

УДК 621

В.П. НЕЗДОРОВІН, Н.В. ГРИПІНСЬКА, Н.І. ПРАВОРСЬКА, С.Л. ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ

Буковинський державний медичний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ВАРІАТИВНИХ СЕНСОРНИХ ДАТЧИКІВ

Сенсорні пристрої вимагають забезпечення таких властивостей як мініатюризація, уніфікація інтерфейсів, мінімізація енергоспоживання, інтелектуалізація процесу вимірювання. Існуючі 8-бітні системи активно витісняються 32-бітними системами на базі ARM7 контролерів. Показано, що для підвищення гнучкості апаратної реалізації можливе застосування контролерів із програмованими логічними блоками. Розглянуто процес генерування логічних функцій, перегляд відповідної структури, а також формування програмного коду. Встановлено, що можливість зміни апаратної частини за рахунок динамічного завантаження відповідного коду надає можливість змінювати реакцію системи.

Ключові слова: програмована логіка, ARM7.

V.P. NEZDOROVIN, N.V. GRYPYNSKA, N.I. PRAVORSKA, S.L. HORIASCHENKO

Khmelnitskiy National University

A.V. KLEPIKOVSKIY

Bukovinian state medical university

## CONSTRUCTION OF VARIABLE SENSOR BY USE OF RECONFIGURABLE LOGIC

Annotation – Sensor devices requires such capabilities as miniaturisation, unification of hardware interface, minimisation of power consumption and intellectual measuring. Available for now 8-bit systems are replaced by 32-bit systems based on ARM7 core. Usage of programmable logic arrays can be used for creating flexible hardware of modern measuring devices. In article shown process of creating logical blocks in microconvertors ADuC 7000. As a result received variable logical structure and created program code for this structure. Program code can be used for reconfiguration of measuring device at running time. Hardware logic based on PLA can archive higher reaction speed on any event.

Keywords: measuring device, programmable logic array, ARM7.

### Вступ

Розвиток сучасної сенсорної електроніки зумовлений такими тенденціями як розширення функціональних можливостей, мініатюризація, уніфікація інтерфейсів, мінімізація енергоспоживання, інтелектуалізація процесу вимірювання [1, 2]. Сенсорні пристрої, що відповідають цим тенденціям, базуються на сучасній елементній базі сигнального перетворення – мікропроцесорах, високопрецизійних аналого-цифрових перетворювачах, низьковольтних мікропотужних Rail-to-Rail операційних підсилювачах тощо [3, 5, 6].

Ще кілька років тому 8-розрядні мікроконтролери були поза конкуренцією по рівню функціональної насиченості. Багато представників сімейств 8051, PIC, AVR давали розробникові можливість створити всю систему практично на єдиному кристалі [4]. В той же час 32-розрядні мікропроцесори представлялися якимись монстрами. Для створення закінчених систем на їх основі було потрібно досить багато зовнішніх компонентів: тактові генератори, монітори живлення, мікросхеми пам'яті і пристрою введення-виводу. Так було до тих пір, поки в справу не вступили компанії – лідери ринку 8-бітових мікроконтролерів: Atmel, Philips, STMicroelectronics та інші. Сьогодні вже можна з упевненістю сказати, що 32-розрядні мікроконтролери не тільки не поступаються, але часто і перевершують своїх 8-розрядних побратимів по рівню функціональної інтеграції.

### Вимоги до продуктивності системи і проблеми реального часу

Постійний розвиток ринку пред'являє вимоги до вбудовуваних систем, що постійно зростають. Наприклад, таке звичайне завдання для мікроконтролера як керування пральною машиною до недавнього часу зводилось до функцій кінцевого автомата на декілька станів, що керувався невеликою кількістю кнопок та пристроєм індикації стану на декількох світлодіодах. Мікроконтролери в сучасних пральних машинах вже повинні безпосередньо управляти електроприводом, мінімізуючи витрату електроенергії, контролювати склад хімікатів для зменшення шкідливих викидів, виводити інформацію на графічний дисплей і підтримувати мережеві комунікації для спілкування із службами сервісу. Для вирішення сукупності подібних завдань продуктивності 8-розрядних мікроконтролерів в часі та за обсягом функцій вже може бути недостатньо.

