



Uniwersytet  
Wrocławski

**Wydział Fizyki  
i Astronomii**  
Instytut Fizyki Doświadczalnej

pl. M. Borna 9  
50-204 Wrocław  
tel. +48 71 375 93 02, +48 71 328 73 65  
fax +48 71 328 73 65  
e-mail: [sekr@ifd.uni.wroc.pl](mailto:sekr@ifd.uni.wroc.pl)  
[www.ifd.uni.wroc.pl](http://www.ifd.uni.wroc.pl)

# **Elektronika (konspekt)**

Franciszek Gołek ([golek@ifd.uni.wroc.pl](mailto:golek@ifd.uni.wroc.pl))

[www.pe.ifd.uni.wroc.pl](http://www.pe.ifd.uni.wroc.pl)

## **Wykład 13**

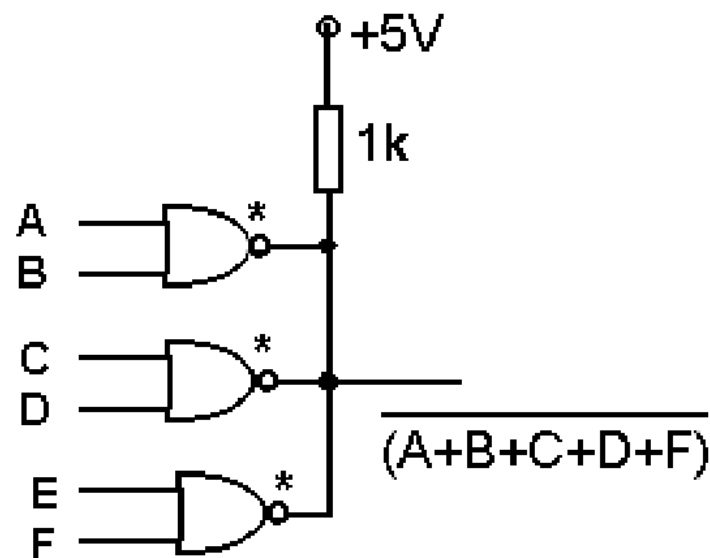
**Podstawy elektroniki cyfrowej  
(układy logiczne kombinacyjne i sekwencyjne)**

## **Bramki z otwartym kolektorem/drenem (OC, OD) na wyjściu.**

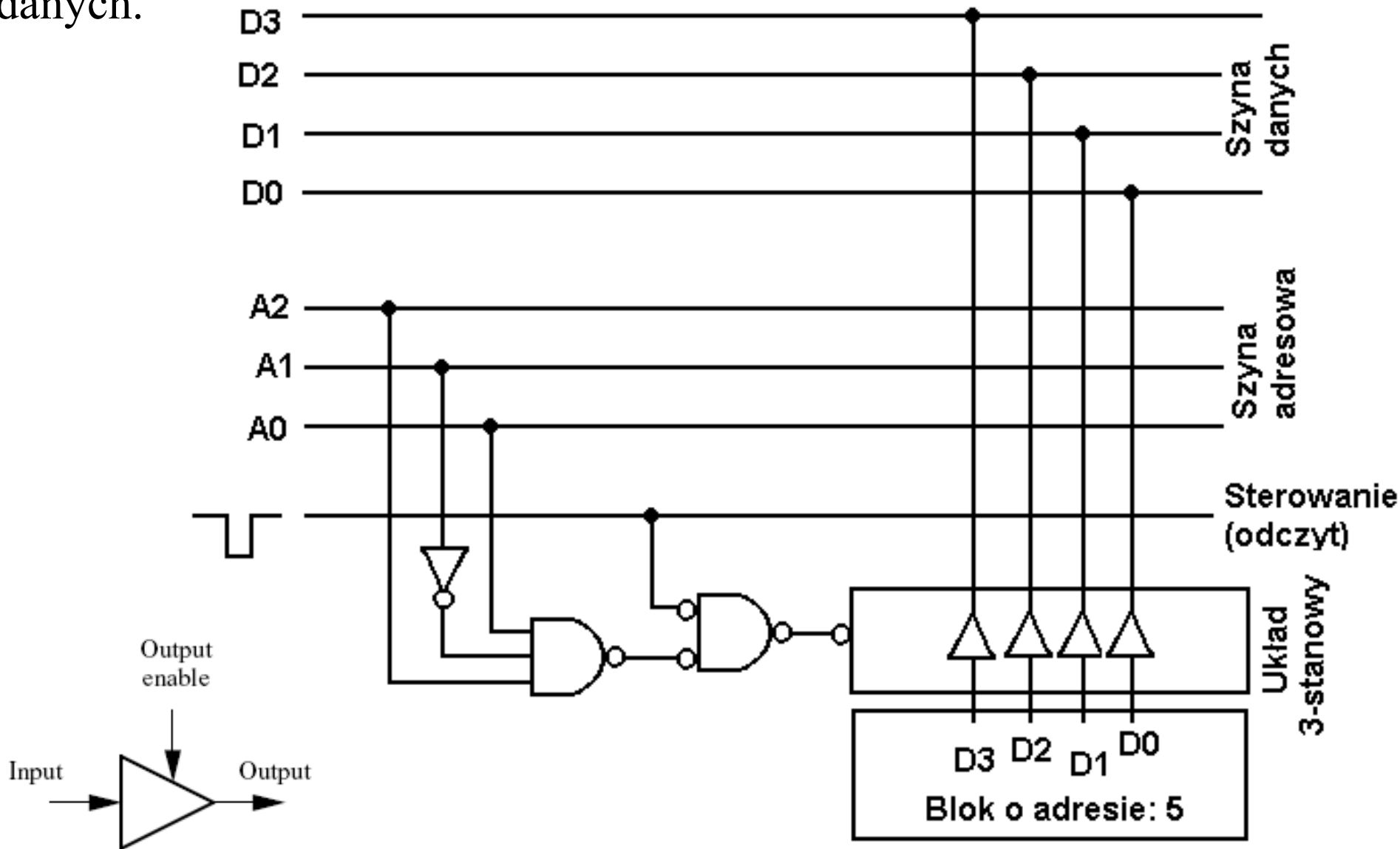
Bramka OC przejawia aktywność gdy na jej wyjściu ma być stan niski bo tylko wtedy zwiera ona kolektor (dren) wyjściowego tranzystora do masy. Znak gwiazdki przy symbolu bramki oznacza bramkę typu OC.

Wyjścia bramek z otwartym kolektorem mogą być i są łączone ze sobą bezkonfliktowo. Wyjścia bramek - kolektory połączone do jednej linii zasilanej przez opornik stanowią przewodowe LUB (ang. Wired-OR) czyli tzw. sumę montażową. Pojawienie się na tej linii stanu niskiego oznacza, że co najmniej jeden (LUB więcej) kolektorów zwiera tę linię do masy! W układzie pokazanym na rysunku, stan wysoki na wyjściu oznacza, że na wszystkich wejściach od A

do F są stany niskie. Układ ten służy do sygnalizacji, że co najmniej jedno urządzenie chce na siebie zwrócić uwagę. Zastosowania: linia przerwań w komputerze, magistrale na zewnątrz komputera np. interfejs IEC 625, (w USA IEEE-488, znany też jako HPIB lub GPIB).



Układy z trzema stanami wyjściowymi (HIGH, LOW, Odłączony - tj. stan wysokiej impedancji) są konieczne w rozbudowanych układach z 3-magistralową architekturą. Przykład: fragment szyny do przekazu danych.



# Dekodery i Kodery

Dekoderem nazywa się element, którego wektor wejściowy ma  $n$  współrzędnych, a wektor wyjściowy ma  $k = 2^n$  współrzędnych, przy czym dana współrzędna wektora wyjściowego może okazać się stanem aktywnym (1 lub 0) dla tylko jednego wektora wejściowego (jednej kombinacji zer i jedynek). Jeżeli  $k = 2^n$  to dekodery nazywa się dekodery pełnym, jeżeli  $k < 2^n$  to mamy dekodery niepełny.

## Koder

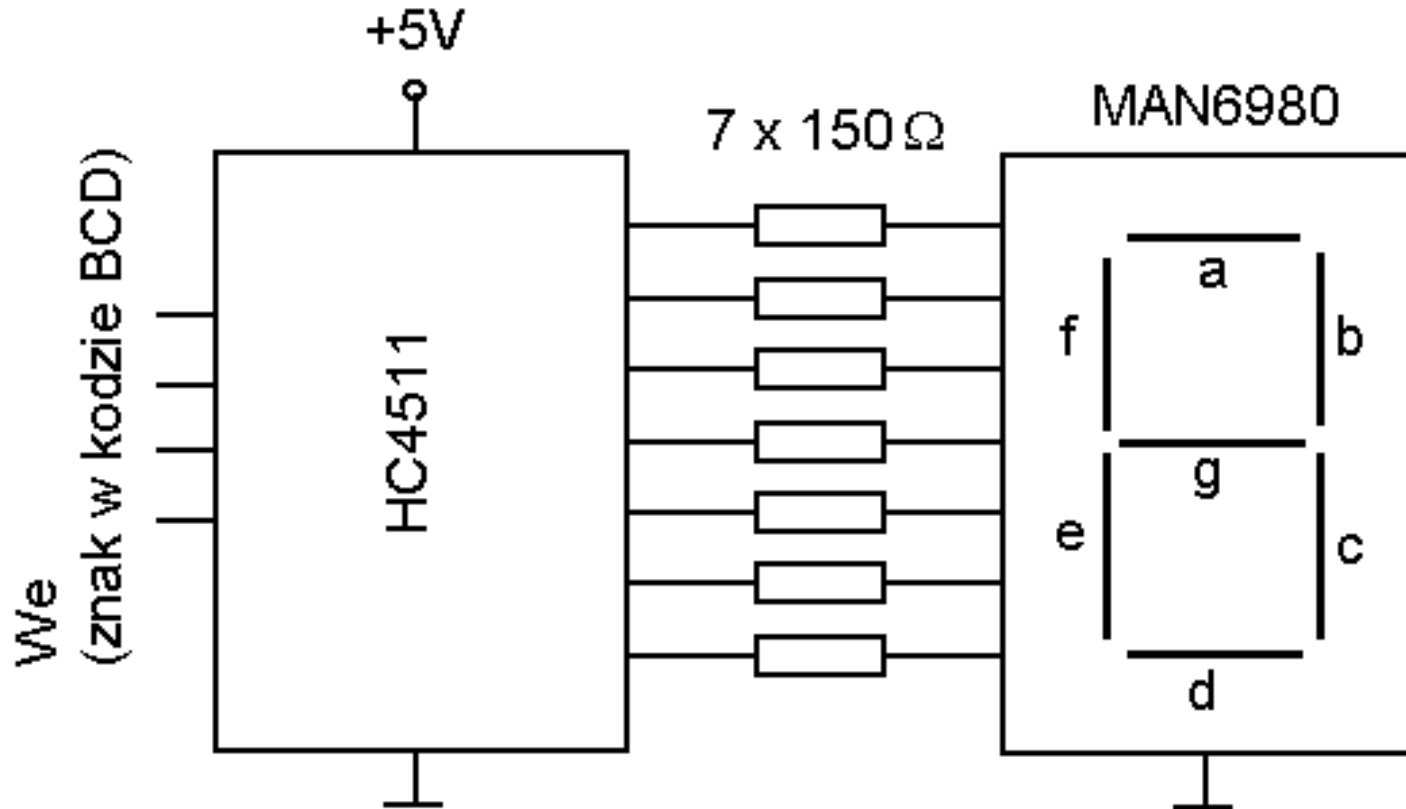
Koderem nazywa się element, którego wektor wejściowy ma  $k = 2^n$  współrzędnych, a wektor wyjściowy ma  $n$  współrzędnych i jest kodem numeru tego (jedynego) wejścia, na które wprowadzono wyróżniony sygnał (sygnał aktywności, stan wysoki - w logice dodatniej, stan niski - w logice ujemnej).

