

"Przetworniki analogowo-cyfrowe - budowa i działanie"

Wprowadzenie

Wiele urządzeń pomiarowych wyposażonych jest obecnie w przetworniki A/C. Końcówki takich urządzeń to najczęściej typowe interfejsy (łącza) np. RS-232C. Tego rodzaju standardy nie określają jednak sposobu kodowania danych. Do przesyłania danych w takiej sytuacji najczęściej używany jest standardowy kod ASCII. Takie rozwiązanie nie jest jednak wygodne w przypadku, gdy wymagana jest obróbka w komputerze dużej ilości danych (konwersja tych danych w komputerze do postaci liczbowej wymaga stosunkowo długiego czasu). Z tego powodu do zapisu danych na wyjściu przetworników używa się innych rodzajów kodów.

Z punktu widzenia projektanta i użytkownika skomputeryzowanego systemu pomiarowego istotny jest wybór przetworników w taki sposób, aby ich parametry odpowiadały przewidywanej dla nich klasie zastosowań.

Jedną z takich cech charakterystycznych przetwornika A/C jest rodzaj stosowane kodu.

Pozostałymi parametrami są: fizyczny charakter sygnału analogowego (uni- bądź bi-polarny) i dopuszczalny zakres jego zmian na wejściu przetwornika.

Do najważniejszych parametrów charakteryzujących możemy zaliczyć: rzeczywisty zakres przetwarzania, całkowity błąd przetwarzania, współczynnik różniczkowej nieliniowości przetwornika i częstotliwość przetwarzania przedstawione w dalszej części wykładu.

Większość urządzeń pomiarowych lub rejestratorów sygnałów w systemach pomiarowych kontaktujących się bezpośrednio z obiektami badań reaguje na oddziaływania fizyczne (np. temperatura, napięcie elektryczne itp) zmieniające się w sposób ciągły (nazywane sygnałami analogowymi).

Aby te informacje mogły być przetworzone przez system komputerowy muszą być przetworzone w kodowane sygnały cyfrowe. Rolę tę spełniają przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C) umieszczone na styku części analogowej i cyfrowej systemu.

•**Sygnały dyskretne** - próbkowane pod względem czasu powstają przez próbkowanie sygnałów analogowych w dyskretnych przedziałach czasu bez kwantowania amplitudy.

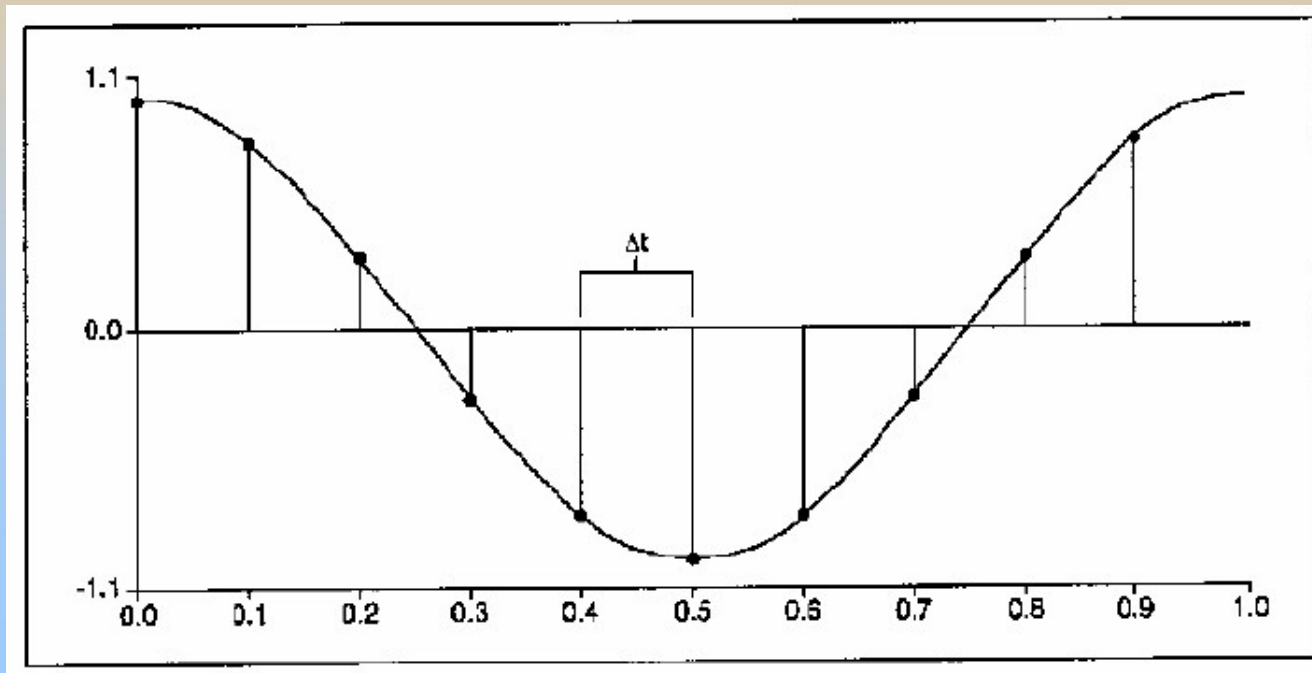
•**Sygnały kwantowane** są sygnałami dyskretnymi pod względem amplitudy, przyjmującymi skończoną liczbę stanów.

