

*I Konferencja*

*eTechnologies in Engineering Education eTEE'2014*

Politechnika Gdańska, 30 kwietnia 2014

## PRZYRZĄDY WIRTUALNE W NAUCZANIU CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW

Dariusz ŚWISULSKI

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel.: 58 3471397 e-mail: d.swisulski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Artykuł rozpoczyna się wyjaśnieniem pojęcia przyrządu wirtualnego oraz opisem narzędzi do przygotowania takich przyrządów. Następnie przedstawiono szereg przykładów przyrządów wirtualnych, pozwalających w prosty sposób na zapoznanie z działaniem algorytmów przetwarzania sygnałów. Opisano przyrządy wirtualne do zapoznania ze zjawiskiem aliasingu, oknami czasowymi i wyglądającymi, działaniem filtrów w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz analizą czasowo-częstotliwościową i falkową.

**Słowa kluczowe:** przyrząd wirtualny, cyfrowe przetwarzanie sygnałów.

### 1. WSTĘP

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów jest stosunkowo trudnym działem nauki i techniki, wymagającym od studentów wcześniejszego dobrego opanowania matematyki.

Dlatego w celu łatwiejszego zrozumienia działania funkcji przetwarzania sygnałów, studenci kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki PG, w ramach laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów, wykorzystują do tego celu przyrządy wirtualne. Pozwalają one na symulowanie dowolnych sygnałów i ich przetwarzanie zgodnie z zadanymi algorytmami. Obserwując efekty tego przetwarzania, mogą łatwiej zapamiętać te działania.

### 2. PRZYRZĄDY WIRTUALNE

Pojęcie „wirtualny” (ang. *virtual*, z łac. *virtualis* – możliwy) oznacza coś, co nie istnieje w danej formie w rzeczywistości, ale z punktu widzenia użytkownika spełnia daną rolę z wykorzystaniem innych środków niż tradycyjne [1]. Obecnie, zgodnie z hasłem w „Słowniku wyrazów obcych” [2] określenie „wirtualny” związane z techniką komputerową: „istniejący jedynie na ekranie i w pamięci komputera lub w sieci komputerowej, ale bardzo realistyczny lub zachowujący się jak w rzeczywistości”.

Wśród różnych rzeczy „wirtualnych” są również przyrządy wirtualne, stanowiące połączenie sprzętu pomiarowego z komputerem ogólnego przeznaczenia, których obsługa realizowana jest przez panel symulowany na ekranie komputera.

Również programy przygotowane w środowisku LabVIEW firmy National Instruments nazywane są przyrządami wirtualnymi (*Virtual Instruments*) [3].

### 3. NARZĘDZIA DO PRZYGOTOWANIA PRZYRZĄDÓW WIRTUALNYCH

Do programowania systemów pomiarowych często wykorzystuje się środowiska graficzne. Do najczęściej używanych środowisk graficznych należy LabVIEW firmy National Instruments.

W odróżnieniu od klasycznych języków programowania, w których program złożony jest z poleceń umieszczonych w kolejnych wierszach, LabVIEW wykorzystuje graficzny język programowania. Program tworzony jest w postaci diagramu, na którym poszczególne operacje, przedstawiane w postaci symboli, łączone są zgodnie z kierunkiem przepływu sygnałów. W programie takim realizacja sprzętowa pewnych funkcji zastąpiona jest odpowiednim oprogramowaniem wykonywanym przez komputer. Dotyczy to głównie obsługi przyrządu oraz realizacji algorytmów przetwarzania sygnałów. Pozwala to na łatwą modyfikację i szybkie dostosowywanie go do wymagań użytkownika. Można w prosty sposób rozbudowywać algorytmy przetwarzania i analizy sygnałów oraz sposoby prezentacji wyników pomiarów.

Gotowe programy mogą być przygotowane jako pliki exe, do uruchomienia których nie jest potrzebne środowisko LabVIEW. Mogą być również uruchamiane zdalnie przez Internet. Dlatego w prosty sposób mogą być udostępniane studentom w celu zapoznania się z działaniem różnych algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów.

