

## PAKIET MULTISIM - ZAAWANSOWANE PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ W DYDAKTYCE

Krystyna Maria NOGA

Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, ul. Morska 81 - 87  
81-225 Gdynia, tel: (58) 69 01 471, fax: (0 58) 69 01 445, e-mail: jagat@am.gdynia.pl

**Streszczenie:** Układy elektroniczne, elektryczne i cyfrowe można sprawdzać między innymi na bazie oprogramowania Multisim. W artykule zostały przedstawione zaawansowane przykłady zastosowań pakietu Multisim w dydaktyce techniki cyfrowej, cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz teorii obwodów.

**Słowa kluczowe:** symulacja, technika cyfrowa, cyfrowe przetwarzanie sygnałów.

### 1. WSTĘP

Obecnie zakres zastosowań elektroniki, techniki cyfrowej oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów jest coraz większy, praktycznie występuje prawie we wszystkich nowoczesnych urządzeniach. Istnieje więc spore zainteresowanie tymi zagadnieniami. W fazie projektowania oraz nauki coraz częściej wykorzystywane są wirtualne środowiska projektowe, co wynika przede wszystkim ze względów ekonomicznych. Wirtualne układy elektroniczne, elektryczne i cyfrowe można sprawdzać między innymi na bazie oprogramowania Multisim, którego producentem jest firma National Instruments. Pakiet Multisim jest wirtualnym narzędziem umożliwiającym budowę i symulację ogromnej ilości obwodów elektrycznych, elektronicznych, służy do komputerowej analizy układów analogowych i cyfrowych. Umożliwia on rysowanie schematów logicznych, do których można podłączyć różne przyrządy pomiarowe, np. 16-kanałowy analizator logiczny, oscyloskopy, woltomierz, amperomierz, cyfrowy multimetr, 32-bitowy generator słów logicznych, generator fali prostokątnej, sinusoidalnej, trójkątnej, watomierz, ploter Bode'a, analizator widma. Obsługa tych przyrządów jest podobna do obsługi mierników rzeczywistych. Wszystkie przyrządy można wykorzystywać wielokrotnie, co w rzeczywistym laboratorium, ze względów ekonomicznych, jest raczej trudne do osiągnięcia. Ponadto pakiet posiada bogatą bibliotekę modeli elementów. Jest więc on doskonałym narzędziem do wspomagania dydaktyki w szkołach średnich oraz wyższych o profilu elektrycznym i elektronicznym.

W artykule zostaną przedstawione zaawansowane przykłady zastosowań pakietu Multisim w dydaktyce. Między innymi zostaną omówione filtry, układy zabezpieczenia transmisji przed błędami, przetworniki. Zostaną także przedstawione praktyczne przykłady zastosowania cyfrowych

układów scalonych, między innymi timera 555, liczników scalonych. Ponadto zostaną przedstawione przykłady wykorzystania narzędzi wspomagających syntezę i analizę obwodów elektrycznych i elektronicznych.

### 2. BUDOWA UKŁADU I SYMULACJA

Użytkownik pakietu Multisim, przed przystąpieniem do tworzenia wybranego projektu, powinien podjąć decyzję: czy korzystać z elementów modelowanych jako rzeczywiste, czy jako idealne. Decyzja ta ma istotne znaczenie podczas symulacji. Wybór elementów rzeczywistych powoduje zwiększenie czasu symulacji i wprowadza stany przejściowe, które w fizycznych układach są silnie tłumione lub nie posiadają istotnego znaczenia. Efekt ten jest szczególnie istotny podczas symulacji sekwencyjnych układów cyfrowych. W tym przypadku występują długotrwałe (rzędu milisekund) stany przejściowe, które w układach fizycznych są nieznaczne i bardzo krótkie (kilka nanosekund). Natomiast w przypadku wyboru elementów idealnych użytkownik pakietu Multisim posiada do wyboru ograniczoną ilość dostępnych w bibliotece układów. Zawarte w niej elementy nie zawsze mają swoje rzeczywiste odpowiedniki o takim samym sposobie pracy, np. wirtualne liczniki scalone i przerzutniki monostabilne.

