

**Politechnika  Białostocka**

**Wydział Elektryczny**

**Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

**Przetwarzanie Sygnałów**

Kod: TS1C400027

Temat ćwiczenia:

**Synteza i analiza cyfrowych filtrów NOI  
typu Butterwortha i Czebyszewa**

Opracował: dr inż. Dariusz Jańczak

Białystok 2018

**Temat: Synteza i analiza cyfrowych filtrów NOI typu Butterwortha i Czebyszewa**

**1. Cel ćwiczenia**

Celem ćwiczenia jest poszerzenie wiedzy studentów oraz nabycie przez nich umiejętności z zakresu syntezy i analizy filtrów cyfrowych o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (NOI). W ramach zajęć studenci ugruntowują umiejętność sformułowania specyfikacji filtrów cyfrowych oraz nabywają podstawowe umiejętności z zakresu ich syntezy i weryfikacji przy wykorzystaniu narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania. Studenci zdobywają umiejętność realizacji sprzętowej filtrów cyfrowych oraz zapoznają się z praktycznymi aspektami ich realizacji. Studenci utrwalają umiejętność wykonania pomiarów ich charakterystyk. Studenci doskonalą umiejętność opracowania dokumentacji dotyczącej realizacji zadania inżynierskiego.

**2. Zagadnienie do opracowania przed przystąpieniem do zajęć**

2.1 Przed przystąpieniem do zajęć należy opracować (na podstawie materiałów z wykładu "Przetwarzanie Sygnałów 1") następujące zagadnienia teoretyczne:

- opis transmitancyjny filtrów cyfrowych;
- struktury filtrów NOI; postać kanoniczna; struktury kaskadowe i równoległe;
- odpowiedzi czasowe filtrów cyfrowych;
- charakterystyki częstotliwościowe filtrów cyfrowych;
- stabilność układów dyskretnych;
- synteza filtrów cyfrowych; wymagania, etapy procesu projektowego;
- aproksymacje analogowe – filtry prototypy: Butterwortha, Czebyszewa, eliptyczne;
- transformacje układów analogowych na cyfrowe;
- transformacje częstotliwości filtrów cyfrowych – przekształcenia filtrów dolnoprzepustowych.

### 3. Program ćwiczeń

- 3.1. Dokonać syntezy filtrów NOI o zadanych przez prowadzącego parametrach, korzystając z odpowiednich narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania.
- 3.2. Przeprowadzić badanie charakterystyk częstotliwościowych i czasowych (symulacyjnie oraz sprzętowo) indywidualnie zaprojektowanego dolnoprzepustowego filtra Butterwortha.
- 3.3. Przeprowadzić badanie charakterystyk częstotliwościowych i czasowych (symulacyjnie oraz sprzętowo) indywidualnie zaprojektowanego dolnoprzepustowego filtra Czebyszewa.
- 3.4. Przeprowadzić badania porównawcze filtrów z punktu 3.2 i 3.3.
- 3.5. (dodatkowe) Przeprowadzić badania porównawcze filtrów z punktu 3.2 ÷ 3.3. z odpowiednimi filtrami analogowymi (filtr LTC1060)
- 3.6. (dodatkowe) Korzystając z wyników uzyskanych w punkcie 3.2. zaprojektować środkowoprzepustowy filtr Czebyszewa o  $f_1=2,5fp$  i  $f_2=4fp$  oraz zbadać jego charakterystyki częstotliwościowe i czasowe.

### 4. Realizacja ćwiczeń

Procedurę projektową oraz badania symulacyjne należy przeprowadzić w środowisku programu Matlab.

