

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЛУКАШЕНКО АНДРІЙ GERMANOVICH



УДК 004.383 (043)

**РОЗВИТОК МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
КОМПОНЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Спеціальність 05.13.05 –Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Черкаси – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем Черкаського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: академік НАНУ,
доктор технічних наук, професор,
президент НАНУ
Патон Борис Євгенович,
директор Інституту електрозварювання
ім. Є. О. Патона(м. Київ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Єременко Володимир Станіславович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій (м. Київ)

доктор технічних наук, професор
Вовна Олександр Володимирович,
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний
університет», завідувач кафедри
електронної техніки (м. Покровськ)

доктор технічних наук, професор
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний
університет, професор кафедри
комп'ютерних систем та мереж (м. Одеса)

Захист дисертації відбудеться « 10 » лютого 2021 р. о 12.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 у Черкаському державному технологічному університеті за адресою 18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460, конференц-зала 1 корпус.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

Автореферат розіслано « 29 » грудня 2020р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю. Ю. Бондаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Потужним забезпеченням науково-технічного прогресу в промисловості, оборонній та космічній техніці є створення енергоефективних комп'ютерно-інтегрованих систем (КІС) спеціального призначення (СП). Дослідженням встановлено, що підвищення техніко-економічних показників (ТЕП) компонентів, що формують і перетворюють інформацію, приводить до адекватного підвищення ефективності КІС. Проектування сучасних КІС ресурсозберігаючого технологічного обладнання (РЗТО) СП йде у комплексі з вимогами до методів і моделей компонентів КІС, які б одночасно забезпечили високу надійність, точність, швидкодію при малих енергоспоживанні, вазі та габаритах, широкому діапазоні робочих температур та низькій вартості, що не адекватно реальним ситуаціям їх виконання і тому є проблемою. Наявні методи принципово не можуть забезпечити виконання суворих вимог повною мірою. Цим питанням присвячені роботи вчених: В. А. Бріка, В. М. Глушкова, В. І Корнійчука, А. Н. Лебедева, А. М. Оранського, К. Г. Самофалова, В. Б. Смолова, В. П. Тарасенка, A. Godse, G. Haggard, B. Randell та ін. Однак питання застосування табличних класичних або таблично-алгоритмічних методів і моделей прецизійних компонентів КІС при обмеженні на обчислювальну потужність повною мірою не вирішені. Успіхи, досягнуті у нанотехнології, не завжди задовольняють наведені вищі вимоги через високу складність наноструктур обчислювачів з великою кількістю кубітів, що порушує питання надійності цих структур через сильні електричні поля, високу густину струму й інші фактори, які сприяють їхній деградації, цим зменшується надійність, що неприпустимо для сучасних КІС РЗТО СП. Отже, розвиток методів і моделей енергоефективних компонентів КІС на єдиному методологічному й інформаційному базисі є актуальною темою, дослідження якої полягає в здійсненні математичного узагальнення методів і на їх основі створення нових високоефективних моделей компонентів і підсистем КІС з високими ТЕП, що забезпечує прогрес у розвитку цих галузей науки та техніки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано відповідно до тематики бюджетних науково-дослідних робіт ЧДТУ: «Методи, моделі при обробці інтелектуальних, інформаційних технологій для високоефективних обчислювальних та локальних підсистем управління в проблемно-орієнтованих системах» (№ 0106U004501); «Моделі локальних підсистем керування лазерним випромінюванням для рішення траєкторних задач на базі таблично-алгоритмічних методів апаратурної реалізації в проблемно-орієнтованих системах» (№ 0109U002739); «Таблично-алгоритмічні методи, моделі співпроцесорів та компонентів в мікропроцесорних системах керування для спеціалізованих лазерних технологічних комплексів» (№ 0111U002934); «Базові компоненти мікропроцесорних систем керування лазерними технологічними комплексами на основі таблично-алгоритмічних методів, моделей та теорії неповної подібності» (№ 0113 U003345).

Мета і завдання дослідження. Метою вирішення науково-технічної проблеми є підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем ресурсозберігаючого технологічного обладнання спеціального призначення шляхом узагальнення теоретичних положень наявних і створення нових методів та моделей енергоефективних компонентів, що формують, взаємоперетворюють, створюють і обробляють інформацію з високими показниками щодо надійності, точності, швидкодії при малих габаритах, вазі, енергоспоживанні та матеріальних витратах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні проблемні задачі:

- провести системний аналіз стану теорії, методів, моделей компонентів предмета дослідження та сформулювати проблемні задачі;
- створити розрядний кортежно-табличний логіко-оборотний (РКТЛО) метод, що перетворює різного виду однополярні позиційно-впорядковані двійково-кодові операнди;
- створити та дослідити цифрові багатофункціональні, високонадійні, прецизійні, енергоефективні моделі компонентів КІС, що реалізовані РКТЛО методом;
- побудувати багатофункціональні моделі обчислювальних перетворювачів – комбіновану та гібридну;
- удосконалити методологію встановлення взаємозв'язку одночасно за багатьма різними параметрами ВІС при повній відсутності математичної закономірності між ними;
- побудувати фізичну модель ресурсозберігаючого спеціалізованого лазерного технологічного обладнання (РСЛТО) на основі синтезу нових та вдосконалених моделей енергоефективних компонентів КІС для проведення комп'ютерно- експериментального випробування.

Об'єктом дослідження є процеси обробки інформації у комп'ютерно-інтегрованих системах.

Предметом дослідження є методи та моделі енергоефективних компонентів комп'ютерно-інтегрованих систем ресурсозберігаючого технологічного обладнання спеціального призначення.

Методи дослідження базуються на використанні: теорії формальної математичної логіки, операції XOR (при створенні КЛММ і РКТЛО методу); апарату обчислювальної математики (при оцінюванні ТЕП), аналізу, синтезу, оптимізації (систематизація методів, моделей, формування класу ОПВДК операндів); розмірностей (при створенні КЯ); параметричної оптимізації (при створенні експериментально-графічного методу); алгоритмів (при створенні алгоритму для формування КорК); ТКМ і ТАМ (при створенні обчислювальних перетворювачів); проектування (при створенні інформаційно-логічної моделі, системотехнічного етапу проектування КІС РЗТО СП); кодування (при створенні моделей перетворення кодів); надійності (при введенні коригуючого (КЗЗ) та інформаційного (ІЗЗ) зворотних зв'язків; експерименту (при випробуваннях створеної фізичної моделі СЛТО).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Вперше розроблено нетрадиційний високоєфективний розрядний кортежно-табличний логіко-оборотний (РКТЛО) метод, шляхом використання властивостей математичної логіки та формалізації при створенні композиційної логіко-математичної моделі (КЛММ), у якій однополярні позиційно-впорядковані двійково-кодові (ОПВДК) операнди представлені як композиція незалежних «1» і «0». Це забезпечило: формування класу кодів у вигляді ОПВДК комбінацій; паралельну обробку інформації; отримання результатів їх перетворення незалежно від системи числення; а використання тотожності алгебри Жегалкина забезпечило формування одних і тих же таблиць коригуючих констант (КорК) для прямого й оборотного взаємоперетворення; створення єдиної універсальної таблиці КорК малого об'єму з можливістю нарощування; при цьому розрядна процедура розрахунків таблиць КорК (попередньо обчислюються) для багаторозрядних операндів не потребує прецизійного обчислювального обладнання. Водночас є можливість перетворення різнополярних кодів (± 1), які просто і легко перетворюються в однополярні коди, що прискорює час проектування.

2. Вперше розроблено моделі шістьох цифрових обчислювальних компонентів КІС, які орієнтовані на перетворення класу ОПВДК інформації, шляхом імплементування

властивостей РКТЛО методу та введення коригуючого (КЗЗ) та інформаційного (ІЗЗ) зворотних зв'язків всередині кристала, що зменшує їх енерго-часові витрати, габарити і вагу, збільшує апаратурну надійність компонентів КІС, а звільнена площа кристала забезпечує розширення функціональних можливостей, що в сукупності зменшує апаратурну складність КІС.

3. Вперше розроблено багатфункціональні моделі обчислювальних перетворювачів КІС, комбіновану (БМКОП) і гібридну (БМГОП), шляхом синтезу цифрових і аналогових операцій, що забезпечує зменшення складності мікроархітектури КІС, високі технологічність, інформаційну надійність, швидкодію, багатфункціональність, топологічну регулярність комутаторів у БМКОП і керуючих каскадів двопозиційних транзисторних перемикачів у БМГОП, використання принципу МДН-варакторної «форсування» напруги у вузлах з попередньої установки; зменшення часу перехідних процесів.

4. Вперше, на базі основних положень теорії умовного моделювання, запропонована методологія встановлення взаємозв'язку одночасно за багатьма різними параметрами серійно випускових інтегральних компонентів (ВІС) при повній відсутності математичного опису закономірності між ними. Особливість цієї методології полягає у тому, що функціональна залежність між величинами різних параметрів, що характеризують ВІС, представляється у вигляді залежності між сформованими з них багатпараметричними критеріями якості (КЯ), на підставі яких створюються критеріальні рівняння та будуються знакові моделі в 1,...,4 квадрантах з координатами визначених КЯ відповідних рівнянь. Висока швидкість аналізу та встановлення взаємозв'язків між параметрами забезпечується через їх візуалізацію між КЯ, що розташовуються на площині побудованих відповідних знакових моделей.

5. Удосконалено узагальнений інтегрований критерій оцінювання (УІКО) ефективності моделей дослідження шляхом синтезу критеріїв якості. Особливість УІКО полягає в гнучкості (підвищення величини одного КЯ компенсує малу величину іншого КЯ) та відсутності пріоритетних вагових коефіцієнтів (функцій), заснованих на суб'єктивності. Цим спрощується та прискорюється процес порівняльного аналізу, розширюється база класифікації показників оцінювання ефективності моделей за формою представлення.

6. Удосконалено метод створення ефективної моделі ВІС на базі самомоделювання шляхом змінювання відповідних параметрів режиму роботи ВІС, які мають енергетичний резерв кристалу більш одиниці, при цьому топології мікроархітектури ВІС зберігаються. Це забезпечує високу економію матеріальних та енерго-часових витрат.

7. Отримав подальший розвиток графоаналітичний метод визначення найліпшої кількості розрядів r в кортежі для універсального числового блоку пам'яті (УЧБП) шляхом побудови його на базі властивостей РКТЛО методу. Особливістю методу є гнучкість кортежної декомпозиції ОПВДК операндів, що дозволяє при забезпеченні необхідної точності та надійності варіювати об'ємом зберігаючих констант УЧБП, потужністю споживання, а також параметрами швидкодії шляхом паралельної обробки кортежів.

8 Отримав подальший розвиток експериментально-графічний метод визначення параметрів для функціонування керуючих КДПТП, за рахунок синтезу в одному квадранті суперечливих залежностей двох незалежних параметрів для одного спільного визначеного. Особливістю є простота та висока швидкість визначення відповідних параметрів через візуалізацію.

9. Отримала подальший розвиток модель багатоконтурної субсистеми РЗТО, за допомогою якої забезпечується переміщення за обчисленими траєкторіями об'єкта обробки та відповідного інструмента одночасно, за рахунок застосування запропонованого обчислювача, який шляхом визначення значень передавальних функцій коригувальних ланок і передавальних функцій перетворювачів коригує параметри контурів, що входять у відповідні контури регуляторів. Це зменшує складність і час їх відлагодження з істотно різними динамічними параметрами.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні методологічної основи розроблених методів, моделей енергоефективних компонентів, які використовуються шляхом імплементації їх у структуру КІС, забезпечують одночасно високі: надійність, швидкодію, точність при малих габаритах і вазі, малому енергоспоживанні та низькій вартості виробу. На основі нових методів розроблено нові алгоритми, схемні та конструктивні рішення, що розширило науково-технічну базу енергоефективних компонентів КІС спеціального призначення. Запропонована методика визначення напрямків вдосконалення ВІС за відповідними характеристиками шляхом синтезування значень КЯ, що характеризують енергетичний резерв кристала ВІС та одночасно значень відповідних КЯ. Особливістю методики є алгоритм і структурне представлення процедур аналізу КЯ та рекомендації визначених ВІС для вдосконалення відповідного напрямку, що зменшує час на проектування. Верифікацію високоекономічного методу проведено на розроблених фізичних моделях дослідження для визначених ІС АЛП і МК з високими енергетичними резервами, що підтвердило працездатність моделей з найбільш ефективними параметрами, а саме: для визначеної моделі АЛП зона статичної завадостійкості збільшується в 1,5 рази, що підтверджується наведеними розрахунками й експериментом. Для визначеного МК з високим енергетичним резервом збільшено значення робочої частоти, тобто збільшується швидкодія. Цей метод зменшує витрати майже на 50% при проектуванні.

На основі синтезу нових і вдосконалених моделей енергоефективних компонентів та багатоконтурної субсистеми КІС побудовано фізичну модель ресурсозберігаючого спеціалізованого лазерного технологічного обладнання (РСЛТО) та проведено комп'ютерне-експериментальне випробування в умовах підприємства, за підтвердженими високоякісними результатами модель впроваджена.

Практичне значення результатів дослідження та розробок підтверджено актами та довідками про наукову значущість, практичне використання і можливість впровадження у виробництво в промисловості України та Молдові: ТОВ «ЛАЗЕР ЦВМ», м. Київ; ТОВ «Науково-дослідний інформаційний центр «АРМАТОМ», м. Київ; «INSTITUTUL DE ENERGETIC ACADEMIA ȘTIINȚĂ MOLDOVEI», Republica Moldova; НВК «Фотоприлад», м. Черкаси; ПП «Енерголісбуд», м. Кам'янець-Подільський; довідка НВК «Фотоприлад», м. Черкаси; ТОВ «НОВОФОРМ», м. Київ; ТОВ «Торговий Дім Трипілля», м. Дніпропетровськ; ЗАТ «КЦКБА», м. Київ. Крім того, теоретичні та практичні результати дослідження використовувалися в навчальному процесі: у ЧДТУ на кафедрі РСКС (м. Черкаси); ЧДУ ім. Петра Могили (м. Миколаїв) на кафедрі інформаційних технологій та програмних систем і ДВНЗ «ДонНТУ» на кафедрі електронної техніки (м. Покровськ).

Особистий внесок здобувача полягає в дослідженні наявних і розробці нових методів, моделей компонентів при проектуванні КІС РЗТО СП. Викладені в дисертації теоретичні, розрахункові результати експериментальних досліджень і висновки, що виносяться на захист, отримані особисто автором в період з 2006 по 2020 рр., опубліковані

в більш ніж 107 наукових роботах і узагальнені під час оформлення дисертації. Роботи [18,19, 42, 47, 48, 51, 54, 66, 92, 93] написані безпосередньо автором. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, автору належать ідеї розробок: ТЛЮ, ТЛ, РКТЛЮ методів [4, 68, 85]; представлення двійково-кодових операндів з позиційно-впорядкованою формою запису як композиції «1» та «0» і створення на базі формальної логіки композиційної логіко-математичної моделі (КЛЛМ) для формування таблиць відповідностей незалежно від систем числення [4]; алгоритм визначення коригуючих констант через операцію XOR [4, 34]; принцип ліквідації інформаційної надмірності завдяки кортежній декомпозиції [19] та принцип формування результату через операцію конкатенації [4, 19]; визначено клас кодів, представлених у вигляді однополярних двійково-кодових операндів з позиційно-впорядкованою формою запису, які найбільш ефективно апаратурно реалізуються РКТЛЮ методом [4, 40, 79, 83, 90, 94]; розробка багатofункціональних прецизійних моделей обчислювальних перетворювачів інформації [5, 9, 56, 82, 83, 90]; розробка методики визначення інформаційної надмірності [4, 34, 51]; принцип підвищення надійності через введення КЗЗ і ІЗЗ [4, 5, 50, 68, 69, 78, 79, 81, 90, 92, 93, 95–97]; принцип побудови універсального малого об'єму ЧБ пам'яті з можливістю нарощування [9, 78, 79, 82, 85, 95, 96]; розробка високонадійних багатofункціональних моделей обчислювальних перетворювачів комбінованих [30, 65, 71, 84, 89] та гібридних [26, 43, 49, 53, 70, 72, 76, 78, 80, 86–88, 95–100]; вдосконалення керуючого каскаду двопозиційних транзисторних перемикачів [41, 42, 43, 78, 80, 92–94, 98–100]; метод виявлення енергетичного резерву кристала ВІС та методологія вдосконалення МК [6, 10, 11, 14, 16, 20, 24, 35, 36, 45]; високоекономічний метод на базі самомоделювання ВІС [17]; метод визначення найкращого з множини компонентів з серійним випуском одночасно за багатьма параметрами та при повній відсутності аналітичного зв'язку між ними [10, 11, 21, 22, 31, 35, 36, 38, 61, 63]; узагальнений показник оцінювання ефективності моделей дослідження [3, 18, 19, 23, 55, 57, 59, 62]; ідея та шляхи зменшення складності відлагодження багатоконтурних систем через розробку моделі обчислювача [7, 44, 47, 48, 73–75, 101]; розробка експериментально-графічного методу [41–43]; удосконалення графоаналітичного методу для визначення найкращого значення кількості розрядів у кортежі для ЧБ пам'яті [13, 77]; експериментальне випробування запропонованих методів і моделей та аналіз [7, 10, 15, 27, 28, 32, 33, 37, 39, 41, 48]; аналіз і систематизація наявних таблично-алгоритмічних методів і компонентів КІС СЛТО [1, 2, 12, 20, 29, 58, 60, 64, 67]; сплайн-функції [8, 25, 60].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 28 міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: ІХ МНПК «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій – 2018» (м. Запоріжжя, Україна, 3–5 жовт. 2018), ХІІІ ISPC “Science and Civilization – 2018” (Sheffield, England, Jan. 30–Feb. 7, 2018), ХІІІ ISPC “Trends of modern science – 2018” (Sheffield, England, May 30–Jun. 7, 2018), ХІV MVPK “Dny Vědy – 2018” (Praha, Chekhiiia, Břez. 22–30, 2018), ХVІ МНПК “Найновите научни постижения – 2018” (Софія, Болгарія, 15–22 марта 2018), ХІV MVPK “Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2018” (Praha, Chekhiiia, Únor. 22–28, 2018), ХІІІ МНПК “Achievement of High School – 2017” (Софія, Болгарія, Nov. 15–22, 2017), ХІІІ ISPC “Science without borders – 2017” (Sheffield, England, Mar. 30–Apr. 7, 2017), ХІІ МНПК “Образованието и науката на ХХІ век – 2016”, (Софія, Болгарія, 17–25 окт. 2016), ІІ МНПК «Інформаційні технології та взаємодії – 2015» (м. Київ, Україна, 3–5 листоп. 2015), ХІІІth International Conference “The Experience of Designing and

Application of CAD Systems in Microelectronics – 2015 (CADSM 2015)»(Polyana, Svalyava, Zakarpattia, Ukraine, Feb. 24–27, 2015), X MVPK “Zprávy vědecké ideje – 2014” (Praha, Chekhiiia, říj. 27–lis. 5, 2014), X МНПК “Ключови въпроси в съвременната наука – 2014” (София, България, 17–25 апр. 2014), IX МНПК “Настоящи изследвания и развитие – 2013” (София, България, 17–25 яну. 2013), VIII MVPK “Aktuální vzmoženosti vědy – 2012” (Praha, Chekhiiia, čer. 27–červ. 5, 2012), VIII МНПК “Новината за напреднали наука – 2012” (София, България, 17–25 мая 2012), VII Всеукр. НПК«Інформаційні технології в освіті, науці і техніці»(м. Черкаси, 4–6 трав. 2010), V МНПК “Wykształcenie i nauka bez granic – 2009” (Przemyśl, Польша, grud. 7–15, 2009), V MVPK “Vědecký pokrok na rozmezí millennium – 2009” (Praha, Chekhiiia, květ. 27–čer. 5, 2009), 12 Молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»(м. Харків, Україна, 1–3 квіт. 2008), IV MVPK “Klíčové aspekty vědecke činnosti – 2008” (Praha, Chekhiiia, ledna 15–31, 2008), IV МНПК “Nowoczesnych naukowych osiągnięć” (Przemyśl, Польша, lutego 1–14, 2008), I МНПК «Комп’ютерне моделювання в хімії та технологіях»(м. Черкаси, Україна, 12–16 трав. 2008), IV МНПК “Научни дни-2008” (София, България, 1–15 апр. 2008), III МНПК “Умение и нововъведения – 2007” (София, България, 16–31 окт. 2007), VIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии-2007 (СИЭТ-2007)», (г. Одесса, Украина, 21–25 мая 2007), III МНПК студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікації-2006»(м. Київ, Україна, 26–27 квіт. 2006), XIII МК з автоматичного управління (Автоматика–2006) (м. Вінниця, Україна, 25–28 верес. 2006).