Wizualizacja wyników symulacji jest możliwa dzięki dołączonym do układu instrumentom pomiarowym, przy czym możemy wykorzystać woltomierz, amperomierz, multimetr, oscyloskop, ploter Bode'a, analizator widma, analizator zakłóceń i sieci. W czasie symulacji układów cyfrowych do pobudzenia można wykorzystać 32-bitowy generator słów, a do obserwacji wyników pracy układu służą 16-bitowy analizator stanów logicznych, wskaźniki stanów logicznych oraz wskaźniki siedmiosegmentowe. Wyniki symulacji są prezentowane graficznie w postaci wykresów lub tekstowo w postaci tabel. Wykresy i tabele mogą być zapisywane do oddzielnych plików, a dane uzyskane podczas symulacji mogą być eksportowane do innych programów, tj. Excela, MathCada i LabView [1]. Ważnym narzędziem pakietu Multisim jest polecenie *Place Bus*, które umożliwia tworzenie wirtualnej szyny połączeniowej, co polepsza przejrzystość budowanego schematu oraz umożli-

wia budowanie obwodów o dużej liczbie podzespołów. Dzięki temu poleceniu można przydzielić danym przewodnikom wirtualne adresy. Dla poprawienia czytelności schematu dowolne jego elementy można również zamknąć w podobwód. Istotnym elementem pakietu Multisim jest także kreator automatycznych, wybranych obwodów, np. z układem timera 555, filtrów pasywnych i aktywnych, układów ze wzmacniaczem operacyjnym.

### 3. WYBRANE RODZAJE ANALIZ

W celu otrzymania precyzyjnych wyników symulacji w pakiecie Multisim istnieje możliwość przeprowadzania różnych rodzajów analiz, np. stałoprądowej DC, zmiennoprądowej AC, stanu przejściowego, Fouriera, Monte Carlo, szumów, zniekształceń. Wyniki analiz mogą być przedstawione zarówno w postaci graficznej jak i w postaci tabel zawierających wartości. W dalszej części artykułu zostaną opisane analizy stałoprądowa oraz stanu przejściowego, które mają wpływ na symulację obwodów cyfrowych. Zostanie także przedstawiona analiza Fouriera oraz analiza zmiennoprądowa, które posiadają istotne znaczenie między innymi w cyfrowym przetwarzaniu sygnałów, w dydaktyce podstaw teorii sygnałów, teorii obwodów, elektrotechnice i elektronice.

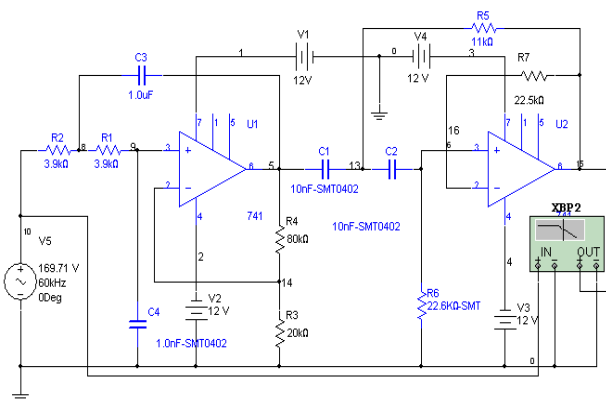
#### 3.1. Analiza stałoprądowa

Analiza stałoprądowa wyznacza punkt pracy DC, który jest często wykorzystywany w innych rodzajach analiz, możliwych do przeprowadzenia w pakiecie Multisim. Aby wyznaczyć ten punkt, program Multisim zeruje wszystkie źródła AC, zachowując stabilność w układzie, co uzyskuje się poprzez traktowanie kondensatorów jako rozwarci, a indukcyjności jako zwarcie obwodu. Ponadto wszystkie układy cyfrowe traktowane są jak duże oporności zwarte do masy. Analiza ta może być wykorzystana do przedstawienia układu nieliniowego, np. diody bądź tranzystora, jako elementu niskosygnałowego o charakterystyce liniowej, co pomocne jest np. w analizie zmiennoprądowej AC. Analizę tę można przeprowadzić w sposób pasywny, gdyż nie wymaga od użytkownika wprowadzania żadnych parametrów. Należy jedynie zdefiniować, w zakładce zmiennych wyjściowych, żądany punkt pracy układu. Natomiast podczas przeprowadzania analizy w sposób aktywny, analiza ta wykonywana jest w każdym węzle układu.