## Koder priorytetu

Koderem priorytetu nazywamy koder, którego wektor wyjścia jest zawsze kodem najwyższego numeru wejścia spośród wszystkich wejść, na które podano wyróżniony sygnał aktywności (jedynekę logiczną).

## Przykład dekodera

Dekoder HC4511 jest dekodерem kodu BCD przeznaczonym do sterowania jednocyfrowym wyświetlaczem 7-segmentowym LED ze wspólną katodą. Wewnątrz układu dodatkowo (oprócz dekodera) znajduje się rejestr zatraskowy (pamięć) i wzmacniacze do sterowania segmentami, których stopnie wyjściowe mogą generować prądy do 15mA przy napięciach wyjściowych 4,5V.



# Multipleksery i demultipleksery

Multipleksery i demultipleksery zaliczane są do takich układów kombinacyjnych, które umożliwiają komutację (tj. przełączanie) sygnałów cyfrowych. Multipleksery są to układy pozwalające na skierowanie informacji z wielu wejść na jedno wyjście. Wyjście jest połączone (sterowane) tym wejściem, które wybieramy przy pomocy wejść adresowych. Demultipleksery realizują funkcję odwrotną tj. sygnał z jedyne go wejścia kierują na „zaadresowane” jedno z wielu wyjść.

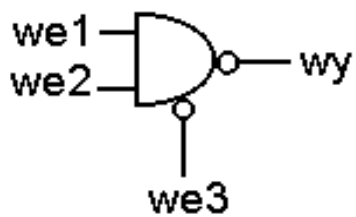
Multipleksery podobnie jak i demultipleksery mogą być ze sobą łączone dając możliwość zwiększenia liczby przełączanych linii.

Multipleksery stosowane są np. na wejścia przetworników analogowo-cyfrowych (AD). Multipleksery i demultipleksery mogą realizować multipleksowany system przesyłania danych, mogą też być stosowane do realizacji innych układów kombinacyjnych realizujących złożone funkcje np. linijka świetlna.

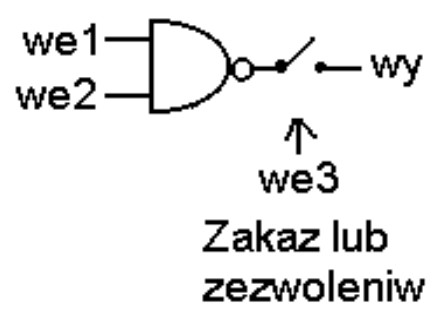
# Układy trójstanowe (logika trójstanowa)

W elektronice cyfrowej często spotykamy sytuacje (np. w systemach komputerowych), w których wiele bloków musi wymieniać dane wykorzystując jedną wspólną szynę. Układy z wyjściami dwustanowymi nie mogą być podłączone bezpośrednio do takiej szyny “bezkonfliktowo” (nie można uniknąć zdarzeń gdy na jednym przewodzie część bloków próbuje wymusić stan wysoki a inna część bloków stan niski!). Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie układów trójstanowych. Przykład bramki trójstanowej NAND CMOS:

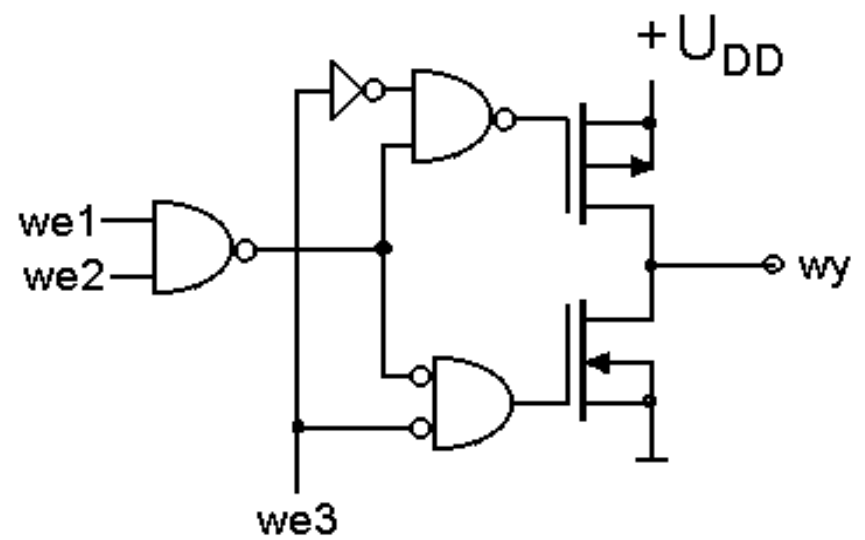
Symbol



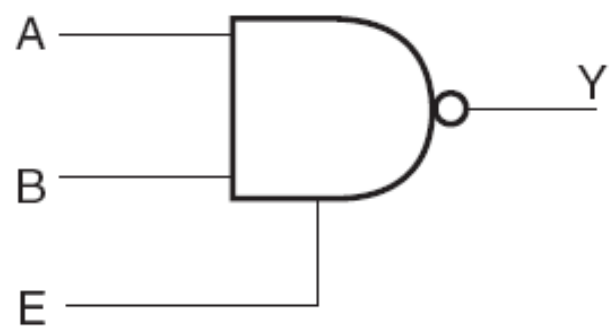
Zasada działania



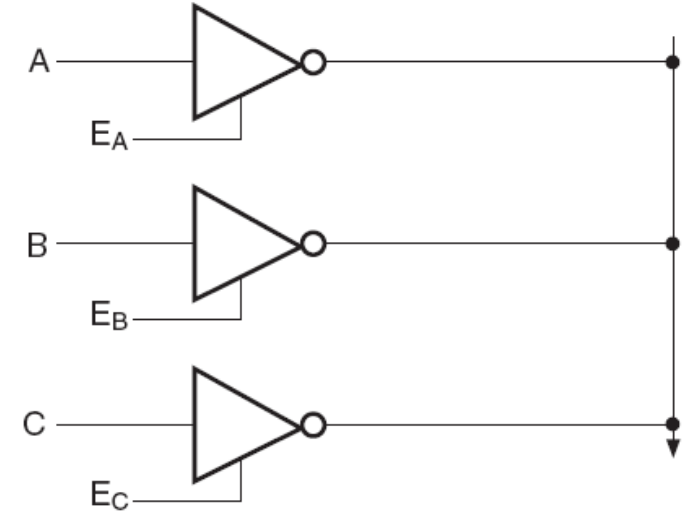
Realizacja



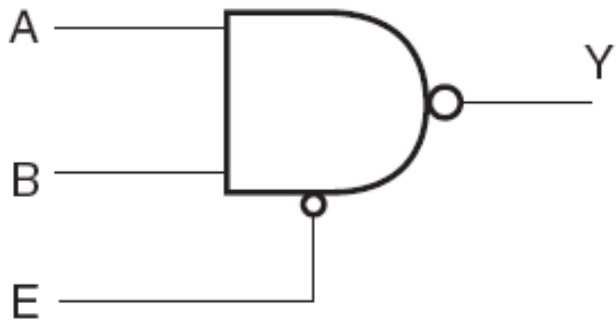
# Bramki trójstanowe (logika trójstanowa)



A	B	E	Y
0	0	0	Z
0	0	1	1
0	1	0	Z
0	1	1	1
1	0	0	Z
1	0	1	1
1	1	0	Z
1	1	1	0



Połączenie bezkonfliktowe.



A	B	E	Y
0	0	0	1
0	0	1	Z
0	1	0	1
0	1	1	Z
1	0	0	1
1	0	1	Z
1	1	0	0
1	1	1	Z

Z – stan wysokiej impedancji



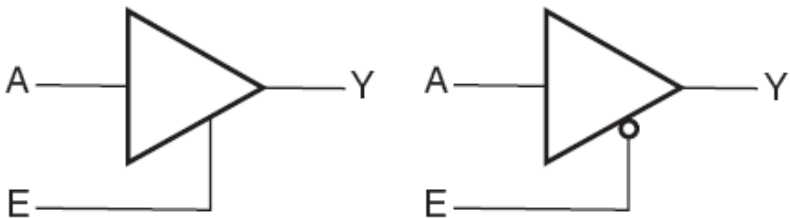
# Problem obciążalności bramek logicznych (Fan-Out).

Ile wejść bramek można podłączyć do wyjścia danej bramki?

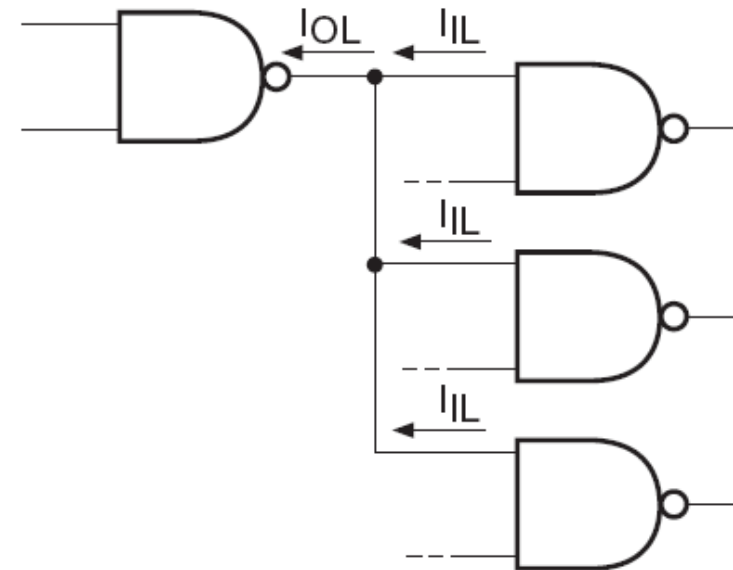
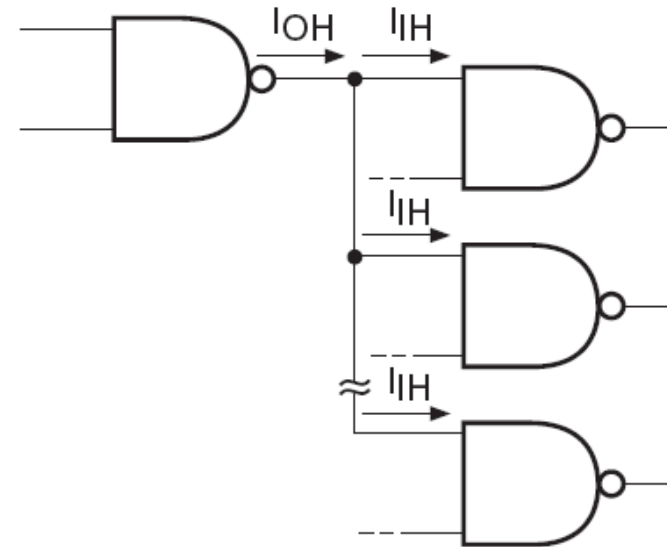
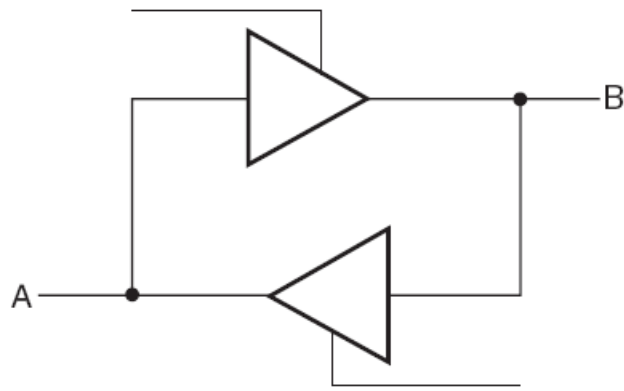
Odpowiedź: ilość = mniejsza z wartości:

$$I_{OL}/I_{IL} \text{ i } I_{OH}/I_{IH}$$

Pomocny jest tu bufor



Bufor dwukierunkowy



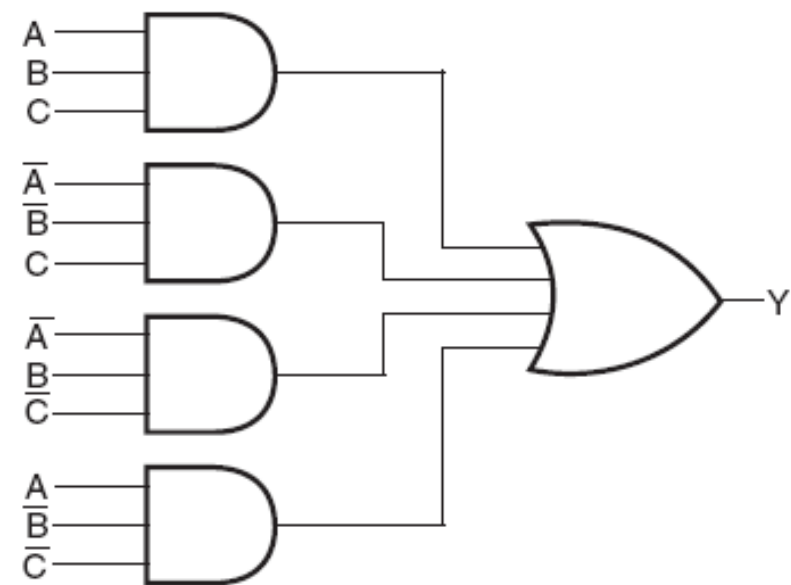
# **Układy PLD (Programmable Logic Devices) i PLA (Programmable Logic Arrays)**

Obok takich dwóch głównych klas urządzeń jak pamięci i mikroprocesory istnieje trzecia ważna klasa urządzeń: urządzenia logiczne. Pamięci (ROM i RAM) przechowują informacje takie jak instrukcje, programy czy bazy danych, mikroprocesory wykonują instrukcje, programy i rozmaite funkcje. Urządzenia logiczne natomiast cały szereg pozostałych funkcji w systemach cyfrowych jak komunikacja między urządzeniami, synchronizacja, kontrola i wiele innych. Do urządzeń logicznych zaliczamy: bramki logiczne, multipleksery, demultipleksery, kodery, dekodery, obwody arytmetyczne, układy sekwencyjne, rejestry, liczniki itp. itd.. Do urządzeń logicznych należy też grupa urządzeń zwanych programowalnymi urządzeniami logicznymi (PLDs) lub programowalnymi matrycami logicznymi. Ich wspólną cechą jest, że ich wykonywana funkcja nie jest zdefiniowana przy opuszczaniu producenta (fabryki) lecz dopiero staje się zaprogramowana przez użytkownika!

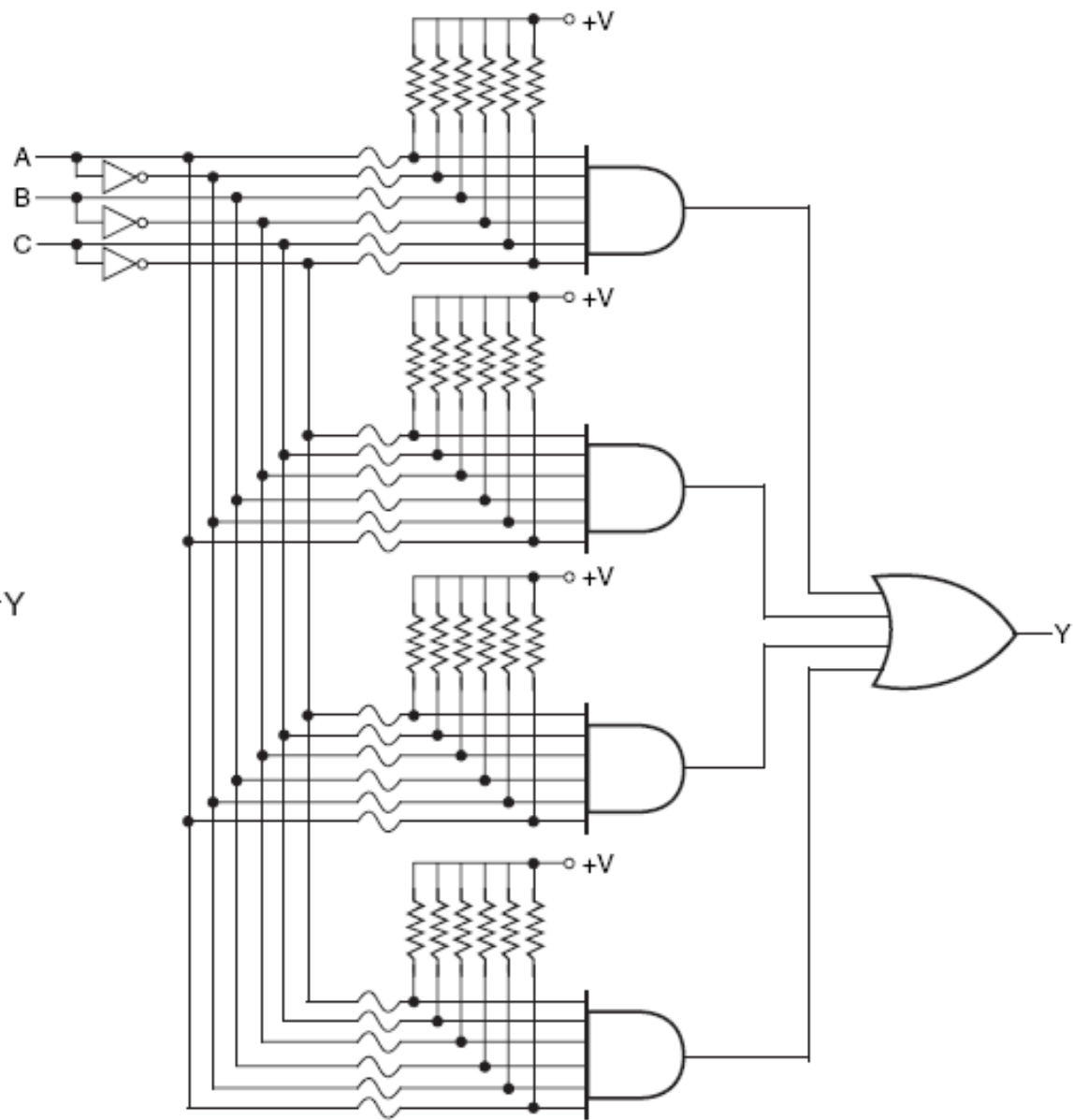
Zatem obok szerokiej grupy ustalonych „zafiksowanych” przez producenta (co do wykonywanej funkcji) układów logicznych mamy ważną grupę urządzeń, których wykonywane funkcje są konfigurowane dopiero przez użytkownika.

## **Konfigurowanie PLD może odbywać się wielokrotnie!**

W układach PLD znajdują się tzw. antybezpieczniki, które mając dużą rezystancją tracą ją i realizują połączenie pod wpływem przyłożonego doń (odpowiednio dużego) napięcia.



Ustalony ("zafiksowany")  
układ bramek.



Programowalny układ bramek

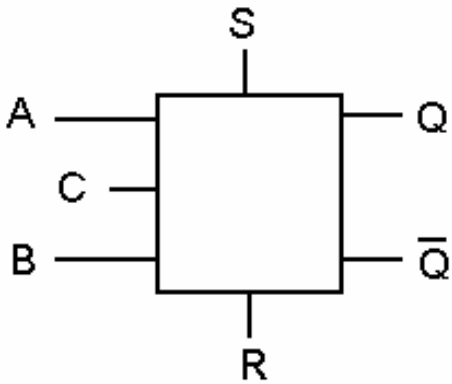
**Układy sekwencyjne** W tych układach stan wyjścia zależy nie tylko od aktualnej kombinacji stanów wejściowych ale również od wcześniejszych kombinacji (od historii) czyli są to takie układy, które mogą pamiętać.

### **Przerzutniki bistabilne.**

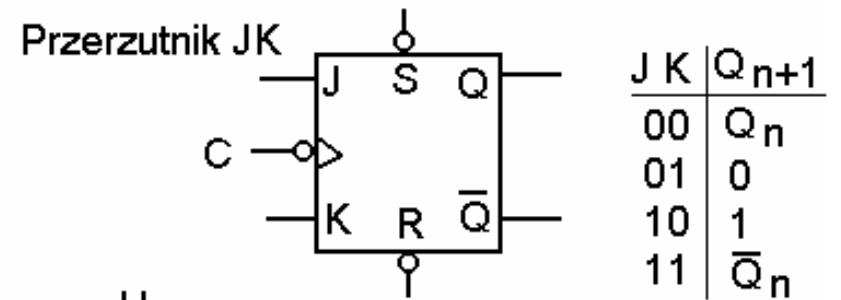
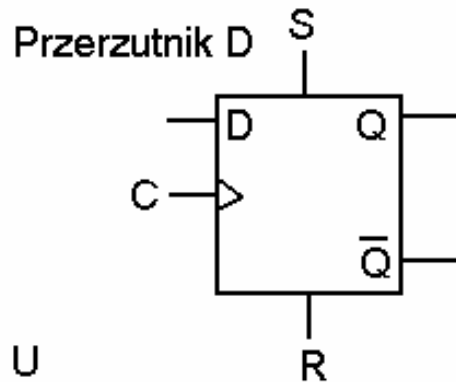
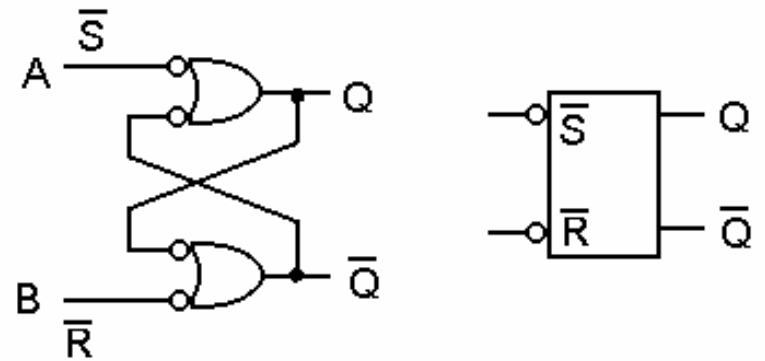
Stanowią osobną grupę układów cyfrowych i są najprostszymi elementami pamięci (układy sekwencyjne). Mogą pamiętać jeden bit informacji. Przerzutniki mają po dwa wyjścia  $Q$  i  $Q^*$ . Na wyjściu  $Q^*$  pojawia się zawsze stan przeciwny do stanu na wyjściu  $Q$ . Poza tym przerzutniki mają dwa wejścia asynchroniczne: jedno ustawiające  $S$  (set) i jedno kasujące  $R$  (reset), jedno wejście zegarowe (taktujące)  $C$  i zwykle dwa wejścia informacyjne  $A$  i  $B$ .

