Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень освіти вищої другий (магістерський)

Методи аналізу коректності графових моделей керуючих автоматів
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СКСм-19-1
Погудін О. О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Кулак Е.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

2

Зав. кафедри АПОТ _____ Чумаченко С.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

Харківський національний університет радіоелектроніки

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав.
кафедри _____
(підпис)
2
0 р
"___" _____ - __ .

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Погудін Олег Ол
(прізвище, ім'я, по

1. Тема роботи Методи аналізу коректності графових моделей керуючих автоматів Тема роботи м

затверджена наказом" 30 " 10

2. Термін подання 15.12.20

3. Вихідні дані до Автомати Мілі, Мура

Граф-модель автомата

Ортогональна функція умов переходів

Вектор помилки

Таблиця термів ортогональної функції переходів

4. Перелік питань, що

Аналіз предметної області і постановка задачі

Модель опису коректних умов переходів та аналіз формальних ознак помилок

Методи аналізу помилок

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 15 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	15.09.2020	
2	Аналіз джерел з проблемної галузі	30.09.2020	
3	Дослідження ознак помилок в умовах	25.10.2020	
4	Розробка методів пошуку помилок	15.11.2020	
5	Проведення експериментів	30.11.2020	
6	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	05.12.2020	
7	Подання атестаційної роботи керівникові		
	та її попередній захист	07.12.2020	
8	Подання атестаційної роботи на рецензування	14.12.2020	

Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Кулак Е.М.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 93 с., 51 рис., 45 табл., 2 дод., 16 джерел.

КЕРУЮЧИЙ АВТОМАТ, ГРАФ ПЕРЕХОДІВ, ОРТОГОНАЛІЗАЦІЯ УМОВ ПЕРЕХОДІВ, HDL-МОДЕЛЬ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ

Об'єкт дослідження: графові моделі керуючих автоматів.

Предмет дослідження: аналіз формальних ознак помилок в описі умов переходів у графі керуючого автомата по таблиці термів ортогональної функції умов переходів і вектору помилок.

Мета дослідження: розробка методу аналізу помилок в умовах переходів станів у графових моделях керуючих автоматів, заснованого на властивості ортогональності функції умов переходів зі стану, який аналізується.

Наукова новизна: розроблений формальний метод аналізу помилок в умовах переходів у графових моделях керуючих автоматів, який дозволяє за формальними ознаками визначати не тільки стани автомата, які мають некоректно описані умови переходів, а й локалізувати помилки в умовах переходів.

Практична значимість: розроблений метод дає можливість скорочувати час пошуку джерел проблем некоректного автоматизованого синтезу автоматів, якщо є помилки в опису умов переходів у графових моделях керуючих автоматів. Він дає можливість виявляти ці помилки автоматично ще на етапі компіляції вихідної мовної моделі автомата, тобто може запобігати їх до синтезу, позбавляючи проектувальника виконувати власний ручний аналіз і пошук вже після некоректного синтезу. Метод призначається для систем моделювання і САПР.

ABSTRACT

Master's thesis: 93 pages, 51 figures, 45 tables, 2 appendixes, 16 sources.

FINITE STATE MACHINE, STATE DIAGRAM, ORTHOGONALIZATION OF TRANSITION CONDITIONS, HDL-MODEL, AUTOMATIC SYNTHESIS

Object of research: graph models of finite state machines (FSM).

Subject of research: analysis of formal error attributes in the description of transition conditions in the graph of the control automaton according to the table of terms of an orthogonal function of transition conditions and error vector.

The purpose of research: development of a method for analysis of error attributes in the conditions of state transitions in graph models of control automatons, based on the properties of orthogonality of the function of transition conditions from the state under analysis.

Scientific novelty: a formal method for analysis of errors in the conditions of transitions in graph models of FSM, which allows determining not only the states of the automaton, which have incorrectly described conditions of transitions, but also to localize errors in the conditions of transitions.

Practical significance: The developed reduces the search time for sources of problems of incorrect automated synthesis of automatons, if there are errors in the description of the conditions of transitions in the graph models of FSM. It makes it possible to detect these errors automatically at the stage of a compilation of the original language model of the machine, i. e. can prevent them from synthesis, depriving the designer to perform their own manual analysis and search after incorrect synthesis. The method is intended for modelling and CAD systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....10

ВСТУП.....11

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....12

1.1 Аналіз літератури з питання дослідження.....12

1.2 Постановка задачі.....17

2 МОДЕЛЬ ОПИСУ КОРЕКТНИХ УМОВ ПЕРЕХОДІВ ТА АНАЛІЗ ФОРМАЛЬНИХ ОЗНАК ПОМИЛОК.....19

1.1 Пропуск букви, терма.....20

1.1.1Пропуск терму 20

1.1.2Пропуск терму.....21

1.1.3Пропуск терму.....22

1.1.4Пропуск терму.....23

1.1.5 термі.....24

1.1.6Пропуск термі.....25

1.1.7Пропуск у термі.....26

1.1.8 термі.....27

1.1.9Пропуск змінної у термі.....28

1.1.10 Пропуск змінних у термі.....29

1.2 Інверсія букв.....31

1.2.1Інверсія терму.....31

1.2.2 терму.....32

1.2.3Інверсія терму.....33

1.2.4Інверсія терму.....34

1.2.5Інверсія змінної у термі.....35

1.2.6 змінної у термі.....37

1.2.7 змінної у термі.....38
1.2.8Інверсія змінної у термі.....39
1.2.9 змінної у термі.....40
1.2.10 змінних у термі.....41
2.3.Переплутування змінних.....42
2.3.1.Заміна , та 42
2.3.2.Заміна , ...43
2.3.3., ...44
2.3.4.Заміна , та 45
2.3.5.Заміна у термі.....46
2.3.6.Заміна у термі.....47
2.3.7.Заміна у термі.....48
2.3.8.Заміна у термі.....49
2.3.9.Заміна , у термі.....50
3 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПОМИЛОК.....53
3.1 Метод аналізу помилок 53
3.1.1Етап 1. Аналіз значень у векторі помилок. 53
3.1.2 Етап 2. Аналіз кількості рядків із відмінним від «1» значенням у векторі помилок. 54
3.1.3 Етап 3. Аналіз рядків на можливі терми з помилкою.....56
3.1.4Етап 4. Аналіз координат у рядках, де була виявлена помилка. 57
3.2 Перевірка методу на прикладі із 5 змінними.....58
3.2.1Пропуск букви, терму.....61
3.2.1.1Пропуск терму. Функціє має наступний вигляд:.....61
3.2.1.2 Пропуск терму. Функція має наступний вигляд:.....63
3.2.1.3Пропуск терму. Функція має наступний вигляд:.....66

3.2.1.4Пропуск змінної у термі. Функція має наступний вигляд: 68
3.2.1.5Пропуск змінних у термі. Функція має наступний вигляд: 70
3.2.1.6Пропуск змінної у термі. Функція має наступний вигляд: 73
3.2.1.7Пропуск змінних у термі. Функція має наступний вигляд:.....75
3.2.2Інверсія букв.....78
3.2.2.1Інверсія змінної у термі. Функція має наступний вигляд: 78
3.2.2.2Інверсія змінної у термі. Функція має наступний вигляд: 81
3.2.3Переплутування змінних.....83
3.2.3.1Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:.....83
3.2.3.2Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:.....86
3.2.3.3Заміна на , на у термі. Функція має наступний вигляд: 89
3.2.3.4Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:.....92
3.2.3.5Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:.....95
ВИСНОВКИ.....98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....99
ДОДАТОК А.....101
ДОДАТОК Б.....107

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГСА – Граф-схема алгоритму

КА – Керуючий автомат

ОА – Операційний автомат

САПР – Система автоматизованого проектування і розрахунку

CAD – computer aided design

FSM – finite state machines

ВСТУП

Проблема надійності є дуже важливою для сучасних технічних систем. Можна навести багато прикладів систем, для яких рішення проблеми надійності в самому прямому сенсі означає, проблему актуальності цієї системи. До них можна віднести і різні інформаційні системи, що включають в свій склад велику кількість комп'ютерів, що мають мережеву структуру, територіально розподілені інформаційні системи, інформаційні системи вимірювання параметрів різних об'єктів, системи моніторингу, тощо.

Інформаційні системи можуть мати просту та комплексну структуру. Ці системи ускладнюються сьогодні в різних напрямках. З одного боку, до складу систем входить все більше число комплектуючих елементів. З іншого боку, ускладнюється їх структура, що визначає з'єднання окремих елементів і їх взаємодію в процесі функціонування і підтримки працездатності. При цьому ускладнення систем є прямим наслідком постійно зростаючої відповідальності виконуваних ними функцій, складності і різноманіття цих функцій.

З цього можна зробити висновок, що ускладнення технічних систем може також привести до зростання можливості виникнення помилок. І саме тому пошук помилок стає все більш актуальним.

Об'єкт дослідження: графові моделі керуючих автоматів.

Предмет дослідження: аналіз формальних ознак помилок в описі умов переходів у графі керуючого автомата по таблиці термів ортогональної функції умов переходів і вектору помилок.

Мета дослідження: розробка методу аналізу помилок в умовах переходів станів у графових моделях керуючих автоматів, заснованого на властивості ортогональності функції умов переходів зі стану, який аналізується.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз літератури з питання дослідження

Ідея мікропрограмного управління гласить, що усі цифрові пристрої можливо представити взаємодією операційного та керуючого автомата [1]. Загальну структуру цифрових пристроїв можна побачити на рис 1.1.

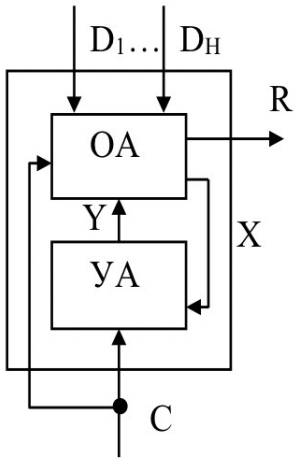

Рисунок 1.1 – Структура операційного пристрою

Операційний автомат виконує елементарні дії з обробки інформації. До дій (мікрооперацій) відносять такі дії як запис коду в регістр, зрушення коду вліво або вправо, видача необхідного коду, складання, віднімання, інвертування і так далі. Структура та функція ОА визначається складом мікрооперацій, в яких він має реалізовуватися. На автомат поступають вхідні дані (D_h, h=), далі на виході повертається результат операції (R_q, q=). При цьому всередині операційного автомата можуть бути проміжні результати (S_l,

l=), D⊆S, R⊆S. Також, автомат подає ознаки виконання операції X={x_1, x_2,…, x_p}, p=.

Керуючий автомат обумовлює послідовність, алгоритм виконання мікрооперації в пристрої [2]. КА створює послідовність керуючих сигналів, яка розподілена в часі та просторі Y={y_1, y_2,…, y_m}, m=.

Основні принципи мікропрограмування:

- всяка дія, яка оброблює інформацію, можна представити у вигляді комплексу простих дій, які називаються мікрооперaціями;

- для контролю над послідовністю виконання мікрооперацій з множини Y застосовують логічну умову з множини X;

- граф схема чи мікропрограма застосовуються як способи представлення функцій приладу, на основі якого формується структура пристрою і його порядок виконання дій в часі;

- задля управління порядком виконування мікрооперацій використовується мікро-алгоритм виконання комплексної операції, яка обусловлюється у вигляді набору мікрооперацій та логічних умов і представляється у вигляді ГСА або мікропрограми.

Функція ОА визначається наступними множинами:

- множина вхідних слів D={d1, …, dH}, які вводяться до автомату в якості операндів;

- множина вихідних слів R={r1, …, rQ}, які використовуються для зображення інформації під час процесу виконання операції;

- множина внутрішніх слів S={s1, …, sN}, які застосовуються для індикації інформації під час виконання операції. Далі, вважатимемо, що як

вхідні, так і вихідні слова збігаються з певними внутрішніми словами, тобто

D⊆S и R⊆S;

- множина мікрооперацій Y={ym} (m=), які реалізують трансформацію S=ϕm(s) над словами інформації, де ϕm – обчислювана функція;

- множина логічних умов X={xl} (l=), де xl=ψl(s) та ψl – булева функція.

Отже, функція операційного автомату задана, коли визначені множини D, R, S, Y, X. Також можна помітити, що час не є аргументом функції ОА. Функція визначає список дій – мікрооперації логічних умов, які може реалізовувати автомат, але не обумовлює порядок дотримання в часі (рис. 1.2).

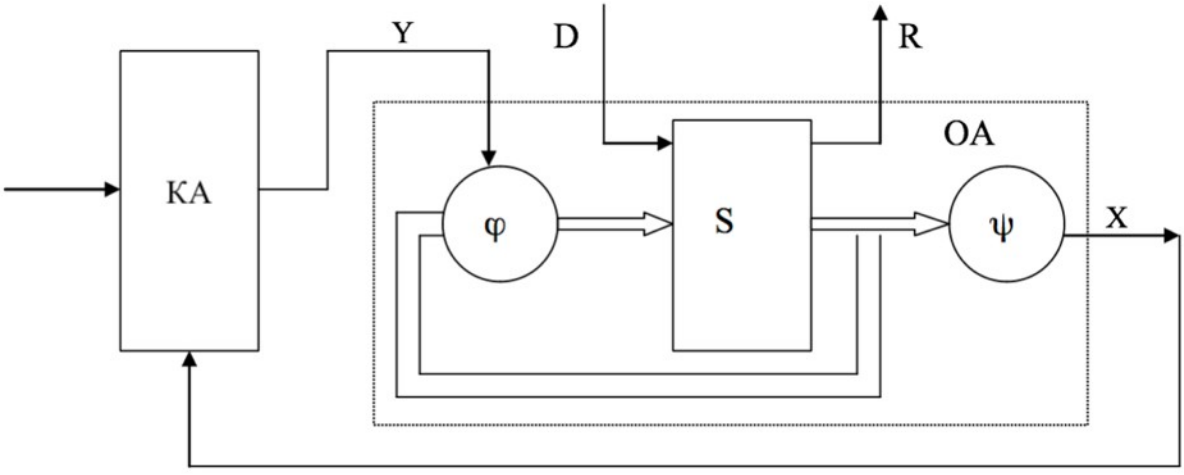

Рисунок 1.2 – Структура ОА

Підсумовуючи, функція цього автомату реалізує методи, які можуть

бути використані для розрахунків, однак не сам обчислювальний процес. Послідовність виконання дій в часі встановлюється у формі функцій КА.

Операційний автомат складається із трьох частин: пам'ять S; комбінаційну схему ϕ, що виконує мікрооперації; комбінаційну схему ψ, яка обчислює результати логічних умов. Пам'ять S забезпечує зберігання слів S_1, …,S_N, які характеризують значення операндів D, тимчасові значення і кінцеві результати R. За виконання мікрооперацій $Y=\{y_m\}$ відповідає комбінаційна схема ϕ. Сигнали управління Y, які формуються керуючим автоматом, починають виконання необхідних мікрооперацій [3, 4].

