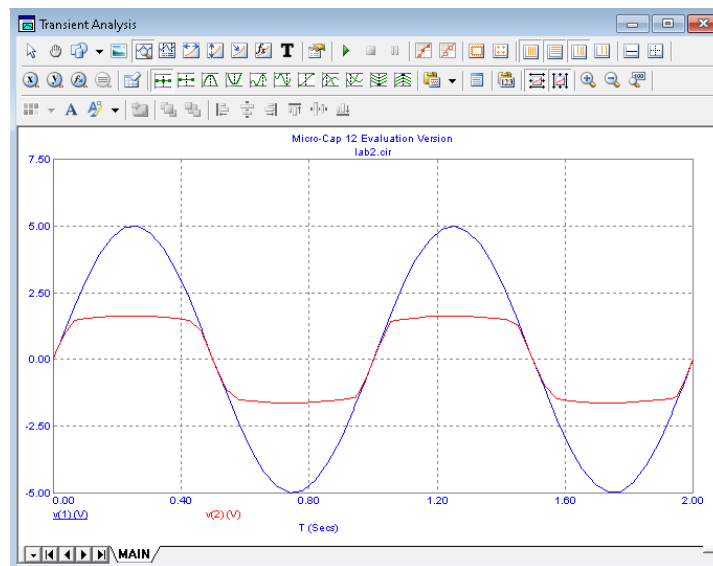


Рисунок 33. Моделювання діодного обмежувача із обмеженням сигналу згори і знизу одночасно в Мікро-Сар

Рекомендації до лабораторної 2:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має у своєму функціоналі необхідні компоненти та засоби для відстежування ре-

зультату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи діодів та можливість налаштування характеристик діода власноруч. Лабораторна робота може бути виконана на апаратному забезпеченні через свою незначну складність та ціну компонентів.

Лабораторна 3. «Логічні елементи як базові основи різних схемотехнічних рішень»

Мета: ознайомитись з роботою різноманітних логічних елементів;

Був побудований XOR на базових елементах.

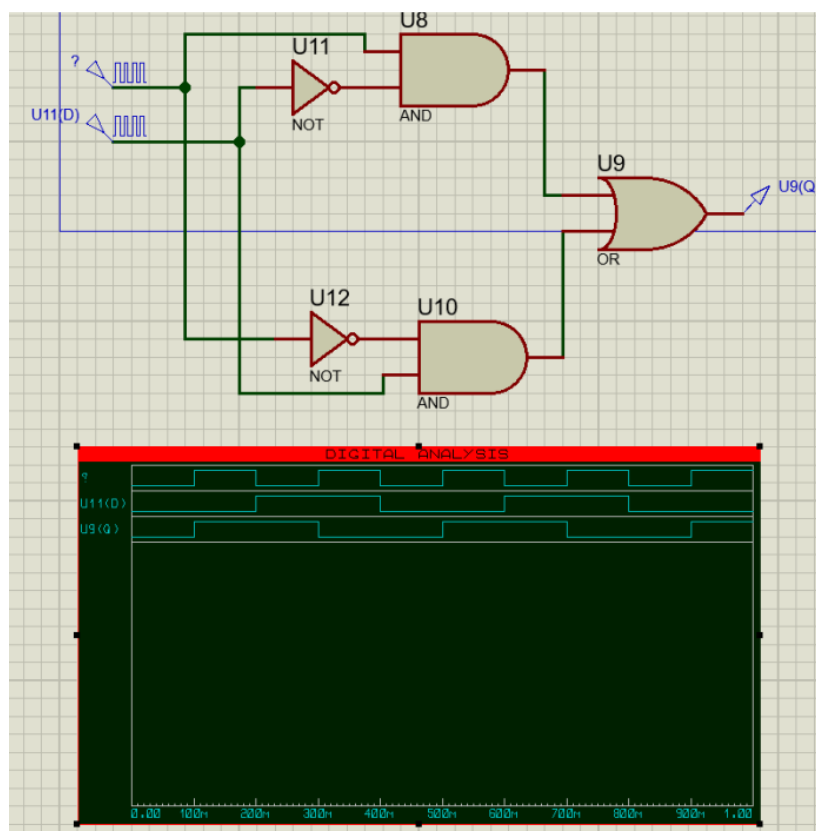


Рисунок 34. Схема та моделювання роботи XOR на логічних елементах в Proteus

Рекомендації до лабораторної 3:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має у своєму функціоналі необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи логіч-

них елементів. Лабораторна робота може бути виконана з використанням апаратного забезпечення через свою незначну складність та ціну компонентів.

#### Лабораторна 4. «Основні параметри серій ІМС»

Мета: ознайомитись з параметрами цифрових інтегральних мікросхем; провести порівняльний аналіз основних параметрів різних серій цифрових ІМС.

Тип ІМС	Технологія	Vcc(V)	Output drive capability(mA)	Propagation delay tpd (ns)	fmax(MHz)	Tamb(Celcium)
AN	CMOS	2-6	5.2	7	36	-40~125
D	TTL	4.5-5.5	2	11	36	-40~125
	TTLS	5 +/- 10%	1.8	5	36	-40~125

Таблиця 1. Порівняльна таблиця AND на різних технологіях

Рекомендації до лабораторної 4:

Для виконання лабораторної роботи не потрібне програмне забезпечення, бо лабораторна робота виконується аналізом технічної документації. Лабораторну роботу для отримання найбільших знань стосовно параметрів серій ІМС слід поділити на 2 частини. Пошук параметрів слід виконувати на комп'ютері, а сам аналіз роботи можна провести на апаратній платформі за допомоги вже отриманих знань з відкритих джерел.

#### Лабораторна 5. «Узгодження логічних рівнів різних серій ІМС»

Мета: ознайомитись зі способами організації схемотехнічного підключення різних серій цифрових ІМС.

