

## WYBRANE ZAGADNIENIA Z CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW – PREZENTACJA WITRYNY INTERNETOWEJ

Krystyna Maria NOGA

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87  
Katedra Automatyki Okrętowej, tel: (58) 69 01 471, fax: (58) 69 01 445, e-mail: jagat@am.gdynia.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono opis strony internetowej, która prezentuje wybrane zagadnienia z zakresu cyfrowego przetwarzania sygnałów. Strona ta stanowi pomoc dydaktyczną, która powstała w KAO Akademii Morskiej w Gdyni.

**Słowa kluczowe:** modulacje analogowe i cyfrowe, filtry, przetworniki A/C, C/A.

### 1. WSTĘP

Od dłuższego czasu obserwujemy dynamiczny rozwój cyfrowego przetwarzania sygnałów (ang. DSP, Digital Signal Processing). W programie nauczania studentów Wydziału Elektrycznego specjalności Komputerowe Systemy Sterowania Akademii Morskiej w Gdyni przedmiot ten występuje w semestrze V studiów inżynierskich oraz w I semestrze studiów magisterskich, a dla specjalności Elektroautomatyka w I semestrze studiów magisterskich. Dlatego też w KAO pojawiła się potrzeba stworzenia łatwo dostępnego źródła informacji. Po przeanalizowaniu dostępnych metod przekazywania informacji została podjęta decyzja o stworzeniu witryny internetowej.

W artykule zostanie przedstawiona witryna, która prezentuje wybrane zagadnienia z zakresu DSP. Witryna ta pełni rolę dydaktyczną oraz informacyjną. Zawiera ona między zagadnienia związane z przetwornikami A/C i C/A, modulacjami analogowymi i cyfrowymi, przetwarzaniem obrazów, próbkowaniem, analizą widmową, modelowaniem i oceną jakości transmisji sygnałów w różnych kanałach propagacyjnych, kodowaniem i dekodowaniem sygnałów, filtracją oraz podziałem i charakterystyką sygnałów (wartość średnia, wariancja, wartość średniokwadratowa, rozkład gęstości prawdopodobieństwa, funkcja korelacji). Witryna internetowa oprócz opisów teoretycznych zawiera także schematy, przebiegi oraz liczne symulacje wykonane w środowisku Multisim i Vissim, które ułatwiają zrozumienie prezentowanych zagadnień. Pliki z prezentowanymi symulacjami można pobrać z serwera, można je więc we własnym zakresie modyfikować i rozbudowywać.

Multisim jest programem, który umożliwia w łatwy i funkcjonalnie prosty sposób tworzenie schematów różnych układów złożonych z elementów cyfrowych i analogowych. Jednocześnie umożliwia sprawdzenie działania

zbudowanych układów. Do prezentacji wyników użytkownik ma do dyspozycji różne przyrządy pomiarowe, między innymi oscyloskop, multimetr, analizator widma, Bode plotter, analizator stanów logicznych, miernik szumów, generator różnych sygnałów. Podczas symulacji, za pomocą tych przyrządów, możliwa jest kontrola wybranych parametrów konstruowanych układów. Ponadto program wyposażony jest w obszerną bazę elementów analogowych i cyfrowych.

Podobne właściwości posiada także program Vissim, który można wykorzystać przede wszystkim do projektowania i symulowania nowoczesnych systemów transmisji danych. Wirtualne układy można zbudować z odpowiednich bloków, które zostały pogrupowane w zależności od ich przeznaczenia i spełnianej funkcji. Projektowanie ułatwia bogaty zestaw bibliotek bloków funkcyjnych oraz zaawansowane algorytmy symulacji. Vissim umożliwia prezentację zagadnień związanych między innymi z filtracją, estymacją, kodowaniem, dekodowaniem, modulacją, demodulacją oraz oceną jakości transmisji.

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów jest dziedziną bardzo obszerną, dlatego też omawiana witryna [1], która powstała przede wszystkim w ramach pracy dyplomowej [2], nie obejmuje wszystkich zagadnień. Zakres omawianych zagadnień obejmuje zarówno podstawowe informacje oraz zaawansowane obliczenia i symulacje. Materiały przedstawione na omawianej stronie internetowej powinny ułatwić zdobycie wiedzy przez osoby zainteresowane omawianą dziedziną wiedzy. Rozszerzenie prezentowanych wiadomości zawiera inna, przygotowana również w KAO, strona internetowa [3].