Wymuszanie stanów logicznych na wyjściach za pomocą wejść  $S$  i  $R$  charakteryzuje się najwyższym priorytetem: zachodzi niezależnie od sytuacji na innych wejściach. Natomiast gdy na wejściach  $S$  i  $R$  są zera logiczne, stan wyjściowy przerzutnika określany jest przez wejścia  $A$  i  $B$  ale dopiero po pojawieniu się jedynki logicznej na wejściu  $C$  jako odpowiedniego impulsu zegara. Należy podkreślić, że rozmaite przerzutniki reagują na różne zbocza tego impulsu: zbocze narastające lub opadające.

# Ogólny schemat

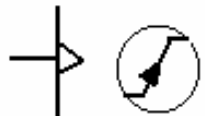


# symbol

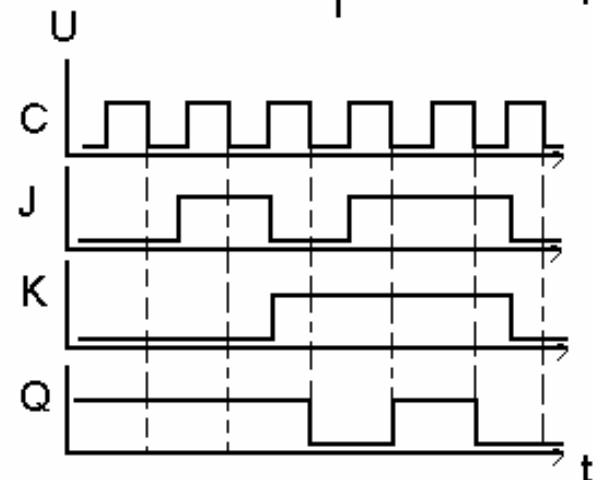
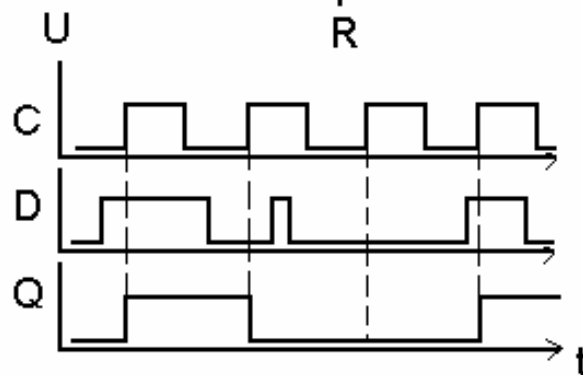
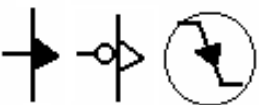


Przejście wymuszone z boczem:

narastającym,



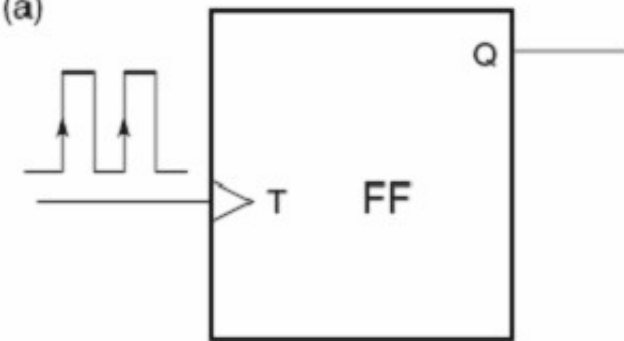
opadającym



# Przerzutniki (Flip-Flop: FF) typu T (Taggle)

Tu aktywne zbocze zawsze „przestawia” stan wyjściowy na przeciwny:  $Q_{n+1} = \text{Negacja } Q_n$

(a)

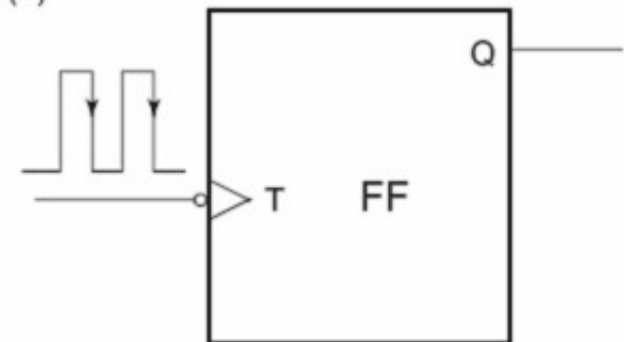


T	$Q_n$	$Q_{n+1}$
↑	0	1
↑	1	0

$Q_n$	T	$Q_{n+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q_{n+1} = T \cdot \overline{Q_n} + \overline{T} \cdot Q_n$$

(b)



T	$Q_n$	$Q_{n+1}$
↓	0	1
↓	1	0

$Q_n$	T	$Q_{n+1}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$Q_{n+1} = \overline{T} \cdot \overline{Q_n} + T \cdot Q_n$$

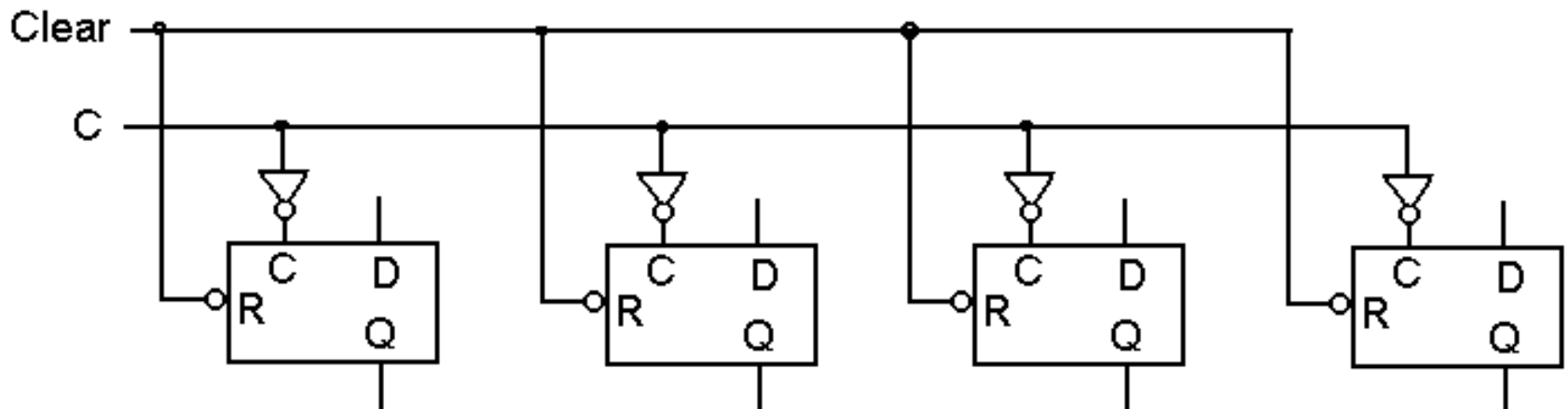
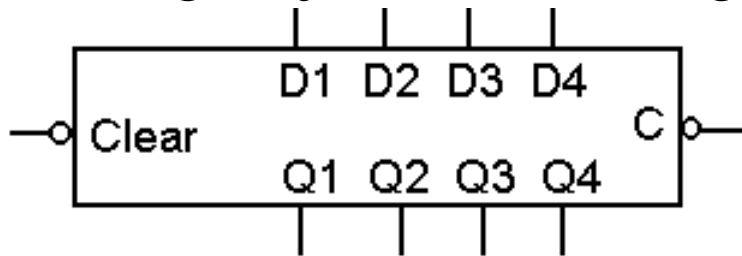
# Rejestry

Rejestry należą do układów sekwencyjnych (pamiętających)

Podstawowym przykładem rejestru jest rejestr buforowy.

Rejestr buforowy (w skrócie rejestr) jest zespołem przerzutników synchronicznych o wspólnym wejściu taktującym i wspólnym wejściu zerującym, przeznaczony jest do chwilowego przechowania wektora informacji. Wprowadzanie wektora informacji odbywa się równoległe (wszystkie bity składowe jednocześnie). Wszystkie bity wektora informacji są dostępne jednocześnie i mogą być odczytane równoległe.

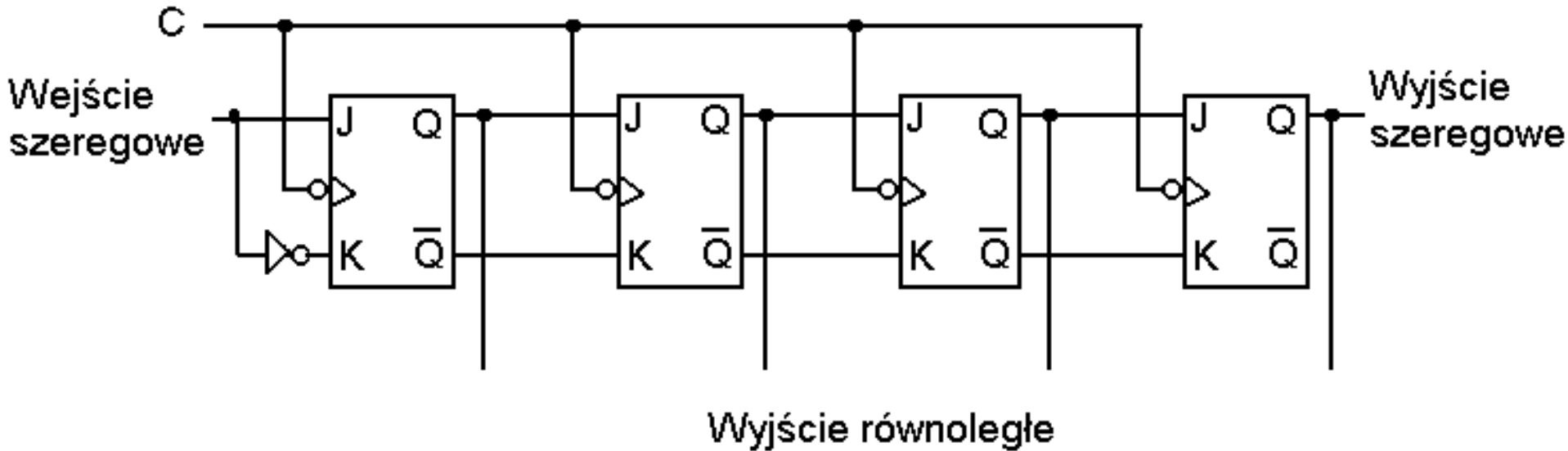
Przykład 4-bitowego rejestru buforowego (i jego schemat).



