

Практическая работа №9

Обработка прерываний

1. Система прерываний

Система прерываний предназначена для быстрой реакции на события, которыми могут быть: наличие определенного логического уровня напряжения или его изменение на входе микроконтроллера, переполнение таймер-счетчика, завершение передачи или приема байта через последовательный порт и др. Когда система прерываний сконфигурирована, при возникновении одного из событий, разрешенных к обработке, останавливается выполнение основной программы и запускается подпрограмма обработки данного прерывания, по окончании выполнения которой происходит возврат в основную программу. Информацию о возникновении какого-либо события несет флаг соответствующего прерывания. Стоит отметить, что наличие активного состояния флага прерывания не означает обязательного запуска подпрограммы обслуживания данного прерывания, для этого также необходимо соответствующее разрешение.

Архитектура системы управления прерываниями базовой модели Intel 8051 показана на рис. 13.

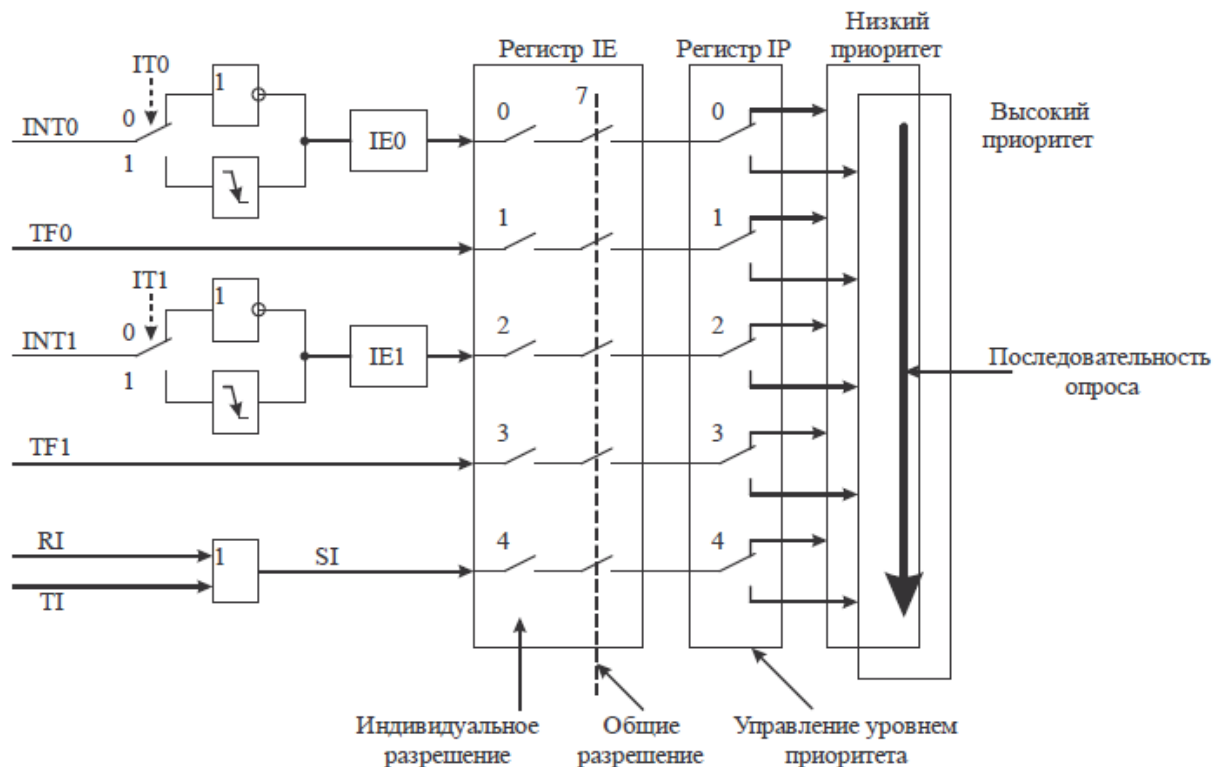


Рис. 13. Система управления прерываниями

Разрешение или запрет каждого прерывания осуществляется записью 1 или 0 в соответствующий разряд регистра специальных функций IE (Interrupt Enable). Кроме того, можно полностью отключить систему прерываний, сбросив бит общего запрещения. Структура регистра IE:

IE.7	IE.6	IE.5	IE.4	IE.3	IE.2	IE.1	IE.0
EA			ES	ET1	EX1	ET0	EX0

Поля регистра IE:

- EA — включение системы прерываний;
- ES — разрешение прерывания от последовательного порта;
- ET_X — разрешение прерывания по переполнению таймер-счетчика X;
- EX_X — разрешение прерывания по внешнему сигналу на входе $\overline{\text{INT}}_X$.