Якщо надходять сигнали та , то схема ϕ виконує дві мікрооперації: :=(, …,); :=(,…,), що зводяться до рахування наступних значень (,…,); (,…,) і

привласненню їх словам , ∈ S.

Для обчислення значень логічних умов відповідає комбінаційна схема ψ, що реалізує систему булевих функцій $X_l:=\phi_l(,\ldots,)$, які мають значення у вигляді інформаційними сигналами $X=\{x_l\}$.

Функція КА, полягає в реалізації граф схеми (мікропрограми) алгоритму управління, функціональними алгоритмами якої є сигнали $y_1,\ldots,y_L$ (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 – Структура КА

До складу керуючого автомату входять запам’ятовуючої та комбінаційної частини [5, 6, 7]. Комбінаційна частина – це комбінаційні схеми, які виконують функції переходів автомата δ і функцію виходів

автомата λ. Перша схема призначається для реалізації зовнішніх сигналів управління якими керують об'єктом управління. Інша комбінаційна схема служить для набування сигналів збудження входів тригерів. Пам’ятна частина S (A) – пам'ять, яка зберігає стан автомата. ОА – операційний автомат (об'єкт управління), УА – керуючий автомат.

Сукупність сигналів X, що зображена пунктирною стрілкою вказує на те, що функція виходів λ може залежати від X (автомат Мілі), а може надаватися непідвладно від X (автомат Мура).

Серед усієї сукупності керуючих пристроїв можна виокремити пристрої логічного управління, управляючі сигнали яких представляються у двійковому алфавіті [8]. А через те, що для реалізації керуючої частини в таких приладах, звичайно, використовуються кінцеві автомати, то вони називаються керуючими.

З боку реалізації алгоритму логічного управління, структурний автомат являє собою модель пристрою реального часу, що характеризується видачею визначених вихідних сигналів в певні моменти часу. Цей автомат функціонує у автоматному часі, що вимірюється в тактах {t, t+1, t+2}, іншими словами автомат переходить з одного стану до іншого за один автоматний такт. За кожний такт пристрій формує множину вихідних сигналів та визначає наступний стан.

У аналітичному вигляді модель структурного автомату має вигляд

, , (1.1)

де g – функція виходів структурного автомату, f – функція переходів структурного автомата. При цьому але у наступному такті (рис. 1.4).

Рисунок 1.4 – Модель структурного автомату

У статті [9] були наведені результати аналізу впливу некоректних умов переходів на результати синтезу КА. Такі результати можуть призводити до появи нежаданих тригерів зі статичним керуванням замість чи на додаток до тригерів з динамічним управлінням. Для усунення такого результату синтезу, необхідний метод аналізу коректності опису умов переходів під час формування графової моделі або під час семантичного контролю в рамках САПР.

Успішний автоматизований синтез керуючих автоматів засобами САПР багато в чому залежить від коректного опису переходів автоматів і їх умов на мовах опису апаратури [8]. Кожен граф переходів керуючих автоматів має бути семантично і синтаксично коректний. При перевірці синтаксичної коректності граф переходів повинен перевіряться на досяжність, повноту, несуперечність і відсутність генеруючих контурів та ін. [10].

Поняття ортогональності також широко використовується при аналізі надійності систем управління, для декомпозиції логічних функцій при синтезі цифрових систем [11, 12] та при перевірці графових моделей цифрових автоматів на коректність [10, 13].

В [14, 15] було доведено, що функція умов переходів з одного стану (вершини) є несуперечливою і повною, якщо вона ортогональна. Виходячи з цього, з’явилася ідея, яким чином компілятор систем моделювання і САПР може відстежувати неповні і суперечливі умови переходів з будь-якого стану автомата до етапу синтезу схеми автомата.

Предметом аналізу цієї роботи є аналіз загальних ознак помилок в описі умов переходів у графі керуючого автомата по таблиці термів ортогональної функції умов переходів і вектору помилок.

1.2 Постановка задачі

Системи моделювання та автоматизованого синтезу, в силу особливостей своєї роботи не мають суперечливих умов переходів графів або

переходів автоматів на етапі перевірки синтаксису не фіксуються, та на етапі моделювання вони можуть залишитися непоміченими і тільки після автоматизованого синтезу виявляються проблеми. Це не досконало, тож перевірка коректності умов переходів повинна проводитися ще на етапі побудови моделі графу автомата.

Мета дослідження: розробка методу аналізу помилок в умовах переходів станів у графових моделях керуючих автоматів, заснованого на властивості ортогональності функції умов переходів зі стану, який аналізується.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробка моделі опису коректних умов переходів;
- аналіз усіх можливих типів помилок у ортогональних логічних функціях;
- аналіз формальних ознак помилок умов переходів у графових моделях керуючих автоматів;
- пошук закономірностей при виявленні помилок та їх структурування;
- розробка методу пошуку помилок;
- експериментальна перевірка методу пошуку помилок на прикладах.

2 МОДЕЛЬ ОПИСУ КОРЕКТНИХ УМОВ ПЕРЕХОДІВ ТА АНАЛІЗ ФОРМАЛЬНИХ ОЗНАК ПОМИЛОК

Для початку треба розділити усі помилки на декілька категорій:

- пропуск терму чи змінної у термі;
- зміна інверсій у термі чи змінної;
- переплутування змінних.

Розглянемо модель опису коректних умов переходів на прикладі (рис. 2.1, 2.2), та знайдемо усі можливі помилки функції .

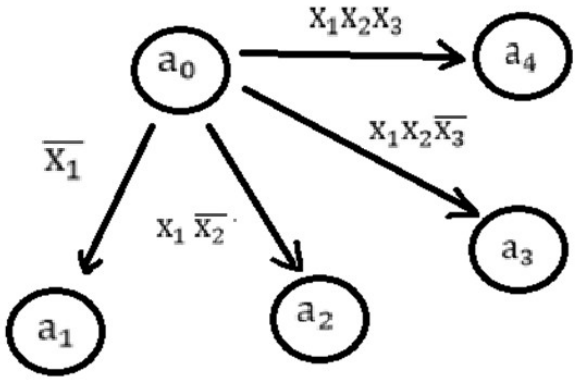

Рисунок 2.1 – Граф переходів ортогональних рішень для f

Кожній дузі ставиться у відповідність логічний вираз функції умов переходів у диз'юнктивній нормальній формі (ДНФ):

Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.1) містить набори змінних, терми ортогональної функції переходів та вектор помилки. Для термів обчислюються значення на всіх наборах функції умов переходів. Вектор помилки – це стовпець, в якому записується кількість одиниць в рядку значень термів, відповідних кожному набору змінних.

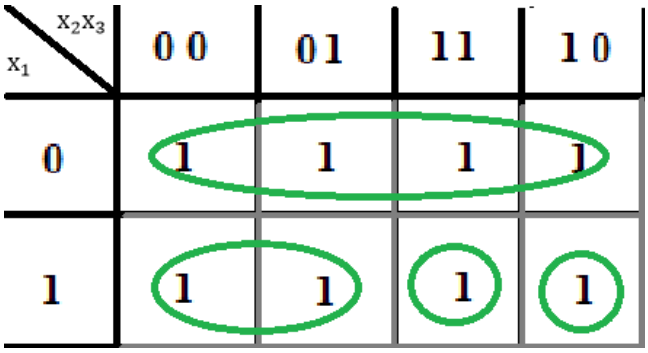

Рисунок 2.2 – Карта Карно ортогональної функції f

Таблиця 2.1 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для f

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.1 та наступних таблицях аналізу повноти і несуперечності умов переходів для помилок за колонку «err» маємо на увазі вектор помилки.

Так як значення вектору помилок «1», то помилок у таблиці немає.

1.1 Пропуск букви, терма

Далі будемо розглядати помилки у цієї функції.

1.1.1 Пропуск терму

Пропустивши терм, функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.3) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.2).

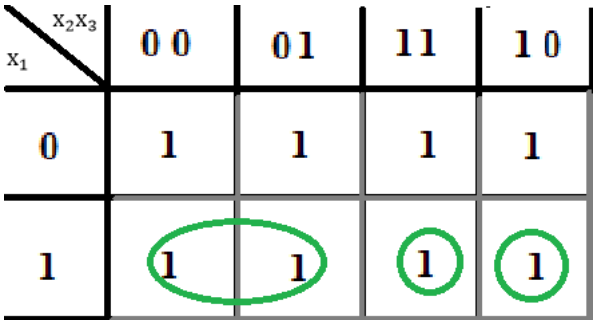

Рисунок 2.3 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.1}$

Таблиця 2.2 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.1}$

№					err	
0	000	-	-	-	0	+
1	001	-	-	-	0	+
2	010	-	-	-	0	+
3	011	-	-	-	0	+
4	100	1	-	-	1	-
5	101	1	-	-	1	-
6	110	-	1	-	1	-
7	111	-	-	1	1	-

На таблиці 2.2 помітно, що з’явилися 4 значення відмінних від «1», та у рядках де вона сталася, вектор помилок «err» має значення «0». Також можна звернути увагу на те, що у всіх рядках загальна частина із значенням «0», яка відповідає x_1.

1.1.2 Пропуск терму

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.4) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.3).

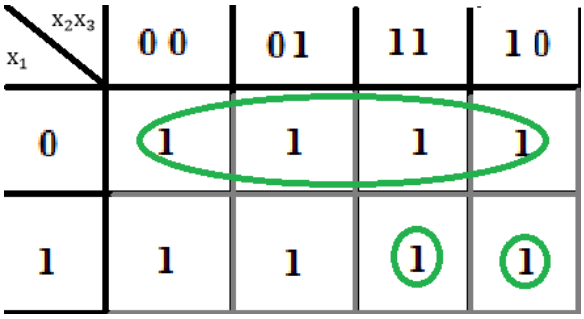

Рисунок 2.4 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.2}$

Таблиця 2.3 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.2}$

№					err	
0	000	1	-	-	1	-
1	001	1	-	-	1	-
2	010	1	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	-
4	100	-	-	-	0	+
5	101	-	-	-	0	+
6	110	-	1	-	1	-
7	111	-	-	1	1	-

У таблиці 2.3 видно, що з’явилися 2 значення «0» у векторі помилок. Спільні координати мають значення «1, 0».

1.1.3 Пропуск терму

Функція має наступний вигляд:

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.5) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.4).

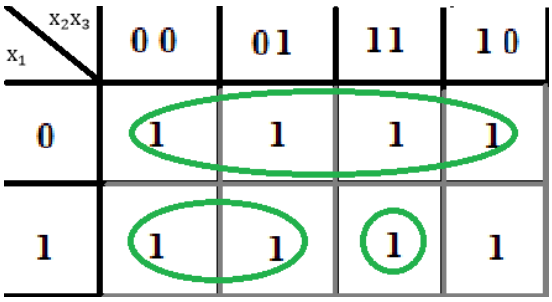

Рисунок 2.5 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.3}$

Таблиця 2.4 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.3}$

№					err	
0	000	1	-	-	1	-
1	001	1	-	-	1	-
2	010	1	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	-
4	100	-	1	-	1	-
5	101	-	1	-	1	-
6	110	-	-	-	0	+
7	111	-	-	1	1	-

У таблиці 2.4 видно, що з’явилися лише 1 рядок із значенням «0» у векторі помилок.

1.1.4 Пропуск терму

Функція має наступний вигляд:

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.6) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.5).

У таблиці 2.5 ми бачимо, що також з’явився лише 1 рядок із значенням «0» у векторі помилок.

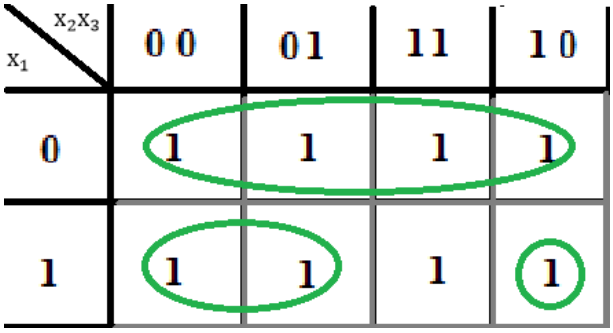

Рисунок 2.6 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.4}$

Таблиця 2.5 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.4}$

№					err	
0	000	1	-	-	1	-
1	001	1	-	-	1	-
2	010	1	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	-
4	100	-	1	-	1	-
5	101	-	1	-	1	-
6	110	-	-	1	1	-
7	111	-	-	-	0	+

1.1.5 термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.7) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.6).

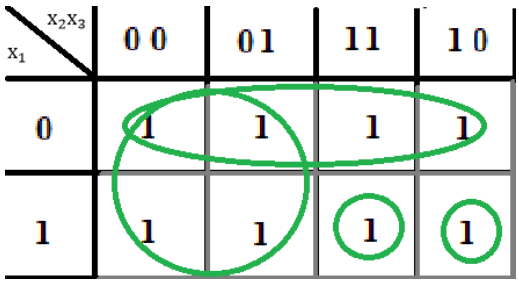

Рисунок 2.7 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.5}$

Таблиця 2.6 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.5}$

№						err	
0	000	1	1	-	-	2	+
1	001	1	1	-	-	2	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.6 ми вже бачимо, що з'явилися 2 рядка із значенням «2» у векторі помилок. Тому це говорить про те, що втрата змінних має протилежний вплив, і при втраті змінних це збільшує місце, яке займає терм.

1.1.6 Пропуск термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.8) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.7).

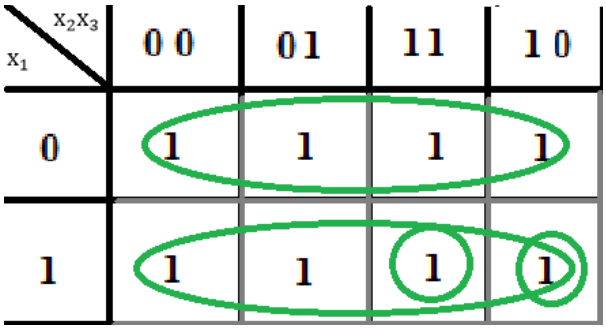

Рисунок 2.8 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.6}$

У таблиці 2.7 ми бачимо, що з’явилися 2 рядка із значенням «2» у векторі помилок по аналогії із попереднім прикладом.

Таблиця 2.7 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.6}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	1	1	-	2	+
7	111	-	1	-	1	2	+

1.1.7 Пропуск у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.9) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.8).

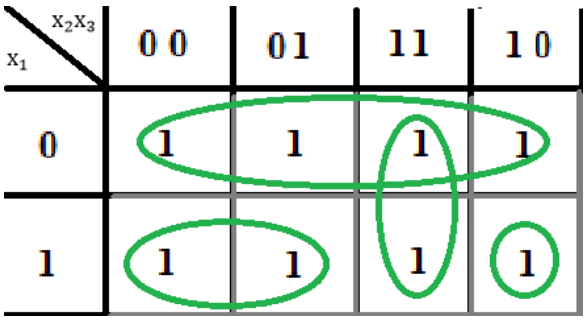

Рисунок 2.9 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.7}$

У таблиці 2.8 ми бачимо, що при пропущеній змінній у термі із максимальною кількістю букв, з’явився 1 рядок із значенням «2» у векторі

помилок. І так як займаємо місце завжди удвоюється, то тільки у випадках коли помилка допущена у максимальному термі можлива непарна кількість відмінних від «1» значень.

