

Полупроводниковые цифровые датчики температуры

Н.Королев korolev@argussoft.ru ; А.Соловьев solo@argussoft.ru

ЗАО «АРГУССОФТ Компани» (т. (095)-217-2505, 217-2519)



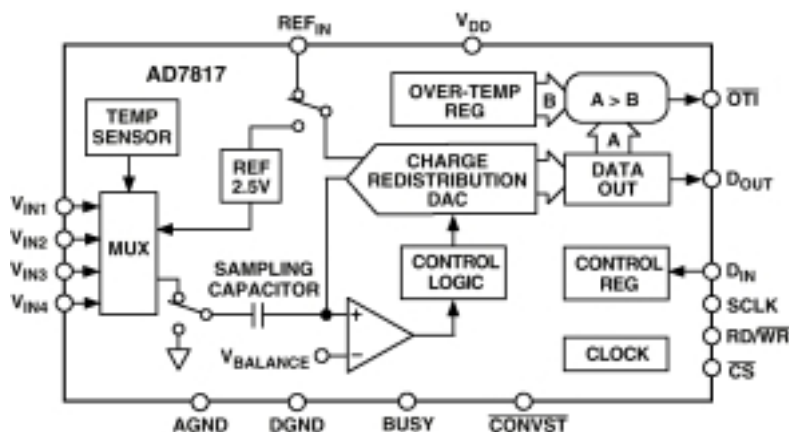
В современных промышленных измерительных системах все чаще используются датчики температуры с цифровым выходом. Эти "интеллектуальные" датчики самостоятельно оцифровывают измеряемый параметр, в данном случае - температуру, и передают информацию в цифровом коде по стандартному интерфейсу.

Фирма ANALOG DEVICES выпускает широкий спектр полупроводниковых датчиков температуры, как с аналоговым, так и с цифровым выходом. Данный материал посвящен новейшим микросхемам, обеспечивающим хорошую точность ($\pm 2^\circ\text{C}$ в полном диапазоне измерения температуры от -55°C до $+125^\circ\text{C}$) при минимальной стоимости и удобстве сопряжения с дальнейшими цепями обработки информации.

Фирма ANALOG DEVICES выпускает два семейства микросхем-термодатчиков со встроенным АЦП - AD7416/17/18 и AD7816/17/18. Первое семейство имеет интерфейс I²C, второе - SPI. Ниже рассматривается семейство микросхем AD7816/17/18. Эти микросхемы содержат на кристалле термодатчик, работающий в диапазоне температуры от -55°C до $+125^\circ\text{C}$ и 10-разрядный АЦП с временем преобразования 9 микросекунд (время преобразования по каналу измерения температуры составляет 27 микросекунд). При этом микросхема AD7818 имеет один дополнительный канал ввода аналоговой информации, а микросхема AD7817 – 4 таких канала. Режим автоматического уменьшения потребляемого тока обеспечивает исключительное снижение мощности до 4 мкВт при скорости опроса 100 измерений в секунду и 40 мкВт при скорости опроса 1000 измерений в секунду .

Микросхемы оснащены последовательным интерфейсом, обеспечивающим поддержку протоколов SPI и QSPI фирмы Motorola, а также протокола MICROWARE фирмы National Semiconductors. Внутренняя структура микросхемы AD7817 представлена на рис.1. [1]

Рис. 1.



Микросхема содержит на кристалле 10-битный АЦП последовательного приближения со схемой выборки-хранения на входе и шестиканальный мультиплексор, два канала которого используются внутри кристалла, а четыре выведены на внешние контакты. Общение с АЦП производится через два регистра - адресный регистр (АР) и регистр превышения заданного порога температуры (РПТ). Доступ к этим регистрам осуществляется

путем записи 8-битного слова, причем если пять старших бит управляющего байта установлены в ноль, то три младших бита интерпретируются как адресные. В табл.1 представлены адреса каналов для микросхемы AD7817.

