



УДК[658.5.012.1]

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ADuC7061

Дьякова А. А., Мазур А. В., Ковальчук Д. А., Пушкин А. А.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Аннотация: В статье рассматриваются основные принципы построения многоканальной системы сбора и предварительной обработки информации о состоянии объекта управления в реальном времени.

Abstract: The article considers the basic principles of multichannel data collection and preprocessing of information on the state of the control object in real time.

Ключевые слова: АЦП, сенсор, калибровка, термометр сопротивления, линеаризация.

Применение современных компьютерных технологий для исследования термодинамических процессов, протекающих в сложных объектах управления с распределенными параметрами, предполагает использование большого количества быстродействующих высокоточных сенсоров расположенных в различных точках объекта. Информация, считанная с этих сенсоров во время проведения экспериментальных исследований, может помочь составить более полное представление о динамике и статике протекающих процессов для синтеза эффективных алгоритмов управления. Получение такой информации в реальном времени возможно с помощью многоканальной системы сбора данных, основными задачами которой являются:

- 1) Формирование сигналов сенсоров;
- 2) Мультиплексирование измерительных каналов сенсоров
- 3) Нормирование сигналов измерительных каналов сенсоров;
- 4) Аналого-цифровое преобразование;
- 5) Цифровая фильтрация сигналов измерительных каналов в реальном времени;
- 6) Линеаризация статических характеристик сенсоров в реальном времени;
- 7) Калибровка измерительных каналов.

Рассмотрим вариант построения такой системы на базе прецизионного аналогового микроконтроллера ADuC7060/61 Analog Devices. Микроконтроллеры ADuC7060/61 - это «система на кристалле» в которую интегрированы практически все элементы необходимые для построения высокоточной системы сбора и предварительной обработки данных (см. рис 1).

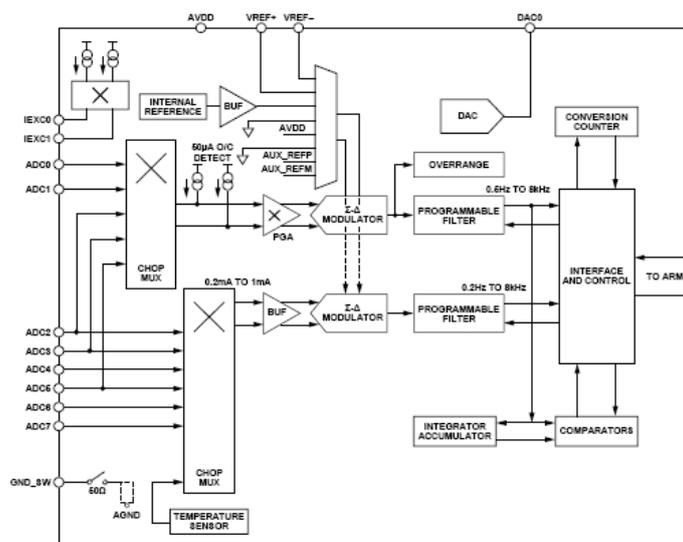


Рис 1. Функциональная блок-диаграмма аналоговой части контроллера ADuC7061



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

Они предназначены для построения систем сбора информации с питанием по линиям стандартных интерфейсов. Их основной особенностью является низкая потребляемая мощность (2,74 мА в активном режиме при частоте тактового генератора ядра 640 кГц и 10 мА — при частоте 10,24 МГц).

Процессоры ADuC7060/ADuC7061 включают в себя 16/32- разрядное ядро ARM7TDMI, работающее от встроенного тактового генератора и обеспечивающее производительность до 10 MIPS, статическое ОЗУ 4кБ, 32кБ энергонезависимой флеш-памяти и разнообразную периферию. В аналоговую периферию входят два многоканальных 24-разрядных сигма-дельта АЦП с частотой отсчетов до 8 кГц. (главный и дополнительный), 14-разрядный ЦАП, два программируемых источника тока возбуждения датчиков (0,2 – 1.0 мА, 20 ppm/°C), прецизионный источник опорного напряжения (1,2В, 20 ppm/°C) и датчик температуры.

В состав цифровой периферии входят четыре таймера, шестиканальный ШИМ(PWM), векторный контроллер прерываний, 14 входов-выходов общего назначения(GPIO), интерфейсы UART, SPI и I2C.

На рис.2 представлена схема подключения одиночного преобразователя температуры.

