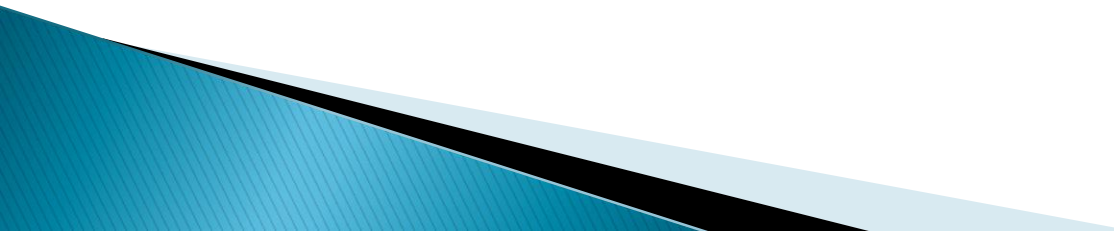


*Przyrządy wirtualne wykorzystujące kartę dźwiękową
i demodulatory synchroniczne
wykorzystujące fazową pętlę sprzężenia zwrotnego
realizowane na platformie TMX320C5515 eZDSP*

Filtry cyfrowe procesory sygnałowe

Zagadnienia

- ▶ Rozwój wirtualnych przyrządów pomiarowych
 - ▶ Algorytmy CPS działające na platformie TMX 320C5515e ZDSP USB STICK realizowane w laboratorium FCiPS
 - ▶ Rozszerzenie ćwiczeń o demodulatory synchroniczne QPSK i QAM wykorzystujące fazową pętlę sprzężenia zwrotnego realizowane na platformie TMX320C5515eZDSP
 - ▶ Wyniki pomiarów
 - ▶ Wnioski
- 

Potrzeba modernizacji przyrządów

- ▶ Ciągły rozwój – dodanie nowych funkcji
- ▶ Niekompatybilność oprogramowania
 - Potrzebny w przyrządach wykres wymaga platformy 3.5 lub 4.0
 - Nowa biblioteka numeryczna **Math.NET Numerics** wymaga platformy 4.0, stara **Math.NET Iridium** obliczała FFT/DFT tylko dla liczby próbek $N = 2^P$ i postanowiłem ją wymienić
 - Interfejsu biblioteki **DirectSound** nie można dołączyć do programu działającego na platformie 4.0 i pojawiła się konieczność jego zamiany na **Naudio**
- ▶ Przed przygotowaniem nowych ćwiczeń dobrze jest dysponować lepszymi przyrządami
- ▶ Czytelna wizualizacja wyników jest szczególnie ważna przy pomiarach dydaktycznych

Rozwój wirtualnych przyrządów pomiarowych

▶ Generator

- Dodanie nowych sygnałów: analogowy QAM, QPSK, 16QAM
- Możliwość generowania sygnałów o ułamkowych częstotliwościach, dzięki zastosowaniu biblioteki **Naudio**
- Poprawa jakości generowanego szumu

▶ Oscylograf z analizatorem widma Fouriera

- Dodanie powiązanych wykresów jeden pod drugim
- Dodanie pomiaru RMS sygnałów
- Dodanie różnicy i sumy kanałów
- Zmiana okna czasowego dla analizy widmowej na 10ms dającego prążki widma co 10 Hz

Rozwój wirtualnych przyrządów pomiarowych

- ▶ Pomiar charakterystyk częstotliwościowych filtrów
 - Dodanie pomiaru charakterystyki fazowej
 - Dodanie regulacji poziomu sygnału wyjściowego i wzmocnienia sygnału wejściowego karty dźwiękowej,
 - Zwiększenie zakresy pomiaru tłumienia filtru o około 20 dB poprzez
 - zmianę sygnału pomiarowego na sygnał o większym o 8dB stosunku mocy do wartości szczytowej,
 - zwiększenie stosunku sygnału do szumu poprzez zsumowanie kilkunastu okresów sygnału odpowiedzi filtru
 - Pomiar charakterystyki w zakresie od 20 Hz do 22000 Hz, co 20 Hz
- ▶ We wszystkich przyrządach dodano możliwość wyboru dźwiękowego urządzenia wejściowego lub wyjściowego

Sygnały o płaskim widmie amplitudowym i okresie N

$$x[n] = \sum_{k=1}^K X_k \sin(\Omega_k n + \varphi_k)$$

$$c[n] = A \sin(\varphi[n])$$

$$0 \leq n \leq N-1$$

$$0 < k \leq K < N/2$$

$$\varphi[n] = 2\pi \left(f_L n + \left(\frac{f_U - f_L}{2(N-1)} \right) n^2 \right) + \alpha$$

$$\Omega_k = 2\pi f_k / f_p,$$

$$f_k = f_p k / N,$$

X_k – stała amplituda,

φ_k – wylosowana faza.

f_U – górna częstotliwość graniczna,

f_L – dolna częstotliwość graniczna.

