

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії

Ігнатєв Тарас Сергійович

**Програмний додаток виділення та розпізнавання  
елементів на принципових схемах/Software  
application for selection and recognition of elements on  
schematic diagrams**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія  
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Кваліфікаційна робота

Викнав: студент групи КІ-41  
Ігнатєв Тарас Сергійович

---

Науковий Керівник  
к.т.н., Батько Ю.М.

---

Кваліфікаційну роботу допущено  
до захисту:

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.Л. Дубчак

ТЕРНОПІЛЬ- 2024

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему «Програмний додаток виділення та розпізнавання елементів на принципових схемах» зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» освітнього ступеня «бакалавр» містить 65 сторінки пояснюючої записки, 15 рисунків, 3 таблиці, 3 додатки. Обсяг графічного матеріалу 2 аркуші формату А3.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах шляхом порівняння їх з скелетизованими еталонними зображеннями.

Методи досліджень базуються на теорії алгоритмів (для аналізу розроблених методів та алгоритмів), алгоритмах контурного аналізу (для формування опису об'єктів на зображенні), технологій об'єктно-орієнтованого програмування (для програмної реалізації спроектованої структури програмного додатку).

В кваліфікаційній роботі на основі аналізу існуючих алгоритмів обробки цифрових зображень та аналізу вимог до створення конструкторської документації реалізовано програмний додаток виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах.

Проведено тестові дослідження та моделювання архітектури програмного додатку, а також програмно реалізовано прикладний програмний додаток на мові програмування Java з використанням цифрової бібліотеки OpenCV, що підтвердило доцільність використання алгоритмів порівняння на основі еталонних при виділенні цифрової інформації на зображеннях.

Розроблений програмний продукт є ефективним засобом з простим інтерфейсом, що дозволяє вирішувати проблему виділення та розпізнавання даних на цифрових зображеннях електричних схем.

Ключові слова: СКЕЛЕТИЗАЦІЯ, ЕТАЛОННІ МОДЕЛІ, АПРОКСИМАЦІЯ, КОНТУРНИЙ АНАЛІЗ.

## ANNOTATION

Qualification thesis “Software application for selection and recognition of elements on schematic diagrams ” in the specialty 123 "Computer Engineering" "bachelor" education degree contains 65 pages of explanatory notes, 15 figures, 3 tables, 3 appendixes. The volume of graphic material is 2 sheets of A3 format.

The purpose of the qualification work is to develop a software application for the selection and recognition of electronic components on electrical circuits by comparing them with skeletonized reference images.

Research methods are based on the theory of algorithms (for the analysis of developed methods and algorithms), contour analysis algorithms (for the formation of a description of objects on the image), object-oriented programming technologies (for the software implementation of the designed structure of the software application).

In the qualification work, based on the analysis of existing digital image processing algorithms and the analysis of the requirements for the creation of design documentation, a software application for the selection and recognition of electronic components on electrical circuits was implemented.

Test studies and modeling of the architecture of the software application were carried out, as well as an applied software application in the Java programming language was implemented using the OpenCV digital library, which confirmed the feasibility of using comparison algorithms based on reference ones when extracting digital information from images.

The developed software product is an effective tool with a simple interface that allows you to solve the problem of data selection and recognition on digital images of electrical circuits.

Key words: SKELETONIZATION, REFERENCE MODELS, APPROXIMATION, CONTOUR ANALYSIS.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Технології автоматизованого аналізу електричних схем.....	12
1.1 Технології створення та класифікації електричних схем.....	12
1.2 Цифрові зображення та їх класифікація .....	16
1.3 Програмні системи автоматизованого аналізу електричних схем.....	18
1.4 Висновки до розділу та постановка завдань кваліфікаційної роботи..	21
2 Методи та алгоритми обробки та аналізу цифрових зображень.....	22
2.1 Електронні компоненти електричних схем .....	22
2.2 Алгоритми обробки та аналізу цифрових зображеннях.....	27
2.3 Алгоритм розпізнавання електронних компонент.....	30
3 Програмний додаток виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах .....	33
3.1 Структура, моделювання та графічний інтерфейс додатку .....	33
3.2 Особливості реалізацій функцій програмного додатку.....	39
3.3 Тестування програмного додатку .....	41
Висновки .....	44
Список використаних джерел .....	45
Додаток А Техніко-економічне обґрунтування розробки .....	48
Додаток Б Вихідний текст модуля попередньої обробки зображень .....	61
Додаток В Світлокопія виданої публікації.....	63

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Ігнатев Т.С.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Батько Ю.М.			8	65	
Консульт.		Савка Н.Я.			ЗУНУ,ФКІТ, КІ-41		
Н. Контр.		Дубчак Л.О.					
Затвердила		Дубчак Л.О.					
ПРОГРАМНИЙ ДОДАТОК ВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НА ПРИНЦИПОВИХ СХЕМАХ/SOFTWARE APPLICATION FOR SELECTION AND RECOGNITION OF ELEMENTS ON SCHEMATIC DIAGRAMS							

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПК	–	Персональний комп'ютер
ЕК		Електронний компонент
UGI	–	User Graphics Interface
ЕС	–	Електрична схема
ЦК	–	Цифровий код

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## ВСТУП

Актуальність роботи. Автоматичні аналізатори електричних схем представляють собою ключовий прогрес в електротехніці, пропонуючи систематичний підхід до аналізу, діагностики та усунення несправностей електричних ланцюгів. Автоматичні аналізатори ланцюгів працюють на фундаментальних принципах аналізу електричних ланцюгів, охоплюючи закони Кірхгофа, закон Ома та різні мережеві теореми. Використовуючи ці принципи, ці аналізатори можуть швидко оцінювати такі параметри схеми, як напруга, струм, опір, ємність, індуктивність та елементну базу на якій дана схема побудована. Однією з головних переваг автоматичних аналізаторів схем є їх здатність виконувати точні вимірювання. Завдяки використанню передових технологій аналізу та алгоритмів обробки сигналів ці аналізатори зменшують властиві помилки, пов'язані з ручними вимірюваннями, тим самим підвищуючи надійність діагностичних результатів. Завдяки автоматизації процесу аналізу схеми ці інструменти значно скорочують час, необхідний для завдань з усунення несправностей і налагодження. Отже, інженери можуть пришвидшити усунення електричних несправностей, тим самим мінімізуючи час простою та підвищуючи продуктивність. Автоматичні аналізатори ланцюгів пропонують повний набір діагностичних можливостей, що дозволяє інженерам виявляти безліч аномалій ланцюгів, таких як короткі замикання, розриви, перевантаження та перехідні коливання. Крім того, ці аналізатори полегшують локалізацію несправності, точно визначаючи місце розташування аномалій у топології схеми.

Підсумовуючи, корисність автоматичних аналізаторів схем, можна стверджувати, що вона виходить за рамки простої зручності, охоплюючи спектр переваг, починаючи від точності та ефективності до безпеки та інтеграції.

Отже актуальним є розроблення програмного засобу для автоматизованого аналізу електричних схем та віділення окремих електронних елементів на основі порівняння їх з еталонними елементами.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Об'єкт дослідження – системи автоматизованого аналізу електричних схем на основі аналізу цифрових зображень. Предмет дослідження – алгоритми автоматичного розпізнавання електронних компонентів на зображеннях. Метою кваліфікаційної роботи є розроблення програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах шляхом порівняння їх з скелетизованими еталонними зображеннями. Для досягнення мети такі завдання:

- дослідити технології проектування та запису схем електричних кіл;
- провести класифікацію електронних компонент електричних кіл;
- провести дослідження програмних засобів для проектування та моделювання електричних кіл;
- проаналізувати алгоритми попередньої обробки та опису зображень;
- розробити алгоритм виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах;
- спроектувати та провести тестування внутрішньої архітектури програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах.

За результатами роботи опубліковано тези доповіді на ІХ науково-практичній конференції «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» [1]. Копії публікації наведено у додатку В.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

# 1 ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

## 1.1 Технології створення та класифікації електричних схем

Електричні схеми є основними будівельними блоками сучасних електронних систем. Правильне використання різних типів ланцюгів – розімкнутих, замкнутих або коротких – і правильний вибір послідовних, паралельних або послідовно-паралельних ланцюгів сильно впливають на функціональність, безпеку та ефективність електричних систем. Вибір типу схеми суттєво впливає на регулювання напруги та струму, що є вирішальним для надійної роботи будь-якої електронної системи.

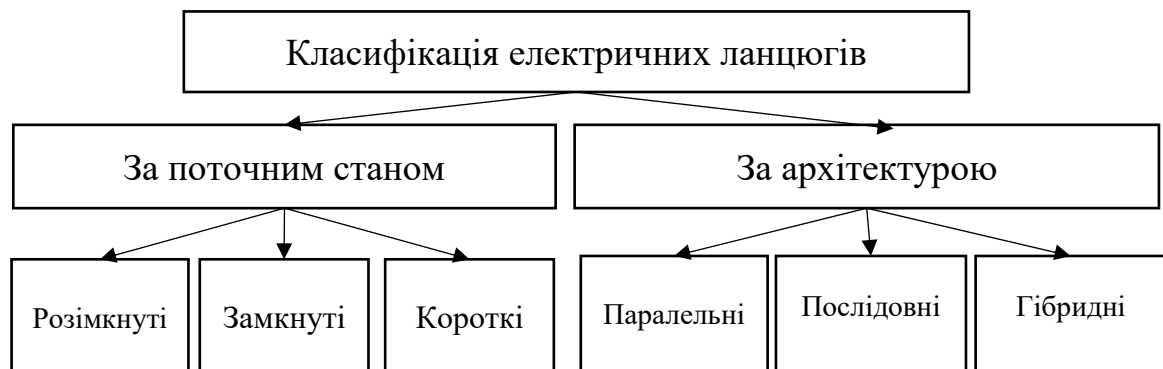


Рисунок 1.1 – Класифікація електричних схем

У реальних розробках розрізнення ланцюгів змінного (змінного) і постійного (постійного) струму має вирішальне значення для проектів, починаючи від простих побутових приладів і закінчуючи складними системами розподілу електроенергії. Інженери повинні вибрати найбільш підходящий тип схеми, щоб забезпечити оптимальне перетворення енергії та ефективність. Подібним чином, розуміння відмінностей між однофазними та багатofазними ланцюгами має вирішальне значення в галузях, де виробництво електроенергії та ефективність розподілу є пріоритетними, наприклад, на виробничих підприємствах чи електростанціях. Крім того, ці знання стосуються не лише вибору правильного типу схеми; мова йде про інновації та розширення меж можливого завдяки сучасним технологіям. Давайте вивчимо основні концепції



схем і зрозуміємо вирішальну роль схемотехніки в прогресивному інженерному ландшафті.

