

Klasyfikacja metod przetwarzania analogowo-cyfrowego (A/C, A/D)

Metody pośrednie

Metody bezpośrednie

czasowa

częstotliwościowa

kompensacyjna

bezpośredniego
porównania

prosta

prosta

z kompensacją
wagową

z porównaniem
równoległym

z podwójnym
całkowaniem

z równoważeniem
ładunków

z kompensacją
równomierną

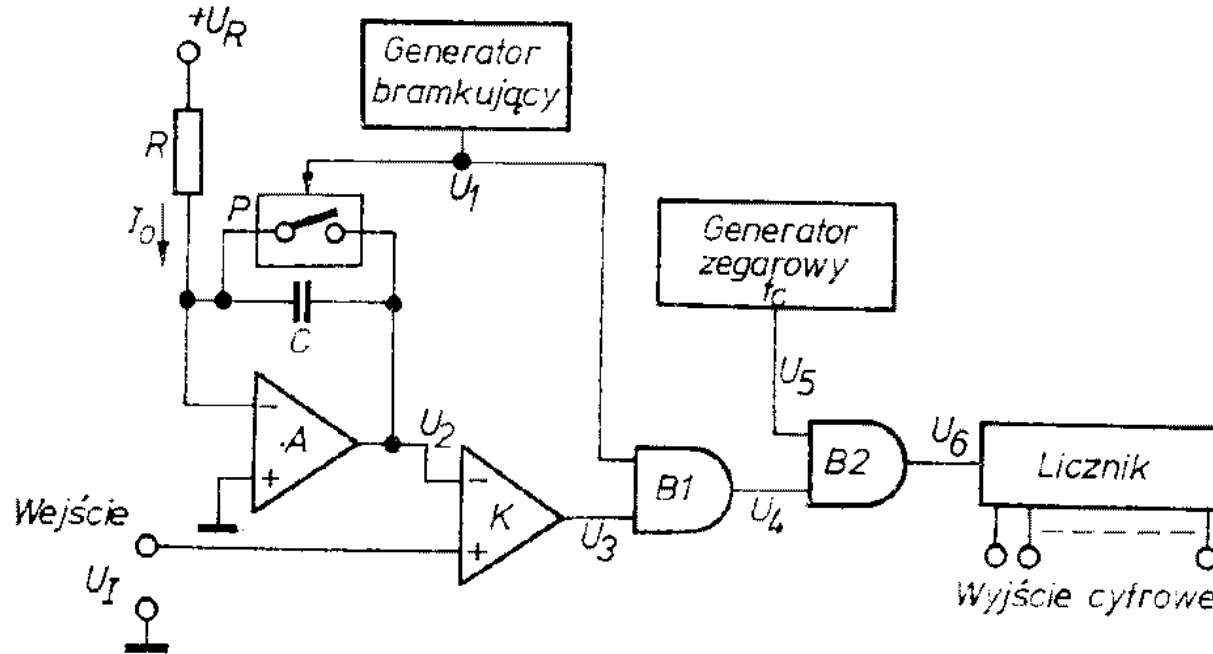
z porównaniem
szeregowym

z potrójnym
całkowaniem

delta-sigma

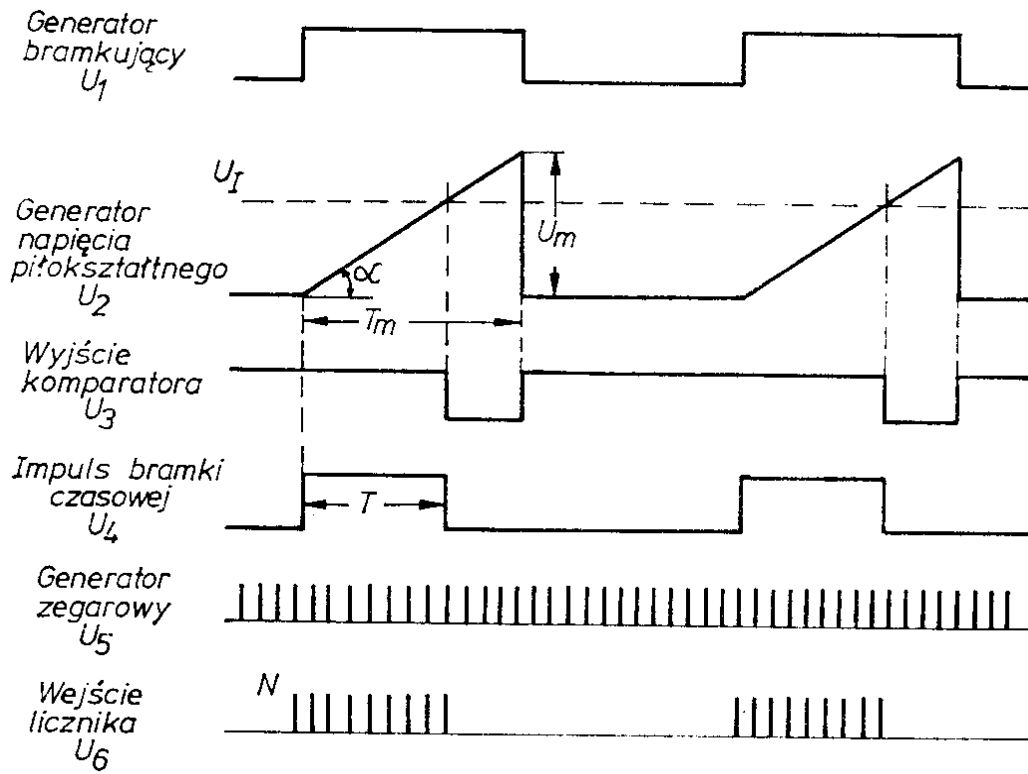
z poczwórnym
całkowaniem

Metoda czasowa prosta



Na rysunku przedstawiono układ, który poprzez porównanie sygnału mierzonego z liniowo narastającym generuje proporcjonalne do niego odcinki czasu.