### 4. PRZYKŁADY PRZYRZĄDÓW WIRTUALNYCH

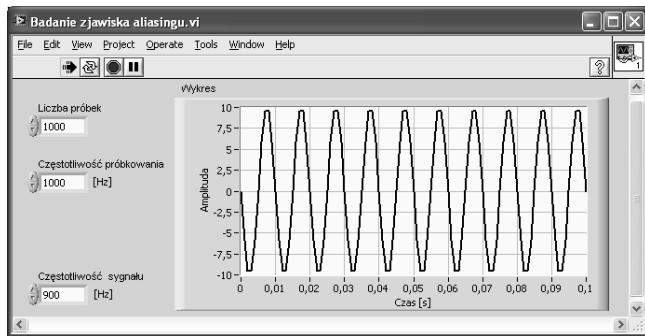
#### 4.1. Badanie wpływu aliasingu

Aliasing powoduje nieprawidłowe odtworzenie częstotliwości mierzonego sygnału przy zbyt małej częstotliwości próbkowania.

Do zademonstrowania wpływu aliasingu można wykorzystać program, który umożliwia określenie częstotliwości odtworzonego sygnału  $f_p$ , spróbkowanego ze stałą częstotliwością próbkowania [4].

Symulację można wykonać dla różnych wartości zadanej częstotliwości sygnału  $f$ , częstotliwości próbkowania  $f_s$  i liczby próbek  $N$ .

Częstotliwość  $f_p$  określamy jako stosunek liczby  $k$  okresów zliczonych na wykresie w przedziale czasu  $\tau$  do szerokości tego przedziału:  $f_p = k/\tau$ . Czas  $\tau$  odczytujemy z osi wykresu.



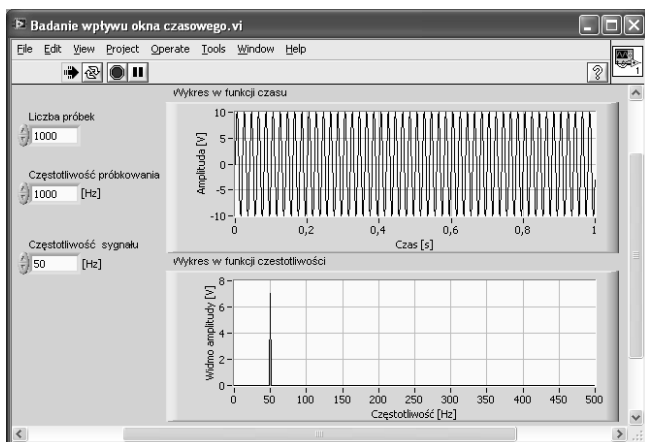
Rys. 1. Panel programu do badania alisingu z przebiegiem sygnału dla  $f = 900$  Hz i  $f_s = 1000$  Hz

Przebieg na rysunku 1 został uzyskany dla  $f = 900$  Hz i  $f_s = 1000$  Hz. Z wykresu można odczytać  $k = 10$  i  $\tau = 0,1$  s. Stąd częstotliwość  $f_p = k/\tau = 10/0,1$  1/s = 100 Hz została odtworzona nieprawidłowo. Wynika to z tego, że częstotliwość sygnału  $f$  jest większa od połowy częstotliwości próbkowania  $f_s/2 = 500$  Hz.

#### 4.2. Dobór okna czasowego

Dobór okna czasowego ma ważne znaczenie dla rozdzielczości częstotliwościowej i amplitudowej w analizie częstotliwościowej sygnałów. Zbyt mała rozdzielczość nie pozwoli na rozróżnienie dwóch składowych o zbliżonych częstotliwościach lub dwóch składowych o większej różnicy amplitud.

Na rysunku 2 przedstawiony jest program, którego zadaniem jest zademonstrowanie wpływu okna czasowego na widmo sygnału [4].

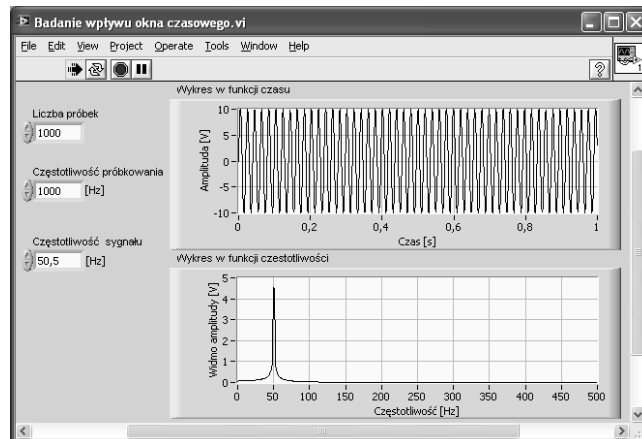


Rys. 2. Panel programu z przebiegiem sygnału w funkcji czasu oraz widmem częstotliwościowym dla  $f = 50$  Hz,  $f_s = 1000$  Hz i  $N = 1000$