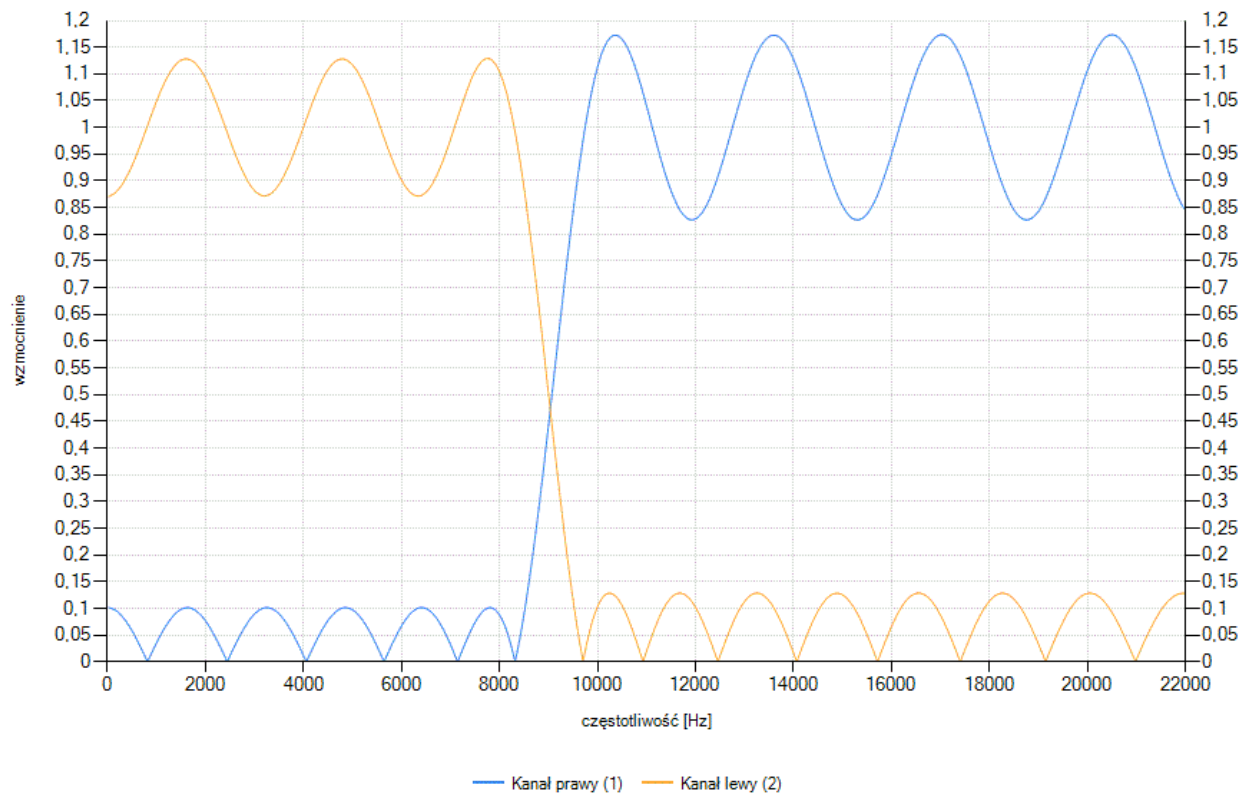
Dotychczasowy sygnał

Linear Chirp Signal

Przykładowy pomiar

Charakterystyki amplitudowe filtrów

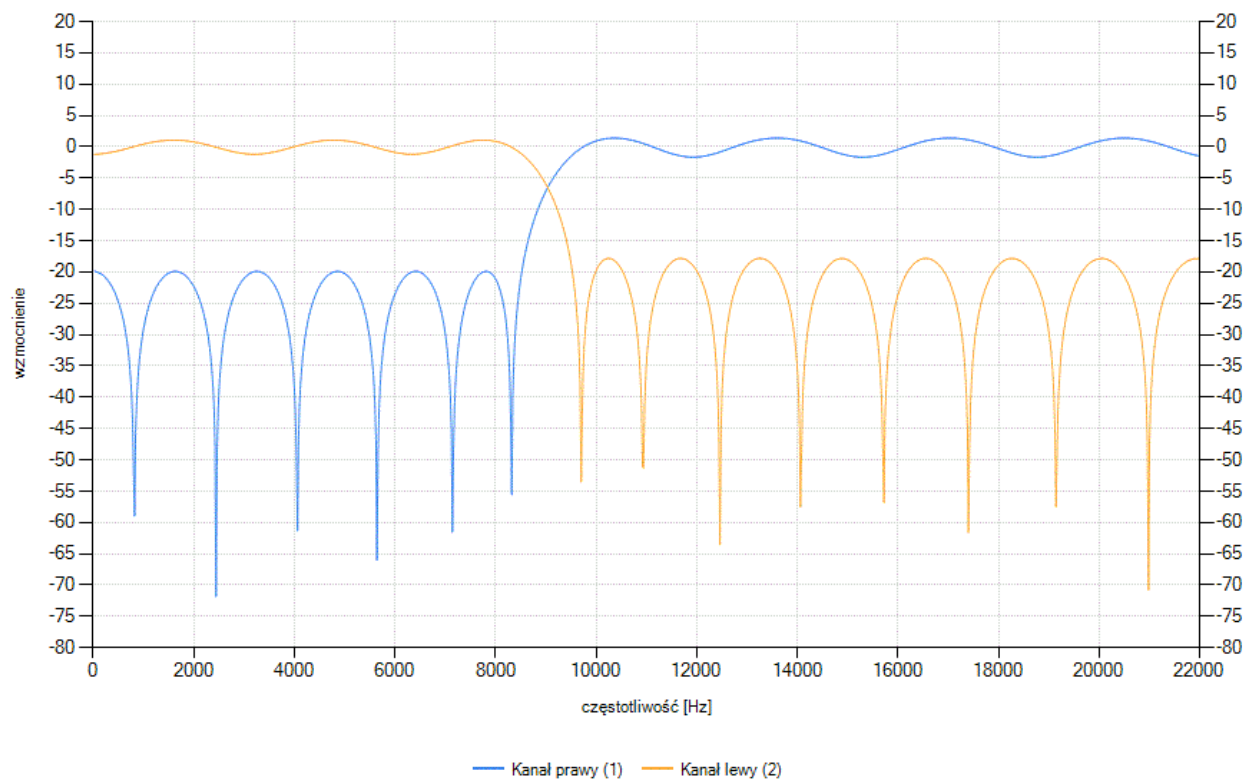
Pomiarów dokonano 12 grudnia 2012 o godzinie 19:55:09 na komputerze lab



Przykładowy pomiar

Charakterystyki amplitudowe filtrów

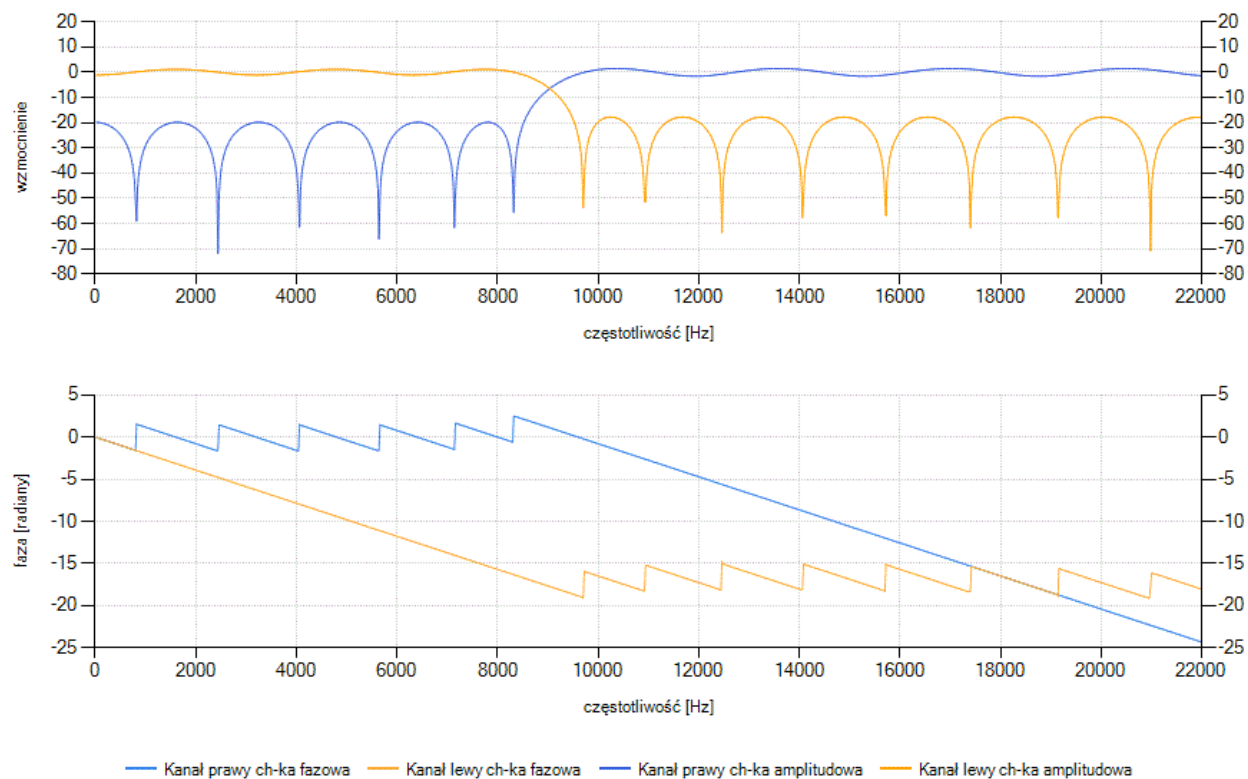
Pomiarów dokonano 12 grudnia 2012 o godzinie 19:52:59 na komputerze lab