Выбор типа активного сигнала на входе INT_X: переход из уровня логической единицы в ноль или низкий уровень осуществляется программированием битов IT_X регистра TCON (см. 1.4.2, с. 19). При возникновении активного сигнала на входах INT_X автоматически устанавливаются соответствующие флаги IE_X (см. рис. 13).

По окончании приема или передачи посылки по последовательному порту будет устанавливаться флаг прерывания приемника (бит RI регистра SCON) или флаг прерывания передатчика (бит TI), которые сигналом SI (рис. 13) вызовут одну и ту же подпрограмму обслуживания прерывания по последовательному порту в случае разрешения этого прерывания. В данной подпрограмме необходимо проанализировать установленный флаг, чтобы определить источник прерывания.

Система прерываний микроконтроллеров семейства MCS-51 является приоритетной, что позволяет задать высокий или низкий уровень приоритета, указав 1 или 0 в разрядах регистра IP (Interrupt Priority):

IP.7	IP.6	IP.5	IP.4	IP.3	IP.2	IP.1	IP.0
			PS	PT1	PX1	PT0	PX1

Поля регистра IP:

- PS — приоритет последовательного порта;
- PT1 — приоритет таймер-счетчика 1;

- PX1 — приоритет внешнего прерывания $\overline{\text{INT1}}$;
- PT0 — приоритет таймер-счетчика 0;
- PX0 — приоритет внешнего прерывания $\overline{\text{INT0}}$.

При одновременном возникновении двух прерываний: одного с высоким, другого с низким уровнем приоритета — сначала будет выполняться высокоприоритетное. В случае поступления прерываний с одним уровнем приоритета последовательность их обработки будет определяться последовательностью опроса, показанной на рис. 13.

2. Выполнение программы прерывания

Система прерываний формирует код команды безусловного перехода (LCALL) к соответствующей подпрограмме обслуживания, если нет одного из следующих условий блокировки:

- в данный момент обслуживается запрос прерывания равного или высокого уровня приоритета;
- текущий машинный цикл не последний в цикле выполняемой команды;
- выполняется команда RETI или любая команда, связанная с обращением к регистрам IE или IP.

Если во время блокировки прерывания хотя бы по одному из перечисленных условий флаг прерывания был установлен, а затем сброшен до момента окончания блокировки, то прерывание не будет обслужено, т. к. запрос нигде не сохраняется.

В начале обслуживания прерывания система автоматически формирует безусловный переход на соответствующую подпрограмму, при этом в стек помещается только содержимое счетчика команд (PC, т. е. адрес следующей команды). Затем в регистр PC загружается адрес вектора соответствующей подпрограммы обслуживания (табл. 9). **Вектор прерывания** — строго закрепленный за каждым прерыванием адрес, в ячейке памяти программ с соответствующим адресом располагают команду безусловной передачи управления (JMP) к начальному адресу подпрограммы обслуживания прерывания. Для сохранения исходных данных регистров, используемых в подпрограмме обслуживания прерывания (слова состояния программы (PSW), аккумулятора и т. д.), в ее начале располагают команды записи в стек (PUSH) соответствующих

регистров, а в конце — команды восстановления из стека (POP), при этом регистры указываются в обратном порядке. Завершение подпрограммы должно осуществляться командой RETI, которая, в отличие от команды RET, не только восстанавливает значения счетчика команд из стека, но и снимает блокировку соответствующего прерывания.