Публікації. Результати дослідження, що подані в дисертації, опубліковані в 107 наукових працях, у тому числі 2 монографіях, 57 статтях у наукових фахових виданнях (з них 6 – у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus або Web of science, 12 – у виданнях іноземних держав), 24 патентах України (з них 8 патентів на винахід), 28 тезах доповідей у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг – 383 сторінок, з них обсяг основного тексту – 264 сторінки, 78 рисунків, 33 таблиці, список використаних джерел становить 237 найменувань і займає 30 сторінок, а також 5 додатків обсягом 54 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У розділі 1 проведено системний аналіз науково-технічної проблеми, досліджено сучасний стан теорії, методів і моделей комп’ютерних компонентів та вимог до енергоефективних компонентів КІС РЗТО спеціального призначення. Визначено, що при апаратурній реалізації компонентів КІС РЗТО висуваються високі вимоги одночасно до: надійності, швидкодії, точності, об’єму пам’яті, яка зберігає відповідну інформацію, представлену у вигляді таблиць, про ваги й габарити, енергоспоживання, вартість цифрових, комбінованих і гібридних обчислювальних перетворювачів і субсистем. Відомо, що високу швидкодію мають табличні компоненти, проте недоліком є великий об’єм пам’яті для прецизійних обчислювачів. Наявні ТАМ зменшують об’єм таблиць, що зберігаються в числовому блоці пам’яті (ЧБП), але зменшується швидкодія обробки інформації через наявність в алгоритмі тривалих арифметичних операцій, які залежні від розрядності операндів. Підвищення швидкодії забезпечують паралельна реалізація базових арифметичних операцій і суттєве скорочення обсягу пам’яті для табулювання функцій при використанні двійково-кодових комбінацій у системі залишкових класів

(СЗК). Однак перешкодою для широкого застосування СЗК у спеціалізованих обчислювальних засобах є складні алгоритми ділення (коли результат не є цілим) і труднощі у виявленні переповнення. Часто сучасні моделі перетворювачів, що побудовані традиційними методами, не несуть, як правило, обчислювального навантаження і є узгоджуваними компонентами, які забезпечують перетворення однієї системи числення на іншу або необхідну форму подання інформації як на вході, так і на виході обчислювального пристрою. Водночас вони мають ряд обмежень, виконання яких вимагає апаратної підтримки, що призводить до збільшення ваги і габаритів, погіршення надійності та енерго-часових показників. Ці висновки не нові, проте, з практичної точки зору, існуюче теоретичне напрацювання в галузі дослідження та розробки методів і моделей компонентів, які відповідають високим вимогам, є недостатньо повним. Бажано створити єдину теорію порозрядного перетворення кодів, яка забезпечує прості співвідношення, що зв'язують значення не тільки двійково-кодових операндів з різними системами числення, а й різних за змістом, тобто визначити клас однополярних кодів з позиційно-впорядкованою формою запису. Водночас ефективність безпосередньо пов'язана з визначеним видом засобів реалізації систем математичного забезпечення. Незважаючи на великі досягнення в нанотехнології, проблемна задача забезпечення високої надійності багатофункціональних обчислювальних перетворювачів КІС СП існує і дотепер через велику кількість зовнішніх контактів (рис.1).

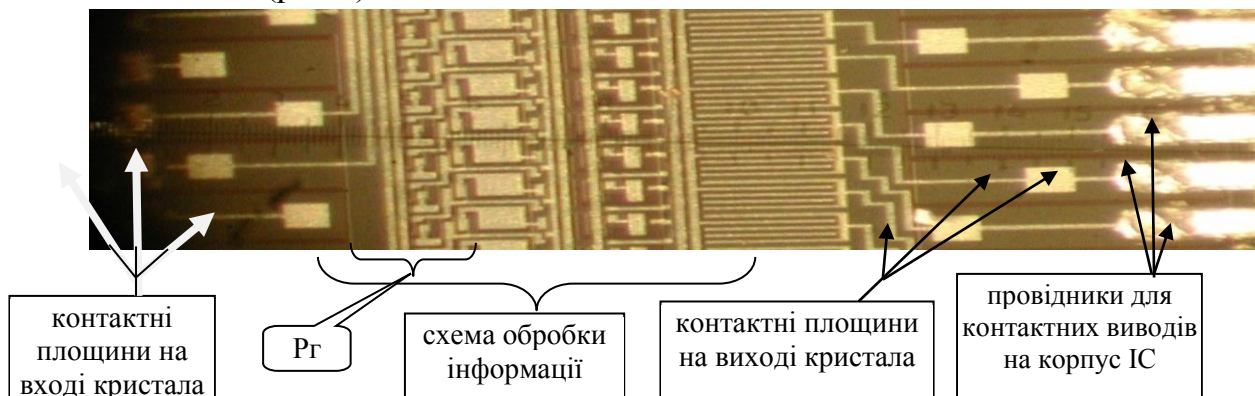


Рис. 1.Топології схеми обробки інформації та контактних площин на кристалі ВІС

Аналіз топології ВІС (рис.1) показав наступне: зовнішні контакти займають 2/3 площини кристала, 25 % – реєстр від схеми обробки інформації. Тому зменшення пасивних та активних елементів при збереженні точності, швидкодії перетворювачів є проблемною задачею. Дослідження принципів формування таблиць відповідності показало, що для цифрових моделей ефективним є використання бази формальної логіки, а для комбінованих і гібридних моделей доцільно використовувати лінійно-ламані функції через простоту їх апаратної реалізації. Проаналізовано наявні узагальнені показники ефективності для кількісного порівняння проєктованих різнорідних багатопараметричних компонентів КІС. Виявлено, що одним із головних недоліків розглянутих показників є суб'єктивність через призначення вагових коефіцієнтів (функцій), це потребує багато часу та високої кваліфікації працівника. Отже, усунення цього недоліку є напрямом вирішення цієї проблемної задачі. Крім того, враховуючи наявність у складі РЗТО субсистем, що забезпечують переміщення по заданих обчислювальних траєкторіях об'єкта обробки та інструмента одночасно, виникає проблемна задача при налагодженні – забезпечення тотожності динамічних характеристик електродвигунів. Наявні методи перебору є тривалими, що збільшує

собівартість виробу. На основі системного аналізу та запропонованих напрямів вирішення проблемних задач сформульовано мету та завдання наукових досліджень для вирішення актуальної науково-технічної проблеми створення високоефективних одночасно за багатьма параметрами енергоефективних компонентів і системи КІС РЗТО СП шляхом узагальнення теоретичних положень нових та удосконалених існуючих методів і моделей, що апаратурно реалізуються.

У розділі 2 розроблено та досліджено високоефективний розрядний кортежно-табличний логіко-оборотний (РКТЛО) метод, на основі якого створюються прецизійні моделі обчислювальних перетворювачів СП, що перетворюють інформацію, яка представлена у вигляді однополярних двійково-кодових операндів з позиційно-впорядкованою формою запису. Запропоновано позиційно-впорядковані вхідні X та вихідні Y двійково-кодові операнди представляти як композицію незалежних «1» і «0», а їх опис – композиційні логіко-математичні моделі (КЛММ). Цим створюється клас кодів у вигляді однополярних позиційно-впорядкованих двійково-кодових (ОПВДК) операндів, що забезпечує їх перетворення незалежно від системи числення. РКТЛО метод, який синтезує властивості КЛММ і принцип оборотності операції XOR, перетворює вхідний масив значень різного виду ОПВДК операндів на певні значення масиву вихідних кодових комбінацій і навпаки, використовуючи одні й ті ж табличні дані КК (які попередньо обчислені), що зменшує об'єм таблиць, значення яких формують малий об'єм ЧБП. Крім того, з'являється можливість перетворення таблиць різнополярних кодів (± 1), які просто перетворюються на однополярні коди, у відповідні кодові комбінації, це зменшує апаратурну складність процедури їх перетворення, підвищує швидкодію. Процедура перетворення здійснюється на основі операції XOR і полягає в наступному. ОПВДК операнди X , що перетворюються, і відповідні ОПВДК операнди Y записуються у вигляді

$$\left. \begin{aligned} X &= (x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-i}, \dots, x_1, x_0), \\ Y &= (y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, y_{n-i}, \dots, y_1, y_0). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Порозрядна відмінність перетвореної X і перетвореної Y ОПВДК операндів при використанні властивостей операції XOR алгебри Жегалкіна набувають вигляду

$$\Delta_{\oplus} = (x_{n-1} \oplus y_{n-1}), \dots, (x_{n-i} \oplus y_{n-i}), \dots, (x_1 \oplus y_1), (x_0 \oplus y_0), \quad (2)$$

Результат операції XOR є ОПВДК операндами коригуючих констант Δ_{\oplus} і представляється у вигляді $\Delta_{\oplus} = (\Delta_{n-1}, \Delta_{n-2}, \dots, \Delta_{n-i}, \dots, \Delta_1, \Delta_0)$.

ОПВДК операнди для відтворення прямого коду $Y = \varphi(X, \Delta_{\oplus})$ обчислюються наступним чином:

$$Y = (x_{n-1} \oplus \Delta_{n-1}), \dots, (x_{n-i} \oplus \Delta_{n-i}), \dots, (x_1 \oplus \Delta_1), (x_0 \oplus \Delta_0). \quad (3)$$

ОПВДК операнди для відтворення зворотного коду обчислюються та записуються таким чином:

$$X = (\Delta_{n-1} \oplus y_{n-1}), \dots, (\Delta_{n-i} \oplus y_{n-i}), \dots, (\Delta_1 \oplus y_1), (\Delta_0 \oplus y_0). \quad (4)$$

Аналіз виразів (3) і (4) показав, що перевагою процедури перетворення за допомогою КЛММ є наступне: відтворення множини «прямих» і «зворотних» кодів здійснюється за допомогою одного і того ж об'єму таблиць коригуючих констант; відсутність адитивності звільняє час очікування представлення операндів тільки в повнорозрядному вигляді для подальшого перетворення і дає змогу вести обробку операндів від старших розрядів до молодших і навпаки; можливість нарощування розрядності підвищує точність

представлення інформації; можливість паралельної обробки інформації зменшує час затримки на отримання результату. Водночас спостерігається зменшення об'єму таблиць тільки в два рази. Прагнення стиснути об'єм таблиць привело до пошуку в самому факті постійної інформації, яка зберігається. Це зумовило розробку відповідного методу, що забезпечує ліквідацію інформаційної надмірності через покортежну декомпозицію, верифікація підтверджена прикладами у табл. 1, 2, 3.

Таблиця 1

Реляційна модель ОПВДКоперандів множини X

№ множини операндів X	Підмножина кортежів старших розрядів X	Підмножина кортежів i -х розрядів X	Підмножина кортежів молодших розрядів X
X_1	$X_{n-1,1} X_{n-2,1} X_{n-3,1} X_{n-4,1}$	$\dots X_{i,1} \dots$	$X_{3,1} X_{2,1} X_{1,1} X_{0,1}$
\dots	\dots	\dots	\dots
X_k	$X_{n-1,k} X_{n-2,k} X_{n-3,k} X_{n-4,k}$	$\dots X_{i,3} \dots$	$X_{3,k} X_{2,k} X_{1,k} X_{0,k}$
X_r	r_{1x}	r_{ix}	r_{mx}

Таблиця 2

Реляційна модель ОПВДКоперандів множини Y

№ множини операндів Y	Підмножина кортежів старших розрядів Y	Підмножина кортежів i -х розрядів Y	Підмножина кортежів молодших розрядів Y
Y_1	$Y_{n-1,1} Y_{n-2,1} Y_{n-3,1} Y_{n-4,1}$	$\dots Y_{i,1} \dots$	$Y_{3,1} Y_{2,1} Y_{1,1} Y_{0,1}$
\dots	\dots	\dots	\dots
Y_k	$Y_{n-1,k} Y_{n-2,k} Y_{n-3,k} Y_{n-4,k}$	$\dots Y_{i,3} \dots$	$Y_{3,k} Y_{2,k} Y_{1,k} Y_{0,k}$
Y_r	r_{1y}	r_{iy}	r_{my}

Таблиця 3

Реляційна модель ОПВДКоперандів коригувальних констант множини Δ

№ множини операндів Δ	Підмножина кортежів старших розрядів Δ	Підмножина кортежів i -х розрядів Δ	Підмножина кортежів молодших розрядів Δ
Δ_1	$\Delta_{n-1,1} \Delta_{n-2,1} \Delta_{n-3,1} \Delta_{n-4,1}$	$\dots \Delta_{i,1} \dots$	$\Delta_{3,1} \Delta_{2,1} \Delta_{1,1} \Delta_{0,1}$
\dots	\dots	\dots	\dots
Δ_k	$\Delta_{n-1,k} \Delta_{n-2,k} \Delta_{n-3,k} \Delta_{n-4,k}$	$\dots \Delta_{i,3} \dots$	$\Delta_{3,k} \Delta_{2,k} \Delta_{1,k} \Delta_{0,k}$
Δ_r	$r_{1\Delta}$	$r_{i\Delta}$	$r_{m\Delta}$

Об'єм множини коригуючих констант для кожного кортежу при однаковій довжині розрядності r розраховується за формулою $V_r \approx r \cdot 2^r$ біт. При паралельному перетворенні n розрядних кодів об'єм таблиць коригуючих констант визначається за формулою $V_m \approx n \cdot 2^r$ біт. Об'єм таблиць скорочується в 2^{n-r} рази порівняно з ТКМ.

Верифікація запропонованого РКТЛО методу, який перетворює різного виду двійково-кодові операнди, підтверджена на прикладі перетворення шумоподібних кодів (НЗОШК): $B_3 - 00001110$; $B_5 - 00011101$; $B_7 - 01110010$, які представлені у вигляді незважених однополярних двійково-кодових операндів з позиційно-впорядкованою формою запису (ПВФЗ), на зважені двійкові коди (ЗДК) функцій $Y_s = \sin(x)$, $Y_{tg} = \text{tg}(x)$ та $Y_{th} = \text{th}(x)$. Результати перетворення наведено в табл. 4 і табл. 5 і гістограмою (рис. 2).

Таблиця 4

Реляційна модель вхідних однополярних шумоподібних кодів з ПВФЗ та відповідних кодів вихідних функцій $Y_s = \sin(x)$, $Y_{tg} = \text{tg}(x)$, $Y_{th} = \text{th}(x)$

№ п/п	Кортежна декомпозиція значень вхідного шумоподібного коду		Декомпозиційні значення відповідних функцій по кортежах у двійковій системі числення					
			$Y_s = \sin(x)$		$Y_{tg} = \text{tg}(x)$		$Y_{th} = \text{th}(x)$	
	ШПК ₁	ШПК ₂	Y_{1s}	Y_{2s}	Y_{1tg}	Y_{2tg}	Y_{1th}	Y_{2th}
3	0000	0110	.0011	0110	.0011	0110	.0011	1000
5	0001	1101	.0011	1110	.0011	1100	.0011	1110
7	0111	0010	.0100	0000	.0100	0000	.0100	0100

Реляційна модель вхідних однополярних шумоподібних кодів з ПВФЗ
та відповідних кодів коригуючих констант

№ п/п	Кортежна декомпозиція значень вхідного однополярного шумоподібного коду		Кортежна декомпозиція значень коригуючих констант для відповідних функцій					
			Y=sin(x)		Y=tg(x)		Y=th(x)	
	ШПК ₁	ШПК ₂	Δ _{1s}	Δ _{2s}	Δ _{1tg}	Δ _{2tg}	Δ _{1th}	Δ _{2th}
3	0000	0110	.0011	.0000	.0011	.0000	.0011	.1110
5	0001	1101	.0010	.0011	.0010	.0001	.0010	.0011
7	0111	0010	.0011	.0010	.0011	.1000	.0011	.0110

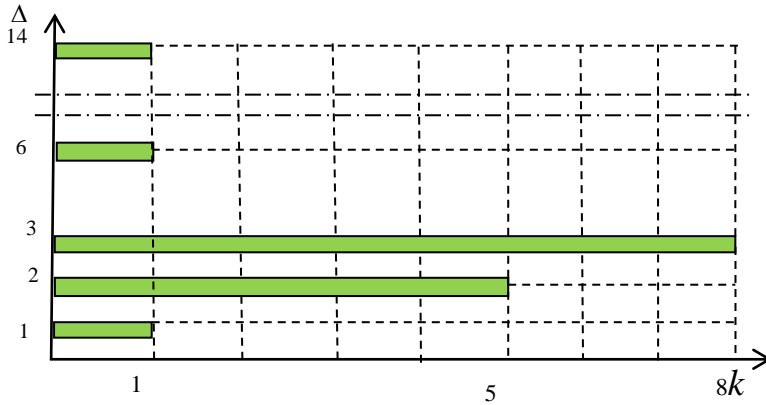


Рис.2. Гістограма кількості k однакових значень Δ_i коригуючих констант

Верифікація підтверджується гістограмою (рис. 2), яка показує, що завдяки ліквідації надмірності для відтворення кодів трьох функцій (табл. 4) достатньо п'яти констант при розрядності коду кортежу $r_\Delta = 4$. Водночас об'єм таблиць, який дорівнює $V_\Delta = c_\Delta \cdot r_\Delta = 5 \cdot 4 = 20$, де c_Δ – кількість констант, зменшується порівняно з ТКМ у 3,6 разу.

Послідовність процедур алгоритму (рис. 2) з підготовки коригуючих констант (табл. 6), виявлення інформаційної надмірності та її усунення на прикладі відтворення методом РКТЛО запропоновано для наступних трьох функцій:

$$Y_s = \sin(x); \quad Y_{tg} = \text{tg}(x); \quad Y_{th} = \text{th}(x). \quad (5)$$

Сформовано r_x - розрядні кортежі вхідних кодів аргументів x_{1a} , x_{2a} і відповідні r_x

r_y - розрядні кортежі вихідних кодів заданих функцій $Y_{1si}, Y_{2si}; Y_{1tgi}, Y_{2tgi}; Y_{1thi}, Y_{2thi}$.

Кодові послідовності кожної функції (5), зображені кортежами, записуються як

$$\begin{aligned} Y_{1si} &= f_{1si} s_{1si} \dots h_{1si} = f_{1si} g^{(n-1)-ri}, s_{1si} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{1si} g^{(n-r)-ri}; \\ Y_{2si} &= f_{2si} s_{2si} \dots h_{2si} = f_{2si} g^{(n-1)-ri}, s_{2si} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{2si} g^{(n-r)-ri}; \\ Y_{1tgi} &= f_{1tgi} s_{1tgi} \dots h_{1tgi} = f_{1tgi} g^{(n-1)-ri}, s_{1tgi} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{1tgi} g^{(n-r)-ri}; \\ Y_{2tgi} &= f_{2tgi} s_{2tgi} \dots h_{2tgi} = f_{2tgi} g^{(n-1)-ri}, s_{2tgi} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{2tgi} g^{(n-r)-ri}; \\ Y_{1thi} &= f_{1thi} s_{1thi} \dots h_{1thi} = f_{1thi} g^{(n-1)-ri}, s_{1thi} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{1thi} g^{(n-r)-ri}; \\ Y_{2thi} &= f_{2thi} s_{2thi} \dots h_{2thi} = f_{2thi} g^{(n-1)-ri}, s_{2thi} g^{(n-2)-ri}, \dots, h_{2thi} g^{(n-r)-ri}. \end{aligned} \quad (6)$$

Елементи вхідної послідовності двійкового коду x , які зображені кортежами x_{1a} , x_{2a} , представляються аналогічно:

$$\begin{aligned} x_{1ai} &= c_{1ai} d_{1ai} \dots l_{1ai} = c_{1ai} g^{(n-1)-ri}, d_{1ai} g^{(n-2)-ri}, \dots, l_{1ai} g^{(n-r)-ri}; \\ x_{2ai} &= c_{2ai} d_{2ai} \dots l_{2ai} = c_{2ai} g^{(n-1)-ri}, d_{2ai} g^{(n-2)-ri}, \dots, l_{2ai} g^{(n-r)-ri}; \end{aligned}$$

Визначення коригуючих констант Δ_i як різниці між відповідними значеннями елементів кортежів вхідного коду та елементів кортежів відповідних функцій проводиться за допомогою операції *XOR* і має вигляд малорозрядних кортежів з ПВФЗ:

$$\Delta_i = (f_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri}, (s_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri}, \dots, (h_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri} = F_i N_i \dots Z_i, \quad (7)$$

$$Y_i(x_i) = (F_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri} (N_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri} \dots (Z_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri}. \quad (8)$$

де $F_i = (f_i \oplus c_i)$; $N_i = (s_i \oplus d_i)$; $Z_i = (h_i \oplus l_i)$.

Таблиця 6

Реляційна модель значень кодів вхідних x , вихідних функцій Y і коригуючих констант Δ при розрядності операндів $n=8$

№ п/п	Декомпозиційні значення аргументу x і відповідних функцій при $n=8$ з кортежами в двійковій системі числення								Декомпозиційні значення коригуючих констант за кортежами двійково-кодових комбінацій для відповідних функцій					
	x		$Y_s = \sin(x)$		$Y_{tg} = tg(x)$		$Y_{th} = th(x)$		$\Delta_{\sin(x)}$		$\Delta_{tg(x)}$		$\Delta_{th(x)}$	
	x_{1a}	x_{2a}	Y_{1s}	Y_{2s}	Y_{1tg}	Y_{2tg}	Y_{1th}	Y_{2th}	Δ_{1s}	Δ_{2s}	Δ_{1tg}	Δ_{2tg}	Δ_{1th}	Δ_{2th}
1	.0011	.0010	.0011	0010	.0010	0010	.0011	0010	0000	0000	0001	0000	0000	0000
2	.0011	0100	.0011	0100	.0011	0100	.0011	0110	0000	0000	0000	0000	0000	0010
3	.0011	1000	.0011	0110	.0011	0110	.0011	1000	0000	1110	0000	0110	0000	0000
4	.0011	1010	.0011	1010	.0011	1010	.0011	1010	0000	0000	0000	0010	0000	0000
5	0011	1010	.0011	1110	.0011	1100	.0011	1110	0000	0100	0000	0110	0000	0100
6	.0100	0010	.0011	1100	.0011	1110	.0100	0000	0111	1110	0111	1110	0000	0000
7	.0100	0010	.0100	0000	.0100	0000	.0100	0100	0000	0010	0000	0010	0000	0110

Аналіз значень у кортежах коригуючих констант для відтворюючих функцій показує множину однакових значень, що свідчить про інформаційну надмірність. Слід зазначити, що при зменшенні об'єму таблиць інформаційна змістовність зберігається.