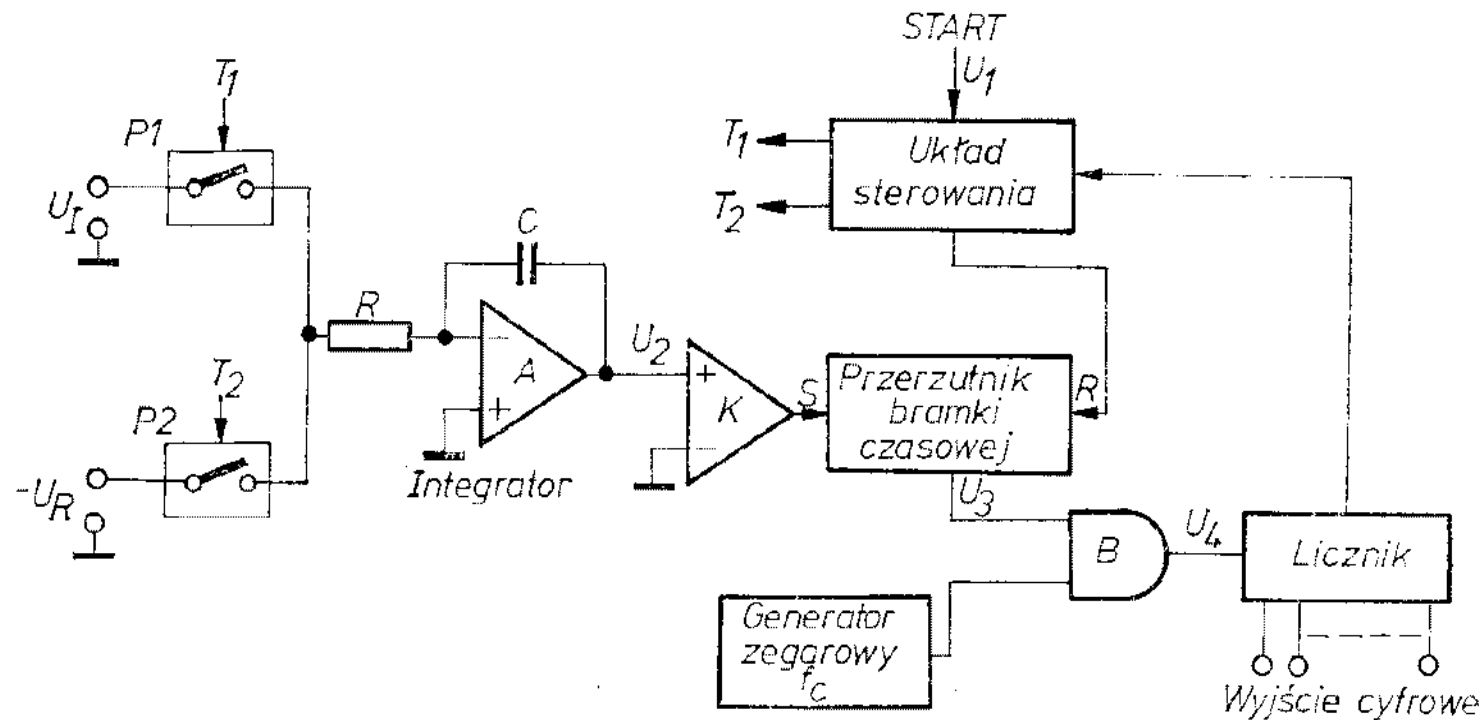
W przetwornikach opartych na pośrednich metodach przetwarzania wejściowy sygnał analogowy przetwarzany jest na proporcjonalną do niego wielkość pomocniczą. Bardzo często jest to czas trwania impulsów lub ich częstotliwość. Taka pomocnicza wielkość zwykle daje się łatwo mierzyć, a przenosząc ją sygnał cyfrowy można przesyłać bez zniekształceń.



Przetworniki tego typu są obecnie dosyć rzadko używane, zwykle nie jako autonomiczne urządzenia, ale jako elementy bardziej skomplikowanych układów. Występują w licznych odmianach.

Odcinki czasu są wykorzystywane do zliczania impulsów o stałej częstotliwości – w ten sposób otrzymujemy stan licznika proporcjonalny do wejściowego sygnału analogowego.

Przetwornik z podwójnym całkowaniem



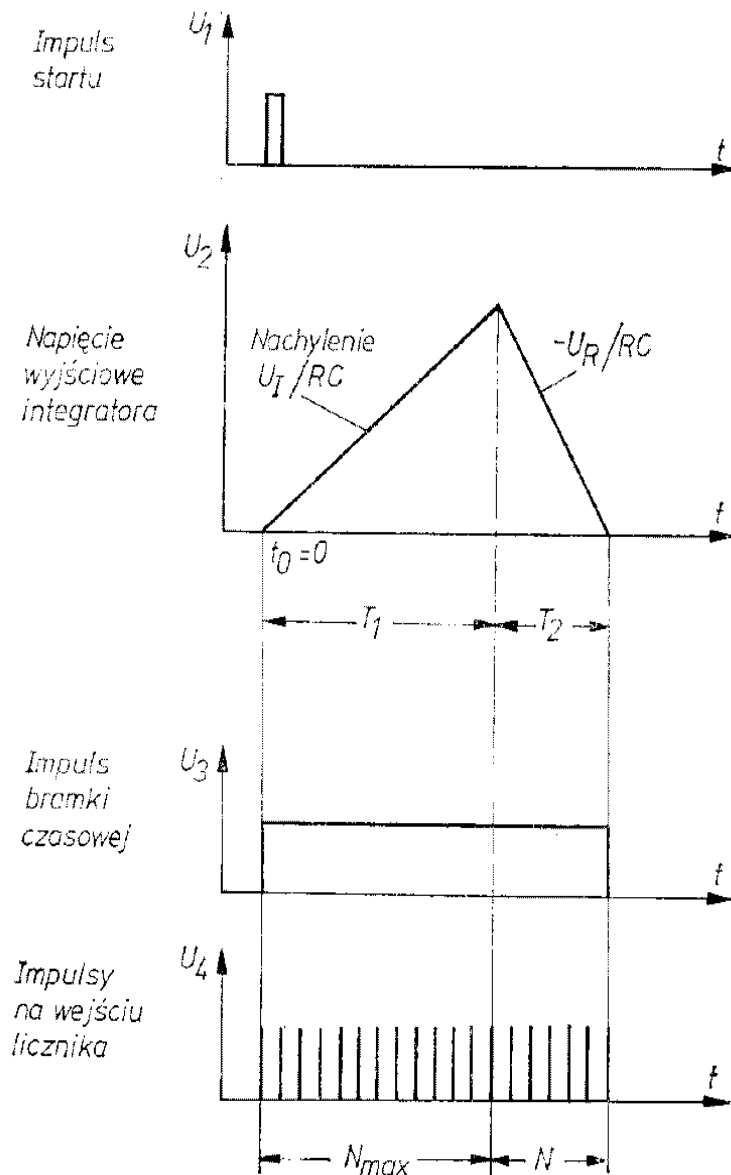
Zasadą działania całkującego przetwornika A/C jest sprowadzanie do zera napięcia wyjściowego integratora przez wielokrotne całkowanie. Podstawowymi są dwie fazy całkowania: całkowanie napięcia wejściowego i całkowanie napięcia odniesienia o znaku przeciwnym do napięcia wejściowego. Czas całkowania jest kalibrowany lub mierzony, co umożliwia określenie napięcia wejściowego.