Адреса векторов прерываний микроконтроллера Intel 8051

Прерывание	Наименование	Адрес вектора	Последовательность опроса
IE0	Внешнее прерывание INT0	03h	1
TF0	Переполнение таймер-счетчика 0	0Bh	2
IE1	Внешнее прерывание INT1	13h	3
TF1	Переполнение таймер-счетчика 1	1Bh	4
RI/TI	Прерывание UART	23h	5

Обработка прерывания возможна при выполнении следующих действий:

- расположите подпрограмму обслуживания прерывания по адресу соответствующего прерывания (или команду перехода на подпрограмму обслуживания);
- установите бит разрешения всех прерываний (EA) в регистре IE и бит разрешения требуемого прерывания.

Вектора прерываний базового микроконтроллера семейства MCS-51 находятся в диапазоне 0003h–0023h (табл. 9) и попадают в начальную область памяти программ. Чтобы исключить перекрытие программного кода, как правило, по адресам векторов прерываний располагают команды безусловного перехода на подпрограммы обработки прерываний, а в ячейку с адресом 0000h — на начало основной программы.

3. Аналого-цифровое преобразование

Аналого-цифровой преобразователь (Analog-to-digital converter, ADC) – это устройство, которое принимает входные аналоговые сигналы и генерирует соответствующие им цифровые сигналы, пригодные для обработки микропроцессорами и другими цифровыми устройствами.

Как правило, сначала различные по физической природе величины преобразуются в функционально связанные с ними электрические величины, а затем уже с помощью преобразователей напряжение-код – в цифровые.

Аналого-цифровое преобразование непрерывных сигналов, которое реализуют с помощью АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени $U(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел $\{U_k(t_j)\}$, $j = 0, 1, 2, \dots$, $U_k = 0, 1, 2, \dots, N-1$, отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени. Такое преобразование состоит из двух

независимых процедур. Первая из них называется дискретизацией и состоит в преобразовании непрерывной функции времени $U(t)$ в непрерывную последовательность отсчетов $\{U(t_j)\}$. Вторая называется квантованием и состоит в преобразовании непрерывной по значению последовательности отсчетов $\{U(t_j)\}$ в дискретную $\{U_k(t_j)\}$, где $U_k = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная возможность их представления в виде взвешенных сумм

$$U(t) = \sum_j a_j f_j(t),$$

где a_j – некоторые коэффициенты или отсчеты, характеризующие исходный сигнал в дискретные моменты времени; $j = 1, 2, 3, \dots$; $f_j(t)$ – набор элементарных функций, используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам.

В основе наиболее распространенной равномерной дискретизации лежит теорема отсчетов Котельникова, для которой в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $U(t_j)$ в дискретные моменты времени $t_j = j\Delta t$, а период дискретизации выбирать из условия $\Delta t = 1/2F_m$, где F_m – максимальная частота спектра преобразуемого сигнала.

При выполнении процедуры квантования непрерывная по уровню последовательность отсчетов $U(t_j)$ представляется k -разрядным кодом $U_k(t_j)$, равным $0, 1, 2, \dots, N-1$. Количество уровней квантования N зависит от значения k – разрядности АЦП. $N = 2^k$.

Классификация и принцип действия АЦП

В настоящее время используется большое число методов преобразования напряжение-код. Эти методы отличаются потенциальной точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации. На рис. 1 представлена классификация АЦП по методам преобразования. В основе классификации АЦП используется признак, указывающий на то, как во времени разворачивается процесс преобразования аналоговой величины в цифровую. Для преобразования дискретных по времени сигналов в цифровые

эквиваленты используются операции квантования и кодирования. Они могут быть осуществлены с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо параллельно-последовательной процедур приближения цифрового эквивалента к преобразуемой величине.

Наиболее быстрыми являются параллельные АЦП, однако они самые дорогие и потребляют (рассеивают) значительную мощность. Последовательно-параллельные АЦП занимают промежуточное положение по разрешающей способности и быстродействию между параллельными АЦП и последовательными.