### 2. STRUKTURA APLIKACJI WWW

Głównymi założeniami, które przyjęto przy tworzeniu witryny były łatwość poruszania się po witrynie, małe rozmiary poszczególnych stron, stałość witryny podczas przeglądania jej w różnych rozdzielczościach oraz takie umieszczenie niezbędnej grafiki, aby w jak najmniejszym stopniu spowalniała otwieranie się strony. Odciążenie stron grafiką wykonano poprzez umieszczenie miniatur rysunków, które są jednocześnie zaopatrzone w link do strony, na której znajduje się rysunek o właściwych rozmiarach. Takie rozwiązanie powoduje również lepszą przejrzystość strony. Kolejnym elementem ułatwiającym poruszanie się po witrynie jest zastosowanie menu bocznego,

które umożliwia przechodzenie pomiędzy stronami. Ponadto każda podstrona posiada nieruchome menu główne.

Strona WWW zawiera omówienie następujących zagadnień:

- charakterystyka sygnałów (podział, próbkowanie, analiza widmowa, estymacja rozkładów gęstości),
- filtry cyfrowe (typu FIR, IIR),
- przetworniki C/A, A/C (C/A typu R2R, R2nR, A/C typu flash, A/C z pojedynczym całkowaniem, z kompensacją równomierną, z układem śledzącym, typu Delta – Sigma),
- przetwarzanie obrazów,
- modulacje (analogowe, cyfrowe).

### 3. WYBRANE ZAGADNIENIA Z ZAKRESU DSP

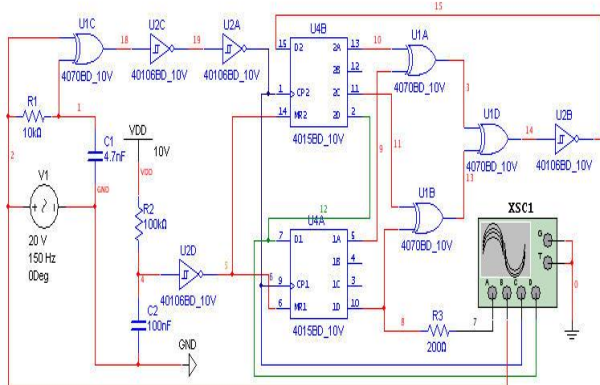
Obecnie w wielu książkach i publikacjach można znaleźć mnóstwo informacji dotyczących cyfrowego przetwarzania sygnałów, np. [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Na opracowanej stronie internetowej omówiono tylko wybrane zagadnienia. Pozostałe zagadnienia są zawarte między innymi na stronach WWW [3, 9, 10, 11].

#### 3.1. Sygnały oraz ich charakterystyka

Na stronie internetowej został przedstawiony opis dotyczący sygnałów:

- deterministycznych (ciągłe czasu ciągłego i dyskretnego, dyskretnie czasu ciągłego i dyskretnego, rzeczywiste)
- losowych (stacjonarne ergodyczne, nieergodyczne oraz niestacjonarne).

Zostały przedstawione charakterystyki wybranych sygnałów oraz przykłady ich generacji. Wirtualny generator sygnału losowego, wykonany w środowisku Multisim 8, został przedstawiony na rysunku 1. Został on zbudowany przy użyciu przerzutników D oraz pętli sprzężenia zwrotnego zawierającego bramki EX-OR. Strona zawiera także omówienie zagadnień związanych z próbkowaniem, kwantowaniem oraz kodowaniem.



