

# Управління в складних системах

УДК 004.056.4

doi: 10.26906/SUNZ.2018.6.044

І. А. Зубко

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

## АЛГОРИТМ ПЕРЕВІРКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПОНЕНТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Метою даної роботи** є розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів ФОС спеціального призначення для фізичної науково-дослідної моделі. Це дозволить скоротити витрати часу та ресурсів, як на процес перевірки працездатності апаратної реалізації компонентів ФОС спеціального призначення так і їх проектування. Стаття присвячена питанню розробки алгоритму перевірки працездатності компонента функціонально-орієнтованої системи, який базується на програмних модулях пакета Quartus II, програмних компонентах для мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO та мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Для проведення перевірки процесу перетворення в запропонованому компоненті ФОС спеціального призначення використано фізичну науково-дослідну модель. В якості предмету перевірки для дослідження процесу перетворення в компоненті ФОС спеціального призначення запропоновано образно-знакову модель багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора, що відрізняється зменшенням об'ємом пам'яті не менш ніж в два рази за рахунок використання одних і тих же значень коригуючих констант. Результати та висновок. Розроблений алгоритм дозволяє підвищити ефективність процесу проектування обчислювачів спеціального призначення наступним чином: дозволяє довести працездатність його апаратної реалізації, є універсальним для перевірки працездатності процесу перетворення різноманітних двійково-кодових комбінацій, а також дозволяє прискорити процедуру проектування обчислювачів спеціального призначення та/або їх компонентів, зменшити матеріальні та енерго-часові витрати при апаратній реалізації розроблюваних моделей обчислювачів спеціального призначення.

**Ключові слова:** перевірка працездатності, перетворення, двійково-кодові комбінації, обчислювач спеціального призначення, функціонально-орієнтовані системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Розвиток функціонально-орієнтованих систем (ФОС) пов'язаний з постійним їх ускладненням через необхідність розширення функціональних можливостей. Це досягається як шляхом підвищення ступеня інтеграції компонентів, так і застосуванням нових архітектурних варіантів реалізації компонентів ФОС.

На відміну від програм, помилки в яких виправляються порівняно просто, дефекти в інтегральних схемах (конструктивні і виробничі) не можуть бути усунені. Для вирішення задачі забезпечення коректності компонентів ФОС на етапі розробки застосовують різноманітні засоби функціональної верифікації, як одного з основних методів забезпечення функціональної надійності [1].

В основі перевірки працездатності на етапі проектування лежить комплекс заходів, спрямований на забезпечення коректності моделі системи, що розробляється, в першу чергу, це виявлення та виправлення помилок проектування.

Обчислювальні перетворення двійково-кодових операндів різних систем числення в реальному масштабі часу широко використовуються в компонентах ФОС, що знаходять широке застосування в ресурсозберігаючих технологічних комплексах, робототехніці, гіроскопічних платформах, радарних установках, космічній техніці тощо.

В ФОС спеціального призначення використовується множина перетворювачів і обчислювачів,

перевагою яких є малі апаратні витрати та висока надійність при виготовленні в єдиному кристалі.

**Аналіз публікацій і досліджень.** Питаннями обчислювальних перетворень двійково-кодових комбінацій займається велике коло науковців, таких як В. Б. Байков, О. Я. Белецкий, В. І. Корнейчук, П. П. Орнадский, К. Г. Самофалов, В. Б. Смолова, В. П. Тарасенко та ін., де отримана [1-8] велика кількість результатів, що стосуються алгоритмічної організації компонентів ФОС спеціального призначення.

Проте питання проведення процедури перевірки працездатності процесів перетворення у високоефективних моделях компонентів ФОС спеціального призначення при обмежені енерго-часових витрат та обчислювальної потужності вирішені недостатньо.

Прикладом компонента ФОС спеціального призначення є модель таблично-логічного співпроцесора, що виконує формування вихідного коду для чотирьох функцій.