Таблиця 2.8 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.7}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	2	+
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

1.1.8 термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.10) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.9).

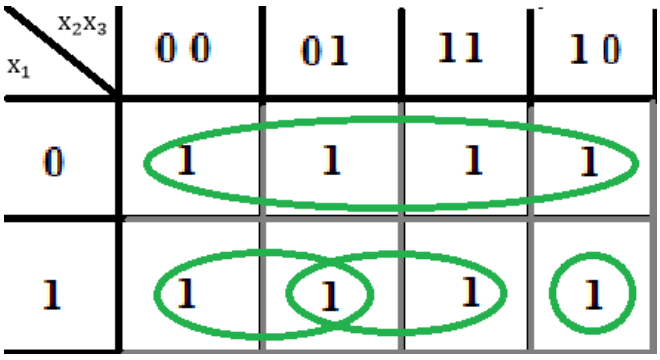

Рисунок 2.10 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.8}$

Таблиця 2.9 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.8}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 2.9.

№						err	
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	1	2	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

По аналогії з попередньою, ми бачимо, що у таблиці 2.9 також з’явилися 1 рядок із значенням «2» у векторі.

1.1.9 Пропуск змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.11) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.10).

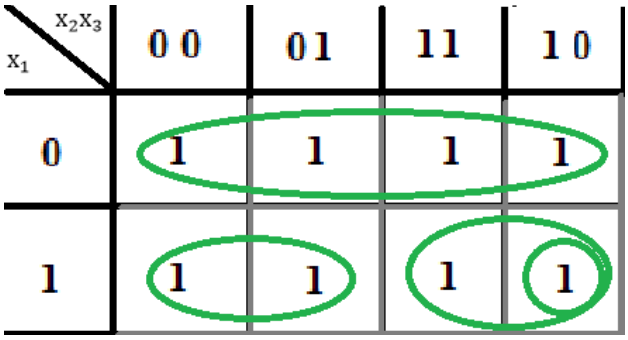

Рисунок 2.11 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.9}$

Таблиця 2.10 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.9}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	1	2	+
7	111	-	-	-	1	1	-

Дуже схожий результат, як і на попередніх двох таблицях ми бачимо у таблиці 2.10: також з’явився 1 рядок із значенням «2» у векторі.

1.1.10 Пропуск змінних у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.12) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.11).

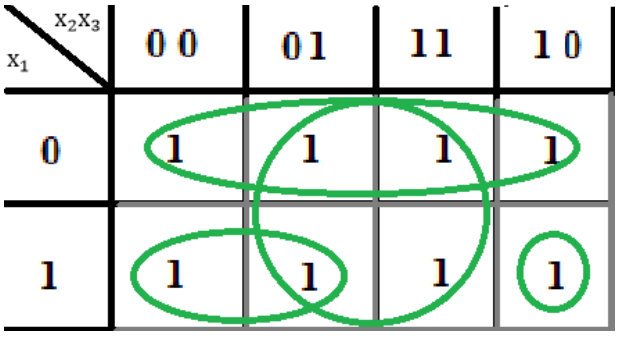

Рисунок 2.12 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.1.10}$

Таблиця 2.11 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.1.10}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	1	2	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	2	+
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	1	2	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.11 ми бачимо, що з’явилися 3 рядка із значенням «2» у векторі помилок. Але кількість все одно непарна, так як помилки були допущені у термі із максимальною кількістю змінних.

Проаналізувавши наведені помилки, можна виявити що вектор помилки «err» у рядку, де була виявлена помилка, значення дорівнює «0» або «2», але не має обох значень одразу. Також ми бачимо, що коли пропущена змінна у термі то займане місце на карті карно збільшується вдвічі, і тому вектор помилки має значення «2». Відповідно значення «0» у векторі помилок з’являється коли терм пропущений повністю.

Адже займане місце на карті залежить від кількості змінних у функції, знаючи кількість змінних у функції, кількість помилок, та значення вектору помилки («0» чи «2») можна вивести формули для пошуку розміру терма у якому була допущена помилка.

Тому, якщо всі значення відмінні від «1» у векторі дорівнюють «0», то розмір терма можна знайти за наступною формулою:

(2.1)

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір пропущеного терма повністю.

Якщо всі значення окрім «1» у векторі дорівнюють «2», то ми маємо 2 ситуації: коли кількість відмінних від «1» значень парна та непарна.

Непарна кількість може трапитися тільки у термі розміром n, а тому треба виявити кількість пропущених змінних:

a = , (2.2)

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, а – кількість пропущених змінних у термі.

Коли кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок парна, то потрібно розрахувати також розмір терма у якому були пропущені змінні. Тому розмір терму можна виявити за наступною формулою:

(2.3)

Кількість пропущених змінних же можна виявити за наступною формулою:

. (2.4)

У формулах (2.1.3) та (2.1.4) у «» частині потрібно відкинути всю дрібну частину задля коректних розрахунків.

1.2 Інверсія букв

Далі розглянемо приклади з некоректною інверсією.

1.2.1 Інверсія терму

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.13) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.12).

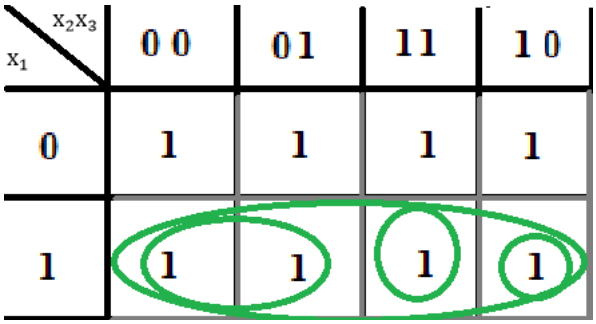

Рисунок 2.13 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.1}$

Таблиця 2.12– Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.1}$

№						err	
0	000	-	-	-	-	0	+
1	001	-	-	-	-	0	+
2	010	-	-	-	-	0	+
3	011	-	-	-	-	0	+
4	100	1	1	-	-	2	+
5	101	1	1	-	-	2	+
6	110	1	-	1	-	2	+
7	111	1	-	-	1	2	+

У таблиці 2.12 можна побачити, що всі 8 рядків мають відмінне від «1» значення у векторі «err». Але присутні, як значення «0», так і значення «2» і їх кількість однакова. Також оглянув координати, можна побачити, що усім рядкам із значенням «0» відповідає рядок із значенням «2» з протилежною координатою.

1.2.2 терму

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.14) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.13).

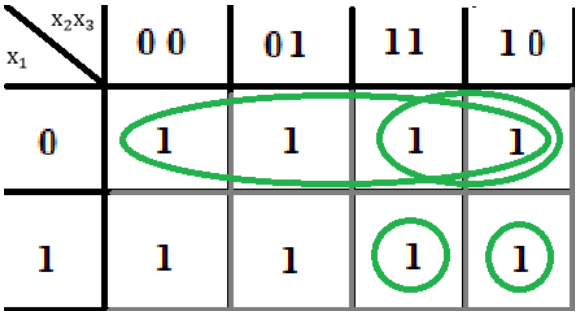

Рисунок 2.14 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.2}$

Таблиця 2.13– Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.2}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	1	-	-	2	+
3	011	1	1	-	-	2	+
4	100	-	-	-	-	0	+
5	101	-	-	-	-	0	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.13 кількість відмінних від «1» значень 4, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0» у стовпці «err». Також тут вже різниця по двом координатам .

1.2.3 Інверсія терму

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.15) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.14).

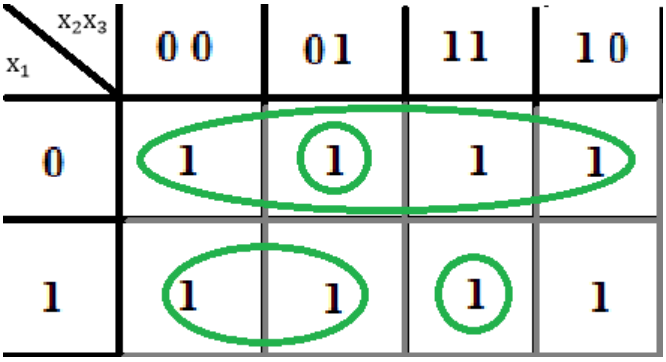

Рисунок 2.15 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.3}$

У таблиці 2.14 кількість відмінних від «1» значень 2, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0» у стовпці «err». По аналогії з попередніми прикладами, тут рядок із значенням «0» відрізняються вже по всім трьом координатам: .

Таблиця 2.14 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.3}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	1	-	2	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	-	-	0	+
7	111	-	-	-	1	1	-

1.2.4 Інверсія терму

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.16) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.15).

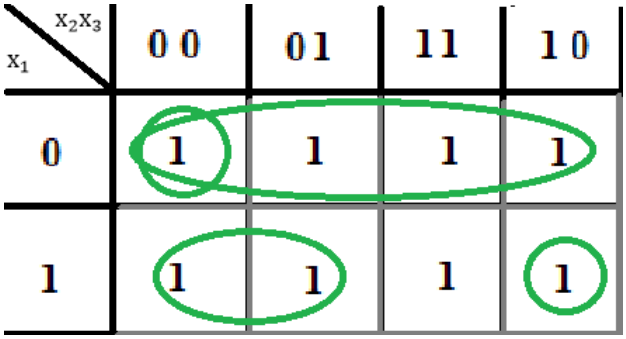

Рисунок 2.16 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.4}$

У таблиці 2.15 кількість відмінних від «1» значень 2, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0» у стовпці «err». І це мінімальна кількість рядків, де проявилася помилка, яка залежить від розміру терма. Так само як і у попередньому прикладі, різниця у рядках можна побачити по трьом координатам. Та щоб побачити у якому термі була помилка, можна звернути увагу на координати у рядку, де вектор помилки має значення «0».

Таблиця 2.15 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.4}$

№						err	
0	000	1	-	-	1	2	+
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	-	0	+

1.2.5 Інверсія змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.17) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.16).

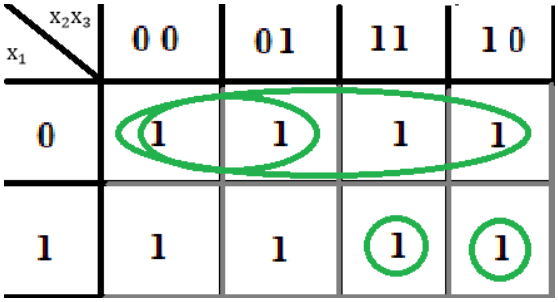

Рисунок 2.17 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.5}$

У таблиці 2.16 кількість відмінних від «1» значень 4, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0» у стовпці «err». Тож можна припустити, що кількість відмінних від «1» значень залежить від розміру терма, а не кількості некоректних інверсій.

Таблиця 2.16 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.5}$

№						err	
0	000	1	1	-	-	2	+
1	001	1	1	-	-	2	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	-	-	-	0	+
5	101	-	-	-	-	0	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

Проаналізувавши ці координати, можна побачити, що так як інвертований був терм, то ця координата змінилася з «1» на «0». І взявши рядки із вектором помилки «0», можна побачити що у «100» та «101» координатах спільні координати, і вони вказують на те, у якому термі відбулася помилка. Тобто, якщо координата була «0», то змінна була з інверсією, а при «1» – без.

1.2.6 змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.18) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.17).

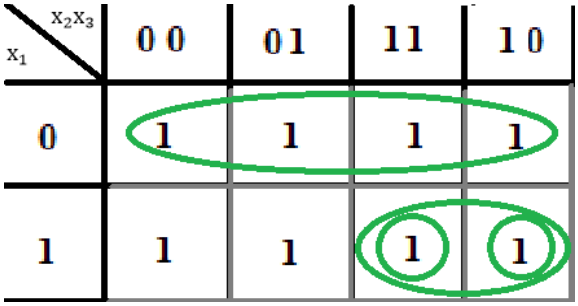

Рисунок 2.18 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.6}$

Таблиця 2.17 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.6}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	-	-	-	0	+
5	101	-	-	-	-	0	+
6	110	-	1	1	-	2	+
7	111	-	1	-	1	2	+

У таблиці 2.17 кількість відмінних від «1» значень 4, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0». Так само тут можна розбити рядки із значенням «2» та «0» у векторі помилок попарно: «100» - «110», «101» - «111». Тут видно що різниця у координаті. А проаналізувавши рядки із значенням «0»: «100» та «101» ми бачимо, які координати не змінюються,

тобто, терм у якому була помилка – . Так само можна і проаналізувати рядки із значенням «2» і побачити як терм виглядає із помилкою.

1.2.7 змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.19) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.18).

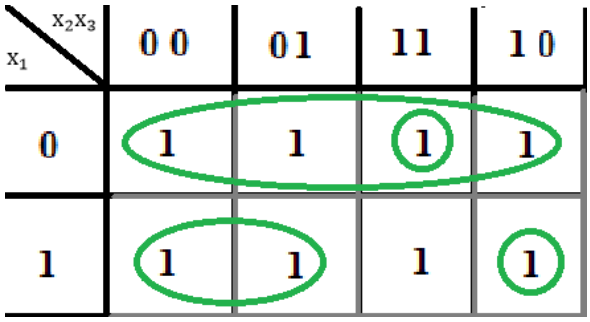

Рисунок 2.19 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.7}$

Таблиця 2.18 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.7}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	1	2	+
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	-	0	+

У таблиці 2.18 кількість відмінних від «1» значень дорівнює 2 – мінімальна, і так само кількість «2» дорівнює кількості «0» і це нам каже про те що була помилка з інверсією у термі з всіма змінними. Тому, по рядку із

значенням «0» – «111», можна одразу побачити, що терм у якому сталася помилка – . А порівнявши до рядка із значенням «2», то можна побачити, що координата яка змінилася – .

1.2.8 Інверсія змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.20) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.19).

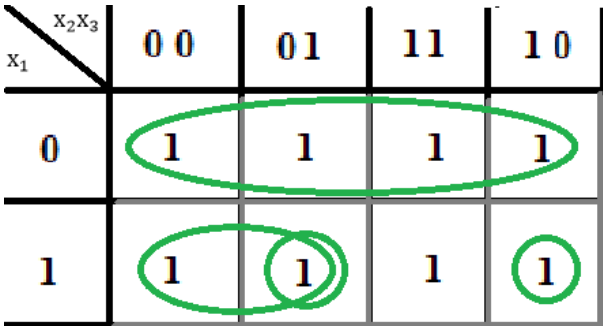

Рисунок 2.20 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.8}$

Таблиця 2.19 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.8}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	1	2	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	-	0	+

У таблиці 2.19, по аналогії з попередньою кількість відмінних від «1» значень 2 і так само кількість «2» дорівнює кількості «0». По аналогії з попереднім прикладом бачимо, що помилка сталася у координаті у термі.

