

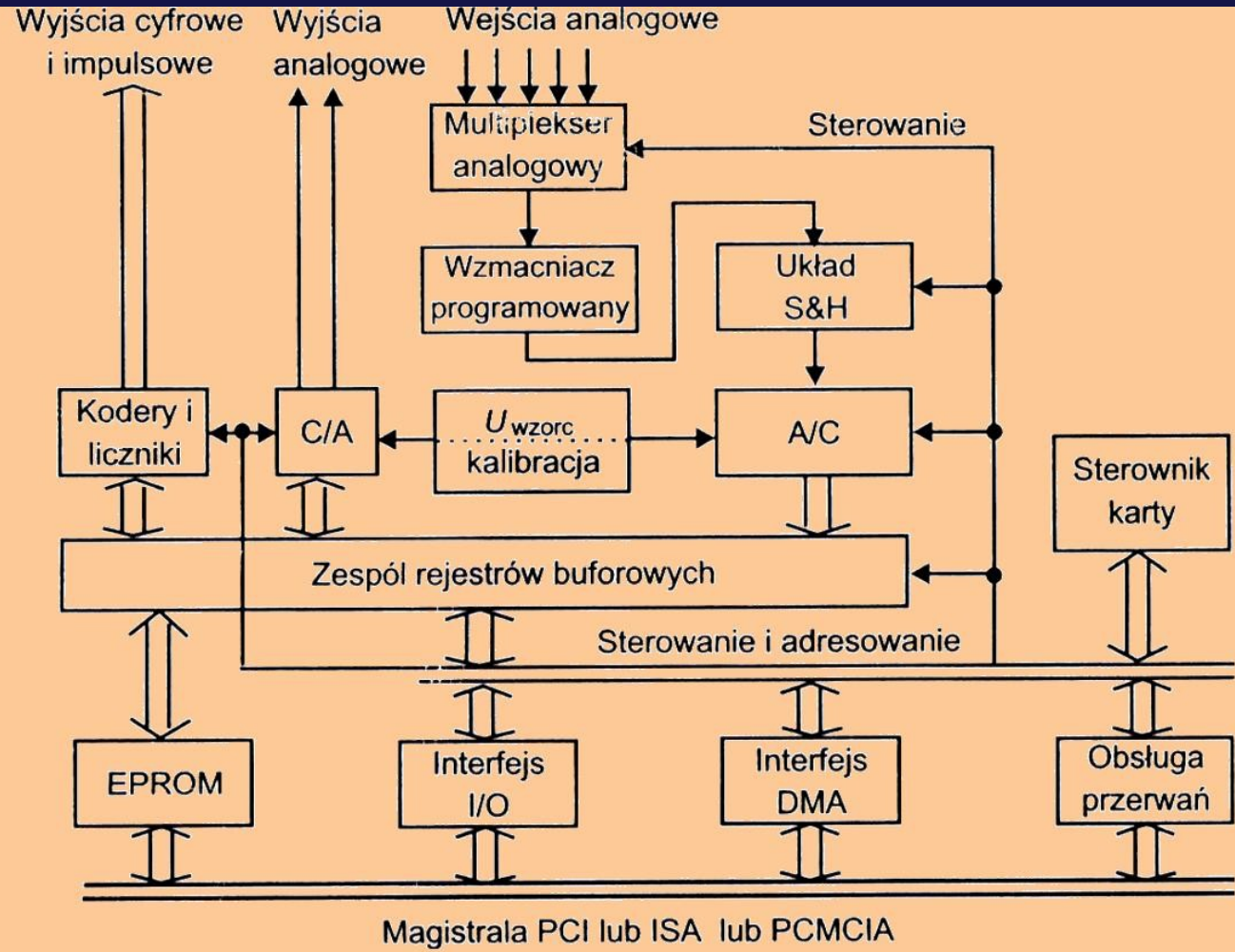
Komputerowe systemy pomiarowe

Dr Zbigniew Koziol - wykład
Mgr Mariusz Woźny – laboratorium

Wykład IV

Podstawowe elementy sprzętowe elektronicznych układów pomiarowych – część II

Typowa architektura komputerowej karty pomiarowej



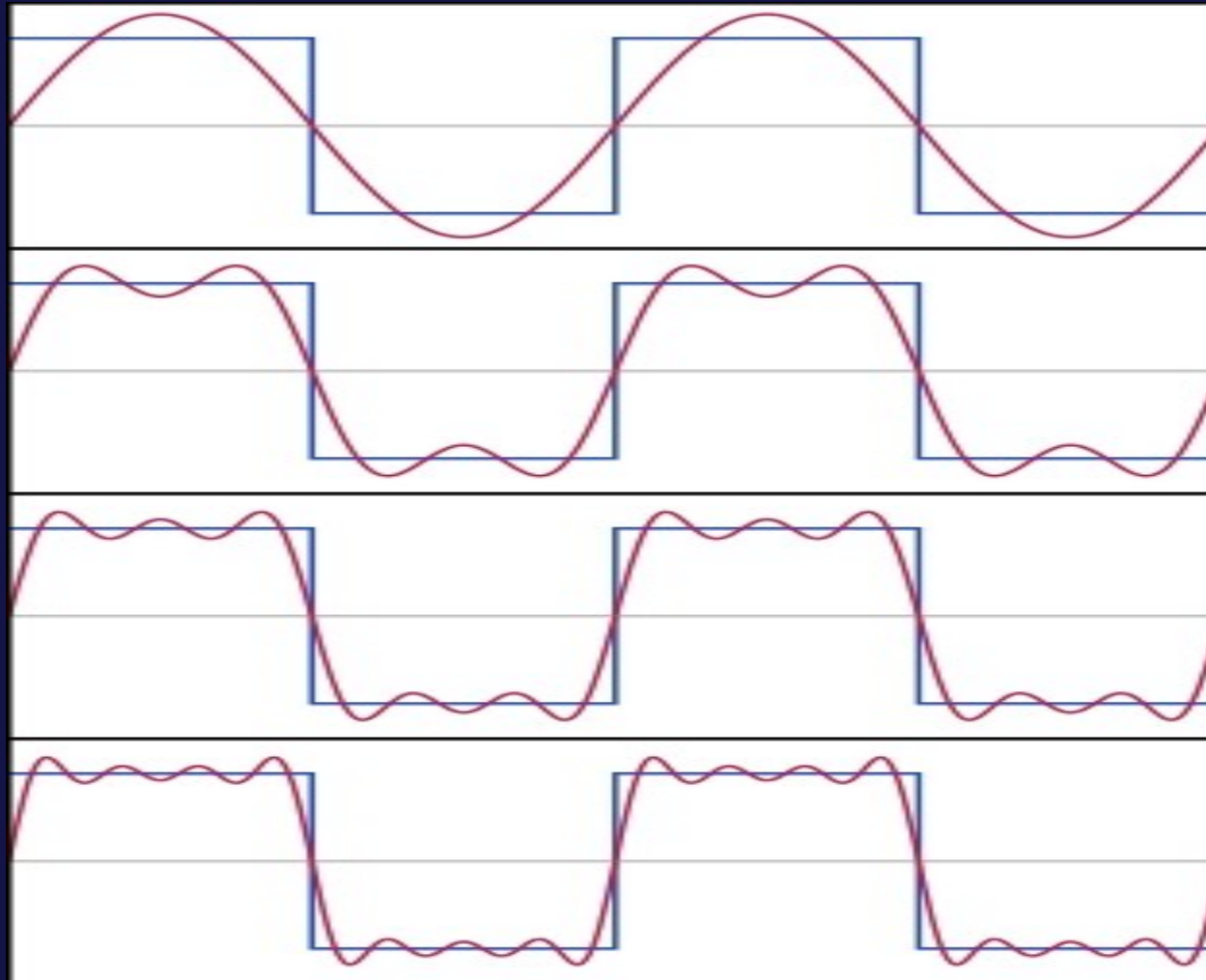
Rysunek:
 W.Nawrocki,
 „Rozproszone systemy
 pomiarowe”,
 WKŁ, Warszawa 2006