Wymagane charakterystyki można uzyskać przy pomocy funkcji:

- `freqz(L,M.,Pf,Fs)` - odpowiedź częstotliwościowa filtra cyfrowego

gdzie L, M - licznik , mianownik transmitancji

Pf - wektor punktów w których liczona jest odpowiedź

Fs - częstotliwość próbkowania w Hz

np.: `freqz([1], [1, -2], 100:10:1000, 5000)`

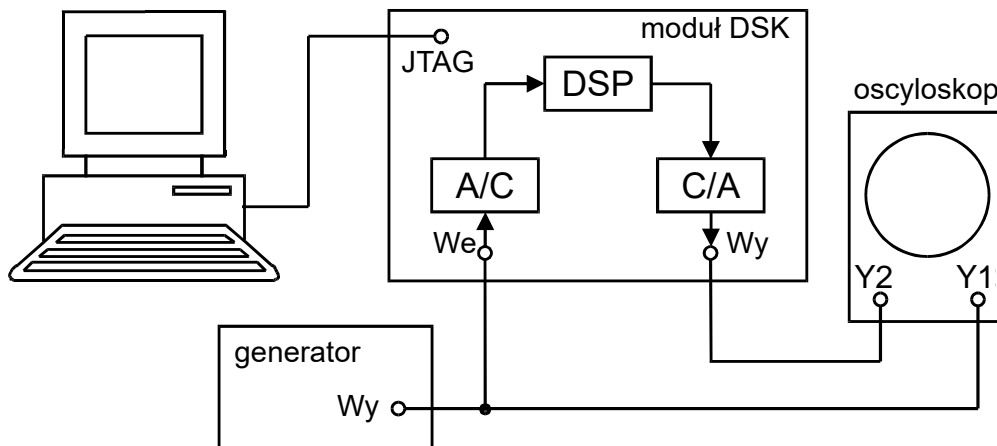
- `dimpulse(L,M,to)` - odpowiedź impulsowa dyskretnego układu liniowego

- `dstep(L,M,to)` - odpowiedź skokowa dyskretnego układu liniowego

- `conv(L1,L2)` - spłot, mnożenie wielomianów

np. `conv([1, -1], [1, -1])`

Badania eksperymentalne należy przeprowadzić w układzie połączonym według schematu przedstawionego na Rys. 1.

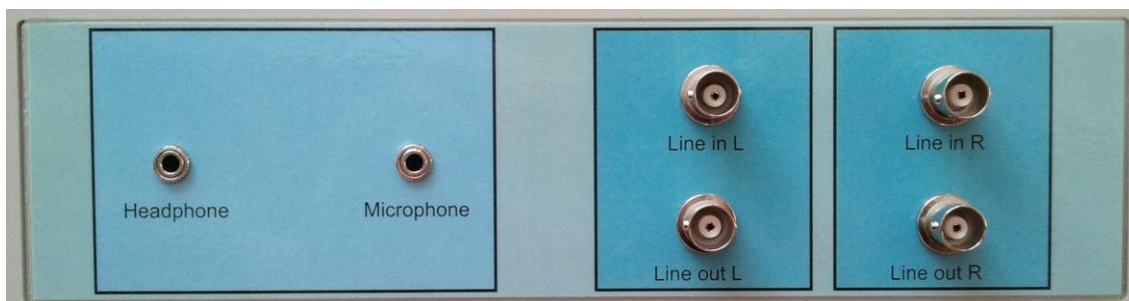


Rys. 1. Schemat połączeń stanowiska laboratoryjnego DSP

### **Uwaga!**

**Przed dołączeniem generatora do układu DSP upewnić się, że amplituda sygnału nie przekracza 1V.**

W ćwiczeniu należy wykorzystać kanał lewy (patrz Rys. 2.: "Line in L" - wejście, "Line out L" - wyjście).



Rys. 2. Widok płyty czołowej modułu

Filtry cyfrowe realizowane są przy wykorzystaniu procesora DSP, którego oprogramowanie zostało przygotowane jako projekt *PS\_lab5.pjt* (środowisko uruchomieniowe: Code Composer Studio). Po połączeniu układu pomiarowego, należy wygenerować plik *dane.dat* zawierający współczynniki filtra realizowanego na DSP. Można to zrealizować wykorzystując program *filtr\_NOI.m* uruchamiany w środowisku Matlab. Program *filtr\_NOI.m* znajduje się w katalogu *d:\PS*. Współczynniki filtra wprowadza się przez podanie odpowiednich parametrów podczas wywołania:

$$\text{filtr\_NOI}(L, M)$$

gdzie  $L, M$  - współczynniki wielomianów licznika i mianownika transmitancji.