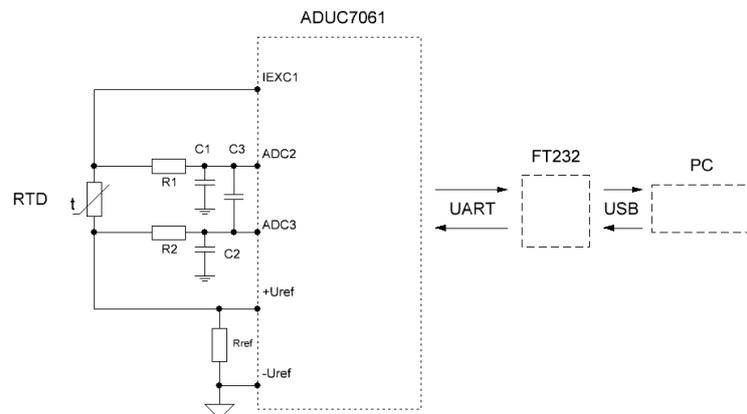


Рис 2. Схема подключения одиночного датчика температуры

В качестве первичного преобразователя температуры в диапазоне $-50...+130^{\circ}\text{C}$ в схеме используется платиновый терморезистор R_x типа PCS 1.1503.1 с сопротивлением $R_x = 1000\text{Ом}$ при 20°C .

Для формирования опорного напряжения АЦП применен прецизионный металлофольговый резистор с номинальным сопротивлением $R_{ref} = 6,82\text{кОм}$ (ТКС $< 1\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$) Формирование сигнала датчика U_x и опорного напряжения U_{ref} осуществляется за счет тока программируемого источника IEXC0.

Для обеспечения требуемого значения опорного напряжения АЦП $U_{refmin} \approx 1,2\text{ В}$, при выбранном значении резистора R_{ref} , выходной ток IEXC0 $I_{ref} = 200\text{мА}$. При этом напряжение, снимаемое с терморезистора RTD на верхнем пределе измерения, не превышает значения $U_{in} = 300\text{мВ}$.

Входное напряжение $U_{in} = I_{ref} \cdot R_x$, где I_{ref} – опорный ток, R_x – сопротивление опрашиваемого датчика. В свою очередь опорное напряжение $U_{ref} = I_{ref} \cdot R_{ref}$, где R_{ref} – сопротивление опорного резистора. Из последнего выражения: $I_{ref} = U_{ref} / R_{ref}$.

Соответственно, $U_{in} = \frac{U_{ref} \cdot U_x}{R_{ref}}$. Число N , считываемое с АЦП равно: $N = \frac{U_{in}}{U_{ref}} \cdot 2^n$.

где N – текущий отсчет, U_{in} – входное напряжение, U_{ref} – опорное напряжение, n – разрядность АЦП (в данном случае $n = 24$)

$$\text{Подставим } U_{in} \text{ в предыдущую формулу: } N = \frac{U_{ref} \cdot R_x}{U_{ref} \cdot R_{ref}} \cdot 2^n = \frac{R_x}{R_{ref}} \cdot 2^n.$$

Таким образом, в данной схеме включения температурный дрейф преобразователя не зависит от нестабильности встроенного источника тока IEXC0 (20 ppm/°C) и встроенного источника опорного напряжения (20 ppm/°C), и определяется температурной стабильностью опорного резистора (ТКС $< 1\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$).

Структура аналоговой части контроллера предусматривает усиление по каждому каналу с помощью программируемого усилителя (PGA), который расположен на входе основного АЦП. PGA может быть



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

запрограммирован на усиление в диапазоне от 1 до 512 с шагом 2^n , коэффициент усиления его контролируется настройками соответствующего регистра. В рассматриваемом случае для обеспечения измерения в полном динамическом диапазоне необходимо усилить значение U_{in} , равное 300мВ, в 4 раза.

Оба АЦП микроконтроллера могут работать в двух основных режимах – одиночного преобразования и непрерывного преобразования. При работе с внешним мультиплексором в режиме непрерывного преобразования существенную погрешность в результаты измерений вносят переходные процессы, возникающие при переключении каналов, так как, в этот момент происходит разрыв цепи измерительного тока. При этом ток через R_{ref} не течет, соответственно, опорное напряжение равно нулю, что эквивалентно делению на ноль и приводит к переполнению АЦП. В связи с этим основной режим работы АЦП – режим однократного преобразования с запуском по прерыванию от Таймера.

