

УДК 621.316.544.1

ЛІСОВЕЦЬ С.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСУ SPI ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ МІКРОКОНТРОЛЕРА ІЗ ПЕРИФЕРІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Мета. Розширення функціональних можливостей засобів автоматизації шляхом підключення до мікроконтролера різних периферійних пристроїв за допомогою інтерфейсу SPI.

Методика. Полягає у дослідженні режимів обміну даними між мікроконтролерами типу ATmega32 фірми Atmel та такими периферійними пристроями, як мікросхема аналого-цифрового перетворювача MCP3204, які є складовими частинами плати AVRPLC16 v6 PLC System виробництва MikroElektronika D.O.O.

Результати. Отримано рекомендації щодо вибору режимів роботи мікроконтролерів типу ATmega32 фірми Atmel та побудови схем підключення до них периферійних пристроїв на прикладі мікросхеми аналого-цифрового перетворювача MCP3204.

Наукова новизна. Встановлено, що застосування інтерфейсу SPI дозволяє виконувати до кількох десятків тисяч вибірок сигналів за одну секунду, забезпечивши, таким чином, отримання даних про швидкоплинні технологічні процеси.

Практична значимість. Застосування інтерфейсу SPI дозволяє будувати складні системи автоматизації із мінімізацією витрат на підключення периферійних пристроїв.

Ключові слова: послідовний периферійний інтерфейс, ведучий пристрій, ведений пристрій, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер, диференціальна нелінійність, інтегральна нелінійність.

Вступ. Послідовний периферійний інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) застосовується в усіх мікроконтролерах ATmega фірми Atmel [1]. Необхідно зауважити, що в мікроконтролерах цієї фірми він може застосовуватися для виконання двох задач: по-перше, через інтерфейс SPI можливо виконувати послідовне програмування мікроконтролерів; по-друге, через інтерфейс SPI можливо виконувати безпосередній обмін даними із периферійними пристроями.

При обміні даними по інтерфейсу SPI мікроконтролер ATmega32 може виступати в ролі або ведучого пристрою (режим “Master”), або веденого пристрою (режим “Slave”) – таким чином, визначається той пристрій, який ініціює передачу даних. Інтерфейс SPI є синхронним інтерфейсом, тобто передача даних від ведучого до веденого або навпаки завжди синхронізується із загальним тактовим сигналом, який генерується ведучим пристроєм (наприклад, ним може бути мікроконтролер ATmega32) [2, 3, 4].

Для роботи по інтерфейсу SPI застосовуються чотири лінії цифрових сигналів: MOSI, MISO, SCK та \overline{SS} (якщо інтерфейс SPI не використовується, ці чотири лінії застосовуються як лінії портів введення/виведення загального призначення). Мікроконтролер ATmega32 в режимі “Master” зазвичай використовує лінію MOSI для передачі даних до веденого пристрою, лінію MISO – для отримання даних від веденого пристрою, лінію SCK – для передачі до веденого пристрою тактового сигналу, лінію \overline{SS} – для вибору поточного веденого пристрою. А в режимі “Slave” ведений пристрій зазвичай використовує лінію MOSI для отримання даних від ведучого пристрою, лінію MISO – для передачі даних до ведучого пристрою, лінію SCK – для отримання від ведучого пристрою тактового сигналу, лінію \overline{SS} – для перевернення себе в режим “Slave”.

Постановка завдання. В якості об'єкта дослідження було обрано процеси обміну даними між мікроконтролерами фірми Atmel та периферійними пристроями, зокрема, мікросхемою аналого-цифрового перетворювача MCP3204 виробництва Microchip Technology Inc. (див. рис. 1), за допомогою інтерфейсу SPI.