Przetwornik z podwójnym całkowaniem

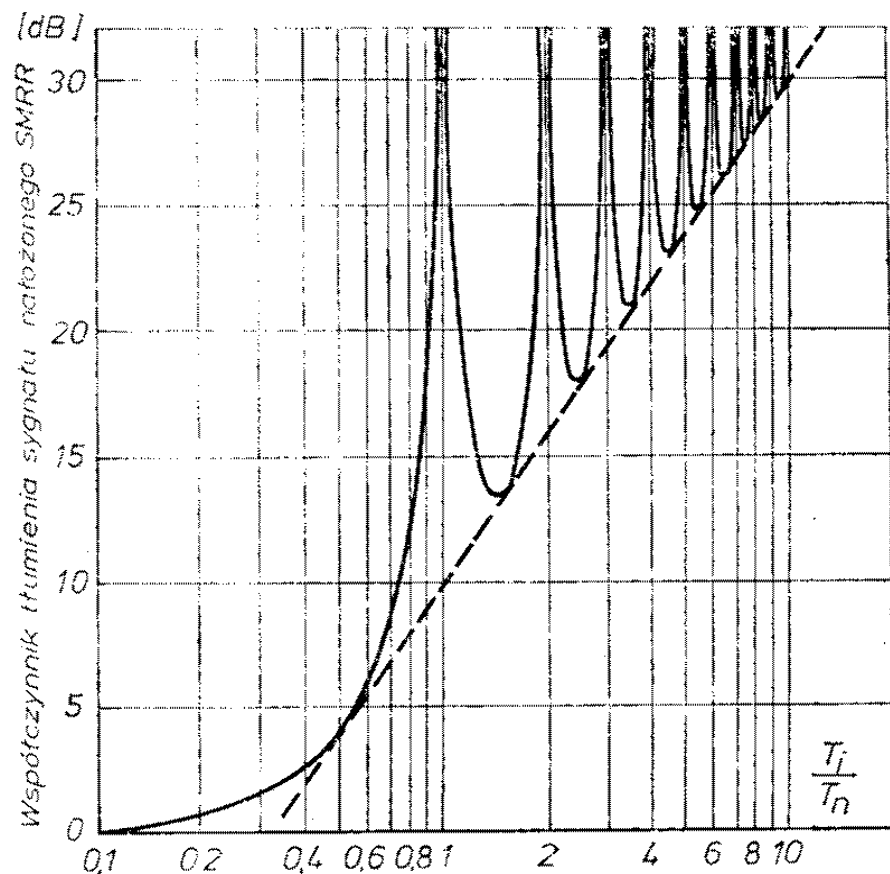
W typowym przetworniku z podwójnym całkowaniem najpierw przez zadany czas całkujemy sygnał wejściowy, a następnie całkując napięcie odniesienia sprowadzamy całkę do zera mierząc konieczny do tego czas.

$$T_2 = T_1 \frac{U_{I\text{sr}}}{U_R}$$

Liczba impulsów zliczoną w czasie drugiego całkowania jest proporcjonalna do średniego napięcia wejściowego sygnału analogowego



Przetwornik z podwójnym całkowaniem



Przetwornik całkuje szumy i zakłócenia sygnału wejściowego. Jest zatem mało wrażliwy na szumy wielkiej częstotliwości, a szczególnie na zakłócenia o częstotliwości będącej wielokrotnością odwrotności okresu całkowania.

Rysunek przedstawia tłumienie zakłóceń sygnału wejściowego w zależności od okresu tych zakłóceń.

Przetwornik z podwójnym całkowaniem

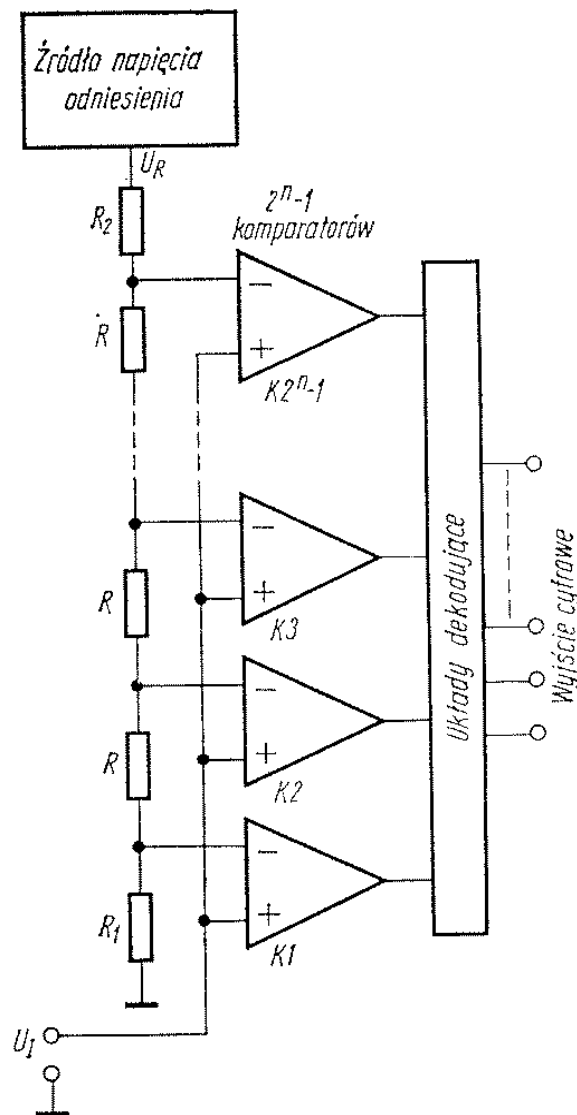
W praktyce zwiększa się liczbę faz całkowania, zwykle do czterech, ale czasami nawet do sześciu. Dodatkowe fazy służą do usunięcia resztkowego ładunku kondensatora i kompensacji niedokładności elementów przetwornika.

Cechy charakterystyczne przetworników z wielokrotnym całkowaniem to:

- Bardzo duża dokładność i rozdzielczość (największa precyzja)
- Bardzo duża odporność na zakłócenia
- Prostota realizacji, również jako urządzenie autonomiczne
- Bardzo mała prędkość działania

Przetwornik z bezpośrednim porównaniem

Porównanie równoległe

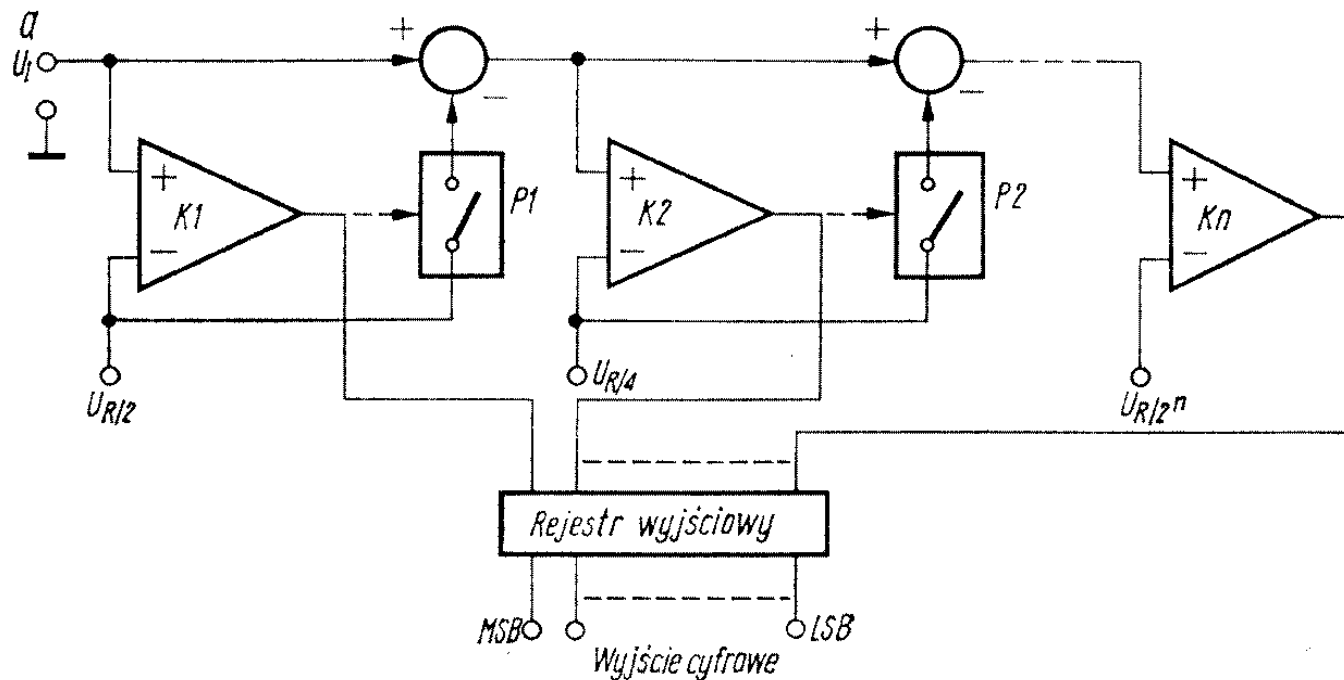


Układ z bezpośrednim porównaniem równoległym charakteryzuje się tym, że sygnał wejściowy jest jednocześnie porównywany z całym szeregiem napięć odniesienia ustalonych za pomocą dzielnika.

