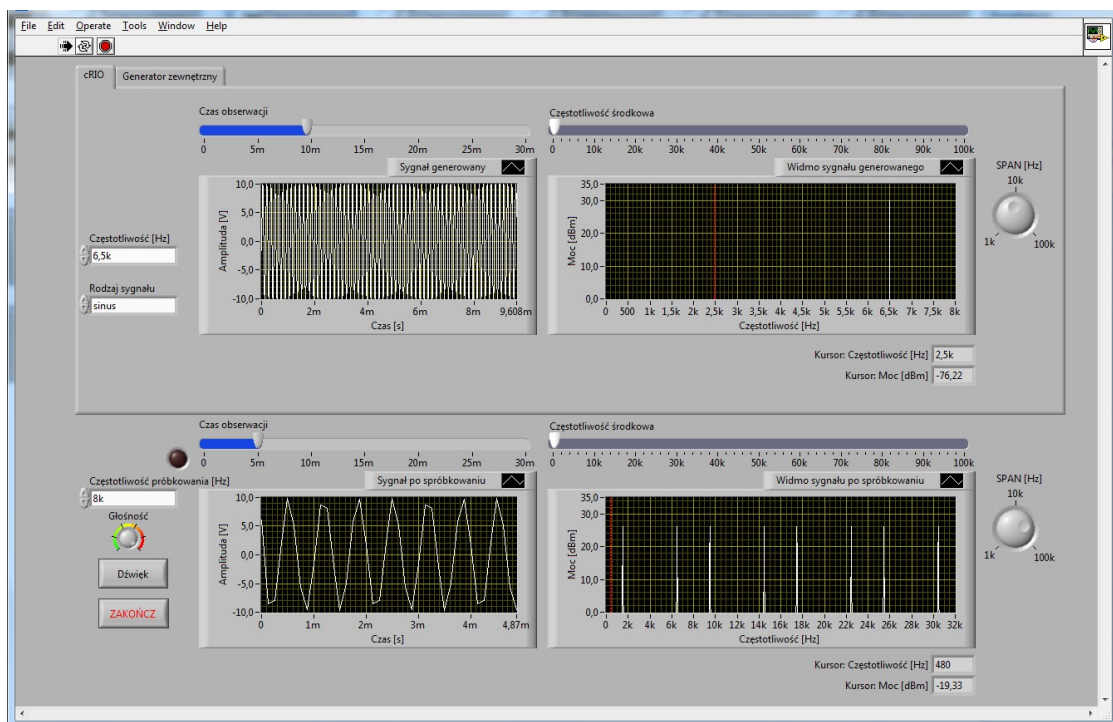


SYGNAŁY I SYSTEMY (SYGSY)

ĆWICZENIE 4 Temat: **PRÓBKOWANIE**



Opracował dr inż. Andrzej Podgórski

Warszawa, styczeń 2020

1. WSTĘP

1.1 Cel ćwiczenia

- Opanowanie i utrwalenie podstawowych pojęć związanych z próbkowaniem i odtwarzaniem sygnałów.
- Opanowanie częstotliwościowych metod opisu sygnałów analogowych i dyskretnych.
- Ilustracja efektu stroboskopowego i zjawiska aliasingu.

1.2 Wymagane wiadomości teoretyczne

Podstawowe pojęcia związane z próbkowaniem sygnałów: okres próbkowania, częstotliwość Nyquista, widmo sygnału analogowego, widmo sygnału dyskretnego, zjawisko aliasingu częstotliwościowego, efekt stroboskopowy, zagadnienia związane z odtwarzaniem sygnału z próbek. Wystarczający opis wyżej wymienionych pojęć można znaleźć w [1], [2], uzupełniające wiadomości można zaczerpnąć z [3], [4].

1.3 Uwagi realizacyjne

W ćwiczeniu wykorzystywany jest CompactRIO - wysokowydajny system firmy National Instruments do sterowania i pozyskiwania danych zaprojektowany dla aplikacji, które wymagają dużych szybkości działania i niezawodności (por. Rys. 1).



Rys. 1. Widok sterownika CompactRIO z modułami A/C i C/A.

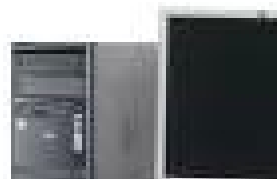
Platforma CompactRIO wykorzystuje technologię FPGA obsługiwaną przez LabVIEW, co umożliwia łatwą zmianę konfiguracji urządzeń dla różnych aplikacji pozyskiwania danych i sterowania. Moduły są podłączone bezpośrednio do układów FPGA CompactRIO pracujących z 40 MHz zegarem. Sterownik CompactRIO posiada standardową wewnętrzną zintegrowaną architekturę sprzętową, która łączy wbudowany procesor zmiennoprzecinkowy czasu rzeczywistego, konfigurowalny moduł FPGA w prostej obudowie oraz moduły We/Wy (w ćwiczeniu wykorzystywane są przetworniki A/C i C/A).

Próbkowanie sygnałów jest realizowane za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C) umieszczonego w sterowniku CompactRio. Każda próbka sygnału na wyjściu przetwornika A/C (sygnał dyskretny) jest reprezentowana przez odpowiednie słowo binarne (sygnał cyfrowy). W ćwiczeniu nie będzie analizowany błąd kwantowania (zwany niekiedy szumem kwantowania). Przyjmujemy, że liczba bitów przetworników jest na tyle duża, iż błąd ten można pominąć, tzn. utożsamić sygnał dyskretny z sygnałem cyfrowym.

Do realizacji ćwiczenia wykorzystano odpowiednio oprogramowane w środowisku LabView moduły We/Wy. Moduły te są umieszczone w sterowniku CompactRio, który podłączony jest do komputera PC. Zastosowanie graficznego interfejsu użytkownika w LabView pozwala na łatwą i intuicyjną obsługę zestawu laboratoryjnego.

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi:

- Komputer klasy PC z monitorem i oprogramowaniem w środowisku LabView umożliwiającym wykonanie poszczególnych punktów ćwiczenia



- Sterownik CompactRio z modułami przetworników C/A i A/C



- Generator funkcyjny



- Oscyloskop dwukanałowy



- Zestaw słuchawkowy



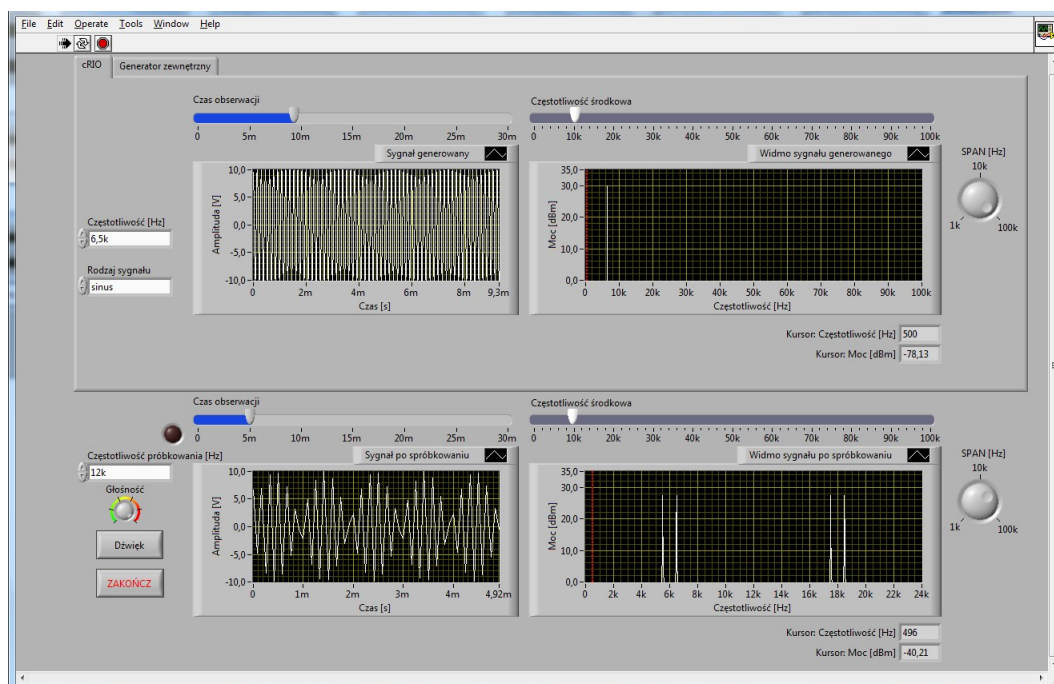
W ćwiczeniu wykonywane są następujące pomiary i badania:

- Próbkowanie sygnału generowanego w module przetwornika C/A sterownika CompactRio za pomocą przetwornika A/C umieszczonego w tym samym sterowniku.
- Próbkowanie sygnału pobieranego z generatora funkcyjnego za pomocą przetwornika A/C umieszczonego w sterowniku.
- Próbkowanie w czasie rzeczywistym sygnałów w paśmie akustycznym i ich przetwarzanie w czasie rzeczywistym za pomocą sterownika.

