

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

**Леонов Сергій Юрійович**



УДК 004.94

**ТЕОРІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ  
ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ К-ЗНАЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Дмитрієнко Валерій Дмитрович**,  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут",  
професор кафедри обчислювальної техніки  
та програмування

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Кривуля Геннадій Федорович**,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки,  
професор кафедри автоматизації  
проектування обчислювальної техніки

доктор технічних наук, професор  
**Скобцов Юрій Олександрович**,  
Донецький національний технічний  
університет,  
завідувач кафедри автоматизованих систем  
управління

доктор технічних наук, професор  
**Малиновський Михайло Леонідович**,  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка,  
професор кафедри автоматизації та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Захист відбудеться "16" жовтня 2014 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 (електрокорпус, 1-й поверх, ауд. 54-Б).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий "12" вересня 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Системи моделювання цифрових пристроїв на основі персональних комп'ютерів пов'язані з урахуванням двох аспектів: розробки математичного апарату на основі булевої алгебри та багатозначних алфавітів, що не вимагає трудомісткості обчислень та необхідності забезпечення достатньої точності моделювання. Тому доцільним є розробка математичного апарату і систем моделювання, які б не вимагали великих обсягів обчислень як моделі на основі безперервних диференційних рівнянь, але забезпечували суттєво більш високу точність, ніж моделювання на основі двійкового моделювання, з використанням багатозначних алфавітів або поєднання булева моделювання та багатозначних алфавітів. Тому перспективним є розвиток теорії і методів моделювання обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значного кодування сигналів і опис процесів функціонування цифрових пристроїв на базі  $K$ -значного диференційного числення для підвищення ефективності автоматизованого проектування електронних пристроїв з урахуванням перешкод.

Одними з перших робіт, присвячених моделюванню цифрових пристроїв на основі аналізу перемикачів в логічних елементах за допомогою диференціальних співвідношень, були роботи Д. Бохмана. Подальший розвиток йшов по шляху збільшення значності, застосування нечітких значень, вводу різних алфавітів тощо. В теорію моделювання цифрових пристроїв значний вклад внесли відомі вчені, які працювали в цих напрямках. Серед них можна виділити О.В. Бузовського, Л.В. Дербуновича, Г.Ф. Кривулю, В.І. Левина, Ю.В. Малишенко, І.П. Норенкова, П.П. Пархоменко, А.А. Самарського, Ю.О. Скобцова, С.А. Смолова, Е.С. Согомояна, Д.В. Сперанського, Ю.А. Татарникова, Р.Й. Убара, В.І. Хаханова, С.Г. Шаршунова, В.А. Шахнова, В.Н. Ярмолика та інших.

Велике значення багатозначному моделюванню і проектуванню на його основі приділяють у своїх роботах такі вчені, як Tsutomu Sasao, Elena Dubrova, Yutaka Takahashi, Michitaka Kameyama, Bo Yang, Robert Wille, Cengiz Kahraman, Xiaowang Zhang, Tetsuo Yokoyama, Tsuyoshi Tanizawa, Shota Ishihara, Yang Xu, Li Zou, Marek Perkowski, Pedro A.C., Aktouf C. та інші. Цьому питанню також присвячені щорічні конференції з багатозначної логіки.

Але існуючі методи і системи аналізу працездатності обчислювальних пристроїв на основі двійкового моделювання та багатозначних алфавітів потребують подальшого удосконалення для обліку в них таких параметрів сигналів, як їх амплітуда, різна тривалість фронтів і затримок імпульсів, паразитних диференціальних зв'язків, які стають актуальними при аналізі впливу на працездатність обчислювальних пристроїв при їх роботі на високих частотах. При розробці цифрових пристроїв важлива роль відводиться дослідженню паразитних електромагнітних процесів в пристроях та їх печатних платах і оцінці їх впливу на швидкодію та електромагнітну сумісність (ЕМС) пристроїв, коли сигнали перешкод накладаються на інформаційні та керуючі сигнали обчислювальних пристроїв.

У вирішенні проблеми автоматизованого проектування і створення САПР обчислювальних пристроїв перспективним також є використання теорії і методів штучного інтелекту (ШІ) та нейронних мереж як однієї зі складових штучного інтелекту. Також об'єднання дослідження динаміки перемикання сигналів, що мало місце в булевому диференційному численні, з багатозначним моделюванням і описом динамічних процесів перемикання сигналів і паразитних зв'язків у пристроях може бути здійснено на основі  $K$ -значного диференційного числення. Такий підхід зумовив розробку нового класу математичних моделей –  $K$ -значних диференційних та інтегральних рівнянь, які дають більш повні дані про працездатність пристроїв на стадії їх проектування в порівнянні з системами булевих рівнянь і не вимагають таких обчислювальних витрат як системи безперервних диференційних рівнянь.

Таким чином, актуальність проблеми дослідження працездатності обчислювальних пристроїв з урахуванням перешкод, їх автоматизованої діагностики, диктується сучасними тенденціями розвитку САПР цифрових обчислювальних пристроїв. Для вирішення цієї проблеми потрібна розробка ефективного інструменту проектування сучасних складних швидкодіючих пристроїв, виконаних на сучасній елементній базі.

**Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами.** Робота виконувалася відповідно до держбюджетної тематики кафедри обчислювальної техніки та програмування НТУ "ХПІ" у рамках держбюджетних НДР МОН України: "Розробка теорії математичного моделювання гібридних динамічних об'єктів на основі  $K$ -значного диференційного числення" (№ д/р 0198U005683); "Розробка теорії і методів оптимізації гібридних динамічних об'єктів на основі  $K$ -значного диференційного числення і методів штучного інтелекту" (№ д/р 0101U001804); "Розробка теорії і методів штучного інтелекту для моделювання та оптимізації динамічних об'єктів" (№ д/р 0104U003016); "Розвиток теоретичних основ нейронних мереж адаптивного резонансу для оптимізації складних процесів" (№ д/р 0107U000598); "Розвиток теорії стабільно-пластичних нейронних мереж для вирішення задач класифікації, оптимізації та управління динамічними об'єктами" (№ д/р 0110U001247); "Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для діагностики, управління та оптимізації технічних і біотехнічних об'єктів" (№ д/р 0113U000449), де здобувач був відповідальним виконавцем.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розвиток теорії і методів моделювання обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значного кодування сигналів і  $K$ -значного диференційного числення, що забезпечує підвищення точності моделювання при необхідній швидкодії систем проектування електронних пристроїв з урахуванням перешкод.

Для досягнення зазначеної мети поставлені завдання:

1. Виконати аналіз науково-технічної інформації, що дозволяє систематизувати тенденції розвитку методів і засобів проектування обчислювальних пристроїв.

2. Розробити теоретичні основи математичного апарату, аналогічного булевому диференційному численню для дослідження цифрових пристроїв при

$K$ -значному кодуванні сигналів і  $K$ -значному диференційному описі цифрових елементів і пристроїв обчислювальної техніки.

3. Визначити певні та непевні інтеграли і звичайні диференційні рівняння у  $K$ -значно-числових просторах і дослідити їх властивості.

4. Визначити  $K$ -значні диференціальні рівняння із запізненням у  $K$ -значно-числових просторах і розробити методи їх рішення.

5. Розробити теорію  $K$ -значних диференційних рівнянь з частинними похідними, як основу при моделюванні цифрових пристроїв.

6. Розробити спеціалізовані нейронні мережі для розпізнавання процесів, що призводять до ризиків збоїв.

7. Удосконалити систему моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення, автоматизувавши виділення сигналів і перешкод, які несуть в собі ризики збоїв, та забезпечивши потужностний аналіз перешкод, які можуть призводити до несанкціонованого спрацьовування елементів і пристроїв.

8. За допомогою вдосконаленої системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення провести обчислювальні експерименти з моделювання різних цифрових пристроїв для верифікації теоретичних результатів, отриманих математичних моделей і розробленого комплексу програмних засобів.

*Об'єкт дослідження* – процеси проектування сучасних обчислювальних пристроїв.

*Предмет дослідження* – методи і моделі для дослідження обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значного диференційного числення.

**Методи дослідження.** При дослідженні властивостей множин  $M$  і  $M^m$ , а також метричних і топологічних просторів на множинах  $M$  і  $M^m$  використовується теорія груп, кілець і решіток, теорія відносин, теорія метричних і топологічних просторів. При вирішенні завдань комплексного наскрізного проектування обчислювальних засобів використовується теорія моделювання та діагностики. При побудові моделей обчислювальних пристроїв з використанням  $K$ -значного алфавіту використовується теорія багатозначних алгебр. При розробці алгоритмів математичного моделювання в системі на основі  $K$ -значного диференційного числення використовується теорія  $K$ -значних диференційних рівнянь. При вирішенні завдань автоматизації діагностики обчислювальних пристроїв використовується теорія нейронних мереж. При удосконаленні системи моделювання використовується потужностний аналіз сигналів і перешкод, теорія розпізнавання сигналів і теорія нейронних мереж адаптивної резонансної теорії.

**Наукова новизна досліджень** полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми підвищення ефективності автоматизованого проектування електронних пристроїв з урахуванням перешкод. При цьому:

1. Вперше теоретично обґрунтована можливість введення на  $K$ -значних множинах  $M$  і  $M^m$  ( $m \geq 2$ ) коректного опису цифрових сигналів, їх порівняння і перетворення, що розширило математичний апарат булевого числення і

дозволило теоретично обґрунтувати більш точний опис цифрових сигналів обчислювальних пристроїв за допомогою множин  $M$  і  $M^m$  ( $m \geq 2$ ).

2. Вперше для опису перетворення сигналів цифрових пристроїв введені простори  $M^m \times dM^m$  ( $m \geq 2$ ), в яких визначені  $K$ -значні диференціали скалярних і векторних  $K$ -значних змінних і  $K$ -значні диференційні рівняння, для яких розроблені методи рішень, що узагальнило математичний апарат булевого диференційного числення і дозволило отримати універсальний математичний апарат для опису перетворення  $K$ -значних сигналів.

3. Вперше в  $K$ -значно-часових просторах  $(M^m, N)$  введені  $K$ -значні диференціали для  $K$ -значних функцій  $m$   $K$ -значних і однієї часової змінної і отримані їх основні властивості і розроблена загальна методика введення та дослідження операцій поводження  $K$ -значних похідних в зазначених просторах, що розширило область застосування дискретних інтегралів з двійково-часових просторів на простори  $M^m$  і  $(M^m, N)$  і відкрило можливість чисельного та аналітичного моделювання дискретних процесів в часі і просторі.

4. Вперше доведені теореми існування та єдиності розв'язання задачі Коші для  $K$ -значних диференційних рівнянь та їх систем, що теоретично обґрунтувало правомірність застосування такого математичного опису для моделювання цифрових пристроїв.

5. Вперше розроблені основи теорії і чисельний метод рішення  $K$ -значних диференційних рівнянь із запізненням у просторах  $(M^m, N)$ , які на відміну від  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь дозволяють більш точно описувати затримки сигналів елементами і пристроями обчислювальної техніки, що розширило область застосування  $K$ -значних диференційних моделей і підвищило точність проектування цифрових пристроїв.

6. Вперше розроблені  $K$ -значні диференційні рівняння з частинними похідними у просторах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , які дозволяють більш економно описувати обчислювальні пристрої з повторюваними групами елементів і систолічні структури, що дозволило отримати принципово нові математичні моделі пристроїв, які суттєво зменшують час їх моделювання.

7. Отримала подальший розвиток система моделювання цифрових пристроїв на основі  $K$ -значного диференційного числення, яка на відміну від існуючої містить вдосконалений блок потужностного аналізу перемикання елементів і блок автоматизації виявлення сигналів, що призводять до ризиків збоїв. Це дозволяє більш точно моделювати роботу цифрових пристроїв в умовах статичних і динамічних перешкод і оцінювати ступінь небезпеки перемикання елементів з одного стійкого стану в інший при різних перешкодах, а також автоматизувати процеси виявлення небажаних сигналів і перешкод.

8. Отримали подальший розвиток методи автоматизації діагностування проектуємих обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значних нейронних мереж,  $K$ -значного подання сигналів і перешкод, які призводять до ризиків збоїв, які на відміну від відомих систем ORCAD, PCAD та інші, дозволяють виділяти широкий клас "вузьких" місць при функціонуванні пристроїв ще на початкових етапах їх проектування. Це підвищує швидкість проектування і ймовірність отримання пристроїв, правильно працюючих при несприятливих ситуаціях.

9. Отримали подальший розвиток дискретні нейронні мережі на основі правила Хебба і адаптивної резонансної теорії, в які на відміну від існуючих введено  $K$ -значні нейрони, що дозволило автоматизувати процеси розпізнавання сигналів і перешкод, які ведуть до ризиків збоїв при моделюванні цифрових пристроїв на основі  $K$ -значного диференційного числення.

**Практичне значення отриманих результатів** для приладобудування полягає у застосуванні у системі автоматизованого проектування перспективних підходів, які дозволяють описувати обчислювальні пристрої з достатньою точністю та моделювати з прийнятною трудоемкістю. Результати дисертаційної роботи призначені для використання в системах автоматизованого проектування сучасних обчислювальних пристроїв.

Розроблено систему моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення, яка дозволяє виконувати проектування пристроїв з урахуванням тривалості фронтів імпульсів і амплітуд сигналів, що відкриває можливість проектування електронних пристроїв на більш високому якісному рівні. Теоретичні аспекти побудови обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значного моделювання (математичні моделі та методи) реалізовані у вигляді програмного комплексу.

Розроблено підсистему моделювання обчислювальних пристроїв, що проектується, з використанням автоматизованих методів діагностики на основі засобів штучного інтелекту. Отримані методи класифікації сигналів, які ведуть до ризиків збоїв, скорочують час проектування.

$K$ -значні моделі дозволили здійснити оцінку завадостійкості електронного обладнання об'єктів ракетно-космічної техніки в умовах дії потужних електромагнітних впливів, викликаних дією блискавки. Впроваджена у НППКІ "Молнія" (м. Харків) методика розрахунків (свідоцтво України № 30384 від 21.09.2009 р.) дозволила автоматизувати процес розрахунків і скоротити час моделювання на 20%.

$K$ -значні моделі дозволили здійснити оцінку завадостійкості електронного обладнання ПАТ Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе при впливі потужних електромагнітних полів і визначити шляхи поліпшення цього показника за рахунок удосконалення конструктивних параметрів.

Результати роботи реалізовані при створенні мікропроцесорних систем керування та програмно-обчислювального комплексу для проведення інформаційно-вимірального контролю системи управління дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 (ПАТ "Луганськтепловоз", м. Луганськ). Експлуатація дизель-поїздів на Одеській залізниці підтвердила надійність роботи розроблених систем.

Окремі результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальному процесі кафедри обчислювальної техніки та програмування НТУ "ХПІ".

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Серед них – обґрунтування розробки нових засобів моделювання сучасних пристроїв обчислювальної техніки з урахуванням динамічних параметрів перемикання логічних елементів,

можливої появи збоїв через розсинхронізацію фронтів вхідних сигналів, а також через виникнення перешкод, обумовлених електромагнітною сумісністю окремих елементів проєктованих пристроїв; розробка теоретичних основ  $K$ -значного диференційного числення для дослідження цифрових пристроїв і  $K$ -значних функцій; розробка загальної методики введення і дослідження операцій поводження  $K$ -значних похідних для просторів  $M^m$  і  $K$ -значно-часових просторів  $(M^m, N)$ ; розробка  $K$ -значних диференційних рівнянь з частинними похідними у просторах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , де  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . На основі  $K$ -значних диференційних рівнянь в частинних похідних запропоновані ідеї створення нових моделей пристроїв з повторюваними елементами. Також розроблені  $K$ -значні нейронні мережі на основі нейронної мережі Хебба і дискретної нейронної мережі адаптивної резонансної теорії. Розроблено модуль, що автоматизує процес виявлення сигналів, які приводять до появи ризиків збоїв в модельованих обчислювальних пристроях і тим самим підвищує надійність проєктування обчислювальних засобів.