Prędkość działania takiego układu jest bezkonkurencyjna, ale jest on bardzo drogi i skomplikowany – potrzeba tyle komparatorów, ile jest stanów wyjściowych przetwornika

Przetwornik z bezpośrednim porównaniem

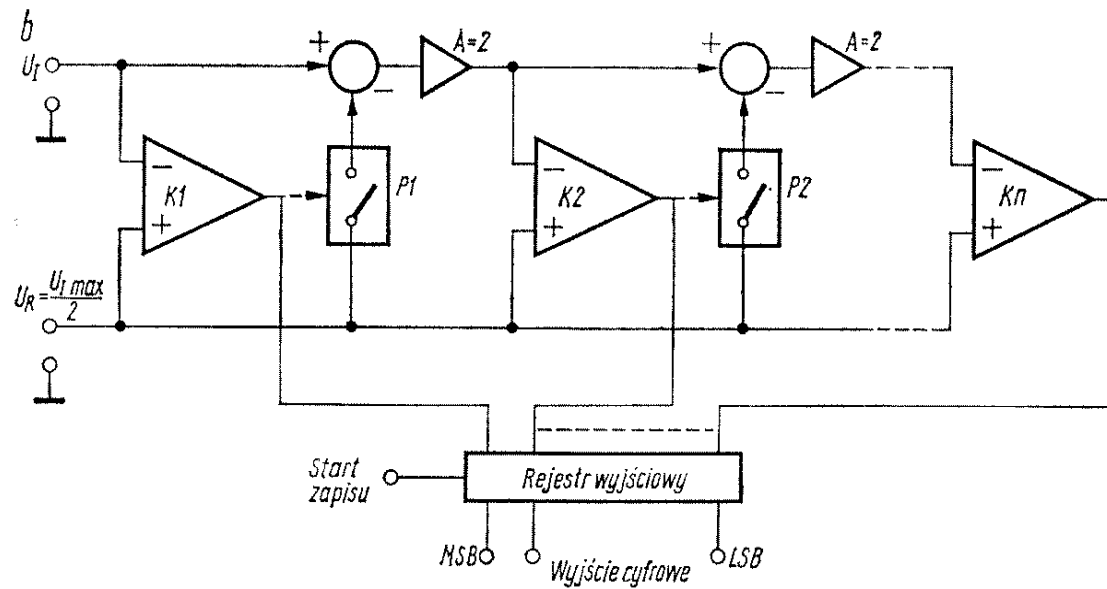
Porównanie szeregowe



Układ z porównaniem szeregowym jest znacznie prostszy, bo wymaga jedynie takiej liczby komparatorów, jaka jest liczba bitów przetwornika. Porównaniu w każdym stopniu podlega tu część sygnału po odjęciu wartości napięć wykazanej przez poprzednie stopnie.

Przetwornik z bezpośrednim porównaniem

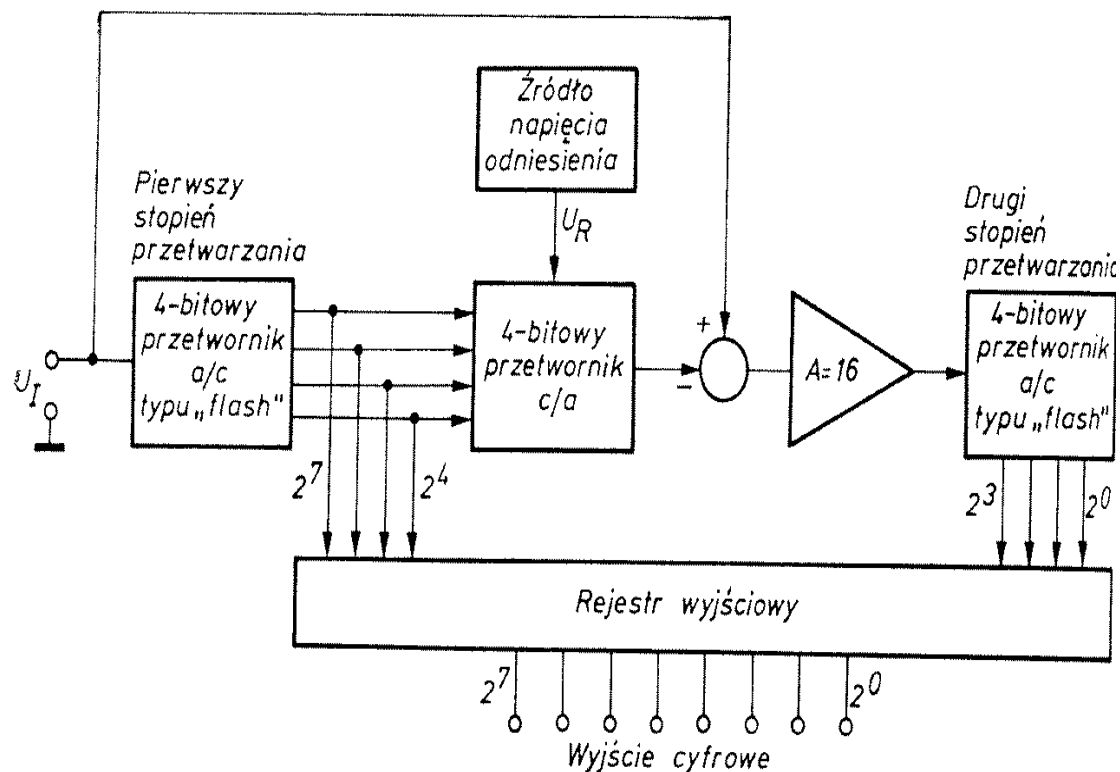
Porównanie szeregowe – układ alternatywny z jednym napięciem



odniesienia
i szeregiem
wzmacniaczy.

Niestety, układy szeregowe są znacznie wolniejsze od równoległych, gdyż sygnał musi propogować przez cały szereg komparatorów, sumatorów i wzmacniaczy.