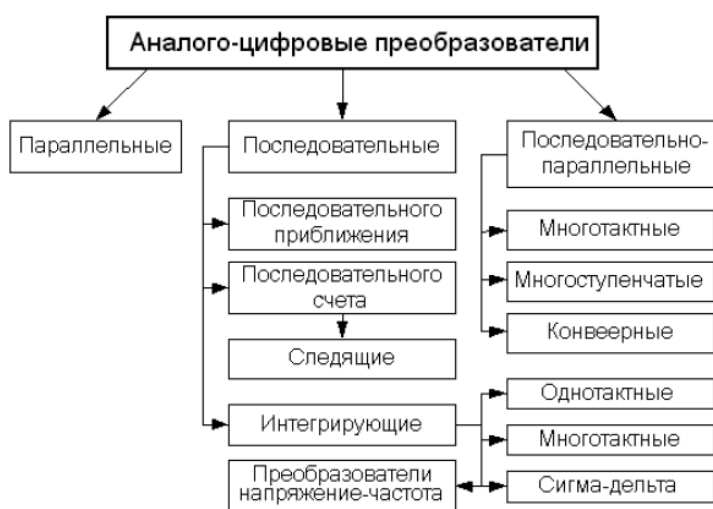


Рис. 1. Классификация АЦП

Основные параметры АЦП

К основным параметрам АЦП относят число разрядов выходного кода, диапазон изменения входного напряжения $u_{вх.маx}$, абсолютную разрешающую способность, абсолютную погрешность преобразования, максимальную частоту преобразования, время преобразования входного сигнала.

Число разрядов выходного кода k отображает исходную аналоговую величину, которая формируется на выходе АЦП. При использовании двоичного кода $k = \log_2 N$, где N - максимальное число кодовых комбинаций (уровней квантования) на выходе АЦП $(0, 1, \dots, N-1)$.

Диапазон изменения входного напряжения - $u_{вх.маx}$. Отметим, что АЦП может обрабатывать входную информацию в виде однополярного аналогового напряжения с пределами $0, \dots, u_{вх.маx}$ и двуполярного $\pm u_{вх.маx}/2$.

Абсолютная разрешающая способность – среднее значение минимального изменения входного сигнала $u_{вх}$, обуславливающего увеличение или уменьшение выходного кода на единицу. Разрешающая способность определяется разрядностью выходного кода и диапазоном входного напряжения.

Абсолютная погрешность преобразования - δ_i , в конечной точке шкалы есть отклонение реального максимального значения входного сигнала $u_{вх.max}$ от максимального значения идеальной характеристики L АЦП (рис. 2). Обычно δ_i измеряется в ЗМР – значении младшего разряда.

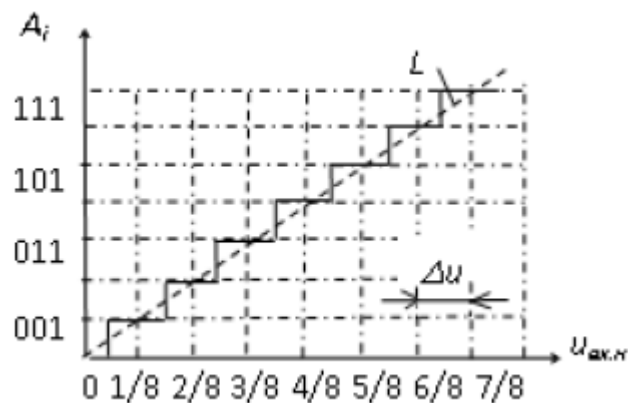


Рис. 2. Абсолютная погрешность преобразования АЦП

Максимальная частота преобразования (десятки и сотни кГц) – максимальное значение частоты входного сигнала.

Время преобразования входного сигнала $t_{пр.max} \leq (1/2)\Delta t$.

4. Цифро-аналоговое преобразование

Устройство, осуществляющее автоматическое преобразование входных значений, представленных числовыми кодами, в эквивалентные им значения какой-нибудь физической величины (напряжения, тока и др.), называют цифроаналоговым преобразователем (ЦАП). Основы классификации ЦАП представлены на рис. 3.