**Апробація роботи.** Основні результати та положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції "Представление, обработка и передача информации" (Сочи-Харьков, 1993 г.); IMACS/IFAC Symposium Mathematical Modelling "1. Mathmod Vienna", (Відень, Австрія, 1994); Міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (Харків, 1994 – 2013 рр.); Школі-семінарі "Мікропроцесорні системи зв'язку і управління на залізничному транспорті" (Харків, 1994); Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми передачі та обробки даних" (Харків, 1994); XXII International School and Conference on Computer Aided Design CAD-95 "New Information Technologies Applications in Science, Education, Medicine and Business" (Гурзуф, 1995); Eurosime Congress'95, TU Vienna (Відень, Австрія, 1995); European Simulation Multiconference ESM'96 (Budapest, Hungary, 1996); XXIII Міжнародної конференції та дискусійному науковому клубі "Нові інформаційні технології в науці, освіті та бізнесі" (Ялта-Гурзуф, 1996); XXIV Міжнародній конференції та дискусійному науковому клубі "Нові інформаційні технології в науці, освіті та бізнесі" (Ялта-Гурзуф, 1997); Мініконференції "Математичне моделювання та інформаційні технології" (Белгород, Росія, 1997); Науково-методичній конференції "Використання комп'ютерних технологій у навчальному процесі" (Харків, 1997); II Міжнародній конференції "Автоматизація проєктування дискретних систем" (Computer-Aided Design of Discrete Devices CAD DD'97, Мінськ, 1997); 11-th European Simulation Multiconference ESM'97. (Istanbul, Turkey, 1997); Міжнародній конференції "Комп'ютерне моделювання" (Белгород, Росія, 1998); 8-й Міжнародній конференції "Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації" ("Інтегровані інформаційні системи, мережі і технології") (Харків, 2002); East-West Design&Test Workshop (EWDTW'04) (Alushta, 2004, Odessa, 2005, Sochi, 2006); 3-му Міжнародному радіоелектронному форуму "Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку", Міжнародній конференції "Електромагнітна сумісність" (Харків, 2008); Міжнародних науково-технічних



конференціях "Проблеми інформатики і моделювання" (Харків, 1993 – 2013 рр.); XIII Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні інформаційні та електронні технології" "СІЕТ-2012" (Одеса, 2012 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 73 наукових публікаціях, з них – 3 монографії (у співавторстві), 34 статті у наукових фахових виданнях України, з яких 20 у науково-метричних базах даних, 9 у іноземних періодичних фахових виданнях та 27 у матеріалах наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів і висновку, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг основної частини дисертації складає 325 сторінок, включаючи: 93 рисунків по тексту, з них 27 – на окремих сторінках; 26 таблиць по тексту, з них 6 – на окремих сторінках; списку використаних з джерел 222 найменувань на 27 сторінках; 4 додатків на 12 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовано її мета та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукова новизна та практична значущість роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-технічної проблеми, аналіз методів для дослідження працездатності електронних пристроїв на основі різних алфавітів. Показано, що існує певне протиріччя між необхідністю більш точного моделювання дискретних об'єктів і можливістю забезпечити таке моделювання за допомогою існуючих і перспективних багатозначних систем. Крім цього, багатозначні алфавіти ускладнюють моделювання роботи цифрових пристроїв з урахуванням перешкод, зумовлених перехідними процесами перемикавання логічних сигналів і паразитними ємностями, а також взаємоіндуктивностями між окремими компонентами пристроїв і провідниками, що їх зв'язують.

У таких випадках доцільно сумісне рішення рівнянь алгебри логіки, що описують функціонування пристроїв, що проектуються, і систем звичайних диференційних рівнянь, які дозволяють обчислювати значення перешкод.

Це зумовило розробку нового класу математичних моделей –  $K$ -значних диференційних та інтегральних рівнянь, які можуть дати більш повні дані про працездатність кристала і печатних плат ще на стадії проектування.

У розділі проаналізовані сучасні засоби моделювання електронних пристроїв, показано, що обчислення в цих пакетах вимагає великих тимчасових витрат і комп'ютерних ресурсів. При цьому в таких пакетах утруднені дослідження ризиків збоїв, пошук "вузьких" місць, ускладнено рішення оптимізаційних завдань.

Вводяться поняття  $K$ -значних похідних для функцій виду  $F = F(t_j)$ , заданих на дискретній нескінченній множині  $N = \{0, 1, \dots\}$  або кінцевих її підмножинах  $N_1, N_2, \dots \in N$  і приймаючих значення з множини  $M = \{0, 1, \dots, K-1\}$  згідно такими виразами:

$$\left. \frac{dF^+}{dt_j} \right|_{t_j=t_{j0}} = \frac{F(t_j + \Delta t) \langle - \rangle_K F(t_j)}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$\left. \frac{dF^-}{dt_j} \right|_{t_j=t_{j0}} = \frac{F(t_j) \langle - \rangle_K F(t_j - \Delta t)}{\Delta t}, \quad (2)$$

де  $t_{j0}$  – довільна внутрішня точка області визначення дискретної функції  $F(t_j)$ ;  $\Delta t$  – одиничне прирощення незалежної змінної  $t_j$ ;  $\langle - \rangle_K$  – символ операції віднімання за модулем  $K$ . Показано, що наведені вирази для  $K$ -значних функцій задовольняють загальним визначенням диференціювання в кільцях.

Функціонування цифрових пристроїв при цьому описується системами  $K$ -значних диференціальних рівнянь с початковими умовами:

$$\frac{dU_{\text{вих}j}(t_i)}{dt_i} = \sum_{j=1}^n f_j(U_{\text{вх}j}(t_i)) \langle -_K \rangle U_{\text{вих}j}(t_{i-1}), \quad U_{\text{вих}j}(t_0) = \text{const } j, \quad (4)$$

де  $\frac{dU_{\text{вих}j}(t_i)}{dt_i}$  –  $K$ -значна похідна вихідного сигналу для  $j$ -го ( $j = 1, \dots, n$ ) елемента

пристрою в момент часу  $t_i$ ;  $n$  – число вхідних сигналів елемента, що моделюється;  $f_j(U_{\text{вх}j}(t_i))$  – значення  $K$ -значної функції  $j$ -го логічного елемента в момент часу  $t_i$ ;  $U_{\text{вх}j}(t_i)$  – значення  $K$ -значного вхідного сигналу на вході  $j$ -го елемента в момент часу  $t_i$ ;  $U_{\text{вих}j}(t_{i-1})$  – значення  $K$ -значного вихідного сигналу  $j$ -го логічного елемента в момент часу  $t_{i-1}$ ;  $i$  – індекс, натуральне число, що визначає значення моменту часу, приймає значення з множини  $\{0, 1, 2, \dots\}$ .

**Другий розділ** показує застосування введеного класу математичних моделей ( $K$ -значних диференційних та інтегральних моделей) для досліджень в кінцевих і нескінченних просторах цифрових і гібридних пристроїв обчислювальної техніки за аналогією з тим, як це робиться за допомогою булевого диференційного числення в булевих ґратах, кільцях і просторах.

За аналогією з відображенням булевих просторів виду  $f: B^{K1} \rightarrow B^{K2}$ , де  $B = \{0, 1\}$  – двоелементна множина;  $K1, K2$  – цілі числа, при цьому в більшості суттєвих випадків  $K2 = 1$ , розробляється математичний апарат на основі відображень  $f_1: (B^K, N) \rightarrow B^{K2}$ , де  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$  – цілочисельна координата, яка грає роль часу. Такі відображення відіграють важливу роль при аналізі та синтезі цифрових пристроїв. Однак при розробці та дослідженні розподілених систем вже необхідні відображення, де враховуються дві цілочисельні координати, а при урахуванні ще й фактора часу – три цілочисельні координати. Для цього вводяться відображення виду  $f_2: (B^K, N^2) \rightarrow B^{K2}$ ,  $f_3: (B^K, N^3) \rightarrow B^{K2}$ . При використанні нових технологій проектування НВІС розроблені і використовуються відображення виду  $f_4: (B^K, N^4) \rightarrow B^{K2}$ . При використанні  $K$ -значного диференційного числення в наведених відображеннях

двоелементний базис  $B$  замінюється на  $K$ -значну множину  $M = \{0, 1, \dots, K - 1\}$ . У зв'язку з цим розглядаються простори  $(M^m, N)$ ,  $(M^m, N^L)$ ,  $m \geq 1$ ,  $L \geq 2$ .

Обґрунтовані властивості множин  $M$  і  $M^m$ , зокрема, можливість введення в них унарних і бінарних операцій, кінцевих груп і кілець, бінарних відносин, метричних, топологічних лінійних векторних просторів, теоретично обґрунтовується коректний опис, порівняння і перетворення цифрових сигналів в просторах на множинах  $M$  і  $M^m$ , закладаються основи для правильного опису функціонування основних елементів цифрових пристроїв. Крім того, множини  $M$  і  $M^m$  мають всі властивості булевих множин  $B$  і  $B^m$ , що дозволяє зробити попередній висновок про можливість побудови на основі множин  $M$  і  $M^m$  математичного апарату, аналогічного булевому диференційному численню і який дозволяє проводити дослідження цифрових пристроїв при  $K$ -значному кодуванні сигналів.

Оскільки сигнали в цифрових пристроях не є незмінними, а весь час зазнають змін, необхідні простори для опису таких змін. Для цього введені простори  $dM^m$  і  $M^m \times dM^m$ , які використовуються для опису зміни сигналів у цифрових обчислювальних пристроях. Показано, що відображення просторів  $M^m \times dM^m$  в множину  $M$  породжує  $K$ -значні диференційні рівняння виду  $F(x, dx) = G(x, dx)$ . Запропонований чисельний метод рішення таких рівнянь і встановлено ряд взаємозв'язків між  $K$ -значними диференційними рівняннями і графами.

За аналогією з безперервним аналізом, в якому для дослідження безперервних функцій використовуються диференціали і похідні, для дослідження  $K$ -значних функцій виду  $F: M^m \rightarrow M$  введені  $K$ -значні повні диференціали,  $K$ -значні прості і  $n$ -кратні часткові диференціали, часткові і векторні похідні  $K$ -значних функцій, часові диференціали і похідні в просторі  $(M^m, N)$ , похідні неявних функцій і вивчені їх властивості. Запропоновано  $K$ -значний диференціал як результат послідовної зміни окремих змінних або їх груп, коли інші змінні залишаються постійними. Це приводить до поняття часткового диференціала. При цьому проаналізовані також властивості часткових диференціалів і часткових похідних  $K$ -значних функцій.

У розділі визначено диференціальні оператори, що залежать від напрямку і дозволяють ефективно досліджувати працездатність цифрових пристроїв. Важливим у цьому випадку виявляється аналіз значущості впливу окремих елементів на працездатність всієї такої системи. І такий аналіз значущості елементів системи використовується при їх проектуванні, діагностиці та оптимізації.

Оскільки для дослідження працездатності сучасних швидкодіючих пристроїв необхідно враховувати не тільки напрямок зміни сигналів логічних елементів, а й форму перехідного процесу з одного стійкого стану в інший, то для такого дослідження пропонується використовувати  $K$ -значні спрямовані похідні. При цьому  $K$ -значний вектор  $x = (x_1, \dots, x_m)$ , т.е. вектор, компоненти якого приймають значення з множини  $M = \{0, 1, 2, \dots, K - 1\}$ , і його  $K$ -значний диференціал  $dx = (dx_1, \dots, dx_m)$ , породжують простір  $M^m \times dM^m$  і відповідні графи. Використання спрямованих  $K$ -значних похідних розглянуто на прикладі

діагностики багаторозрядного суматора з підключенням до його контрольних точок блоків нейронних мереж АРТ-1К.

У розділі введені  $K$ -значні диференційні рівняння, що дозволяють визначати напрями монотонної зміни  $K$ -значних функцій багатьох змінних, за допомогою яких контролюється правильність функціонування цифрових пристроїв.

У **третьому розділі** викладаються основи диференційного та інтегрального числення для  $K$ -значних часових функцій як бази для математичного опису цифрових обчислювальних пристроїв.

У  $K$ -значних-часових просторах  $(M^m, N)$  крім  $K$ -значної множини  $M = \{0, 1, \dots, K-1\}$ , використовується ще й множина  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$  чисел натурального ряду. При цьому якщо множину  $N$  розглядати як часову вісь, то можна говорити, що елементи та пристрої, що проектуються, досліджуються з урахуванням часових параметрів їх функціонування.

У розділі також введені  $K$ -значні диференціали для  $K$ -значних функцій  $m$   $K$ -значних та однієї часової змінної і досліджено їх основні властивості. Це відкрило можливість для моделювання дискретних процесів і пристроїв з більшою точністю, ніж моделювання з використанням двійкового опису сигналів і цифрових пристроїв. Як і в просторі  $M^m$  повний  $K$ -значний диференціал в просторі  $(M^m, N)$  розглядається як результат послідовної зміни окремих змінних або їх груп, коли інші змінні залишаються постійними. Це приводить до поняття часткових диференціалів в просторі  $(M^m, N)$ .

Розроблена загальна методика введення і дослідження операцій поведіння  $K$ -значних похідних для просторів  $M^m$  і  $K$ -значно-часових просторів  $(M^m, N)$ . Досліджено властивості невизначених інтегралів у просторах  $M^m$  і  $(M^m, N)$ . Це розширило область застосування дискретних інтегралів з двійково-часових просторів на простори  $M^m$  і  $(M^m, N)$  і відкрило можливість чисельного рішення  $K$ -значних диференційних рівнянь в цих просторах.

Введені основні поняття  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь у просторі  $(M, N)$ . Доведено теореми існування та єдиності розв'язку задачі Коші для цих диференційних рівнянь та їх систем, що теоретично обґрунтувало правомірність застосування  $K$ -значних диференційних рівнянь та їх систем для моделювання цифрових пристроїв.

У розділі розроблені аналітичні методи рішення  $K$ -значних часових диференційних рівнянь із розділяючимися перемінними і загальний метод вирішення лінійних  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь за допомогою характеристик кінцевих абелевих груп.

$K$ -значним диференційним рівнянням з аргументом, який відхиляється, називається рівняння, в якому шукана  $K$ -значна функція, її похідні та відомі  $K$ -значні функції незалежної змінної входять при різних значеннях аргументу.

$K$ -значне диференційне рівняння з аргументом, який відхиляється, називається рівнянням з аргументом, який запізнюється, якщо значення старшої  $K$ -значної похідної при будь-якому значенні  $\bar{t}_i$  незалежної змінної  $t_i$  в заданій

області визначення  $N_1 \subset N$  знаходиться через значення шуканої функції, її молодших  $K$ -значних похідних і відомих функцій незалежної змінної при  $t_i \leq \bar{t}_i$ .

Введені  $K$ -значні диференційні рівняння із запізненням і розроблено чисельний метод їх вирішення. Це розширило область застосування  $K$ -значних диференційних моделей і дозволило отримати більш точні математичні моделі елементів і пристроїв обчислювальної техніки в порівнянні з моделями на основі  $K$ -значних диференційних рівнянь без запізнення.