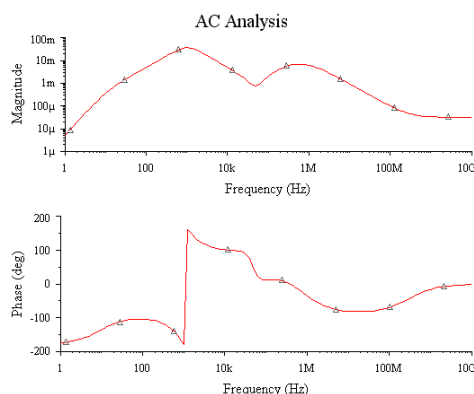
#### 3.2. Analiza zmiennoprądowa AC

Program Multisim umożliwia także przeprowadzenie analizy zmiennoprądowej AC, na początku której wyznaczany jest punkt pracy DC badanego układu. Jeśli możliwe było przeprowadzenie analizy stałoprądowej, to wszystkie elementy nieliniowe zostają opisane odpowiadającymi im modelami niskosygnałowymi o charakterystyce liniowej. Wszystkie źródła DC są sprowadzone do zera, a źródła AC, pojemności i indukcyjności są przedstawione jako odpowiadające im modele AC. Źródła sygnału są traktowane jako sinusoidalne, a ich częstotliwość podczas obliczeń analizy nie jest brana pod uwagę. Podobnie jak w przypadku analizy stałoprądowej, wszystkie elementy cyfrowe, traktowane są jako duże rezystancje zwarte do masy. W celu przeprowadzenia analizy AC użytkownik powinien zdefiniować parametry częstotliwościowe oraz wskazać badany punkt układu. Dodatkowo można ustalić typ wykresianego przebiegu, jego skalę oraz liczbę punktów jakie zostaną wyznaczone. Przykładowy wynik analizy dla układu filtru pasmowego (rys. 1)

został przedstawiony na rysunku 2, przy czym analiza ta została przeprowadzona, w paśmie 10 GHz, dla wyjścia drugiego wzmacniacza.



Rys. 1. Schemat układu filtru pasmowego



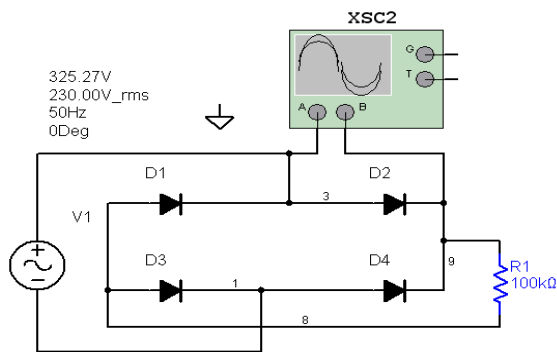
Rys. 2. Wynik analizy AC układu filtru pasmowego

Aby wykonać analizę AC w sposób aktywny należy, na wejście i wyjście badanego układu, podłączyć miernik Bode plotter. Możliwe jest na nim także określenie przedziału częstotliwości, zmiana skali oraz analiza wybranego punktu pomiarowego.

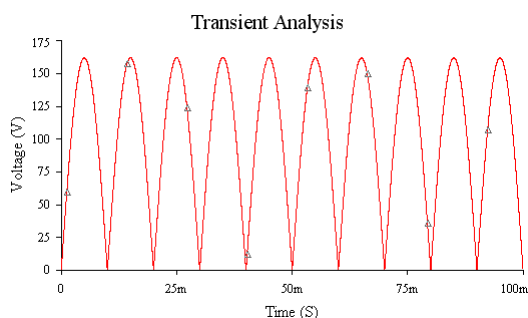
#### 3.3. Analiza stanu przejściowego

Zadaniem analizy stanu przejściowego jest przedstawienie odpowiedzi badanego obwodu w funkcji czasu. W analizie tej źródła DC mają stałą wartość, natomiast źródła AC mają wartość uzależnioną od czasu. Pojemności i indukcyjności są reprezentowane przez modele magazynujące energię. Program Multisim umożliwia wybór sposobu ustalenia wartości początkowych niezbędnych do przeprowadzenia analizy. Dokonuje się tego poprzez wybór jednej z czterech opcji. Możliwe jest rozpoczęcie pracy od wykonania analizy punktu pracy DC, a gdy się ona nie powiedzie to następuje symulacja z parametrami ustalonymi przez użytkownika. Możliwe jest również wykorzystanie kroku początkowego określonego na podstawie wyniku analizy punktu pracy DC. Kolejna opcja umożliwia rozpoczęcie analizy od zerowych warunków początkowych. Możliwa jest także analiza od warunków początkowych ustalonych przez użytkownika. Przykład wykorzystania analizy stanu przejściowego został omówiony dla układu prostownika dwupołkowego diodowego (rys. 3). Kształt otrzymanego przebiegu napięcia na rezystorze R1 dla liczby punktów pomiarowych ustalonych automatycznie, przy czym domyślna wartość wynosi 100, nie jest prawidłowy, gdyż przebieg ten nie osiąga minimalnej wartości zerowej. Natomiast gdy zdefiniuje-

my liczbę punktów pomiarowych jako 1000 wynik analizy (rys. 4) jest prawidłowy.



