

Сосновский Ю.В., к.т.н., доцент.

# МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ

# АЦП

---

- Разрядность выходных данных
- Соотношение сигнал/шум (S/N)

$$SN = N \times 6 + 3,5 \text{ (дБ)}$$

N – число двоичных разрядов

- Время получения на выходе следующего отсчета цифрового сигнала

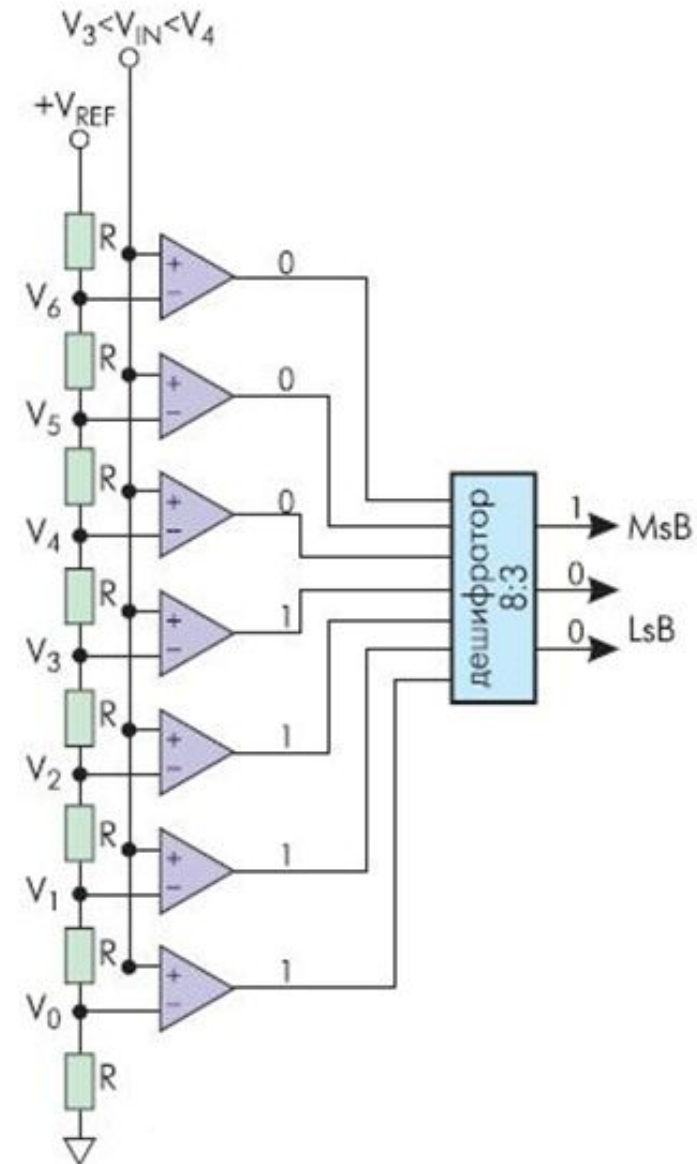
# АЦП. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЦП

Высокое быстродействие

Обычно параллельные АЦП  
имеют **разрешение**  
**(разрядность) 8-10 разрядов**

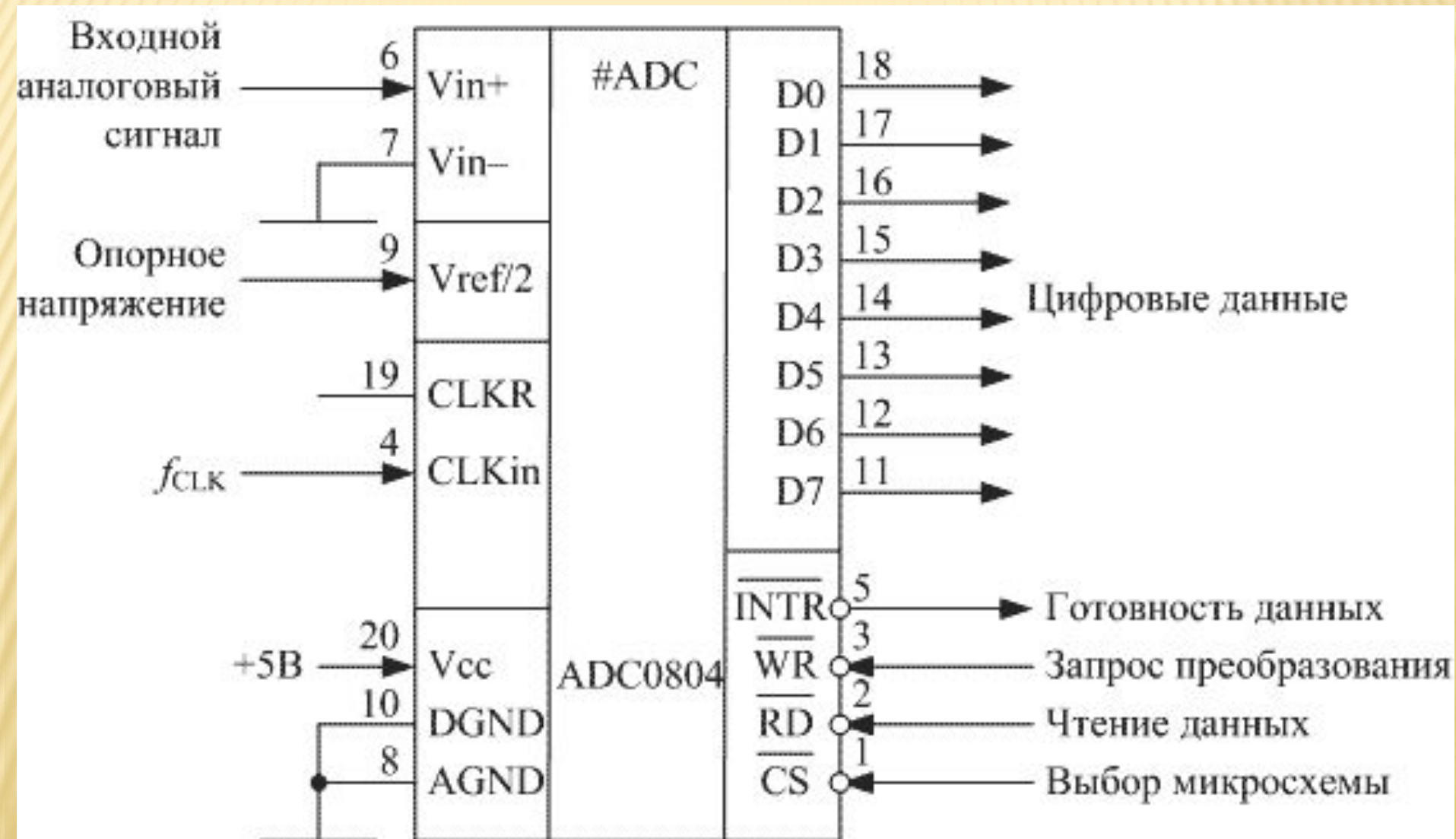
Используется **массив**  
**компараторов**, каждый из  
которых сравнивает входное  
напряжение с индивидуальным  
опорным напряжением