Przykładowy pomiar

Charakterystyki amplitudowe i fazowe filtrów

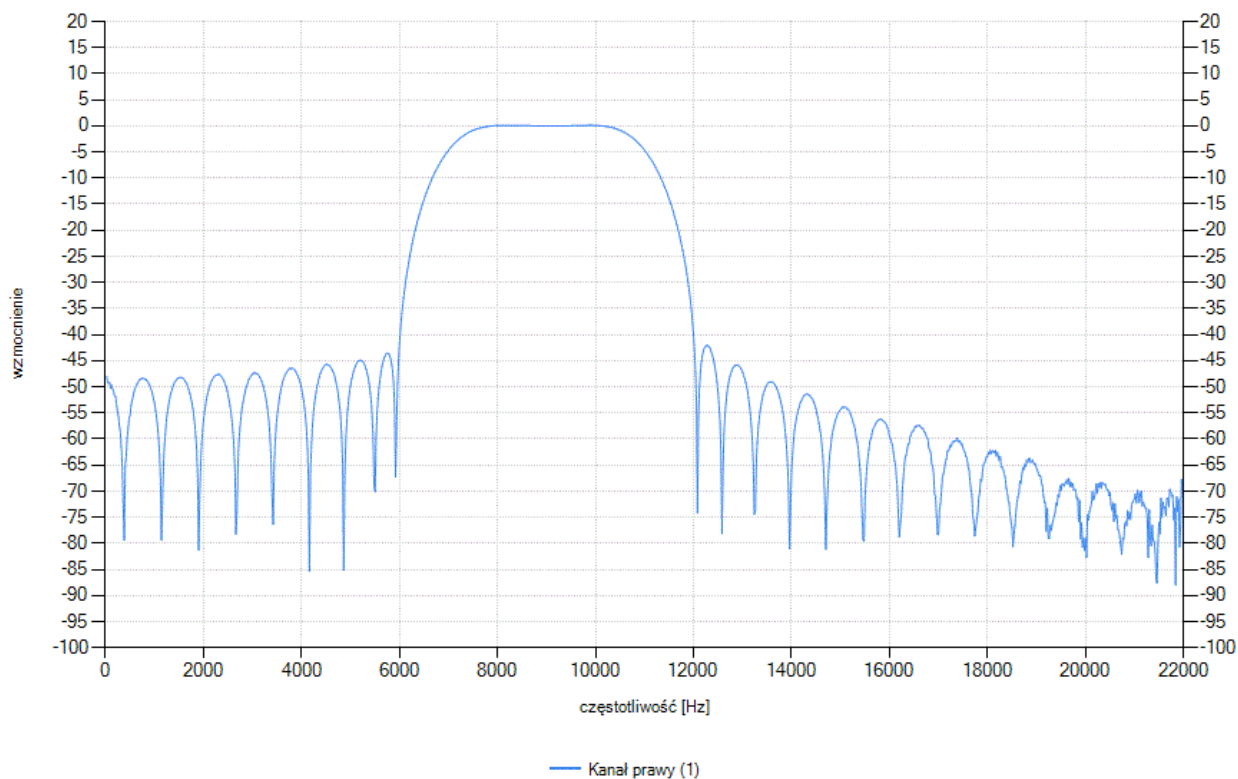
Pomiarów dokonano 12 grudnia 2012 o godzinie 19:52:59 na komputerze lab



Przykładowy pomiar

Charakterystyki amplitudowe filtrów

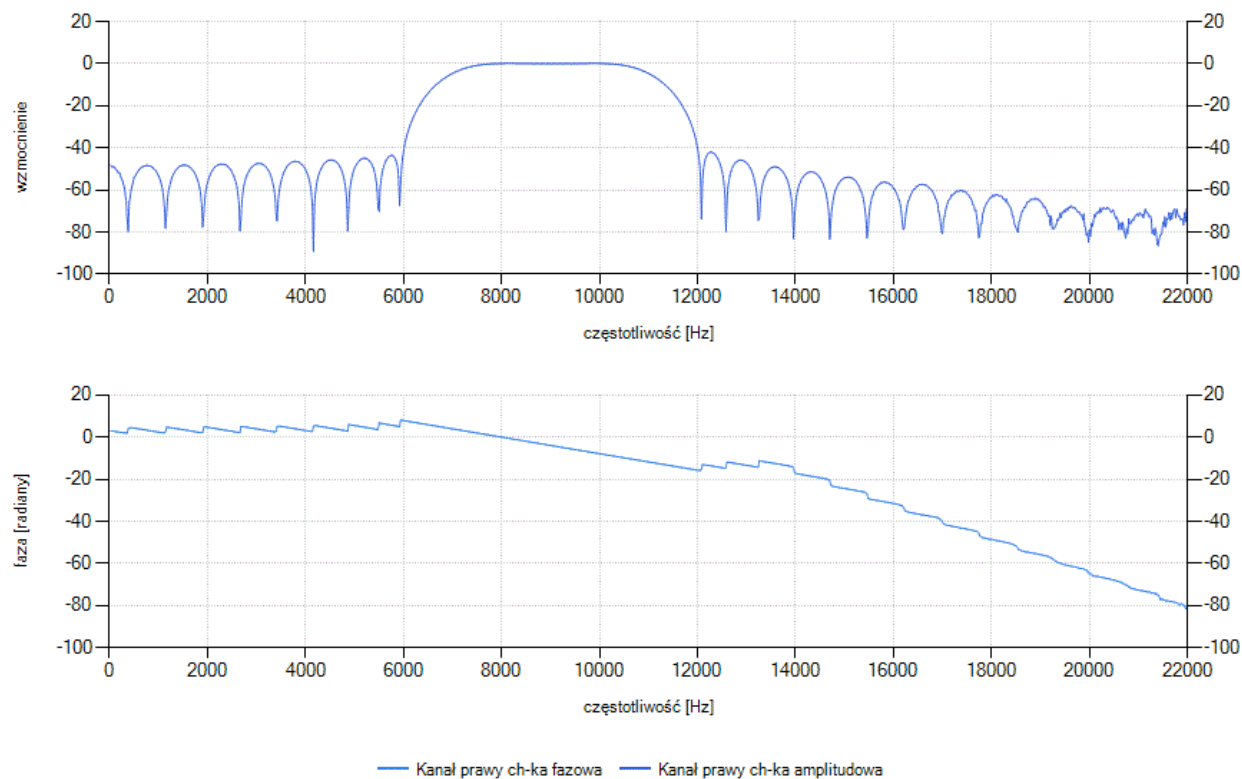
Pomiarów dokonano 12 grudnia 2012 o godzinie 19:56:04 na komputerze lab



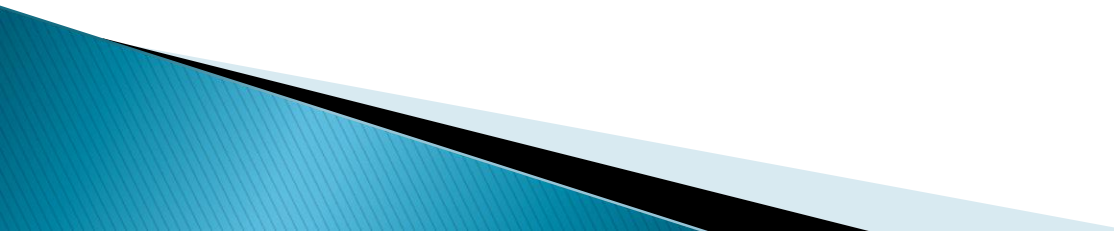
Przykładowy pomiar

Charakterystyki amplitudowe i fazowe filtrów

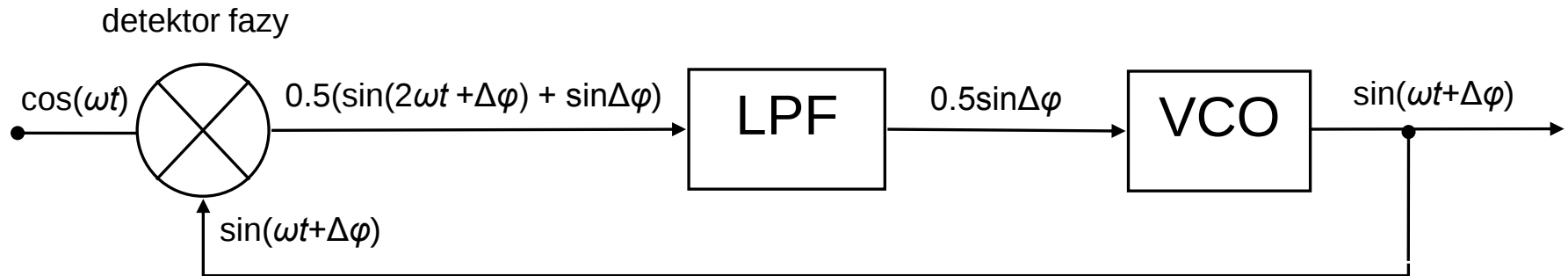
Pomiarów dokonano 12 grudnia 2012 o godzinie 19:58:28 na komputerze lab