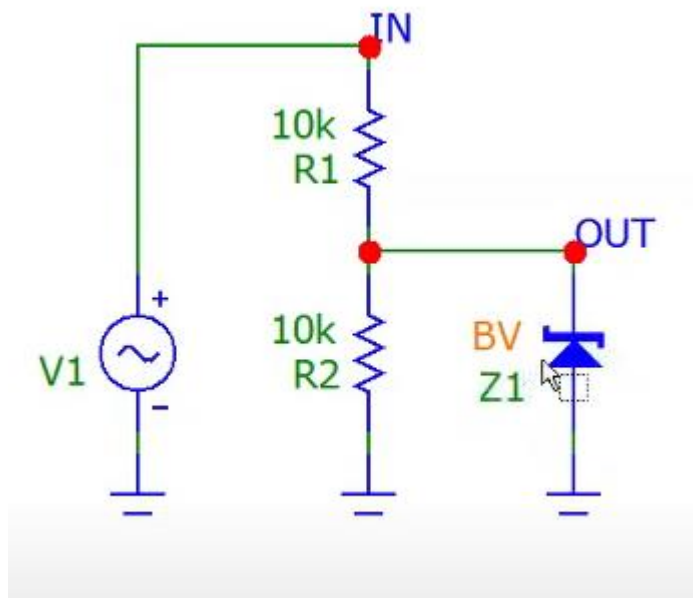


Рисунок 35. Схема узгодження рівнів за допомогою діода Шотткі в Micro-Cap

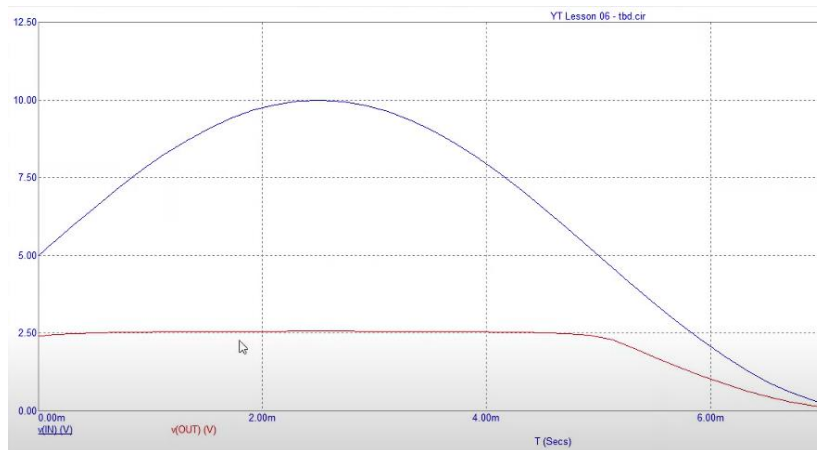


Рисунок 36. Результат роботи схеми з діодом Шотткі в Micro-Cap

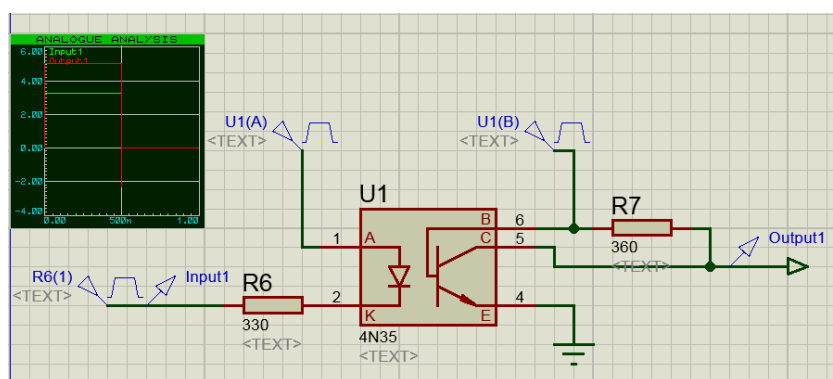


Рисунок 37. Схема узгодження з оптроном, резисторами та двома джерелами імпульсів

Рекомендації до лабораторної 5:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має

у своєму функціоналі необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи логічних елементів та чи існує можливість моделювання роботи схем з використанням оптрона. Лабораторна робота може бути виконана на апаратному забезпеченні допомоги програмного забезпечення через свою незначну складність.

### Лабораторна 6. «Основи синтезу цифрових схем»

Мета: навчитися вирішувати завдання аналізу і синтезу в ході розробки комбінаційних схем.

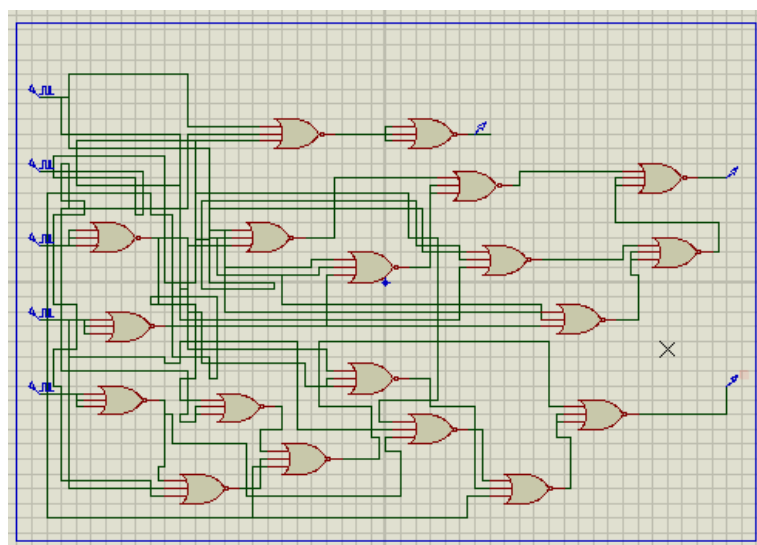


Рисунок 38. Схема пріоритетного шифратора в Proteus



Рисунок 39. Результат роботи пріоритетного шифратора в Proteus

Рекомендація до лабораторної 6:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має у своєму функціоналі необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи логічних елементів. Лабораторну роботу слід виконувати за допомоги програмного забезпечення через те, що перед синтезом цифрової схеми треба описати роботу схеми. Результатом роботи цього кроку – таблиця істинності. Після цього необхідно ліквідувати неоднозначність таблиці, вирахувати ДДНФ, мінімізувати його та після цього реалізувати ДНФ на заданому логічному базисі. Сама схема також потребує точності моделювання через велику кількість з'єднань. Це зручніше робити в програмному засобі.

Лабораторна 7. «Вивчення різних режимів роботи мікросхеми-таймера NE555

Мета: вивчити роботу мікросхеми-таймера NE555.