Рішення початкового  $K$ -значного диференційного рівняння із запізненням зводиться до послідовного інтегрування  $K$ -значних диференційних рівнянь без запізнення. Метод послідовного інтегрування дозволяє не тільки визначити рішення рівняння із запізненням, але і фактично доводить існування вирішення цього рівняння з початковою функцією. Це можливо якщо  $K$ -значне диференційне рівняння без запізнювання шуканої функції має єдине рішення, тобто задовольняє умовам теореми існування та єдиності розв'язку задачі Коші для  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь.

При описі елементів цифрової обчислювальної техніки математичні моделі на основі  $K$ -значного диференційного рівняння із запізненням записується таким чином:

$$\frac{dU_{\text{вих}}^k(t_i)}{dt_i} = f(U_{\text{вих}}^k(t_i), U_{\text{вих}}^k(t_i - \tau), U_{\text{вх}}^k(t_i - \tau), t_i),$$

$$U_{\text{вих}}^k(t_i) = \varphi^k(t_i) \text{ при } t_i \in [t_0 - \tau, t_0],$$

де  $U_{\text{вих}}^k$  та  $U_{\text{вх}}^k$  –  $K$ -значний вихідний та вхідний сигнали відповідно;  $\tau$  – постійна запізнення;  $\varphi^k(t_i)$  – початкова функція перехідного процесу;  $t$  – дискретний час.

Рішення  $K$ -значних диференційних рівнянь із запізненням отримується за рахунок використання методу кроків або методу послідовного інтегрування, яке зводить рішення  $K$ -значного диференційного рівняння із запізненням до послідовності ряду кроків вирішення  $K$ -значного диференційного рівняння без запізнювання.

**Четвертий розділ** присвячений питанням аналізу роботи цифрових пристроїв за допомогою просторово-часових  $K$ -значних моделей. Математичний апарат на основі  $K$ -значних диференційних рівнянь з частинними похідними, що є розвитком безперервних диференційних рівнянь з частинними похідними, який при моделюванні деяких класів об'єктів більш ефективний, ніж існуючий.

Наведені основи диференційного числення для просторово-часових  $K$ -значних функцій. На основі результатів, отриманих у просторах  $M^m, N$  і  $(M^m, N)$  досліджено поведінку  $K$ -значних функцій виду  $F(t), t \in N^L$ , в підпросторі  $N^L$  простору  $(M^m, N^L)$ ,  $L \geq 2$ . Об'єднання результатів досліджень у підпросторах  $M^m$  и  $N^L$  дає більш повну картину поведінки  $K$ -значних функцій виду  $F(x, t)$ ,  $x \in M^m, t \in N^L, L, m > 1$ , при цьому майже всі результати, отримані в  $N^L$ , виявляються справедливими і у випадку, якщо частина компонент вектора  $t \in K$ -

значними змінними. Отримані і наведені результати дозволяють розробити аналітичні та чисельні методи розв'язання диференційних рівнянь у  $K$ -значно-числових просторах, призначених для створення нового виду математичних моделей, що дозволяють більш ефективно моделювати НВІС і пристрої на їх основі.

Відзначено, як описаний в розділі математичний апарат може бути використаний при моделюванні розповсюдження сигналів по провідниках зв'язку.

Розгляд моделювання пристроїв обчислювальної техніки за допомогою  $K$ -значних диференційних рівнянь з частинними похідними виконується на прикладі моделювання багаторозрядного суматора, який виконує підсумовування двох 32-розрядних чисел. Багаторазова повторюваність окремих груп елементів суматора (і відповідно груп  $K$ -значних диференційних рівнянь в системі, яка описує суматор) дозволяє припустити, що суматор можна описати одним  $K$ -значним диференційним рівнянням в частинних похідних (КДУЧП), аналогом диференціального рівняння параболічного типу

$$\varepsilon \frac{\partial U}{\partial t_i} = F(U_{\text{вх}}, U, t_i) \langle + \rangle_K D(U_{\text{вх}}, U, t_i) \frac{\partial^2 U}{\partial r^2},$$

де  $\varepsilon$  – дійсний коефіцієнт;  $U$  –  $K$ -значна змінна, що залежить як від дискретного часу  $t_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , так і від розрядів  $r$  ( $r = \overline{1, n}$ ) суматора;  $F, D$  – в загальному випадку нелінійні функції;  $U_{\text{вх}} = (U_A, U_B)$  – вектор  $K$ -значних доданків  $A$  і  $B$ ;  $\langle + \rangle_K$  – операція підсумовування по модулю  $K$ . Часові діаграми його функціонування для перших шести розрядів приведені на рис. 1.

На часових діаграмах (рис. 1) сама верхня відповідає роботі суматора, коли шостирозрядний код вхідного доданка  $A$  у сталому стані має значення логічної одиниці в першому, третьому і п'ятому розрядах, а у всіх інших розрядах – значення, що відповідають рівню логічного нуля. На наступній часовій діаграмі показані значення  $K$ -значних вхідних сигналів доданка  $B$ , для якого третій і четвертий розряди в сталому стані приймають значення, відповідні логічній одиниці, а для всіх інших розрядів – логічного нуля.

Формування значень сигналів суми без урахування перенесення відбувається в інтервалі часу  $[t_0, t_L]$ , що показано на третій часовій діаграмі. На четвертій діаграмі показано формування  $K$ -значних сигналів переносу, одержуваних при функціонуванні суматора в інтервалі часу  $[t_{L+1}, t_{L2}]$ . Результуюче значення вихідного  $K$ -значного сигналу, одержуваного при функціонуванні суматора, ілюструється останньої часовою діаграмою.

Узагальнено результати досліджень, заснованих на відображеннях  $K$ -значних і  $K$ -значно-часових просторів, що мають вигляд  $\psi: M^m \rightarrow M^p$ ,  $\psi_1: (M^m, N) \rightarrow M^p$ , на узагальнені відображення виду  $\psi_2: (M^m, N^n) \rightarrow M^L$ , де  $L \geq 2$ .

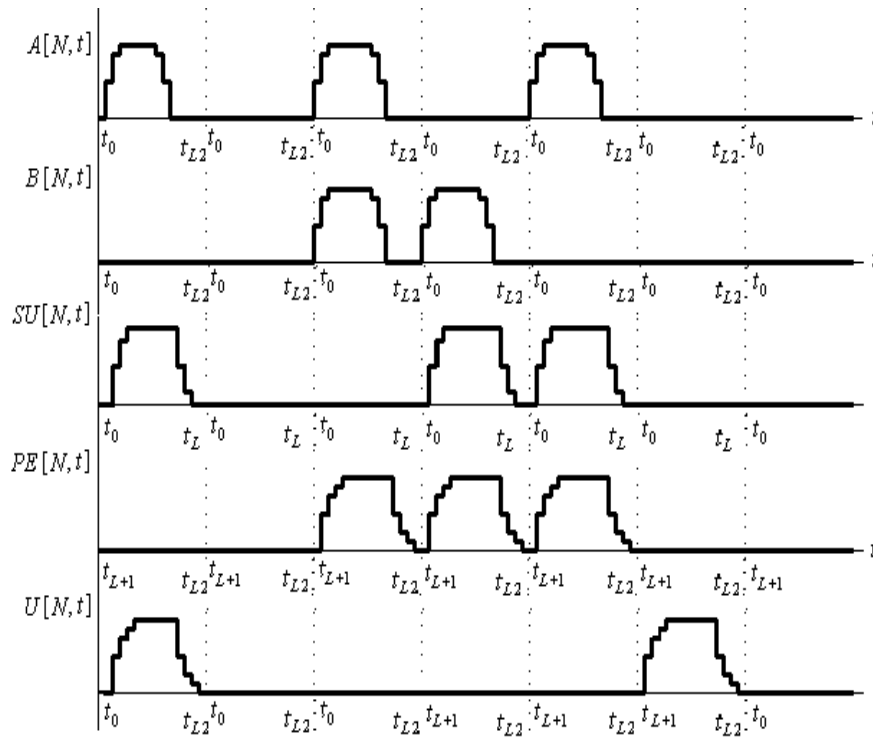


Рисунок 1 – Моделювання суматора за допомогою  $K$ -значного диференційного рівняння з частинними похідними

Визначено  $K$ -значні диференційні рівняння з частинними похідними у просторах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , де  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . Показана аналогічність визначень основних понять для  $K$ -значних і безперервних диференційних рівнянь з частинними похідними, що дозволяє користуватися результатами класичної теорії безперервних рівнянь.

На прикладі моделювання 32-розрядного суматора за допомогою  $K$ -значного диференційного рівняння в частинних похідних показана ефективність моделювання пристроїв з повторюваними групами елементів – число  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь зменшилася в 14 разів, а час моделювання – на порядок.

На прикладі конкретної систолічної структури продемонстрована можливість опису обчислювальних пристроїв такого вигляду за допомогою  $K$ -значних різницевих співвідношень і  $K$ -значних диференційних рівнянь з  $K$ -значними частинними похідними.

Отримані в теорії  $K$ -значного диференційного числення результати дозволяють запропонувати принципово нові математичні моделі роботи пристроїв обчислювальної техніки.

**У п'ятому розділі** пропонується використання нейронних мереж для автоматизації контролю пристроїв при їх моделюванні. Показано, що математичний апарат на основі  $K$ -значного диференційного числення дозволяє з успіхом ідентифікувати всі різновиди сигналів, описуваних тринадцятизначним алфавітом Фантозі (рис. 2). При цьому крім якісної оцінки, яку можуть дати багатозначні алфавіти, при використанні даного підходу, можна оцінити амплітуду, тривалість і форму імпульсу.

При використанні тринадцятизначного алфавіту Фантозі сигнал "\_0" відповідає статичному сигналу нульового рівня, сигнал "\_1" – значенню рівня статичної "одиниці". Далі "\_A" відповідає переходу з нуля в невизначеність, "\_B" – переходу з одиниці в невизначеність, "\_E" – гладкому переходу з нуля в одиницю, "\_F" – динамічному ризику збою при переході з нуля в одиницю, "\_H" – гладкому переходу з одиниці в нуль, "\_I" – переходу з невизначеності в одиницю, "\_L" – динамічному ризику збою при переході з одиниці в нуль, "\_P" – статичному ризику збою в нулі, "\_O" – переходу з невизначеності в нуль, "\_V" – статичному ризику збою в одиниці, "\_X" – невизначеності.

Показано, що система  $K$ -значного моделювання дозволяє також аналізувати пристрої з використанням потужностного аналізу сигналів перемикачів. При цьому в  $K$ -значному випадку, якщо вхідний сигнал є ступінчатою функцією  $U_K(t_i)$ , приймаючи цілі значення в інтервалі  $[0, K - 1]$  в дискретні моменти часу  $t_k, t_k+1, \dots, t_k+L$ , то для знаходження потужності сигналу можна скористатися формулою

$$E = \int_{t_k}^{t_k+L} \frac{U_K^2(t_i)}{R_0} dt_i = \sum_{t_i=t_k}^{t_k+L} \frac{U_K^2(t_i)}{R_0} \cdot h,$$

де  $L$  – довжина інтервалу, на якому необхідно розглядати сигнал як непостійну в часі функцію  $U_K(t)$ ;  $R_0$  – вхідний опір логічного елемента;  $h$  – крок дискретизації. З урахуванням потужності спрацьовування  $E$  може бути отримана і розрахована модель будь-якого елемента цифрової обчислювальної техніки.

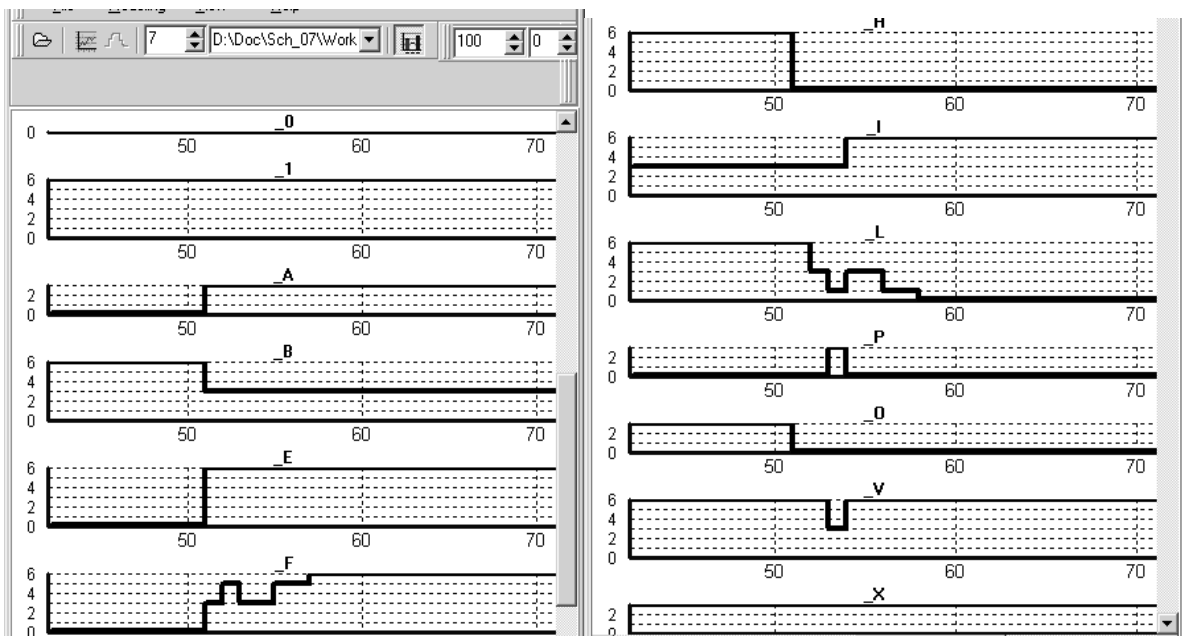


Рисунок 2 – Подання тринадцяти видів сигналів в  $K$ -значному вигляді при  $K = 7$

При активізації в системі  $K$ -значного моделювання процесу урахування потужності перемикачів вхідних сигналів, з'являється можливість її врахування при моделюванні пристрою. Зокрема, для пристрою, приведенного на рис. 3, на



виходах X6 і X7 на робочому інтервалі часу сигнали досягають стійких логічних рівнів (рис. 4).