Верифікація підтверджується гістограмою (рис. 3), яка показує, що після усунення інформаційної надмірності для відтворення двійково-кодових комбінацій трьох функцій (табл. 6) достатньо шість коригуючих констант при розрядності коду кортежу $r_\Delta=4$. Це становить об'єм таблиць $V_\Delta = c_\Delta \cdot r_\Delta = 6 \cdot 4 = 24$, де c_Δ – кількість констант, через зменшення

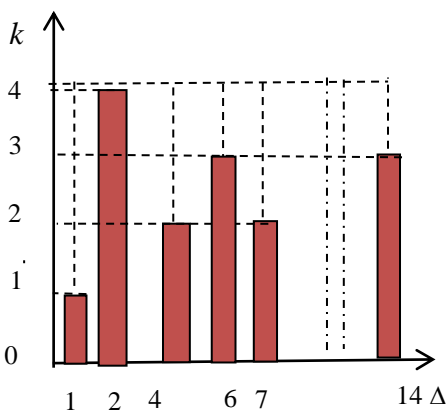


Рис.3. Гістограма кількості k однакових Δ_i коригуючих констант

якої об'єм ЧБП зменшується порівняно з табличним класичним методом в 1,75 разу.

Крім того, розроблений РКТЛО метод апаратурної реалізації для компонентів КІС спеціального призначення має широкі можливості при перетворенні ОПВДК операндів варіювати розрядністю в кортежах, що дає змогу визначати ефективно співвідношення показників енергоспоживання та витрат апаратури на ЧБП. Верифікація підтверджена у дисертації розрахунками, що наведені у таблицях, і порівняльним аналізом, якій представлено гістограмою (рис. 4).

Візуалізація показників K_{Vp} , K_{Np} , K_{Vnp} , K_{Nnp}

(рис.4) підтверджує гнучкість РКТЛО методу, який відрізняється від наявних відсутністю:

адитивності, надмірності, процедури перенесення з молодшого розряду кортежу до старшого кортежу; немає обмежень у запису кількості розрядів у кортежі та заборонених кодів у двійково-кодових операндах, але забезпечує формування вихідної інформації для k

функцій з використанням єдиного універсального ЧБП малого об'єму, що зменшує енергоспоживання в k разів та підвищує надійність при збереженні точності.

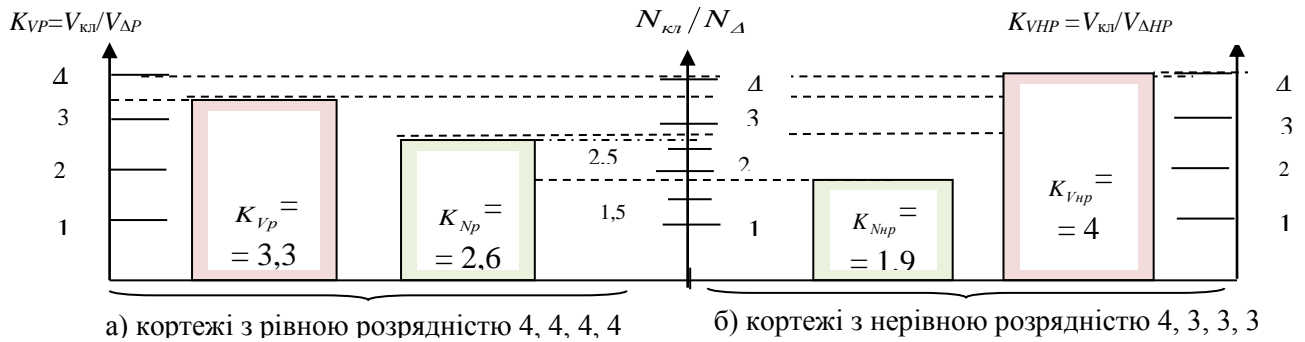


Рис. 4. Гістограми впливу розрядності в кортежах на показники ефективності енергоспоживання та об'єму ЧБ пам'яті перетворювачів

$K_{NP}=(N_{kl}/N_{\Delta P})$; $K_{NHP}=(N_{kl}/N_{\Delta HP})$ – показники зменшення кількості активних елементів ЧБП при рівній і нерівній кількості розрядів у кортежах відповідно; $K_{VP}=(V_{kl}/V_{\Delta P})$; $K_{VHP}=(V_{kl}/V_{\Delta HP})$ – показники зменшення об'єму таблиць коригуючих констант при рівній і нерівній кількості розрядів у кортежі відповідно;

N_{kl}/N_{Δ} – узагальнена ордината, величина, яка характеризує зменшення кількості активних елементів ЧБП через відношення кількості активних елементів при апаратурній реалізації

Результати формування значень кортежів коригуючих констант для відтворення відповідних ОПВДК комбінацій, що представлені в дисертації, проведено за розробленим алгоритмом.

У **третьому розділі** розроблено і досліджено перспективні компоненти КІС, орієнтовані на широкий клас задач, в яких інформація представлена у вигляді однополярних двійково-кодових операндів з позиційно-впорядкованою формою запису. Доведено, що поєднання принципів універсальності і спеціалізації через використання властивостей РКТЛО методу, на основі якого створюються і реалізуються в єдиному кристалі прецизійні багатофункціональні моделі цифрових обчислювальних перетворювачів з підвищеною ефективністю, забезпечується, по-перше, введенням корегуючого (КЗЗ) та інформаційного (ІЗЗ) зворотних зв'язків, що зменшує кількість активних (тригерів) і пасивних (зовнішніх контактів) елементів; по-друге, стисненням об'єму ЧБП за рахунок усунення визначеної надмірності в значеннях самої сталості інформації, що зберігається, через малорозрядну покортєжну декомпозицію. Запропоновано принцип створення ПЗП, який полягає в організації універсальної мікроархітектури малого об'єму ЧБП з однорідною структурою, з можливістю нарощування. Верифікація теоретичних викладок підтверджується сімома прикладами нових і вдосконалених багатофункціональних моделей, які розроблені та досліджені, а саме: 1 – модель перетворювача ЗДК у відповідні НЗОШК; 2 – вдосконалена біфункціональна модель перетворення НЗОШК у відповідні ЗДК і навпаки; 3 – біфункціональна модель перетворення незваженого рефлексного коду (НЗРК) у відповідні ЗДК і навпаки; 4 – модель перетворення за чотирма функціями в єдиному кристалі: 4_1) НЗОШК \rightarrow ЗДК; 4_2) НЗРК \rightarrow ЗДК значення $\sin(x_i)$; 4_{3-4}) НЗРК \leftrightarrow ЗДК; 5 – метамодель 5_1) обчислювача функції «квадратного кореня», на виході якого формується значення функції $\sqrt[2]{x}$, або 5_{1a}) в ЗДК, або 5_{1b}) у ДДК; 5_2) перетворювача значення кількості ЗДК \rightarrow ДДК; 6 – розроблено і досліджено дві (6_1 та 6_2) моделі цифрових перетворювачів «прямих» (ПФ) та «зворотних» (ЗФ) елементарних функцій з використанням єдиного ЧБ пам'яті, малий об'єм якого забезпечується через

апроксимацію ЛЛФ; 7 – удосконалено і досліджено модель КМАП багаторозрядних двійкових операндів. Відмітною особливістю моделей є зменшення потужності споживання через введення КЗЗ на $W_2 = n \cdot W_1$, де W_1 – величина потужності споживання одним тригером регістра; n – кількість розрядів (тригерів) регістра, які формують високоточне значення відтворюваної позиційно-впорядкованої двійково-кової комбінації. Мала кількість тригерів зменшує їх сумарну інтенсивність відмови елементів λ_i , як наслідок, збільшує час безвідмовного напрацювання та звільняє площу кристала через дворазове використання регістру входу, тобто це регістр входу/виходу. Завдяки введенню ІЗЗ забезпечується дворазове використання вхідних зовнішніх контактних площадок, що значне зменшує інтенсивність відмови λ_B в приведених вище моделях, а також в удосконаленій і дослідженій моделі КМАП двійкових операндів.

Верифікація підтверджена результатом розрахунку коефіцієнту ефективності K_{T_B} , що характеризує надійність

$$K_{T_e} = \frac{(1/\lambda_j)_{кр}}{(1/\lambda_i)_{зовн}} = \frac{\lambda_{i-зовн}}{\lambda_{j-кр}} = 10^4$$

Сукупність зменшення активних (n тригерів) і пасивних (n зовнішніх контактів) елементів звільняє площу кристала майже на 30 %, цим забезпечується можливість розширення функцій проєктованої моделі або створення резерву для отримання надвисокої експлуатаційної надійності. Розроблено та досліджено модель перетворювача значення ЗДК → значення НЗОШК з позиційно-впорядкованою формою запису, яка містить регістр вхідний/вихідний, комбінаційну схему адреси, ПЗП, КЗЗ і ІЗЗ, логічні елементи «АБО», «НІ» блок вентилів, керуючий пристрій. Запропоновано аналітичні вирази для оцінювання основних характеристик: час перетворення інформації

$$t_{m1} = \sum_{i=1}^N t_i = t_{P_2} + t_{Kc} + 2 \cdot t_B + t_{ПЗП} + t_{АБО} + t_{Tr},$$

де N – кількість елементів, які послідовно затримують сигнал;

t_{P_2} , t_{Kc} , t_B , $t_{ПЗП} = (t_u + t_n)$, $t_{АБО}$, t_{Tr} – час затримки регістром, комбінаційною схемою, вентилям, вибіркою з ПЗП, елементом АБО, тригером на перехід з одного стану в інший відповідно.

За аналогією робіт В. П. Тарасенко та ін., пропонується для порівняння допустити:

$$t_3 = t_B = t_u = t_n = t_{АБО} = t_{Tr}, t_{ПЗП} = 2 \cdot t_3, t_{P_2} = 4 \cdot t_3, t_{Kc} = 2^r \cdot t_3, \text{ тоді } t_{m1} = \sum_{i=1}^N t_i = (10 + 2^r) \cdot t_3.$$

Аналітичний вираз оцінювання потужності споживання має наступний вигляд:

$$W_{m1} = \sum_{i=1}^N W_i \cdot c_i = W_{P_2} \cdot c_{P_2} + W_{Kc} \cdot c_{Kc} + W_B \cdot c_B + W_{ПЗП} \cdot c_{ПЗП} + W_{ле} \cdot c_{ле} + W_{КП} \cdot c_{КП} + W_{Tr} \cdot c_{Tr},$$

Допустимо $W_{ле} = W_{Kc} = W_B$, $W_{ПЗП} = 2 \cdot W_{ле}$, $W_{КП} = 6 \cdot W_{ле}$, $W_{Tr} = 4 \cdot W_{ле}$.

Розрахунок потужності споживання для запропонованої моделі дорівнює

$$W_{m1} = 4 \cdot n \cdot W_{ле} + W_{ле} \cdot 2^{r-1} + 2 \cdot W_{ле} + 6 \cdot W_{ле} + 3 \cdot W_{ле} + 4 \cdot W_{ле}.$$

При $W_{ле} = 10$ мкВт, $n = 32$, $r = 8$, $W_{m1} = 2,72$ мВт.

Аналітичний вираз витрат апаратури для моделі на базі узагальненої ММ

$$A = \sum_{i=1}^N B_i \cdot a_i = B_1 \cdot a_1 + B_2 \cdot a_2 + B_3 \cdot a_3 + B_5 \cdot a_5 + B_6 \cdot a_6 + B_7 \cdot a_7 + B_8 \cdot a_8 + B_9 \cdot a_9 + B_{10} \cdot a_{10} + B_{11} \cdot a_{11},$$

де B_i – кількість елементів у відповідних блоках, ланках тощо; a_i – витрати на одиницю елементів у відповідних блоках, ланках тощо. Припустимо при $n=32$, $r=8$, $m=4$

$a=a_i=a_1=a_2=a_3=a_5=a_6=a_7=a_8=a_9=a_{10}=a_{11}$, тоді апаратурні витрати дорівнюють
 $A_{,m1} = n \cdot a_1 + 10 \cdot a_2 + 2^8 \cdot a_3 + r \cdot 2^8 \cdot m \cdot a_5 + a_6 + (32+3) \cdot a_7 + a_8 + a_9 + 4 \cdot a_{10} + 14 \cdot a_{11} \approx 0,86 \times 10^4 a$.

Аналіз запропонованої моделі показав можливість розширення функцій, тому розроблено біфункціональну модель перетворення ЗДК в НЗОШК і навпаки. Порівняно з реалізацією ТКМ, де перетворювач відтворює дві функції, у мікроархітектурі використовуються два ЧБП і два дешифратори, два регістри. Особливість запропонованої моделі полягає у застосуванні універсального ЧБП, в якому зберігаються коригуючі константи. Водночас середня кількість активних елементів ЧБП моделі перетворювача, реалізованого РКТЛО методом: для $m = 4$; $r = 8$; $n = 32$; $c = 2^8$ – кількість ОПВДК операндів, що зберігаються в ЧБП, дорівнює

$$k = \left\{ m \left[c - \frac{c}{2^r} + r (2^{r-1} - 1) \right] \right\}, k_{,m2} = 4 \cdot [2^8 - 1 + 8 \cdot (2^{7-1})] = 4 \cdot [255 + 8 \cdot 127] = 5084.$$

Це підвищує показники надійності та потужності споживання через малу кількість елементів і зовнішніх виводів.

В роботі розроблено біфункціональну модель перетворення значень ЗДК \leftrightarrow у значення НЗРК і навпаки. Особливістю запропонованої моделі, яка перетворює НЗРК з позиційно-впорядкованою формою запису у ЗДК і навпаки, є один універсальний ЧБП, один регістр для входу/виходу відповідної інформації та КЗЗ, ІЗЗ. Експеримент проведено на розробленій фізичній дослідній моделі 1, зображеній на рис. 5.

Експериментальні випробування підтвердили верифікацію, що при використанні одного і того ж об'єму ЧБП перетворення значення ЗДК (пряме перетворення) у НЗРК з позиційно-впорядкованою формою запису і навпаки (оборотне перетворення) здійснюється без похибки, тобто відбувається 100 % відновлення початкового коду.

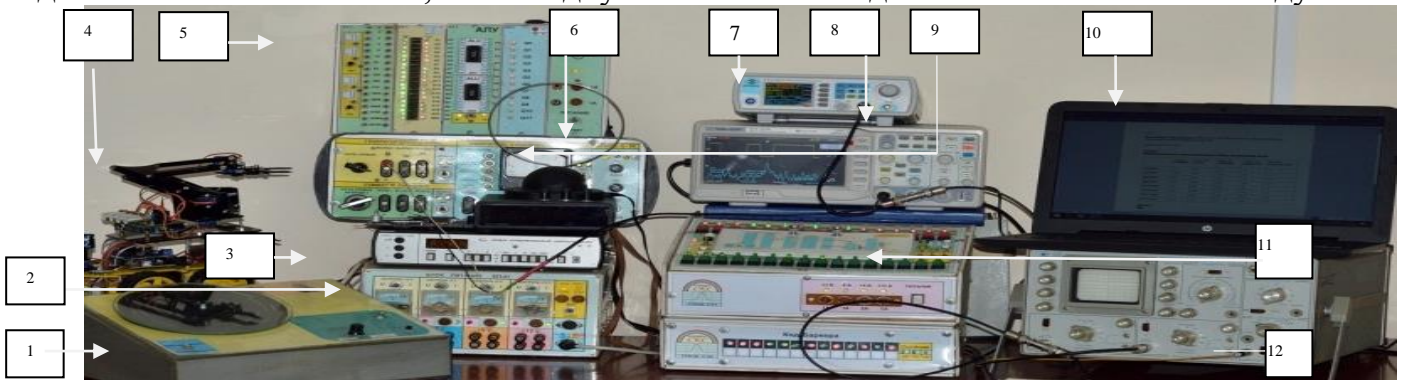


Рис. 5. Загальний вигляд спеціалізованих фізичних моделей дослідження програмно-апаратного комплексу

1, 5, 11 – фізичні моделі дослідження: ЗДК \leftrightarrow НЗРК, АЛП, ЗДК \rightarrow НЗОШК відповідно; 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12 – блок живлення ($U_1 = 5$ В; $U_2 = +12$ В; $U_3 = -12$ В), прилад цифровий Щ4300; робототехнічна система, генератор шуму, генератор сигналів ЗДК, цифровий SDS 1052DL і аналоговий С1-55 осцилографи, ноутбук Acer Extensa 5220 відповідно

У роботі представлено нову багатофункціональну модель перетворювача, що виконує чотири функції перетворень: значень НЗРК \leftrightarrow ЗДК; значень НЗОШК \rightarrow у ЗДК; значень НЗРК \rightarrow у відповідне значення елементарної функції $\sin(x)$. Модель містить: один універсальний малого об'єму ЧБП (з можливістю нарощування для прецизійних перетворювачів), чотири комбінаційні однотипні схеми адреси, один регістр, який використовується вісім разів, чотири однотипні елементи «І», елемент «НІ», блок

елементів «АБО», блок вентилів, тригер, КЗЗ і ІЗЗ. Дослідження потужності споживання $W_{БФ}$ багатофункціональної моделі запропонованого обчислювального перетворювача, що реалізований РКТЛЮ методом, проведено на основі узагальненої ММ, аналітичний вираз якої має вигляд

$$W_{БФ} = (n+1) \cdot W_1 + m \cdot W_2 \cdot (2^r - 1) + W_3 \cdot (m \cdot 2^r + 6 + n) + W_4 \cdot [m \cdot (2^r - 1) \cdot r],$$

де W_1, W_2, W_3, W_4 – потужності споживання одного розряду регістра; ланцюга видачі однієї адреси; логічного елемента; розряду ЧБП відповідно.

Сукупність особливостей РКТЛЮ методу та обчислювальних перетворювачів створює тенденцію нового принципу проектування ПЗП, якій полягає в створенні універсальної топології ЧБП з записом інформації об'ємом r ($2^r - 1$) біт. Приклад розробленої метамоделі обчислювача (рис. 6), яка перетворює числа ЗДК у двійково-десятьковий код (ДДК) та відтворює значення функції «корінь квадратний» в ЗДК, з результатами (табл. 7) на виході у ЗДК та у ДДК за допомогою КорК з малим об'ємом ЧБП підтверджено гістограмою (рис. 7) (ЗДК → ДДК).

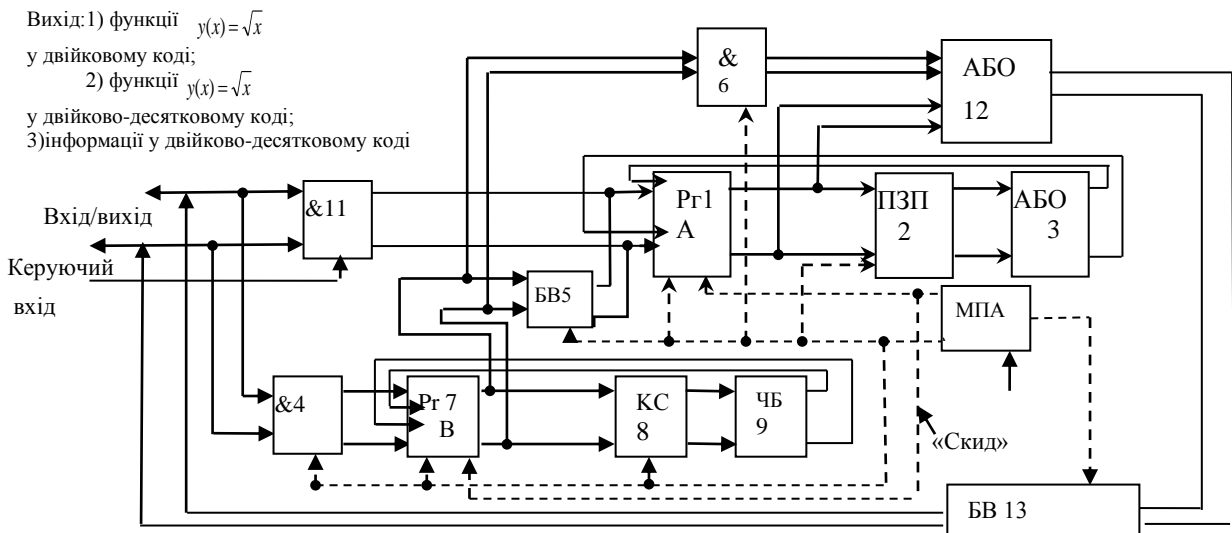


Рис. 6. Метамодель обчислювача функції «квадратного кореня» та перетворювача двійкового коду в двійково-десятьковий код

1 – регістр (Pr A); 2 – ПЗП; 3, 12 – елементи «АБО»; 4, 6, 11 – елементи «І»; 5, 13 – блок вентилів (БВ); 7 – регістр (Pr B); 8 – комбінаційна схема адреси (КС); 9 – ЧБП; 10 – МПА

У регістрі Pr7 (рис. 6) за допомогою коригуючих констант вхідний двійковий код перетворюється у вихідний двійковий код значення функції $y(x) = \sqrt{x}$.