1.2.9 змінної у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.21) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.20).

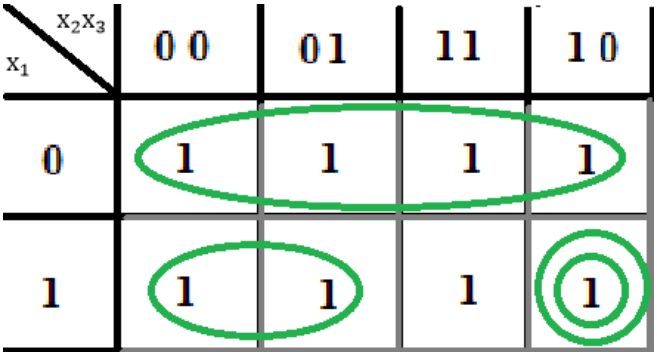

Рисунок 2.21 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.9}$

Таблиця 2.20 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.9}$

№						er r	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	1	2	+
7	111	-	-	-	-	0	+

У таблиці 2.20, по аналогії з двома попередніми кількість відмінних від «1» значень 2 і кількість «2» дорівнює кількості «0». Так само, як і у попередньому прикладі, координати відрізняються по 1 координаті .

1.2.10 змінних у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.22) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.21).

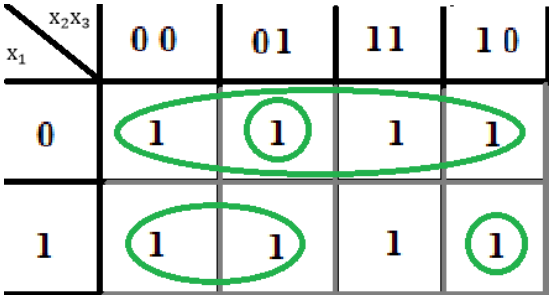

Рисунок 2.22 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.10}$

У таблиці 2.21, по аналогії з трьома попередніми випадками кількість відмінних від «1» значень 2 і кількість «2» дорівнює кількості «0». Але у цьому прикладі було допущено помилки із інверсіє у двох змінних, і це помітно лише порівнюючи рядки, де вектор помилок має значення «0» та «2»: «001» та «111» мають різницю у двох координатах. Хоча на попередніх прикладах різниця була лише у одній координаті.

Таблиця 2.21 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.10}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	1	2	+

2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	-	0	+

Можна провести аналогію з прикладом 2.2.2, адже там теж були інвертовані 2 змінні. Тут рядків із некоректним значенням у векторі помилок більше, тому що відрізняється розмір терму. Але можна вважати приклади 2.2.2 та 2.2.10 за приклади, у яких було допущено 2 помилки, а приклади 2.2.3 та 2.2.4 – із трьома.

Проаналізувавши функції з помилками в інверсії, можна побачити що, при таких помилках кількість «0» дорівнює кількості «2» у векторі помилок.

Розмір терму у якому була зроблена помилка можна виявити за наступною формулою:

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір терма у якому відбулася помилка.

2.3. Переплутування змінних

Далі розглянемо приклади помилок з переплутаними змінними.

2.3.1. Заміна , та

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.23) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.22).

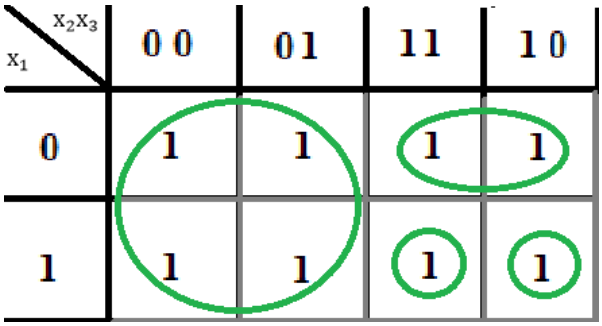

Рисунок 2.23 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.1}$

Таблиця 2.22 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.1}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	-	1	-	-	1	-
3	011	-	1	-	-	1	-
4	100	1	-	-	-	1	-
5	101	1	-	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

При взаємозаміні змінних неможливо виявити помилку за таблицею 2.22. Адже всі терми у функції нові. Тож це утворює нову функцію без помилок.

2.3.2. Заміна ,

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.24) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.23).

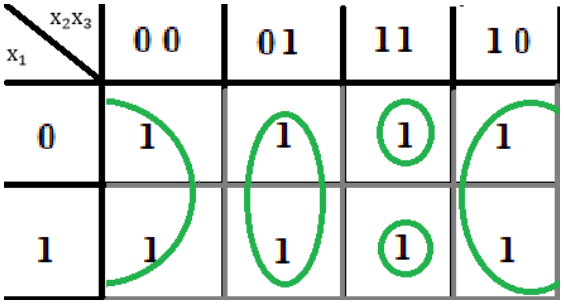

Рисунок 2.24 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.2}$

Таблиця 2.23 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.2}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	-	1	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	-	-	1	-	1	-
4	100	1	-	-	-	1	-
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	1	-	-	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

По аналогії з попередньою таблицею у таблиці 2.23 взаємозаміні змінних неможливо виявити помилки. І вектор у всіх випадках має значення «1».

2.3.3. ,

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.25) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.24).

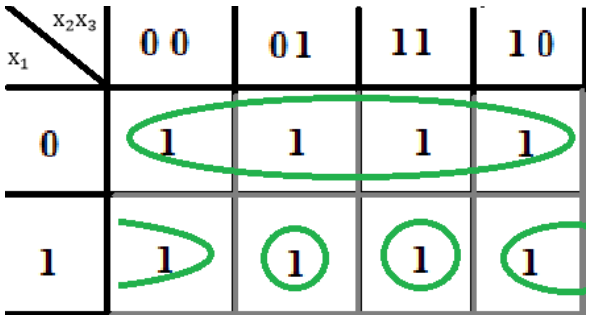

Рисунок 2.25 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.3}$

Таблиця 2.24 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.3}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	-	1	-	1	-
6	110	-	1	-	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

По аналогії з попередніми таблицями у таблиці 2.24 взаємозаміні змінних неможливо виявити помилки. І вектор у всіх випадках має значення «1».

2.3.4. Заміна , та

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.26) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.25).

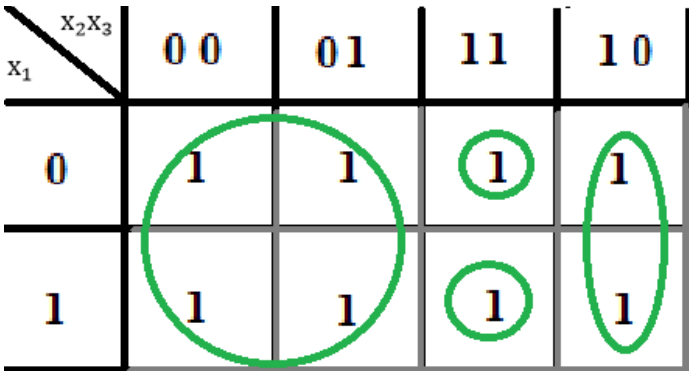

Рисунок 2.26 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.4}$

Таблиця 2.25 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.4}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	-	1	-	-	1	-
3	011	-	-	1	-	1	-
4	100	1	-	-	-	1	-
5	101	1	-	-	-	1	-
6	110	-	1	-	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.25 також не було виявлено помилок, адже вектор має значення «1» у всіх рядках.

2.3.5. Заміна у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.27) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.26).

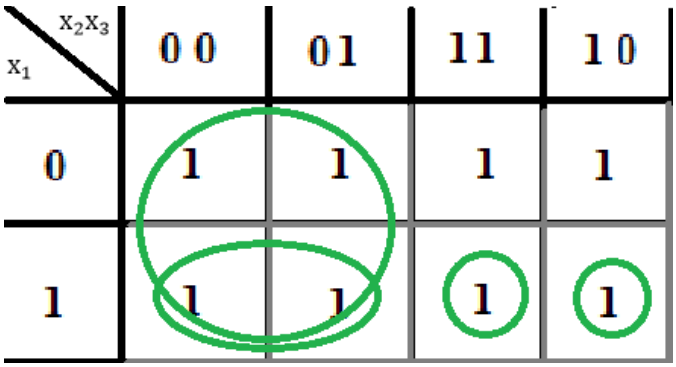

Рисунок 2.27 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.2}$

Таблиця 2.26 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.2}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	-	-	-	-	0	+
3	011	-	-	-	-	0	+
4	100	1	1	-	-	2	+
5	101	1	1	-	-	2	+
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

Проаналізувавши таблицю 2.26, можна побачити, що як і у помилках із втратою інверсії, кількість «0» у векторі помилок дорівнює кількості «2». Таблиця схожа на приклад 2.2.2, але хоча тут значення вектору помилки і у тих самих рядках, значення їх навпаки.

Якщо ж розглядувати у контексті однієї помилки, то можна порівняти відповідні пари координат із значенням «0» та «2»: «010» - «100», «011» - «101», то можна побачити, що кожна пара відрізняється за двома координатами. У той час як одна помилка із інверсією відрізняється за однією координатою.

2.3.6. Заміна у термі

Функція має наступний вигляд:

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.28) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.27).

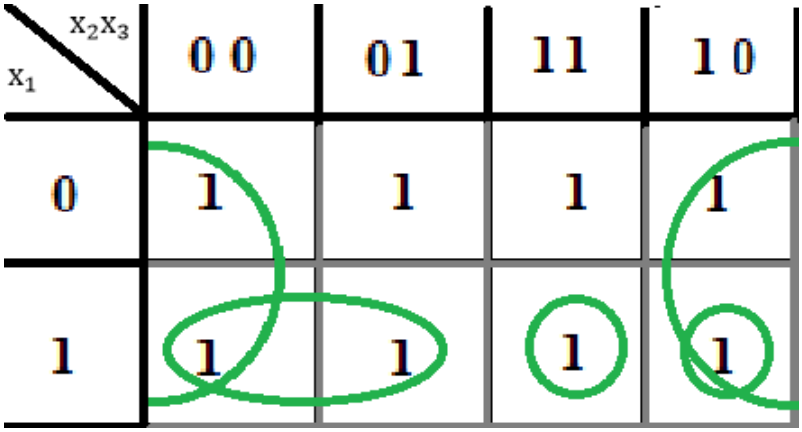

Рисунок 2.28 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.6}$

Таблиця 2.27 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.6}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	-	-	-	-	0	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	-	-	-	-	0	+
4	100	1	1	-	-	2	+
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	1	-	1	-	2	+
7	111	-	-	-	1	1	-

По аналогії з попередньою таблицею у таблиці 2.27 кількість рядків із значенням «0» дорівнює кількості із значенням «2» у векторі помилок. Але відрізняються ці приклади тим, що на таблиці 2.27, рядки, де виявилися помилки утворюють 3 терми. Хоча так само можна розбити попарно координати, та побачити що різниця у координатах .

2.3.7. Заміна у термі

Функція має наступний вигляд:

.

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.29) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.28).

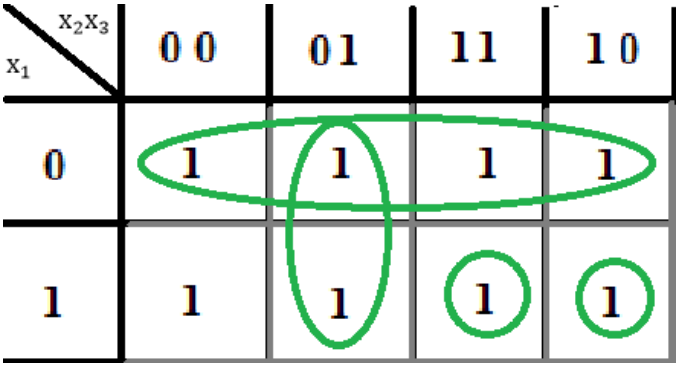

Рисунок 2.29 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.7}$

Таблиця 2.28 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.7}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	1	-	-	2	+
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	-	-	-	0	+
5	101	-	1	-	-	1	-
6	110	-	-	1	-	1	-
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.28 кількість рядків із значенням «0» дорівнює кількості із значенням «2» у векторі помилок. І так як помилок лише 2, то проаналізувати координати більш простіше, та можна побачити, що так само координати відрізняються за двома координатами.

2.3.8. Заміна у термі

Функція має наступний вигляд:

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.30) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.29).

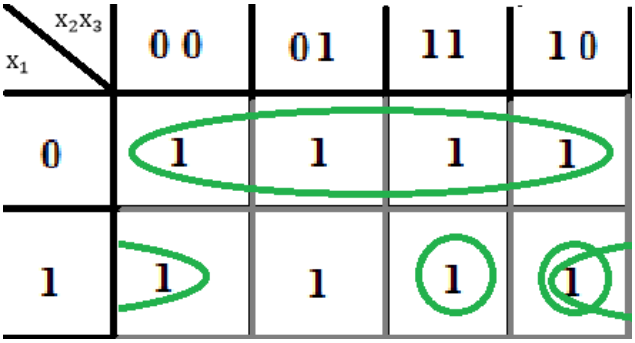

Рисунок 2.30 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.3.8}$

Таблиця 2.29 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.3.8}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	-	-	-	1	-
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	1	-	-	1	-
5	101	-	-	-	-	0	+
6	110	-	1	1	-	2	+
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.29 по аналогії з попередньою таблицею кількість рядків із значенням «0» дорівнює кількості із значенням «2» у векторі помилок. І зміна відбулася у координатах .

2.3.9. Заміна , у термі

Функція має наступний вигляд:

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 2.31) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 2.30).

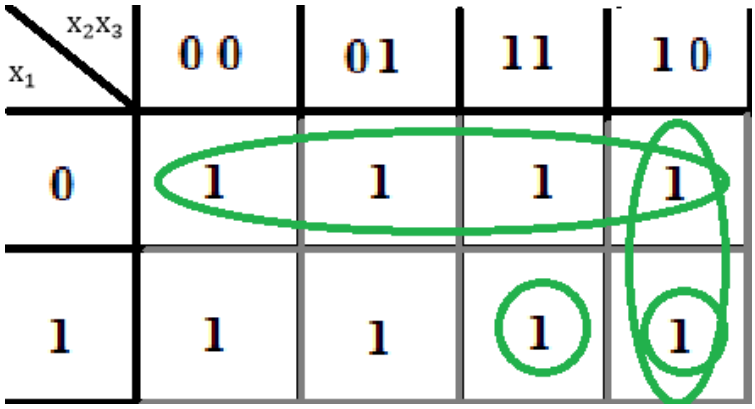

Рисунок 2.31 – Карта Карно для ортогональної функції $f_{2.2.2}$

Таблиця 2.30 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{2.2.2}$

№						err	
0	000	1	-	-	-	1	-
1	001	1	-	-	-	1	-
2	010	1	1	-	-	2	+
3	011	1	-	-	-	1	-
4	100	-	0	-	-	0	+
5	101	-	0	-	-	0	+
6	110	-	1	1	-	2	+
7	111	-	-	-	1	1	-

У таблиці 2.30 можна побачити, що кількість значень відмінних від «1» збільшилася, хоча терм у якому відбулася помилка – ні. Але збільшилася кількість помилок, тому можна припустити, що кількість некоректних значень також залежить від кількості помилок. І проаналізувавши попарно координати із «0» та «2» значеннями у векторі помилок, ми бачимо ту саму закономірність, де відрізняються лише 2 координати: «100» - «010», «101» - «110».