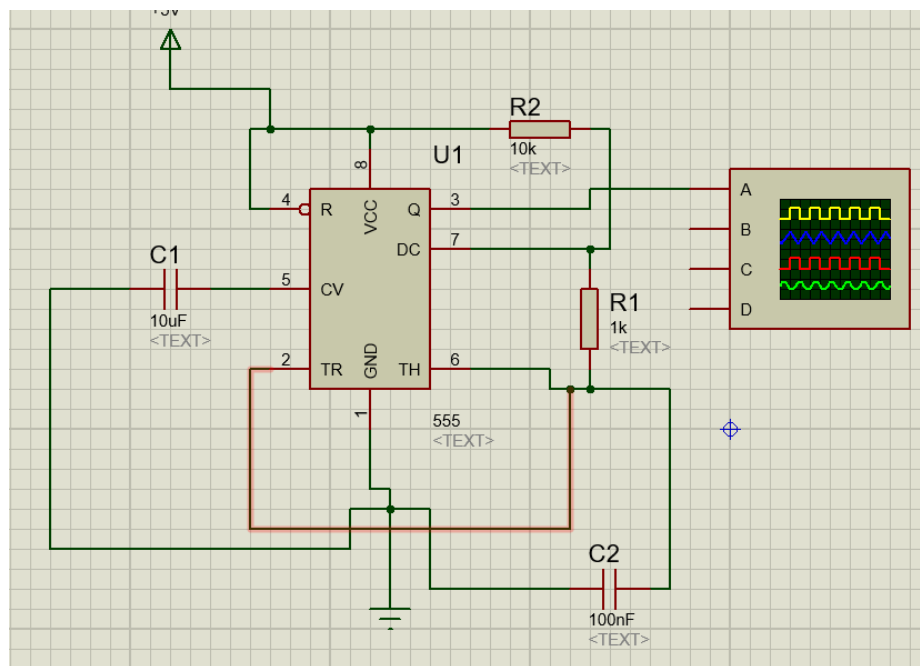


Рисунок 40. Схема таймера NE555 в Proteus

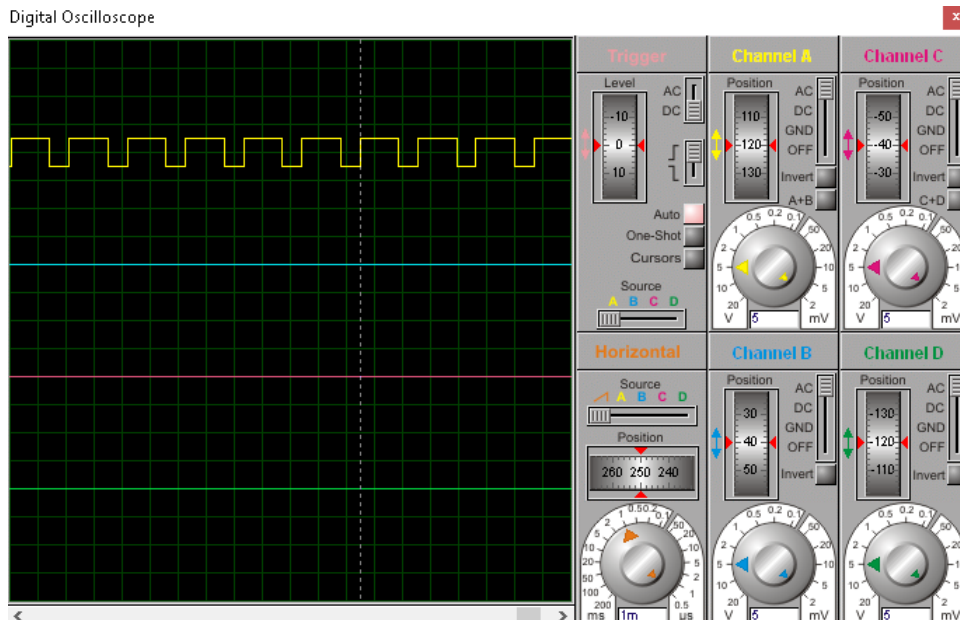


Рисунок 41. Результат роботи таймера NE555 в Proteus

Рекомендація до лабораторної 7:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент NE555 та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи та сам компонент NE555. При наявності цього таймера в бібліотеці програм лабораторну можна виконувати у програмному засобі через свою невелику складність.

Лабораторна 1. «Дослідження напівпровідникових транзисторів»

Мета роботи: на лабораторному макеті вивчити принципи роботи, дослідити характеристики і параметри напівпровідникових транзисторів.