2. OPROGRAMOWANIE STANOWISKA

Zgodnie z koncepcją wirtualnego przyrządu pomiarowego za możliwości zestawu laboratoryjnego odpowiada jego oprogramowanie. Jest to podejście uniwersalne i elastyczne, pozwalające na łatwe modyfikacje. Zmiana oprogramowania umożliwia poszerzenie zakresu ćwiczenia, jak również realizację innych ćwiczeń z zakresu cyfrowego przetwarzania sygnałów przy wykorzystaniu tego samego sprzętu.

W celu realizacji ćwiczenia opracowano w środowisku LabView oprogramowanie, które umożliwia generację sygnałów za pomocą modułu z przetwornikiem C/A, próbkowanie sygnału z zewnętrznego generatora lub z przetwornika C/A za pomocą modułu z przetwornikiem A/C oraz obliczanie i wyświetlanie widm sygnału na wejściu i wyjściu przetwornika A/C.



Rys. 2. Widok panelu sterowania w ćwiczeniu o próbkowaniu.

Oprogramowanie działające w środowisku LabView pozwala na intuicyjne sterowanie programem za pomocą myszki lub klawiatury. Pierwszą czynnością po uruchomieniu programu powinno być ustawienie częstotliwości i kształtu sygnału generowanego przez przetwornik C/A umieszczony w platformie CompactRIO. Możliwe jest również ustawianie czasu obserwacji generowanego sygnału oraz jego widma w wybranym zakresie częstotliwości. Ustawiana jest także częstotliwość próbkowania przetwornika A/C platformy, czas obserwacji próbkowanego sygnału, częstotliwość środkowa widma i zakres obserwacji. Możliwa jest również zmiana wartości na osi pionowej wykresów oraz odczyt częstotliwości i wartości amplitudowej na czerwonym kursorze. Ponadto panel umożliwi próbkowanie sygnału pochodzącego z innego źródła (np. z zewnętrznego generatora funkcyjnego) oraz kilkusekundowe odsłuchanie próbkowanego sygnału z regulowaną głośnością.

3. PRZYGOTOWANIE DO ĆWICZENIA I JEGO PRZEBIEG

Przykładowe pytania na sprawdzianie:

- narysować widmo mocy sygnału sinusoidalnego o amplitudzie 1 i częstotliwości 1,5 kHz próbkowanego z częstotliwością 8 kHz
- narysować widmo mocy sygnału prostokątnego o amplitudzie 1 i częstotliwości 1 kHz próbkowanego z częstotliwością 8 kHz
- narysować widmo mocy sygnału trójkątnego o amplitudzie 1 i częstotliwości 1 kHz próbkowanego z częstotliwością 8 kHz
- narysować widmo mocy sygnału złożonego z dwóch sygnałów sinusoidalnych: jednego o amplitudzie 1 i częstotliwości 1,5 kHz i drugiego o amplitudzie 0,5 i częstotliwości 2,5 kHz próbkowanego z częstotliwością 8 kHz
- podać kryterium Nyquista
- opisać efekt stroboskopowy

- g opisać zjawisko aliasingu
- h) w jaki sposób unika się efektu aliasingu w przetwarzaniu sygnałów
- i) narysować idealną i rzeczywistą charakterystykę filtra anty-aliasingowego.

4. ZADANIA DO WYKONANIA W DOMU

Zadanie 1. Naszkicować widma sygnałów sinusoidalnych o częstotliwości 500 Hz, 2,5 kHz oraz 6,5 kHz, próbkowanych z częstotliwością 8 kHz.

Zadanie 2. Określić (w przybliżeniu) wymagane częstotliwości próbkowania sygnału reprezentującego rozmowę telefoniczną, sygnału akustycznego HiFi, sygnału telewizyjnego.

Zadanie 3. Obliczyć i naszkicować widmo (w zakresie 0-20 kHz) sygnału na wyjściu przetwornika C/A dla sinusoidy o częstotliwości 500 Hz, 2,5 kHz i 6,5 kHz, przy częstotliwościach próbkowania 8 kHz i 16 kHz.

Zadanie 4. Jaki powinien być kształt charakterystyki filtra anty-aliasingowego umieszczonego w torze pomiarowym przed przetwornikiem C/A próbkowanym z częstotliwością 8 kHz.

5. ZADANIA DO WYKONANIA W LABORATORIUM

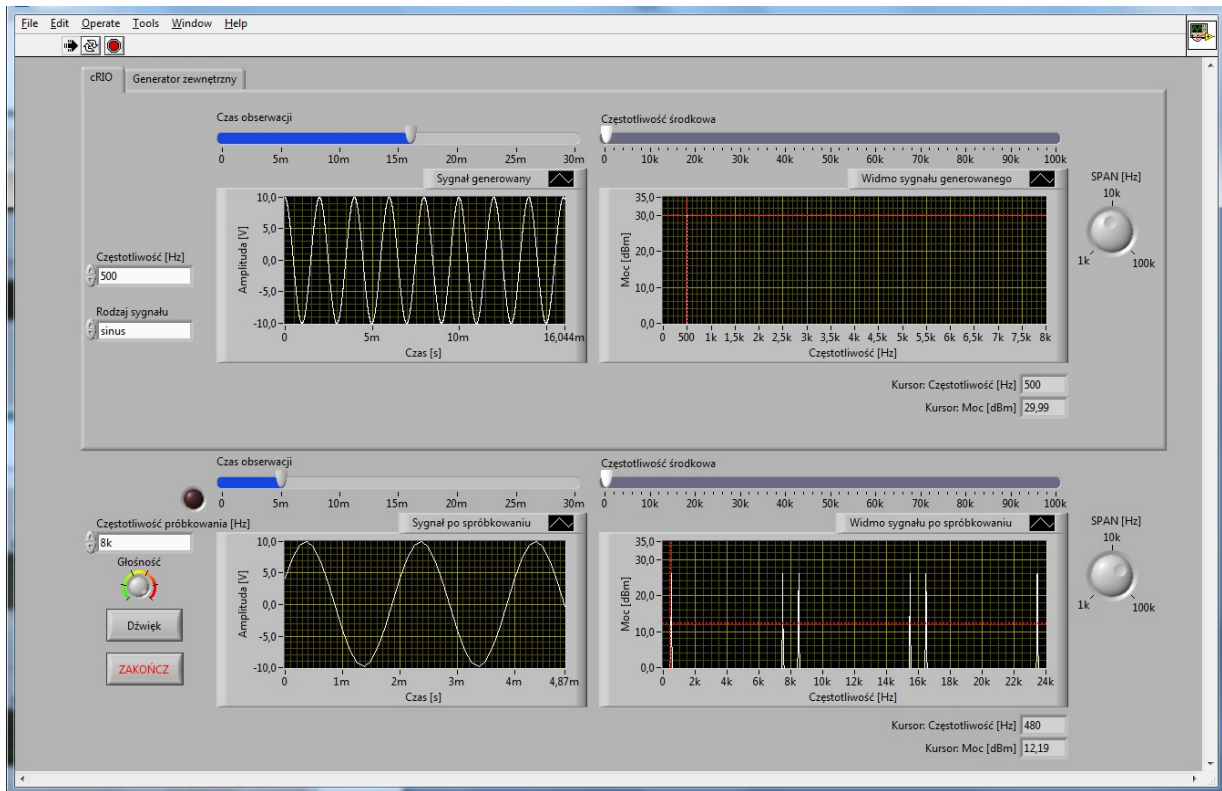
W protokole z ćwiczenia nie należy przerysowywać wykresów z ekranu komputera i oscyloskopu, chyba że jest to wyraźnie zaznaczone w opisie punktu pomiarowego. Należy natomiast podać otrzymane wartości liczbowe oraz udzielić odpowiedzi na pytania zawarte w punktach pomiarowych.