ADuC7061 имеет векторную систему контроллера прерываний (VIC), которая поддерживает вложенные прерывания до восьми уровней. VIC также позволяет программисту назначить приоритет для всех источников прерываний. В программе опроса датчиков наивысший приоритет имеет внешнее прерывание – команда-запрос от компьютера о необходимости измерения и вывода результата от того или иного датчика. Далее в порядке убывания приоритета обозначаются: прерывание по Таймеру – на включение АЦП; прерывание от самого АЦП и прерывание от UART.

В состав МК входит встроенный аппаратный цифровой фильтр, который позволяет усреднять данные, поступающие АЦП. Однако, для фильтрации сигналов в более широком диапазоне, необходимо применение программной фильтрации поступающих данных. Для этого предлагается использовать цифровой фильтр, работающий по принципу скользящего среднего и являющийся разновидностью фильтра с конечной импульсной характеристикой. Характерной его особенностью является ограниченность по времени его импульсной характеристики (с какого-то момента времени она становится точно равной нулю). Разностное уравнение, описывающее связь между входным и выходным сигналами фильтра, имеет вид:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Px(n-P),$$

где P — порядок фильтра, $x(n)$ — входной сигнал, $y(n)$ — выходной сигнал, а b_i — коэффициенты фильтра. Иными словами, значение любого отсчета выходного сигнала определяется суммой масштабированных значений P предыдущих отсчетов. Можно сказать иначе: значение выхода фильтра в любой момент времени есть значение отклика на мгновенное значение входа и сумма всех постепенно затухающих откликов P предыдущих отсчетов сигнала, которые всё ещё оказывают влияние на выход (после P -отсчетов импульсная переходная функция становится равной нулю, как уже было сказано, поэтому все члены после P -го тоже станут равными нулю).

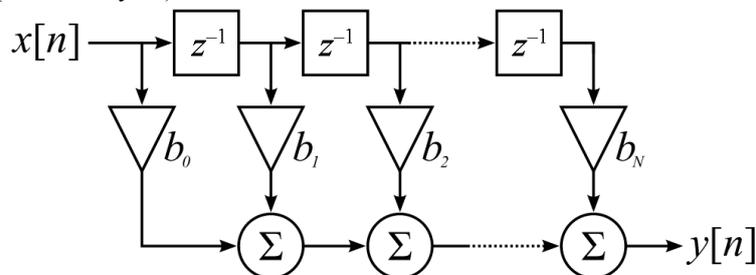


Рис 3. Реализация прямой формы КИХ-фильтра

Сокращенная форма записи разностного уравнения для КИХ-фильтра имеет вид:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i)$$

Отличительной особенностью скользящего среднего является равенство единице суммы коэффициентов b_i :

$$\sum_{i=0}^P b_i = 1$$

Последнее равенство отличает скользящее среднее от любого другого КИХ-фильтра. В частности для простого скользящего среднего:



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

$$b_i = \frac{1}{P+1}$$

для $i = 0, 1, \dots, P$.

Для того чтобы найти импульсную переходную функцию скользящего среднего делается следующее допущение:

$$x(n) = \delta(n)$$

где $\delta(n)$ — дельта-функция. Тогда импульсная характеристика такого фильтра может быть записана как:

$$h(n) = \sum_{i=0}^P b_i \delta(n-1)$$

Тогда Z-преобразование импульсной характеристики даёт передаточную функцию:

$$H(z) = \sum_{i=0}^P b_i z^{-i}$$

После цифровой фильтрации поступающего сигнала, необходимо провести его преобразование в измеряемую величину (в данном случае – температуру), и осуществить его линеаризацию.

Как известно, номинальная статическая характеристика представляет собой зависимость сопротивления датчика от температуры. Для платиновых ТС эта зависимость нелинейная и описывается уравнением Каллендара ван Дьюзена. Номинальная статическая характеристика термометра сопротивления РТ-1000 представлена на рис 4.