Тому необхідним є проведення перевірки працездатності апаратної реалізації моделі багатофункціонального таблично-логічного співпроцесора, що забезпечить зменшення матеріальних та енерго-часових витрат при проектуванні та виготовленні компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення.

Отже, розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення є науковою та актуальною задачею.

**Метою даної роботи** є розробка алгоритму перевірки працездатності компонентів ФОС спеціального призначення для фізичної науково-дослідної моделі [9]. Це дозволить скоротити витрати часу та ресурсів, як на процес перевірки працездатності апаратної реалізації компонентів ФОС спеціального призначення так і їх проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити узагальнений алгоритм процедури перевірки працездатності апаратної реалізації визначеного компоненту функціонально-орієнтованих систем.

### Виклад основного матеріалу

Перевірка працездатності застосовується для об'єкта проектування на відповідність всім функціональним вимогам, сформульованим у специфікаціях. При цьому в якості такого об'єкта, як правило, виступають логічні моделі, написані на одній із застосовуваних при проектуванні мов опису апаратного забезпечення (HDL-мови).

При перевірці працездатності компонентів ФОС найчастіше застосовується динамічна верифікація на основі тестових систем.

Тестова система імітує оточення, де надалі функціонуватиме пристрій, що підлягає перевірці. До основних задач, виконуваних тестовою системою, відносять: генерацію вхідних послідовностей, перевірку правильності вихідних послідовностей та порівняння їх з еталонними значеннями.

Перевірка працездатності компонентів ФОС дозволяє проводити тестування на ранніх стадіях розробки без очікування специфікацій всієї системи в цілому. При цьому важливим є визначення способу перевірки правильності результатів симуляції.

Тому сьогодні перевагу віддають застосуванню тестових систем на основі еталонних програмних моделей. В цьому випадку окремо від тестової системи розробляється програмна модель спроектованого пристрою, що володіє тією ж функціональністю, але описана на більш абстрактному рівні.

Для проведення перевірки процесу перетворення в запропонованому компоненті ФОС спеціального призначення використано фізичну науково-дослідну модель [9]. У ній для перевірки працездатності компонента ФОС спеціального призначення та візуалізації процедури перетворення двійково-кодових комбінацій, використані наступні дослідні платформи:

- U8EP3C з FPGA Cyclon III, за допомогою якої імітується апаратна реалізація процедури відтворення значення відповідної функції, як сума по mod 2 вхідної двійково-кової комбінації та відповідного коду корегуючої константи;
- Arduino UNO, де генеруються вхідні інформаційні та управляючі кодові комбінації;
- мікрокомп'ютер Raspberry Pi використовуються для проведення процедури верифікації, в якому формується результат перетворення цієї ж відповідної функції за допомогою програмного методу та їх значення порівнюються;
- монітор для візуалізації результату.

В якості предмету перевірки для дослідження процесу перетворення в компоненті функціонально-орієнтованих систем спеціального призначення запропоновано образно-знакову модель багатифункціонального таблично-логічного співпроцесору [2], що відрізняється зменшеним об'ємом пам'яті не менш ніж в два рази за рахунок використання одних і тих же значень коригуючих констант.

Особливість даної моделі полягає в можливості роботи в декількох режимах в залежності від управляючого сигналу, що надходить на керуючі входи пристрою, відповідно здійснюється перетворення для чотирьох функцій та навпаки.

Алгоритм виконання перевірки працездатності передбачає виконання наступних кроків:

- створення проекту в програмному пакеті Quartus II із зазначенням мікросхеми або сімейства мікросхем, які будуть використані;
- створення вихідного файлу проекту на мові програмування VHDL або Verilog HDL,
- створення програмних файлів для процесорного ядра;
- синтез проекту за допомогою модуля Analysis & Synthesis;
- завантаження списку входів і виходів, для яких потрібно виконати симуляцію;
- виконання функціонального моделювання проекту за допомогою симулятора ModelSim;
- виконання розміщення та трасування проекту за допомогою модуля трасування Fitter;
- проведення аналізу часових затримок проекту за допомогою програми аналізатора часових затримок Timing Analyzer;
- виконання моделювання проекту з врахуванням часових затримок за допомогою симулятора;
- покращення часових характеристик проекту за допомогою повторного фізичного синтезу, використання фіксованих логічних блоків, налаштувань Settings у відповідному редакторі призначень;
- створення файлу для програмування мікросхеми, що реалізує перетворення в компоненті KIC спеціального призначення;
- програмування FPGA-мікросхеми Cyclon III дослідної платформи U8EP3C за допомогою утиліти програматора Programmer та обладнання Altera;
- відладка проекту за допомогою вбудованого логічного генератора SignalTap II Logic Analyzer та генератора контрольних точок SignalProbe;
- створення програми для генерації тестових комбінацій, з урахуванням необхідної черговості подання керуючих сигналів;
- програмування мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO;
- програмування мікрокомп'ютера Raspberry Pi для проведення порівняння, в якому з вхідних кодових комбінацій, паралельно з фізичною моделлю, формується код відповідної функції програмним методом, після чого результати виводяться на екран монітора;
- підключення відповідних входів і виходів тестових плат Arduino UNO, U8EP3C, мікрокомп'ютера Raspberry Pi;

– проведення моделювання для перевірки працездатності запропонованої реалізації компонента функціонально-орієнтованої системи за допомогою фізичної науково-дослідної моделі.

Після виконання цих кроків фізична науково-дослідна модель [9] працюватиме за алгоритмом зображеним на рис. 1.

Це дозволить перевірити коректність роботи компонента функціонально-орієнтованої системи на всіх етапах виконання перетворення. Також перевагою такого моделювання є можливість порівняння результатів перетворень виконаних різними методами між собою, а також з еталонними даними.

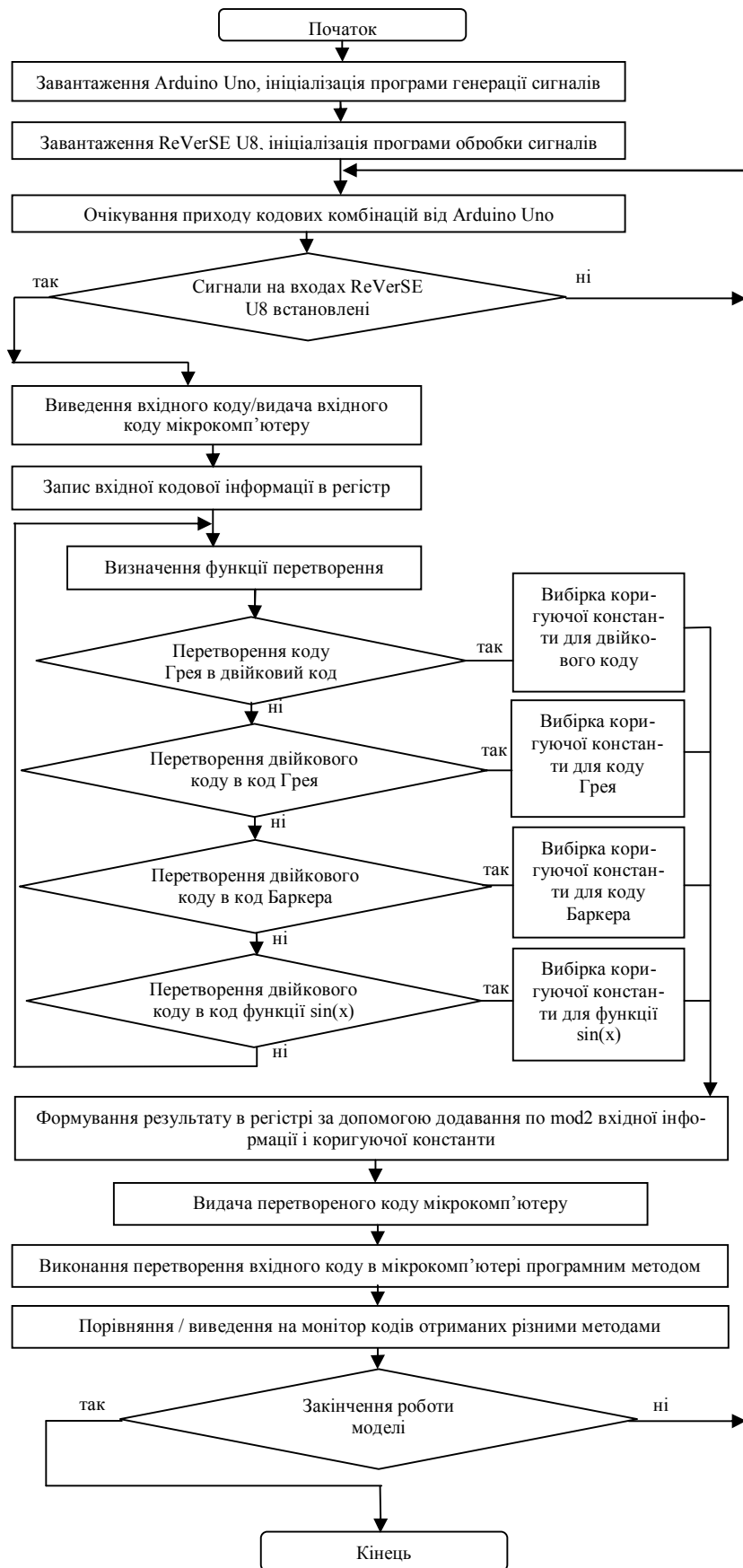
Отже виконуються основні задачі тестової системи, а саме: генерація вхідних послідовностей, перевірка правильності вихідних послідовностей та порівняння їх з еталонними значеннями.