Rys.1. Generator sygnału losowego

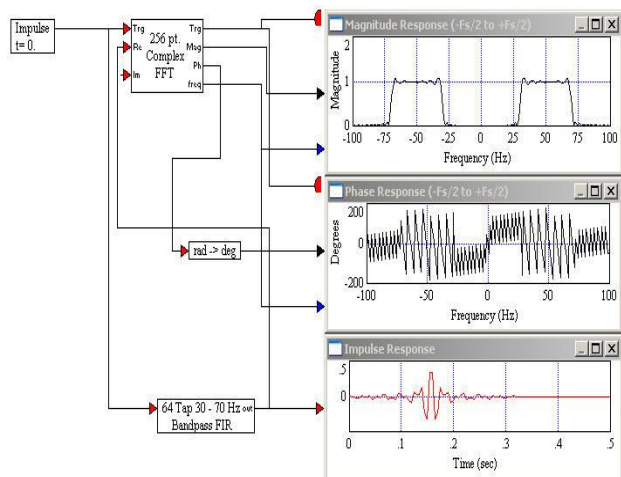
Ponadto strona zawiera omówienie sygnału harmonicznego, fali prostokątnej bipolarnej oraz unipolarnej. Zostały zaprezentowane podstawowe parametry tych sygnałów, tj. wartość średnia, moc, energia, wariancja, wartość skuteczna. Dostępny jest wirtualny układ umożliwiający obserwację wybranych sygnałów, takich jak Rayleigha, losowy, sinusoidalny, prostokątny, piłkowształny oraz trójkątny. Układ ten umożliwia również oblicza-

nie parametrów tych sygnałów, zarówno za pomocą gotowych bloków dostępnych w bibliotece programu Vissim, jak i poprzez bloki realizujące wzory matematyczne opisujące te parametry.

W cyfrowym przetwarzaniu sygnałów ogromną rolę odgrywają zagadnienia dotyczące analizy widmowej. Dlatego też na stronie internetowej zostały wyjaśnione pojęcia takie jak transformata Fouriera (ang. FT, Fourier Transform), szybka transformata Fouriera (ang. FFT, Fast Fourier Transforms), dyskretna transformata Fouriera (ang. DFT, Discrete Fourier Transform), widmo amplitudowe, widmo fazowe oraz widmo gęstość mocy. Zagadnienia zostały zilustrowane symulacjami, między innymi możliwa jest analiza układu aproksymacji fali prostokątnej szeregiem Fouriera.

#### 3.2. Filtry cyfrowe

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów jest obecnie popularne głównie dzięki filtrom cyfrowym. Stosuje się je głównie do oddzielenia (separacji) sygnałów oraz odtworzenia sygnałów. Oddzielenie sygnałów jest niezbędne wówczas, gdy sygnał jest zakłócony przez interferencje, szum lub inne sygnały. Natomiast odtworzenie stosujemy, gdy sygnał został zniekształcony. Dlatego też na stronie WWW omówiono filtry cyfrowe o skończonej odpowiedzi impulsowej SOI (ang. FIR, Finite Impulse Response) oraz filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej NOI (ang. IIR, Infinite Impulse Response). W środowisku Vissim opracowano między innymi wirtualny układ (rys. 2), który przedstawia działanie filtra cyfrowego typu FIR. W symulacji tej, w celu otrzymania odpowiedzi częstotliwościowej filtra typu FIR, wykorzystano blok FFT. Przedstawiono również działanie filtra typu IIR dla sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach. Uzyskane w procesie symulacji charakterystyki przedstawiają różnice pomiędzy filtrami różnych rzędów.

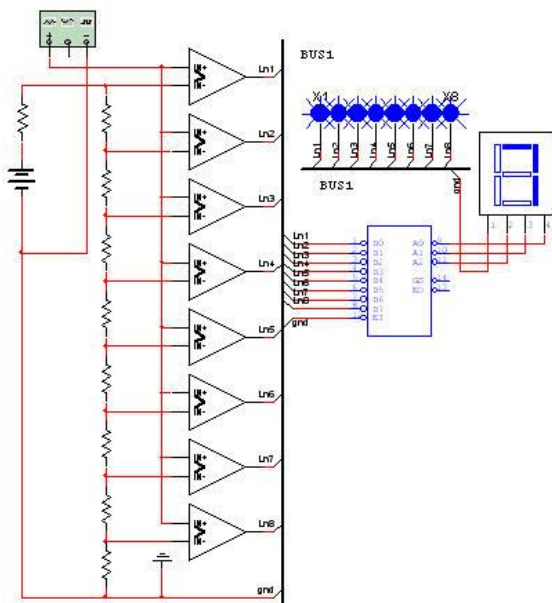


Rys. 2. Filtr cyfrowy typu FIR

#### 3.3. Przetworniki C/A i A/C

Przetwarzanie analogowo – cyfrowe jak i cyfrowo – analogowe jest procesem, który pozwala między innymi komputerom współdziałać z różnymi sygnałami. Informacja cyfrowa różni się od ciągłej, co powodowane jest próbkowaniem i kwantyzacją. Ogranicza to zawartość informacji w sygnale cyfrowym. Znacznie łatwiej przetworzyć sygnał cyfrowy na analogowy niż na odwrót. Do najważniejszych podzespołów przetworników zaliczamy źródła napięcia odniesienia, komparatory napięcia, przełączniki analogowe, wzmacniacze operacyjne, układy cyfrowe, układy próbkujące – pamiętające. Na stronie WWW zostały omówione przykładowe rozwiązania