У випадках із взаємною зміною букв на протилежні виявити помилки майже неможливо. Але якщо робити помилку тільки у однієї змінної в термі, то кількість «0» також буде дорівнювати кількості «2» у векторі помилок.

При помилках у однієї змінної можна обчислити розмір терму у якому сталася помилка, за аналогією з формулою (2.5). Але так як помилок не може бути максимальна кількість, тому перетворена формула буде мати наступний вигляд:

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір терма у якому відбулася помилка.

Та треба мати на увазі, що ця формула характерна тільки для однієї такої помилки.

3 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПОМИЛОК

3.1 Метод аналізу помилок

Задля спрощення пошуку помилок, сформуємо метод, який буде складатися з наступних етапів:

3.1.1 Етап 1. Аналіз значень у векторі помилок.

При однієї помилки вектор може мати значення «0», «1» та «2». Але рядок із значенням «1» вказує на те що помилка не проявляється у цьому рядку. Тому у векторі помилок можливі такі випадки:

1) усі значення «1» у векторі помилок. Цей випадок вказує на те, що помилок не було знайдено. Але на прикладах 2.3.1 – 2.3.4 можна побачити, що при взаємозаміні букв, вектор помилок мав всі значення «1» і помилки не виявлялися, адже утворюється нова функція, і описана вона правильно з точки зору умов.

У цієї роботі ми не відстежуємо масковані помилки, а тому далі будемо вважати значення «1» у векторі помилок, як за рядки де помилка не виявляється;

2) усі значення «0» у векторі помилок (не враховуючи значення «1»). Це вказує на те, що було пропущено терм повністю. На прикладах 2.1.1 – 2.1.4 можна побачити, що у всіх випадках вектор помилки завжди має значення «0» у рядках де виявляється помилка і у всіх цих прикладах було пропущено терм повністю.

Для подальшого аналізу перейти до етапу 2, випадку 1;

3) усі значення «2» у векторі помилок (не враховуючи значення «1»). Цей випадок вказує на те, що терм збільшив місце, яке він займає у таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів. Це можливо коли

була пропущена змінна у термі. Такі випадки були розглянуті на прикладах 2.1.5 – 2.1.10. Для подальшого аналізу перейти до етапу 2, випадку 1;

4) кількість значень «0» дорівнює кількості «2». Такі випадки можна побачити на прикладах 2.2.1 – 2.2.10 та 2.3.5 – 2.3.9. Тому неможливо остаточно дізнатися із яким випадком ми маємо справу не проаналізувавши координати, у яких відбулася помилка.

Далі треба мати на увазі, що аналізуються випадки, де була допущена одна помилка. За випадки з декількома помилками будемо також вважати випадки де була інверсія чи зміна букв у цілого терма, розмір якого дорівнює більше одного. Наприклад, приклади 2.2.2, 2.2.10, 2.3.9 вважаються за випадки із двома помилками, а приклади 2.2.3 та 2.2.4 за приклад із трьома помилками.

Потрібно взяти попарно координати рядків із значенням вектору помилок «0» та «2». Зазвичай, відповідні пари йдуть поспіль.

У випадках із некоректною інверсією, пари координати із «0» будуть відрізнятися від «2» за однією буквою, а випадки із переплутуванням – за двома. Тому для подальшого аналізу, на етапі 2, потрібно обрати відповідний випадок 2 чи 3;

5) кількість значень «0» не дорівнює кількості «2». Такі випадки не були виявлені на розглянутих прикладах, але це вказує на те, що помилок було допущено декілька та різних типів.

3.1.2 Етап 2. Аналіз кількості рядків із відмінним від «1» значенням у векторі помилок.

На цьому етапі розглянемо такі випадки:

1) пропуск терму. Маючи кількість відмінних від «1» значень у векторі помилок у векторі, можна знайти тільки розмір пропущеного терму за формулою (2.1):

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір пропущеного терма повністю.

Далі подальшого аналізу потрібно перейти до етапу 4 та випадку 1.

2) пропуск змінної у термі. Аналізуючи кількість відмінних від «1» значень на прикладах 2.1.5 – 2.1.10, можна побачити що кількість може бути парною чи непарною. Це вказує на розмір терму у якому сталася помилка.

Непарна кількість свідчить про те, що змінні були пропущені у термі, який займає найменшу кількість місця у таблиці чи на карті Карно, а саме 1 клітину чи 1 рядок, і терм без помилок складався з n змінних. А кількість пропущених змінних можна обчислити за формулою (2.2):

a = ,

де R – кількість відмінних від «1» значень у векторі помилок, a – кількість пропущених змінних у термі.

Парна кількість значень «2» ускладнює задачу тим, що ми не знаємо розмір терму у якому сталася помилка. Але це можна обчислити за формулою (2.3):

,

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір пропущеного терма повністю.

А, кількість змінних же, які були пропущені можна обчислюється за формулою (2.4):

,

де R – кількість відмінних від «1» значень у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, a – кількість пропущених змінних у термі.

Треба мати на увазі, що у формулах (2.3) та (2.4) у «» частині, яка знаходиться у степені «2», потрібно відкинути всю дрібну частину для коректних розрахунків.

Для подальшого аналізу перейдемо то етапу 3, випадку 1;

3) некоректна інверсія. У прикладах 2.2.1 – 2.2.10 можна побачити, що обидва варіанти з інверсією тільки змінних чи всіх змінних у термі мають однаковий результат – терм на карті Карно змінює своє розташування, і при цьому створюючи однакову кількість «0» та «2» у векторі. Тому у формулі (2.1) треба поділити кількість відмінних від «1» значень на 2, та отримаємо формулу (2.5), за якою можна знайти розмір терму із помилкою:

,

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір пропущеного терма повністю.

Далі потрібно перейти до етапу 3, випадку 2;

4) переплутування змінних. Якщо ж у нас випадок із переплутуванням змінних, то функція приймає інший вигляд. У цих випадках помилка не може проявлятися на всіх рядках, а тому треба зменшити розмір на 1. З цього слідує що можна розмір терму у випадках із переплутуванням змінних можна обчислити за формулою (2.6):

де R – кількість значень відмінних від «1» у векторі помилок, n – загальна кількість змінних (, s – розмір пропущеного терма повністю.

Далі потрібно перейти до етапу 3, випадку 2.

3.1.3 Етап 3. Аналіз рядків на можливі терми з помилкою.

Далі, маючи вже розмір терму у якому сталася помилка, можна проаналізувати у яких термах може бути помилка, та відкинути варіанти, коли терми не підходять за розміром. Для кожного з наступних випадків умова буде трохи відрізнятися:

1) пропуск змінної у термі. Адже у випадках із непарною кількістю відмінних від «1» значень у векторі, розмір у якому була пропущена дорівнює n, тому Далі можна проаналізувати кожний з R рядків де була виявлена помилка, та отримати змінні та методом вилучення можна відкинути всі терми які не дорівнюють умові (n – a).

Випадок із парною кількістю змінних відрізняється тим, що нам також треба визначити розмір терму у якому була помилка. А тому у поточних термах розмір повинен дорівнює (s – a). Усі інші терми можна відкинути.

Також терм повинен входити до всіх рядків, де значення вектору помилок було «2»;

2) некоректна інверсія та переплутуванням змінних. У цих випадках умова буде однакова, потрібно проаналізувати, лише рядки із значенням «2», та відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s, який був обчислений на етапі 2. Хоча формула у випадках із некоректною інверсією та переплутуванням змінних трохи відрізняється.

3.1.4 Етап 4. Аналіз координат у рядках, де була виявлена помилка.

Проаналізуємо наступні випадки:

1) пропуск цілого терма. При помилках із пропуском цілого терму потрібно проаналізувати всі координати із результатом вектору помилок «0». Потрібно вибрати лише ті координати, букви яких не змінювалися на нове значення. Тож цей терм і буде пропущеним. І якщо спільна координата «1», то буква у термі буде без інверсії, а якщо «0» – то з інверсією;

2) пропуск змінної у термі. У цьому випадку потрібно дивитися на координати рядків, де помилка не була виявлена, термів , які не були відкинуті на етапі 3. Тобто, ми дивимося які ще рядки із значенням «1»

вектору займають ці терми і попарно порівнюємо із рядками із значенням відмінним від «1». Різниця має бути у одній букві, та можна зробити висновок який терм було втрачено. І далі потрібно подивитися на координати цієї букви у рядках для цього терму із значенням вектору помилок «1». Якщо ця координата має значення «1», то буква у термі буде без інверсії, а якщо «0» – то з інверсією.

Але можуть бути ситуації де не можна відкинути на етапі 3 терми окрім одного, а тому у таких ситуаціях не можливо остаточно сказати у якому термі була зроблена помилка. Наприклад, таку ситуацію можна побачити на прикладах 2.1.5 та 2.1.8;

3) некоректна інверсія. Порівнявши попарно координати рядків із значенням вектору «2» та «0» можна побачити і якій букві відбулася помилка. Подивившись на цю букву у координатах рядків із значенням вектору помилок «0» можна побачити яка буква повинна бути правильною: «1» – буква у термі буде без інверсії, а якщо «0» – то з інверсією;

4) переплутування змінних. У випадках із переплутуванням змінних будуть відрізнятися 2 координати у парах рядків із значеннями вектору «2» та «0». Можна подивитися які ще займають рядки терми, які не були відкинуті на етапі 3, та проаналізувати спільну частину у рядках для кожного терму із значенням вектору та «1» та у рядках із значенням «0». Таким чином спільна частина – це буде терм без помилки.

3.2 Перевірка методу на прикладі із 5 змінними

Далі для перевірки формул та плану розглянемо приклад із 5 змінними. Граф зображений на рис. 3.1.

Формула має наступний вигляд:

.

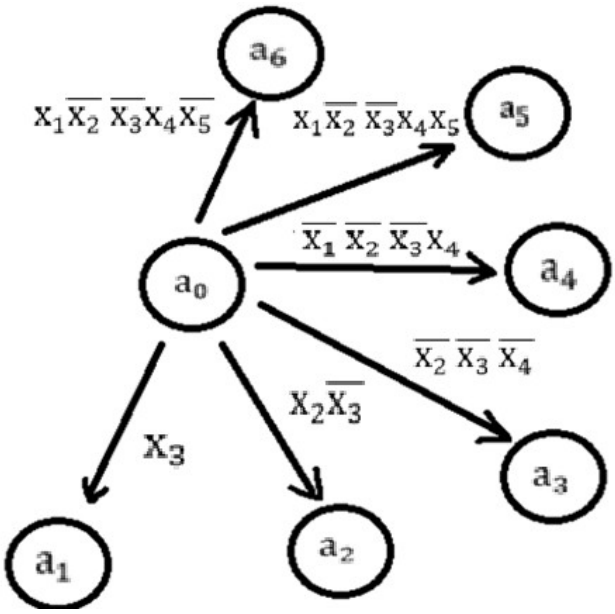

Рисунок 3.1 – Граф переходів ортогональних рішень для

Наведену функцію зображено нижче на карті Карно (рис. 3.2) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.1).

$x_1\,x_2$ \ $x_3x_4x_5$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.2 – Карта Карно ортогональної функції f_3

Таблиця 3.1 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для f_3

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
2	11100	1	-	-	-	-	-	1	-

8									
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.1 можна побачити, що помилки не виявляються у стовпці «err» не знайдено, адже у всіх рядках значення вектору помилок дорівнює «1».

Далі виконаємо перевірки для можливих помилок.

3.2.1 Пропуск букви, терму

3.2.1.1 Пропуск терму. Функціє має наступний вигляд:

.

Карта Карно для функції $f_{3.2.1.1}$ зображена на рис. 3.1.

x_1x_2 \ $x_3x_4x_5$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.3 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.1}$

Таблиця 3.2 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.1}$

№								err	

0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	-	-	-	-	-	-	0	+
5	00101	-	-	-	-	-	-	0	+
6	00110	-	-	-	-	-	-	0	+
7	00111	-	-	-	-	-	-	0	+
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	-	-	-	-	-	-	0	+
13	01101	-	-	-	-	-	-	0	+
14	01110	-	-	-	-	-	-	0	+
15	01111	-	-	-	-	-	-	0	+
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	-	-	-	-	-	-	0	+
21	10101	-	-	-	-	-	-	0	+
22	10110	-	-	-	-	-	-	0	+

Продовження таблиці 3.2

№								err	
23	10111	-	-	-	-	-	-	0	+
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	-	-	-	-	-	-	0	+

29	11101	-	-	-	-	-	-	0	+
30	11110	-	-	-	-	-	-	0	+
31	11111	-	-	-	-	-	-	0	+

У таблиці 3.2 можна побачити, що кількість відмінних від «1» дорівнює 16. Виконаємо аналіз за методом.

Ми бачимо що усі ці рядки мають значення «0», а тому можна зробити висновок, що терм був пропущений повністю. Далі, маючи кількість цих значень, можна знайти розмір терму, який був пропущений за формулою (2.1):

;

;

;

.

Далі за етапом 4 потрібно проаналізувати всі координати із значенням «0» на спільну частину. У координатах «00100» - «00111» ми бачимо що незмінні залишаються букви. Далі у рядках «01100» - «01111» ще змінилася координата . І у рядках «10100» - «10111» та «11100» - «11111» ще змінилася координата . Спільна координата у всіх рядках – і має значення «1», а тому можна зробити висновок, що було пропущено терм у функції.

3.2.1.2 Пропуск терму. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.4) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.3).