Algorytmy realizowane na TMS320C5515

- ▶ Generatory sygnałów – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ Filtry liniowe FIR i IIR – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ Filtry adaptacyjne – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ Modulatory – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ Demodulatory asynchroniczne – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ Demodulatory synchroniczne wykorzystujące pętlę PLL – realizowane w lab. FCiPS
 - ▶ FFT – wspomagane sprzętowo
 - ▶ Kodowanie i dekodowanie audio
 - ▶ Przetwarzanie obrazów
- 

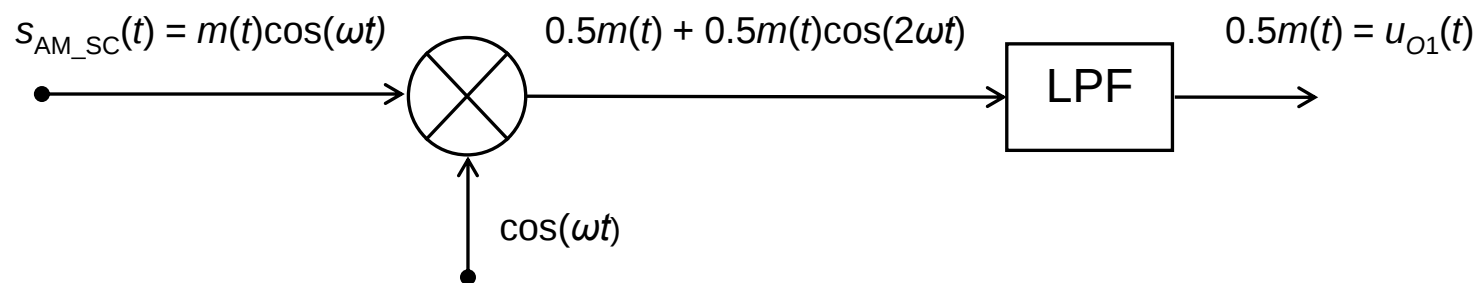
Fzowa pętla sprzężenia zwrotnego



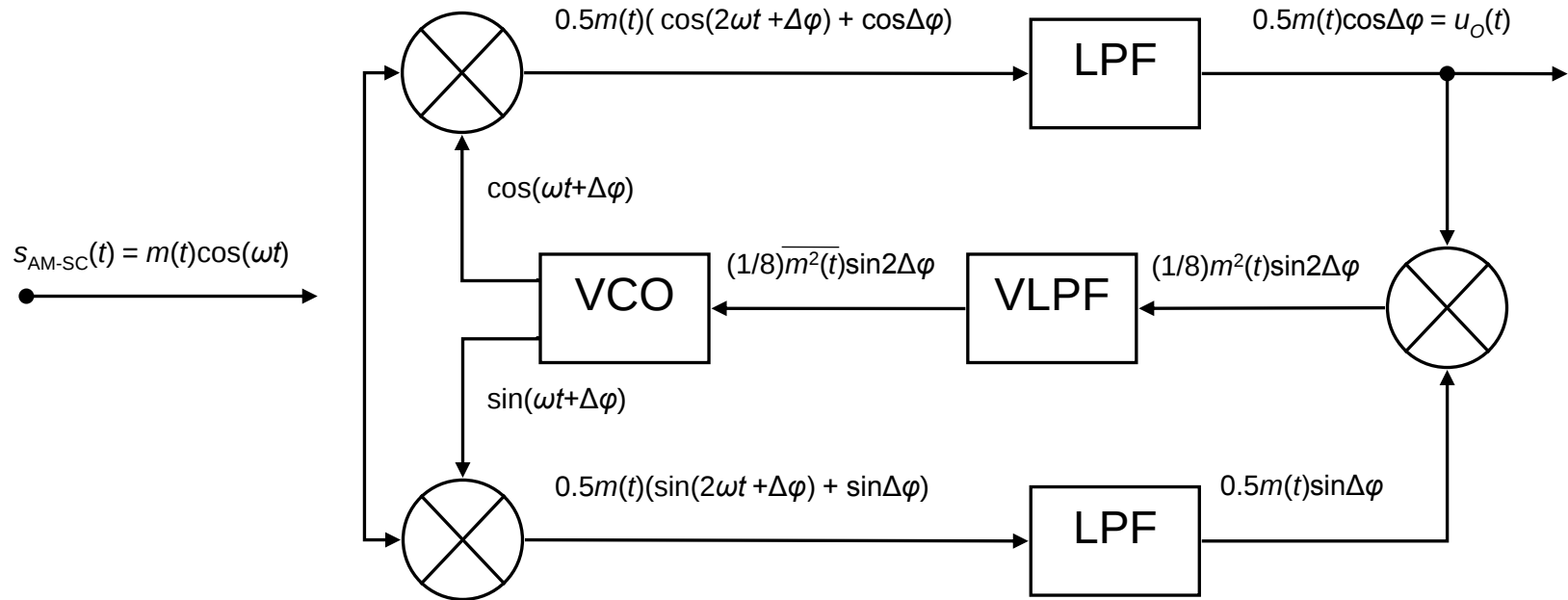
Realizacja pętli fazowej na procesorze sygnałowym

- ▶ Detektor fazy – mnożenie – 1 takt zegara.
- ▶ Filtr dolnoprzepustowy – filtr IIR pierwszego, drugiego góra czwartego rzędu – do 20. taktów zegara.
- ▶ Algorytm generatora VCO
 - obliczenie unormowanej fazy wg wzoru
$$\varphi[n+1] = \varphi[n] + F + u_f[n],$$
gdzie F – unormowana częstotliwość, u_f – sygnał sterujący,
 - obliczenie wartości funkcji $\sin(\pi\varphi[n+1])$ za pomocą funkcji z biblioteki DSPLIB – 19 taktów obliczenia, 17 taktów wywołanie funkcji.
- ▶ Łącznie od 30 do 60 taktów zegara.