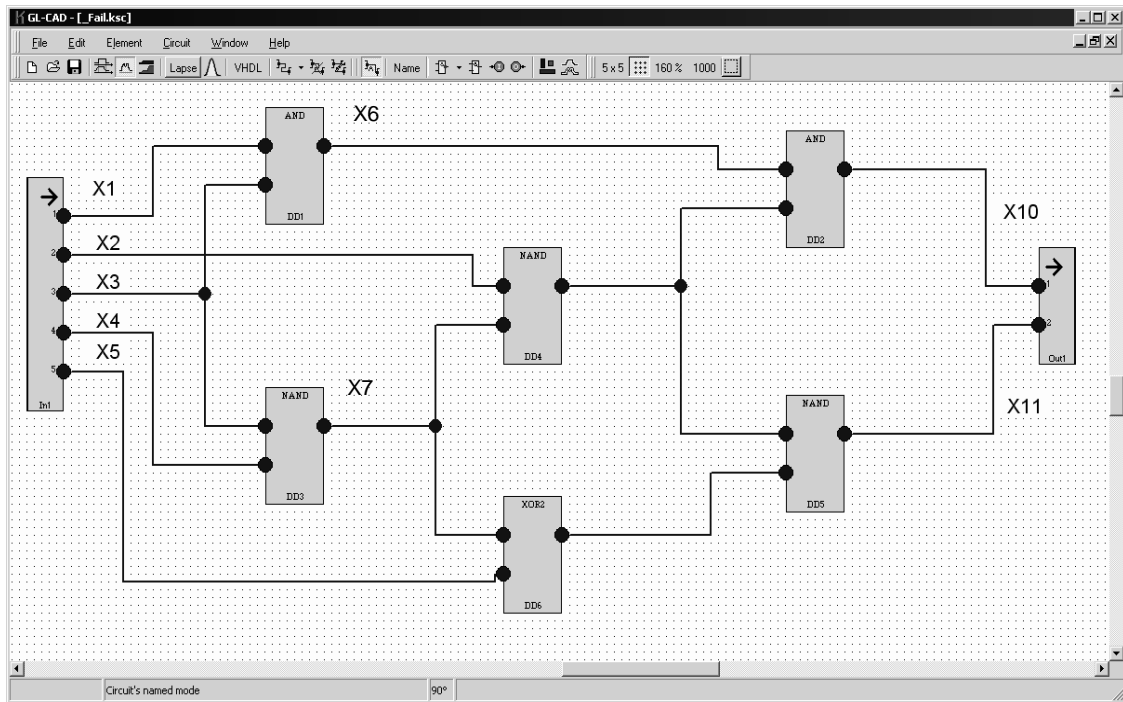


Рисунок 3 – Структура пристрою в системі *K*-значного моделювання

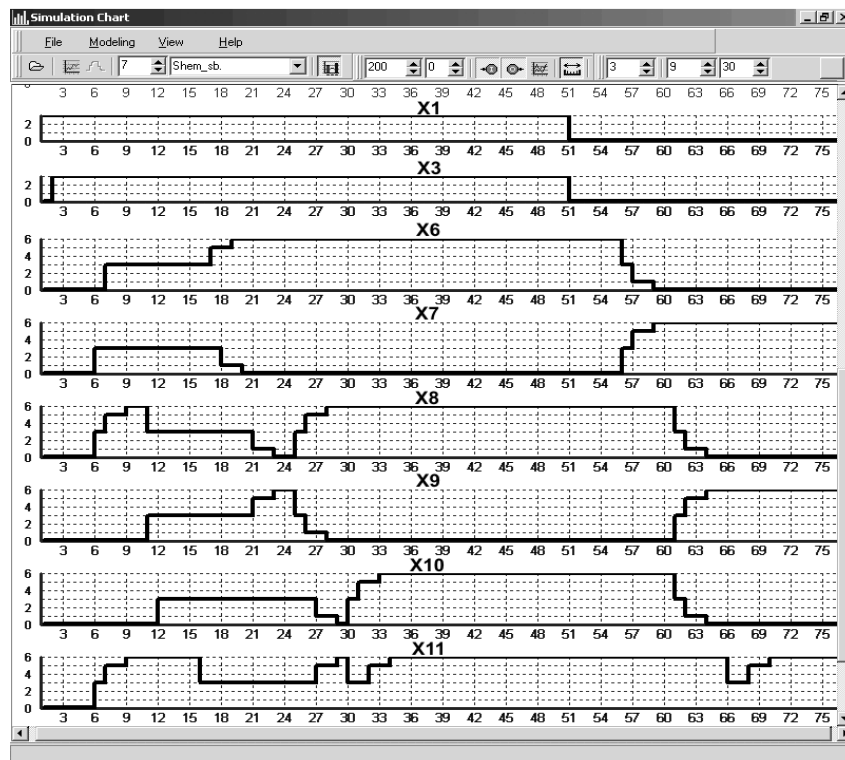


Рисунок 4 – Часові діаграми функціонування пристрою з урахуванням потужності перемикання вхідних сигналів

Аналогічно, урахування потужності перемикання вхідних логічних сигналів призводить до відхилення від рівня  $K = 3$  значень на всіх проміжних ланцюгах проектного пристрою. Все це обумовлює те, що на виході  $X10$  в інтервал часу 27 – 30 нс спостерігається збійна ситуація у вигляді "провалу" вихідної напруги від рівня невизначеності до рівня логічного нуля, а на виході  $X11$  – "провал" логічного сигналу на виході від рівня логічної "одиниці" до рівня невизначеності.

На підставі отриманих результатів доведено, що урахування потужності перемикання логічних елементів дозволяє більш точно виконувати моделювання цифрових пристроїв.

У розділі показується, що введення нейронної мережі в структуру системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення дозволяє удосконалити процес діагностики проектуємих обчислювальних пристроїв, зменшити вплив "людського фактора" при визначенні його працездатності і зменшити час аналізу працездатності. На рис. 5 представлена розширена модель елемента обчислювальної техніки в системі  $K$ -значного моделювання з додаванням нейронної мережі для розпізнавання сигналів в модельованих пристроях, провідних до ризиків збоїв, а на рис. 6 відповідна структура логічного елемента: 1) блок, який обчислює  $K$ -значну функцію по її опису у вигляді диференційного рівняння з запізнілим аргументом; 2) буфер  $\mathbf{V}_{\text{вих}}$  вихідних значень елемента, що використовуються для обчислення значення  $K$ -значної похідної, розмір якого визначається параметром  $D$  затримки елемента; 3) блок, що містить сукупність буферів значень вхідних сигналів  $\mathbf{V}_{\text{вх}}$ ; 4) блок, що виконує ініціалізацію елемента (початкове заповнення буферів вхідних і вихідних сигналів); 5) блок обчислення потужності сигналу.

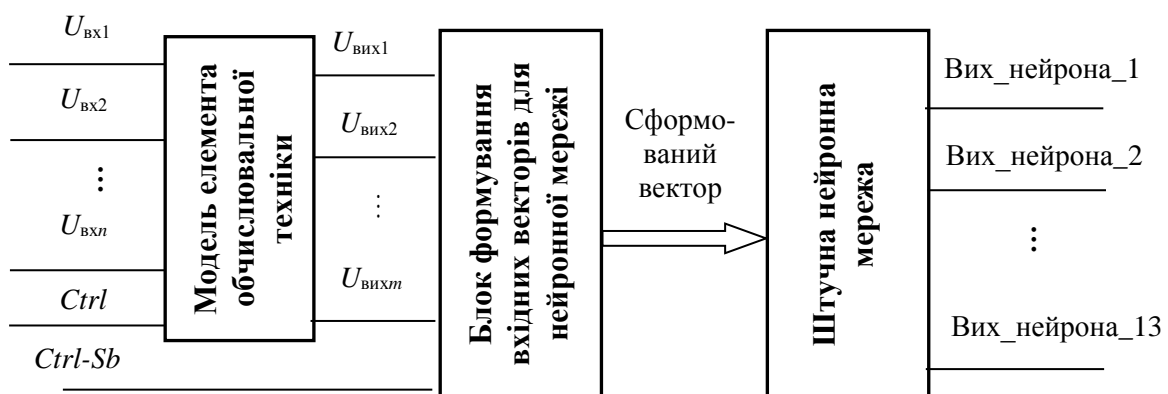


Рисунок 5 – Схема взаємодії моделі елемента обчислювальної техніки та нейронної мережі

Таким чином, завдання зводиться до розробки системи класифікації сигналів, одержуваних з виходу елемента проектного пристрою, яка повинна сигналізувати проектувальнику про можливу проблему. Завдання ускладнюється тим, що сигнали одного і того ж класу не тільки можуть бути різної форми, а й бути розподіленими за часом.

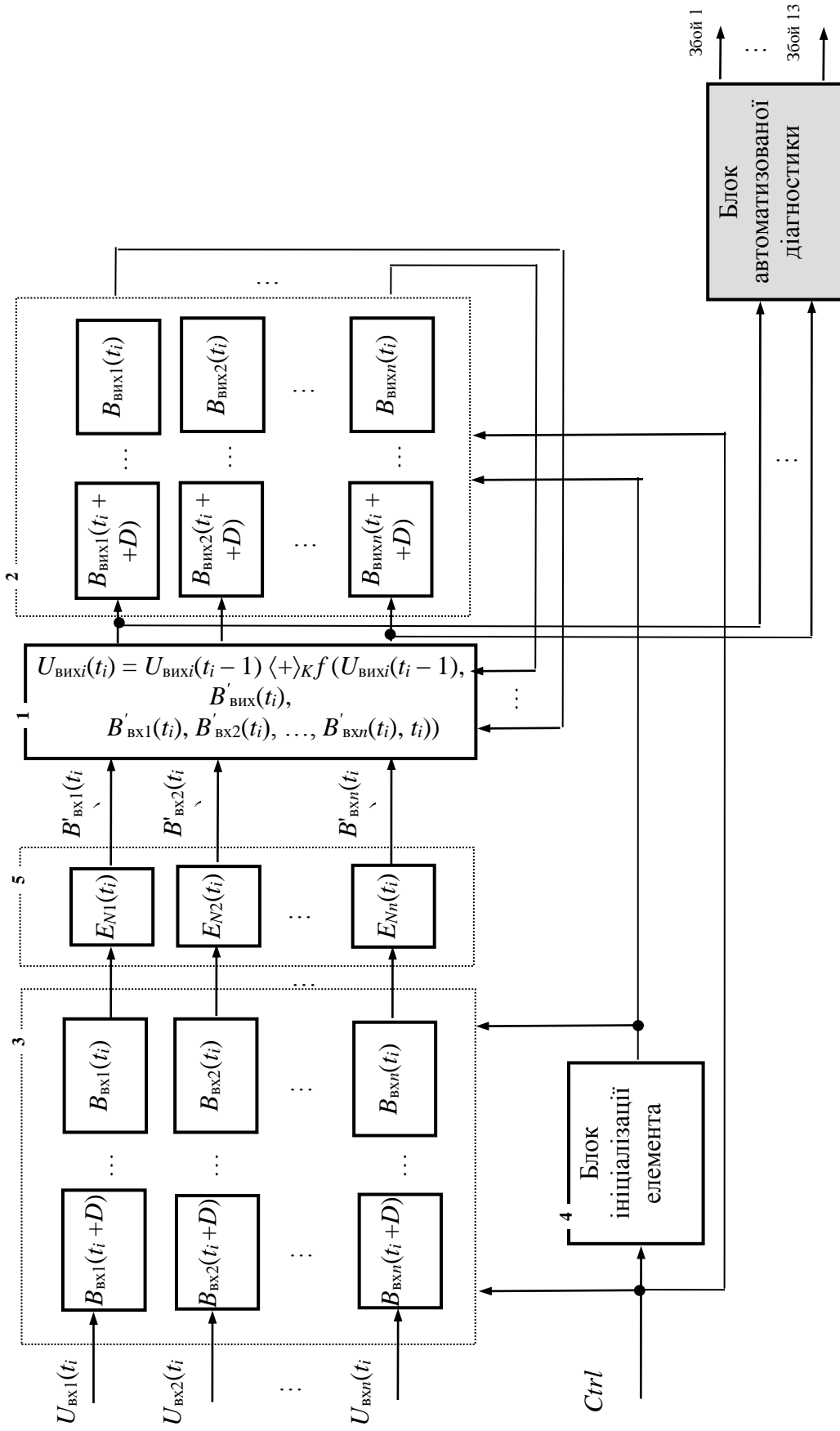


Рисунок 6 – Структура логічного елемента з блоком автоматизованої діагностики

В цьому випадку доцільним є використання нейронної мережі, наприклад, модифікації нейронної мережі Хебба, яка має  $n$  вхідних і  $m$  вихідних біполярних або бінарних нейронів.

У пропонуваній нейронній мережі використовуються не двійкові, а  $K$ -значні нейрони, вихідні сигнали яких приймають значення з множини  $\{0, 1, 2, \dots, K-2, K-1\}$ . Очевидно, значність нейронів в  $K$ -значній нейронній мережі повинна відповідати значності системи моделювання. У цьому випадку мережа дозволяє автоматизувати процес виявлення ризиків збоїв, які можуть виникати при моделюванні обчислювальних пристроїв. Навчена  $K$ -значна нейронна мережа застосовувалася для виявлення "вузьких" місць у проєктованих обчислювальних пристроях, в яких при несприятливих умовах можуть виникнути збої.

При дослідженні працездатності цифрових обчислювальних пристроїв використовувалися тринадцять видів сигналів з алфавіту Фантозі.

Для навчання даної  $K$ -значної нейронної мережі запропоновано модифіковане правило Хебба:

$$w_{kq}(new) = w_{kq}(old) + \eta f(y_q^{треб} - y_q^{тек}) x_k, \quad k = \overline{0, n}, \quad q = \overline{1, m}.$$

У наведених співвідношеннях  $w_{kq}(new)$ ,  $w_{kq}(old)$  – відповідно нові та поточні ваги зв'язків мережі;  $y_q^{треб}$ ,  $y_q^{тек}$  ( $q = \overline{1, m}$ ) – відповідно необхідні і поточні сигнали на виходах нейронів;  $\eta$  – коефіцієнт, в загальному випадку відмінний від одиниці,  $x_k$  – сигнал на  $k$ -м вході мережі.

При цьому

$$f(y_q^{треб} - y_q^{тек}) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y_q^{треб} > y_q^{тек} \text{ та } x_k > 0; \\ 0, \text{ якщо } y_q^{треб} = y_q^{тек} \text{ або } x_k = 0; \\ -1, \text{ якщо } y_q^{треб} < y_q^{тек} \text{ та } x_k > 0. \end{cases}$$

Доцільно, щоб кожному  $q$ -му ( $q = \overline{1, 13}$ ) вхідному процесу з алфавіту Фантозі, що розглядається, на виході нейронної мережі відповідали вихідні  $K$ -значні сигнали  $U_{вих Y_q} = (K-1)$ ,  $U_{вих Y_p} = 0$ ,  $p = \overline{1, 13}$ ,  $p \neq q$ .  $K$ -значна нейронна мережа Хебба в цьому випадку повинна мати на виході тринадцять  $K$ -значних  $Y$ -нейронів, кожен з яких може мати вихідний сигнал від нуля до  $K-1$ . Залежно від тривалості  $T$  інтервалу часу, на якому аналізується послідовність перемикавання сигналів обчислювального пристрою, на вході такої мережі може бути різне число нейронів.

Розроблена нейронна мережа Хебба на основі  $K$ -значних нейронів не може виділяти нові зображення, а також не володіє можливістю донавчання, оскільки навчання новому образу призводить до спотворення вже запам'ятованої інформації. Тому при навчанні повинна використовуватися вся інформація, що запам'ятовується. Таким чином, двошарові або багатошарові мережі, які

використовують для свого навчання алгоритм Хебба або метод зворотного поширення помилки не мають властивості стабільності, тобто властивості зберігати відому інформацію при запам'ятовуванні нової.

У зв'язку з цим пропонується використовувати для розпізнавання правильних перемикачів і перемикачів, що несуть в собі ризики збоїв при переході логічних сигналів з одного стійкого стану в інший, нейронні мережі АРТ, які розроблені для вирішення проблеми донавчання, а саме: запам'ятовування нових класів зображень нейронною мережею без спотворення або втрати вже збереженої інформації. При цьому розроблена  $K$ -значна нейронна мережа АРТ також класифікує тринадцять видів сигналів, представлених у  $K$ -значному вигляді. Дані надходять з системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.

Розпізнавані сигнали логічних елементів зберігаються в пам'яті  $K$ -значної нейронної мережі АРТ-1К, архітектура якої наведена на рис. 7. Архітектура мережі включає три групи нейронів: поле  $F_1$  вхідних оброблювальних нейронів, що складається з двох шарів  $S$ - та  $Z$ -елементів, шар розпізнавальних  $Y$ -нейронів, управляючі нейрони  $G_1, G_2$  і вирішувальний елемент  $R$  (рис. 7).

