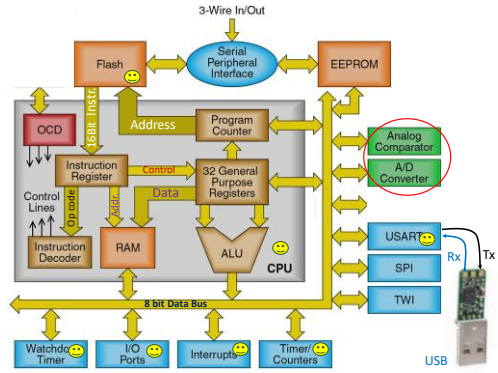
Týždeň	Prednášky	Cvičenia
1.	~~Úvod do predmetu. Číselné sústavy v elektronike, kódovane čísel. Jazyk C. Úvod do digitálnej elektroniky.~~	~~Inštalácia: IDE *Microchip Studio* – *driver pre Arduino kit*~~
2.	~~Polovodičové pamäte~~	~~Práca s *Microchip Studio*, definovanie projektu~~
3.	~~ATmega328, pamäť, generovanie hodinových signálov, manažment napájania, reset~~	~~Práca s *Microchip Studio* preklad, simulácia projektu~~
4.	~~Vstupy-výstupy~~	~~Práca so vstupmi a výstupmi~~
5.	~~Externé a interné prerušenia, Watchdog časovač~~	~~Práca s prerušeniami~~ ~~Výber zadania na zápočet~~
6.	~~Sériové komunikačné prostriedky USART – Tx~~	~~Práca s USART – TX.~~ ~~Práca na zadaní~~
7.	~~Sériové komunikačné prostriedky USART – Rx~~	~~Práca s USART – RX.~~ ~~Práca na zadaní~~
8.	~~T C0 - Normal mode~~	~~Práca s T C0.~~ ~~Práca na zadaní~~
9.	~~T C0 – Fast PWM mode, Fázovo korektná z CTC PWM~~	~~Práca s T C0.~~ ~~Práca na zadaní~~
10.	AC komparátor, AD prevodník	Programovanie AD. Práca na zadaní
11.	EEPROM, *FUSE* bity	Programovanie EEPROM. Práca na zadaní
12.	I2C zbernica	**Zápočet - Praktická práca s MCU**
13.	Predtermín - **Zápočet - Praktická práca s MCU**	**Zápočet - Praktická práca s MCU**

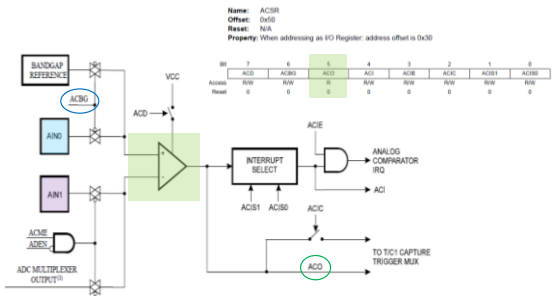
Architektúra mikrokontrolerov AVR



ATmega328P – AC analógový komparátor

Analógový komparátor porovnáva vstupné napätie na kladnom vstupe AIN0 (PD6) a zápornom vstupe AIN1 (PD7). Ak je napätie na vstupe AIN0 vyššie ako na AIN1, nastaví sa príznakový bit v status registri ACSR.ACO.

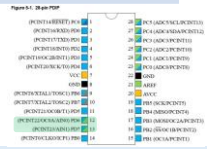
- Ak napätie na AIN0 > napätie na AIN1, výstup komparátora (bit ACO) = 1
- Ak napätie na AIN0 < napätie na AIN1, výstup komparátora (bit ACO) = 0



ATmega328P – AC analógový komparátor

Bity registra ACSR	Názov	Funkcia
ACD	*Analog Comparator Disable*	Ak je 1, komparátor je vypnutý
ACBG	*Analog Comparator Bandgap Select*	Ak je 1, interné referenčné napätie 1.1V nahradí AIN0
ACO	*Analog Comparator Output*	Výsledok porovnania (iba na čítanie)
ACI	*Analog Comparator Interrupt Flag*	Prerušenie od komparátora
ACIE	*Analog Comparator Interrupt Enable*	Povolenie prerušenia analógového komparátora
ACIC	*Analog Comparator Input Capture Enable*	Povolenie spustenie *Timer/Counter1*
ACIS1, ACIS0	*Comparator Interrupt Mode Select*	Výber režimu generovania prerušenia

