

РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМАХ

Deshchynskyy Yu. L., Bokhonko B. A., Horbatiuk V. Yu. The implementation of methods of designing the digital devices on programmable logic devices. The article presents the result of the developing the complex of tools for teaching students how to design the digital programmable logic devices (PLD) produced by the firm Altera. The complex contains the hardware, namely 22 laboratory stands on the base of PLD ACEX 1K produced by the firm Altera and microcontroller AT89S8253 produced by the firm Atmel. It also includes computer-aided design Quartus II Web edition 9.0 produced by the firm Altera as well as the methodical materials connected with laboratory works. The complex of tools gives the possibility to master the basic methods of modern electronic equipment designing at the teaching courses.

Key words: laboratory stand, programmable logic device, PLD, computer-aided design, CAD

Дещинський Ю. Л., Бохонко Б. А., Горбатюк В. Ю. Реалізація методики проектування цифрових пристроїв на програмованих логічних інтегральних схемах. У статті розглядаються результати розробки комплексу засобів для навчання студентів проектування цифрових програмованих логічних інтегральних схем (ПЛИС) фірми Altera. До складу комплексу входять: апаратне забезпечення – 22 лабораторних стенди на основі ПЛИС ACEX 1K фірми Altera і мікроконтролера AT89S8253 фірми Atmel; система автоматизованого проектування Quartus II Web edition 9.0 фірми Altera; методичні матеріали для виконання лабораторних робіт. Комплекс дає можливість реалізувати засвоєння у навчальних курсах базових методів проектування сучасної електронної апаратури.

Ключові слова: лабораторний стенд, програмована логічна інтегральна схема, ПЛИС, система автоматизованого проектування, САПР

Дещинский Ю.Л., Бохонко Б.А., Горбатюк В.И. Реализация методики проектирования цифровых устройств на программируемых логических интегральных схемах. В статье рассматриваются результаты разработки комплекса средств для обучения студентов проектированию цифровых программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) фирмы Altera. В состав комплекса входят: аппаратное обеспечение - 22 лабораторных стенды на основе ПЛИС ACEX 1K фирмы Altera и микроконтроллера AT89S8253 фирмы Atmel; система автоматизированного проектирования Quartus II Web edition 9.0 фирмы Altera; методические материалы для выполнения лабораторных работ. Комплекс дает возможность реализовать усвоения в учебных курсах базовых методов проектирования современной электронной аппаратуры.

Ключевые слова: лабораторный стенд, программируемая логическая интегральная схема, ПЛИС, система автоматизированного проектирования, САПР

Вступ. Виробництво телекомунікаційної апаратури нового покоління із застосуванням програмованих логічних інтегральних схем (ПЛИС) об'єктивно зумовлює їх вивчення при підготовці фахівців з обслуговування такої апаратури [1, 2].

Вивчення ПЛИС вимагає не тільки нових знань і навичок від викладачів і студентів, але й застосування лабораторних макетів і методик, які забезпечують максимальний ефект навчання. З метою реалізації цієї стратегії, у Львівському коледжі Державного університету телекомунікацій, починаючи з 2008 року, було розроблено комплекс заходів для вивчення основ програмування цифрових пристроїв на ПЛИС. На даний час комплекс включає:

– апаратне забезпечення у вигляді 22 лабораторних стендів на ПЛИС ACEX 1K фірми Altera і мікроконтролері AT89S8253 фірми Atmel, спроектованих викладачами та виготовлених студентами коледжу [3, 4];

– систему автоматизованого проектування (САПР) Quartus II Web edition 9.0 фірми Altera [5, 6];

– методичні матеріали у вигляді описів лабораторних робіт.

Виклад основного матеріалу. Лабораторний стенд представляє собою функціонально завершений блок, який використовується автономно при виконанні запрограмованих у ньому лабораторних робіт, а також у комплексі з персональним комп'ютером і встановленою на ньому САПР при вивченні студентами основ проектування цифрових схем на ПЛІС. Для дослідження динамічних характеристик цифрових схем передбачено підключення до стенду осцилографа.