Synchroniczna demodulacja sygnału AM, AM-SC i BPSK

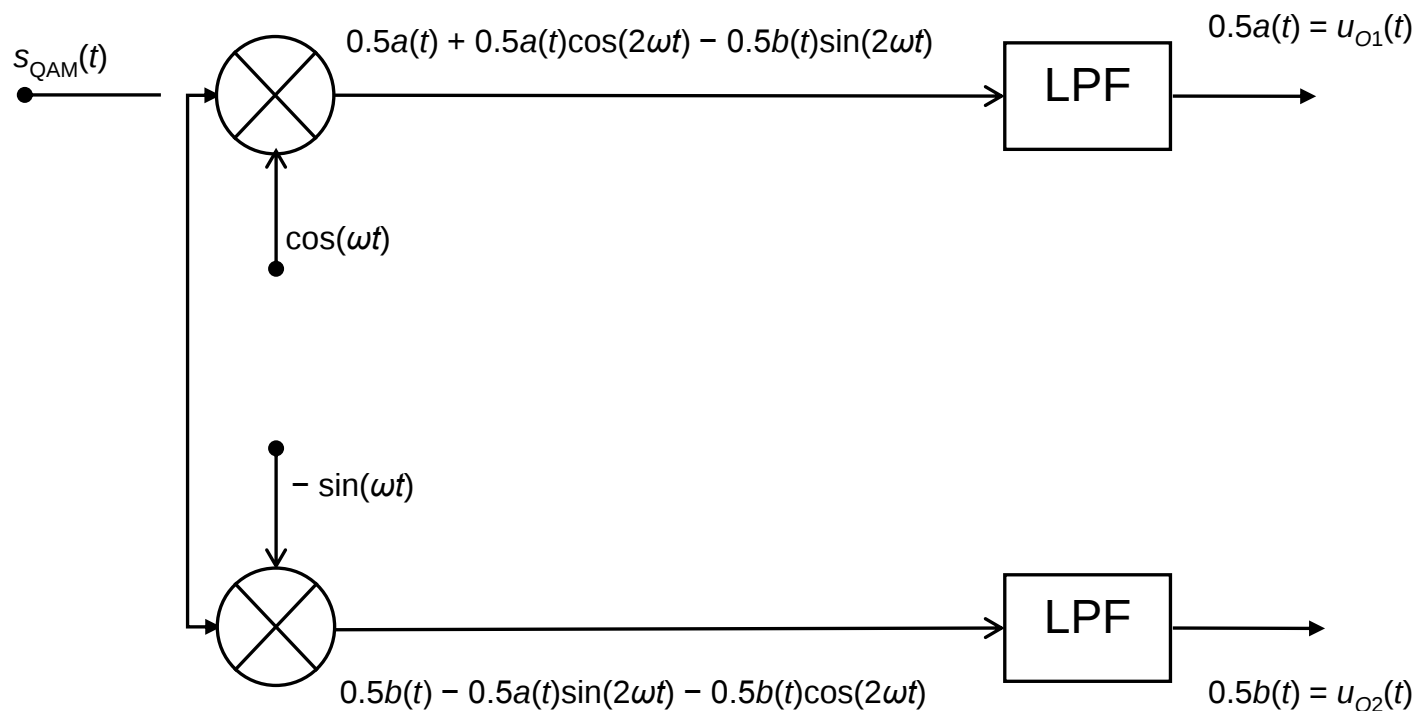


Układ Costasa do odtwarzania nośnej sygnału AM-SC

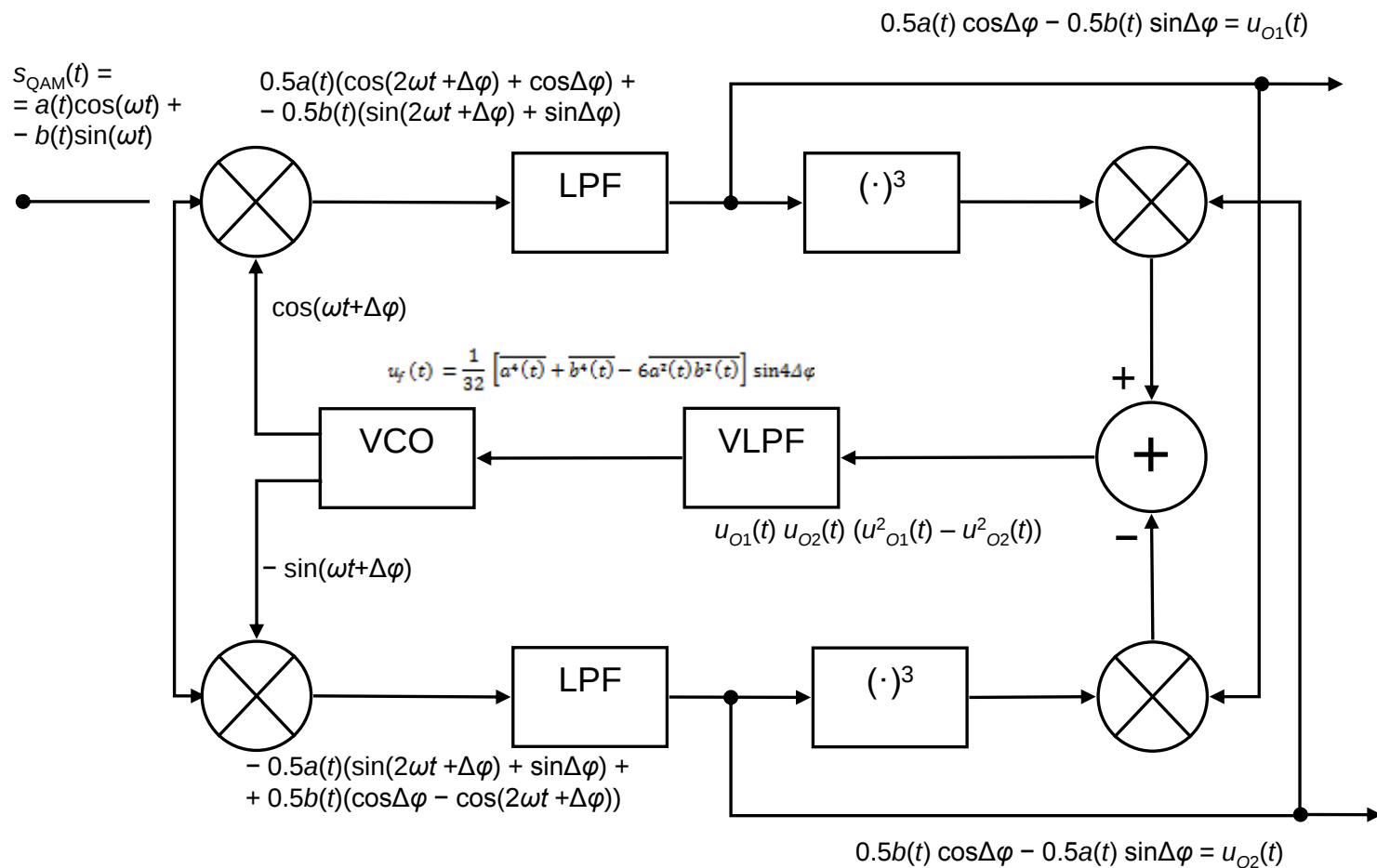


Synchroniczna demodulacja sygnału QAM i QPSK

$$s_{QAM}(t) = a(t)\cos(\omega t) - b(t)\sin(\omega t)$$



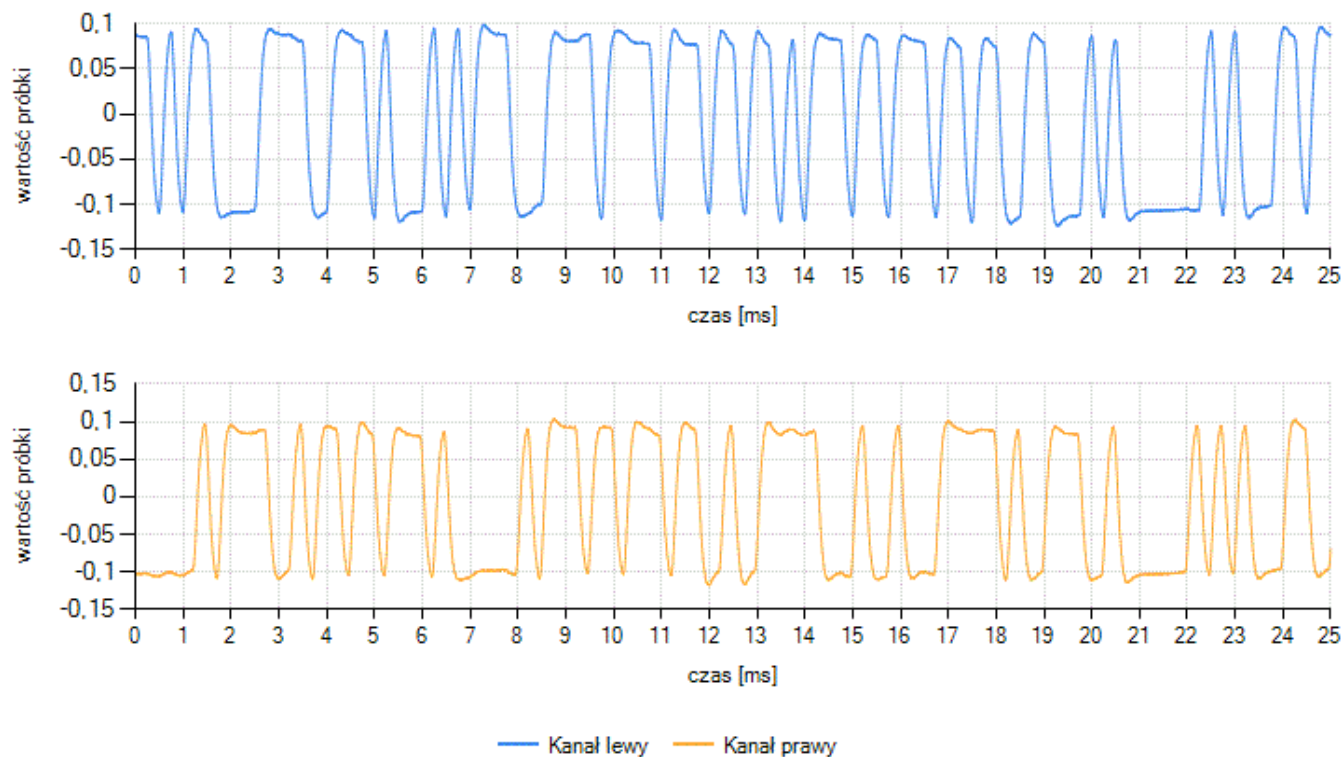