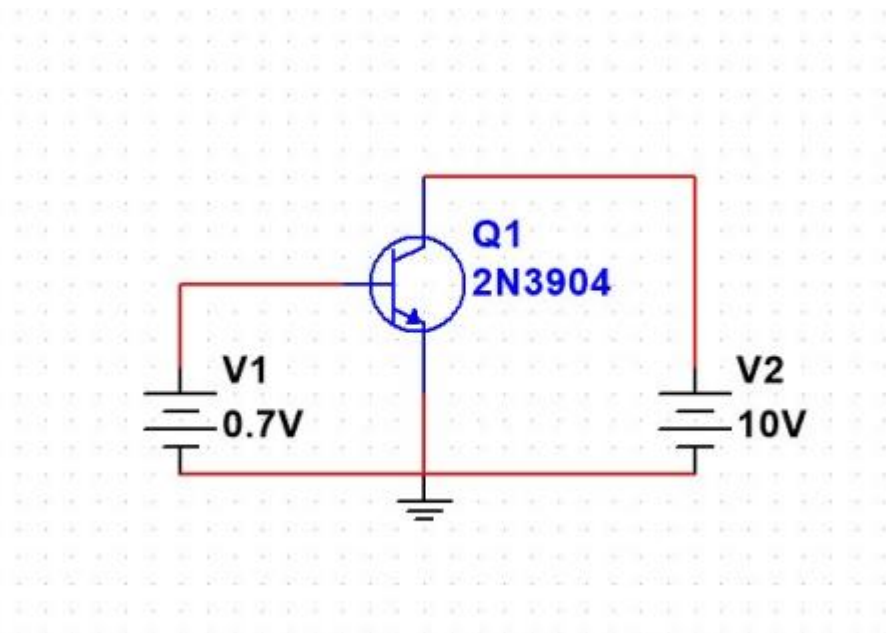


Рисунок 42. Схема біполярного транзистора в NI Multisim

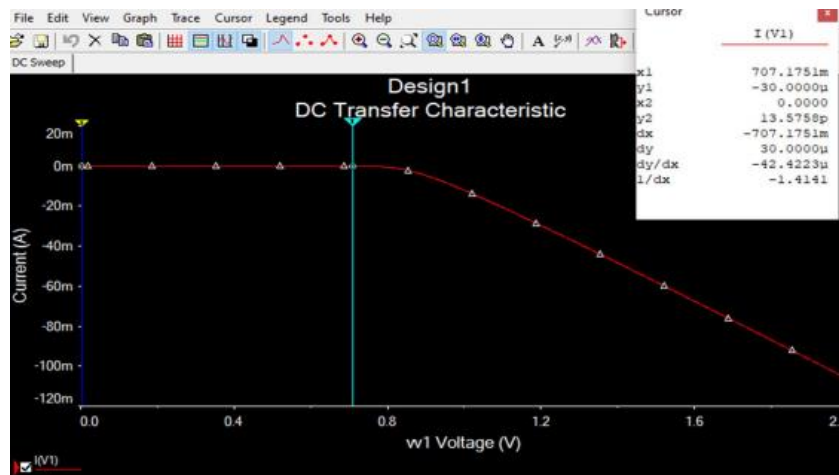


Рисунок 43. Побудова вхідної характеристики в NI Multisim

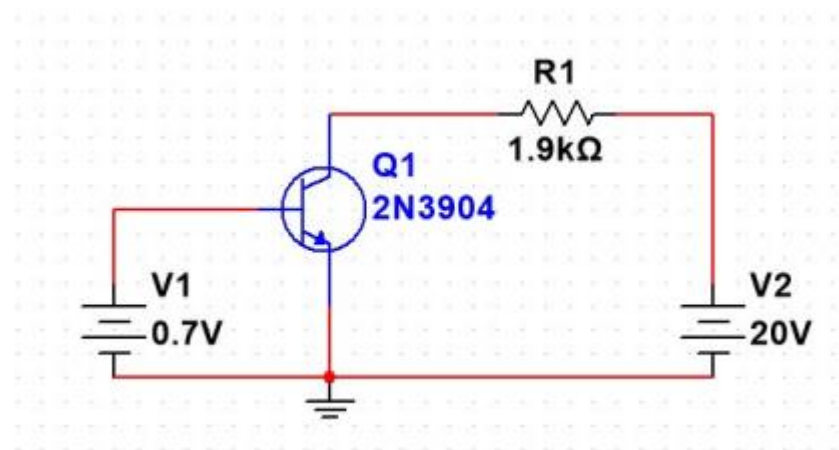


Рисунок 44. Схема біполярного транзистора з увімкнутим резистором в NI Multisim

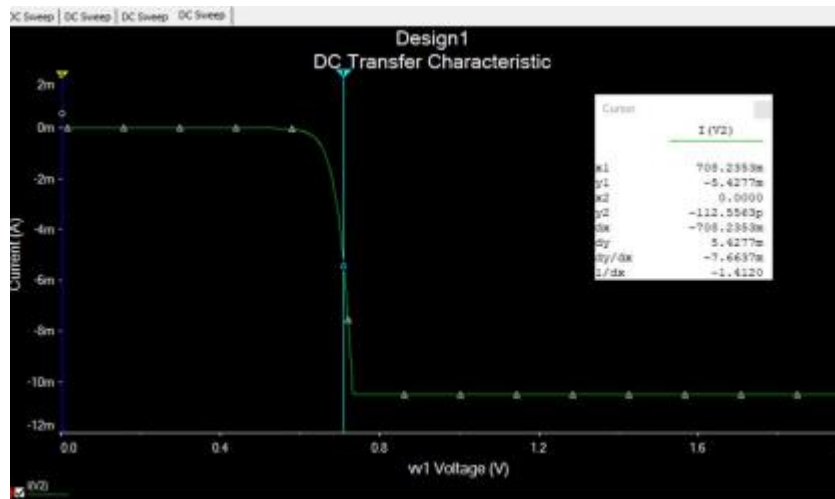


Рисунок 45. Побудова динамічної прохідної характеристики в NI Multisim

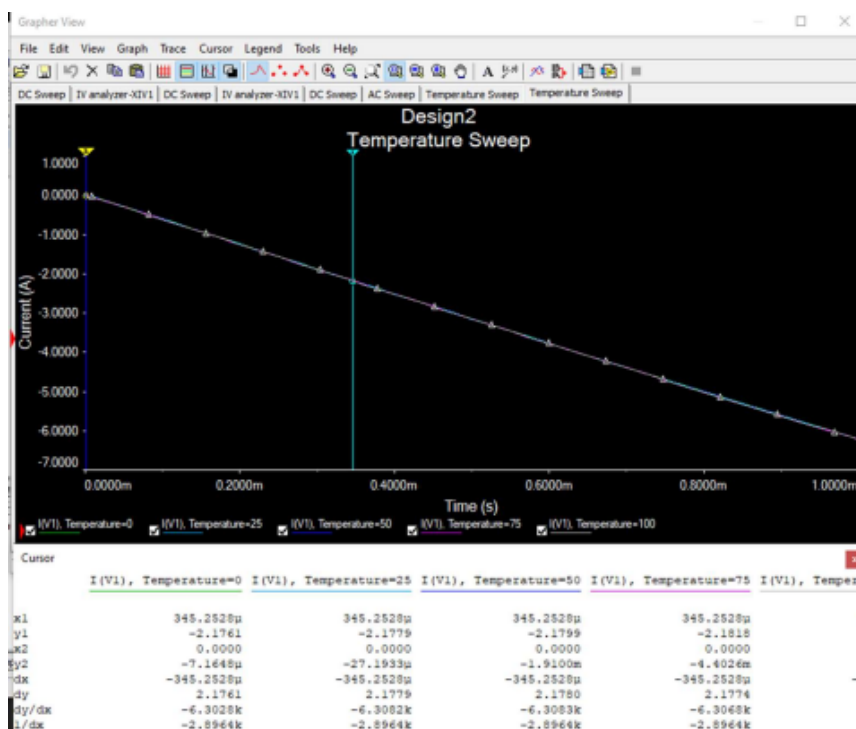


Рисунок 46. Дослідження впливу температури на струм колектора в NI Multisim

Рекомендація до лабораторної 1:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи та самі транзистори. Лабораторну роботу слід виконувати на програмному забезпеченні, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складнощі в проектуванні подібних схем.

## Лабораторна 2. «Дослідження характеристик оптрона»

Мета роботи: на лабораторному макеті вивчити принципи роботи, дослідити характеристики і параметри оптрона.

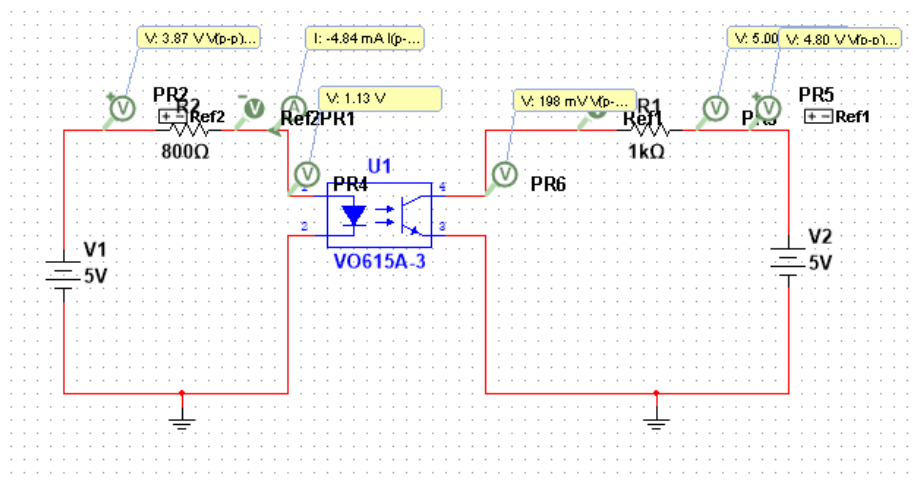


Рисунок 47. Схема оптрона з використанням VO615A-3

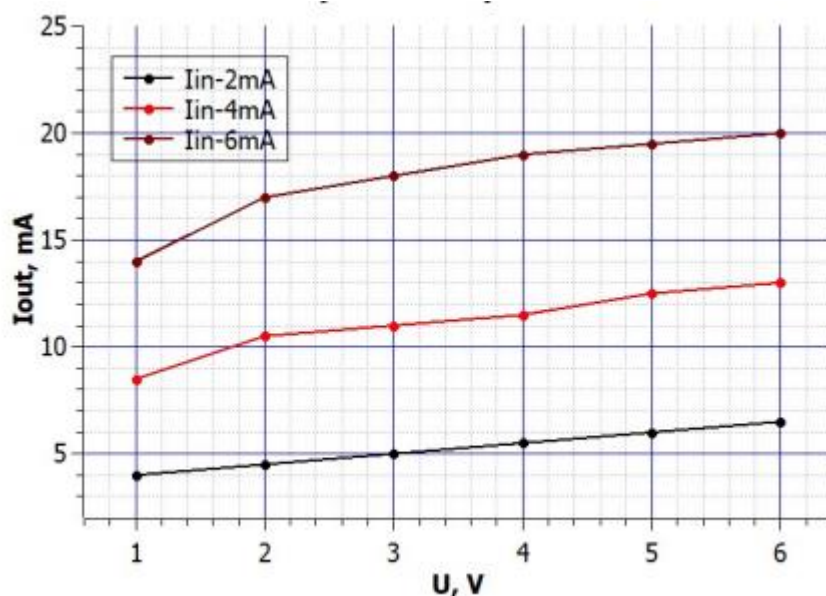


Рисунок 48. Залежність напругу на виході при різних режимах роботи

Рекомендація до лабораторної 2:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи оптрона. Лаборато-

рну роботу слід виконувати на програмному забезпеченні, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складнощі в проектуванні подібних схем.

### Лабораторна 3. «Дослідження RC – підсилювача»

Мета роботи: дослідити амплітудну і частотну характеристики RC-підсилювача.