5.1. Badanie zależności kształtu widma od sygnału

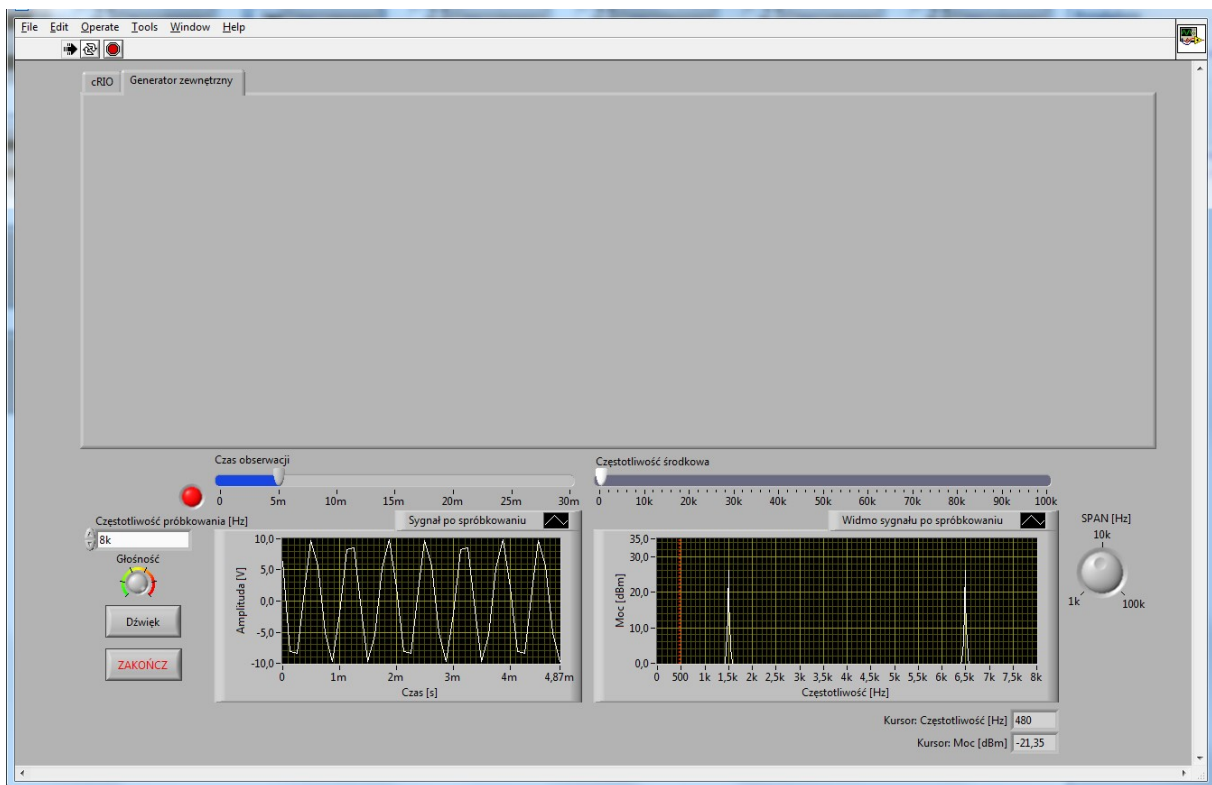
Celem tej części ćwiczenia jest obserwacja sygnału i jego widma oraz sygnału po próbkowaniu i jego widma dla sygnałów o różnych częstotliwościach. W trakcie badań na wejście przetwornika A/C umieszczonego w sterowniku CompactRIO podawany jest sygnał z przetwornika C/A sterownika lub sygnał analogowy z zewnętrznego generatora. Na ekranie komputera oglądany jest efekt próbkowania. Częstotliwość próbkowania jest stała i wynosi 8 kHz. Obserwowane są sygnały sinusoidalne o częstotliwościach 500 Hz, 1,5 kHz, 2,5 kHz oraz 6,5 kHz.

Zadanie 1. Obserwacja sygnału o częstotliwości 500 Hz

- a. Wybrać „sinus” z opcji „Rodzaj sygnału” oraz ustawić częstotliwość 500 Hz.
- b. Ustawić „Częstotliwość próbkowania” na wartość 8 kHz. Dobrać dogodne zakresy obserwacji sygnału generowanego i sygnału po próbkowaniu oraz ich widm.
- c. Wcisnąć przycisk „Dźwięk” i zaobserwować efekt tego działania
- d. Określić liczbę próbek przypadających na jeden okres sygnału analogowego
- e. Czy któreś z obserwowanych widm jest okresowe?
- f. Jeśli tak to jaki jest okres?
- g. Przełączyć źródło sygnału wejściowego na generator zewnętrzny, podłączyć oscyloskop dwukanałowy i powtórnie wykonać powyższe polecenia.

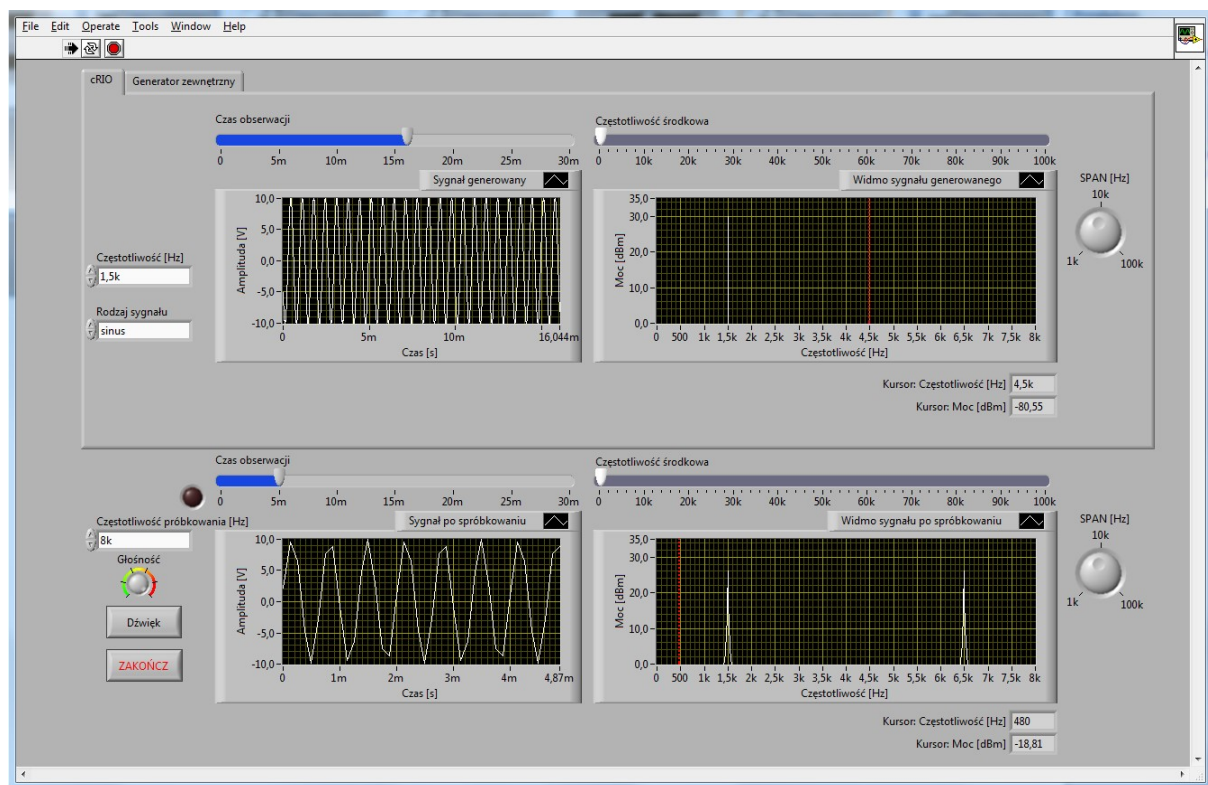


Rys. 3. Widok panelu w trakcie badania sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 500 Hz.



Rys. 4. Widok panelu w trakcie badania sygnału z generatora zewnętrznego.

Zadanie 2. Obserwacja sygnału o częstotliwości 1,5 kHz

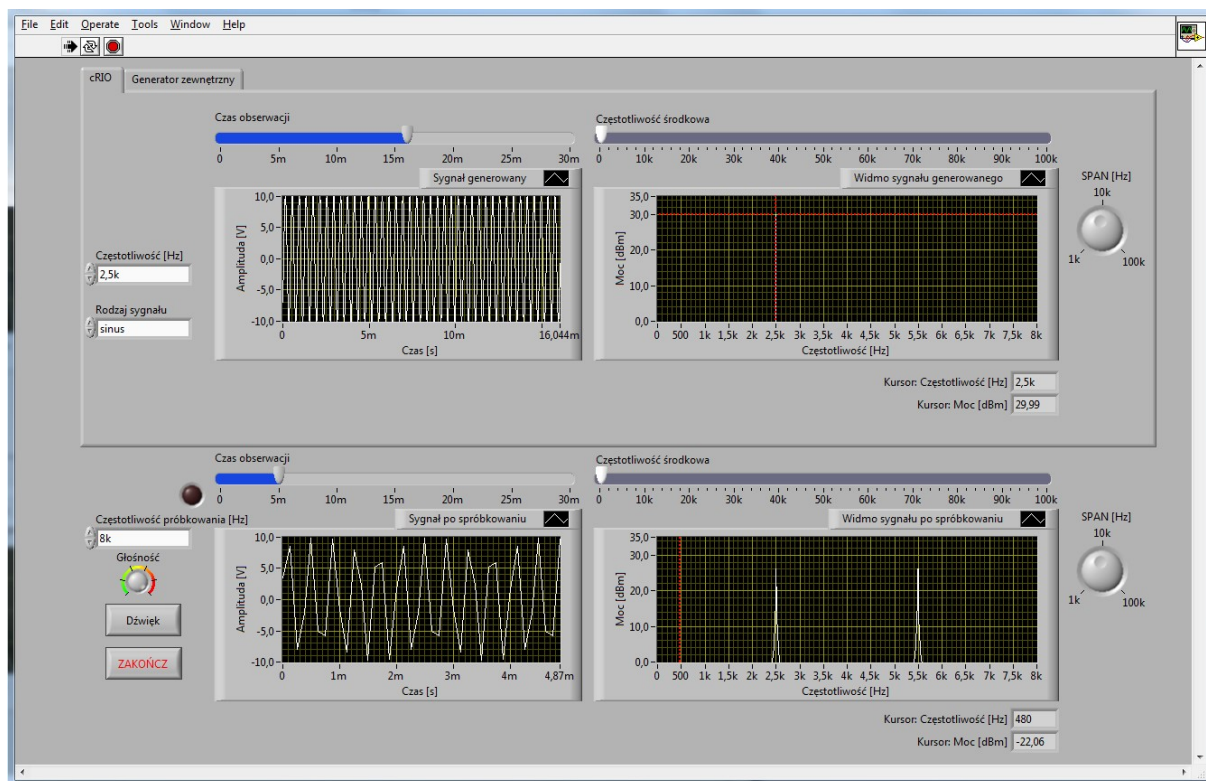


Rys. 5. Widok panelu w trakcie badania sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 1,5 kHz.