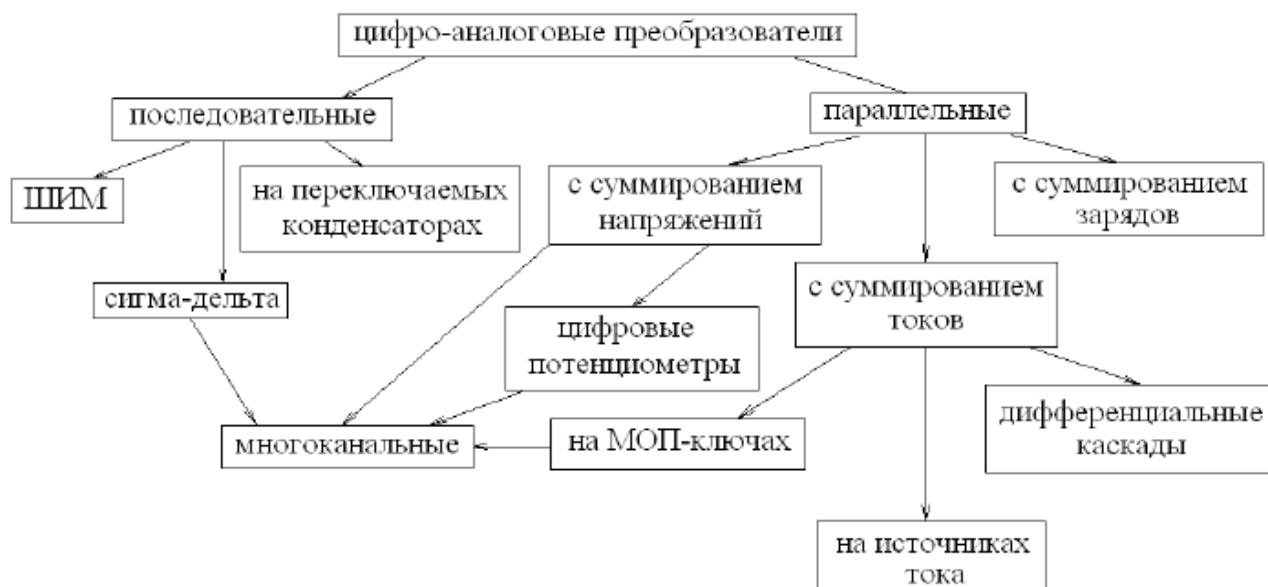


Рис. 3. Общая классификация ЦАП

Основные характеристики ЦАП

Основными параметрами ЦАП являются число разрядов кода, абсолютная разрешающая способность, точность ЦАП, максимальная частота преобразования.

Число разрядов кода, n , обычно составляет величину 8, ..., 24.

Абсолютная разрешающая способность - среднее значение минимального изменения сигнала на выходе ЦАП, обусловленное увеличением или уменьшением его кода на единицу.

Теоретически ЦАП, преобразующий n -разрядные двоичные коды, должен обеспечить 2^n различных значений выходного сигнала с разрешающей способностью $1/(2^n - 1)$. При числе разрядов $n = 8$, количество независимых квантов (ступеней) выходного напряжения ЦАП равно $2^8 - 1 = 255$, при $n = 12$, количество независимых ступеней равно $2^{12} - 1 = 4095$ и т. д.

Абсолютное значение минимального кванта напряжения определяется как предельным принимаемым числом $2^n - 1$, так и максимальным выходным напряжением ЦАП, также называемым напряжением шкалы или опорным напряжением U_0 . Значение абсолютной разрешающей способности ЦАП, часто обозначается как ЗМР (значение младшего разряда).

При $n = 8$ и опорном напряжении $U_0 = 5$ В, $\text{ЗМР} = U_0 / (2^8 - 1) =$

$$= 5/255 \approx 0,0196 \text{ В} = 19,6 \text{ мВ}.$$

Отличие реального значения разрешающей способности от теоретического обусловлено погрешностями и шумами входящих в ЦАП узлов.

Точность ЦАП определяется значением абсолютной погрешности δ_a и нелинейностью преобразователя $\delta_{\text{л}}$.

Абсолютная погрешность δ_a характеризуется отклонением максимального значения выходного напряжения u_{max} от расчетного, соответствующего конечной точке характеристики идеального преобразователя, и измеряется обычно в единицах ЗМР (рис. 4, линия 1).

Нелинейность преобразователя $\delta_{\text{л}}$ характеризует отклонение действительной характеристики 2 от идеальной 1 (рис. 4), проведенной через центры ступенек или через нуль и точку максимального значения выходного сигнала.

