

## ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий ( Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

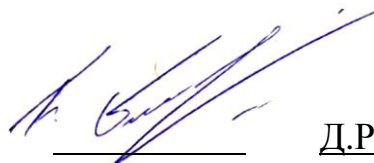
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему «Технологія моделювання радіотехнічних пристроїв на основі мультипрограмного середовища NI MULTISIM»

ДРТР. 2019078.01.03 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група ТР<sub>м</sub>-19-1



підпис

Д.Р. Бабій

Ініціали, прізвище

Керівник: докт. техн. наук, доц.



підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, доц.



підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

13 12 2020 р.

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем  
 Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій  
 Освітній рівень другий (магістерський)  
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації  
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
 Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

« 3 » 09 2020р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

Бабію Дмитру Романовичу

1 Тема роботи: *Технологія моделювання радіотехнічних пристроїв на основі мультипрограмного середовища NI MULTISIM*  
 керівник роботи Підченко Сергій Костянтинівич, д.т.н, доцент  
 Затверджено наказом по університету від «1» вересня 2020 р. № 118

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 25.11.2020 р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

**Мета роботи** – підвищення кваліфікації інженерів-проектувальників радіоелектронної апаратури за рахунок впровадження в технологічні та освітні процеси методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем.

**Об'єкт дослідження** – методи та засоби математичного та імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем

**Предмет дослідження** – технологія моделювання електричних принципових схем радіотехнічних пристроїв за допомогою мультипрограмного середовища NI Multisim.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

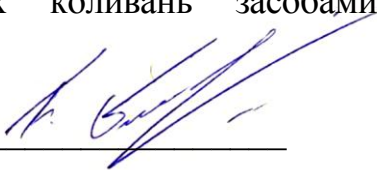
1 Огляд технологій та програмних засобів для моделювання Радіотехнічних пристроїв.

2 Моделі та методи комп'ютерного моделювання схем радіотехнічних пристроїв

3 Технологія комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв на основі програмного засобу NI Multisim

4 Схемотехнічне моделювання генераторів хаотичних коливань засобами мультипрограмної платформи NI Multisim

Завдання отримав



Науковий керівник



## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	10.09.2020 р.	виконано
2	Написання 1 розділу ДР	22.09.2020 р.	виконано
3	Визначення проблеми дослідження	29.09.2020 р.	виконано
4	Написання 2 розділу	20.10.2020 р.	виконано
5	Розробка моделі	27.10.2020 р.	виконано
6	Написання тез конференції	2.11.2020 р.	виконано
7	Написання 3 розділу ДР	7.11.2020 р.	виконано
8	Теоретичне та практичне моделювання	15.11.2020 р.	виконано
9	Написання 4 розділу	24.11.2020 р.	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки до ДР	26.11.2020 р.	виконано
11	Оформлення презентаційних матеріалів	30.11.2020 р.	виконано

Студент



Бабій Д.Р.

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підченко С. К.

Підпис

Ініціали, прізвище

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ...	9
РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ .....	9
1.1 Технології імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв.....	9
1.2 Особливості радіотехнічних пристроїв та систем як об'єктів моделювання ...	14
1.3 Особливості комп'ютерного моделювання електричних кіл .....	17
1.4 Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем .....	20
1.4 Висновки до першого розділу.....	25
2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ .....	26
2.1 Формальний опис радіотехнічної системи з точки зору моделювання.....	26
2.2 Формальний опис електричних кіл за допомогою компонентних матриць .....	32
2.4 Висновки до другого розділу .....	35
3 ТЕХНОЛОГІЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ NI MULTISIM.....	36
3.1 Опис інтерфейсу користувача програми NI Multisim .....	36
Середовище Multisim (рисунок 3.1) – це спеціалізоване ПЗ, яке призначене для моделювання електричних принципових схем електро- та радіотехнічних пристроїв від компанії National Instruments. ....	36
3.2 Стандартна та головна панелі інструментів .....	37
3.3 Панелі моделювання, вимірювання та візуалізації.....	40
3.4 Панелі радіоелементів та віртуальних приладів .....	43
3.5 Інструменти для аналізу цифрових схем .....	50
3.7 Висновки до третього розділу .....	54

4 СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ЗАСОБАМИ МУЛЬТИПРОГРАМНОЇ ПЛАТФОРМИ NI MULTISIM .....		55
4.1 Генератори Колпітца та Хартлі .....		55
4.2 Генератор Чуа .....		62
4.4 Висновки до четвертого розділу.....		64
Загальні висновки до роботи.....		65
Перелік джерел посилання .....		66
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІ OSCILOSCOPE ТА SPECTRUM ANALYZER ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ХАОТИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ.....		69

## ВСТУП

Технологічні процеси, пов'язані із проектуванням та розробкою радіотехнічних пристроїв та систем можна суттєво оптимізувати та автоматизувати за рахунок впровадження методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання принципних електричних схем. Спеціалізоване програмне забезпечення надає можливості візуального конструювання та моделювання структурних та принципних електричних схем, формування та розв'язку для них систем рівнянь електричної рівноваги, а також візуалізація і представлення результатів. Сьогодні на ринку програмного забезпечення доступно чимало таких програмних продуктів, одним із таких є мультипрограмне середовище NI Multisim, технологія моделювання на базі якого є предметом дослідження в даній роботі.

*Актуальність теми дослідження.* Актуальність теми магістерської роботи полягає у впровадженні методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем в навчальний процес з метою підвищення кваліфікації майбутніх інженерів-проектувальників.

*Мета і задачі дослідження.* Метою дослідження є підвищення кваліфікації інженерів-проектувальників радіоелектронної апаратури за рахунок впровадження в технологічні та освітні процеси методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- аналіз існуючих методів та технологій комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем;
- аналіз математичних моделей радіотехнічних пристроїв і систем та підходів щодо їх розробки;

- аналіз методів формування систем рівнянь електричної рівноваги для принципових схем радіотехнічних пристроїв;

- аналіз існуючих програмних засобів для моделювання та проектування радіоапаратури;

- дослідження основних можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;

- розробка імітаційних схемотехнічних моделей генераторів хаотичних коливань та їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

*Об'єкт дослідження:* методи та засоби математичного та імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем

*Предмет дослідження:* технологія моделювання електричних принципових схем радіотехнічних пристроїв за допомогою мультипрограмного середовища NI Multisim.

*Методи дослідження:* Для вирішення поставлених задач були використані методи математичного моделювання, системного аналізу, теорії електричних кіл, алгоритмізації і програмування.

*Наукова новизна отриманих результатів:* отримали подальшого розвитку математичні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа.

*Практичне значення отриманих результатів:*

- проведено аналіз існуючих методів та технологій комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем;

- проведено аналіз математичних моделей радіотехнічних пристроїв і систем та підходів щодо їх розробки;

- проведено аналіз методів формування систем рівнянь електричної рівноваги для принципових схем радіотехнічних пристроїв;

- досліджено основні можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;

- розроблено схемотехнічні імітаційні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа та проведено їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

*Апробація результатів дослідження.* За результатами магістерської роботи були підготовлені тези, які були опубліковані в збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал», яка проходила в Хмельницькому 9-10 листопада 2020 року.

# 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

## 1.1 Технології імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв

Технології моделювання радіотехнічних пристроїв за допомогою комп'ютерної техніки отримали широкого застосування за рахунок їх ефективності та економічності.

Використання програмного забезпечення (ПЗ) для моделювання радіоелектронних пристроїв на виробництві дозволяє суттєво підвищити та в значній мірі автоматизувати виробничі процеси та підвищити якість продукції.

Головною задачею, від розв'язання якої залежить успішність інженерного рішення, є вибір адекватної математичної моделі [1, 2]. Така модель, а також відповідний обчислювальний алгоритм та ПЗ, повинні давати нову, до цього невідому, інформації щодо об'єкта дослідження в процесі комп'ютерного моделювання.

Вибір того чи іншого методу моделювання та побудова математичної моделі радіотехнічної системи не можуть бути строго формалізовані та в значній мірі опираються на досвід інженера-дослідника, його інтуїцію та практичні навички.

Зазвичай саме вибір адекватної математичної моделі, яка б дозволила швидко та ефективно вирішити поставлену задачу шляхом комп'ютерного моделювання, є найбільш складним та неоднозначним. Отже, розвиток теорії щодо розробки математичних моделей радіотехнічних систем та пристроїв радіоелектроніки для моделювання на комп'ютері має важливе практичне значення.

Прийнято виділяти наступні етапи математичного (імітаційного) моделювання за допомогою комп'ютерної техніки [1]:

1. Формулювання задачі моделювання, розробка та програмна реалізація математичної моделі радіотехнічної системи. На цьому етапі головною метою є формалізація та математичний опис поставленої задачі дослідження.

2. Розробка імітаційних моделей (за допомогою відповідного ПЗ), програмування та налагодження ПЗ, написаного згідно обраної математичної моделі та призначеного для моделювання і дослідження радіотехнічного пристрою чи системи. Даний етап може включати в себе розробку структурних схем моделі (наприклад, якщо використовується ПЗ візуального моделювання) та може бути в значній мірі формалізований. Головною вимогою до програмної реалізації моделі ставиться економічність з точки зору мінімізації необхідного для виконання машинного часу та забезпечення прийнятної точності обчислень.

3. Моделювання радіотехнічної системи або пристрою для заданих умов та параметрів моделі, що характеризують умови експлуатації, та оформлення результатів дослідження.

4. Інтерпретація та критичний аналіз результатів моделювання на наявність нової корисної інформації про об'єкт дослідження (радіотехнічний пристрій, систему тощо).

Усі описані вище етапи вимагають високої кваліфікації інженера та пов'язані із виконанням великого обсягу одноманітної рутинної роботи, яка може бути формалізована та автоматизована за допомогою відповідного спеціалізованого ПЗ.

Математичне моделювання деякого об'єкту дослідження завжди має на меті отримання нової інформації про цей об'єкт або явище, що дозволить розширити та поглибити їх формальний опис. В результаті моделювання радіотехнічних систем приймається проектне рішення щодо подальшої розробки того чи іншого пристрою чи системи.

У випадку комп'ютерного моделювання алгоритм проведення дослідження (імітаційного моделювання) може бути представлений у вигляді послідовності кроків (рисунок 1.1) [1].

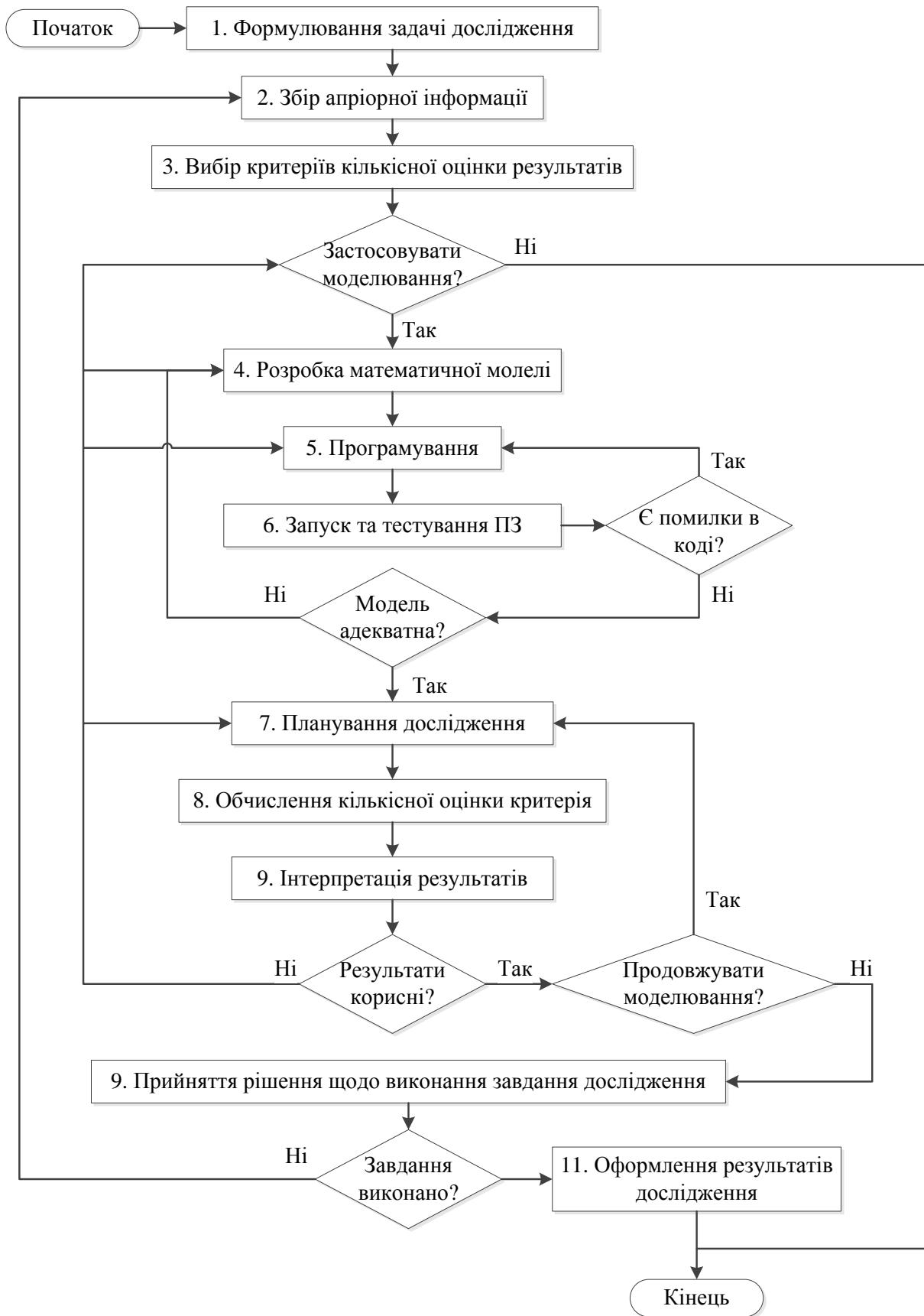


Рисунок 1.1 – Алгоритм дослідження шляхом комп'ютерного моделювання

Алгоритм технологічного процесу, блок-схема якого зображена на рисунку 1.1, складається з таких етапів:

1. Постановка та формулювання задачі моделювання, що включає в себе:

- сукупність нових досі не відомих відомостей, які мають бути отримані в результаті моделювання;

- окреслення межі абстрагування об'єкта дослідження;

- набір припущень та обмежень за умови яких буде проводитись моделювання.

2. Збір та аналіз апріорної інформації щодо об'єкта моделювання має на меті забезпечити необхідний обсяг вихідних даних для побудови адекватної математичної моделі.

3. Вибір критерія, за яким буде проводитись кількісна оцінка результатів дослідження об'єкту (або оптимізація) з метою прийняття проектно-інженерного рішення. Необхідно розглянути можливість вирішення поставленої задачі за допомогою інших, відмінних від комп'ютерного моделювання, методів дослідження. Вирішується доцільність використання машинних методів з точки зору економічності та ефективності.

4. Розробка математичної моделі об'єкта є найбільш відповідальним та складним етапом дослідження. Він включає в себе формальний та неформальний (концептуальний) опис моделі та алгоритму дослідження. Неформальний опис об'єкта дослідження, у випадку радіотехнічних пристроїв та систем, може бути представлений у вигляді функціональних схем пристроїв та їх складових елементів.

5. Програмна реалізація математичної моделі та алгоритму моделювання на мові високого рівня проводиться з урахуванням особливостей апаратної архітектури обчислювального пристрою, на якому буде проводитись тестування та налагодження ПЗ. На цьому етапі обираються найбільш оптимальні засоби (мови програмування, бібліотеки, фреймворки, пакети прикладних програм) для вирішення поставленої задачі моделювання.

6. Тестування та налагодження включає в себе компіляцію вихідних кодів програми та сторонніх бібліотек (у випадку розробки власного ПЗ) або розробку та налагодження імітаційної моделі засобами існуючих програмних середовищ (наприклад, Simulink, LabView, VisSim тощо). Після тестування та налагодження ПЗ проводиться перевірка адекватності моделі об'єкту дослідження, від чого наряду залежить на скільки коректними будуть результати моделювання. У разі неадекватної моделі слід повернутися до попереднього етапу та уточнити інформацію про об'єкт дослідження, а при необхідності переглянути алгоритми та засоби програмної реалізації. В результаті має бути сформований програмний комплекс готовий до використання.

7. Важливим етапом є планування подальшого дослідження, яке дозволяє організувати процес моделювання з мінімальними витратами часу та отриманням повної інформації про об'єкт дослідження.

8. Обчислення кількісного критерію, за яким проводиться характеристика об'єкту дослідження або оптимізація якого стоїть на меті.

9. Після отримання результатів моделювання проводиться їх інтерпретація та робляться висновки щодо функціональності радіотехнічного пристрою чи системи на основі отриманих даних. Якщо результати моделювання несуть корисну інформацію, яка придатна для подальшого застосування в технологічному процесі розробки, то така інформація приймається і моделювання вважається успішним. У протилежному випадку необхідно переглянути усі попередні етапи з метою визначення причини негативного результату.

10. Завершальним етапом є прийняття рішення щодо виконання чи невиконання поставлених задач дослідження. Для цього отримана в результаті моделювання інформація порівнюється із очікуваними результатами відповідно до поставлених задач. В результаті оформлюється відповідна конструкторська документація.

## 1.2 Особливості радіотехнічних пристроїв та систем як об'єктів моделювання

В рамках представленої магістерської роботи в якості об'єкта моделювання виступають радіотехнічні пристрої (РТП) та радіотехнічні системи (РТС).

Особливістю РТП та РТС як об'єктів математичного (імітаційного) моделювання є їх спрямованість на передачі та прийом інформації за допомогою радіосигналів, що спонукає до виокремлення даних систем в окрему категорію інформаційних систем [2].

В першому наближенні будь-яку РТС можна представити у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 1.2 [2].

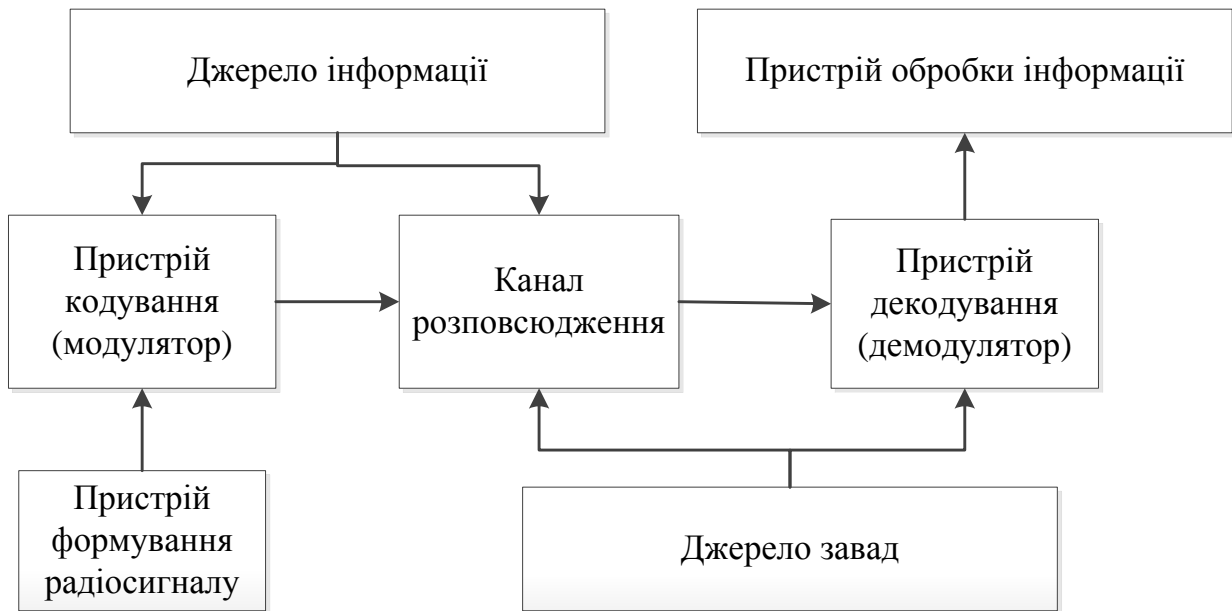


Рисунок 1.2 – Спрощена структурна схема РТС

В свою чергу під РТП будемо розуміти будь-який структурний елемент, що входить до складу РТС, зображеної на рисунку 1.2.

Загалом РТС складається із радіотехнічних засобів, які призначені для виконання задач, що пов'язані із обміном інформації між окремими складовими

частинами системи за допомогою радіосигналів виду  $s = s(t, \lambda)$ , які є носіями інформаційних повідомлень виду  $\lambda = \lambda(t)$  [1].

Виділяють наступні класи РТС [1, 2, 3]:

- системи передачі інформації (СПІ) від відправника до отримувача;
- радіолокаційні системи (РЛС), які служать для виявлення та слідкування за рухомими об'єктами та вимірювання їх координат;
- радіонавігаційні системи (РНС) – такі системи, що встановлюються на рухомому об'єкті і призначені для визначення місцезнаходження останнього;
- радіотехнічні системи керування (РСК), які призначені для керування технологічними процесами та об'єктами на відстані;
- системи радіорозвідки (СРР), що призначені для виявлення радіосигналів, які випромінюються засобами радіозв'язку, аналізу та вимірювання їх параметрів та визначення напрямку прибуття;
- системи радіопротидії (СРП), що використовуються для руйнування корисної інформації в точці прийому радіосигналів з метою порушення нормального функціонування радіосистем.

Усі перераховані класи РТС, як уже зазначалось, відносяться до специфічних класів систем. Під час дослідження та проектування таких систем з використанням математичного моделювання доводиться зустрічатися із наступними проблемами:

- наявність багатовимірних систем з великою кількістю елементів, що функціонально зв'язані між собою багатьма зв'язками та статистичним характером їх поведінки;
- системи та пристрої знаходяться під постійним впливом низки випадкових факторів;
- перетворення сигналів в системах відбувається значно швидше ніж тривають процеси, які переносять інформаційні повідомлення.

Таким чином, в процесі проектування РТС необхідно враховувати велику кількість показників якості пристроїв передачі, прийому та обробки сигналів.

Для забезпечення можливості імітаційного моделювання та розробки адекватних математичних моделей РТП та РТС різного типу призначення необхідно застосовувати спеціальні методи, які дозволяють спростити математичний опис моделей та методів моделювання.

З урахуванням особливостей моделювання РТС та РТП виділяють наступні задачі, які необхідно вирішити для оптимізації процесу моделювання [1]:

1. Розробка теорії формування адекватних математичних моделей РТС та РТП, які б відповідали вимогам мінімальної складності за умови забезпечення заданої точності.

2. Оптимізація структури математичних моделей РТС та РТП, що пов'язана із мінімізацією розмірності моделі та спрощення зав'язків між елементами, що супроводжується вибором способу декомпозиції системи формальними методами.

3. Оптимізація способу дискретизації процесів, що протікають в об'єкті дослідження і знаходять відображення в його моделі, а також методів цифрового моделювання складових елементів РТС.

4. Мінімізація кількості можливих реалізацій процесу функціонування моделі, за необхідністю зменшення кількості ступенів свободи із дотримання необхідного рівня точності.

5. Розвиток ефективних методів моделювання з використанням сучасних обчислювальних пристроїв та систем і спеціалізованого програмного забезпечення. Такими методами є методи алгоритмізації та програмування, методи підтримки прийняття рішень та оптимізації.

6. Розробка програмного забезпечення для імітаційного моделювання РТС та РТП, систем автоматизованого проектування (САПР), які використовують методи математичного моделювання та реалізують користувацький інтерфейс.

### 1.3 Особливості комп'ютерного моделювання електричних кіл

Важливим елементом моделювання РТС та РТП є автоматизація моделювання електричних принципових схем пристроїв.

Відомо [4], що задача аналізу довільного електричного кола складається з наступних етапів:

- розробка схеми заміщення реальної принципової схеми досліджуваного електричного кола;
- формування для розробленої схеми заміщення системи рівнянь електричної рівноваги на основі законів Кірхгофа;
- розв'язування системи рівнянь електричної рівноваги та знаходження невідомих електричних величин (струмів, напруг, потужностей) у відповідних гілках та вузлах схеми.

Таким чином, першим кроком машинного аналізу електричного кола є заміна кожного реального елемента ідеалізованою та спрощеною моделлю, яка складається з ідеалізованих пасивних та активних елементів. Далі слід обрати набір незалежних змінних, які описують процеси, що протікають в даному колі та скласти відносно них систему рівнянь електричної рівноваги. Наприкінці проводиться розв'язок системи рівнянь електричної рівноваги відносно незалежних змінних та знаходиться шукана реакція кола на зовнішній вплив.

Очевидною є необхідність використання обчислювальної техніки та алгоритмізації для чисельного розв'язку системи рівнянь електричної рівноваги. Однак задача формування самої системи рівнянь електричної рівноваги залишається не автоматизованою.

Таким чином, для ефективного комп'ютерного моделювання електричних кіл необхідно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення, яке б дозволило автоматизувати технологічний процес побудови схеми заміщення реальної електричної схеми та складання системи рівнянь електричної рівноваги.

Комп'ютерне моделювання електричних кіл дозволяє автоматизувати існуючі методи аналізу електричних кіл [4], що в свою чергу дозволить суттєво зменшити час, необхідний для розробки та проектування РТП та РТС та підвищити їх якість та економічність.

Потреба в такого роду автоматизації особливо актуальна для виробництва сучасної апаратури на базі великих інтегральних мікросхем (ВІС), які можуть містити сотні і тисячі елементів – їх аналіз неможливий без використання машинних методів та комп'ютерної техніки.

Можна розділити ПЗ для моделювання електричних схем РТС та РТП на дві групи [4]:

- програмні засоби загального призначення, які призначені для розв'язання широкого кола прикладних задач щодо аналізу електричних кіл різного типу;

- спеціалізоване ПЗ, яке використовується для розв'язання деяких задач аналізу, наприклад: дослідження часових та частотних характеристик ланок кола, знаходження робочих (оптимальних) точок нелінійних елементів, визначення чутливості кола до зміни параметрів елементів тощо.

В загальному випадку ПЗ для автоматизації аналізу та моделювання електричних кіл складається з таких основних модулів (рисунок 3.1):

- модуль підготовки вихідних даних;
- модуль формування рівнянь електричної рівноваги;
- модуль чисельного розв'язування систем рівнянь;
- модуль візуалізації результатів;
- модуль налаштування;
- інтерфейс користувача.

За допомогою модуля підготовки вихідних даних користувач вводить інформацію щодо електричного кола та формулює конкретну задачу дослідження. Інтерфейс користувача може мати засоби для побудови схемних моделей у вигляді

графічного редактора. У разі реалізації автоматичної побудови на основі схеми рівнянь електричної рівноваги – відповідні рівняння представляються у вигляді структурованих даних згідно моделі ПЗ. Розв’язування систем рівнянь електричної рівноваги розв’язуються чисельними методами у відповідному модулі, а результати виводяться користувачеві.