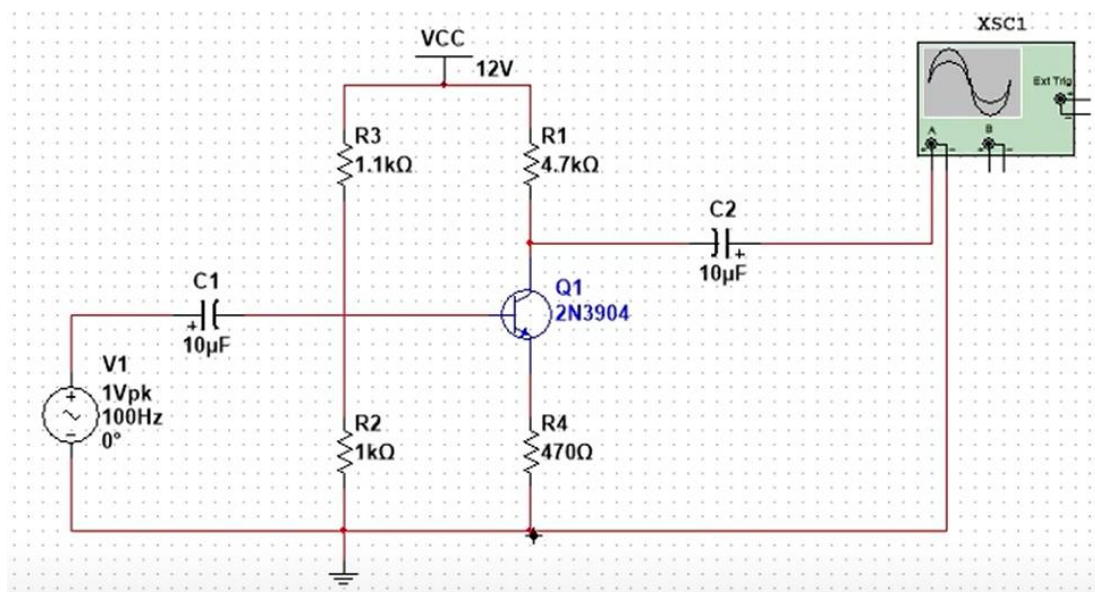


Рисунок 49. Схема RC-підсилювача з транзистором

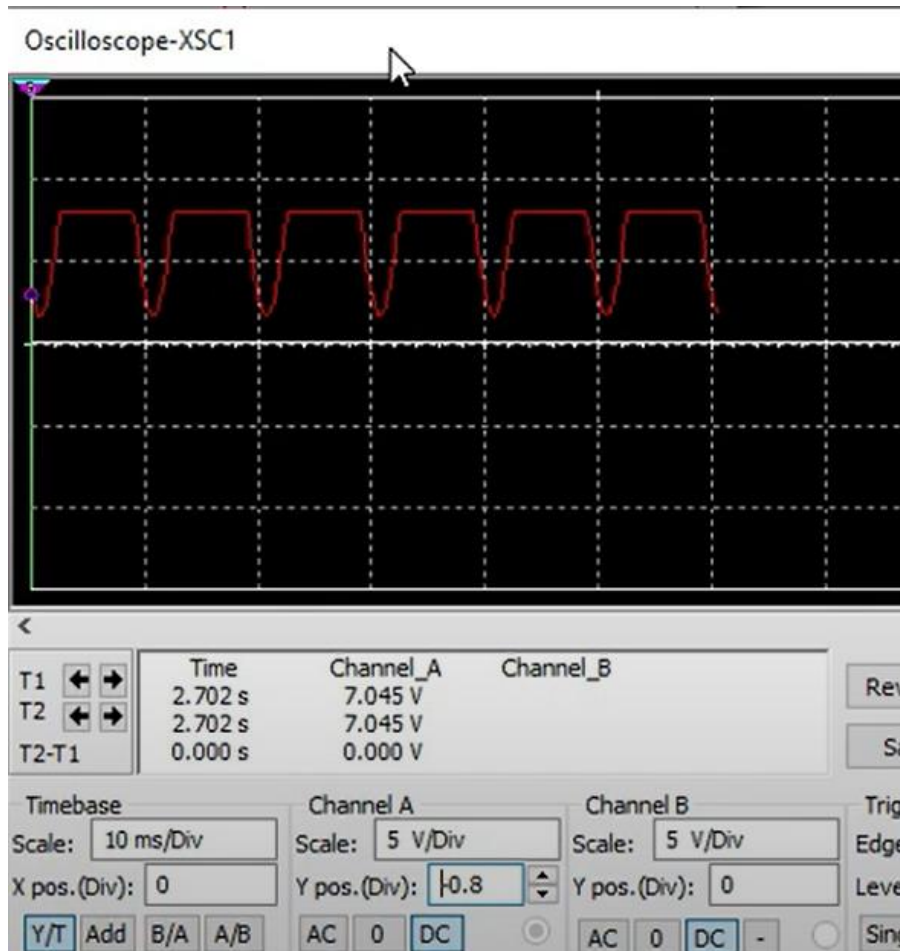


Рисунок 50. Результат роботи RC-підсилювача з транзистором

Рекомендація до лабораторної 3:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи мультиметра, транзистора. Лабораторну роботу слід виконувати на програмному засобі, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складності в проектуванні подібних схем.

Лабораторна 4. «Дослідження операційного підсилювача»

Мета роботи: на лабораторному макеті вивчити принципи роботи, дослідити характеристики і параметри операційного підсилювача та схем, побудованих з використанням операційного підсилювача.

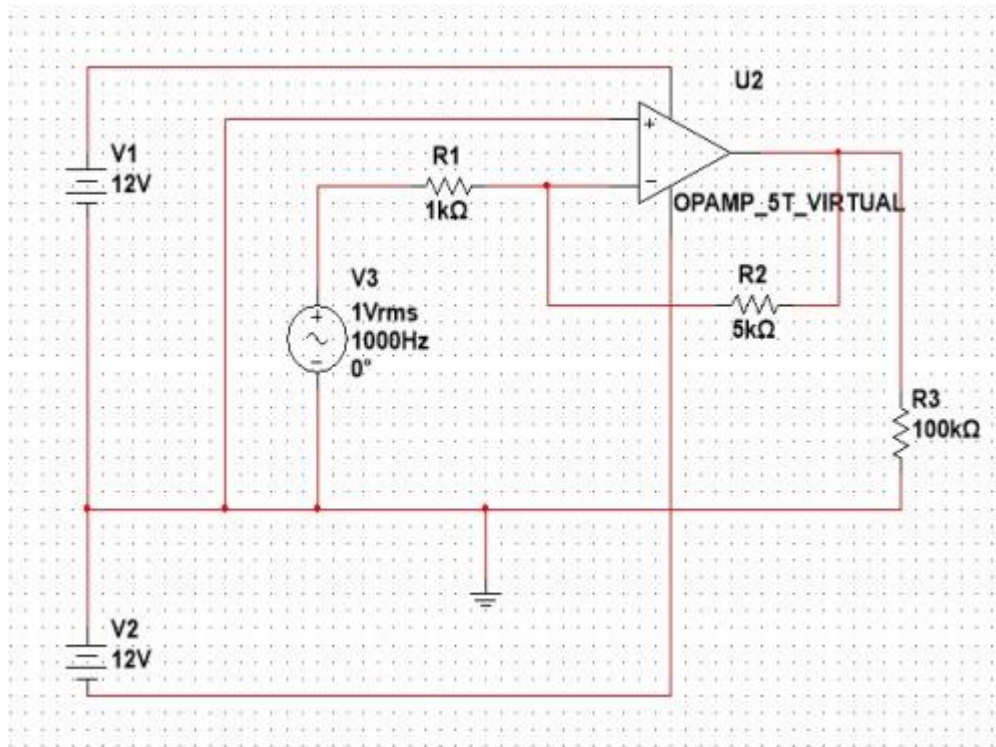


Рисунок 51. Схема з інверсним ввімкненням операційного підсилювача в NI Multisim.