Лабораторний стенд реалізований на сучасних радіоелементах: програмованій логічній інтегральній схемі сімейства ACEX 1K фірми Altera ємкістю 10 тис. вентилів, мікроконтролері AT89S8253 фірми Atmel, алфавітно-цифровому модулі індикації з числом знаків 2x16.

Використання ПЛІС і мікроконтролера у стенді забезпечують гнучкість його застосування. ПЛІС дозволяє реалізувати лабораторні роботи з вивчення цифрових компонентів від найпростіших логічних елементів до функціонально складних таких як регістри, лічильники, суматори, цифрові компаратори, оперативні запам'ятовуючі пристрої та ін. Ці елементи можуть досліджуватися як у статичному режимі з використанням світлодіодних індикаторів, що відображують стан входів/виходів цифрових компонентів, так і в динамічному режимі, з можливістю аналізу вихідних сигналів за допомогою осцилографа. Мікроконтролер забезпечує наступні сервісні функції: вибір лабораторної роботи з меню, висвітлення повідомлень про необхідність введення тих чи інших даних та ін.

Структурна схема лабораторного стенду представлена на Рис.1.

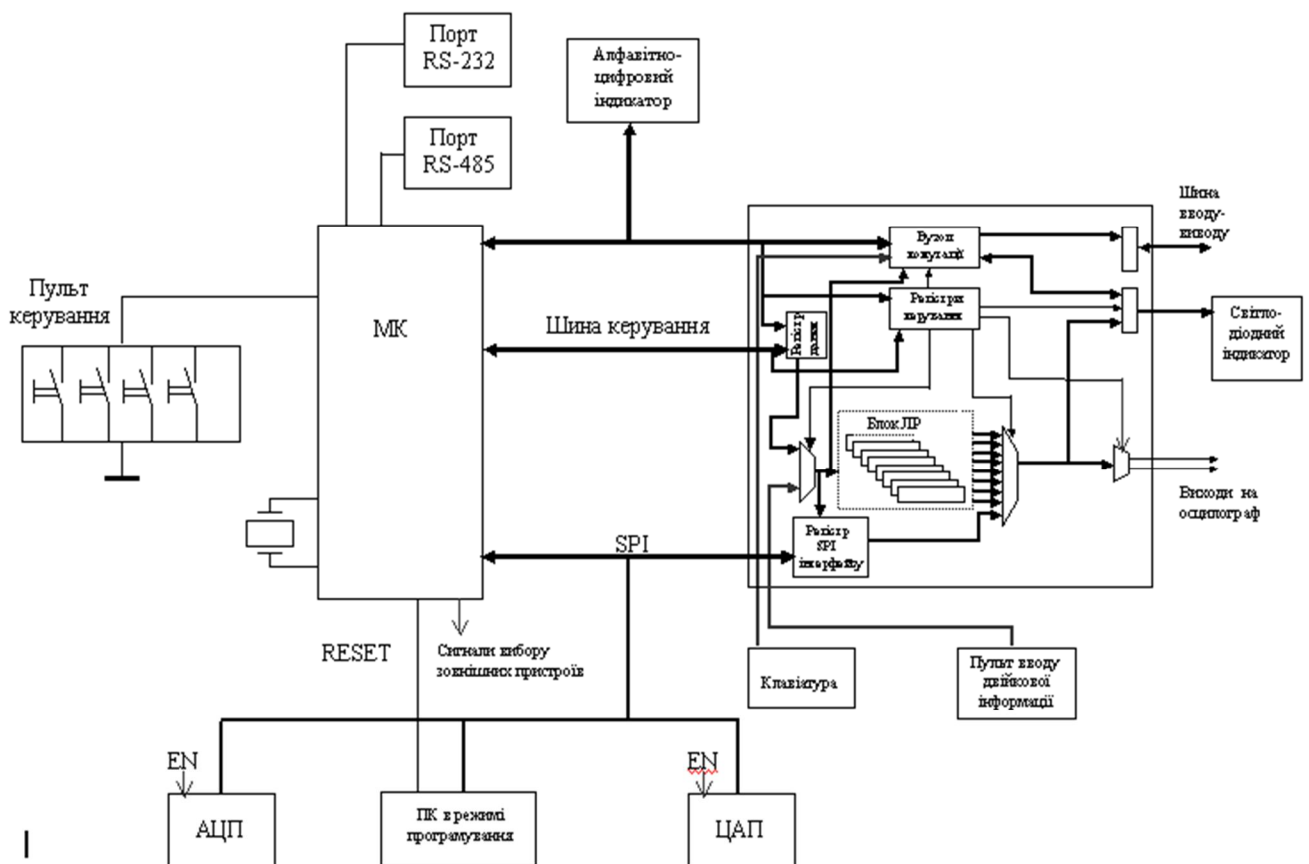


Рис.1. Структурна схема лабораторного стенду

До складу стенду входить мікроконтролер (МК) з пультом керування, що представляє собою чотири кнопки – навігація по меню чи установка якогось із параметрів (дві кнопки), ввід даних і вихід з меню – відповідно по одній кнопці. Мікроконтролер через