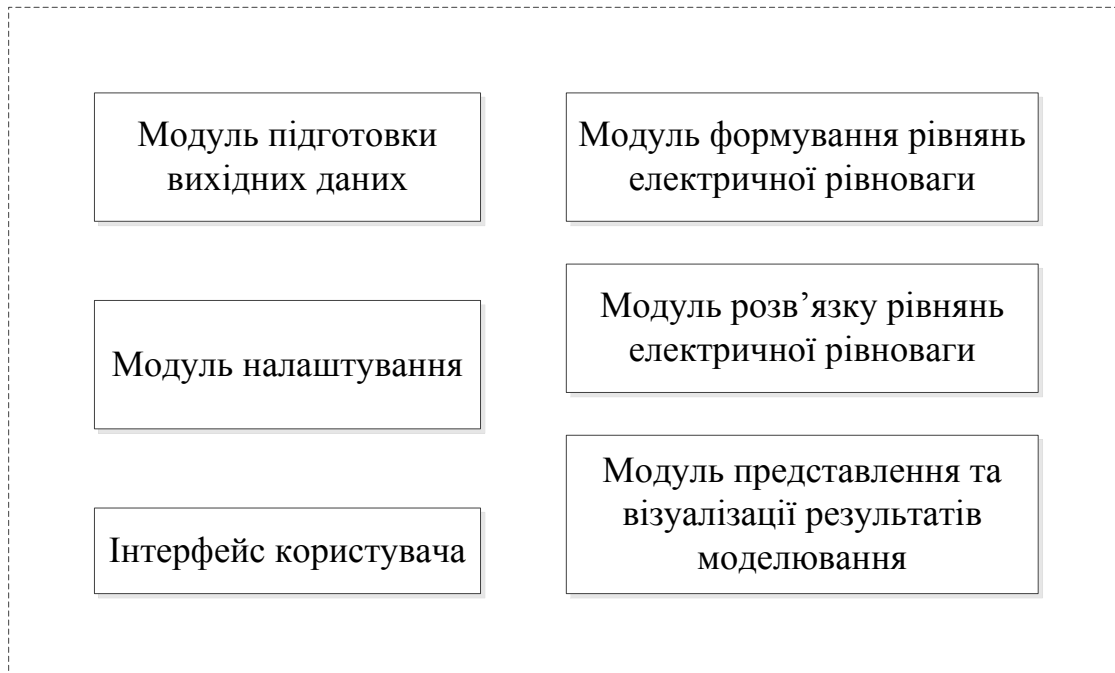


Рисунок 3.1 – Загальна структурна схема ПЗ для аналізу та моделювання електричних кіл

Сьогодні широкого застосування та розвитку отримали мультипрограмні комплекси, які складаються із ПЗ різної спеціалізації та з різними функціональними можливостями. Стосовно засобів автоматизації та моделювання РТС та РТП – це системи автоматизованого проектування (САПТ), які включають в себе компоненти для моделювання електричних схем, засоби для проектування друкований плат, автоматизації оформлення конструкторської документації, тестування та налагодження ПЗ програмованих мікропроцесорних (МП) пристроїв тощо.

## 1.4 Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем

В цьому розділі проводиться огляд актуального ПЗ для проектування та розробки РТС та РТП, а також засобів імітаційного моделювання елементів, які входять до їх складу.

Сучасне ПЗ, яке використовується для оптимізації та автоматизації процесів розробки радіоапаратури можна умовно розділити на три групи:

- пакети математичних програм, призначених для інженерних обчислень (MATLAB, Scilab, LabVIEW тощо);
- візуальні програмні середовища проектування та моделювання електричних принципових схем РТП (NI Multisim, EWB 5.12, Qucs тощо);
- системи автоматизованого проектування (САПР) друкованих плат.

Великі мультипрограмні платформи можуть поєднувати в собі декілька або усі вищеописані функції, наприклад ПЗ OrCAD дозволяє моделювати електричні схеми та виконувати розробку друкованих плат.

Такі програмні комплекси, як MATLAB/Simulink, Scilab/Xcos, надають користувачам широкий набір інструментів для математичного моделювання, інженерних та наукових розрахунків, обчислювальних методів тощо.

Веб-орієнтована програмна система EasyEDA є повністю автоматизованою системою проектування РТП, в якій можна виконувати повний цикл розробки пристрою.

Найбільш широкого застосування в комерційних та безкоштовних програмних засобах моделювання електричних схем отримала програмна модель PSpice [5].

В таблиці 3.1 зібране найбільш актуальне ПЗ, яке використовується для розробки та проектування РТП і РТС із зазначенням актуальних версії кожного програмного продукту та операційних систем (ОС), які підтримуються ними.

Таблиця 3.1 – Огляд ПЗ для проектування, розробки та моделювання РТП

Назва ПЗ	Актуальна версія	ОС	Основні характеристики та можливості
1	2	3	4
Proteus	8.7	Windows 7/8/8.1/10	Пакет ПЗ для автоматизованого проектування та моделювання електричних схем, розроблена компанією Labcenter Electronics. Моделювання електричних схем основане на моделі PSpice. Є можливість моделювати мікроконтролери (МК), мікропроцесори (МП), сигнальні процесори (DSP). Пакет включає засоби для проектування друкованих плат.
LabVIEW	20.0	Windows, Mac OS X, Linux	Середовище розробки та програмна платформа для виконання ПЗ фірми National Instruments. Використовується в системах збору та обробки даних, керуванням технічними та технологічними процесами. Включає велику кількість модулів та бібліотек.
OrCAD	17.2	Windows 7/8/8.1/10	Пакет ПЗ для автоматизованого проектування електро- та радіоапаратури. До основних можливостей відносяться інструменти для проектування друкованих плат та моделювання електричних схем. Основана на моделі PSpice.

продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Simulink	9.3	Windows, Mac OS X, Linux	Середовище графічної розробки та імітаційного моделювання технічних пристроїв та систем (в тому числі радіотехнічних). Є складовою програмного комплексу MATLAB компанії MathWorks. Дуже велика бібліотека елементів та бібліотек. Інтеграція з середовищем MATLAB.
EasyEDA	від 14.01.2017	Web	Web-орієнтоване середовище автоматизованого проектування та моделювання електро- та радіоапаратури. До складу програми входить графічний редактор електричних принципових схем, редактор друкованих плат, Spice-симулятор, хмарне сховище даних, система керування проектами.
LTspice	17.0.19.0	Windows 7/8/8.1/10, MacOS 10.9	Програмний симулятор аналогових та цифрових схем на базі моделі PSpice. LTspice є вільним програмним забезпеченням.
Qucs	0.0.19	Linux, Mac OS, Solaris, FreeBSD, Windows	Простий програмний симулятор електричних кіл з відкритим кодом та великою бібліотекою елементів, яка постійно поновлюється. Є вільним та безкоштовним ПЗ.

продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Logisim	2.7.1	Linux, Mac OS X, Windows	ПЗ для моделювання та автоматизації розробки цифрових схем написано на мові Java. Безкоштовне ПЗ, яке може вільно використовуватись в освітній та некомерційних цілях.
Fritzing	0.9.4	Linux, Windows, Mac OS X	ПЗ з відкритим кодом, яке призначене для візуального моделювання електричних схем. Дозволяє розроблювати прототипи пристроїв на базі налагоджувальних плат Arduino та інших сумісних платформ. Дозволяє автоматизувати процес налагодження макетних плат.
Micro-Cap	12.2.0.3	Windows	ПЗ на базі Spice моделі для моделювання аналогової та цифрової електроніки, що розроблено компанією Spectrum Software.
KiCad	5.1.7	Linux, Windows, Mac OS X	Програмний комплекс, призначений для розробки і проектування електричних схем та друкованих плат
PSIM Software	11.1.7	Windows	Пакет прикладного ПЗ для моделювання електричних кіл, спеціалізованого для розробки пристроїв силової електроніки та електроприводу. До складу ПЗ входять модулі для схемного моделювання та розробки систем керування, сонячних та вітряних електростанцій.

кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
Scilab	6.1.0	Linux, Mac OS X, Windows	Пакет прикладних математичних програм, призначений для інженерних та наукових розрахунків та математичного моделювання. Визначальною особливістю Scilab є широкий набір вбудованих функцій та бібліотек, тісна інтеграція із багатьма існуючими програмними засобами. ПЗ Scilab є найбільш повною безкоштовною альтернативою системи MATLAB.
CircuitMaker	1.3.0.181	Windows	Програмний засіб для проектування друкованих плат напівпрофесійного та аматорського рівня. Є безкоштовним ПЗ з відкритим кодом.
EWB	5.12	Windows XP	Спеціалізоване ПЗ для проектування та моделювання аналогових та цифрових електричних схем. Дозволяє створювати схеми РТП різного рівня складності. Широко використовується в освітніх цілях, хоча на даний час є застарілим ПЗ.
NI Multisim	14.2	Windows	Мультипрограмна платформа для розробки та моделювання електричних схем радіотехнічних пристроїв та засобі. Прийшла на заміну популярної програми EWB 5.12

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В першому розділі дипломної роботи було зроблено наступне:

- проведено аналіз методів та засобів щодо комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем;
- розглянуто методи формального опису радіотехнічної системи з урахуванням специфіки предметної області;
- описано загальний алгоритм процесу комп'ютерного моделювання;
- проведено огляд існуючих програмних засобів комп'ютерного моделювання та проектування радіотехнічних пристроїв та систем.

Актуальність теми магістерської роботи полягає у впровадженні методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем в навчальний процес з метою підвищення кваліфікації майбутніх інженерів-проектувальників.

## 2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

### 2.1 Формальний опис радіотехнічної системи з точки зору моделювання

Передумовою для розробки математичної моделі РТС є її формальний опис. Вихідними даними для формального опису системи є функціональна схема та певний набір операторів, за допомогою яких можна визначити реакцію системи на типовий вплив зовнішнього фактору.

Першим кроком формального опису РТС є визначення множини її параметрів  $\bar{Q}$  та базису  $\bar{A}$  операторів [1]:

$$\bar{Q} = \{q_i\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.1)$$

$$\bar{A} = \{A_j\}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.2)$$

Параметрами системи є постійні або змінні величини, які описують стан системи в поточний момент часу, а також визначають її властивості та характеристики. Структура системи відповідає функціональній схемі, елементам якої ставляться у відповідність оператори із множини  $A_j$ .

Розділимо усі елементи множини  $q_i$  (параметри системи) на чотири підмножини (групи):

$$\bar{Q} = \{\bar{V}, \bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}\}, \quad (2.3)$$

де  $\bar{V} = \{v_i\}, i = 1, 2, \dots, k$  – фазові координати;

$\bar{\alpha} = \{\alpha_i\}, i = 1, 2, \dots, l$  – зовнішні параметри;

$\bar{\beta} = \{\beta_i\}, i = 1, 2, \dots, m$  – внутрішні параметри;

$\bar{\gamma} = \{\gamma_i\}, i = 1, 2, \dots, l$  – вихідні параметри системи.

Введемо фазові змінні як функції часу системи  $v_i$ , які визначатимуть стан системи в будь-який заданий момент часу  $t$ .

Множина фазових координат складається з таких підмножин:

1) зовнішні або вхідні фазові змінні, які становлять вектор зовнішнього впливу:

$$\bar{X} = \{x_i\}, i = 1, 2, \dots, q \quad (2.4)$$

2) змінні на виході системи, що становлять вектор реакції системи на зовнішній вплив:

$$\bar{Y} = \{y_i\}, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.5)$$

3) внутрішні фазові змінні:

$$\bar{Z} = \{z_i\}, i = 1, 2, \dots, f \quad (2.6)$$

Множина операторів  $A_j$  є набором правил, згідно яких кожному елементу  $x_i$  множини  $\bar{X}$  вихідних фазових змінних ставиться у відповідність значення вихідної фазової змінної  $y_i$  з множини  $\bar{Y}$ .

Формально вектор впливів та вектор реакції зв'язані співвідношенням:

$$\bar{Y} = \bar{A} \times \bar{X} \quad (1.7)$$

Для формального описання радіосистеми, яка складається із скінченної кількості ієрархічних рівнів, для заданого рівня вводиться алфавіт операторів:

$$\bar{A} = \{A_i\}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.8)$$

де  $\bar{A}$  – операторний базис.

Фізичні величини  $\bar{\alpha}$  є зовнішніми параметрами системи. Вони визначають характеристики фазових змінних  $\bar{X}$ :

$$\bar{X} = \bar{X}(\bar{\alpha}, t) \quad (2.9)$$

Властивості функціональних вузлів характеризуються фізичними величинами  $\bar{\beta}$ , які є внутрішніми параметрами системи і описуються операторами  $\bar{A}$ , таким чином має місце наступне співвідношення:

$$\bar{A} = \bar{A}(\bar{\beta}) \quad (2.10)$$

Згідно сформульованих визначень та виразів (2.9) – (2.10) можна ввести формальний опис математичної моделі РТС.

В загальному випадку формально система описується рівнянням (2.7). З урахуванням внутрішніх та зовнішніх параметрів рівняння приймає вигляд:

$$\bar{Y}(t) = \bar{A}(\bar{\beta}) \cdot \bar{X}(\bar{\alpha}, t), \quad (2.11)$$

де  $\bar{\alpha} = \bar{\alpha}(t)$ ,  $\bar{\beta} = \bar{\beta}(t)$ .

На рисунку 2.1 зображена формальна схема системи, яка описується рівнянням (2.11).

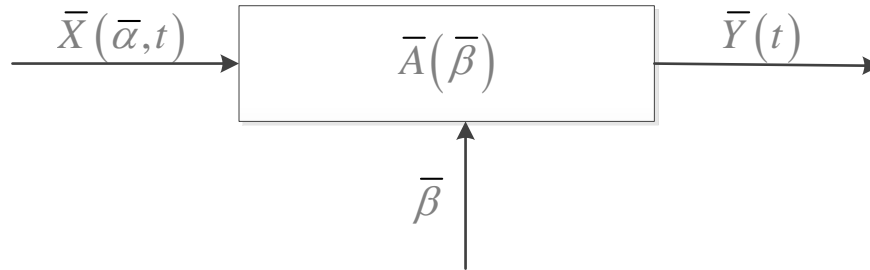


Рисунок 2.1 – Формальна схема РТС

Для конкретизації системи, математична модель якої задається рівнянням (2.11) та зображена на рисунку 2.1, необхідно визначити вектор операторів  $\bar{A}(\bar{\beta})$  та провести декомпозицію системи.

Наступним кроком є введення обмежень та допусків стосовно функціонування окремих ланок системи, таким чином отримується формальна модель конкретної системи.

Якість роботи системи характеризується чисельними значеннями вихідних фізичних величин (вихідних параметрів системи).

Множина вихідних параметрів  $\bar{\gamma} = \{\gamma_i\}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) дозволяють кількісно оцінити ефективність та коректність функціонування системи та виконання поставлених задач.

Оцінка вихідних параметрів системи формально описується в загальному вигляді згідно наступного співвідношення:

$$\bar{\gamma} = F_i(\bar{A}, \bar{\alpha}, \bar{\beta}) \quad (2.12)$$

де  $\bar{A}$  – структурний оператор системи.

Для дослідження та комп'ютерного моделювання РТС вводиться наступна формальна модель вихідних параметрів:

$$\bar{\gamma} = F_2[\bar{Y}(t)], \quad (2.13)$$

де  $\bar{Y}(t) = \{y_i(t)\}, (i = 1, 2, \dots, p),$

$0 \leq t \leq T_{cn}, T_{cn}$  – час моделювання.

На рисунку 2.2 зображена формальна схема для моделювання РТС за допомогою комп'ютерної техніки.

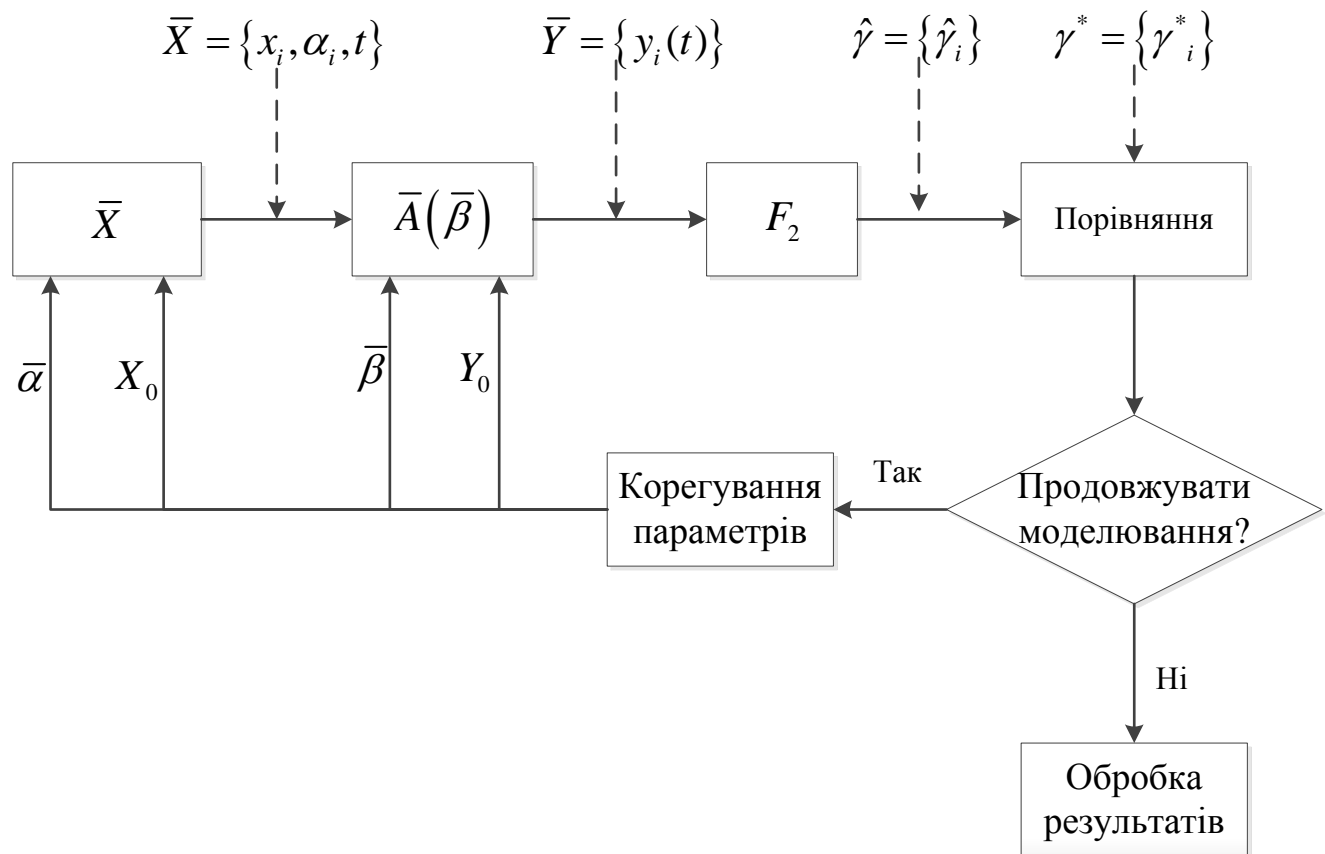


Рисунок 2.2 – Формальна схема комп'ютерного моделювання РТС

Результатом моделювання згідно схеми, зображеної на рисунку 2.2 є оцінка  $\hat{\gamma}$  вихідного параметру. Задача розв'язується за допомогою статистичних методів моделювання за допомогою багаторазового повторювання процесу моделювання для заданих початкових умов  $X_0$  та  $Y_0$  та параметрів моделі  $\bar{\alpha}$  та  $\bar{\beta}$ .

Блок  $X$  схеми, зображеної на рисунку 2.2, відповідає за формулювання  $p$  незалежних реалізацій вхідних фазових змінних, які згодом поступають в блок  $A$ , який є комп'ютерною реалізацією математичної моделі системи. Таким чином, вхідними даними для блоку  $A$  є набір із  $p$  фазових змінних. У випадку стохастичної системи із імовірнісною поведінкою в загальному випадку  $Y$  є нестационарним випадковим процесом з багатомірним розподілом.

Блок  $F_2$  виконує перетворення та статистичний аналіз вибірки  $Y$ , за результатами чого робиться оцінка вихідних параметрів системи.

Наступним кроком є порівняння оцінки  $\hat{\gamma}$  та очікувані значення  $\gamma^*$  вихідних параметрів системи, на основі чого робиться висновок щодо подальшого моделювання.

Отже, для моделювання системи необхідно формально описати множину вихідних параметрів, які будуть використані для оцінки якості функціонування системи.

В якості критеріїв кількісної оцінки результатів моделювання РТС та РТП можуть бути використані техніко-економічні показники ефективності [1,2] та інші супутні показники якості, які використовуються на виробництві. Такі показники якості формуються на етапі планування та розробки технічного завдання на проектування і входять до набору вихідних даних для комп'ютерного моделювання системи. Прикладами таких параметрів можуть бути роздільна здатність, дальність дії, завадостійкість, електромагнітна сумісність, конструктивні показники (розмір, маса тощо), економічні показники (вартість), безпека для людей та навколишнього середовища тощо.

## 2.2 Формальний опис електричних кіл за допомогою компонентних матриць

Оскільки предметом дослідження в даній магістерській роботі є саме комп'ютерні технології моделювання електричних принципових схем радіотехнічних пристроїв, розглянемо методи формального опису відповідних електричних кіл за допомогою топологічних матриць [4].

Формалізувати опис топології електричного кола можна, наприклад, за допомогою представлення її в матричній формі.

Відомо [1, 4], що топологічні властивості електричного кола можуть бути повністю описані відповідним графом (рисунок 2.3). Властивості такого графа залежать від кількості вузлів та гілок і способу їх з'єднання.

Для комп'ютерного представлення графа може бути використаний список гілок графу із зазначенням вузлів, якими вони з'єднані або повна матриця вузлів  $A_c$ .

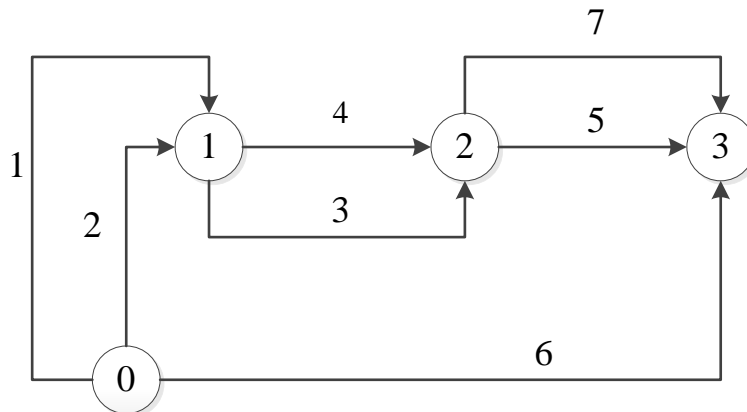


Рисунок 2.3 – Приклад графу, побудованого на основі деякого електричного кола

Повна топологічна матриця вузлів представляє собою таблицю, в якій кількість стовпців дорівнює кількості гілок графа, а кількість рядків – числу його вузлів. Номер рядка співпадає з номером відповідного вузла, а номер стовпця – із номером гілки. Елемент матриці  $a_{ij}$  приймає одне з трьох значень:

- якщо гілка  $j$  з'єднана з вузлом  $i$  та направлена до даного вузла, то  $a_{ij} = 1$ ;

- якщо гілка  $j$  з'єднана з вузлом  $i$  та направлена від даного вузла, то  $a_{ij} = -1$ ;
- якщо гілка  $j$  не з'єднана з вузлом  $i$ , то  $a_{ij} = 0$ .

Для графа, зображеного на рисунку 2.3, повна топологічна матриця буде мати вигляд:

$$A_c = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Сума усіх елементів кожного стовпці, а отже, і сума усіх рядків повної матриці вузлів (2.13) дорівнює нулю, тобто рядки матриці вузлів є лінійно незалежними.

З практичної точки зору, для економії пам'яті комп'ютера доцільно використовувати скорочену матрицю вузлів, яку можна отримати із матриці (2.13) шляхом відкидання будь-якого рядка. Наприклад, якщо відкинути рядок, що відповідає вузлу із номером «0», отримаємо скорочену матрицю:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Знаючи вигляд матриці (2.14), можна відновити матрицю (2.13) шляхом доповнення матриці (2.14) одним рядком так, щоб сума усіх рядків матриці дорівнювала нулю.

Матриці  $A_c$  та  $A$  є вихідними даними для побудови систем рівнянь електричної рівноваги кола за законами Кірхгофа.

Якщо перемножити матрицю (3.14) на вектор-стовпець струмів, то отримаємо систему лінійних рівнянь в матричній формі:

$$A_c \times \bar{i} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{q1} & a_{q2} & \dots & a_{qp} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}i_1 & a_{12}i_2 & \dots & a_{1p}i_p \\ a_{21}i_1 & a_{22}i_2 & \dots & a_{2p}i_p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{q1}i_1 & a_{q2}i_2 & \dots & a_{qp}i_p \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Кожен рядок (2.15) є алгебраїчною сумою струмів гілок, які підключені до відповідного вузла кола.

Згідно першого закону Кірхгофа маємо:

$$A_c \times \bar{i} = 0 \quad (2.16)$$

Лінійно-незалежна система рівнянь у матричній формі може бути отримана аналогічно на основі матриці  $A$  (2.14):

$$A \times \bar{i} = 0 \quad (2.17)$$

З теорії електричних кіл та сигналів [4] відомо, що метод вузлових потенціалів дозволяє для деякого електричного кола виразити усі напруги гілок через потенціали вузлів.

В матричній формі залежність напруг гілок від вузлових напруг визначається співвідношенням, яке в літературі називається вузлового перетворення:

$$\bar{u} = A^t \times \bar{u}_{i0}, \quad (2.18)$$

де  $A^t$  – транспонована матриця вузлів;

$\bar{u}$  та  $\bar{u}_{i_0}$  – матриці-стовпці миттєвих значень напруг гілок та вузлових напруг

Також рівняння електричної рівноваги можна сформулювати за методом контурних струмів.

Варто відзначити, що в реальних задачах матриці  $A_c$  та  $A$  можуть містити велику кількість нульових елементів, отже такі матриці будуть розрідженими. Безпосереднє збереження розріджених матриць вимагає великого обсягу оперативної пам'яті обчислювального пристрою та є не раціональними способом збереження даних.

Для ефективного використання обчислювальних ресурсів та пам'яті комп'ютера зберігати в пам'яті слід лише ненульові елементи відповідних матриць у спеціальних структурах, наприклад, списках суміжності.

## 2.4 Висновки до другого розділу

В другому розділі дипломної роботи було зроблено наступне:

- проведено формальний опис радіотехнічної системи, як об'єкта імітаційного моделювання;
- формалізовано схему процесу комп'ютерного моделювання;
- описано метод опису електричних кіл за допомогою топологічних матриць для застосування в машинних методах аналізу.

## 3 ТЕХНОЛОГІЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИБОРІВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ NI MULTISIM

### 3.1 Опис інтерфейсу користувача програми NI Multisim

Середовище Multisim (рисунок 3.1) – це спеціалізоване ПЗ, яке призначене для моделювання електричних принципових схем електро- та радіотехнічних пристроїв від компанії National Instruments.

До складу ПЗ входить Circuit Design Suite – це набір інструментів EDA (Electronics Design Automation), призначених для автоматизації технологічних процесів проектування схем.

Інтерфейс користувача NI Multisim складається з набору окремих панелей інструментів (Toolbars), які містять набір команд різноманітних функцій.

