

# Teoria przetwarzania A/C i C/A.

Autor: Bartłomiej Gorczyński

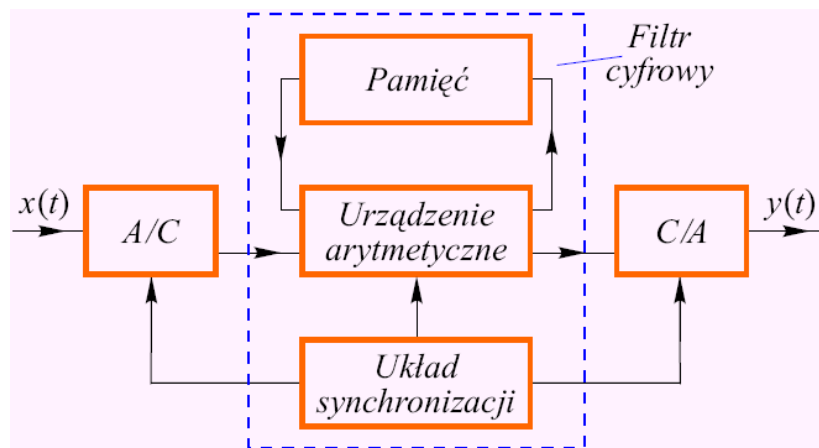
Cyfrowe metody przetwarzania sygnałów polegają na przetworzeniu badanego sygnału analogowego w sygnał cyfrowy reprezentowany ciągiem słów binarnych o ustalonej długości słowa, a następnie dokonywaniu wszelkich operacji na sygnale jako operacji na ciągach binarnych reprezentujących ten sygnał.

Układ przetwarzania składa się z:

- przetwornika analogowo-cyfrowego (przetwornika A/C), który zmienia postać analogowego sygnału wejściowego na postać binarną,
- filtru cyfrowego (zawiera urządzenie arytmetyczne oraz pamięć), którego zadaniem jest realizacja zadanej operacji na wejściowym sygnale binarnym,
- przetwornika cyfrowo-analogowego (przetwornika C/A), który zamienia postać binarną sygnału wyjściowego na pożądaną z reguły postać analogową.

Całym układem steruje i synchronizuje specjalny układ zewnętrzny.

Schemat ilustrujący ideę cyfrowego przetwarzania sygnałów jest przedstawiony na poniższym rysunku.

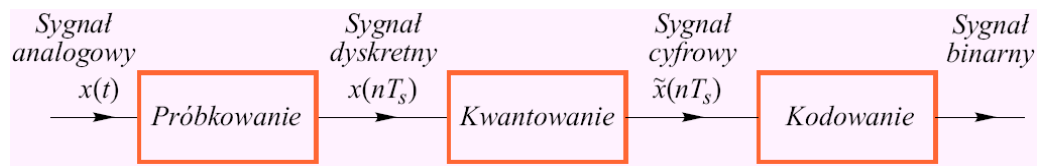


## 1. Przetwornik analogowo – cyfrowy

Jak już wcześniej wspomniałem, zadaniem przetwornika analogowo – cyfrowego jest zamiana postaci analogowej sygnału wejściowego na postać binarną. Aby dokonać takiego przetworzenia należy wykonać na nim trzy fundamentalne operacje: próbkowanie, kwantowanie i kodowanie.

Działanie przetwornika jest sterowane generatorem impulsów synchronizujących, których częstotliwość powtarzania określa zarazem częstotliwość próbkowania sygnału

analogowego. Na wyjściu przetwornika A/C występuje sygnał reprezentowany ciągiem słów binarnych kodujących kolejne próbki sygnału. Każde z tych słów jest ciągiem znaków binarnych „1” oraz „0” o ustalonej dla danego przetwornika długości.



Rys. Podstawowe operacje przetwarzające sygnał analogowy w sygnał

## 2. Filtr cyfrowy

W filtrze cyfrowym następuje przetwarzanie słów. Słowa binarne z wyjścia przetwornika analogowo - cyfrowego (A/C) są przesyłane do układu nazywanego filtrem cyfrowym. Mogą być one przesyłane znak po znaku (transmisja szeregową) lub wszystkie znaki są przesyłane jednocześnie odrębnymi torami (transmisja równoległa).

Pod pojęciem filtru cyfrowego możemy rozumieć nie tylko cały zespół środków sprzętowych i programowych przetwarzania, ale również algorytm, według którego jest ono dokonywane. To znaczy, iż filtr cyfrowy może być zarówno urządzeniem fizycznym, jak i również programem obliczeniowym. W większości przypadków filtr cyfrowy łączy w sobie obie te funkcje.