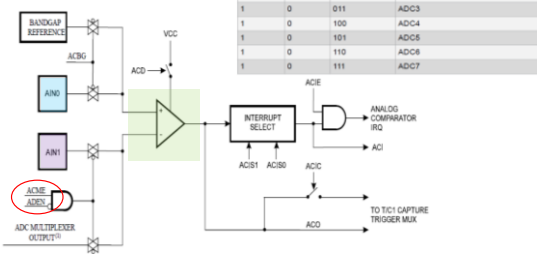
ACIS1	ACIS0	Režim generovania prerušenia
0	0	Prerušenie generované pri fubovoľnej zmene ACO
0	1	Nepoužité
1	0	Prerušenie generované pri zmene (AIN0 > AIN1)
1	1	Prerušenie generované pri zmene (AIN0 < AIN1)



ATmega328P – AC analógový komparátor

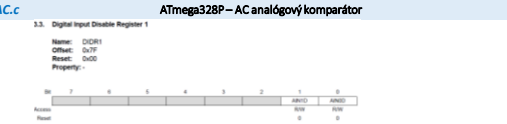
Záporný vstup komparátora AIN1 je možné nahradiť ľubovoľným z vývodov ADC[7:0]. Tri najmenej významné bity výberu analógového kanála (ADMUX.MUX[2:0]) určujú vstupný vývod, ktorý nahradí AIN1 (ADCSRB.ACME=1 a ADCSRA.ADEN=0).

ACME	ADEN	MUX[2:0]	Analog Comparator Negative Input
0	x	xxx	AIN1
1	1	xxx	AIN1
1	0	000	ADC0
1	0	001	ADC1
1	0	010	ADC2
1	0	011	ADC3
1	0	100	ADC4
1	0	101	ADC5
1	0	110	ADC6
1	0	111	ADC7



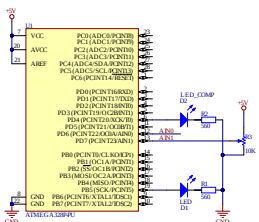
AC.c

ATmega328P – AC analógový komparátor



AIN0D, AIN1D - Vypnutie digitálneho vstupu AIN0/1. Keď je bit = 1, digitálna vstupná vyrovnávacia pamäť na vývode AIN1/0 je zakázaná. Keď je na vývod AIN1/0 privedený analógový signál a digitálny vstup na tomto vývode nie je potrebný, tento bit by sa mal rovnať 1, aby sa znížila spotreba energie vo vyrovnávacej pamäti digitálneho vstupu.

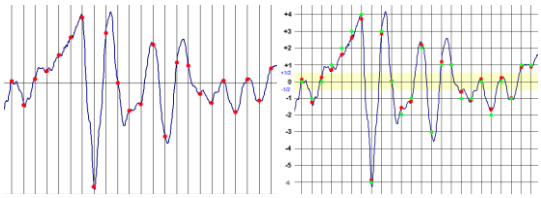
```
int main (void) {

    wdt_enable (WDTO_1S);
    DDRB |= (1<<DDB5);     //Led 500ms/500ms
    DDRD |= (1<<DDD3);     //Led Comparator
    DIDR1 = (1<<AIN1D);    //Disable Digital Input on AIN1
    ACSR = (1<<ACBG);      //Enable Internal 1.1V on AIN0

    InitTC_0();
    sei();

    while(1) {
        wdt_reset();
        if (ACSR & (1<<ACO)) PORTD |= (1 << PORTD3);
        else PORTD &= ~(1 << PORTD3);
    }
}
```



ADC – analógovo / digitálny prevodník (112-118)

Analógovo digitálny prevodník (ADC) je elektronická súčiastka určená pre prevod spojitého (analógového) signálu (napätia) na signál diskrétny (digitálny) signál. Dnes je to súčasť každého MCU.

Prevod spojitého signálu na diskrétny prebieha v dvoch fázach:
- Vzorkovanie signálu - v presných časových intervaloch sa odoberajú vzorky analógového signálu.
- Kvantovanie signálu - každej vzorke sa priradí najbližšia kvantovaná číselná hodnota.