•**Sygnały cyfrowe** uzyskuje się, gdy sygnał wejściowy jest próbkowany w dyskretnych przedziałach czasowych, zaś amplituda jest kwantowana na dyskretne poziomy ze zbioru

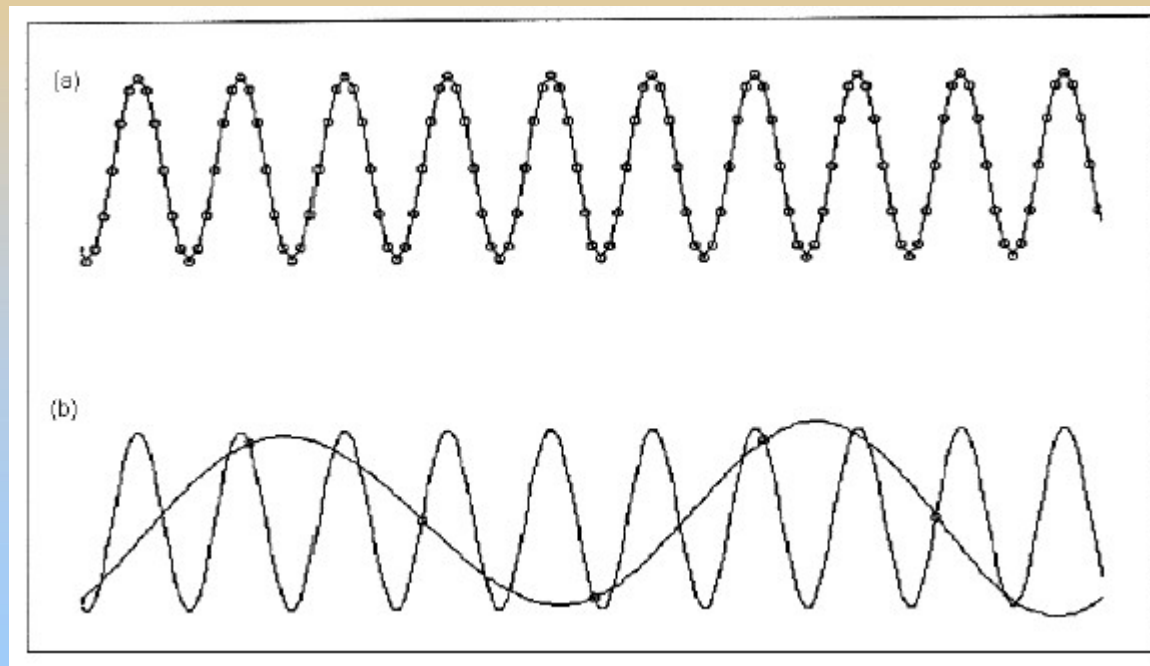
•wartości dopuszczonego przez konkretne urządzenie. Sygnały te są określone przez dobrze zdefiniowane poziomy nazywane poziomami logicznymi. W urządzeniach cyfrowych są to zazwyczaj dwa poziomy, odpowiadające cyfry 0 oraz 1 w kodzie binarnym.

Próbkowanie sygnału analogowego

Próbkowanie następuje przez kolejne pobieranie próbek wartości sygnału w pewnych odstępach czasu, w taki sposób, aby ciąg próbek umożliwiał jak najwierniejsze odtworzenie całego przebiegu funkcji.



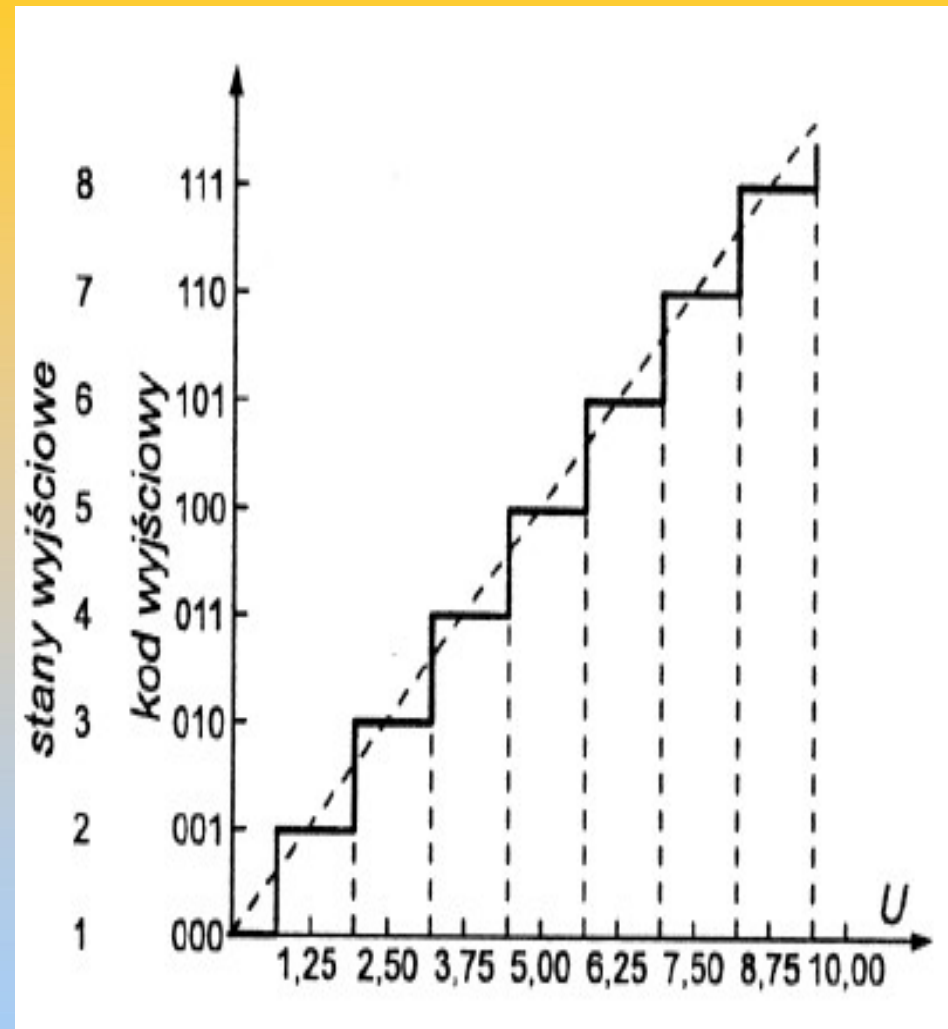
Jednym z istotnych parametrów systemu z wejściem analogowym jest **częstotliwość próbkowania**. Duża częstotliwość próbkowania powoduje, że oryginalny sygnał analogowy będzie posiadał lepszą reprezentację w systemie cyfrowym. Rysunek przedstawia sygnał próbkowany z właściwą częstotliwością, oraz efekt zbyt małej częstotliwości próbkowania.