Мережа навчається на основі модифікованого методу швидкого навчання для нейромереж АРТ-1.

У розділі досліджується робота  $K$ -значної нейронної мережі АРТ-1К на прикладі діагностики багаторозрядного суматора. В результаті експериментів встановлено, що розроблена  $K$ -значна нейронна мережа АРТ-1К правильно класифікує до 95% пред'явлених сигналів.

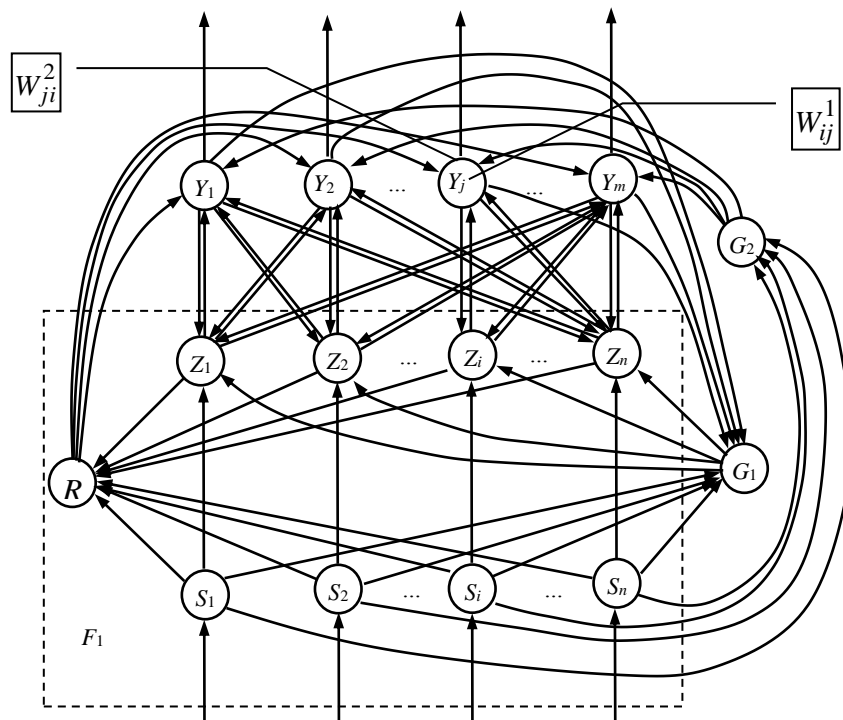


Рисунок 7 – Архітектура нейронної мережі АРТ-1К

У шостому розділі демонструються особливості розробленої системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення. Ця система

моделювання дозволяє досліджувати працездатність швидкодіючих обчислювальних пристроїв з урахуванням ризиків збоїв, які можуть бути обумовленими перехідними процесами перемикання  $K$ -значних логічних сигналів. Система виконує аналіз працездатності обчислювальних пристроїв з урахуванням впливу внутрішніх перешкод, виникнення яких визначається параметрами електромагнітної сумісності внутрішніх топологічних елементів, і, крім цього, враховує вплив зовнішніх перешкод, які обумовлені зовнішньої електромагнітної обстановкою, в якій знаходиться проєктований пристрій. Система автоматизованого проєктування на основі  $K$ -значного диференційного числення реалізує принципи наскрізного проєктування – дослідження працездатності обчислювальних пристроїв з урахуванням можливих перешкод, які обумовлюються їх топологією.

Сеанс повного проєктування пристрою в розробленій системі на основі  $K$ -значного диференційного числення являє собою наступну послідовність дій (рис. 8). При створенні схеми пристрою є можливість використовувати вбудовані базові елементи (внутрішня бібліотека), синтезовані базові елементи і ієрархічні елементи (зовнішня бібліотека). Для створення схеми пристрою в системі використовується спеціальний розроблений вбудований графічний редактор.

Процес створення схем з ієрархічною структурою має значні переваги в розробленій системі в порівнянні з іншими аналогічними САПР. Розроблений пристрій одночасно зберігається як схема і як елемент зовнішньої бібліотеки, який може бути включений до складу нового пристрою. Схема, що містить ієрархічні елементи, також може бути включена як елемент до складу іншого пристрою. Таким чином, рівень ієрархічної вкладеності практично необмежений.

Ядром розробленої системи є блок, який безпосередньо виконує моделювання проєктованого пристрою. Моделювання пристрою виконується в залежності від обраного режиму.

Для розширення можливостей і властивостей відкритості системи моделювання включений модуль, що дозволяє використовувати результати топологічного проєктування пристроїв в досить поширеній в даний час системі ORCAD. Отримані в системі ORCAD результати топологічного проєктування використовуються для моделювання пристрою з урахуванням параметрів електромагнітної сумісності його окремих компонент.

Крім аналізу функціонування електронних компонентів розробленої схеми пристрою система може виконувати топологічне проєктування, що дозволяє виконати більш повне наскрізне моделювання, яке враховує можливість появи перешкод, обумовлених не тільки підвищеною швидкістю проєктованого пристрою, але і зовнішніми, і внутрішніми несприятливими факторами.

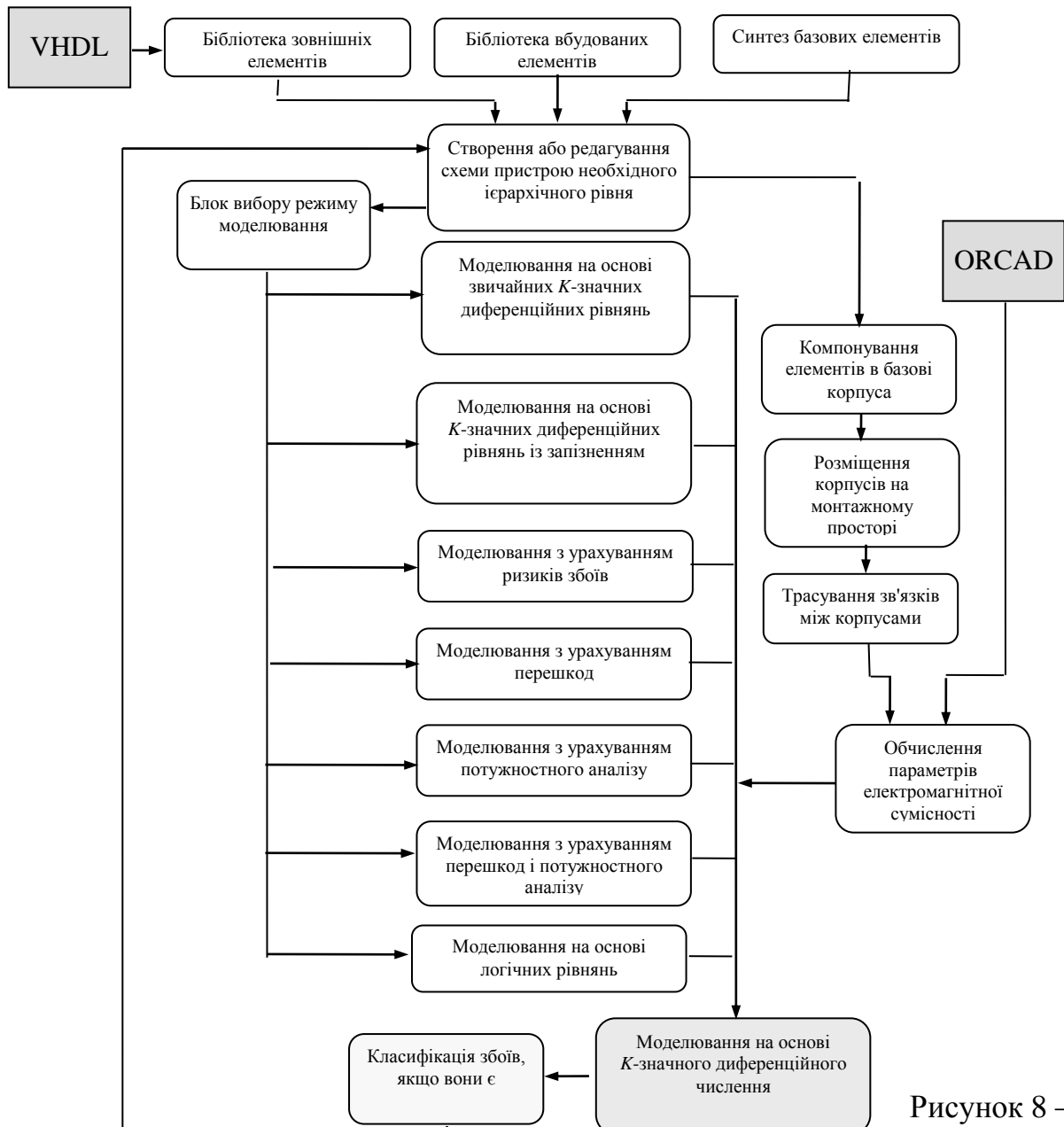


Рисунок 8 –

Сеанс повного проектування в системі на основі  $K$ -значного диференціального числення

Для розширення можливостей проектування розроблено модуль, що дозволяє проводити моделювання схем, спроектованих в середовищі ActiveHDL і функціонування яких описується на мові VHDL. Подібна система дозволяє виконувати обробку сигналів цифрових пристроїв з запізненням. На рис. 9 показаний можливий варіант зв'язку передавача і приймача, на прикладі якого можна продемонструвати розповсюдження сигналів по лінії зв'язку.

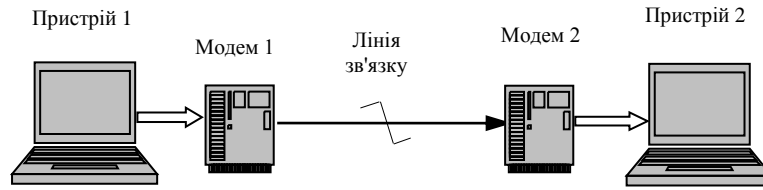


Рисунок 9 – Варіант зв'язку передатчика і приймача

Дані передаються з пристрою 1 в пристрій 2 через модеми 1 і 2. Модем 1 формує сигнали для передачі в лінію, а модем 2 перетворює сигнали, що приймаються. Якщо на виході передавача є імпульсний сигнал, то на кінці лінії (тобто на вході приймача) сигнал може бути спотворений за рахунок втрат в лінії. Залежно від величини втрат в лінії, може бути загасання сигналу швидше або повільніше. На рис. 10 показано розповсюдження фронту сигналу по лінії зв'язку без втрат (при  $C_0 = 2,5 \cdot 10^{-12}$  Ф,  $L_0 = 1 \cdot 10^{-6}$  Гн,  $\tau = 1 \cdot 10^{-9}$  с,  $h = 13 \cdot 10^{-2}$  м) при моделюванні розповсюдження сигналу в системі моделювання при використанні значности вхідного алфавіту  $K = 7$ . Значення сигналів при їх розповсюдженні по провіднику наведені в 20-й, 40-й, 60-й і 80-й моменти часу.

У разі втрат лінія зв'язку описується диференціальним рівнянням у частинних похідних при відомих початкових та граничних умовах

$$\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2} = a \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} - b \frac{\partial U(x,t)}{\partial t} - cU(x,t),$$

де  $a = \frac{1}{L_0 C_0}$ ;  $b = \frac{g_0}{C_0} + \frac{r_0}{L_0}$ ;  $r_0$ ,  $g_0$  – розподілений опір і провідність лінії;

$$c = \frac{r_0 g_0}{L_0 C_0}.$$

Замінюючи безперервні похідні різницевиими співвідношеннями отримаємо наступне рівняння

$$U_{i,j+1} = \frac{a\tau^2}{h^2(1+2b\tau)}(U_{i+1,j} + U_{i-1,j}) + \frac{2b\tau-1}{1+2b\tau}U_{i,j-1} + \left(\frac{2-c\tau^2}{1+2b\tau} - \frac{2a\tau^2}{h^2(1+2b\tau)}\right)U_{i,j}.$$

Після переходу до  $K$ -значного різницевого рівняння лінія з втратами може бути досліджена в системі моделювання. На рис. 11 показано розповсюдження фронту  $K$ -значного сигналу по лінії зв'язку між джерелом і приймачем з втратами при використанні  $K = 7$  у початковій точці (це 20-я точка від початку лінії), в 40-й, 60-й і 80-й точках лінії, отриманий при його моделюванні. При цьому, чим в більш далекій від початку лінії точці аналізується сигнал, тим його амплітуда менше. Це пояснюється наявністю втрат в лінії. Із збільшенням втрат в лінії зв'язку амплітуда переданих сигналів зменшується. Незважаючи на те, що зменшення амплітуди не досягає порогового рівня і саме по собі не призведе до збоїв у функціонуванні пристроїв прийомного боку, але при



збільшенні довжини лінії в поєднанні з іншими несприятливими факторами, така передача сигналів може призвести до спотворень інформації. Це, в свою чергу, може привести до збоїв при функціонуванні пристроїв, підключених до приймального модему.

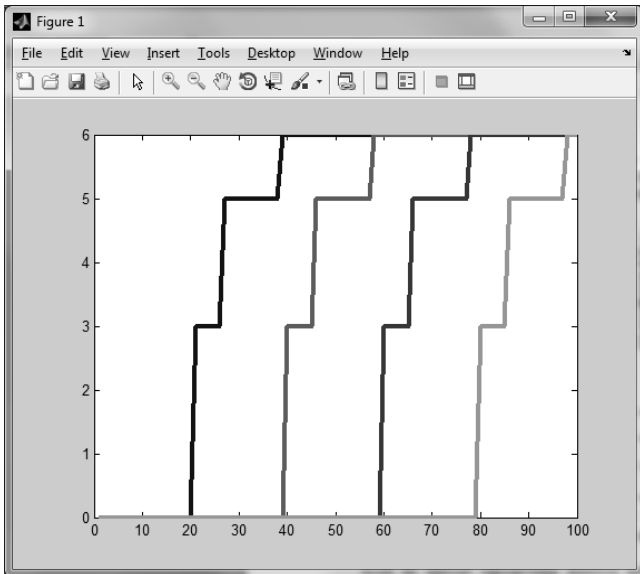


Рисунок 10 – Розповсюдження сигналу по лінії зв'язку без втрат

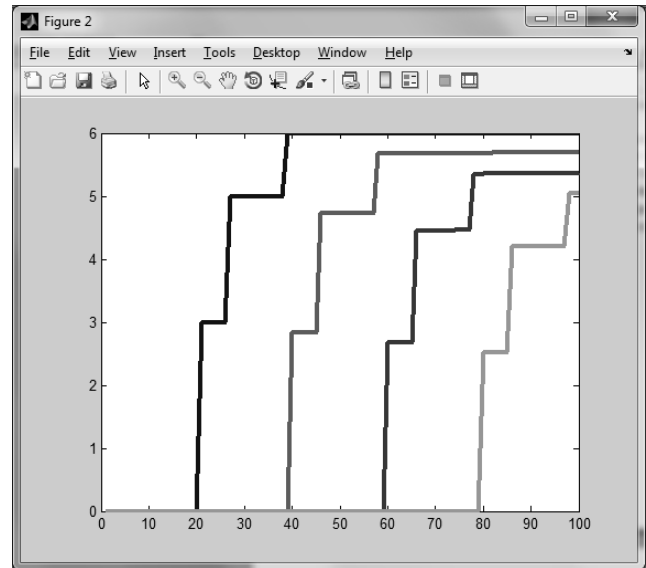


Рисунок 11 – Розповсюдження сигналу по лінії зв'язку з втратами

При дослідженні працездатності цифрових пристроїв в системі з урахуванням можливості виникнення перешкод різної амплітуди, використовується  $K$ -значний опис сигналів напруг і струмів. Моделювання перешкод виконується на основі рішення рівнянь без запізнення, а моделювання логіки функціонування пристрою що проектується виконується на основі рішення рівнянь із запізненням.