Ланцюги – це взаємопов’язані шляхи, які забезпечують протікання електричного струму та виконання різноманітних функцій. Класифікація схем класифікує схеми на основі їхніх властивостей і функцій, забезпечуючи систематичний підхід до розуміння.

В електротехніці кола класифікуються як розімкнуті, замкнуті або короткі, що має вирішальне значення для проектування надійних і ефективних систем. Кожен тип схеми відіграє ключову роль у загальній поведінці електричних систем, впливаючи на їх функціональність, безпеку та надійність.

Розімкнуті ланцюги. Розрив ланцюга означає стан, коли потік струму переривається. Це відбувається через розрив або розрив замкнутого контуру, який дозволяє струму циркулювати. По суті, це схоже на наявність розриву в трубі, по якій проходить вода – ніякого потоку не може бути [12]. У сенсорних технологіях розімкнуті ланцюги виявляють розриви або відключення системи, запускаючи сигналізацію або механізми відключення. Вони характеризуються відсутністю струму через розрив або розрив, що теоретично призводить до нескінченного опору. Напруга в розімкнутому ланцюзі може бути значною, тоді як  $I$  (струм) = 0А, що робить  $R$  (опір) наближається до нескінченності, згідно із законом Ома.

Розривів ланцюгів зазвичай уникають у ланцюгах живлення, але вони важливі в ланцюгах керування та безпеки, де потрібне виявлення розриву або відключення. Ці ланцюги можуть бути навмисними, як-от вимикач світла, або ненавмисними, через ослаблені з’єднання, обірвані дроти або несправні електричні компоненти. Розуміння відкритих ланцюгів має вирішальне значення для усунення несправностей електричних систем. Коли пристрій не працює, причиною може бути розрив ланцюга. Виявивши та усунувши розрив у ланцюзі, ви зможете відновити належний струм і відновити роботу пристрою.

Замкнуті схеми. На відміну від відкритого ланцюга, замкнутий ланцюг є ідеальним станом для проходження електричного струму. Він означає повний, безперервний шлях, який дозволяє електриці вільно подорожувати від джерела

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

(наприклад, батарея) до навантаження (як лампочка) і назад. Уявіть замкнуту трубу з циркулюючою водою – це аналог замкнутого контуру з поточним струмом. Більшість побутових і промислових електричних систем розроблені як замкнуті ланцюги для забезпечення безперервного живлення. У замкнутих ланцюгах струм може протікати вільно з опором, що залежить від елементів у ланцюзі, впливаючи як на споживання електроенергії, так і на ефективність розподілу енергії. Замкнене коло зазвичай включає джерело живлення, провідні дроти та навантаження. Перемикач може бути присутнім для керування потоком, створюючи або розриваючи ланцюг (вмикаючи або вимикаючи його). При проектуванні електричних схем замкнуті ланцюги оптимізовані для мінімального опору для підвищення ефективності, але захищені автоматичними вимикачами для запобігання перевантаженню.

Коротке замикання виникає, коли шлях з низьким опором обходить значну частину ланцюга, пропускаючи великий струм. Коротке замикання є поширеним явищем під час електричних аварій і може призвести до значної шкоди та загрози безпеці. Коротке замикання створює з'єднання з низьким опором між точками ланцюга, які не слід з'єднувати безпосередньо. Це може статися через торкання оголених проводів, пошкодження ізоляції або несправності внутрішніх компонентів. Коротке замикання характеризується небезпечно високими потоками струму через мінімальний опір, що часто призводить до перегріву та потенційної пожежі.

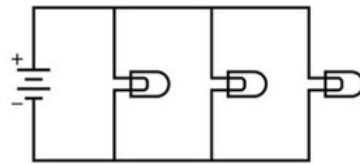
Розуміючи ці класифікації, інженери можуть краще передбачати й проектувати потенційні проблеми, забезпечуючи ефективність і безпеку систем. Знаючи, де і як використовується кожен тип схеми, можна керувати рішеннями від проектування системи до усунення несправностей, підкреслюючи важливість класифікації схем в електротехніці.

Схеми бувають різних конфігурацій, кожна зі своєю унікальною електричною поведінкою. Дві основні класифікації - послідовні та паралельні схеми (рисунок 1.2). Ці конфігурації визначають спосіб збирання компонентів і впливають на загальну поведінку ланцюгів, впливаючи на все, від розподілу електроенергії до функціональності пристрою.

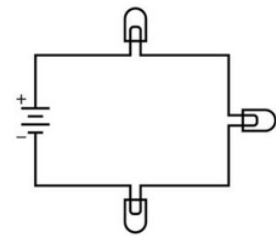
					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



а) Базова схема



б) Паралельна схема



в) Послідовна схема

Рисунок 1.2 – Приклади електричних ланцюгів

У послідовних ланцюгах компоненти з'єднані один до одного, створюючи єдиний шлях для протікання струму. Візьмемо для прикладу ланцюжок лампочок : якщо одна лампочка перегорає, вся ланцюжок темніє. Це тому, що в послідовному ланцюзі всі компоненти схожі на ланки ланцюга – переривання потоку в будь-якій точці порушує роботу всього ланцюга. Ця конфігурація гарантує, що через кожен компонент протікає однаковий струм, але падіння напруги на кожному змінюється відповідно до закону Ома .

На відміну від послідовних ланцюгів, паралельне ланцюг пропонує кілька шляхів для протікання струму. Візьмемо для прикладу групу друзів, які йдуть від місця зустрічі. Кожен вибирає інший маршрут, щоб дослідити парк, але всі закінчуються на визначеному місці для пікніка пізніше. Подібним чином компоненти в паралельному ланцюзі з'єднані через ті самі дві точки напруги, що дозволяє струму вибрати свій шлях на основі опору. Таке розташування дозволяє напрузі на кожній гілці залишатися незмінною, але струм розподіляється між гілками обернено пропорційно опору кожної гілки.

Паралельні ланцюги є важливими в електропроводці житлових і комерційних будинків , де для приладів може знадобитися однакова напруга, але різні струми. Ключовою перевагою паралельних ланцюгів є те, що якщо одна гілка відчуває збій (розрив ланцюга), інші гілки продовжують нормально функціонувати. Розуміння паралельних з'єднань має важливе значення для роботи з електричними системами. Вони забезпечують гнучкість і резервування, що робить їх ключовими для живлення різних електричних пристроїв і забезпечення незалежної роботи в рамках більшої системи.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

## 1.2 Цифрові зображення та їх класифікація

У контексті обробки зображень зображення – це двовимірне представлення сцени або об'єкта, зазвичай зняте за допомогою камери або згенероване комп'ютером. Зображення можуть бути як аналоговими, так і цифровими. Цифрове зображення – це представлення зображення як набору пікселів (елементів зображення), де кожен піксель має певне розташування та значення кольору. Цифрові зображення характеризуються роздільною здатністю, глибиною кольору та форматом файлу. У цифровій обробці зображень зображення обробляються за допомогою алгоритмів для їх покращення, аналізу або стиснення для різних програм. В загальному цифрові зображення можна класифікувати за різними ознаками, проте основними залишаються колірні, яка в основному і впливає на сприйняття та спосіб отримання який впливає на операції які можна проводити з цими зображеннями. Приклад класифікації цифрових зображень наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Класифікація цифрових зображень

Цифрові зображення зазвичай зберігаються та обробляються на комп'ютерах, що полегшує роботу з ними та їх аналіз порівняно з аналоговими зображеннями. Методи обробки зображень можна застосовувати до цифрових зображень для таких завдань, як покращення зображення, відновлення, сегментація, виділення ознак, розпізнавання образів і стиснення зображень.

Загалом, цифрові зображення відіграють вирішальну роль у різних сферах, таких як медицина, дистанційне зондування, астрономія, безпека, розваги та багатьох інших, де візуальну інформацію потрібно обробляти для аналізу чи представлення.

Зображення в обробці зображень відноситься до візуального представлення об'єкта, сцени або явища, яке було зняте або створено різними техніками. Це може бути у формі фотографії, малюнка або комп'ютерної графіки. Цифрове зображення, з іншого боку, є числовим представленням зображення, яке зберігається та обробляється за допомогою комп'ютера. Він складається з сітки пікселів, які характеризують деяку частину зафіксованої сцени та як одну з характеристик описуються деяким кольором або значенням градацій сірого, і ними можна керувати за допомогою різних методів обробки цифрових зображень.

Цифрове зображення – це те, як комп'ютер записує фотографії та зображення. Найменша одиниця називається пікселем і зазвичай складається зі значення 0-255 для сірих зображень (значення 0 в такому контексті відповідає чорному кольору, а 255 відповідно білому білий). Для кольорових зображень кожен піксель має три значення 0-255, що представляють RGB. Таким чином, ціле зображення або фотографія в комп'ютері насправді є таблицею даних або матрицею з різним розміром пікселів, наприклад, 1920\*1080. Якщо це зображення у відтінках сірого, а не кольорове, воно складатиметься з двовимірного масиву чисел. Кожне число вказує на рівень сірого невеликої області зображення, яка називається пікселем. Якщо зображення кольорове, це часто три різні двовимірні масиви, які визначають інтенсивність червоного, синього та зеленого кольорів кожного пікселя. Зазвичай піксель відтінків сірого або кольоровий піксель представлено одним байтом пам'яті, але деякі формати зображень можуть використовувати більше байта для кожного пікселя.