Kwantowanie sygnału

Proces kwantowania polega na zaokrągleniu wartości wyznaczonej próbki do takiej, którą przy danej rozdzielczości cyfrowej można zapisać w postaci zadanej liczby bitów.

Dla przykładu, jeżeli zmierzona próbka posiada wartość 3,2 i rozdzielczość cyfrowa w danym procesie kwantowania została ustalona na 3 bity, to w wyniku procesu kwantowania wartość próbki zostanie zaokrąglona do 3,75, a więc do najbliższego przedziału kwantowania.



- Kwantowanie przebiegu analogowego polega na przyporządkowaniu każdej próbkce skończonej liczby poziomów amplitudy, odpowiadającym dyskretnym wartościom od zera do pełnego zakresu.
- Najczęściej stosowane jest kwantowanie równomierne opisane wzorem.

$$X_0 = q * \text{ent}\left(\frac{X}{q} + 0.5\right)$$

- gdzie:

X_0 – wartość na wyjściu układu kwantującego,

- X – wartość sygnału analogowego na wejściu układu,
- q – elementarny przedział kwantowania,
- $\text{ent}(x)$ – część całkowita liczby rzeczywistej.

W przetwornikach analogowo-cyfrowych wykorzystuje się liczbowe kody binarne, przy czym spośród wielu znanych kodów praktycznie stosuje się tylko kilka.

Wśród kodów stosowanych w przetwornikach można wyróżnić kody unipolarne wykorzystywane w przypadku przetwarzania wyłącznie napięć dodatnich oraz kody bipolarne stosowane przy przetwarzaniu napięć przyjmujących zarówno wartości dodatnie jak i ujemne.

Ponadto wyróżnia się kody binarne i dziesiętno-binarne. Wadą binarnych kodów pozycyjnych jest utrudniona czytelność zapisów o większej liczbie znaków.

- 1. Naturalny binarny kod pozycyjny

- Dowolna, całkowita liczba dziesiętna może być zapisana w naturalnym kodzie dwójkowym w następujący sposób:

$$N = a_n 2^n + a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

- gdzie a_k jest indywidualnym stanem bitu, mogącym przyjmować tylko wartość 0 lub 1. Kod ten umożliwia reprezentację tylko liczb ułamkowych nieujemnych, stąd też jest to kod unipolarny.

- Przykład $139 = 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$

- $139 = 128 + 0 + 0 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1$

- Co w kodzie daje zapis 10001011

Kod, w którym każdej jego pozycji jest przyporządkowana określona waga, tzn. podstawa 2 z potęgą 2⁰ do 2ⁿ lub 2⁻¹ do 2⁻ⁿ, nazywa się kodem ważonym. Wartość liczbową takiego kodu jest równa sumie wag na tych wszystkich pozycjach,

- Niedostatkim naturalnego binarnego kodu pozycyjnego jest to, że liczba 0 ma w nim dwie różne reprezentacje kodowe, oraz fakt, że dodanie według zasad arytmetyki binarnej dwóch niezerowych liczb o przeciwnych znakach a jednakowej wartości bezwzględnej nie daje w wyniku wartości zerowej.

2 Binarny kod uzupełnieniowy

Tworzymy go na podstawie naturalnego kodu pozycyjnego w ten sposób, że tworzy się odwrotny zapis słowa (zamieniając 0 na 1 i odwrotnie), do tak otrzymanej liczby binarnej dodaje się 1 (modulo 2), odrzucając przy tym ewentualny znak przeniesienia po najwyższej pozycji słowa kodowego. Dla liczb dodatnich najbardziej znaczący bit (MSB) jest zerem a poza tym kod jest podobny do naturalnego kodu binarnego. Dla liczb ujemnych MSB jest jedynką.

3. Dziesiętno-binarny kod pozycyjny (kod BCD)

Jest to dziesiętny kod pozycyjny, w którym cyfry dziesiętne są przedstawiane jako 4-cyfrowe liczby binarne. Tego rodzaju zapis daje się łatwo przekształcić w zapis dziesiętny. Wadą tego kodu jest jego nadmiarowość: 4-cyfrowa liczba binarna pozwala zakodować 16 możliwości z czego wykorzystuje się 10 odpowiadających poszczególnym cyfrom.