Rys. 3. Schemat układu prostownika dwupołkowego diodowego



Rys. 4. Wynik analizy czasowej dla 1000 punktów pomiarowych

### 3.4. Analiza Fouriera

Analiza Fouriera jest przykładem analizy, którą można wykonać jedynie w sposób pasywny. Współpracuje ona z analizą stanu przejściowego oraz stałoprądową. Przed przeprowadzeniem analizy Fouriera należy wirtualny układ sprawdzić. Gdy nie ma możliwości określenia w nim punktu pracy DC pojawia się błąd analizy stanu przejściowego, a to uniemożliwia przeprowadzenie analizy Fouriera. Przed rozpoczęciem analizy należy ustalić także wartość podstawowej częstotliwości. Wartość ta zależy od częstotliwości źródeł AC wykorzystanych do budowy układu, powinna być ona równa najmniejszej wartości częstotliwości użytych źródeł. Pakiet Multisim jest w stanie samodzielnie określić wartość tej częstotliwości, w tym przypadku należy wykorzystać polecenie *Estimate*. Przykład służący do prezentacji analizy Fouriera przedstawiono w [1, 2], przy czym badaniom poddano źródło sygnału prostokątnego.

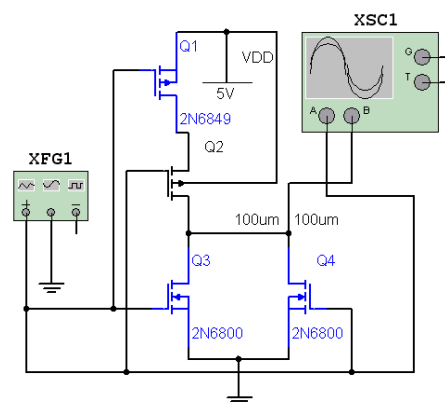
## 4. PRZYKŁADY SYMULACJI UKŁADÓW CYFROWYCH

Popularne programy komputerowe służące do symulacji obwodów elektronicznych, takie jak PSpice, OrCad oraz również Multisim, wprowadzają pewne nieścisłości. Wszystkie te programy modelują bramki logiczne jako idealne źródła napięciowe o napięciu wyjściowym w stanie niskim równym zeru oraz w stanie wysokim – napięciu zasilania całego układu. Ponadto prądy wejściowe i zasilania są pomijane. Jest to powodem niepoprawnej symulacji zjawisk, które wymagają określenia wartości prądów i napięć w konkretnych punktach obwodu. Jest to szczególnie widoczne w układach realizujących zależności czasowe, na które istotny wpływ wywierają dołączone elementy dyskretne R i C. W

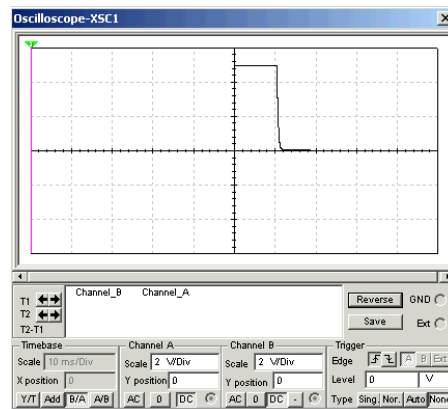
takich układach stała czasowa wyznaczona przez elementy R i C ma wpływ na stan logiczny na wyjściu układu. Programy symulacyjne, które nie uwzględniają rzeczywistych parametrów bramek, np. maksymalne napięcie i prąd wyjściowy, przedstawiają wyniki znacznie różniące się od otrzymywanych w układach rzeczywistych.

### 4.1. Pomiar charakterystyk bramek logicznych

W celu wyznaczenia, za pomocą programów komputerowych, elektrycznych charakterystyk bramek logicznych konieczne jest samodzielne zbudowanie z elementów dyskretnych modelu wybranej bramki i przeprowadzenie symulacji przy prawidłowym ustawieniu jej parametrów. Przykładowy schemat pomiarowy charakterystyki przejściowej (przełączania) dla bramki NOR CMOS został przedstawiony na rysunku 5. Natomiast na rysunku 6 zaprezentowano uzyskany jej przebieg. Schematy dla innych bramek oraz innych charakterystyk zostały zaprezentowane w [1], gdzie można znaleźć również wyniki symulacji.