# Rejestr przesuwający

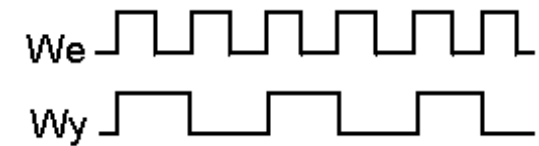
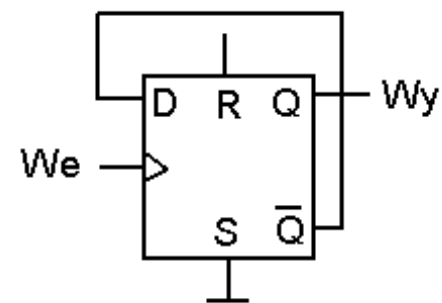
Innym typem rejestru jest rejestr przesuwający.

Jest nim zespół przerzutników synchronicznych, umożliwiający wprowadzanie i wyprowadzanie wektorów informacji cyfrowej w sposób bitowo-szeregowy w czasie. Pokazuje to rysunek 4-bitowego rejestru przesuwającego:



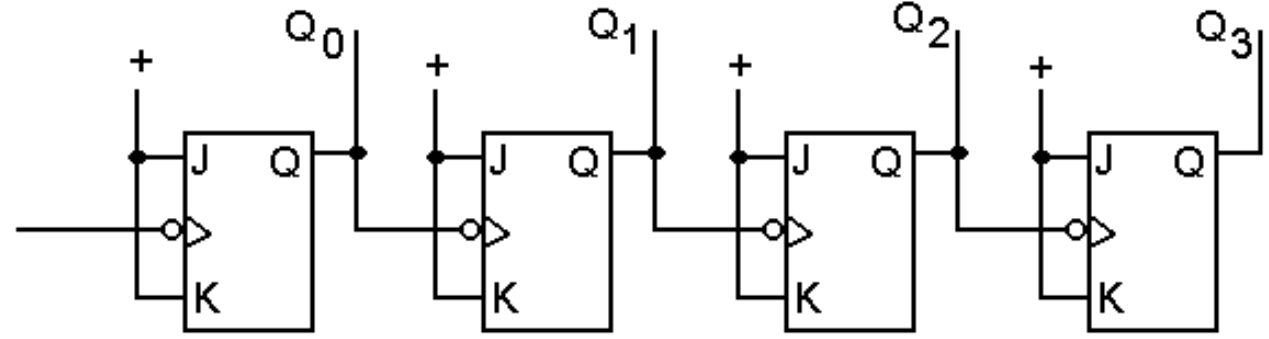


**Liczniki.** Licznikiem nazywa się rejestr, którego stan jest kodem numeru impulsu wprowadzonego na jego wejście liczące (licznik zaczyna pracę od wyróżnionego stanu początkowego a całkowita liczba impulsów wprowadzonych nie przekracza pojemności licznika). Na rysunku pokazano elementarne liczniki na przerzutnikach D oraz JK. Przerzutniki mogą i często są dzielnikami częstotliwości przez 2.

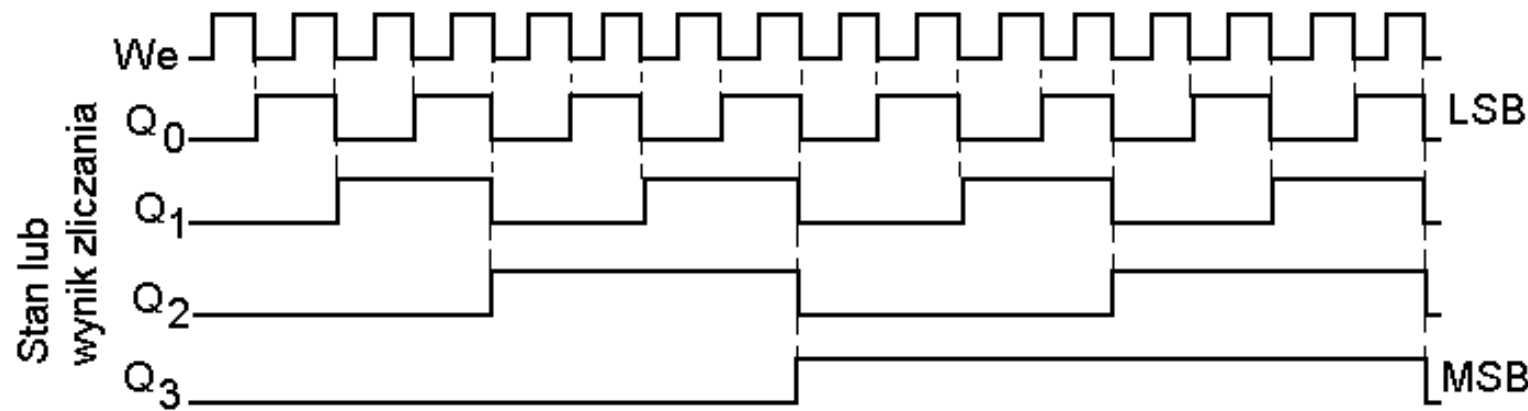


Połączenie szeregowe n takich jednostek elementarnych daje licznik zliczający w kodzie dwójkowym o pojemności  $2^n$ . Jako przykład, na poniższym rysunku, przedstawiony jest licznik 4-bitowy (dzielnik przez 16). Zliczane impulsy podawane są na wejście zegarowe.

Schemat:



i przebiegi czasowe

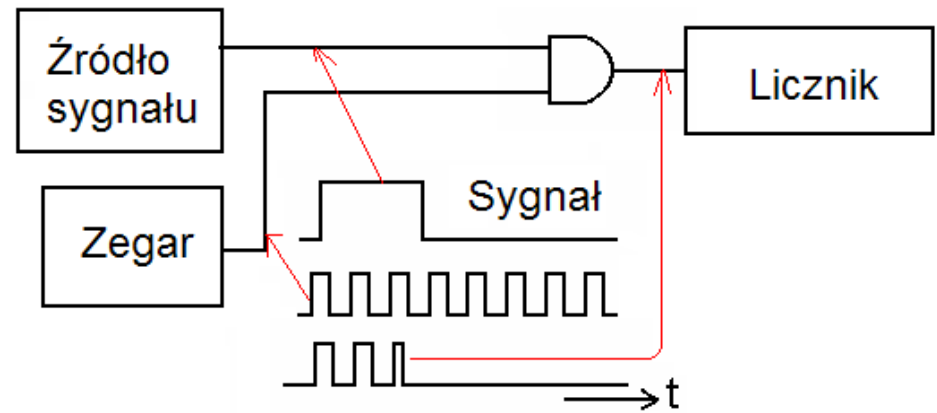


# Zastosowania Liczników (czasomierzy)

## Pomiar czasu trwania impulsu

Licznik przed pomiarem jest wyzerowany. Badany impuls jest tu użyty jako impuls bramkujący licznik przy zliczaniu cykli sygnału zegara.

Czas trwania impulsu  $T_i$  jest dany przez:  $T_i = N/f_z$ , gdzie  $N$  – liczba zliczeń,  $f_z$  – częstotliwość zegara.



## Pomiar odstępu czasu między dwoma zdarzeniami

W tym przypadku pierwsze zdarzenie włącza początek impulsu bramkującego a zdarzenie drugie kończy ten impuls.

## Generowanie impulsu o określonej długości (czasowej).

Licznik ustawiany jest na  $N$  zliczeń np. po załadowaniu liczby  $N$  liczy w dół impulsy zegara aż do zera. Sygnał wyjściowy jest wysoki w czasie liczenia i niski po pojawieniu się zera. Czas trwania impulsu  $T_i$  jest dany przez:  $T_i = N/f_z$ , gdzie  $N$  – liczba zliczeń,  $f_z$  – częstotliwość zegara.

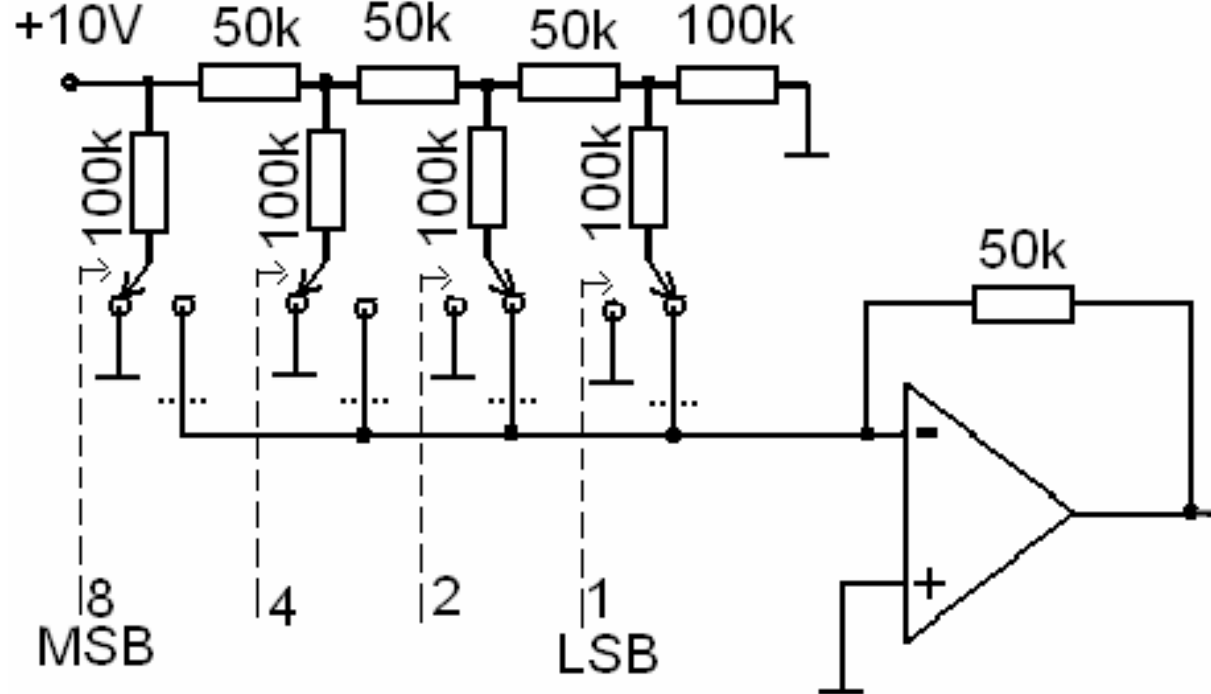
# Przetworniki D/A

Zadaniem przetworników cyfrowo analogowych (DAC) jest zamiana liczb (w kodzie binarnym) na napięcia proporcjonalne do wartości tych liczb.

Na rys. pokazano ideę jednego z wielu typów przetworników.

Jest to tzw. drabinka R-2R. Stany 1 i 0 na poszczególnych liniach szyny (tu 4-bitowej) decydują o włączeniu bądź nie, odpowiedniego przełącznika. Przez rezystory 100k płyną stałe prądy (niezależnie od położenia przełączników) o wartościach proporcjonalnych do wagi poszczególnych bitów. Suma tych prądów, które są włączone do wejścia wzmacniacza operacyjnego oczywiście musi przepływać przez opornik 50k nad wzmacniaczem i na wyjściu wzmacniacza mamy już napięcie proporcjonalne do wartości przetwarzanej „liczby”.

Przetworniki takie sterowane mikroprocesorami mogą generować rozmaite przebiegi napięciowe.



# Konwersja analogowo-cyfrowa

Układy A/D (ADC, A/C) zamieniają sygnał analogowy na sygnał cyfrowy.