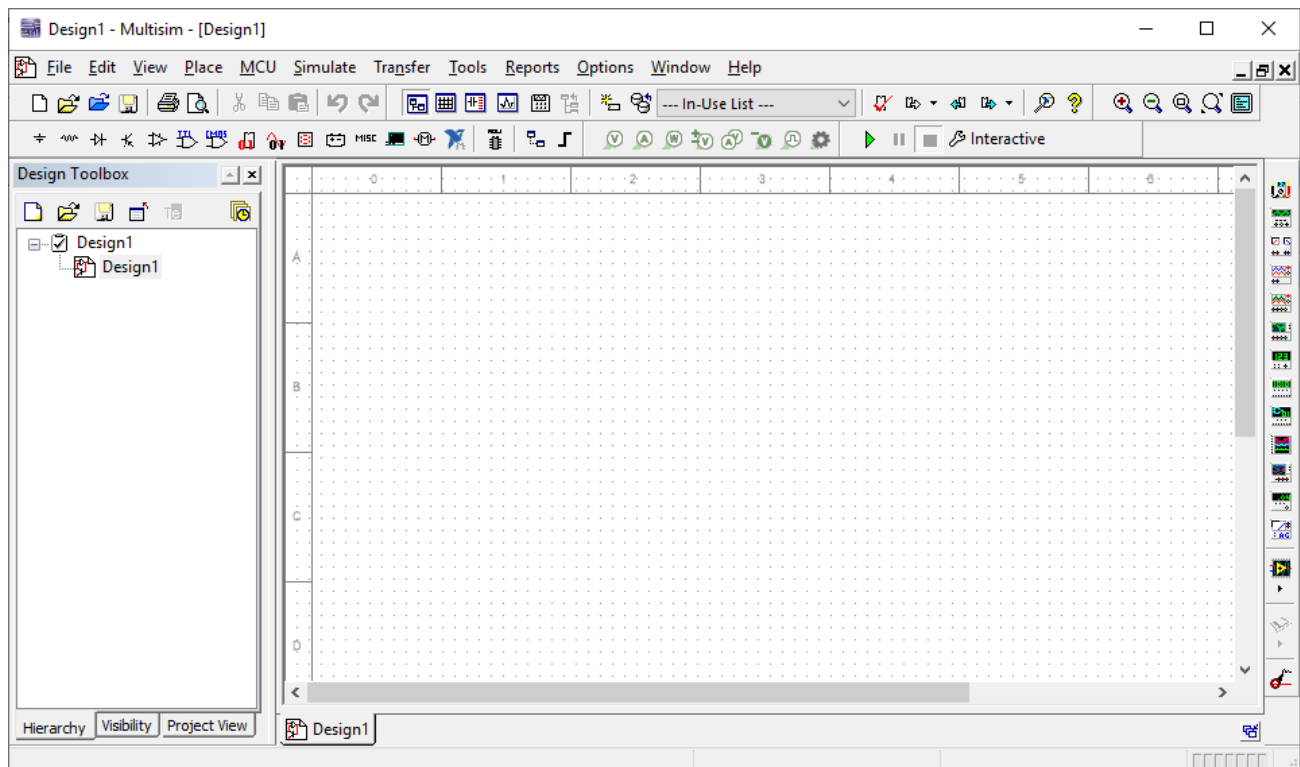


Рисунок 3.1 – Головне вікно графічного програми Multisim

### 3.2 Стандартна та головна панелі інструментів

Стандартна панель інструментів містить функціональні кнопки для базових функцій інтерфейсу користувача (рисунок 3.2).

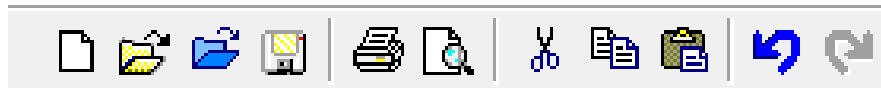







Рисунок 3.2 – Стандартна панель інструментів (Standard Toolbar)

В таблиці 3.1 наводиться опис функціональних кнопок стандартної панель інструментів (Standard Toolbar).

Таблиця 3.1 – Елементи стандартного меню (Standard Toolbar)

Кнопка	Назва	Опис
1	2	3
	New button	Створює та відкриває новий проект за допомогою шаблону
	Open button	Відкриває існуючий файл проекту
	Open samples button	Відкриває папку із файлами прикладів та методичних вказівок
	Save button	Зберігає поточний файл проекту
	Print direct button	Друк активного проекту
	Print preview button	Попередній перегляд перед друком проекту

кінець таблиці 3.1

1	2	3
	Cut button	Вирізає виділений об'єкт копіює його в буфер обміну
	Copy button	Копіює виділений об'єкт в буфер обміну
	Paste button	Вставляє об'єкт із буферу обміну в місце, де розміщений курсор миші.
	Undo button	Відмінює останню дію
	Redo button	Повертає останню дію, відмінену командою Undo

На рисунку 3.2 зображено головна панель інструментів програми NI Multisim. Опис функціональних кнопок головної панелі (Main Toolbar) представлено в таблиці 3.2

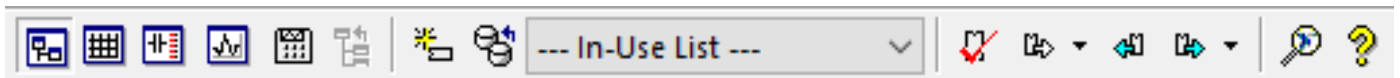




Рисунок 3.2 - Головне панель інструментів (Main Toolbar) програми NI Multisim

Таблиця 3.2 – Елементи головного меню (Main Toolbar)

Кнопка	Назва	Опис
1	2	3
	Design Toolbox button	Показує або приховує панель Design Toolbox
	Spreadsheet View button	Показує та приховує панель Spreadsheet View

Кінець таблиці 3.2

1	2	3
	Grapher button	Показує вікно для побудови та оформлення графіків
	Postprocessor button.	Показує діалогове вікно препроцесора
	Parent sheet button	Ієрархічне відображення таблиць
	Component wizard	Запуск майстра компонентів
	Database manager button	Запуск вікна менеджера роботи з базами даних
	In-Use List	Випадаючий список, для відображення активних компонентів дизайну
	Electrical rules check button	Перевірки дотримання правил з'єднання елементі електричного кола
	Back annotate from file button.	Зворотна анотація до файлу
	Forward annotate to Ultiboard button.	Пряма анотація до файлу
	Find examples button	Пошук прикладів проектів
	Multisim help button	Відображає вікно допомоги та довідки

### 3.3 Панелі моделювання, вимірювання та візуалізації

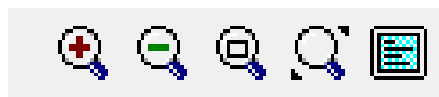
Панель моделювання та симуляції (Simulation Toolbar) містить кнопки для запуску, паузи та завершення процесу моделювання (Рисунок 3.3, а).

Для навігації на налаштування режиму перегляду використовуються відповідні функціональні кнопки панелі перегляді (View Toolbar), зображеної на рисунку 3.3, б.

Панель для вимірювання електричних параметрів (миттєвих значень струму, напруги, потужності) в програмі NI Multisim називається Place Probe Toolbar і зображена на рисунку 3.3, в.



а)



б)



в)

Рисунок 3.3 – Панелі інструментів:

Simulation Toolbar – а), View Toolbar – б), Place Probe Toolbar – в)

Опис функціональних кнопок панелей інструментів Simulation Toolbar, View Toolbar та Place Probe Toolbar подано в таблицях 3.3, 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.3 – Елементи панелі інструментів Simulation Toolbar

Кнопка	Назва	Опис
	Run button	Запускає процес моделювання електричної схеми
	Pause button	Призупиняє моделювання з можливістю продовжити
	Stop button	Завершує моделювання

Таблиця 3.4 – Елементи панелі інструментів View Toolbar

Кнопка	Назва	Опис
	Zoom in button	Збільшує масштаб видимої області моделі
	Zoom out button	Зменшує масштаб видимої області моделі
	Zoom area button	Збільшення масштабу області моделі, виділеної курсором миші
	Zoom sheet button	Зменшення масштабу області моделі, виділеної курсором миші
	Full screen button	Режим відображення моделі на весь екран (без меню та панелей інструментів)





Таблиця 3.5 – Елементи панелі інструментів Place Probe Toolbar






Кнопка	Назва	Опис
1	2	3
	Place voltage probe button	Вставити вимірювальний зонд напруги

Кінець таблиці 3.5

1	2	3
	Place current probe button	Вставити вимірювальний зонд струму
	Place power probe button	Вставити вимірювальний зонд потужності
	Place differential voltage probe button	Вставити вимірювальний відносно референсного зонд напруги
	Place voltage and current probe button	Вставити вимірювальний зонд струму та напруги
	Place voltage reference probe button	Вставити зонд у вузол, який буде використаний в якості референтного
	Place digital probe button	Вставити зонд для вимірювання цифрового сигналу
	Probe settings button	Відобразити вікно налаштування вимірювальних зондів

Таблиця 3.6 – Елементи панелі інструментів Graphic Annotation Toolbar

Кнопка	Назва	Опис
1	2	3
	Picture button	Вставити зображення
	Polygon button	Створити полігон
	Arc button	Намалювати дугу
	Ellipse button	Намалювати еліпс

1	2	3
	Rectangle button	Намалювати прямокутник
	Multiline button	Намалювати лому лінію
	Line button	Намалювати лінію
	Text button	Вставити фрагмент тексту
	Comment button	Вставити коментар




### 3.4 Панелі радіоелементів та віртуальних приладів

Елементи панелі Components Toolbar (рисунок 3.4) призначені для виклику переглядача компонентів – діалогового вікна вибору радіоелементів (рисунок 3.5). В таблиці 3.7 подано опис кнопок панелі Components Toolbar.



Рисунок 3.4 – Панель інструментів Components Toolbar

Таблиця 3.7 – Елементи панелі інструментів Components Toolbar

Кнопка	Назва	Опис
1	2	3
	Place Source button	Вибирає групу із джерелами живлення
	Place Basic button	Вибирає групу із базовими радіоелементами
	Place Diode button	Вибирає групу з діодами

## Кінець таблиці таблиця 3.7

1	2	3
	Place Transistor button	Вибирає групу з транзисторами
	Place Analog button	Вибирає групу з аналоговими пристроями
	Place TTL button	Вибирає групу TTL
	Place CMOS button	Вибирає групу CMOS
	Place Misc Digital button	Вибирає групу з різними цифровими пристроями
	Place Mixed button	Вибирає групу змішаних компонентів
	Place Indicator button	Група індикаторів
	Place Power Component button	Група силових елементів
	Place Misc button	Вибирає групу з різними пристроями
	Place Advanced Peripherals button	Група складної периферії
	Place Electromechanical button	Група електромеханічних пристроїв
	Place NI Component button	Група компонентів NI
	Place Connector button	Роз'язтя та конектори
	Hierarchical block from file button	Відкрити файл у вигляді ієрархічної структури
	Bus button	Група із шинами

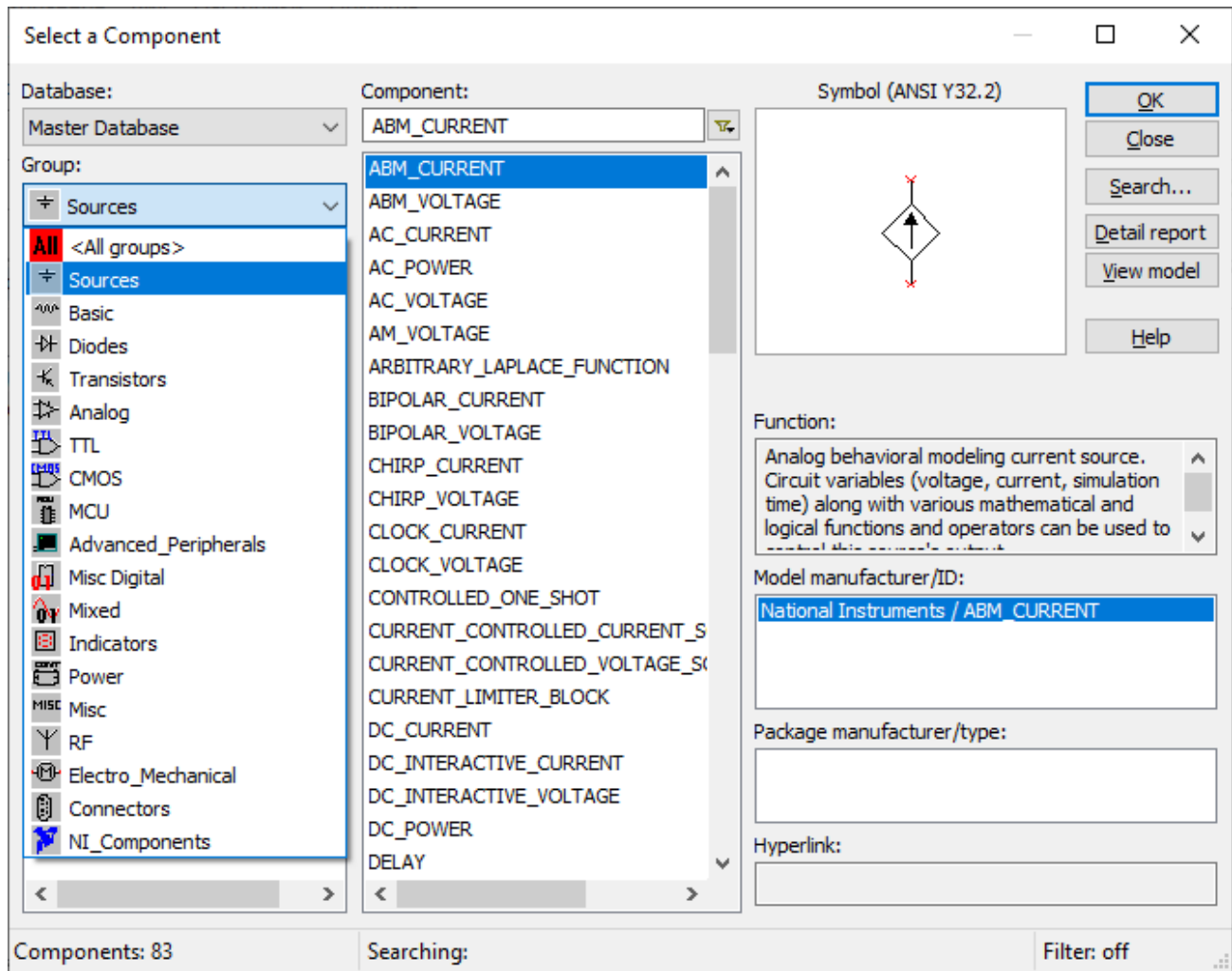


Рисунок 3.6 – Вікно браузера компонентів

Панель із набором віртуальних приладів містить кнопки для виклику відповідних вікон із налаштуваннями вбудованих, або визначений користувачем приладів.

До складу панелі віртуальний приладів входять наступні елементи:

- функціональний генератор (Function Generator) – рисунок 3.7;
- мультиметр (Multimeter) – рисунок 3.8;
- ватметр (Wattmeter) – рисунок 3.9;
- осцилограф з двома та чотирьома входами (Oscilloscope, Four Channel Oscilloscope) – рисунки 3.10-3.11;

- блок побудови діаграм Боде (Bode Plotter);
- генератор слів (Word Generator);
- логічний аналізатор (Logic Analyzer);
- логічний перетворювач (Logic Converter);
- аналізатор спотворень сигналу (Distortion Analyzer);
- аналізатор спектру (Spectrum Analyzer);
- частотомір (Frequency Counter);
- ВАХ-аналізатор (I-V Analyzer);
- амперметр (Ammeter) та вольтметр (Voltmeter).

Для генерування синусоїдальних, трикутних або прямокутних сигналів використовується віртуальний функціональний генератор (Function Generator). На рисунку 3.7, а зображено умовне позначення функціонального генератора на віртуальній схемі, а на рисунку 3.7, б – вікно з налаштуваннями його параметрів. Можна змінювати Форму сигналу, його частоту, амплітуду, робочий цикл та задавати зміщення постійного струму.

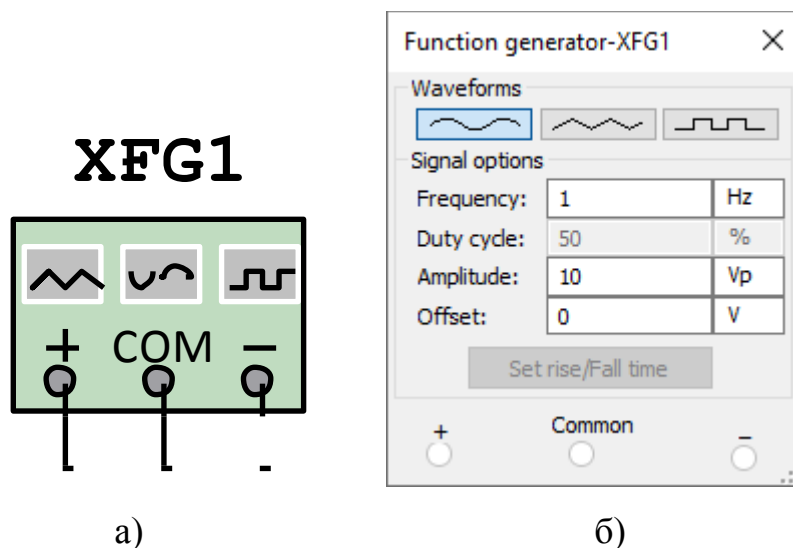


Рисунок 3.7 – Функціональний генератор (Function Generator):  
умовне позначення – а), вікно налаштування – б)

Генератор, зображений на рисунку 3.7, а має три клеми для підключення до схеми. Загальний (центральный) термінал забезпечує опорний рівень сигналу та під'єднується до загальної точки схеми.

Елемент Multimeter, зображений на рисунку 3.8, дозволяє вимірювати змінну або постійну напругу та струм, а також опір або спад децибел між двома вузлами в колі. Внутрішній опір та струм попередньо встановлені до майже ідеальних значень, які можна змінити.

На рисунку 3.8, а зображено умовне позначення мультиметра на віртуальній схемі, а на рисунку 3.8, б – вікно з налаштуваннями його параметрів.

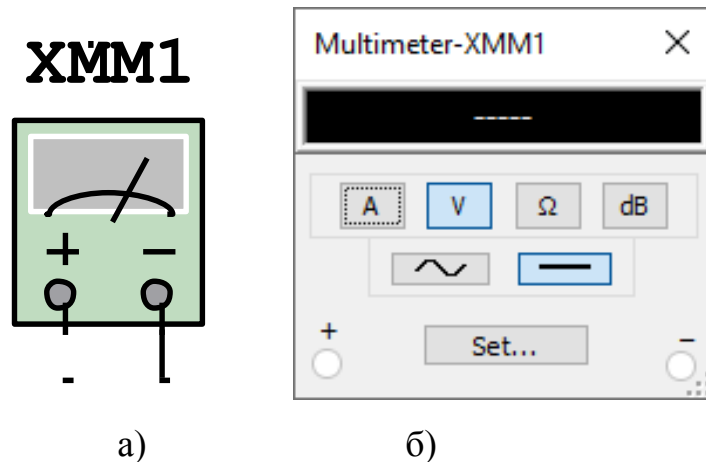


Рисунок 3.8 – Мультиметр (Multimeter):  
умовне позначення – а), вікно налаштування – б)

Для вимірювання активної потужності, яка виділяється на елементах схем використовується віртуальний ватметр (Wattmeter). Він показує величину активної потужності у ватах, а також косинус кута  $\varphi$  між мір струмом і спадом напруги. Умовне позначення ватметра на віртуальній схемі зображено на рисунку 3.9, а, вікно з налаштуваннями його параметрів – а на рисунку 3.9, б.

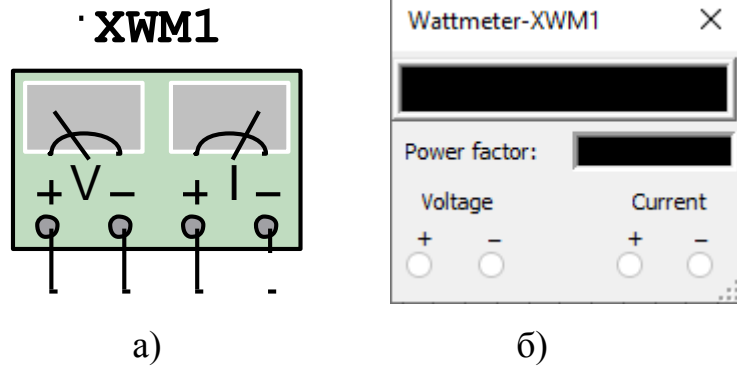


Рисунок 3.9 – Ватметр (Wattmeter)  
умовне позначення – а), вікно налаштування – б)

Двоканальний та чотириканальний осцилографи відображають зміну електронних сигналів у вузлах схеми з часом у вигляді двох (чотирьох) часових графіків або у вигляді залежності сигналу одного каналу відносно іншого.

Графічні позначення двоканального та чотириканального осцилографів, а також вікно відображення графіків та налаштування параметрів відображення осцилограм зображено на рисунках 3.10, 3.11 та 3.12.

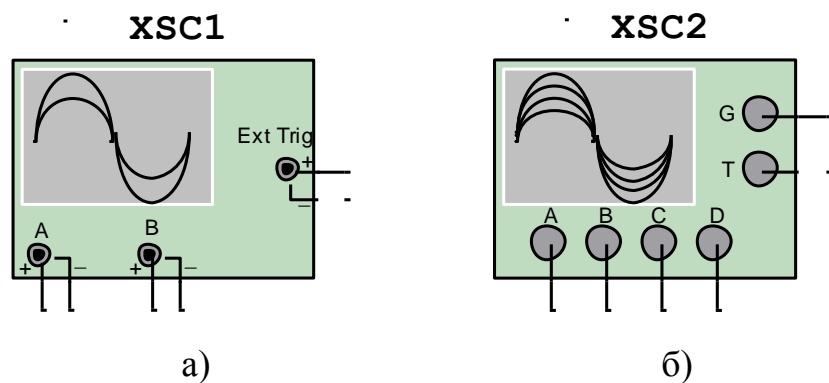


Рисунок 3.10 – графічне позначення двоканального (а) та чотириканального (б) осцилографів

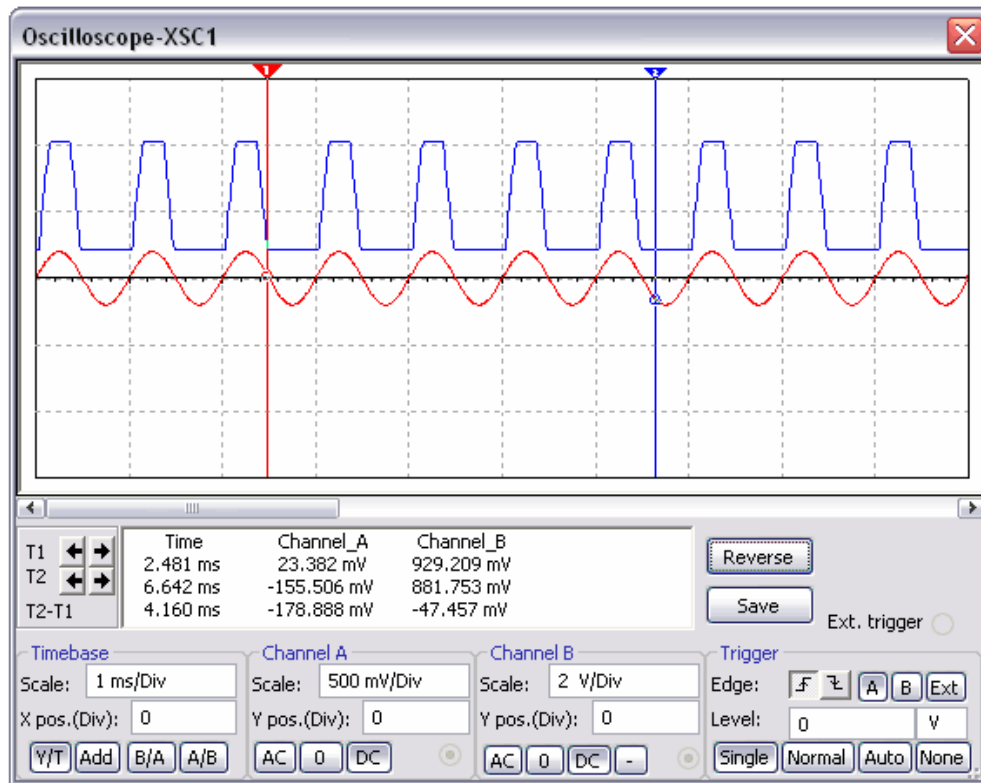


Рисунок 3.11 – Вікно двоканального осцилографа

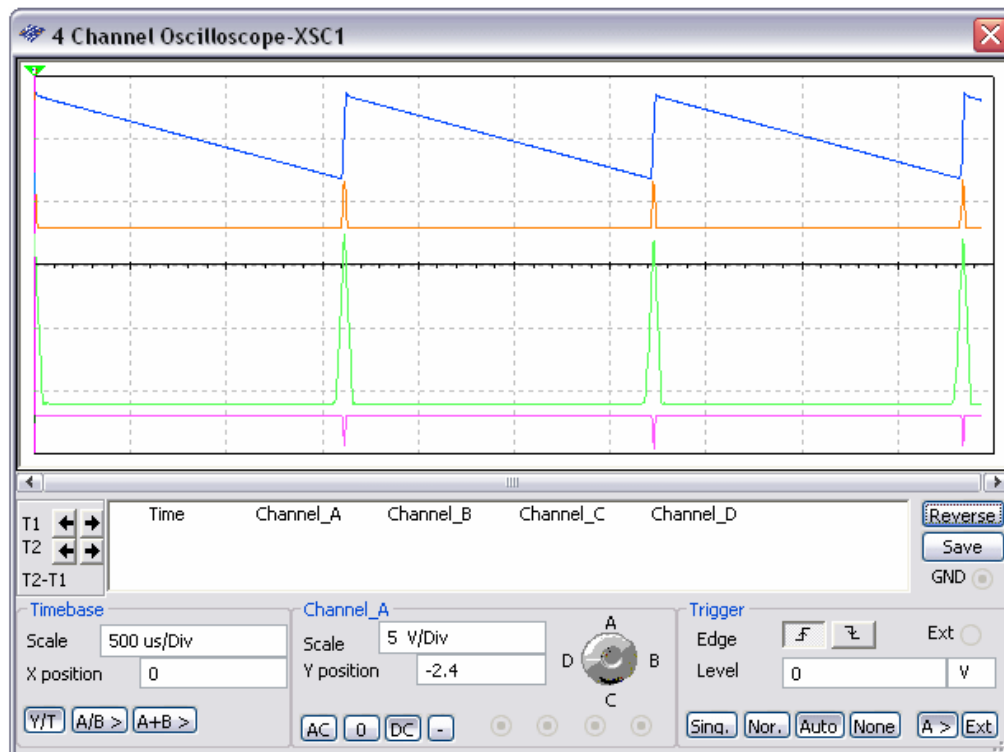


Рисунок 3.12 – Вікно чотирьоканального осцилографа

### 3.5 Інструменти для аналізу цифрових схем

Для аналізу та проектування цифрових та логічних схем використовуються наступні віртуальні пристрої системи NI Multisim:

- логічний аналізатор (Logic Analyzer);
- генератор слів (Word Generator);
- логічний перетворювач (Logic Converter).

Логічний аналізатор відображає до 16 цифрових сигналів в схемі для аналізу даних логічних станів та розширеного аналізу часових діаграм при проектуванні та налагодженні цифрових пристроїв.