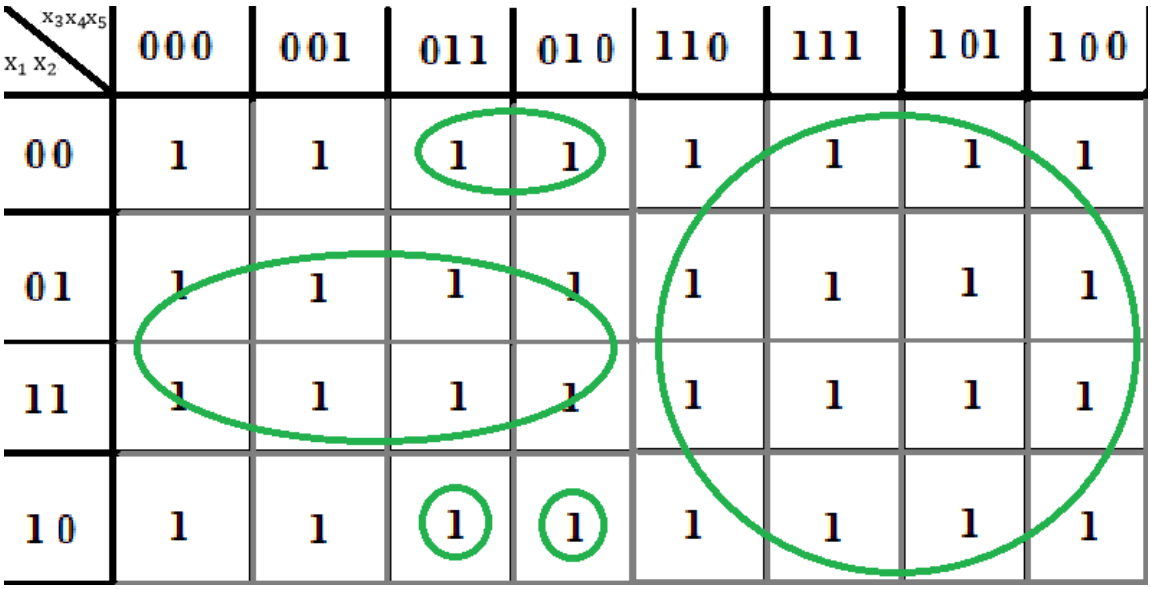

Рисунок 3.4 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.2}$

Таблиця 3.3 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.2}$

№								err	
0	00000	-	-	-	-	-	-	0	+
1	00001	-	-	-	-	-	-	0	+
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	-	-	-	-	0	+
17	10001	-	-	-	-	-	-	0	+
1	10010	-	-	-	-	-	1	1	-

8									

Продовження таблиці 3.3

№								err	
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.3 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 4. Виконаємо аналіз за методом.

Ми бачимо що усі ці рядки мають значення «0», а тому можна зробити висновок, що терм був пропущений повністю. Далі, маючи цих значень помилок, можна знайти розмір терму, який був пропущений за формулою (2.1):

;

;

;

.

Далі за етапом 4 потрібно проаналізувати всі координати із відмінним від «1» значенням на спільну частину. У координатах «00000», «00001», «10000» та «10001» ми бачимо що незмінні залишаються букви. Спільні координати у всіх рядках для цих букв мають значення «000», а тому можна зробити висновок, що у функції було пропущено терм із інверсією у кожній змінній: .

3.2.1.3 Пропуск терму. Функція має наступний вигляд:

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.5) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.4).

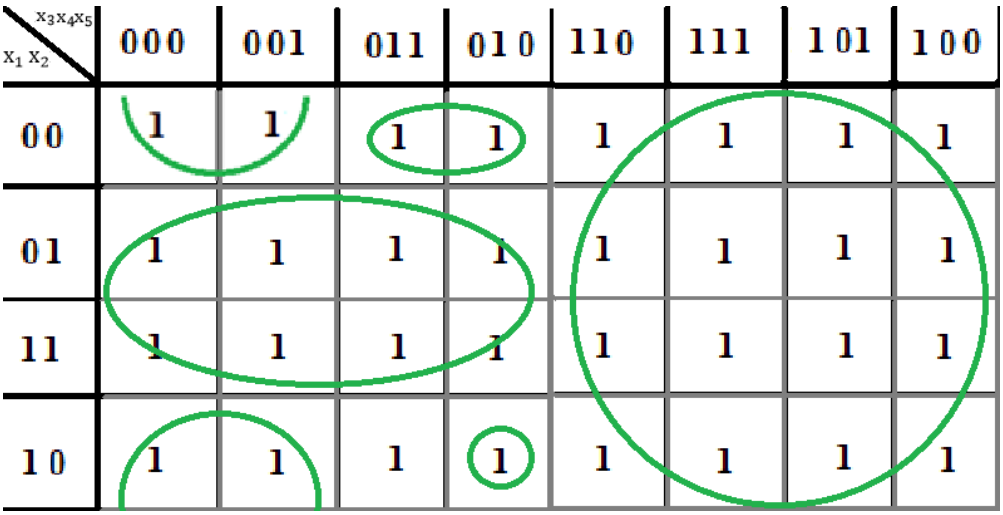

Рисунок 3.5 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.3}$

Таблиця 3.4 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.3}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-

6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 3.4

№								err	
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	-	-	0	+
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.4 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 1. Виконаємо аналіз за методом.

Ми бачимо що рядок, де виявилася має значення «0», а тому можна зробити висновок, що терм був пропущений повністю. Далі, маючи кількість відмінних від «1» значень , можна знайти розмір терму, який був пропущений за формулою (2.1):

;

;

.

Далі за етапом 4 потрібно проаналізувати координату із відмінні від «1» значення. Так як ми маємо лише 1 координату, то вона і вказуватиме нам на пропущений терм. Координата «10011» для кожної із букви має різне значення – «1», а для – «0», тому можна зробити висновок, що у функції було пропущено терм .

3.2.1.4 Пропуск змінної у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.6) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.5).

$x_1 x_2$ \ $x_3x_4x_5$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.6 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.4}$

Таблиця 3.5 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.4}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 3.5

№								err	
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	1	-	2	+
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.5 ми можемо побачити є один рядок, який має значення «2». Це говорить нам про те, що була помилка із пропуском змінних у термі. Кількість відмінних від «1» значень R непарна, та дорівнює 1. Тому це

говорить нам про те, шо змінні були пропущені у термі розміром n. І ми можемо обчислити кількість пропущених змінних за формулою (2.2):

a = ;

;

;

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми які не підходять під умову (n – a). У нашому випадку розмір повинен бути 5 – 1 = 4. У рядки із помилками входять терми та . Тому можна відкинути терм.

Тож залишається терм. Ми бачимо, що цей терм має значення «1» лише у рядку «10011» і це вказує на те, що змінні були пропущені у термі. Тож порівнявши цей терм із термом із помилкою, чи проаналізувавши, яка буква змінює координати у рядках де була помилка («11011»), та у рядку із значенням «1»у векторі для цього терму («10011») можна побачити що пропущена булі змінна.

3.2.1.5 Пропуск змінних у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.7) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.6).

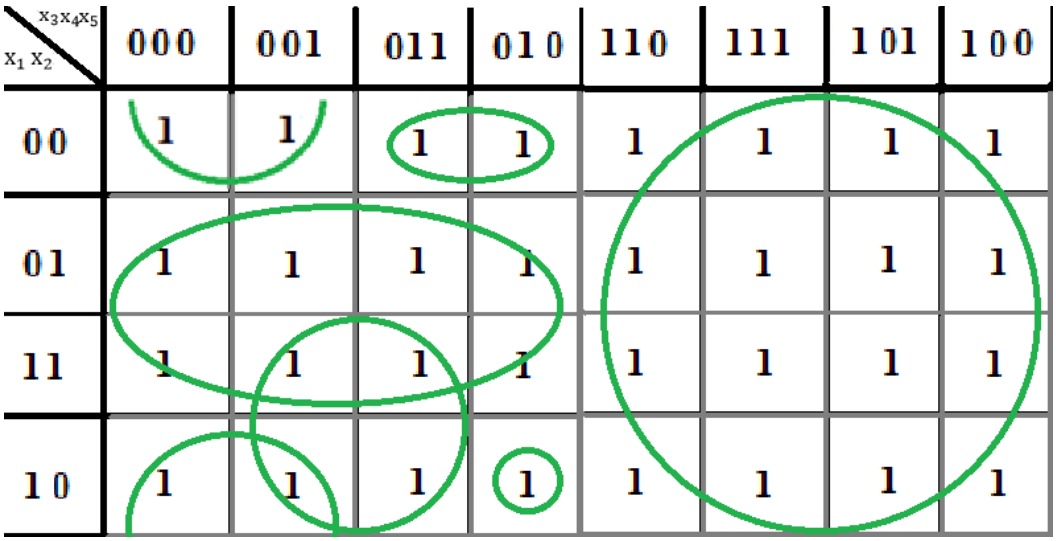

Рисунок 3.7 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.5}$

Таблиця 3.6 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.5}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 3.6

№								err	
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	1	-	2	+
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-

25	11001	-	1	-	-	1	-	2	+
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	1	-	2	+
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.6 ми можемо побачити що всі рядки, де проявилася помилка, мають значення «2». Це говорить нам про те, що були пропущені змінні у терму. Кількість відмінних від «1» значень R непарна, та дорівнює 3. Тому це говорить нам про те, шо змінні були пропущені у термі розміром n. І ми можемо обчислити кількість пропущених змінних за формулою (2.2):

a = ;

;

;

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми які не підходять під умову (n - a). У нашому випадку розмір повинен бути 5 – 2 = 3. У рядки у яких проявилася помилка входять терми , та . Тому можна відкинути терм. Також, терм не входить до всіх рядків із помилкою, тому його треба теж відкинути.

Тож залишається терм. Ми бачимо, що цей терм має значення «1» лише у рядку «10011» і це вказує на те, що змінні були пропущені у термі. Тож порівнявши цей терм із термом із помилкою, чи проаналізувавши, які букви змінюють координати у рядках де була помилка («10001», «11001» та «11011»), можна побачити що пропущені були змінні.

3.2.1.6 Пропуск змінної у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.8) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.7).

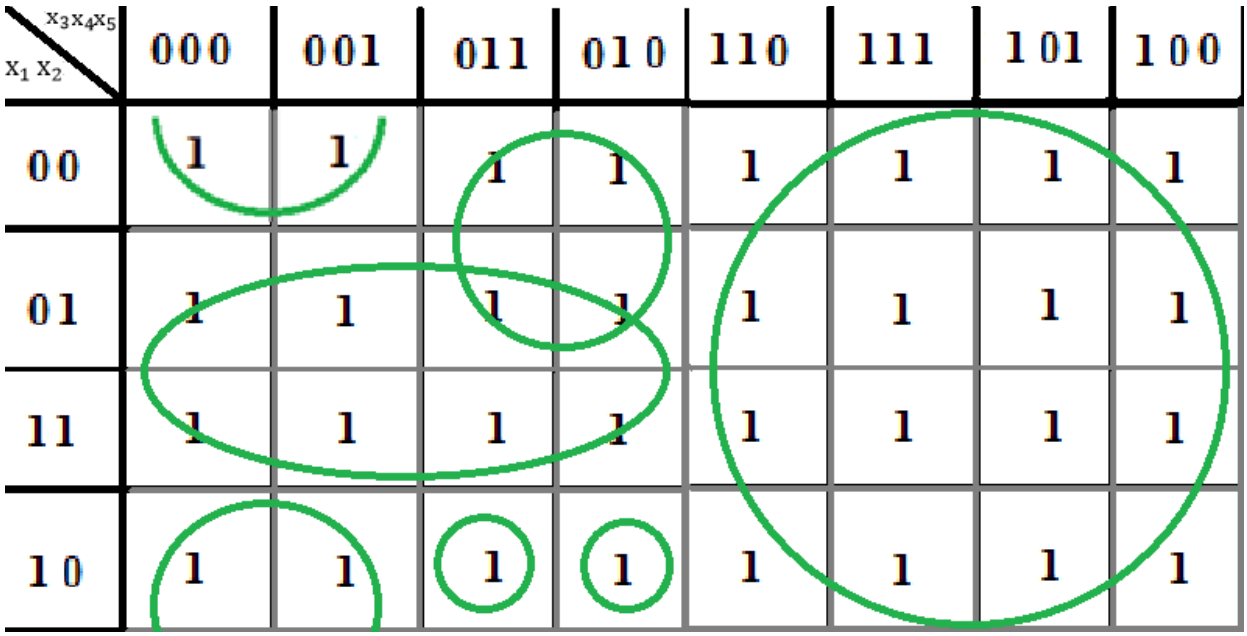

Рисунок 3.8 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.6}$

Таблиця 3.7 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.6}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-

4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	1	-	-	2	+
11	01011	-	1	-	1	-	-	2	+
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.7 ми можемо побачити що всі рядки мають значення «2» окрім «1». Це говорить нам про те, що були пропущені змінні у терму. Кількість відмінних від «1» значень R парна, та дорівнює 2. Тому ми не знаємо розмір терму, у якому були пропущені змінні. Але ми можемо використати формулу (2.3) для пошуку розміру терму з помилкою:

;

;

;

.

Тоді кількість пропущених термів можна знайти за формулою (2.1.4):

;

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми які не підходять під умову (s - a). У нашому випадку розмір повинен бути 4 – 1 = 3. У рядки, де проявилася помилка входять терми та . Тому можна відкинути терм.

Тож залишається терм. Ми бачимо, що цей терм має значення «1» у рядках «00010» та «00011» і взявши координати які не змінюються у цих рядках, можна побачити що змінні були пропущені у термі. Тож порівнявши цей терм із термом із помилкою, чи проаналізувавши, які букви змінюють координати у рядках із та без помилки для цього терму, можна побачити, що пропущена була змінна.

3.2.1.7 Пропуск змінних у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.9) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.8).

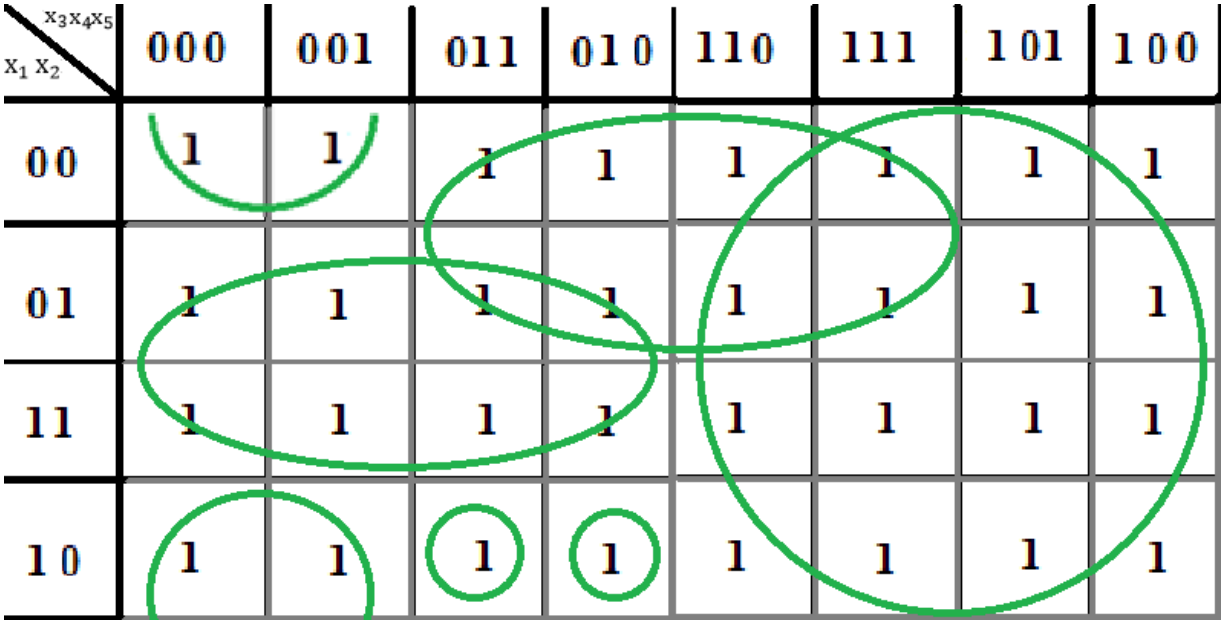

Рисунок 3.9 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.1.7}$

Таблиця 3.8 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.1.7}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	1	-	-	2	+
7	00111	1	-	-	1	-	-	2	+
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	1	-	-	2	+
11	01011	-	1	-	1	-	-	2	+
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-

14	01110	1	-	-	1	-	-	2	+
15	01111	1	-	-	1	-	-	2	+
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 3.7

№								err	
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.7 ми можемо побачити що всі рядки мають значення «2» окрім «1». Це говорить нам про те, що були пропущені змінні у терму. Кількість відмінних від «1» значень R парна, та дорівнює 6. Тому ми не знаємо розмір терму, у якому були пропущені змінні. Але ми можемо використати формулу (2.3) для пошуку розміру терму з помилкою:

;

.