Очевидно, що по обчислювальній потужності 32-розрядні мікропроцесори знаходяться поза конкуренцією [7]. Проте при виборі мікроконтролера для систем реального часу принципово важливим є швидкість його відгуку на зовнішні події і, крім того, детермінованість цієї реакції – тобто час відгуку повинен знаходитися в достатньо вузьких часових межах незалежно від стану мікроконтролера у момент виникнення зовнішньої події.

Чи задовольняють цим вимогам мікроконтролери з ядром ARM? Найбільший внесок до

невизначеності часу реакції вносять такі елементи архітектури, як оперативна проміжна пам'ять (fast cache RAM). Кеш підвищує інтегральну продуктивність мікроконтролера за рахунок фонові попередньої вибірки інструкцій і даних з дещо повільної пам'яті (наприклад, FLASH пам'яті) в дуже швидко оперативну пам'ять, яка здатна працювати на одній частоті з ядром мікроконтролера. Проте, у разі виникнення зовнішньої події в мить, коли кеш не містить необхідної частини програми обробки події, в такому випадку потрібне виконання операції завантаження нових даних в кеш та подальша обробка цих даних. Тому реакція на цю подію може стати дуже повільною. А сам час реакції важко прогнозованим.

Тому для систем з такими вимогами найбільшого поширення набули мікроконтролери з ядрами ARM7TDMI, ARM7TDMI-S, які не мають спеціальної кеш-пам'яті і по реакції на переривання не відрізняються від звичайних 8-розрядних мікроконтролерів. Для максимального задоволення вимог реального часу розробники мікроконтролерів роблять додаткові заходи підвищення ефективності своїх систем. Проілюструємо деякі такі рішення на прикладі мікроконтролера AT91SAM7S компанії Atmel.

**Векторний контролер переривань мікроконтролера (на прикладі AT91SAM7S)**

Ядро ARM7 має всього два зовнішні входи переривання. Для систем реального часу цього явно недостатньо. Тому до складу мікроконтролера AT91SAM7S вводиться додатковий апаратний модуль, званий векторним контролером переривань, який забезпечує перехід на адресу обробки переривання одного з 32-х джерел переривань за допомогою єдиної команди переходу. Сенс його роботи зводиться до того, що до складу контролера входять 32 регістри адреси, в які заздалегідь записуються адреси підпрограм обробки для кожного з 32 можливих джерел переривання. При виникненні переривання ядро ARM викликає передачу управління на адресу, відповідну зовнішньому перериванню. За цією адресою розташовується інструкція, яка прочитає дані з контролера переривань, а контролер у цей момент підставляє значення саме того регістра адреси, яка відповідає виниклому перериванню. Таким чином, мікроконтролер переходить відразу на програму обробки потрібного переривання, не використовуючи ні єдиної додаткової інструкції. Крім того, в контролері є спеціальний тип переривань – FIQ (Fast Interrupt reQuest) призначений для швидкої реакції на переривання.

**Застосування програмованої логіки в цифрових системах**

Створені на базі RISC (Reduced Instruction Set Computer) архітектури обчислювального ядра мікроконтролери ADuC7019/20/21/22/24/25/26/27 фірми Analog Devices характеризуються збільшеною до 40 MIPS продуктивністю процесорного ядра, а, крім того, містять швидкодіючий багатоканальний 12-розрядний АЦП, до чотирьох ЦАП, контролери стандартних інтерфейсів для обміну даними із зовнішніми пристроями і модифіковану систему ФАПЧ [8]. У всіх мікроконтролерах серії ADuC7000 частота перетворення АЦП підвищена до 1 Мгц, збільшено число і розрядність вбудованих таймерів, а також міститься генератор ШИМ-сигнала. Перевага мікроконтролерів серії ADuC 7019/20/21/22/24/25/26/27 в порівнянні з іншими мікроконтролерами аналогічного класу полягає також ще і в тому, що вони містять вбудовані блоки програмованої логіки PLA (Programmable Logic Array), а це у багатьох випадках дозволяє скоротити сумарне число компонентів в системі.