Такое **опорное напряжение**  
формируется на встроенном  
прецизионном резистивном  
делителе





# АЦП ADC0804

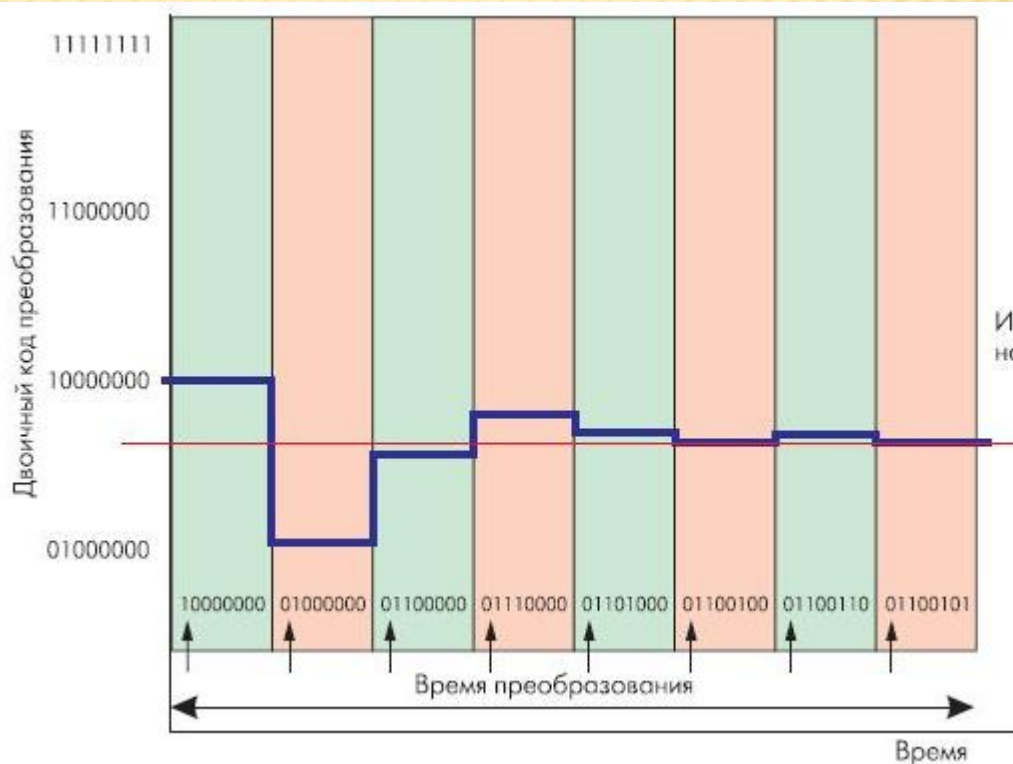
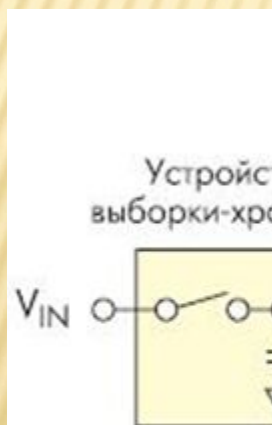


# АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ (AVR)

разрешение 12, 14 или 16 разрядов

низкая цена

низкое энергопотребление



преобразования

преобразования

ыход

# АЦП

---

- **Разрешающая способность** (разрешение, разрядность) – способность АЦП различать два значения входного сигнала
- **Определяется** как величина обратная максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП.
- **У AVR:**  $2^{10} = 1024$  (**Разрешающая способность** 1/1024)
- Источник опорного напряжения (ИОН)
- AVR в качестве ИОНа могут использовать напряжение питания, внутренний опорный источник на 2,56 В и напряжение на выводе AREF (внешний ИОН)



- 
- ❑ **Абсолютная точность** – отклонение реального преобразования от идеального
  - ❑ Это составной результат нескольких погрешностей АЦП
  - ❑ Выражается в количестве младших значащих разрядов (**LSB - least significant bit**) АЦП
  - ❑ Для AVRa абсолютная погрешность АЦП =  $\pm 2\text{LSB}$
  - ❑ **Предельная частота дискретизации** определяет быстродействие АЦП (измеряется в Гц или SPS – samples per second)
  - ❑ Для AVR эта величина равна 15 kSPS (килосемплов в секунду)

---

## **Теорема Котельникова (теорема Найквиста-Шеннона):**










аналоговый сигнал, имеющий ограниченный спектр, может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим дискретным отсчётам, **если частота выборки (дискретизации) превышает максимальную частоту спектра сигнала более чем в 2 раза**

**Пример:** если нужно оцифровать аналоговый сигнал с полосой спектра 0 - 7 КГц, то в идеальном случае частота дискретизации должна быть  $> 14$  КГц.



## Bookmarks

## Interrupts

 8-bit  
Timer/Counter0  
with PWM 8-bit  
Timer/Counter0  
and  
Timer/Counter1  
Prescalers 16-bit  
Timer/Counter1 8-bit  
Timer/Counter2  
with PWM and  
Asynchronous  
Operation Serial Peripheral  
Interface – SPI USART Two-wire Serial  
Interface Analog  
Comparator Analog to  
Digital Converter JTAG Interface  
and On-chip