Przykład :Liczba dziesiętna 139

Kody wagowe :

A – (8421) - 0001 0011 1001

B – (2421) - 0001 0011 1111

C – (4221) - 0001 0011 1111

4. Kod Graya

Kod Graya jest kodem dwójkowym, ale jego pozycjom nie są przyporządkowane wagi. Z tego względu kod ten może reprezentować dowolnie wybrany zakres wielkości analogowej o dowolnym znaku. Mimo, że nie jest to kod ważony, jego wartości odpowiadają ułamkowym częściom zakresu analogowego. Kod Graya charakteryzuje się tym, że dowolne dwie kolejne liczby różnią się stanem tylko jednego bitu.

Kod Graya nie nadaje się do operacji matematycznych, i stosuje się go tylko wtedy, gdy potrzebne są jego szczególne właściwości.

Zapis w kodzie Graya można uzyskać z zapisu w binarnym kodzie uzupełniającym. W tym celu pozostawia się bez zmiany znak na najbardziej znaczącej pozycji wyrazu kodowego, a jeśli znak na określonej pozycji wyrazu kodowego różni się od znaku znajdującego się na pozycji z lewej strony (wyższej o 1 rząd wielkości), to w kodzie Graya na odpowiedniej pozycji występuje 1, w przeciwnym razie na pozycji tej występuje 0.

Kody wagowe stosowane w przyrządach cyfrowych

Kod dwójkowy czysty: 8 4 2 1		Kod o wagach 2 4 2 1		Kod o wagach 4 2 2 1		Kod o wagach 2* 4 2 1 (tzw. kod Aikena)	
0	0 0 0 0	0	0 0 0 0	0	0 0 0 0	0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	1	0 0 0 1	1	0 0 0 1	1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	2	0 0 1 0	2	0 0 1 0	2	0 0 1 0
3	0 0 1 1	3	0 0 1 1	3	0 0 1 1	3	0 0 1 1
4	0 1 0 0	4	0 1 0 0				
5	0 1 0 1	5	0 1 0 1				
6	0 1 1 0	6	0 1 1 0	4	0 1 1 0		
7	0 1 1 1	7	0 1 1 1	5	0 1 1 1		
8	1 0 0 0						
9	1 0 0 1						
10	1 0 1 0					4	1 0 1 0
11	1 0 1 1					5	1 0 1 1
12	1 1 0 0			6	1 1 0 0	6	1 1 0 0
13	1 1 0 1			7	1 1 0 1	7	1 1 0 1
14	1 1 1 0	8	1 1 1 0	8	1 1 1 0	8	1 1 1 0
15	1 1 1 1	9	1 1 1 1	9	1 1 1 1	9	1 1 1 1

Metody przetwarzania

Najpowszechniej stosowanymi metodami przetwarzania są te, które dobrze nadają się do realizacji za pomocą układów scalonych lub do realizacji monolitycznej.

Do metod tych należą:

- metoda bezpośredniego porównania,
- metoda kompensacyjna wagowa (z kolejnym próbkowaniem),
- metoda czasowa z podwójnym całkowaniem,
- metoda częstotliwościowa

Konwersji napięcia na kod cyfrowy można dokonać na wiele różnych sposobów. Wśród metod konwersji stosowanych w przetwornikach scalonych wyróżnić można trzy grupy:

- metoda konwersji bezpośredniej (jej zaletą jest szybkość, wadą konieczność wytworzenia układów zawierających dużą liczbę jednakowych komparatorów, układy realizujące tę metodę określa się często mianem przetworników wizyjnych);
- metody pośrednie (wejściowy sygnał analogowy jest zamieniany na proporcjonalną do niego wielkość pomocniczą - w metodach czasowych jest to czas ładowania kondensatora, w częstotliwościowych jest to częstotliwość impulsów);
- inne metody.

Metoda bezpośredniego porównania

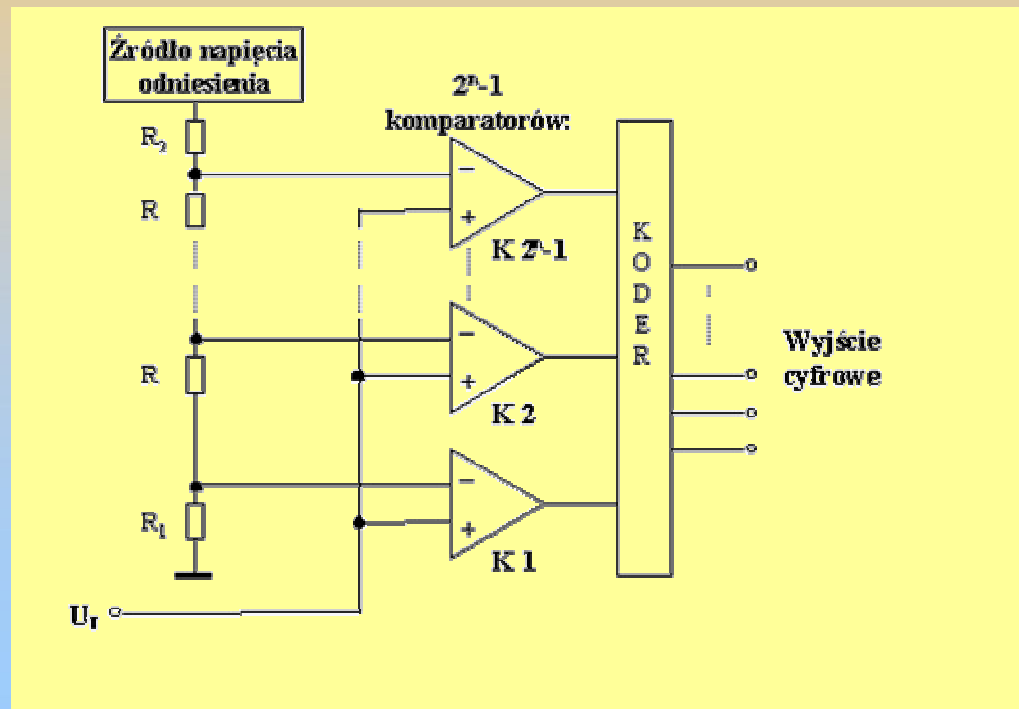
Napięcie wejściowe w przetworniku n-bitowym jest jednocześnie porównywane z $2^n - 1$ poziomami odniesienia przy użyciu $2^n - 1$ komparatorów napięcia.