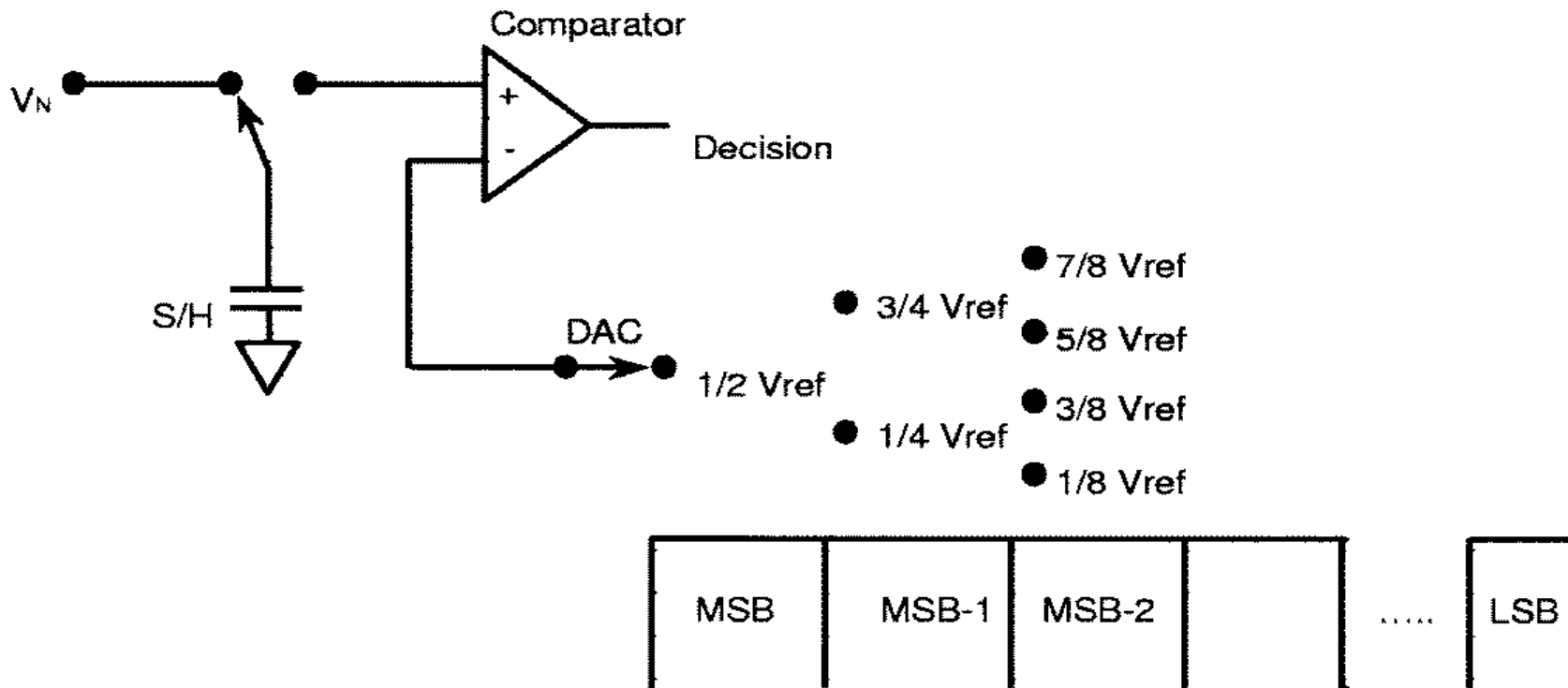
Przetwornik z bezpośrednim porównaniem



Kompromisem pomiędzy prędkością działania a złożonością są mieszane przetworniki szeregowo-równoległe

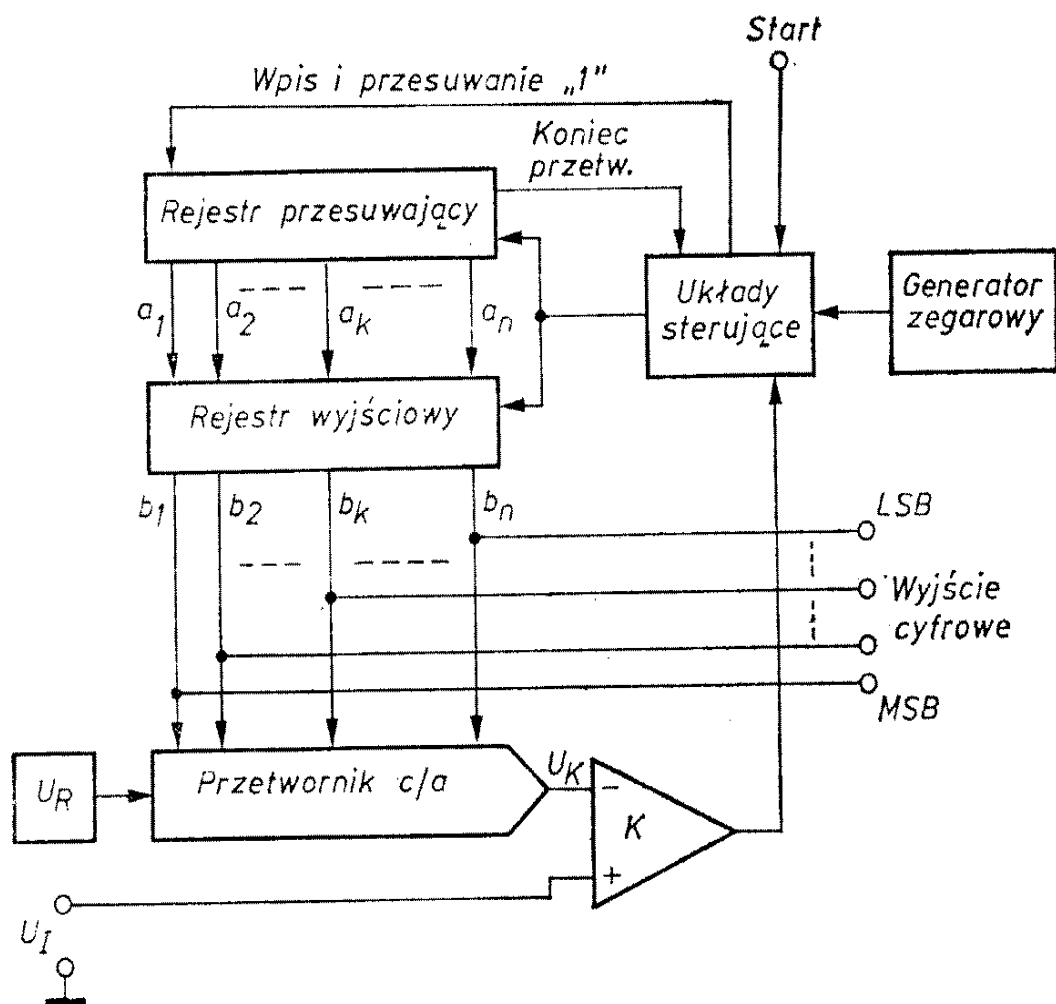
Przetworniki z bezpośrednim porównaniem nie są zbyt precyzyjne. Ze względu na dużą złożoność i cenę stosuje się je w tych wypadkach, gdy kluczowa jest duża prędkość działania.

Przetworniki z kompensacją wagową



Przetworniki z kompensacją wagową działają metodą kolejnych porównań sygnału wejściowego z coraz gęściej (zwykle z dwukrotnym skokiem) podzielony napięciem odniesienia.