Мікроконтролери ADuC7019/20/21/22/24/25/26/27 (рис. 1) призначені, в першу чергу, для застосування як інтелектуальні датчики в мережах збору даних, в засобах телекомунікацій, у вимірювальних портативних приладах з автономним живленням, пристроях управління/контролю параметрів технологічних процесів, портативних медичних приладах і в іншому вимірювальному устаткуванні високого класу. Високі параметри цих мікроконтролерів дають можливість створювати на їх основі недорогі вбудовані пристрої управління/контролю, що легко модифікуються, призначені для використання в модулях збору/обробки даних, орієнтованих на застосування в системах SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

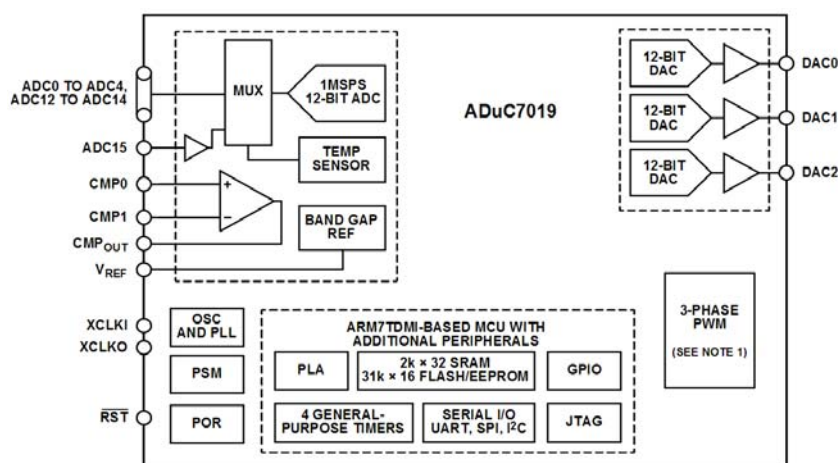


Рис. 1. Функціональна блок-схема мікроконтролера ADuC7019 [8]

Між собою модифікації мікроконтролерів серії ADuC7000 відрізняються числом ЦАП і вхідних каналів АЦП, що визначається типом корпусу.

Мікроконтролери ADuC7000 містять:

- високопродуктивне 16-/32-разрядное RISC-процесорне ядро ARM7TDMI
- багатоканальний (до 16 каналів) АЦП з максимальною частотою перетворення 1 МГц
- джерело еталонної напруги (2 500±10 мВ)
- температурний датчик
- до чотирьох ЦАП
- два блоки програмованої логіки (PLA)
- систему ФАПЧ
- контролер переривань
- чотири універсальні таймери
- генератор ШІМ-сигналу
- контролери послідовних портів (UART, SPI, I2C)
- схему перезапуску (Power ON Reset – POR)
- монітор джерела живлення (Power Supply Monitor – PSM)
- порти введення/виводу загального призначення (до 40 ліній)
- аналоговий компаратор
- JTAG-порт.

Спеціальною властивістю мікроконтролерів серії ADuC7000 являється наявність двох блоків програмованої логіки (рис. 2), що дозволяє зменшити число зовнішніх компонентів та понизити вартість системи в цілому. Кожен з блоків PLA (рис. 3) містить вісім логічних модулів, кожен з яких має підключення до входів GPIO (входи P1.1–P1.6, P0.0 та виходи P1.7, P0.4–P0.7, P2.0–P2.2 для першого блоку; входи P3.0–P3.7 та виходи P4.0–P4.7 для другого блоку), а також є доступ до джерела тактових сигналів від GPIO0-GPIO2, HCLK, OCLK, Timer1, Timer4.