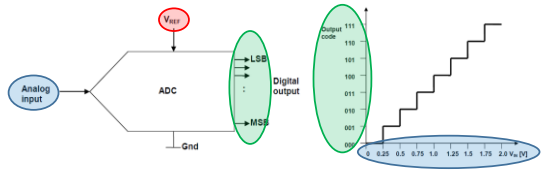
Vzorkovanie (vzorkovacia frekvencia) *Kvantovanie (amplitúda – kvantizačná chyba)*

7

Typy ADC

- Komparačný ADC: najrýchlejší typ prevodníka, pretože prevod prebieha v jednom časovom okamihu.
- Kompenzačný ADC: zahŕňa niekoľko typov, vrátane prevodníka s postupnou aproximáciou , ktorý predstavuje kompromis medzi rýchlosťou a rozlíšením.
- Integračný ADC: základom jeho činnosti je integrátor, používaný v multimetroch.
- Sigma-delta prevodník: Poskytuje vysoké rozlíšenie a linearitu na úkor malej rýchlosti prevodu.

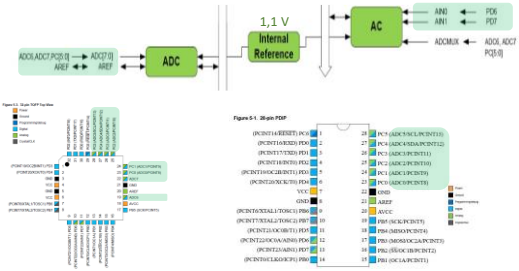
- Vstupné analógové napätie je hodnota vstupného meraného napätia.
- Referenčné napätie V_{REF} používa sa na prevod vstupného napätia, určuje maximálnu hodnotu vstupného napätia (V_{REF} => Analog input).
- Rozlíšenie je počet napäťových úrovní, na ktoré je možné rozdeliť merané napätie. Počet úrovní sa vypočíta ako 2^n , kde n je počet bitov ADC. Napríklad, 10 bitový ADC má rozlíšenie 1024.
- Kvantizačné minimum predstavuje najmenšiu napäťovú zmenu, ktorú dokáže ADC rozpoznať $V_{REF} / 2^n$.



8

ATmega328P – analógovo / digitálny prevodník ADC *(28.)* (112-119)

- Obsahuje 10 bitový ADC s postupnou aproximáciou.
- Čas prevodu: 13 – 260 us.
- 6 multiplexovaných *Single Ended* vstupných kanálov: ADC0 (PC0) – ADC5 (PC5) (TQFP32 - 8 vstupov).
- Rozsah vstupného napätia 0 – AREF, (externé referenčné napätie).
- Rozsah vstupného napätia 0 – 1,1 V, ak sa použije interné referenčné napätie 1,1 V.
- Teplotný senzor na čipe.

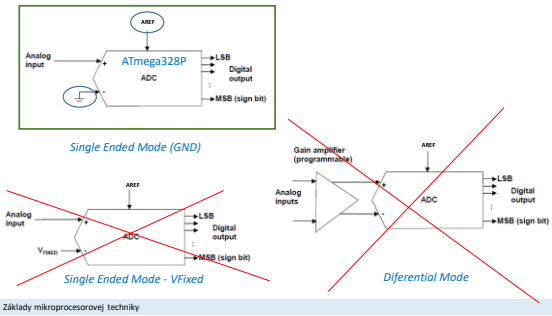


9

ATmega328P – analógovo / digitálny prevodník ADC *(28.)*

Konverzný mód definuje, ako ADC spracováva vstupné analógové napätie a generuje výstupnú číselnú hodnotu. Existujú dva typy konverzie vstupného napätia:

- *Single Ended Mode:* napätie sa je meria voči referenčnému potenciálu (GND, alebo iný potenciál).
- *Diferential Mode:* meria sa rozdielové napätie medzi dvoma vstupnými signálmi (diferenčné napätie).



10

ATmega328P – ADC

Referenčné napätie môže byť: *(28.5)*
- AVCC, ktoré napája analógové obvody
- Interné referenčné napätie 1,1V
- AREF, externé referenčné napätie

Vstupné napätie: *(28.5)*
- Senzor teploty čipu MCU (1mV/°C)
- 0V (GND)
- 1,1V interné referenčné napätie
- ADC6 – ADC7 (pre TQFP, VQFN)
- ADC0 – ADC5 (pre DIP28)

Vzorkovacia frekvencia ADC: *(28.4)*
- Musí byť z rozsahu 50kHz až 200kHz
- *Prescaler:* 2,4,8,16,32,64,128