Rys. 5. Schemat pomiarowy charakterystyki przejściowej bramki NOR CMOS

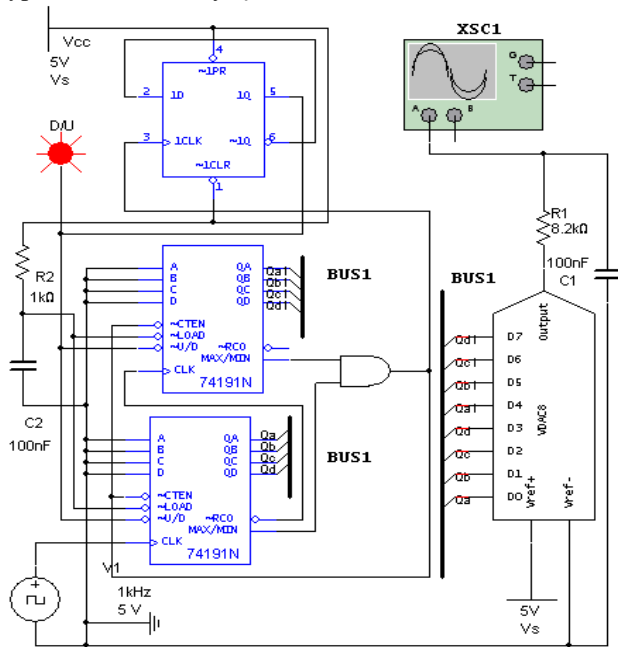


Rys. 6. Charakterystyka przejściowa bramki NOR CMOS

### 4.2. Generator impulsów trójkątnych

W technice cyfrowej istotną rolę odgrywają liczniki, które w połączeniu z innymi układami mogą pełnić wiele funkcji. Gdy wprowadzimy licznik w określony tryb pracy można wygenerować ciąg liczb o zadanym grafie. Ponieważ najprostsze przetworniki cyfrowo-analogowe mają osiem bitów wejściowych, dlatego też w kolejnym przykładzie, omówionym w artykule, zastosowano licznik ośmiobitowy. W celu generacji przebiegu trójkątnego połączono liczniki tak, aby pracowały według grafu  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots \rightarrow 254 \rightarrow 255 \rightarrow 254 \rightarrow \dots \rightarrow 0 \dots$ . Taki licznik łatwo zbudować na bazie układów UCY74191, które są synchronicznymi

licznikami dwójkowymi z jednym wejściem zegarowym i wejściem sterującym kierunkiem zliczania. Aktualny kierunek zliczania jest zapisany w dodatkowym elemencie pamiętającym, np. w układzie dwójki liczącej, który zmienia stan w momentach osiągnięcia przez licznik stanów 00H i FFH. Do wykrycia tych stanów wykorzystano wyjście sygnalizujące stan maksymalny i minimalny MAX/MIN z aktywną jedynką. Schemat generatora przebiegu trójkątnego przedstawiono na rysunku 7. W celu zwiększenia przejrzystości schematu, sygnały wyjściowe z liczników scalonych zostały wyprowadzone na szynę BUS1.



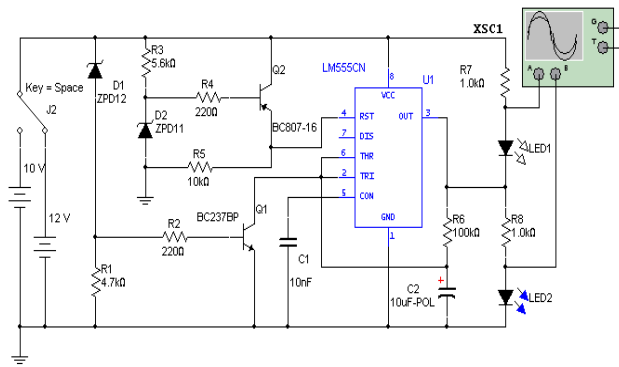
Rys. 7. Generator impulsów trójkątnych

#### 4.3. Wskaźnik stanu naładowania akumulatora

Projekt wskaźnika nadzorującego poziom napięcia baterii akumulatorowej o napięciu 12V (rys. 8) wykorzystuje układ timera NE555, który jest bardzo często wykorzystywany w technice cyfrowej. Układ ten może pracować jako generator monostabilny lub astabilny o regulowanym współczynnikiem wypełnienia. Można go także wykorzystać do dzielenia częstotliwości, modulacji szerokości i położenia impulsów. Często jest on także wykorzystywany w układach alarmowych, sygnalizacyjnych, jako liniowy przetwornik napięcia na częstotliwość, regulator prędkości obrotowej silnika, wyłącznik czasowy.