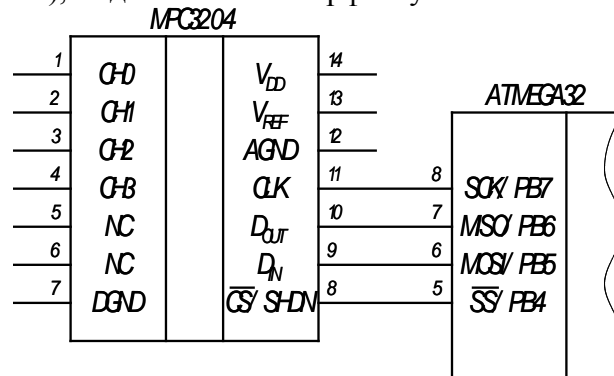


Рис. 1 Мікросхема MCP3204 (корпус PDIP, SOIC або TSSOP)

Предметом дослідження було отримання інформації про: швидкодію інтерфейсу SPI, складність з'єднання між собою мікроконтролера Atmel ATМega32 та мікросхеми MCP3204, необхідність застосування додаткових електронних узгоджуючих елементів, максимальну довжину лінії зв'язку інтерфейсу SPI, максимальну помилку (яка може виникнути) при передачі даних та складність програмування мікросхеми MCP3204. Причому для дослідження було обрано плату AVRPLC16 v6 PLC System виробництва MikroElektronika D.O.O. – засіб розробки та відлагодження програмного забезпечення для мікроконтролерів фірми Atmel [5].

Результати дослідження. Мікросхема MCP3204 мала роздільну здатність 12 біт (4 однакових канали вимірювання відносно загального дроту або 2 диференціальних канали вимірювання) та дозволяла здійснювати до 100000 вибірок за одну секунду, тобто частота вибірок $f_{SAMPLE} = 100 \text{ кГц}$. При цьому тактова частота f_{CLK} сигналу, який подається на мікросхему MCP3204 від мікроконтролера ATМega32 по лінії SCK, визначалася за формулою:

$$f_{CLK} = 20 f_{SAMPLE} = 20 \cdot 0,1 \text{ МГц} = 2,0 \text{ МГц}. \quad (1)$$

Необхідно зауважити, що така кількість вибірок забезпечувалася при напрузі живлення мікросхеми MCP3204 $V_{DD} = 5,0 \text{ В}$, але при напрузі живлення $V_{DD} = 2,7 \text{ В}$ вона знижувалася до 50000. Диференціальна нелінійність мікросхеми MCP3204 не перевищувала ± 1 одиниці молодшого розряду, а інтегральна нелінійність – не перевищувала ± 1 або ± 2 одиниці молодшого розряду (в залежності від модифікації мікросхеми MCP3204).

Цифровий код *Digital Output Code*, який формувалася мікросхемою MCP3204, визначався за формулою

$$\text{Digital Output Code} = 4096 \frac{V_{IN}}{V_{REF}}, \quad (2)$$

де V_{IN} – вхідна напруга мікросхеми MCP3204;

V_{REF} – опорна напруга мікросхеми MCP3204.

Опорна напруга $V_{REF} = 4,096 \text{ В}$ формувалася за допомогою мікросхеми MCP1541 виробництва Microchip Technology Inc.

Для введення даних застосовувався вивід D_{IN} (лінія MOSI) мікросхеми MCP3204, для виведення даних – вивід D_{OUT} (лінія MISO), для приймання тактового сигналу – вивід CLK (лінія CLK), для початку обміну даними – вивід $\overline{CS}/\overline{SHDN}$ (лінія \overline{SS}).

Модуль SPI мікроконтролера ATmega32 мав у своєму складі три регістри: регістр управління SPCR, регістр стану SPSR та регістр даних SPDR.

Ввімкнення/вимкнення інтерфейсу SPI виконувалося встановленням/скиданням біта SPE регістра управління SPCR. При необхідності дозволу/заборони переривань від інтерфейсу SPI необхідно було встановити/скинути біт SPIE регістра управління SPCR, але така можливість не застосовувалася.

Встановлення/скидання біта MSTR регістра управління SPCR дозволяло перевести інтерфейс SPI в режим “Master”/“Slave”. Так як мікросхема MCP3204 завжди працює в режимі “Slave”, то відповідно мікроконтролер ATmega32 повинен був працювати в режимі “Master”, а біт MSTR регістра управління SPCR повинен був бути встановленим.

