

## Wykorzystanie sprzętu NI w laboratorium cyfrowego przetwarzania sygnałów

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zarys programu ćwiczeń laboratoryjnych, realizowanych z wykorzystaniem zestawu dydaktycznego ELVIS II (National Instruments) oraz nakładki DATEx (firmy Emona), w ramach przedmiotu Podstawy teorii sygnałów. Obserwacja wybranych zjawisk i pomiar większości badanych przez studentów parametrów odbywa się na ekranie komputera za pomocą wirtualnych przyrządów pomiarowych, w środowisku LabVIEW. Dzięki tym przyrządom wiele złożonych obliczeniowo pomiarów, np. analiza widmowa czy wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych, przeprowadza się automatycznie i bardzo szybko, co jest szczególnie istotne podczas zajęć laboratoryjnych.

**Abstract.** In this article the curriculum of signal theory lab tasks, with the use of National Instruments ELVIS II and Emona DATEx board, has been outlined. The selected phenomena as well as the measurements of most parameters can be followed on the computer screen via virtual instruments in LabVIEW. Hence, a lot of complex measurements such as spectral analysis or determining frequency response are automatic and really fast, which is particularly important during lab classes. (**Employing NI equipment in the digital signal processing laboratory.**)

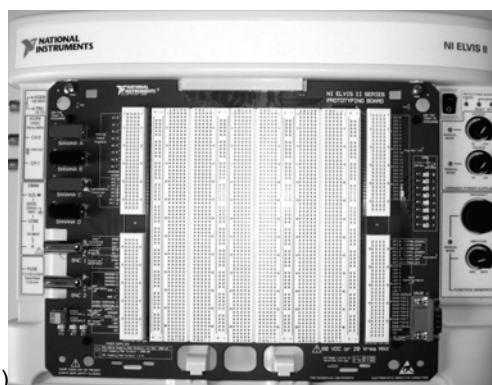
**Słowa kluczowe:** National Instruments, NI ELVIS II, Emona DATEx, LabVIEW, wirtualne przyrządy pomiarowe, cyfrowe przetwarzanie sygnałów.

**Keywords:** National Instruments, NI ELVIS II, Emona DATEx, LabVIEW, virtual instruments, digital signal processing.

### Wprowadzenie

National Instruments (w skrócie NI) jest producentem i jednocześnie światowym liderem w konstrukcji i dystrybucji specjalizowanych systemów kontrolno-pomiarowych, w tym oprogramowania, które znajdują szerokie zastosowanie w automatyce przemysłowej. Oprócz urządzeń do zastosowań w przemyśle, NI oferuje również sprzęt laboratoryjny przeznaczony do celów dydaktycznych. Flagowym przyrządem jest tu zestaw pomiarowy NI ELVIS II (ang. *educational laboratory virtual instrumentation suite*) o szerokim spektrum zastosowań. System ELVIS II można uznać za komputerową, zewnętrzną kartę pomiarową [1] z licznymi wejściami/wyjściami do wyboru użytkownika, wśród nich: 8 różnicowych wejść analogowych, 2 wyjścia analogowe, 2 wejścia oscyloskopowe (BNC), 2 standardowe wejścia multimetru, 24 wejścia/wyjścia cyfrowe (TTL), niezależne wyjście z generatora sygnałów oraz 5 wyjść z wbudowanego zasilacza. Szczegółowy opis parametrów systemu został już przedstawiony przez autorów w [2]. Choć niektóre parametry graniczne mogą wydawać się niewygórowane (np. zakresy dopuszczalnych napięć), to jednak wyraźną zaletą jest 16-bitowa rozdzielczość przetworników analogowo-cyfrowych, znaczna liczba kanałów pomiarowych, jak również duży wybór źródeł zasilania, w tym napięć symetrycznych regulowanych niezależnie, co zwiększa uniwersalność systemu. W podstawowej wersji zestaw ELVIS II jest wyposażony w nakładkę uniwersalną (rys. 1) przeznaczoną do montażu i testowania prototypowych obwodów elektronicznych, ale dostępne są również bardziej zaawansowane nakładki, przykładowo: Freescale – do układów mikroprocesorowych, czy FOTEx – do badania systemów światłowodowych.