W układzie nadzorującym poziom napięcia baterii naładowany akumulator ma napięcie większe od 12V, wówczas dioda LED2 jest włączona. W przypadku, gdy napięcie to jest mniejsze od 12 V włączona jest dioda LED1. Natomiast gdy napięcie jest równe 12 V obie diody są cyklicznie włączane / wyłączane.

Mnóstwo praktycznych zastosowań układu NE555 można znaleźć w [1, 2, 3]. W niektórych wersjach programu Multisim (education, professional i powyżej 2001) jest dostępny moduł, który automatycznie tworzy obwód zawierający timer 555 pracujący jako generator astabilny lub monostabilny. Do tego modułu, uruchamianego poleceniem Tools → 555 Timer Wizard, użytkownik wprowadza dane określające tryb pracy, napięcie zasilania, częstotliwość lub czas trwania impulsu wyjściowego, współczynnik wypełnienia, po wprowadzeniu których moduł próbuje dopasować wartości elementów R i C dołączanych do układu 555.



Rys. 8. Wskaźnik nadzorujący poziom napięcia baterii

Multisim jest doskonałym środowiskiem symulacyjnym do nauki przede wszystkim techniki cyfrowej. Mnóstwo praktycznych symulacji zostało przedstawionych w [1, 2], np. omówiono bloki arytmetyczne, bloki komutacyjne, układy sekwencyjne, liczniki scalone, układy uzależnień czasowych.

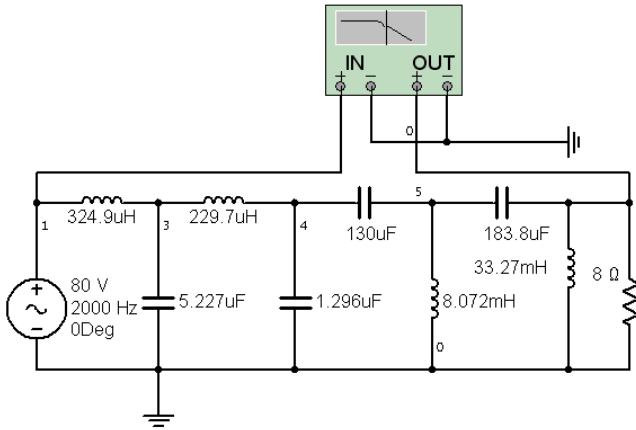
## 5. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA W CYFROWYM PRZETWARZANIU SYGNAŁÓW

Pakiet Multisim jest także wirtualnym narzędziem, które można wykorzystać w dydaktyce cyfrowego przetwarzania sygnałów. Wybrane przykłady zastosowań tego pakietu, tj. symulacje modulacji, demodulacji, kanałów transmisyjnych, przedstawiono w [4]. Dlatego też w dalszej części artykułu omówiono inne przykłady, tj. zagadnienia związane z filtrami, przetwornikami oraz kodowaniem.