Najważniejsze parametry:

1) Szybkość przetwarzania - może być określona przez:

a) czas przetwarzania - określający czas konieczny do jednego całkowitego przetworzenia wartości analogowej na wartość cyfrową,

b) częstotliwość przetwarzania - która jest maksymalną częstotliwością z jaką mogą następować kolejne przetworzenia sygnału wejściowego z zachowaniem określonej rozdzielczości i dokładności w całym zakresie przetwarzania,

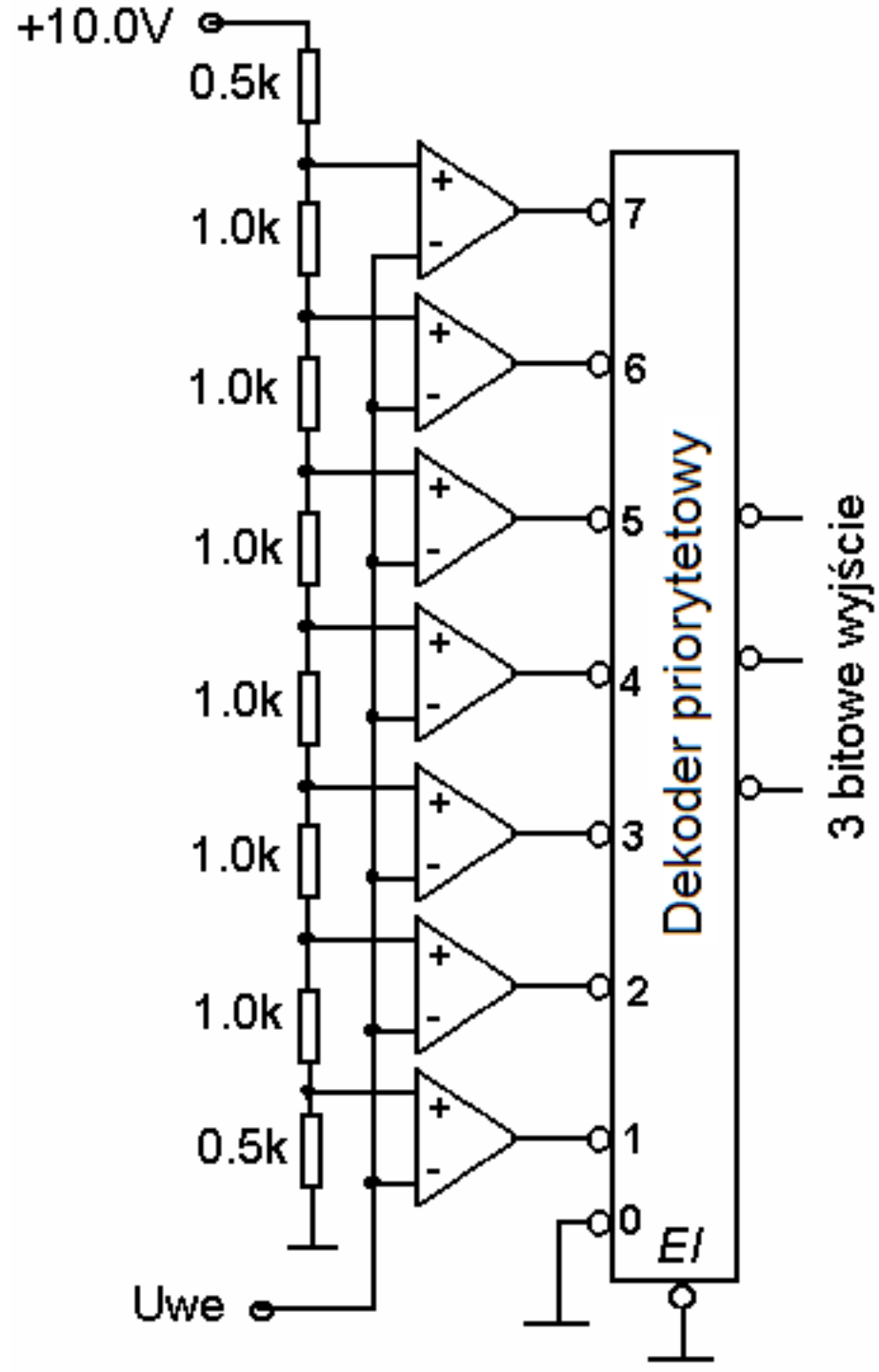
c) szybkość próbkowania - określona przez liczbę próbek, które mogą być przetworzone w jednostce czasu. Ważnym jest aby częstotliwość próbkowania  $f_p \geq 2f_{\max}$ .

2) Rozdzielczość przetwornika - definiowana jest jako liczba bitów słowa wyjściowego, określa zdolność do rozróżniania sygnałów analogowych doprowadzonych do wejścia przetwornika. W przetworniku 8 bitowym możliwe jest  $2^8 = 256$  różnych wartości. Jeżeli zakres przetwarzanego napięcia wynosi 10V, to wartość najmniej znaczącego bitu (LSB) odpowiada sygnałowi  $10V/256 = 39 \text{ mV}$ . Znaczy to, że przetwornik może rozróżnić sygnały różniące się od siebie o 39mV.

Przetworniki 24 bitowe ( $2^{24}=16777216$ ) rozróżnia zmiany mniejsze od  $1\mu\text{V}$ . Przy doborze (zakupie) układu A/D pod uwagę bierzemy: a) szybkość, b) precyzję, c) impedancję wejściową, d) zakres wartości przetwarzanych napięć wejściowych.

Uwaga. W przetwornikach A/C najczęściej stosowane są kody: BINARNY Z PRZESUNIĘCIEM lub U2.

Przykład przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC):  
(Konwersja z koderem priorytetu)  
Komputerowa karta pomiarowa oprócz przetwornika ADC zawierają również przetwornik cyfrowo-analogowy (D/A, DAC).  
Pozwalają one zamieniać liczbę binarną na proporcjonalne do niej napięcie. Poprzez przetworniki możemy komputerowo sterować zasilaczami uzyskując pożądaną przebieg napięcia lub prądu.  
Ważne parametry to: częstotliwość konwersji, liczba bitów (czyli precyzja) i zakres napięć.



## 12-Bit, Single 3.6 GSPS ADC

### 1.0 General Description

The 12-bit, 3.6 GSPS ADC12D1800 is the latest advance in National's Ultra-High-Speed ADC family and builds upon the features, architecture and functionality of the 10-bit GHz family of ADCs.

The ADC12D1800 provides a flexible LVDS interface which has multiple SPI programmable options to facilitate board design and FPGA/ASIC data capture. The LVDS outputs are compatible with IEEE 1596.3-1996 and supports programmable common mode voltage.

The product is packaged in a leaded or lead-free 292-ball thermally enhanced BGA package over the rated industrial temperature range of -40°C to +85°C.

**Notice:** This document is not a full datasheet. For more information regarding this product or to order samples please contact your local National Semiconductor sales office or visit <http://www.national.com/support/dir.html>

### 2.0 Applications

- Wideband Communications
- Data Acquisition Systems
- RADAR/LIDAR
- Set-top Box
- Consumer RF
- Software Defined Radio

### 3.0 Features

- Configurable to either 3.6 GSPS interleaved or 1.8 GSPS dual ADC
- Pin-compatible with ADC10D1000/1500 and ADC12D1000/1600
- Internally terminated, buffered, differential analog inputs
- Interleaved timing automatic and manual skew adjust
- Test patterns at output for system debug
- Programmable 15-bit gain and 12-bit plus sign offset
- Programmable  $t_{AD}$  adjust feature
- 1:1 non-demuxed or 1:2 demuxed LVDS outputs
- AutoSync feature for multi-chip systems
- Single power supply

### 4.0 Key Specifications

- Resolution 12 Bits

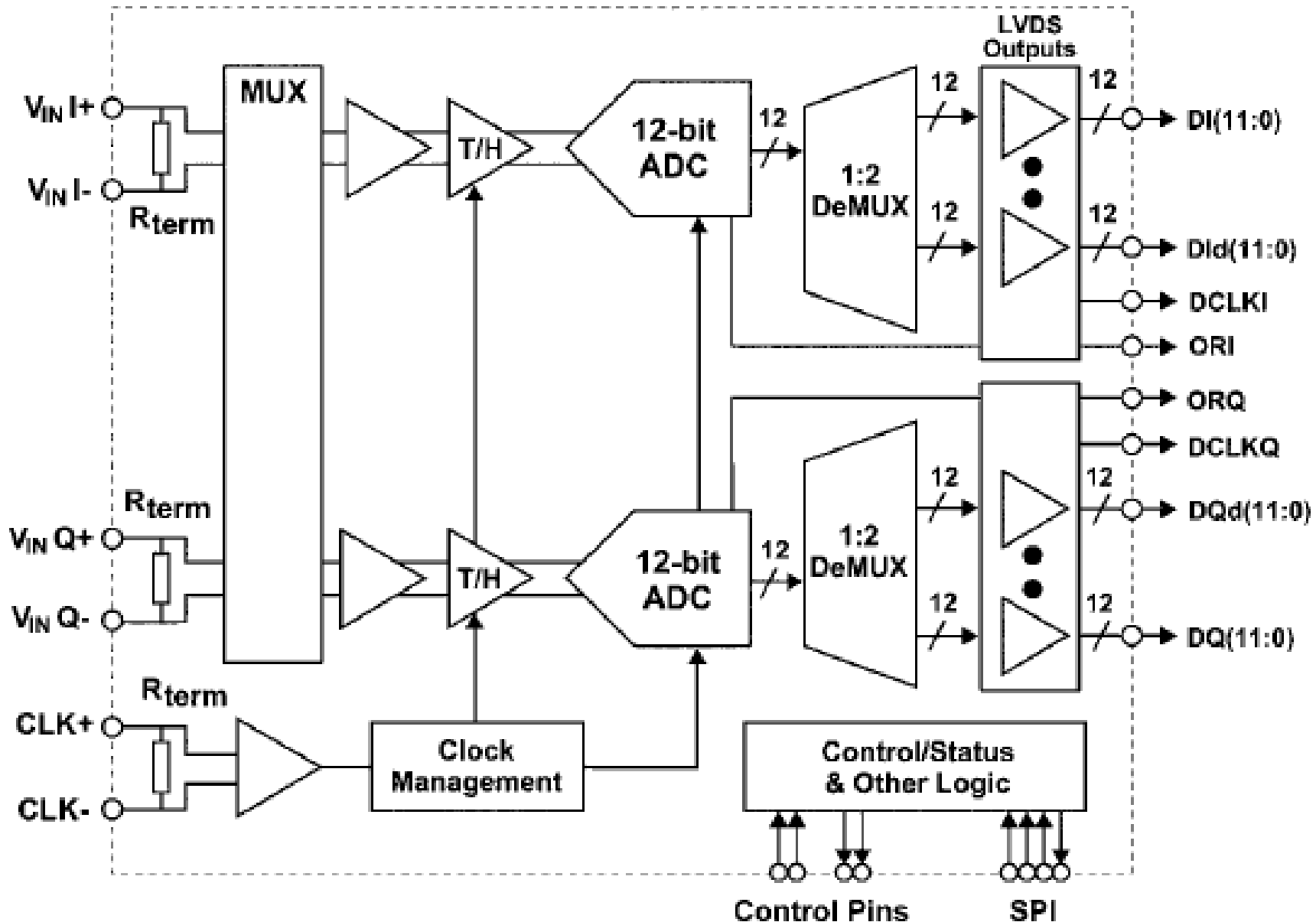
#### Interleaved 3.6 GSPS ADC

- Noise Floor -147 dBm/Hz (typ)
- IMD3 -61 dBFS (typ)
- Noise Power Ratio 52 dB (typ)
- Power 4.1W (typ)
- Full Power Bandwidth 2.15 GHz (typ)

#### Dual 1.8 GSPS ADC, $F_{IN} = 125\text{MHz}$

- ENOB 9.2 (typ)
- SNR 57.8 dB (typ)
- SFDR 67 dBc (typ)
- Power 4.1W (typ)
- Full Power Bandwidth 2.8 GHz (typ)

## 5.0 Block Diagram



# Mikrokontrolery i procesory

Początek miał miejsce w 1971r kiedy Intel wyprodukował pierwszy mikroprocesor jednoukładowy 4004 (czterobitowy).