Розрахунок перешкод ведеться в процесі моделювання пристрою: на кожному кроці моделювання для кожного ланцюга аналізується список взаємодіючих з нею (активних) ланцюгів. Для кожного активного ланцюга в списку, при зміні у ньому значення рівня напруги, обчислюється значення наведеної в поточному пасивному ланцюгу перешкоди. Обчислена сумарна перешкода накладається на поточний сигнал в пасивному ланцюгу, який до того отриманий в результаті чистого функціонального моделювання. Таким чином, в результаті моделювання враховується не тільки вплив двох ланцюгів один на одного (як по черзі пасивною і активною), але і одночасний вплив один на одного декількох ланцюгів.

Як приклад спільного використання результатів конструкторського і логічного проектування наведені результати дослідження з урахуванням електромагнітних перешкод блоку суматора FSUM. Його внутрішня структура приведена на рис. 12 і містить 14 логічних елементів, а топологічний простір розміщення цих логічних елементів з урахуванням їх упаковки в корпуси показано на рис. 13. Залежно від заданих габаритів монтажного простору можна отримати різне розташування елементів в цьому просторі.

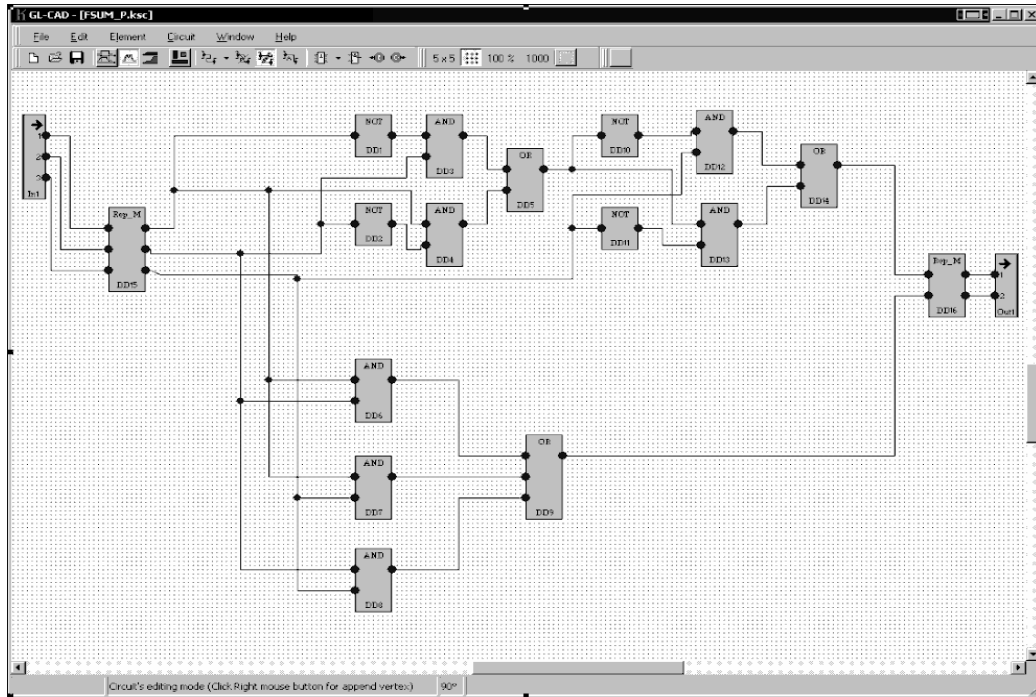


Рисунок 12 – Структурна схема однорозрядного суматора

Часові діаграми моделювання цього пристрою, які відповідають різним реалізаціям його топології наведено на рис. 14.

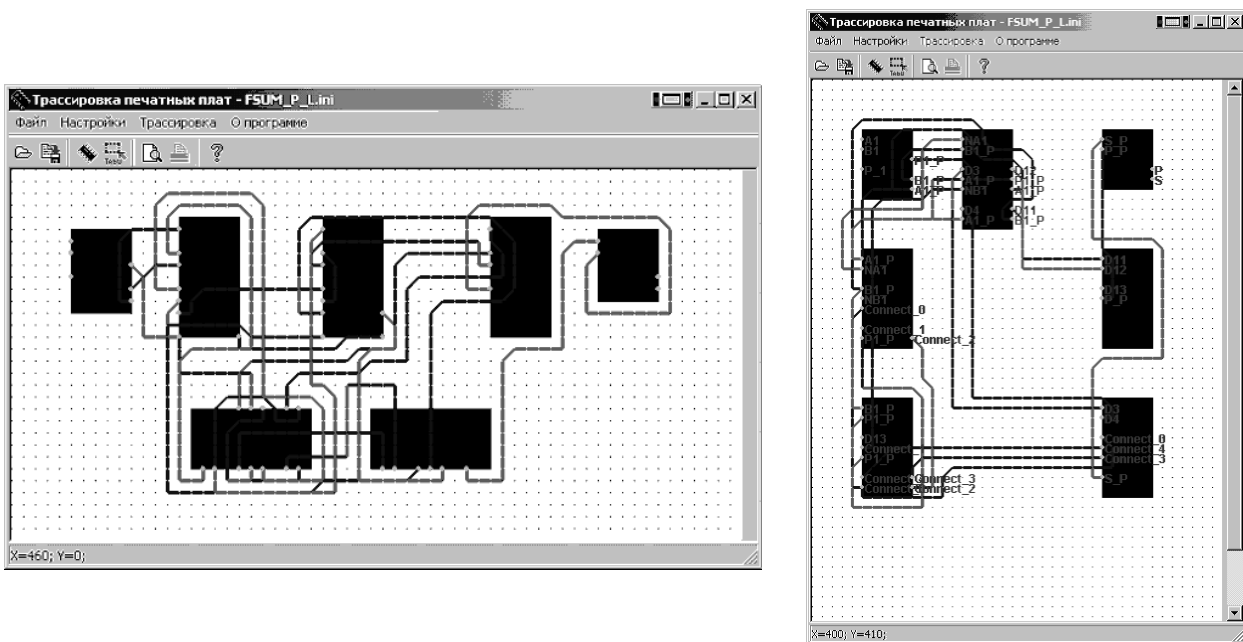


Рисунок 13 – Два види виконаного трасування суматора

Нижні дві часові діаграми рисунка відповідають вертикальному розташуванню плати, а третя і четверта знизу – горизонтальному (у лівій частині рис. 13). З наведених на рис. 14 результатів моделювання можна зробити висновок, що вертикальне розташування плати менш вдало з точки зору перешкод через додаткові викиди на виході пристрою.

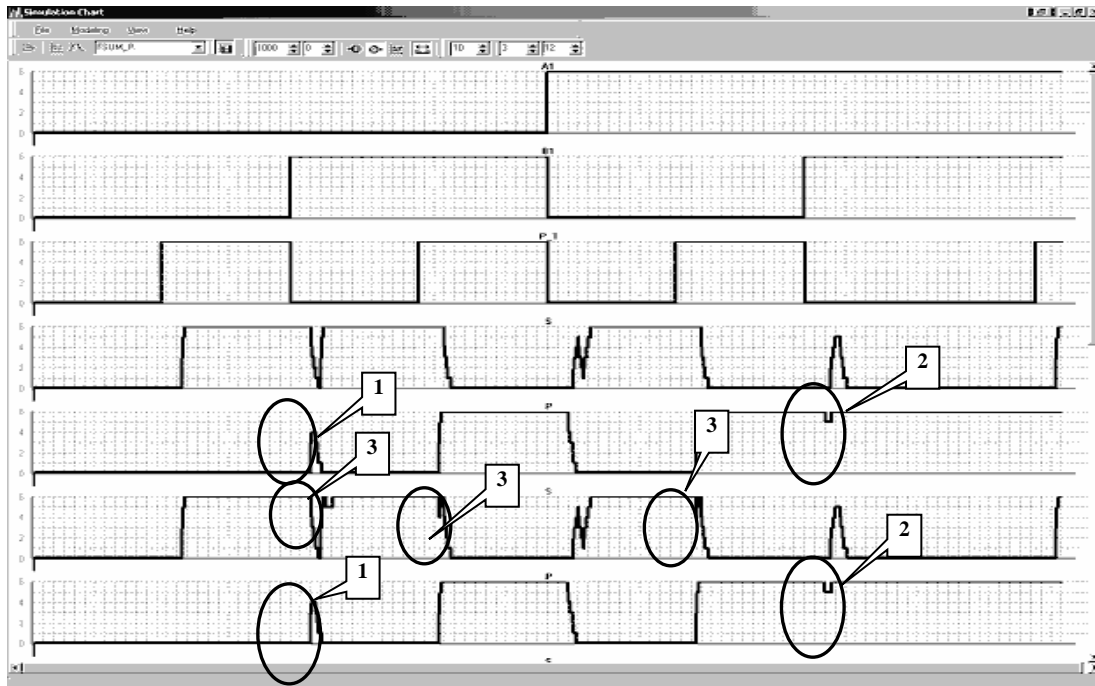


Рисунок 14 – Часові діаграми роботи суматора з урахуванням параметрів електромагнітної сумісності

Результати на рис. 14 свідчать, що і при горизонтальному і при вертикальному розташуванні елементів на виході перенесення  $P$  спостерігається позитивний сплеск сигналу, який являє собою наведену перешкоду (область 1) і негативний "провал" напруги (область 2). Однак при вертикальному розташуванні елементів на виході суми  $S$  присутні додаткові спотворення фронту і спаду сигналу (область 3). Ці спотворення форми перемикання сигналу можуть привести до збоїв в роботі пристроїв, підключеним до виходу суми суматора.

У додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, а також результати теоретичних, експериментальних досліджень та моделювання.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-прикладна проблема розвитку теорії і методів моделювання обчислювальних пристроїв на основі  $K$ -значного кодування сигналів і опису процесів функціонування цифрових пристроїв на базі  $K$ -значного диференційного числення як основа автоматизованого проектування електронних пристроїв з урахуванням перешкод та ризиків збоїв на персональних комп'ютерах.

До основних результатів роботи відносяться:

1. Аналіз науково-технічної інформації дозволив простежити тенденції розвитку методів і засобів проектування обчислювальних пристроїв. Показана необхідність розробки нових засобів моделювання сучасних пристроїв обчислювальної техніки з урахуванням динамічних параметрів перемикання логічних елементів, можливої появи збоїв через розсинхронізацію фронтів

вхідних сигналів, а також через виникнення перешкод, зумовлених електромагнітною взаємодією окремих елементів пристроїв що проектуються.

2. Розроблено теоретичні основи  $K$ -значного диференційного числення для дослідження цифрових пристроїв і  $K$ -значних функцій виду  $F: M^m \rightarrow M$ . При цьому введено  $K$ -значні повні диференціали,  $K$ -значні прості і  $n$ -кратні частинні диференціали, частинні і векторні похідні  $K$ -значних функцій, часові диференціали і похідні в просторах  $(M^m, N)$ , похідні неявних  $K$ -значних функцій,  $K$ -значні диференційні оператори, що залежать від напрямку і вивчені їх властивості. Введені простори  $dM^m$  і  $M^m \times dM^m$ , які використовуються для опису зміни сигналів в цифрових пристроях і породжують  $K$ -значні диференційні рівняння, для розв'язання яких запропоновано чисельний метод. Розроблений математичний апарат на відміну від булева диференційного числення, де сигнали і процеси описуються елементами булевих множин  $B = \{0, 1\}$ ,  $B^m$ , використовує множини  $M = \{0, 1, 2, \dots, K - 1\}$ ,  $M^m$  і  $K$ -значне кодування сигналів, що дозволяє більш точно моделювати динамічні процеси в цифрових пристроях.

3. Розроблено загальну методику введення і дослідження операцій поводження  $K$ -значних похідних для просторів  $M^m$  і  $K$ -значно-часових просторів  $(M^m, N)$ . Досліджено властивості невизначених інтегралів у просторах  $M^m$  і  $(M^m, N)$ . Це розширило область застосування дискретних інтегралів з двійково-часових просторів на простори  $M^m$  і  $(M^m, N)$  і відкрило можливість чисельного рішення  $K$ -значних диференційних рівнянь в цих просторах. Введені основні поняття  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь у просторі  $(M, N)$ . Доведено теореми існування та єдиності розв'язку задачі Коші для цих диференційних рівнянь та їх систем, що теоретично обґрунтовувало правомірність застосування  $K$ -значних диференційних рівнянь та їх систем для моделювання цифрових пристроїв.

Розроблено аналітичні методи вирішення  $K$ -значних часових диференційних рівнянь з відокремлюваними змінними і загальний метод вирішення лінійних  $K$ -значних звичайних диференційних рівнянь за допомогою характеристик кінцевих абелевих груп.

4. Введені  $K$ -значні диференційні рівняння із запізненням і розроблено чисельний метод їх вирішення. Це розширило область застосування  $K$ -значних диференційних моделей і дозволило отримати більш точні математичні моделі елементів і пристроїв обчислювальної техніки в порівнянні з моделями на основі  $K$ -значних диференційних рівнянь без запізнення.

5. Введені  $K$ -значні диференційні рівняння з частинними похідними у просторах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , де  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . На прикладі моделювання 32-розрядного суматора за допомогою  $K$ -значного диференційного рівняння в частинних похідних показана ефективність моделювання пристроїв з групами елементів, що повторюються, оскільки час моделювання зменшився на порядок. А на прикладі конкретної систолічної структури продемонстрована можливість опису обчислювальних пристроїв такого вигляду за допомогою  $K$ -значних різницевого співвідношень і  $K$ -значних диференційних рівнянь з  $K$ -значними частинними похідними.

6. Розроблено  $K$ -значні нейронні мережі на основі мережі Хебба і дискретної нейронної мережі адаптивної резонансної теорії для автоматизації виявлення сигналів, що призводять до ризиків збоїв. На основі цих нейронних мереж розроблено модуль, що автоматизує процес виявлення сигналів, що призводять до появи ризиків збоїв в модельованих обчислювальних пристроях і підвищує надійність проектування обчислювальних засобів.

7. Удосконалена система моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення, автоматизоване виділення сигналів і перешкод, які несуть в собі ризики збоїв, та забезпечено потужностний аналіз перешкод, які можуть призводити до несанкціонованого спрацьовування елементів і пристроїв, що дозволило більш точно і швидко моделювати обчислювальні пристрої.

8. За допомогою вдосконаленої системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення проведені обчислювальні експерименти з моделювання різних цифрових пристроїв для оцінки достовірності теоретичних результатів, отриманих математичних моделей і розробленого комплексу програмних засобів.

9. Результати роботи впроваджені у НППКІ "Молнія" (м Харків), ПАТ Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе (м. Харків), ПАТ "Луганськтепловоз" (м. Луганськ) та у навчальному процесі кафедри обчислювальної техніки та програмування НТУ "ХПІ".

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Леонов С.Ю. Алгоритмы самоорганизации и  $K$ -значные динамические модели / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, И.М.И. Шехабат / [монография]. – М.: Наука. Физматлит, 1998 – 246 с.

*Здобувачем розроблені основи теорії  $K$ -значних моделей.*

2. Леонов С.Ю.  $K$ -значное дифференциальное исчисление и моделирование цифровых устройств / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов / [монография]. – Харьков: "Транспорт Украины", 1999. – 223 с.