## Analog to Digital Converter

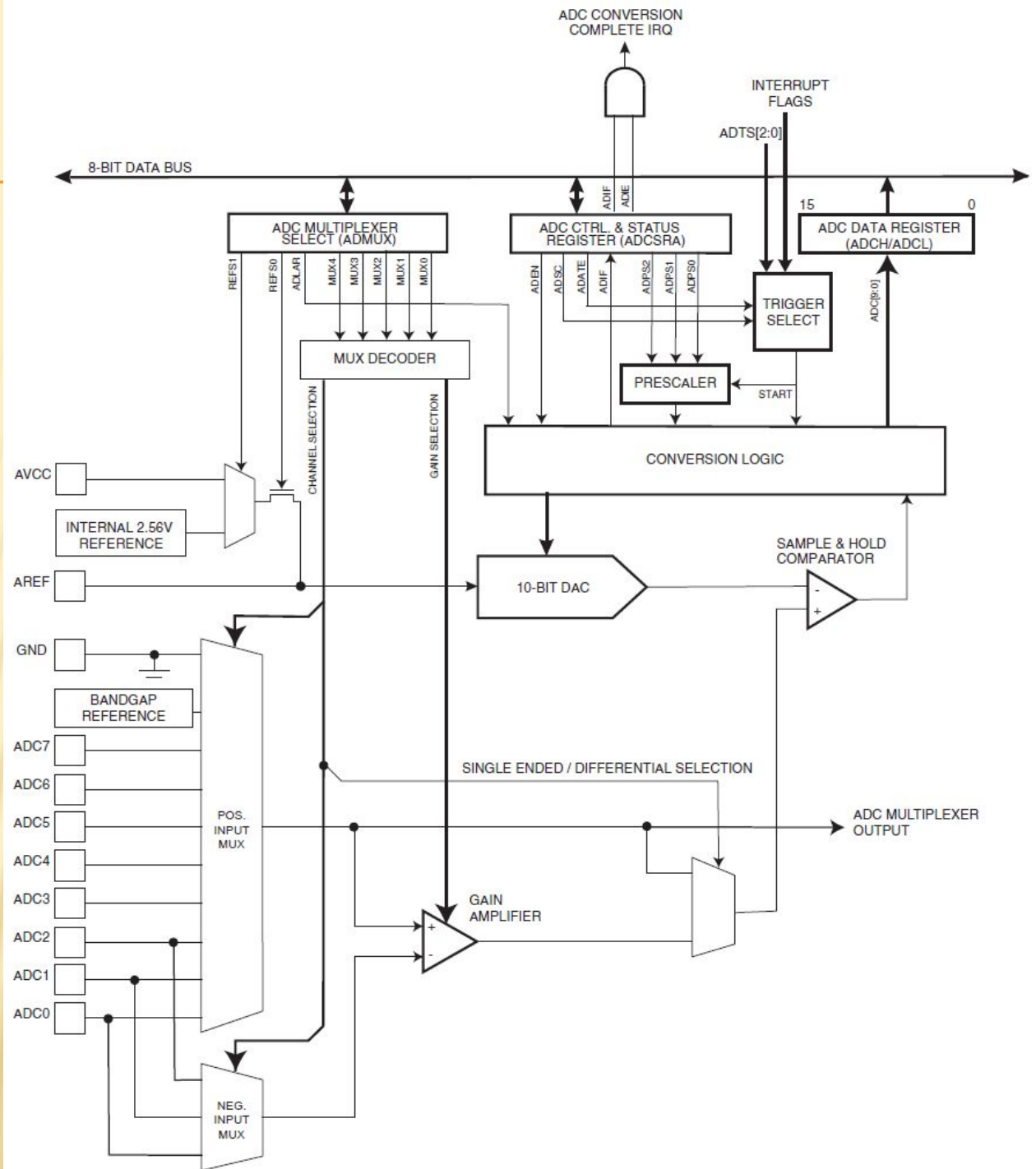
### Features

- 10-bit Resolution
- 0.5 LSB Integral Non-linearity
- $\pm 2$  LSB Absolute Accuracy
- 13  $\mu$ s- 260  $\mu$ s Conversion Time
- Up to 15 kSPS at Maximum Resolution
- 8 Multiplexed Single Ended Input Channels
- 7 Differential Input Channels
- 2 Differential Input Channels with Optional Gain of 10x and 200x
- Optional Left adjustment for ADC Result Readout
- 0 -  $V_{CC}$  ADC Input Voltage Range
- Selectable 2.56V ADC Reference Voltage
- Free Running or Single Conversion Mode
- ADC Start Conversion by Auto Triggering on Interrupt Sources
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

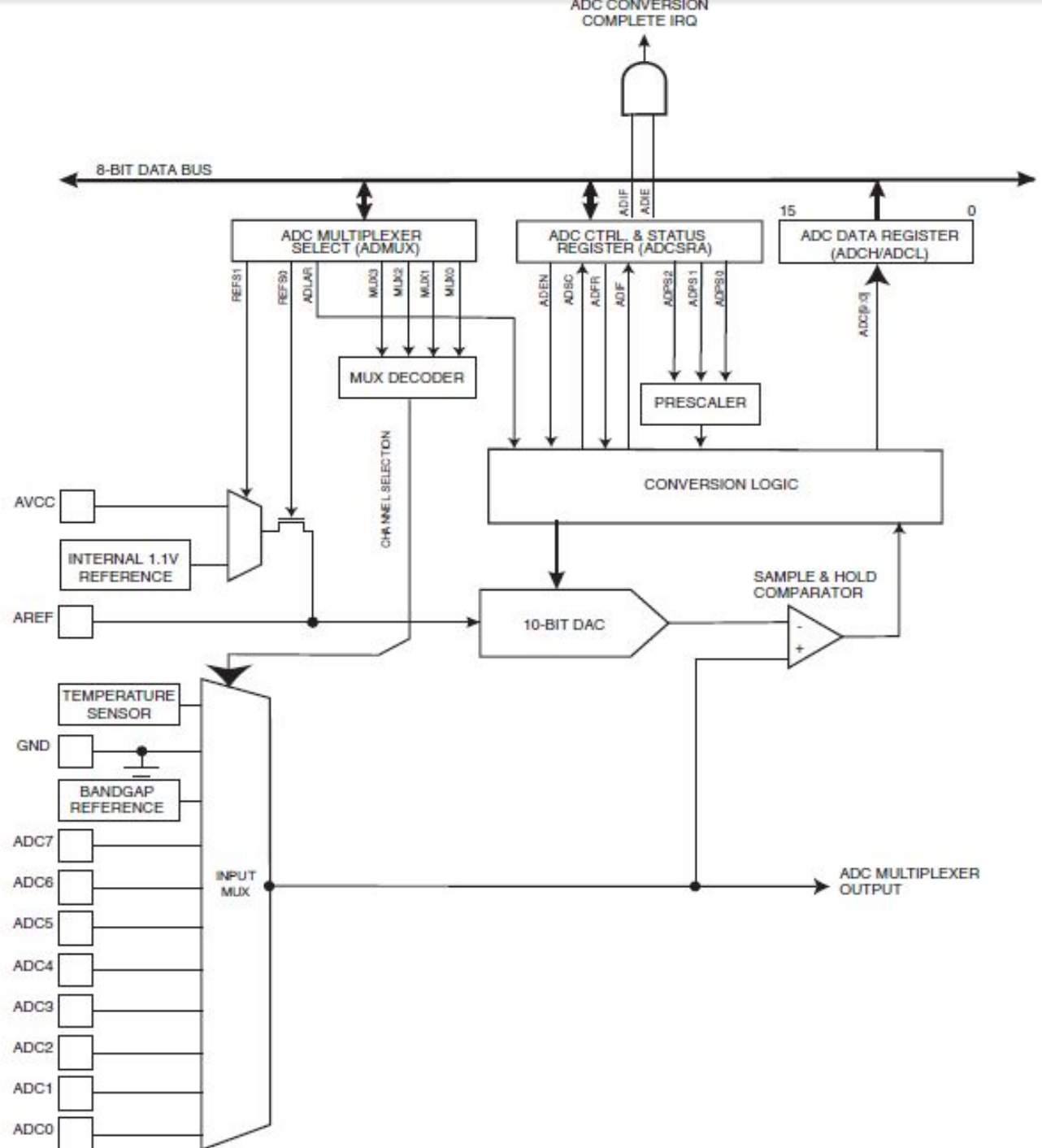
The ATmega16 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is a 8-channel Analog Multiplexer which allows 8 single-ended voltage inputs on pins of Port A. The single-ended voltage inputs refer to 0V (GND).