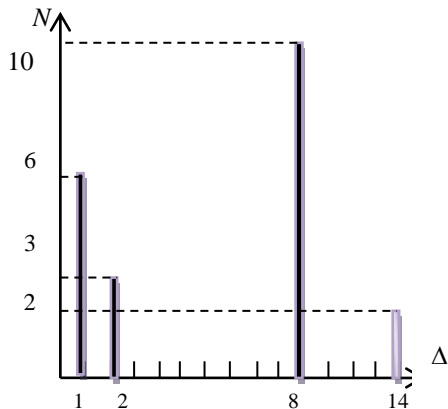


Рис. 7. Гістограма кількості N однакових коригуючих констант Δ

Перетворення вхідного ЗДК приведеної функції в ДДК або двійкового числа в ДДК здійснюється в Pr1 під дією одиниць відповідних коригуючих констант, водночас використання ІЗЗ та КЗЗ забезпечує зменшення потужності та збільшення експлуатаційної надійності.

На рис. 7 зображено кількість N використання кожної з наведених коригуючих констант при ЗДК → ДДК. Багаторазове

використання однієї константи забезпечує зменшення об'єму ЧБП і кількості активних елементів, що зменшує потужність споживання.

Таблиця 7

Реляційна модель даних кортежів значень функції \sqrt{n} і константи Δ

№/п	\sqrt{n}	\sqrt{n} у двійковій системі		\sqrt{n} у двійково-десятьковій системі		Δ коригуючі константи	
		Y_2		Y_{2-10}		$\Delta_{ст}$	$\Delta_{модол}$
		Y_{10}	Y_{2-10} модел	Y_{2-10} ст	Y_{2-10} модел		
1	32	0010	0000	0011	0010	0001	0010
2	33	0010	0001	0011	0011	0001	0010
3	34	0010	0010	0011	0100	0001	0110
4	35	0010	0011	0011	0101	0001	0110
5	36	0010	0100	0011	0110	0001	0010
6	37	0010	0101	0011	0111	0001	0010
7	38	0010	0110	0011	1000	0001	1110
8	39	0010	0111	0011	1001	0001	1110
9	40	0010	1000	0100	0000	0110	1000
10	41	0010	1001	0100	0001	0110	1000
11	42	0010	1010	0100	0010	0110	1000
12	43	0010	1011	0100	0011	0110	1000
13	44	0010	1100	0100	0100	0110	1000
14	45	0010	1101	0100	0101	0110	1000
15	46	0010	1110	0100	0110	0110	1000
16	47	0010	1111	0100	0111	0110	1000
17	48	0011	0000	0100	1000	0111	1000
18	49	0011	0001	0100	1001	0111	1000

Запропоновано графоаналітичний метод визначення найкращого значення кількості розрядів $r=n/m$ у кортежі ЧБП і через кількість $m=n/r$, враховуючи показники ЧБП, що характеризують: $\lg A(m)$ – апаратурні витрати; $\lg W(m)$ – потужність споживання; $K_v(m)=(V_i/V_{max})$ – об'єм ЧБП (V_{max} при $m=1$, тобто $r=n$) та коефіцієнт $K_t(m)=(t_{min}/t_i)$ – швидкодію, де $t_{min}=t_с$ – час вибору з ПЗП, t_i – поточний час обробки інформації; w_i – потужність споживання одного логічного елемента. Приклад знакової моделі для обробки інформації розрядністю $n=32$ зображено на рис. 8.

Аналіз знакової моделі (рис. 8) показав, що найкраще значення кількості розрядів у кортежі ЧБП для визначених показників при $n=32$ дорівнює $r=n/m=32/4=8$ біт.

Запропоновано високонадійні, швидкодіючі моделі, які відтворюють трансцендентні функції через

апроксимацію в рамках методичної похибки лінійно-ламаними функціями (ЛЛФ).

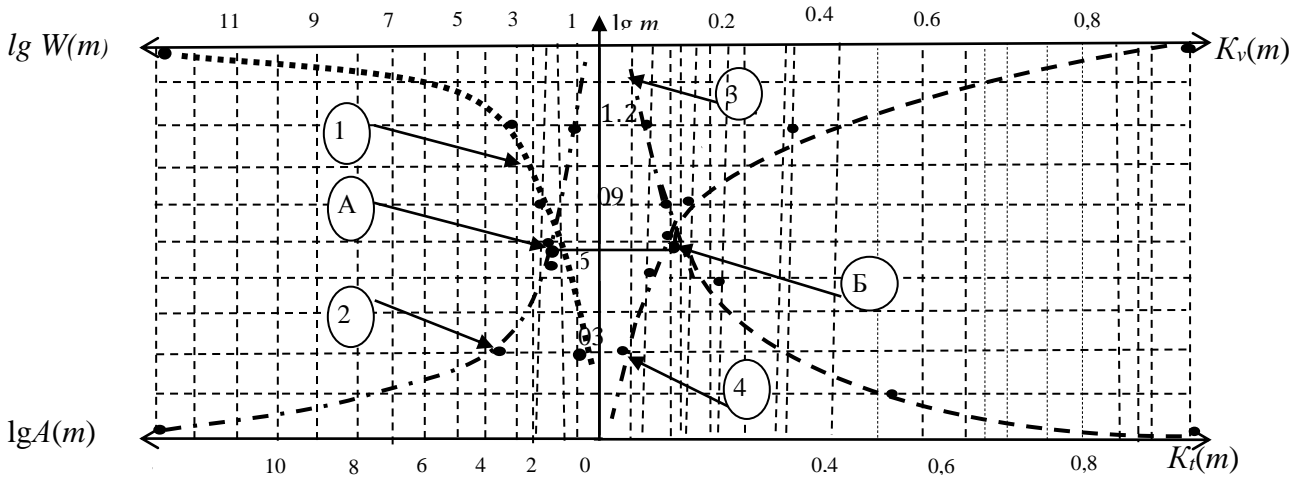


Рис. 8. Знакова модель визначення найкращого значення кількості m кортежу

Створено дві біфункціональні моделі співпроцесора для відтворення значень «прямих» та «зворотних» трансцендентних функцій, їх особливістю є малий об'єм ЧБП завдяки малій кількості ділянок аргументу, для яких зберігаються за однією адресою коригуюча та керуюча константи. Висока надійність моделей забезпечується введенням ІЗЗ, що зменшує значення інтенсивності відмов. Подальшим розвитком першої є друга модель (рис. 9), яка зменшує в 1,5 разу потужність споживання попередньої моделі співпроцесора через введення КЗЗ.

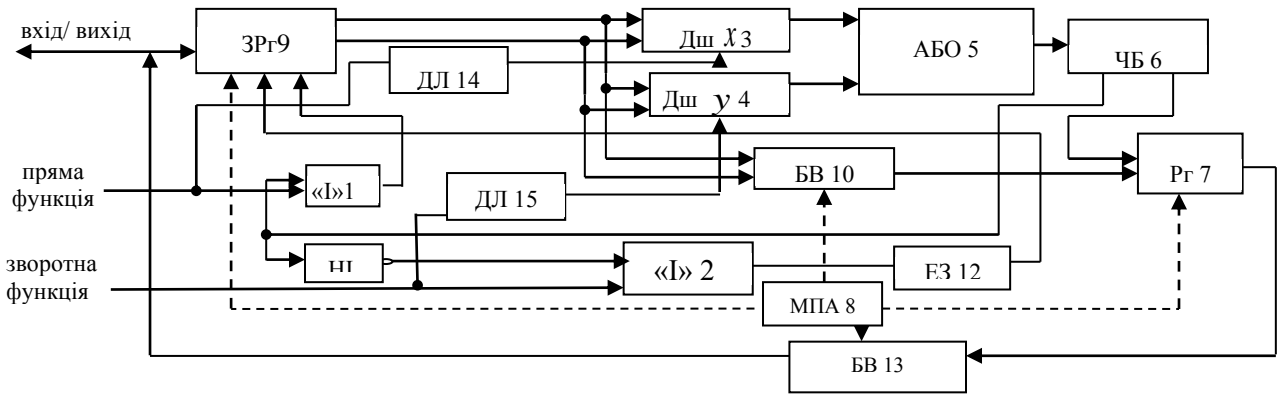


Рис. 9. Біфункціональна модель співпроцесора для відтворення значень «прямих» та «зворотних» трансцендентних функцій

«I» 1, 2 – логічні елементи «I»; Дш x 3, Дш y 4 – дешифратори кодів x, y відповідно; ЧБ 6 – числовий блок; Рг 7 – регістр; ЗРг 9 – регістр зсуву; МПА 8 – мікропрограмний автомат; БВ 10, 13 – блоки вентилів; ЕЗ 12 елемент затримки; ДЛ 14, 15 – диференціюючі ланцюги

Вдосконалено модель кортежного мультиплікативно-адитивного помножувача (КМАП), відмітною особливістю якої є покортежна декомпозиція співмножників малої розрядності r , це зменшило кількість елементів кортежної матриці множення у (n^2/r^2) разів при порівнянні з моделлю, реалізованою ТКМ. Введення ІЗЗ забезпечило вільну площу кристала, це дало змогу імплементувати резервну кортежну матрицю. Це забезпечило високу експлуатаційну надійність помножувача за рахунок зменшення сумарної інтенсивності відмов майже на чотири порядки, що підтверджено розрахунками часу напрацювання до відмови $T_{безвідм}(\lambda) = 1/\sum_1^N \lambda$. Кортежна обробка інформації забезпечує підвищення швидкодії або за рахунок зменшення кількості мікрокоманд при паралельній організації процедури перемноження одночасно старших і молодших кортежів співмножників при отриманні результату з подвійною точністю, або за рахунок виключення процедури перемноження молодших кортежів співмножників при результаті перемноження дробових чисел з заданою точністю, що прискорює час операції. Проведено оцінювання інструментальної похибки без перемноження кортежу молодших r розрядів співмножників, що визначається наступним чином:

$$\delta(n, r) 2^{-(n+1)} b_{n+1} \{2^{-(n+1)} a_{n+1} + 2^{-(n+2)} a_{n+2} + \dots + 2^{-(n+r)} a_{n+r}\} + 2^{-(n+1)} b_{n+2} \{2^{-(n+1)} a_{n+1} + 2^{-(n+2)} a_{n+2} + \dots + 2^{-(n+r)} a_{n+r}\} + 2^{-(n+1)} b_{n+r} \{2^{-(n+1)} a_{n+1} + 2^{-(n+2)} a_{n+2} + \dots + 2^{-(n+r)} a_{n+r}\}, \text{ при } a_i = 1, b_i = 1 \quad \delta_{\max}(n, r) = 2^{-2n} (1 - 2^{-r})^2; \text{ при } a_i = b_i = 0 \quad \delta_{\min} = 0.$$

Запропоновано методику визначення кількості кортежів, використовуючи їх залежності (рис.10) від інструментальної похибки через дисперсію $D(\delta_{\text{інстр}})_{\text{відк}}$ і математичне очікування $(M_{\text{інстр}})_{\text{відк}}$ інструментальної похибки добутку співмножників з n розрядністю (16, 24, 32) біт.

Аналіз результатів (рис.10) показав, що при $n=32$ кількість кортежів $m=8$.

Запропоновано аналітичний вираз оцінювання апаратних витрат моделі КМАП для перемноження цілих багаторозрядних двійкових чисел, що представлено у вигляді

$$C_{\text{КМАП}} = \{ 2 [(n+r) \cdot a_1 + (2 \cdot n+r) \cdot a_2 + n \cdot a_3 + n \cdot a_6] + r \cdot a_5 + [n + 5 \cdot r + r^2 - 3] \cdot a_4 + r \cdot a_8 + 2 \cdot n \cdot a_7 \}.$$

Порівняльний аналіз показав, що апаратурні витрати на модель КМАП майже у три рази менші, ніж на модель ТКМ (за рівних умов витрат на одиницю елемента) при $n=32$.

Запропоновано аналітичний вираз оцінювання потужності споживання моделі, який має вигляд $W_{КМАП} = \{ 2 [(n+r) \cdot W_1 + (2 \cdot n+r) \cdot W_2 + n \cdot W_3 + n \cdot W_6] + [n+5 \cdot r+r^2-3] \cdot W_4 \}$,

де W_1, W_2, W_3, W_6, W_4 – потужність для одного: Рг; ланцюга прийому та видачі коду; розряду суматора та логічних елементів відповідно.

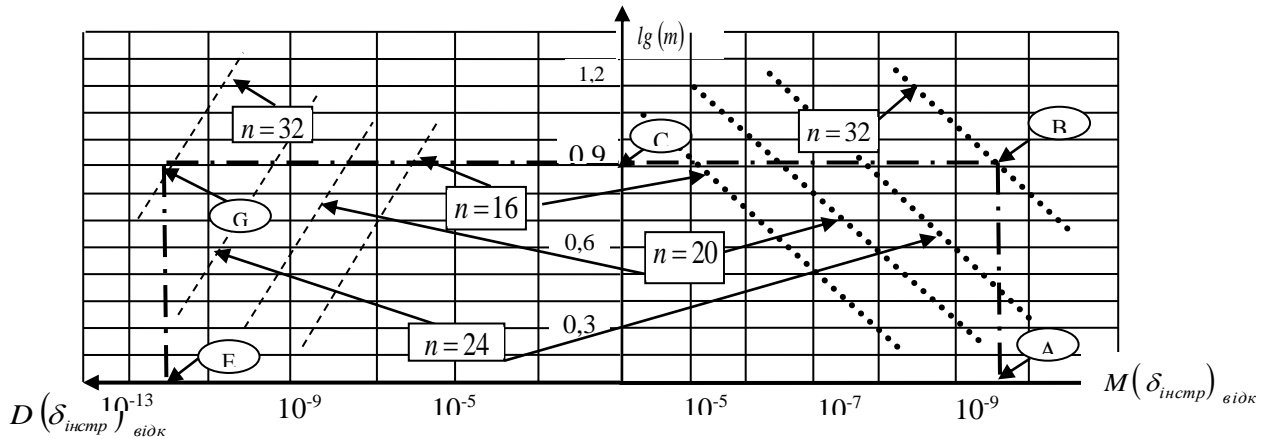


Рис. 10. Залежності кількості кортежів від $M(\delta_{instp})_{відк}$, $D(\delta_{instp})_{відк}$ похибок співмножників
A, B, C, G, F – точки перетину з відповідними осями.

Особливістю є гнучкість кортежної декомпозиції двійкових операндів співмножників, що сприяє варіюванню параметрами швидкодії, об'ємом матриці множення при забезпеченні необхідної точності результату добутку та високої надійності на етапі проектування КМАП для множення багаторозрядних двійкових чисел. Це знижує енерго-часові та матеріальні витрати; висока надійність через введення ІЗЗ розширює сферу застосування КМАП.

У розділі 4 розроблено багатофункціональні моделі обчислювальних перетворювачів: комбінованого (БМКОП), що перетворює вхідну інформацію: аналогову, цифрову та тривалість імпульсів у вихідну аналогову при зменшенні відносної похибки від пульсацій; гібридного (БМГОП), що виконує шість функцій, які описано нижче. Запропоновано експериментально-графічний метод, який забезпечує визначення найкращого відповідного параметра через протиріччя його залежності від двох інших. Особливістю розробленої БМКОП (рис.11) є формувач лінійно-ламаної функції (ФЛЛФ), якій визначає ЛЛФ за формулою

$$Y(x) = \sum_{i=1}^m \psi(x_i) [b_i + k^{c_i} x], \quad (9)$$

де $Y(x)$ – значення функції; $\psi(x_j) = 0$ або 1 залежно від ділянки аргументу x ;

b_j – величина, пропорційна цілим степеням основи системи числення; i – номер ділянки аргументу; k – константа основи системи числення; $c(i)$ – ціле число ($\pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$), яке залежить від номера ділянки аргументу; x – вхідна інформація.

Особливістю ФЛЛФ є однорідність мікроструктури трьох комутаторів, які забезпечують високу швидкодію при малій потужності споживання через застосування «форсування» напруги U_s (рис. 12) на основі властивості бутстрепної ємності C_b МДН-варактора та C_s загальної ємності вузла «S» при попередній установці на величину $\Delta U = C_b U_{\phi} / (C_b + C_s)$.

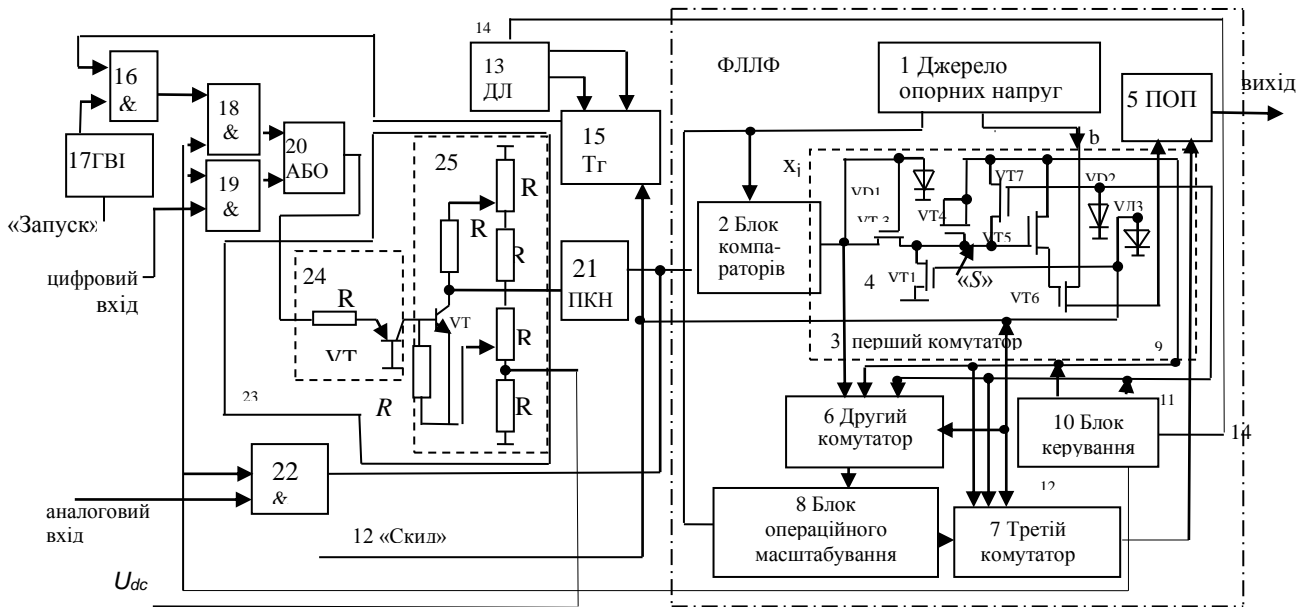


Рис. 11. Образно-знакова модель багатифункціонального комбінованого обчислювального перетворювача

1 – Джерело опорних напруг; 2 – блок компараторів; 3, 6, 7 – комутатори; 5 ПОП – підсумовуючий операційний підсилювач; 4, 9, 11, 12, 14 – ланцюги керування; 17 ГВІ – генератор високочастотних імпульсів; 14 ДЛ – диференціальний ланцюг; 15 Тг – тригер; 21 ПКН – перетворювач кодів у напругу; 22 – логічний елемент «І»; 23 ПРН – перетворювач рівня напруги; 24 – типовий повторювач; 25 – типовий підсилювач

Високий потенціал вузла «S» забезпечує підвищення інформаційної надійності через усунення впливу порогової напруги МДН-транзистора та збільшення швидкості обробки інформації. Формування на виході ПРН високого рівня напруги U приводить до зменшення відносної пульсуючої завади δ (підтверджено прикладом для $U=15\text{ В}$), δ зменшується у три рази при порівнянні з прототипом, а динамічна потужність споживання $P_d(f) = U^2 f C_H$ залишається прийнятною (рис. 13).

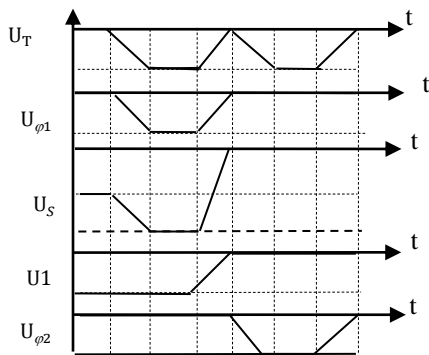


Рис. 12. Часові діаграми комутатора при шпаруватості $Q=1$

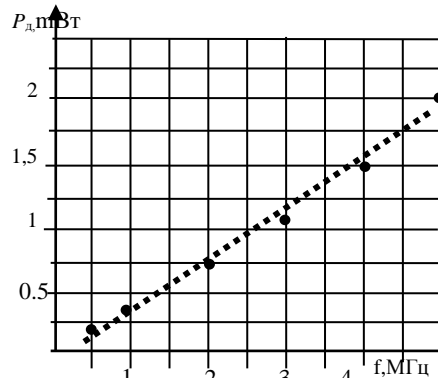


Рис. 13. Залежність $P_d(f)$

Сукупність приведених особливостей знижує енерго-часові, апаратні витрати, підвищує інформаційну та експлуатаційну надійність, зменшує габарити обчислювача та здешевлює виріб.

