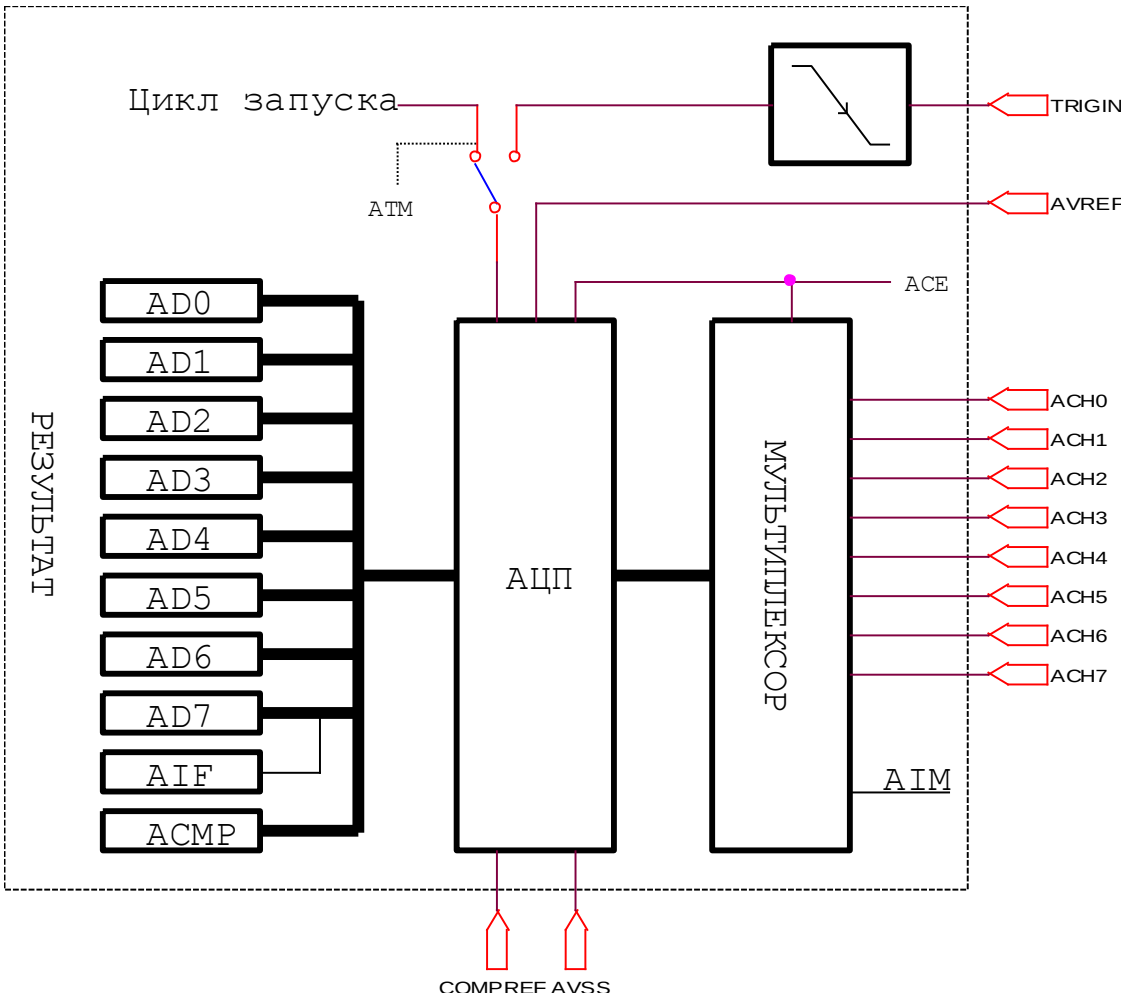
Лекция № 14

“Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование информации”.

Под аналого-цифровым преобразование понимается преобразование текущего уровня аналогового сигнала в цифровой код для цифровой обработки информации, заложенной в нем. Цифро-аналоговое преобразование имеет обратный смысл. Устройства, осуществляющие подобные преобразования называются соответственно аналого-цифровыми (АЦП) и цифро-аналоговыми (ЦАП) преобразователями. Эти узлы применяются для управления и контроля устройств, информация о входных или выходных переменных которых заложена в амплитуде аналоговых сигналов.