Cyfrowe stany wyjściowe komparatorów, po odpowiednim zakodowaniu, dają cyfrową informację wyjściową w kodzie dwójkowym.

Zaletą jest duża szybkość przetwarzania (suma czasu odpowiedzi jednego komparatora i czas kodowania).

Wadą jest konieczność stosowania bardzo dużej liczby komparatorów w przetwornikach wielobitowych.

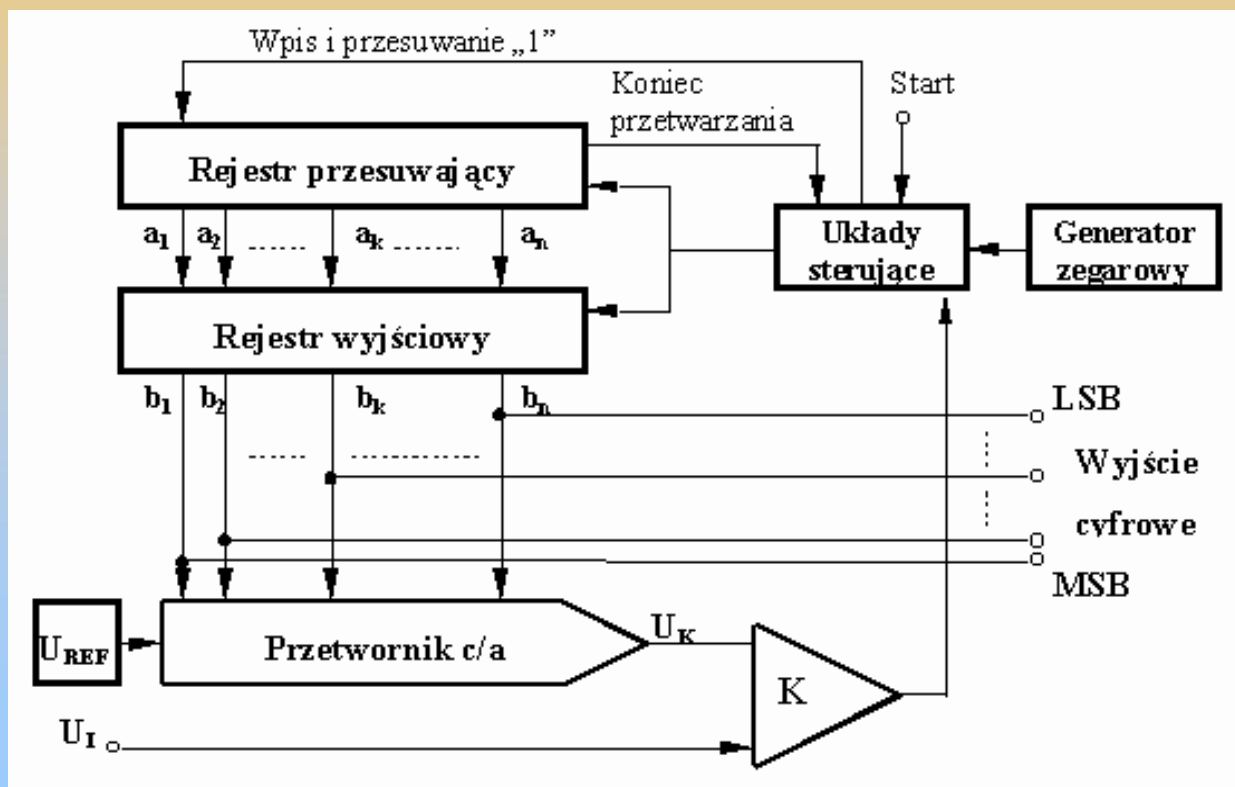
Układ
porównania
równoległego



Metoda kompensacji wagowej

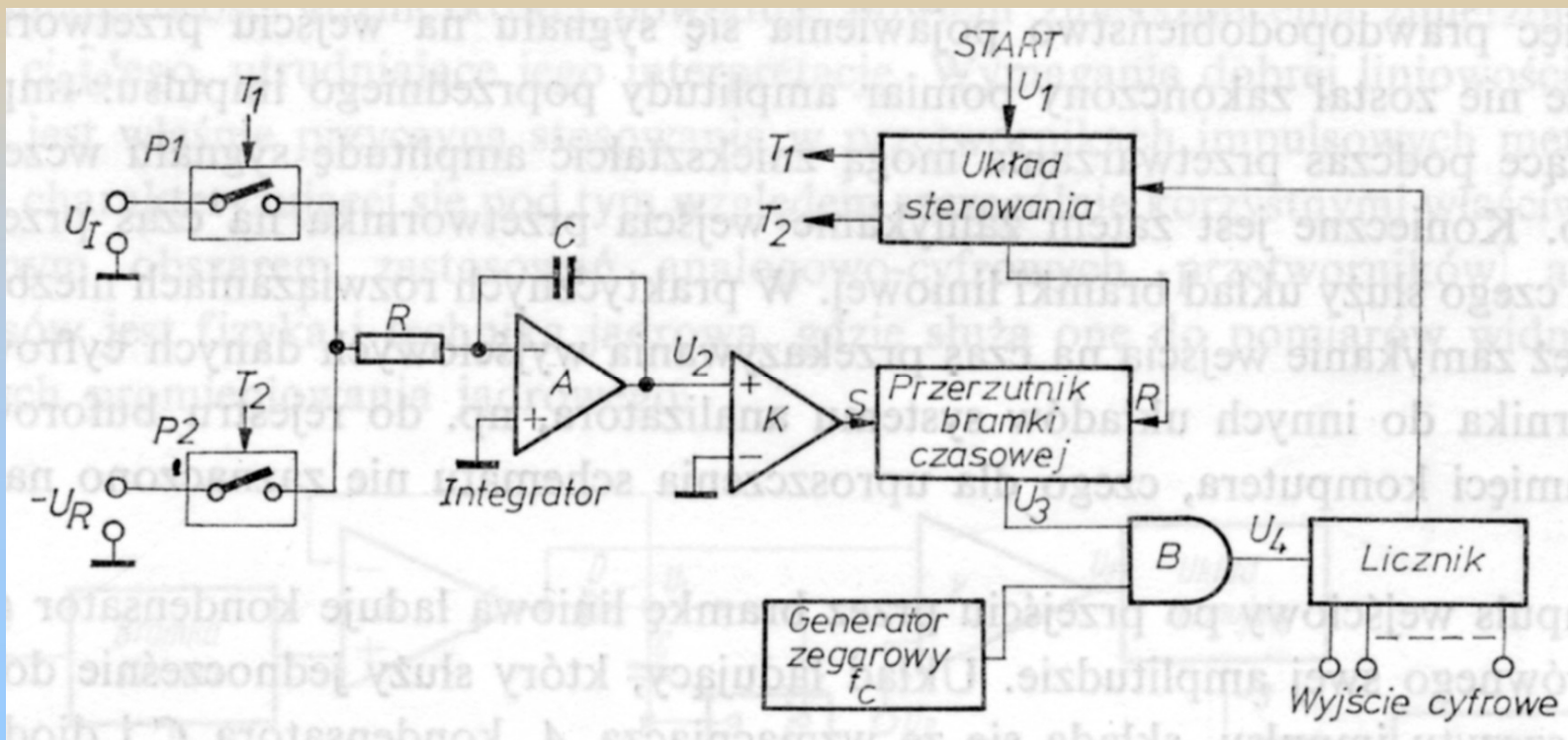