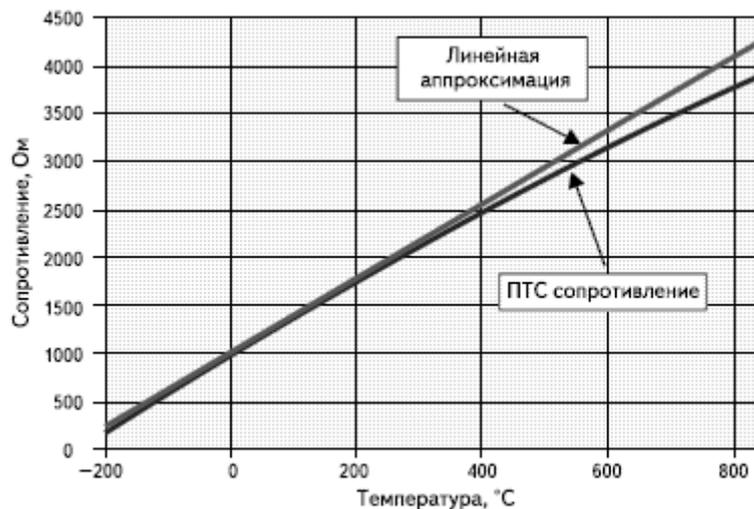


Рис 4. Номинальная статическая характеристика ТС РТ-1000

Если измерения проводятся в диапазоне от -200 до 0°C , то уравнение Каллендара ван Дьюзена имеет вид:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3] \quad [1]$$

Если же измерения проводятся в диапазоне от 0 до $+850^\circ\text{C}$, то уравнение Каллендара ван Дьюзена приобретает вид:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad [2]$$

где R_t — сопротивление ТС, Ом, при температуре $t^\circ\text{C}$; R_0 — сопротивление ТС, Ом, при температуре 0°C ; A , B и C — коэффициенты, полученные опытным путем.

Значения коэффициентов A , B и C при температурном коэффициенте $\alpha = 0,00385^\circ\text{C}^{-1}$ имеют значения:



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$
$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$
$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4};$$

Для линеаризации датчиков температуры необходимо провести преобразование выходных данных из сопротивления в температуру при помощи полиномов [1] и [2] с такими коэффициентами.

Для согласования асинхронных процессов считывания новых данных и передачи их по интерфейсу UART в режимах работы с максимальной скоростью необходимо провести программную буферизацию поступающих данных в виде программного буфера FIFO на 32 отсчета. Согласование интерфейсов UART - USB осуществляется с помощью чипа FT232, который подключен к разьему USB-MINI-B. UART FIFO контроллер, входящий в состав этого чипа, обрабатывает передачу данных между приемным буфером FIFO RX на 128 байт и буфером передачи данных FIFO TX на 256 байт.

Так как мультиплексор основного АЦП может быть сконфигурирован как лишь два дифференциальных входных канала, для опроса большего количества датчиков предлагается использование двух внешних мультиплексоров, последовательно или по запросу коммутирующих выход источника тока контроллера и один дифференциальный выход АЦП (Рис.5) Выбор канала мультиплексора осуществляется при помощи дискретных выходов процессора (GPIO).