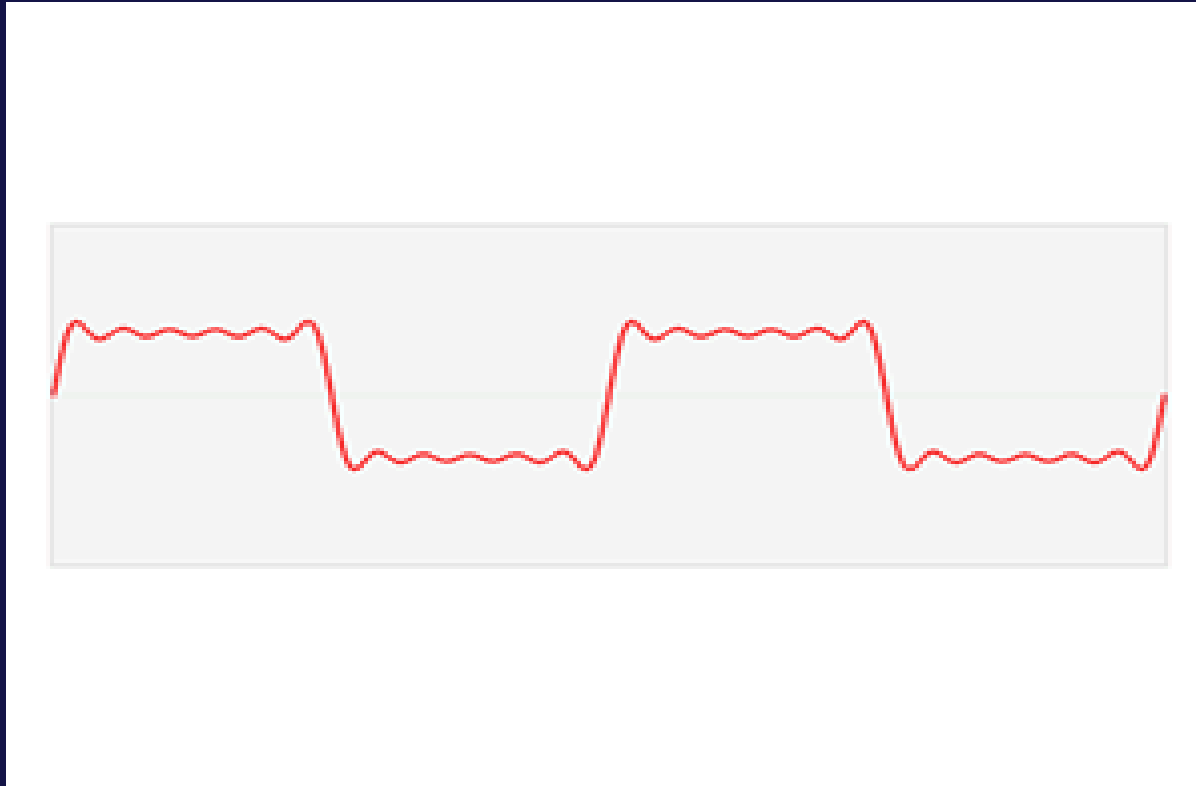


Plan

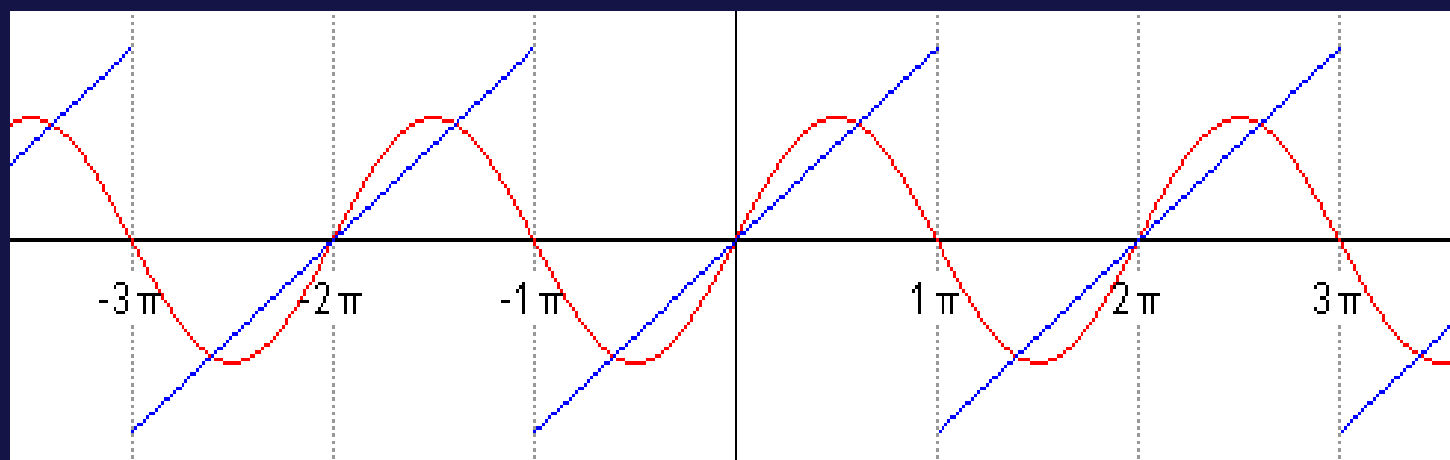
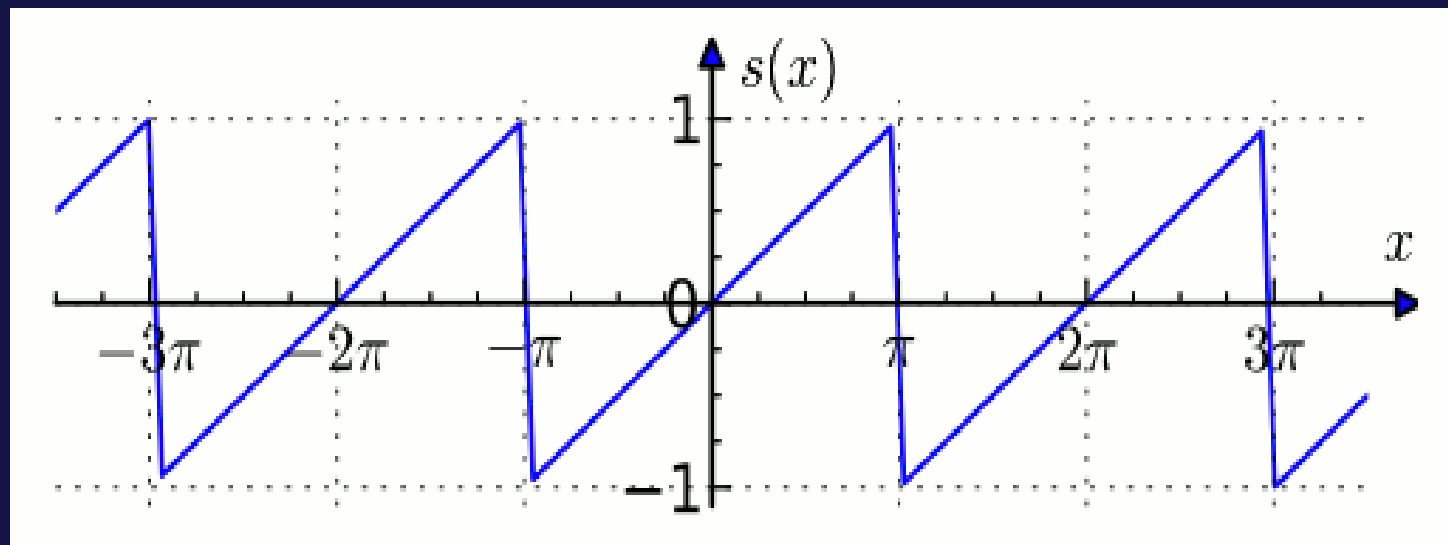
- Transformata Fouriera
- Wzorce wielkości pomiarowych i ich stabilizacja
- Układy cyfrowe TTL i CMOS
- Komparator analogowy
- Przetworniki A/C, ich rozdzielczość i częstotliwość próbkowania, twierdzenie Nyquista-Shannona
- Przetworniki C/A
- Separatory
- Multipleksery

Transformata Fouriera





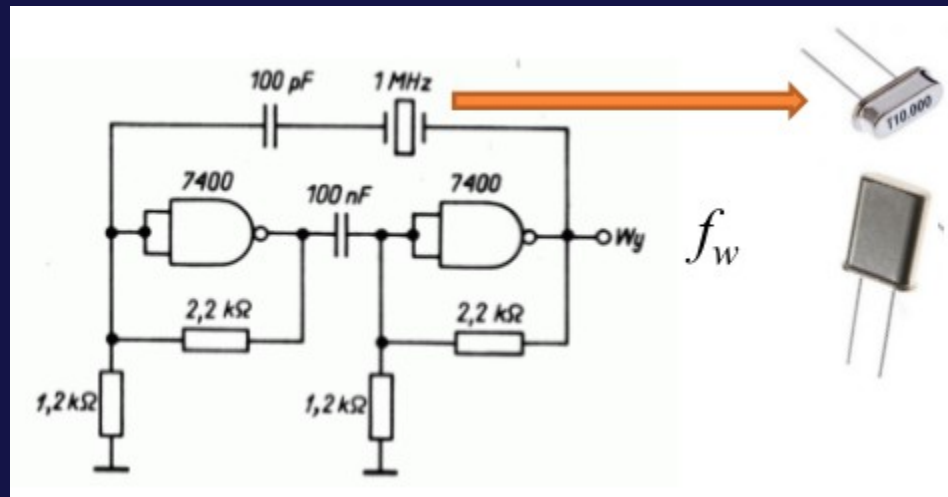
Funkcja $s(x)$ (czerwony kolor) jest sumą sześciu funkcji sinus o różnej amplitudzie i harmonicznych częstotliwościach. Ich sumowanie nazywa się sumowaniem szeregu Fouriera. Transformata Fouriera, $S(f)$ (niebieski kolor), przedstawia zależność amplitudy od częstotliwości dla 6 składowych szeregu Fouriera.