В семействе MCS-51 лишь микроконтроллер 8XC51GB имеет узел АЦП.



Блок АЦП микроконтроллера содержит 8 аналоговых входов ACH0-ACH7, вход внешнего запуска преобразования TRIGIN, выводы источника опорного напряжения VREF и земли аналоговой части AVSS, развязанные с цифровой частью, а также вывод напряжения сравнения COMPREF.

Внутренняя структура АЦП состоит из 8-канального мультиплексора, Устройства выборки-хранения, собственно АЦП, 8 регистров результата и регистра результата сравнения.

Мультиплексор подключает на вход АЦП один из 8 аналоговых входов в соответствии с выбранным номером канала. Устройство выборки-хранения по команде начала преобразования фиксирует мгновенное значение сигнала на выбранном канале на время преобразования. Время преобразования АЦП составляет 20 мкс на канал (при

частоте синхронизации микроконтроллера 16МГц). Регистры AD0-AD7 (84H, 94H, 0A4H, 0B4H, 0C4H, 0D4H, 0E4H, 0F4H) хранят результаты преобразования по каждому каналу. Значение каждого регистра обновляется по завершению преобразования, начиная с регистра AD0. Регистр результатов сравнения ACMP (0C7H) содержит 8 флагов, отражающих результат сравнения значения аналоговых входов ACH0-ACH7 со входом COMPREF. Если входное напряжение аналогового входа больше чем COMPREF, то соответствующий бит регистра ACMP устанавливается в 1. В противном случае он устанавливается в 0.

Регистр управления АЦП ACON (97H) содержит информацию, управляющую работой АЦП. Его формат имеет вид.

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
-	-	AIF	ACE	ACS1	ACS0	AIM	ATM

Бит ACE в единичном состоянии разрешает, а в нулевом запрещает процесс преобразования.

Бит ATM определяет режим запуска АЦП. При ATM, равном 1 запуск преобразования осуществляется внутренне в машинном цикле, следующем за тем, в котором был установлен бит ACE. Вначале преобразуется младший канал, за тем все старшие в порядке очередности. После окончания цикла преобразования, если бит ACE продолжает оставаться в единичном состоянии, начинается новый цикл преобразования. Для остановки преобразования в любой момент необходимо сбросить бит ACE. При ATM равном 0 запуск преобразования осуществляется по отрицательному перепаду на входе TRIGIN. Для определения перепада необходимо, чтобы на данном входе в течение не менее одного машинного цикла был установлен единичный уровень, а затем в течение не меньшего промежутка времени - нулевой уровень. Преобразование начинается в следующем машинном цикле после обнаружения перепада. После запуска цикла преобразования состояние входа TRIGIN игнорируется. После окончания цикла преобразования АЦП переходит в состояние останова до нового перепада на входе TRIGIN.

Бит AIM определяет режим опроса входов АЦП. Очистка AIM переводит АЦП в режим сканирования. При этом каналы преобразуются последовательно от ACH0 до ACH7 один за другим. Результат преобразования помещается в соответствующие регистры AD0-AD7. Установка AIM в 1 переводит АЦП в режим выбранного канала. При этом, в начале производятся 4 последовательных преобразования одного из первых 4 каналов ACH0-ACH3, конкретный номер которого определяется установкой битов ACS0 и ACS1.

ACS1	ACS0	Выбранный канал
0	0	ACH0
0	1	ACH1
1	0	ACH2
1	1	ACH3

Результаты этих преобразований помещаются в первые 4 регистра результата AD0-AD3. После этого происходит преобразование каналов ACH4-ACH7, как и в режиме сканирования. Результаты заносятся в регистры AD4-AD7.

Бит AIF является флагом прерывания АЦП. Он устанавливается в 1 после окончания преобразования в 7 канале. Может быть очищен только программно.