- Ustawić częstotliwość 1,5 kHz.
- Dobrać dogodny zakres obserwacji sygnału generowanego i sygnału po próbkowaniu oraz ich widm.
- Wcisnąć przycisk „Dźwięk” i zaobserwować efekt tego działania
- Określić liczbę próbek przypadających na jeden okres sygnału analogowego
- Co można powiedzieć o sygnale na wyjściu przetwornika A/C?
- Czy któreś z obserwowanych widm jest okresowe?
- Jeśli tak to jaki jest okres?
- Przełączyć źródło sygnału wejściowego na generator zewnętrzny, podłączyć oscyloskop dwukanałowy i powtórnie wykonać powyższe polecenia.

Zadanie 3. Obserwacja sygnału o częstotliwości 2,5 kHz

- Zmienić częstotliwość generowanego sygnału na 2,5 kHz.
- Dobrać dogodny zakres obserwacji sygnału generowanego i sygnału po próbkowaniu oraz ich widm.
- Wcisnąć przycisk „Dźwięk” i zaobserwować efekt tego działania
- Określić liczbę próbek przypadających na jeden okres sygnału analogowego
- Co można powiedzieć o sygnale na wyjściu przetwornika A/C?
- Dlaczego sygnał dyskretny swoim „wyglądem” mało przypomina sygnał wejściowy?

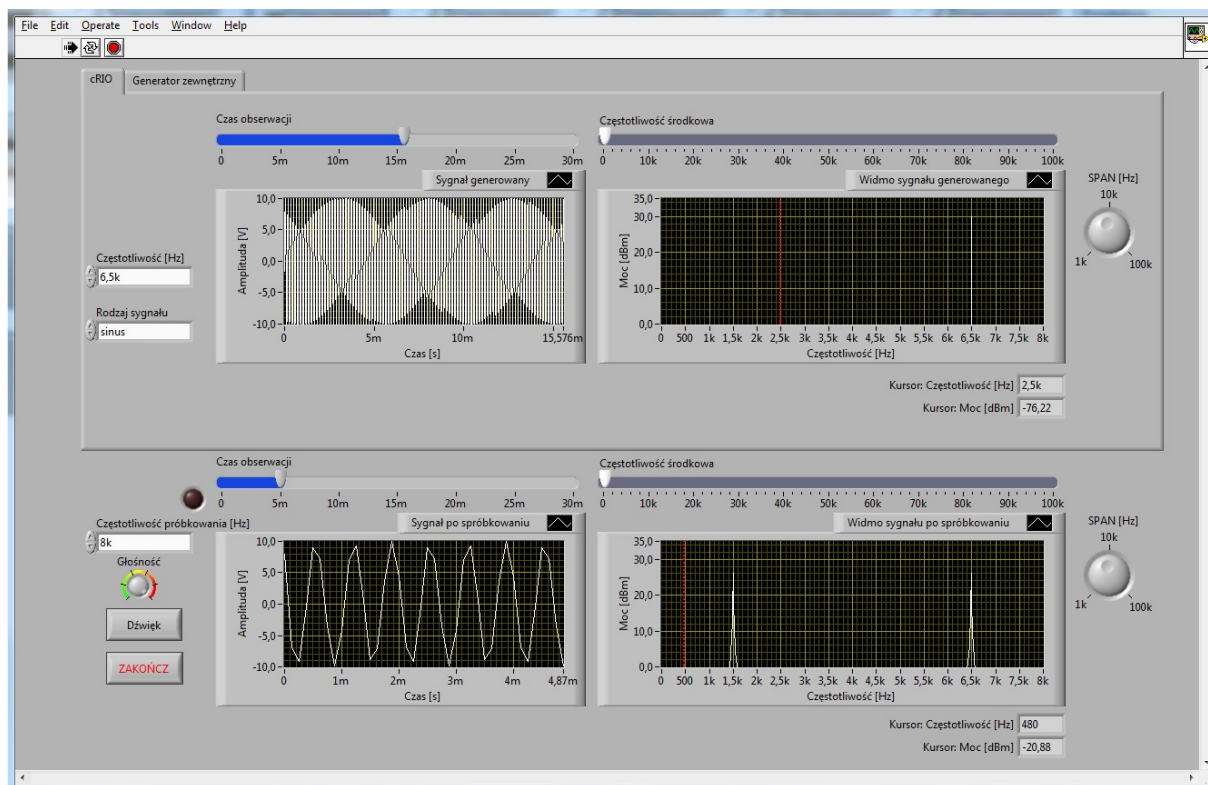


Rys. 6. Widok panelu w trakcie badania sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 2,5 kHz.

- Czy w jakiś sposób zmieniła się amplituda prążków sygnału próbkowanego przy częstotliwości 2,5 kHz w stosunku do sygnałów o częstotliwości 500 Hz i 1,5 kHz?
- Przełączyć źródło sygnału wejściowego na generator zewnętrzny, podłączyć oscyloskop dwukanałowy i powtórnie wykonać powyższe polecenia.

Zadanie 4. Obserwacja efektów przy próbkowaniu powyżej częstotliwości Nyquista

- Zmienić częstotliwość generowanych sygnałów na 6,5 kHz.
- Zaobserwować sygnały i ich widma.
- Jaki efekt jest obserwowany?
- Jaki jest okres sygnału wejściowego?
- Jaki jest „okres” sygnału próbkowanego?
- Porównać ww okresy.
- Jaka jest częstotliwość najsilniejszego prążka sygnału próbkowanego? (porównać z zadaniem domowym).
- Czy widoczne jest zjawisko aliasingu?
- Przełączyć źródło sygnału wejściowego na generator zewnętrzny, podłączyć oscyloskop dwukanałowy i powtórnie wykonać powyższe polecenia.



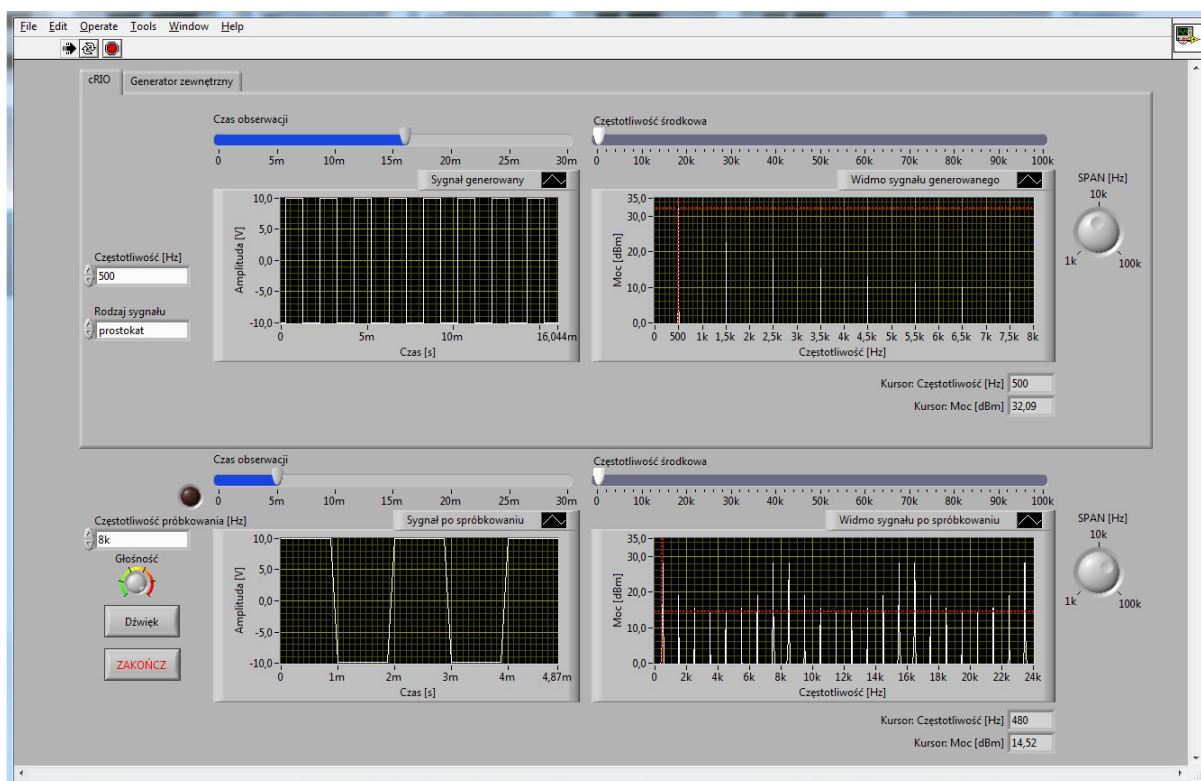
Rys. 7. Widok panelu w trakcie badania sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 6,5 kHz.