The device also supports 16 differential voltage input combinations. Two of the channels (ADC1, ADC0 and ADC3, ADC2) are equipped with a programmable gain selection of amplification steps of 0 dB (1x), 20 dB (10x), or 46 dB (200x) on the differential inputs before the A/D conversion. Seven differential analog input channels share a common terminal (ADC1), while any other ADC input can be selected as the positive input or 10x gain is used, 8-bit resolution can be expected. If 200x gain is used, 7-bit resolution

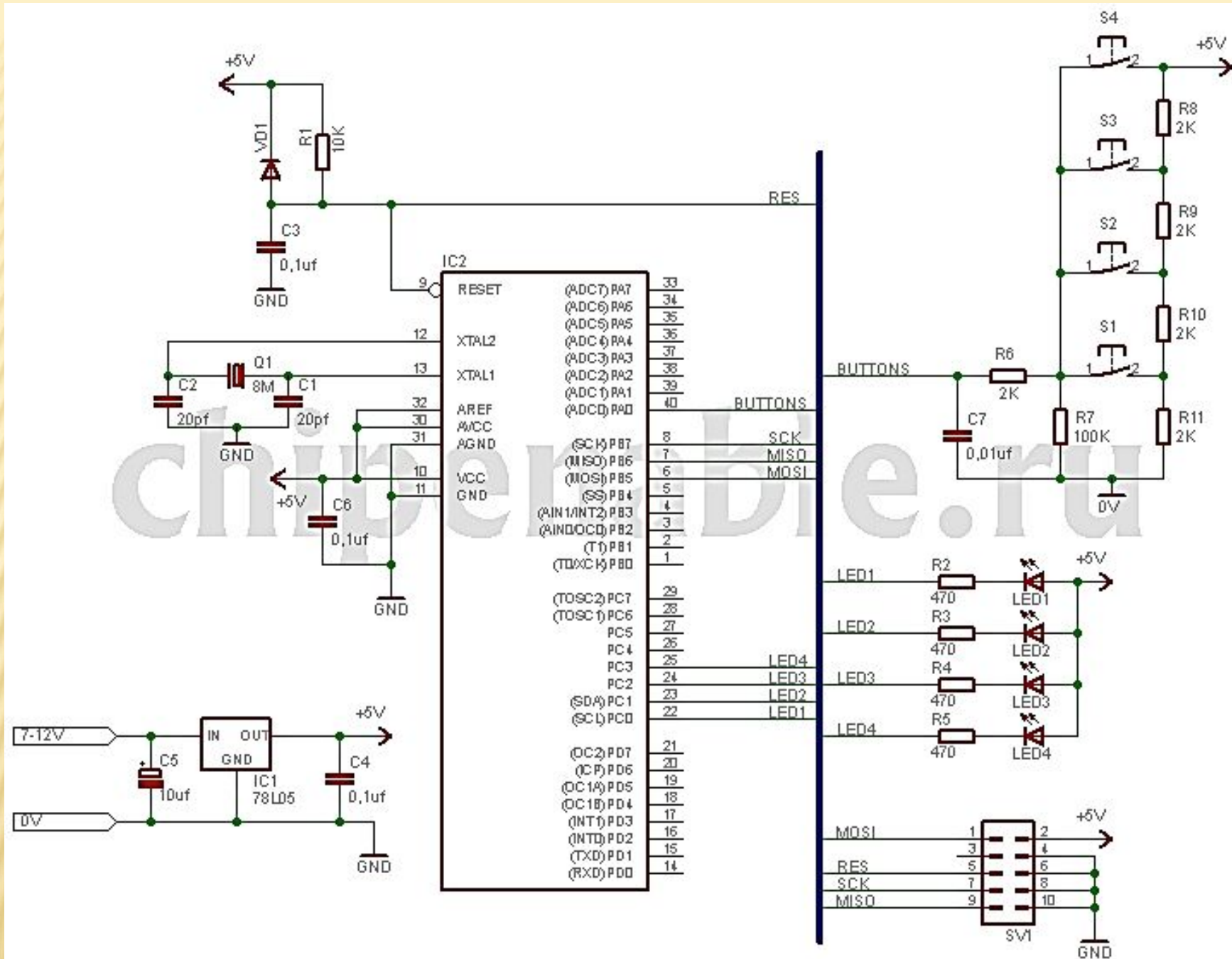
# MEGA16



# MEGA328







---

```
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
```

```
{  
    ADC_result=ADCH;  
}  
  
// Port C initialization (порт АЦП)  
// Func6-0=In  
// State6-0=T  
PORTC=0b00000000;  
DDRC=0b00000000;
```





ADC\_result=ADCH;

