

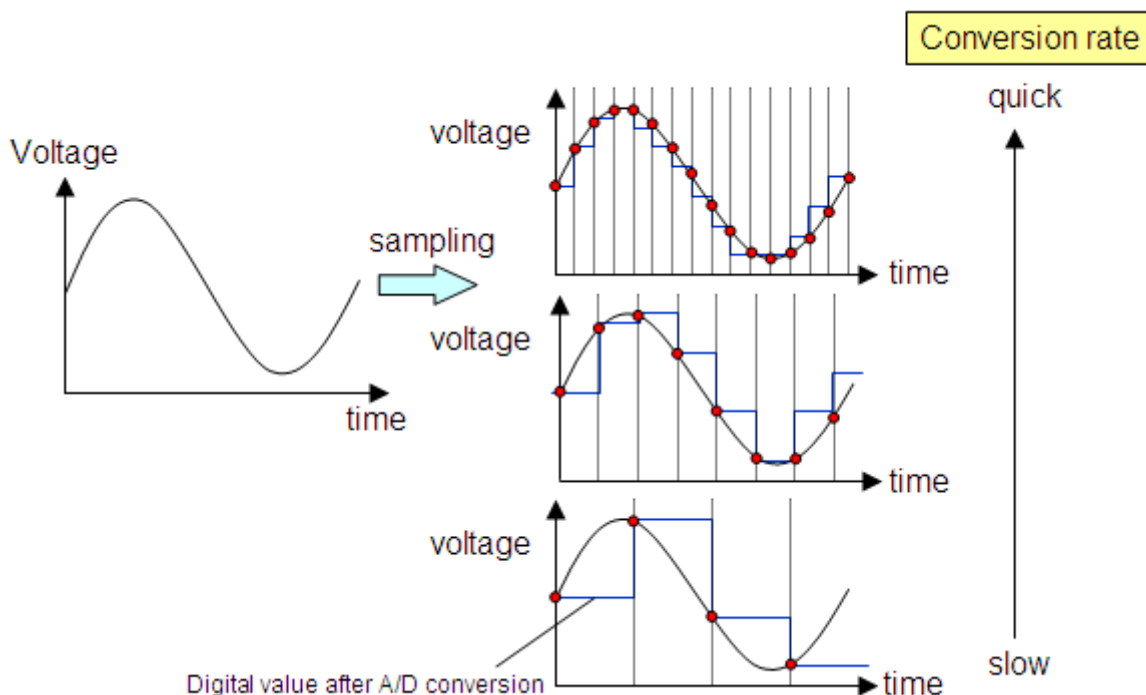
## Przetwornik analogowo-cyfrowy

Przetwornik analogowo-cyfrowy **A/C** (ang. **A/D** – analog to digital; lub angielski akronim **ADC** - od słów: **Analog to Digital Converter**), to układ służący do zamiany sygnału analogowego na *sygnał cyfrowy*. Dzięki temu możliwe jest przetwarzanie sygnałów analogowych w urządzeniach elektronicznych opartych o architekturę zero-jedynkową oraz gromadzenie na dostosowanych do tej architektury nośnikach danych.

Przetwarzanie analogowo-cyfrowe składa się z trzech procesów:

1. próbkowania
2. kwantowania
3. kodowania

**Próbkowanie** polega na wyznaczeniu momentów pomiarów wartości napięcia elektrycznego (ang. voltage) podawanego na wejście przetwornika A/C (reprezentującego sygnał ciągły, analogowy), w taki sposób aby otrzymany ciąg liczb możliwie wiernie odwzorowywał zmiany tego sygnału. Najczęściej pomiar, czyli "pobieranie próbki" odbywa się co stały okres  $Dt$  zwany okresem próbkowania (ang.: sampling period, sampling time), a jego odwrotność to *częstotliwość próbkowania*  $f_p=1/Dt$ . Im większa częstotliwość próbkowania (czyli krótszy okres próbkowania) tym większa szybkość konwersji (conversion rate) i tym dokładniejsze może być odwzorowanie zmian przebiegu wejściowego co pokazuje poniższy rysunek.