Wzorce wielkości i stabilizacja

- czas – oscylator kwarcowy
- precyzyjne źródło napięcia odniesienia – diody Zenera i stabilizatory
- stabilizacja termicznych efektów

Generator kwarcowy jako wzorzec częstotliwości i czasu

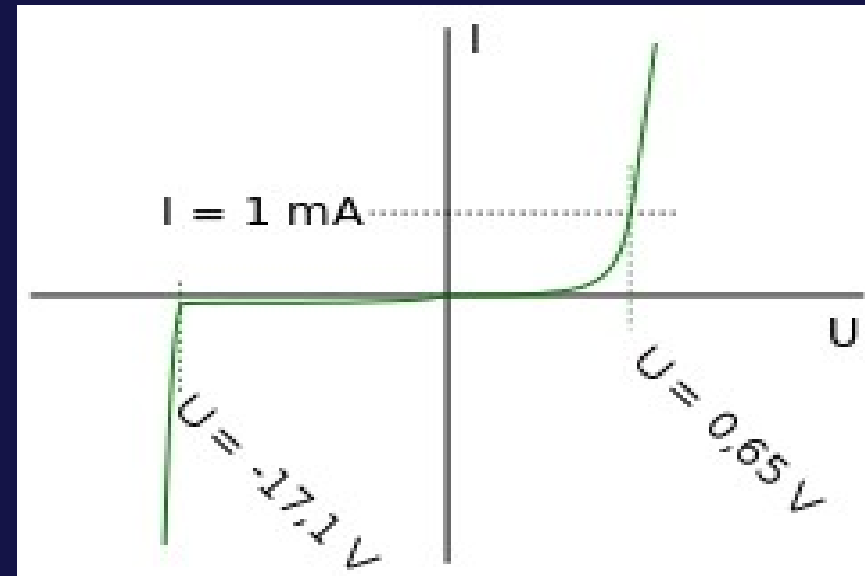
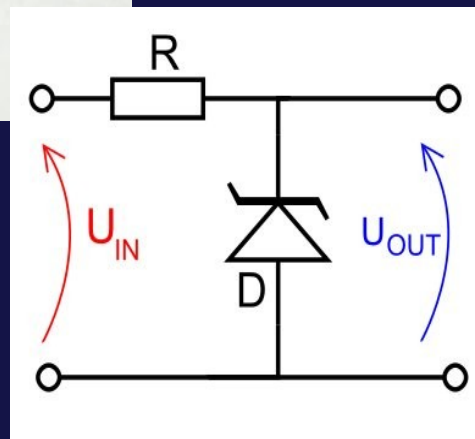


Generator przebiegów prostokątnych stabilizowany kwarcem może być oparty na bramkach NAND. Napięcie wyjściowe jest prostokątne i ma poziom odpowiadający układom TTL. temperatura pracy np. $-10^{\circ}\text{C}/+70^{\circ}\text{C}$, tolerancja np. $\pm 30\text{ppm}$, częstotliwość np. 1 MHz lub 10 MHz

Jak mierzyć czas lub częstotliwość mając do dyspozycji generator kwarcowy, bramki NAND i komparator?

Precyzyjne źródła napięcia i stabilizatory

- dioda Zenera

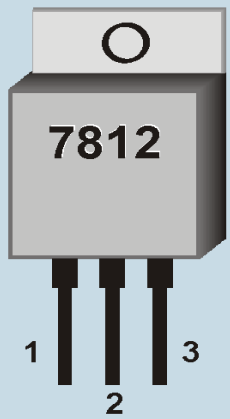
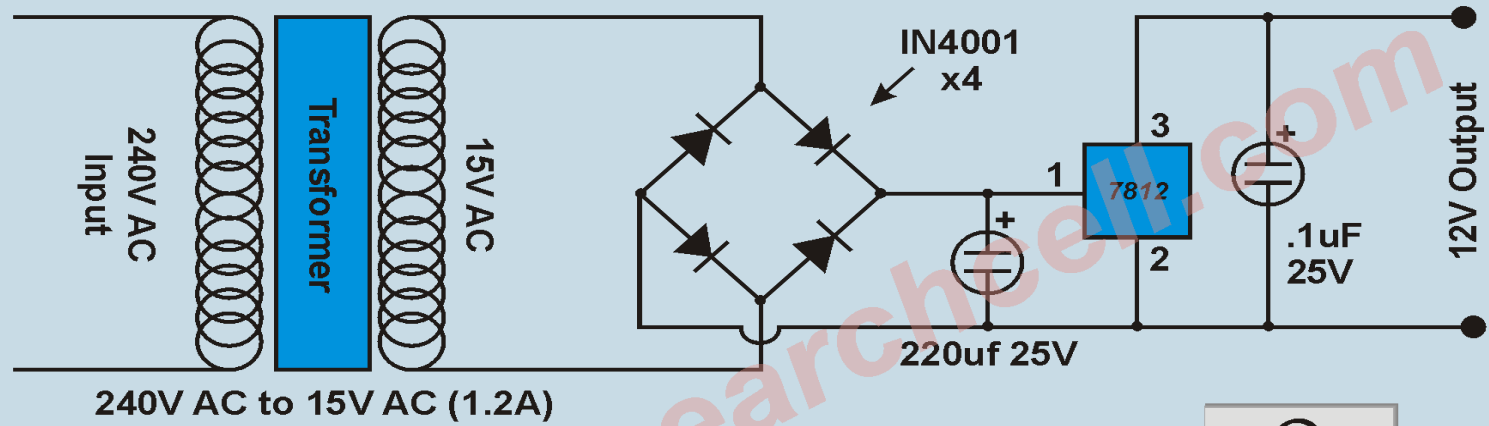


Current-voltage characteristic of a zener diode with a breakdown voltage of 17 volts. Notice the change of voltage scale between the forward biased (positive) direction and the reverse biased (negative) direction.

W przypadku diod krzemowych o napięciu 5.6 V zależność napięcia Zenera od temperatury niemal nie istnieje!

Precyzyjne źródła napięcia i stabilizatory

- stabilizatory (zwykle z czujnikiem temperatury)



www.researchcell.com
12V 1A Regulated Power Supply
All Rights Reserved



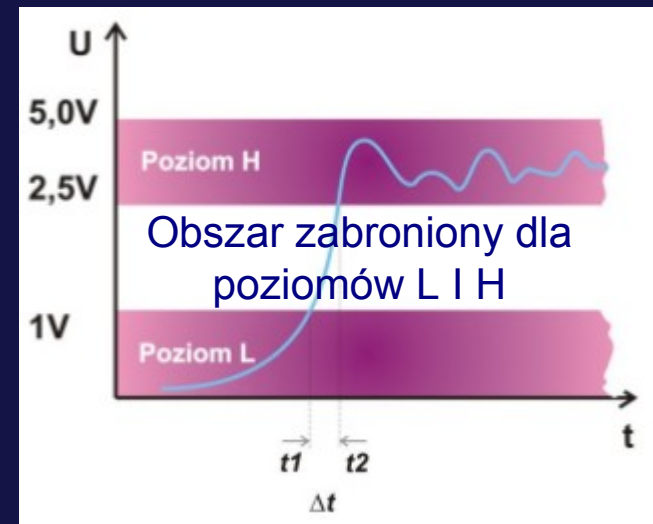
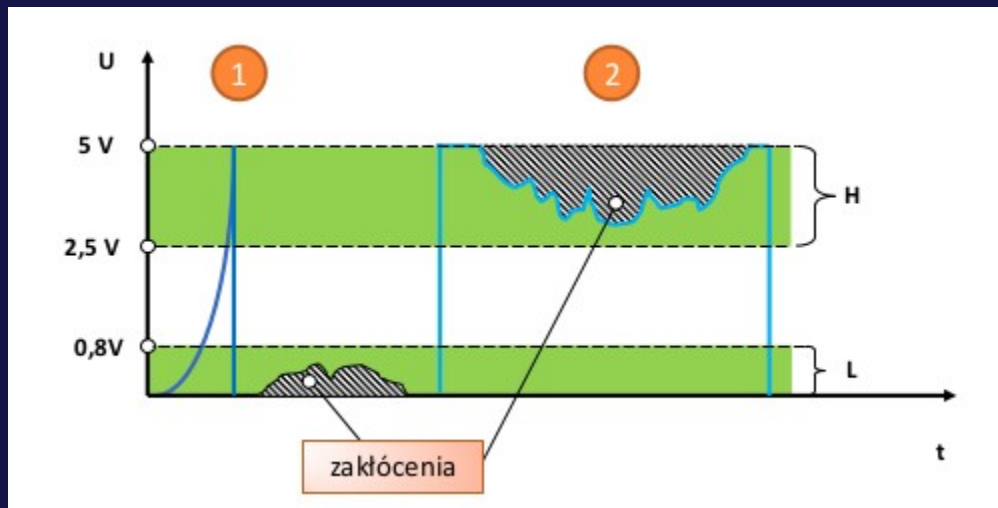
Jak stabilizować efekty temperaturowe?

- dioda Zenera z odpowiednio dobranym opornikiem
- czujniki temperatury z automatyczną korelacją napięć
- itp..

