

УДК 004.2 (045)

Пашенко Н.В.

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРИБРОЇВ ТА СИСТЕМ НА БАЗІ КРИСТАЛІВ ПЛІС

Інститут комп'ютерних технологій  
Національного авіаційного університету

*Розглянуто можливість застосування програмовних логічних інтегральних схем для побудови спеціалізованих комп'ютерних пристроїв та систем*

### Постановка проблеми

Сучасний стан мікроелектроніки зумовив кілька напрямків розробки та створення мікропроцесорних і спеціалізованих систем: універсальні мікропроцесори та програмовна логіка. В якості універсальної елементної бази для синтезу обчислювальних пристроїв широке поширення одержали програмовні логічні інтегральні схеми (ПЛІС) високого ступеня інтеграції. У цих мікросхемах була реалізована ідея програмовної архітектури, що дозволяє використати гнучкість програмного підходу та швидкість логіки одночасно.

**Основною метою роботи** є виявлення особливостей проектування комп'ютерних пристроїв та систем на базі кристалів ПЛІС.

Для рішення багатьох задач (у тому числі, пов'язаних із забезпеченням роботи мікропроцесорів) потрібні пристрої з мінімальною затримкою виконання логічних функцій. На практиці часто потрібно розробити оригінальні цифрові пристрої, не розраховані на багатосерійне виробництво. Рішення такої задачі можливе з використанням кристалів ПЛІС.

Можливості перших поколінь ПЛІС були досить обмежені, а ціна складних ПЛІС - дуже висока. Крім того, проектування цифрових пристроїв на їх основі було дуже трудомістким [1].

В останні роки відбувся значний розвиток як у технології виготовлення ПЛІС, так і в розробці інструментальних засобів для проектування та випуску цифрових пристроїв на їх основі. Збільшилось число еквівалентних логічних вентилів, що розташовані на одному кристалі (більше 10 млн. вентилів), підвищи-

лась робоча частота (до 550 МГц) з одночасним зниженням вартості.

Основними фірмами-виробниками ПЛІС у наш час є такі фірми, як *Xilinx*, *Altera*, *Atmel*, *Cypress*, *Lattice*, *Lucent*.

За принципом формування необхідної структури цифрового пристрою всі основні сучасні ПЛІС підрозділяються на дві групи.

До першої відносяться пристрої, у яких необхідна структура створюється програмуванням зв'язків комутуючих матриць із використанням технологій перепрограмовних постійних запам'ятовуючих пристроїв, у тому числі з електричним стиранням. Такі пристрої називають багаторазово програмовними ПЛІС або *EPLD* (*EPROM technology based complex Programmable Logic Devices*) або *CPLD* (*Complex Programmable Logic Devices*). До цього класу відносяться, наприклад, ПЛІС сімейства *MAXII* фірми *Altera*, *XC9500XV* фірми *Xilinx*, а також мікросхеми інших виробників. Особливість цих пристроїв полягає в тому, що сформована структура є енергонезалежною, тобто зберігається при вимиканні живлення, а для зміни структури необхідно виконати операції стирання (очищення) *EPROM* і програмування (запису) нової структури.

У пристроях другої групи необхідні зв'язки комутуючих матриць забезпечуються логічними ключами, які управляються бітовою послідовністю, що записана у внутрішньому статичному ОЗП при конфігуруванні ПЛІС, тому пристрої цього класу одержали назву багаторазово реконфігурованих або *FPGA* (*Field Programmable Gate Array*). До цього класу відносяться ПЛІС *Virtex-5*, *Spartan-3E* фірми *Xilinx*, сімейства *Stratix IV* (Е і

*GX*), *Cyclone III* фірми *Altera* і деякі ПЛІС інших фірм. Особливістю пристроїв цього класу є те, що необхідна структура цільового пристрою повинна відновлюватися (записуватися у внутрішній статичний ОЗП) після кожного включення живлення, що вимагає додаткових заходів по збереженню і відновленню необхідної конфігурації. Це є важливою перевагою *FPGA*, оскільки дозволяє в різні моменти часу використовувати той самий кристал для реалізації різних цифрових пристроїв [2].

ПЛІС великого обсягу мають вбудовані системи самотестування при вмиканні живлення з видачею результатів тестування через стандартний інтерфейс *JTAG*.

Техніко-економічні показники сучасних ПЛІС досягли такого рівня, який при випуску партій виробів до декількох сотень забезпечує більш низьку вартість кінцевих виробів, ніж застосування замовлених спеціалізованих великих інтегральних схем (СВІС). Очевидно, що найближчим часом цей поріг буде підвищуватися, забезпечуючи економічну доцільність застосування ПЛІС і в багатосерійному виробництві.