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

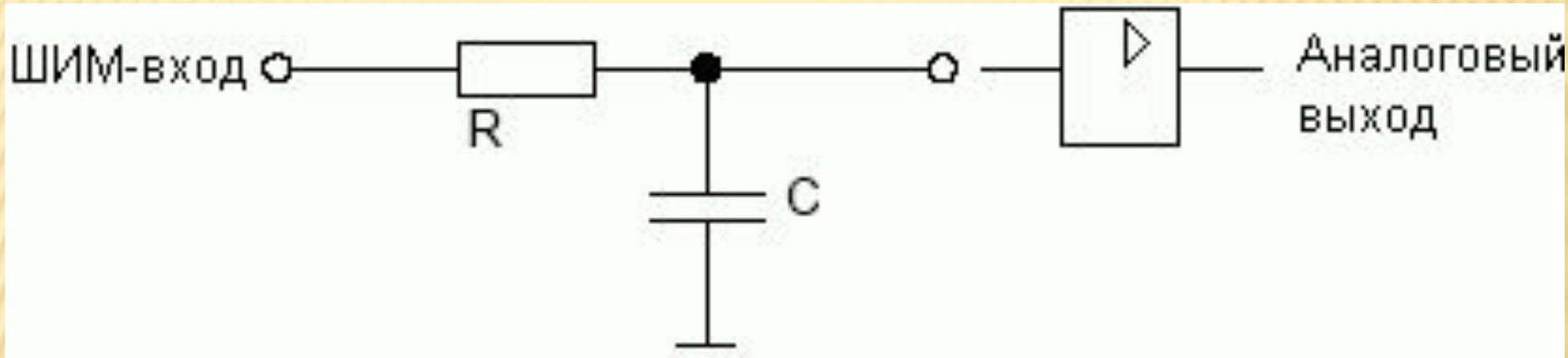
### Основная программа

- Инициализация портов
- Инициализация АЦП
- Разрешение прерываний
- Бесконечный цикл
  - {
  - выполнить действие
  - запустить АЦП (\*)
  - }

### Обработчик прерывания АЦП

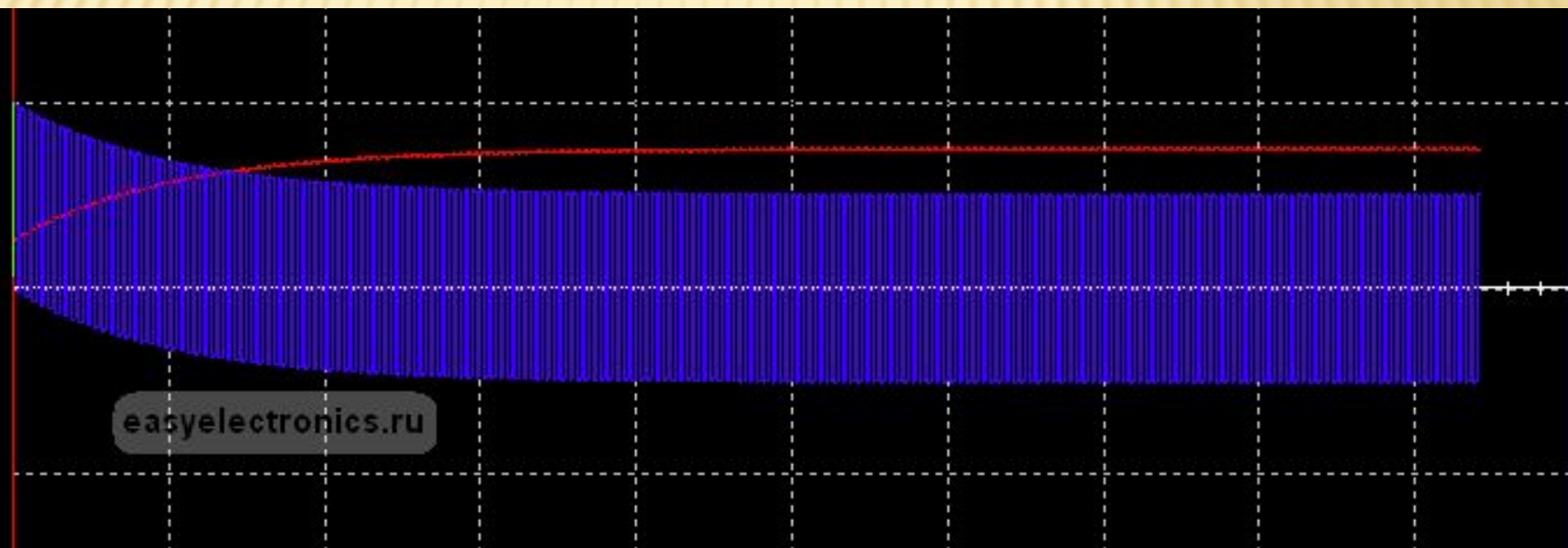
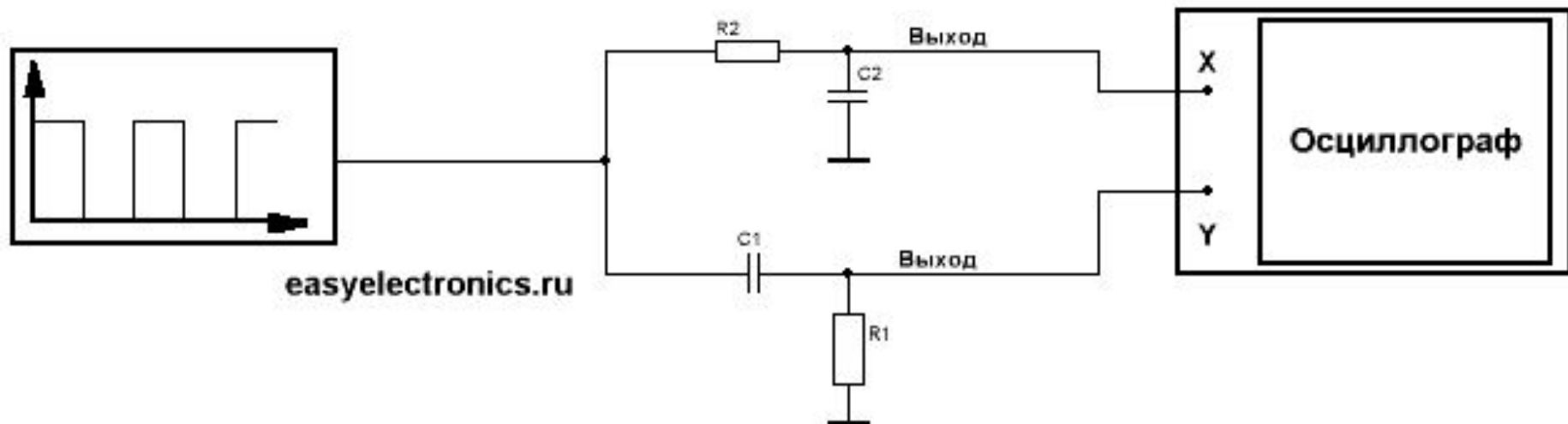
- Считать напряжение на входе АЦП
- Определить в какой диапазон оно попадает
- Записать номер кнопки в буфер
- Запустить АЦП (\*)