Оскільки записи електричних схем, як правило несуть інформацію не залежно від кольору, тому для їх запису використовуються в основному стандартні позначки електронних компонент які записують у чорнобілому форматі, тому в подальшій роботі саме цей тип зображень буде актуальним.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Програмні системи автоматизованого аналізу елеткриних схем

Роль інженера-електрика охоплює широкий спектр завдань, включаючи проектування, розробку, моделювання, прототипування та тестування електричного обладнання та систем. Для максимального розвитку та результатів, інженери-електрики значною мірою покладаються на різноманітне програмне забезпечення для моделювання та навички програмування. На рисунку 1.4 наведено перелік програмних інструментів, що широко використовуються в проектуванні електротехнічних проектів незалежно від того в яких типах проектів приймає ічасть інженер: дослідницьких проектах, академічній діяльності чи під час виконання інженерних завдань інженером.

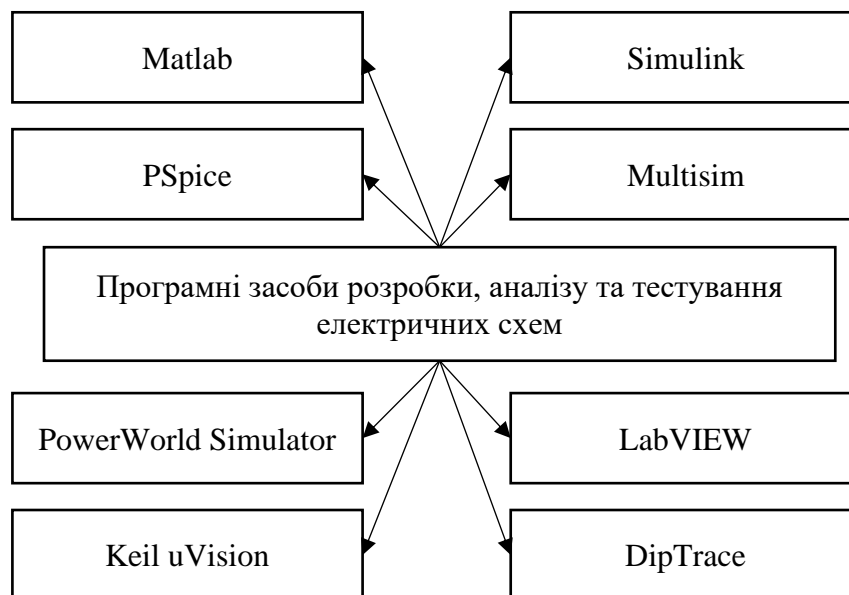


Рисунок 1.4 – Програмні засоби розробки, аналізу та тестування електричних схем

Matlab – це загальновідома платформа, що поєднує в собі різноманітні засоби які дозволяють вирішити питання програмування та чисельних обчислень, яка має широке застосування та визнання серед інженерів, науковців та студентів які використовують її для створення різноманітних схем, моделей та алгоритмів. Це програмне забезпечення, яке необхідно вивчити для студентів-електриків, завдяки широкому спектру його застосування в цій галузі. Основні

особливості та переваги Matlab слід віднести моливість роботи з числовими методами, проведення аналізу та візуалізацію даних, проектування тарозробка алгоритмів. Окремо слід відмітити можливості моделювання, що дозволяють студентам моделювати та імітувати складні системи, такі як електричні схеми, системи керування та алгоритми обробки сигналів. Це допомагає зрозуміти поведінку системи та розробити оптимальні рішення.

Simulink – це відома програмна система на основі графічного інтерфейсу користувача для моделювання динамічної системи. Дана системне рішення, яке необхідно вивчити для студентів-електриків, завдяки широкому спектру його застосування в цій галузі. Simulink може імпортувати, аналізувати та візуалізувати великі набори даних. Його потужні графічні та графічні можливості допомагають ефективно розуміти та подавати дані. Він дозволяє користувача моделювати та імітувати складні системи, такі як електричні схеми, системи керування та алгоритми обробки сигналів. Це допомагає зрозуміти поведінку системи та розробити оптимальні рішення. Simulink можна інтегрувати з апаратними пристроями, такими як мікроконтролери та системи збору даних, що дозволяє студентам розробляти програми в режимі реального часу та інтерфейс із зовнішніми пристроями.

PSpice – це широкопоширана програмна розробка для створення електричних схем, яке використовується для моделювання та аналізу схем. Ця програмна розробка яке необхідно вивчити для студентів-електриків, завдяки широкому спектру його застосування в цій галузі. PSpice надає повне рішення для моделювання та перевірки схем із власними механізмами аналізу аналогових сигналів, змішаних сигналів і розширеними механізмами аналізу. Це дозволяє студентам оцінити поведінку та надійність своїх конструкцій перед тим, як перейти до макетування та виготовлення. PSpice пропонує одну з найбільших бібліотек моделей у галузі, яка охоплює різні типи пристроїв від основних виробників. Користувачі можуть переглядати безкоштовну бібліотеку транзисторів bjt, jfet, mosfet, igbt, scr, дискретів, операційних підсилювачів, оптронів, регуляторів і контролерів ШІМ від різних постачальників ІС.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Multisim – це сучасний засіб для моделювання схем і проектування друкованих плат, яке використовується в електротехніці. Він пропонує низку функцій і переваг. Multisim Live – це безкоштовний онлайн-симулятор схем, який включає програмне забезпечення SPICE, яке дозволяє створювати, вивчати та ділитися схемами та електронікою в Інтернеті. Програмне забезпечення Multisim дозволяє вибирати з 55 000 перевірених виробником компонентів, швидко створювати схему, моделювати й аналізувати, а також переносити схему на макет друкованої плати. Multisim широко використовується в наукових колах і промисловості для навчання схем і проектування електронних схем.

PowerWorld Simulator – це інтерактивний пакет симуляції енергетичної системи, призначений для імітації роботи високовольтної енергетичної системи протягом періоду часу від кількох хвилин до кількох днів. Він містить високоефективні пакети аналізу потоку електроенергії, здатні ефективно вирішувати системи. PowerWorld Simulator розроблено таким чином, щоб бути дружнім до користувача та дуже інтерактивним, що полегшує навігацію та розуміння роботи енергосистеми. Програмне забезпечення містить інструмент дослідника моделей, який дозволяє користувачам легко отримувати доступ і керувати різними системними компонентами та параметрами.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) є видатним графічним середовищем програмування, широко поширеним у дослідницьких лабораторіях, академічних колах та різних галузях промисловості. Він служить надійною та універсальною системою програмного забезпечення для вимірювання та автоматизації, що робить його незамінним у багатьох додатках. LabVIEW пропонує графічне середовище програмування, що спрощує процес розробки. Користувачі можуть використовувати його можливості для створення автоматизованих систем дослідження, перевірки та виробничого тестування. Він надає комплексний набір програм для побудови автоматизованих систем тестування, адаптованих до конкретних потреб. LabVIEW дозволяє моделювати інструменти вимірювання в системах керування, допомагаючи в оцінці системи. Користувачі можуть створювати інтуїтивно зрозумілі графічні інтерфейси

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



користувача (GUI) та інтерфейси людина-машина (НМІ) для ефективної взаємодії.

Keil uVision, інтегроване середовище розробки (IDE) – це комплексна платформа, призначена для редагування, налагодження та тестування програмного забезпечення. Він пропонує безліч функцій, що робить його незамінним інструментом для розробників. Keil uVision надає надійні варіанти самостійного управління проектами разом із середовищем виконання, засобами збірки та налагоджувачем для оптимізації процесу розробки. Keil uVision підтримує різноманітні мікроконтролери та процесори, включаючи великий вибір із 808 різних мікроконтролерів PIC.

#### 1.4 Висновки до розділу та постановка завдань кваліфікаційної роботи

В першому розділі було здійснено огляд та класифікацію електричних схем на основі аналізу їх архітектур, проведено огляд та класифікацію цифрових зображень, а також здійснено дослідження функціональних можливостей програмних систем створення, моделювання та тестування електричних схем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) дослідити технології проектування та запису схем електричних кіл;
- 2) провести класифікацію електронних компонент електричних кіл;
- 3) провести дослідження програмних засобів для проектування та моделювання електричних кіл;
- 4) проаналізувати алгоритми попередньої обробки та опису зображень;
- 5) розробити алгоритм виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах;
- 6) спроектувати та провести тестування внутрішньої архітектури програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

### 2.1 Електронні компоненти електричних схем

Електронні компоненти (ЕК) є дуже знайомим поняттям у житті. Електронні компоненти присутні в більшості побутових або комерційних електричних систем. ЕК мають багато різних типів і широко використовуються в повсякденному житті людей.

ЕК розуміються як основні електронні частини. Це може бути один компонент або кілька компонентів, з'єднаних між собою електронною платою. Кожен ЕК матиме різні функції для забезпечення роботи машини, такі як посилення сигналу, датчик температури, автоматичний вимикач тощо.

Так само різні типи ЕК можна встановлювати окремо або разом з іншими типами компонентів у різних мережах. Ці компоненти утворюють інтегральну схему, наприклад напівпровідникову мікросхему, повторно інтегровану схему або чіп-пасту. На сьогодні у кожній машинній системі на заводах або навіть у побутових електричних системах ми також бачимо присутність ЕК. ЕК вважаються незамінними елементами в електричних схемах. Роль основних ЕК полягає в тому, щоб допомогти покращити продуктивність будь-якого типу машини чи електричного пристрою. Компоненти забезпечують оптимальну роботу машин. Для класифікації ЕК можна виділити декілька різних критеріїв, серед основних: поділ за галузями виробництва, поділ за функціями та поділ за механізмами роботи. Більш детальна класифікація наведена на рисунку 2.1.

Класифікація за галузями виробництва: компоненти та пристрої. Відмінність компонентів і пристроїв базується на тому, чи змінюються молекулярний склад і структура матеріалів у процесі виготовлення компонентів. У галузі виробництва компонентів пристрої виготовляють напівпровідникові підприємства, тоді як компоненти виробляють підприємства електронних компонентів: продукти, які не змінюють молекулярний склад і структуру під час обробки. Такі як резистори, конденсатори, котушки індуктивності,

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

потенціометри, трансформатори, з'єднувачі, перемикачі, кварцові/керамічні компоненти, реле та інші пристрої: продукти, які змінюють молекулярний склад і структуру під час обробки, в основному різні напівпровідникові продукти, такі як діоди, тріоди, польовий ефект транзистори, різноманітні оптоелектронні пристрої, різноманітні інтегральні схеми тощо, а також електровакуумні прилади та рідкокристалічні дисплеї.