Interesującą nakładką o dużej skali integracji jest płyta Emona DATEx (ang. *digital analog telecommunications experimenter*), ukierunkowana na zagadnienia telekomunikacyjne. Autorzy z powodzeniem wykorzystują ją jednak w programie ćwiczeń laboratoryjnych w przedmiocie *Podstawy teorii sygnałów*. Nakładka Emona DATEx (rys. 1) obejmuje ponad dwadzieścia modułów funkcyjnych, które w odpowiednich konfiguracjach umożliwiają prowadzenie wielu rozmaitych doświadczeń i badań w zakresie tematyki tego przedmiotu.



a)



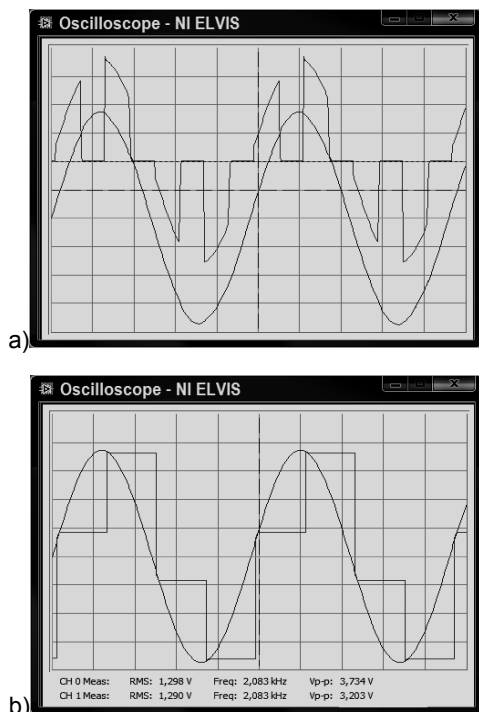
b)

Rys.1. Zestaw NI ELVIS II z nakładką uniwersalną a) oraz nakładką Emona DATEx b)

Wśród modułów funkcjonalnych płyty Emona DATEx wymienić warto:

- generator sygnałów wzorcowych (2,083kHz; 8,333kHz; 100kHz / TTL, sin.:  $U_{wy}=4V_{pp}$ ),
- generator funkcyjny (5MHz, 10Vpp) z wejściem VCO oraz wyjściem synchronizującym,
- generator sekwencji z kodem liniowym NRZ, RZ-AMI, Manchester ( $L=31$  lub 255 bitów),
- generator pary impulsów o regulowanych parametrach ( $W=5...40\mu s$ ;  $Del=40...300\mu s$ ),