Mikrokontrolery i procesory to układy scalone o wysokiej skali integracji ( $10^4 - 10^6$  tranzystorów), których lista zastosowań jest wyjątkowo długa: komputery domowe lub pokładowe, systemy komputerowe, urządzenia codziennego użytku jak telefony komórkowe, kuchenki, sprzęt RTV, urządzenia specjalistyczne jak np. tomograf, nadzór procesów technologicznych, roboty i wiele innych. Najogólniej procesorem jest układ wielofunkcyjny zawierający jednostkę arytmetyczno-logiczną, najczęściej stosowany do przetwarzania informacji. Między innymi stosowane są w sprzęcie pomiarowo-badawczym: rozmaite analizatory, spektroskopy, oscyloskopy, pomiarowe karty komputerowe, woltomierze itp.. Ponieważ procesory są najbardziej złożonymi układami scalonymi i przez to najbardziej „ciepło-twórczymi” wymagają bardzo efektywnych i często złożonych układów odprowadzania ciepła (radiatory wiatraki itp).



# Mikrokontroler

Zawiera: CPU, pamięci RAM I ROM, porty I/O (we/wy). Wykonuje zadania w zasadzie samodzielnie.

Używa pojedynczego programu.

Ilość pamięci i portów jest mała.

Szybkości zegara małe (1-100MHz).

Niewielki zestaw instrukcji.

Przykład 8051: 32 piny, RAM 128byte, ROM 4kbyte, 1 port szeregowy, 6 źr. przerwań.

# Processor

Zawiera: CPU, Pamięci RAM I ROM, Wykonując zadania współpracuje z wieloma innymi układami scalonymi jak układy we/wy, pamięć i wiele innych.

Używa wielu wpisywanych do pamięci programów.

Ilość pamięci i portów jest duża i może być konfigurowana.

Szybkości zegara duże (1- 5 GHz).

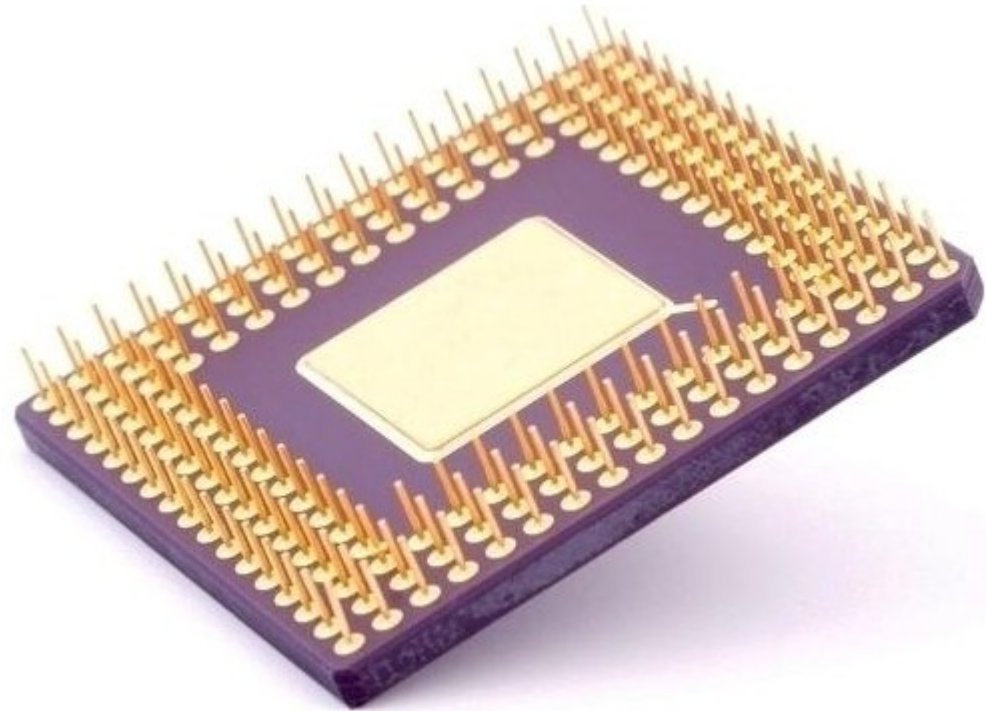
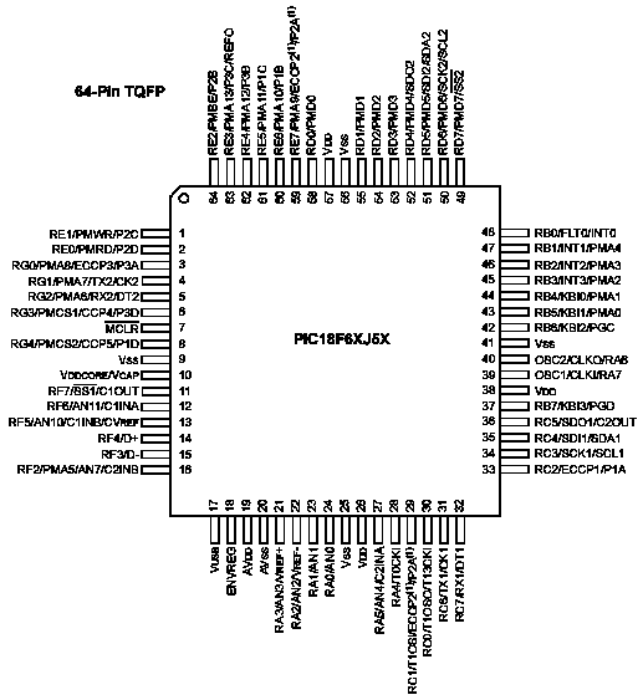
Duży zestaw instrukcji.

Przykład Core 2 Duo: 478 pinów, Cache 4MB.....