Przetwarzanie polega na kolejnym porównywaniu napięcia przetwarzanego U_i z napięciem odniesienia U_r wytwarzanym w przetworniku c-a.

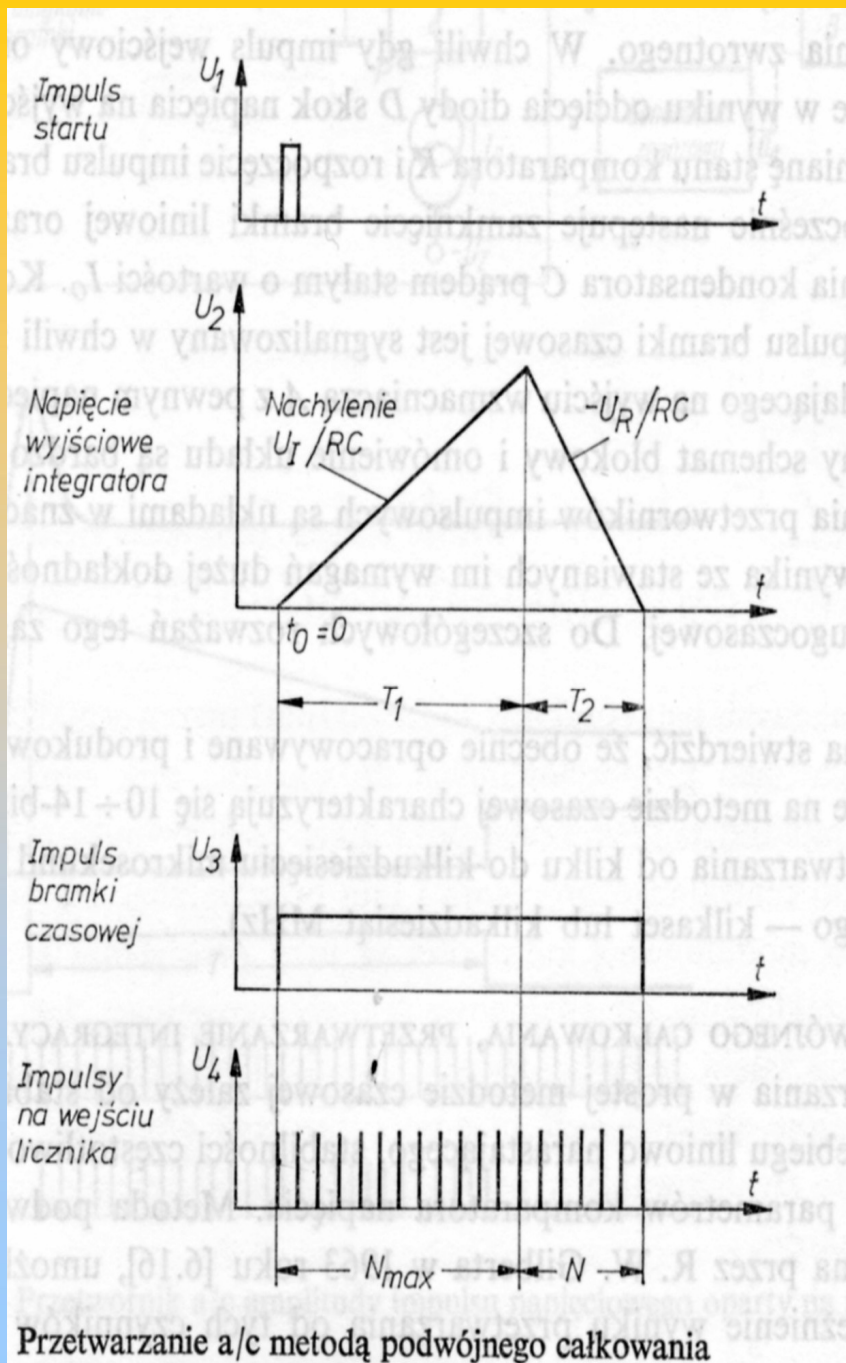
W pierwszej kolejności następuje porównanie napięcia wejściowego z połową napięcia pełnego zakresu przetwarzania. Rezultat tego porównania ustala w rejestrze wartość cyfrową najstarszego bitu słowa wyjściowego oraz wartość najstarszego bitu wejścia przetwornika c-a. W przypadku przetwornika n-bitowego pełny cykl przetwarzania obejmuje n porównań.