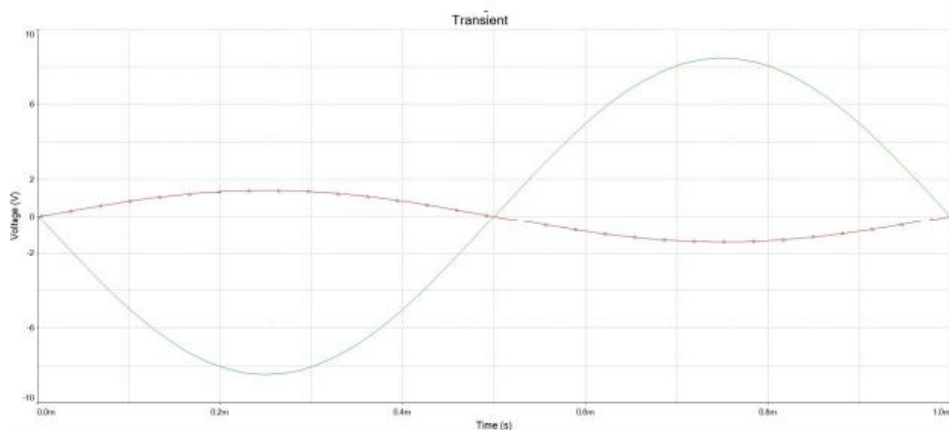


Рисунок 52. Аналіз часових залежностей

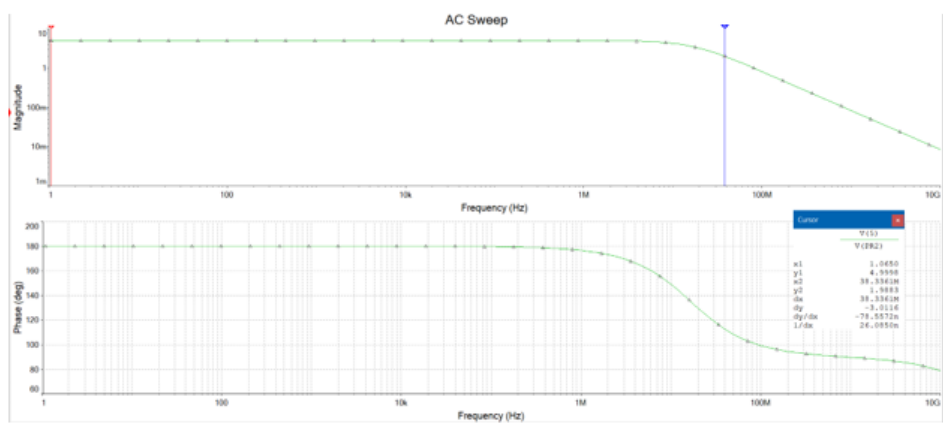


Рисунок 53. Аналіз АЧХ з коефіцієнтом підсилення

Рекомендація до лабораторної 4:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи операційного підсилювача, транзистора. Лабораторну роботу слід виконувати на програмному засобі, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складнощі в проектуванні подібних схем.

Лабораторна 5. «Виконання математичних операцій за допомогою операційного підсилювача»

Мета роботи: на лабораторному макеті вивчити принципи побудови і роботи схем для виконання математичних операцій за допомогою операційного підсилювача.

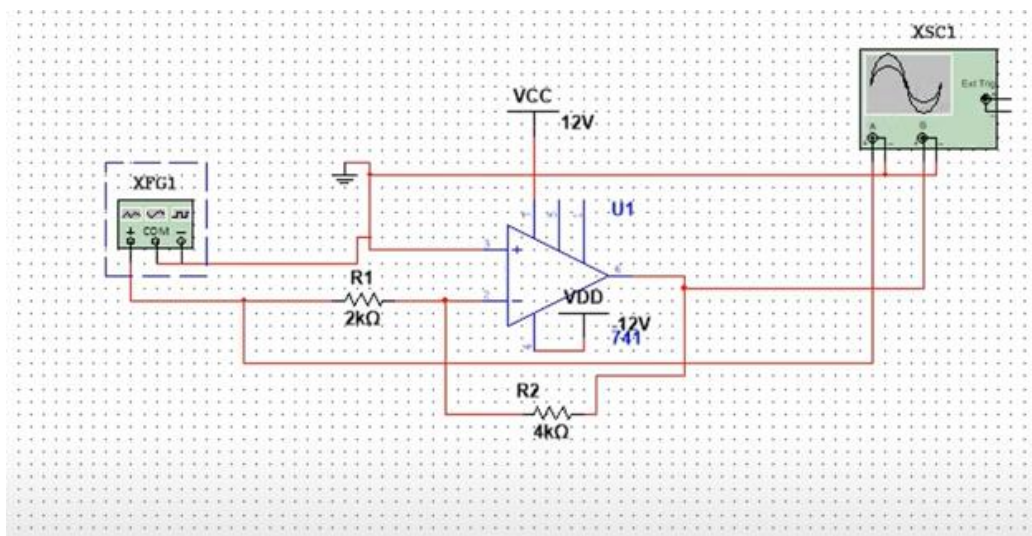


Рисунок 54. Схема інвертуючого суматора входних аналогових сигналів

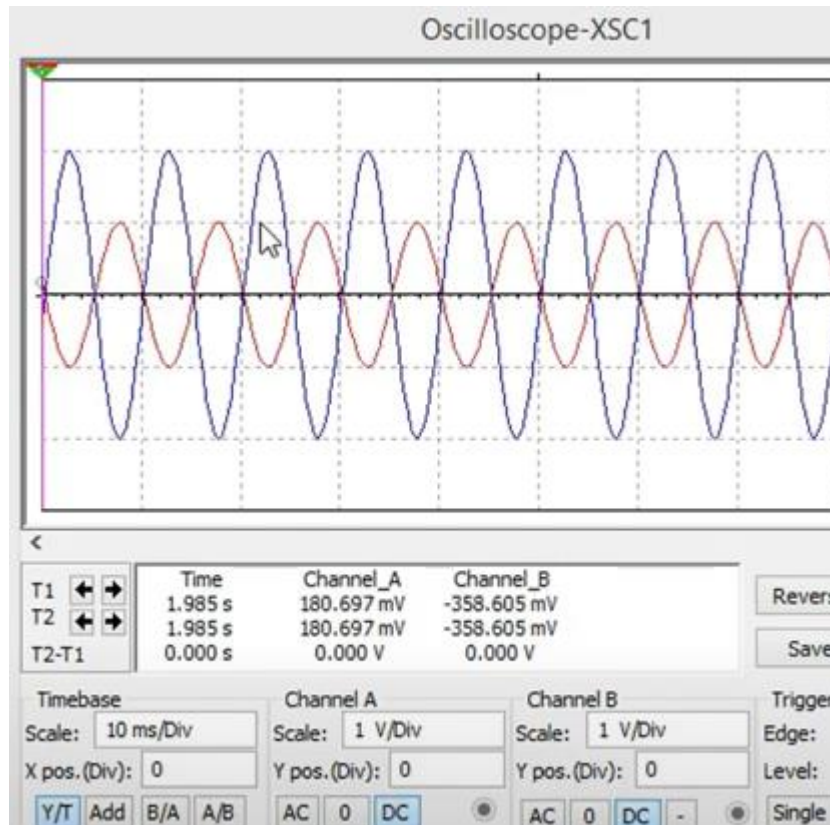


Рисунок 55. Результат роботи інвертуючого суматора вхідних аналогових сигналів

Рекомендація до лабораторної 5:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи операційного підсилювача. Лабораторну роботу слід виконувати на програмному засобі, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складнощі в проектуванні подібних схем.

Лабораторна 6. «Дослідження автоколивального мультівібратора»

Мета роботи: на лабораторному макеті вивчити принципи роботи, дослідити параметри мультівібратора на біполярних транзисторах.