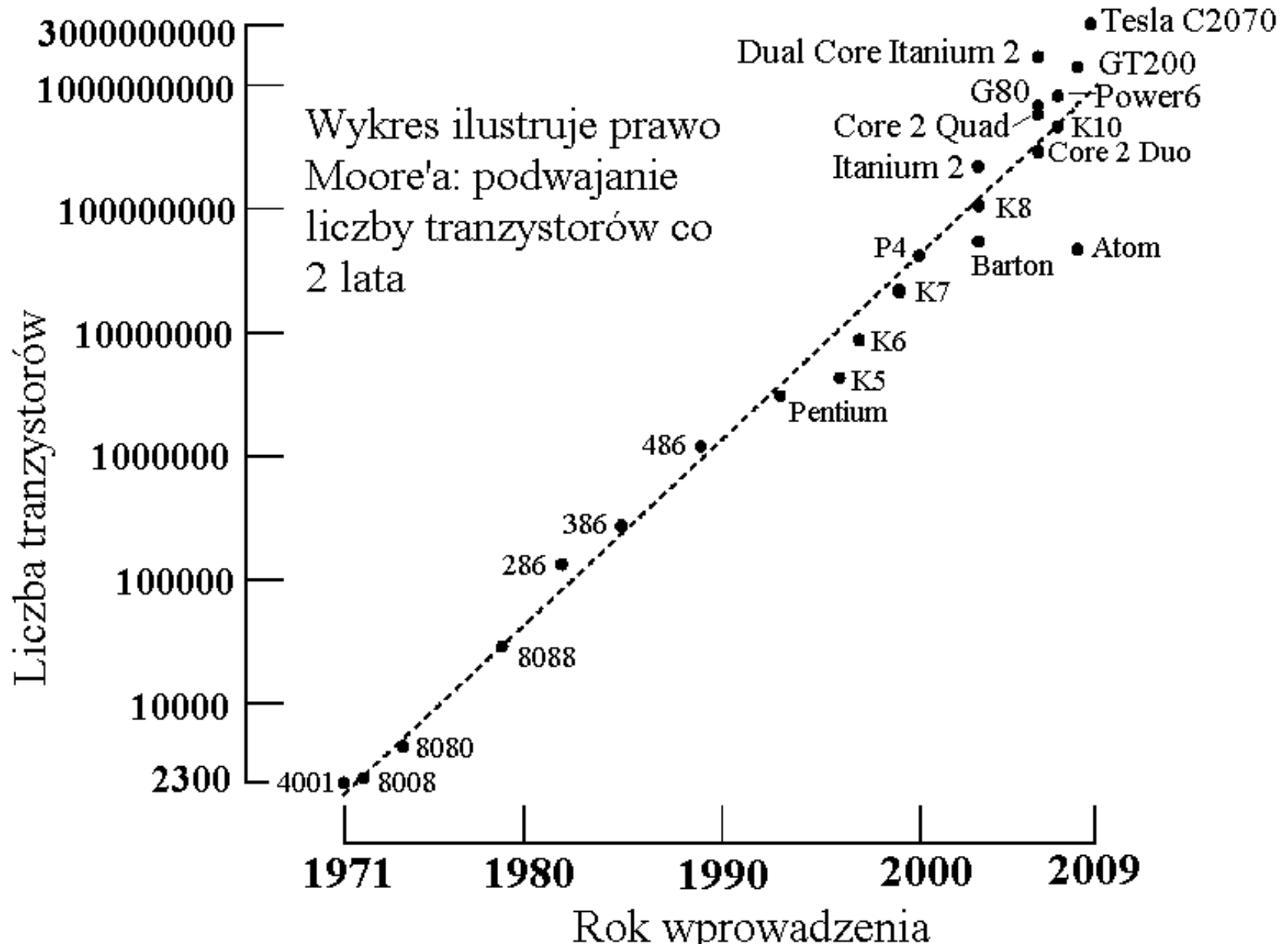
# Mikrokontrolery i procesory

Kilkadziesiąt pinów

Kilkaset pinów



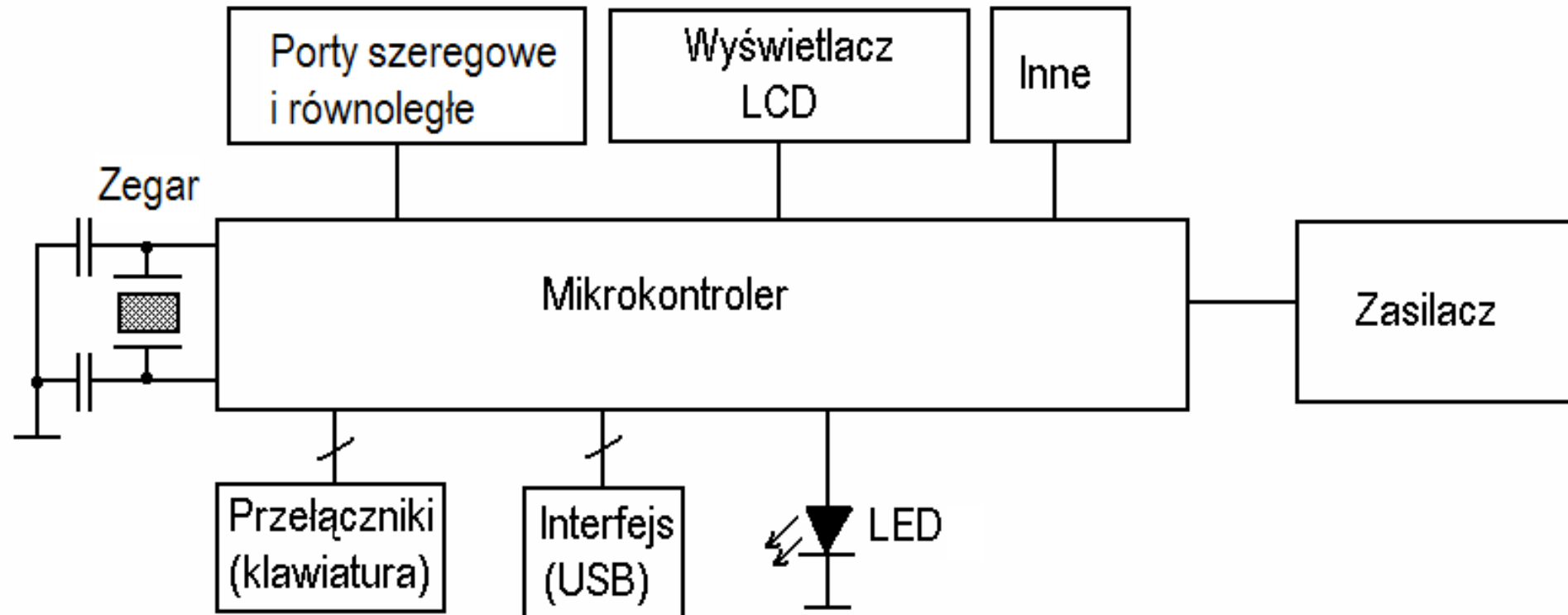
# Prawo Moore'a



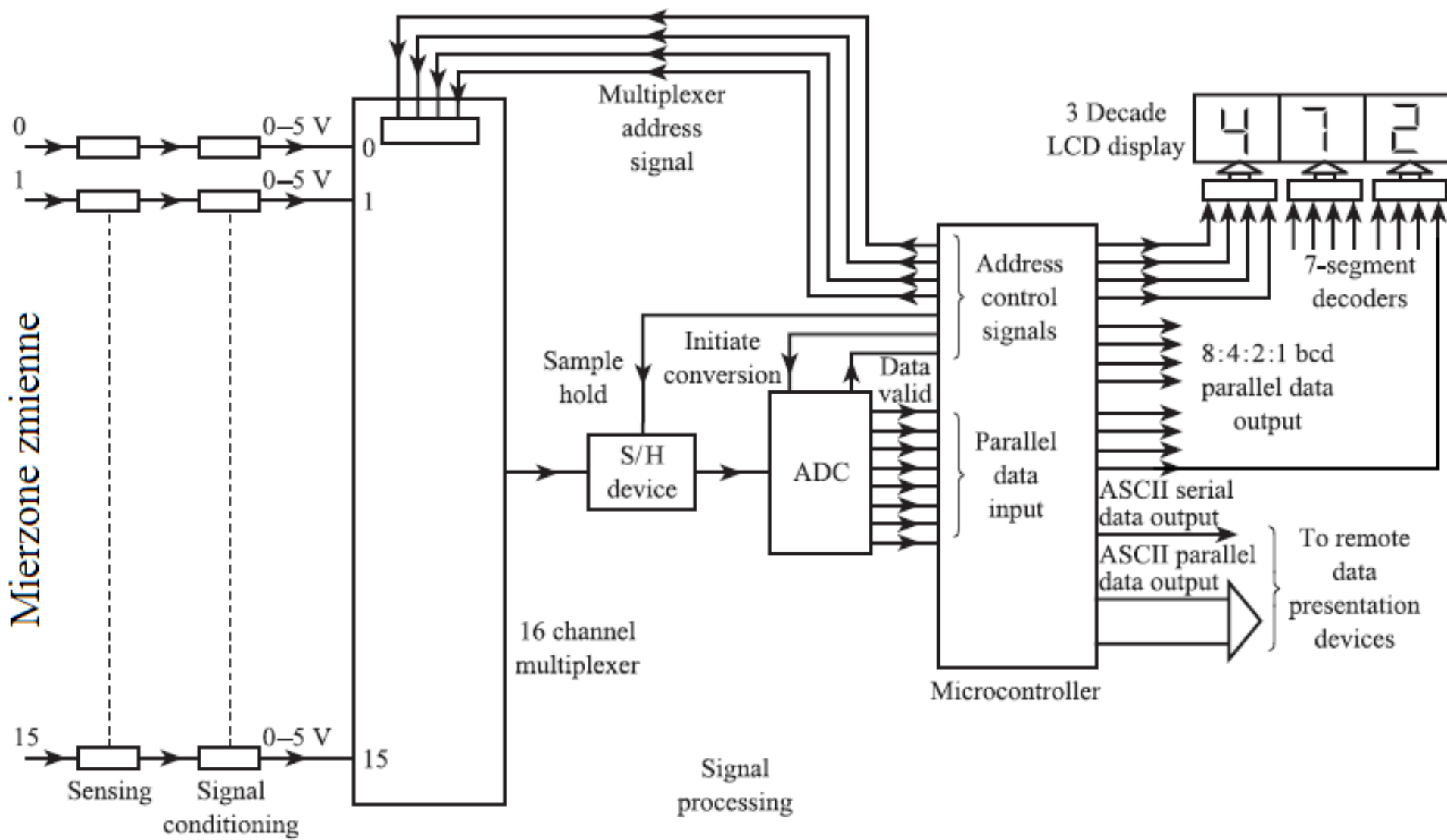
Technologiczny rozwój wypełniający prawo Moore'a opiera się na niebywalej kondycji przemysłu elektronicznego, który przez ostatnie 40 lat ciągle zwiększa wydajność i obniża pobór mocy w produkowanych układów scalonych. Uzyskuje te efekty dzięki temu, że ciągle zmniejsza rozmiary tranzystorów, zwiększa ich gęstość upakowania, obniża napięcia zasilające i zwiększa częstotliwości zegarów.

**Mikrokontrolery** – rozmaite zastosowania specjalizowane: aparaty fotograficzne, kamery, windy, samochody i wiele urządzeń technicznych.

Typowy układ z mikrokontrolerem



# Typowy układ akwizycji danych – Mikrokontroler w układzie pomiarowym.

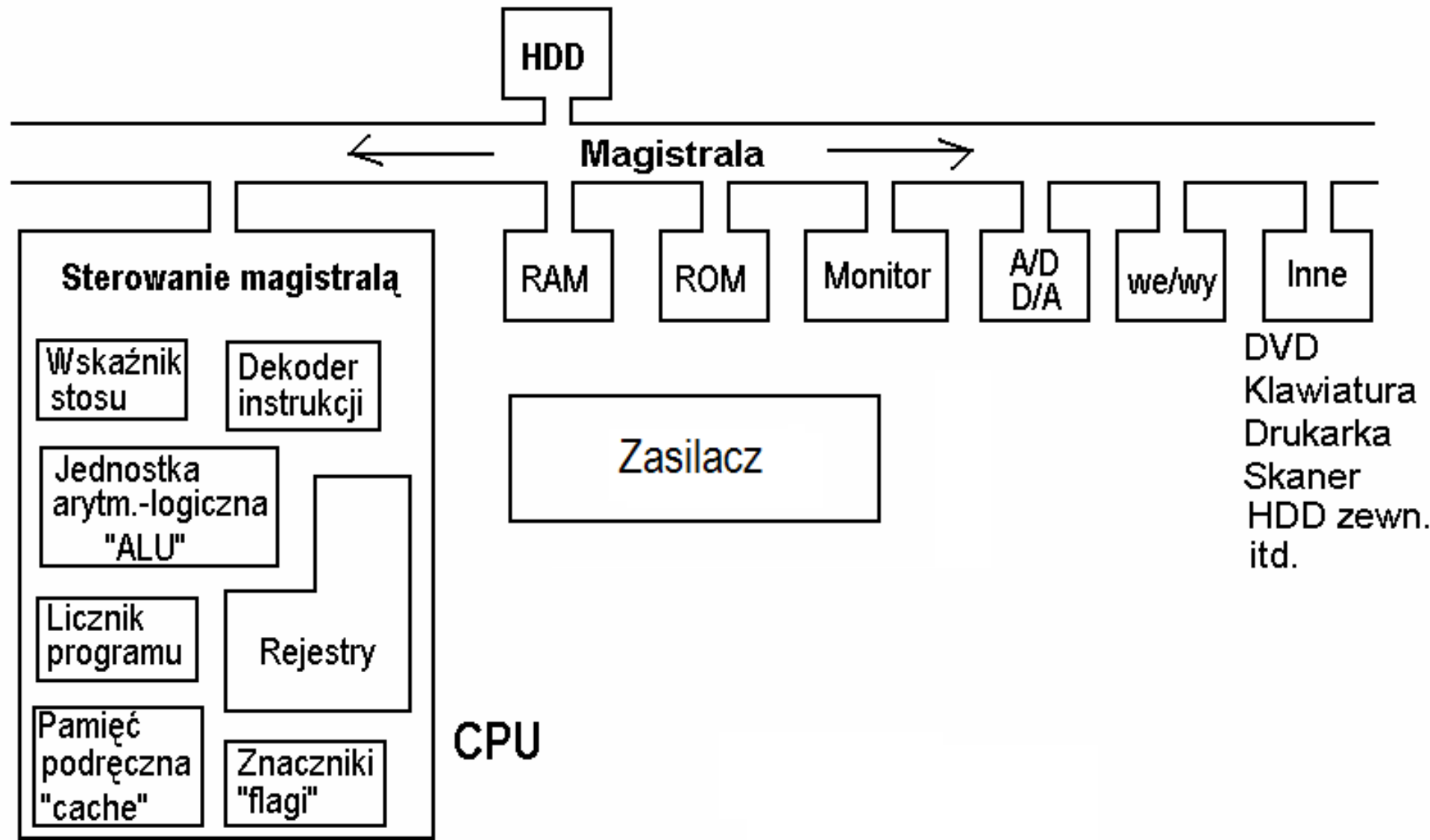


Mierzone zmienne

Signal processing

# Komputery - najpopularniejsze zastosowanie mikroprocesorów.

Dawniej w laboratoriach badawczych człowiek musiał pokręcać pokrętłami, odczytywać i zapisywać i zapamiętywać wyniki i w końcu, na podstawie zebranych wyników testować hipotezy i modele zjawisk. Obecnie wszystko to wykonuje, odpowiednio zaprogramowany komputer.



# Elektronika. Lista – 13

1. Zaproponuj układ złożony z przerzutników, który będzie dzielił częstotliwości przebiegu prostokątnego przez 8.
2. Zaproponuj licznik złożony z przerzutników i bramek liczący do 12.
3. Zaproponuj układ (złożony z przerzutników i bramek), który będzie reagował stanem wysokim na co-dziesiąty impuls.
4. Ilo bitowego przetwornika należy użyć aby mierząc napięcia o 0 do 5 V uzyskać rozdzielczość 1 mV.