Т.о., цикл преобразования АЦП всегда состоит из 8 последовательных преобразований входных каналов (либо ACH0-ACH7, либо вначале 4 раза подряд один из

ACH0-ACH3, а затем ACH4-ACH7). Существует несколько способов использования АЦП для количества каналов, меньшего чем 8. В простейшем случае, если время преобразования не критично, то можно просто ожидать прихода прерывания по завершению преобразования 7-го канала и считать результат только из необходимых каналов. Если необходимо получить результат сразу после окончания преобразования конкретного канала, то можно, исходя из известного времени преобразования каждого канала, произвести отсчет нужного интервала времени используя таймер. Другой способ ускорения получения результата состоит в периодическом сравнении содержимого регистра результата данного канала с его предыдущим значением. Изменение содержимого этого регистра укажет на то, что произошло новое преобразование. Простое использование режима выбранного канала не уменьшает время, требуемое для завершения цикла преобразований, а лишь увеличивает частоту преобразований конкретного канала.

Одновременно с преобразованием каждого канала осуществляется сравнение уровня сигнала на его входе с опорным напряжением, подаваемым на вход COMPREF. Результат сравнения по каждому каналу фиксируется в соответствующем бите регистра ACMP. Это позволяет быстро осуществить сравнение “больше-меньше” двух аналоговых сигналов аппаратным методом, что уменьшает размер программы и аппаратную сложность системы.

Результат преобразования, записанный в соответствующий регистр результата, относится к уровню сигнала на заданном входе следующим образом.

$$N_{ACHN} = \frac{U_{ACHN}}{(U_{AVREF}/256)};$$

где: N_{ACHN} - код, записанный в соответствующий регистр результата;

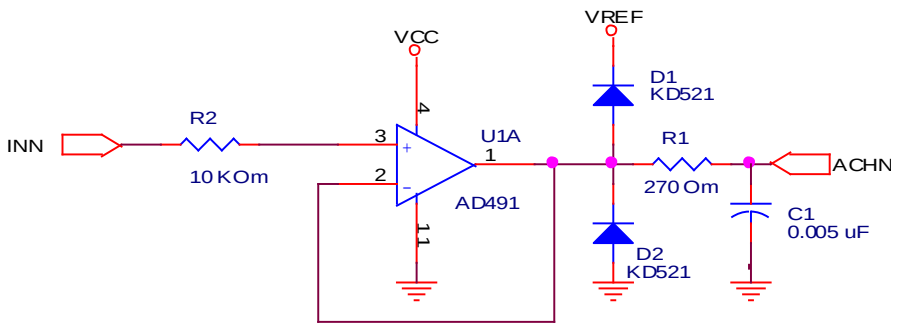
U_{ACHN} - напряжение на соответствующем входе;

U_{AVREF} - уровень опорного напряжения на входе AVREF.

Уровень сигнала U_{AVREF} может изменяться от 4.5 до 5.5 В. Уровни сигналов на входах каналов могут изменяться от 0 до U_{AVREF}. Т.о., при U_{AVREF}=5.12 В, вес младшего разряда преобразованного кода составляет 20 мВ.

Результат преобразования представляется в прямом коде, т.е. минимальному значению соответствует код 0, а максимальному - 0FFH.

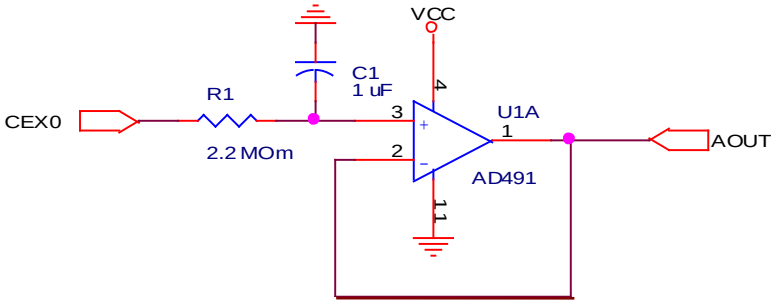
Входы АЦП рекомендуется развязывать от выходных цепей предыдущих каскадов (если они имеют высокое выходное сопротивление) во избежание влияния входного тока АЦП на точность преобразования. Это можно осуществить с помощью повторителя.



Диоды D1 и D2 осуществляют защиту входа АЦП от превышения допустимого диапазона напряжений. Цепь R1, C1 является фильтром низких частот и гасит паразитные высокочастотные колебания на входе АЦП.