Згідно із специфікацією інтерфейсу SPI взаємодія із периферійними пристроями можлива в одному з чотирьох режимів передачі даних. Ці режими задають відповідність між полярністю тактового сигналу SCK (генеруються імпульси або позитивної, або негативної полярності) та моментом зчитування даних (по передньому або по задньому фронту). Відповідно, для генерування тактових сигналів позитивної полярності необхідно було встановити біт CPOL регістра управління SPCR, а для генерування тактових сигналів негативної полярності – скинути біт CPOL регістра управління SPCR. Аналогічно для обробки даних по передньому фронту тактових сигналів SCK необхідно було встановити біт CPHA регістра управління SPCR, а для обробки даних по задньому фронту тактових сигналів SCK – скинути біт CPHA регістра управління SPCR.

Встановленням чи скиданням бітів SPR1 та SPR2 регістра управління SPCR (які задають коефіцієнт ділення тактової частоти мікроконтролера ATmega32) задавалася частота тактового сигналу SCK. Подвоєння частоти тактового сигналу SCK шляхом встановлення біта SPI2X регістра управління SPCR не застосовувалося.

Після передачі чергового байту модулем SPI мікроконтролера ATmega32 встановлювався біт SPIF регістра статусу SPSR. Контроль передачі чергового байту здійснювався шляхом аналізу стану біта WCOL регістра статусу SPSR, який встановлювався при спробі запису в регістр даних SPDR під час здійснення цієї передачі.

Еквівалентна схема вимірювального каналу згідно із специфікацією Microchip Technology Inc. на мікросхеми MCP3204/3208 наведена на рис. 2.

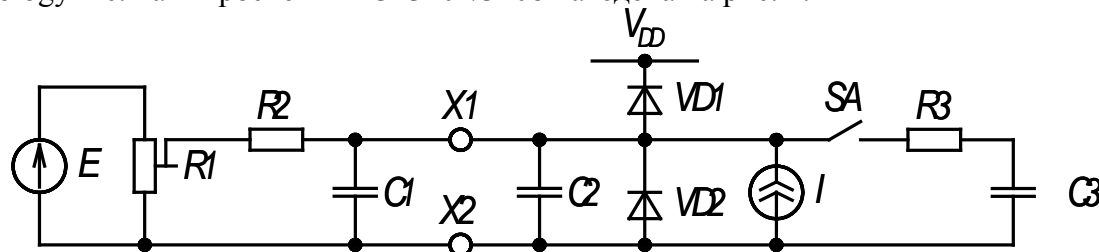


Рис. 2 Еквівалентна схема вимірювального каналу із застосуванням мікросхеми MCP3204

В якості джерела напруги E застосовувалася батарея з чотирьох Ni–MH акумуляторів з ЕРС приблизно $1,25\text{ В}$ кожний (залежала від ступеня розряду кожного з акумуляторів), тому загальна ЕРС батареї складала приблизно $5,00\text{ В}$. Резистор $R1$ призначався для отримання напруги в діапазоні від $0,00$ до $5,00\text{ В}$ і мав опір 1 кОм – це дозволяло, з одного боку, не шунтувати батарею акумуляторів, а з іншого боку виключити

вплив вхідного опору аналого-цифрового перетворювача мікросхеми MCP3204 на результат вимірювання. Для виключення короткого замикання акумуляторної батареї при верхньому по схемі положенні повзунка резистора R1 (див. рис. 2) застосовувався резистор R2 опором 100 Ом. Підключення акумуляторної батареї здійснювалося кабелем типу КАЭФП довжиною приблизно 0,8 м, тому при погонній ємності 45 нФ/м ємність цього відрізка кабелю складала

$$0,8 \text{ м} \cdot 45 \text{ нФ/м} = 36 \text{ нФ}. \quad (3)$$

На еквівалентній схемі (див. рис. 2) ця ємність позначалася як конденсатор C1. Конденсатор C2 на еквівалентній схемі відповідав вхідній ємності входів CH0, CH1, CH2 або CH3 мікросхеми MCP3204, яка становила приблизно 7 нФ згідно із специфікацією Microchip Technology Inc. на мікросхемі MCP3204/3208. Вбудовані діоди VD1 та VD2 захищали входи CH0, CH1, CH2 та CH3 мікросхеми MCP3204 від перенапружень. Струм витоку джерела струму I згідно із тією ж специфікацією становив приблизно $\pm 1 \text{ нА}$, тобто міг протікати як в напрямку до загального дроту, так і в напрямку від нього. Пристрій комутації каналів CH0, CH1, CH2 та CH3 мікросхеми MCP3204 позначався як вимикач SA та резистор R3, що мав внутрішній опір приблизно 1 кОм. Ємність входу аналого-цифрового перетворювача мікросхеми MCP3204 становила приблизно 20 нФ та позначалася як конденсатор C3.