Тоді кількість пропущених термів можна знайти за формулою (2.1.4):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми які не підходять під умову (s - a). У нашому випадку розмір повинен бути 4 – 2 = 2. У рядки, де проявилася помилка входять терми , та . Тому можна відкинути терм. Також, терм не входить до всіх рядків із помилкою, тому його треба теж відкинути.

Тож залишається терм. Ми бачимо, що цей терм має значення «1» у рядках «00010» та «00011» і взявши координати які не змінюються у цих рядках, можна побачити що змінні були пропущені у термі. Тож порівнявши цей терм із термом із помилкою, чи проаналізувавши, які букви змінюють координати у рядках із та без помилки для цього терму, можна побачити, що пропущені були змінні.

3.2.2 Інверсія букв

3.2.2.1 Інверсія змінної у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.10) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.9).

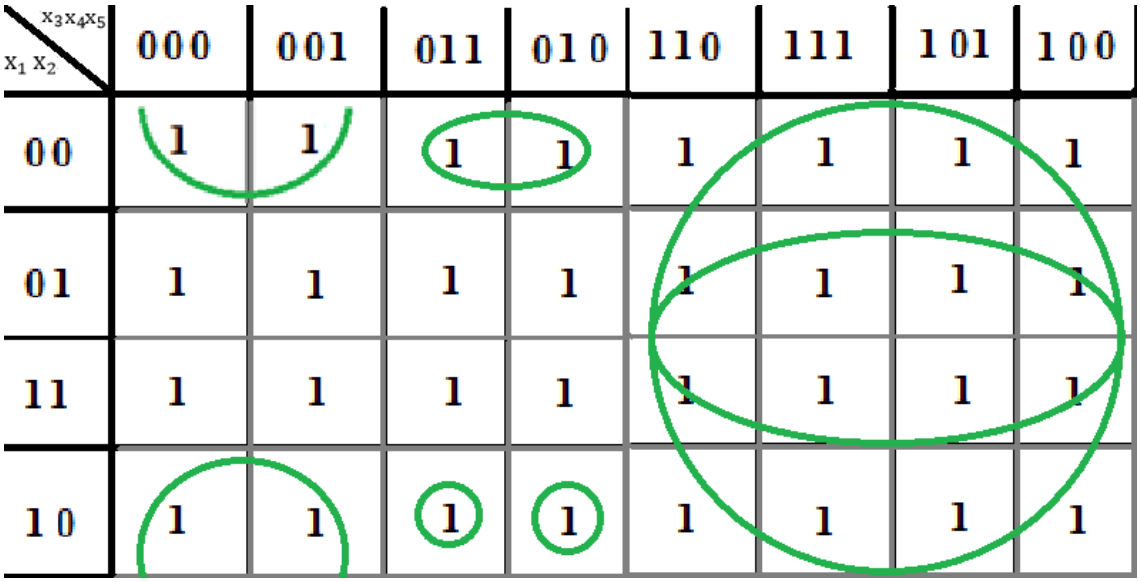

Рисунок 3.10 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.2.1}$

Таблиця 3.9 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.2.1}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	-	-	-	-	-	0	+
9	01001	-	-	-	-	-	-	0	+
10	01010	-	-	-	-	-	-	0	+
11	01011	-	-	-	-	-	-	0	+
12	01100	1	1	-	-	-	-	2	+
13	01101	1	1	-	-	-	-	2	+
14	01110	1	1	-	-	-	-	2	+
15	01111	1	1	-	-	-	-	2	+
1	10000	-	-	1	-	-	-	1	-

6									
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	-	-	-	-	-	0	+
25	11001	-	-	-	-	-	-	0	+
26	11010	-	-	-	-	-	-	0	+
27	11011	-	-	-	-	-	-	0	+
28	11100	1	1	-	-	-	-	2	+
29	11101	1	1	-	-	-	-	2	+
30	11110	1	1	-	-	-	-	2	+
31	11111	1	1	-	-	-	-	2	+

У таблиці 3.9 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 16. Ми бачимо, що ці рядки із помилкою мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («01000» - «01011») та значенням «2» («01100» - «01111» і «11100» - «11111»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються лише за 1 координатою, а це вказує на те, що помилка була із некоректною інверсією. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.5):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 2. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («01000» - «01011») та значенням «2» («01100» - «01111» і «11100» - «11111»), можна побачити, що координата із помилкою це . І так як у рядках із значенням «2» буква має значення «1», то буква змінилася із на .

3.2.2.2 Інверсія змінної у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.11) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.10).

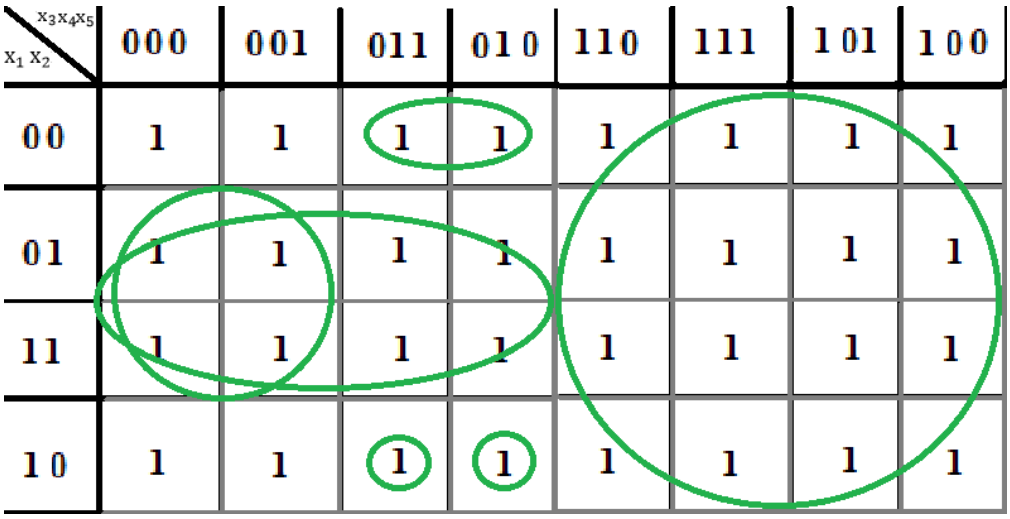

Рисунок 3.11 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.2.2}$

Таблиця 3.10 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.2.2}$

№								err	
0	00000	-	-	-	-	-	-	0	+
1	00001	-	-	-	-	-	-	0	+
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-

5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	1	-	-	-	2	+
9	01001	-	1	1	-	-	-	2	+
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	-	-	-	-	0	+
17	10001	-	-	-	-	-	-	0	+
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	1	-	-	-	2	+
25	11001	-	1	1	-	-	-	2	+
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.10 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 8. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («00000», «00001», «10000» та «10001») та значенням «2» («01000», «01001», «11000» та «11001»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються лише за 1 координатою, а це вказує на те, що помилка була із некоректною інверсією. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.5):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 3. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («00000», «00001», «10000» та «10001») та значенням «2» («01000», «01001», «11000» та «11001»), можна побачити, що координата із помилкою це . І так як у рядках із значенням «2» буква має значення «1», то буква змінилася із на .

3.2.3 Переплутування змінних

3.2.3.1 Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.11) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.10).

У таблиці 3.11 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 8. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

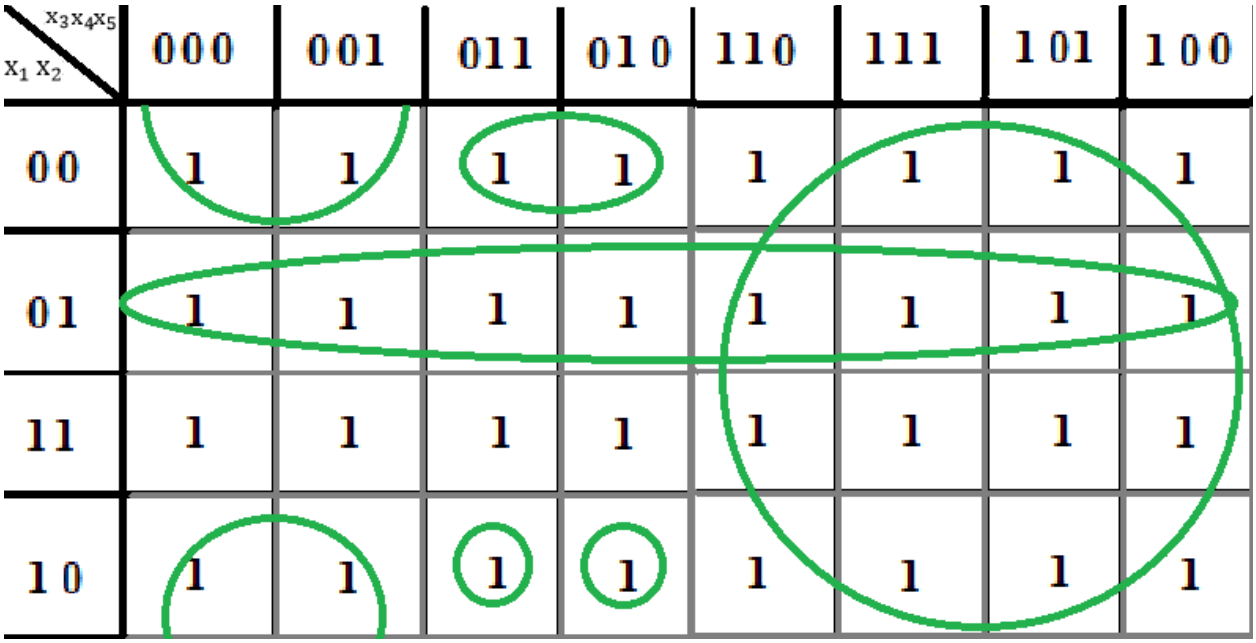

Рисунок 3.12 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.2.2}$

Таблиця 3.11 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.2.2}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	1	-	-	-	-	2	+
13	01101	1	1	-	-	-	-	2	+
1	01110	1	1	-	-	-	-	2	+

4									
15	01111	1	1	-	-	-	-	2	+
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-

Продовження таблиці 3.11

№								err	
24	11000	-	-	-	-	-	-	0	+
25	11001	-	-	-	-	-	-	0	+
26	11010	-	-	-	-	-	-	0	+
27	11011	-	-	-	-	-	-	0	+
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («11000» - «11011») та значенням «2» («01100» - «01111»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються за 2 координатами, а це вказує на те, що помилка була із переплутуванням змінних. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.6):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 2. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та , тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («11000» - «11011») та значенням «2» («01100» - «01111»), можна побачити, що змінювалися координати та . Тому зміна відбулася із цими координатами. І щоб дізнатися правильний терм, то можна подивитися на терм із помилкою на наявність цих координат. І та координата, якої немає була у термі від самого початку.

Чи інший спосіб, це проаналізувати рядки терму із помилкою із значенням «1» та рядки із значенням «0» вектору на спільні координати. Спільні координати будуть указувати на терм, а тому можна зробити висновок, що у нашому випадку було змінено координату на .

3.2.3.2 Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.13) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.12).

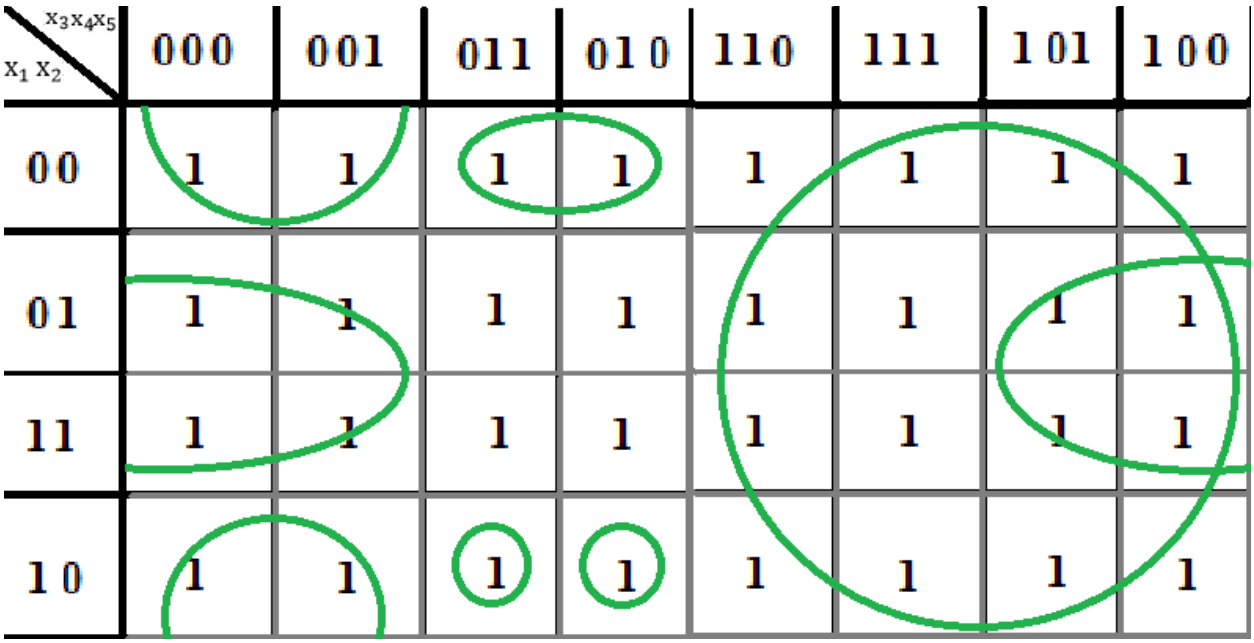

Рисунок 3.13 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.3.2}$

Таблиця 3.12 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.3.2}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	-	-	-	-	-	0	+

Продовження таблиці 3.12

№								err	
11	01011	-	-	-	-	-	-	0	+
12	01100	1	1	-	-	-	-	2	+
13	01101	1	1	-	-	-	-	2	+
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
1	10000	-	-	1	-	-	-	1	-

6									
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	-	-	-	-	-	0	+
27	11011	-	-	-	-	-	-	0	+
28	11100	1	1	-	-	-	-	2	+
29	11101	1	1	-	-	-	-	2	+
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.12 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 8. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («01010», «01011», «11010» та «11011») та значенням «2» («01100», «01101», «11100» та «11101»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються за 2 координатами, а це вказує на те, що помилка була із переплутуванням змінних. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.6):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 2. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («01010», «01011», «11010» та «11011») та значенням «2» («01100», «01101», «11100» та «11101»), можна побачити, що змінювалися координати та . Тому зміна відбулася із цими координатами. І щоб дізнатися правильний терм, можна подивитися на терм із помилкою на наявність цих координат. І та координата, якої немає була у термі від самого початку буде правильною для терму без помилки.