Układ Costasa do odtwarzania nośnej sygnału QAM



QPSK, SR = 4000 Bd

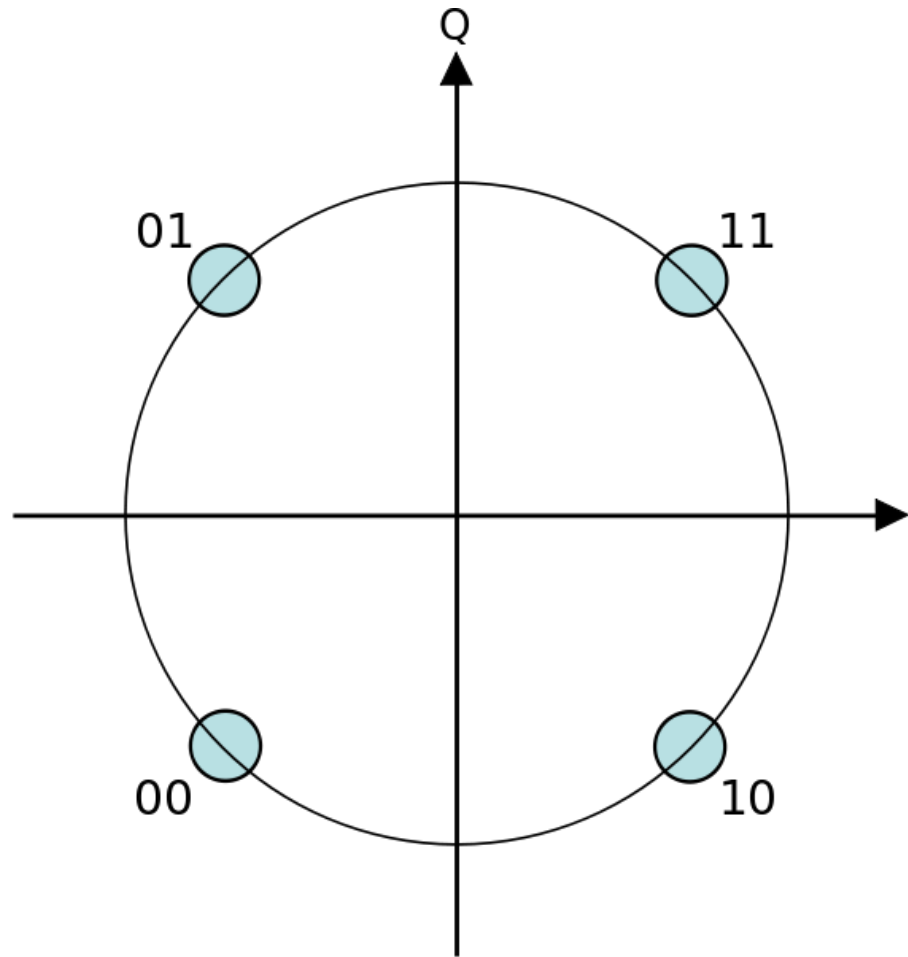
Przebiegi czasowe sygnałów

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:41:24 na komputerze lab



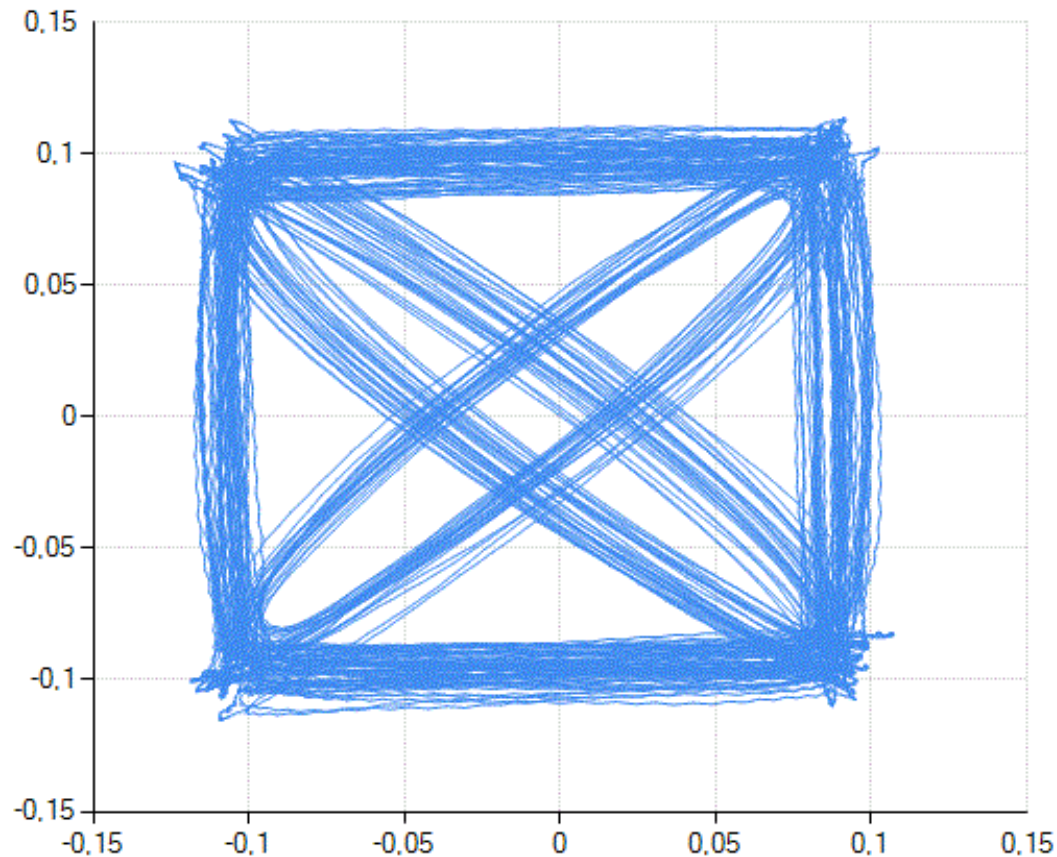
Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q