$f_{ADC} = f_{SYS} / Prescaler$ = 16MHz/128 = 125kHz

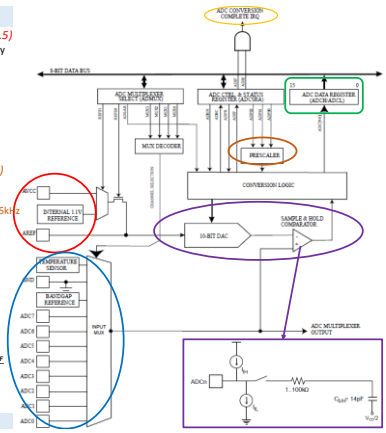
10-BIT DAC + S/H komparátor:
- prvá konverzia 25 ADC cyklov
- každá nasledujúca 13 ADC cyklov

ADC Dátový register: *(28.7)*

$$U_{IN} = \frac{ADC * U_{REF}}{1024}$$

$$U_{IN} = \frac{[(ADCH \ll 8) \mid ADCL] * U_{REF}}{1024}$$

Generovanie prerušenia



11

ATmega328P – ADC – registre *(28.9)*

ADCSRA – *ADC Control and Status Register A*

Name: ADCSRA
Offset: 0x7A
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Bit 7 – ADEN: ADC Enable
Bit 6 – ADSC: ADC Start Conversion
Bit 5 – ADATE: ADC Auto Trigger Enable
Bit 4 – ADIF: ADC Interrupt Flag
Bit 3 – ADIE: ADC Interrupt Enable
Bit 2 – ADPS: ADC Prescaler Select
Bit 1 – ADPS: ADC Prescaler Select
Bit 0 – ADPS: ADC Prescaler Select

Table 28-5.

ADPS[2:0]	Division Factor
000	2
001	2
010	4
011	8
100	16
101	32
110	64
111	128

12

ATmega328P – ADC – registre *(28.9)*

ADCSRB – *ADC Control and Status Register B*

Name: ADCSRB
Offset: 0x7B
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
		ACME				ADTS2	ADTS1	ADTS0
Access		R/W				R/W	R/W	R/W
Reset		0				0	0	0

Bit 6 – ACME: Analog Comparator Multiplexer

Bits 2 – ADTS: ADC Auto Trigger Source
Bits 1 – ADTS: ADC Auto Trigger Source
Bits 0 – ADTS: ADC Auto Trigger Source

Table 28-6. ADC Auto Trigger Source Selection

ADTS[2:0]	Trigger Source
000	Free Running mode
001	Analog Comparator
010	External Interrupt Request 0
011	Timer/Counter0 Compare Match A
100	Timer/Counter0 Overflow
101	Timer/Counter1 Compare Match B
110	Timer/Counter1 Overflow
111	Timer/Counter1 Capture Event

ATmega328P – ADC – registre *(28.9)*

ADMUX – *ADC Multiplexer Selection Register*

Name: ADMUX
Offset: 0x7C
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	REFS1	REFS0	ADLAR		MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
Access	R/W	R/W	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0		0	0	0	0

Table 28-3. ADC Voltage Reference Selection

REFS[1:0]	Voltage Reference Selection
00	AREF, Internal V_{ref} turned off
01	AV_{CC} with external capacitor at AREF pin
10	Reserved
11	Internal 1.1V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

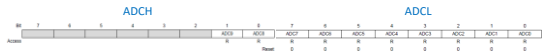
Table 28-4. Input Channel Selection

MUX[3:0]	Single Ended Input
0000	ADC0
0001	ADC1
0010	ADC2
0011	ADC3
0100	ADC4
0101	ADC5
0110	ADC6
0111	ADC7
1000	Temperature sensor
1001	Reserved
1010	Reserved
1011	Reserved
1100	Reserved
1101	Reserved
1110	1.1V (V_{BG})
1111	0V (GND)

ATmega328P – ADC – registre *(28.9)*

ADCL – *ADC Data Register Low*
ADCH – *ADC Data Register High*
Keď je ukončený AD prevod, 10 bitový výsledok je uložený v dvoch 8 bitových registroch. Bity v týchto registroch môžu byť zoradené dvoma spôsobmi:

- Ak bit ADLAR = 0 (ADMUX register), potom sú bity zarovnané vpravo:



- Ak ADLAR = 1 (ADMUX register), potom sú bity zarovnané vľavo:

ATmega328P – ADC – registre *(28.9)*

DIDR0 – *Digital Input Disable Register 0*

Name: DIDR0
Offset: 0x7E
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ADC7D	ADC6D	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Analógové vstupy by mali mať vypnutú vyrovnávaciu pamäť digitálneho vstupu. Ak je analógové napätie (signál) pripojené na analógové vstupy, digitálny vstupný buffer pre tieto vstupy nie je potrebný a preto je možné ho vypnúť zapísaním logickej 1 do odpovedajúceho bitu registra DIDR0.