На рисунку 3.13 показано графічне зображення логічного аналізатора, яке має наступні входи: вхідні термінали – 1, зовнішній термінал тактової частоти – 2, термінал годинника – 3, термінал тригера – 4.

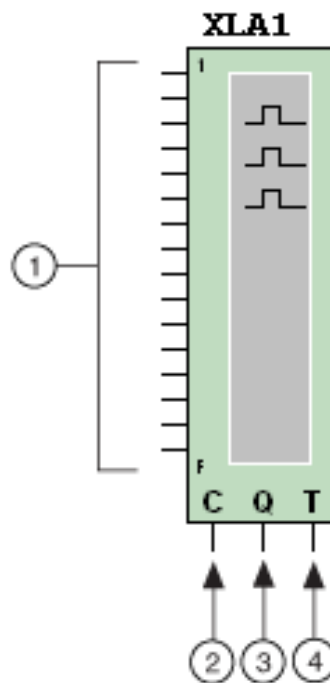


Рисунок 3.13 – Логічний аналізатор (Logic Analyzer)

Приклад виводу результату логічного аналізатора показано на рисунку 3.14.

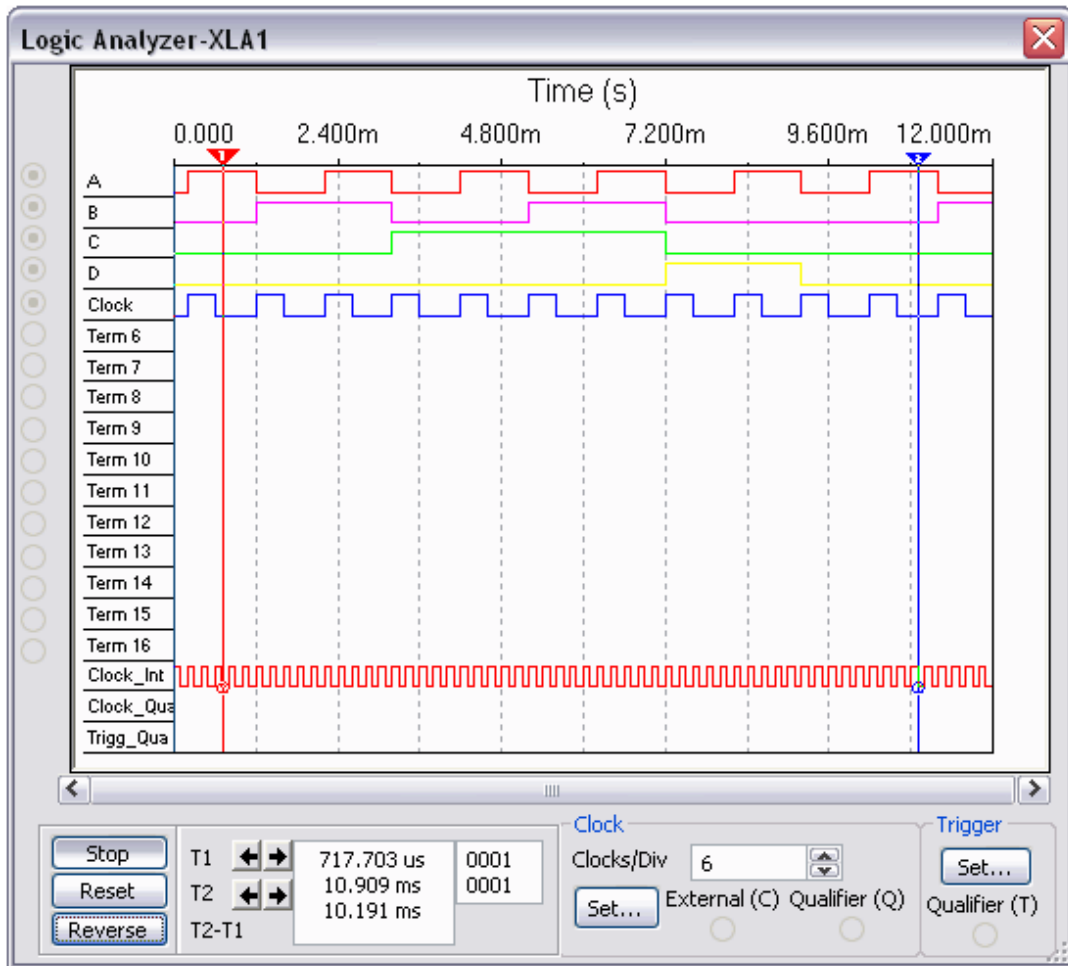


Рисунок 3.14 – Вікно логічного аналізатора (Logic Analyzer)

Для налагодження та тестування роботи ланок цифрових схем використовується генератор цифрових слів (Word Generator), який призначений для надсилання цифрових сигналів у відповідні вузли схеми.

На рисунку 3.15 показано графічне зображення генератора цифрових слів, який має наступні входи та виходи:

- старші та молодші 16 бітів 32-розрядного слова – 1,2 відповідно;
- зовнішній тригер – 3;
- термінал готовності даних – 4.

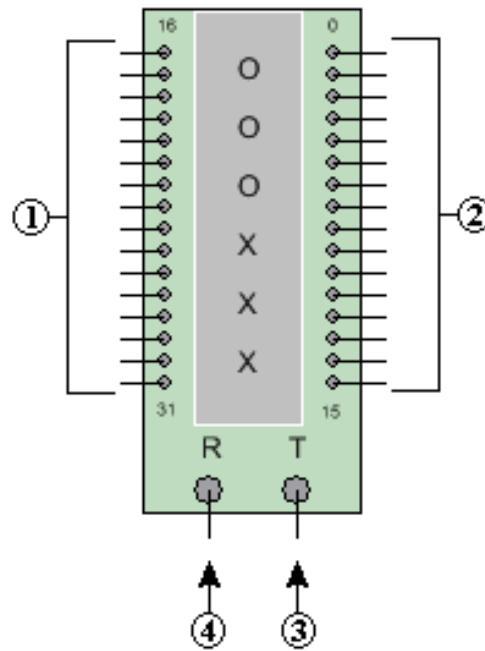


Рисунок 3.15 – Генератор цифрових слів

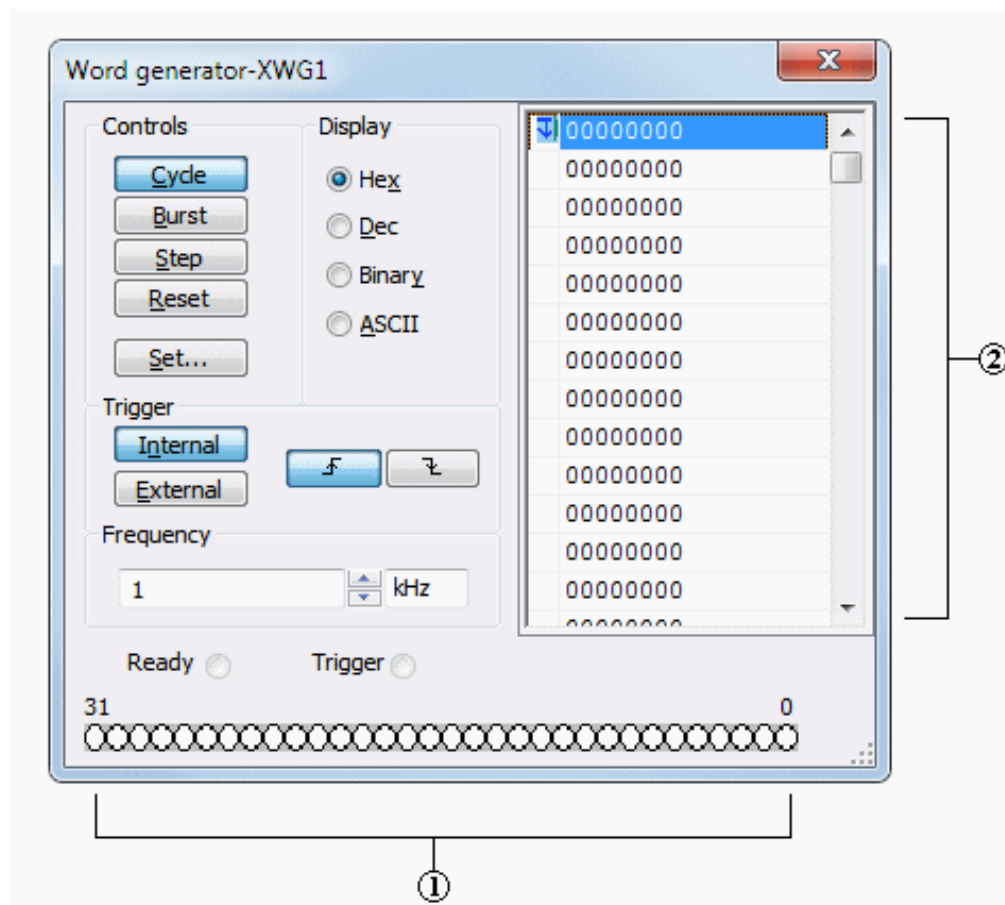


Рисунок 3.16 – Вікно генератора цифрових слів

Логічний перетворювач призначений для виконання послідовності перетворень цифрових сигналів. Даний інструмент може бути приєднаний до цифрової схеми для отримання таблиці істинності або булевого виразу, на якому побудована схема, або може згенерувати схему з таблиці істинності або булевого виразу.

Вікно логічного аналізатора зображено на рисунку 3.18.

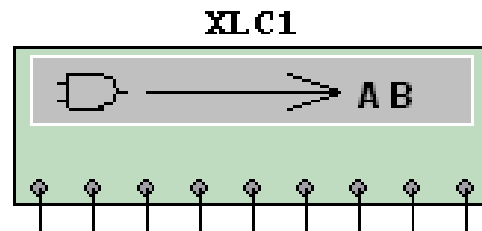


Рисунок 3.17 – Логічний перетворювач

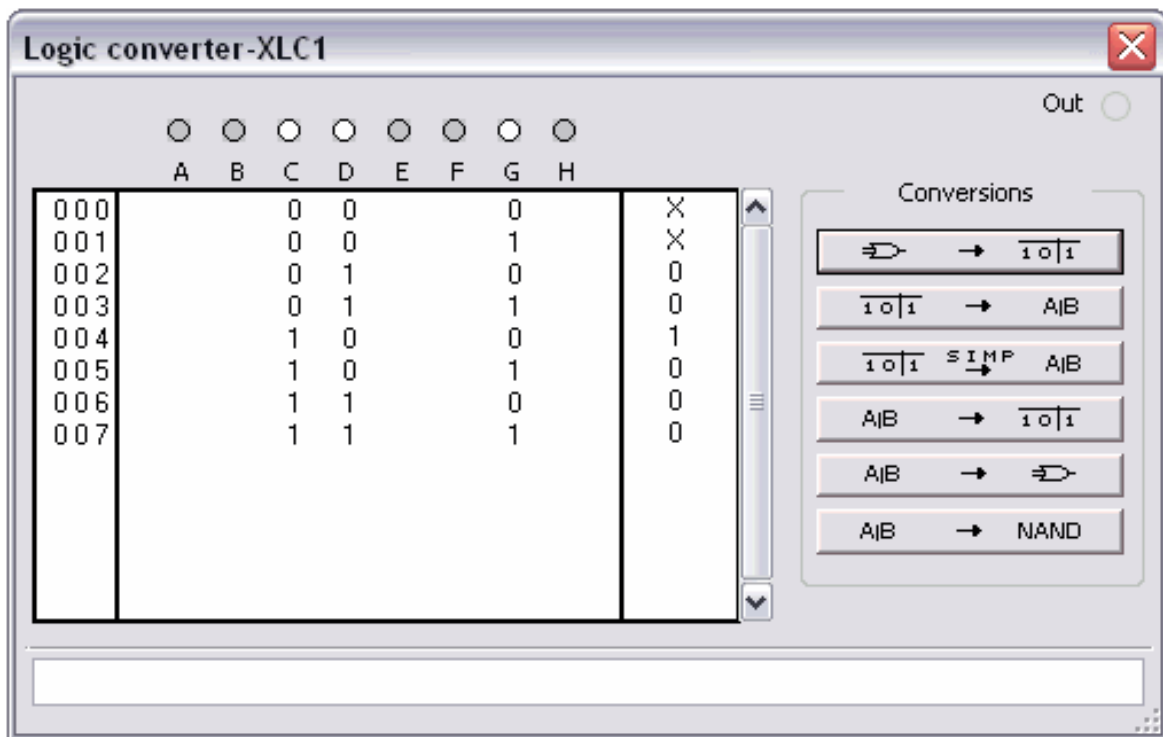


Рисунок 3.18 – Вікно логічного перетворювача

### 3.7 Висновки до третього розділу

В третьому розділі дипломної роботи було зроблено наступне:

- досліджено інструментальні засоби програми Ni Multisim щодо аналізу моделювання принципових схем електричних кіл радіотехнічних пристроїв;
- проведено опис інтерфейсу користувача програмного засобу Ni Multisim;
- проведено опис бібліотеки віртуальних приладів для відображення результатів моделювання;
- описано інструменти програми NI Multisim для моделювання та аналізу цифрових та аналогових схем.

## 4 СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ЗАСОБАМИ МУЛЬТИПРОГРАМНОЇ ПЛАТФОРМИ NI MULTISIM

### 4.1 Генератори Колпітца та Хартлі

Генератори Колпітца та Хартлі є класичними схемами для генерування електричних коливань синусоїдальної форми, які використовуються в радіотехнічних пристроях різного призначення [6].

Генератори Колпітца або, як часто називають дану схеми, «ємнісна триточка» складається з двох ємностей – C1 та C2, двох резисторів – R1 та R2, індуктивності L1 та біполярного транзистора зі структурою NPN – Q1 (2N2222).

На рисунку 4.1 зображено принципову електричну схему генератора Колпітца, яка була побудована в середовищі схемного моделювання NI Multisim. Окрім радіоелементів на схемі присутні віртуальний осцилограф (Oscilloscope) та спектральний аналізатор (Spectrum Analyzer).

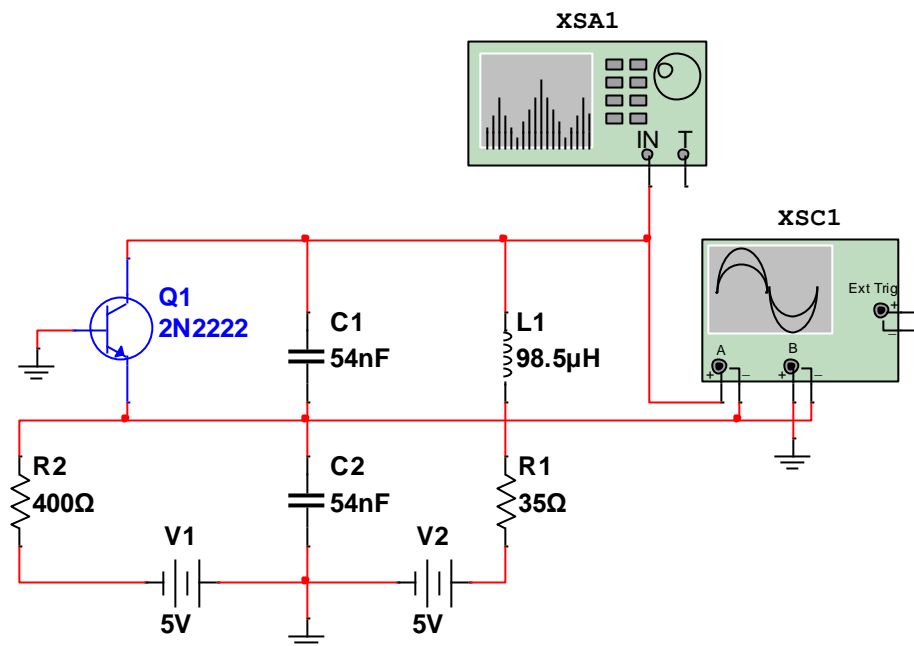


Рисунок 4.1 – Електрична принципова схема генератора Колпітца, побудована в середовищі NI Multisim

Живлення схеми генератора Колпітца, зображеного на рисунку 4.1, відбувається за допомогою двох різнополярних джерел постійної напруги – V1 та V2 з номіналом 5 В.

Особливістю схеми генератора Колпітца є те, що сигнал в коло зворотного зв'язку подається з подільника напруги на базі двох конденсаторів (рисунок 4.1).

Система рівнянь електричної рівноваги для схеми генератора Колпітца, зображеної на рисунку 4.1, має наступний вигляд:

$$\begin{cases} C_1 \frac{u_1}{dt} = i_L - I_{\kappa} \\ C_2 \frac{du_2}{dt} = \frac{u_1 - E - i_L - I_{\delta}}{R_2}, \\ L \frac{di_L}{dt} = E - u_1 + u_2 - i_L R_1 \end{cases} \quad (4.1)$$

де  $u_1$  та  $u_2$  – напруги на конденсаторах C1 та C2;

$i_L$  – струм, що протікає через індуктивність L;

$E$  – напруга джерел живлення V1, V2;

$I_{\kappa}$  та  $I_{\delta}$  – струми колектора та бази транзистора Q1.

Струми колектора та бази транзистора Q1 визначаються згідно моделі [6] на основі виразу:

$$\begin{cases} I_{\delta} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } u_1 \leq U_0 \\ \frac{u_1 - U_0}{R_0}, & \text{якщо } u_1 > U_0, \end{cases} \\ I_{\kappa} = \beta I_{\delta} \end{cases} \quad (4.2)$$

де  $U_0 \approx 0,75$  В – порогова напруга;

$R_0 = 100 \text{ Ом}$  – опір переходу база-емітер;

$\beta = 200$  – параметр підсилення.

Електрична схема генератора Хартлі складається з двох індуктивностей –  $L_1$  та  $L_2$ , резисторів –  $R_1$ –  $R_4$ , конденсатора  $C_1$ , біполярного PNP-транзистора  $Q_1$  (2N3906). Живлення схеми відбувається від одного джерела напруги  $V$ , номіналом  $3,75 \text{ В}$ .

Генератор Хартлі часто називають «індуктивною триточкою». Схема генератора Хартлі, побудована в середовищі NI Multisim, зображена на рисунку 4.2.

Система рівнянь електричної рівноваги для схеми генератора Хартлі, зображеної на рисунку 4.2, має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \frac{du_c}{dt} = i_1 - i_2 - \frac{u_c}{R_4} \\ L_1 \frac{di_1}{dt} = E - U_{ек} - u_c - i_1 R_1 \\ L_2 \frac{di_2}{dt} = u_c - i_2 R_2 - R_3 (i_2 - I_6) \end{array} \right. , \quad (4.2)$$

де  $u$  – напруга на конденсаторі  $C_1$ ;

$i_1$  та  $i_2$  – струми, що протікають через індуктивності  $L_1$  та  $L_2$ ;

$E$  – напруга джерела живлення;

$I_6$  – струм бази транзистора  $Q_1$ ;

$U_{ек}$  – напруга переходу емітер-колектор транзистора  $Q_1$ ;

Струм бази  $I_6$  транзистора та напруга  $U_{ек}$  переходу емітер-колектор  $Q_1$  визначається виразами:

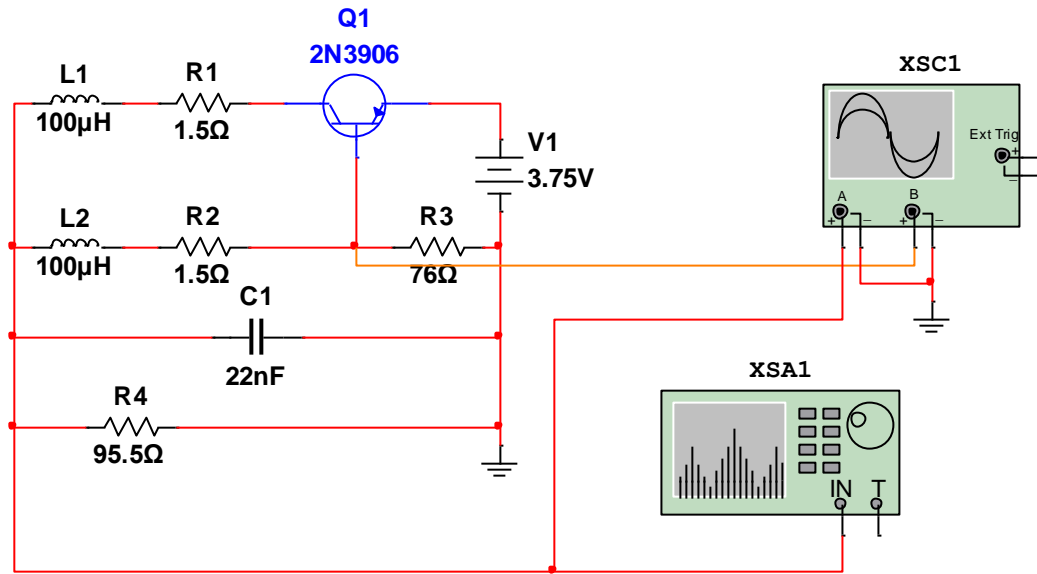


Рисунок 4.2 – Електрична принципова схема генератора Хартлі, побудована в середовищі NI Multisim

$$I_{\sigma} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } u_1 \leq U_0 \\ \frac{U_{e\sigma} - U_0}{R_0}, & \text{якщо } u_1 > U_0 \end{cases} \quad (4.3)$$

$$V_{ек} = \begin{cases} k(U_{e\sigma} - U_0) \rightarrow (U_{e\sigma} > U_0) \\ U_{ек0} \rightarrow (U_{e\sigma} < U_0) \end{cases} \quad (4.4)$$

де  $U_0$ ,  $R_0$ ,  $k$  – параметри транзистора.

Генератори Колпітца та Хартлі для заданого набору значень номіналів радіоелементів демонструють хаотичну поведінку[\*\*]. Про це свідчить неперервність спектру потужності вихідних сигналів генераторів та наявність хаотичного атратора у фазовому просторі.

Результати моделювання схем генераторів Колпітца та Хартлі, зображених на рисунках 4.1 та 4.2 відповідно, зображені на рисунках 4.3 – 4.8.