Сучасні ПЛІС, зберігаючи всі переваги однокристального рішення, властивого заказним СВІС, можуть швидко і з малими витратами піддаватися модернізації (*upgrade*). Завдяки наявності в багатьох типах ПЛІС вбудованих систем програмування і конфігурування, що дозволяють перепрограмувати їх без зовнішніх програматорів, пристрої на ПЛІС можуть модернізуватися навіть, перебуваючи в постійній експлуатації. Крім того, строки проектування і випуску готової продукції на ПЛІС менші, ніж розробка і виробництво заказних СВІС, що в умовах ринку може мати іноді вирішальне значення. Важливо і те, що для випуску готової продукції не потрібно складного технологічного устаткування.

Значну роль у розширенні областей застосування ПЛІС, скороченні часу і зниженні затрат на проектування відіграли успіхи у створенні інструментальних засобів для розробки і випуску виробів

на ПЛІС, основу яких становлять спеціальні пакети програм, що забезпечують весь виробничий цикл по створенню цифрових пристроїв на ПЛІС: від розробки схем до випуску готових виробів.

ПЛІС кожної фірми вимагають застосування своїх програмних пакетів, ступінь доступності яких також різна. Повні версії програмних продуктів усіх без винятку фірм є комерційними продуктами з вартістю від кількох сотень до декількох тисяч доларів. Однак деякі фірми надають безкоштовні версії своїх програмних продуктів з деякими обмеженнями їхніх можливостей.

Наприклад, для розробки цифрових пристроїв на ПЛІС фірми *Altera* використовується інтегроване середовище розробки цифрових пристроїв, комерційна версія якої називається *MAX+PLUS II* [3]. У той же час фірма *Altera* надає САПР *Quartus II*. САПР *MAX+PLUS II* є більш простою в освоєнні по відношенню до *Quartus II*. Вона підтримує продукцію *MAX*, *FLEX* і *ACEX*, що містить мікросхеми з напругою живлення 5В і кількістю функціональних перетворювачів від 32 до 4992, а також має меншу кількість настроювань. Цю систему фірма *Altera* не розвиває і рекомендує переходити на *Quartus II*.

Фірма *Altera* активно розвиває САПР *Quartus II*. Ця САПР підтримує всі нові сімейства мікросхем і має ряд переваг і особливостей у порівнянні з *MAX+PLUS II*: швидкість компіляції готового проекту збільшилась в 3 рази; зменшились затрати завдяки інтеграції більшої кількості логічних комірок в одну схему (на 46% більша логічна ємність); в 2 рази зменшилось споживання енергії.

*Quartus II* пропонує повну підтримку розрахунків для *Stratix IV FPGA*, включаючи удосконалені алгоритми для розміщення елементів та трасування з'єднань.

Фірма *Xilinx* також надає сучасне програмне забезпечення, необхідне для розробки проектів та конфігурування кристалів. Ще в 2002 р. завершився перехід до нового покоління систем авто-

мативованого проектування *ISE* (*Integrated Software Environment*) [4]. Програмні засоби *ISE* являють собою систему наскрізного проектування, що реалізує повний цикл розробки цифрових пристроїв на основі ПЛІС, включаючи етапи створення вихідного опису проекту, синтезу, моделювання, розміщення та трасування, а також програмування кристалу.

Засоби проектування *ISE* випускаються у декількох конфігураціях. Основна відмінність між конфігураціями полягає в кількості кристалів, що підтримуються, і наборі додаткових засобів проектування.

Так *ISE Foundation* являє собою найбільш повну систему наскрізного проектування, яка підтримує весь спектр ПЛІС, що випускаються фірмою *Xilinx*.

*ISE WebPACK* – модифікація САПР, що вільно поширюється компанією *Xilinx*. Ця система підтримує всі кристали сімейств *CPLD* та ПЛІС серій *FPGA* з логічною ємністю не більше 1,5 млн. системних вентилів.

Всі конфігурації засобів проектування *ISE* мають однакову структуру та інтерфейс, тому перехід від однієї конфігурації САПР до іншої потребує мінімальних часових затрат.

ПЛІС застосовуються при розробці оригінальної апаратури, а також для заміни звичайних інтегральних схем малого і середнього ступеня інтеграції. При цьому значно зменшуються розміри пристрою, знижується споживана потужність і підвищується надійність. Найбільш ефективно використання ПЛІС у виробках, що вимагають нестандартних схемотехнічних рішень. У цих випадках ПЛІС навіть середнього ступеня інтеграції заміняє, як правило, до 10-15 звичайних інтегральних мікросхем.

Іншим критерієм використання ПЛІС є потреба різко скоротити строки і витрати на проектування, а також підвищити можливість модифікації та налагодження апаратури. Тому ПЛІС широко застосовується у стендовому устаткуванні, на етапах розробки і виробництва досвідченої партії нових виробів, а також

для емуляції схем, що підлягають наступної реалізації на іншій елементній базі. Окрема область застосування ПЛІС – проектування на їх основі пристроїв для захисту програмного забезпечення і апаратури від несанкціонованого доступу та копіювання.

Найбільш широко програмовні логічні інтегральні схеми використовуються в мікропроцесорній і обчислювальній техніці. На їх основі розробляються контролери, адресні дешифратори, формувачі керуючих сигналів та ін. На ПЛІС часто виготовляють мікропрограмні автомати та інші спеціалізовані пристрої, наприклад, цифрові фільтри, схеми обробки сигналів і зображення, процесори швидкого перетворення функцій Фур'є і т.д.