W wyniku przetwarzania sygnału przez filtr cyfrowy na jego wyjściu otrzymujemy inny sygnał, również reprezentowany ciągiem słów binarnych. Jeżeli interesuje nas postać analogowa sygnału wyjściowego, to sygnał na wyjściu filtru cyfrowego musi być jeszcze przetworzony na sygnał analogowy. Odpowiedzialny za tą operację jest przetwornik cyfrowo – analogowy (C/A).

O jakości i zakresie zastosowań filtru cyfrowego decyduje przede wszystkim jego szybkość działania. Określa ona graniczną częstotliwość sygnałów jakie mogą być przetwarzane przez filtr cyfrowy. Zakres częstotliwości stale rozszerza się.

W chwili obecnej dysponujemy już układami cyfrowego przetwarzania sygnałów umożliwiającymi przetwarzanie sygnałów w czasie rzeczywistym z częstotliwościami rzędu kilkuset megaherców.

Coraz częściej filtry cyfrowe są realizowane z wykorzystaniem specjalizowanych układów mikroprocesorowych nazywanych *procesorami sygnałowymi*. Są to uniwersalne, programowalne, cyfrowe układy arytmetyczny, wyposażone w pamięć i przeznaczone do szybkiego i sprawnego wykonywania różnorodnych operacji arytmetycznych na sygnałach binarnych, takich jak dodawanie, mnożenie, mnożenie skalarne, opóźnianie sygnałów w czasie itp.

Ponadto, w pamięci procesora rejestrowane są wszelkie dane niezbędne do wykonania algorytmu przetwarzania.

Współcześnie procesory sygnałowe stanowią coraz częściej standardowe wyposażenie aparatury elektronicznej.

W bardziej złożonych systemach przetwarzania stosowane są całe sieci współdziałających ze sobą procesorów sygnałowych, umożliwiających jednoczesną realizację wielu skomplikowanych procedur przetwarzania sygnałów.

Na tym etapie, chciałbym krótko opisać trzy fundamentalne operacje, bez których nie mogłoby się odbyć przetwarzanie sygnału analogowego w sygnał binarny.

**Próbkowanie**, czyli pobieranie próbek  $x(t_n)$  analogowego sygnału  $x(t)$  w dyskretnych chwilach  $t_n$ . Zazwyczaj sygnały są próbkowane równomiernie, chociaż zdarza się, że w niektórych zastosowaniach próbki sygnału są pobierane nierównomiernie w chwilach rozłożonych na osi czasu według ustalonej reguły.

W wyniku próbkowania równomiernego z okresem  $T_s$  (częstotliwością  $f_s=1/T_s$ ) sygnał analogowy  $x(t)$  jest przetworzony w sygnał dyskretny  $x[nT_s]$ . Sygnał spróbkowany jest sygnałem dyskretnym w czasie, ale w ogólnym przypadku nadal analogowym w amplitudzie, tzn. jego wartości chwilowe (próbki) należą do zbioru ciągłego. Aby sygnał spróbkowany można było dalej przetwarzać cyfrowo, zbiór wartości próbek musi być zbiorem skończonym.

**Kwantowanie** jest operacją, która przetwarza sygnał spróbkowany w sygnał o dyskretnej strukturze amplitudowej. Polega ona na podzieleniu zakresu zmian wartości sygnału na skończoną liczbę  $M$  przedziałów kwantyzacji i przybliżeniu wartości chwilowych próbek wartościami przyporządkowanymi poszczególnym przedziałom. Najczęściej przedziały kwantyzacji mają jednakową szerokość  $q$ , nazywaną *kwantem* lub *krokiem kwantowania*. Liczbę  $M$  wybiera się z reguły jako naturalną potęgę liczby 2, tj.  $M = 2^b$ , gdzie  $b$  należy do zbioru liczb naturalnych.

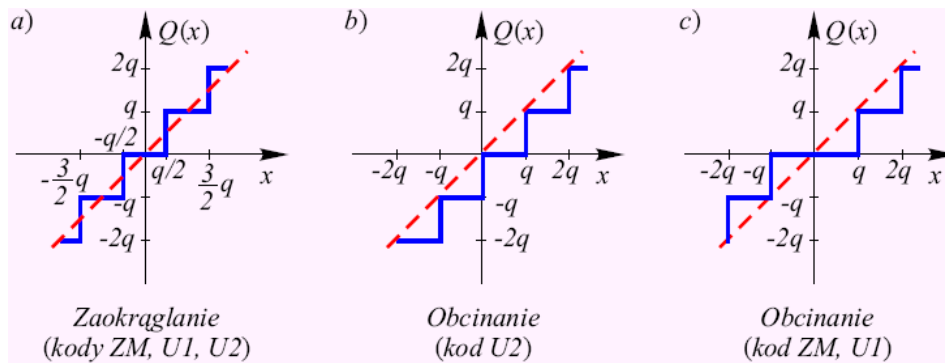
W wyniku kwantowania sygnał dyskretny  $x[nT_s]$  zostaje przybliżony sygnałem cyfrowym  $\tilde{x}[nT_s]$  przybierającym skończoną liczbę wartości. Operacje kwantowania można zapisać formalnie w postaci:

$$\tilde{x}[nT_s] = Q(x[nT_s])$$

gdzie  $Q$  jest funkcją przyporządkowującą próbce  $x(nT_s)$  jej wartość skwantowaną  $\tilde{x}(nT_s)$ . Dobór funkcji  $Q$  określa sposób kwantowania.