Виконання аналого-цифрового перетворення вхідної напруги мікросхемою MCP3204 та передача результату вимірювання по інтерфейсу SPI мали певні особливості. В основному це було пов'язано з тим, що мікроконтролер ATmega32 міг передавати та приймати дані, тільки кратні 8 бітам, тобто 1 байту. Перед початком перетворення мікросхема MCP3204 завжди повинна була переводитися в неактивний стан подачею на вивід \overline{CS} напруги високого рівня.

Після подачі на вивід \overline{CS} напруги низького рівня мікросхема MCP3204 була готова до виконання аналого-цифрового перетворення, яке починалося з подачі на її вхід D_{IN} послідовно п'яти бітів: біта Start (початок перетворення), біта SGL/DIFF (вибір входів відносно загального дроту або диференціальних входів) та бітів D2, D1, D0 (вибір номера каналу). Саме перетворення виконувалося між четвертим тактом тактового сигналу SCK (наростаючий фронт) і п'ятим тактом тактового сигналу SCK (спадаючий фронт) після встановлення біта Start.

Одразу ж після виконання аналого-цифрового перетворення з виходу мікросхеми MCP3204 починалася передача результату вимірювання. Спочатку передавався біт 0 (нульовий біт), а потім по черзі передавалися біти з B11 (старший розряд) по B0 (молодший розряд). Так як розрядність регістра даних SPDR мікроконтролера ATmega32 становила 8 біт, то кілька додаткових бітів перед бітом 0 (нульовим бітом) та після біта B0 (молодшого розряду) були невизначеними.

Мінімальна частота тактового сигналу SCK не повинна була бути менше приблизно 10 кГц – це пов'язано з тим, що при меншій тактовій частоті з вимірювального конденсатора аналого-цифрового перетворювача мікросхеми MCP3204 (конденсатор C3 на рис. 2) починав стікати електричний заряд, і результат вимірювання ставав невірним.

Необхідно також зауважити, що таке швидкісне аналого-цифрове перетворення було досить чутливим до наявності шумів та імпульсних перешкод. Тому згідно із специфікацією Microchip Technology Inc. на мікросхемі MCP3204/3208 рекомендувалося застосовувати на вході мікросхеми MCP3204 фільтр нижніх частот другого порядку на, наприклад, операційному підсилювачі MCP601 виробництва тієї ж Microchip Technology Inc. А смугу пропускання такого фільтра визначати згідно із необхідною максимальною кількістю

вибірок за одну секунду. Крім того, рекомендувалося підключати між виводом V_{DD} напруги живлення мікросхеми MCP3204 і загальним дротом конденсатор ємністю 1 мкФ , при наявності кількох мікросхем MCP3204 живлення до них подавати з однієї точки живлення, а підключення виводів $AGND$ аналогової “землі” та $DGND$ цифрової “землі” мікросхеми MCP3204 до загального дроту виконувати окремими провідниками.

Висновки. В результаті проведення досліджень та наступного аналізу швидкісного вимірювання напруги мікросхемою MCP3204 та керування нею через інтерфейс SPI можна зробити наступні висновки.

По-перше, мікросхема MCP3204 (а також аналогічні їй за характеристиками, наприклад, MCP3004 або MCP3304 виробництва Microchip Technology Inc.) є ефективним швидкісним засобом введення значення напруги, причому її точність є досить високою. По-друге, застосування інтерфейсу SPI дозволяє до одного мікроконтролера підключати до кількох десятків периферійних пристроїв, створюючи таким чином автоматизовані системи багатоканального збору даних. По-третє, вартість мікросхеми MCP3204 складає приблизно \$2,50, тобто є відносно невеликою. Вчетверте, програмування мікросхеми MCP3204 є простим і не потребує застосування складних інтерфейсів обміну даними (крім, звичайно, інтерфейсу SPI). Вп’яте, технологія виробництва мікросхем серії MCP32xx добре налагоджена, внаслідок чого забезпечується часова стабільність їх електричних та температурних характеристик. Тому мікросхеми серії MCP32xx можна рекомендувати для застосування при створенні недорогих автоматизованих систем багатоканального збору даних.