Przetworniki z kompensacją wagową

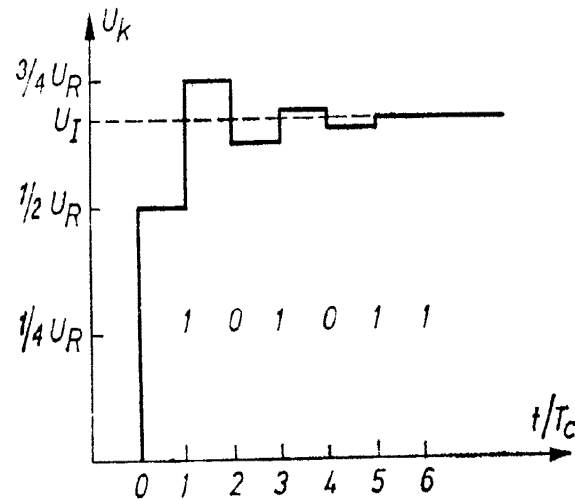


Kluczowym elementem przetwornika z kompensacją wagową jest specjalny rejestr przesuwający (SAR).

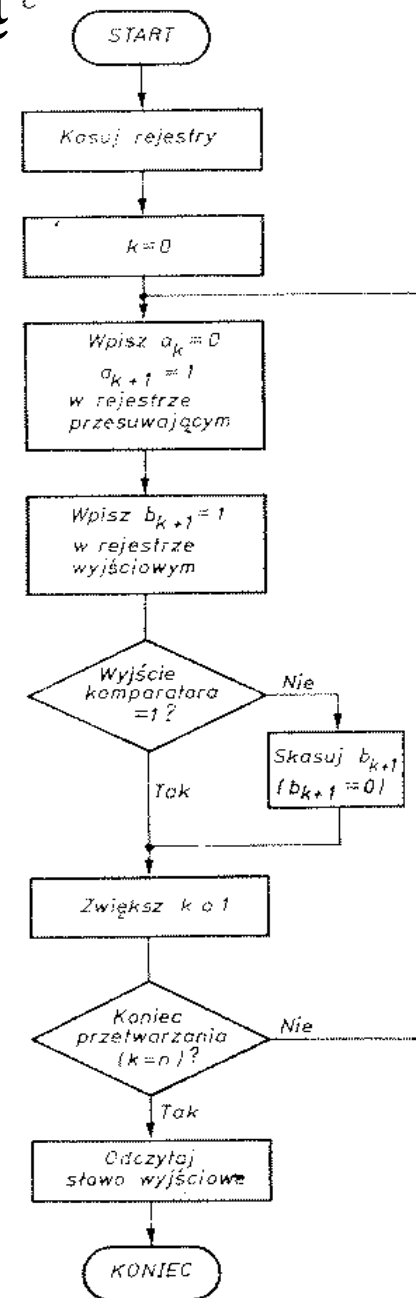
Układy sterujące wpisują do niego częściowy wynik aproksymacji. Liczba kroków aproksymacji jest równa liczbie bitów przetwornika.

Przetworniki z kompensacją wagową^c

Rysunek przedstawia poziom napięcia porównywanego z wejściowym w kolejnych krokach przetwarzania.

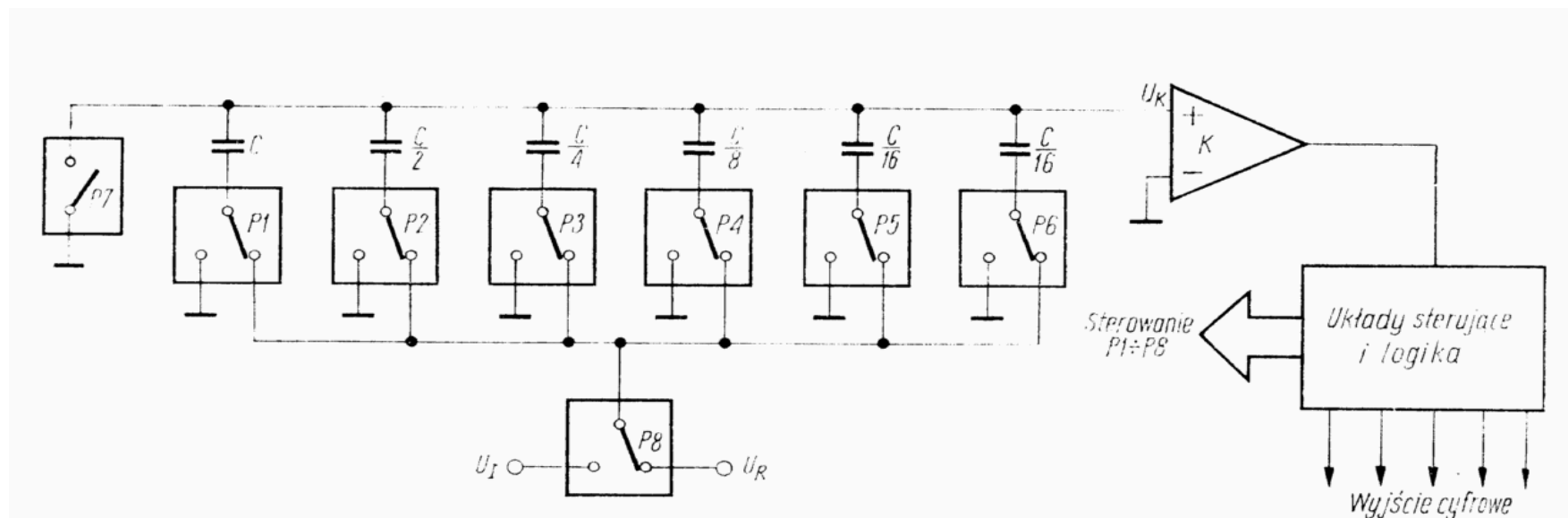


Przetwarzanie metodą kompensacji wagowej jest łatwe do realizacji programowej i bywa niekiedy stosowane w mikrokontrolerach zawierających przetwornik CA.



Przetworniki z równoważeniem ładunków

Nieco podobną zasadę działania mają przetworniki z równoważeniem ładunków. Układ sterujący łączy kolejne kondensatory o coraz to mniejszych pojemnościach raz do napięcia wejściowego lub do napięcia odniesienia.



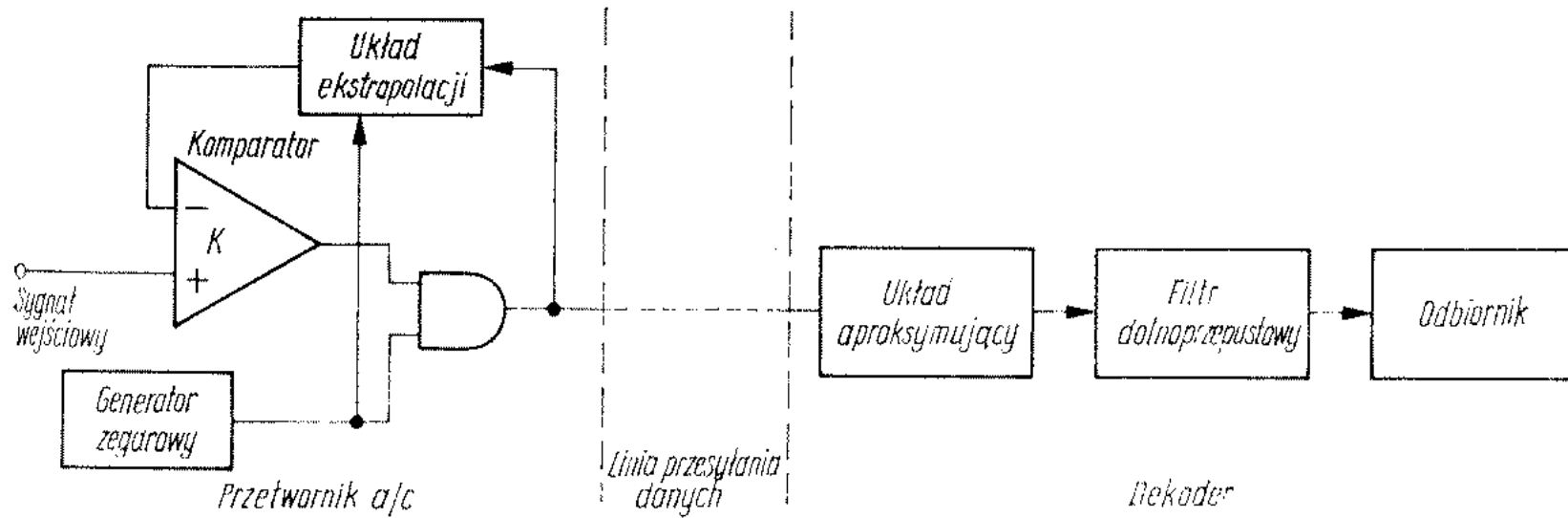
Tego typu przetworniki zdobywają coraz większą popularność ze względu na łatwość umieszczania kondensatorów w układach scalonych MOS.