Вывод земли аналоговой части необходимо подсоединить к общему выводу микросхемы контроллера в непосредственной близости от нее во избежание паразитных наводок цифровой части схемы на аналоговую.

Микроконтроллеры семейства MCS-51 не имеют встроенных блоков цифро-аналогового преобразования. Одним из наиболее простых способов преобразования выходной информации контроллера в аналоговый вид является преобразование выходного широтно-импульсно модулированного сигнала блока “сравнения-фиксации” в аналоговый с помощью интегрирующей цепи или фильтра низких частот.



При этом соотношение между уровнем выходного напряжения и относительной длительностью импульса ШИМ имеет вид.

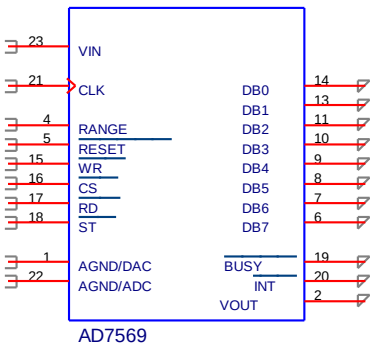
$$U_{OUT} = U_{CC} * \gamma \ ;$$

где γ - относительная длительность импульса шим (0-1);

U_{CC} - напряжение источника питания;

U_{OUT} - выходное напряжение.

В тех случаях, когда описанные устройства недостаточны для требуемых функций обработки аналоговых сигналов, необходимо применять отдельные микросхемы АЦП и ЦАП. Примером таких устройств может служить микросхема AD7569 фирмы Analog Devices. Микросхема имеет в своем составе 8-разрядный АЦП со временем преобразования 2 мкс с внутренним устройством выборки-хранения, задающим тактовым генератором и источником опорного напряжения, 8-разрядный ЦАП с временем преобразования 1мкс с внутренним выходным усилителем. Обмен данными с микропроцессором осуществляется по 8-разрядной шине, соответствующей требованиям шины Microbus.



Входной сигнал АЦП подается на вывод VIN, выходной сигнал ЦАП снимается с вывода VOUT.

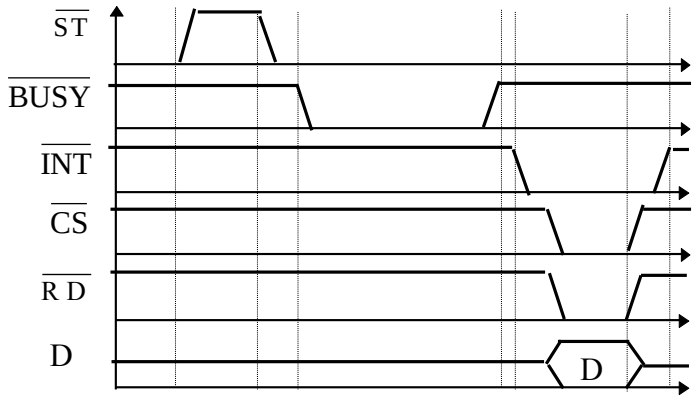
Микросхема имеет внутренний источник опорного напряжения преобразования. Она может преобразовывать однополярные сигналы (в диапазоне от 0 до 1.25 В или от 0 до 2.5 В) либо двухполярные сигналы (в диапазоне от -1.25 В до +1.25 В или от -2.5 до +2.5 В). Выбор диапазона входного сигнала АЦП и выходного сигнала ЦАП осуществляется подачей соответствующих уровней на входы RANGE и VSS.

RANGE	VSS	Диапазон	Код
0	0	от 0 до 1.25 В	Прямой
1	0	от 0 до 2.5 В	Прямой
0	-5 В	от -1.25 до +1.25 В	Дополнительный
1	-5 В	от -2.5 до +2.5 В	Дополнительный

На вход CLK может подаваться либо внешний TTL, CMOS - совместимый синхросигнал, либо подключаться RC-цепочка для обеспечения работы внутреннего генератора синхросигнала. Процесс преобразования длится 8 периодов синхросигнала.