В роботі розроблено БМГОП, яка відтворює шість функцій: ЦФП $[Y_1(x) = (1/x_2)]$ на заданій ділянці аргументу $x \in (x_1, \dots, x_k)$; цифроаналогового помножувача. Зв'язок напруги на виході помножувача $U_{\text{вих}}(t)$ з кодом на вході та змінною опорною напругою визначається за формулою $U_{\text{вих}}(t) = [U_{\text{оп}}(F(t))] R_{\text{звор}}(x_1 2^{n-1} + x_2 2^{n-2} + \dots + x_i 2^{n-i} + \dots + x_n 2^0) / R 2^n$,

де $U_{\text{вих}}(t)$ – напруга на виході пристрою; $U_{\text{оп}}$ – амплітуда опорної напруги; $F(t)$ – функція зміни опорної напруги; x_i – значення (1, 0); n – кількість розрядів; $R_{\text{звор}}$ – опір зворотного зв'язку; R – опір прецизійної резисторної матриці $R-2R$; цифроаналогового

перетворювача; аналого-цифрового дільника $Y_2(X, X_2)=(X_1/X_2)$; інвертованого аналогового суматора $[X_{\text{вих}} = -(X_3+X_4+X_5)]$; операційного підсилювача $U_{\text{вих}}(t) = K \cdot U_{\text{вх}}(t)$.

Основними компонентами ГБМО є: розроблений ЦФП, реалізований РКТЛО методом, удосконалений керуючий КДПТП (рис. 14), резистивна матриця $R-2R$, типовий ПОП, блок формування імпульсів керування.

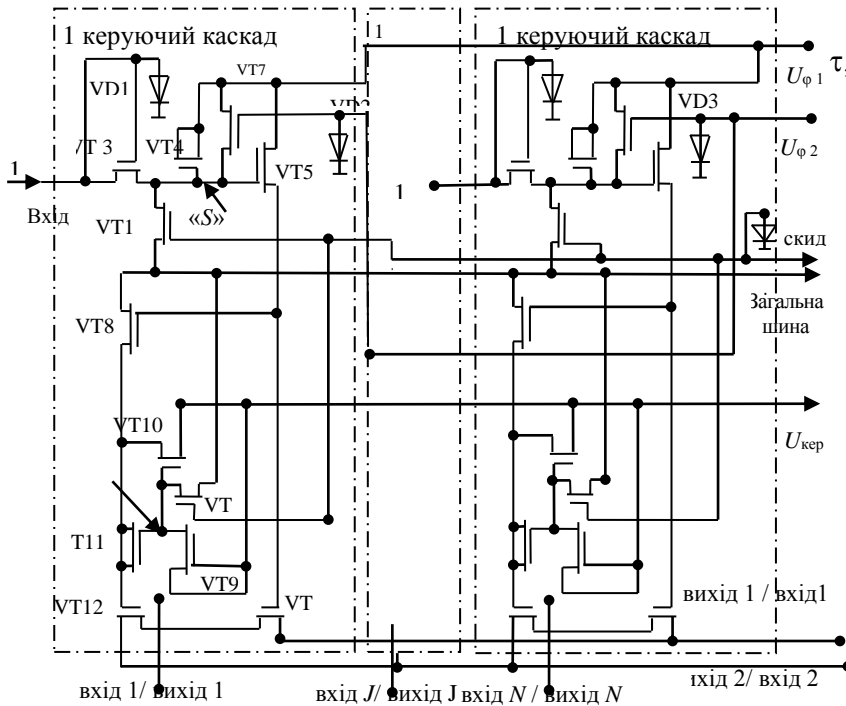


Рис. 14. Образно-знакова модель керуючих каскадів двопозиційними транзисторними перемикачами

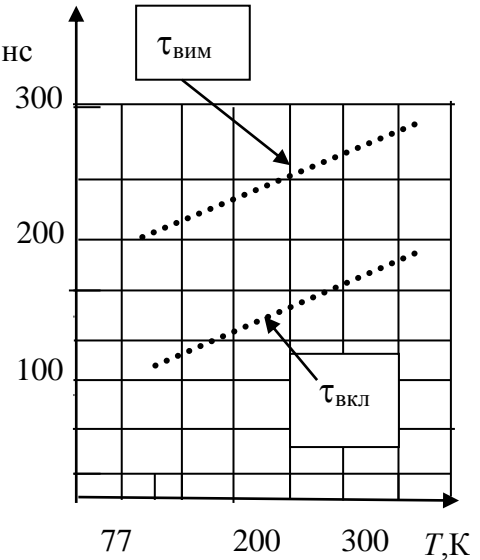


Рис.15. Усереднена залежність часу включення $\tau_{\text{вкл}}$ і вимикання $\tau_{\text{вим}}$ від температури навколишнього середовища

Особливістю вдосконаленого керуючого КДПТП (рис. 14) є характеристики: мінімальний інформаційний струм $1 \cdot 10^{-11}$ А; широкий температурний діапазон $T=77$ К та $T=373$ К; струм витоку не більш 10^{-12} А та 10^{-9} А при $T=77$ К та $T=373$ К відповідно; висока швидкодія завдяки сформованим крутим фронтам імпульсів керування, зменшенню їх шпарування, що дало змогу збільшити частоту в п'ять разів; однорідність їх топології зменшує помилки і час на проектування. Приведено дослідження КДПТП, отримані залежності $\tau_{\text{вим}}(T)$; $\tau_{\text{вкл}}(T)$; $I_{\text{вит}}(T)$; $R_{\text{відкр}}(I_{\text{ком}})$; $I_{\text{вит}}(U_{\text{ком}})$; $R_{\text{відкр}}(T)$, які представлені на рис.15, 16, 17, 18, 19 відповідно.

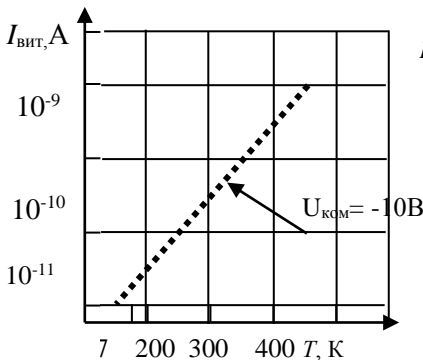


Рис.1 6. Усереднена залежність $I_{\text{вит}}(T)$ на входах/виходах

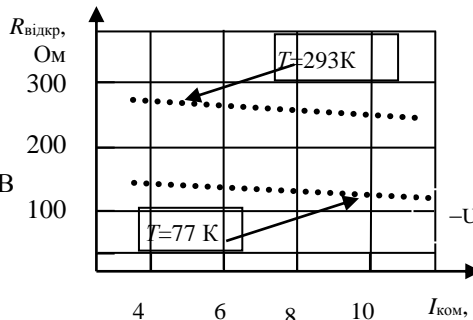


Рис.1 7. Усереднена залежність $R_{\text{відкр}}(I_{\text{ком}})$

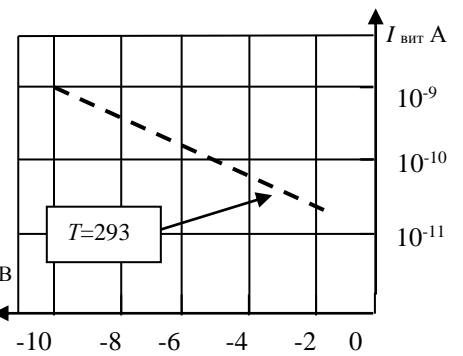


Рис.18. Усереднена залежність $I_{\text{вит}}(U_{\text{ком}})$

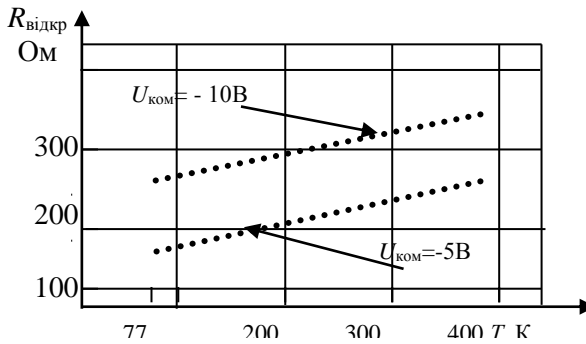


Рис. 19. Усереднена залежність $R_{\text{відкр}}(T)$

Приклад експериментально-графічного методу визначення основних найкращих параметрів для функціонування КДПТП синтезує суперечливі залежності двох параметрів від загального третього: [$I_{\text{вит}}=\psi(T)$ при $U_{\text{ком}}=-10$ В, $I_{\text{вит}}=\varphi(U_{\text{ком}})$ при $T=293$ К]; [$R_{\text{відкр}}=\psi(T)$ при $U_{\text{ком}}=-5$ В, $R_{\text{відкр}}=\varphi(I_{\text{ком}})$ при $T=293$ К], що зображені на рис. 4.10 і 4.11, за точками перетину залежностей визначаються відповідні параметри через перпендикуляри на осі відповідних координат.

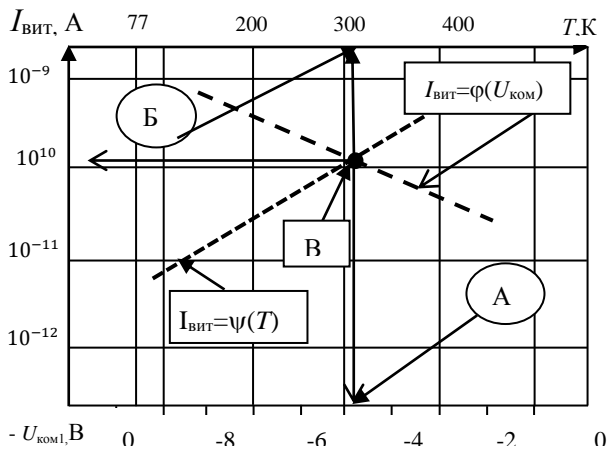


Рис.20. Залежності струму витоку від температури навколишнього середовища від напруги комутації

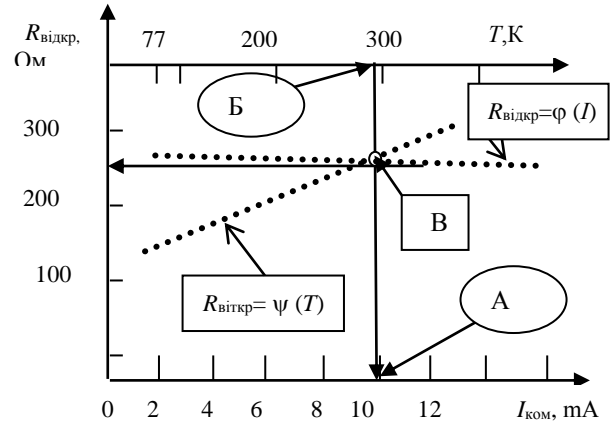


Рис. 21. Залежності опору відкритого транзистора перемикача від температури навколишнього середовища та від струму комутації

Особливістю методу є простота, завдяки візуалізації легко визначити відповідні параметри, що зменшує енерго-часові, матеріальні витрати та вартість виробу.

У розділі 5 удосконалено методологію встановлення взаємозв'язку одночасно за багатьма різними параметрами ВІС при повній відсутності математичного опису закономірності між ними через розроблення таких методів:

- 1) створення критеріїв якості (КЯ), що базується на використанні властивості теорії реляційної алгебри, теорії розмірностей, методу нульових степеневих комплексів, евристики та засобів у вигляді схеми відношення (атрибути, кортежі, домени), структурованих за визначеними параметрами типів ВІС, що досліджуються;
- 2) визначення енергоефективних ВІС, що базується на використанні багатопараметричних КЯ, евристики при створенні критеріального рівняння і побудови знакових моделей в 1,...,4 квадрантах з координатами визначених КЯ.

Наявність взаємозв'язків між параметрами забезпечується візуалізацією залежностей між багатопараметричними КЯ, що розташовані на площині відповідних знакових моделей.

Запропоновано основні типи КЯ (табл. 8) і на їх основі сформовано критеріальне рівняння, що подані в табл. 9.

Таблиця 8

Основні типи умовних критеріїв якості

№ п/п	Типи критеріїв якості	Фізичне тлумачення, що характеризує КЯ
1	$K_P(P_p, P_c) = \left(\frac{P_p}{P_c}\right) \rightarrow \max$ $P_c = U \cdot I$ $P_p = (150 - T_{\max}) / 0,23$	енергетичний резерв ВІС
2	$K_P(P_p, P_c) = \left(\frac{P_c}{P_p}\right) \rightarrow \min$	
3	$K_Q(Q_{\min}, Q_{\max}) = \left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right) \rightarrow 1$	температурний діапазон роботи ВІС
4	$K_f = f \cdot t_{zmconst} \rightarrow \max$ при $t = \text{const}$	швидкість процесу обробки інформації
5	$K_t = f_{const} \cdot t_{zm} \rightarrow \min$ при $f = \text{const}$	
6	$K_c(C_{\max}, C_{\min}) = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}} \rightarrow 1$ C_{\max}, C_{\min} – вартість ВІС	діапазон вартості відповідної ВІС

Таблиця 9

Критеріальне рівняння на базі КЯ

№ п/п	Критеріальне рівняння
1	$\lambda_c \left[\left(\frac{P_p}{P_c}\right)_{\max}; \left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right)_{\rightarrow 1} \right] = 0,$
2	$\nu_f \left[\left(\frac{P_c}{P_p}\right)_{\min}; (f \cdot t_{zmconst})_{\max} \right] = 0,$
3	$\nu_t \left[\left(\frac{P_c}{P_p}\right)_{\min}; (f_{const} \cdot t_{zm})_{\min} \right] = 0,$
4	$\varphi \left[\left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right)_{\rightarrow 1}; \left(\frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}}\right)_{\rightarrow 1} \right] = 0,$
5	$\lambda_c \left[\left(\frac{P_c}{P_p}\right)_{\min}; \left(\frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}}\right)_{\rightarrow 1} \right] = 0,$
6	$\Psi_f \left[\left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right)_{\rightarrow 1}; (f \cdot t_{zmconst})_{\max} \right] = 0,$
7	$\Psi_t \left[\left(\frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}\right)_{\rightarrow 1}; (f_{const} \cdot t_{zm})_{\min} \right] = 0,$

Сукупність цих процедур забезпечила створення високоекономічної моделі ВІС на базі самоделювання за умови обмежень $K_p > 1$, особливістю якої є збереження топології, але зміна режиму відповідних параметрів.

Верифікація методів 1), 2) у роботі підтверджується багатьма прикладами (більш ніж 50 ВІС), 3) на прикладах множин МК, АЛП, наведених у роботі, узагальнена інформаційна модель (УІМ) яких має вигляд відповідно

$$[F(Q_{\max}, Q_{\min}, f, t_{zm}, P_p, U, I)] \text{ та } [\varphi(P_c, f_{const}, t_{zm}, T_{\max}, P_p)],$$

де $Q_{\max}, Q_{\min}, f, U, I, t_{zm}$ – max, min температура; частота; напруга, струм споживання; час затримки відповідно; P_p – потужність розсіювання кристала; $T_{\max}, 0^\circ\text{C}; P_c$ – потужність споживання.

Для оцінювання моделей запропоновано узагальнений критерій ефективності $K_{узг}$ через визначені КЯ (табл. 10, п. 8).

Класифікація узагальнених показників оцінювання ефективності складних компонентів КІС за формою представлення

Форма	Формула показників оцінювання ефективності	Особливості
Композиційна	$w(x, \lambda) = s(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i [F_i(x)],$	
1. Функція Лагранжа	де $s(x)$ – функція цілі; λ_i – неточний множник Лагранжа	Аналітичні критерії обмежені розмірністю простору пошуку
2. Лінійна композиція часткових критеріїв	$w(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i F_i(x),$ де α_i – вагова функція.	Функції λ_i, α_i, C_i мають суб'єктивний характер, це складно для об'єктів з неоднорідними фізичними критеріями
3. Функція штрафу	$w(x) = s(x) + \sum_{i=1}^m C_i [F_{oi} - F_i(x)]^2,$ де F_{oi} – оптимальне значення функції; C_i – вагова функція штрафу	
4. Функція пошуку оптимального значення	$S_o(x) = \min(\max) S(x) -$ значення мінімаксної (максимінної) функції цілі, тобто найкращий з найгірших або навпаки показник	Обмеження інших критеріїв: за умов $W_i \leq W_{io}$, де W_0 – задана система чисел, W_i – часткові параметри, W – сукупність вихідних параметрів $W_i \in W, W_{oi} \in W_o$.
5. Декомпозиційна	$W(x) = \bigcap_l K_l F_l(x),$ де K_l – логічний вектор; $F_l(x)$ – функція.	Функція повинна бути диференційованою
6. Мультиплікативна: часова, вартісна	$\Phi = T \cdot C,$ де T – час обробки інформації; C – вартість або маса компонента	Занадто специфічний: не дає змоги оцінювати сукупності компонентів
7. Адитивна	$W = \sum_{i=1}^n \lambda_i W_i,$ де λ_i – нормований ваговий коефіцієнт	λ_i має суб'єктивний характер
8. Інтегрований критерій ефективності	$K_{yaz} = \sum_{l=1}^L \left\{ \left(\sum_{i=1}^k K_{ij} + \sum_{j=k+1}^m \frac{1}{K_{ij}} \right)^T \right\} \rightarrow \max$ T – тип компонента; N – порядковий номер у таблиці; L – кількість компонентів	Перевагою є відсутність суб'єктивності, тобто вагові коефіцієнти (функції) дорівнюють одиниці

Це забезпечило розширення їх класифікації за формою представлення:

$(k=1, \dots, i)$, $(m=1, \dots, j)$ – номери моделей відповідних компонентів з $K_{i\max}$, $K_{j\min}$;

N – номер компонента у відповідного T типу компонента КІС, що має найкращий критерій.

Особливістю K_{yaz} є відсутність суб'єктивності, тобто вагові коефіцієнти (функції) дорівнюють одиниці, що прискорює процес проектування.

Запропоновано методику структурного представлення, яка через виявлення енергетичного резерву кристала ВІС забезпечує визначення напрямів вдосконалення компонентів, що зменшує енерго-часові витрати. Приклад результатів розрахунку КЯ енергетичного резерву K_p і швидкості K_f , досліджених у дисертації для 15 типів АЛП, зображено на рис. 5.1. Порівняльний аналіз за допомогою візуалізації виявив напрям

удосконалення, а саме можливість підвищення швидкодії АЛП № 2 завдяки наявності великого значення енергетичного резерву $K_p \approx 140$.

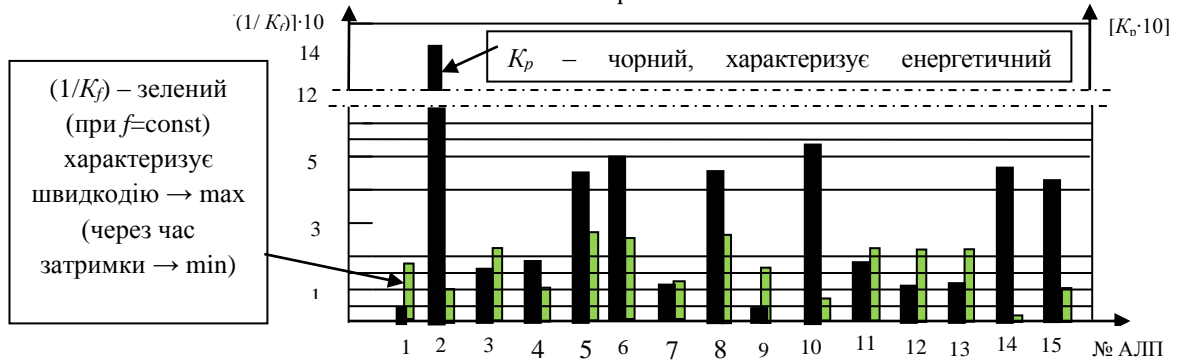


Рис. 22. Гістограма K_p та K_f відповідних АЛП

Іншим прикладом підтвердження запропонованих методів і моделі є множина точок КЯ для МК (табл. 5.4) має наступний вигляд:

$$K = \{K_i, K_j \mid 0 \dots \max(P_p / (U \cdot I))\}; K_j = 0 \dots 1 (Q_{\max} - Q_{\min}) / (Q_{\max})\}. K = \{\psi_i \mid i = \overline{1, \dots, 10}\}$$

і зображена на рис. 23.

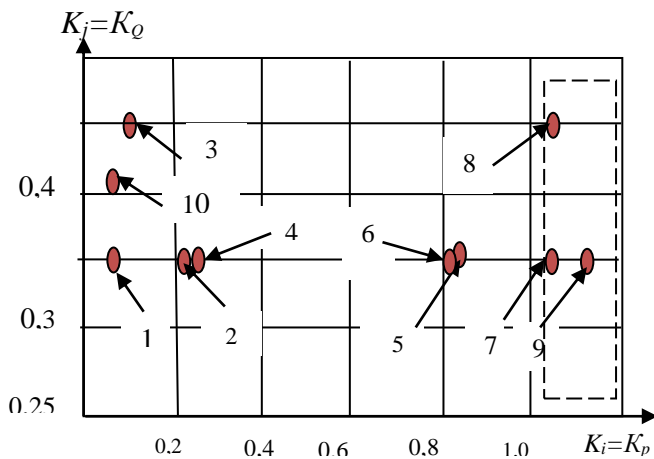


Рис.23. Знакова модель критеріїв якості за п'ятьма параметрами множини різних типів МК
Цифри 1, 2, ..., 10 відповідають МК у табл. 5.4

Таблиця 11
Результати розрахунків критеріїв якості множини МК

№	Тип мікроконтролера	Критерії якості	
		K_p	K_Q
1	MB90F583C/CA	0,066	0,35
2	ATmega169PAuto	0,24	0,35
3	AT90S1200	0,099	0,45
4	AT90S2313	0,236	0,35
5	MB90F523B	0,856	0,35
6	MB90F543G/GS	0,934	0,35
7	MB90F562B	1,13	0,35
8	ATMega8	1,13	0,45
9	MB90F474L	1,19	0,35
10	dsPIC30F1010	0,06	0,42

Експериментально підтверджено, що при збільшенні значення робочої частоти на 9 МГц енергетичний резерв МК майже зберігається, тобто $K_p > 1$; при збільшенні напруги споживання АЛП до 9 В зона статичної завадостійкості збільшується в 1,5 разу.