Нелинейность обычно определяется в относительных единицах, но в справочных данных приводится также и в ЗМР.

$$\delta_{\text{л}} = \frac{\varepsilon_j}{U_{\text{ПШ}}} \cdot 100\%.$$

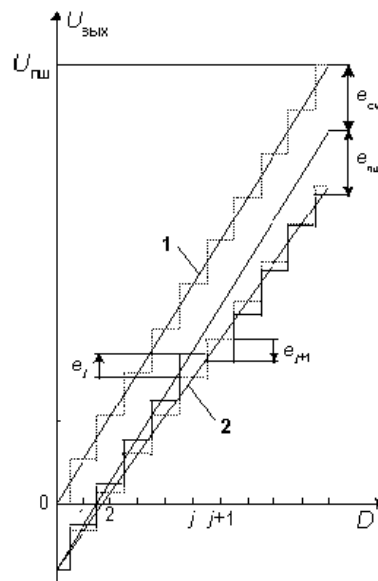


Рис. 4. Характеристики преобразования ЦАП: 1 — идеальная, 2 — реальная. $U_{\text{ПШ}}$ — погрешность полной шкалы

Дифференциальная нелинейность $\delta_{\text{дл}}$ – максимальное изменение (с учетом знака) отклонения реальной характеристики преобразования $U_{\text{вых}}(D)$ от оптимальной при переходе от одного значения входного кода к другому смежному значению. Обычно определяется в относительных единицах или в ЗМР.

$$\delta_{\text{дл}} = \frac{\varepsilon_j + \varepsilon_{j+1}}{U_{\text{ПШ}}} \cdot 100\%.$$

Из динамических параметров наиболее важным параметром является максимальная частота преобразования f_{max} (десятки и сотни килогерц) – наибольшая частота дискретизации, при которой параметры ЦАП соответствуют заданным значениям.

Преобразование сигнала в ЦАП часто сопровождается специфическими переходными импульсами в выходном сигнале. Они возникают из-за разности времени открывания и закрывания аналоговых переключателей в ЦАП. Особенно сильное влияние переходных процессов проявляется, например, когда входной код 01...111 сменяется кодом 10...000, а переключатель старшего разряда ЦАП открывается позже, чем закрываются переключатели младших разрядов.

5. Задание

Собрать в Multisim схему на МК MCS51, которая реализует следующие функции:

- На вход подается синусоидальный сигнал с параметрами согласно варианту (табл. 2). Входной сигнал в МК должен поступать через АЦП.
- Схема работает в двух режимах. При первом режиме синусоида со входа просто передается на выход (входной и выходной сигнал одинаковые). Во втором режиме в выходной сигнал добавляется постоянная составляющая (выходной сигнал по форме совпадает со входным, но смещен на $V_{\text{см}}$ В (табл. 2)). Аналоговый выходной сигнал должен формироваться с помощью ЦАП. Способ смещения синусоиды предложить самостоятельно.
- Переключение между режимами осуществляется нажатием кнопки(элемент PB_NO в Multisim). Обработка нажатия кнопки

должна быть реализована через прерывание. По нажатию кнопки происходит внешнее прерывание, в обработчике прерывания которого необходимо реализовать переключение режимов. В МК MCS есть два входа для внешних прерываний INT0 (P32) и INT1(P33), поэтому кнопка должна быть подключена к одному из этих выводов.

- Входной и выходной сигнал вывести на осциллографе.

Обработчик прерывания на си может быть реализован следующим образом:

```
interrupt void isr_ex0(void)
{
...
}
```

В схеме можно использовать виртуальный АЦП и виртуальный ЦАП (находятся в группе элементов Mixed).

Назначение выводов, используемого АЦП приведено в табл. 1.

Табл. 1. Назначение основных выводов виртуального АЦП

Обозначение	Вход/выход	Назначение
Vin	I	Аналоговое входное напряжение
Vref+	I	Опорное напряжение (+)
Vref-	I	Опорное напряжение (-)
D0-D7	O	Цифровые выходы
SOC	I	Начать преобразование
EOC	O	Конец преобразований

Для начала преобразования необходимо подать на вход SOC 1. При этом на выходе EOC будет 1 до окончания преобразования. Когда преобразование завершится на выходе EOC будет 0. После этого можно начинать следующее преобразования.

