

ческий риск разработки новой конструкции за счет использования уже отработанных в производстве (в том числе и в серийном) элементов.

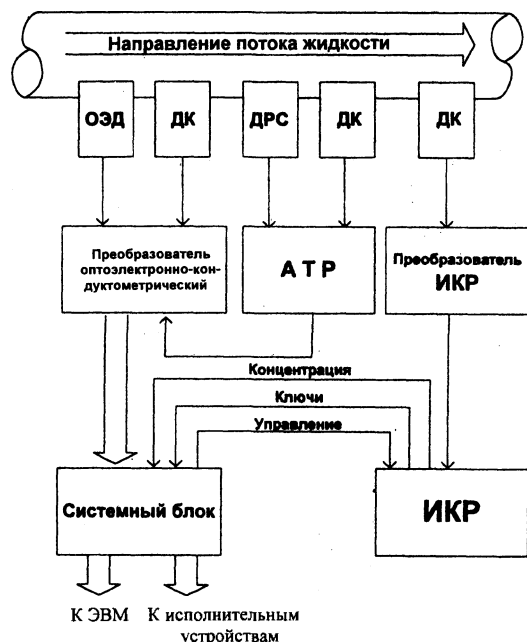


Рис. 4. Структурная схема ИИС ИТС

Из четырех указанных типов СИ первый прошел стадии НИОКР, подготовки производства, освоения, серийного производства. В настоящее

время в соответствии с Разрешением Минздрава РБ (удостоверение № 08-33-0.143734 от 28.06.2000) приборы ИКР эксплуатируются на 25-ти предприятиях молокоперерабатывающей промышленности Республики Беларусь.

Остальные три типа узаконенных СИ к настоящему времени прошли стадии НИОКР и подготовки производства.

Отметим, что описанные в статье мероприятия по метрологическому обеспечению средств измерений параметров жидких сред представляют систему взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, находящуюся в непрерывном развитии. Дальнейшее совершенствование этой системы связано как с разработкой новых СИ в соответствии с требованиями предприятий-заказчиков, так и с анализом накопленного опыта эксплуатации ранее выпущенных и поставленных СИ и опыта функционирования системы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. МИ 2336-95. Характеристики погрешности результатов количественного химического анализа. Алгоритмы оценивания.
2. ГОСТ 1.25-76. ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения.

УДК 621.38.087.92

ПОСТРОЕНИЕ АДП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 8051-СОВМЕСТИМЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Асп. ПЕТРОВ С. П.

Белорусский национальный технический университет

Адресно-аналоговые извещатели завоевывают широкую популярность на рынке охранно-пожарных систем. Это объясняется тем, что приборы данного типа позволяют с большей вероятностью и за более короткое время обнаружить очаг возгорания.

Для построения интеллектуальных адресных и особенно адресно-аналоговых пожарных извещателей идеально подходят микроконтроллеры.

Это обусловлено:

- возможностью сложной математической

обработки сигнала от первичного преобразователя;

- наличием последовательных интерфейсов передачи данных;
- возможностью работы в режиме низкого энергопотребления.

К сожалению, у наиболее дешевых микроконтроллеров отсутствует аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), необходимый для ввода информации с сенсора. Применение же контроллеров с АЦП (например, серии PIC16C7X) приводит к существенному росту стоимости извещателей.

Можно предложить два пути решения этой проблемы. Первый – использование внешнего АЦП, второй – программно-аппаратная реализация АЦП с использованием дополнительных навесных элементов и свободных цифровых портов ввода-вывода микроконтроллера.

Первый способ реализует стандартное включение АЦП, рекомендованное их разработчиком и не требующее дополнительных схемотехнических ухищрений. К его достоинствам также можно отнести то, что всю работу по преобразованию аналогового сигнала в цифровой возлагает на себя микросхема АЦП. Контроллеру только остается прочитать цифровой эквивалент аналогового сигнала с шины данных АЦП. Поскольку преобразование в ИМС АЦП идет на аппаратном уровне, такое решение – оптимальное по быстродействию и точности. Кроме того, оно не использует вычислительную мощность самого микроконтроллера.

Недостатки этого метода заключаются в увеличении энергопотребления и стоимости устройства. Причем для рассматриваемого применения эти недостатки являются решающими.

При работе с медленно изменяющимися сигналами (в рассматриваемом случае – изменение температуры, задымленности окружающей среды) высокая скорость преобразования не нужна, поэтому можно использовать АЦП, реализованный программно с помощью контроллера и нескольких дополнительных навесных элементов. Анализ такой возможности посвящена настоящая статья. В качестве примера рассматривается построение АЦП на основе микроконтроллеров серии AT89S8252 фирмы Atmel.