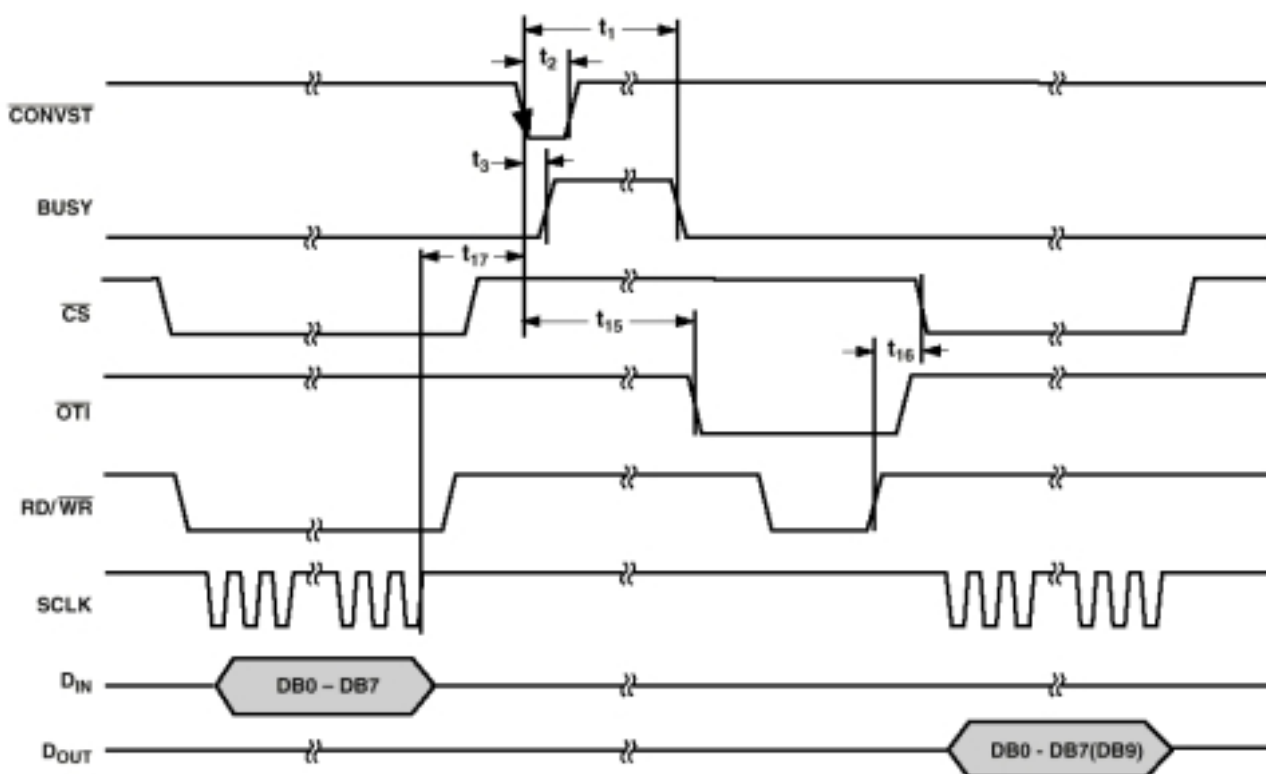
Табл. 1.

Адрес	Значение
000	Термодатчик
001	Канал 1 АЦП
010	Канал 2 АЦП
011	Канал 3 АЦП
100	Канал 4 АЦП
111	Внутренний ИОН (1,23 В)

Если любой из пяти старших бит не равен нулю, управляющий байт записывается в РПТ. После окончания операции измерения температуры производится сравнение 8 старших бит результата измерения и значения, записанного в РПТ. Если результат измерения температуры выходит за пределы допустимых значений, выход \overline{OTI} (Over-Temperature Indicator) принимает нулевое значение. Разрешение \overline{OTI} составляет 1°C. Рабочий диапазон температур составляет от 55°C до +125°C.

Микросхемы AD7816, AD7817 и AD7818 могут функционировать в двух режимах. Режим определяется уровнем напряжения на выводе \overline{CONVST} в момент окончания цикла преобразования. Если в конце преобразования сигнал на выводе \overline{CONVST} имеет высокий уровень, микросхема работает в режиме 1. Временные диаграммы для этого режима приведены на рис.2.[1]. При работе в этом режиме АЦП может быть запущен на новое преобразование через 100 нс после окончания операции чтения.