- generator szumu quasi-białego ( $B \approx 240\text{kHz}$ ;  $U_{wy} = 4,8\text{Vrms}$ ) z tłumikami ( $-6\text{dB}$ ;  $-20\text{dB}$ ),
- dwa sumatory, w tym jeden z regulacją wzmacnienia w kanałach ( $G = 0 \dots -2$ ;  $B \approx 600\text{kHz}$ ),
- trzy układy mnożące sygnały ze składową stałą lub bez ( $k \approx 0,5$ ;  $B \approx 600\text{kHz}$ ),
- analogowe układy kluczujące, w tym próbkująco-pamiętający ( $U_{we} < 4\text{Vpp}$ ;  $\text{CLK} < 100\text{kHz}$ ),
- 8-bitowy liniowy koder PCM z wyjściem szeregowym ( $U_{we} < 5\text{Vpp}$ ;  $\text{CLK} < 128\text{kHz}$ ),
- 8-bitowy liniowy dekodek PCM z wejściem szeregowym ( $U_{wy} < 4\text{Vpp}$ ;  $\text{CLK} < 128\text{kHz}$ ),
- przestrajalny filtr dolnoprzepustowy 8. rz., Caiera ( $f_{gr} = 0,2 \dots 12\text{kHz}$ ;  $R < 0,5\text{dB}$ ;  $G = 0 \dots 1,6$ ),
- filtr kanałowy 6. rzędu o charakterystyce Czebyszewa ( $f_{sr} = 100\text{kHz}$ ;  $B/2 = \pm 9\text{kHz}$ ;  $R = 0,1\text{dB}$ ),
- filtr dolnoprzepustowy 4. rzędu o charakterystyce Butterwortha ( $f_{gr} = 1,65\text{kHz}$ ;  $G = 0,9$ ),
- pasywny filtr dolnoprzepustowy RC ( $f_{gr} = 2,6\text{kHz}$ ),
- przesuwnik fazowy ze skokową i płynną regulacją (dla sygnałów o  $f = 2\text{kHz}$  oraz  $100\text{kHz}$ ),
- komparator sygnałów analogowych ( $B \approx 100\text{kHz}$ ;  $T_r = 0,5\mu\text{s}$ ;  $U_{wy} = \text{TTL}$ ),
- precyzyjny prostownik półfalowy ( $B \approx 100\text{kHz}$ ),
- moduł z mikrofonem elektretowym i przedwzmacniaczem ( $U_{wy} = 0,6\text{Vrms}$ ;  $B = 0,5 \dots 3\text{kHz}$ ),
- wzmacniacz słuchawkowy z regulacją głośności ( $G = 0,2 \dots 10$ ;  $P = 125\text{mW}$ ; wy: jack 3,5mm),
- moduł wejść/wyjść analogowych - po dwa kanały ( $Z_{we} > 10\text{G}\Omega \parallel 100\text{pF}$ ;  $R_{wy} = 330\Omega$ ),
- moduł wejść/wyjść cyfrowych - po cztery kanały ( $R_{we} = 50\text{k}\Omega$ ;  $R_{wy} = 47\Omega$ ),
- demultiplexer dwuwyjściowy, bipolarny ( $U_{wy} = \pm 2\text{V}$ ;  $\text{CLK} < 100\text{kHz}$ ).



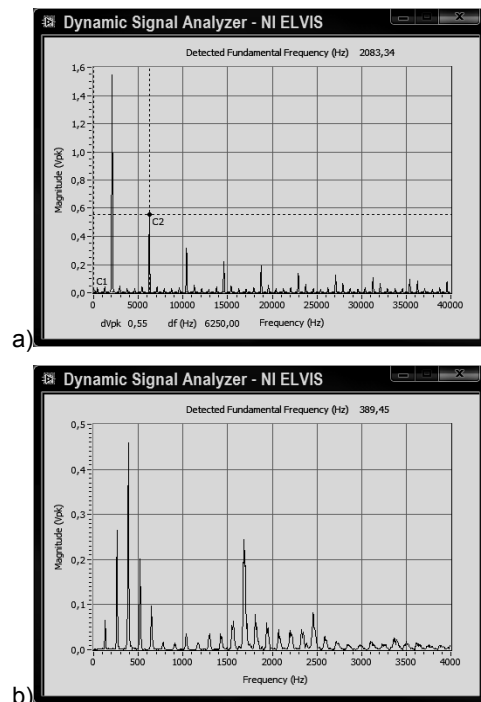
Rys.2. Próbkowanie sygnału sinusoidalnego: naturalne a) oraz typu sample&hold b)

Sterowanie systemem oraz prowadzenie pomiarów odbywa się za pomocą przyrządów wirtualnych w środowisku NI LabVIEW (ang. *laboratory virtual*

*instrumentation engineering workbench*) [3, 4, 5]. Producent przewidział łącznie kilkanaście predefiniowanych przyrządów pomiarowych [2, 6]. W kontekście przedmiotów związanych z przetwarzaniem sygnałów na szczególną uwagę zasługują: wirtualny generator funkcyjny, sterujący odpowiednim modułem w nakładce Emona DAtEx, oscyloskop dwukanałowy, analizator charakterystyk Bodego (częstotliwościowych), analizator widma, a także generator sygnałów arbitralnych. W razie potrzeby istnieje również możliwość tworzenia własnych przyrządów wirtualnych w LabVIEW.