# ПРОСТОЙ ЦАП



**Конденсатор и RC цепочка**

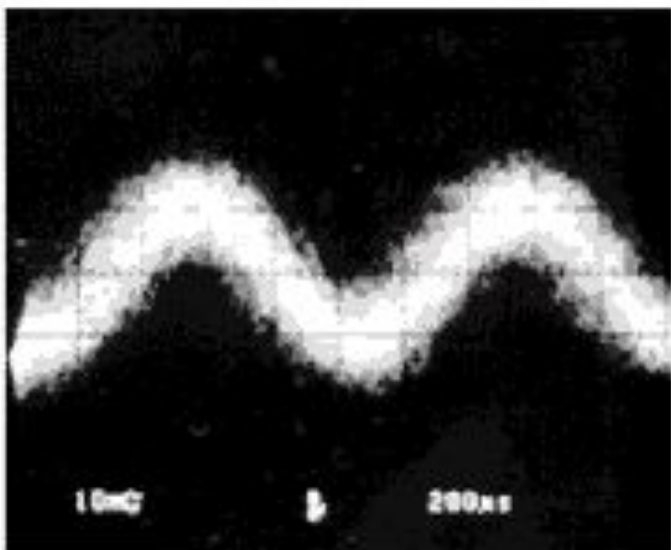
**<http://easyelectronics.ru/kondensator-i-rc-serochka.html>**



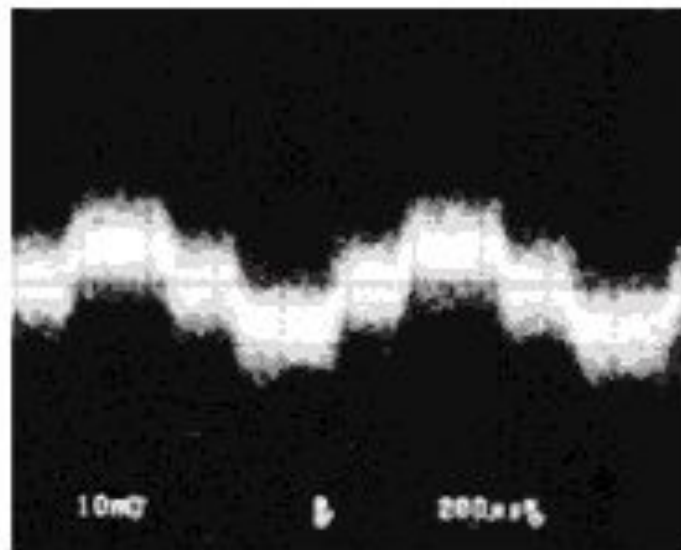


# СИГНАЛЫ НА ВЫХОДЕ, 20/24 BIT

DAC OUTPUT  
-110dB, 24-Bit, 96kHz

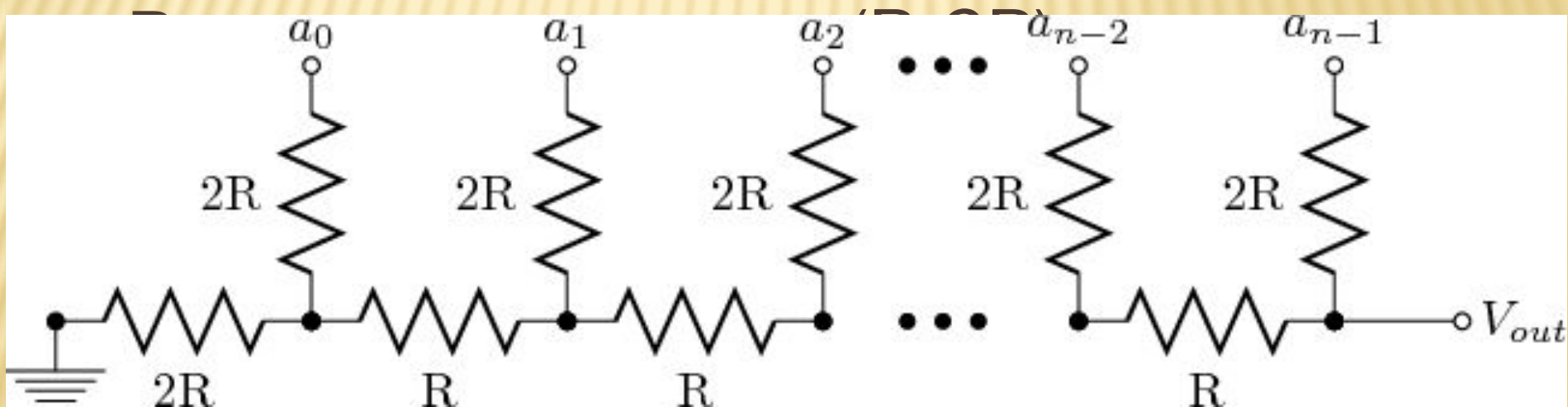
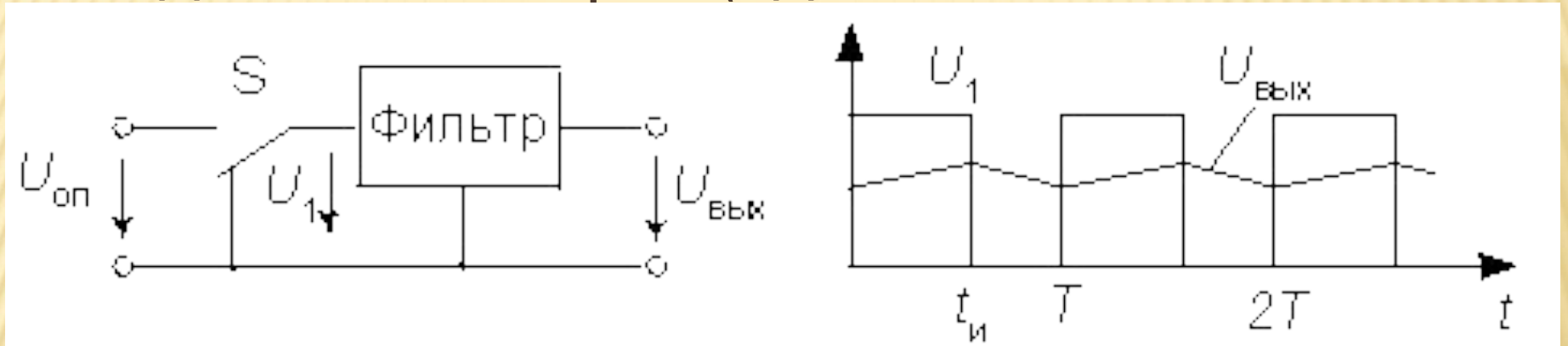


