

ЗНАЧЕННЯ ПРОЄКТНОЇ ТА ВЕРИФІКАЦІЙНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ В РОЗРОБЦІ ЦИФРОВИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ

Васильєв О.Ю., Філіппенко О.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Метою дослідження є визначення ролі проєктної та верифікаційної документації в процесі розробки цифрових апаратних систем на базі ПЛІС та ASIC, а також обґрунтування її значення як засобу інформаційної підтримки етапів проєктування, верифікації, перевірки готового пристрою та подальшого супроводу.

Зміст дослідження. У процесі розробки цифрових апаратних систем важливе значення має не лише створення RTL-описів, тестового оточення та засобів функціональної перевірки, а й формування впорядкованого інформаційного середовища проєкту. Одним із ключових його елементів, незалежно від критичності системи що розробляється, є проєктна та верифікаційна документація, що забезпечує фіксацію вимог, структури системи, логіки взаємодії модулів, критеріїв перевірки та умов прийняття результатів [1,2]. У цьому контексті документація виступає не як формальний супровідний додаток, а як інструмент організації розробки, що забезпечує узгодженість між етапами специфікації, проєктування, реалізації, верифікації та супроводу цифрового виробу.

До основних видів документації в апаратних проєктах належать специфікація вимог, архітектурний документ, дизайн-документ, опис інтерфейсів, обмежень і режимів роботи, а також верифікаційний план і матеріали аналізу результатів перевірки. Архітектурний документ визначає верхній рівень організації системи, склад функціональних блоків, принципи їх взаємодії та ключові технічні обмеження. Дизайн-документ деталізує реалізаційні рішення на рівні модулів, форматів даних, сигналів керування та особливостей інтеграції [1,2]. У сукупності такі документи формують структуроване подання знань про систему та створюють основу для узгодженої роботи між розробниками, верифікаторами й інтеграторами.

Окрему роль відіграє верифікаційна документація, насамперед план верифікації, у якому формалізуються цілі перевірки, перелік функцій і режимів, що підлягають підтвердженню, тестові сценарії, критерії покриття та умови завершення верифікації. Наявність такого документа дає змогу встановити зв'язок між вимогами, архітектурними рішеннями, реалізацією та процедурами перевірки. Це підвищує прозорість процесу верифікації, спрощує виявлення непокритих функцій і покращує контроль повноти перевірки на різних рівнях ієрархії цифрової системи [3,4]. Для розробки на базі ПЛІС та ASIC це особливо важливо, оскільки складність сучасних апаратних рішень вимагає системного підтвердження відповідності реалізації початковим вимогам.

Проєктна та верифікаційна документація також виконує важливу інформаційно-комунікаційну функцію. Вона забезпечує єдине трактування

технічних рішень, полегшує передачу знань між учасниками розробки та створює основу для використання систем керування версіями, засобів трасування змін і інструментів автоматизованої перевірки [2]. Використання таких генераторів документації, як Doxygen або Sphinx, дозволяє інтегрувати опис архітектури безпосередньо у процес розробки, що забезпечує не лише технічний зміст, а й інформаційну підтримку життєвого циклу системи.

Значення таких документів не обмежується етапом безпосередньої розробки. Після завершення створення цифрового пристрою документація залишається корисною під час його перевірки, зіставлення фактичної поведінки з початковими вимогами, аналізу коректності інтеграції та проведення приймальних випробувань. За наявності дефектів або потреби внесення змін вона дає змогу швидко відновити контекст прийнятих рішень, оцінити вплив модифікацій на суміжні блоки та визначити, які процедури перевірки необхідно виконати повторно [4].

Не менш вагомою є роль документації на етапі підтримки готового виробу. Для цифрових апаратних систем на ПЛІС та ASIC після введення в експлуатацію актуальними залишаються задачі супроводу, локалізації відмов, модернізації окремих вузлів, адаптації до нових вимог і повторного використання частини рішень у наступних проєктах.

У таких умовах документація забезпечує збереження технічного знання про виріб, підтримує простежуваність зв'язків між вимогами, архітектурою, реалізацією і результатами перевірки та знижує ризик втрати критично важливої інформації при зміні складу команди.

Проектна та верифікаційна документація є важливим засобом організації та інформаційної підтримки розробки цифрових апаратних систем на базі ПЛІС та ASIC. Її наявність забезпечує узгодженість між етапами проєктування, реалізації, верифікації та підтримки, спрощує перевірку завершеного пристрою та зберігає практичну цінність на подальших етапах життєвого циклу апаратного проєкту.

Список літератури

1. DO-254 for the FPGA Designer (WP401). AMD Xilinx White Paper. 2012. Revision 1.0.1. URL: https://docs.amd.com/v/u/en-US/wp401_DO254_FPGA_Designer (дата звернення: 30.03.2026).
2. Cirstea M., Benkrid K., Dinu A., Ghiriti R., Petreus D. Digital Electronic System-on-Chip Design: Methodologies, Tools, Evolution, and Trends. *Micromachines*. 2024. Vol. 15, No. 2. Art. 247. DOI: 10.3390/mi15020247.
3. Witharana H., Lyu Y., Charles S., Mishra P. A Survey on Assertion-Based Hardware Verification. *ACM Computing Surveys*. 2023. Vol. 54, No. 11s. Art. 164. DOI: 10.1145/3510578.
4. Ceesay-Seitz K., Boukabache H., Perrin D. A Functional Verification Methodology for Highly Parametrizable, Continuously Operating Safety-Critical FPGA Designs: Applied to the CERN RadiatiOn Monitoring Electronics (CROME). In: *Computer Safety, Reliability, and Security (SAFECOMP 2020)*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2020. Vol. 12234. P. 67–81. DOI: 10.1007/978-3-030-54549-9_5.