### Próbkowanie sygnałów i analiza widmowa

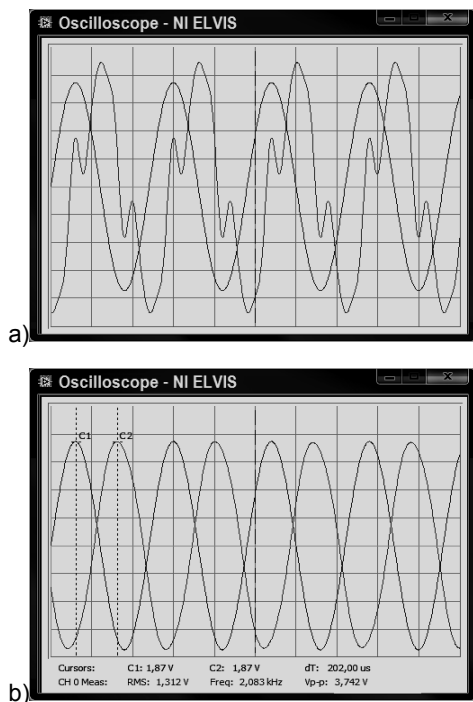
Studenci rozpoczynają program ćwiczeń laboratoryjnych od poznania podstawowych operacji związanych z przetwarzaniem sygnałów. Korzystając z modułu generatora sygnałów wzorcowych, klucza analogowego oraz wirtualnego oscyloskopu, zapoznają się z procesem próbkowania naturalnego oraz typu sample-and-hold (rys. 2). Z kolei dzięki analizatorowi widma mogą równolegle obserwować przetwarzane sygnały w dziedzinie częstotliwości i mierzyć poszczególne składowe za pomocą kursorów (rys. 3). Poza standardowymi sygnałami z generatora, badają też własny sygnał mowy rejestrowany przez moduł z mikrofonem.



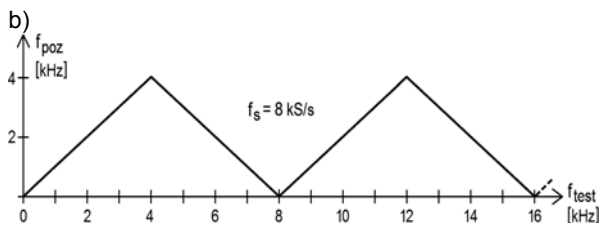
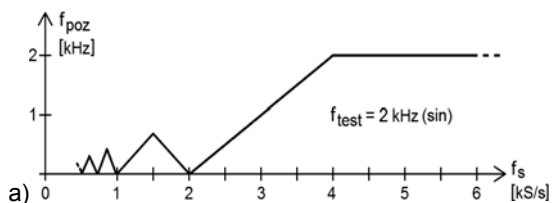
Rys.3. Widmo spróbkowanego sygnału sinusoidalnego a) i widmo samogłoski 'y' b)

### Rekonstrukcja sygnałów spróbkowanych

Sygnały spróbkowane są przywracane do postaci analogowej, tj. ciągłej w czasie oraz względem przyjmowanych wartości, przez przyłączenie filtra dolnoprzepustowego na końcu toru przetwarzania. Wykorzystując moduł z przestrajalnym filtrem dolnoprzepustowym, studenci powoli zmniejszają częstotliwość odcięcia filtra i eliminują wyższe składowe sygnału spróbkowanego, aż do uzyskania sygnału wynikowego zbliżonego do pierwotnego, przed próbkowaniem (rys. 4). Mierzą też opóźnienie wprowadzane przez cały układ.



Rys.4. Rekonstrukcja sygnału sinusoidalnego: nieudana (3 składowe nadmiarowe) a) i udana b)



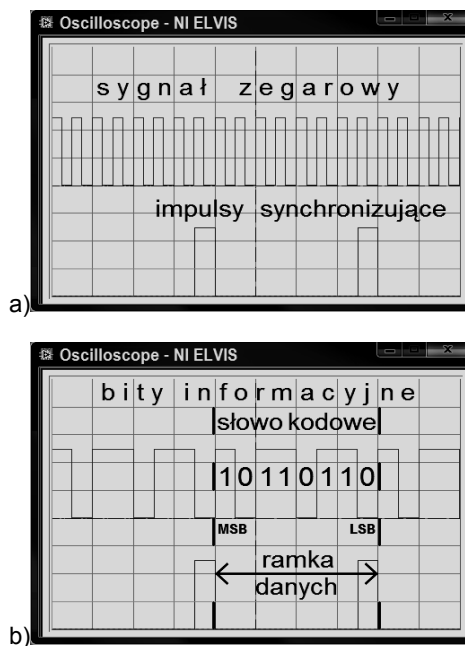
Rys.5. Przebiegi częstotliwości pozornej sygnału sinusoidalnego przy aliasingu (opis w tekście)