АЦП с использованием конденсатора. Данный способ предлагается фирмой Microchip для

построения АЦП на базе микроконтроллеров серии PICXXXX. Однако он может быть применен и для любых других микроконтроллеров, имеющих таймер и вход прерывания от внешнего источника. Структурная схема АЦП изображена на рис. 1.

Для аналогово-цифрового преобразования используется измерение времени заряда эталонного конденсатора до момента срабатывания компаратора.

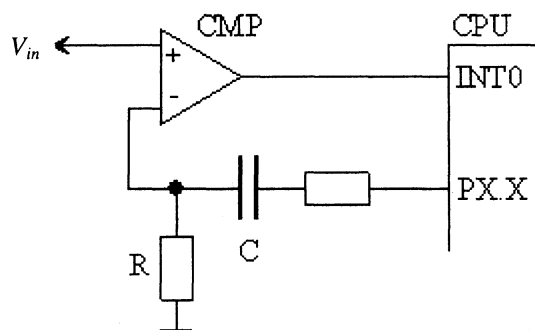


Рис. 1. Построение АЦП с помощью зарядного конденсатора

В [1] указана точность преобразования такого АЦП, которая достигает не менее 1 %.

Преимущества данного метода:

- использование всего двух линий ввода-вывода;
- малое количество дополнительных элементов.

Недостаток – необходимость задействования линии внешнего прерывания и аппаратного таймера. Кроме того, при измерении возникает погрешность, которая обусловлена нелинейной зависимостью напряжения на конденсаторе от времени. Эту погрешность можно исключить последующей цифровой обработкой сигнала, что потребует затрат аппаратных ресурсов микроконтроллера.

К недостаткам можно также отнести наличие погрешности из-за температурного изменения емкости зарядного конденсатора.

Из сказанного следует, что данный метод хорошо подходит для случая, когда имеются свободные линии внешнего прерывания при недостатке портов ввода-вывода.

В случаях, характерных для дешевых микроконтроллеров, когда имеются свободные порты ввода-вывода, но нет внешних линий прерыва-

ния или свободных таймеров, может быть рекомендован следующий метод.

Аппаратно-программный АЦП с использованием резистивной матрицы. Суть этого метода заключается в аппаратно-программной реализации АЦП с использованием свободных ресурсов контроллера. Структурная схема АЦП изображена на рис. 2.

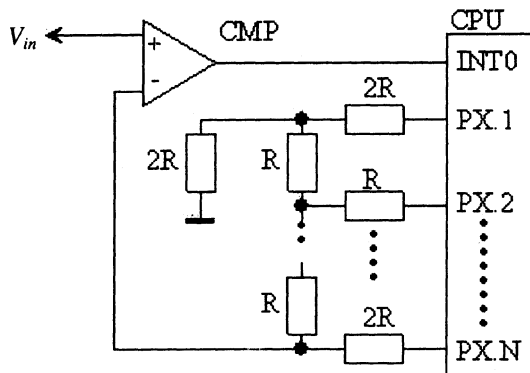


Рис. 2. Построение АЦП с помощью R-2R резистивной матрицы

Проще всего в данном АЦП может быть реализован метод последовательного счета. При этом на выходах порта $PX.1 - PX.N$, где N – число разрядов, задействованных для проведения аналогово-цифрового преобразования (разрядность АЦП), последовательно перебираются цифровые комбинации от 0 до 2^N . Одновременно на выходе резистивной матрицы R-2R изменяется напряжение от нуля до $V_{лог.1}$ с шагом $V_{лог.1}/2^N$. При достижении на выходе резистивной матрицы напряжения, равного входному измеряемому напряжению, компаратор переключается, вызывая прерывание работы контроллера. Число на выходе порта PX в момент наступления прерывания и является числовым аналогом входного напряжения в двоичном виде.

Оценим максимальное время преобразования АЦП с использованием микроконтроллера AT89S8252-24PC фирмы Atmel [2] с тактовой частотой 24 МГц. Поскольку алгоритм преобразования реализуется программно, значит, и время преобразования будет зависеть от времени выполнения программы.

Допустим, резистивная матрица подключена к портам $P1$, тогда программа преобразования имеет следующий вид:

Исполняемый код	Количество периодов тактового генератора на исполнение инструкции
<code>mov P1, 0h</code>	24
<code>cycle_measure: inc P1</code>	12
<code>ajmp cycle_measure.</code>	24

Фрагмент программы рассчитан на использование аппаратного прерывания.

Если свободного аппаратного прерывания нет, то можно использовать любой порт ввода-вывода, например $P2.0$. В этом случае программный код будет иметь следующий вид:

Исполняемый код	Количество периодов тактового генератора на исполнение инструкции
<code>mov P1, 0h</code>	24
<code>cycle_measure: inc P1</code>	12
<code>jb P2.0, cycle_measure.</code>	24

Приведенные данные позволяют оценить максимальное время преобразования аналоговой величины в цифровую.