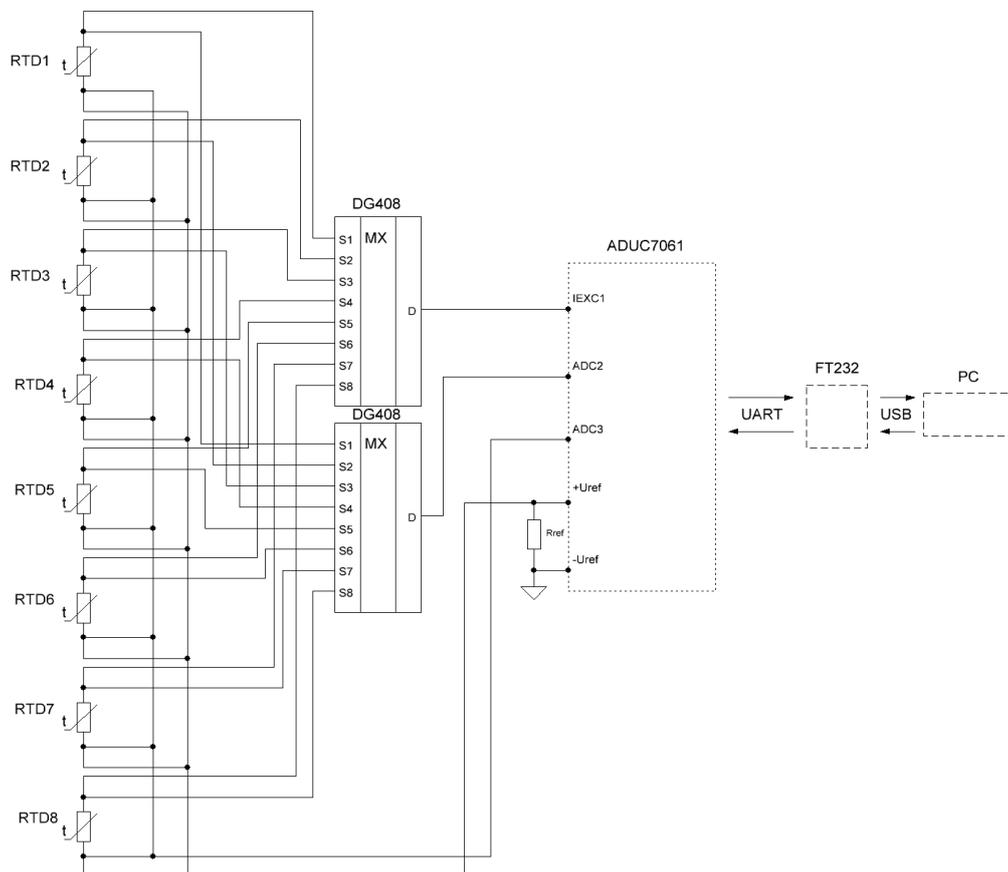


Рис 5. Принципиальная электрическая схема устройства

Использование компьютерных технологий, и в частности многоканальных систем сбора данных в научном и учебном физическом эксперименте позволяет проводить эксперименты на качественно новом уровне. Описанная система сбора и обработки информации предназначена для использования в составе исследовательского стенда по изучению режимов работы тепловых насосов с целью разработки инновационных алгоритмов управления.



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

Литература:

1. ГОСТ Р 8.625-2006 «Термометры сопротивления из платины, меди и никеля». М., Стандартинформ, 2006.
2. Стивен Смит. Научно-техническое руководство по цифровой обработке сигналов. 2-е изд., пер. Козлова М. Ф. и АВТЭКС, 1999.
3. Официальный сайт Analog Devices, <http://www.analog.com/>

УДК[658.5.012.1]

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Ковальчук Д.А., Мазур А.В.

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Аннотация: В статье рассмотрены основные принципы построения системы векторного управления синхронным двигателем переменного тока с постоянными магнитами на роторе без применения датчиков положения ротора, а также перспективы ее технической реализации.

Annotation: This article discusses the basic principles of vector control system for AC synchronous motor with permanent magnets on the rotor, without rotor position sensors, and the prospects for its technical implementation.

Ключевые слова: электропривод, синхронный электродвигатель, векторное управление, микроконтроллер.

Синхронный двигатель представляет собой электрическую машину переменного тока, частота вращения ротора которой равна частоте вращения магнитного поля. Статор такого двигателя содержит трехфазную обмотку, и по конструкции подобен статору асинхронной машины. На роторе расположен либо электромагнит постоянного тока, либо постоянные магниты. На небольшие мощности (до 10 кВт) такие двигатели в основном выполняют с постоянными магнитами на роторе. В дальнейшем в статье будем рассматривать только этот тип двигателей, поэтому под синхронным двигателем будем понимать, что он с постоянными магнитами на роторе. Вентильные двигатели, бесколлекторные двигатели постоянного тока - все они относятся к синхронным, и к ним применим рассматриваемый в статье способ управления.

На данный момент данный тип двигателей является наиболее перспективным для регулируемого электропривода. Они имеют целый ряд преимуществ перед асинхронными двигателями и двигателями постоянного тока, а именно:

- Высокие энергетические показатели (КПД более 90 %);
- Меньшие масса и габариты при одинаковой мощности;
- Широкий диапазон изменения частоты вращения;
- Высокая перегрузочная способность по моменту;
- Большой срок службы и высокая надежность.
-

К недостаткам синхронных двигателей можно отнести разве что их относительно высокую стоимость, которая обусловлена высокой стоимостью постоянных магнитов. В связи с этим до недавнего времени эти двигатели находили применение в основном в высокоточных системах (например, электроприводы подачи станков с ЧПУ, промышленных роботов, военной технике, прецизионной механике). Однако в последнее время наблюдается тенденция снижения стоимости синхронных двигателей в связи с появлением более дешевых технологий производства высококоэрцитивных постоянных магнитов. И это приводит ко все большему внедрению данного типа двигателей в бытовых и промышленных приложениях, таких, как привод компрессоров в холодильной технике, привод циркуляционных насосов, системы вентиляции. Это позволяет, в первую очередь, уменьшить габариты привода и сделать его регулируемым. Наблюдаются тенденции постепенного вытеснения синхронными двигателями их асинхронных предшественников и коллекторных