*Здобувачем розроблені основи теорії  $K$ -значного диференційного числення.*

3. Леонов С.Ю. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Н.И. Заполовский / [монография]. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.

*Здобувачем розроблені архітектури та алгоритми функціонування дискретних нейронних мереж АРТ.*

4. Леонов С.Ю. Применение численных методов для решения  $K$ -значных дифференциальных уравнений / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов // "Электронное моделирование". – Киев: Наукова думка. – 1994. – Т. 16. – № 1. – С. 19 – 24 (входить до наукометричних баз Cambridge Scientific Abstracts, Computer and Information Systems Abstracts, INIS Collection, Inspec, ВИНІТИ РАН).

*Здобувачем розроблені чисельні методи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

5. Леонов С.Ю. Методология построения математических моделей систолических структур / Н.И. Корсунов, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // Труды Международной НТК "Проблемы передачи и обработки данных". Под ред. А.В. Королева. – Харьков: НАНУ/ ПАНИ, 1994. – С. 9 – 10.

*Здобувачем показана можливість моделювання складних пристроїв, які мають структури, що повторюються.*

6. Леонов С.Ю. Моделирование распределенных цифровых устройств на основе  $K$ -значных дифференциальных уравнений / Н.И. Корсунов, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // Информационные системы. Сборник статей / Под ред. А.В. Королева. – Харьков НАНУ, ХВУ, 1995. – С. 32 – 33.

*Здобувачем розроблено на основі  $K$ -значного диференційного числення опис складних пристроїв, що мають структури, які повторюються.*

7. Леонов С.Ю. Формальные математические теории и их модели в САПР электронных схем / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // Системы информационного взаимодействия. Сб. науч. тр. Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1995. – С. 13-17.

*Здобувачем розроблені методи опису елементів обчислювальних пристроїв.*

8. Леонов С.Ю. Автоматизация построения программ моделирования в электронике / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Обработка информации. Сб. науч. тр. – Харьков: НАНУ ПАНИ, ХВУ, 1996. – С. 72 – 80.

*Здобувачем обґрунтована можливість побудови методів для моделювання елементів обчислювальної техніки.*

9. Леонов С.Ю. Обработка информации алгоритмами МГУА на вычислительных системах с конвейерной архитектурой / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // Информационные системы. Сб. науч. тр. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1996. – С. 13 – 17.

*Здобувачем запропоновані методи МГУА для моделювання складних обчислювальних пристроїв.*

10. Леонов С.Ю. Информационное взаимодействие элементов вычислительных устройств с учетом их конструктивного исполнения / С.Ю. Леонов // Системы управления и связи: Сб. науч. тр. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1996. – С. 60 – 63.

11. Леонов С.Ю. Автоматизация построения сложных вычислительных устройств / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник ХДПУ. – 1997. – № 21. – Вип. 2. – Харків: ХДПУ, 1997. – С. 78 – 84.

*Здобувачем розроблені елементи системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

12. Леонов С.Ю. Использование аппарата производных  $K$ -значных функций для моделирования вычислительных устройств / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Электронное моделирование. – Киев: Наукова думка. – 1997. – Т.19. – № 2. – С. 19-27 (входит до наукометричних баз Cambridge Scientific Abstracts, Computer and Information Systems Abstracts, INIS Collection, Inspec, ВИНТИ РАН).

*Здобувачем розроблені чисельні методи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

13. Леонов С.Ю. Применение метода  $K$ -значного дифференциального исчисления для исследования работоспособности устройств в условиях помех. Часть 1. Формализация задачи // Н.И. Корсунов, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте". – 1997. – № 4.– С. 31-33 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем проаналізовані вимоги щодо роботи цифрових пристроїв в умовах перешкод.*

14. Леонов С.Ю. Применение метода  $K$ -значного дифференциального исчисления для исследования работоспособности устройств в условиях помех. Часть 2. Практическое использование / Н.И. Корсунов, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте". – 1998. – № 1.– С. 26 – 29 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем проаналізовані методи боротьби з перешкодами на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

15. Леонов С.Ю. Система анализа работоспособности аналого-цифровых объектов / Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1998. – № 4. – С. 26 – 30 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем здійснена постановка завдання до системи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

16. Леонов С.Ю. Моделирование гибридных устройств на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // "Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте" (ИУСЖТ). – 1998. – № 4.– С. 74 – 76 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем розроблені методи моделювання гібридних пристроїв на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

17. Леонов С.Ю. Применение и использование метода  $K$ -значного дифференциального исчисления при проектировании вычислительных устройств / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // "CHIP NEWS". – 2000. – № 10. – С. 25 – 26.

*Здобувачем обґрунтовані перспективи моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення у порівнянні з іншими системами моделювання.*

18. Леонов С.Ю. Объектная реализация модели нейронной сети АРТ-1 / С.Ю. Леонов, Е.В. Храпач // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2001. – № 4. – С. 136 – 141.

*Здобувачем розроблені елементи моделі нейронної мережі.*

19. Леонов С.Ю. Исследование работы микропроцессора с помощью системы моделирования на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. – Вип. 34. – С. 37 – 45 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем розглянуті методи моделювання складних об'єктів на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

20. Леонов С.Ю. Использование элементной базы Active-HDL при исследовании устройств САПР на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. – Вип. 46. – С. 147 – 152 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем розроблені методи побудови моделей з застосуванням мови Active-HDL та системи на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

21. Леонов С.Ю. Моделирование передачи данных с помощью  $K$ -значных дифференциальных моделей / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – Вип. 46. – С. 67 – 76 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем розроблена модель зовнішніх дій на лінії зв'язку.*

22. Леонов С.Ю. Система  $K$ -значного моделювання для дослідження переключательних процесів в цифрових пристроях / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – Вип. 56. – С. 175 – 187 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем здійснена постановка завдання і оцінка показників працездії обчислювальних пристроїв при їх аналізі в системі моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

23. Леонов С.Ю. Верифікація ризиків сбоя в цифрових пристроях на основі  $K$ -значного моделювання / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2007. – Вип. 39. – С. 55 – 62 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем розроблена модель джерела перешкод комп'ютерної системи.*

24. Леонов С.Ю. Моделирование цифровых устройств на основе многозначных алфавитов и  $K$ -значного дифференциального исчисления / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – Вип. 24. – С. 42 – 50 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем проведено порівняльне дослідження моделювання систем з застосуванням многозначних алфавітів та  $K$ -значного диференційного числення.*

25. Leonov S.Yu. Research digital devices by means of modeling system on the basis of  $K$ -Value differential calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // Radioelectronics & Informatics, № 1. – 2008. – P. 63 – 69.

*Здобувачем розроблені методи застосування динамічних параметрів елементів обчислювальної техніки при їх моделюванні в системі на основі  $K$ -значного диференційного числення.*

26. Леонов С.Ю. Автоматизация выявления рисков сбоя с помощью нейронной сети / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – Вип. 31. – С. 65 – 73 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем проаналізовані методи виявлення ризиків збоїв при роботі*



*комп'ютерних систем.*

27. Леонов С.Ю. Модуль автоматизации диагностики переключательных процессов с использованием  $K$ -значной нейронной сети / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких, О.В. Пилипенко // Междунар. сб. научн. тр. Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО "МГТУ", 2011. – С. 35 – 42 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем здійснена постановка завдання аналізу для автоматизації методів діагностики за допомогою нейронних мереж.*

28. Леонов С.Ю. Использование нейронной сети на основе  $K$ -значных нейронов для распознавания рисков сбоя / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – Вип. 36. – С. 52 – 60 (входить до наукометричних баз РИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем розроблені засоби автоматизації діагностики обчислювальних пристроїв за допомогою нейронних мереж на основі  $K$ -значних нейронів.*

29. Леонов С.Ю. Система проектирования вычислительных средств для управления технологическими процессами / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких, О.В. Пилипенко // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Б.Н. Парсункина – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012 – С. 131 – 140 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем розроблені методи побудови засобів автоматизації діагностики за допомогою нейронних мереж на основі  $K$ -значних нейронів.*

30. Леонов С.Ю. Моделирование формы двух параллельно горящих дуг при их электромагнитном взаимодействии / И.М. Ячиков, Е.М. Костылева, С.Ю. Леонов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: Междунар. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 83 – 87 (входить до наукометричної бази РИНЦ).

*Здобувачем розроблені підходи до моделювання електромагнітної взаємодії.*

31. Леонов С.Ю.  $K$ -значные дифференциальные уравнения и соответствующие им графы / С.Ю. Леонов // Системи обробки інформації. – Вип. 9 (107). – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2012. – С. 152 – 156.

32. Леонов С.Ю.  $K$ -значные дифференциальные операторы, зависящие от направления / С.Ю. Леонов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – № 2 (11). – 2013. – С. 210 – 214.

33. Леонов С.Ю. Исследование  $K$ -значных обыкновенных дифференциальных уравнений / С.Ю. Леонов // Системи обробки інформації. – Вип. 2 (109). – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2013. – С. 158 – 163.

34. Леонов С.Ю.  $K$ -значная нейронная сеть АРТ для анализа работоспособности вычислительных устройств / С.Ю. Леонов // Вісник НТУ

"ХП". – Харків: НТУ "ХП", 2013. – Вип. 39 (1012). – С. 115 – 128 (входить до наукометричних баз РИНЦ, ОАІ, Ulrich's Periodicals Directory).

35. Леонов С.Ю. Анализ работы цифровых устройств с помощью пространственно-временных  $K$ -значных моделей / С.Ю. Леонов // Системи озброєння і військова техніка – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2012. – 2 (34). – 122 – 127.

36. Леонов С.Ю. Решение линейных  $K$ -значных дифференциальных уравнений с помощью характеров конечных абелевых групп / С.Ю. Леонов // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2013. – Вип. 5 (112). – С. 90 – 95.

37. Леонов С.Ю. Система обработки сигналов цифровых устройств на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Вып. 2/9 (68). – С. 60 – 66 (входить до наукометричних баз РИНЦ, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory).

*Здобувачем застосовано  $K$ -значне диференційне числення для обробки сигналів цифрових пристроїв.*

38. Леонов С.Ю. Применение  $K$ -значного дифференциального исчисления для исследования распространения сигналов в проводниках с потерями / С.Ю. Леонов // Вісник НТУ "ХП". – Харків: НТУ "ХП", 2014. – № 15 (1058). – С. 92–96.

39. Leonov S.Yu. Modeling The Dynamics of Digital Devices by Means of  $K$ -Valued Coding / V.D. Dmitrienko, N.I. Korsunov, S.Yu. Leonov // Engineering Simulation", Vol. (10) 6, 1993, pp. 1086 – 1099, Gordon and Breach Science Publishers, S.A., Unated States of America.

*Здобувачем розроблені основи моделювання елементів цифрової техніки при  $K$ -значному кодуванні сигналів.*

40. Leonov S.Yu. Use of the technique of derivatives of  $K$ -valued functions for simulation of computing units / N.I. Korsunov, V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // Engineering Simulation. – 1998. – 15 (2). – P. 127 – 135 (входить до наукометричної бази Scopus).

*Здобувачем введені основи  $K$ -значного диференційного числення для дослідження працездія обчислювальних пристроїв.*

41. Leonov S.Yu. Numerical methods for solving  $K$ -valued differential equations / N.I. Korsunov, V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov // Amsterdam B.V., Malaysia – Engineering Simulation. – 1994. – 12 (1). – P. 29-38 (входить до наукометричних баз Scopus).

*Здобувачем показано застосування чисельних методів при рішенні  $K$ -значних диференційних рівнянь.*

42. Leonov S.Yu.  $K$ -Value Adaptive Resonance Theory of the Neural Network for Analyzing the Operability of Computing Devices / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // World Applied Sciences Journal. – 2014. – 30 (12). – P. 1932-1938 (входить до наукометричної бази Scopus).

*Здобувачем розроблені методи застосування нейронних мереж при аналізі працездія обчислювальних пристроїв.*

43. Functions extremum determin. circuit flip-flop generating unity potential to register eliminating false actuation of circuit / Korsunov N.I., Leonov S.Yu. – Patent Number SU1483448, G06F-007/06. – Bul. 20/30.5.89. – May 1989 (входить до наукометричної бази WoS).

*Здобувачем розроблені методи пошуку екстремуму функції при аналізі працездіяльності обчислювальних пристроїв.*

44. Leonov S.Yu. Neural Networks Art: Solving problems with multiple solutions and new teaching algorithm / V.D. Dmitrienko, A.Yu. Zakovorotnyi, S.Yu. Leonov, I.P. Khavina // Open Neurology Journal. – 2014. – 8 – P. 15-21 (входить до наукометричної бази Scopus).

*Здобувачем запропоновані нові алгоритми навчання дискретних мереж АРТ, що дозволяють отримувати різні методи класифікації вхідних даних.*

45. Леонов С.Ю. Компьютерная программа для управления работой приложения "Orange" / Т.В. Гладких, В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, А.А. Серков. – Свидетельство про регистрацию авторского права на твор. – 21.09.2009.

*Здобувачем розроблені елементи системи моделювання з урахуванням електромагнітної сумісності.*

46. Леонов С.Ю. Синтаксически ориентированные программные способы для исследования сложных сигналов / Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Представление, обработка и передача информации. Тезисы докладов Международной НТК – Сочи-Харьков АНУ/ ПАНИ. – 1993 – С. 16.

*Здобувачем розроблені методи опису перемикання логічних сигналів.*

47. Leonov S.Yu. K-character Differential Calculus and Its Use for Electronic Circuit Research / N.I. Korsunov, V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov // IMACS/IFAC Symposium Mathematical Modelling "1.Mathmod Vienna", February 2-4, 1994. – P. 727 – 730.

*Здобувачем розроблені основні положення K-значного диференційного числення.*

48. Леонов С.Ю. Конвертирование данных при связи графического и текстового представления информации / Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Компьютер: наука, техника, технология, здоровье: Тез. докл. Международной научно-технической конференции Micro-CAD-94, Харьков, Мишкольц, 1994. – С. 15.

*Здобувачем розроблені підходи до візуалізації часових діаграм функціонування обчислювальних пристроїв.*

49. Леонов С.Ю. Многоуровневое моделирование сложных устройств / Н.И. Корсунов, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте / Тез. докл. школы-семинара / Харьков – 1994. – С. 43.

*Здобувачем розроблені підходи до побудови ієрархічних моделей обчислювальних пристроїв та їх моделювання.*

50. Leonov S.Yu. Research of digital devices based on K-character differential calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov // XXII International School and Conference on Computer Aided Design CAD-95. New Information Technologies

Applications in Science, Education, Medicine and Business. – Proceedings, 1995. Volume 1. – P. 139.

*Здобувачем розроблено моделі цифрових пристроїв на основі К-значного диференційного числення.*

51. Leonov S.Yu. K-Character Differential Equations in Private Derivatives and their Use for Simulation Digital Devices / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov // Eurosime Congress'95, TU Vienna, September, 11-15, 1995, ARGESIM Report No. 3 // F.Breitenecker, I.Husinsky, p. 93.

*Здобувачем розроблені диференціальні рівняння для опису цифрових пристроїв.*

52. Леонов С.Ю. Алгоритм автоматизированной тестовой диагностики для анализа цифровых устройств / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, В.И. Панченко // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Материалы международной н-т конф. 19-21 апреля 1995 г. – Харьков, Мишкольц: ХГПУ, МУ, 1995. – С. 166.