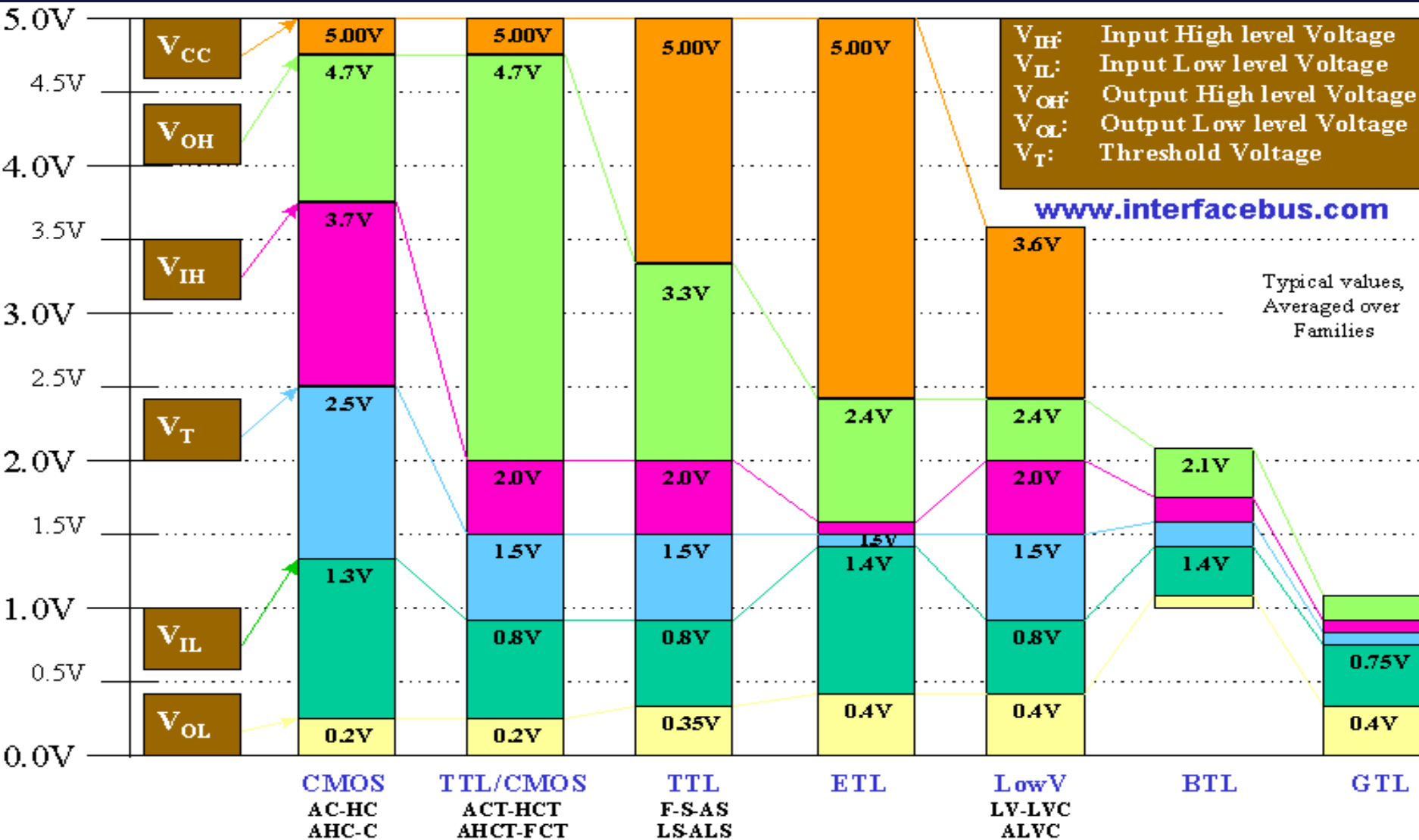
Układy cyfrowe TTL i CMOS

Sygnał cyfrowy

Miernictwo cyfrowe operuje sygnałami dyskretnymi, które mają postać impulsów napięciowych o krótszym lub dłuższym czasie trwania. Impulsy takie stanowią najprostszy sygnał logiczny tzw. binarny (dwustanowy, zero-jedynkowy). Może on przybierać jedynie dwa możliwe stany – stan niski (L – Low) i wysoki (H - High).



Czas przełączania jest jednym z najważniejszych parametrów układów logicznych. Jest on definiowany jako czas przejścia z jednego stanu logicznego w drugi. Czas ten zawiera się w granicach 10% do 90% wartości amplitudy napięcia.

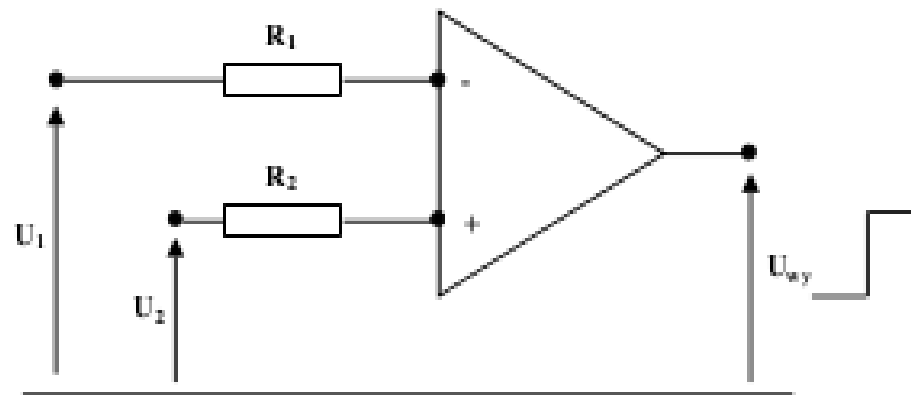


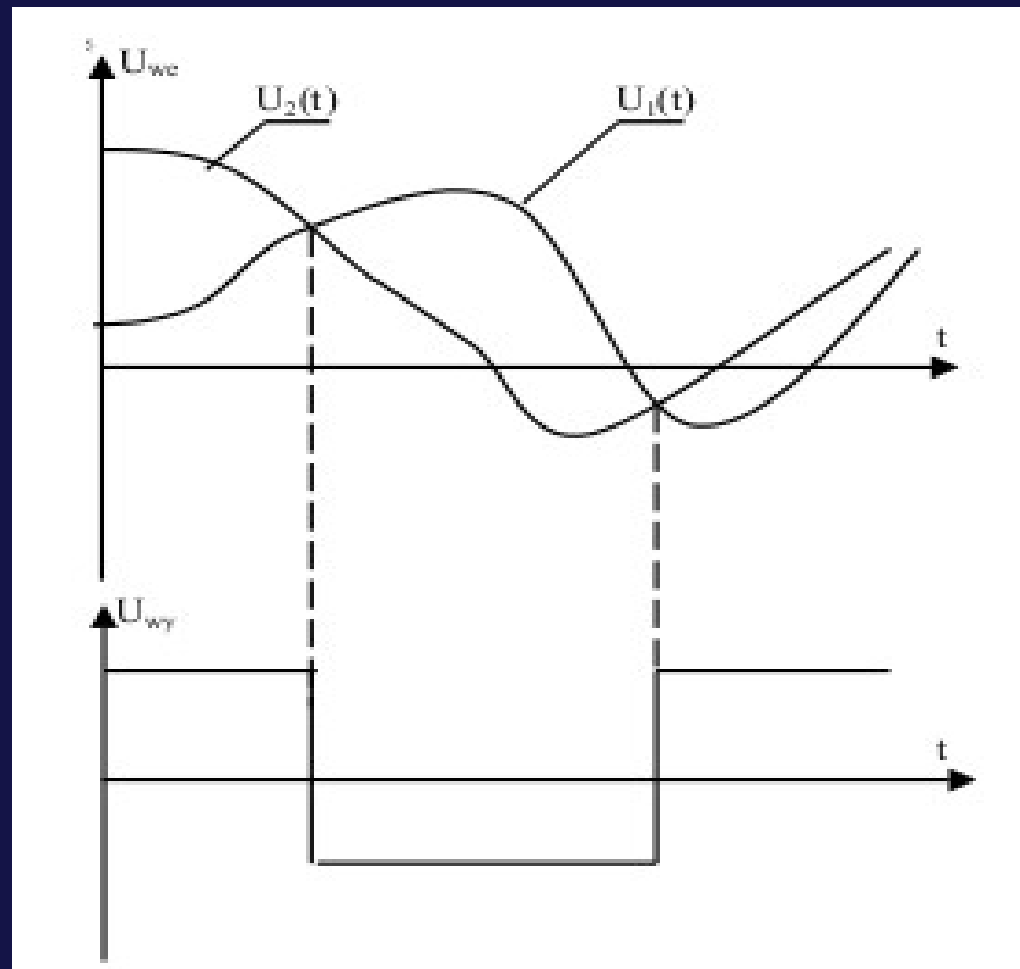
Porównanie charakterystycznych wartości napięć dozwolonych w układach TTL, CMOS in innych



Komparator analogowy

Komparator jest wzmacniaczem różnicowym o dużym współczynniku wzmocnienia napięciowego: od $k_u = 1000 \text{ V/V}$ do $k_u = 200\,000 \text{ V/V}$, dwóch wejściach analogowych i wyjściu cyfrowym. Porównuje on dwie wielkości analogowe, stąd nazwa – „analogowy”. W technice cyfrowej występują jeszcze komparatory cyfrowe, których zadaniem jest porównywanie dwóch sygnałów cyfrowych.



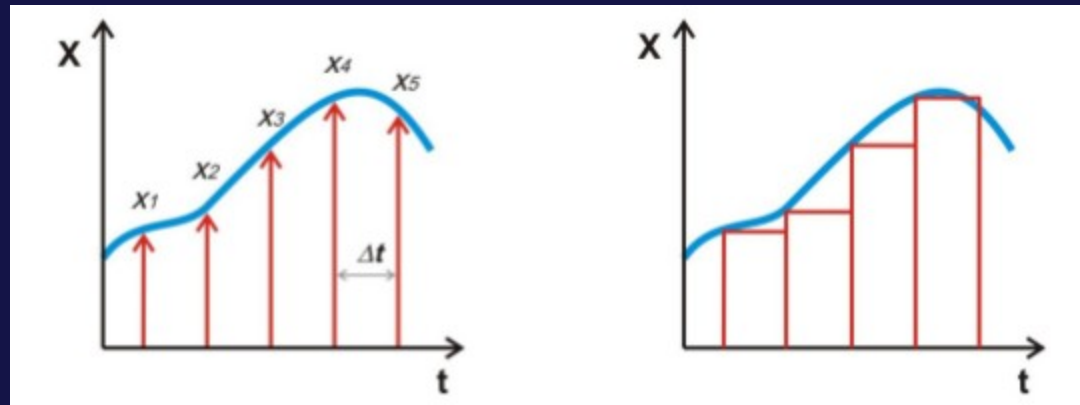


Przebieg napięć w komparatorze analogowym

Dyskretyzacja-> kwantyzacja-> kodowanie

w czasie i w wartości

Zmiana ciągłych (analogowych) wartości wejściowych (sygnału odpowiadającego mierzonej wielkości fizycznej X) na kody binarne. Kwantyzacja sygnału analogowego odbywa się w momentach czasu zdeterminowanych częstotliwością próbkowania.