Przetworniki z kompensacją wagową i równoważeniem ładunków zdobyły dużą popularność, szczególnie w przemysłowych i laboratoryjnych układach pomiarowych.

Ich cechy charakterystyczne to:

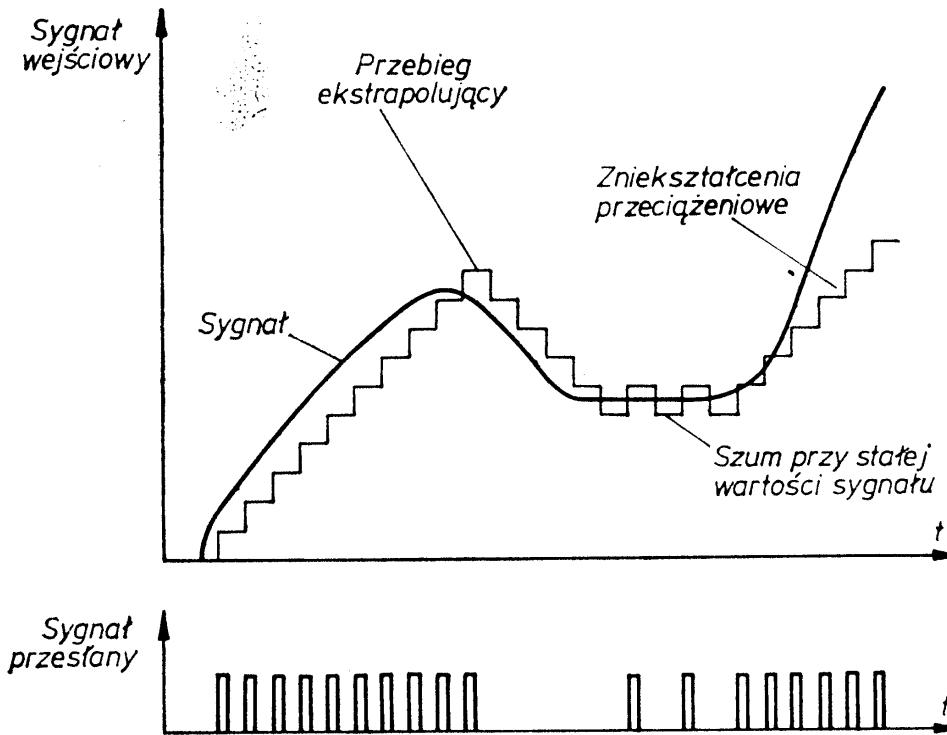
- Względna prostota
- Łatwość realizacji w układach scalonych
- Niezła dokładność
- Niezła prędkość działania

Przetworniki delta



Przetworniki delta charakteryzują się prostotą układową, wynikającą z faktu, że zamiast kolejnych próbek przetwarzana jest tylko różnica, dając jednobitową informację o charakterze przyrostowym. Układ ekstrapolujący określa spodziewaną wartość próbki na podstawie próbek poprzednich.

Przetworniki delta

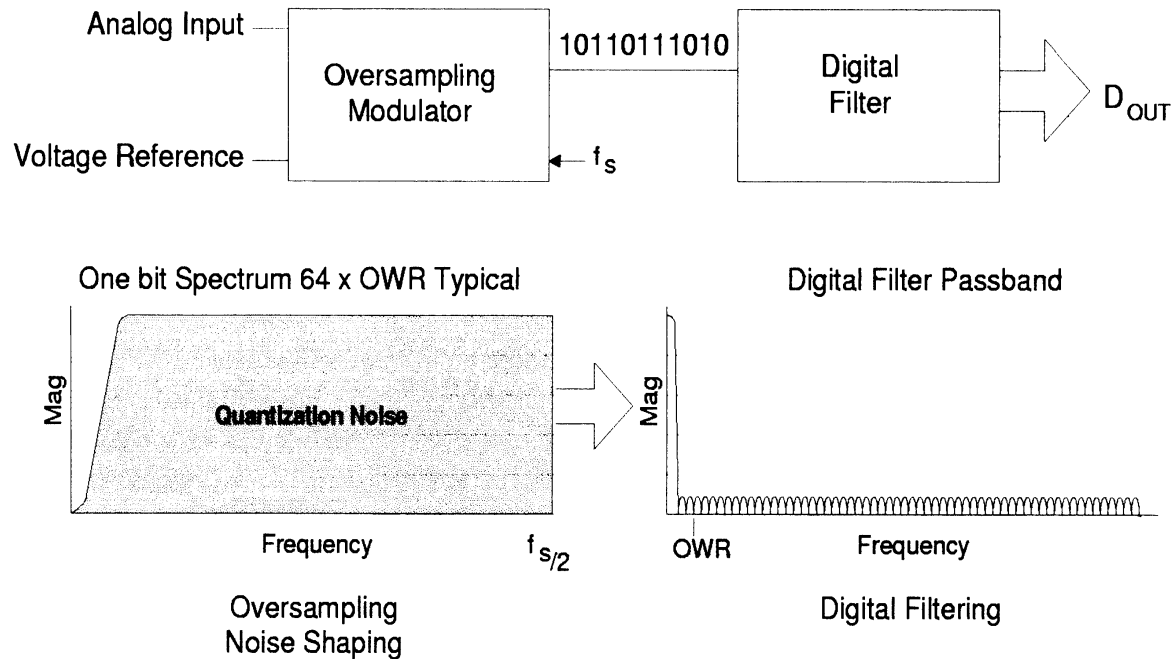


Przetworniki delta charakteryzują się błędami przy szybkich zmianach sygnału wejściowego i szumami przy stałym sygnale

Ponieważ są proste i dobrze nadają się do przekazywania mowy przetworniki delta znalazły zastosowanie w telekomunikacji.

