

Ю.С. ГРИЩУК, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ", Харків
А.Є. ВИШНЕВСЬКИЙ, аспірант, НТУ "ХПІ", Харків

МІКРОКОНТРОЛЕРНІ ЛАБОРАТОРНІ СТЕНДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

У статті проведено огляд і аналіз лабораторних стендів, виявлені можливості їх застосування при проведенні випробувань і досліджень електричних апаратів і вивченні різних типів сучасних мікроконтролерів, та застосуванні їх в системах керування електричними апаратами.

В статье проведены обзор и анализ лабораторных стендов, выявлены возможности их применения при проведении испытаний и исследований электрических аппаратов и изучении разных типов современных микроконтроллеров, и применения их в системах управления электрическими аппаратами.

Вступ. При проведенні комутаційних досліджень захисних електричних апаратів на постійному і змінному струмі, використовуються експериментальні установки, які містять у собі головний ланцюг і ланцюг керування. Схема однієї з таких установок для досліджень представлена в [1]. Головний ланцюг установки становлять ударний генератор (УГ) ($U_n = 880$ В, $I_{уд} = 70$ кА), що обертається асинхронним двигуном, регульовані реактори L , регульований опір R_a , захисний вимикач (ЗВ), вмикаючий апарат (ВА), макет дослідного апарата (МА). Для проведення досліджень на змінному струмі використовуються схеми, які наведені в [2]. Проведення досліджень з використанням цих схем здійснюється за допомогою пульта електронного керування і електромеханічного або електронного осцилографів. Криві струму і напруги в стандартних експериментах отримуються у вигляді осцилограм. В цьому випадку обробка осцилограм проводиться графічним методом, що вимагає великих матеріальних, трудових і часових витрат та знижує точність вимірювань.

Скоротити строки проведення комутаційних досліджень, підвищити точність вимірів, знизити їхню вартість можна, застосувавши автоматизовану систему керування технологічним процесом досліджень із застосуванням мікроконтролера (МК).

Метою даної статті є проведення огляду і аналізу лабораторних стендів з метою виявлення можливості їх застосування при проведенні випробувань і досліджень електричних апаратів і вивченні різних типів сучасних мікроконтролерів та застосування їх в системах керуван-

ня електричними апаратами.

На даний час відомі цілий ряд лабораторних стендів, виконаних на основі мікроконтролерів. Одним із них є лабораторний стенд, розроблений на кафедрі "Електричні апарати" НТУ "ХПІ", виконаний на основі класичного **мікроконтролера серії МК51**. Особливостями даного сімейства є високий рівень уніфікації елементів, можливість перепрограмування на реалізацію тих чи інших функцій без заміни складу комплексу технічних засобів, низькі витрати на обслуговування, контроль і діагностування, програмна сумісність з іншими представниками сімейств MCS51 і MCS251 та високопродуктивним (25MIPS) МК фірми Cygnal. Лабораторний стенд дозволяє проводити дослідження електричних апаратів, забезпечує організацію взаємодії МК з об'єктом керування, вводу інформації з датчиків, виводу сигналів, що управляють об'єктом та зв'язок по послідовному порту з комп'ютером. Крім того, він дозволяє досліджувати функціонування структурної схеми МК51 і всіх її елементів та особливості режимів роботи, аналогово-цифрових і цифро-аналогових перетворень, введення інформації з клавіатури та її виведення і відображення. Докладний опис і схема лабораторного стенду наведені в [3]. Його основними недоліками є відсутність вмонтованих в МК51 периферійних засобів, що потребує додаткових витрат на виготовлення стенду та його низька продуктивність, всього 1 MIPS при частоті 12 МГц. .

Лабораторний стенд EASYAVR5 для вивчення мікроконтролерів AVR фірми Atmel.