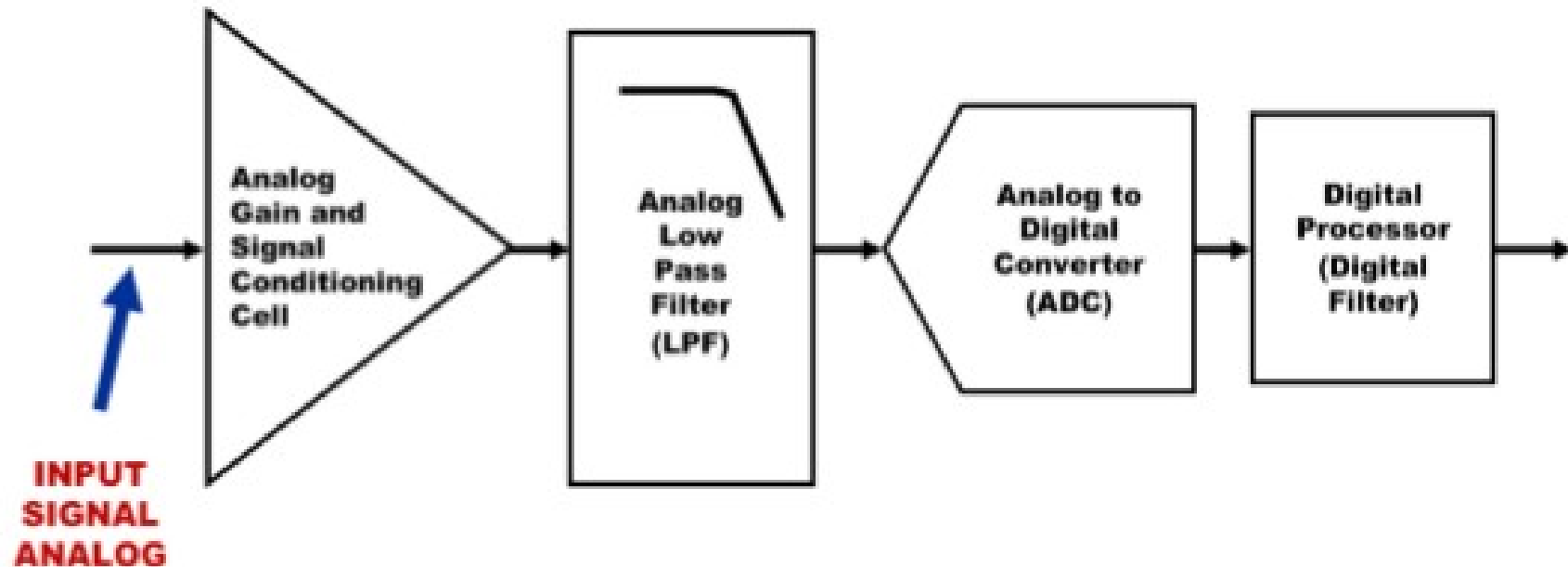
Wejściowy sygnał analogowy jest zatem aproksymowany poziomami reprezentacji, a różnica pomiędzy wartością skwantowaną i oryginalną jest nazywana błędem kwantyzacji. Rozmieszczenie i liczba poziomów kwantyzacji oraz rozmieszczenie poziomów decyzyjnych determinują dokładność przetwarzania.

Przetworniki analogowo-cyfrowe A/C

Przetwarzanie analogowo – cyfrowe stosowane jest wszędzie tam, gdzie niezbędne jest odzwierciedlenie sygnału rzeczywistego, ciągłego na postać cyfrową. Układy elektroniczne realizujące tego typu zadanie nazywa się przetwornikami analogowo – cyfrowymi (A/C).

W krajach anglosaskich przetworniki takie oznacza się jako A/D, od słów „Analog to Digital”. W innych oznaczeniach stosuje się rozszerzone nazewnictwo ADC- „Analog to Digital Converter”.

Główne etapy przetwarzania sygnału analogowego



- wzmacnienie amplitudy sygnału,
- standaryzacja sygnału,

- filtrowanie sygnału,

- przetwarzanie A/C,

- przetwarzanie po stronie cyfrowej,
- operacje matematyczne.

Rozdzielczość przetwornika A/C

Rozdzielczość przetwornika określa liczbę dyskretnych wartości jakie może on wytworzyć. Zwykle wyraża się ją w bitach. Przykładowo, przetwornik A/C, który potrafi przetworzyć próbkę sygnału na jedną z 256 wartości liczbowych posiada rozdzielczość równą 8 bitów.

Rozdzielczość może być również wyrażona w woltach. Rozdzielczość napięcia przetwornika A/C jest równa jego całkowitej skali pomiaru podzielonej przez liczbę poziomów kwantyzacji.

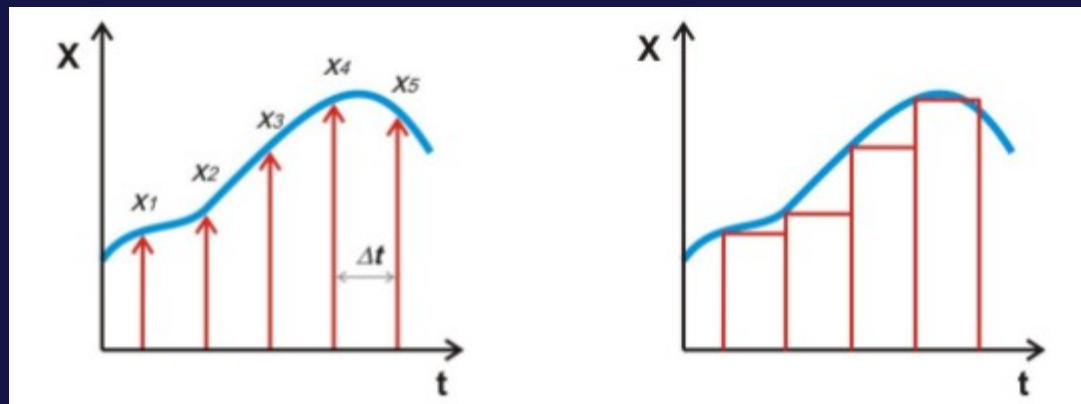
Przykład:

Pełna skala pomiaru = od 0 do 10 woltów. Rozdzielczość przetwornika jest równa 12 bitów, czyli 4096 poziomów kwantyzacji. Rozdzielczość napięciowa wynosi: $(10-0)/4096 = 0,00244$ wolta = 2,44 mV.

Częstotliwość próbkowania

Analogowy sygnał jest ciągły w czasie, więc konieczne jest przetworzenie go na ciąg liczb. To, jak często sygnał jest sprawdzany i zamieniany na liczbę zależną od jego poziomu, określane jest mianem częstotliwości próbkowania. Innymi słowy można powiedzieć, że częstotliwość próbkowania jest odwrotnością różnicy czasu pomiędzy dwiema kolejnymi próbkami.

Zwykle, nie jest możliwe odtworzenie dokładnie takiego samego sygnału na podstawie wartości liczbowych, ponieważ dokładność jest ograniczona przez błąd kwantyzacji. Jednak wiarygodne odwzorowanie sygnału jest możliwe do osiągnięcia, gdy częstotliwość próbkowania jest większa niż podwojona, najwyższa składowa częstotliwość sygnału (twierdzenie Nyquista-Shannona).



Typy przetworników analogowo-cyfrowych

Flash — służą do badania bardzo szybkich przebiegów, a więc i wielkich częstotliwości

Pipeline converter — przetwornik potokowy stosowany do badania szybkich sygnałów

SAR – kompensacyjno–wagowy, sukcesywnej aproksymacji zapewniający dostatecznie dobrą rozdzielczość (do 16 bitów) przy szerokim zakresie prędkości

Integrating - przetworniki całkowe, które używane są do przetwarzania sygnałów stałych i wolnozmiennych. Stosuje się je często jako przetworniki napięcia stałego w multimetrach

Sigma-delta — oparte na konwersji analogowo-cyfrowej związanej z modulacją sygnału. Wynikiem działania takiego konwertera jest ciąg bitów zakodowany modulacją gęstości impulsów. Zaletą jest dobre tłumienie szumów, najwyższa rozdzielczość (do 24 bitów)

Przetwornik o przetwarzaniu bezpośrednim

Przetwornik o przetwarzaniu bezpośrednim (nazywany także Flash) działa na zasadzie bezpośredniego i zazwyczaj jednoczesnego porównania wartości napięcia wejściowego z szeregiem napięć odniesienia reprezentujących poszczególne poziomy kwantowania za pomocą szeregu komparatorów analogowych. Rezultat tego porównania wprowadzany jest na specjalny enkoder który wyprowadza wartość cyfrową sygnału wejściowego w stosownej formie binarnej. Podstawową zaletą takich przetworników jest szybkość działania (czas przetworzenia) na którą składają się wyłącznie dwa czynniki: opóźnienie na komparatorze analogowym oraz opóźnienie na enkoderze cyfrowym. Uzyskiwane szybkości przetwarzania są nawet od kilku razy do kilku rzędów wielkości większe od pozostałych typów przetworników A/C. Niestety ogromna szybkość okupiona jest relatywnie małą rozdzielczością oraz dokładnością. Zwiększenie rozdzielczości o kolejny bit wymaga podwojenia ilości elementów i zwiększenia precyzyjności napięć odniesienia uzyskiwanych zazwyczaj z dzielnika rezystorowego wysokostabilnego napięcia odniesienia wewnętrznego lub zewnętrznego. Dodatkowo zwiększanie ilości komparatorów czyli poziomów kwantowania lub inaczej rozdzielczości bitowej przetwornika, powoduje zwiększenie jego pojemności wejściowej a co za tym idzie ograniczenia pasma wejściowego sygnału co niekorzystnie wpływa na jego parametry funkcjonalne. Przetworniki tego typu stosowane są wszędzie tam gdzie wymagana jest bardzo duża częstotliwość próbkowania i jednocześnie nie jest wymagana bardzo duża dokładność przetwarzania (najczęściej nie większa niż 8- lub 9-bitowa).