двонаправлену шину даних і шину керування зв'язаний з ПЛІС, до якої у свою чергу підключені: цифрова клавіатура, яка дозволяє вводити десяткові числа; пульт вводу двійкової інформації байтами; двонаправлена шина вводу/виводу, яка дозволяє організувати зв'язок із зовнішніми по відношенню до стенду пристроями; світлодіодний індикатор, який може фіксувати два байти інформації, представлена у двійковому коді; дві лінії виходів на осцилограф для дослідження роботи цифрових схем у динаміці.

Окрім цього мікроконтролер через послідовний інтерфейс SPI має зв'язок як з ПЛІС, а також з іншими пристроями: аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) і персональним комп'ютером. АЦП і ЦАП, що входять у склад стенду, використовуються для організації лабораторних робіт з дослідження їх роботи, а також можуть бути використані для побудови підсистем збору та обробки аналогової інформації в рамках курсового чи дипломного проектування. Зв'язок мікроконтролера з персональним комп'ютером через послідовний інтерфейс SPI надзвичайно спрощує процедуру програмування мікроконтролера, яка реалізується в режимі внутрішньосистемного програмування. Використаний мікроконтролер допускає до 10000 циклів перепрограмування, що забезпечує оперативне переналаштування роботи стенду на різні групи лабораторних робіт.

Через шину даних мікроконтролер додатково зв'язаний з модулем алфавітно-цифрової індикації, який забезпечує відтворення сервісної інформації, а також результатів виконання окремих лабораторних робіт.

У лабораторному стенді також реалізовані послідовні порти для організації зв'язку з персональним комп'ютером – RS-232 і RS-485. Протокол передачі даних UART, що підтримується даними інтерфейсами, формується мікроконтролером.

Структурна схема цифрового вузла лабораторного стенду, що реалізований на ПЛІС ACEX 1K для дослідження цифрових пристроїв, представлена на Рис. 2.