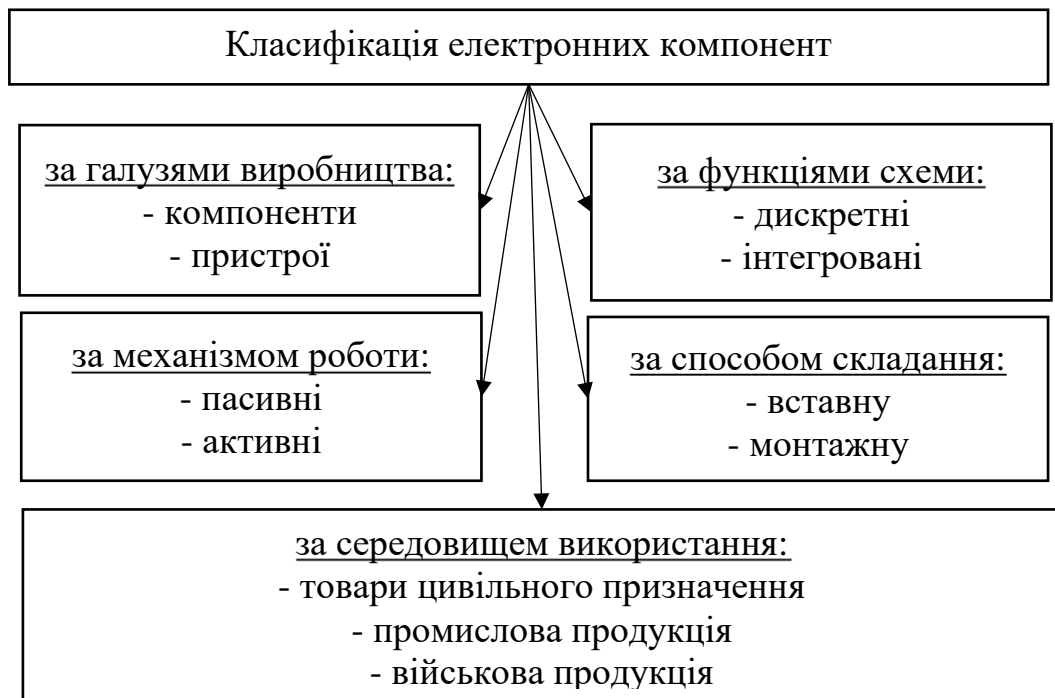


Рисунок 2.1 – Класифікація електронних компонент

Розділені за функціями схеми: дискретні та інтегровані. Дискретні пристрої – це незалежні пристрої з певним співвідношенням напруги та струму, включаючи основні компоненти реактивного опору, електромеханічні компоненти, напівпровідникові дискретні пристрої (діоди, біполярні тріоди, польові транзистори, тиристори) та інші інтегровані пристрої: зазвичай називають інтегральними схемами, це стосується повної функціональної схеми або системи, створеної в пакеті з використанням інтегрованої технології виробництва, компонентів із певними функціями схеми та технічними параметрами. Суттєва відмінність між дискретними пристроями та інтегрованими пристроями полягає в тому, що дискретні пристрої мають лише прості функції перетворення струму напруги або керування, і не мають

системних функцій схеми; Однак інтегровані пристрої можуть формувати повністю незалежні схеми або системні функції. Насправді інтегральні схеми з системними функціями вже не є простими «пристроями» та «схемами», а повним продуктом. Наприклад, системи цифрового телебачення об'єднали всі схеми в одну мікросхему, яку досі прийнято називати інтегральними схемами.

Поділяються за механізмом роботи: пасивні та активні. Пасивні компоненти та активні компоненти, також відомі як пасивні компоненти та активні компоненти, поділяються відповідно до механізму роботи компонентів. Вони зазвичай використовуються для обговорення принципу схеми пасивних компонентів: компоненти, які споживають лише енергію вхідного сигналу компонентів під час роботи, можуть обробляти та передавати сигнали без джерела живлення. Пасивні компоненти включають активні компоненти, такі як резистори, потенціометри, конденсатори, котушки індуктивності, діоди тощо: основною умовою для нормальної роботи є відповідне джерело живлення для компонентів. Якщо немає джерела живлення, компоненти не працюватимуть. До активних компонентів належать транзистори, польові транзистори, інтегральні схеми тощо. Це компоненти, виготовлені з напівпровідника як основного матеріалу, а також включають електричні вакуумні компоненти.

Класифікація за способом складання: до появи верстатів для складання поверхні всі компоненти та деталі збиралися на друкованій платі вставним способом, а технологія складання на поверхні все ширше використовувалася в наш час. Більшість компонентів і деталей мають два типи упаковки: вставну та монтажну. Деякі нові компоненти та деталі були видалені з упаковки плагінів. Вставлення – це ситуація, коли вони зібрані на друкованій платі, на друкованій платі потрібно просвердлити отвори. Компоненти, контакти яких припаяні на іншій стороні друкованої плати, зазвичай мають довгі контакти та об'єми. Монтаж – це підхід при якому компоненти з коротким штифтом або без штифтової чіп-структури, які збираються на друкованій платі без пробивання отворів на друкованій платі та чий висновки монтуються безпосередньо на мідній фользі друкованої плати.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Класифікація за середовищем використання. З постійним удосконаленням електронних технологій і рівня процесу з'являється велика кількість нових компонентів. Для різних середовищ використання той самий компонент також має різні стандарти надійності, а відповідна різна надійність має різні ціни. Наприклад, ціна військової продукції одного і того ж компонента може бути в десять разів вищою за цивільну продукцію, а то й більше, а промислова продукція знаходиться між ними.

— товари цивільного призначення: побутові, розважальні, офісні та інші сфери із загальними вимогами до надійності та високими вимогами до вартості;

— промислова продукція: промислове керування, трафік, прилади та лічильники з високими вимогами до надійності та загальними вимогами щодо вартості;

— військова продукція: військова, аерокосмічна, медична та інші галузі з високими вимогами до надійності та низькою чутливістю до ціни.

Так само з класифікаціями друкованих плат, це також класифікація простих електронних компонентів.

Електронні компоненти є базовим механізмом для створення більш складних пристроїв які постійно використовуються у різних сферах. Для більшого розуміння принципів їх використання проаналізуємо їх структуру та принципи роботи.

Резистор. Опір – це фізична величина, яка представляє здатність об'єкта чинити опір струму. Чим кращий провідник, тим менший опір цього предмета, і навпаки. Резистори є найпоширенішим елементом схеми. Насправді люди часто використовують резистори для керування струмом у ланцюзі. Контроль струму дуже важливий в електриці та електроніці. З цієї причини резистори є важливим електронним компонентом у всіх електричних пристроях і схемах.

Конденсатори – пасивні ЕК, що складаються з двох паралельних пластин, розділених шаром діелектрика. Якщо між двома поверхнями існує різниця потенціалів, то на поверхнях буде електричний заряд однакової величини, але протилежного знаку.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Світлодіодні світильники відомі як освітлювальні прилади, що використовують світлодіодну технологію. Світлодіоди використовуються в напівпровідникових мікросхемах для випромінювання світла. Світлодіоди є в багатьох побутових і промислових приладах.

Транзистори – це активні електронні пристрої, які використовуються для посилення або блокування електроніки. Транзистори разом з іншими сучасними електронними пристроями утворюють схемну структуру комп'ютерів.

Індуктор. Котушки індуктивності також є одними з основних ЕК, які пасивно виготовляються з електричного провідника, намотаного багато разів. Індуктор створює магнітне поле, коли через нього протікає електричний струм.

Для візуального позначення електронного компонента використовуються графічні позначення, приклади таких позначень наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Приклади електронних компонент

Назва	Зовнішній вигляд	Графічне позначення
Діод		
Світлодіод		
Конденсатор		
Реле		
Лампочка		
Резистор		
Перемикач (включено/виключено)		
Запобіжник		
Транзистор		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Використання умовних позначень значно спрощує процес запису електричних схем та дозволяє зберігати інформацію про них, а їхня універсальність дозволяє проводити обмін інформацією між різними інженерами без мовного бар'єру.

## 2.2 Алгоритми обробки та аналізу цифрових зображеннях

Алгоритми обробки зображень – це алгоритми, які працюють із цифровими зображеннями, які складаються з пікселів або кольорових точок. Алгоритми обробки зображень можуть виконувати різні функції, такі як зміна розміру, обрізка, обертання, фільтрація, підвищення різкості, розмиття або трансформація зображень. Наприклад, алгоритм обробки зображення може відкоригувати розмір вхідного зображення в залежності від певної роздільної здатності екрана або відфільтрувати зображення, щоб усунути шум або підвищити контрастність. Алгоритми обробки зображень також можуть застосовувати такі ефекти, як відтінки сірого, сепія або визначення країв, для створення різних стилів або представлень зображень.

Алгоритми аналізу дискретних зображень – це алгоритми, які витягують інформацію або значення із оцифрованих сцен, наприклад риси, візерунки, об'єкти, обличчя або дії. Алгоритми аналізу дискретних зображень корисні для багатьох програм, таких як розпізнавання облич, виявлення об'єктів, класифікація сцен, узагальнення відео або відеоспостереження. Алгоритми аналізу цифрових зображень можуть використовувати різні методи, такі як виявлення країв, сегментація, виділення ознак, класифікація, кластеризація або машинне навчання. Наприклад, алгоритм розпізнавання обличчя може використовувати виявлення країв, щоб визначити межі обличчя, виділення ознак, щоб виділити орієнтири обличчя, і класифікацію, щоб ідентифікувати обличчя. В загальному всі алгоритми обробки цифрових зображень можна розбити на декілька груп, що застосовуються послідовно (рисунок 2.2).