**Kwantowanie** to cyfrowy pomiar czyli przedstawienie mierzonej wartości jako liczby elementarnych kwantów (najczęściej liczby binarnej - w układzie dwójkowym). Precyzja pomiaru zależy od liczby poziomów (kwantów) odpowiadających pełnemu zakresowi mierzonego napięcia, a nazywanej rozdzielczością przetwornika.

Najwcześniejszą metodą kwantowania była metoda kwantowania równomiernego, popularnie zwana modulacją kodowo-impulsową (PCM ang. Pulse-Code Modulation). Polega ona na podzieleniu całego zakresu, w jakim może zmieniać się sygnał wejściowy, na  $k$  (np. 1024) równomiernie rozłożonych

przedziałów kwantowania o stałych szerokościach. Jeżeli  $n$  bitów jest przeznaczonych do reprezentowania każdej wartości próbki, wtedy całkowita liczba reprezentowanych wartości sygnału wynosi:

$$2^n = k \Rightarrow n = \log_2 k$$

Dla  $k=1024$ ,  $n=10$  (bitów), liczba reprezentowanych wartości to  $2^n$ , maksymalna wartość to  $2^n - 1$ .

*Rozdzielczość* podawana jest jako liczba bitów przeznaczonych do zapisu wyniku pomiaru. Ponieważ przy pomocy  $n$  bitów można zapisać wartości od zera do  $2^n - 1$  więc  $n$  bitowa rozdzielczość odpowiada  $2^n$  poziomom kwantowania.

Na przykład cztero-bitowy przetwornik dzieli zakres pomiaru na  $2^4 = 16$ . Każdej z liczb odpowiada wartość zero-jedynkowa:

0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

*Najmniejsza wartość*, jaka może być zapisana na 4 bitach to 0000 – 0.

*Największa wartość*, jaka może być zapisana na 4 bitach to 1111 –  $2^4 - 1 = 15$ .

Dla liczby 11 mamy 1011 (reszty dzielenia przez 2):

*Kod dwójkowy*

Numer bitu	Liczba	Reszty dzielenia przez 2	Waga
4	<b>11</b>	1	8
3	5	1	4
2	2	0	2
1	1	1	1

Do jej zapisu potrzebne są 4 bity.

Dla liczby 965 mamy 1111000101 (reszty dzielenia przez 2):

*Kod dwójkowy*

Numer bitu	Liczba	Reszty	Waga
10	<b>965</b>	1	512
9	482	0	256
8	241	1	128
7	120	0	64
6	60	0	32
5	30	0	16
4	15	1	8
3	7	1	4
2	3	1	2
1	1	1	1

Do jej zapisu potrzebnych jest 10 bitów.

**Kodowanie** polega na dostosowaniu otrzymanych wyników do sposobu transmisji i przechowywania w pamięci komputera.

*Czujniki* stosowane w elektronice mogą przetwarzać sygnał nieelektryczny na napięcie. W uproszczeniu można w wielu zastosowaniach przyjąć, że odwzorowanie to jest funkcją liniową. Wtedy pomiar polegałby na odczytaniu napięcia np. z zakresu analogowego 0-5V. Zmiana wartości wyjściowej z czujnika na wartość cyfrową daje możliwości interpretacji w systemach mikroprocesorowych. Poprawną interpretację zapewnia czułość przyrządu pomiarowego definiowana jako najmniejsza zmiana wartości mierzonej wielkości fizycznej, którą może zarejestrować dany przyrząd pomiarowy.