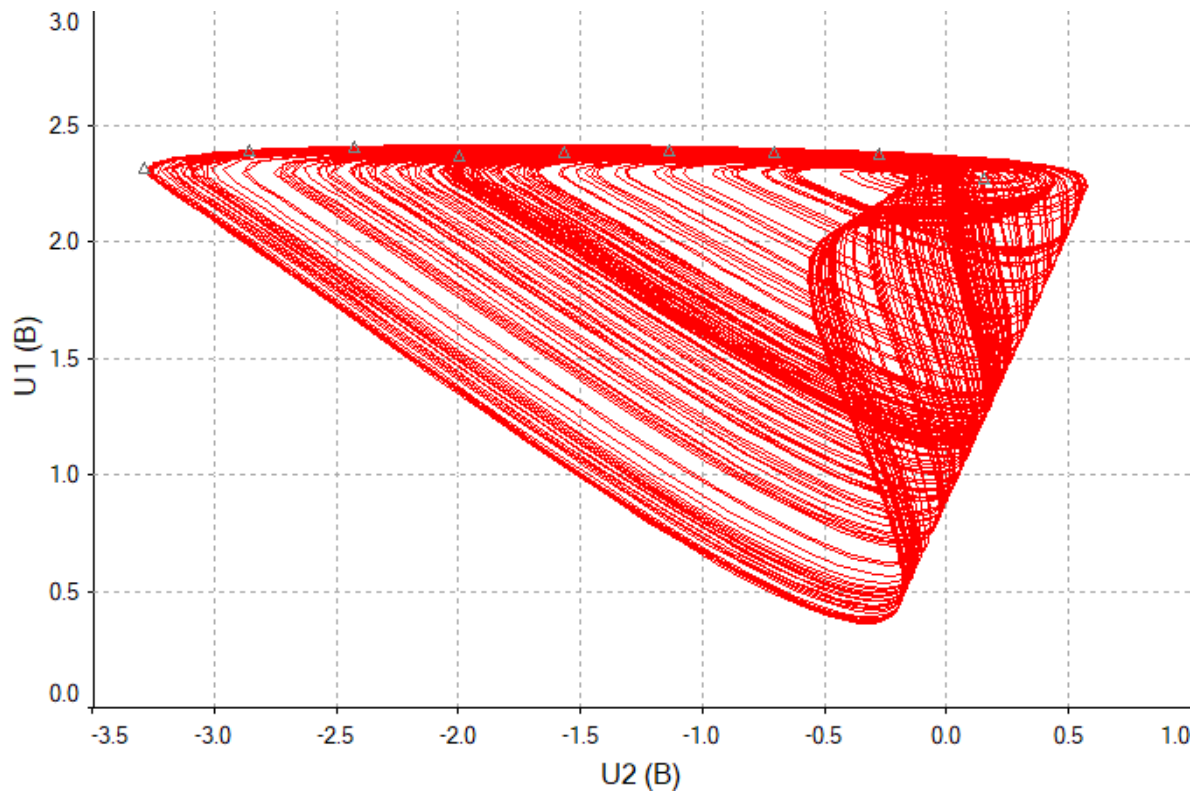


Рисунок 4.3 – Фазовий портрет атрактора генератора Колпітца

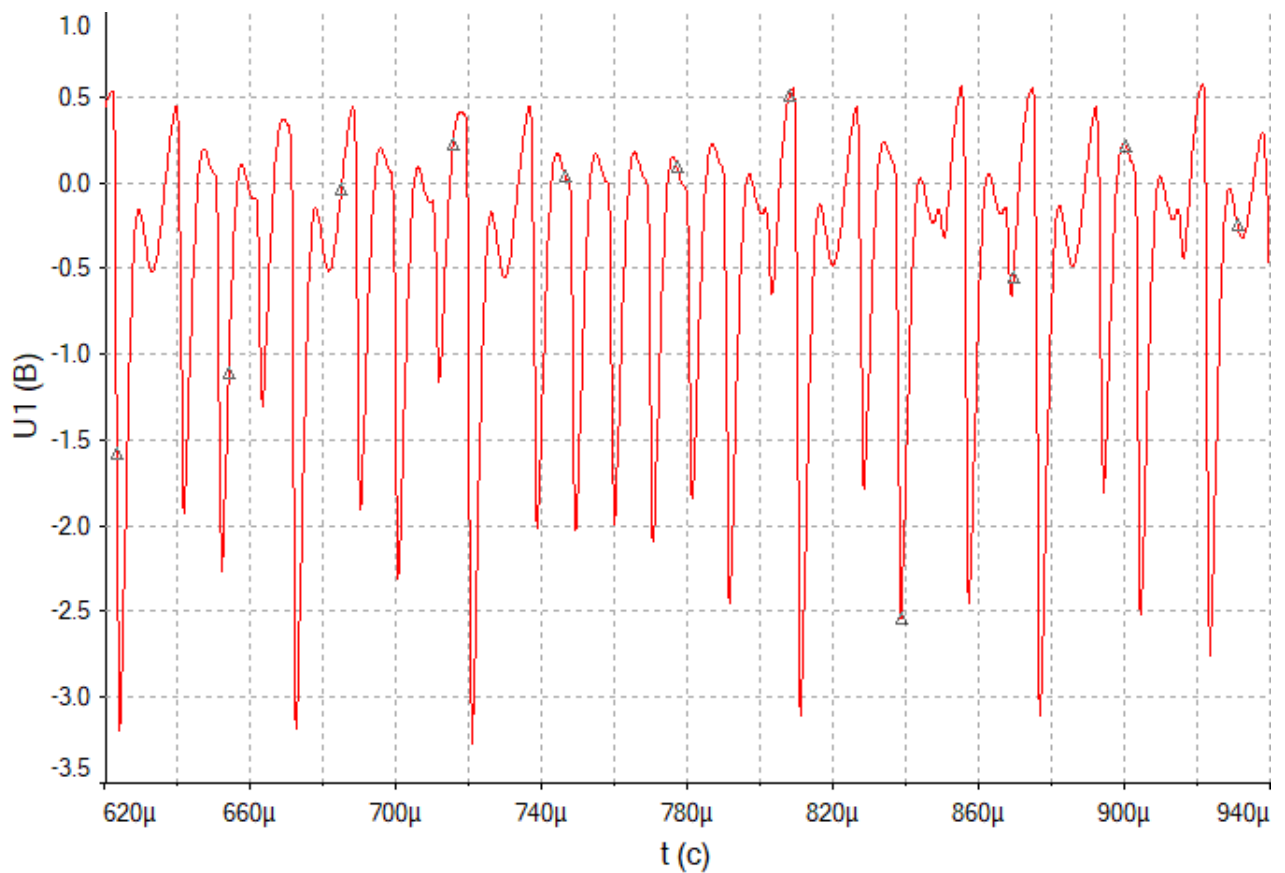


Рисунок 4.4 – Осцилограми сигналу  $u_1$  генератора Колпітца

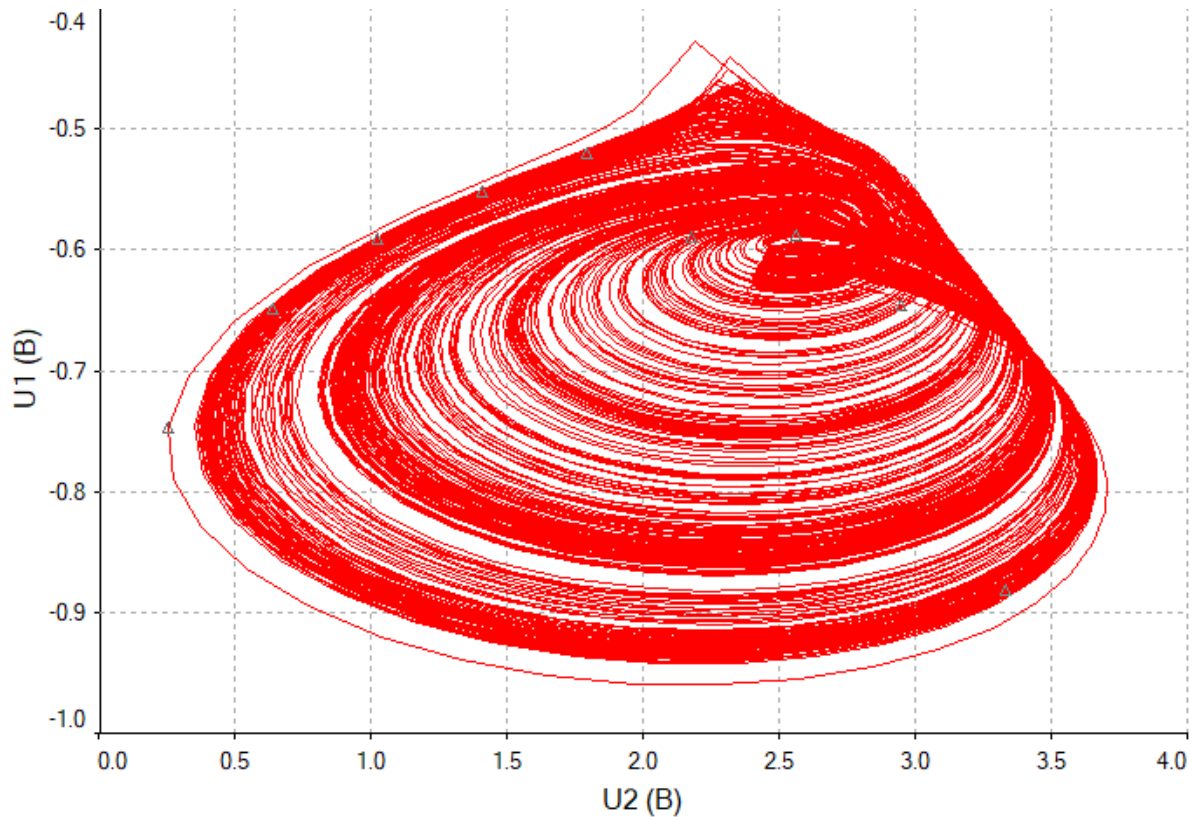


Рисунок 4.5 – Фазовий портрет атрактора генератора Хартлі

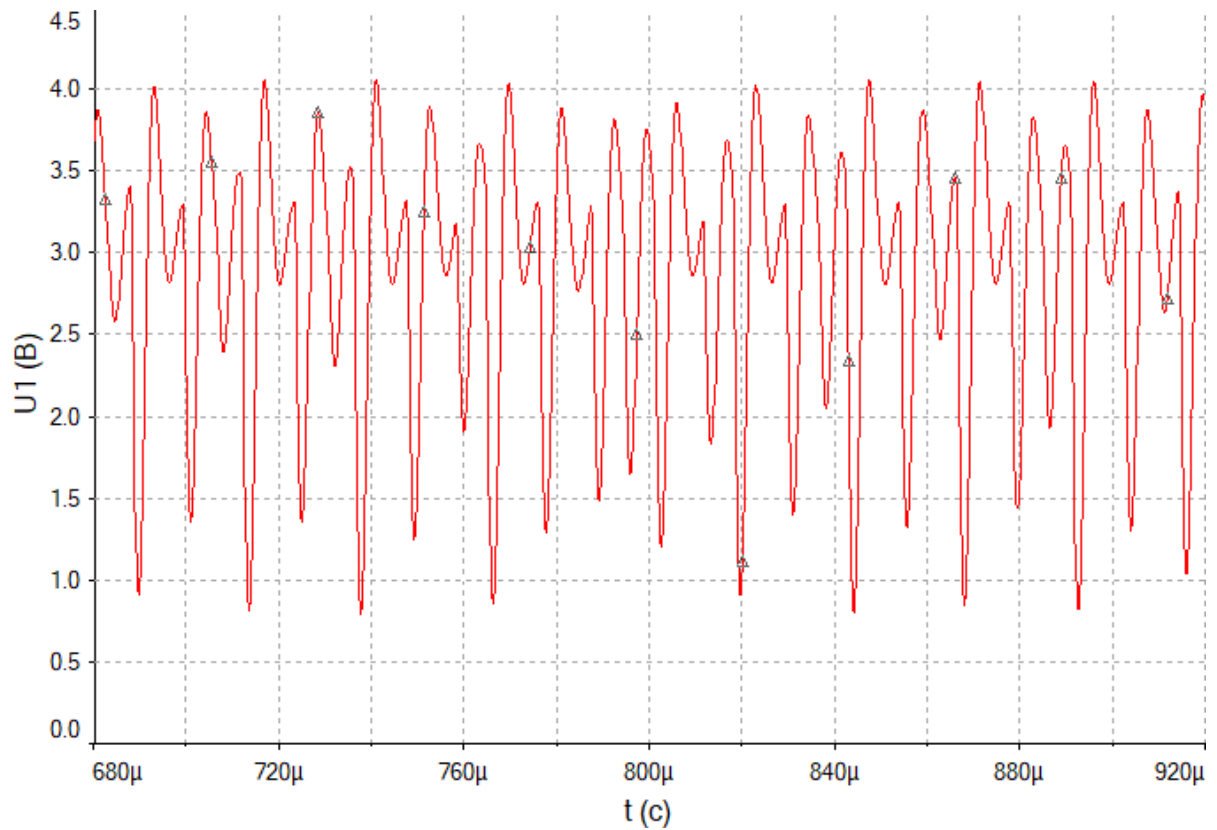


Рисунок 4.6 – Осцилограми сигналу  $u_1$  генератора Хартлі

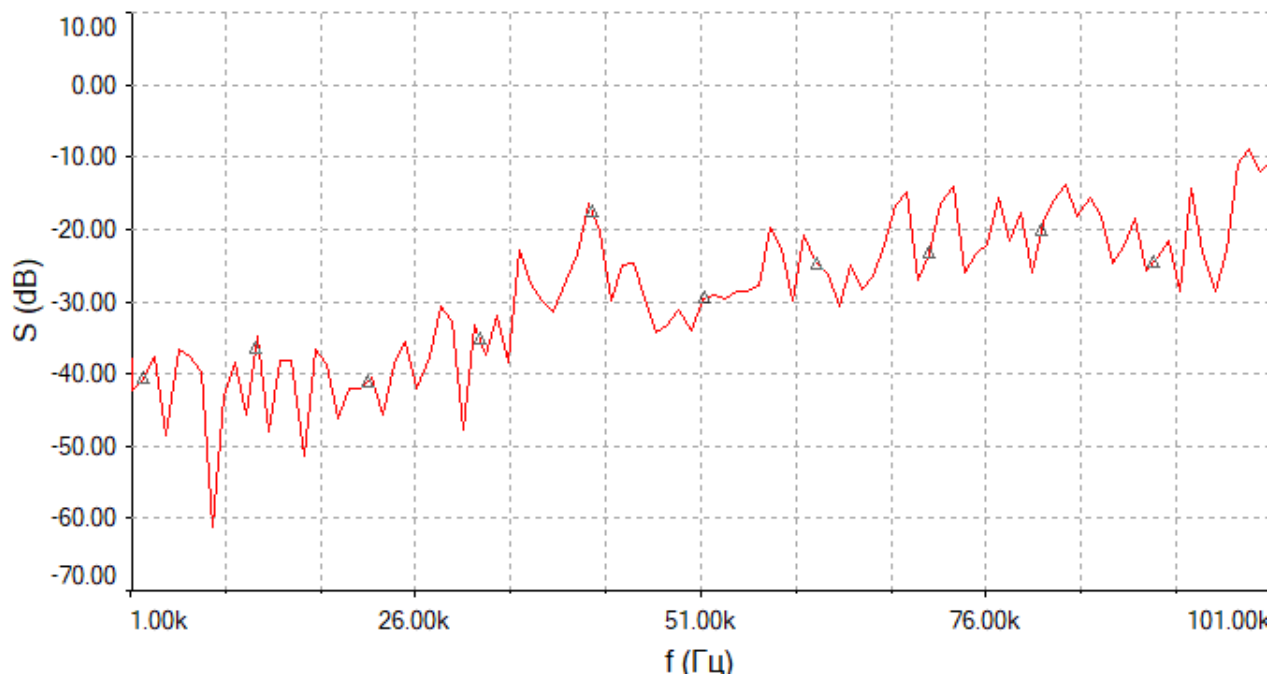


Рисунок 4.7 – Спектр сигналу  $u_1$  генератора Колпітца

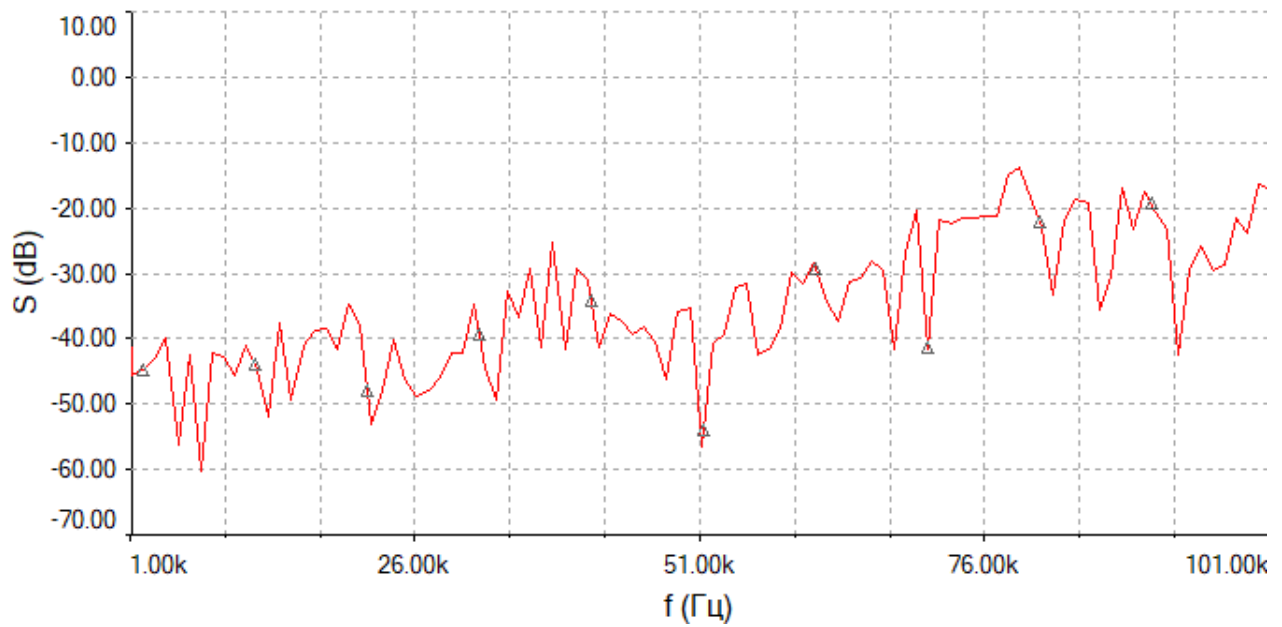


Рисунок 4.8 – Спектр сигналу  $u_1$  генератора Хартлі

## 4.2 Генератор Чуа

На рисунку 4.8 зображена електрична принципова схема хаотичного генератора Чуа. Схема складається з двох конденсаторів, однієї котушки індуктивності, семи лінійних резисторів та двох операційних підсилювачів.

Для Схеми Чуа система рівнянь електричної рівноваги наступна:

$$\begin{cases} C_1 \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{u_{C2} - u_{C1}}{R} + i_L \\ C_2 \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{u_{C1} - u_{C2}}{R} - i_N \\ L \frac{di_L}{dt} = -u_{C2} \end{cases} \quad (2.5)$$

де  $u_{C1}$  та  $u_{C2}$  – напруги на конденсаторах  $C_1$  та  $C_2$  відповідно.

Результати моделювання схеми Чуа зображені на рисунках 4.9 – 4.10.

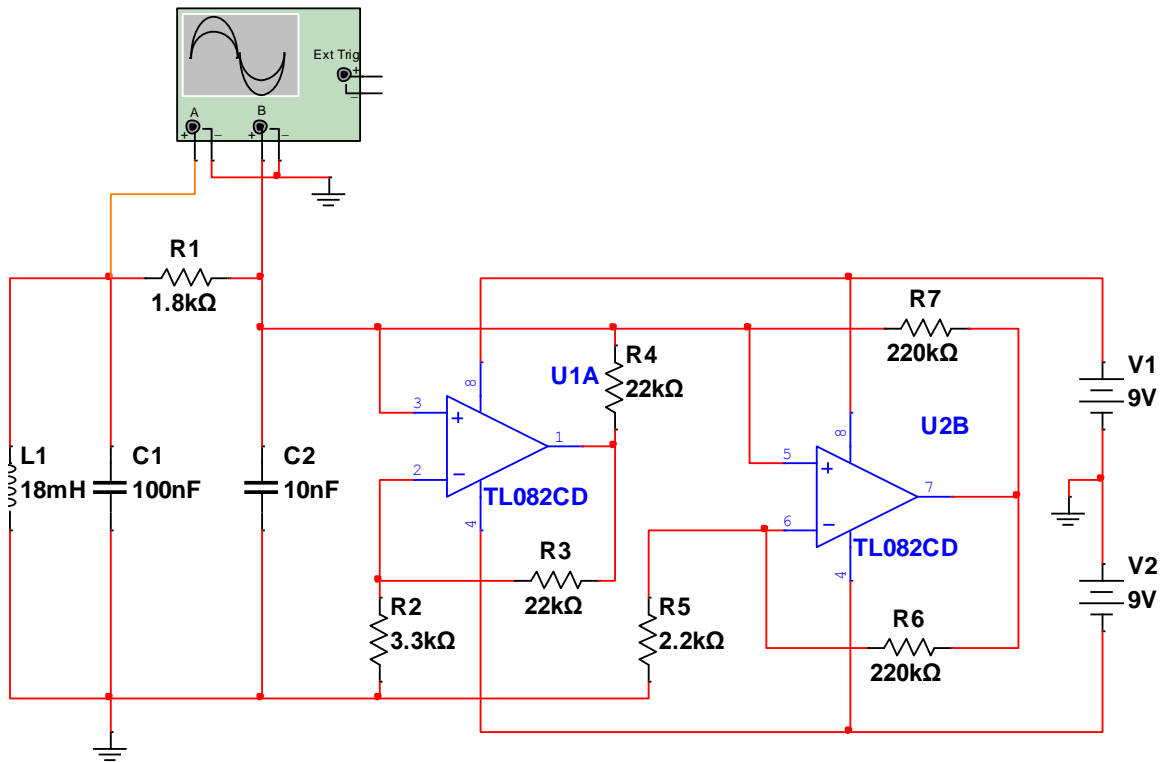


Рисунок 4.8 – Електрична принципова схема генератора Чуа, побудована в середовищі NI Multisim

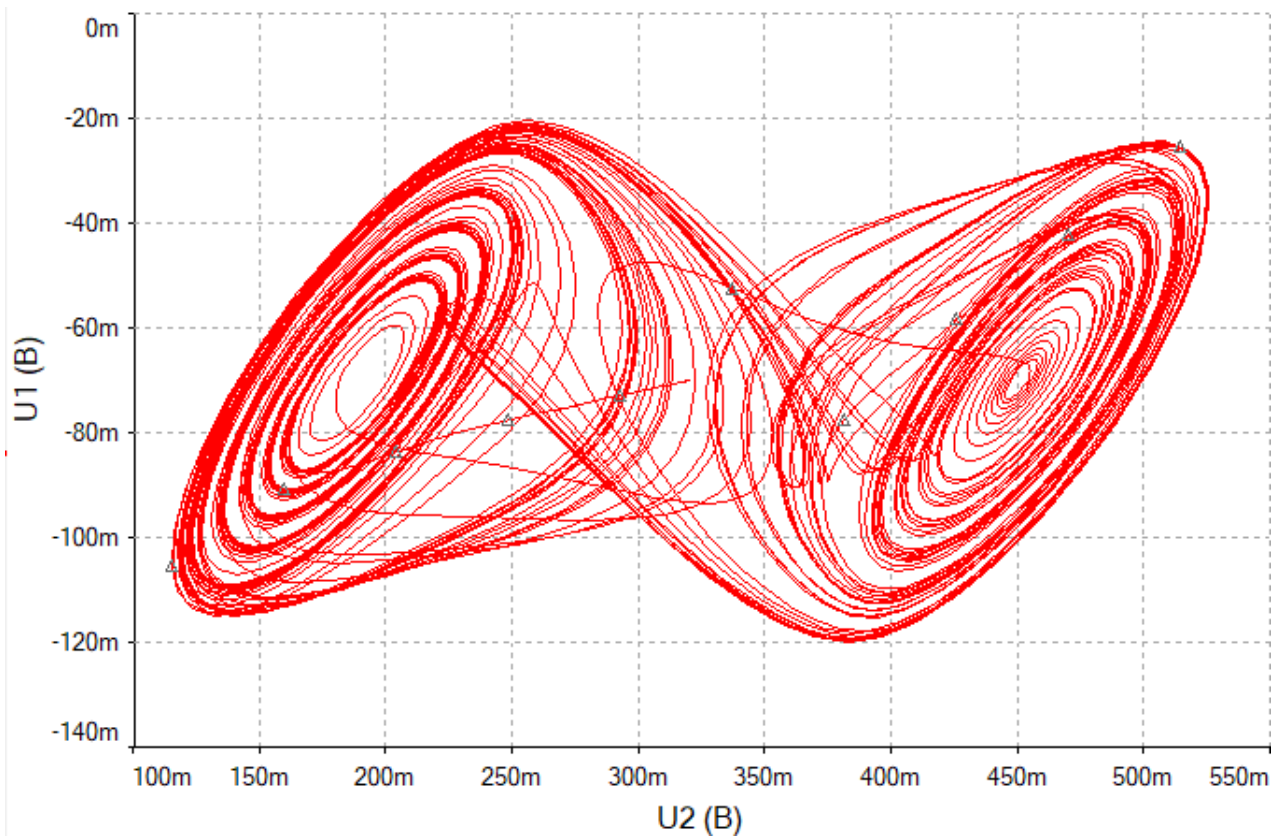


Рисунок 4.9 – Фазовий портрет атрактора генератора Чуа

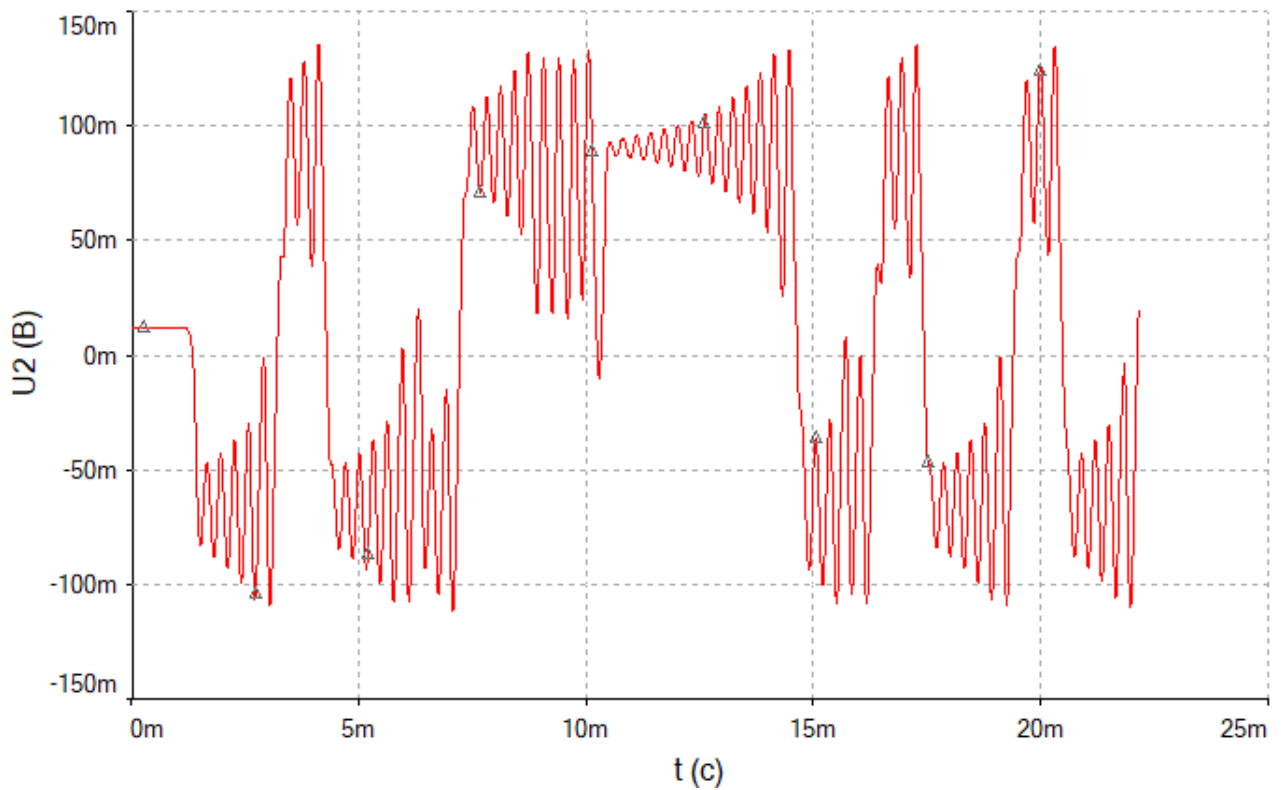


Рисунок 4.10 – Спектр сигналу  $u_2$  генератора Чуа

#### 4.4 Висновки до четвертого розділу

В четвертому розділі дипломної роботи було зроблено наступне:

- розроблено схемотехнічні імітаційні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа;
- виконано моделювання засобами програмного забезпечення NI Multisim;
- за допомогою інструменту Grapher результати моделювання (фазові портрети атракторів, осцилограми хаотичних сигналів та їх спектри) оформлено у вигляді графіків;

## Загальні висновки до роботи

В дипломній роботі проведено аналіз технологій комп'ютерного імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв засобами мультипрограмної платформи NI Multisim. Дане програмне забезпечення належить до спеціалізованих програмних засобів, метою яких є автоматизація та оптимізація технологічних процесів на виробництві електро- та радіоапаратури. Використання програми NI Multisim в навчальному процесі для підготовки майбутній спеціалістів в галузі електроніки та телекомунікацій дозволить підвищити їх кваліфікацію, уміння та навички.

В ході виконання дипломної роботи були вирішена такі задачі:

- аналіз математичних моделей радіотехнічних пристроїв і систем та підходів щодо їх розробки;
- аналіз методів формування систем рівнянь електричної рівноваги для принципових схем радіотехнічних пристроїв;
- аналіз існуючих програмних засобів для моделювання та проектування радіоапаратури;
- дослідження основних можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;
- розробка імітаційних схемотехнічних моделей генераторів хаотичних коливань та їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

Результати магістерської роботи можуть бути використані в навчальному процесі як база для лабораторних та практичних занять спеціалізованих навчальних дисциплін.

За результатами магістерської роботи були підготовлені тези, які були опубліковані в збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал», яка проходила в Хмельницькому 9-10 листопада 2020 року.

## Перелік джерел посилання

1. Борисов Ю.П. Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств // Ю.П. Борисов, В.В Цветнов – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
2. Монаков А.А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. пособие // А. А. Монаков – ГУАП, СПб., 2005 – 100 с.
3. Гуткин Л.С. Современная радиоэлектроника и её проблемы. – 2-е изд. – М.: Сов. Рад., 1980. – (Б-ка радиоинженера «Современная радиоэлектроника», вып. 17)
4. В.П. Попов. Основы теории цепей: Учеб. Для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. шк., 1998 – 575 с.
5. Хайнеман Р. PSpice. Моделирование работы электронных схем. Пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2001. – 336 с.
6. Кузнецов С. П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование / С. П. Кузнецов - Изв. вузов «ПНД», т. 26, № 3, 2018, С.35-61.
7. Дмитриев А.С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М. : Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 252 с.
8. Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow / E. N. Lorenz // J. Atmos. Sci. – 1962 – Vol. 20. – № 2. – P. 130–141.
9. Данченко Д. Г. Использование отладочной платы STM32F7 Discovery для макетирования микропроцессорных устройств // Молодой ученый. Казань. — 2017. — № 51. — С. 37–42.
10. Копытин С., Дорофеев К. Отладка микроконтроллеров на базе процессоров Cortex-M3 // Компоненты и технологии. — 2008. — № 86. — С. 73–76.
11. Лебедев Н. В., Кучерук В. В. Принципы автоматизации управления приемопередающим каналом и получения данных ввода-вывода на базе программируемых микроконтроллеров STM32 // Успехи современной науки. — 2017. — № 3. — С. 83–86.