Diagram konstelacji QPSK



QPSK, $SR = 4000 \text{ Bd}$

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:40:06 na komputerze lab

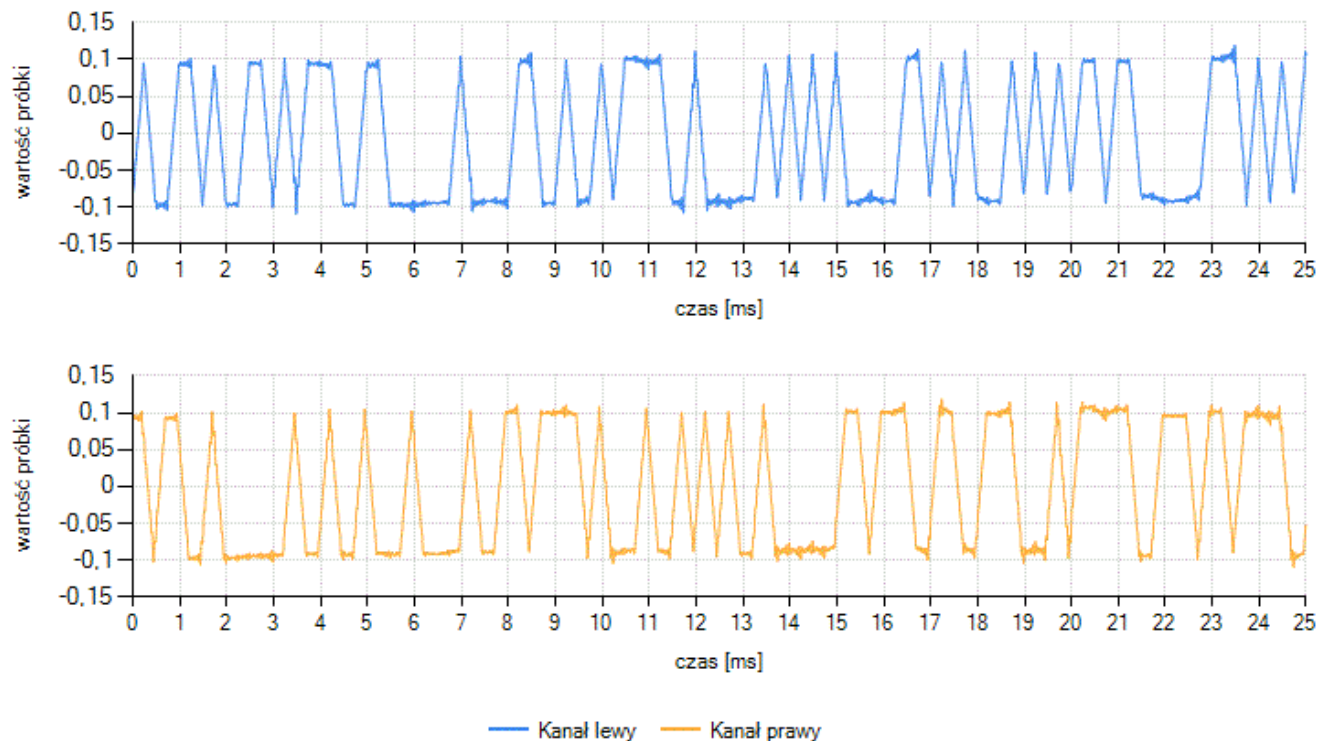


Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q

QPSK, $SR = 4000 \text{ Bd}$

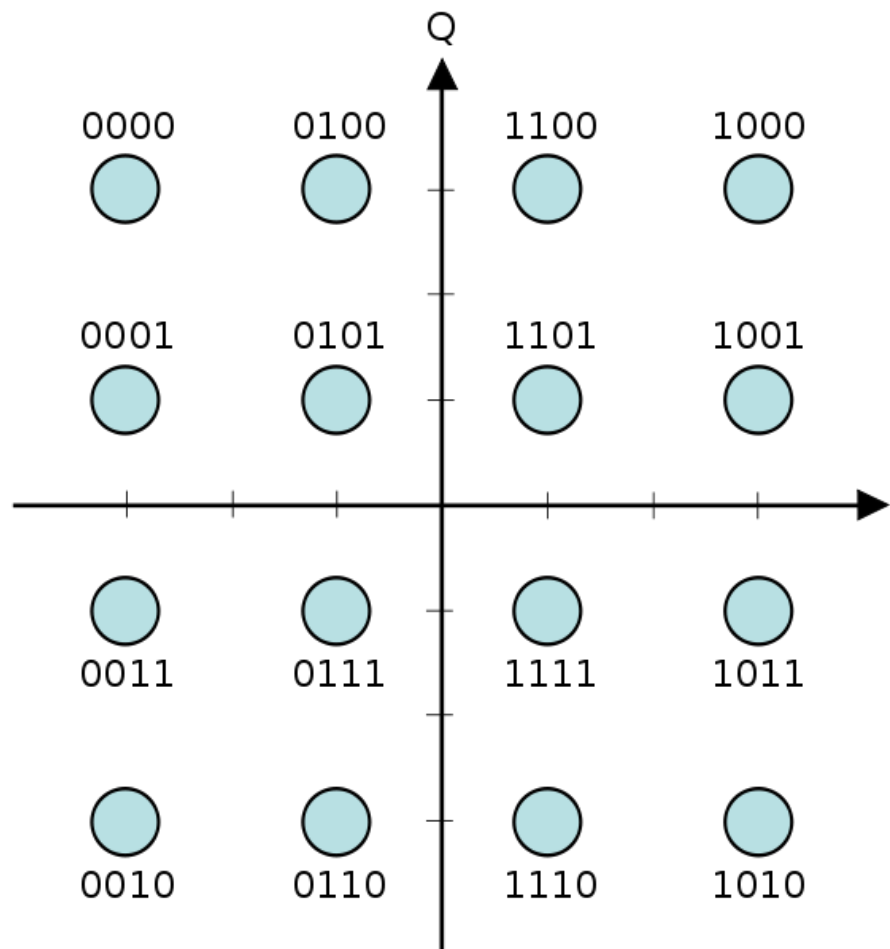
Przebiegi czasowe sygnałów

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:44:48 na komputerze lab



Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q,
filtr LP dopasowany do sygnału