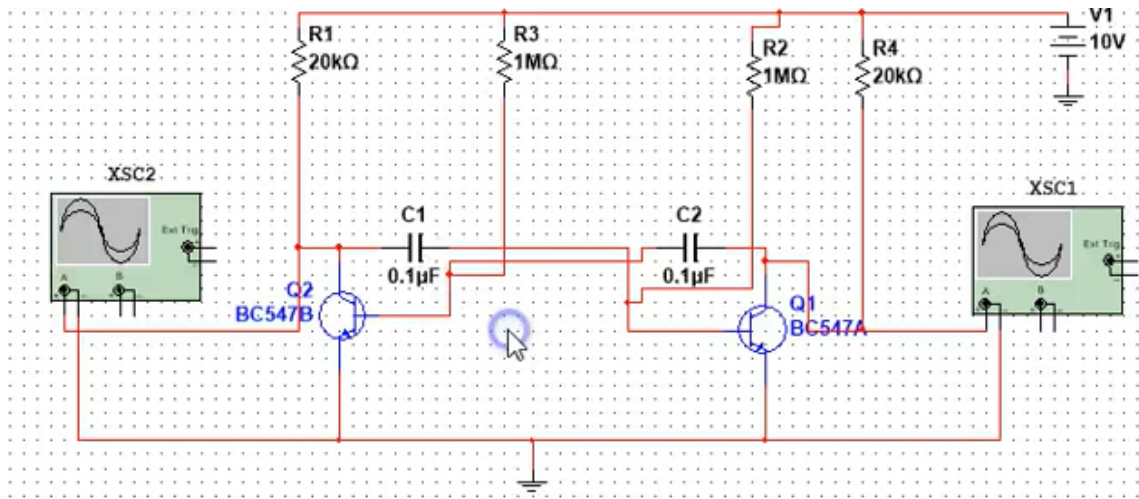


Рисунок 56. Схема автоколивального мультивібратора

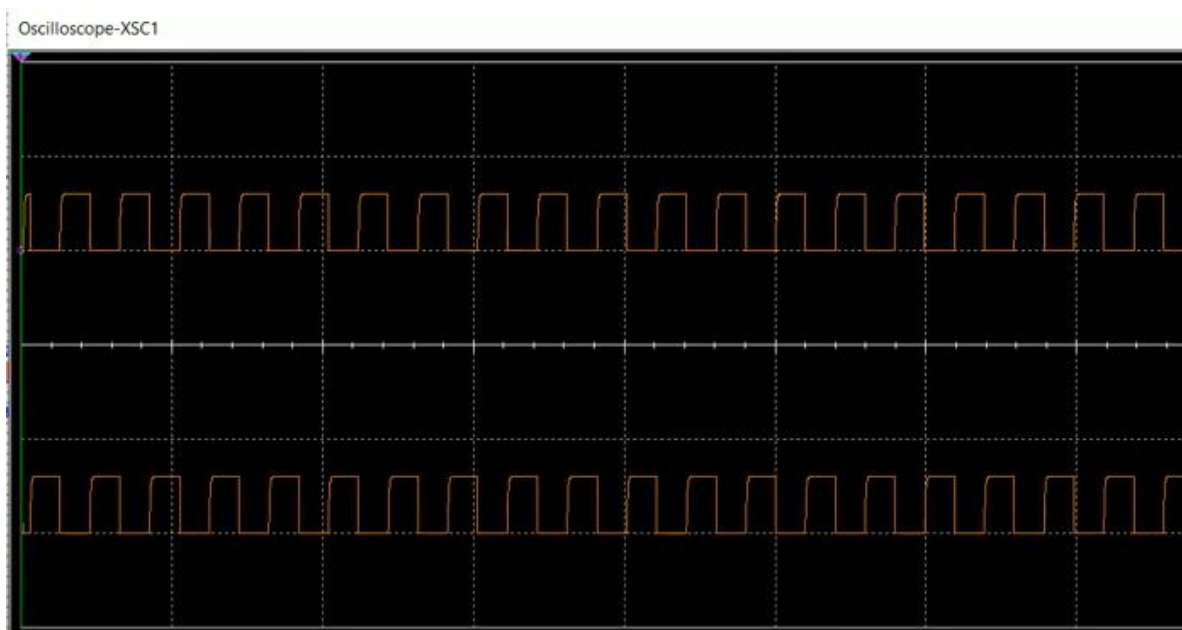


Рисунок 57. Результат роботи автоколивального мультивібратора

Рекомендація до лабораторної 6:

Для виконання лабораторної роботи потрібне програмне забезпечення, що має компонент необхідні компоненти та засоби для відстежування результату. Особливу увагу слід звернути чи наявні файли з описом роботи транзисторів. Лабораторну роботу слід виконувати на програмному засобі, бо лабораторна робота потребує зняття великої кількості вихідних значень та складнощі в проектуванні подібних схем .

## 2.7 Порівняльна характеристика програмних засобів

Під час виконання лабораторних робіт в Proteus було отримано наступне:

Через невелику складність лабораторних робіт Proteus повністю підходить для використання в курсах схемотехніки та електроніки. Велика кількість компонентів, що дає можливість виконання лабораторних робіт у повному обсязі з двох курсів. До мінусів роботи в цьому програмному засобі треба віднести те, що траплялись програмні помилки, помилки симуляції, які вирішувались запуском симуляції спочатку.

Переваги Proteus:

1. Можливість додавання нових компонентів до бібліотеки.
2. Можливість автоматичного моделювання друкованих плат за електричною схемою. Це дуже спрощує процес моделювання.
3. Наявність акційних знижок для студентів.
4. Наявність сучасних інструментів редагування.
5. Низький рівень входження.
6. Можливість моделювання у реальному часі.
7. Наявність актуальної програмної документації.
8. Можливість імпорту схем із інших CAD систем.
9. Можливість роботи з мікроконтролерами.
10. Можливість роботи з друкованими платами.

Недоліки Proteus:

1. Висока ціна платної версії.
2. Програма заточена для моделювання нескладних схем.
3. Більш вимоглива до ресурсів комп'ютера, аніж інші програми.
4. Механізм збереження файлів перед фатальним зупиненням роботи програми не завжди працює як слід.
5. Відсутність можливість широкого задання параметрів компонентів.

Програма може бути використана для виконання лабораторних робіт з курсів електроніки та схемотехніки.

Під час виконання лабораторних робіт в KiCad було помічено наступне:

До плюсів треба віднести можливість моделювання схем з різною сумісністю програмних засобів. Програма виводить дуже інформативні графіки, що можуть стати корисними для більш глибокого аналізу роботи електричних схем. Інтуїтивно складний інтерфейс, до якого треба звикати. Програма потребує високого рівня розуміння в проектуванні схем. Також незважаючи на досить велику бібліотеку компонентів вони поставляється без моделей опису роботи, що потребує в свою чергу додаткового часу на знаходження моделей у вільних ресурсах.

Переваги KiCad:

1. Відкритий код розробки. Дозволяє модифікувати програма під певні задачі.
2. Можливість автоматичного моделювання друкованих плат за електричною схемою.
3. Розповсюджується безкоштовно.
4. Можливість додавання нових компонентів до бібліотеки.
5. Підтримується більшістю операційних систем.
6. Можливість імпорту схем із інших CAD систем.
7. Наявність актуальної програмної документації.
8. Можливість роботи з мікроконтролерами.
9. Можливість моделювання складних схем.
10. Можливість роботи з друкованими платами.

Недоліки KiCad:

1. Великий поріг входження. Для проектування схем треба гарно вивчити документації.
2. Механізм збереження файлів перед фатальним зупиненням роботи програми не завжди працює як слід.

3. Відсутня можливість моделювання у реальному часі.
4. Відсутність можливість широкого задання параметрів компонентів.

Програма є занадто складної для освоєння та виконання лабораторних завдань.

Під час виконання лабораторних робіт в Micro-Cap було помічено наступне: Зручний інтерфейс, що дає можливість роботи в програмному засобі без попереднього розбору документації. Інформативний графік, що може стати корисним для глибокого аналізу роботи схем. Доступна документація, наявність безкоштовних офіційних відео-уроків. З мінусів слід виділити малу бібліотеку компонентів, але це можна вирішити додатково встановивши інші бібліотеки з вільних ресурсів.

Переваги Micro-Cap:

1. Безкоштовне розповсюдження програми.
2. Можливість автоматичного моделювання друкованих плат за електричною схемою.
3. Наявність актуальної програмної документації.
4. Наявність сучасних інструментів редагування.
5. Можливість задання великої кількості параметрів компонентів.
6. Гарне моделювання аналогових схем.
7. Можливість моделювання складних схем.
8. Можливість роботи з мікроконтролерами.
9. Можливість імпорту схем із інших CAD систем.
10. Низький поріг входження. Для проектування схем треба гарно вивчити документації.
11. Гарний механізм збереження файлів перед фатальним закриттям програми.

Недоліки Micro-Cap:

1. Відсутність можливості запуску програми на ОС Linux та MAC OS без допоміжних програм.

2. Відсутня можливість роботи з друкованими платами.
3. Недостатня кількість внутрішніх бібліотек.
4. Відсутня можливість моделювання у реальному часі.