12. Мартин Т. Микроконтроллеры фирмы STMicroelectronics на базе ядра Cortex-M3. Серия STM32 /Т. Мартин. М. : Техносфера, 2009. 168 с.
13. Алексеевский П. И. Обучение программированию студентов на основе методологии унифицированного процесса разработки программного обеспечения — 2014. — № 8. — С. 150–153.
14. Кузнецова Ю.А. Практический анализ внутреннего качества программного обеспечения с открытым кодом / Ю.А. Кузнецова, А.В. Сыромятников, И.Б. Туркин, Системы обробки інформації, 2013, випуск 6 (113) – 224 - 233 с.
15. Грицюк Ю.І. Об'єктно-орієнтоване програмування мовою С++ : навчальний посібник / Ю.І. Грицюк, Т.Є. Рак. – Львів : Вид-во Львівського ДУ БЖД, 2011. – 404 с.
16. Пархоменко Д.А. Розробка радіоелектронних схем на основі мікроконтролерів: методичний посібник до курсу «Проектування радіоелектронних схем» для студентів радіофізичного факультету / Д.А. Пархоменко, Є. М. Смирнов – Київ: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2013. – 74 с.
17. Опейко О.Ф. Лабораторные работы по курсу «Микропроцессорные средства в автоматизированном электроприводе» / О.Ф. Опейко – Учебно-методическое пособие – Минск, БНТУ, 2016 – 84 с.
18. Марченко А.Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов / А.Л. Марченко. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 296 с.
19. Ляшенко О. Моделювання та дослідження електронних пристроїв: Навч. посібник. / О. Ляшенко, О. Мартинюк. – Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2013. – 217 с.
20. Томкинс У. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM-PC/ Под редакцией У. Томкинса. – М.: Мир, 1992. – 586 с.
21. Болл С.Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров / С. Р. Болл. – М. : Издательский дом "Додэка-XXI", 2007. – 360 с.

22. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М.: Издательский дом "Додэка-XXI", 2005. – 528 с.

23. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям; пер. с англ. / Ю. Р. Гнатек; под ред. Ю. А. Рюжина. – М. : Радио и связь, 1982. –552 с.

24. Зубчук В.И. Справочное пособие по цифровой схемотехнике / В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. – К. : Техника, 1990. – 448 с.

## ДОДАТОК А (обов'язковий)

### ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІ OSCILLOSCOPE ТА SPECTRUM ANALYZER ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ХАОТИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

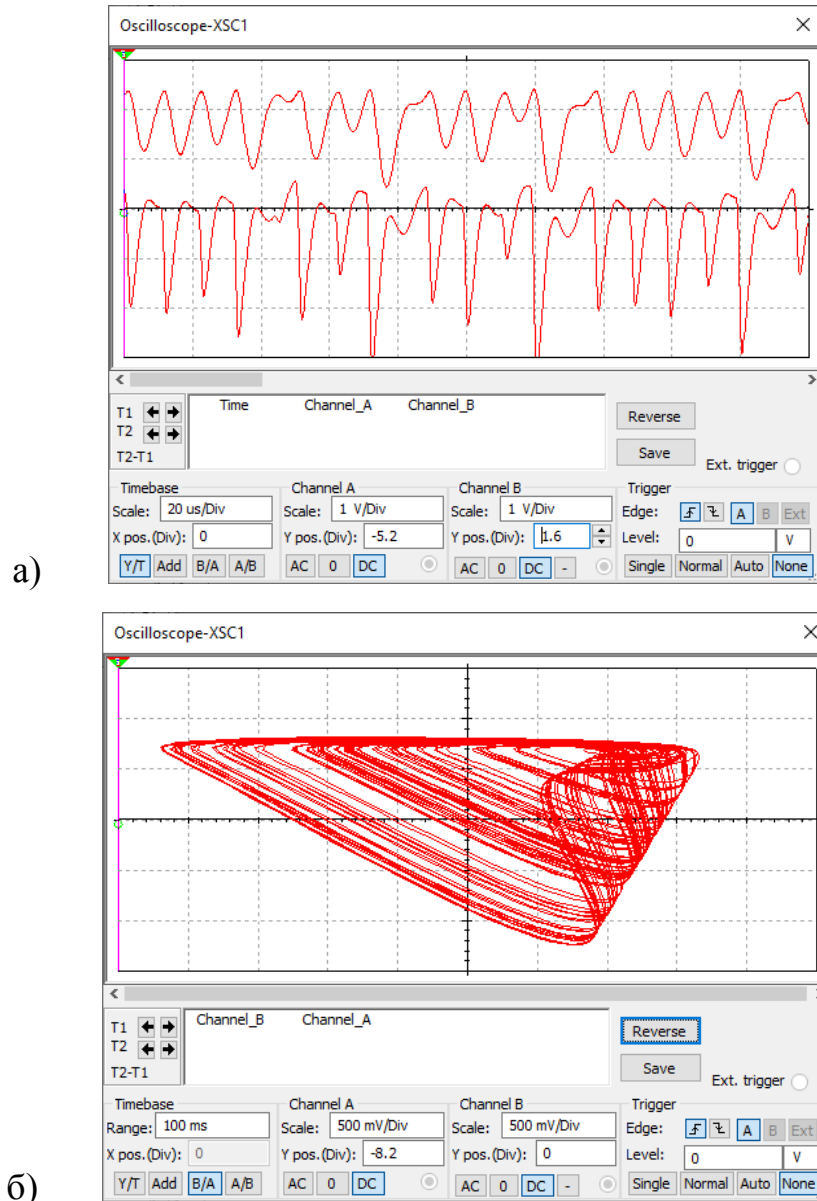


Рисунок Д.1.1 – Вікно осцилографа (Oscilloscope), отримане в результаті моделювання схеми генератора Колпітца: часові діаграми – а), фазовий портрет атратора – б)

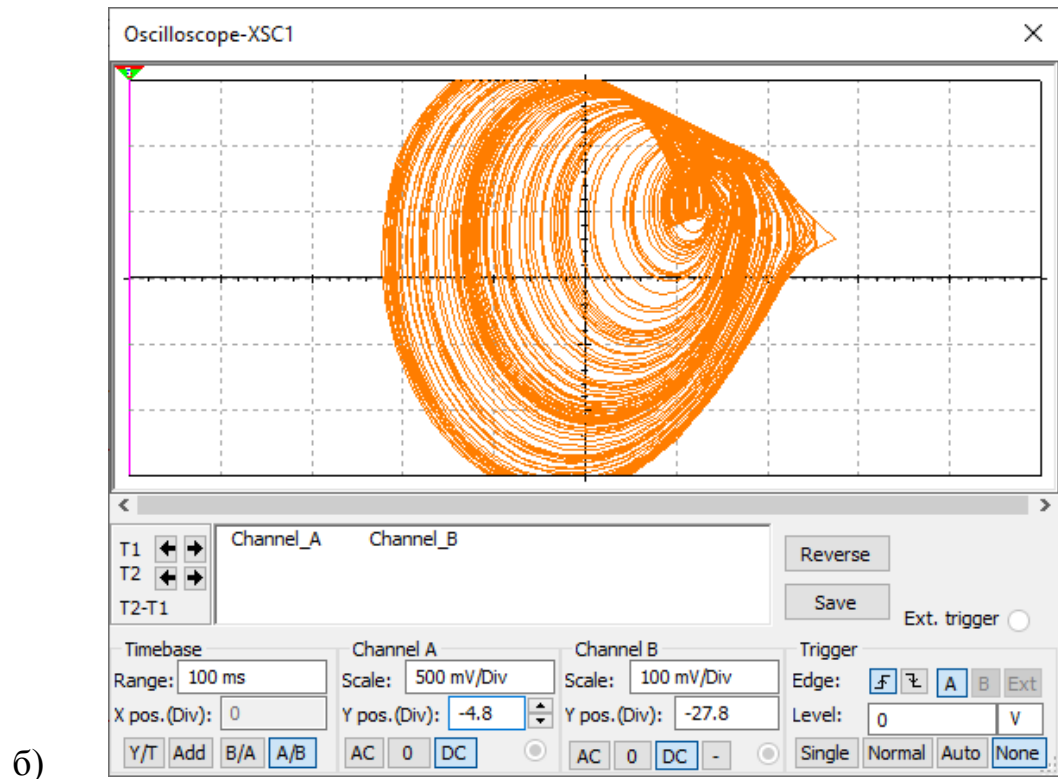


Рисунок Д.1.2 – Вікно осцилографа (Oscilloscope), отримане в результаті моделювання схеми генератора Хартлі: часові діаграми – а), фазовий портрет атратора – б)

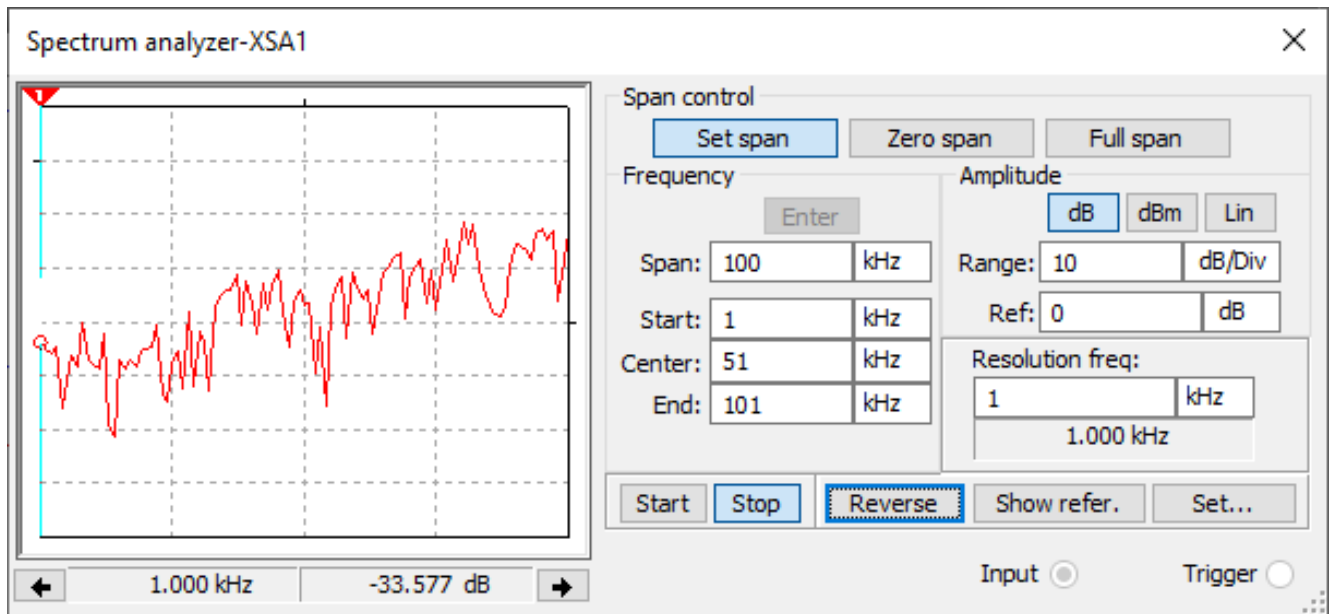


Рисунок Д. 1.3 – Вікно аналізатора спектра (Spectrum Analyzer), отримане в результаті моделювання схеми генератора Колпітца

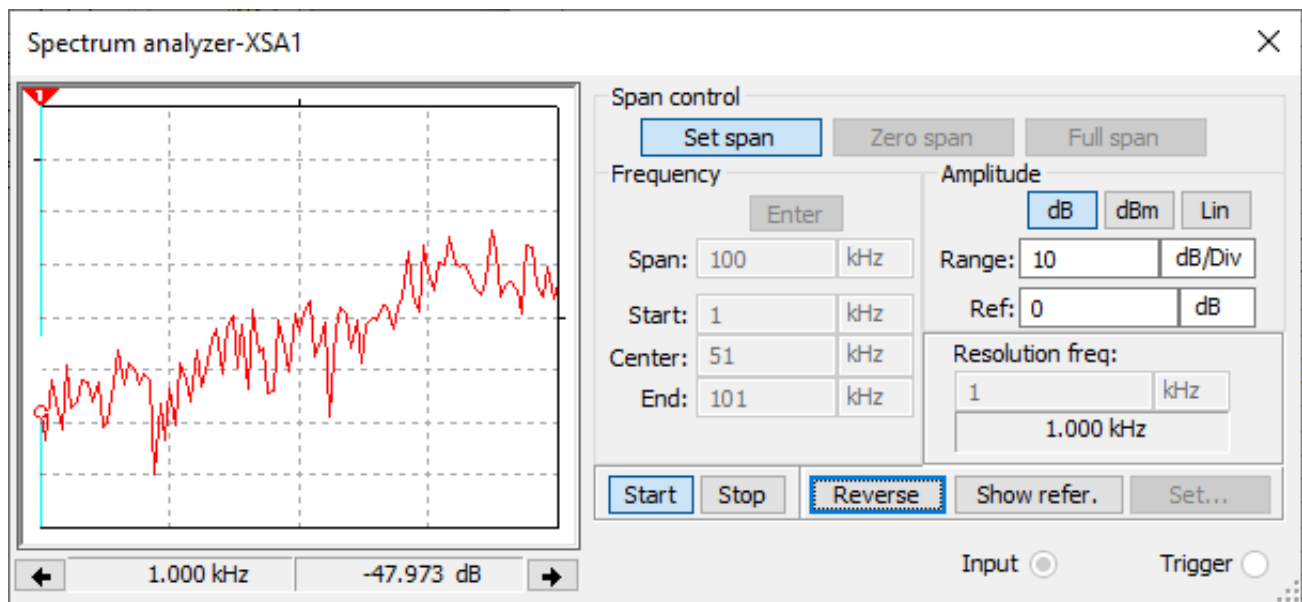


Рисунок Д.1.4 – Вікно аналізатора спектра (Spectrum Analyzer), отримане в результаті моделювання схеми генератора Хартлі

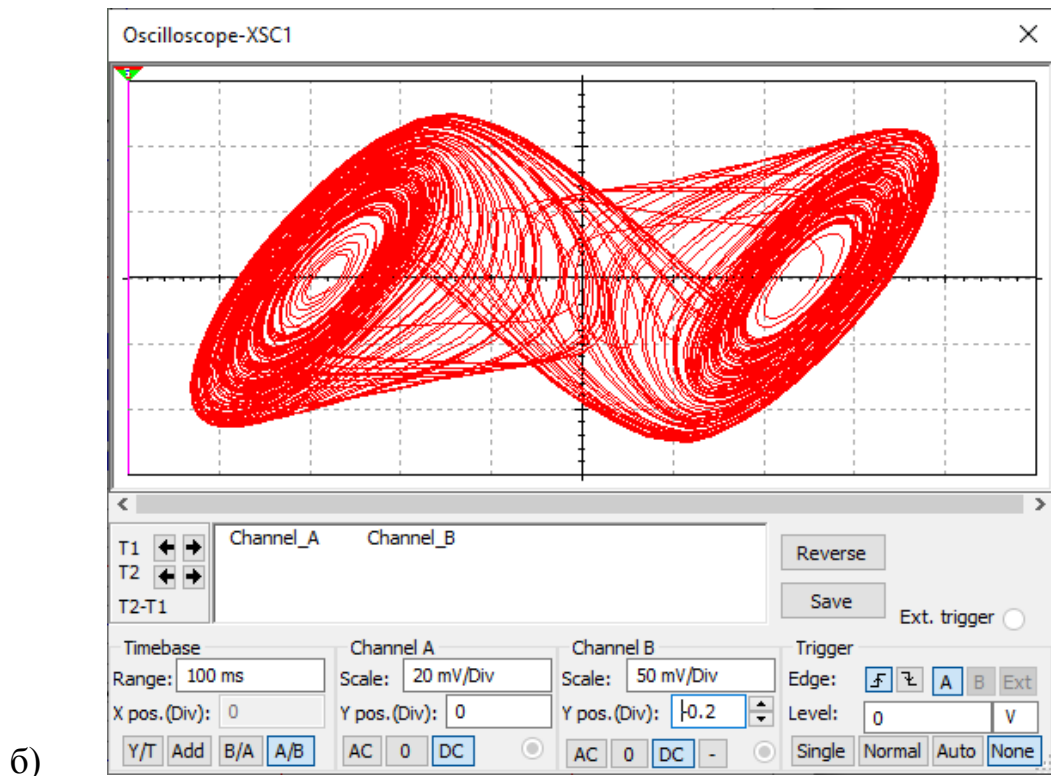
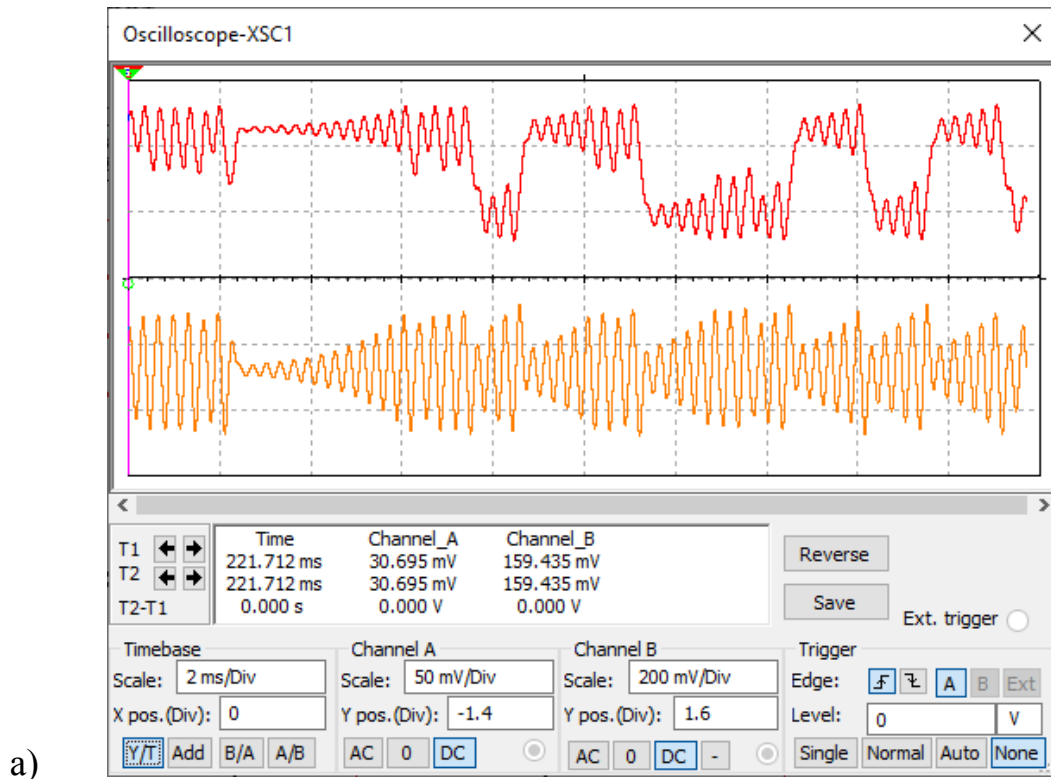


Рисунок Д.1.1 – Вікно осцилографа (Oscilloscope), отримане в результаті моделювання схеми генератора Чуа: часові діаграми – а), фазовий портрет атратора – б)

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

## ДИПЛОМНА РОБОТА

*«Технологія моделювання радіотехнічних пристроїв на основі мультипрограмного середовища NI MULTISIM»*

Спеціальність 172 – «Телекомунікації та радіотехніка»

**Виконав:** студент 2 курсу, група ТРм-19-1

Д.Р. Бабій

**Керівник:** д-р. техн. наук, доц.

С.К. Підченко

**Хмельницький, 2020**

**Метою роботи** підвищення кваліфікації інженерів-проектувальників радіоелектронної апаратури за рахунок впровадження в технологічні та освітні процеси методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем.

**Завдання, які вирішуються в роботі:**

- - аналіз існуючих методів та технологій комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем;
- аналіз методів формування систем рівнянь електричної рівноваги для принципів схем радіотехнічних пристроїв;
- аналіз існуючих програмних засобів для моделювання та проектування радіоапаратури;
- дослідження основних можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;
- розробка імітаційних схемотехнічних моделей генераторів хаотичних коливань та їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

**Об'єкт дослідження** – методи та засоби математичного та імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем

**Предмет дослідження** – технологія моделювання електричних принципів схем радіотехнічних пристроїв за допомогою мультипрограмного середовища NI Multisim.

### Науково-практична новизна роботи:

1. Отримали подальшого розвитку математичні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа.

2. Проведено аналіз існуючих методів та технологій комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем; досліджено основні можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем; розроблено схемотехнічні імітаційні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа та проведено їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

За результатами магістерської роботи були підготовлені тези, які були опубліковані в збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал», яка проходила в Хмельницькому 9-10 листопада 2020 року.

Структура і обсяг дипломної роботи. Дипломна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загального висновку до роботи, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 72 сторінки комп'ютерного тексту, у тому числі: 41 рисунок, список використаних джерел вміщує 24 найменування.

# 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

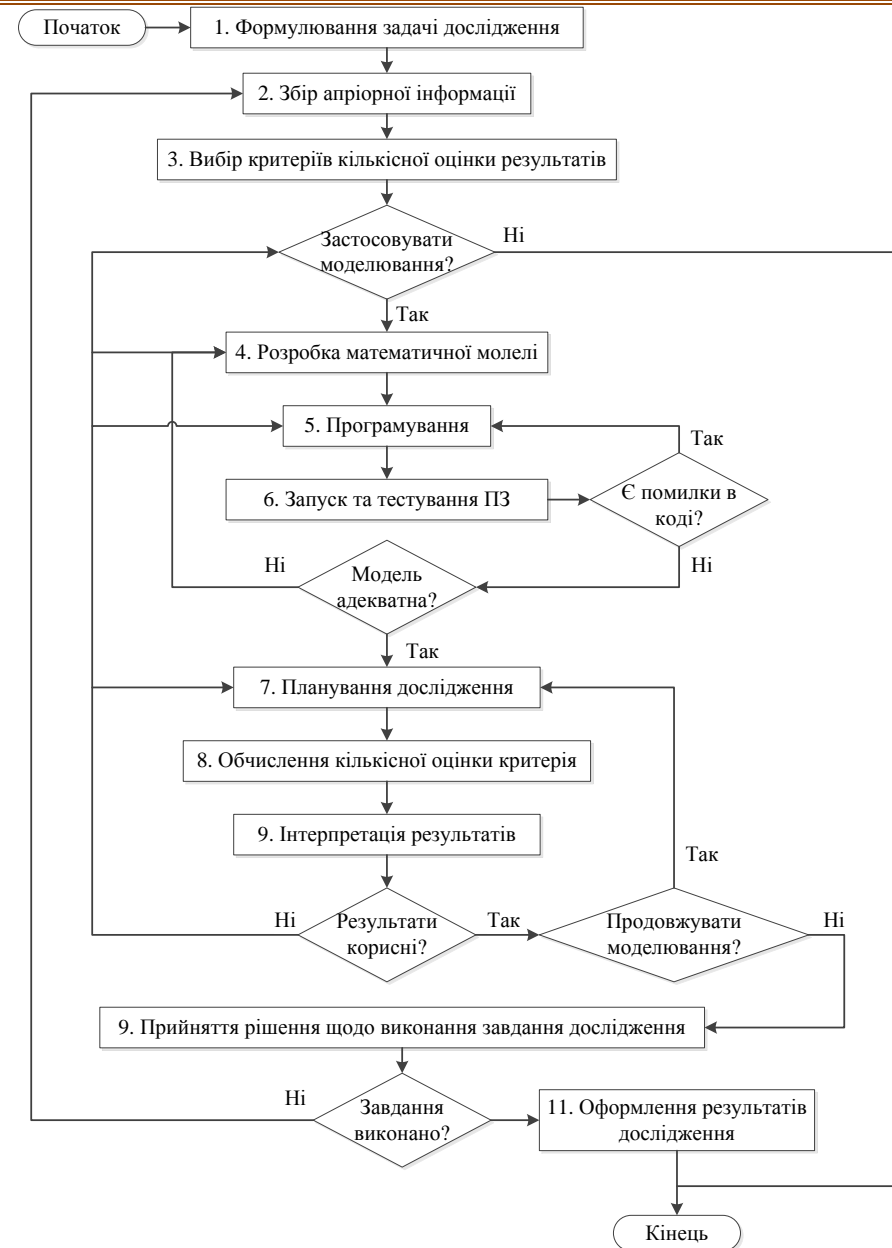
## Технології імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв

### Етапи математичного (імітаційного) моделювання:

1. Формулювання задачі моделювання, розробка та програмна реалізація математичної моделі радіотехнічної системи. На цьому етапі головною метою є формалізація та математичний опис поставленої задачі дослідження.
2. Розробка імітаційних моделей (за допомогою відповідного ПЗ), програмування та налагодження ПЗ, написаного згідно обраної математичної моделі та призначеного для моделювання і дослідження радіотехнічного пристрою чи системи. Даний етап може включати в себе розробку структурних схем моделі (наприклад, якщо використовується ПЗ візуального моделювання) та може бути в значній мірі формалізований. Головною вимогою до програмної реалізації моделі ставиться економічність з точки зору мінімізації необхідного для виконання машинного часу та забезпечення прийнятної точності обчислень.
3. Моделювання радіотехнічної системи або пристрою для заданих умов та параметрів моделі, що характеризують умови експлуатації, та оформлення результатів дослідження.
4. Інтерпретація та критичний аналіз результатів моделювання на наявність нової корисної інформації про об'єкт дослідження (радіотехнічний пристрій, систему тощо).

## Алгоритм дослідження шляхом комп'ютерного моделювання

1. Постановка та формулювання задачі
2. Збір та аналіз апріорної інформації щодо об'єкта моделювання
3. Вибір критерія, за яким буде проводитись кількісна оцінка результатів дослідження об'єкту (або оптимізація).
4. Розробка математичної моделі.
5. Програмна реалізація математичної моделі та алгоритму моделювання.
6. Тестування та налагодження.
7. Планування дослідження.
8. Обчислення кількісних показників.
9. Інтерпретація результатів.
10. Загальна оцінка результатів та прийняття подальших технологічних рішень



## Особливості радіотехнічних пристроїв та систем як об'єктів моделювання

В рамках представленої магістерської роботи в якості об'єкта моделювання виступають радіотехнічні пристрої (РТП) та радіотехнічні системи (РТС).

**Особливістю** РТП та РТС як об'єктів математичного (імітаційного) моделювання є їх спрямованість на передачі та прийом інформації за допомогою радіосигналів, що спонукає до виокремлення даних систем в окрему категорію інформаційних систем

В першому наближенні будь-яку РТС можна представити у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 1.2 [2].

В загальному випадку ПЗ для автоматизації аналізу та моделювання електричних кіл складається з таких **основних модулів**

- модуль підготовки вихідних даних;
- модуль формування рівнянь електричної рівноваги;
- модуль чисельного розв'язування систем рівнянь;
- модуль візуалізації результатів;
- модуль налаштування;
- інтерфейс користувача.