Przetworniki delta-sigma

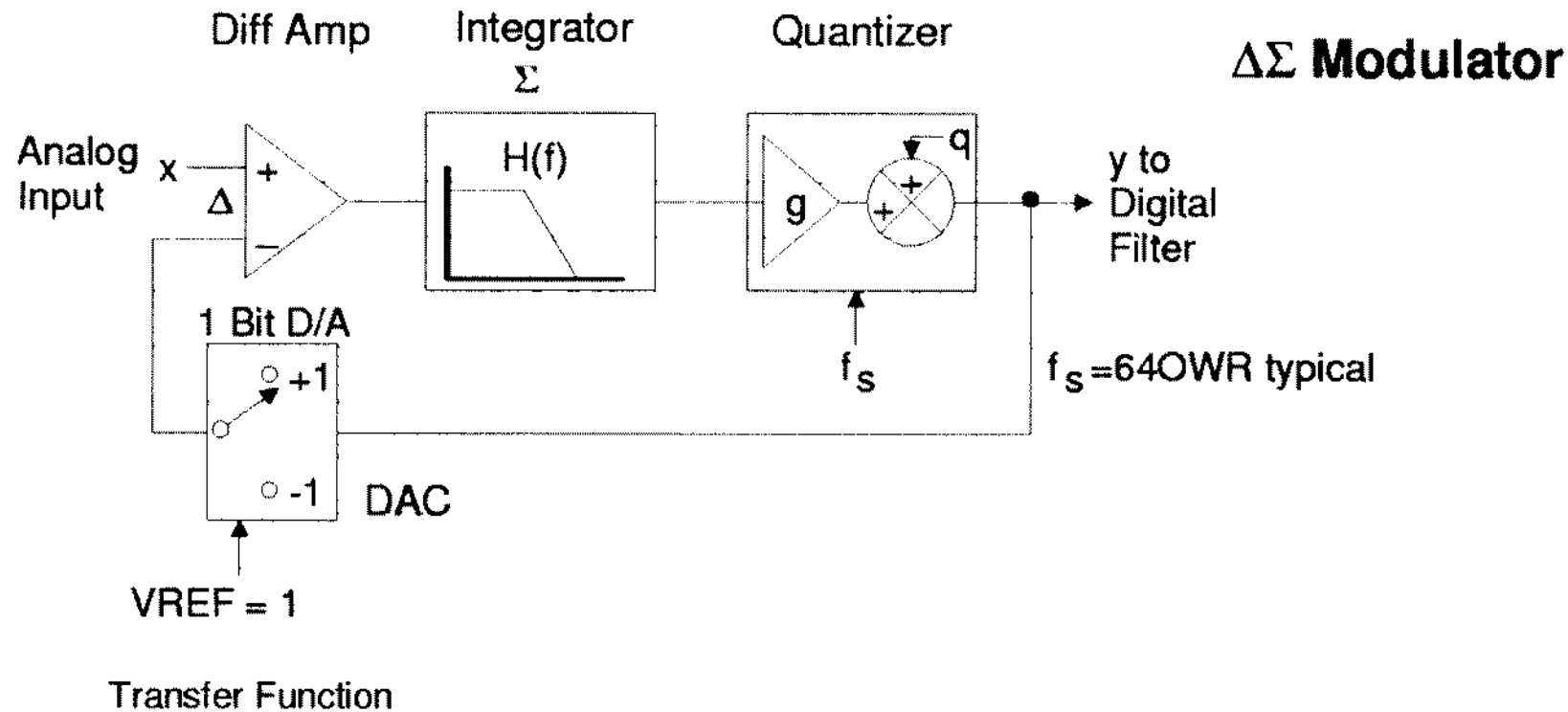
$\Delta\Sigma$ Analog-to-Digital Converter



Zapotrzebowanie na tanie układy przetworników do sprzętu powszechnego użytku i rozwój techniki cyfrowej, umożliwiające budowę złożonych filtrów spowodowały w ostatnich latach rozwój przetworników działających w oparciu o zasadę modulacji delta-sigma.

Modulator delta-sigma jest przetwornikiem jednobitowym o dużej prędkości próbkowania. Filtr cyfrowy wycina szumy i wylicza wielkość sygnału.

Przetworniki delta-sigma

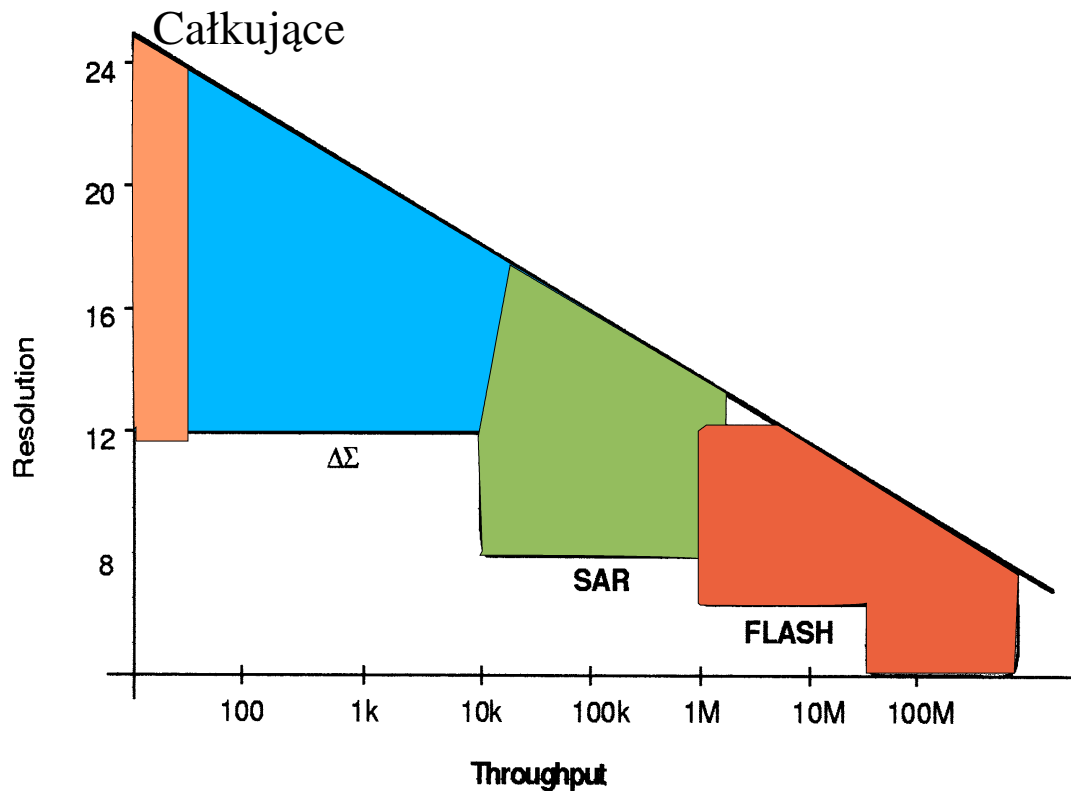


Duża częstotliwość próbkowania modulatora delta-sigma pozwala uniknąć kłopotów związanych z aliasingiem. W praktyce przetworniki tego typu da się stosować do częstotliwości akustycznych i nieco większych.

Obszar zastosowań

W praktyce najczęściej stosowane są przetworniki:

Analog-to-Digital Converters
Speed vs. Resolution



- Z wielokrotnym całkowaniem – szczególnie w precyzyjnej aparaturze pomiarowej
- Delta sigma – szczególnie w sprzęcie powszechnego użytku, ale popularność bardzo rośnie
- Z kolejnymi aproksymacjami – szczególnie w sprzęcie pomiarowym i przemysłowym
- Z bezpośrednim porównaniem – przy dużych prędkościach, również w sprzęcie video