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

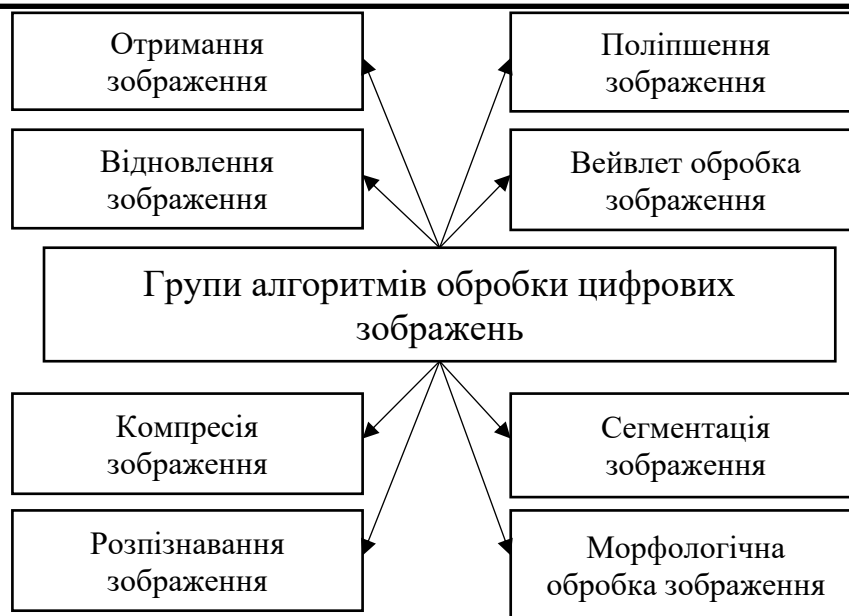


Рисунок 2.2 – Алгоритми обробки цифрових зображень

Обробка зображень є важливою областю комп'ютерних наук та інженерії, що охоплює різноманітні техніки та методології для аналізу, покращення та інтерпретації цифрових зображень. Цей процес складається з кількох ключових етапів, кожен з яких має свою специфіку та важливість.

Першим етапом є отримання зображень, який також відомий як попередня обробка. Це початкова стадія, де зображення збираються з різних джерел, таких як цифрові камери, сканери чи інші сенсори. Основна мета цього етапу – забезпечити якісне вихідне зображення для подальшої обробки. Від якості отриманого зображення значною мірою залежить ефективність наступних етапів.

Наступний етап – це поліпшення зображення. Він включає різні методи для покращення візуальної якості зображення, такі як корекція яскравості, контрастності та застосування фільтрів для зменшення шуму. Цей етап є критично важливим для виявлення та виділення ключових особливостей зображення, особливо в ситуаціях, коли зображення було затемненим або спотвореним.

Відновлення зображення є подальшим етапом, який спрямований на покращення зовнішнього вигляду зображення за допомогою математичних та імовірнісних моделей. На відміну від простого поліпшення, відновлення має на



меті усунути дефекти, що виникли під час отримання або передачі зображення, такі як розмиття чи спотворення. Цей етап є надзвичайно важливим для відновлення оригінальної якості зображення.

Обробка кольорових зображень є ще одним значущим етапом, який включає моделювання кольорів у цифровій формі. Використовуючи різні колірні простори, такі як RGB, HSV або YUV, цей процес дозволяє досягти необхідного кольорового відображення та покращення якості зображення. Цей етап набув особливої популярності завдяки широкому використанню цифрових зображень в Інтернеті та мультимедійних додатках.

Вейвлети та обробка з різною роздільною здатністю є методами, що дозволяють представляти зображення на різних рівнях деталізації. Вейвлети розбивають зображення на менші області, що сприяє ефективному стисненню даних та пірамідальному представленню. Цей підхід є корисним для аналізу зображень на різних рівнях деталізації та для оптимізації обсягу збережених даних.

Компресія зображень – це процес зменшення обсягу пам'яті або пропускну здатності, необхідної для збереження або передачі зображення. Вона може бути з втратами, як у випадку формату jpeg, або без втрат, як у форматі png. Компресія є надзвичайно важливою для ефективного зберігання та передачі зображень, особливо в умовах обмежених ресурсів.

Морфологічна обробка є етапом, що включає набір операцій для аналізу форми об'єктів у зображенні. Використовуються операції, такі як ерозія, дилатація, відкриття та закриття, для вивчення та модифікації структури об'єктів. Цей етап дозволяє виділяти та аналізувати морфологічні особливості зображень.

Сегментація є одним з найскладніших та найважливіших етапів обробки зображень, який передбачає поділ зображення на окремі компоненти або об'єкти. Вона дозволяє визначити межі та області, що містять ключові елементи зображення. Це критичний етап для подальшого аналізу та інтерпретації зображень.

Репрезентація та опис зображень включають подання та описування кожної області після сегментації. Репрезентація стосується характеристик форми

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та властивостей областей, тоді як опис полягає у вилученні кількісної інформації, що допомагає відрізнити один клас об'єктів від іншого.

Нарешті, розпізнавання є процесом присвоєння міток об'єктам на основі їх опису. Цей етап включає ідентифікацію та класифікацію об'єктів, що дозволяє ефективно аналізувати та використовувати зображення у різних прикладних задачах.

Таким чином, обробка зображень є комплексним процесом, що включає низку важливих етапів для забезпечення високої якості та ефективності аналізу цифрових зображень.

### 2.3 Алгоритм розпізнавання електронних компонент

Для проектування алгоритму виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах було враховано особливості даних цифрових зображень. Цифрові зображення з електричними схемами мають ряд особливостей:

- чорно-білий тип;
- просторова орієнтація основних ліній;
- чіткість товщини ліній;
- типовість складових елементів.

В загальному випадку всі вони є чорно-білими, при цьому чорним кольором відображаються компоненти, а білим фон. Це дозволяє на етапі попередньої обки провести процедуру бінаризації та видалити мало інформативні області, що відповідатимуть шумам. Також під час аналізу слід врахувати, що під час запису креслення всі з'єднувальні лінії проходять паралельно до основних осей, це дасть можливість коректно розвернути вхідне зображення на необхідний кут. Наступною особливістю цифрових зображень є вимоги до товщини ліній, тому для більш компактного опису можна використовувати процес скелетизації, при цьому масштаби об'єктів будуть мати маму вагу, більше впливатимуть на зівуальне сприйняття схеми в цілому.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Взявши за основу особливості цифрових зображень електричних схем було запропоновано алгоритм виділення та розпізнавання електронних компонент на основі їх скелетизації та опису на основі набору послідовних кривих:

- 1) Завантаження та виділення області інтересу на вхідному зображенні.
- 2) Бінаризація вхідного зображення, за умови 0 – фон (білий колір), 1 – інформативні області (чорний колір).
- 3) Пошук малоінформативних областей, шляхом видалення інформативних областей площа яких менша за порогове значення  $T$  відносно загальної площі області інтересу.
- 4) Поворот виділеної області в паралельно до осі  $OX$  або  $OY$ .
- 5) Скелетизація інформативних областей для видалення впливу масштабу зображення на результат розпізнавання.
- 6) Апроксимація інформативних ліній з метою отримання опису електронного компонента на основі зв'язного графа.
- 7) Порівняння отриманого графа з набором еталонних описів електронних компонент. Якщо знайдено повне співпадіння то перехід на крок 10 інаше на крок 8.
- 8) Формування масиву максимально подібних електронних компонентів та надання користувачеві можливість обрати самостійно.
- 9) Якщо користувач не обрав жодний з запропонованих електронних компонент, то виводиться повідомлення про помилку та завершується робота алгоритму.
- 10) Отримання з бази даних інформації про обраний компонент та відображення її для користувача.

Даний алгоритм базується на простій послідовності кроків, що дозволяє швидко його реалізувати. Окремо слід відмітити, що його можна оптимізувати, надавши користувачеві можливість самостійно додавати інформацію про нові компоненти та їх графічні позначення. Для візуальної оцінки запропонованого алгоритму та схеми взаємодії окремих блоків можна ознайомитись на рисунку 2.3 на якому наведено блок-схему запропонованого алгоритму виділення та розпізнавання електронних елементів на електричних схемах.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

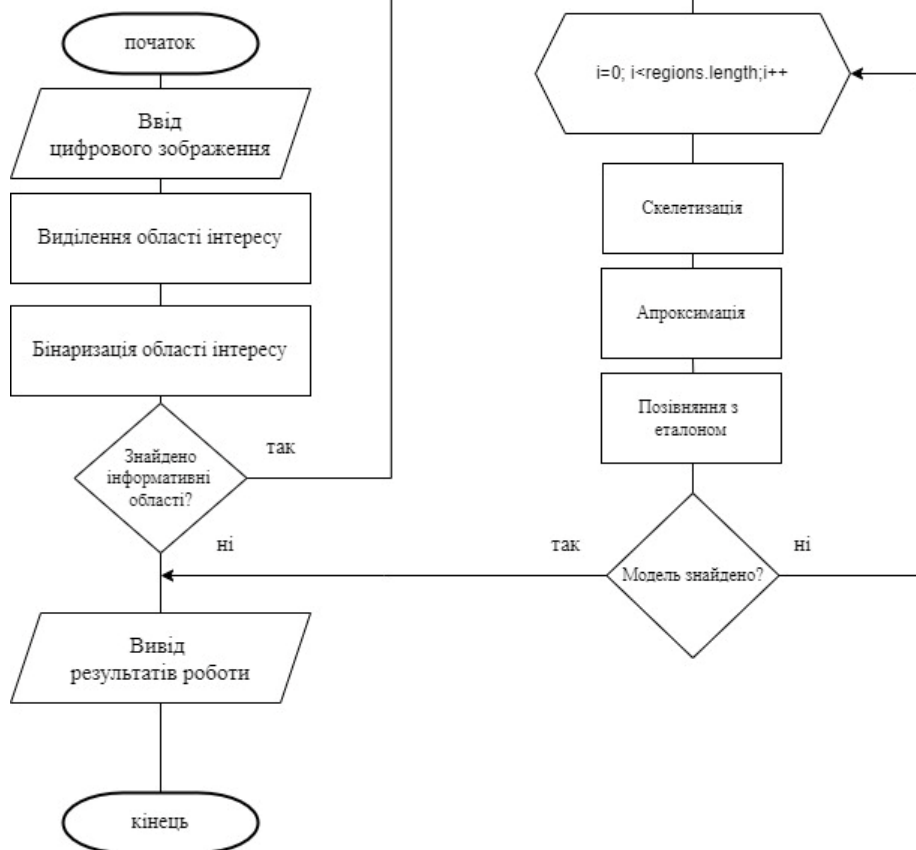


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму виділення та розпізнавання електронних елементів на електричних схемах

Додатковий аналіз запропонованого алгоритму дозволив зробити ряд висновків та виділити його переваги та недоліки. Переваги розробленого алгоритму:

- алгоритм простий та складається з мінімальної кількості кроків;
- результат аналізу цифрового зображення буде отримано з мінімальними часовими затримками;
- алгоритм може адаптуватись до зміни стандартів щодо оформлення електричних схем та змін вимог до запису електронних компонент.