konstrukcji i działanie wybranych przetworników C/A i A/C. Omówiono przetwornik C/A typu R2R, R2nR, przetwornik A/C typu flash, z pojedynczym całkowaniem, z kompensacją równomierną, z układem śledzącym, typu delta – sigma. Przedstawiono wirtualne układy w środowisku Multisim, które umożliwiają analizę pracy wybranych przetworników. Na rysunku 3 przedstawiono schemat przetwornika A/C typu flash, który jest również nazywany konwerterem równoległym A/C. Obwód konwertera stanowi szereg komparatorów, przy czym każdy z nich porównuje wartość napięcia wejściowego z wartością zadaną. Wyjścia poszczególnych komparatorów zostały podłączone do wejścia priorytetowego enkodera, którego sygnał wyjściowy jest cyfrowym odpowiednikiem analogowej wartości podawanej na wejście konwertera A/C. W układzie wykorzystano priorytetowy enkoder 74HC148N, co spowodowało uproszczenie schematu. W układzie tym napięcie ze stabilizowanego zasilacza stanowi napięcie odniesienia. W czasie, gdy napięcie wejściowe stopniowo wzrasta i zaczyna przekraczać wartości napięcia odniesienia na kolejnych komparatorach, następują przejścia kolejnych komparatorów w stan wysoki. W efekcie końcowym enkoder generuje sygnał binarny w oparciu o najbardziej znaczący aktywny komparator, ignorując pozostałe aktywne. Dla konwertera typu flash nie istnieje konieczność korzystania z priorytetowego enkodera. Ten sam efekt wybierania komparatora o najwyższej wadze można uzyskać stosując prostszy bezpriorytetowy enkoder wraz z zestawem odpowiednio połączonych bramek EX-OR [1].

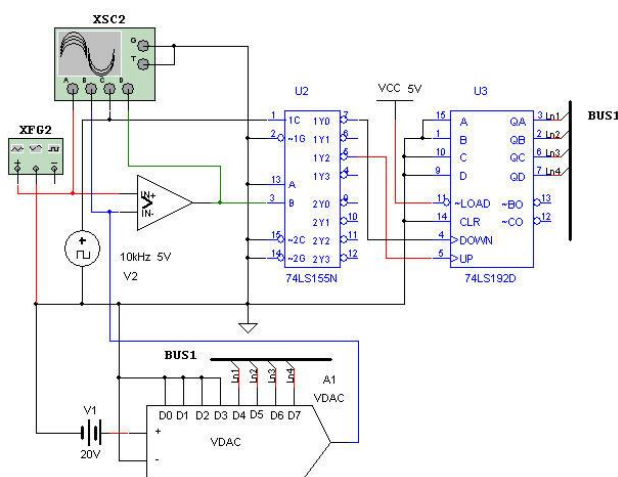


Rys. 3. Przetwornik A/C typu flash z wykorzystaniem enkodera priorytetowego

Konwerter A/C typu flash jest układem prostym. Jest on ograniczony jedynie czasem zadziałania komparatorów i propagacji bramek. Niestety wadą tego konwertera jest liczba zastosowanych komponentów. Dla uzyskania trzybitowego sygnału wyjściowego należy zastosować 8 komparatorów, czterobitowa wersja tego konwertera wymaga już użycia 16 komparatorów. Uwzględniając, że ośmiobitowe konwertery dziś stanowią wymagane minimum, to układy flash ADC ukazują swoje wady.