Пример подключения АЦП и ЦАП к МК приведен на рис. 5.

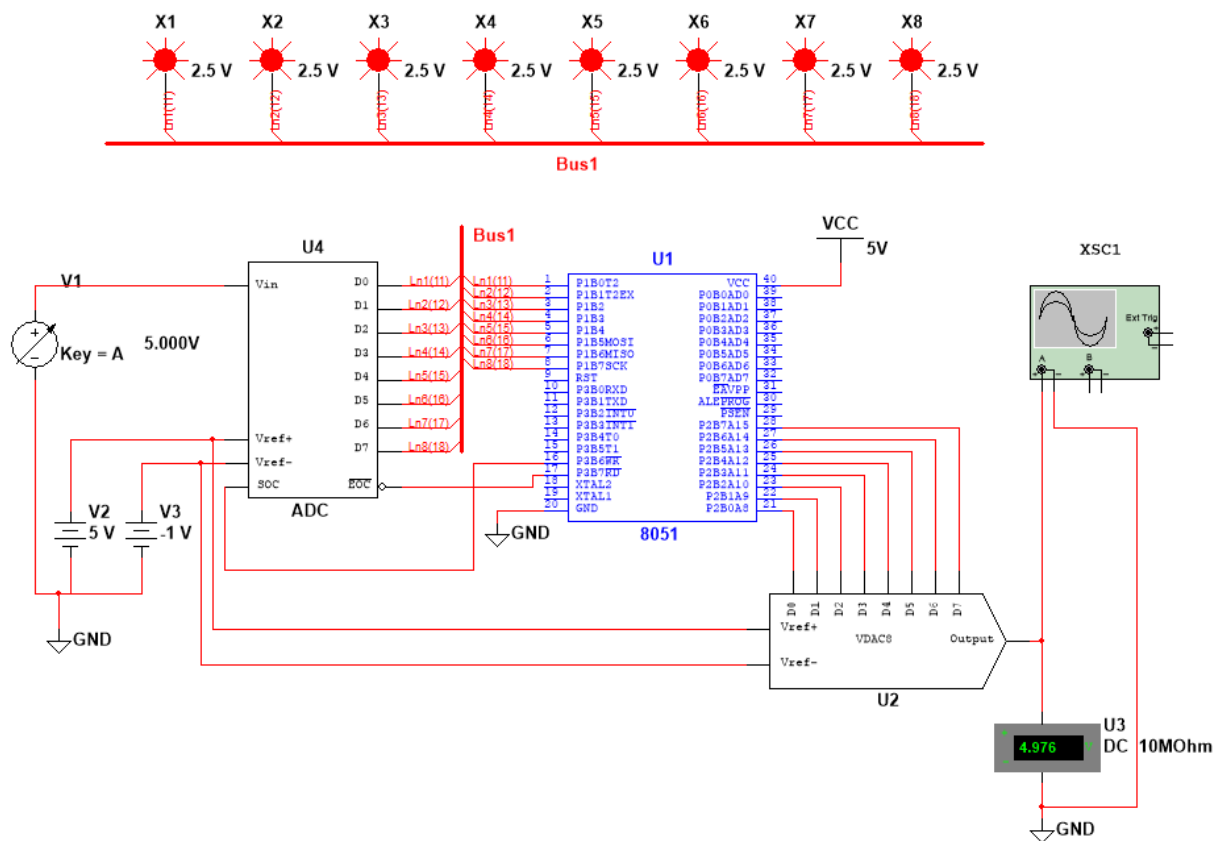


Рис. 5. Пример подключения АЦП и ЦАП к МК

Задания

Табл. 2. Варианты заданий

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A, В	10	7	14	15	10	3	16	12	20	12
F, кГц	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3
V _{см} , В	2	5	-6	-7	5	1	-5,5	4	-6,5	3

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A, В	9	4	15	10	18	8	9	10	6	8
F, кГц	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
V _{см} , В	-2,5	-1	-3	4,5	-9	2	-4	5	8	4

A – амплитуда входной синусоиды, F – частота входной синусоиды, V_{см} – величина смещения на выходе.