5.2. Badanie zjawiska aliasingu oraz efektów stroboskopowych

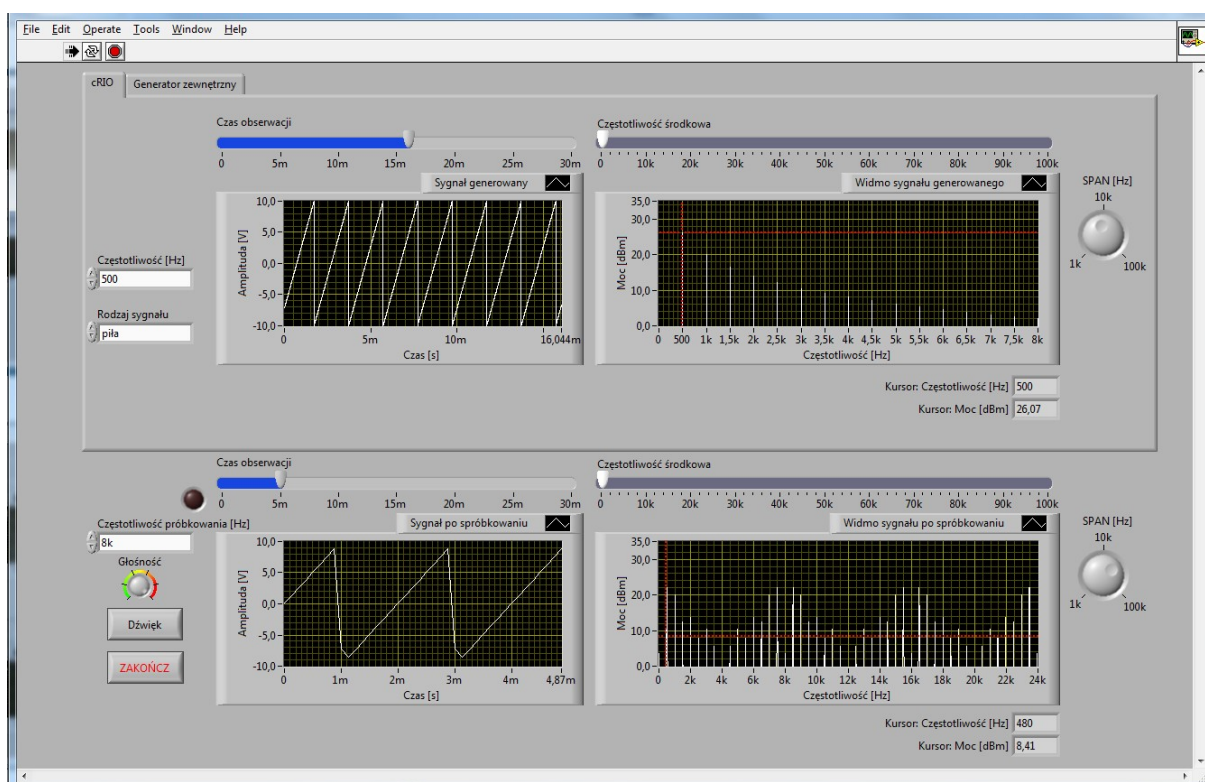
Celem tej części ćwiczenia jest badanie na przykładzie przetwarzania sygnału problemów związanych z próbkowaniem - zjawiska aliasingu oraz efektu stroboskopowego. W trakcie badań na wejście przetwornika A/C podawany jest sygnał prostokątny, piłokształtny lub trójkątny. Uzyskany sygnał na wyjściu przetwornika A/C jest odsłuchiwany i obserwowane jest jego widmo. Zmieniana jest częstotliwość próbkowania przetwornika i częstotliwość badanego sygnału oraz badane jest w jaki sposób relacje między tymi częstotliwościami wpływają na otrzymywane widmo sygnału po próbkowaniu.

Zadanie 5. Obserwacja sygnałów o złożonym widmie

- Wybrać „prostokąt” z opcji „Rodzaj sygnału” oraz ustawić częstotliwość 500 Hz.
- Ustawić „Częstotliwość próbkowania” na wartość 8 kHz. Dobrać dogodny zakres obserwacji sygnału generowanego i sygnału po próbkowaniu oraz ich widm.
- Wcisnąć przycisk „Dźwięk” i zaobserwować efekt tego działania
- Określić liczbę próbek przypadających na jeden okres sygnału analogowego
- Czy któreś z obserwowanych widm jest okresowe?
- Jeśli tak to jaki jest okres?
- Powtórzyć obserwacje po wybraniu z opcji „Rodzaj sygnału” sygnału piłokształtnego.

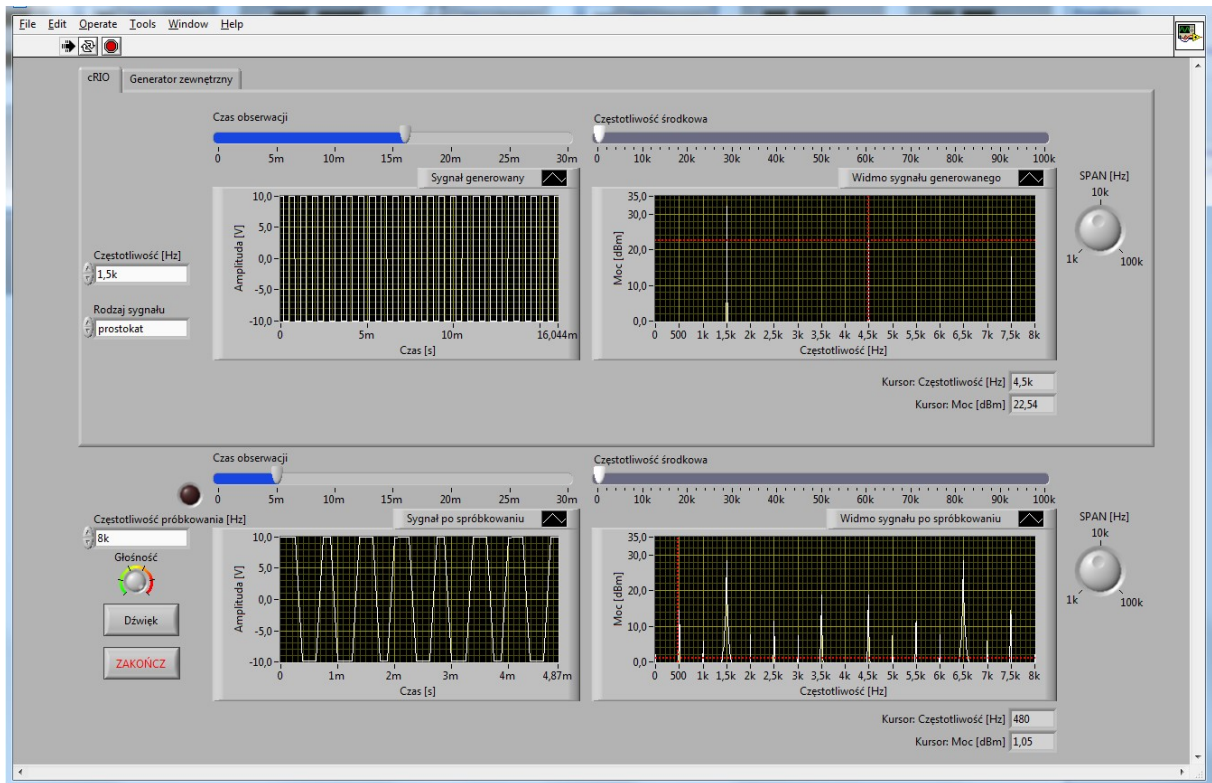


Rys. 8. Widok panelu w trakcie badania sygnału prostokątnego o częstotliwości 500 Hz.