Програма може бути використана для виконання лабораторних робіт з курсів електроніки та схемотехніки.

Під час виконання лабораторних робіт в QUCS було помічено наступне: Зручний інтерфейс, що дає можливість роботи в програмному засобі без попереднього розбору документації. З мінусів слід виділити складність симуляції схем, малоінформативні графіки, малу бібліотеку компонентів.

#### Переваги QUCS:

1. Низький поріг входження.
2. Розповсюджується безкоштовно.
3. Можливість додавання нових компонентів до бібліотек.
4. Наявність актуальної документації.
5. Можливість імпорту схем із інших CAD систем.
6. Гарний механізм збереження файлів перед фатальним закриттям програми.
7. Можливість роботи з мікроконтролерами.

#### Недоліки QUCS:

1. Програма не може бути використана для роботи зі складними схемами.
2. Відсутня можливість широкого налаштування компонентів.
3. Відсутність можливості моделювання у реальному часі.
4. Графіки надають недостатню інформацію.
5. Складність розуміння документації.
6. Відсутня можливість роботи з друкованими платами.

Програма не може бути використана для виконання лабораторних робіт з курсів схемотехніки та електроніки.

Під час виконання лабораторних робіт в NI Multisim було помічено наступне: Зручний інтерфейс, що дає можливість роботи в програмному засобі без попереднього розбору документації. Інформативний графік, що може стати корисним для глибокого аналізу роботи схем. Розширені можливості тестерів. Моделювання з широким налаштуванням вхідних параметрів. Доступна документація. З мінусів слід виділити велику ціну ліцензії, більші вимоги до апаратної частини, аніж аналогічні програми.

#### Переваги NI Multisim:

1. Можливість моделювання у реальному часі.
2. Можливість додавання компонентів до бібліотек.
3. Розширені можливості тестерів.
4. Наявність акційних пропозицій для студентів.
5. Наявність актуальної програмної документації.
6. Моделювання з розширеною можливістю змін параметрів.
7. Можливість імпорту схем з інших CAD систем.
8. Наявність сучасних інструментів для роботи з графіками.
9. Можливість роботи з мікроконтролерами.
10. Можливість роботи з друкованими платами.

#### Недоліки NI Multisim:

1. Відсутність безкоштовної версії для студентів.
2. Відсутність можливості запуску програми на ОС Linux та MAC OS без допоміжних програм.
3. Програма використовується для моделювання проміжних по складності схем.
4. Більш вимоглива до ресурсів комп'ютера, аніж інші програми.
5. Механізм збереження файлів перед фатальним зупиненням роботи програми не завжди працює як слід.

Програма може бути використана для виконання лабораторних робіт з курсів електроніки та схемотехніки.

	Proteus	KiCad	Micro-Cap	QUCS	NI Multi-sim
Можливість безкоштовного встановлення	Ні	Так	Так	Так	Ні
Можливість додавання нових компонентів до бібліотеки	Так	Так	Так	Так	Так
Наявність актуальної програмної документація	Так	Так	Так	Так	Так
Можливість імпорту схем із інших САД систем	Так	Так	Так	Так	Так
Збереження файлів перед виникненням помилки в програми	Ні	Ні	Так	Так	Ні
Можливість задання в параметрах компонентах освітлення, температури тощо.	Ні	Ні	Так	Ні	Так
Наявність інструментів для глибокого аналізу вихідних значень	Так	Так	Так	Ні	Так
Можливість роботи з мікроконтролерами	Так	Так	Так	Так	Так
Можливість роботи з друкованими платами	Так	Так	Ні	Ні	Так
Можливість симуляції в реальному часі	Так	Ні	Ні	Ні	Так

Таблиця 2. Порівняльна таблиця критеріїв до програмного забезпечення

## ВИСНОВКИ

В результаті аналітичного огляду лабораторних робіт з курсів схемотехніки та електроніки було сформовано необхідні вимоги до програмного забезпечення для виконання лабораторних робіт. Proteus, Micro-Cap та NI Multisim повністю відповідають потрібним вимогам та можуть бути використаними для виконання курсу лабораторних робіт. Лабораторні роботи, схеми яких не є складними в моделюванні слід виконувати на апаратному забезпеченні для отримання необхідних практичних навичок студентами. Більш складні лабораторні роботи слід виконувати на програмному забезпеченні в цілях збереження дорогих компонентів від можливих пошкоджень.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ТА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. І.І. Бех, С.М. Левитський, С.О. Новак. Фізичні основи комп'ютерної електроніки: навч. посібн [Посібник].
2. І.І. Бех, С.М. Левитський. Фізичні основи комп'ютерної електроніки. – К.: ТОВ “Карбон”, – 2010 р., – 233 с. [Посібник].
3. С.М. Левитський. Основи радіоелектроніки. – К.: ВПЦ “Київський університет”, – 2007 р., – 455 с. [Посібник].
4. І. Богданов, Ю. Єфименко. Аналіз перехідних процесів в електричних колах засобами NI Multisim: навч. посібн, 2012 р. [Посібник]
5. А.С. Березин, О.Р. Мочалкіна. Технологія і конструювання інтегральних мікросхем: навч. посібник, 1983 р. [Посібник]
6. Ю. О. Кочкар'юв, С. В. Бурмістров, І.В. Синько. Спрощення логічного синтезу цифрових блоків на основі каталогів логічних функцій: наукова стаття, журнал «Радиоэлектроника и информатика», 2012 р. [Стаття]
7. Н. Goyal. Understanding of ic555 timer and ic 555 timer tester: стаття, 2015 р. [Стаття]
8. І.Р. Грицевич, В.О. Піддубний. Прилад для дослідження характеристик напівпровідникових елементів: навч. посібн. для студ. спец. вузів, 2016 р. [Посібник].
9. А.П. Мельник. Розробка та дослідження характеристик підсилювача потужності: наукова робота, 2021 р. [Наукова робота]
10. С. Новосядлий, В. Мандзюк, В. Грига. Моделювання Частотних Властивостей Операційних Підсилювачів в Пристроях Аналого-Цифрової Обробки Сигналів: навч. посібн. для студ. спец. вузів, 2019 р., 165 с [Посібник].
11. Ю.В. Лавріненко. Основи електротехніки і електроніки: збірник методичних вказівок до виконання лабораторних робіт: навч. посібн. для студ. 2010 р. [Посібник].

12. Є.І. Король, О.А. Бутова. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Аналогова схемотехніка": навч. посібн. для студ. спец. вузів, 2009 р. [Посібник].
13. Є.М. Вдовенко. Мультивібратор управління розгорткою осцилографа: наукова робота, 2020 р. [Наукова робота]
14. А.В. Карпот, С.А. Калабанов, Р.И. Шагів. Сучасні програмні засоби структурно-функціонального та схемо-технічного моделювання: навч. посібн. для студ. спец. вузів. Казань, 2013 р. [Посібник].
15. «CAD програми» [Електронний ресурс].  
[https://cxem.net/software/soft\\_CAD.php](https://cxem.net/software/soft_CAD.php)
16. Офіційний сайт компанії Labcenter Electronics [Електронний ресурс].  
<https://www.labcenter.com/>
17. Офіційна документація KiCad [Електронний ресурс].  
<https://docs.kicad.org/5.1/ru/kicad/kicad.html>
18. Офіційний сайт Micro-Cap [Електронний ресурс].  
<http://www.spectrum-soft.com>
19. «Знайомимся з Micro-CAP» [Електронний ресурс].  
<https://old.mephi.ru>
20. Офіційний сайт QUCS [Електронний ресурс].  
<http://qucs.sourceforge.net/>
21. Офіційний сайт NI Multisim  
<https://www.ni.com>