Время выполнения данного кода

$$t = (1/f)(n_1 + (n_2 + n_3)N),$$

где f – тактовая частота работы микроконтроллера (для AT89S8252-24PC $f = 24$ МГц); n_1, n_2, n_3 – количество тактов задающего генератора для выполнения инструкции; $N = 255$ – количество повторений цикла `cycle_measure`.

Подставляя численные значения, получим $t = 383,5$ мкс, что на порядок выше, чем у ИМС K1113ПВ1.

Некоторое уменьшение времени преобразования возможно при использовании следующего программного кода:

```
mov P1, 0h
inc P1
inc P1
.....
inc P1.
```

Количество строк с командой `inc P1` для 8-разрядного АЦП должно быть равным $2^N - 1 = 255$. Для этого случая время преобразования $t = 128,6$ мкс, что примерно в 3 раза меньше первоначального. Однако в данном случае

используется значительно больше памяти программ (примерно 512 байт, против 7 байт в случае использования программного цикла).

Дальнейшее уменьшение времени преобразования возможно при реализации алгоритма по-разрядного уравнивания. При этом в начальный момент времени на всех линиях АЦП, построенного на резистивной матрице R-2R, устанавливаются уровни логического нуля. Микроконтроллер переключает старший разряд в единицу и определяет состояние компаратора. Если произошло переключение компаратора, то линия возвращается в состояние логического нуля, если переключение не произошло, то линия остается в состоянии логической единицы. Таким образом последовательно перебираются все разряды, начиная со старшего. Фрагмент программы на Ассемблере, реализующий алгоритм последовательного приближения, приведен ниже:

```

                                mov P1, #0h
                                setb P1.7
                                jb P2.0, bit7_clr
bit6_set:                       setb P1.6
                                jb P2.0, bit6_clr
bit5_set:                       setb P1.5
                                jb P2.0, bit5_clr
bit4_set:                       setb P1.4
                                jb P2.0, bit4_clr
bit3_set:                       setb P1.3
                                jb P2.0, bit3_clr
bit2_set:                       setb P1.2
                                jb P2.0, bit2_clr
bit1_set:                       setb P1.1
                                jb P2.0, bit1_clr
bit0_set:                       setb P1.0
                                jb P2.0, bit0_clr
ADC_end:                       mov R1, P1

bit7_clr:                       clr P1.7
                                ajmp bit6_set
bit6_clr:                       clr P1.6
                                ajmp bit5_set
bit5_clr:                       clr P1.5
                                ajmp bit4_set
bit4_clr:                       clr P1.4
                                ajmp bit3_set
bit3_clr:                       clr P1.3
                                ajmp bit2_set
bit2_clr:                       clr P1.2
                                ajmp bit1_set
bit1_clr:                       clr P1.1
                                ajmp bit0_set
bit0_clr:                       clr P1.0
                                ajmp ADC_end

```

Максимальное время преобразования при работе по этому алгоритму для 8-разрядного АЦП при тактовой частоте микроконтроллера, равной $f = 24$ МГц, составляет

$$t = 1/f(24 + (24 + 12) \cdot 8 \cdot 2) = 24,6 \text{ мкс},$$

что сравнимо со временем преобразования аппаратных АЦП. Программный код занимает в ПЗУ микроконтроллера 74 байта, что несколько больше, чем при использовании алгоритма последовательного счета с циклом, и значительно меньше, чем при использовании линейного алгоритма последовательного счета.

Преимуществом данной схемы является слабая зависимость точности преобразования от температуры, поскольку при ее изменении изменяется сопротивление всех резисторов матрицы. В результате напряжение на выходе R-2R матрицы остается постоянным.

Для проверки работоспособности предложенного схемотехнического решения был создан аналогово-цифровой преобразователь с использованием микроконтроллера AT89S8252: на вход АЦП подавалось напряжение 0...4,6 В, контролируемое вольтметром М830В на пределе измерения 20 В при напряжении питания компаратора 5 В и температуре окружающей среды 21 °С. Результаты преобразования АЦП контролировались с помощью светодиодного индикатора.

Экспериментальные исследования показали, что преобразование сохраняет линейность до уровня входного напряжения, равного 4,1 В при нелинейности не более 2,3 %.

В процессе отладки программы для микроконтроллера выяснилось, что время преобразования АЦП определяется не скоростью отработки инструкций в микроконтроллере, а задержкой переключения компаратора. Как видно из результатов моделирования его работы (рис. 3), время задержки переключения компаратора на ОУ LM358 составляет примерно 20...22 мкс, что было учтено при написании программы. Поэтому максимальное время преобразования равно

$$t = 383,5 \text{ мкс} + (25 \text{ мкс} \cdot 255) = 6,758 \text{ мс}.$$