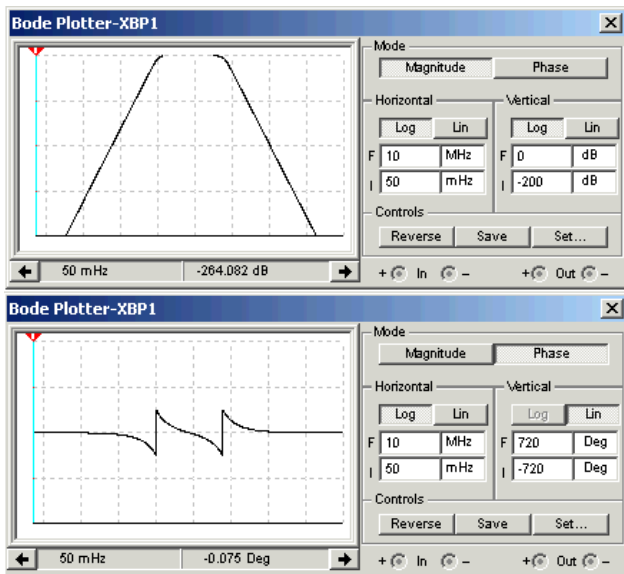
### 5.1. Filtry analogowe

Filtry są układami bardzo często występującymi w praktyce. Filtry pasywne składają się z rezystorów, cewek i kondensatorów, są obwodami łatwymi do analizy i syntezy. Program Multisim pozwala na dokładną analizę takich obwodów za pomocą specjalnych, wirtualnych przyrządów pomiarowych. Najbardziej przydatnym przyrządem podczas symulacji filtrów jest Bode plotter, który wyznacza charakterystyki częstotliwościowe obwodu. Układ prostego pasywnego filtra środkowoprzepustowego Butterworth'a 4-tego rzędu (pasmowoprzepustowego) RLC z dołączonym Bode plotterem został przedstawiony na rysunku 9. Wyniki otrzymane podczas symulacji są przedstawiane w postaci charakterystyki amplitudowej i fazowej (rys. 10). Z wykresów można odczytać, że filtr ten przepuszcza sygnały o częstotliwości od  $f_d=100$  Hz do  $f_g=6000$  Hz. Ustawienie szerokości pasma i rozdzielczości osi są automatycznie generowane przez program, możliwe jest także wprowadzenie tych wartości przez użytkownika.

W czasie zajęć dydaktycznych z cyfrowego przetwarzania sygnałów zadaniem studenta jest określenie funkcji i parametrów gotowego układu przygotowanego przez prowadzącego lub zaprojektowanie układu o określonej charakterystyce. Studenci projektują również filtry aktywne. W tym przypadku korzystają z gotowych wzorców i równań określających parametry filtru. Analiza takich obwodów nie jest prostym zadaniem. Program Multisim umożliwia symulację i analizę tego typu obwodów za pomocą przyrządów wirtualnych, przykłady realizacji filtrów aktywnych, z wykorzystaniem wzmacniaczy operacyjnych, zostały przedstawione między innymi w [1, 2].



Rys. 9. Filtr Butterworth'a pasmowoprzepustowy

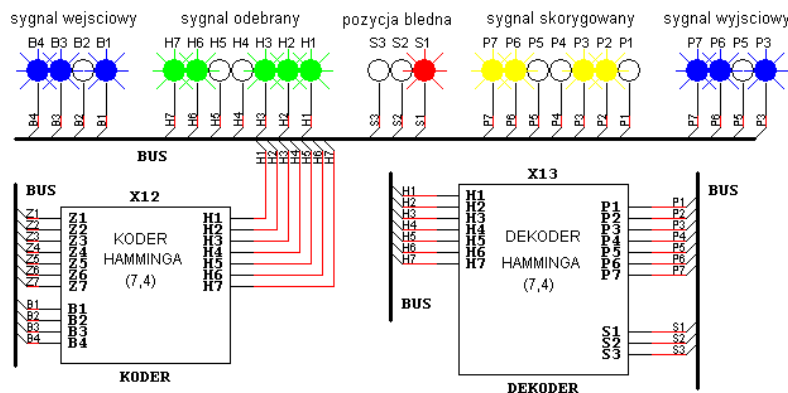


Rys. 10. Charakterystyka amplitudowa i fazowa filtra Butterworth'a pasmowoprzepustowego

## 5.2. Kodowanie i dekodowanie

Technika cyfrowa pozwala na zapisanie danej informacji w postaci ciągu zer i jedynek. Czynność przypisywania różnym informacjom pewnych symboli nazywamy kodowaniem, które bardzo często stosujemy między innymi w celu zabezpieczenia transmisji przed błędami. Do zakodowania informacji można zastosować wiele dostępnych kodów, począwszy od naturalnego kodu dwójkowego, kodu BCD, 1 z 10, 2 z 5, 3 z 8, czy kodu Aikena, Gray'a, Hamminga. Kod Hamminga jest szeroko wykorzystywany w telekomunikacji, w pamięciach komputerowych (RAM). Jest to liniowy kod korekcyjny. Kod ten wykrywa i koryguje błędy polegające na przekłamaniu jednego bitu, może też wykryć, bez korekcji, błędy podwójne. Kody Hamminga mogą mieć różną postać, kodowane informacje mogą być przykładowo 7-mio lub 11-to bitowe. Dużo przykładów różnych koderów, dekodów oraz translatorów zrealizowanych w Multisimie można znaleźć w [1, 2, 5].