**Czułość** (sensitivity) jest to iloraz zmiany wskazania układu pomiarowego ( $\Delta p$ ) i odpowiadającej jej zmiany wartości wielkości mierzonej ( $\Delta m$ ).

$$SE = \Delta p / \Delta m$$

Weźmy przetwornik A/C 10-bitowy. Maksymalna liczba, jaką można zapisać na wyjściu takiego przetwornika to  $2^{10}-1=1023$ .

W analizowanej sytuacji mamy:

$$\Delta p = 1023$$

$$\Delta m = \Delta u = 5000 \text{ mV}$$

$$SE = 0,2046 \text{ 1/mV}$$

Wskazanie przyrządu pomiarowego  $\Delta p \in \langle 0; 1023 \rangle$  jest iloczynem czułości i wartości sygnału wejściowego:

$$\Delta p = SE * \Delta m$$

Oznacza to, że przy zmianie napięcia o  $\sim 4,89 \text{ mV}$  nastąpi zmiana wartości na wyjściu przetwornika A/C o wartość 1.

Znając czułość SE i wartość odczytaną z przetwornika A/C można wyprowadzić wzór na wielkość mierzonej wartości wejściowej:

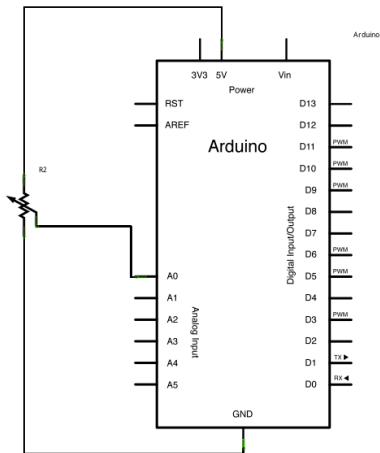
$$m = p / SE$$

## Mechatronika

Niech wartością mierzoną będzie napięcie  $U$ , wtedy

$$U = p/SE = p/\Delta p/\Delta m = p * \Delta m/\Delta p = p * 5/1023, \text{ gdzie } p \in \langle 0, 1023 \rangle$$

Przykładem pomiaru napięcia może być analiza dzielnika rezystancyjnego na wejściu A0 Arduino.



Przykładowy  *kod programu* pokazujący pomiar napięcia:

```
// Potencjometr, zasilanie 5V
// Odczyt pin analogowy 0
#define pinAn A0
void setup()
{
    pinMode(pinAn, INPUT);
    Serial.begin(9600); //initialize serial port 9600
}
void loop()
{
    float p=analogRead(pinAn); //dalsze działania w zbiorze R
    float u=p*5/1023;
    Serial.print(p);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(u);
    Serial.println(" V");
    delay(500); //okres próbkowania, częstotliwość fp= 1/500ms = 2Hz (2 razy na sekundę)
}
```

Oznaczmy przez  $R_d$  wartość rezystancji potencjometra.

$$\Delta p = 1023$$

$$\Delta R_d = 10000 \Omega$$

$$SE = 0,1023 \text{ } 1/\Omega$$

Wskazanie przyrządu pomiarowego  $\Delta p \langle 0, 1023 \rangle$  jest iloczynem czułości i wartości sygnału wejściowego:

$$\Delta p = SE * \Delta R_d$$

## Mechatronika

Oznacza to, że przy zmianie napięcia o  $\sim 9,76\Omega$  nastąpi zmiana wartości na wyjściu przetwornika A/C o wartość 1.

Znając czułość SE i wartość odczytaną z przetwornika A/C można wyprowadzić wzór na wielkość mierzonej wartości wejściowej:

$$R_d = p / SE = p / \Delta p / \Delta R_d = p * \Delta R_d / \Delta p = p * 10000 / 1023, \text{ gdzie } p \in \langle 0, 1023 \rangle$$

Dodatkowy fragment kodu w sekcji loop():

```
float p=analogRead(pinAn); //dalsze działania w zbiorze R
float Rd=p*10/1023;
Serial.print(Rd);
Serial.print(" kOhm");
```