### Badanie zjawiska aliasingu

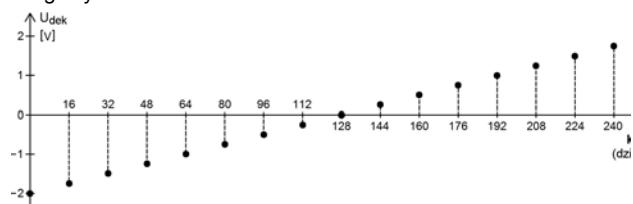
Podczas zajęć studenci mają okazję zapoznać się z problemem aliasingu w sposób doświadczalny. Korzystając z generatora funkcyjnego z płynną regulacją częstotliwości, wcześniej wymienionych modułów, a także modułu wzmacniacza i słuchawek, przeprowadzają eksperymenty akustyczne, polegające na niespełnieniu warunków twierdzenia o próbkowaniu. Badania są prowadzone dwutorowo: poprzez stopniowe zmniejszanie szybkości próbkowania i pomiar częstotliwości pozornej sygnału akustycznego (pierwotnie 2kHz) w funkcji szybkości próbkowania, oraz przez zwiększanie częstotliwości sygnału akustycznego przy stałej szybkości próbkowania (8kS/s) i pomiar częstotliwości pozornej w funkcji rzeczywistej częstotliwości sygnału testowego. Efektem powyższych eksperymentów są dwa wykresy tworzone przez studentów, ilustrujące zjawisko aliasingu (rys. 5).

### Kwantyzacja, kodowanie i dekodowanie sygnałów

Poza dyskretyzacją sygnałów analogowych w czasie, będącą wynikiem próbkowania, studenci zaznajamiają się również z przebiegiem procesu kwantyzacji i kodowania. Do tego celu służy moduł 8-bitowego kodera PCM. Studenci poznają organizację ramki danych (bitów informacyjnych, słów kodowych), rolę sygnału synchronizującego oraz zegarowego (rys. 6). Z pomocą regulowanego płynnie źródła napięcia symetrycznego wyznaczają też podstawowe parametry badanego kodera, takie jak: zakres przetwarzania, poziomy reprezentacji, offset (błąd przesunięcia zera), szerokość kroku kwantowania, czy błąd kwantyzacji. Korzystając z wirtualnego woltomierza, studenci badają także działanie komplementarnego dekodera PCM i wyznaczają jego uproszczoną charakterystykę przetwarzania (co 16. słowo kodowe, rys. 7).



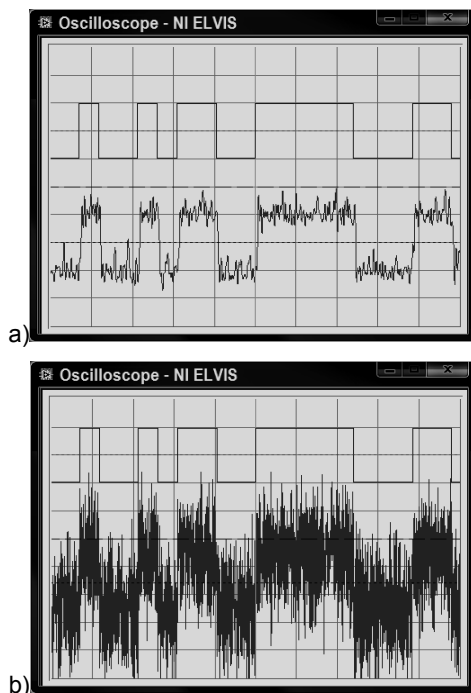
Rys.6. Badanie 8-bitowego liniowego kodera PCM z wyjściem szeregowym