Przetwornik z próbkowaniem analogowym

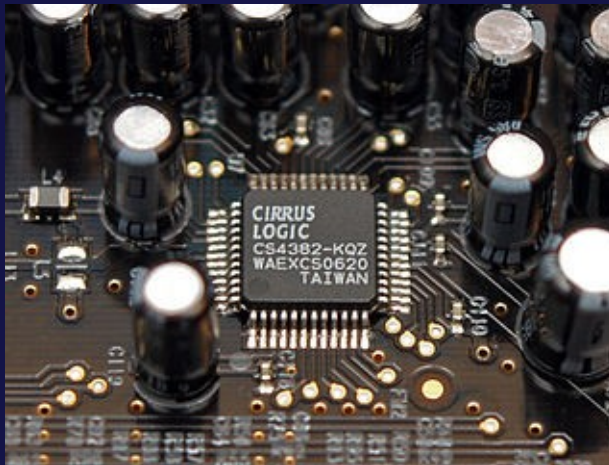
Działa na zasadzie zliczania impulsów z generatora wzorcowego o dużej częstotliwości (względem czasu pomiaru) w czasie proporcjonalnym do napięcia wejściowego. Czas zliczania impulsów jest szerokością impulsu bramkującego generowanego przez układ sterujący na podstawie porównania napięcia wejściowego z liniowo narastającym napięciem odniesienia przez komparator analogowy. Parametry tego typu przetwornika bardzo mocno zależą od jakości (dokładności) generowania napięcia odniesienia (jest to przebieg piłokształtny) jego liniowości oraz powtarzalności szybkości narastania a także od stabilności generatora wzorcowego. Szybkość przetwarzania czyli częstotliwość próbkowania w tego typu przetwornikach równa jest częstotliwości przebiegu z generatora napięcia odniesienia. Uzyskiwane rozdzielczości zależą od szerokości bitowej licznika i częstotliwości generatora wzorcowego. Ze względu na to iż stosunkowo łatwo jest zaprojektować i wytworzyć cyfrowe liczniki binarne o znacznych szerokościach słowa oraz generatory wzorcowe o dobrych parametrach, można w ten sposób uzyskać bardzo dobrą rozdzielczość przetwornika ograniczoną wyłącznie parametrem stosunku sygnału do szumu (SNR) części analogowej.

Przetwornik z sukcesywną aproksymacją

Przetwornik z sukcesywną aproksymacją (próbkowaniem bitowym) działa na zasadzie porównywania wartości napięcia wejściowego z napięciem odniesienia wytworzonym za pomocą przetwornika cyfrowo-analogowego w iteracyjnym procesie obsługiwanym przez układ sterujący. Algorytm działania układu sterującego polega na ustawianiu (wartość "1") kolejnych bitów słowa danych dla przetwornika C/A poczynając od najważniejszego bitu słowa (MSB) i w przypadku kiedy napięcie wejściowe będzie mniejsze od napięcia odniesienia z przetwornika C/A to dany bit słowa danych jest kasowany (wartość "0") w przeciwnym wypadku jest pozostawiany (wartość "1") i realizowana jest kolejna iteracja algorytmu aż do osiągnięcia ostatniego bitu słowa danych (LSB). Tak ustawione słowo danych jest reprezentacją cyfrową napięcia wejściowego. Ze względu na iteracyjny charakter pracy przetwornika jego częstotliwość próbkowania jest znacząco mniejsza od uzyskiwanej w przetwornikach o przetwarzaniu bezpośrednim i w znacznym stopniu zależy od wielkości słowa danych – rozdzielczości przetwornika, szybkości pracy przetwornika C/A i w końcu komparatora i układu sterującego.

Przetworniki cyfrowo-analogowe C/A

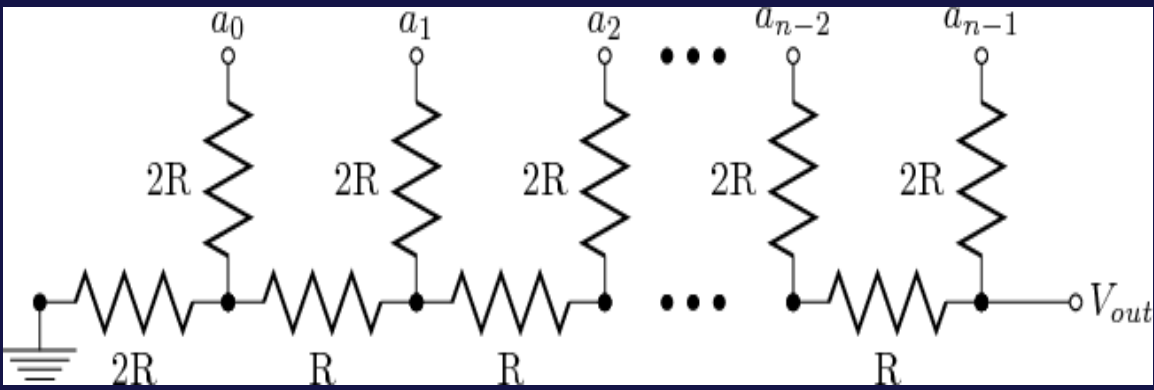
Przetwornik cyfrowo-analogowy, przetwornik C/A lub DAC (z ang. Digital to Analog Converter, DAC) – przyrząd elektroniczny przetwarzający sygnał cyfrowy (zazwyczaj liczbę binarną w postaci danych cyfrowych) na sygnał analogowy w postaci prądu elektrycznego lub napięcia o wartości proporcjonalnej do tej liczby. Innymi słowy jest to układ przetwarzający dyskretny sygnał cyfrowy na równoważny mu sygnał analogowy.



8-kanałowy przetwornik cyfrowo-analogowy Cirrus Logic CS4382 na karcie muzycznej Sound Blaster X-Fi Fatality

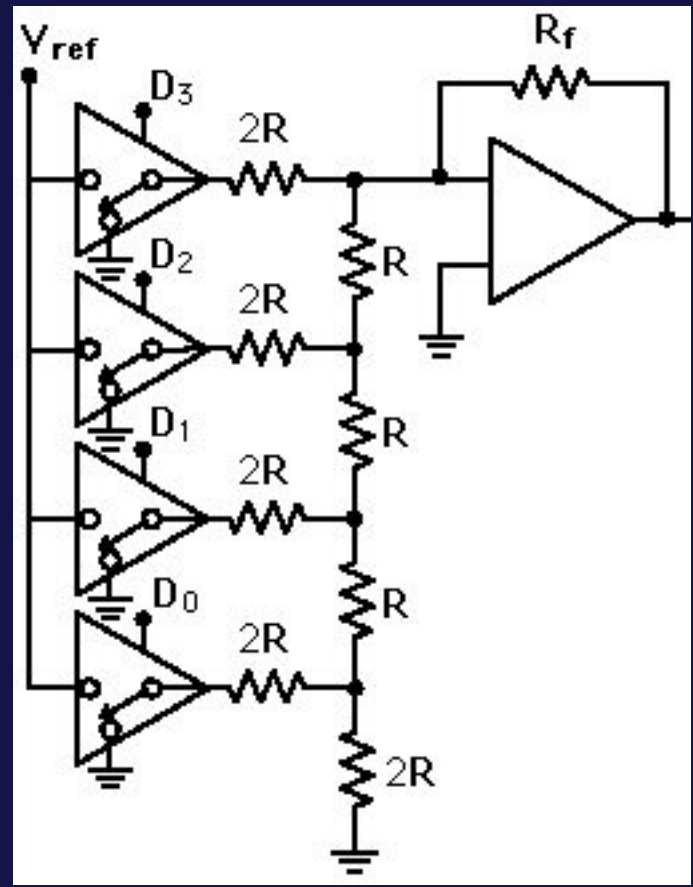
Przetworniki C/A pracują w oparciu o jedną z czterech metod przetwarzania:

- równoległą, w których wszystkie bity sygnału są doprowadzane jednocześnie,
- szeregową, w których sygnał wyjściowy jest wytwarzany dopiero po sekwencyjnym przyjęciu wszystkich bitów wejściowych, co sprawia, że są wolniejsze od przetworników połączonych równolegle.
- wagową
- zliczania