Na stronie WWW omówiono także budowę i zasadę działania przetwornika analogowo – cyfrowego z układem

śledzącym (ang. tracking). Można go zbudować z licznika rewersyjnego, przetwornika C/A oraz komparatora (rys. 4). Na wejście zegarowe licznika podawane są impulsy w sposób ciągły. Sygnał z wyjścia komparatora, gdy jest wysoki steruje zliczaniem licznika w górę, a gdy niski w dół. Kiedy sygnał analogowy na wejściu dodatnim komparatora ma wartość większą niż sygnał wyjściowy z przetwornika C/A to licznik zlicza w górę. Sygnał wyjściowy z przetwornika C/A steruje więc zliczaniem w kierunku odpowiadającym śledzeniu sygnału wejściowego. Ponieważ wyjście z licznika w sposób ciągły śledzi sygnał wejściowy, wartość na wyjściu przetwornika A/C jest aktualizowana z każdym impulsem taktującym. Zaletą tego przetwornika jest szybkość działania, gdyż nie ma potrzeby resetowania licznika. Natomiast wadą jest to, że wyjście przetwornika nie jest stabilne. Zmienia się pomiędzy kolejnymi zliczeniami licznika, z każdym impulsem zegara, nawet wtedy, gdy wejściowy sygnał analogowy jest bardzo stabilny. Do budowy wirtualnego przetwornika wykorzystano dwa układy UCY 74155 oraz UCY 74192. Układ UCY 74155 pełni funkcję demultipleksera, czyli realizuje funkcję przełączania sygnału wejściowego na określone wyjście. Natomiast układ UCY 74192 działa jako rewersyjny licznik synchroniczny modulo 16. Do wyjścia przetwornika podłączono, w celu porównania sygnału wejściowego z sygnałem wyjściowym, dostępny w bibliotece Multisima 8, moduł przetwornika C/A.



Rys. 4. Wirtualny przetwornik A/C z układem śledzącym

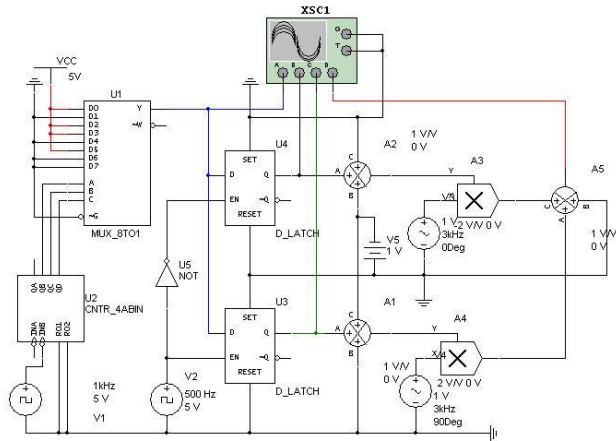
### 3.4. Modulacje cyfrowe i analogowe

Modulacje cyfrowe i analogowe zostały szeroko omówione w wielu pracach, np. [4, 7, 8]. Dlatego też na stronie WWW zostały jedynie omówione wybrane modulacje analogowe, tj. amplitudy AM, częstotliwości FM, fazy PM oraz cyfrowe, tj. kluczowanie amplitudy ASK, kluczowanie częstotliwości FSK, czterowartościowe kluczowanie fazy QPSK, minimalne kluczowanie częstotliwości MSK. Zostały także zaprezentowane wirtualne układy w środowisku Multisim 8 oraz Vissim.

Modulacja QPSK (ang. Quadrature Phase Shift Keying) może być traktowana jako klasyczna modulacja 4 – wartościowa PSK, bądź jako złożenie dwóch dwuwartościowych modulacji amplitudy BASK (ang. Binary Amplitude Shift Keying) o ortogonalnych nośnych  $\sin(2\pi f_c t)$  oraz  $\cos(2\pi f_c t)$ . Jej zaletą jest zwiększenie efektywności wykorzystania pasma, przy jednoczesnym braku negatywnego wpływu na bitową stopę błędów. Zaprezentowany na stronie WWW wirtualny układ modulacji QPSK (rys. 5) jest zbudowany z multipleksera, który przekazuje na wyjście jedno z wielu jego wejść. Za adresowanie multipleksera odpowiada licznik modulo 8 taktowany przebiegiem prostokątnym. Proces modulacji odbywa się za

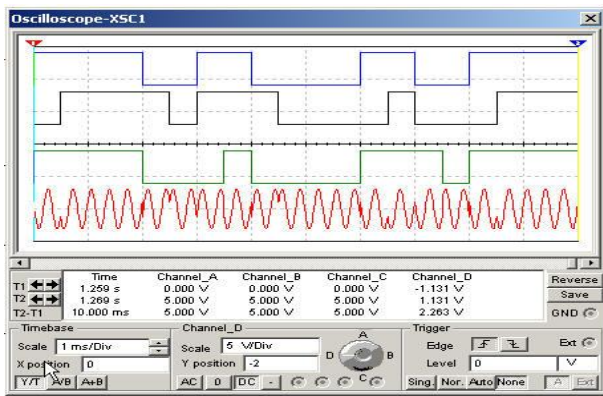


pomocą 2 przerzutników typu D, bloków sumacyjnych i mnożących.