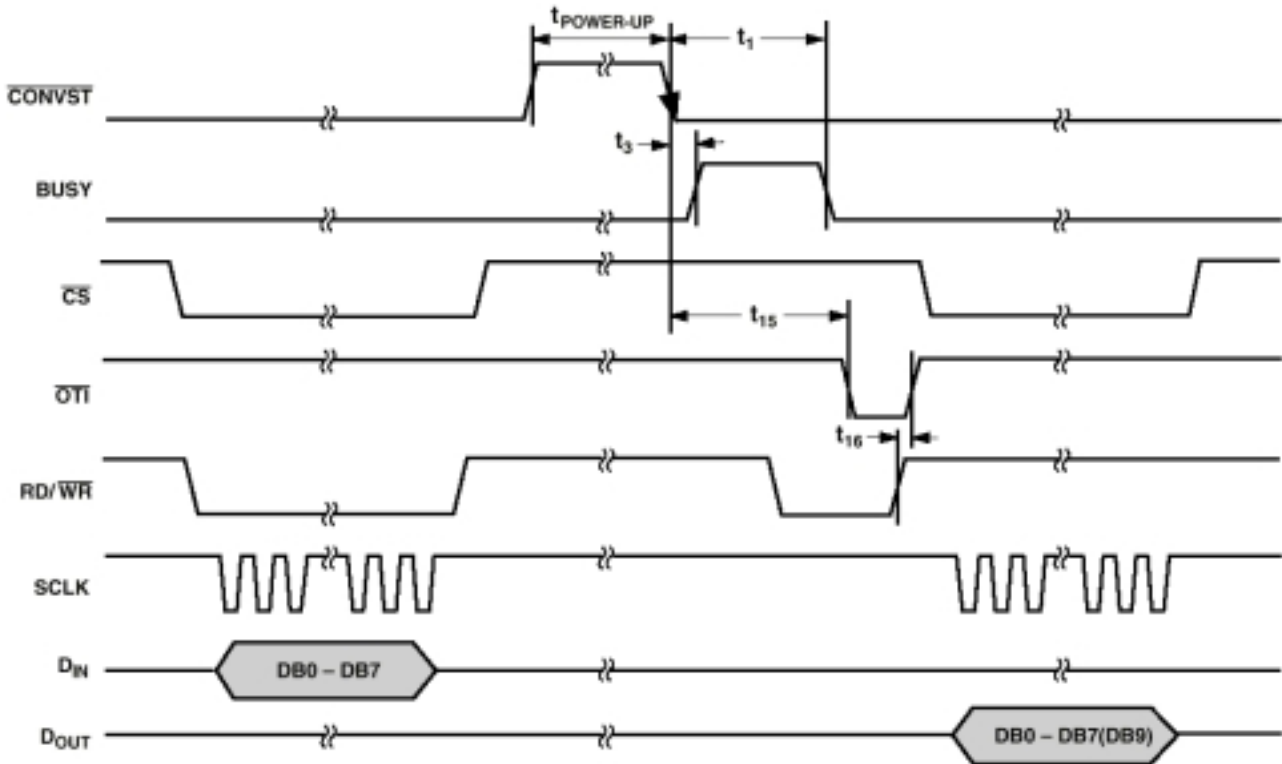
Рис. 2.



Когда АЦП работает в режиме 2, он после окончания цикла преобразования автоматически переходит в энергосберегающий режим. Сигнал на выводе \overline{CONVST} принимает значение логического нуля и остается в этом состоянии до окончания цикла преобразования. После возвращения сигнала \overline{BUSY} в состояние логической единицы, происходит снижение

уровня потребления мощности. В активный режим АЦП переходит по нарастающему фронту сигнала на выводе $\overline{\text{CONVST}}$. Соответствующие временные диаграммы представлены на рис.3.[1]

Рис. 3.