Серед помічених недоліків даного алгоритму можна відмітити:

- залежність від стандартів створення конструкторської документації;
- необхідність постійного оновлення інформації про електронні компоненти, через їх стрімкий розвиток та модифікації.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3 ПРОГРАМНИЙ ДОДАТОК ВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМАХ

#### 3.1 Структура, моделювання та графічний інтерфейс додатку

З розвитком комп'ютерної техніки все актуальнішими стають задачі автоматизації різних процесів, які перед тим не можна було виконати без використання людського ресурсу. Одна з галузей де активно впроваджується автоматизація – це освіта. Розробка програмних додатків довідників має ряд переваг, оскільки дозволяє значно зменшити час для пошуку необхідної інформації. Особливо це стосується напрямів де на сьогодні нові компоненти з'являються щодня. Розроблений програмний додаток дозволить швидко визначити який електронний компонент присутній на електричній схемі, отримати його опис та при потребі в повній мірі сконструювати відповідну схему.

Програмний додаток має дві основні складові це модуль обробки цифрових зображень та база даних яка містить зображення відповідних електронних компонент та їхній словесний опис. За основу модуля обробки зображень було обрано бібліотеку OpenCV, яка є одним з лідерів на сучасному ринку програмних розробок. Дана бібліотека активно розвивається та інтегрує новітні алгоритми, що робить її однією з сучасних лідерів даного напрямку. Окрім того всі функції супроводжуються великою кількістю прикладів та документації, що сприяє швидкому опануванню та інтеграції даних бібліотек в програмні додатки. Іншою перевагою даної бібліотеки є те, що вона реалізована для багатьох мов програмування, що дозволяє не прив'язувати програмне рішення до якоїсь конкретної мови програмування, а використовувати ту яка прописана в технічних вимогах або на які реалізована основна частина розроблювального проекту. Ще одним плюсом OpenCV є те що дана бібліотека підтримує велику кількість сучасних форматів цифрових зображень, що значно підвищує коло задач які можна вирішити за допомогою неї. Серед основних груп алгоритмів які реалізовані в даній бібліотеці є алгоритми попередньої обробки, а саме

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

алгоритми видалення шумів, алгоритми корекції рівня яскравості та насиченості, низькочастотної та високочастотної фільтрації тощо. Дані алгоритми реалізуються різними підходами та мають велику кількість параметрів, що дозволяє оптимально налаштувати їх для виконання поставленої задачі. Іншу велику групу алгоритми формують алгоритми сегментації, контурного аналізу, апроксимації та кодування контуру, алгоритми оцінки характеристик об'єктів на зображенні. Дані алгоритми використовуються для більш детального опису, кодування та розпізнавання. Дана група достатньо широко представлена та може бути використана на етапі аналізу цифрового зображення електричної схеми.

За основу архітектури програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонентів було обрано принцип модульності. Використання даної технології передбачає розбиття загальної задачі на окремі групи які будуть виконувати подібні дії та стандартизовувати їх під єдиний інтерфейс. Це дозволить під час програмної реалізації інтегрувати блок управління внутрішніми потоками даних та проводити перкодування вхідної та вихідної інформації в залежності від інтерфейсу того чи іншого блоку. Приклад спроектованої структури наведено на рисунку 3.1.

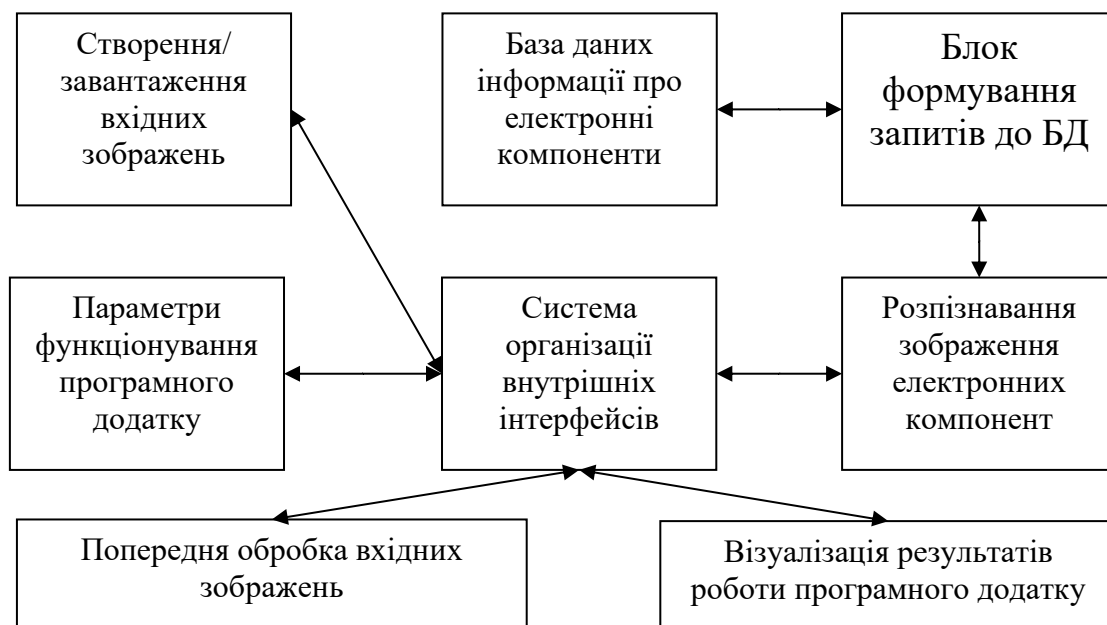


Рисунок 3.1 – Структурна схема програмного додатку виділення електронних компонентів на електричних схемах

На наступному кроці запропоновану структуру було піддано тестуванню та моделюванню, зокрема було перевірено чи запропонована структура не виникнуть колізії при протіканні внутрішніх процесів та чи користувачі матимуть достатній доступ до функціоналі програмного додатку. Дані дослідження були проведені на основі використання моделей прецедентів та послідовності які входять в мову uml. Дана мова дозволяє здійснювати аналіз різних програмних додатків та систем на етапі проектування з метою виявлення критичних місць та несумісності окремо вз'ятих компонент. Можливості користувача взаємодіяти з різними функціональними частинами програмного додатку проаналізовано на основі діаграми прецедентів для групи акторів «Користувачі», оскільки дана група буде максимальною користувацькою аудиторією для даного програмного продукту. Отримана діаграма прецедентів наведена на рисунку 3.2.

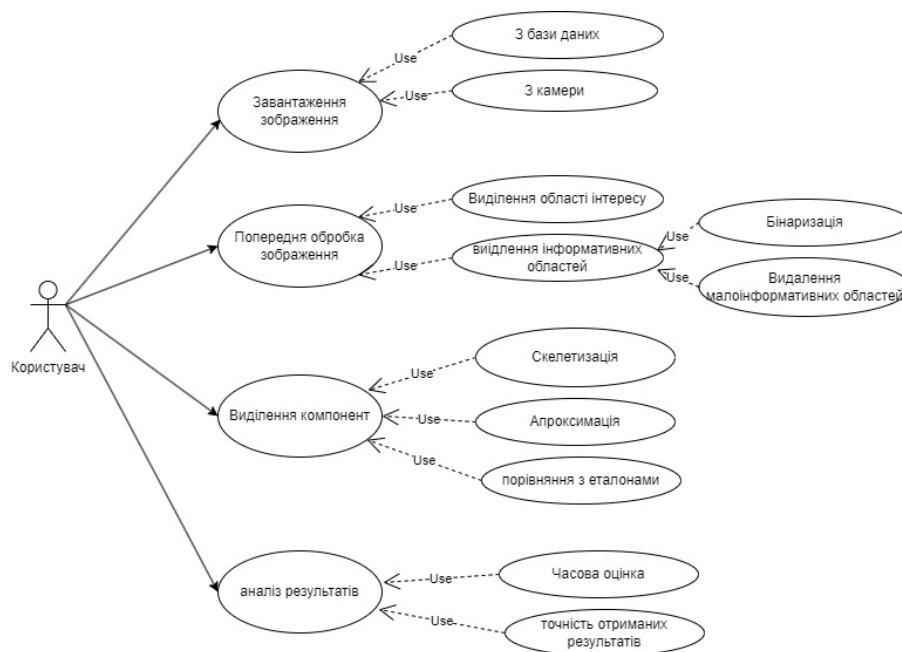


Рисунок 3.2 – Діаграма прецедентів для моделювання доступу групи «Користувачі»

Як видно з наведеної діаграми актори аналізованої групи мають доступ до всього основного функціоналу, який пропонується програмним додатком. Вони можуть обирати спосіб завантаження вхідного зображення як з попередньо збережених баз даних, так і створювати нові зображення шляхом

фотографування електричних схем. Процес попередньої обробки можна повністю проводити в ручному режимі, обираючи область інтересу та інформативні області. Процес бінаризації проходить в автоматичному режимі на основі аналізу гістограми розподілу сірого, та не потребує додаткових параметрів. Виділення компонент може проходити як в автоматичному так і в ручному режимах, користувач може задавати порогові значення для відповідних допусків або погодитись з значеннями які визначить програма автоматично. Етап аналізу отриманих результатів проходить в напів автоматизованому режимі. При точному розпізнаванні електричного компонента користувач отримає коректну відповідь, у випадку якщо кандидатів на правильні від повід буде декілька, то програма запропонує йому обрати вірну, як на його думку, компоненту, або сказати що такої компоненти серед запропонованих немає. На основі проведеного огляду можна зробити висновки що запропонована структура програмного додатку надає користувачеві повний доступ до важливих функціональних елементів, проте і дозволяє програмному додатку працювати в автоматичному режимах.