ATmega328P – ADC - prevod vstupného analógového napätia

1. Príklad inicializácie ADC

- Povoliť bit ADEN v ADCSRA na aktiváciu modulu ADC.
- Nastaviť vzorkovaciu frekvenciu ADC pomocou bitov ADPS[2:0] v ADCSRA registri, tak aby bola z rozsahu 50kHz - 200kHz. Pri oscilátore 16MHz je potrebné delenie číslom 128.
- Vypnúť vstupný buffer pre používané analógové vstupy v registri DIDR0.
- Nastaviť referenčné napätie pomocou bitov REFS[1:0] v ADMUX registri.

```
void Init_ADC (void)//Init A/D converter
{
          //Enable ADC, Division factor 128
          ADCSRA |= (1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
          // Disable Digital Input on ADC Channel 0,1,2,3,4,5 to reduce power consumption
          DIDR0 = 0x3F;
          //AVcc Reference
          ADMUX |= (1<<REFS0);
}
```

2. Vykonanie AD prevodu a získanie hodnoty AD prevodu

- nastaviť vstupný kanál ADC pomocou bitov MUX[3:0] v ADMUX registri,
- nastaviť bit začatia prevodu ADSC v ADCSRA registri, aby sa spustil jeden AD prevod,
- čakať na ukončenie AD prevodu (test bitu ADIF v registri ADCSRA),
- prečítať hodnotu ADC (ADCH*0x100 + ADCL) a nulovať bit ADIF.

```
unsigned int ADC_read (unsigned char channel)
{
          ADMUX &= 0xF0; ADMUX |= channel;
          ADCSRA |= (1<<ADSC);          //Start A/D
          while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));    //Wait for conversion to complete
          ADCSRA &= ~(1<< ADIF);
          return (ADC);
}
```


ATmega328P – ADC - prevod vstupného analógového signálu

Meranie teploty pomocou senzora na čipe *(28.8)*

- povoliť bit ADEN v ADCSRA na aktiváciu modulu ADC.
- nastaviť vzorkovaciu frekvenciu ADPS[2:0] v ADCSRA (od 50kHz do 200kHz).
- nastaviť referenčné napätie REFS[1:0] v ADMUX (Interná referencia 1,1V).
- nastaviť vstupné napätie pomocou bitov MUX[3:0] na kanál 8 v ADMUX.
- Nastaviť bit štartu konverzie ADSC v ADCSRA, aby sa spustila jedna konverzia.
- Čakať na ukončenie AD konverzie (testovať bit ADIF v registri ADCSRA) alebo použiť prerušenie ADC *Conversion Complete*.
- nulovať bit ADIF
- prečítať hodnotu *ADC data register* (ADCH*0x100 + ADCL) (výsledok je v mV)

Temperature	-45°C	+25°C	+85°C
Voltage	242mV	314mV	380mV

```
int teplota;
float tep1;

teplota = ADC_read(8);

tep1 = (float)teplota * 1.1 * 1000.0 / 1024.0;

sprintf (buffer, "Channel_8: %04d  %3.2fmV  %2.1f°C %s\n\r", teplota, tep1, tep1-358.0, text);

USART_Transmit_Text();
```

Vref mV rozlíšenie AD

prevod na °C

Táto hodnota môže byť pre každý MCU iná

ATmega328P – ADC– príklad

ADC.c

```
//-------------------------------------------------------------------
void Init_ADC (void)//Init A/D converter
{
    //Enable ADC, Division factor 128 16Mhz/128 = 125kHz
    ADCSRA |= (1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
    //Disable Digital Input on ADC Channels to reduce power consumption
    DIDR0 = 0x3F;
    //AVcc Reference
    ADMUX |= (1<<REFS0);
}
//-------------------------------------------------------------------
unsigned int ADC_read (unsigned char channel)
{
    ADMUX &= 0xF0;
    ADMUX |= channel;
    ADCSRA |= (1<<ADSC);              //Start single A/D
    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));     //Wait for conversion to
    ADCSRA &= ~(1<<ADIF);             //Clear flag AD conversio
    ADCSRA |= (1<<ADSC);              //Start single A/D
    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));     //Wait for conversion to
    ADCSRA &= ~(1<<ADIF);             //Clear flag AD conversio
    return (ADC);                     //ADC = ADCH + ADCL
}
```