## Висновки

Розроблено алгоритм перевірки працездатності процесу перетворення кодів в компоненті функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення, який базується на програмних модулях пакета Quartus II, програмних компонентах для мікроконтролера AVR тестової плати Arduino UNO та мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Перевага алгоритму полягає в тому, що він є універсальним для моделювання та перевірки адекватності процедури перетворення двійково-кодових комбінацій, це дозволяє прискорити процедуру проектування та зменшити ймовірність появи помилок апаратної реалізації розроблених моделей компонентів функціонально-орієнтованої системи спеціального призначення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукашенко В. А. Систематизація методів, моделей сопроцесорів для високошвидкісних, прецизійних мікропроцесорних проблемно-орієнтованих систем / В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, В. М. Співак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1. – С. 164–169.
2. Пат. на винахід 111459 Україна, МПК (2016.01) G 06F 5/00,



**Рис. 1.** Алгоритм роботи фізичної науково-дослідної моделі при виконанні перевірки працездатності запропонованого компонента функціонально-орієнтованої системи

- G 06F 7/00, G 06F 9/00, H 03K 19/00. Багатофункціональний таблично-логічний співпроцесор / В. А. Лукашенко, А. Г. Лукашенко, І. А. Зубко, Д. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко; заявник та власник В. М. Лукашенко. – № а 2015 09351; заявл. 28.09.2015.; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
3. Удосконалення спеціалізованого гібридного багатофункціонального сопроцесора / В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, А. Г. Лукашенко та ін. // Вісник Сумського державного університету. – 2012. – № 1. – С. 138–144.
  4. Азаров О. Д. Високопродуктивні АЦП із ваговою надлишковістю зі змінними тривалостями тактів порозрядного кодування : монографія / О. Д. Азаров, О. О. Решетнік В. А. Гарнага. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 154 с.
  5. Макаров В. В. Совмещение ввода и обработки операндов при вычислении некоторых функций / В. В. Макаров, В. В. Жабина // Комп'ютерні системи та компоненти. Науковий вісник Чернівецького університету. – 2009. – Вип. 446. – С. 6–10.
  6. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
  7. Гурин Е. И. Построение вычислительных блоков на основе программируемых логических интегральных схем со специализированными сопроцессорами / Е. И. Гурин, И. В. Огнев // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 65–71.
  8. Яковлев Ю. С. Применение ПЛИС для создания высокопроизводительных вычислительных систем и их компонентов / Ю. С. Яковлев, Е. В. Елисеева // Математичні машини і системи. – 2014. – № 1. – С. 22–35.
  9. Фізична науково-дослідна модель верифікації спеціалізованого багатофункціонального обчислювача на базі єдиного шифратора / І. А. Зубко, С. Ф. Аксьонов, А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, В. А. Лукашенко, С. А. Міценко, Т. Ю. Уткіна, В. М. Лукашенко // «Найновітє научни постижения – 2018» : матеріали XVI Межд. научна практична конференция : (15-22 март 2018 г., София, Болгария). – София : «Бял ГРАД-БГ ООД», 2018. – Vol. 4. – С. 16–22.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. О. Можасев,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