Rys. 5. Modulacja QPSK

Przebiegi uzyskane w procesie symulacji QPSK (rys. 6) są zgodne z oczekiwanymi wykresami [8].



Rys. 6. Przebiegi sygnałów dla modulacji QPSK

Na stronie internetowej [3, 9] są dostępne opisy innych rodzajów modulacji i demodulacji, wraz z przykładami symulacji w środowisku Multisim i Vissim. Dodatkowo dokonano analizy odebranych danych (po procesie modulacji i demodulacji BPSK) porównując je z danymi wejściowymi. W wyniku tej analizy można określić liczbę przebadanych bitów, liczbę błędnie odebranych bitów, czyli można określić prawdopodobieństwo odebrania błędnego bitu.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

### CHOSEN PROBLEMS OF DIGITAL SIGNALS PROCESSING - THE PRESENTATION OF THE WEB SIDE

**Key-words:** analog and digital modulations, DAC converter, ADC converter, filters

This paper presents the description of the webpage which describes selected problems from the Digital Signal Processing field. This webpage is a didactic tool for Gdynia Maritime University students.

Utworzenie witryny i umieszczenie jej na serwerze Wydziału Elektrycznego Akademii Morskiej w znacznym stopniu może ułatwić pozyskiwanie wiedzy przez osoby zainteresowane cyfrowym przetwarzaniem sygnałów. Przy opracowaniu strony WWW kierowano się tym, aby umożliwić użytkownikowi jak najłatwiejsze odszukanie niezbędnych informacji. W związku z tym, oprócz opisów teoretycznych na stronie zostały umieszczone również schematy, przebiegi oraz symulacje w postaci plików gotowych do pobrania z serwera. Umieszczone na stronie symulacje wykonano w środowisku Multisim 8 oraz Vissim. Ze względu na rozbudowaną strukturę układów i koszty narzędzi, które należy wykorzystać do przeprowadzania obserwacji procesów występujących w czasie cyfrowego przetwarzania sygnałów w układach rzeczywistych, programy Multisim i Vissim idealnie nadają się jako pomoce naukowe i dydaktyczne. Programy te w prosty sposób umożliwiają przedstawienie zjawisk zachodzących podczas przetwarzania sygnałów.

Opracowana witryna internetowa ma charakter dydaktyczny i jest skierowana głównie do studentów zainteresowanych DSP. Przedstawione zagadnienia nie wyczerpują całego materiału z tego zakresu.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. <http://atol.am.gdynia.pl/tc/cps2007>
2. Zaremba J., Wereszczyński J., Opracowanie witryny internetowej prezentującej wybrane zagadnienia z cyfrowego przetwarzania sygnałów, praca dyplomowa inżynierska, AM, Gdynia, 2007
3. <http://atol.am.gdynia.pl/tc>
4. Noga K. M.: Zastosowanie pakietu Commsim i Multisim w nauczaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 22, 2006, str. 129 – 134, ISSN 1425 - 5766
5. Noga K. M, Radwański M.: Zastosowanie pakietu Multisim w dydaktyce techniki cyfrowej, Zeszyty Naukowe AM, str. 119 – 132, ISSN 1644-1818
6. Noga K. M.: Pakiet Multisim - zaawansowane przykłady zastosowań w dydaktyce, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 28, 2010, str. 113 – 118, ISSN 1425 - 5766
7. 17. Zieliński T. P. – Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów, WKiŁ, Warszawa 2006
8. Fuqin Xiong - Digital Modulation Technique, ARTECH HOUSE INC., 2000, ISBN 0-89006-970-0
9. <http://www.allaboutcircuits.com>
10. <http://www.ime.uz.zgora.pl/ssienkowski/cps.htm>
11. <http://www.ccrma.stanford.edu/~jos/filters/filters.html>