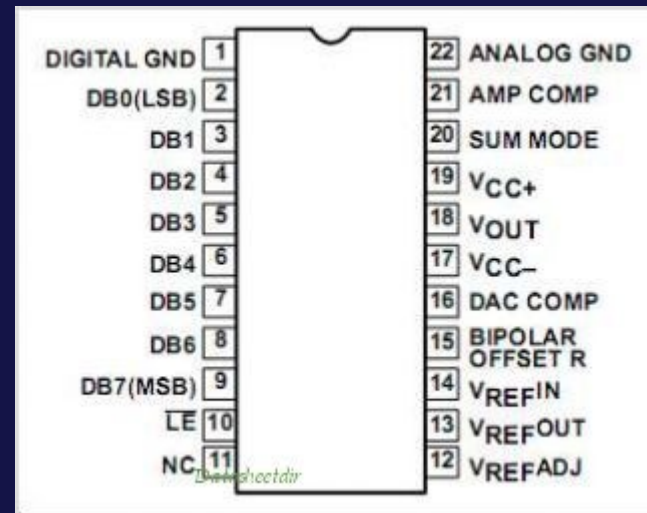


Drabinka oporników jako przetwornik cyfrowo-analogowy

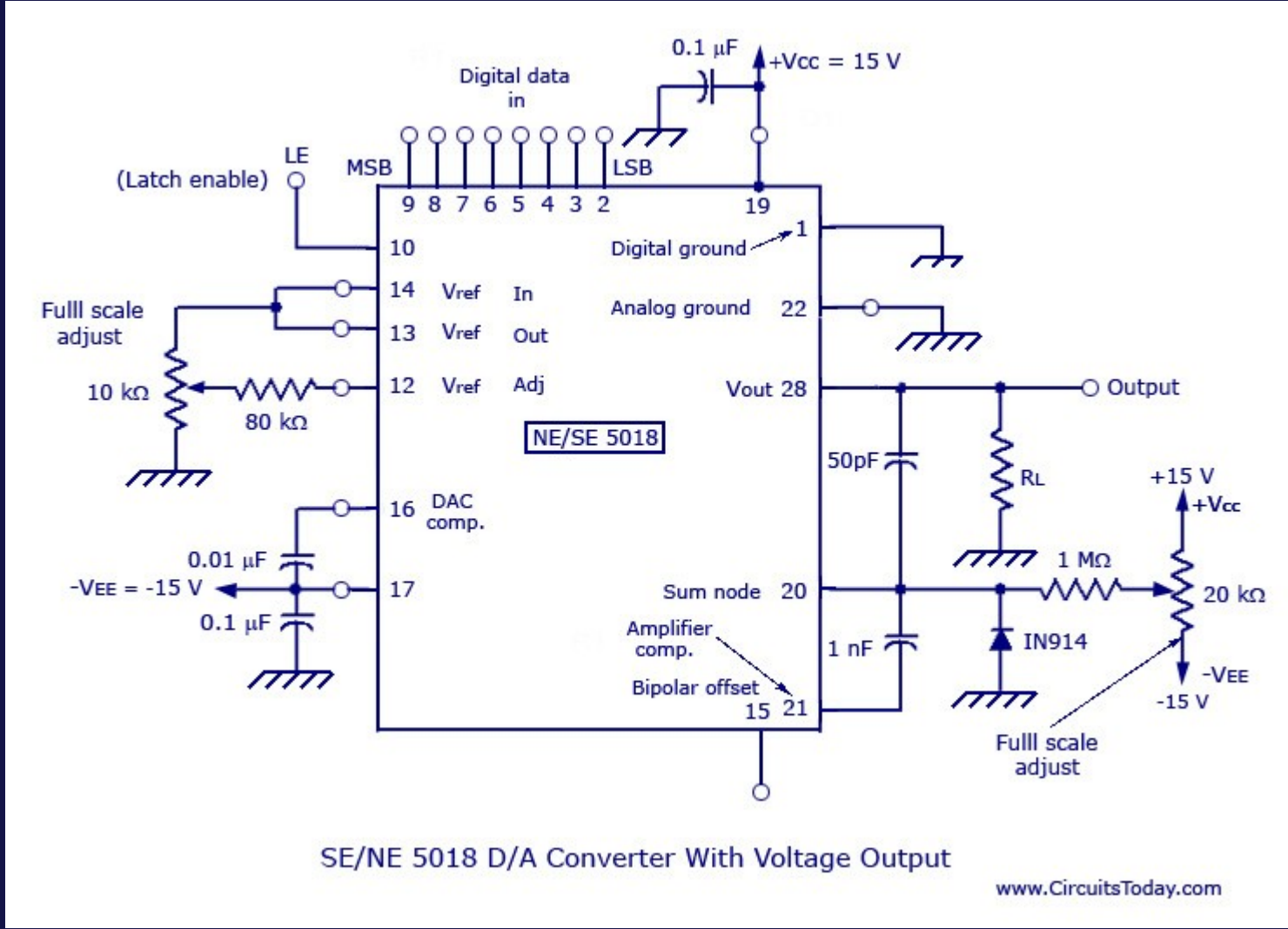
Jak zwiększyć precyzję przy dużej ilości bitów?



Przetworniki cyfrowo-analogowe C/A – praktyczna realizacja: NE5018



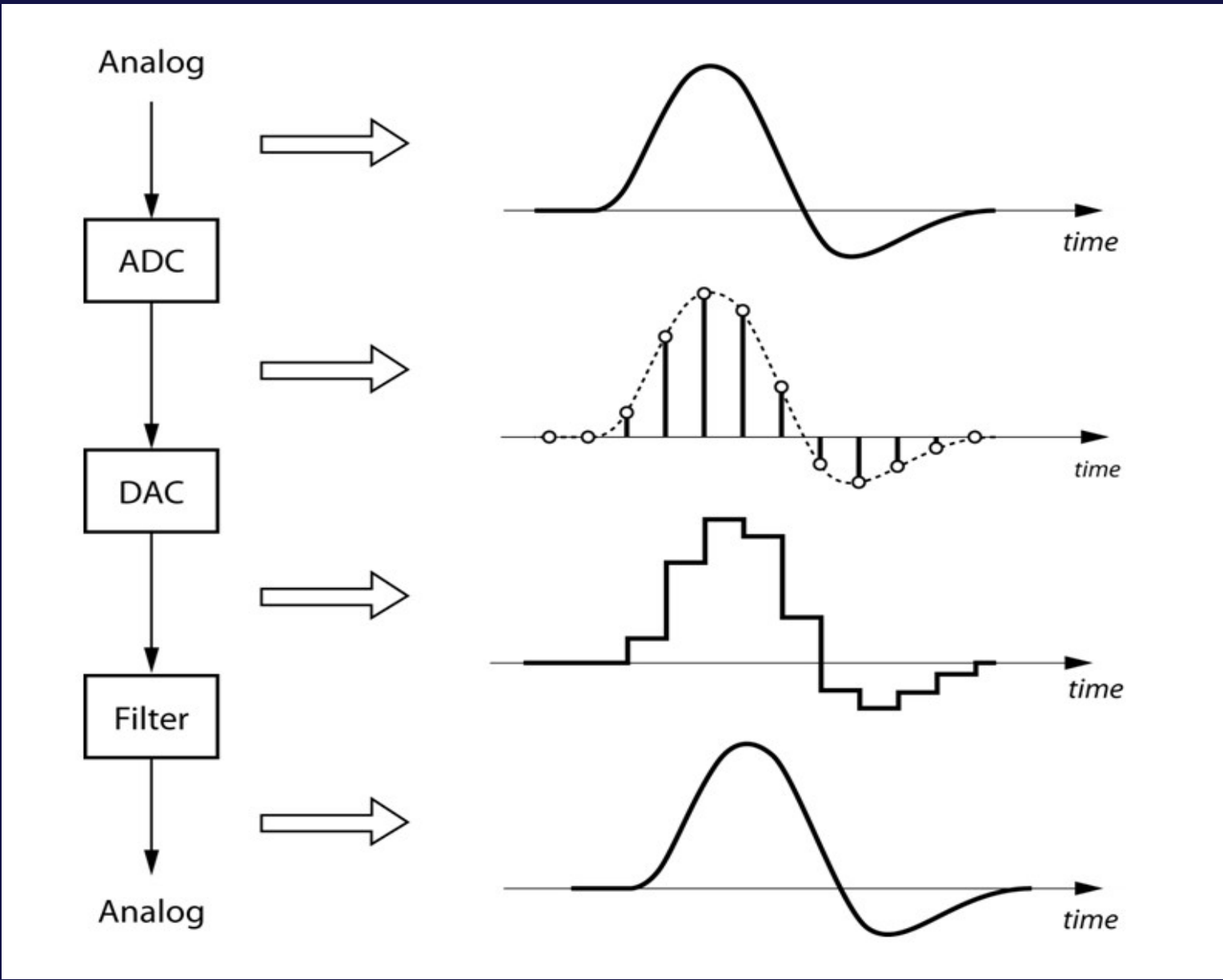
Philips, 8-bitowy, szybkość przetwarzania informacji rzędu $1 \mu\text{s}$



SE/NE 5018 D/A Converter With Voltage Output

www.CircuitsToday.com





Separatory galwaniczne

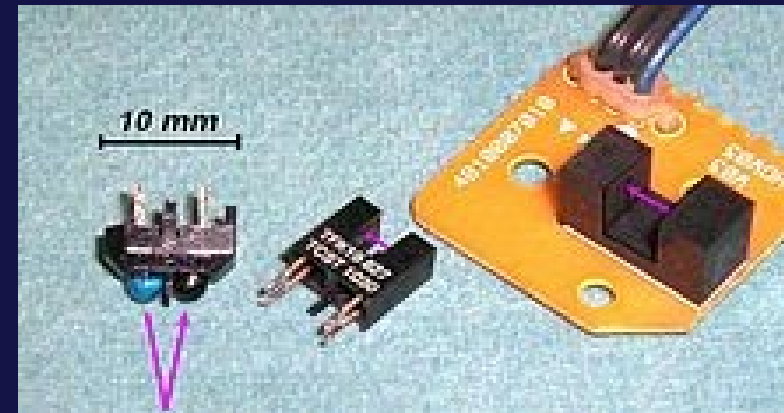
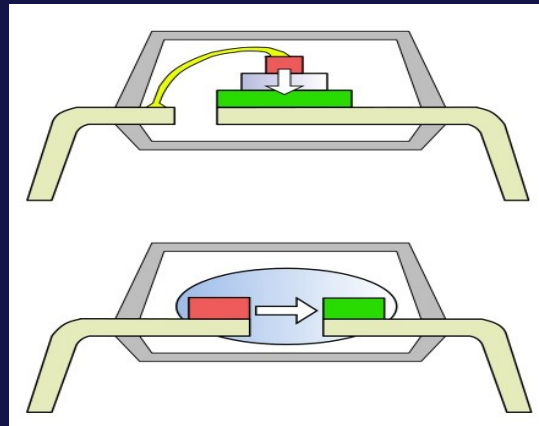
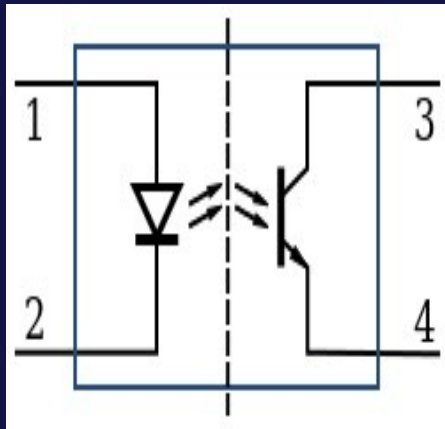
Separacja galwaniczna (bariera galwaniczna, izolacja galwaniczna) – izolacja między co najmniej dwoma blokami funkcyjnymi systemu elektrycznego tak, aby prąd elektryczny nie przepływał bezpośrednio z jednego bloku do drugiego. Energia i informacje mogą być nadal wymieniane między blokami za pomocą sprzężenia optycznego, indukcyjnego, pojemnościowego, za pomocą fal elektromagnetycznych lub akustycznych (np. dzięki piezoelektryczności). Izolacja galwaniczna jest stosowana wtedy, gdy dwa lub więcej układów elektrycznych mają wymieniać informacje lub energię, ale ich masy elektryczne są na różnych potencjałach .