Rys.7. Uproszczona charakterystyka 8-bitowego liniowego dekodera PCM (co 16. słowo kodowe)

### Zaszumienie sygnałów, wyznaczanie snr

W trakcie zajęć przybliża się ponadto problemy związane z negatywnymi zjawiskami obniżającymi jakość sygnałów, przede wszystkim zaszumieniem i zakłóceniami. Korzystając z modułu generatora sekwencji bitów, modułu generatora szumu quasi-białego oraz sumatora, studenci modelują rozmaite sytuacje występujące w rzeczywistych układach elektronicznych bądź systemach transmisyjnych. Analizują przypadki sygnałów w szerszym pasmie (240kHz) jak i węższym (12kHz), przy różnych poziomach szumu (rys. 8). Zapoznają się też z przyjętymi wskaźnikami oceny jakości sygnałów analogowych i cyfrowych w obecności szumu i na podstawie pomiarów przyrządami wirtualnymi wyznaczają parametry SNR w różnych wariantach (tabele 1 i 2).



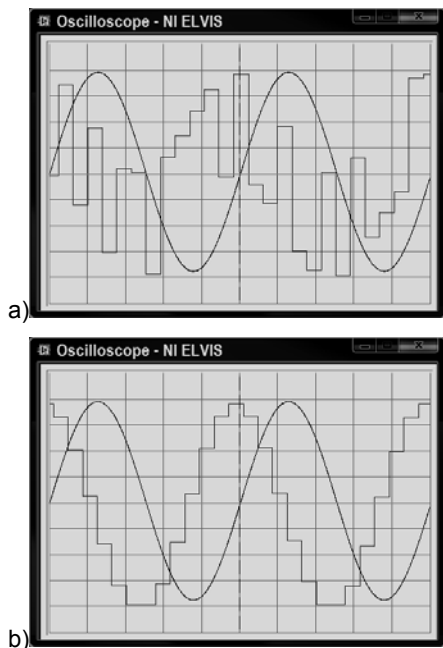
Rys.8. Modelowanie zaszumienia sygnałów cyfrowych (różne poziomy i pasma szumów)

Tabela 1. Przykładowe wyniki pomiarów i obliczeń SNR dla sygnału zaszumionego w pasmie 240kHz

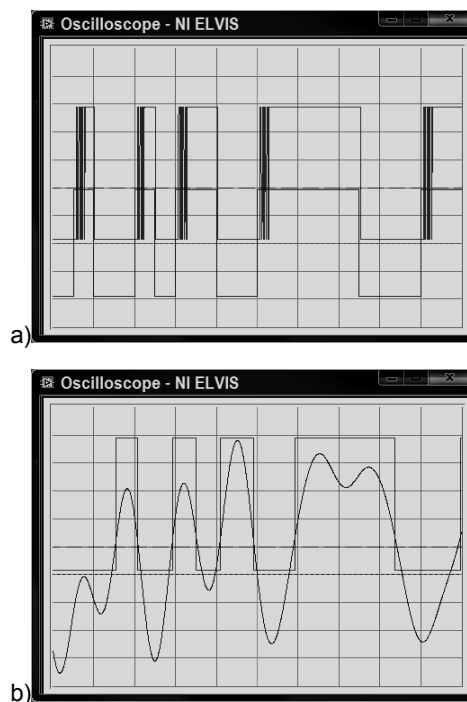
szum	$S_{Vrms}$	$N_{Vrms}$	$SNR_{Vrms}$	$SNR_{Vrms}$	$(S+N)_{Vrms}$	$(S+N)NR$	$(S+N)NR$
[dB]	[V]	[V]	[V/V]	[dB]	[V]	[V/V]	[dB]
-6	1,92	2,31	0,83	-1,62	3,02	1,31	2,35
0	jw.	4,48	0,43	-7,33	4,85	1,08	0,67

Tabela 2. Przykładowe wyniki pomiarów i obliczeń SNR dla sygnału zaszumionego w pasmie 12kHz

szum	$S_{Vrms}$	$N_{Vrms}$	$SNR_{Vrms}$	$SNR_{Vrms}$	$(S+N)_{Vrms}$	$(S+N)NR$	$(S+N)NR$
[dB]	[V]	[V]	[V/V]	[dB]	[V]	[V/V]	[dB]
-6	1,92	0,53	3,62	11,17	2,03	3,83	11,66
0	jw.	1,10	1,75	4,86	2,21	2,01	6,06