Взаємодію між окремими структурними блоками було досліджено при моделювання різних ситуацій, що можуть виникнути під час роботи з програмним додатком. Під час даного дослідження використовувались діаграми послідовностей. Дана група діаграм дозволяє проаналізувати процес та часові затримки при передачі даних між різними структурними одиницями в середині програмної розробки. Зотрема проводились моделювання стандартної ситуації коли користувач використовуватиме програму в автоматичному режимі з набором стандартних налаштувань, ситуацію коли користувач буде додавати інформацію про нову компоненту в базу даних, роботу програмної системи в ручному режимі. Додатково були проаналізовані внутрішні процеси під час виникнення критичних ситуацій, як наприклад не можливість однозначно розпізнати електронну компоненту, або у випадку відсутності доступу до бази даних. Під час всіх експериментів використані діаграми послідовностей дозволило візуально оцінити можливі ризики виникнення колізій в середині

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



програми. Приклад дослідження протікання внутрішніх процесів під час використання програмного додатку в ручному режимі наведено на рисунку 3.3.

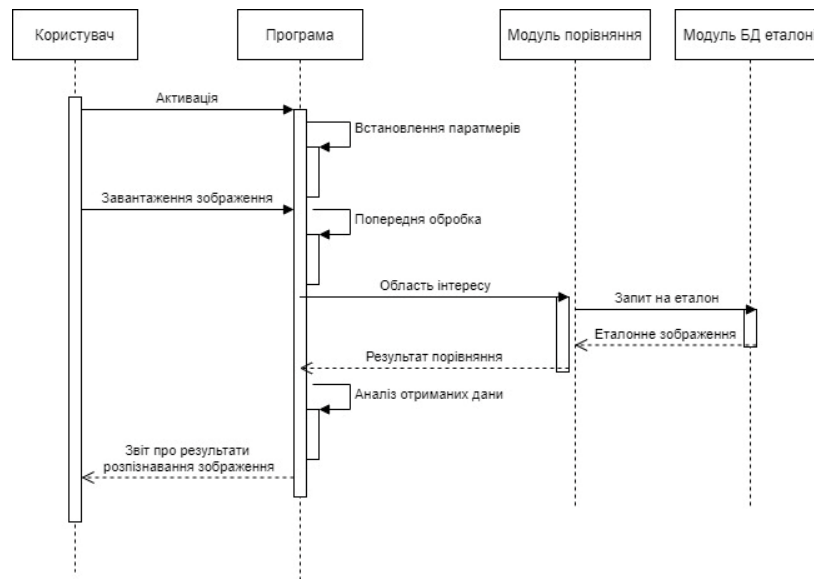


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовності кроків взаємодії користувача та модулів програмної системи в ручному режимі роботи

Проведене моделювання показало, що усі елементи програмної системи вмикаються в строго заданій послідовності, часові затримки для передачі даних між окремими структурними одиницями мінімальні та не викликають внутрішніх колізій. Аналіз можливостей розпаралелення роботи даного програмного додатку немає, оскільки запропонований алгоритм роботи в основному містить лінійні елементи. Етап порівняння з еталонами розпаралелювати недоцільно, оскільки сам процес розпаралелювання займе більше часу ніж виграш від нього. В результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що спроектована структура програмного додатку є ефективною, немає внутрішніх конфліктів в процесі обробки даних, надає користувачеві повний доступ до необхідного функціоналу, дозволяє виконати усі поставлені в кваліфікаційній роботі завдання та може бути використана для побудови програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах.

Останнім етапом проектування програмного додатку була розробка дизайну графічного інтерфейсу користувача. Очевидним є той факт, що

правильно спроектований дизайн інтерфейсу робить програмний додаток більш привабливим візуально, дозволяє зменшити час на навчання роботи з ним, мінімізує час виконання необхідних завдань та робить роботу з програмним додатком більш зручною. Проаналізувавши графічні інтерфейси програм аналогів та сучасні тенденції в розробці дизайну графічних інтерфейсів було прийнято взяти за основу Windows подібний стиль з мінімальною кількістю активних елементів на головному вікні програмного додатку. Приклад дизайну головного вікна наведено на рисунку рисунку 3.4.

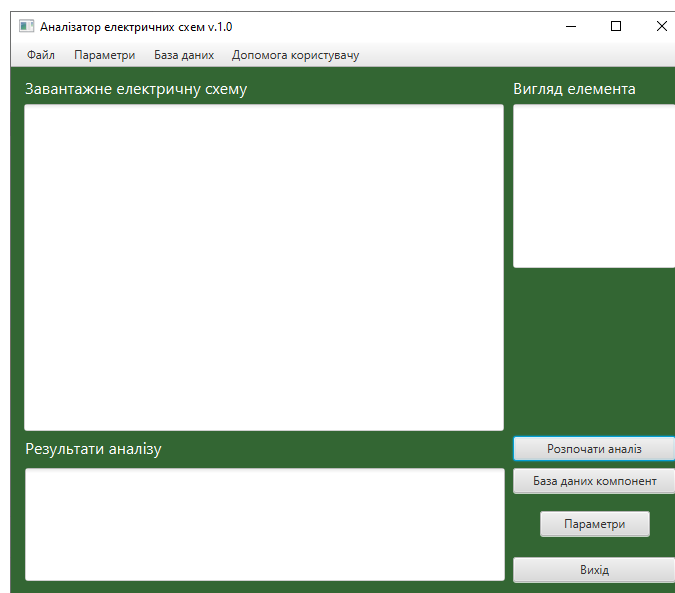


Рисунок 3.4 – Дизайн головного вікна програмного додатку

Робочу область головного вікна було розділено на три функціональні частини: вікно вхідного зображення, вікна для зображення компоненти з бази даних, вікно текстової інформації про відповідний компонент. Такий розподіл дав можливість максимально навантажити головне вікно корисною візуальною інформацією. Система керування програмним додатком реалізована на основі вертикального меню в верхній частині робочої області та надає користувачеві повний доступ до всіх робочих функцій програмного додатку. Дані функції згруповано на основі подібності виконаних ними функцій та містять інтуїтивно зрозумілі назви. Додатково на головне вікно винесені кнопки швидкої активації операцій які найчастіше буде виконувати користувач, а саме запуск процесу аналізу, доступ до функцій рооті з базою даних та можливість встановлення

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрів роботи програмного додатку. Такий дизайн інтерфейсу дозволив максимально використати доступну площу, надати користувчеві можливість управління програмним додатком і при цьому всі візуальні інформація про елекстичну схему та електронні компоненти буде максимально відображатись. Приховування основних елементів керування дозволило зменшити візуальне навантаження та спростити керування для користувачів з невеликим досвідом роботи з програмами даного типу.

Проведені підготовчі етапи розроблення алгоритму роботи, проектування та моделювання структури програмного додатку та розроблений дизайн графічного інтерфейсу користувача показав ефективність та сумісність розроблених компонент та дозволив перейти до етапу програмної реалізації.

### 3.2 Особливості реалізацій функцій програмного додатку

Робота програмного додатку базується на правильні обробці цифрових зображень, тому на першому етапі програмної реалізації було реалізовано ряд функцій для попередньої обробки зображень. Першим етапом обробки цифрового зображення є бінаризація. Використовуючи бібліотеку OpenCV у середовищі програмування Java, було реалізовано метод бінаризації вхідного зображення у форматі jpg. Спочатку зображення конвертується у відтінки сірого, що зменшує його колірну складність. Потім застосовується порогова обробка, яка перетворює зображення у двійкову форму на основі заданого порогу інтенсивності. Цей процес зменшує шум та спрощує подальший аналіз, зокрема для задач розпізнавання. Приклад коду програмної реалізації наведено на нижче:

```
String inputPath = "input.jpg";
Mat src = Imgcodecs.imread(inputPath);
Mat gray = new Mat ();
Imgproc.cvtColor(src, gray, Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
Mat binary = new Mat ();
Imgproc.threshold(gray, binary, 128, 255,
Imgproc.THRESH_BINARY);
```

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Скелетизація зображення є важливою методикою в обробці зображень, яка дозволяє витягти центральні лінії об'єктів, зберігаючи їх основну структуру. Вхідне зображення у після процедури бінаризації та інвертування забезпечує підготовку до скелетизації. Скелетизація виконується за допомогою морфологічних операцій ерозії та дилатації у циклічному процесі до повного витягнення скелету об'єктів. Вихідне скелетизоване зображення зберігається для подальшого аналізу, що полегшує розпізнавання та сегментацію об'єктів. Приклад програмного коду наведено нижче:

```
Mat skeleton = new Mat(binary.size(), CvType.CV_8UC1, new
Scalar(0));
Mat temp = new Mat();
Mat eroded = new Mat();
Mat element=Imgproc.getStructuring(Imgproc.MORPH, Size(3, 3));
boolean done; do {
Imgproc.erode(inverted, eroded, element);
Imgproc.dilate(eroded, temp, element);
Core.subtract(inverted, temp, temp);
Core.bitwise_or(skeleton, temp, skeleton);
eroded.copyTo(inverted);
done = (Core.countNonZero(inverted) == 0);
} while (!done);
```

Наступним кроком в процесі підготовки є апроксимація отриманих ліній які утворились після скелетизації. Апроксимація контурів є ключовим етапом у обробці зображень, спрямованим на зменшення складності контурів, зберігаючи їх основну форму. Після бінаризації зображення здійснюється знаходження контурів.

```
List<MatOfPoint> contours = new ArrayList<>();
Mat hierarchy = new Mat();
Imgproc.findContours(binary, contours, hierarchy,
Imgproc.RETR_TREE, Imgproc.CHAIN_APPROX_SIMPLE);
```

Для кожного контуру виконується апроксимація з використанням алгоритму Douglas-Peucker, що дозволяє зменшити кількість вершин у полігоні, зберігаючи його форму. Апроксимовані контури малюються на вихідному

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

зображенні, що дозволяє легко ідентифікувати основні геометричні форми об'єктів.