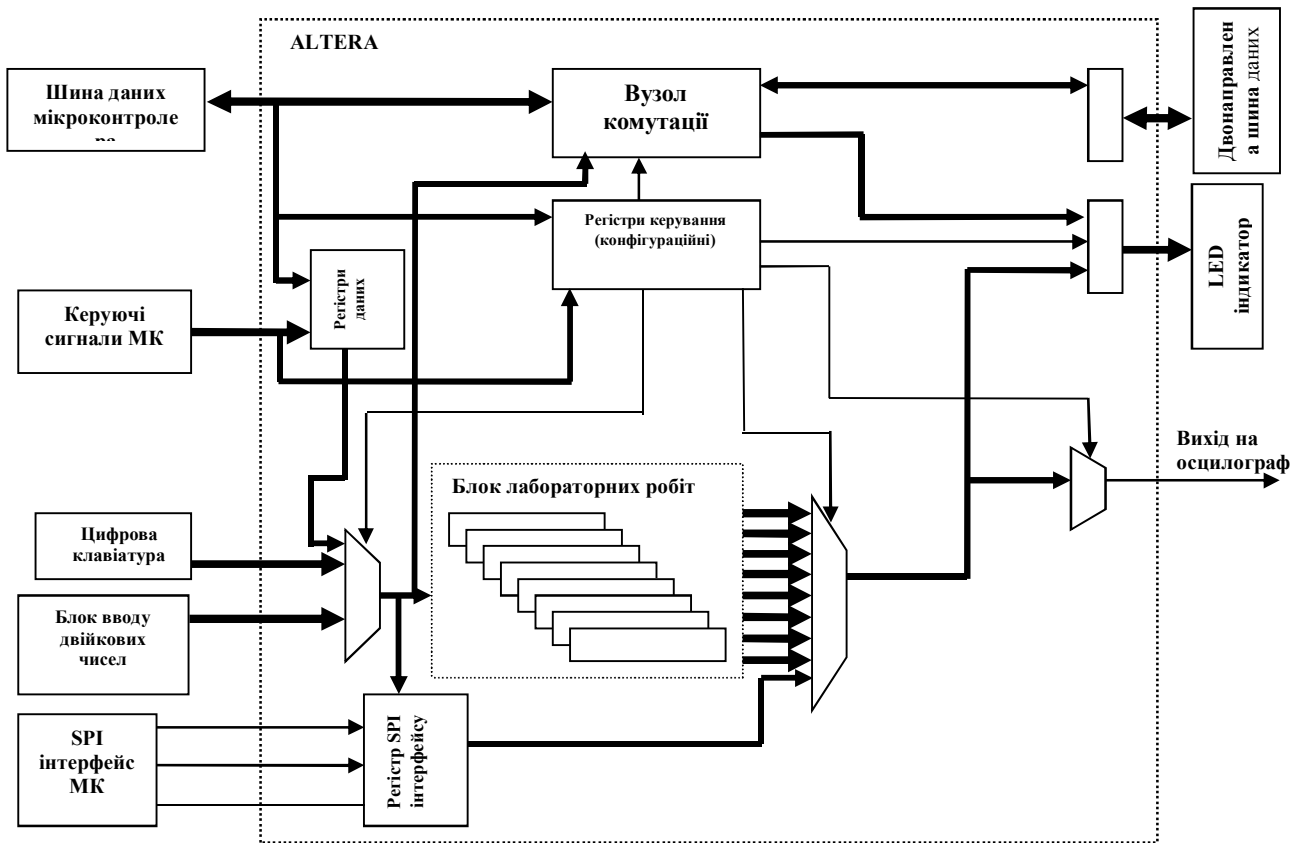


Рис. 2. Структурна схема цифрового вузла стенду реалізованого на ПЛІС ACEX 1K

Схема включає блок лабораторних робіт із дослідження цифрових компонентів в рамках предмету “Основи схемотехніки”: простих логічних елементів комбінаційної логіки, цифрового компаратора, суматора, дешифратора, мультиплексора, тригерів, паралельного і зсуваючого регістрів, лічильника імпульсів. При виборі відповідної лабораторної роботи, допоміжними схемами – конфігураційними регістрами керування, мультиплексорами та іншими вузлами – забезпечується доступ до входів схеми зі сторони шини даних мікроконтролера чи пультів вводу інформації. Для дослідження роботи схем у динаміці на їх входи подаються імпульсні сигнали, що формуються у ПЛІС від високостабільного кварцового генератора тактових імпульсів частотою 10 МГц. Виходи схем лабораторних робіт через відповідні цифрові мультиплексори підключаються до світлодіодних індикаторів або ж до осцилографа. Наявність у стенді шістнадцятирозрядного світлодіодного індикатора дозволяє достатньо повно висвітлювати стани цифрових входів/виходів при дослідженні комбінаційних схем.