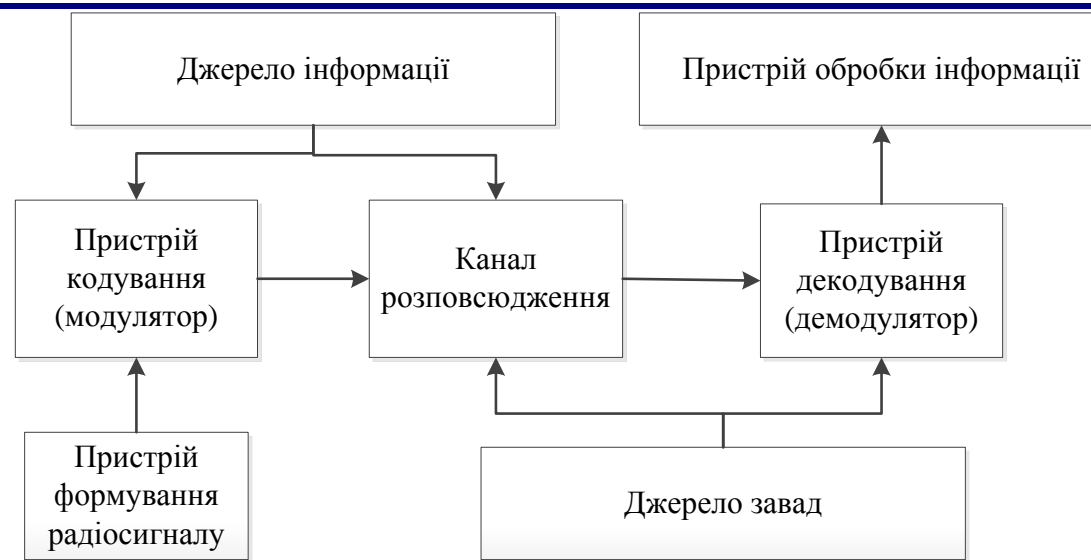


Рисунок 1.2 – Спрощена структурна схема РТС

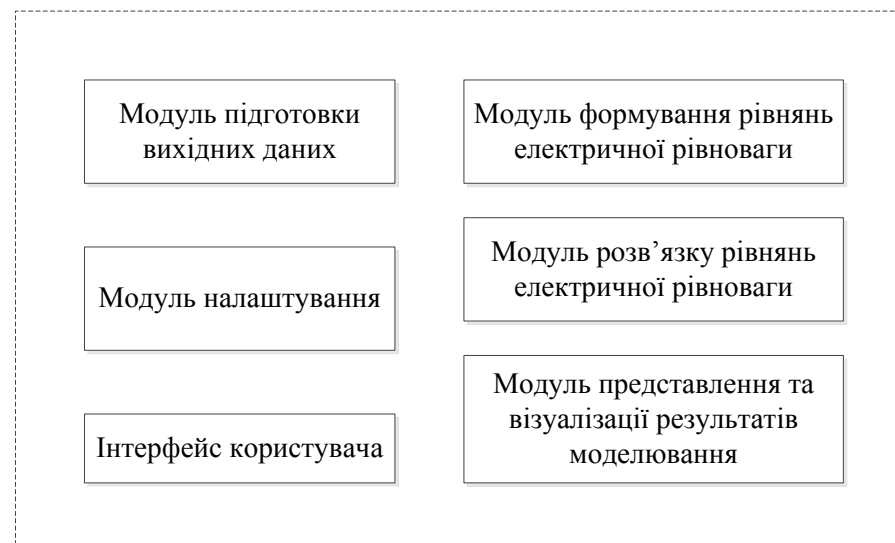


Рисунок 1.3 – Загальна структурна схема ПЗ для аналізу та моделювання електричних кіл

## Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем

В таблиці 1.3 зібране найбільш актуальне ПЗ, яке використовується для розробки та проектування РТП і РТС із зазначенням актуальних версії кожного програмного продукту та операційних систем (ОС), які підтримуються ними.

Таблиця 1.3 – Огляд ПЗ для проектування, розробки та моделювання РТП

Назва ПЗ	Актуальна версія	ОС	Основні характеристики та можливості
1	2	3	4
Proteus	8.7	Windows 7/8/8.1/10	Пакет ПЗ для автоматизованого проектування та модулювання електричних схем, розроблена компанією Labcenter Electronics. Моделювання електричних схем ґрунтується на моделі PSpice. Є можливість моделювати мікроконтролери (МК), мікропроцесори (МП), сигнальні процесори (DSP). Пакет включає засоби для проектування друкованих плат.
LabVIEW	20.0	Windows, Mac OS X, Linux	Середовище розробки та програмна платформа для виконання ПЗ фірми National Instruments. Використовується в системах збору та обробки даних, керуванням технічними та технологічними процесами. Включає велику кількість модулів та бібліотек.
OrCAD	17.2	Windows 7/8/8.1/10	Пакет ПЗ для автоматизованого проектування електро- та радіоапаратури. До основних можливостей відносяться інструменти для проектування друкованих плат та моделювання електричних схем. Основана на моделі PSpice.

## Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем

продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Simulink	9.3	Windows, Mac OS X, Linux	Середовище графічної розробки та імітаційного моделювання технічних пристроїв та систем (в тому числі радіотехнічних). Є складовою програмного комплексу MATLAB компанії MathWorks. Дуже велика бібліотека елементів та бібліотек. Інтеграція з середовищем MATLAB.
EasyEDA	від 14.01.20 17	Web	Web-орієнтоване середовище автоматизованого проектування та моделювання електро- та радіоапаратури. До складу програми входить графічний редактор електричних принципів схем, редактор друкованих плат, Spice-симулятор, хмарне сховище даних, система керування проектами.
LTspice	17.0.19.0	Windows 7/8/8.1/10, MacOS 10.9	Програмний симулятор аналогових та цифрових схем на базі моделі PSpice. LTspice є вільним програмним забезпеченням.
Qucs	0.0.19	Linux, Mac OS, Solaris, FreeBSD, Windows	Простий програмний симулятор електричних кіл з відкритим кодом та великою бібліотекою елементів, яка постійно поновлюється. Є вільним та безкоштовним ПЗ.

## Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем

продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Logisim	2.7.1	Linux, Mac OS X, Windows	ПЗ для моделювання та автоматизації розробки цифрових схем написано на мові Java. Безкоштовне ПЗ, яке може вільно використовуватись в освітній та некомерційних цілях.
Fritzing	0.9.4	Linux, Windows, Mac OS X	ПЗ з відкритим кодом, яке призначене для візуального моделювання електричних схем. Дозволяє розроблювати прототипи пристроїв на базі налагоджувальних плат Arduino та інших сумісних платформ. Дозволяє автоматизувати процес налагодження макетних плат.
Micro-Cap	12.2.0.3	Windows	ПЗ на базі Spice моделі для моделювання аналогової та цифрової електроніки, що розроблено компанією Spectrum Software.
KiCad	5.1.7	Linux, Windows, Mac OS X	Програмний комплекс, призначений для розробки і проектування електричних схем та друкованих плат
PSIM Software	11.1.7	Windows	Пакет прикладного ПЗ для моделювання електричних кіл, спеціалізованого для розробки пристроїв силової електроніки та електроприводу. До складу ПЗ входять модулі для схемного моделювання та розробки систем керування, сонячних та вітряних електростанцій.

## Огляд програмного забезпечення для розробки та моделювання електронних схем

кінець таблиці 1.3

1	2	3	4
Scilab	6.1.0	Linux, Mac OS X, Windows	Пакет прикладних математичних програм, призначений для інженерних та наукових розрахунків та математичного моделювання. Визначальною особливістю Scilab є широкий набір вбудованих функцій та бібліотек, тісна інтеграція із багатьма існуючими програмними засобами. ПЗ Scilab є найбільш повною безкоштовною альтернативою системи MATLAB.
CircuitMaker	1.3.0.181	Windows	Програмний засіб для проектування друкованих плат напівпрофесійного та аматорського рівня. Є безкоштовним ПЗ з відкритим кодом.
EWB	5.12	Windows XP	Спеціалізоване ПЗ для проектування та моделювання аналогових та цифрових електричних схем. Дозволяє створювати схеми РТП різного рівня складності. Широко використовується в освітніх цілях, хоча на даний час є застарілим ПЗ.
NI Multisim	14.2	Windows	Мультипрограмна платформа для розробки та моделювання електричних схем радіотехнічних пристроїв та засобі. Прийшла на заміну популярної програми EWB 5.12

## 2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

### Формальний опис радіотехнічної системи з точки зору моделювання

В загальному випадку формально система описується рівнянням (2.7). З урахуванням внутрішніх та зовнішніх параметрів рівняння приймає вигляд:

$$\bar{Y}(t) = \bar{A}(\bar{\beta}) \cdot \bar{X}(\bar{\alpha}, t), \quad (2.11)$$

де  $\bar{\alpha} = \bar{\alpha}(t)$  - зовнішні параметри,  $\bar{\beta} = \bar{\beta}(t)$  - внутрішні параметри.

$\bar{A}(\bar{\beta})$  - вектор операторів,  $\bar{X} = \bar{X}(\bar{\alpha}, t)$  - фазові змінні

На рисунку 2.1 зображена формальна схема системи, яка описується рівнянням (2.11).

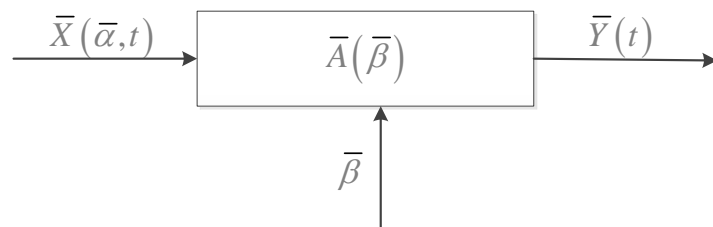


Рисунок 2.1 – Формальна схема РТС

Для конкретизації системи, математична модель якої задається рівнянням (2.11) та зображена на рисунку 2.1, необхідно визначити вектор операторів  $\bar{A}(\bar{\beta})$  та провести декомпозицію системи.

Для дослідження та комп'ютерного моделювання РТС вводиться наступна формальна модель вихідних параметрів:

$$\bar{\gamma} = F_2 [\bar{Y}(t)], \quad (2.13)$$

де  $\bar{Y}(t) = \{y_i(t)\}, (i = 1, 2, \dots, p),$

$0 \leq t \leq T_{cn}, T_{cn}$  – час моделювання,

$\bar{\gamma} = \{\gamma_i\}$  - множина вихідних параметрів.

На рисунку 2.2 зображена формальна схема для моделювання РТС за допомогою комп'ютерної техніки.

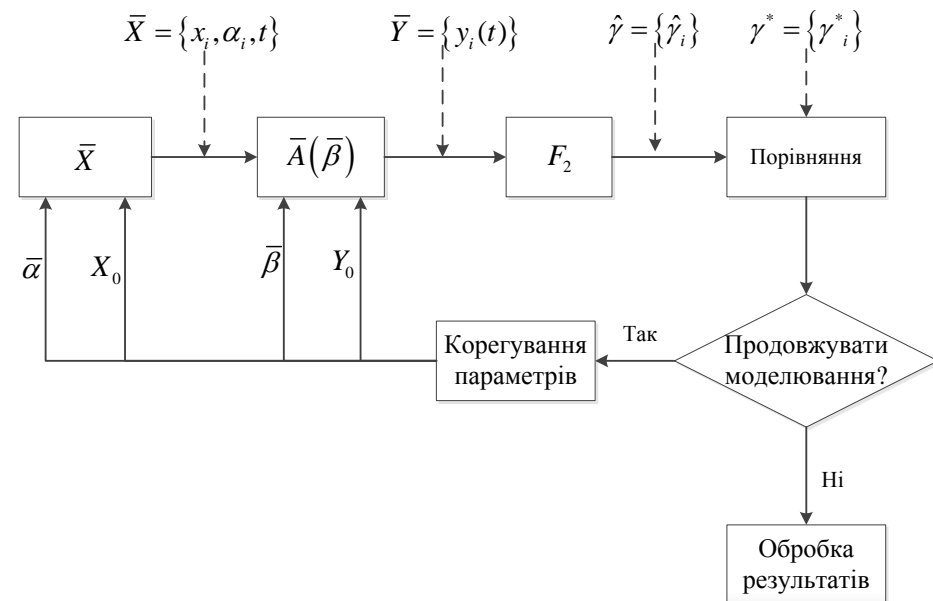


Рисунок 2.2 – Формальна схема комп'ютерного моделювання РТС

## Формальний опис графу електричного кола за допомогою топологічних матриць

Формалізувати опис топології електричного кола можна, наприклад, за допомогою представлення її в матричній формі.

Відомо [1, 4], що топологічні властивості електричного кола можуть бути повністю описані відповідним графом (рисунок 2.3). Властивості такого графа залежать від кількості вузлів та гілок і способу їх з'єднання.

Для комп'ютерного представлення графа може бути використаний список гілок графу із зазначенням вузлів, якими вони з'єднані або повна матриця вузлів  $A_c$ .

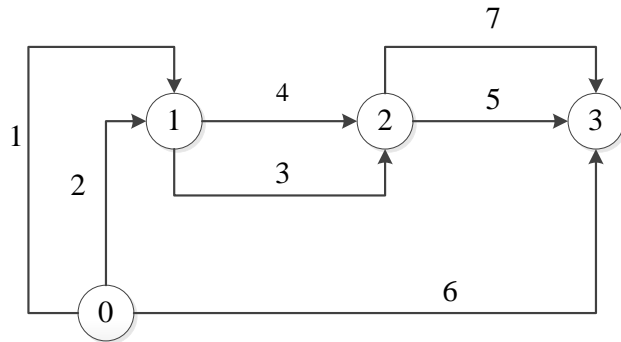


Рисунок 2.3 – Приклад графу електричного кола

Повна топологічна матриця вузлів представляє собою таблицю, в якій кількість стовпців дорівнює кількості гілок графа, а кількість рядків – числу його вузлів. Номер рядка співпадає з номером відповідного вузла, а номер стовпця – із номером гілки. Елемент матриці  $a_{ij}$  приймає одне з трьох значень:

- якщо гілка  $j$  з'єднана з вузлом  $i$  та направлена до даного вузла, то  $a_{ij} = 1$ ;
- якщо гілка  $j$  з'єднана з вузлом  $i$  та направлена від даного вузла, то  $a_{ij} = -1$ ;
- якщо гілка  $j$  не з'єднана з вузлом  $i$ , то  $a_{ij} = 0$ .

Для графа, зображеного на рисунку 2.3, топологічна матриця буде мати вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Якщо перемножити матрицю (3.14) на вектор-стовпець струмів  $\vec{i}$ , то отримаємо систему лінійних рівнянь в матричній формі:

$$A_c \times \vec{i} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{q1} & a_{q2} & \dots & a_{qp} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}i_1 & a_{12}i_2 & \dots & a_{1p}i_p \\ a_{21}i_1 & a_{22}i_2 & \dots & a_{2p}i_p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{q1}i_1 & a_{q2}i_2 & \dots & a_{qp}i_p \end{bmatrix}$$

# 3 ТЕХНОЛОГІЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ NI MULTISIMВИСНОВКИ

## Опис інтерфейсу користувача програми NI Multisim

Середовище Multisim (рисунок 3.1) – це спеціалізоване ПЗ, яке призначене для моделювання електричних принципових схем електро- та радіотехнічних пристроїв від компанії National Instruments.

До складу ПЗ входить Circuit Design Suite – це набір інструментів EDA (Electronics Design Automation), призначених для автоматизації технологічних процесів проектування схем.

Інтерфейс користувача NI Multisim складається з набору окремих панелей інструментів (Toolbars), які містять набір команд різноманітних функцій.

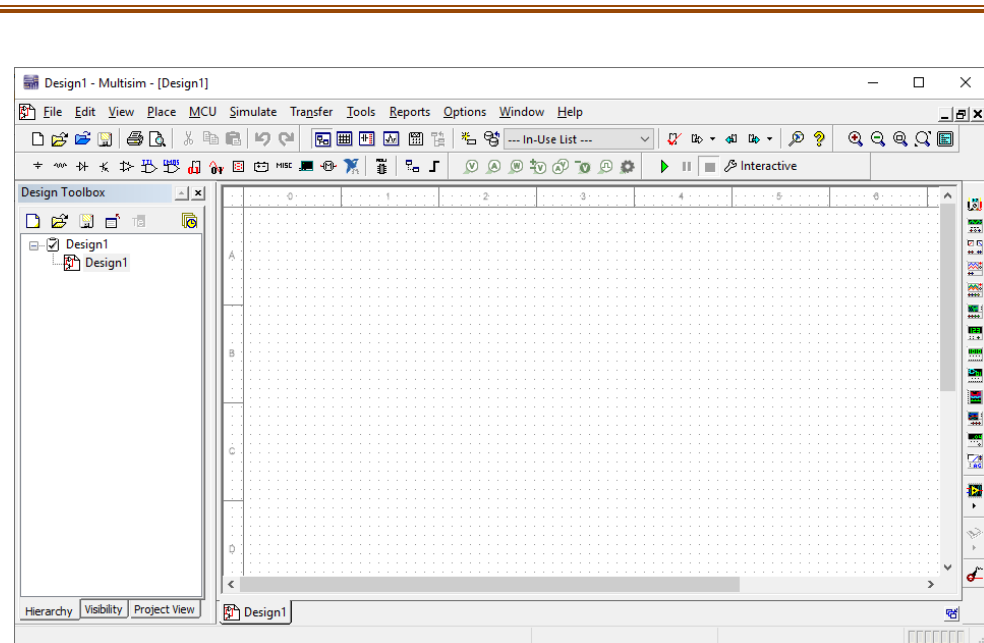


Рисунок 3.1 – Головне вікно графічного програми Multisim

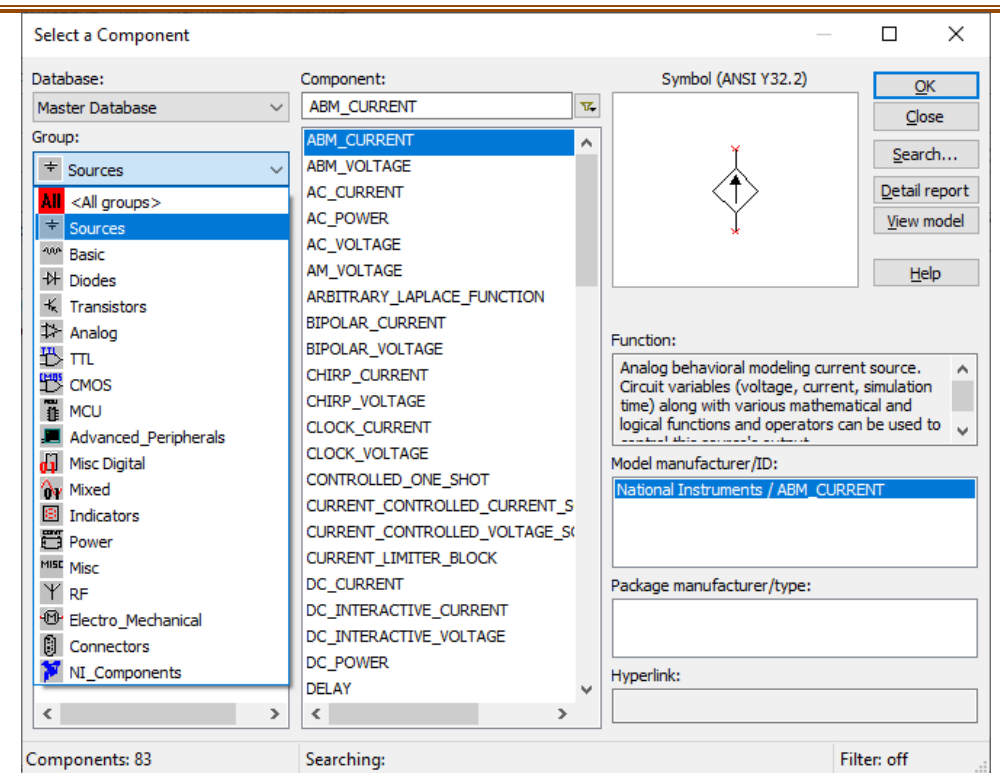


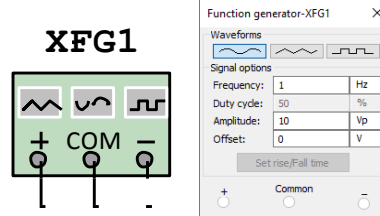
Рисунок 3.6 – Вікно браузера компонентів

## Елементи панелі віртуальний приладів

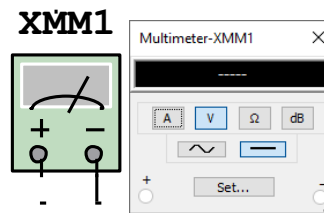
Панель із набором віртуальних приладів містить кнопки для виклику відповідних вікон із налаштуваннями вбудованих, або визначений користувачем приладів.

До складу панелі входять елементи:

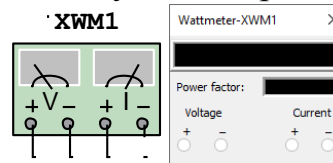
- функціональний генератор (Function Generator) – рисунок 3.7;
- мультиметр (Multimeter)
- ватметр (Wattmeter)
- осцилограф з двома та чотирьома входами (Oscilloscope, Four Channel Oscilloscope)
- блок побудови діаграм Бодє (Bode Plotter);
- генератор слів (Word Generator);
- логічний аналізатор (Logic Analyzer);
- логічний перетворювач (Logic Converter);
- аналізатор спотворень сигналу (Distortion Analyzer);
- аналізатор спектру (Spectrum Analyzer);
- частотомір (Frequency Counter);
- ВАХ-аналізатор (I-V Analyzer);
- амперметр (Ammeter) та вольтметр (Voltmeter).



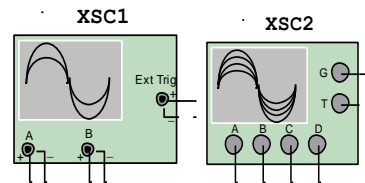
Функціональний генератор



Мультиметр

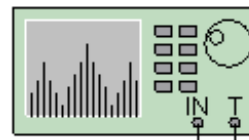


Ватметр



Дво- та чотиріканальний осцилограф

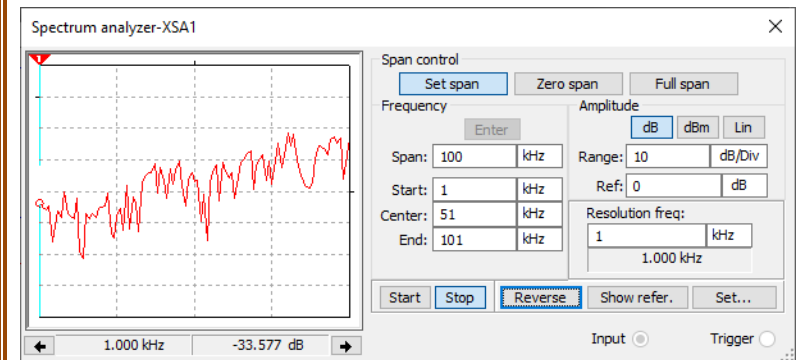
XSA1



Аналізатор спектру



Вікно двоканального осцилографа

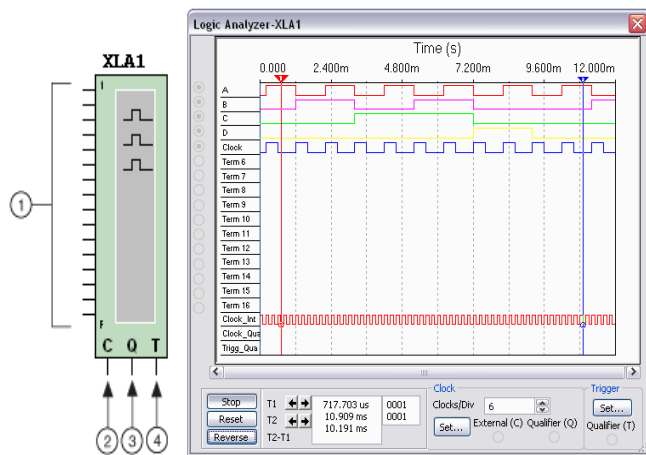


Вікно аналізатора спектру (Spectrum Analyzer)

## Інструменти для аналізу цифрових схем

**Логічний аналізатор** відображає до 16 цифрових сигналів в схемі для аналізу даних логічних станів та розширеного аналізу часових діаграм при проектуванні та налагодженні цифрових пристроїв.

На рисунку показано графічне зображення логічного аналізатора, яке має наступні входи: вхідні термінали – 1, зовнішній термінал тактової частоти – 2, термінал годинника – 3, термінал тригера – 4.

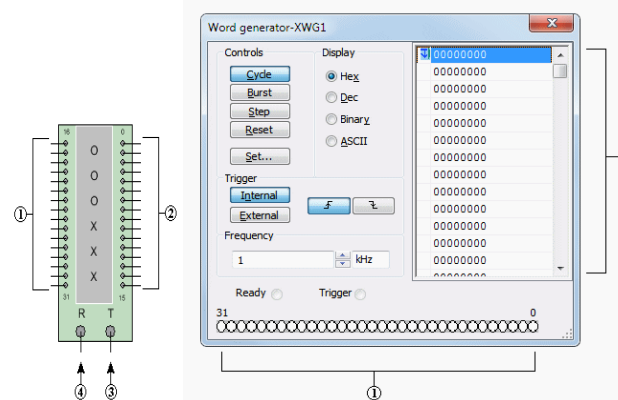


Логічний аналізатор (Logic Analyzer)

Для налагодження та тестування роботи ланок цифрових схем використовується **генератор цифрових слів** (Word Generator), який призначений для надсилання цифрових сигналів у відповідні вузли схеми.

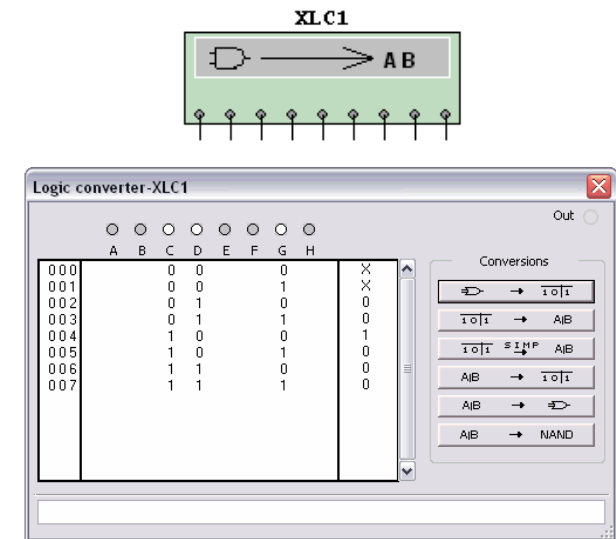
На рисунку показано графічне зображення генератора цифрових слів, який має наступні входи та виходи:

- старші та молодші 16 бітів 32-розрядного слова – 1,2 відповідно;
- зовнішній тригер – 3;
- термінал готовності даних – 4.



Генератора цифрових слів

**Логічний перетворювач** призначений для виконання послідовності перетворень цифрових сигналів. Даний інструмент може бути приєднаний до цифрової схеми для отримання таблиці істинності або булевого виразу, на якому побудована схема, або може згенерувати схему з таблиці істинності або булевого виразу. Вікно логічного аналізатора зображено на рисунку.