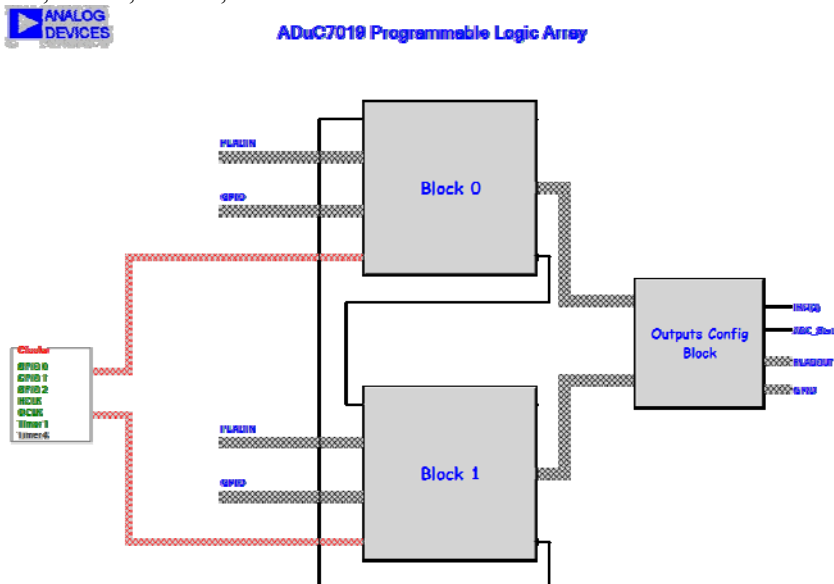


Рис. 2. Будова внутрішніх блоків програмованої логіки (PLA)

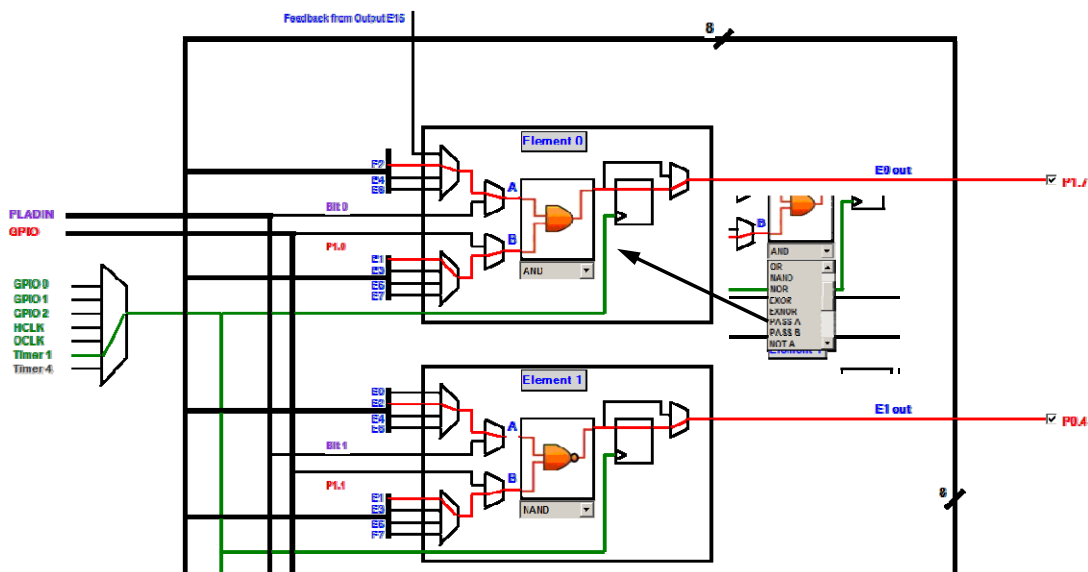


Рис. 3. Будова логічного блоку (фрагмент PLA Block 0)

Кожен логічний осередок (рис. 3) містить тригер, п'ять мультиплексорів і пристрій управління, що реалізує будь-яку логічну функцію два змінних (A, B). У середині кожного з блоків, використовуючи відповідні мультиплексори, до входів пристроїв управління можна підключити виходи інших логічних блоків.

Результат створення візуального поєднання логічних елементів (рис. 4) можна проконтролювати в середовищі розробки PLAtool, використання якого дозволяє швидко і ефективно проектувати різноманітні вузли на основі вбудованої в мікроконтролери ADuC7000 програмованої логічної матриці. Розробка функціональних вузлів на базі PLA проводиться в графічному режимі. Програмний пакет PLAtool відрізняється простою і інтуїтивно зрозумілою системою меню. Структурна схема логічного осередку і фрагмент графічного зображення проектованої схеми пристрою приведені на рис. 4. Використовуючи меню Help, можна знайти докладний опис процесу роботи ПО, а також приклад розробки простого пристрою на базі програмованої логічної матриці.