Відмітною особливістю запропонованого високоекономічного методу створення ефективної моделі ВІС на базі самомоделювання є простота реалізації, зменшення кількості етапів проектування та виготовлення майже на 50 % і, як наслідок, забезпечується велика економія енерго-часових та матеріальних витрат через збереження топології обраної ВІС.

У шостому розділі наведено результати застосування розробок моделей та методів апаратного забезпечення, що ґрунтуються на базі теоретичних досліджень, отриманих у роботі. Концептуально-методологічною основою створення КІС РЗТО СП є синтез розроблених нових методів, моделей та визначених із множини наявних

енергоефективних компонентів і субсистем. Прикладом імплементування КІС є ресурсозберігаюче спеціалізоване лазерне технологічне обладнання (РСЛТО), концептуальна модель якого зображена на рис. 24.

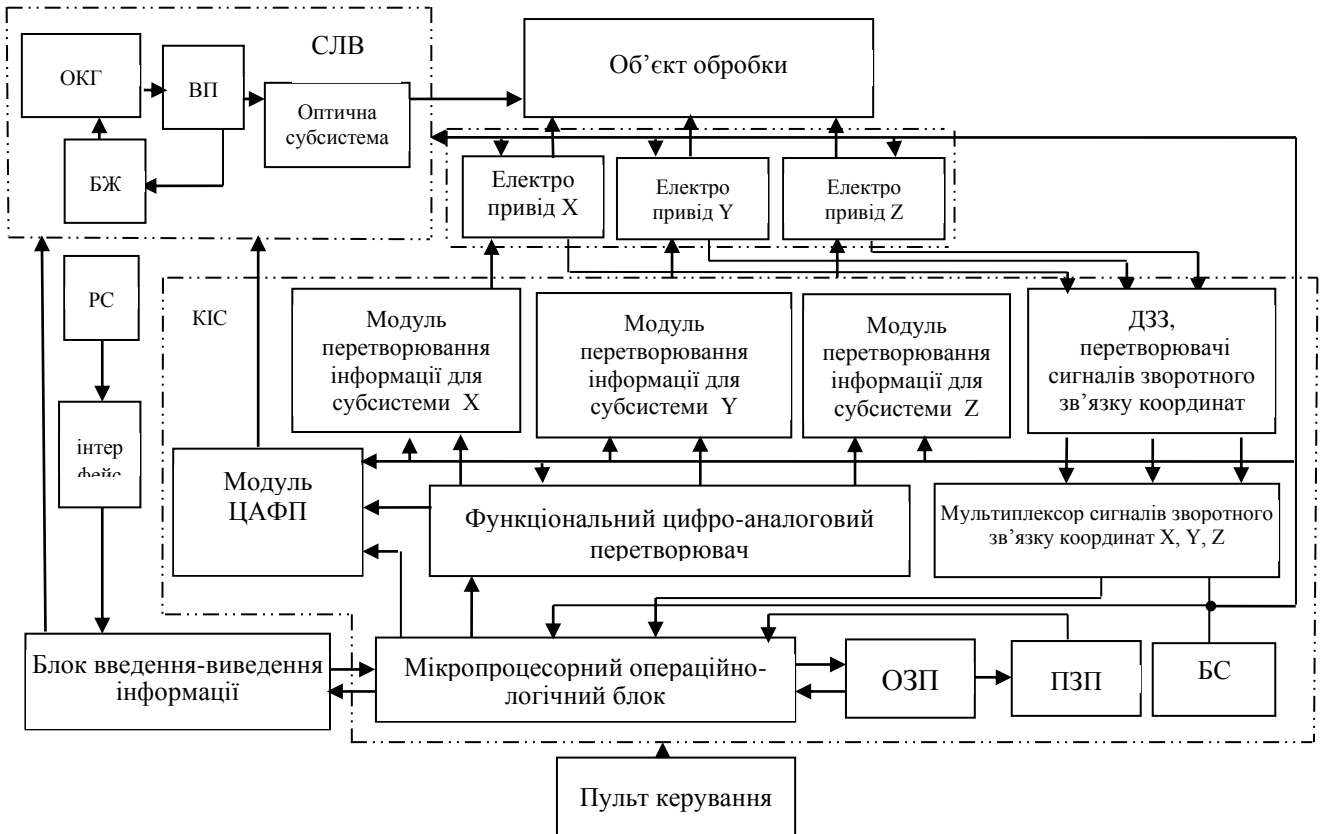


Рис.24. Концептуальна модель КІС РСЛТО

СЛВ– система лазерного випромінювання; ОКГ– оптичний квантовий генератор; ВП– вимірювач потужності; БЖ– блок живлення; БС– блок синхронізації; ДЗЗ– датчик зворотного зв'язку; ЦАФП – комбінована модель цифроаналогового функціонального перетворювача

На основі досліджень якісного процесу зварювання визначено конфігурацію лазерного випромінювання, що апроксимована лінійно-ламаної функції (ЛЛФ).

Особливістю ЛЛФ є універсальність через можливість відтворювати монотонно зростаючі, спадні та легкі варіювання як тривалістю ділянки (які відповідають стадіям процесу лазерного зварювання), так і кутом нахилу, відсутність накопичуваної похибки відтвореного значення функції при переході від однієї ділянки до наступної забезпечується відсутністю використання значень функцій, що сформовані на попередніх ділянках, простота апаратної реалізації (див. мікроархітектуру БМКОП у розділі 4). Дійсно, побудований формувач ЛЛФ має трьох комутаторів, морфоструктури яких однорідні, що зменшує кількість топологій, скорочує час на проектування, зменшує енерго-часові витрати, а виконання в єдиному кристалі, забезпечує високу надійність з високою кількістю придатних кристалів з пластини, що знижує вартість виробу.

В розділі вирішено проблемну задачу усунення складності процесу відлагодження багатоконтурних субсистем, за допомогою яких виконується переміщення за обчисленими траєкторіями об'єкта обробки та відповідного інструмента одночасно. Створено модель мікроструктури обчислювача для коригування розузгодження характеристик контурів через визначення конкретних передавальних функцій

коригувальних ланок і передавальних функцій перетворювачів сигналів, що входять у відповідні регулятори контурів. На рис. 25 зображено модель, яка забезпечує незалежність контурів через запропоновану мікроархітектуру обчислювача, що формує комбінації сигналів для коригування розузгодження характеристик.

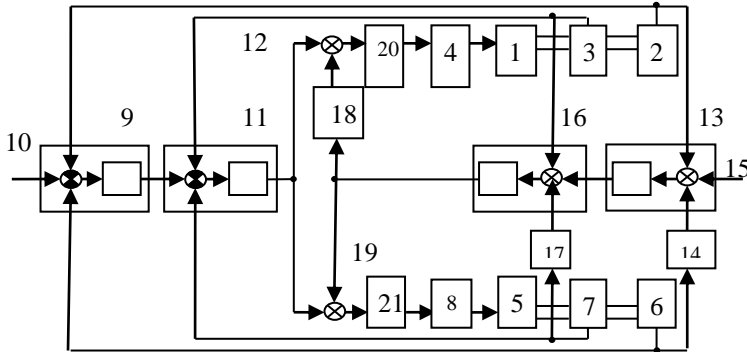


Рис. 25. Функціональна модель двоконтурної субсистеми

1, 5 – двигуни; 2, 6 – датчики положення; 3, 7 – датчики швидкості; 4, 8 – регулятори струму; 9, 13 – регулятори положення і розузгодження щодо положень відповідно; 10, 15 – задавачі положення і розузгодження відповідно; 11, 16 – регулятор швидкості та регулятор розузгодження швидкості відповідно; 12, 19 – суматори; 14, 17, 18 – інвертори; 20, 21 – коригуючі ланки

Результатом аналізу встановлено, що взаємно незалежне регулювання контурів положення та синхронізації забезпечується при виконанні умов наступного рівняння:

$$W_{K1}W_{I1}W_{D1} = W_{K2}W_{I2}W_{D2}.$$

Запропоновано модель двоконтурної субсистеми (рис. 26), що зображена у вигляді взаємозв'язаних контурів регулювання положення і синхронізації через відповідні передаточні функції.

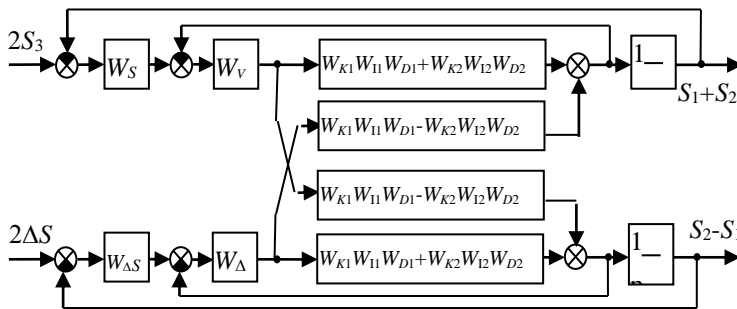


Рис. 26. Образно-знакова модель обчислювання взаємозв'язаних передаточних функцій компонентів двоконтурної субсистеми

S_1, S_2 – положення ротора двигунів; S_3 – середнє завдання положення електродвигунів 1, 5; ΔS_3 – завдання розузгодження за положенням, яке мають підтримувати під час руху електродвигуни 1, 5; W_{K1}, W_{K2} – передаточні функції коригуючих ланок 20, 21 відповідно; W_{I1}, W_{I2} – передаточні функції регуляторів струмів 4 і 8 відповідно; W_{D1}, W_{D2} – передаточні функції електродвигунів 1, 5 відповідно; $W_S, W_V, W_{\Delta S}, W_{\Delta V}$ – передаточні функції перетворювачів сигналів, що входять в блоки 9, 11, 13, 16 відповідно

Отже, запропоновано модель обчислювання, що забезпечує зменшення складності відлагодження багатоконтурних систем як схожими, так і різними динамічними характеристиками. Це забезпечує зменшення енерго-часових та матеріальних витрат.

На основі розроблених моделей компонентів, субсистеми та апаратно-програмних засобів спроектована, розроблена, виготовлена та відлагоджена фізична модель ресурсозберігаючого спеціалізованого лазерного технологічного обладнання (РСЛТО), за допомогою якої проведено комп'ютерно-експериментальні випробування на підприємстві при виготовленні компенсуючих елементів для авіакосмічної промисловості, високу якість продукції підтверджено актом впровадження РСЛТО. Для прискорення процедури проектування на системотехнічному етапі проектування КІС РЗТО СП запропоновано інформаційно-логічну модель, яка розкриває паралельність маршрутів внутрішньої і зовнішньої стадій та систематизацію визначених процедур і моделей. Це зменшує час процесу узгодження технічного завдання з замовником і переходу до розробки технічних пропозицій.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано, досліджено та вирішено актуальну науково-технічну проблему підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем ресурсозберігаючого технологічного обладнання спеціального призначення шляхом узагальнення теоретичних положень наявних і створення нових методів та моделей енергоефективних компонентів, що формують, взаємоперетворюють, створюють і обробляють інформацію з високими показниками одночасно щодо: надійності, точності, швидкодії при малих габаритах, вазі, енергоспоживанні та матеріальних витратах. При виконанні дисертаційної роботи отримано нові наукові та практичні результати:

- Розроблено нетрадиційний високоефективний розрядний кортежно-табличний логіко-оборотний (РКТЛО) метод, в якому для КІС СП вперше на базі формальної логіки вперше запропоновано, теоретично обґрунтовано та практично підтверджено створення композиційної логіко-математичної моделі (КЛММ), за допомогою якої формуються таблиці відповідності вхідної і вихідної інформації та створюються через властивості операції XOR значення коригуючих констант (КорК), в яких проводиться покортежна декомпозиція, аналізуються їх значення та ліквідуються інформаційні надмірності; результати обчислювальної прецизійної інформації формуються, застосовуючи операцію конкатенації. Особливість сукупності РКТЛО методу і КЛММ полягає в представленні однополярних позиційно-впорядкованих двійково-кодових (ОПВДК) операндів як композиції незалежних «1» і «0», що сприяє: отриманню результатів при їх перетворенні незалежно від системи числення; створенню класу кодів у вигляді ОПВДК комбінацій; забезпеченню використання одних і тих же табличних даних КорК (попередньо обчислені) для прямого й оборотного взаємоперетворення, при 100 % поновленні початкової інформації та створенню єдиної універсальної таблиці КорК малого об'єму з можливістю нарощування для забезпечення високоточних таблиць, водночас є можливість перетворення різнополярних кодів (± 1), які просто і легко перетворюються в однополярні коди, що прискорює час проектування. Крім того, розрядна процедура розрахунків таблиць КорК для багаторозрядних операндів не потребує прецизійного з високою вартістю обчислювального обладнання, що зменшує матеріальні, енерго-часові витрати і прискорює проектування моделей компонентів КІС.

- Розроблено і досліджено перспективні моделі компонентів КІС, які орієнтовані на перетворення широкого класу ОПВДК інформації та реалізовані на поєднанні принципів універсальності і спеціалізації, що забезпечує: підвищення надійності, зменшення енергоспоживання цифрових прецизійних моделей обчислювальних перетворювачів СП, які апаратурно реалізовані на узагальнених теоретичних положеннях РКТЛО методу та КЛММ, що забезпечило введення коригуючого (КЗЗ) та інформаційного (ІЗЗ) зворотних зв'язків всередині кристала. Цим зменшено кількість активних (на n тригерів через використання одного регістру, в якому вхідна інформація під дією КорК перетворюється на вихідну) та пасивних (вхідні елементів: зовнішні та внутрішні контактні площадки використовуються двічі), це сприяло використанню звільненої площі кристала або для розширення функціональних можливостей, або для резервування, що в сукупності підвищує надійність на 3, ..., 4 порядки, зменшує енергоспоживання, при організації універсального числового блока пам'яті (УЧБП) малого об'єму з однорідною структурою та можливістю нарощування, забезпечує

обробку інформації з високою точністю та зменшує час на проектування. Це підтверджено розробленими новими шістьма багатофункціональними моделями: 1) перетворювача зваженого двійкового коду (ЗДК) у відповідний незважений однополярний шумоподібний код (НЗОШК), при використанні тільки логічних операцій підвищується швидкодія; 2) біфункціональна модель перетворення ЗДК у відповідні НЗОШК та навпаки, використовуючи один ЧБП, що підвищує надійність і зменшує енергоспоживання; 3) біфункціональна модель перетворення незваженого рефлексного коду (НЗРК) у відповідні ЗДК і навпаки, забезпечує розширення функціональних можливостей, високу надійність, швидкодію; 4) багатофункціональна модель з єдиним універсальним ЧБП, яка працює у чотирьох режимах і перетворює значення наступних кодів: 4₁) НЗРК у відповідні ЗДК; 4₂) ЗДК у відповідні НЗРК; 4₃) НЗОШК у відповідні ЗДК; 4₄) НЗРК у відповідне значення елементарної функції $\sin(x_i)$, що представлено у ЗДК, це зменшує складність апаратних засобів КІС, розширює функціональні можливості, має високу надійність та швидкодію; 5) метамодель: 5₁) обчислювача функції «квадратного кореня», на виході якого формується значення функції \sqrt{x} , або 5_{1a}) у ЗДК, або 5_{1б}) у двійково-десятковий код (ДДК); 5₂) перетворює числа ЗДК у ДДК, що розширює функціональні можливості, має високу надійність і швидкодію, а однорідність топологій регістрів, логічних елементів прискорює процес проектування; 6) розроблено та досліджено дві (6₁ та 6₂) моделі цифрових перетворювачів «прямих» (ПФ) та «зворотних» (ЗФ) елементарних функцій на базі апроксимуючої, у межах заданої методичної похибки, лінійно-ламаної функції (ЛЛФ), що значно зменшує об'єм ПЗП, зменшує потужність споживання при забезпеченні високої надійності та швидкодії. Ця сукупність нових багатофункціональних моделей зменшує апаратну складність КІС, габарити, вагу, підвищує швидкодію, зменшує матеріальні й енерго-часові витрати та розширює сфери застосування. Верифікація сукупності РКТЛО методу і КЛІММ для перетворення різного виду ОПВДК операндів підтверджена розрахунками КорК, наведеними в таблицях, та експериментом, що проводився на розробленій фізичній дослідній моделі з єдиним ЧБП, яка перетворює ЗДК на НЗРК і навпаки.

• На основі імплементування РКТЛО методу, властивостей теорії перехідних процесів, теорії коригуючих та інформаційних зворотних зв'язків, стиснення інформації, сукупності принципів універсальності та спеціалізації, багаторазового використання однорідних морфоструктур розроблено високонадійні, швидкодіючі, багатофункціональні моделі обчислювальних перетворювачів: БМКОП, що перетворює вхідну: аналогову, цифрову інформацію та тривалість імпульсів на вихідну аналогову при єдиній моделі формувача лінійно-ламаної функції (ФЛЛФ), що в три рази збільшує функціональні можливості, зменшує інтенсивність відмови майже на чотири порядки та зменшує в три рази відносну похибку пульсації, збільшує в два рази частоту перемикавання відносно прототипу; БМГОП, що виконує в єдиному кристалі шість функцій: ЦФП, побудований РКТЛО методом, зменшує енергоспоживання майже в два рази, підвищує конструктивну та інформаційну надійності; цифроаналоговий помножувач, ЦАП, аналого-цифровий дільник, які використовують єдині КДПТП, їх однорідність морфоструктури зменшує час проектування, в шість разів, зменшує апаратну складність КІС і енергоспоживання; аналоговий інвертований суматор; операційний підсилювач, що зменшує інтенсивність відмови на 4, ..., 5 порядків і вартість ВІС. Вдосконалено керуючий КДПТП шляхом збільшення швидкості перерозподілу заряду у відповідних ланцюгах розряду, що забезпечив п'ятиразове

збільшення частоти перемикавання, при потужності споживання на один каскад, не більш 0,1 мВт і 0,348 мВт; струм витоку, не більший $1 \cdot 10^{-9}$ А та $1 \cdot 10^{-12}$ А при $T=293$ К та 77 К відповідно.

- Запропоновано методологію встановлення взаємозв'язку одночасно за багатьма різними параметрами ВІС при повній відсутності математичного опису закономірності між ними, що базується на методах: 1) створення КЯ, який визначається сукупністю прийомів, що використовують властивості теорії реляційної алгебри, теорії розмірностей, методу нульових степеневих комплексів, евристики для їх фізичного тлумачення та засобів у вигляді схеми відношення (атрибути, кортежі, домени), структурованих за відповідними параметрами типів ВІС, що досліджуються; 2) визначення ефективних ВІС, що базується на сукупності прийомів по використанню КЯ та евристики при створенні критеріального рівняння і побудови знакових моделей в 1, ..., 4 квадрантах з координатами визначених КЯ. Висока швидкість виявлення взаємозв'язків між параметрами забезпечується через візуалізацію багатопараметричних КЯ, що розташовані на площині відповідних знакових моделей. Верифікація методів 1) і 2) підтверджується багатьма прикладами (більш ніж 50 ВІС), що представлено у роботі.

- Удосконалено узагальнений інтегрований критерій оцінювання (УІКО) ефективності моделей дослідження, особливістю УІКО є відсутність суб'єктивності, що спрощує та прискорює процес порівняльного аналізу, розширює базу класифікації показників за формою представлення, що зменшує час проектування.

- Удосконалено і досліджено модель КМАП багаторозрядних двійкових операндів. Особливістю є надвисока надійність через введення ІЗЗ, що зменшує інтенсивність відмов на чотири порядки та звільнює площу кристала для резервування кортежної матриці.

- Удосконалено високоекономічний метод створення ефективної моделі ВІС на базі самомоделювання, за умови, що КЯ енергетичного резерву $K_p > 1$. Дослідження властивостей процесу самомоделювання становить інтерес як у теоретичному, так і в практичному застосуванні через зменшення енерго-часових та матеріальних витрат майже на 50 %. Особливість самомоделювання полягає в збереженні топології мікроархітектури моделі ВІС та змінюванні тільки параметрів режиму роботи при виконанні умови $K_p > 1$. Верифікація працездатності цього методу підтверджена прикладами: для визначеного МК з $K_p > 1$ підвищено швидкодію через збільшення робочої частоти; для визначеної моделі АЛП з $K_p > 1$ збільшено значення напруги споживання до 9 В, що забезпечило збільшення в 1,5 разу зони статичної завадостійкості.

- Отримав подальший розвиток графоаналітичний метод визначення найкращого значення кількості розрядів r в кортежі для УЧБП цифрових обчислювальних перетворювачів через урахування показників, що характеризують: апаратні витрати; потужність споживання; об'єм ЧБП; швидкодію, наприклад, для операндів $n=32$ визначено $r=8$, наочність методу прискорює процес проектування. Особливістю методу є гнучкість кортежної декомпозиції ОПВДК операндів, яка створює можливість при забезпеченні необхідної точності та високої надійності варіювати параметрами: швидкодії через можливість паралельної обробки кортежів; потужності споживання та об'єму зберігаючих констант ЧБП через маніпулювання кількістю розрядів у кортежах.