DAC OUTPUT  
-110dB, 20-Bit, 96kHz



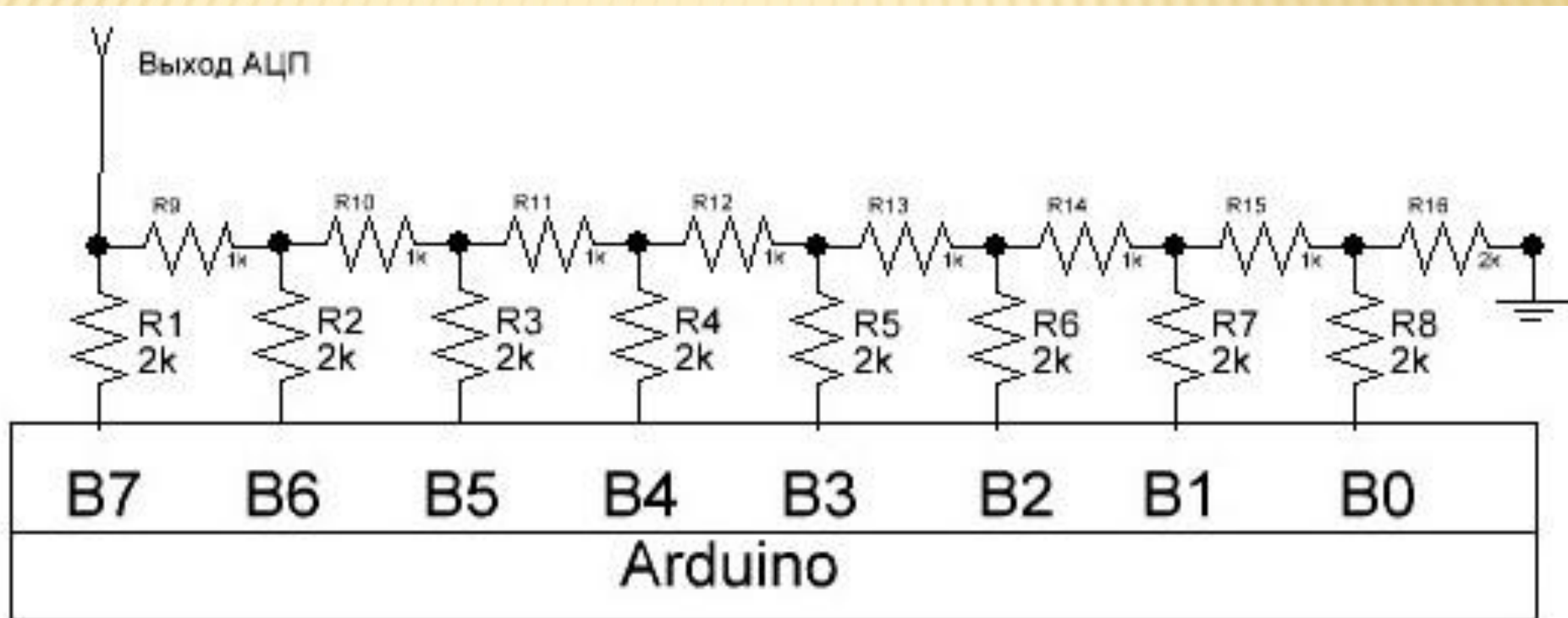
# ЦАП В ТЕХНИКЕ

## Одноразрядные ЦАП (однобитные)

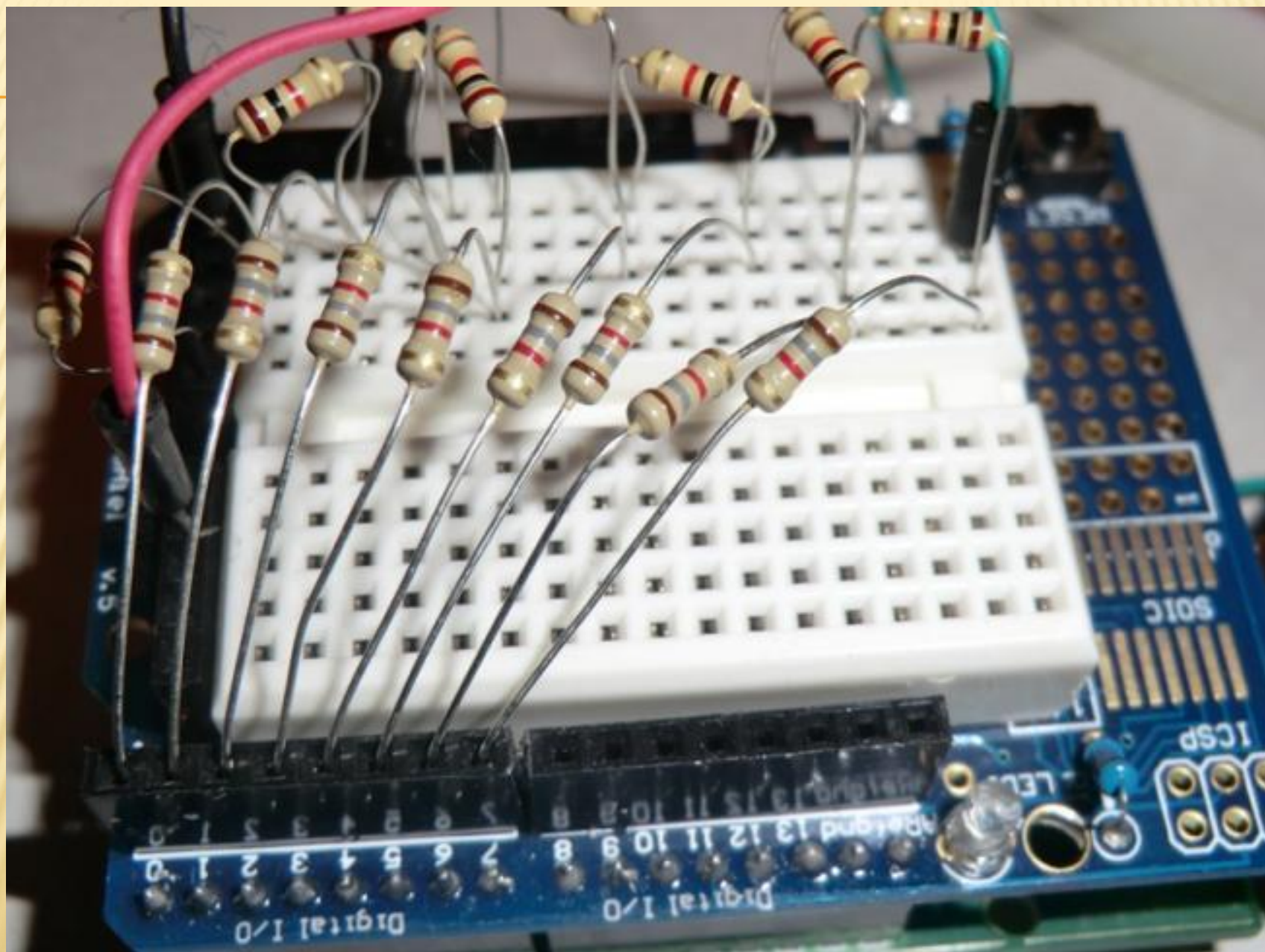


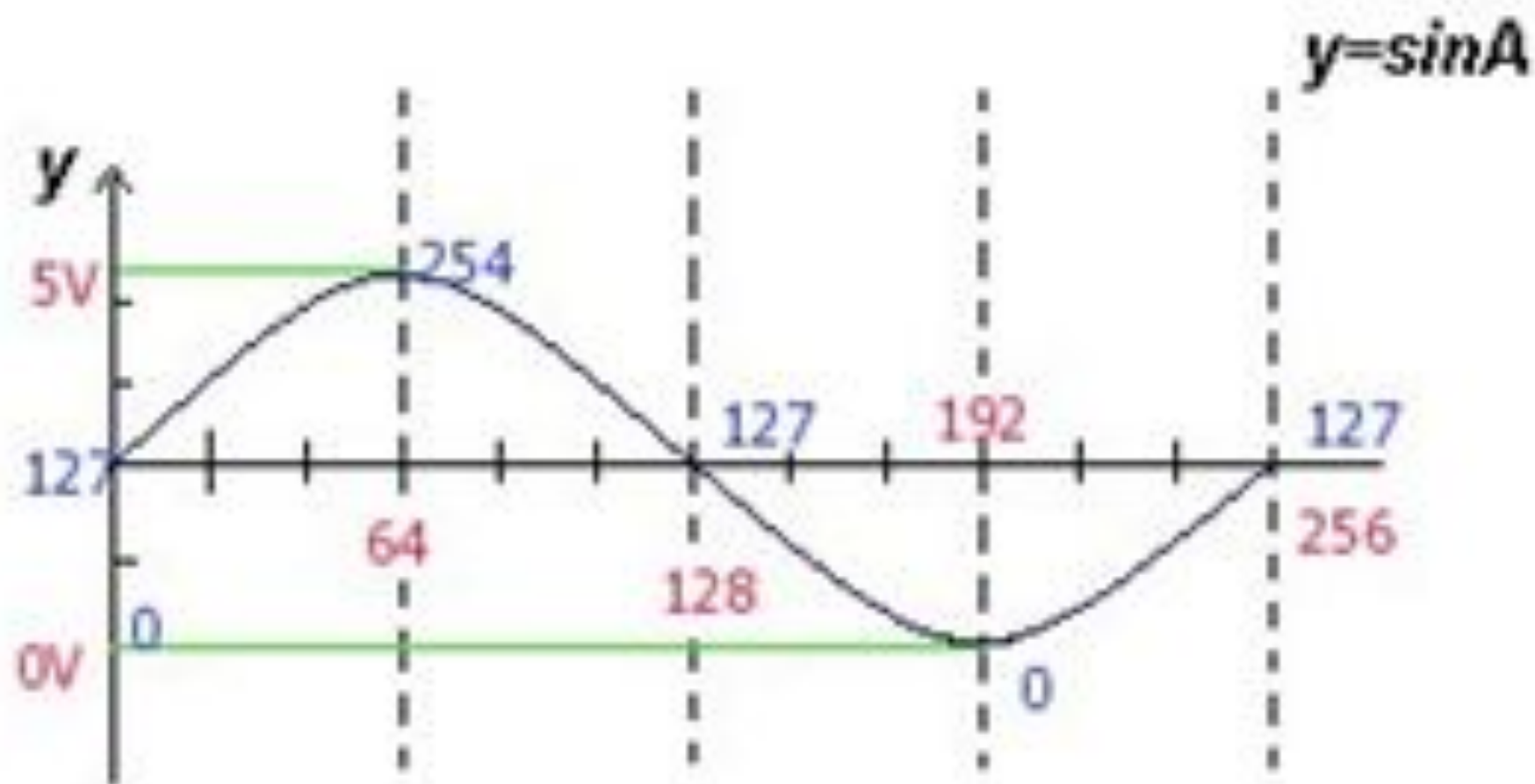
$$U_{\text{вых}} = U_{\text{пит}} * (B7 * 1/2 + B6 * 1/4 + B5 * 1/8 + B4 * 1/16 + B3 * 1/32 + B2 * 1/64 + B1 * 1/128 + B0 * 1/256)$$

Разрядность 8 бит, шаг 20мВ/5В









ADC\_result=ADCH;

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

### Основная программа

```
Инициализация портов  
Инициализация АЦП  
Разрешение прерываний  
Бесконечный цикл  
{  
    выполнить действие  
    запустить АЦП (*)  
}
```

### Обработчик прерывания АЦП

```
Считать напряжение на входе АЦП  
Определить в какой диапазон оно попадает  
Записать номер кнопки в буфер  
Запустить АЦП (*)
```