ME-EASYAVR5 – лабораторний стенд від компанії MicroElektronika для вивчення мікроконтролерів AVR. Плата стенда включає роз'єм для установки мікроконтролерів AVR у різних DIP-корпусах, USB-програмактор AVRprog2, стабілізатор напруги живлення. Як пристрої введення можуть використовуватися кнопки, підключені до всіх ліній портів досліджуваного мікроконтролера, датчик температури, порт RS-232, накопичувач MMC/SD. Для відображення даних на платі є чотири 7-сегментних індикатори й світлодіоди на всіх лініях портів мікроконтролера, а також передбачені посадкові місця зі штировими роз'ємами для установки алфавітно-цифрового й графічного РКІ-дисплеїв. Всі лінії портів виведені на п'ять штирових роз'ємів 2x5. До цих роз'ємів можливе підключення зовнішніх плат, використання яких розширює номенклатуру досліджуваних периферійних пристроїв. Установлений на платі JTAG – роз'єм дозволяє підключити зовнішні засоби налагодження.

Механічну міцність стенда забезпечує збільшена товщина плати (2,5мм). Оптимально для організації навчальних класів і лабораторій,

індивідуального вивчення роботи мікроконтролерів AVR фірми Atmel.

Відмінні риси:

- роз'єми для установки мікроконтролерів у корпусах DIP8, DIP14, DIP20, DIP28 і DIP40;
- інтегрований USB-програмактор AVRprog2;
- JTAG- роз'єм 2x5 для підключення зовнішніх налагоджувачих засобів;
- місце під установку РКІ 2x16 знаків;
- місце під установку графічного РКІ 128x64 крапок;
- інтерфейс і роз'єм RS-232;
- інтерфейс і роз'єм MMC/ SD-накопичувача;
- чотири 7-сегментних світлодіодних індикатори;
- місце під установку температурного датчика DS1820;
- світлодіоди й кнопки підключення до всіх ліній портів мікроконтролера;
- п'ять штирових роз'ємів 2x5 (PORT A - PORT E) для підключення плат розширення (EXTRA BOARDS);
- можливість живлення від USB-Порту;
- стабілізатор напруги й роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення.

Найбільша потужність мікроконтролера Atmega128 (Atmel) може досягати приблизно 16 MIPS, що в ряді випадків є недостатньою.

Лабораторний стенд для вивчення мікроконтролерів PIC18.

ME-BIGPIC5 – лабораторний стенд від компанії MicroElektronika для вивчення мікроконтролерів PIC в 64- і 80-вывідних корпусах. Плата стенда включає змінний модуль 8-розрядного мікроконтролера PIC18F8520, інтегровані USB-програмактор PICFlash2 і внутрішньосхемний налагоджувач microICD, стабілізатор напруги живлення. Як пристрої уведення можуть використовуватися кнопки, підключені до всіх ліній портів мікроконтролера, датчик температури, годинники реального часу, накопичувач MMC/SD, передбачений роз'єм для установки сенсорної панелі графічного дисплея. Для відображення даних на платі є світлодіоди на всіх лініях портів мікроконтролера, а також передбачені посадкові місця зі штировими роз'ємами для установки алфавітно-цифрового й графічного РКІ. Із пристроїв виводу даних є, також, 12-розрядний ЦАП. Для двонаправленого обміну встановлені порти RS-232 (два), RS-485, CAN. Всі лінії портів мікроконтролера виведені на дев'ять штирових роз'ємів 2x5. До цих роз'ємів можливе підключення зовнішніх плат, використання яких розширює номенклатуру досліджуваних периферійних пристроїв.

Замість змінного модуля з мікроконтролером PIC18F8520 може бути встановлений модуль із мікроконтролером PIC18F8722.

Механічну міцність стенда забезпечує збільшена товщина плати (2,5 мм).

Відмінні риси:

- установлено мікроконтролер PIC18F8520;
- інтегрований USB-програмактор PICFlash2 і внутрішньосхемний налагоджувач мікро ICD;
- 12-розрядний ЦАП (MCP4921);
- місця під установку символного РКІ 2x16 знаків і графічного РКІ 128x64 крапок;
- два порти RS-232, порт CAN, порт RS-485, роз'єм PS/2 для підключення клавіатури;
- інтерфейс і роз'єм MMC/ SD-накопичувача;
- роз'єм й контролер сенсорної панелі графічного дисплея;
- розетка для установки температурного датчика DS1820;
- світлодіоди й кнопки підключення до всіх ліній портів мікроконтролера;
- дев'ять штирових роз'ємів 2x5 (PORT A - PORT J) для підключення плат розширення (EXTRA BOARDS);
- можливість живлення від USB-Порту;
- стабілізатор напруги й роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення.