После подачи на микросхему питающего напряжения, она автоматически включается в режим измерения температуры. Температура, считанная с АЦП интерпретируется согласно формуле :

$$T_{\text{внеш.}} = -103 \text{ } ^\circ\text{C} + (\text{КОД АЦП} / 4),$$

т.е. температуре $+25 \text{ } ^\circ\text{C}$ соответствует код 1000000000 (512 дес.)

Поскольку АЦП откалиброван по прецизионному источнику опорного напряжения величиной 2.5 В, более точная передаточная функция, учитывающая особенности данного источника, будет выглядеть как :

$$\text{КОД АЦП (дес.)} = ([113.3285 * K * T] / [q * VREF] - 0.6646) * 1024,$$

- где $K=1.38 * 10^{-23}$ - константа Больцмана
 $q=1.6 * 10^{-19}$ - заряд электрона
 T – температура ($^\circ\text{K}$)
 $VREF$ – напряжение источника опорного напряжения (+2.5 В)

Данная передаточная функция позволяет учитывать возможные погрешности измерения, вносимые нестабильностью источника опорного напряжения. Как видно из формулы, при увеличении измеряемой температуры, абсолютная погрешность измерения увеличивается, что надо учитывать, и если есть на то необходимость, применять прецизионные внешние источники опорного напряжения.

Микросхемы семейства AD7816/17/18 достаточно просто стыкуются с различными микропроцессорами. Работа последовательного интерфейса микросхемы, а также возможные погрешности измерения температуры от саморазогрева микросхемы при работе с повышенной частотой измерений, подробно описаны в [1]. Мы считаем что наибольшей наглядностью и информативностью обладает практическая работающая схема, позволяющая пользователю без особых проблем включить данную микросхему и воочию убедиться во всех ее преимуществах.

В Приложении 1 (рис.4) приводится схема и исходные коды на языке ассемблера микроконтроллера семейства AVR (AT90Sxxxx, изготовитель – фирма ATMEL) автономной 4-канальной измерительной системы с цифровым термометром, выполненной на микросхемах AD7817, AT90S8515 и ЖКИ HDM16216L (изготовитель – фирма HANTRONIX, США, который используется для вывода значения температуры или аналоговых сигналов, считанных с микросхемы AD7817.

Специалисты ЗАО «АРГУССОФТ Компани» разработали, также, компактное устройство на основе микросхем AD7817, ADM202 и AT90S2313, позволяющее обеспечить измерение температуры окружающей среды, оцифровку нескольких аналоговых сигналов и ввод их в компьютер по интерфейсу RS-232. Всю дополнительную информацию как по данному устройству, так и по микросхемам фирмы ANALOG DEVICES можно получить в ЗАО «АРГУССОФТ Компани», официального дистрибьютора ANALOG DEVICES на территории стран СНГ и Балтии.