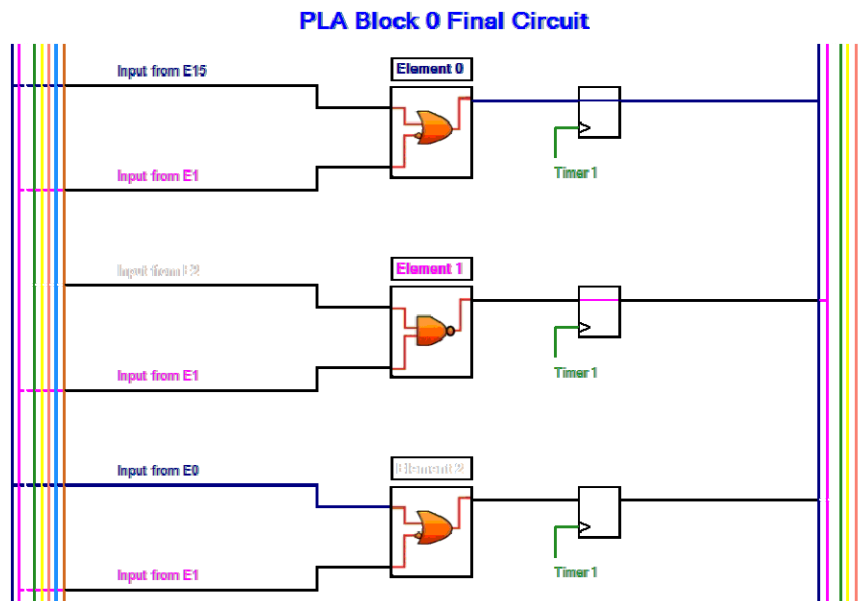


Рис. 4. Структура синтезованої логічної структури

Блоки PLA конфігуруються за допомогою запису коду у відповідні регістри: PLAELMx, PLACLK, PLAIRQ, PLAADC, PLADIN і PLADOUT. В результаті створення певної логічної структури можливим стає також і генерування відповідного програмного коду, що відповідає цій структурі:

```
//      Code Generated By the ADuC 7XXX PLA Tool
//FileType:   C PLA Configuration File
//Source:     C Source Code
//=====
#include "ADuC7019.h"

void    plaInitialize( )
{
    // Configure Port Pins for PLA mode
    GP0CON = 0x330000;
    GP1CON = 0x30000000;
    // Configure individual elements
    PLAELM0 = 0x0250;
    PLAELM1 = 0x024E;
    PLAELM2 = 0x005A;
    // Clk Source configuration
    PLACLK = 0x0005;
}
```

Підпрограма ініціалізації масиву логічних елементів може бути викликана в самому початку програмного коду, за необхідністю це може бути виконано в процедурі первинної ініціалізації контролера. Одночасно з цим, підпрограма ініціалізації масиву логічних елементів може бути виконана і в довільний момент часу. В тому числі і з новими значеннями порядку включення елементів.

Сучасні контролери володіють також і вбудованими елементами постійної (FLASH) так і електрично перепрограмованої (EEPROM) пам'яті. Достатній обсяг пам'яті та невеликий обсяг даних для конфігурування дозволяє зберігати декілька можливих варіантів конфігурації.

Проте не тільки контролери серії ADuC 7000 мають в своєму складі програмовані логічні елементи. Так на рис. показана схема конфігурування внутрішньої структури для контролера PIC16F1507, а деякі інші показані в таблиці 1. Для конфігурування доступні логічні функції ТАК, АБО, НІ, R-S тригер.