Separatory galwaniczne

Separacja galwaniczna jest stosowana ze względu:

- bezpieczeństwa w celu oddzielenia części obwodu znajdującego się na niebezpiecznym dla pozostałej części obwodu lub obsługi potencjale (np. sieci energetycznej)
- eliminacji zakłóceń i sprzężeń wynikający ze wspólnej masy.

Doskonałą izolacją galwaniczną dla przekazu informacji zapewnia np połączenie optyczne za pomocą światłowodu czy transoptora.



Inne sposoby separacji od zakłóceń?

- klatka Faradaya
- ekranowanie pola magnetycznego (mu-metal, stopy Fe-Ni)
- pokoje akustyczne
- izolacja oprzyrządowania od drgań mechanicznych

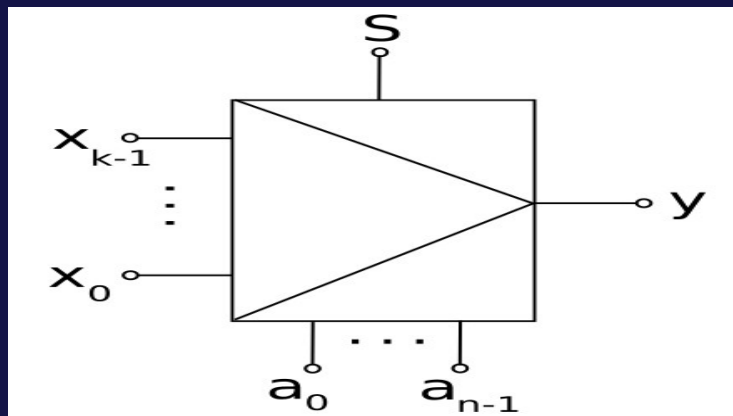


Ponieważ na powierzchni idealnego przewodnika potencjał musi być w każdym punkcie równy, nie następuje wnikanie pola elektrycznego do wnętrza metalu, a tym samym pole elektryczne nie przenika przez metal. Dzięki temu we wnętrzu klatki, niezależnie od tego jak silnie jest ona naładowana, nie ma pola elektrycznego.

Multipleksery

Multiplekser (w skrócie MUX) – układ kombinacyjny, najczęściej cyfrowy, służący do wyboru jednego z kilku dostępnych sygnałów wejściowych i przekazania go na wyjście.

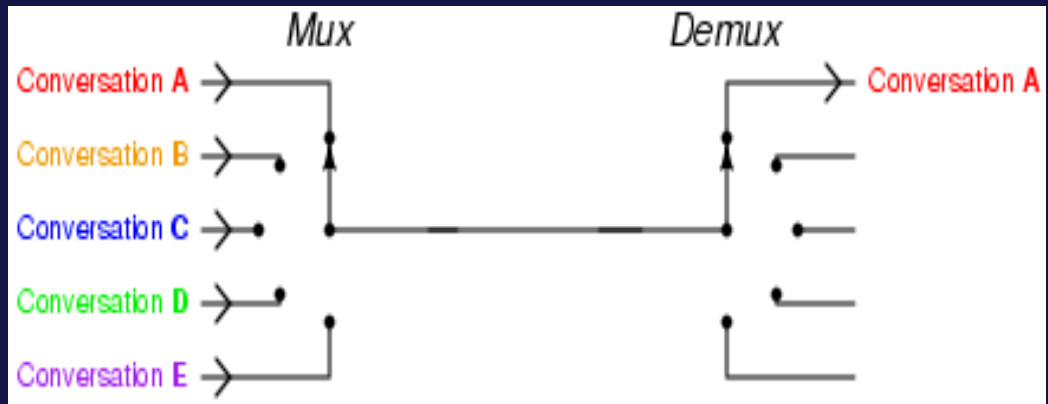
Multiplekser jest układem komutacyjnym (przełączającym), posiadającym k wejść informacyjnych (zwanymi też wejściami danych), n wejść adresowych (sterujących) (zazwyczaj $k=2^n$) i jedno wyjście y . Posiada też wejście sterujące działaniem układu oznaczane S (wejście strobuje, ang. strobe) lub e (ang. enable). Działanie multipleksera polega na przekazaniu wartości jednego z wejść x_i na wyjście y . Numer i wejścia jest podawany na linie adresowe $a_0 \dots a_{n-1}$.



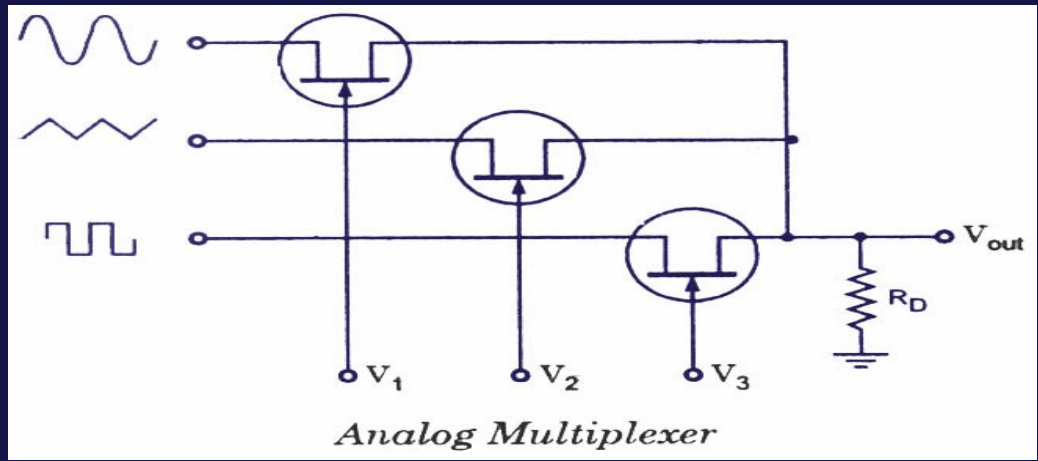
Jeśli na wejście strobuje (blokuje) S podane zostanie logiczne zero, to wyjście y przyjmuje określony stan logiczny (zazwyczaj zero), niezależny od stanu wejść X i A .

Ale nas interesują bardziej ...

Multipleksery analogowe



Multiplekser (Mux) i demultiplekser (Demux) w telefonii



Przykład multipleksera na tranzystorach polowych.



Multipleksery analogowe

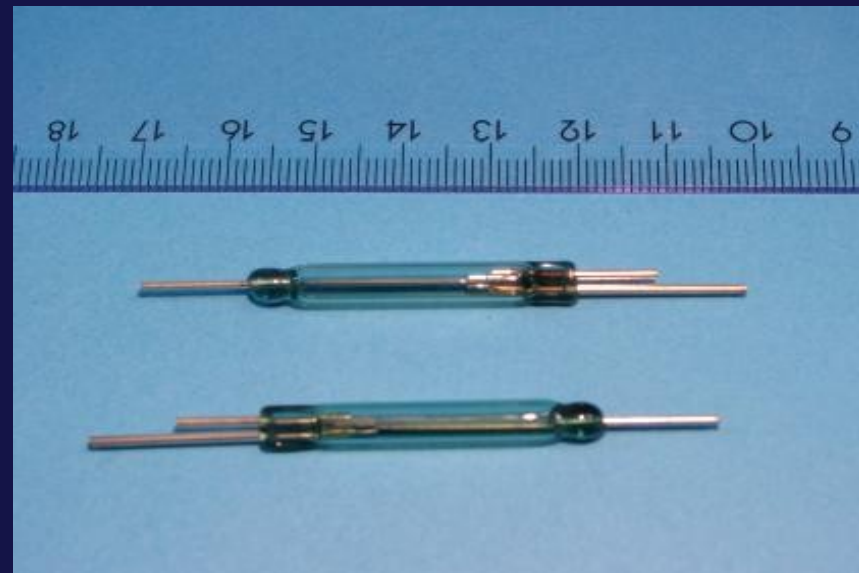
Zaletą stosowania multiplekserów jest:

- ekonomiczne wykorzystanie urządzenia

Wady:

- wprowadzanie dodatkowej impedancji na wejściu
- wprowadzanie dodatkowego źródła nieliniowości
- możliwość dodatkowych zakłóceń (przesłuchów) między kanałami

Czasem rozwiązaniem jest stosowanie multiplekserów mechanicznych (przełączniki, kontaktrony), ale one mogą pracować tylko w układach “wolnego” przełączania



Inne komponenty typowej komputerowej karty pomiarowej

- pamięci analogowe
- wzmacniacz programowany, dostosowujący poziom sygnałów zgodnie z wybranym zakresem pomiarowym
- układ próbkująco-pamiętający (S&H) lub próbkująco-śledzący (S&T)
- kodery i liczniki
- zespół rejestrów buforowych
- układy pamięci.

Następnym razem:

Ogólnie o kartach pomiarowych, rejestratorach i oscyloskopach cyfrowych.

Oprogramowanie integrujące elementy systemów pomiarowych, LabView, MATLAB I inne.