Metoda czasowa z podwójnym całkowaniem

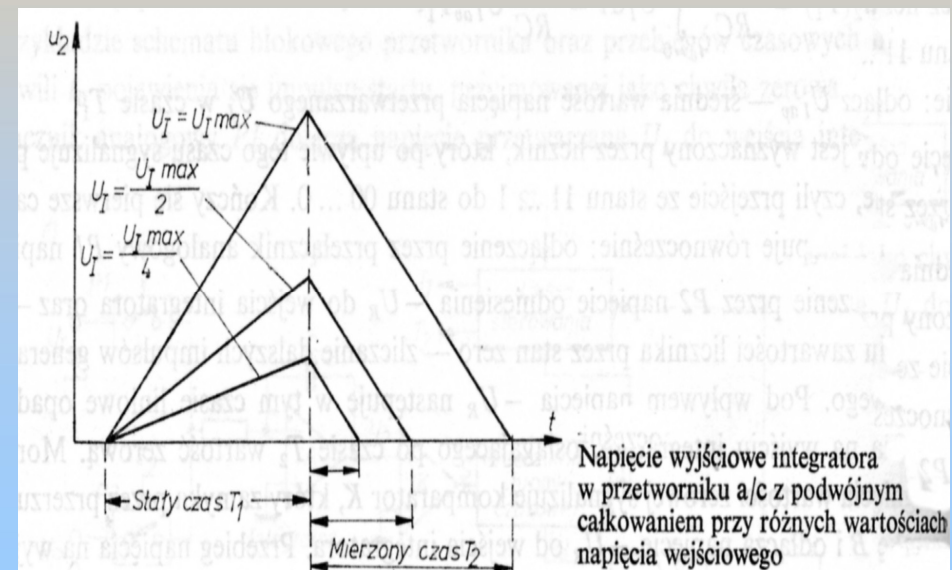
Wśród metod czasowych przetwarzania szczególnego znaczenia nabrała metoda dwukrotnego całkowania, która należy do najdokładniejszych technik przetwarzania a/c. Jest to jednak metoda wolna.





- Przebiegi czasowe w metodzie podwójnego całkowania (obok)

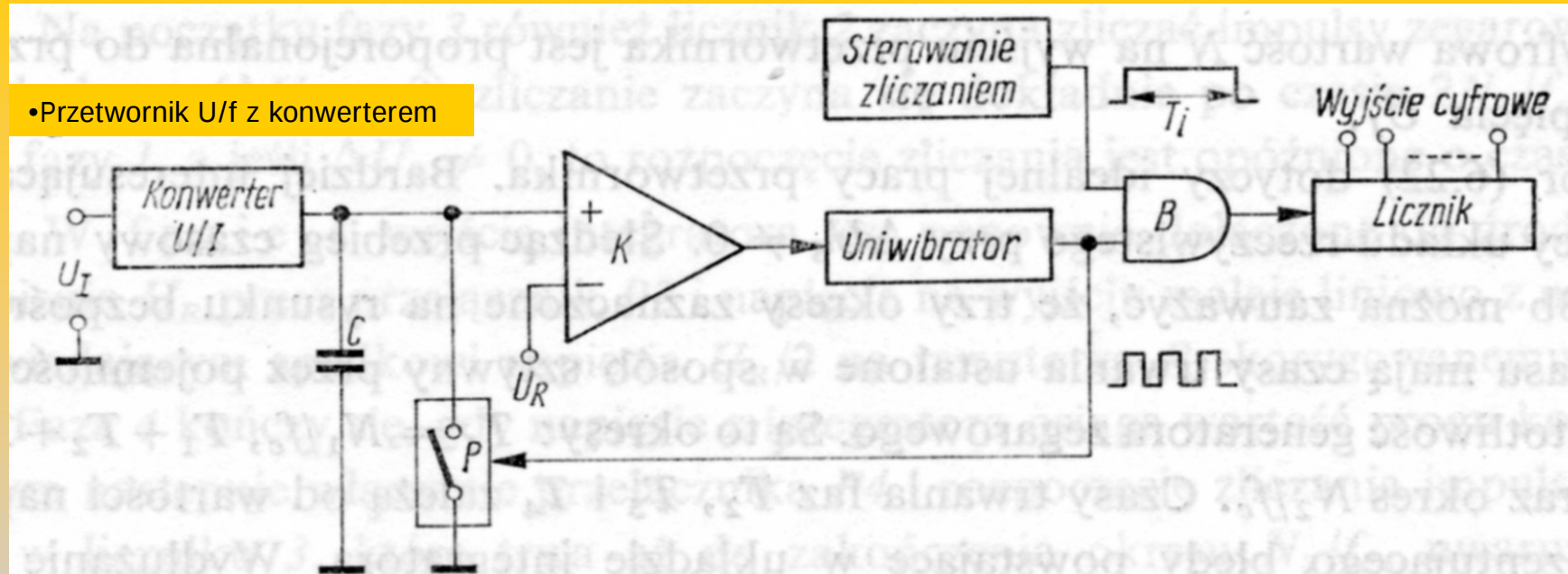
- Sposób w jaki zmienia się mierzony czas , w którym przechodzą przez bramkę impulsy z generatora wzorcowego w zależności od napięcia przetwarzanego U_x