Wykresy na rysunku 2 zostały uzyskane dla  $f_s = 1000$  Hz i  $N = 1000$ . Rozdzielczość częstotliwości wynosi  $f_w = f_s/N = 1$  Hz. Szerokość widma wynosi  $f_m = f_s/2 = 500$  Hz.

Przedstawiony program pozwala również na sprawdzenie, jak na kształt i wysokość prążki w widmie częstotliwościowym wpływa to, czy liczba okresów w oknie pomiarowym spróbkowanego sygnału jest całkowita.

Wykresy na rysunku 2 zostały uzyskane dla częstotliwości analizowanego sygnału równej  $f = 50$  Hz. W obszarze okna czasowego znalazło się  $N \cdot f/f_s = 1000 \cdot 50$  Hz/1000 Hz = 50 okresów sygnału. Liczba okresów jest całkowita, dzięki czemu w widmie otrzymujemy pojedynczy, wąski prążek.



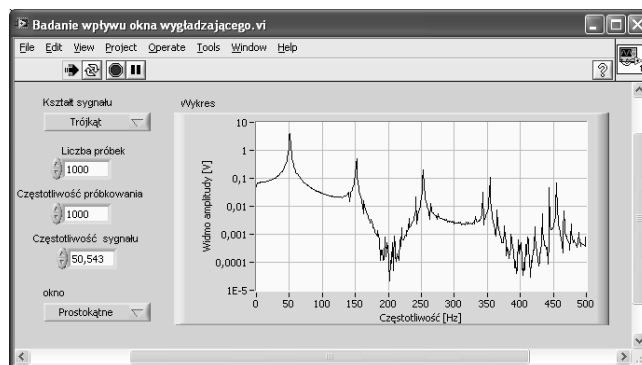
Rys. 3. Panel programu z przebiegiem sygnału w funkcji czasu oraz widmem częstotliwościowym dla  $f = 50,5$  Hz,  $f_s = 1000$  Hz i  $N = 1000$

Wykresy na rysunku 3 zostały uzyskane dla częstotliwości sygnału równej  $f = 50,5$  Hz. W obszarze okna czasowego znalazło się  $N \cdot f/f_s = 1000 \cdot 50,5$  Hz/1000 Hz = 50,5 okresów sygnału. Liczba okresów nie jest całkowita, dlatego występuje zjawisko przenikania, objawiające się widocznym rozmyciem widma.

#### 4.3. Badanie okien wygładzających

Zastosowanie okien wygładzających pozwala na zmniejszenie wpływu przenikania widma, bez konieczności poszerzania okna czasowego. Należy jednak uważać, szczególnie w przypadku, gdy w analizowanym sygnale występują składowe o zbliżonych częstotliwościach, których prążki mogą zostać połączone w jeden. Rodzaj okna często dobierany jest doświadczalnie, jako kompromis między dążeniem do stłumienia listków bocznych i uzyskaniem wąskiego listka głównego. Problem przy doświadczalnym doborze okna wygładzającego wynika z tego, że nie znamy prawdziwego kształtu widma sygnału, dlatego nie wiemy, w jakim stopniu uzyskane widmo jest do niego zbliżone.

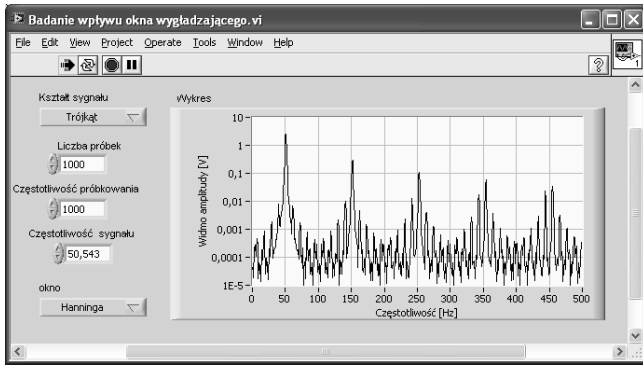
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiony jest panel programu, którego zadaniem jest zademonstrowanie wpływu zastosowanego okna wygładzającego na widmo amplitudy.