Наявність двох ліній виходу на осцилограф дозволяє не тільки спостерігати цифрові сигнали на екрані осцилографа, а й досліджувати часові параметри сигналів, їх взаємне розташування за допомогою двопроменевого осцилографа. Сервісне меню мікроконтролера, у кожній із вказаних лабораторних робіт, забезпечує вибір і підключення до входів осцилографа необхідних вихідних сигналів схеми. Комутація цифрових сигналів забезпечується відповідними мультиплексорами, що реалізовані в ПЛІС.

Використана ПЛІС EP1K10TC100 сімейства ACEX1K фірми Altera допускає багаторазове перепрограмування завдяки вбудованому блоку оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), в який заноситься код програми. Код в ОЗП може бути занесений із зовнішнього по відношенню до ПЛІС конфігураційного постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП) або безпосередньо з ПК. Конфігураційний ПЗП використовується для програмування лабораторних робіт, що підтримуються стендом. Загальний вигляд лабораторного стенду представлений на Рис. 3.



Рис. 3. Загальний вигляд лабораторного стенду

Електронна схема стенду реалізована у вигляді друкованої плати з габаритними розмірами 120x90x15 мм, яка разом з модулем алфавітно-цифрової індикації розташована у корпусі з прозорою пластмасовою кришкою. Пульти керування та клавіатура розташовані на панелі корпусу. Модуль алфавітно-цифрової індикації з рідкокристалічним табло має достатньо великі розміри символів, які добре видно незалежно від зовнішнього освітлення. Друкована плата стенду виготовлена з використанням сучасної технології поверхневого монтажу, що підвищує надійність стенду.

Стенд живиться від стандартного зовнішнього блоку живлення напругою 5В. Струм, який споживає стенд, не перевищує 0,5 А.

Технічні характеристики стенду:

- число розрядів арифметико-логічного блоку мікроконтролера – 8;
- тактова частота роботи мікроконтролера, МГц – 24;
- об'єм FLASH-пам'яті для зберігання коду програм мікроконтролера, кБайт – 8;
- кількість циклів перезапису FLASH-пам'яті мікро-контролера – 10000;
- об'єм оперативної пам'яті мікроконтролера, байт – 256;
- об'єм пам'яті мікроконтролера типу EEPROM для зберігання даних, кБайт – 2;
- кількість циклів перезапису пам'яті типу EEPROM, тис. – 100;
- тактова частота опорного генератора стенду, МГц – 10;
- число розрядів двонапрявленої шини введення/виведення стенду – 8;
- число розрядів світлодіодного індикатора – 16;
- число символів модуля алфавітно-цифрової індикації – 2х16;
- кількість вентилів ПЛІС, тис. – 10;
- максимальна тактова частота роботи цифрових компонентів ПЛІС, МГц – 250;
- габаритні розміри стенду, мм – 330х280х50.

В рамках курсу “Обчислювальна техніка та мікропроцесори”, а також при проходженні навчальної практики студенти вивчають принципи проектування цифрових схем на ПЛІС. У цьому випадку при виконанні лабораторних робіт стенд використовується в комплексі з персональним комп'ютером і встановленою на ньому САПР QUARTUS II Web edition. Вибір ПЛІС фірми Altera для реалізації стенду зумовлений високими технічними характеристиками і доступністю на ринку України, а також можливістю вільного використання даної САПР.

САПР QUARTUS II Web edition забезпечує можливість створення проекту цифрової схеми, її налагодження і тестування за допомогою часового аналізатора, а також моделювання роботи проекрованої схеми за допомогою симулятора, який формує вихідні часові діаграми схеми на основі заданих вхідних впливів. Кінцевим результатом роботи САПР є створення двійкового файлу проекрованої схеми, який завантажується за допомогою програмних засобів з персонального комп'ютера у ПЛІС. Після програмування ПЛІС студенти перевіряють функціонування спроектованої схеми в статичному режимі, використовуючи пульт введення цифрових даних і світлодіодні індикатори стенду. Для дослідження спроектованої схеми в динамічному режимі вхідний сигнал подається від вбудованого у стенді генератора тактових імпульсів, а вихідні сигнали контролюються за допомогою підключеного до стенду осцилографа.