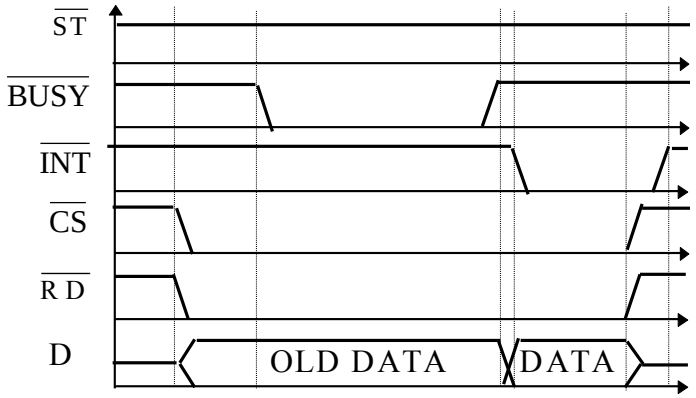
Запуск преобразования АЦП может быть осуществлен двумя способами. При первом способе по отрицательному перепаду на входе $\overline{ST}$ внутреннее устройство выборки-хранения микросхемы переходит в режим хранения и начинается преобразование. При этом вывод $\overline{BUSY}$ переходит в нулевое состояние и остается в нем до конца преобразования. После окончания преобразования его результат записывается во внутренний регистр микросхемы, вывод $\overline{BUSY}$ переходит в единичное состояние, а вывод $\overline{INT}$ - в нулевое состояние. Вывод $\overline{INT}$ может быть использован для прерывания микропроцессора. По этому прерыванию микропроцессор должен считать преобразованные данные реализуя цикл чтения микросхемы. Сигнал $\overline{INT}$ возвращается в единичное состояние по переднему фронту сигналов $\overline{CS}$ или $\overline{RD}$. Вывод $\overline{ST}$ не должен быть в единичном состоянии во время цикла чтения. В период от начала до конца преобразования данных не должно быть циклов чтения микросхемы и импульсов на входе $\overline{ST}$. В противном случае данные будут преобразованы неверно. Импульс на входе $\overline{ST}$, инициирующий начало преобразования может быть сформирован путем реализации цикла записи или чтения микропроцессора по адресу, отличному от адреса микросхемы.

Этот метод может быть использован в системах, где необходимо оцифровывать несколько аналоговых сигналов. Для подключения ко входу АЦП требуемого канала необходимо использовать аналоговый коммутатор. При этом аналоговый коммутатор должен переключаться на требуемый канал по переднему фронту сигнала $\overline{ST}$, в то время, как собственно преобразование начнется по заднему фронту этого сигнала. Длительность импульса $\overline{ST}$ должна быть достаточной, чтобы коммутатор успел полностью переключиться до начала преобразования.



Второй способ инициировать преобразование АЦП реализуем на микропроцессорах, которые могут продлить импульс $\overline{RD}$ на все время преобразования (например, с помощью WAIT-циклов). При этом на вывод $\overline{ST}$ необходимо подать 1. Процесс преобразования начинается одновременно с началом цикла чтения микросхемы, т.е. по отрицательному фронту сигналов $\overline{CS}$ и $\overline{RD}$. Сигнал $\overline{BUSY}$ переходит в нулевое

состояние, что должно переводить микропроцессор в состояние ожидания. После окончания преобразования сигнал $\overline{BUSY}$ возвращается в единичное состояние и микропроцессор читает выходные данные. Преимущество этого метода состоит в том, что старт преобразования и чтение его результатов могут быть выполнены с помощью одной команды.



Запись значения в ЦАП осуществляется путем цикла записи микропроцессора, в течение которого он записывает необходимое число во входной регистр ЦАП. При этом собственно запись числа осуществляется по положительному перепаду на входе $\overline{WR}$. Это число затем преобразуется в аналоговый сигнал на выходе VOUT.

Нулевой уровень сигнала на входе $\overline{RESET}$ переводит микросхему в начальное состояние. При этом не выходе ЦАП устанавливается нулевое напряжение в однополярном режиме работы и максимальное отрицательное напряжение в двухполярном режиме работы. Сигнал $\overline{INT}$ по сигналу $\overline{RESET}$ устанавливается в единичное состояние и АЦП переводится в режим готовности к новому преобразованию.

Для согласования диапазонов входного сигнала АЦП и выходного сигнала ЦАП микросхемы с реальными диапазонами сигналов в системе необходимо использовать масштабирующие усилители.