Received (Надійшло) 11.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

#### Алгоритм проверки работоспособности компонента функционально-ориентированной системы специального назначения

И. А. Зубко

Целью данной работы является разработка алгоритма проверки работоспособности компонентов ФОС специального назначения для физической научно-исследовательской модели. Это позволит сократить затраты времени и ресурсов, как на процесс проверки работоспособности аппаратной реализации компонентов ФОС специального назначения так и их проектирования. Статья посвящена вопросу разработки алгоритма проверки работоспособности компонента функционально-ориентированной системы, который базируется на программных модулях пакета Quartus II, программных компонентах для микроконтроллера AVR тестовой платы Arduino UNO и микрокомпьютера Raspberry Pi. Для проведения проверки процесса преобразования в предложенном компоненте ФОС специального назначения использовано физическую научно-исследовательскую модель. В качестве предмета проверки для исследования процесса преобразования в компоненте ФОС специального назначения предложено образно-знаковую модель функционального таблично-логического сопроцессора, отличается уменьшенным объемом памяти не менее чем в два раза за счет использования одних и тех же значений корректирующих констант. Результаты и заключение. Разработанный алгоритм позволяет повысить эффективность процесса проектирования вычислителей специального назначения следующим образом: позволяет доказать работоспособность его аппаратной реализации, есть универсальным для проверки работоспособности процесса преобразования разнообразных двоично-кодowych комбинаций, а также позволяет ускорить процедуру проектирования вычислителей специального назначения и/или их компонентов, уменьшить материальные и энерго-часовые затраты при аппаратной реализации разрабатываемых моделей вычислителей специального назначения.

**Ключевые слова:** проверка работоспособности, преобразования, двоично-кодowych комбинации, вычислитель специального назначения, функционально-ориентированные системы.

#### The algorithm for testing the functionality of a component of a function-oriented special purpose system

I. Zubko

The purpose of this work is to develop an algorithm for testing the performance of components of the FOS special purpose for the physical research model. This will reduce the cost of time and resources, as well as on the process of checking the performance of the hardware implementation of components of the FOS special purpose and their design. The article is devoted to the development of an algorithm for testing the functionality of a functional-oriented system component, which is based on the software modules of the Quartus II package, software components for the AVR microcontroller of the Arduino UNO test board and the Raspberry Pi microcomputer. A physical research model has been used to verify the conversion process in the proposed component of the FOS of a special purpose. As a subject of verification for the study of the conversion process in the component of the FOS special purpose proposed a figurative sign model of a multi-functional table-logic coprocessor, which has a reduced memory capacity at least twice, due to the use of the same values of corrective constants Results and conclusion. The developed algorithm makes it possible to increase the efficiency of the design process of special purpose computers as follows: it allows you to prove the operability of its hardware implementation, is universal for checking the operability of the conversion process of various binary-code combinations, and also allows you to speed up the design process of special purpose computers and / or their components, reduce material and energy-hourly costs in hardware implementation of the developed models special purpose calculators.

**Keywords:** health check, transformations, dual-code combinations, special purpose calculator, function-oriented systems.