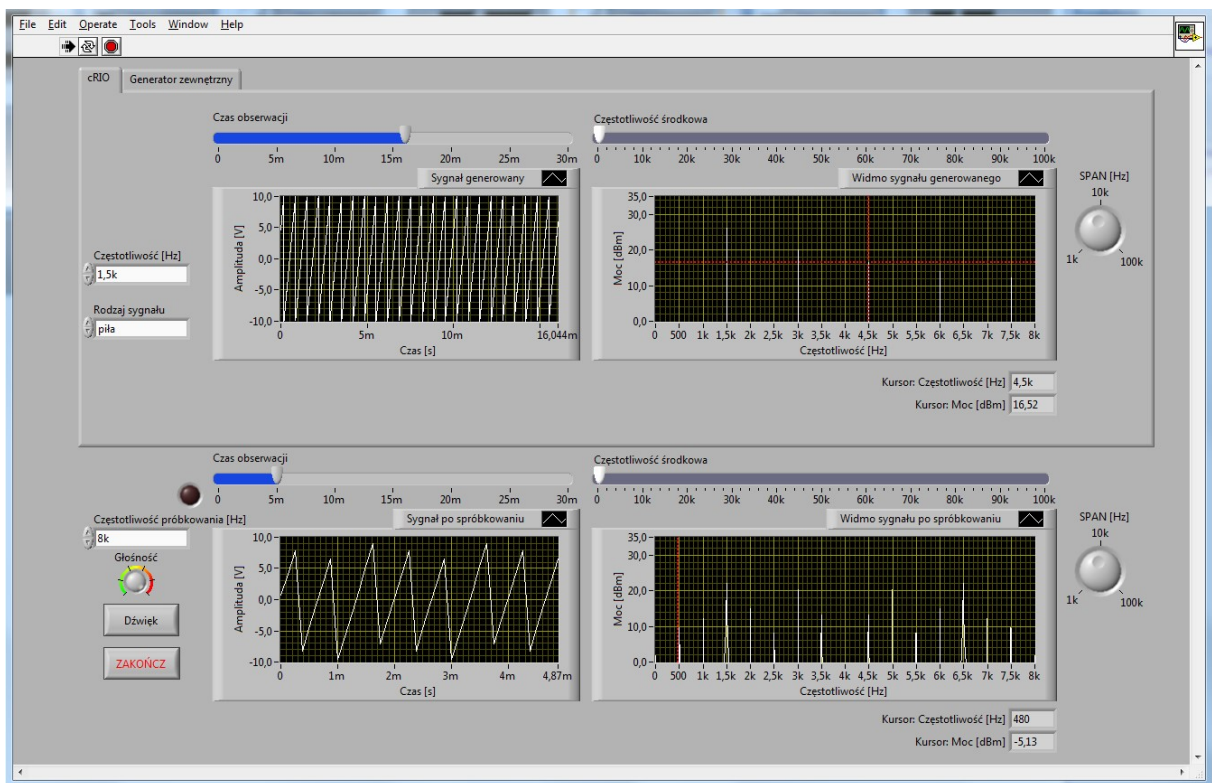


Rys. 9. Widok panelu w trakcie badania sygnału piłokształtnego o częstotliwości 500 Hz.

h. Powtórzyć obserwacje po ustawieniu częstotliwości sygnału wejściowego na wartość 1,5 kHz.

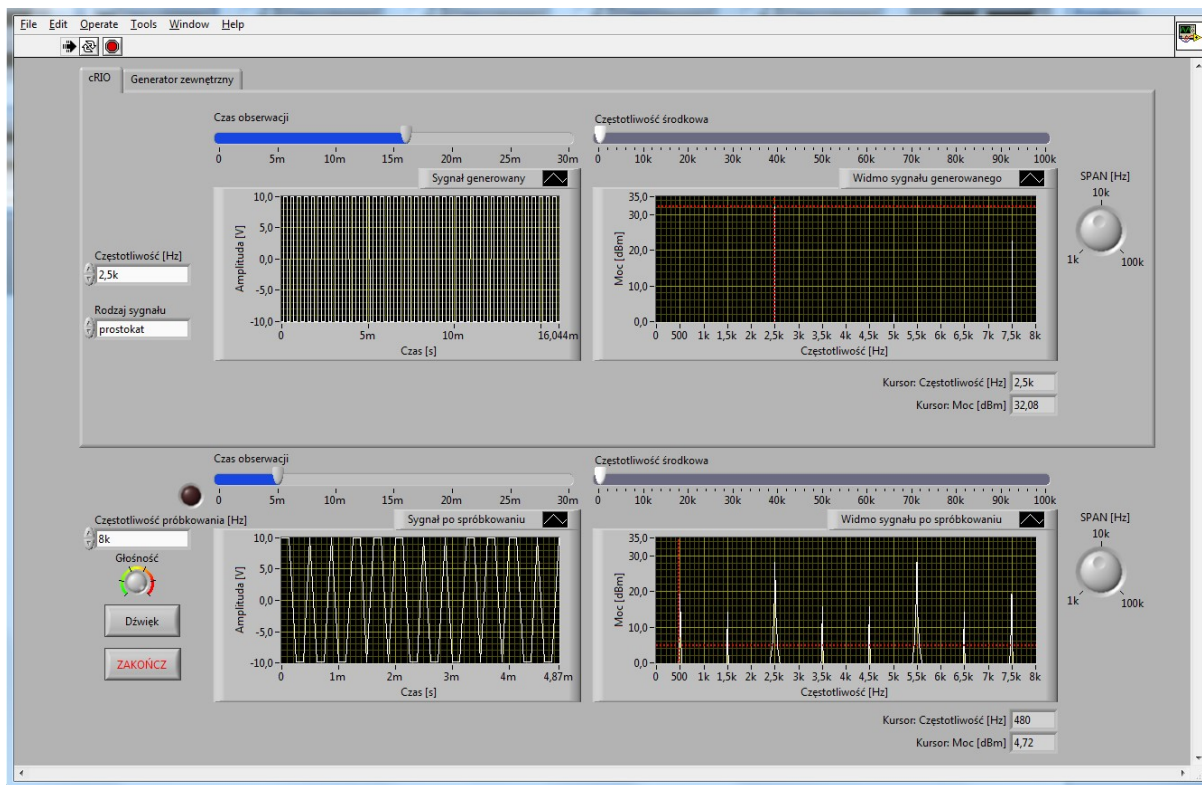


Rys. 10. Widok panelu w trakcie badania sygnału prostokątnego o częstotliwości 1,5 kHz.

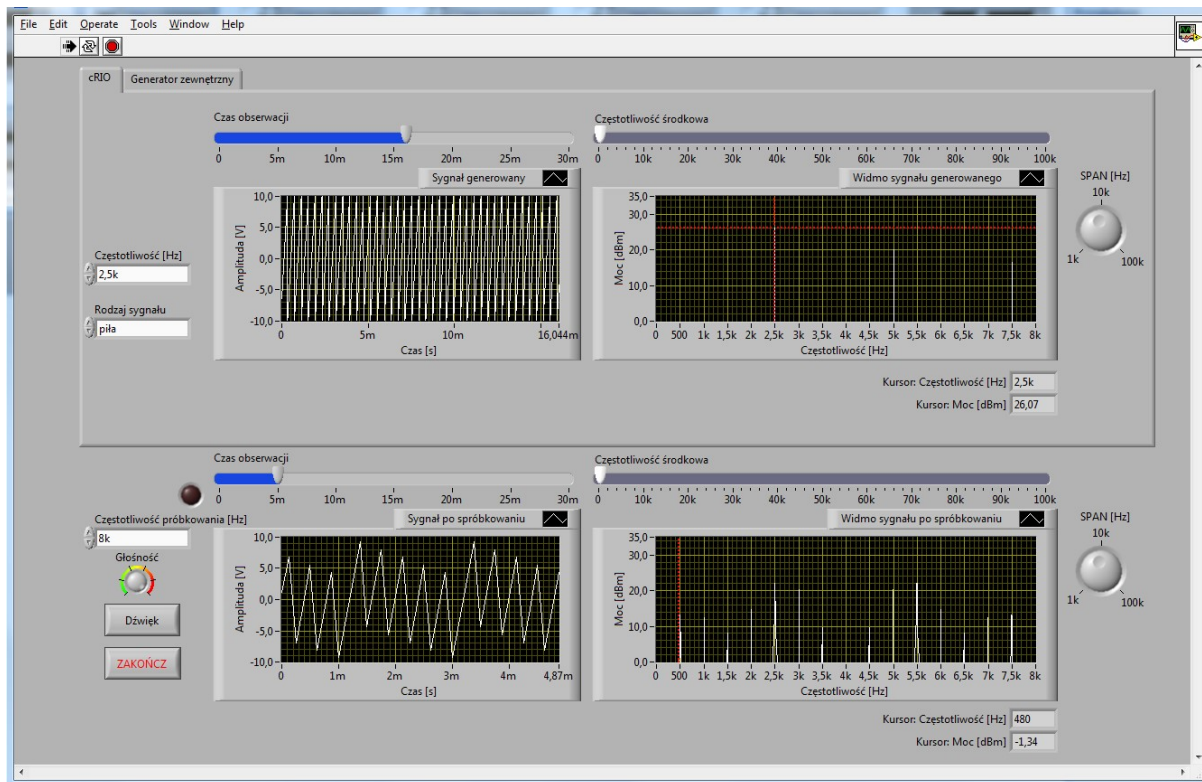


Rys. 11. Widok panelu w trakcie badania sygnału trójkątnego o częstotliwości 1,5 kHz.

- i. Powtórzyć obserwacje po ustawieniu częstotliwości sygnału wejściowego na wartość 2,5 kHz.