*Здобувачем розроблені основи методів аналізу працездія обчислювальних пристроїв.*

53. Леонов С.Ю. Трансляция библиотек микросхем для анализа работоспособности цифровых устройств / С.Ю. Леонов, Е.Н. Богатырев // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Материалы международной н-т конф. – 19-21 апреля 1995 г. – Харьков, Мишкольц ХГПУ, МУ, 1995. – С. 172.

*Здобувачем обґрунтована можливість побудови бібліотек елементів для їх моделювання.*

54. Leonov S.Yu. The Automation of Program Construction For Simulation in Electronics / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // European Simulation Multiconference ESM'96- Budapest, Hungary June 2-6, 1996. – P. 582 – 585.

*Здобувачем обґрунтована реалізація систем і моделювання різних елементів обчислювальної техніки.*

55. Леонов С.Ю. Синтаксически ориентированный редактор автоматизированного построения программ моделирования / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // XXIII Международная конференция и дискуссионный научный клуб. Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе: Украина, Крым, Ялта-Гурзуф 15-24 мая 1996 г. – С. 106 – 110.

*Здобувачем розроблені методи візуалізації результатів моделювання.*

56. Леонов С.Ю. Применение К-значного дифференциального исчисления при проектировании устройств с учетом электромагнитной совместимости / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // XXIV Международная конференция и дискуссионный научный клуб. Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе: Украина, Крым, Ялта-Гурзуф 15-24 мая 1997 г. – С. 106 – 110.

*Здобувачем розроблені методи урахування електромагнітної взаємодії при дослідженні функціонування обчислювальних пристроїв.*

57. Леонов С.Ю. Метод многозначного моделирования цифровых устройств на основе К-значного дифференциального исчисления

/ В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Автоматизация проектирования дискретных систем (Computer-Aided Design of Discrete Devices CAD DD'97) // Материалы второй международной конференции (12-14 ноября 1997 года, Минск, Том 3). – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – С. 111 – 118.

*Здобувачем обґрунтовані методи К-значного моделювання в системі на основі К-значного диференційного числення.*

58. Леонов С.Ю. Система автоматизированного проектирования на основе К-значного дифференциального исчисления / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Сборник материалов миконференции "Математическое моделирование и информационные технологии". – Белгород, БелГТАСМ, "Крестьянское дело", 1997. – С. 113 – 118.

*Здобувачем розроблені елементи системи моделювання на основі К-значного диференційного числення.*

59. Леонов С.Ю. Система моделирования устройств на основе К-значного дифференциального исчисления / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Научно-методична конференція "Використання комп'ютерних технологій у навчальному процесі". Тези доповідей / ХТУРЕ, Харків, 1997. – С. 180 – 181.

*Здобувачем розроблені елементи системи моделювання на основі К-значного диференційного числення.*

60. Leonov S.Yu. Method of Research Digital Devices Based on K-Value Differential Calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // 11-th European Simulation Multiconference ESM'97. – Istanbul, Turkey. – June 1-4, 1997. – P. 67 – 71.

*Здобувачем розроблені елементи системи моделювання на основі К-значного диференційного числення.*

61. Леонов С.Ю. Численные методы интегрирования К-значных дифференциальных уравнений с запаздыванием / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Междунар. конф. "Компьютерное моделирование", Белгород, 1-3 октября 1998 г.

*Здобувачем показано застосування численних методів при моделювання на основі К-значного диференційного числення.*

62. Леонов С.Ю. Энергетический анализ помех с помощью системы PSPICE / С.Ю. Леонов, Е.В. Храпач // Вісник ХДПУ. – Вип 102. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 74 – 77.

*Здобувачем удосконалені методи урахування енергії сигналів при перемикання елементів обчислювальної техніки.*

63. Леонов С.Ю. Система К-значного иерархического моделирования сложных устройств / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вісник ХДПУ. – Вип. 114. – Харків: ХДПУ, 2001. – С. 90 – 94.

*Здобувачем показана можливість моделювання ієрархічних пристроїв в системі на основі К-значного диференційного числення.*

64. Леонов С.Ю. Мощностной анализ процессов переключения в вычислительных устройствах / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // 8-я Междунар. конф. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации" ("Ин-

тегрированные информационные системы, сети и технологии") "ИИСТ–2002": Сб. научных трудов. – Харьков, ХНУРЭ, 2002. – С. 498–500.

*Здобувачем удосконалені методи урахування енергії сигналів при перемикання елементів обчислювальної техніки.*

65. Leonov S.Yu. K-Value Differential Calculus CAD / S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // Proceedings of East-West Design&Test Workshop (EWDTW'04). – Alushta, Ukraine. – 2004. – P. 227 – 230.

*Здобувачем розроблені K-значні моделі для системи моделювання на основі K-значного диференційного числення.*

66. Leonov S.Yu. Models of computer's elements in CAD based on the K-value differential calculus / S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDTW'05). – Odessa: Ukraine, 2005. – P. 160 – 164.

*Здобувачем розроблені моделі елементів для системи моделювання на основі K-значного диференційного числення.*

67. Leonov S.Yu. System of K-Value simulation for research switching processes in digital devices / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkih // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDTW'06). – Sochi, Russia, 2006. – P. 428 – 435.

*Здобувачем розроблені K-значні моделі для дослідження цифрових пристроїв.*

68. Леонов С.Ю. K-значное дифференциальное исчисление в задачах моделирования цифровых систем с учетом ЭМС / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов // 3-й Международный радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" МРФ-2008. Сборник научных трудов. Том VI. Международная конференция "Электромагнитная совместимость". – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2008. – С. 22 – 27.

*Здобувачем розроблені методи застосування параметрів електромагнітної сумісності елементів обчислювальної техніки при їх моделюванні в системі на основі K-значного диференційного числення.*

69. Леонов С.Ю. Решение задачи распознавания рисков сбоя с помощью нейронной сети / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, О.В. Пилипенко // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ-2011). – Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Т.2. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 98 – 101.

*Здобувачем розроблені методи розпізнавання ризиків збоїв в елементах обчислювальної техніки при їх моделюванні за допомогою нейронної мережі.*

70. Леонов С.Ю. Алгоритм обучения однослойной K-значной нейронной сети / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, О.В. Пилипенко, А.С. Александрова // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ-2011). – Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Т.2. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – С. 24 – 26.

*Здобувачем розроблені методи адаптації нейронної мережі Хебба при застосуванні K-значних нейронів.*

71. Леонов С.Ю. Автоматизированное проектирование сложных систем в компьютерной системотехнике. Учебное пособие / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких, Г.И. Загарий, О.И. Стасюк. – Харків: Нове слово, 2012. – 287 с.

*Здобувачем показано застосування многозначного моделювання при моделюванні складних обчислювальних пристроїв.*

72. Леонов С.Ю. Интерпретация результатов моделирования цифровых устройств с помощью  $K$ -значного дифференциального исчисления на основе конечнозначных логик / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // XIII Международная научно-практическая конференция "Современные информационные и электронные технологии" "СИЭТ-2012" 4 – 8 июня 2012 г. – Украина, г. Одесса.

*Здобувачем розроблені розширені методи індикації при застосуванні многозначного моделювання.*

73. Леонов С.Ю. VHDL-технології проектування електронних пристроїв / С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких, А.И. Баленко. – К.: Вид-во "КАФЕДРА", 2014. – 423 с.

*Здобувачем показано застосування многозначного моделювання при моделюванні за допомогою мови VHDL.*

## АНОТАЦІЇ

**Леонов С.Ю. Теорія автоматизованого проектування електронних пристроїв на основі  $K$ -значного моделювання.** На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2014.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми підвищення ефективності автоматизованого проектування електронних пристроїв з урахуванням перешкод на основі розробки та дослідження нових методів, моделей та технологій автоматизованого проектування технічних та програмних засобів комп'ютерних систем та мереж.

Розроблено теоретичні основи  $K$ -значного диференційного числення для дослідження цифрових компонентів комп'ютерних систем. Введені простори  $dM^m$  і  $M^m \times dM^m$ , де  $M = \{0, 1, \dots, K - 1\}$ , які використовуються для опису зміни сигналів в технічних компонентах та комп'ютерних системах і породжують  $K$ -значні диференційні рівняння, для вирішення яких запропоновано ефективний чисельний метод. Розроблено загальну методику введення і дослідження операцій обігу  $K$ -значних похідних для просторів  $M^m$  і  $K$ -значно-часових просторів  $(M^m, N)$ , де  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ . Введені основні поняття  $K$ -значних звичайних диференціальних рівнянь у просторі  $(M, N)$ . Доведено теореми існування та єдиності розв'язку задачі Коші для цих диференційних рівнянь та їх систем. Це теоретично обґрунтувало правомірність застосування  $K$ -значних диференційних рівнянь та їх систем для моделювання цифрових пристроїв. Введені  $K$ -значні диференційні рівняння із запізненням і розроблено чисельний метод їх вирішення. Введені  $K$ -значні

диференційні рівняння з частинними похідними у просторах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , де  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . Розроблені  $K$ -значні нейронні мережі для підвищення ефективності автоматизованого проектування, діагностики та автоматизації виявлення сигналів, що спричиняють ризик збоїв.

Удосконалена система моделювання на основі  $K$ -значного диференційного числення. Промодельовані реальні високоефективні технічні компоненти і об'єкти. Результати впроваджені в промисловість.

*Ключові слова:*  $K$ -значне кодування сигналів, електронні пристрої, моделі, методи та технології автоматизованого проектування, цифрові компоненти комп'ютерних систем.

**Леонов С.Ю. Теория автоматизированного проектирования электронных устройств на основе  $K$ -значного моделирования.** На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2014.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы повышения эффективности автоматизированного проектирования электронных устройств с учетом помех на основе разработки и исследования новых методов, моделей и технологий автоматизированного проектирования технических и программных средств компьютерных систем и сетей.

Разработаны теоретические основы  $K$ -значного дифференциального исчисления для исследования электронных устройств и  $K$ -значных функций вида  $F: M^m \rightarrow M$ , где  $M = \{0, 1, 2, \dots, K - 1\}$ . При этом введены  $K$ -значные полные дифференциалы,  $K$ -значные простые и  $n$ -кратные частные дифференциалы, частные и векторные производные  $K$ -значных функций, временные дифференциалы и производные, производные неявных  $K$ -значных функций,  $K$ -значные дифференциальные операторы, зависящие от направления в пространствах  $(M^m, N)$  (где  $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ ) и изучены их свойства. Введены пространства  $dM^m$  и  $M^m \times dM^m$ , которые используются для описания изменения сигналов в цифровых устройствах и порождают  $K$ -значные дифференциальные уравнения, для решения которых предложен эффективный численный метод. Разработанный математический аппарат в отличие от булева дифференциального исчисления, где сигналы и процессы описываются элементами булевых множеств  $B = \{0, 1\}$ ,  $B^m$ , использует множества  $M$ ,  $M^m$  и  $K$ -значное кодирование сигналов, что позволяет более точно моделировать динамические процессы в высокоэффективных технических компонентах. Разработана общая методика введения и исследования операций обращения  $K$ -значных производных для пространств  $M^m$  и  $K$ -значно-временных пространств  $(M^m, N)$ . Исследованы свойства неопределенных интегралов в пространствах  $M^m$  и  $(M^m, N)$ . Это расширило область применения дискретных интегралов с двоично-временных пространств на пространства  $M^m$  и  $(M^m, N)$  и открыло возможность численного решения  $K$ -значных дифференциальных



уравнений в этих пространствах. Введены основные понятия  $K$ -значных обыкновенных дифференциальных уравнений в пространстве  $(M, N)$ . Доказаны теоремы существования и единственности решения задачи Коши для этих дифференциальных уравнений и их систем, что теоретически обосновывало правомерность применения  $K$ -значных дифференциальных уравнений и их систем для моделирования цифровых устройств. Разработаны аналитические методы решения  $K$ -значных временных дифференциальных уравнений с разделяющимися переменными и общий метод решения линейных  $K$ -значных обыкновенных дифференциальных уравнений с помощью характеров конечных абелевых групп. Введены  $K$ -значные дифференциальные уравнения с запаздыванием и разработан численный метод их решения. Это расширило область применения  $K$ -значных дифференциальных моделей и позволило получить более точные математические модели элементов и устройств вычислительной техники по сравнению с моделями на основе  $K$ -значных дифференциальных уравнений без запаздывания. Введены  $K$ -значные дифференциальные уравнения с частными производными в пространствах  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , где  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . Показана аналогичность определений основных понятий для  $K$ -значных и непрерывных дифференциальных уравнений с частными производными, что позволяет пользоваться рядом результатов классической теории непрерывных уравнений. Разработаны  $K$ -значные нейронные сети на основе нейронной сети Хебба и дискретной нейронной сети адаптивной резонансной теории для автоматизации выявления сигналов, приводящих к рискам сбоев. На основе этих нейронных сетей разработан модуль, автоматизирующий процесс выявления сигналов, приводящих к появлению рисков сбоев в моделируемых вычислительных устройствах, и повышающий надежность проектирования вычислительных средств.

Усовершенствована система моделирования на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления. Промоделированы реальные высокоэффективные технические компоненты и объекты. Результаты внедрены в промышленность.

*Ключевые слова:*  $K$ -значное кодирование сигналов, электронные устройства, модели, методы и технологии автоматизированного проектирования, цифровые компоненты компьютерных систем.

**S.Yu. Leonov. Theory of computer-aided design of electronic devices based on  $K$ -valued simulation.** Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences on specialty 05.13.05 – computer systems and components. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2014.

The dissertation is devoted for scientific-applied problem of improving efficiency of computer-aided design electronic devices taking into account obstacles based on elaboration and research new methods, models and technologies computer-aided design hardware and software computer systems and networks.

It is elaborated theoretical foundations of  $K$ -value differential calculus for research digital components of computer systems. Introduced spaces of  $dM^m$  and  $M^m \times dM^m$ , where  $M = \{0, 1, \dots, K - 1\}$ , and which are used to describe changes of signals in technical components and computer systems and produce  $K$ -value differential equation for solving which an efficient numerical method is proposed. Developed the general methodology introduction and research operations converting  $K$ -value derivatives for spaces  $M^m$  and  $K$ -value-time spaces  $(M^m, N)$ , where  $N = \{0, 1, \dots\}$ . It is introduced the basic concepts  $K$ -value ordinary differential equations in space  $(M, N)$ . It is proved theorems of existence and uniqueness solution of Cauchy problem for these differential equations and their systems. It is theoretically justified lawfulness of the application  $K$ -value differential equations and their systems for modeling digital devices. It is introduced  $K$ -value differential equations with delay and developed a numerical method to solve them. It is introduced  $K$ -value differential equations with partial derivatives in spaces  $(M, N^L)$ ,  $(M, G^L)$ , where  $G = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ . Developed  $K$ -value neural networks to improve efficiency aided design, diagnostics for its help and automation of detection signals, which cause risk of failures.

Improved system of modeling based on  $K$ -value differential calculus. Modeled real highly effective technical components and objects. The results implemented in industry.

*Keywords:*  $K$ -value coding signals, electronic devices, models, methods and technologies of computer-aided design, digital components of computer systems.



Відповідальний за випуск зав. кафедри обчислювальної техніки та  
програмування НТУ "ХП"  
д.т.н., с.н.с. Семенов С.Г.

Підп. до друку 10.09.2014 р. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Рарег.  
Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 1,8. Облік. вид. арк. 1,9.  
Наклад 100 прим.

---

Отпечатано в типографии ООО «Цифра Принт»  
на цифровом комплексе Хегох DocuTech 6135.  
Свидетельство о Государственной регистрации А01 № 432705 от 3.08.2009 г.  
Адрес : г. Харьков, ул. Данилевского, 30. Телефон : (057) 7861860.