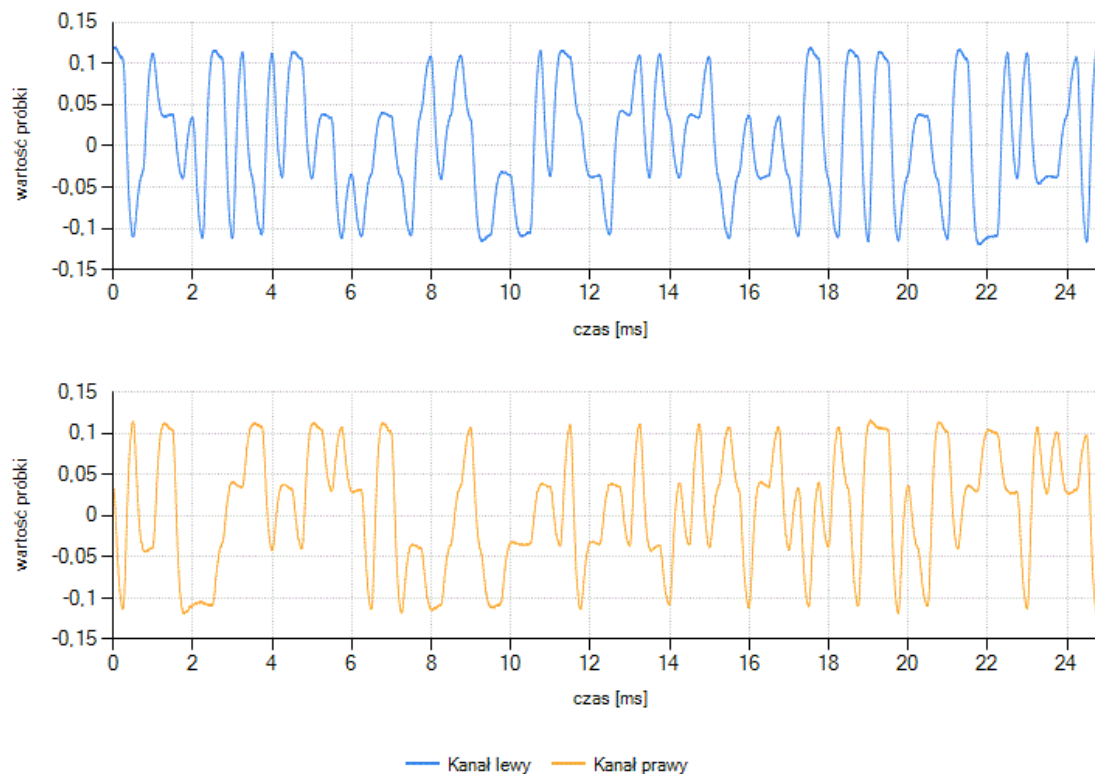
Diagram konstelacji 16QAM



16QAM, $SR = 4000$ Bd

Przebiegi czasowe sygnałów

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:22:15 na komputerze lab

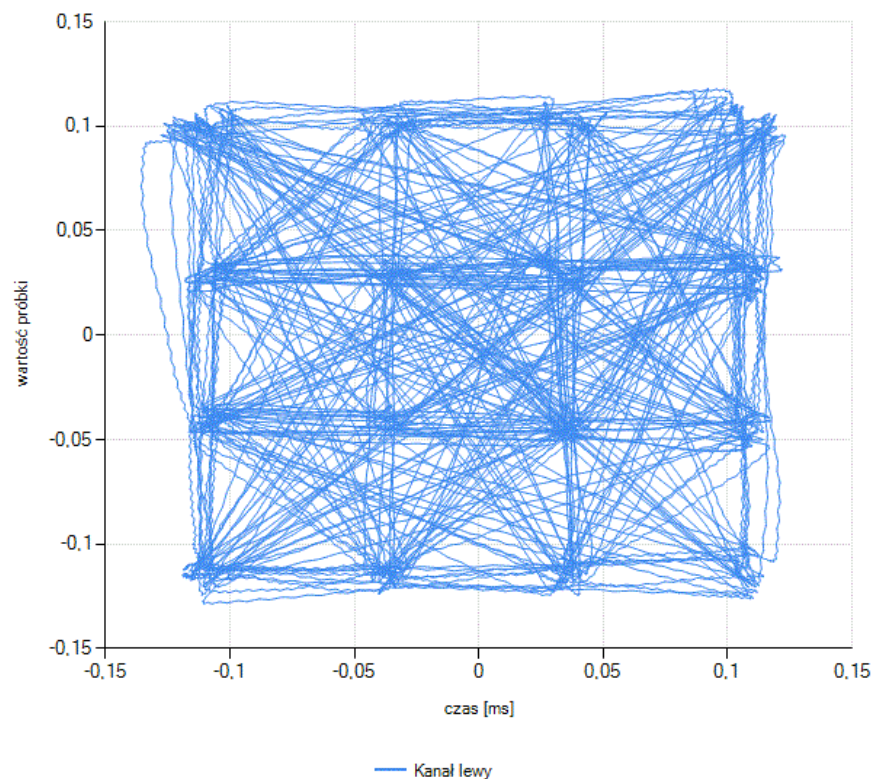


Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q

16QAM, SR = 4000 Bd

Przebiegi czasowe sygnałów

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:27:24 na komputerze lab

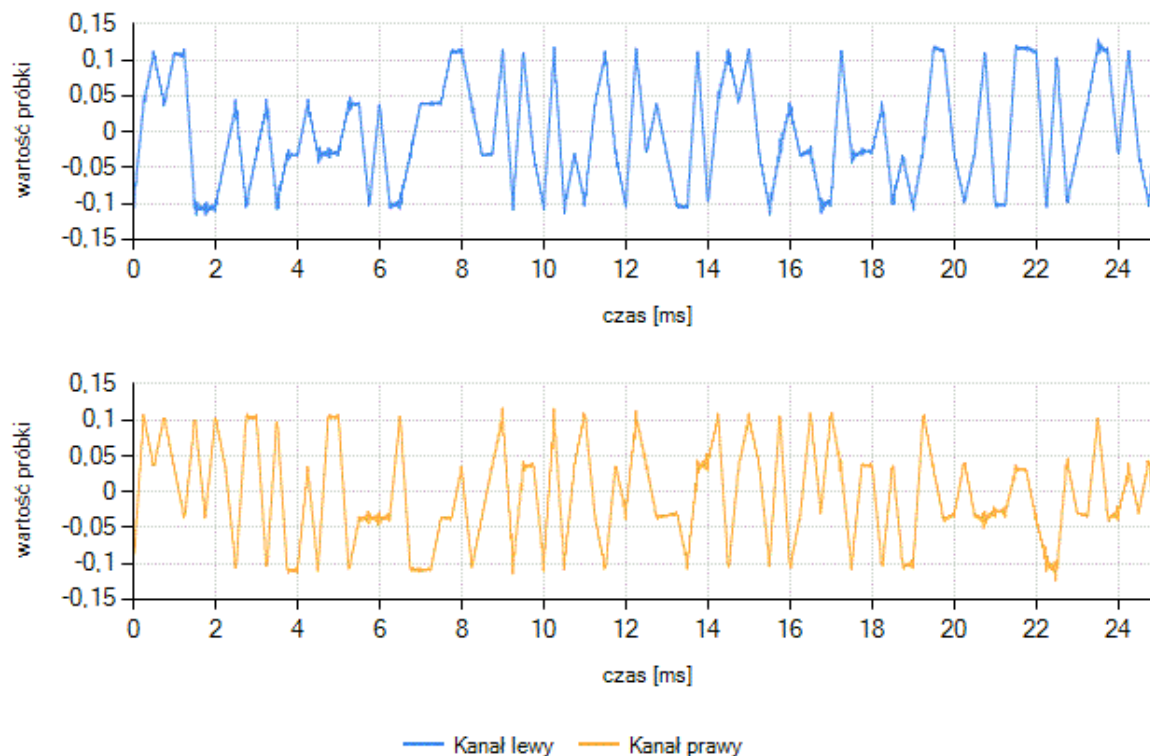


Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q

16QAM, SR = 4000 Bd

Przebiegi czasowe sygnałów

Pomiarów dokonano 2 stycznia 2014 o godzinie 23:29:58 na komputerze lab



Zdemodulowane obwiednie sygnałów I i Q,
filtr LP dopasowany do sygnału

Dalsze prace

- ▶ Dodać synchronizację zegarową (symbolową) i markery w punktach próbkowania

Wnioski

- ▶ Platforma TMX320C5515 eZDSP i przyrządy wirtualne wykorzystujące kartę dźwiękową tworzą zestaw laboratoryjny o szerokim zastosowaniu
 - ▶ Na takim zestawie można realizować ćwiczenia z podstaw CPS, programowania procesorów sygnałowych, filtrów cyfrowych i podstaw telekomunikacji – w zakresie częstotliwości do 24 kHz
 - ▶ Ćwiczenia są w miarę nowoczesne
 - ▶ Modulacje QAM są nadal jeszcze wykorzystywane w modemach telefonicznych pracujących na tych samych częstotliwościach co TMX320C5515 eZDSP
 - ▶ Koszt stanowiska laboratoryjnego jest minimalny
- 