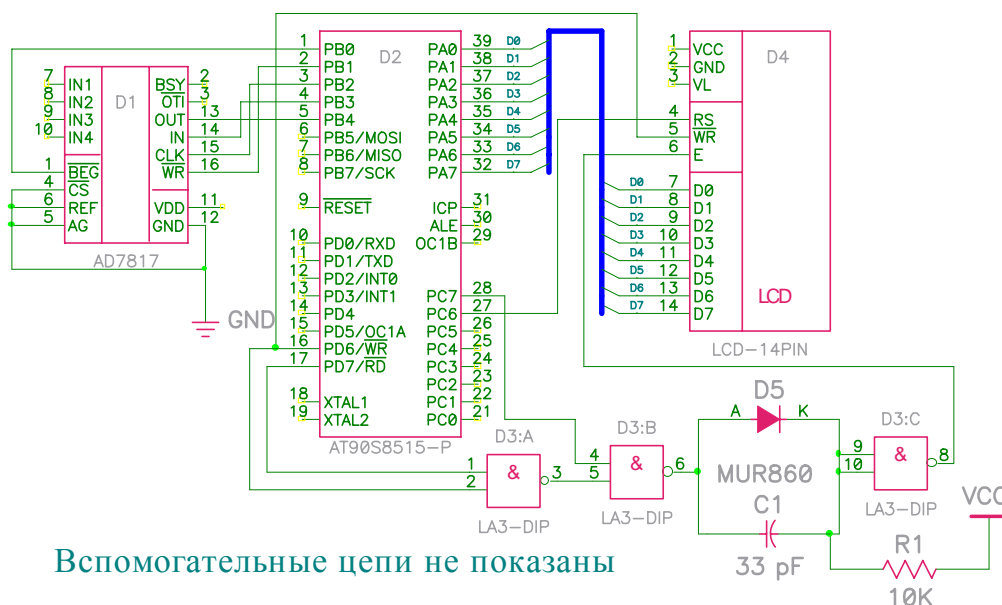
Литература

[1]. AD7816/17/18 – 4 channel, 10 us, 10-bit ADC with on-chip Temperature Sensor, - Data Sheet, Rev.0, 11-1998. ANALOG DEVICES.

Приложение 1

Рис.4.

Принципиальная схема цифрового термометра на базе микросхемы AD7817



Приводимая ниже программа написана на языке ассемблера для AVR-микроконтроллера AT90S8515 и может быть легко перекомпилирована для работы практически с любым микроконтроллером семейства AVR.

```

.INCLUDE "8515DEF.INC"
;Version 1.02
; On STK200:
; PORT B.
; - PB0:  $\overline{\text{STRT}}$  (active low)
; - PB1:  $\overline{\text{WR}}$  (0 <=> write)
; - PB2: CLK
; - PB3: Out
; - PB4: In
; - PB5: BSY

; Описание адресов для AD7817
.EQU ADC      = PORTB
.EQU ADCIN    = PINB
.EQU ADCDIR   = DDRB

.EQU STRT = 0
.EQU RW   = 1
.EQU CLK  = 2
.EQU Dout = 3
.EQU Din  = 4
;.EQU BUSY = 5 ; Not connected yet.

; Инициализация стека
LDI R16,$02
OUT SPH,R16
LDI R16,$5F
OUT SPL,R16
LDI R16,$FF
OUT DDRD,R16
OUT DDRA,R16
OUT DDRC,R16

LDI R16,0B11101111
OUT ADCDIR,R16

; Основная программа
MAIN_PROG:
RCALL LCD_RESET
CLR R7

MAIN_LOOP:
LDI ZL,LOW(TITLE*2)
LDI ZH,HIGH(TITLE*2)
LDI R23,$80

; Цикл вывода верхней строки
TEMPERATURE_LOOP:

LPM
MOV R16,R0
CPI R16,0
BREQ STOP_LCD
CPI R23,$8F
BREQ STOP_LCD
RCALL LCD_WRITE
ADIW ZL,1
RJMP TEMPERATURE_LOOP

; Вывод верхней строки завершен
STOP_LCD:

; Вывод температуры
RCALL READTEMP
; Температура в R17

; Сотни
LDI R16,'0'
; Пока больше 100, увеличивать R16
MORE100:
CPI R17,100
BRLO LESS100
INC R16
SUBI R17,100
RJMP MORE100
; Вывести R16
CPI R16,'0'
BREQ SKIP100
LESS100:
RCALL LCD_WRITE
SKIP100:

; Десятки
LDI R16,'0'
MORE10:
CPI R17,10
BRLO LESS10
INC R16
SUBI R17,10
RJMP MORE10
LESS10:
RCALL LCD_WRITE

; Единицы
LDI R16,'0'
MORE1:
CPI R17,1