Чи інший спосіб, це проаналізувати рядки терму із помилкою із значенням «1» та рядки із значенням «0» вектору на спільні координати. Спільні координати указують на терм, а тому можна зробити висновок, що у нашому випадку було змінено координату на .

3.2.3.3 Заміна на , на у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.14) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.13).

x_1x_2 \ $x_3x_4x_5$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.14 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.3.3}$

Таблиця 3.13 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.3.3}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	-	-	-	-	-	0	+
9	01001	-	-	-	-	-	-	0	+
10	01010	-	-	-	-	-	-	0	+
11	01011	-	-	-	-	-	-	0	+
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	1	1	-	-	-	2	+
17	10001	-	1	1	-	-	-	2	+
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	1	-	-	-	-	2	+
21	10101	1	1	-	-	-	-	2	+
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	-	-	-	-	-	0	+

27	11011	-	-	-	-	-	-	0	+
28	11100	1	1	-	-	-	-	2	+
29	11101	1	1	-	-	-	-	2	+
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

У таблиці 3.13 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 8. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («01000» - «01100», «11010» та «11011») та значенням «2» («10000», «10001», «10100», «10101», «11100» та «11101»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються за 2 координатами, окрім пар «01010» - «10100» та «01011» - «10101». Ці пари відрізняються за 4 координатами і вказує на те, що помилок було декілька. Проте тип помилок - переплутування змінних. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.6):

.

Адже помилок декілька, тому формула працює трохи некоректно, та треба відкинути остачу від логарифму, адже розмір повинен бути цілим.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 2. У рядки, де проявилася помилка, входять терми , та . Тому можна відкинути та терми.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («01000» - «01100», «11010» та «11011») та значенням «2» («10000», «10001», «10100», «10101», «11100» та «11101»), можна побачити, що змінювалися координати та . Тому зміна відбулася із цими координатами. І щоб дізнатися правильний терм, можна подивитися на терм із помилкою на наявність цих координат. Ми бачимо, що у нас є координати та . Щоб зрозуміти які зміни відбулися, потрібно взяти пари координат де були 2 заміни. Наприклад «01000» - «10000» та «11011» - «11101». У першій парі змінилися координати , а у другій – та . Тому можна зробити висновок, що до помилки терм був .

3.2.3.4 Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.15) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.14).

$x_1 x_2$ \ $x_3x_4x_5$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.15 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.3.4}$

У таблиці 3.14 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 4. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Потрібно проаналізувати попарно координати рядків із значенням «0» («10000» та «10001») та значенням «2» («01000» та «01001»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються за 2 координатами, а це вказує на те, що помилка була із переплутуванням змінних. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.6):

.

Таблиця 3.14 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.3.4}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	-	-	-	1	-
2	00010	-	-	-	1	-	-	1	-
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-
5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	1	-	-	-	2	+
9	01001	-	1	1	-	-	-	2	+
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
1	10000	-	-	-	-	-	-	0	+

6									
17	10001	-	-	-	-	-	-	0	+
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 3. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та . Тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («10000» та «10001») та значенням «2» («01000» та «01001»), можна побачити, що змінювалися координати та . Тому зміна відбулася із цими координатами. І щоб дізнатися правильний терм, можна подивитися на терм із помилкою на наявність цих координат. І та координата, якої немає була у термі від самого початку буде правильною для терма без помилки.

Чи інший спосіб, це проаналізувати рядки терму із помилкою із значенням «1» та рядки із значенням «0» вектору на спільні координати.

Спільні координати указують на терм, а тому можна зробити висновок, що у нашому випадку було змінено координату на .

3.2.3.5 Заміна на у термі. Функція має наступний вигляд:

.

Зобразимо функцію на карті Карно (рис. 3.16) та таблиці аналізу повноти і несуперечності умов переходів (табл. 3.15).

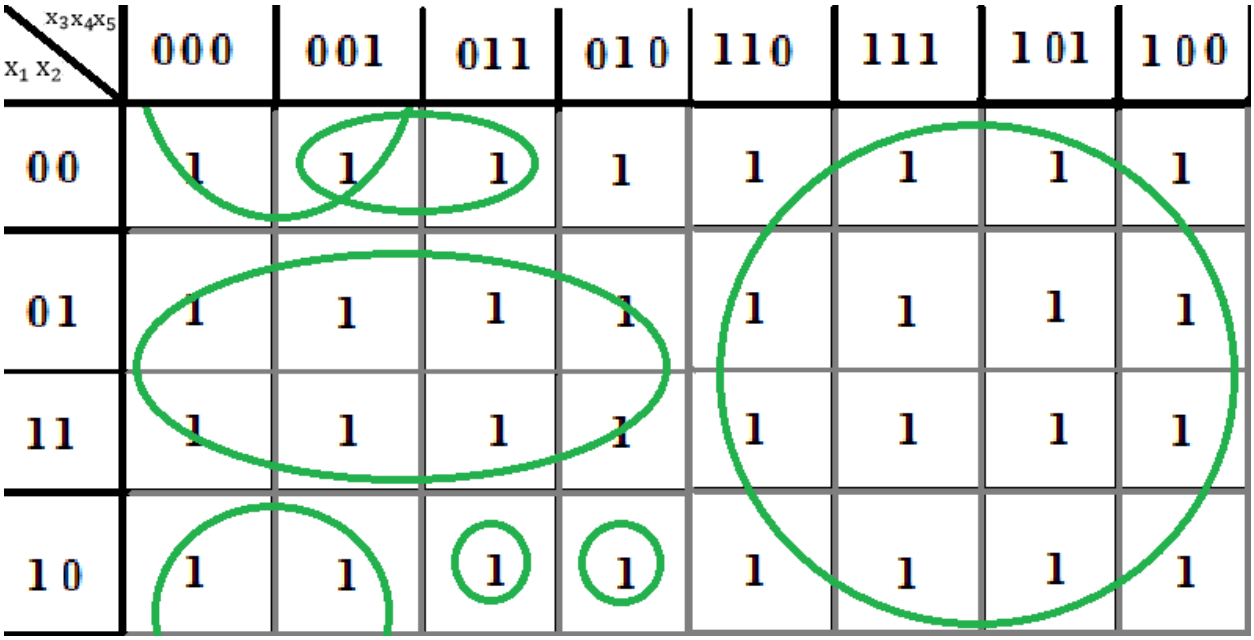

Рисунок 3.16 – Карта Карно ортогональної функції $f_{3.2.3.5}$

У таблиці 3.14 можна побачити, що кількість відмінних від «1» значень дорівнює 2. Ми бачимо, що ці рядки мають значення як «0», так і «2», а тому остаточно який випадок сказати одразу не можна.

Таблиця 3.15 – Таблиця аналізу повноти і несуперечності умов переходів для $f_{3.2.3.5}$

№								err	
0	00000	-	-	1	-	-	-	1	-
1	00001	-	-	1	1	-	-	2	+
2	00010	-	-	-	-	-	-	0	+
3	00011	-	-	-	1	-	-	1	-
4	00100	1	-	-	-	-	-	1	-

5	00101	1	-	-	-	-	-	1	-
6	00110	1	-	-	-	-	-	1	-
7	00111	1	-	-	-	-	-	1	-
8	01000	-	1	-	-	-	-	1	-
9	01001	-	1	-	-	-	-	1	-
10	01010	-	1	-	-	-	-	1	-
11	01011	-	1	-	-	-	-	1	-
12	01100	1	-	-	-	-	-	1	-
13	01101	1	-	-	-	-	-	1	-
14	01110	1	-	-	-	-	-	1	-
15	01111	1	-	-	-	-	-	1	-
16	10000	-	-	1	-	-	-	1	-
17	10001	-	-	1	-	-	-	1	-
18	10010	-	-	-	-	-	1	1	-
19	10011	-	-	-	-	1	-	1	-
20	10100	1	-	-	-	-	-	1	-
21	10101	1	-	-	-	-	-	1	-
22	10110	1	-	-	-	-	-	1	-
23	10111	1	-	-	-	-	-	1	-
24	11000	-	1	-	-	-	-	1	-
25	11001	-	1	-	-	-	-	1	-
26	11010	-	1	-	-	-	-	1	-
27	11011	-	1	-	-	-	-	1	-
28	11100	1	-	-	-	-	-	1	-
29	11101	1	-	-	-	-	-	1	-
30	11110	1	-	-	-	-	-	1	-
31	11111	1	-	-	-	-	-	1	-

Потрібно проаналізувати координати рядків із значенням «0» («00010») та значенням «2» («00001»). Можна побачити, що попарно координати відрізняються за 2 координатами, а це вказує на те, що помилка була із переплутуванням змінних. Тоді можна порахувати розмір терму у якому була помилка за формулою (2.6):

.

Далі за етапом 3 потрібно відкинути усі терми, розмір яких не дорівнює s. У нашому випадку розмір повинен бути 3. У рядки, де проявилася помилка, входять терми та . Тому можна відкинути терм.

Далі за етапом 4 знову порівнявши координати рядків із значенням «0» («00010») та значенням «2» («00001»), можна побачити, що змінювалися координати та . Тому зміна відбулася із цими координатами. І щоб дізнатися правильний терм, можна подивитися на терм із помилкою на наявність цих координат. І та координата, якої немає була у термі від самого початку буде правильною для терму без помилки.

Чи інший спосіб, це проаналізувати рядки терму із помилкою із значенням «1» та рядки із значенням «0» вектору на спільні координати. Спільні координати указують на терм, а тому можна зробити висновок, що у нашому випадку було змінено координату на .

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень було виконано:

– розроблено модель опису коректних умов переходів;

– проаналізовано усі можливі типи помилок у ортогональних логічних функціях;

– проаналізовано формальні ознаки помилок умов переходів у графових моделях керуючих автоматів;

– знайдені та структуровані закономірності у виявлених помилках;

– розроблено метод пошуку помилок;

– експериментально перевірено метод пошуку помилок на прикладах.

Наукова новизна: розроблений формальний метод аналізу помилок в умовах переходів у графових моделях керуючих автоматів, який дозволяє за формальними ознаками визначати не тільки стани автомата, які мають некоректно описані умови переходів, а й локалізувати помилки в умовах переходів.

Практична значимість: розроблений метод дає можливість скорочувати час пошуку джерел проблем некоректного автоматизованого синтезу автоматів, якщо є помилки в опису умов переходів у графових моделях керуючих автоматів. Він дає можливість виявляти ці помилки автоматично ще на етапі компіляції вихідної мовної моделі автомата, тобто може запобігати їх до синтезу, позбавляючи проектувальника виконувати власний ручний аналіз і пошук вже після некоректного синтезу. Метод призначається для систем моделювання і САПР.

Наукові дослідження магістерської атестаційної роботи були апробовані і опубліковані в науковому виданні [16].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Савельев, А. Я. Прикладная теория цифровых автоматов [Текст] : учеб. пособие / А. Я. Савельев. – М. : Высш. шк., 1987. – 255 с.

2. Баранов, С. И. Синтез микропрограммных автоматов (граф схемы и автоматы) [Текст] / С. И. Баранов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1979. – 232 с.

3. Ожиганов, А. А. Теория автоматов [Текст] : учеб. пособие / А. А. Ожиганов. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 84 с.

4. Хэррис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера второе издание [Текст] / Д. М. Хэррис, С. Л. Хэррис. – Morgan Kaufman, 2015. – 1628 с. – ISBN 978-0-9954839-1-0.

5. Кривуля, Г. Ф. Комп'ютерна схемотехніка [Текст] : підручник / Г. Ф. Кривуля, В. М. Рябенький, О. І. Рязанцев. – Л. : СНУ ім. В. Даля, 2007 (або 2009). – 744 с.

6. Борисенко, О. А. Цифрова схемотехніка [Текст] : підручник / О. А. Борисенко. – С. : Сумський державний університет, 2016. – 200 с. – ISBN 978-966-657-642-5.

7. Угрюмов, Е. П. Цифровая схемотехника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. П. Угрюмов. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ – Петербург, 2010. – 800 с.

8. Volnei, A. P. Finite state machines in hardware : theory and design (with VHDL and SystemVerilog) [Текст] / A. P. Volnei. – The MIT Press Cambridge, 2013. – 349 p. – ISBN 978-0-262-01966-8.

9. Шкиль, О. С. Аналіз коректності графів переходів керуючих автоматів при побудові hdl-моделей для автоматизованого синтезу [Текст] / О. С. Шкіль, Е. М. Кулак, І. В. Філіппенко, О. Г. Шакура, В. В. Фоменко // Радиоэлектроника и информатика. – 2019. – №1 [84]. – С. 28-34.

10. Шалыто А.А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и

программирование задач логического управления [Текст] / А.А. Шалыто. – СПб.: Наука, 1998. – 628 с.

11. Закревский А.Д., Логические основы проектирования дискретных устройств [Текст] / А.Д. Закревский, Ю.В. Поттосин, Л.Д. Черемисинова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 592 с.

12. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. – 276с.

13. Шкіль, А. С. Автоматизированное проектирование систем логического управления с использованием шаблонов автоматного программирования [Текст] / А. С. Шкиль, Э. Н. Кулак, И. В. Филиппенко, Д. Е. Кучеренко, М. В. Гога. // Радіоелектроніка та інформатика. – 2018. – №3. – С. 75-81.

14. Шкиль, О. С. Аналіз коректності графів переходів керуючих автоматів при побудові hdl-моделей для автоматизованого синтезу [Текст] / О. С. Шкіль, Е. М. Кулак, І. В. Філіппенко, О. Г. Шакура, В. В. Фоменко // Радиоэлектроника и информатика. – 2019. – №1 [84]. – С. 28-34.

15. Кораблев, Н. М. Подсистема синтеза конечных микрокомандных автоматов [Текст] / Н. М. Кораблев, Э. Н. Кулак, А. Г Шакура // Матеріали дев’ятої міжнародної науково-технічної конференції Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. – Баку – Харків – Жиліна, – 11-12 квітня 2019. – 43 с.

16. Кулак Е.М. Метод пошуку помилок в умовах переходів графових моделей керуючих автоматів [Текст] / Е.М. Кулак, О.О. Погудін, Г.К. Кулак // Тези доповідей восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» Черкаси – Харків – Баку – Бельско-Бяла. – 26-27 листопада 2020р. с. 53.