Rys. 4. Panel programu z widmem sygnału trójkątnego bez okna wygładzającego

Porównując wykresy na obu rysunkach widać, że zastosowanie okna wygładzającego spowodowało wyraźne zmniejszenie poziomu listków bocznych.

Program pozwala na porównanie widma uzyskanego przy zastosowaniu okna prostokątnego oraz okna trójkątnego (Bartletta), Hanninga (Hanna), Hamminga i Blackmana [4].

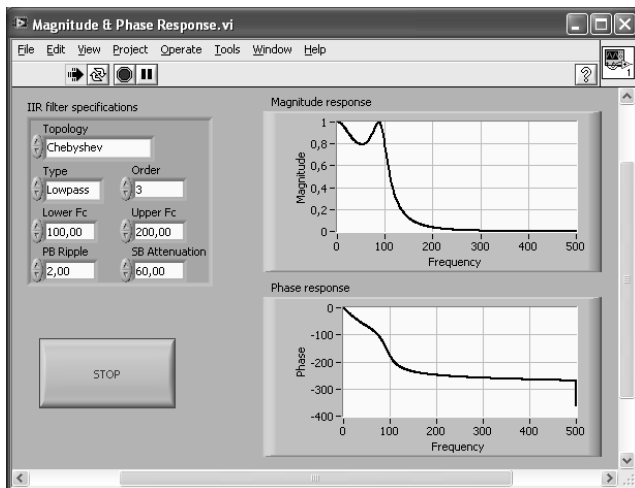


Rys. 5. Panel programu z widmem sygnału trójkątnego z oknem Hanninga

#### 4.4. Charakterystyki częstotliwościowe filtrów

Na rysunku 6 przedstawiony jest panel programu przeznaczonego do sprawdzenia charakterystyk amplitudowych i fazowych filtra o nieskończonej odpowiedzi impulsowej IIR [4].

Program pozwala na zapoznanie z charakterystykami filtrów dla różnych realizacji i różnych parametrów.

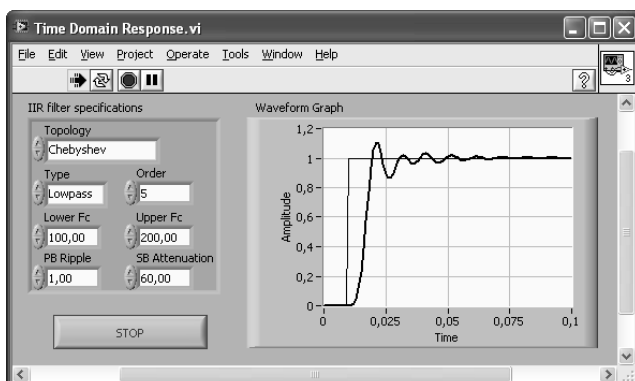


Rys. 6. Panel programu z charakterystyką amplitudową i fazową filtrów

#### 4.5. Odpowiedź filtra na skok jednostkowy

Program, którego panel przedstawiony jest na rysunku 7 pozwala na zapoznanie z odpowiedzią filtra na funkcję skoku jednostkowego w dziedzinie czasu [4].

Program pozwala na wyznaczenie czasu narastania odpowiedzi, czasu ustalania, przerzutu i tętnienia dla różnych realizacji filtra i różnych jego parametrów.