```

```

BRLO LESS1
INC R16
SUBI R17,1
RJMP MORE1
LESS1:
LDI R16,'Я'
RCALL LCD_WRITE
LDI R16,'C'
RCALL LCD_WRITE

;; DEBUG!
;RJMP MAIN_LOOP

; Бегущая строка
;LDI ZL,LOW(RUNSTR*2)
;LDI ZH,HIGH(RUNSTR*2)
;ADD ZL,R7
;BRCCNOT_INC_ZH
;INC ZH
;NOT_INC_ZH:
;LDI R23,$C0

; Цикл вывода
;RUNSTR_LOOP:
;LPM
;MOV R16,R0
;CPI R16,0
;BREQRESET_RUN
;CPI R23,$CF
;BREQSTOP_RUN
;RCALL LCD_WRITE
;ADIWZL,1
;RJMP RUNSTR_LOOP
;RESET_RUN:
;CLR R7
;STOP_RUN:
;INC R7

; Конец программы

LDI R16,10
FINISH_DELAY:
RCALL DELAY4MS
DEC R16
TST R16
BRNE FINISH_DELAY

; В начало
RJMP MAIN_LOOP

; Сброс индикатора
LCD_RESET:
RCALL DELAY4MS

```

```

; Вывести R16
RCALL LCD_WRITE

; Вывести 'градус C'
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS

CBI PORTC,6
CBI PORTD,6

LDI R21,$38
OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY4MS

OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY100US

OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY100US

LDI R21,$06
OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY4MS

LDI R21,$0C
OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY4MS

LDI R21,$01
OUT PORTA,R21
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY4MS

RET

; Импульс записи LCD
LCD_EPULSE:
SBI PORTC,7
NOP
NOP

```

```
NOP
CBI PORTC,7
RET
```

```
LCD_WRITE:
CBI PORTC,6
CBI PORTD,6
OUT PORTA,R23
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY30US
LCD_WRITEQUICK:
SBI PORTC,6
OUT PORTA,R16
RCALL LCD_EPULSE
RCALL DELAY30US
INC R23
RET
```

```
; Задержки
DELAY30US:
PUSH R21
LDI R21,$30
LOOP4:
DEC R21
BRNE LOOP4
POP R21
RET
```

```
DELAY40US:
PUSH R21
LDI R21,$40
LOOP3:
DEC R21
BRNE LOOP3
POP R21
RET
```

```
DELAY100US:
PUSH R21
LDI R21,$88
LOOP:
DEC R21
BRNE LOOP
POP R21
RET
```

```
DELAY4MS:
PUSH R21
PUSH R22
LDI R22,$1C
LOOP1:
LDI R21,$00
LOOP2:
```

```
DEC R21
BRNE LOOP2
DEC R22
BRNE LOOP1
POP R22
POP R21
RET
```

```
; Работа с AD7817
READTEMP:
CBI ADC,RW ; Запись
RCALL DELAY4MS
CBI ADC,Dout ; Пишем 0
LDI R16,8 ; 8 раз
SEND_ZERO:
RCALL ADC_PULSE
DEC R16
BRNE SEND_ZERO
RCALL ADC_START ; Запуск
CLR R17 ; Будущая температура
LDI R16,8 ; 8 раз
READBYTE:
PUSH R16
RCALL ADC_READ ; Читаем бит
LSL R17 ; Данные = Данные << 1
BLD R17,0 ; + считанный бит
POP R16
DEC R16
BRNE READBYTE

SUBI R17,103
```

```
RET
```

```
; Импульс записи AD7817
ADC_PULSE:
SBI ADC,CLK
RCALL DELAY40US
CBI ADC,CLK
RCALL DELAY40US
RET
```

```
; Запуск АЦП
ADC_START:
CBI ADC,RW
SBI ADC,STRT
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
RCALL DELAY4MS
CBI ADC,STRT
```

RET

; Ожидание готовности

ADC_WAIT:

;SBIC ADCCR,BUSY

;RJMP ADC_WAIT

RCALL DELAY100US

RCALL DELAY100US

RCALL DELAY100US

;NOP

;NOP

;NOP

RET

; Чтение БИТА во временный бит-флаг AVR

ADC_READ:

SBI ADC,RW

CBI ADC,CLK

RCALL DELAY100US

RCALL DELAY100US

IN R16,ADCIN

BST R16,Din ; Переписать бит

Din в temp

RCALL DELAY100US

RCALL DELAY100US

SBI ADC,CLK

RCALL DELAY100US

RCALL DELAY100US

RET

; Пишется перед температурой

TITLE: .DB "Curr.temp. ",0

RUNSTR: .DB " Running string

demo. ",0