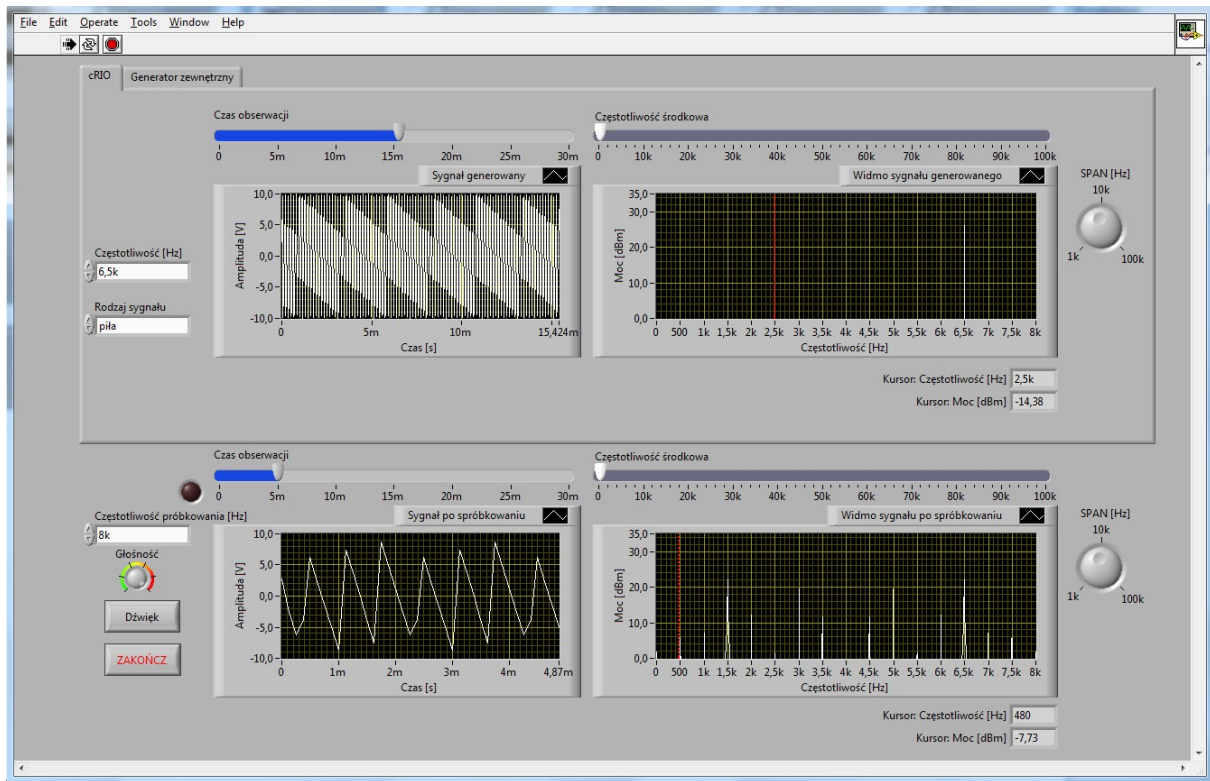


Rys. 12. Widok panelu w trakcie badania sygnału prostokątnego o częstotliwości 2,5 kHz.

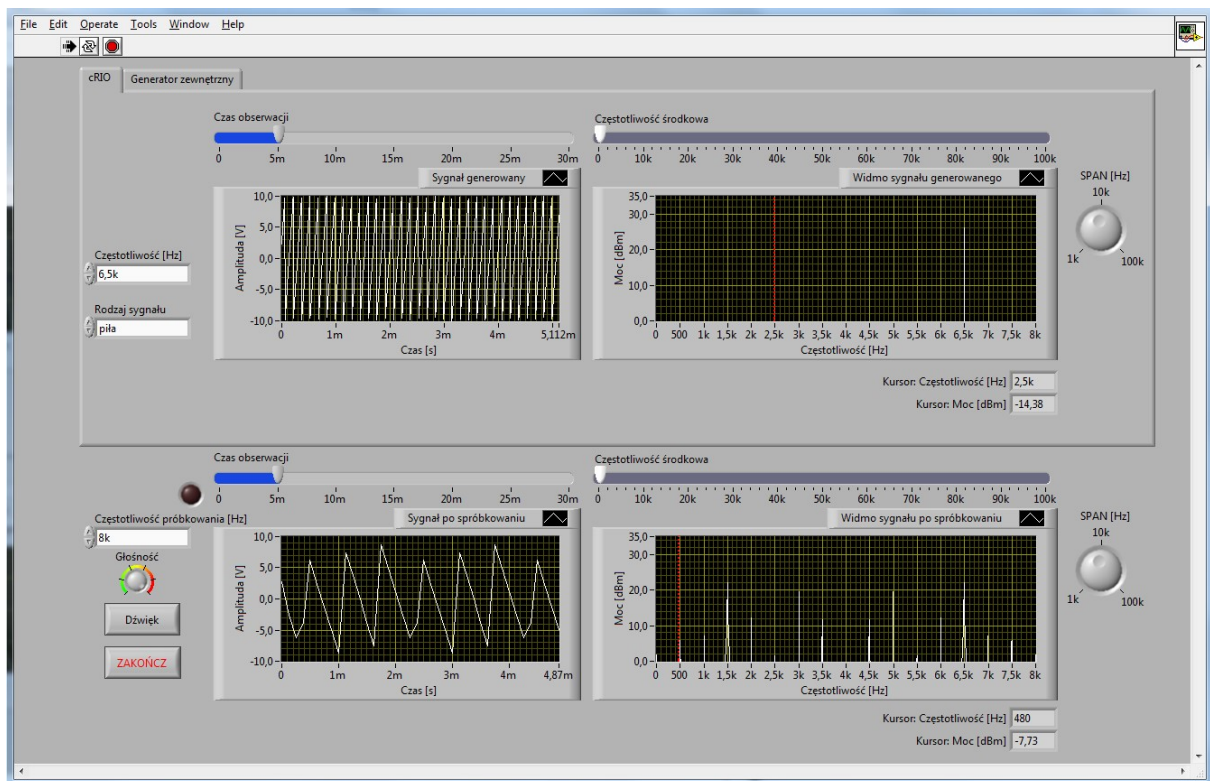


Rys. 13. Widok panelu w trakcie badania sygnału piłokształtnego o częstotliwości 2,5 kHz.

- j. Powtórzyć obserwacje po ustawieniu częstotliwości sygnału wejściowego na wartość 6,5 kHz.

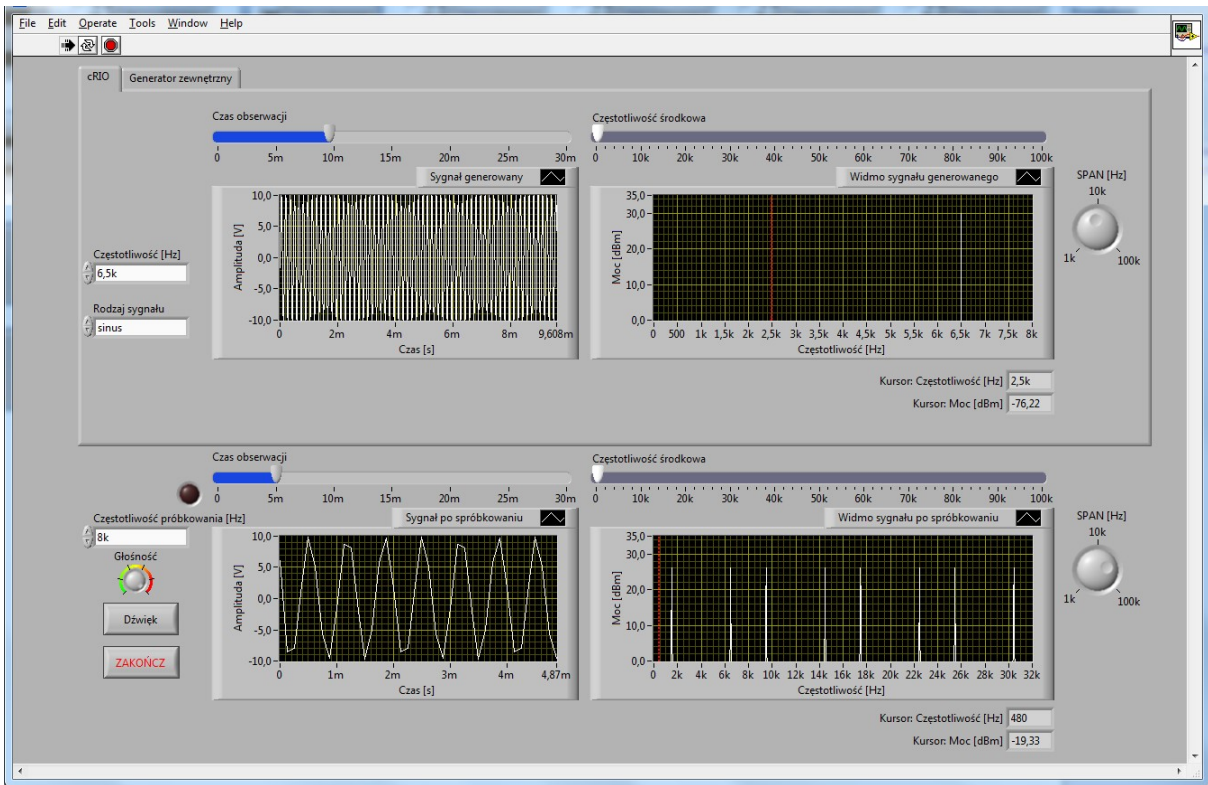


Rys. 14. Panel z sygnałem piłokształtnym o częstotliwości 6,5 kHz i długim czasem obserwacji.