Однією із сфер застосування ПЛІС для розробки спеціалізованих пристроїв є реалізація інтерфейсу *PCIExpress* [2].

Розглянемо деякі особливості ПЛІС *FPGA* фірм *Xilinx* та *Altera*.

Однією з нових розробок ПЛІС типу *FPGA* фірми *Xilinx* є сімейство *Virtex-5*, яке засновано на архітектурі 65-нм *ExpressFabric* та являє собою платформу для системної інтеграції [4]. Завдяки переходу на нові виробничі норми у *Virtex-5* вдалось досягти підвищення частоти на 30% (до 550 МГц) та збільшення кількості логічних вузлів на 65% (до 330 тисяч) по відношенню до *Virtex-4*.

Сімейство *Virtex-5* складається наступних окремих платформ, кожна з яких характеризується своїми можливостями:

- *Virtex-5 LX* – високопродуктивні логічні ІС;

- *Virtex-5 LXT* – високопродуктивні логічні ІС з інтегрованими послідовними портами;

- *Virtex-5 SXT* – високопродуктивні цифрові сигнальні процесори (*DSP*) з інтегрованими послідовними портами;

- *Virtex-5 FXT* – вбудовані процесори з інтегрованими послідовними портами вводу/виводу.

Особливості сімейства *Virtex-5*: швидкість передачі від 100 Мбіт до 3,2 Гбіт/сек, апаратні блоки: *PCI Express* та

10/100/1000 Ethernet MAC, енергоспоживання менше 100 мВт.

Використовуючи високу продуктивність, велику кількість блоків вводу-виводу, оптимізоване енергоспоживання та низьку вартість, розробники можуть створювати системи нового покоління в таких областях, як дротові та бездротові комунікації, аудіо/відео, сервери та пристрої зберігання даних та ін.

У платформі *Virtex-5* використана технологія *Hardened IP Blocks* – таблиця *LUT (look-up table)* з шістьма незалежними виходами та діагональними внутрішніми з'єднаннями.

Продукція сімейства *Stratix IV (FPGA)* фірми *Altera* характеризується наявністю інтегрованих прийомопередатчиків, високою щільністю компоновки, високою продуктивністю та низьким енергоспоживанням [3]. Моделі сімейства *Stratix IV* мають до 680 тис. логічних елементів, тактову частоту до 600 МГц. Областю застосування 40-нм *FPGA*, згідно інформації виробника, можуть бути засоби дротового та бездротового зв'язку, військова електроніка, устаткування для мовлення та прототипи *ASIC*. Передбачено випуск двох варіантів *Stratix IV*: збільшений обсяг пам'яті та покращені можливості по обробці сигналів (*Stratix IV E*) та вбудовані прийомопередатчики (*Stratix IV GX*). До 48 прийомопередатчиків, здатних обмінюватись даними зі швидкістю до 8,5 Гбіт/с, по словам компанії, забезпечать максимальну в галузі пропускну здатність, більш ніж вдвічі переважаючи показники інших сучасних *FPGA*.

### Висновки

Таким чином можна сказати, що застосування ПЛІС є достойним варіантом при розробці та випуску в стислий термін невеликих партій цифрових пристроїв, що відповідають сучасним вимогам до споживчих властивостей виробів електронної техніки, а інтегроване середовище розробки цих пристроїв є досить ефективним і зручним інструментом.

Використання ПЛІС дозволяє знизити загальну вартість проектного пристрою у порівнянні із застосуванням

спеціалізованих інтегральних схем. Одним із джерел такого зниження є гнучкість ПЛІС, що дозволяє скоротити номенклатуру і кількість компонентів у виробі, що зменшує кількість необхідних сертифікаційних процедур. Також знижуються ризики можливого «старіння» компонентів, оскільки програмовна структура ПЛІС дозволяє робити значні модифікації пристрою під час усього строку його служби без необхідності заміни компонентів. Все це дозволяє зробити висновок, що використання ПЛІС для розробки спеціалізованих систем (пристроїв) має великі переваги.

Аналізуючи ПЛІС типу *FPGA Stratix IV* та *Virtex-5* по основним функціональним можливостям можна сказати, що ПЛІС *Stratix IV* фірми *Altera* мають більші переваги при використанні їх у галузі дротового та бездротового зв'язку, а ПЛІС *Virtex-5* фірми *Xilinx* для розробки пристроїв, пов'язаних з інтенсивними обчисленнями.

### Список літератури

1. В. Поречный Применение ПЛИС в цифровой схемотехнике // PC WORLD. – 2007. №3. – С. 23 – 26.
2. Пащенко Н.В. Особливості застосування програмовних логічних інтегральних схем для реалізації контролера PCI інтерфейсу // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип.14. – С. 117 – 121.
3. <http://www.altera.com>
4. <http://www.xilinx.com>