W praktyce stosowane są różne rodzaje kwantowania zależne od sposobu cyfrowej reprezentacji liczb ujemnych. Liczby ujemne w arytmetyce stałoprzecinkowej przedstawia się w komputerze za pomocą znaku i modułu (kod ZM), uzupełnienia do jedności (kod U1) lub uzupełnienia do dwóch (kod U2). Trzy podstawowe sposoby kwantowania to:

- zaokrąglanie (kody ZM, U1, U2),
- obcinanie (kod U2),
- obcinanie (kod ZM, U1).



Rys. Podstawowe sposoby kwantowania sygnałów

Operacja kwantowania wprowadza specyficzny błąd do procesu przetwarzania sygnału nazywany *błędem kwantowania*.

$$\varepsilon [nT_s] = \tilde{x}[nT_s] - x[nT_s]$$

Błąd kwantowania jest sygnałem dyskretnym określonym w chwilach próbkowania i przybierającym losowe wartości w skończonym przedziale o szerokości równej kwantowi. Analizę błędu kwantowania przeprowadza się zwykle metodami probabilistycznymi, tzn. sygnał błędu traktuje się jako sygnał losowy. Ponieważ wykazuje on właściwości zbliżone do typowych sygnałów szumowych, jest nazywany *szumem kwantowania*.

### Kodowanie

W wyniku kwantowania sygnału dyskretnego przedział zmian jego wartości zostaje podzielony na  $M = 2^b$  przedziałów kwantyzacji. Przedziały te można wówczas zakodować słowami binarnymi o długości  $b$ . Jeżeli sygnał zmienia się w zakresie od  $-X_m$  do  $X_m$ , to wielkość kwantu (różnica między sąsiednimi poziomami kwantyzacji) jest określona wzorem:

$$q = (2X_m)/2^b = X_m/2^{b-1}$$

Na przykład, dla typowych przetworników A/C zakres zmian sygnału napięcia na ich wejściu wynosi od  $-1V$  do  $+1V$ . Gdy sygnał zostanie skwantowany na  $28 = 256$  przedziałów ( $b = 8$ ), to wielkość kwantu wynosi  $7,81mV$ . Wielkość ta jest określona przez najmniej znaczący znak binarny (bit) słowa kodowego. Operacja kwantowania nie jest realizowana w przetworniku A/C przez specjalny układ, a dokonuje się niejako automatycznie w wyniku kodowania kolejnych próbek. W zależności od wartości próbki układ formowania słów kodowych generuje ciąg znaków binarnych słowa kodowego, ucinając go na najmniej znaczącym znaku. Jeśli wartość próbki przekroczy określony poziom, to na ostatniej pozycji słowa kodowego występuje „1”. W przeciwnym przypadku na pozycji tej wystąpi „0”.

W cyfrowym przetwarzaniu sygnałów stosowane są różne reprezentacje danych liczbowych. Ogólnie, dzielimy je na: *stałoprzecinkowe* i *zmiennoprzecinkowe*. Wybór danej reprezentacji ma bardzo istotny wpływ na dokładność obliczeń i złożoność implementacji programowej algorytmów przetwarzania.

Osobnym zagadnieniem jest fizyczny sposób reprezentacji znaków binarnych „1” oraz „0” w postaci tzw. *kodu impulsowego*. Znak binarny „1” może być np. kodowany krótkim impulsem, a znak binarny „0” – brakiem impulsu. Innym sposobem jest kodowanie

znaków binarnych „1” i „0” dwoma różnymi poziomami napięcia. Stosowane są również metody kodowania znaków binarnych za pomocą przejść, tj. zmian poziomów napięcia.

**Podsumowanie:**

Przetwarzanie A/C tworzą trzy podstawowe etapy: próbkowanie, kwantyzacja i kodowanie. Działanie przeciwne do wyżej wymienionego wykonuje przetwornik cyfrowo-analogowy C/A. Jakość sygnału wyjściowego w dużej mierze zależy od rozdzielczości przetworników (im wyższa tym dokładniejszy rezultat) oraz rodzaju przetwornika i stosowanych algorytmów przetwarzania sygnału. Przetwarzanie C/A i A/C znajduje ogromne zastosowanie w takich dziedzinach jak monitoring, przemysł muzyczny, itp.