Логічний перетворювач

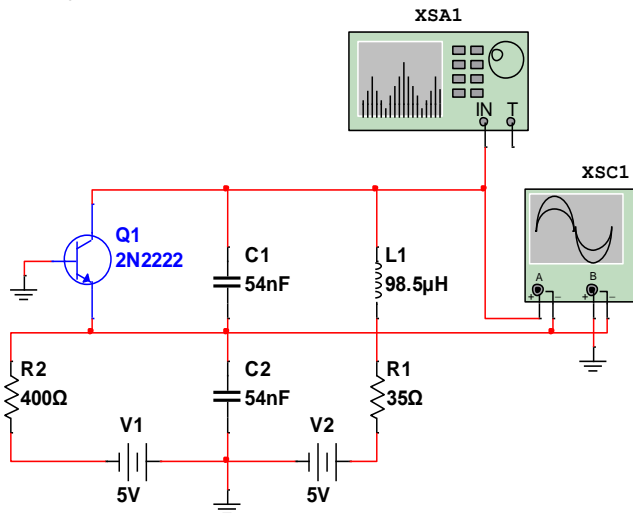
# 4 СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ЗАСОБАМИ МУЛЬТИПРОГРАМНОЇ ПЛАТФОРМИ NI MULTISIM

## Схеми хаотичних генераторів

### Генератори Колпітца

**Генератори Колпітца** або, як часто називають дану схеми, «ємнісна триточка» складається з двох ємностей –  $C_1$  та  $C_2$ , двох резисторів –  $R_1$  та  $R_2$ , індуктивності  $L_1$  та біполярного транзистора зі структурою NPN –  $Q_1$  (2N2222).

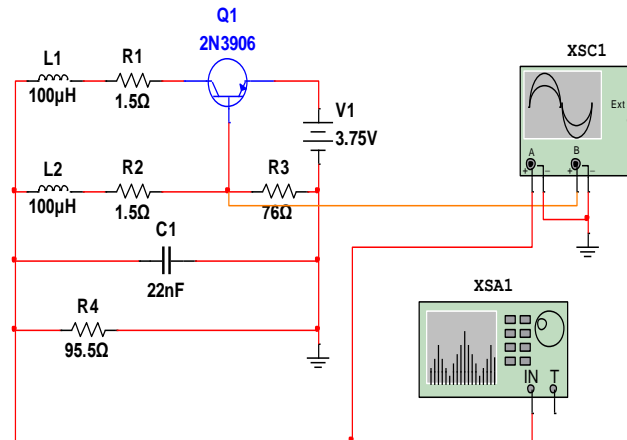
На рисунку зображено принципову електричну схему генератора Колпітца. Окрім радіоелементів на схемі присутні віртуальний осцилограф (Oscilloscope) та спектральний аналізатор (Spectrum Analyzer).



### Генератора Хартлі

Електрична схема **генератора Хартлі** складається з двох індуктивностей –  $L_1$  та  $L_2$ , резисторів –  $R_1$ – 4, конденсатора  $C_1$ , біполярного PNP-транзистора  $Q_1$  (2N3906). Живлення схеми відбувається від одного джерела напруги  $V$ , номіналом 3,75 В.

Генератор Хартлі часто називають «індуктивною триточкою». Схема генератора Хартлі, побудована в середовищі зображена на рисунку

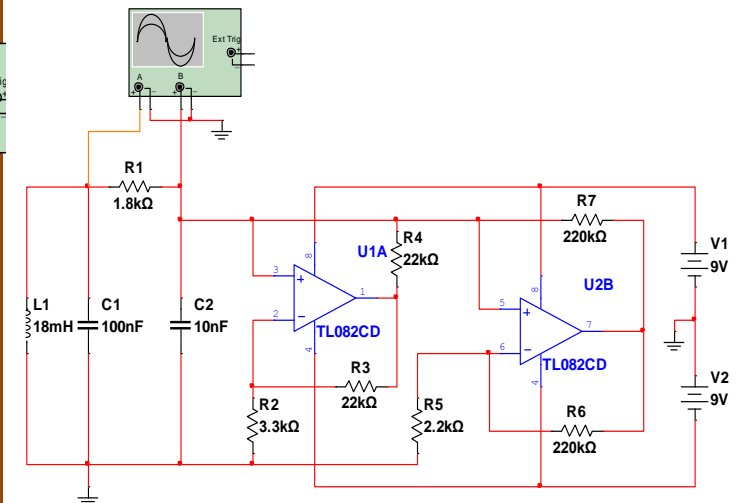


### Генератора Чуа

Схема **хаотичного генератора Чуа**. Схема складається з двох конденсаторів, однієї котушки індуктивності, семи лінійних резисторів та двох операційних підсилювачів.

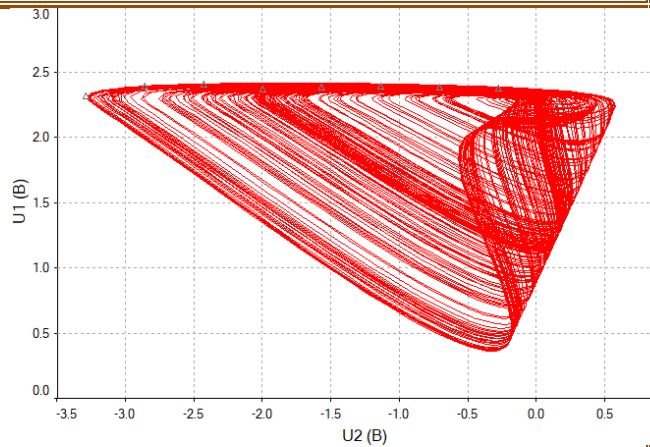
$$\begin{cases} C_1 \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{u_{C2} - u_{C1}}{R} + i_L \\ C_2 \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{u_{C1} - u_{C2}}{R} - i_N \\ L \frac{di_L}{dt} = -u_{C2} \end{cases} \quad (2.5)$$

де  $u_{C1}$  та  $u_{C2}$  – напруги на конденсаторах  $C_1$  та  $C_2$  відповідно.

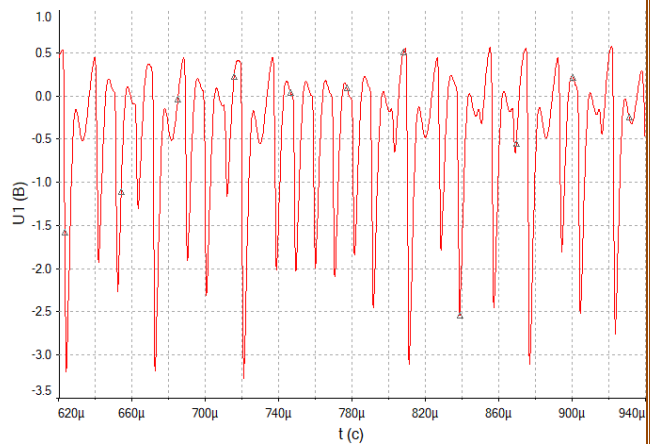


## Результати схемотехнічного моделювання хаотичних генераторів

### Генератори Колпітца

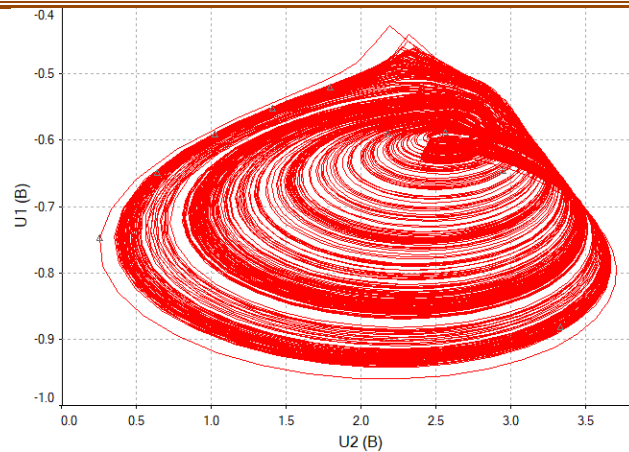


Фазовий портрет аттрактора генератора Колпітца

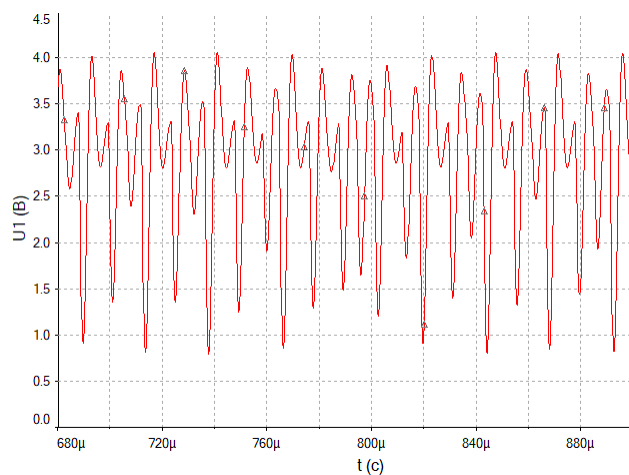


Осцилограма сигналу  $u_1$  генератора Колпітца

### Генератора Хартлі

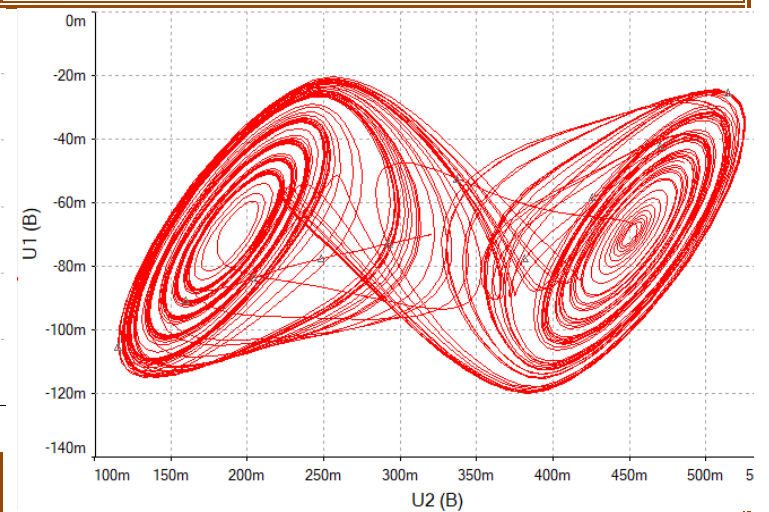


Фазовий портрет аттрактора генератора Хартлі

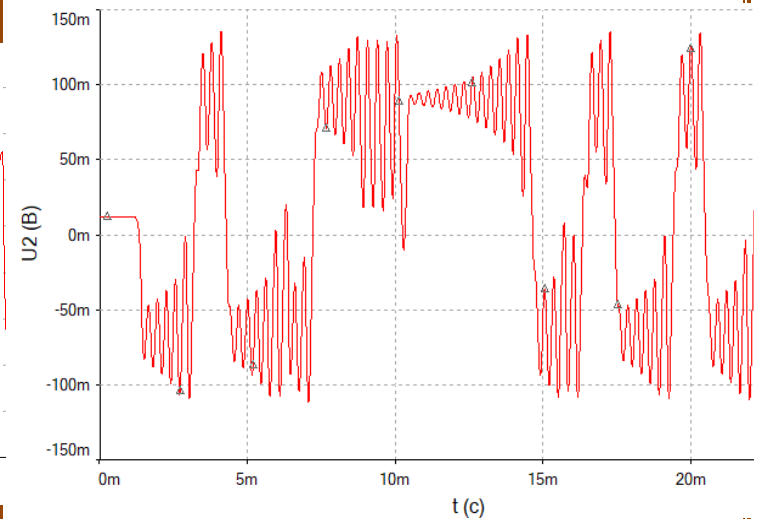


Осцилограма сигналу  $u_1$  генератора Хартлі

### Генератора Чуа



Фазовий портрет аттрактора генератора Чуа



Осцилограма сигнал  $u_2$  генератора Чуа

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено аналіз технологій комп'ютерного імітаційного моделювання радіотехнічних пристроїв засобами мультипрограмної платформи NI Multisim. Дане програмне забезпечення належить до спеціалізованих програмних засобів, метою яких є автоматизація та оптимізація технологічних процесів на виробництві електро- та радіоапаратури. Використання програми NI Multisim в навчальному процесі для підготовки майбутніх спеціалістів в галузі електроніки та телекомунікацій дозволить підвищити їх кваліфікацію, уміння та навички.

В ході виконання дипломної роботи були вирішена такі задачі:

- аналіз математичних моделей радіотехнічних пристроїв і систем та підходів щодо їх розробки;
- аналіз методів формування систем рівнянь електричної рівноваги для принципів схем радіотехнічних пристроїв;
- аналіз існуючих програмних засобів для моделювання та проектування радіоапаратури;
- дослідження основних можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;
- розробка імітаційних схемотехнічних моделей генераторів хаотичних коливань та їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

Результати магістерської роботи можуть бути використані в навчальному процесі як база для лабораторних та практичних занять спеціалізованих навчальних дисциплін.

За результатами магістерської роботи були підготовлені тези, які були опубліковані в збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців і студентів «Інтелектуальний потенціал», яка проходила в Хмельницькому 9-10 листопада 2020 року.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 2.0%**

**Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 10%**

ID: 84151 Название: Технологія моделювання радіотехнічних пристроїв на основі мультипрограмного середовища NI MULTISIM Добавлено в БД: 2020-12-13 Авторы: Бабій Дмитро Романович Руководители: Підченко Сергій Костянтинович Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	45880	697	1270 (3%)	18 (3%)

### Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

Имя пользователя:  
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:  
1005445054

Дата проверки:  
13.12.2020 18:37:20 EET

Тип проверки:  
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:  
13.12.2020 18:50:33 EET

ID пользователя:  
100005657

Название файла: Бабій\_ТРМ-19-1

Количество страниц: 70 Количество слов: 8531 Количество символов: 67253 Размер файла: 1.46 MB ID файла: 1005735938

678 слов помечены как "исключенные" и не учитываются в подсчете слов

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

## 2.83% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.9% с источником из Библиотеки (ID файла: 1005672066)

2.18% Источники из Интернета 141 ..... Страница 72

1.48% Источники из Библиотеки 9 ..... Страница 73

## 0% Цитат

Не найдено ни одной цитаты

Не найдено ни одной ссылки

## 0.06% Исключений

Некоторые источники исключены автоматически (фильтры исключения: количество найденных слов меньш...

Нет исключенных Интернет-источников

0.06% Исключенного текста из Библиотеки 2 ..... Страница 73

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 24

Подозрительное форматирование 18 страниц

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Хмельницький національний університет

Військовий інститут Київського національного університету  
ім.Тараса Шевченка

ПВНЗ “Університет економіки і підприємництва”

Вінницький національний технічний університет

Західноукраїнський національний університет

## **Інтелектуальний потенціал - 2020**

збірник наукових праць молодих науковців і студентів

сформовано за матеріалами  
Всеукраїнської науково-практичної конференції  
молодих науковців і студентів  
«Інтелектуальний потенціал – 2020»

9-10 листопада 2020 р.

Частина 1

Хмельницький  
2020

Огневий О.В. Проблема верифікації протоколів когерентності пам'яті ...	60
Огневий О.В., Огнева А.М. Особливості захисту інформаційних ресурсів під час проведення відеоконференцзв'язку .....	64
Полянчикін В. Г., Гнезділов М. Д., Журавська І. М. Діагностично-тренувальні прилади для відновлення рефлексів ушкоджених кістей та пальців рук .....	69
Руденко І.В. Інформаційна технологія для класифікації марок автомобілів з використанням згорткової нейронної мережі .....	72
Слободян М.О., Бабій Д.Р., Підченко С.К. Моделювання хаотичного генератора Лоренца засобами Matlab/Simulink .....	76
Слюсарчук О.О., Підченко С.К. Математична модель багаточастотної автоколивальної системи як динамічного об'єкта .....	77
Тогоєв О. Р. Організація захисту інфраструктури електронної комерції на базі протоколів DoT та DoH .....	82
Трач Б.В., Підченко С.К. Моделювання систем зв'язку з OFDM модуляцією .....	85
Чеснюк М.В., Медзатий Д.М. Алгоритм визначення пробудження людини під час сну .....	90
Шпірук М. С., Пятін І.С. Моделювання спотворень сигналу у каналі передачі і їх впливу на коефіцієнт бітових помилок цифрової системи зв'язку .....	93
Яшина О.М., Прейзнер Є.Е. Продукційна модель експертної системи для вибору оптимального раціону харчування .....	97

## Моделювання хаотичного генератора Лоренца засобами Matlab/Simulink

Слободян М.О., Бабій Д.Р.

Науковий керівник – д.т.н., доц. Підченко С.К.

Хмельницький національний університет

Цікавим та перспективним напрямком в сучасній радіотехніці є розробка теорії та практичне застосування пристроїв із хаотичною динамікою для передачі інформації. Хаотичні генератори характеризуються сильною залежністю від початкових умов, що дозволяє генерувати шумоподібні сигнали з широким неперервним спектром потужності [1, 2]. Пристрої із хаотичною поведінку, побудовані на основі дискретних нелінійних моделей, можуть бути застосовані в функціональних блоках цифрових телекомунікаційних систем для стиснення, шифрування і модуляція сигналів. Неперервні хаотичні генератори можуть служити джерелом широкосмугових сигналів в аналогових системах зв'язку [3].

Розглянемо в якості математичної моделі генератора хаотичних коливань динамічну систему Лоренца, яка складається з трьох звичайних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y; \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \quad (1)$$

де  $\sigma, r, b$  – дійсні додатні параметри системи.

У хаотичному режимі система Лоренца генерує широкосмугові сигнали складної форми із неперервним спектром та високими кореляційними та ортогональними властивостями [1, 2].

Схемотехнічна реалізація хаотичного генератора, побудованого на основі моделі Лоренца в системі Matlab/Simulink представлена на рис.1. Схема є модифікацією однойменного генератора, описаного авторами в роботі [4], що в свою чергу ґрунтується на варіанті реалізації, який був представлений Паулем Хоровіцем в його онлайн-публікації [5].

Схема на рис.1 побудована на базі двох операційних підсилювачів та двох аналогових помножувачів. Номінали пасивних елементів наведені в табл.1.

Таблиця 1. Номінали пасивних елементів схеми генератора Лоренца

R1	R2	R3	R4	R6	R7	R10	C1	C2	C3
100k	100k	35,7k	1M	250k	250k	133	1n	1n	3n

Часові діаграми напруг, що пропорційні координатам  $x$ ,  $y$  та  $z$  системи (1), які були отримані в результаті імітаційного моделювання роботи схеми рис.1, зображені на рис.2.

Фазові портрети атратора в проекціях на площини  $x$ - $y$  та  $x$ - $z$  зображені на рис.3.

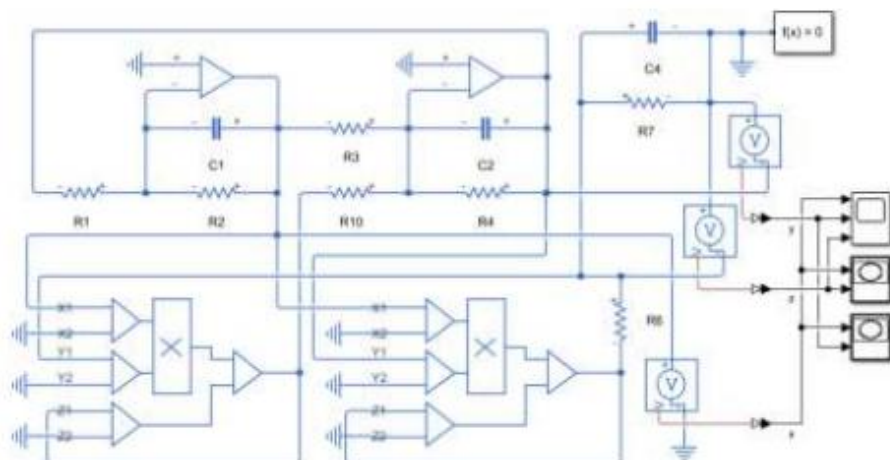


Рисунок 1. Схемотехнічна реалізація хаотичного генератора Лоренца, побудована в середовищі Matlab/Simulink

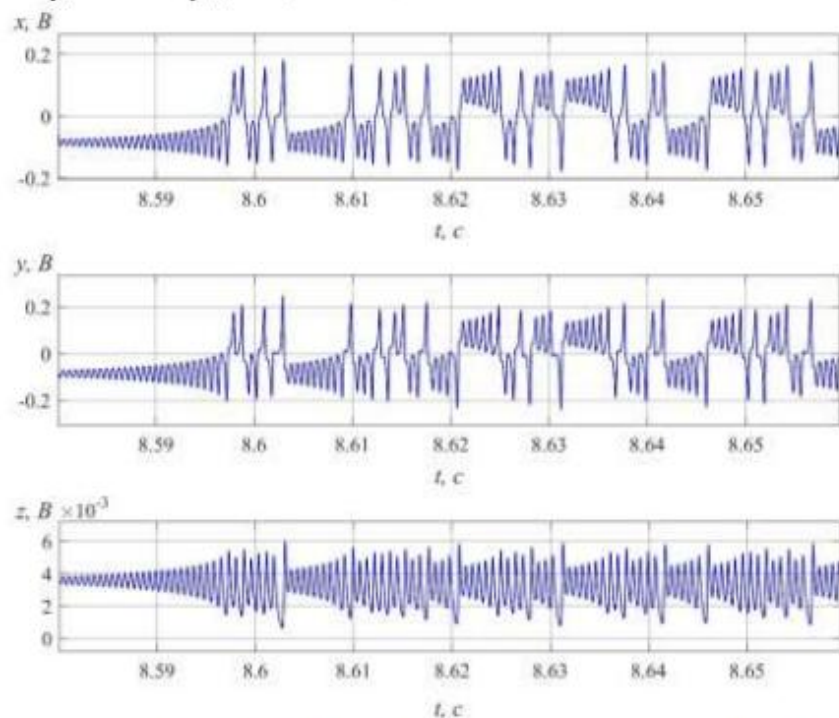


Рисунок 2. Часові діаграми напруг, що пропорційні координатам  $x$ ,  $y$  та  $z$

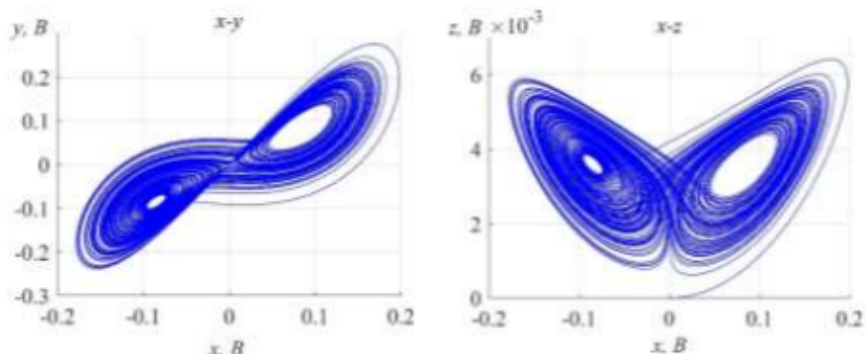


Рисунок 3. Фазові портрети атратора в проєкціях  $x$ - $y$  та  $x$ - $z$

Варто зазначити, що представлена в роботі схема генератора є низькочастотною (ширина спектру вихідних хаотичних коливань становить декілька одиниць кілогерц), однак теоретично може бути модифікована для використання в діапазоні високих та надвисоких частот.

Перспектива використання пристроїв із хаотичною динамікою в сучасних засобах телекомунікації обумовлена рядом факторів, серед яких висока інформаційна ємність, широкий спектр частот та конфіденційність передачі повідомлень. Можливість реалізації на базі одного пристрою великої кількості хаотичних режимів в перспективі дає можливість побудови багатоканальних систем передачі інформації. Сильна залежність від початкових умов та нестійкість фазових траєкторій дозволяє за рахунок малих впливів керувати динамікою хаотичних генераторів та здійснювати модуляцію з великою швидкістю.

#### Перелік посилань

1. Дмитриев А.С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М. : Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 252 с.
2. Прикладне застосування теорії хаотичних систем у телекомунікаціях: монографія / [Ю.Я. Бобало, С.Д. Галюк, М.М. Климаш, Р.Л. Політанський]; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: Коло, 2015. – 178 с.
3. Агуреев К.И. Применение детерминированного хаоса для передачи информации / К.И. Агуреев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 11. Ч. 2. – С.197–212.
4. Кузнецов С.П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование // С. П. Кузнецов / Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2018. Т. 26, № 3. С. 35–61.
5. Horowitz P. Build a Lorenz attractor: [http://seti.harvard.edu/unusual\\_stuff/misc/lorenz.htm](http://seti.harvard.edu/unusual_stuff/misc/lorenz.htm)

## ВІДЗИВ

на дипломну роботу другого (магістерського) рівня студента  
групи ТРМ-19-1 Бабія Дмитра Романовича  
«Технологія моделювання радіотехнічних  
пристроїв на основі мультипрограмного середовища NI MULTISIM»

Актуальність теми магістерської роботи полягає у впровадженні методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем в навчальний процес з метою підвищення кваліфікації майбутніх інженерів-проектувальників.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення кваліфікації інженерів-проектувальників радіоелектронної апаратури за рахунок впровадження в технологічні та освітні процеси методів та програмних засобів комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

- аналіз існуючих методів та технологій комп'ютерного моделювання радіотехнічних пристроїв та систем;
- аналіз математичних моделей радіотехнічних пристроїв і систем та підходів щодо їх розробки;
- дослідження основних можливостей програми NI Multisim щодо моделювання електричних схем;
- розробка імітаційних схемотехнічних моделей генераторів хаотичних коливань та їх комп'ютерне моделювання у програмі NI Multisim.

Дипломна робота представлена пояснювальною запискою обсягом 76 сторінки, складається з чотирьох основних розділів та додатку. Оформлення пояснювальної записки знаходиться на належному рівні.

За змістом робота є завершеною працею та містить достатньо посилань на літературу. Викладення матеріалу є послідовним та логічно правильним. Висновки добре обґрунтовані. Мова викладення роботи є технічно грамотною, зрозумілою.

Наукова новизна отриманих результатів: отримали подальшого розвитку математичні моделі генераторів хаотичних коливань Колпітца, Хартлі та Чуа.

Серйозних недоліків робота не містить. Присутні незначні неточності, орфографічні та стилістичні помилки, які не впливають на суть роботи.

Вважаю, що дана робота відповідає загальним вимогам щодо дипломних робіт другого (магістерського) рівня, і заслуговує оцінки “добре”, а Бабій Дмитро Романович – присвоєння кваліфікації магістра зі спеціальності 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”.

Рецензент:

Зав. каф. АКІТТ  
д.т.н., професор



Мартинюк В.В.

Завідувачу кафедри ТМІТ  
Підченку С.К  
здобувача вищої освіти  
Бабія Дмитра Романовича  
ТРМ-19-1

### ЗАЯВА

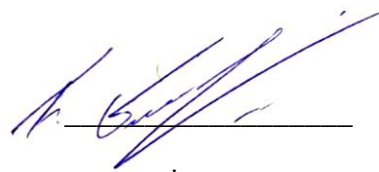
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.12.20р.

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ  
Телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: «Технологія побудови ефективної безпроводової мережі з використанням протоколу LoRaWAN»

Автор: Бабій Дмитро Романович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: Підченко Сергій Костянтинович, д.т.н., доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<b>Відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягненні. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

**Підтвердження:**

Виявлені в роботі збіги складають 2,83%, що виявленні в роботі є випадковими та не являються плагіатом. Дипломна робота допускається до захисту.

13.12.2020 р.

Відповідальний за перевірку на плагіат  
к.т.н., доц.

Зав. каф. ТМІТ  
д.т.н., доц.



Пивовар О.С.



Підченко С.К.