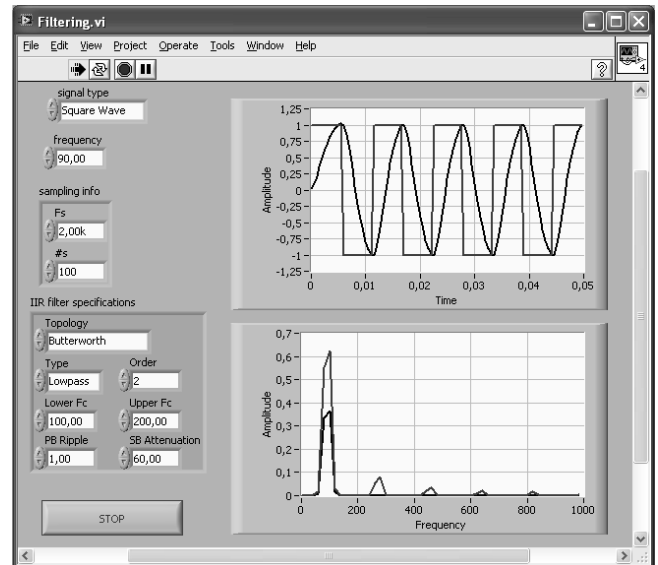


Rys. 7. Panel programu z odpowiedzią filtra na skok jednostkowy

#### 4.6. Badanie działania filtrów

Program, którego panel pokazany jest na rysunku 8, służy do zapoznania się z działaniem filtrów [4].

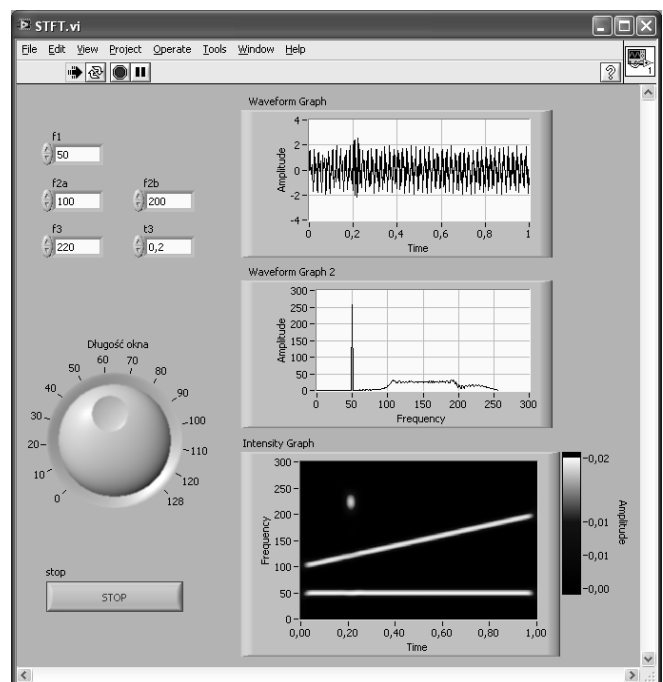
Wykresy na panelu programu przedstawiają przebieg sygnału w dziedzinie czasu na wejściu filtra i jego wyjściu oraz widmo częstotliwościowe sygnału również na wejściu i wyjściu filtra. Program pozwala na sprawdzenie działania różnych rodzajów filtrów (Butterwortha, Czebyszewa, eliptycznego, Bessela), różnych typów (dolnoprzepustowego, górnoprzepustowego, pasmowoprzepustowego, pasmowozaporowego), wpływu zadanego rzędu filtra oraz wpływu nastawionej wartości dolnej i górnej częstotliwości granicznej. W programie można zadawać różne kształty sygnału pobudzającego (sinusoidalny, prostokątny, trójkątny, piłokształtny).



Rys. 8. Panel programu do analizy działania filtrów

#### 4.7. Analiza czasowo-częstotliwościowa

Analiza częstotliwościowa umożliwia określenie składowych występujących w widmie częstotliwościowym.