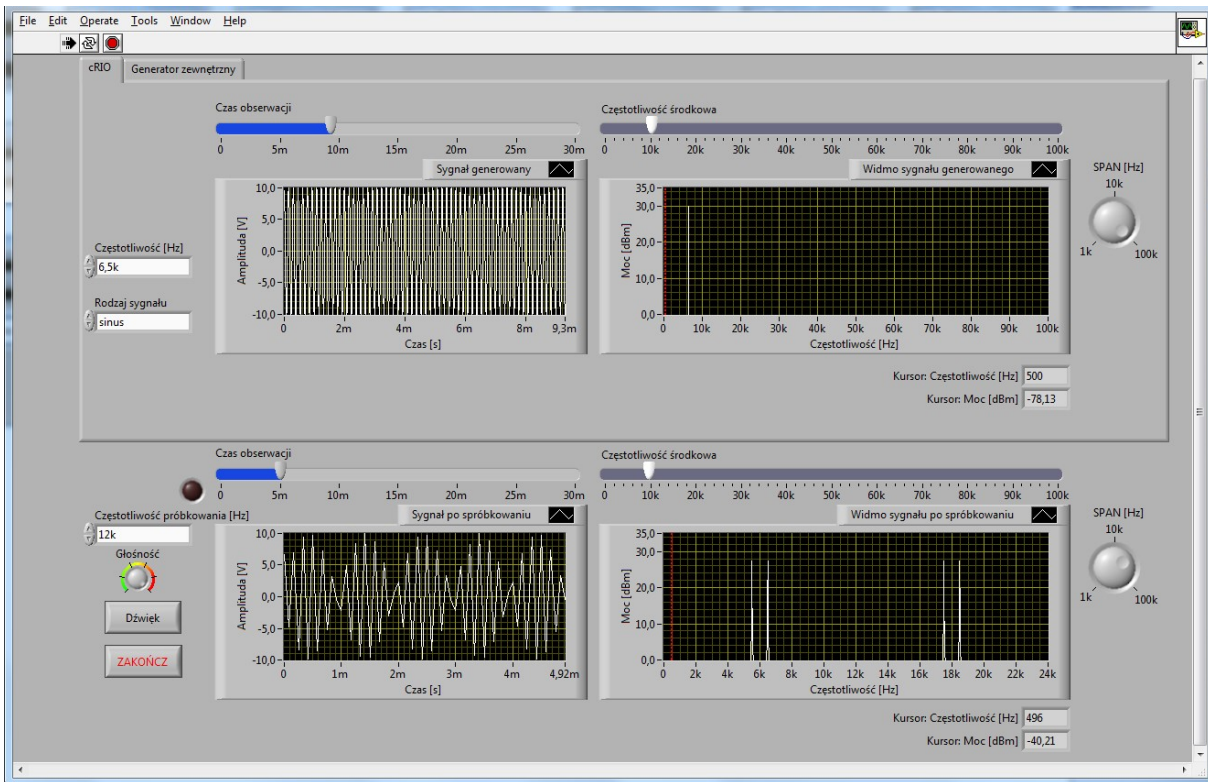


Rys. 15. Panel z sygnałem piłokształtnym o częstotliwości 6,5 kHz (krótki czas obserwacji).

Zadanie 6. Badanie wpływu częstotliwości próbkowania na widmo sygnału po próbkowaniu.

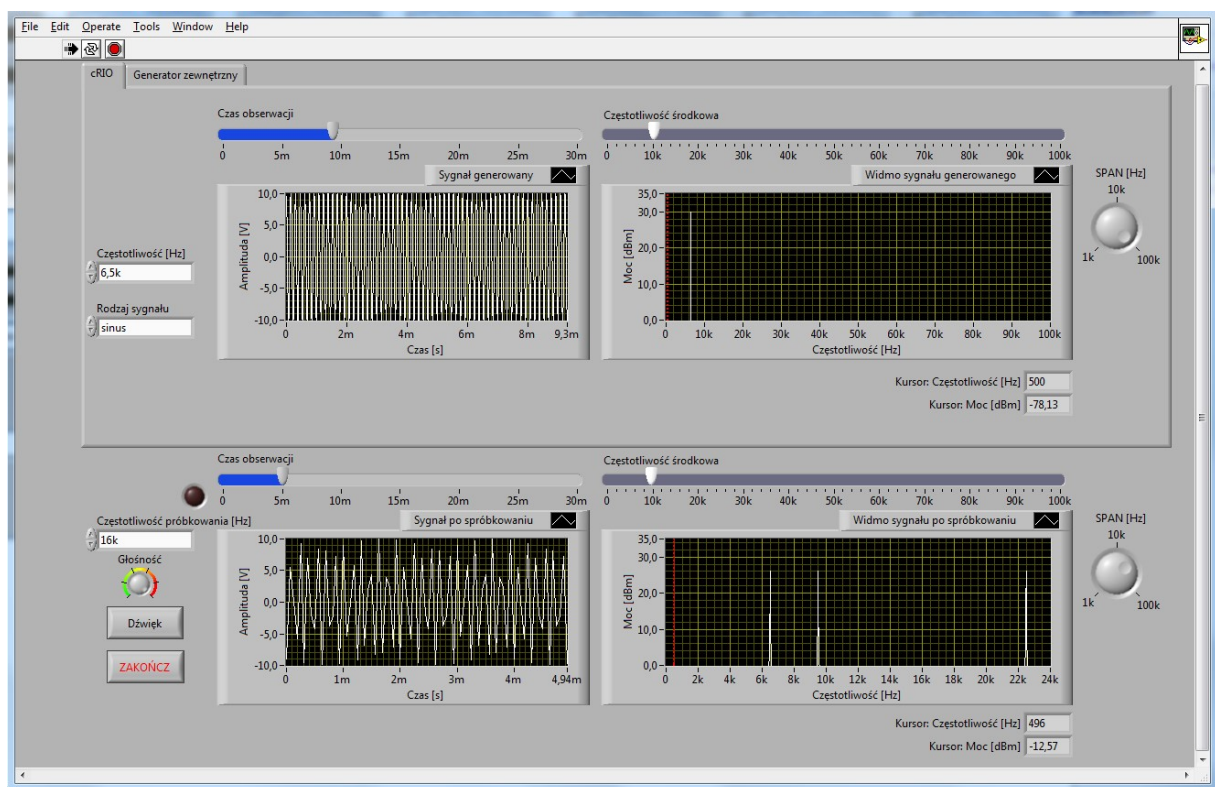


Rys. 16. Panel z sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 6,5 kHz z próbkowaniem 8 kHz.



Rys. 17. Panel z sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 6,5 kHz z próbkowaniem 12 kHz.

- Ustawić częstotliwość sygnału na określoną wartość (np. 6.5 kHz dla sinusoidy).
- Zmieniać częstotliwość próbkowania.
- Zaobserwować zmianę kształtu sygnału po próbkowaniu i jego widma.
- Kiedy daje się zaobserwować efekt stroboskopowy.
- Czy daje się zaobserwować zjawisko aliasingu?
- Jaka jest minimalna częstotliwość próbkowania, aby prawidłowo odtworzyć sygnał?
- Ustawić częstotliwość próbkowania na 8 kHz.
- Na wejście przetwornika A/C podać sumę dwóch sygnałów sinusoidalnych (dołączyć dwa generatory).
- Na jednym z nich ustawić częstotliwość 1 kHz, na drugim zmieniać częstotliwość w zakresie 0-8 kHz.
- Opisać obserwowane efekty.
- Co dzieje się z widmem sygnału po próbkowaniu przy ustawieniu na drugim generatorze częstotliwości w zakresie 4,5-5,5 kHz.



Rys. 18. Panel z sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 6,5 kHz z próbkowaniem 16 kHz.

Zadanie 7. Próbkowanie sygnału akustycznego

- Uruchomić radiomagnetofon podając sygnał na tor przetwarzania (częstotliwość próbkowania 48 kHz).
- Porównać brzmienie sygnału bez przetwarzania i sygnału przetworzonego.

- c. Określić szerokość widma sygnału akustycznego.
- d. Napisać i uzasadnić jaka powinna być minimalna częstotliwość próbkowania.
- e. Zmieniać częstotliwość próbkowania (zmniejszać) aż do momentu usłyszenia wyraźnych zniekształceń.
- f. Jaka jest teraz częstotliwość próbkowania? Jakie wystąpiły efekty? Jak zmieniło się widmo sygnału?
- g. Jaka jest minimalna częstotliwość próbkowania, przy której jakość sygnału jest wystarczająca dla przesyłania mowy, muzyki?

6. LITERATURA

- [1].Praca zbiorowa pod redakcją Jacka Wojciechowskiego: *Sygnały i systemy; ćwiczenia laboratoryjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
- [2].J. M. Wojciechowski, *Sygnały i systemy*, WKiŁ, 2008.
- [3].J. Szabatin: *Podstawy teorii sygnałów*, WKiŁ, wyd. 2, Warszawa 1990.
- [4].A. Wojtkiewicz: *Elementy syntezy filtrów cyfrowych*, WNT, Warszawa 1984.