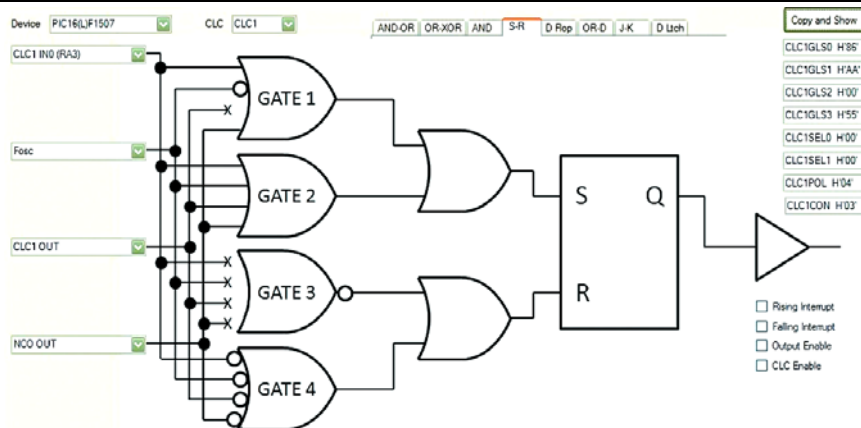


Рис. 5. Вікно утиліти конфігурації логічних осередків мікроконтролерів Microchip (середовище CLC Designer v.1.0.0.0)

Таблиця 1

Деякі PIC-мікроконтролери з логічними програмованими блоками [9, 10, 11]

Сімейство	АЦП, битий	Компаратор	ЦАП, битий	I/O, мА	ZCD	ШИМ, битий	COG	HLT
PIC1x(L) F150x	10	+	5	25		10		
PIC16(L) F161x	10	+	8	100	+	10		+
PIC16(L) F170x/1x	10	Швидкий	5/8	25	+	10	+	
PIC16(L) F176x	10	Швидкий	5/10	100	+	16	++	+
PIC16(L) F177x	10	Швидкий	5/10	100	+	16	+	+

### Висновки

Наявність конфігурованих логічних елементів програмним чином дозволяє в динамічному режимі змінювати апаратну логіку обробки вхідних сигналів сучасним мікроконтролером для високошвидкісних датчиків. Поєднання мікроконтролера для виконання програмних дій та блоку конфігурованих логічних елементів для виконання апаратних дій дозволяє виконати розділення операцій для побудови конфігурованих датчиків. Оскільки швидкість роботи апаратної частини знаходиться на рівні роботи процесорного ядра, то це дозволяє не тільки знизити навантаження на програмну частину контролера, а також надає можливість обробляти події практично миттєво.

### Література

1. Mark Balch. Complete Digital Design. McGraw-Hill. 2003. 481 P.
2. Schmalzel J.L., Rauth D.A. Sensors and signal conditioning // Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE. 2005. – Vol. 8. No 2. – P. 48–53.
3. Nauta Bram. Analog IC Design at the University of Twente // Solid-State Circuits Newsletter, IEEE. 2007. – Vol. 12. No 1. – P. 5–10.
4. Горященко К.Л. Використання самопрограмованих систем у конструюванні радіоелектронних засобів / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 194–196.
5. Аналогова мікросхемотехніка вимірювальних та сенсорних пристроїв / за ред. З. Готри, Р. Голяки. – Львів : Вид. Державного університету "Львівська політехніка", 1999. – 364 с.
6. Fraden J. Handbook of modern sensors: Physics, design, and applications. – Springer, 2004. – 580 p.
7. Горященко К.Л. Архітектура ARM як потенційна основа грид-інфраструктури наукової бази України / К.Л. Горященко, В.П. Нездоровін, Є. Г. Махрова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 204–208.
8. Precision Analog Microcontroller 12-bit Analog I/O, ARM7TDMI® MCU ADuC702x Series Preliminary Technical Data. – Analog Devices, 2005. URL: [www.analog.com](http://www.analog.com).
9. AN1271. Offline Power Converter for High-Brightness LEDs Using the PIC16HV785 Microcontroller. URL: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
10. TB3108. TRIAC Dimmable LED Driver Using PIC12HV752.
11. PIC12F752/HV752 Data Sheet (DS41576). URL: [www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41576C.pdf](http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41576C.pdf)

Рецензія/Peer review : 24.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 31.10.2016 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.