Відмічається низькою продуктивністю, що не дозволяє їх використання при дослідженні швидкоплинних процесів.

Лабораторний стенд LESO1 на базі мікроконтролера ADu842.

Мікроконтролер містить 12-розрядні прецизійні АЦП і ЦАП, убудований високошвидкісний МК із FLASH-ЕРПЗП на 62КБ.

Навчальний лабораторний стенд містить наступну периферію:

- рідкокристалічний символний індикатор 8x2;
- матричну клавіатуру 4x3;
- датчик температури DS18B20;
- годинники реального часу PCF8583;
- випромінювач звуку;
- інфрачервоний фотоприймач TSOP1736;
- чотири червоних світлодіода;
- мікросхему перетворення інтерфейсів фірми FTDI.

Структура навчального стенда оптимізована для поетапного, від простого до складного, освоєння мікроконтролерних систем.

Для завантаження коду, що виконується, у внутрішню пам'ять мікропроцесора й взаємодії лабораторного стенда із ПК розроблена програма nwFlash. Програма nwFlash дозволяє:

- робити пошук підключених до комп'ютера по USB інтерфейсу лабораторних стендів;

- активувати з'єднання з одним зі знайдених стендів;
- виконувати скидання мікроконтролера (Reset);
- завантажувати в flash-пам'ять мікроконтролера програму користувача;
- приймати й відправляти дані в текстовому й шістнадцятиричному виді по інтерфейсі UART (режим терміналу).

Лабораторний стенд "AVR - мікролаб".

Лабораторний стенд живиться від зовнішнього малопотужного не стабілізованого джерела живлення постійного струму напругою 9 – 12В ($I_{жк} < 400\text{mA}$).

Для живлення зовнішніх пристроїв ($I_{нагр} > 300\text{mA}$) необхідно використати зовнішнє джерело живлення відповідної потужності.

Підключення периферійного модуля по одному з чотирьох портів модуля мікроконтролера здійснюється за допомогою плоских десятиконтактних шлейфів (8 ліній порту та 2 провідника живлення).

Всі невикористані периферійні модулі стенда знеструмлені, а використовувані живляться від модуля мікроконтролера через шлейфи (контакт 9й +5В та 10й -5В).

Використання для модулів роз'ємних гнізд "з ключем" виключає "неправильне" підключення шлейфів.

Схемотехніка модулів представлена як ланцюг захисту мікроконтролера від "переполосовки" і перевищення рівнів сигналів.

Кожний периферійний модуль може бути підключений до будь-якого порту мікроконтролера за винятком тих модулів, які функціонально пов'язані з певними виводами мікроконтролера (RS232 - PORTD, ADC - PORTA, SPI - PORTB). Для таких модулів, на їхніх принципових схемах, у позначенні роз'єма вказується конкретний порт мікроконтролера.

До складу функціональних пристроїв стенда входять процесорний модуль, 10 модулів периферійних пристроїв, інтерфейсні кабелі для підключення до COM і LPT портів комп'ютера, і п'ять плоских кабельних шлейфів для з'єднання модулів у моделюючу структуру.

До складу стенда входять наступні модулі периферійних пристроїв:

- 1) модуль мікроконтролера MC;
- 2) модуль статичної світлодіодної індикації;
- 3) модуль динамічної світлодіодної індикації;
- 4) модуль літеро-цифрового дисплея LCD;
- 5) модуль функціональної клавіатури;
- 6) модуль аналого-цифрового перетворювача;
- 7) модуль цифро-аналогового перетворювача;
- 8) модуль драйвера послідовного інтерфейсу RS 232;
- 9) модуль послідовного периферійного інтерфейсу SPI;

10) модуль драйверів керування кроковими двигунами;

11) модуль блоку вихідних ключів.