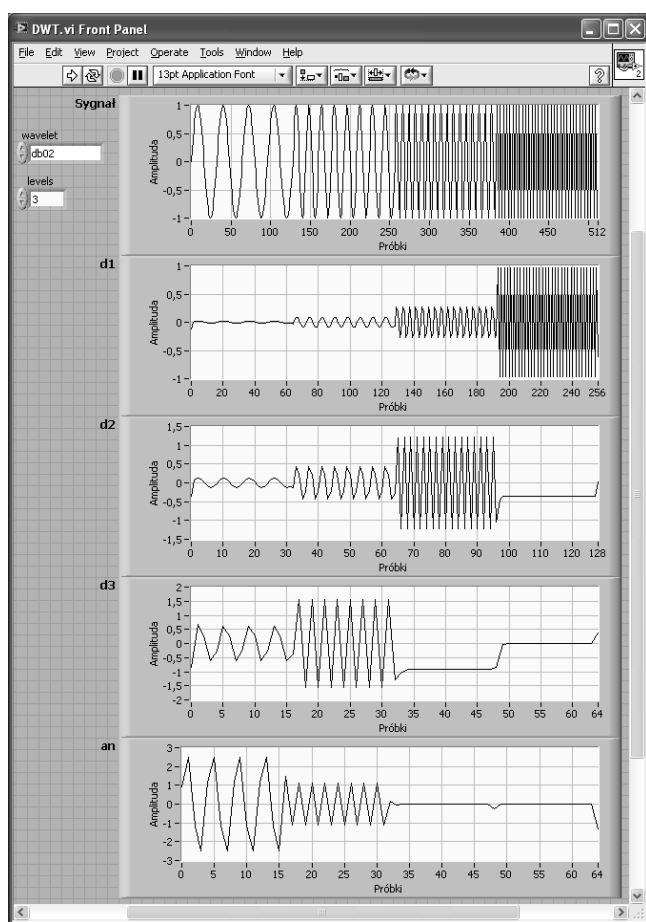
Rys. 9. Panel programu do analizy STFT

Nie pozwala natomiast na analizę sygnałów niestacjonarnych, w których częstotliwości lub amplitudy poszczególnych składowych zmieniają się w czasie. Dla takiego celu można wykorzystać analizę czasowo-częstotliwościową  $t/f$  (JTFA – *Joint Time-Frequency Analysis*).

Panel programu służący do zapoznania z działaniem analizy czasowo-częstotliwościowej wykonanej według algorytmu krótkookresowej transformaty Fouriera (STFT – *Short-Time Fourier Transform*) pokazany jest na rysunku 9 [4, 5].

Program pozwala na sprawdzenie dla różnych częstotliwości generowanego sygnału wpływu długości okna czasowego na wyniki analizy czasowo-częstotliwościowej.

#### 4.8. Analiza falkowa



Rys. 10. Panel programu do analizy falkowej

Analiza falkowa jest wykonywana w praktyce za pomocą zespołu filtrów. Na wyjściu filtra dolnoprzepustowego otrzymuje się składowe wolnozmiennne sygnału (tzw. aproksymacja), natomiast na wyjściu filtra górnoprzepustowego składowe odzwierciedlające szybkie zmiany w sygnale (tzw. detal).

Otrzymana w wyniku przedstawionego procesu aproksymacja może ponownie podlegać rozdzielaniu na dwie składowe.

Przedstawiony na rysunku 10 program pozwala na zapoznanie z wynikami analizy falkowej dla sygnału, który skokowo zmienia swoją częstotliwość [4, 5].

Program pozwala na zapoznanie się z wynikami dla 1, 2 i 3 poziomów analizy falkowej. Umożliwia również sprawdzenie, jaki wpływ na wyniki analizy ma rodzaj wybranej falki.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule przyrządy wirtualne pozwalają na praktyczne zapoznanie studentów z działaniem funkcji cyfrowego przetwarzania sygnałów. Należy jednak pamiętać, że pełne wykorzystanie możliwości przetwarzania sygnałów jest dostępne tylko po zapoznaniu i zrozumieniu ich algorytmów. Takie informacje przedstawiane są studentom w ramach wykładów. Dostępna jest do tego celu również bogata literatura, np. [6].

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2005.
2. Słownik wyrazów obcych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
3. Rak R. J.: Wirtualny przyrząd pomiarowy, realne narzędzie współczesnej metrologii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
4. Świsulski D.: Przykłady cyfrowego przetwarzania sygnałów w LabVIEW. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2012.
5. Kehtarnavaz N., Kim N.: Digital Signal Processing. System-Level Design Using LabVIEW. Elsevier 2005.
6. Zieliński T. P.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.

### VIRTUAL INSTRUMENT IN TEACHING DIGITAL SIGNAL PROCESSING

The main purpose of the article are virtual instruments used for teaching digital signal processing. At the beginning the paper presents the concept of virtual instrument. Tools for the preparation of such instruments are described, including the LabVIEW graphical programming environment from National Instruments. The author developed a number of virtual instruments which allow to easily to explore with the operation of signal processing algorithms. The author presents virtual instruments to display aliasing, window function, digital filters in time and frequency domain, time-frequency analysis and wavelet.

**Keywords:** virtual instrument, digital signal processing.