Поєнання функцій з бібліотеки OpenCV, особливостей класів мови Java та власними розробками дозволило швидко реалізувати програмний додаток та перейти до процедури тестування та порівня з програмами

### 3.3 Тестування програмного додатку

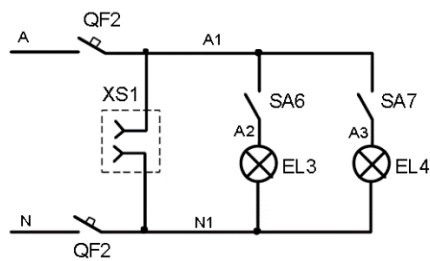
Перед початком етапу тестування необхідно сформулювати тестову вибірку, яка б надала можливість оцінити роботу програмного додатку при обробці цифрових зображень різної якості та рівня зашумленості. Серед основних критеріїв які будуть впливати на складність аналізу можна виділити наступні:

- чіткість та неперервність ліній електричної схеми;
- кількість сторонніх артефактів;
- рівень масштабованості вхідного зображення.

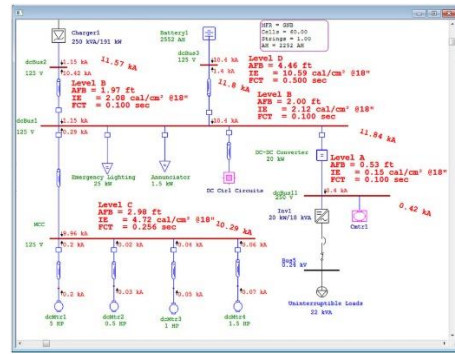
Оскільки графічні позначення електронних компонент є достатньо подібними та містять велику кількість дрібних елементів, то навіть незначний дефект може призвести до того, що програма не зможе однозначно виділити обраний елемент. Наявність сторонніх написів, особливо якщо вони будуть максимально подібними до оригіналів теж може призвести до хибного спрацювання. Якщо структурна схема буде мати занадто великий масштаб (елементи не будуть попадати в розміри області інтересу), або навпаки матимуть мінімальні розміри (що не дозволить однозначно виділити дрібні деталі в формі графічного відображення), то ефективність роботи програмного додатку буде зменшена.

На основі виділених критеріїв та особливостей функціонування програмного додатку були сформовані декілька груп зображень які максимально описуватимуть ту чи іншу ситуацію. Приклади зображень електричних схем наведено на рисунку 3.5.

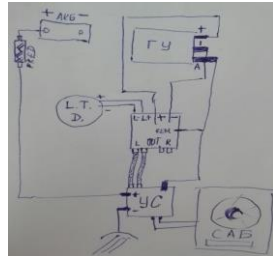
					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



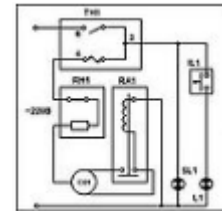
а) Еталонна група



б) Група з нечіткими лініями



в) група з сторонніми написами



г) невірний масштаб

Рисунок 3.5 – Приклад тестового набору зображень

Під час проведеного тестування були отримані наступні результати. Основна причина виникнення некоректних або неоднозначних спрацювань виккала у випадка коли лінії які описують електронний компонент переривались, це призводить до хибних видалень інформативних частин зображення. Результати обрацювання рукописних електричних схем прямопропорційні наблизеності запису елементів до вимог стандарту створення конструкторської документації. Проте, якщ навіть лінії не були лостатньо прямими даний недолік виправлявся на етапі апроксимації та не мав вирішального впливу на підсумковий результат. Під час аналізу зображень з проблемним масштабування більше помилкових ситуацій виникало при занадто малому представлені електронного компонента, оскільки програмний додаток або вирівнював криві лінії або обєднував паралельні лінії відстань між якими була мінімальною. При занадто великому масштабі, апроксимація створювала додаткові криві лінії які значно спотворювали модель яка подавалась на етап порівняння. Під час роботи з зображежнями допустимого масштабу та виконаними з дотриманням стандартів написанне конструкторської

документації рівень похобок був мінімальним, електронні компоненти розпізнавались чітко та однозначно з мінімальним втручанням користувача.

Процес тестування програмного додатку дозволив зробити наступні висновки:

– запропонований алгоритм виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах дозволяє швидко виконати поставлені завдання;

– розроблена структура програмного додатку повністю дозволяє розкрити позитивні сторони запропонованого алгоритму обробки зображень;

– реалізований програмний додаток надає користувачеві повний доступ до своїх функціональних можливостей та дозволяє виконати усі поставлені завдання;

– користувач може налаштовувати параметри роботи програми в залежності від поставлених завдань або зручності роботи;

– помилкові та неоднозначні результати виникають під час опрацювання цифрових зображень які були оформленні з недотримання симог до конструкторської документації.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих технологій обліку витрат електроенергії та на основі аналізу алгоритмів порівняння цифрових зображень на основі використання еталонів та програмних засобів автоматизації обліку витрат електроенергії можна зробити наступні висновки:

1) Досліджено технології проектування та запису схем електричних кіл на основі конструкторських стандартів, що дозволило виділити основні графічні елементи електричних схем;

2) Проведено класифікацію електронних компонент електричних кіл, на основі сфер застосування та вимог до оформлення конструкторської документації, що надало можливість сформувати базу даних графічних еталонів електронних елементів;

3) Проведено дослідження програмних засобів для проектування та моделювання електричних кіл на основі аналізу їх функціонально-структурних особливостей, що дозволило виділити основні архітектурні рішення при проектуванні програмних додатків даного типу;

4) Проаналізовано алгоритми попередньої обробки та опису зображень на основі сфер їх застосування, що дозволило виділити групу алгоритмів для проектування модуля обробки цифрових зображень;

5) Розроблено алгоритм виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах на основі порівняння скелетів графічних відображень електронних компонент, що надало можливість спроектувати структуру програмного додатку аналізу електричних схем;

6) Спроектовано та проведено тестування внутрішньої архітектури програмного додатку виділення та розпізнавання електронних компонент на електричних схемах з використанням моделей UML, що дозволило виділити переваги та недоліки запропонованого рішення.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воротній В., Ігнатев Т. Аналіз алгоритмів розпізнавання цифрових зображень та сфери їх застосування. Збірник тез ІХ Науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі». Тернопіль, 21 травня 2024 р. с. 21.

2. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Бакалавр” спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ЗУНУ, 2020. 60с.

3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Техніко-економічне обґрунтування розробки комп'ютерних систем»/ Н.Я. Савка, І.Р. Паздрій / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 40 с.

4. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» / І.В. Гураль, Л.О. Дубчак / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.

5. Berezsky O., Berezska K., Batko Yu., Melnyk G. Vision-based medical expert system. 6th International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies”(CSIT'2011, Lviv, Ukraine, 16-19 November), 2011. P. 49-50.

6. A method of contour detection based on an image weight model / Z. M. Gizatullin et al. Computer Optics. 2020. Vol. 44, no. 3. P. 393–400.

7. Atik I. Classification of Electronic Components Based on Convolutional Neural Network Architecture. Energies. 2022. Vol. 15, no. 7. P. 2347.

8. Cheng Y., Wang A., Wu L. A Classification Method for Electronic Components Based on Siamese Network. Sensors. 2022. Vol. 22, no. 17. P. 6478.

9. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation / P. Arbeláez et al. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2011.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

10. Contour detection in an infrared image using the modified snake algorithm / V. V. Voronin et al. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 226. P. 04049.

11. Contour enhanced image super-resolution / L. Kong et al. Journal of Visual Communication and Image Representation. 2022. P. 103659.

12. Contour enhanced image super-resolution / L. Kong et al. Journal of Visual Communication and Image Representation. 2022. P. 103659.

13. Contour-guided image completion using a sample image / M. Xiao et al. Journal of Electronic Imaging. 2015. Vol. 24, no. 2. P. 023029.

14. Contour-guided image completion using a sample image / M. Xiao et al. Journal of Electronic Imaging. 2015. Vol. 24, no. 2. P. 023029.

15. Depth image restoration method based on color image contour / D. SU et al. Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays. 2021. Vol. 36, no. 3. P. 456–464.

16. Evolutionary Optimization of Geometrical Image Contour Detection. International Journal of Intelligent Engineering and Systems. 2022. Vol. 15, no. 2. P. 287–297.

17. Image Recognition System using Geometric Matching and Contour Detection / G. Sharma et al. International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, no. 17. P. 48–53.

18. Kumar K. S., Reddy B. E. Wound Image Analysis Using Contour Evolution. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. 2014. Vol. 6, no. 6. P. 36–42.

19. Lefkaditis D., Tsirigotis G. Morphological feature selection and neural classification for electronic components. Journal of Engineering Science and Technology Review. 2009. Vol. 2, no. 1. P. 151–156.

20. Luo D. Classification and Recognition of Electronic Components Based on Improved Cooperative Semi-supervised Learning Algorithm. Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering (Formerly Recent Patents on Electrical & Electronic Engineering). 2020. Vol. 14.

21. Marantan A., Tolkova I., Mahadevan L. Image cognition using contour curvature statistics. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2023. Vol. 479, no. 2274.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

22.Mio W., Srivastava A., Liu X. Contour Inferences for Image Understanding. International Journal of Computer Vision. 2006. Vol. 69, no. 1. P. 137–144.

23.Research on Image Contour Edge Analysis Based on Canny Edge Detector. Academic Journal of Computing & Information Science. 2022. Vol. 5, no. 1.

24.Wilder J., Feldman J., Singh M. Contour complexity and contour detection. Journal of Vision. 2015. Vol. 15, no. 6. P. 6.

25.Wu Y. Edge Detection of Depth Image Based on Contour Curve. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 563. P. 052037.

					КР.КІ.8869637.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		