Список використаних джерел

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel, 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 560 с.
2. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 272 с.: ил. (Серия «Мировая электроника»)
3. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы (+CD), 2-е изд. испр. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288 с.: ил. (серия «Мировая электроника»).
4. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – Пб.: Наука и Техника, 2008. – 544 с.: ил. + CD.

References

1. Evstifeev, A.V. (2005). *Mikrokontrolleryi AVR semeystv Tiny i Mega firmyi Atmel [Microcontrollers of AVR of families of Tiny and Mega of firm Atmel]*. Moscow: Publishing house of «Dodeka-XXI» [in Russia].
2. Morton, J. (2006). *Mikrokontrolleryi AVR. Vvodnyiy kurs [Microcontrollers of AVR. An introductory course]*. Moscow: Publishing house of «Dodeka-XXI» [in Russia].
3. Baranov, V.N. (2006). *Primenenie mikrokontrollerov AVR: shemyi, algoritmyi, programmy [Application of microcontrollers of AVR : charts, algorithms, programs]*. Moscow: Publishing house of «Dodeka-XXI» [in Russia].
4. Belov, A.V. (2008). *Samouchitel razrabotchika ustroystv na mikrokontrollerah AVR [Manual for self-tuition of developer of devices on the microcontrollers of AVR]*. Saint Petersburg: Science and technique [in Russia].
5. www.mikroe.com/avrplc16.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА SPI ДЛЯ СВЯЗИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ПЕРИФЕРИЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

ЛИСОВЕЦ С.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Расширение функциональных возможностей средств автоматизации путём подключения к микроконтроллеру различных периферийных устройств с помощью интерфейса SPI.

Методика. Заключается в исследовании режимов обмена данными между микроконтроллерами типа ATmega32 фирмы Atmel и такими периферийными устройствами, как микросхема аналого-цифрового преобразователя MCP3204, которые являются составными частями платы AVRPLC16 v6 PLC System производства MikroElektronika D.O.O.

Результаты. Получены рекомендации относительно выбора режимов работы микроконтроллеров типа ATmega32 фирмы Atmel и построения схем подключения к ним периферийных устройств на примере микросхемы аналого-цифрового преобразователя MCP3204.

Научная новизна. Установлено, что применение интерфейса SPI позволяет выполнять до нескольких десятков тысяч выборок сигналов за одну секунду, обеспечив, таким образом, получение данных о быстротекущих технологических процессах.

Практическая значимость. Применение интерфейса SPI позволяет строить сложные системы автоматизации с минимизацией расходов на подключение периферийных устройств.

Ключевые слова: *последовательный периферийный интерфейс, ведущее устройство, ведомое устройство, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, дифференциальная нелинейность, интегральная нелинейность.*

APPLICATION OF INTERFACE SPI FOR CONNECTION OF MICROCONTROLLER WITH PERIPHERAL UNITS

LISOVETS S.N.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Expansion of functional possibilities of facilities of automation by connecting to the microcontroller of different peripheral units by the interface of SPI.

Methodology. Consists in research of the modes of exchange of data between microcontrollers as ATmega32 of firm Atmel and such peripheral units, as a microcircuit of ADC of MCP3204, that are component parts of pay of AVRPLC16 v6 PLC System productions of MikroElektronika D.O.O.

Findings. Recommendations are got in relation to the choice of the modes of operations of microcontrollers as ATmega32 of firm Atmel and construction of charts of connection to them of peripheral units on the example of microcircuit of ADC MCP3204.

Originality. It is set that application of interface of SPI allows executing to a few tens of thousands of selections of signals for one second, providing, thus, the receipt of data about fleeting technological processes.

Practical value. Application of interface of SPI allows to build the difficult systems of automation with minimization of charges on connection of peripheral units.

Keywords: *serial peripheral interface, driving equipment, driven equipment, analog-to-digital converter, microcontroller, differential nonlinearity, integral nonlinearity.*