- Отримав подальший розвиток експериментально-графічний метод визначення параметрів для функціонування керуючих КДПТП, який за рахунок синтезу в одному квадранті суперечливі залежності одного параметра від незалежних двох інших. Особливістю є простота та висока швидкість визначення відповідного параметра через візуалізацію.

- Отримало подальший розвиток структурне представлення методики визначення напрямків вдосконалення ВІС за відповідними багатьма параметрами при наявності $K_p > 1$. Особливістю методики є зменшення часу визначення напряму вдосконалення при

- Отримала подальший розвиток модель багатоконтурної підсистеми, за допомогою якої виконується переміщення за обчисленими траєкторіями об'єкта обробки та відповідного інструмента одночасно. Запропоновано модель обчислювача для коригування параметрів контурів через визначення параметрів передавальних функцій коригувальних ланок і передавальних функцій перетворювачів, що входять у відповідні регулятори контурів. Це зменшує час і складність їх відлагодження з істотно різними динамічними параметрами, що зменшує вартість.

- Отримала подальший розвиток інформаційно-логічна модель, яка розкриває паралельність маршрутів внутрішньої і зовнішньої стадій проектування та систематизацію відповідних шляхів визначення процедур і моделей, що зменшує час узгодження ТЗ з замовником.

Отже, отримані наукові результати створюють методологічну основу нових методик, методів, моделей енергоефективних компонентів, що впроваджуються при розробці або модернізації КІС, які мають одночасно високі надійність, швидкодію, точність при малих габаритах і вазі, малому енергоспоживанні та низьку вартість. Розроблена методика визначення числа кортежів при проектуванні спеціалізованого прецизійного помножувача в межах заданої похибки множення. Особливістю є візуалізація знакової трикоординатної моделі залежності математичного очікування та дисперсії інструментальної похибки при відкиданні частини розрядної сітки в результаті множення від числа кортежів, наочність якої спрощує, полегшує та прискорює процедуру проектування. Розробка алгоритмів, схемних та конструктивних рішень розширила науково-технічну базу енергоефективних компонентів КІС РЗТО СП. На основі синтезу розроблених обчислювальних цифрових, комбінованих, гібридних, гібридних, компонентів та підсистеми КІС і запропонованої концептуальної моделі модернізовано, відлагоджено та випробувано фізичну модель КІС РСЛТО і впроваджено в автоматизоване виробництво (ТОВ «АРМАТОМ») для виробів, які використовуються у галузі атомної енергетики. Модернізація обладнання та розроблені алгоритм і програма процедури керування процесом зварювання забезпечили суттєве підвищення продуктивності, надійності обладнання і отримання високої якості продукції, що підтверджують акти впровадження. Запропоновано методику дослідження наявних ВІС, що представлена структурно, наочність знакових моделей забезпечує високу швидкість визначення взаємозв'язків між різноманітними параметрами при повній відсутності математичного опису закономірності між ними та напряму вдосконалення ВІС Ефективність розробок підтверджено актами та довідками про наукову значущість, практичне використання і можливість впровадження у виробництво в промисловості України та Молдови: ТОВ «ЛАЗЕР ЦВМ», м. Київ, 2020 р.; ТОВ «Науково-дослідний інформаційний центр «АРМАТОМ», м. Київ, 2019 р.; «INSTITUTUL DE ENERGETIC ACADEMIA ȘTIINȚĂ MOLDOVEI», Republica

Moldova, 2015 р; НВК «Фотоприлад», м. Черкаси, 2014 р; ПП «Енерголісбуд», м. Кам'янець-Подільський, 2013 р.; довідка НВК «Фотоприлад», м. Черкаси, 2013 р; ТОВ «НОВОФОРМ», м. Київ, 2012 р; ТОВ «Торговий Дім Трипілля», м. Дніпропетровськ, 2012 р.; ЗАТ «КЦКБА», м. Київ, 2009 р. Крім того, теоретичні та практичні результати дослідження використовувалися в навчальних процесах у ЧДТУ (м. Черкаси); НЧДУ ім. Петра Могили (м. Миколаїв), ДВНЗ «Дон НТУ» (м. Покровськ).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, Т. Ю. Уткина, и В. М. Лукашенко, *Методы, модели компьютерно-интегрированных систем управления специализированного лазерного технологического оборудования*, монографія. Черкасы: Черкас. гос. технолог. ун-т, 2016, библиогр.: 124 назв., рус., деп. в ГНТБ Украины 16.09.2016, № 12-Ук2016, анот. в РЖ «Депон. наук. работы», № 1-2, 2016.

[2] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, *Спеціалізовані співпроцесори на базі таблично-алгоритмічних методів для лазерних маніпуляторів*, монографія. Черкаси: ЧДНДІТЕІХП, 2010, укр., деп. в ВИНТИ 20.06.2010, № 11-хп 2010, анот. в РЖ «Депон. наук. работы», 2010.

[3] V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, V. V. Kornukh, S. F. Aksyonov, E. V. Voropay, and Yu. V. Spizhovyi, "Method of qualitative evaluation of central processor unit efficiency of special purpose systems", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 13 (202), pp. 56-63, 2019, ISSN 1561-6894.

[4] A. Lukashenko et al., "Bitwise method for the binary coded operands conversion based on mathematical logic", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 5/4 (95), pp. 6-14, 2018, doi: 10.15587/1729-4061.2018.142975, фахове видання, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, ISSN 1729-3774.

[5] А. Г. Лукашенко, С. Ф. Аксьонов, Д. А. Гардер, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, Е. В. Воропай, та В. М. Лукашенко, "Метамодель обчислювача функції «квадратного кореня» спеціального призначення", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 11 (191), pp. 17-25, 2018.

[6] A. Lukashenko et al., "The method for detecting energy reserve of components of computer-integrated systems", in *Proc. 14th Int. Conf. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics – 2017 (CADSM 2017)*, Polyana, Svalyava, Zakarpattya, Ukraine, Feb. 21-25, 2017. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2017, pp. 199-202, фахове видання, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Thomson Reuters Web of Science (WoS), ISSN: 2572-7583, eISSN: 2572-7591 (<https://tinyurl.com/vm6hqsq>).

[7] V. D. Shelyagin, V. Yu. Khaskin, and A. G. Lukashenko, "CO₂-laser cutting of disk saw bodies", *The Paton welding journal*, no. 2, pp. 43-45, 2005, фахове видання, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus.

[8] А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, В. В. Корнух, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Знакові моделі структурованих залежностей динамічного розвитку співпроцесорів", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 11-16, 2017.

[9] А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Модель багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора

для комп'ютерно-інтегрованих систем спеціального призначення", *Nauka i studia, Przemysl*, № 16 (177), с. 32-38, 2017.

[10] В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко, С. А. Міценко, та К. О. Дубіцький, "Оптимізація процедури вибору датчиків для лазерного технологічного обладнання", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 5-10, 2016.

[11] S. F. Aksyonov, A. G. Lukashenko, A. V. Havrysh, D. A. Lukashenko, V. A. Lukashenko, and V. M. Lukashenko, "Method for determining the best manufacturer of single-board computers", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 24-7 (161), pp. 16-20, 2016.

[12] В. А. Лукашенко, В. М. Співак, та А. Г. Лукашенко, "Систематизація методів, моделей співпроцесорів для високошвидкісних, прецизійних мікропроцесорних проблемно-орієнтованих систем", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1, с. 164-169, 2015.

[13] В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, та С. А. Міценко, "Графоаналітичний метод визначення кількості кортежів для багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4, с. 67-72, 2015.

[14] В. М. Лукашенко, И. А. Зубко, и А. Г. Лукашенко, "Объектно-ориентированный метод выбора лучших системных плат", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 6, с. 247-250, 2014.

[15] В. Д. Шелягін, А. Г. Лукашенко, В. Ю. Хаскін, Д. А. Лукашенко, та В. А. Лукашенко, "Розробка технології та обладнання автоматизованого лазерного зварювання для виготовлення деталей теплообмінників корабельних двигунів", *Наука та інновації. Науково-технічні інноваційні проекти Національної академії наук України*, т. 8, № 6, с. 34-39, 2014.

[16] В. А. Лукашенко, В. М. Співак, М. В. Чичужко, А. Г. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Знакова модель визначення найпридатнішого мікроконтролера для проблемно-орієнтованих систем", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4, с. 19-24, 2014.

[17] А. Г. Лукашенко, М. В. Чичужко, та В. М. Лукашенко, "Фізична науково-технічна модель дослідження мікроконтролерів", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування*, № 47 (1), с. 137-144, 2014.

[18] А. Г. Лукашенко, "Математична модель узагальненого показника якості компонентів лазерного технологічного обладнання", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 4, с. 31-36, 2014.

[19] А. Г. Лукашенко, "Кортежний таблично-логічний метод реалізації цифрового багатофункціонального обчислювача", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 102-107, 2014.

[20] В. М. Лукашенко, М. В. Чичужко, та А. Г. Лукашенко, "Системний аналіз сучасних моделей супервізорів та визначення напрямку їх вдосконалення", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4, с. 33-37, 2013.

[21] В. М. Лукашенко, К. С. Рудаков, А. Г. Лукашенко, и С. А. Миценко, "Знаковая модель качественной оценки современных компонентов маршрутизаторов", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування*, № 45, с. 142-148, 2013.

[22] А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, В. М. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, та В. А. Лукашенко, "Метод вибору системних плат для лазерного технологічного

обладнання", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 37-41, 2013.

[23] V. M. Lukashenko, M. V. Chichuzhko, A. G. Lukashenko, and V. A. Lukashenko, "Creation of multicriteria qualitative evaluation method of microcontroller manufacturers", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 17 (85), pp. 97-102, 2013.

[24] V. M. Lukashenko, K. S. Rudakov, A. G. Lukashenko, and S. A. Mitsenko, "Multicriterion method of qualitative assessment of modern router components", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 35 (103), pp. 11-17, 2013.

[25] Т. Ю. Уткіна, О. С. Вербицький, та А. Г. Лукашенко, "Узагальнена біометрична модель доступу до мікропроцесорної системи керування спеціалізованого лазерного технологічного комплексу", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1, с. 131-136, 2012.

[26] К. С. Рудаков, Р. Є. Юпин, А. Г. Лукашенко, та В. А. Лукашенко, "Трикоординатна знакова модель для визначення перспективних мікропроцесорних компонентів за багатьма параметрами", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 1, с. 28-31, 2012.

[27] В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко, С. А. Міценко, та О. С. Вербицький, "Удосконалення спеціалізованого гібридного багатофункціонального співпроцесора", *Вісник Сумського державного університету*, № 1, с. 138-144, 2012.

[28] А. Г. Лукашенко та ін., "Розробка обладнання та технології автоматизованого лазерного зварювання трубних компенсуючих елементів для авіакосмічної промисловості", *Наука та інновації. Науково-технічні інноваційні проекти Національної академії наук України*, т. 8, № 6, с. 53-59, 2012.

[29] А. Г. Лукашенко, Т. В. Мельниченко, та Д. А. Лукашенко, "Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали модулированным излучением", *Автоматическая сварка*, № 4, с. 19-23, 2012.

[30] А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, Р. Е. Юпин, Д. А. Лукашенко, и В. А. Лукашенко, "Систематизация структур современных микроконтроллеров для лазерных технологических комплексов", *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. наук.-техн. зб.*, Кіровоград: КНТУ, вип. 42, ч. 1, с. 95-99, 2012.

[31] O. S. Verbjskij, S. A. Mitsenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, and V. M. Lukashenko, "Systematization and qualitative assessment of models of access for laser technological complex based on biometrics", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 3 (48), pp. 121-126, 2012.

[32] A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, D. A. Lukashenko, and V. A. Lukashenko, "Mathematical model of laser radiation configuration for obtaining fine-grained weld structure", *Современный научный вестник*, Белгород, no. 11 (123), pp. 56-60, 2012.

[33] A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, D. A. Lukashenko, and V. A. Lukashenko, "System analysis of connectivity components for information transfer in control systems of laser technological complex", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 11 (56), pp. 30-34, 2012.

[34] A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, D. A. Lukashenko, and V. A. Lukashenko, "A technique for determination of dynamic parameters of feedback induction sensor", *Оралды гылым жаршысы (Уральск)*, no. 12 (48), pp. 92-99, 2012.

[35] A. G. Lukashenko, T. Yu. Utkina, O. S. Verbjaskij, D. A. Lukashenko, V. A. Lukashenko, and V. M. Lukashenko, "A sign model of the detection of the best fingerprints sensors for laser technological complex", *Nauka i studia*, (Przemysl, no. 13(58), pp.78-83, 2012.

[36] Д. А. Лукашенко, В. Ю. Хаскин, А. Г. Лукашенко, А. В. Сиора, и А. В. Бернацкий, "Сварка тонколистовой нержавеющей стали волоконным лазером", *Вестник ДНУ. Ракетно-космическая техника*, т. 19, № 4, с. 121-129, 2011.

[37] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, А. В. Бернацкий, В. П. Гаращук, и В. И. Луценко, "Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали", *Автоматическая сварка*, № 4, с. 45-49, 2011.

[38] А. Г. Лукашенко, Р. Е. Юпин, и Д. А. Лукашенко, "Алгоритмы расчета корректирующих констант при таблично-алгоритмических методах аппаратурной реализации функциональных зависимостей", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 5, с. 190-194, 2011.

[39] А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, Р. Є. Юпин, та Д. А. Лукашенко, "Швидкодійний метод візуалізації вибору сучасних мікроконтролерів", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 4/9 (52), с. 63-65, 2011.

[40] А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, Р. Є. Юпин, та Д. А. Лукашенко, "Методологія удосконалення моделі однокристалного мікроконтролера", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 5/9 (53), с. 51-54, 2011.

[41] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, та С. А. Міценко, "Методологія організації бази даних на основі теорії неповної подібності та розмірностей", *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.*, Кіровоград: КНТУ, вип. 41, ч. 1, с. 336-339, 2011.

[42] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, И. А. Зубко, Р. Е. Юпин, и В. М. Лукашенко, "Оптимальный метод определения параметров режима лазерной сварки тонкостенных конструкций", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 6/5 (54), с. 48-51, 2011.

[43] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, И. А. Зубко, В. А. Лукашенко, и В. М. Лукашенко, "Эффективный метод анализа сложных моделей и их компонентов для специализированного лазерного технологического комплекса", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4, с. 42-47, 2011.

[44] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко, М. Н. Озирская, и В. А. Лукашенко, "Физическая модель трехкоординатного технологического комплекса на базе CO₂-Laser", *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту*, Кіровоград: КНТУ, вип. 24, с. 77-82, 2011.

[45] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Високонадійний багатofункціональний обчислювач для спеціалізованих лазерних технологічних комплексів", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 1, с. 67-70, 2011.

[46] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, и В. М. Лукашенко, "Экспериментальные исследования модели распределителя сигналов для пятикоординатного лазерного технологического комплекса", *Науковий вісник ЧНУ*, т. 2, вип. 3, с. 57-61, 2011

[47] А. Г. Лукашенко, "Модель каскадов управління транзисторними переключачами в лазерних комплексах", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 21-25, 2011.

[48] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, и В. М. Лукашенко, "Модель ефективного цифроаналогового преобразователя для спеціалізованих лазерних манипуляторів", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування*, № 40, с. 112-118, 2010.

[49] A. G. Lukashenko, V. D. Shelyagin, D. A. Lukashenko, V. M. Lukashenko, M. N. Ozirskaja, and V. A. Lukashenko, "Three-coordinate laser technological complex on CO2 basis", *Nauka i studia, Przemysl*, no. 8 (30), pp. 81-88, 2010.

[50] А. Г. Лукашенко, О. А. Кулигін, та В. М. Лукашенко, "Виявлення резерву предмета дослідження на основі теорії неповної подібності та розмірностей", *Вісник Хмельницького національного університету*, № 3, с. 184-187, 2009.

[51] А. Г. Лукашенко, В. Д. Шелягін, Д. А. Лукашенко, І. А. Зубко, та О. Ю. Талімончук, "Системний аналіз параметрів датчиків положення стику зварювальних деталей для лазерних технологічних комплексів", *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту, Кіровоград: КНТУ*, вип. 22, с. 211-217, 2009.

[52] А. Г. Лукашенко, "Метод усунення взаємного впливу контуру регулювання положення й контуру синхронізації для багатодвигунових електроприводів", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування*, № 37, с. 68-74, 2009.

[53] А. Г. Лукашенко, "Лазерные технологии и современные технологические комплексы на основе CO2-лазера", *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*, Харків: ХНУРЕ, № 143, с. 96-100, 2008.

[54] В. М. Лукашенко, В. Д. Шелягін, А. Г. Лукашенко, и М. И. Ярославцев, "Метод устранения неоднозначности при формировании опорных сигналов управления синхронным двигателем", *Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету*, Кіровоград: КНТУ, вип. 19, с. 249-254, 2007.

[55] Ю. Г. Лега, В. М. Лукашенко, Н. А. Караван, Я. В. Корпань, А. Г. Лукашенко, та М. Г. Лукашенко, "Модель гибридного многофункционального предпроцессора для проблемно-ориентированных подсистем управления", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування*, № 32, с. 106-111, 2006.

[56] A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, D. A. Harder, and V. A. Lukashenko, "Synthesis of corrective and informational feedbacks for energy-saving precisional coprocessors", на *IX МНПК Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій – 2018*, Запоріжжя, Україна, жовт. 3-5, 2018, Запоріжжя: ЗНТУ, 2018, с. 75-76.

[57] А. Г. Лукашенко, "Метод определения избыточности корректирующих констант при воспроизведении прецизионных значений многофункциональных трансцендентных функций", in *Proc. XIII Int. Sci. and Pract. Conf. Science and Civilization – 2018*, Sheffield, England, Jan. 30-Feb. 7, 2018, Sheffield: Science and education Ltd, 2018, vol. 13, pp. 17-22.

[58] В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко, В. В. Корнух, Є. В. Воропай, та Ю. В. Спіжовий, "Метод візуалізації для аналізу графічних співпроцесорів", in *Proc. XIII Int. Sci. and Pract. Conf. Trends of modern science – 2018*,

Sheffield, England, May 30-Jun. 7, 2018, Sheffield: Science and education Ltd, 2018, vol. 6, pp. 100-104.

[59] А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, С. Ф. Аксьонов, Д. А. Гардер, С. А. Міценко, В. А. Лукашенко, и В. М. Лукашенко, "Образно-знаковая модель кусочно-линейного аппроксиматора специального назначения", in *Proc. XIV Mezinár. vědecko-prakt. konf. Dny Vědy-2018*, Praha, Břez.22-30,2018, Praha:Education and Science,2018, vol 6, с 63-65.

[60] А. Г. Лукашенко, "Методология проектирования сложных компьютерно-интегрированных систем специализированного лазерного технологического оборудования", на *XVI МНПК Найновите научни постижения – 2018*, София, Болгария, Мар. 15-22, 2018, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2018, vol. 4, с. 23-25.

[61] А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, С. Ф. Аксьонов, В. Л. Залізник, І. А. Зубко, та В. М. Лукашенко, "Метод аналізу апаратно-обчислювальних платформ на основі об'єктно-інваріантних критеріїв якості", in *Proc. XIV Mezinár. vědecko-prakt. konf. Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2018*, Praha, Únor. 22-28, 2018, Praha: Education and Science, 2018, vol. 8, с. 66-70.

[62] В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, С. А. Міценко, С. Ф. Аксьонов, та В. А. Лукашенко, "Високонадійна біфункціональна модель обчислювача функції квадратного кореня", на *XIII МНПК Achievement of High School – 2017*, София, Болгария, Nov. 15-22, 2017, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2017, т. 9, с. 53-56.

[63] В. В. Корнух, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, В. А. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Структурований метод якісної оцінки багатопараметричних співпроцесорів", in *Proc. XIII Int Sci. and Pract.Conf. Science without borders – 2017*, Sheffield, England, Mar. 30-Apr. 7, 2017, Sheffield: Science and Education Ltd, 2017, vol. 12, pp. 3-8.

[64] А. Г. Лукашенко та ін., "Систематизація якісних характеристик сучасних одноплатних комп'ютерів", на *XII МНПК Образованието и науката на XXI век – 2016*, София, Болгария, 17-25 окт., 2016, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2016, т. 8, с. 22-26.

[65] В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, Р. Я. Романович, та Д. А. Лукашенко, "Модель якісної оцінки фірм виробників сопроцесорів", на *II МНПК Інформаційні технології та взаємодії – 2015*, Київ, 3-5 листоп., 2015, Київ: НТУУ "КПІ", 2015, с. 214-216.

[66] V. Lukashenko, V. Spivak, and A. Lukashenko. "Classification scheme of methods, principles and models of construction of hardware for implementation of function-specific drivers of primitive basic function based on system analysis", in *IEEE Proc. XIII Int. Conf. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics 2015(CADSM 2015)*, Feb. 24-27, 2015, Polyana, Svalyava, Zakarpattya, Львів: Львів. політехніка, 2015, с. 116-118, фахове видання, що входить до міжнародної наукометричної бази даних WebofScience.

[67] В. М. Лукашенко, І. А. Зубко, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, и В. А. Лукашенко, "Процедура ускоренного выбора лучших материнских плат", in *X mezinár. vědecko-prakt. konf. Zprávy vědecké ideje – 2014*, Praha, říj. 27-lis. 5, 2014, Praha: Education and Science, 2014, díl. 12, с. 36-41.