Rys.9. Dekodowanie sygnałów na końcu linii transmisyjnej: nieudane a) i udane b)



Rys.10. Dobór napięcia odniesienia komparatora i rekonstrukcja zniekształconego sygnału cyfrowego

### Zniekształcenia sygnałów w kanale transmisyjnym

Symulowane są również zjawiska towarzyszące przesyłaniu sygnałów przez ograniczony pasmowo kanał transmisyjny, co może prowadzić do przekłamań, a nawet całkowitej degradacji sygnału w przypadku skrajnego niedopasowania do właściwości kanału. Studenci modelują tego typu zjawiska z wykorzystaniem modułów kodera i dekodera PCM oraz przestrajalnego filtra dolnoprzepustowego. Badają wpływ zawężenia pasma na dekodowanie sygnałów, analizują ich zniekształcenia na końcu linii transmisyjnej oraz przy wzrastającej szybkości transmisji (rys. 9). Podejmują także próbę rekonstrukcji silnie zniekształconych sygnałów cyfrowych za pomocą komparatora, dobierając odpowiednie napięcie odniesienia (rys. 10).

### Podsumowanie

Zaprezentowane przykłady ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *Podstawy teorii sygnałów* są odzwierciedleniem tylko niektórych możliwości zastosowania zestawu ELVIS II. Szeroka gama dedykowanych nakładek otwiera możliwość prowadzenia prac dyplomowych i zajęć laboratoryjnych z różnych przedmiotów w tej samej sali i przy zminimalizowanych kosztach. Obserwacja przebiegu poszczególnych eksperymentów na ekranie komputera (za pośrednictwem przyrządów wirtualnych) doskonale wpisuje się w obecne trendy i jest z dużym entuzjazmem przyjmowana przez studentów. Awaryjność sprzętu jest niewielka.

Na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej, na kierunku *Automatyka i Robotyka* (studia inżynierskie), a także na specjalności *Systemy Wizyjne* (studia magisterskie), autorzy od kilku już lat z powodzeniem wykorzystują powyższy sprzęt na zajęciach laboratoryjnych z różnych przedmiotów [2, 4, 7]. Z przeprowadzanych okresowo ankiet i rozmów ze studentami wynika, że zdecydowanie bardziej preferują oni ćwiczenia sprzętowe, aniżeli symulacyjne.

**Podziękowania:** Pracę przygotowano w ramach projektu DS-2018/ZUEPS.

**Autorzy:** dr inż. Piotr Kardys, Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań; prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, Politechnika Poznańska, Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań.

#### LITERATURA

- [1] W. Nawrocki, *Komputerowe systemy pomiarowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa (2007)
- [2] P. Kardys, A. Dąbrowski, Badanie transoptorów za pomocą wirtualnych przyrządów pomiarowych w systemie NI ELVIS II, *Przegląd Elektrotechniczny* (2013), nr 10, 90-93
- [3] M. Chruściel, *LabVIEW w praktyce*, Wydawnictwo BTC, Legionowo (2008)
- [4] A. Dąbrowski, A. Meyer et al., Od metrologii do systemów wizyjnych: środowisko NI LabVIEW w laboratoriach naukowych, *Wiadomości Elektrotechniczne* (2011), nr 11, 42-44
- [5] D. Świsulski, *Komputerowa technika pomiarowa - Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW*, Agenda Wydawnicza Pomiary-Automatyka-Kontrola, Warszawa (2005)
- [6] Integrated suite of 12 instruments for hands-on, multidiscipline education, *National Instruments* (2014)
- [7] A. Dąbrowski, P. Pawłowski et al., Wykorzystanie NI LabVIEW, ELVIS II, CompactDAQ i SmartCamera z osprzętem w kształceniu studentów w Pracowni Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów Politechniki Poznańskiej, *National Instruments Academic & Research Days* (2010), 07.1-07.27