W przypadku realizacji filtra w postaci kaskadowego połączenia sekcji niższego rzędu należy podać współczynniki liczników i mianowników w następujący sposób:

$$\text{filtr\_NOI}(L1, M1, L2, M2, L3, M3)$$

*filtr\_NOI.m* akceptuje od jednej do czterech sekcji dowolnego rzędu.

Częstotliwość próbkowania ustawiona jest na  $f_s = 48 \text{ kHz}$ .

### **Przykład:**

Realizacja filtra Butterwortha 3 rzędu o częstotliwości granicznej  $f_g = 1 \text{ kHz}$  realizowanego z podziałem na 2 sekcje (pierwszego i drugiego rzędu) lub w postaci bezpośredniej (trzeciego rzędu):

1) filtr z podziałem na 2 sekcje:

% współczynniki liczników i mianowników:

L1 = [0.015716 0.015716]

M1 = [1 -0.87698]

L2 = [0.015716 0.031433 0.015716]

M2 = [1 -1.8614 0.87747]

% wygenerowanie pliku *dane.dat* z współczynnikami filtra realizowanego na DSP:

*filtr\_NOI* (L1, M1, L2, M2)

2) filtr w postaci bezpośredniej:

% współczynniki licznika i mianownika:

L = 1.0e-003 \* [0.2470 0.7410 0.7410 0.2470]

M = [1.0000 -2.7384 2.5099 -0.7695]

% wygenerowanie pliku *dane.dat* z współczynnikami filtra realizowanego na DSP:

*filtr\_NOI* (L, M)

Program *filtr\_NOI.m* automatycznie generuje plik konfiguracyjny *dane.dat* i zapisuje go w odpowiednim katalogu projektu DSP.

Kolejnym krokiem jest uruchomienie środowiska Code Composer Studio i otwarcie projektu *PS\_lab5.pjt* znajdującego się w katalogu *d:\PS\PS\_lab5*. Projekt należy poddać kompilacji i linkowaniu oraz należy załadować do modułu DSP (czynności te realizuje polecenie *REBUILD ALL*). Jeśli nie zostały zgłoszone błędy można uruchomić program

(polecenie *RUN*). Każdorazowa zmiana parametrów filtrów w pliku *dane.dat* wymaga powtórzenia poleceń: *REBUILD* oraz *RUN*.

Odpowiedzi czasowe filtrów należy zaobserwować na oscyloskopie, po czym można je przenieść do komputera PC i zapisać w pliku korzystając z programu *freecapture*.

### **5. Sprawozdanie powinno zawierać:**

- zarys procedury projektowej i opis otrzymanych filtrów cyfrowych,
- charakterystyki amplitudowe i fazowe filtrów uzyskane symulacyjnie oraz eksperymentalnie (wraz z porównaniem),
- odpowiedzi czasowe uzyskane symulacyjnie oraz eksperymentalnie (wraz z porównaniem),
- porównania z filtrami analogowymi;
- uwagi i wnioski nasuwające się w trakcie wykonywania ćwiczenia.

### **6. Wymagania BHP**

W trakcie realizacji programu ćwiczenia należy przestrzegać zasad omówionych we wstępie do ćwiczeń, zawartych w: „Regulaminie porządkowym w laboratorium” oraz w „Instrukcji obsługi urządzeń elektronicznych znajdujących się w laboratorium z uwzględnieniem przepisów BHP”. Regulamin i instrukcja są dostępne w pomieszczeniu laboratoryjnym w widocznym miejscu.

### **7. Literatura:**

1. Lyons R., *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, WKŁ, Warszawa, 2010.
2. Zieliński T., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: od teorii do zastosowań*, WKŁ, Warszawa, 2009.
3. Smith S. W., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców*, Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2007.
4. Stranneby D., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: metody, algorytmy, zastosowania*, BTC, Warszawa, 2004
5. A.V. Oppenheim, R.W. Shafer, *Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów*, WKŁ, Warszawa, 1979. (wartościowa pozycja, ale dla dociekliwych)