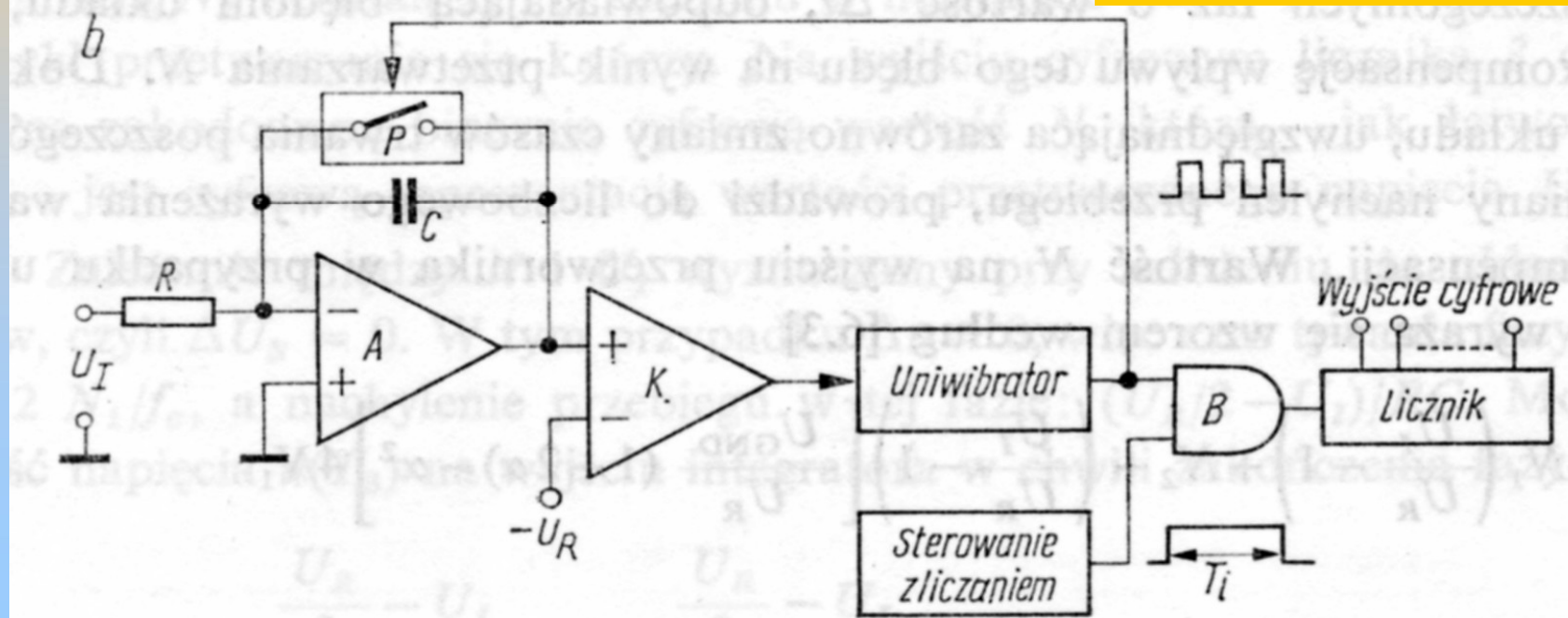
Metoda częstotliwościowa

- Jej istotą przetwarzania jest przekształcenie sygnału analogowego na proporcjonalną do jego wartości częstotliwości impulsów, które są zliczane w stałym okresie czasu wyznaczonym generatorem wzorcowym

•Przetwornik U/f z konwerterem



•Przetwornik U/f z integratorem



Konwersji napięcia na kod cyfrowy można dokonać na wiele różnych sposobów. Wśród metod konwersji stosowanych w przetwornikach scalonych wyróżnić można trzy grupy:

- **metoda konwersji bezpośredniej** (jej zaletą jest szybkość, wadą konieczność wytworzenia układów zawierających dużą liczbę jednakowych komparatorów, układy realizujące tę metodę określa się często mianem przetworników wizyjnych);
- **metody pośrednie** (wejściowy sygnał analogowy jest zamieniany na proporcjonalną do niego wielkość pomocniczą - w metodach czasowych jest to czas ładowania kondensatora, w częstotliwościowych jest to częstotliwość impulsów);
- **inne metody.**