[68] А. Г. Лукашенко, С. А. Галушка, А. В. Гавриш, А. О. Циба, та В. М. Лукашенко, "Єдиний узагальнений показник якості для компонентів мікропроцесорних систем", на *X МНПК Ключови въпроси в съвременната наука – 2014*, София, Болгария, 17-25 апр., 2014, София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2014, т. 35, с. 3-9.

[69] В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, Т. Ю. Уткина, Д. А. Лукашенко, и В. А. Лукашенко, "Методика оптимизации параметров компонентов микропроцессорных систем", на *IX МНПК Настоящи изследвания и развитие – 2013*, 17-25 яну., 2013, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2013, т. 27, с. 48-51.

[70] А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, Р. Е. Юпин, Д. А. Лукашенко, и В. А. Лукашенко, "Классификация современных микроконтроллеров для лазерных технологических комплексов", in *Proc. VIII Mezinár. vědecko-prakt. konf. Aktuální vzmoženosti vědy – 2012*, Praha, čer. 27-červ. 5, 2012, Praha: Education and Science, 2012, т. 20, с. 45-48.

[71] А. Г. Лукашенко, В. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткина, Д. А. Лукашенко, и А. С. Лихолай, "Методы прогрессивных технологий, обеспечивающих мелкозернистую структуру сварочного шва", на *VIII МНПК Новината за напреднали наука – 2012*, София, Болгария, 17-25 мая, 2012, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2012, т. 24, с. 3-8.

[72] А. Г. Лукашенко, "Системно-иерархическая модель маршрута проектирования специализированного лазерного технологического комплекса", на *VII Всеукр. наук.-практ. конф. Інформаційні технології в освіті, науці і техніці*, Черкаси, 4-6 трав., 2010, с. 85.

[73] А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, Б. А. Шеховцов, І. А. Зубко, О. В. Чернецький, та С. А. Міщенко, "Порівняльний аналіз методів для виявлення якісних параметрів об'єкту дослідження", на *V Międzynar. nauk.-prakt. konf. Wykształcenie i nauka bez granic – 2009*, Przemysł, Польша, grud. 7-15, 2009, Przemysł: Nauka i studia, 2009, т. 19, с. 51-55.

[74] А. Г. Лукашенко, Я. В. Корпань, В. М. Лукашенко, та Д. А. Лукашенко, "Табличний логічно-оборотний метод апаратної реалізації спеціалізованого кодоперетворювача", in *Proc. V Mezinár. vědecko-prakt. konf. Vědecký pokrok na rozmezí millennium – 2009*, Praha, Chekhiiia, květ. 27-čer. 5, 2009, Praha: Education and Science, 2009, т. 15, с. 45-48

[75] Я. В. Корпань, А. Ю. Больбот, та А. Г. Лукашенко "Високонадійний перетворювач заводостійкого коду", на *12-му Міжнар. молодіжному форумі Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.:* зб. матеріалів форумуч. 2, 1-3 квіт. 2008, Харків: ХНУРЕ, 2008, с. 105.

[76] А. Г. Лукашенко, Н. А. Караван, В. В. Мазука, А. С. Вербицкий, А. Ю. Больбот, и В. М. Лукашенко, "Специализированный гибридный многофункциональный сопроцессор", in *Proc. IV Mezinár. vědecko-prakt. konf. Klíčové aspekty vědecke činnosti – 2008*, Praha: Education and Science, 15-31 ledna 2008, т. 9, с. 57-59.

[77] А. Г. Лукашенко, Р. Є. Юпин, Ю. В. Хилько, В. В. Мазука, та А. Ю. Больбот, "Спеціалізований процесор для газоаналізатора", *Nowoczesnych naukowych osiągnięć – 2008*, Przemysł, Польша, Przemysł: Nauka i studia, 2008, т. 13, с. 53-56.

[78] В. В. Мазука, А. Г. Лукашенко, Н. А. Караван, и К. С. Рудаков, "Специализированный АЦП в гибридном сопроцессоре", на *1-й Міжнар. наук.-практ. конф. Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях*, Черкаси, 12-16 трав. 2008.

[79] И. А. Зубко, С. О. Водопьянов, А. Г. Лукашенко, и В. М. Лукашенко, "Теория неполного подобия и размерностей для исследования объектов перемещения", на *IV Междунар. науч.-практ. конф. Научни дни – 2008*, 1–15 апр. 2008, София, Болгария, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2008, т. 17, с. 7-10.

[80] Б. А. Шеховцов, В. М. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, и М. Г. Лукашенко, "Анализ значимых параметров объекта перемещения на основе теории неполного подобия и размерностей", на *III Междунар. науч. практ. конф. Умение и нововъведения – 2007*, София, Болгария, 16-31 окт., 2007, София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2007, т. 10, с. 35-38.

[81] Т. А.Бойко, В. М.Лукашенко, Є. О.Бойко, Я. В.Корпань, М. А.Караван, А. Г. Лукашенко, та К. С. Рудаков, "Методологія ергономічного аналізу апаратурної реалізації автоматизованої системи управління електроприводом", на *VIII Міжнарод. НПК Современные информационные и электронные технологии-2007 (СИЭТ-2007)*, 21-25 мая 2007, Одесса: ОНПУ, 2007, с. 400.

[82] М. А.Караван, А. Г.Лукашенко, М. Г.Лукашенко, та Я. В. Корпань, "Апаратний розширювач для виконання тривалих обчислювальних операцій при обробці цифро-аналогових сигналів", на *III Міжнар. НТК студентства та молоді Світ інформації та телекомунікації-2006*, Київ, 26-27 квіт. 2006, Київ: ДУІКТ, с. 68.

[83] Я. В.Корпань, М. А.Караван, М. Г.Лукашенко, А. Г.Лукашенко, та В. М.Лукашенко, "Визначення оптимального числа кортежів при підвищенні показників надійності перетворювачів кодів", на *XIII Міжнар. конф. з автоматичного управління (Автоматика – 2006)*, Вінниця, 25-28 верес. 2006, Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006, с. 444.

[84] В. М. Лукашенко, Ю. Г. Лега, А. Г.Лукашенко, М. Г.Лукашенко, Я. В. Корпань, С. К. Романовський, М. А. Караван, та Д. А.Лукашенко, "Гібридний обчислювальний пристрій", *МПК G06G07/25. Пат. на винахід 10485, № а 2005042333*, заявл. Трав. 04, 2005, опубл. Листоп. 15, 2005, Бюл. № 11.

[85] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, С. Ф. Аксьонов, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Формувач функції «Корінь квадратний» в двійково-кодованих системах числення", *МПК (2019.01) G 06F 5/00. Пат. на винахід 119006 С2 Україна, № а 2017 10151*, заявл. Жовт. 20, 2017, опубл. Квіт. 10, 2019, Бюл. № 7.

[86] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Цифроаналоговий перетворювач", *МПК (2017.01) H 03M 1/66 (2006.1), H 03M 1/00. Пат. на винахід UA 115415 С2, № а 2016 12043*, заявл. Листоп. 28, 2016, опубл. Жовт. 25, 2017, Бюл. № 20.

[87] В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко, та К. С. Рудаков, "Співпроцесор для обчислення значень «прямих» та «обернених» функцій", *МПК (2016.01) G 06F 5/00, G 06F 7/00, G 06F 9/00, H 03K 19/003. Пат. на винахід 111808 Україна, № а 2015 10690*, заявл. Листоп. 2, 2015, опубл. Черв. 10, 2016, Бюл. № 11.

[88] В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Багатофункціональний таблично-логічний співпроцесор", *МПК (2016.01) G 06F 5/00, G 06F 7/00, G 06F 9/00, H 03K 19/00. Пат. на винахід 111459, № а 2015 09351*, заявл. Верес. 28, 2015, опубл. Квіт. 25, 2016, Бюл. № 8.

[89] А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, та В. А. Лукашенко, "Перетворювач двійкового коду в однополярні оборотні коди і навпаки", *МПК (2015.01) G 06F 5/00, H 03M 5/00, H 03M 7/00. Пат. на винахід 107544 Україна, № а 2014 01392*, заявл. Лют. 12, 2014, опубл. Січ. 12, 2015, Бюл. № 1.

[90] В. Д. Шелягін, А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, та В. Ю. Хаскін, "Спосіб лазерного зварювання з широтно-імпульсною модуляцією випромінювання", *МПК (2014.01) B 23K 26/21. Пат. на винахід 109328 С2 Україна, № а 2013 14855*, заявл. Груд. 18, 2013, опубл. Серп. 10, 2015, Бюл. № 15.

[91] В. М. Лукашенко, І. А. Зубко, А. Г. Лукашенко, В. А. Лукашенко, М. В. Чичужко, та Д. А. Лукашенко, "Таблично-логічний перетворювач кодів", *МПК (2014.01) G 06F 5/00. Пат. 89784 U Україна, № u 2013 15042*, заявл. Груд. 23, 2013, опубл. Квіт. 25, 2014, Бюл. № 8.

[92] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, І. А. Зубко, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Формувач складних кусково-лінійних функцій", МПК (2006.01) G 06G 7/26. Пат. 88085 Україна, № и 2013 12598, заявл. Жовт. 28, 2013, опубл. Лют. 25, 2014, Бюл. № 4.

[93] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, І. А. Зубко, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Формувач складних кусково-лінійних функцій", МПК G 06G 7/26 (2006.01). Пат. 80851 Україна, № и 2012 15113, заявл. Груд. 28, 2012, опубл. Черв. 10, 2013, Бюл. № 11.

[94] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, І. А. Зубко, В. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко, та Т. Ю. Уткіна, "Кусково-лінійний апроксиматор", МПК G 06G 7/26 (2006.01). Пат. 77797 Україна, № и 2012 10335, заявл. Серп. 31, 2012, опубл. Лют. 25, 2013, Бюл. № 4.

[95] В. Д. Шелягін, А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. Ю. Хаскін, О. В. Сіора, та А. В. Бернацький, "Спосіб лазерного зварювання", МПК (2012.01) B23K 26/00. Пат. 68159 Україна, № и 2011 13985, заявл. Листоп. 28, 2011, опубл. Берез. 12, 2012, Бюл. № 5.

[96] А. Г. Лукашенко та ін., "Перетворювач двійкового коду в однополярні оборотні коди", МПК (2012.01) G 06 F 5/00. Пат. 72952 Україна, № и 2011 13847, заявл. Листоп. 24, 2011, опубл. Верес. 10, 2012, Бюл. № 17.

[97] А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. А. Лукашенко, та В. М. Лукашенко, "Цифровий пристрій для обчислення прямих та обернених функцій", МПК G06G 7/00. Пат. 53450 України, № и 201003337, заявл. Берез. 22, 2010, опубл. Жовт. 11, 2010, Бюл. № 19.

[98] А. Г. Лукашенко, "Пристрій для множення N-розрядних чисел", МПК G06F 7/52. Пат. 47901 України, № и 200909902, заявл. Верес. 28, 2009, опубл. Лют. 25, 2010, Бюл. № 4.

[99] А. Г. Лукашенко, "Пристрій для обчислення елементарних функцій", МПК G06F 7/548 (2009.01) G06F 1/02. Пат. 47009 України, № и 200908272, заявл. Серп. 5, 2009, опубл. Січ. 11, 2010, Бюл. № 1.

[100] А. Г. Лукашенко та ін., "Перетворювач двійкового коду в однополярні оборотні коди", МПК G06F 5/02. Пат. 44833 Україна, № и 2009 06159, заявл. Черв. 15, 2009, опубл. Жовт. 12, 2009, Бюл. № 19.

[101] В. М. Лукашенко, О. А. Кулигін, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, та І. А. Зубко, "Цифровий пристрій для обчислення функцій", МПК G06F 7/544. Пат. 40177 Україна, № и 2008 13017, заявл. Листоп. 10, 2008, опубл. Берез. 25, 2009, Бюл. № 6.

[102] В. М. Лукашенко, Я. В. Корпань, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, та Р. Є. Юпин, "Перетворювач коду Грея в двійковий код і навпаки", МПК G 06F 5/00. Пат. 40178 Україна, № и 2008 13020, заявл. Листоп. 10, 2008, опубл. Берез. 25, 2009, Бюл. № 6.

[103] В. М. Лукашенко, С. В. Дахно, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, та О. С. Вербицький, "Цифровий пристрій для обчислення функцій", МПК G06G 7/00. Пат. 40745 Україна, № и 2008 13059, заявл. Листоп. 10, 2008, опубл. Квіт. 27, 2009, Бюл. № 8.

[104] А. Г. Лукашенко та ін., "Гібридний обчислювальний пристрій", МПК G06G 07/00, G06J 3/00. Пат. 33624 Україна, № а 2007 11691, заявл. Жовт. 22, 2007, опубл. Лип. 10, 2008, Бюл. № 13.

[105] А. Г. Лукашенко, В. И. Попов, Е. Ю. Брезе "Електропривод", МПК 6H02K2/06, Пат. 2046517 C1 RU, № 5041124/07, заявл. Трав. 06, 1992 2005, опубл. Жовт. 20, 1995, Бюл. № 29.

[106] В. М. Лукашенко, В. І. Биков, та А. Г. Лукашенко, "Цифроаналоговий перетворювач", МПК G06G 07/26, G06J 3/00. Пат. на винахід 24660 Україна, № 97062949, заявл. Черв. 20, 1997, опубл. Жовт. 30, 1998, Бюл. № 5.

[107] М. І. Ярославцев, В. І. Попов, та А. Г. Лукашенко, "Дводвигунний електропривод", МПК H02P 7/68. Пат. на винахід 3182 Україна, № 4930327/07, заявл. Квіт. 23, 1991, опубл. Лют. 15, 1994, Бюл. № 3.

АНОТАЦІЯ

Лукашенко А. Г. Розвиток методів та моделей енергоефективних компонентів комп'ютерно-інтегрованих систем ресурсозберігаючого технологічного обладнання спеціального призначення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Черкаський державний технологічний університет, Україна, Черкаси, 2020.

Робота присвячена підвищенню ефективності компонентів комп'ютерно-інтегрованих систем ресурсозберігаючого технологічного обладнання спеціального призначення, основу яких становлять обчислювальні перетворювачі, формувачі лінійно-ламаних функцій та обчислювачі передавальних функцій коригувальних ланок підсистеми. В дисертації на єдиному методологічному й інформаційному базисі вирішено науково-технічну проблему створення цифрових, комбінованих, гібридних обчислювальних перетворювачів і підсистеми, що забезпечують одночасно високу надійність, швидкодію, точність при малих габаритах і вазі, малому енергоспоживанні та низькій вартості за рахунок розробки нових і вдосконалення наявних методів та моделей компонентів і підсистеми, ефективність яких обґрунтована теоретично, підтверджена розрахунками та експериментами. Основні теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені в ряді підприємств та державних університетах України.

Ключові слова: методи, модель, компоненти, перетворювачі, обчислювачі.

АННОТАЦИЯ

Лукашенко А. Г. Развитие методов и моделей энергоэффективных компонентов компьютерно-интегрированных систем ресурсосберегающего технологического оборудования специального назначения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Черкасский государственный технологический университет, Украина, Черкассы, 2020.

Работа посвящена повышению эффективности компонентов компьютерно-интегрированных систем ресурсосберегающего технологического оборудования специального назначения, основу которых составляют вычислительные преобразователи, формирователи линейно-ломаных функций и вычислители передаточных функций корректирующих звеньев подсистемы. В диссертации на едином методологическом и информационном базисе решена научно-техническая проблема создания цифровых, комбинированных, гибридных вычислительных преобразователей, формирователей линейно-ломаных функций и вычислителей передаточных функций корректирующих звеньев подсистемы, которые обеспечивают одновременно высокую надежность, быстродействие, точность при малых габаритах и весе, малом энергопотреблении и низкой стоимости за счет разработки новых, совершенствования существующих методов и моделей компонентов и подсистемы, эффективность которых обоснована теоретически, подтверждена расчетами и экспериментами. Основные теоретические и практические результаты исследования внедрены в ряде предприятий и государственных университетах Украины (подтверждено актами внедрения).

Ключевые слова: методы, модель, компоненты, преобразователи, вычислители.

ABSTRACT

Lukashenko A.G. Development of methods and models of energy-efficient components of computer-integrated systems of resource-saving technological equipment for special purposes. – As a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Cherkasy State Technological University, Ukraine, Cherkasy, 2020.

The work is devoted to increasing the efficiency of computer-integrated systems of resource-saving technological equipment for special purposes through improving the theory aimed at overcoming contradictions and difficulties in the engineering of precision, highly reliable, high-speed with small dimensions, weight, cost and energy consumption components.

In the thesis, on a single methodological and informational basis, the scientific and technical problem of creating highly efficient digital, combined, hybrid computing converters, generators of linear-broken functions and calculators of transfer functions of the correcting links of the subsystem is solved. The theoretical basis for creating a compositional logical-mathematical model (CLMM) on the basis of formal logic has been improved. A feature of CLMM is the formation of unipolar positionally ordered binary-code (OPVDK) operands as a composition of "0" and "1" regardless of the number systems and, in the absence of an analytical relationship between the digits. This expands the class of code converters and the scope of their application, increases the volume of production and, as a result, decreases the cost of the product. On the basis of KLMM, a bitwise tuple-table logical-revolving (RKTLO) method has been developed, the main procedures of which are: formation of correspondence tables based on KLMM; determination of the values of correcting constants using the properties of the XOR operation of the Zhegalkin algebra; elimination of information redundancy due to the introduction of tuple decomposition; the formation of the result of computational precision information is carried out on the basis of the rank distribution of the results of transformation of low-order tuples according to the rules of the concatenation operation. A distinctive feature of the RKTLO method consists in converting an array of input operands of various types to the corresponding array of output values of the code combination with correcting constants, using only logical operations; direct and inverse transformation of the values of the input OPVDK operands into the corresponding output for many functions is carried out using the same data of the correcting constants (pre-calculated), which reduces the number of tables by 2 times. At the same time, the following characteristics are provided: high reliability (through the hardware implementation in a single crystal of multifunctional precision models, the introduction of corrective and informational feedbacks inside the crystal, the number of active and passive elements: triggers, reducing the number of numeric memory blocks, generators of linear-broken functions and external outputs); high speed (through parallel processing of input digital information and only by logical operations and high-speed analog processes when generating information results in analog form); high accuracy (provided by multi-digit capacity, increasing the noise immunity zone and eliminating the influence of threshold voltages in analog transistor switches when transmitting input information); small dimensions and weight are provided by a decrease in structural complexity when using micro-, nanotechnology; low power consumption of precision models is ensured by using one register for input and output, decreasing by k times the numerical memory blocks and η times the generators of linear-broken functions (k and η the number of functions in multifunctional models); low cost is provided by a decrease in complexity, an increase in the same type of topology of model elements, an increase in the production of LSIs through the expansion of the application scope due to multifunctionality and a high

percentage of the yield of suitable crystals from the plate. The combination of the KLMM and the RKTLO method provides the creation of a universal (with the possibility of increasing) homogeneous microarchitecture of a numerical memory block, in which a table of low-bit correction constants is stored. The versatility of a small-size numerical memory block reduces the cost, simplifies and speeds up the process of preparing constants due to bitwise processing of information, in which there is no influence of previous results on obtaining subsequent ones. At the same time, for multi-bit operands, it is not required to use high-performance precision computing tools when calculating constants and to create a special program for calculating the values of correcting constants, which significantly reduces energy, time and material costs. In the thesis, a multifunctional model of a combined calculator was developed, which converts analog, digital information and pulse duration into an output analog, using a unified model of a linear-broken function generator. This increases reliability and reduces energy and time costs; a hybrid multifunctional model of the calculator (GMMV) performs six functions: digital functional converter; digital-to-analog multiplier; digital-to-analog converter; analog-to-digital divider; analog inverted adder; operational amplifier. A special feature of the GMMV is the control cascade of two-position transistor switches, which provides high performance, the power consumption per cascade is not more than 0.1mW at $T = 373\text{K}$, and at $T = 77\text{K}$ - 0.348 mW; input minimum current is $1 \cdot 10^{-11}$ A, leakage current - at $T = 77\text{K}$ no more than $1 \cdot 10^{-12}$ A, and at $T = 308\text{K}$ - no more than $1 \cdot 10^{-9}$ A.

The paper proposes a generalized indicator for evaluating the effectiveness of the component models that are analyzed. A distinctive feature is the lack of subjectivity in the assessment procedure. This facilitates and accelerates the process of comparative analysis when determining from a variety of existing component models a model close to the optimal in many parameters for computer-integrated systems, which significantly reduces the cost of the product. In the work, based on conditional modeling and formed (based on the theory of dimensions, the method of zero power complexes and heuristics) multiparametric quality criteria corresponding to the physical interpretation, a method for determining the best of the set, serially producing integral components simultaneously in many parameters, and with full lack of a mathematical description of the connections between them, took further development. In this case, the key quality criterion is the criterion characterizing the energy reserve. On the basis of quality criteria, a criterion equation is created, sign models are built for the considered set of components in one, two, or four quadrants with the coordinates of multiparametric quality criteria. A feature is the visibility of establishing the relationship between many parameters at the same time when analyzing the constructed sign models. In addition, the paper proposes a highly economical method based on LSI self-modeling with a high energy reserve of the crystal, which provides a reduction in energy, time and material costs by almost 50%. A feature of the new LSI model is the change in the corresponding parameters (for example: either U , or f , or T) while maintaining the LSI topology. The high efficiency of the developed new and improved existing methods and models is substantiated theoretically, confirmed by calculations and experiments. The main theoretical and practical results of the research have been implemented in a number of enterprises and state universities of Ukraine (confirmed by acts of implementation).

Key words: methods, model, components, converters, calculators.