Розроблені методичні матеріали для вивчення проектування цифрових пристроїв на ПЛІС побудовані таким чином, що спочатку студенти у курсі «Основи схемотехніки» на лабораторних стендах вивчають цифрові пристрої, які спроектовані викладачем на ПЛІС, а в курсі «Обчислювальна техніка та мікропроцесори» самі навчаються механізму проектування цих пристроїв на ПЛІС.

Курс лабораторних робіт дисципліни «Основи схемотехніки» включає наступні роботи:

- Дослідження логічних елементів;
- Дослідження логічної комбінаційної схеми;
- Дослідження мультиплексора і демультіплексора;
- Дослідження шифратора і дешифратора;
- Дослідження компаратора і суматора;
- Дослідження тригерів;
- Дослідження регістра;
- Дослідження лічильника.

Курс лабораторних робіт дисципліни «Обчислювальна техніка та мікропроцесори» включає такі роботи:

- Створення проекту в середовищі Quartus II.
- Синтез та аналіз роботи логічних схем.

- Проектування та аналіз роботи мультиплектора.
- Проектування та аналіз роботи дешифратора.
- Проектування та аналіз роботи суматора.
- Проектування та аналіз роботи цифрового автомата.
- Проектування та аналіз роботи регістра.
- Проектування та аналіз роботи лічильника.

Описи кожної лабораторної роботи містять інформаційну теоретичну частину, завдання за варіантами, хід виконання роботи, а також вказівки до оформлення звіту.

Завершальним етапом навчання студентів з проектування цифрових пристроїв на ПЛІС є виконання курсового проекту, що включає завдання даної тематики.

Висновок. Запропонований комплекс засобів для вивчення проектування цифрових пристроїв ПЛІС фірми Altera на основі розробленого викладачами і виготовленого студентами Львівського коледжу Державного університету телекомунікацій лабораторного стенду з використанням САПР QUARTUS II Web edition дає можливість реалізувати засвоєння у навчальних курсах базових методів проектування сучасної електронної апаратури.

Література

1. Рябенський В. М. Max+plus II / В. М. Рябенський, О. О. Ушкаренко. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. – Київ : «Корнійчук», 2004. – 253 с.
2. Суворова Е. Проектирование цифровых систем на VHDL : учебное пособие / Е. Суворова, Ю. Шейнин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2007. – 576 с.
3. ACEX1K Programmable Logic Device Family Data Sheet [Електронний ресурс] // The Altera Digital Library CD-ROM. – December 2002.
4. AT89S8253 [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://Atmel.com/doc3286.pdf>.
5. Altera Software Installation and Licensing [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://altera.com>
6. Quartus Prime Standard Edition Handbook Volume 1: Design and Synthesis [Електронний ресурс] // – Режим доступу : [www. http://altera.com](http://altera.com)

Автори статті

Дещинський Юрій Леонтійович – кандидат педагогічних наук, директор, Львівський коледж Державного університету телекомунікацій. Тел.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Бохонко Богдан Адамович – кандидат технічних наук, завідувач відділення, Львівський коледж Державного університету телекомунікацій. Тел.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Горбатюк Віталій Юрійович – завідувач лабораторії, Львівський коледж Державного університету телекомунікацій. Тел.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Authors of the article

Deshchynskyy Yuriy Leontiyovych – candidate of sciences (pedagogical), the headmaster, Lviv college of State University of Telecommunications. Tel.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Bokhonko Bohdan Adamovych – candidate of sciences (technical), the head of the department, Lviv college of State University of Telecommunications. Tel.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Horbatiuk Vitalii Yuriyovych – the laboratory manager, Lviv college of State University of Telecommunications. Tel.: +380(032)263-15-66. E-mail: lcdut@lcdut.com.ua

Дата надходження в редакцію: 30.01.2016 р.

Рецензент: к.т.н. М. С. Височіненко