Лабораторний стенд на основі МК C8051F064 розроблений на кафедрі електричних апаратів НТУ "ХПІ", конструктивно виконаний у вигляді плати, що встановлюється в корпус, у якому є ізольований блок живлення. Плата включає аналогову частину, щоб повідомляти про стан аналогових вхідних сигналів і перетворювати їх в цифровий код (через МК C8051F064). Плата також включає два порти USB: порт даних і порт налагодження, щоб передати перетворення в комп'ютер. Порт даних складається з універсального асинхронного приймача-передавача до порту USB (CP2101) і з'єднувача USB. Порт налагодження складається з апаратних засобів інтерфейсу налагодження Silicon Labs і з'єднувача USB. Живлення для плати C8051F064 може здійснюватися від будь-якого порту USB або від зовнішнього джерела живлення.

Особливості МК C8051F064:

– аналогові периферійні модулі, які включають два 16-розрядних АЦП послідовного наближення і три аналогових компаратори;

– вбудований JTAG відладчик і інтерфейс граничного сканування;

– високопродуктивне 8051-сумісне процесорне ядро, в якого є: конвеєрна архітектура; 70 % команд виконуються за 1 або 2 системних тактових цикли; продуктивність до 25 MIPS при тактовій частоті 25 MHz; гнучка система переривань;

– пам'ять, яка має: 4352 (4к + 256) байт внутрішнього ПЗП даних; 64 Кбайт flash-пам'яті; можливе внутрішньосистемне програмування flash-пам'яті секторами по 512 байт; інтерфейс зовнішньої (64 Кбайт) пам'яті даних з можливістю мультиплексованого й немультимплексованого режимів роботи.

– цифрові периферійні модулі, які мають: 59 портів введення/виведення загального призначення; послідовні інтерфейси SMBus (I2C- сумісний), SPI і два УАПП (доступні одночасно); програмувальний масив 16-розрядних таймерів/лічильників (ПМС) із шістьма модулями захоплення/порівняння; п'ять 16-розрядних таймерів/лічильників загального призначення; окремий сторожовий таймер; двонаправлений вивід скидання.

– джерела тактових імпульсів, а саме: внутрішній прецизійний генератор 24,5 МГц, що калібрується; зовнішній генератор: кварцовий, RC-, C-, або лічильник.

Докладний опис структурної схеми, пристроїв, які в неї входять, особливостей функціонування в різних режимах, електричні параметри і система команд наведені в [5].

Висновки. Аналіз лабораторних стендів показує, що найбільш продуктивним і економічним є стенд на базі високопродуктивного мікроконтролера C8051F064 з розвинутою аналоговою периферією і вбудованою системою програмування/налагоджування, яка реалізована на інтерфейсі JTAG, що дозволяє швидко програмувати flash-пам'ять і виконувати налагоджування програм в реальному масштабі часу безпосередньо на стенді. Завдяки широким можливостям мікроконтролера, його доцільно використовувати і в системах керування різними електричними апаратами.

Список літератури: 1. *Грищук Ю.С., Ржевский А.Н., Грищук С.Ю.* Автоматизированная система управления для коммутационных исследований и испытательных электрических аппаратов // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". 2001. – Вып. 17. – С. 48–50. 2. *Петин О.В., Щербаков Е.Ф.* Испытания электрических аппаратов. – М.: Высш. шк, 1985. – 215с. 3. *Грищук Ю.С.* Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2008. – 320 с. 4. *Грищук Ю.С., Вишневський А.С., Кузнецов А.І., Грищук С.Ю., Ржевський А.Н.* Застосування мікроконтролера Atmega16 при автоматизації досліджень швидкодіючих запобіжників // Вісник національного техн. ун-ту "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. 5. *Николайчук О.И.* x51-совместимые микроконтроллеры фирмы Silicon Laboratories (Cugnal). – М.: ООО "ИД СКИМЕН", 2004. – 628 с.



Вишневський Андрій Євгенович, аспірант кафедри "Електричні апарати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Наукові інтереси пов'язані з дослідженням автоматичних вимикачів з мікропроцесорним управлінням.



Грищук Юрій Степанович, канд. техн. наук, проф. кафедри "Електричні апарати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Наукові інтереси пов'язані з використанням методів мікроконтролерного управління в електричних апаратах, розробкою математичних моделей на основі теорії планування експериментів.

Надійшла в редколегію 13.07.2010.