Idea kodowania kanałowego, która zabezpiecza sygnał niosący informację przed zakłóceniami, polega na dodaniu do koderze kanałowym do bitów sygnału wejściowego dodatkowych bitów zabezpieczających, tzw. bitów kontrolnych. Podczas transmisji w kanale telekomunikacyjnym może wystąpić przekłamanie niektórych bitów. Dekoder, wykorzystując bity kontrolne, może wykryć lub wykryć i skorygować błędy w odebranym ciągu binarnym, oczywiście w przypadku, jeśli nie została przekroczona tzw. zdolność korekcyjna kodu. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony wirtualny koder i dekodek kodu Hamminga (7, 4). W przykładzie (rys. 11) zakodowana została informacja 4-bitowa 1 1 0 1, po zasymulowaniu błędu na pierwszej pozycji uzyskaliśmy 1 1 0 0 1 1 1 jako sygnał odebrany, otrzymane bity kontrolne 0 0 1 świadczą o wystąpieniu błędu na pierwszej pozycji. Następnie został określony sygnał skorygowany w postaci 1 1 0 0 1 1 0, i w wyniku końcowym otrzymano sygnał wyjściowy 1 1 0 1. Zgodność sygnałów wejściowych i wyjściowych świadczy o poprawnie przeprowadzonej symulacji. Do określenia sygnałów wejściowych oraz symulacji błędów służą przełączniki, które na rysunku 11 zostały pominięte. Schemat koderu oraz dekodekera, w celu zwiększenia przejrzystości rysunku, został zamknięty jako podbłód.

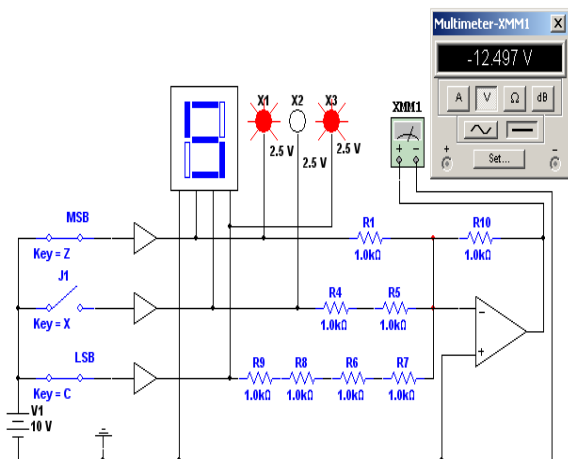


Rys. 11. Koder i dekodek kodu Hamminga (7, 4)

### 5.3. Przetworniki A/C i C/A

Większość sygnałów bezpośrednio spotykanych w życiu codziennym to sygnały ciągłe. Dlatego też, w celu uzyskania sygnału cyfrowego, często w cyfrowym przetwarzaniu sygnałów są stosowane przetworniki A/C. Przetwarzanie A/C i C/A jest procesem, który pozwala układom cyfrowym współdziałać z sygnałami występującymi w życiu codziennym. Do najważniejszych podzespołów przetworników zaliczamy: źródła napięcia odniesienia, komparatory napięcia, przełączniki analogowe, wzmacniacze operacyjne, układy cyfrowe oraz układy próbkująco-pamiętające. W czasie zajęć z Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów studenci poznają różne rozwiązania konstrukcyjne przetworników C/A i A/C, przykładowo przetwornik C/A typu R2R, C/A typu R2nR, A/C typu flash, A/C z pojedynczym całkowaniem, A/C z kompensacją równomierną, A/C z układem śledzącym oraz A/C typu Delta – Sigma, sporo przykładów jest dostępnych na stronie internetowej [1, 6]. Studenci badają gotowe układy przygotowane przez prowadzącego lub budują, w środowisku Multisim, własne przykłady przetworników. Na rysunku 12 został przedstawiony przykładowy schemat przetwornika C/A typu R/2R. Do zamiany sygnału cyfrowego na sygnał analogowy, przetwornik R/2R używa kilku określonych wartości rezystancji. Wadą konstrukcji przetwornika jest konieczność zastosowania kilku precyzyjnie dobranych rezystorów wejściowych W układzie przetwornika R/2R wprowadzanie sygnału wejściowego odbywa się przy pomocy przełączników <Z>, <X>, <C>, przy czym <Z> określa najbardziej znaczący bit, natomiast <C> najmniej znaczący bit. Napięcie wyjściowe jest określone zależnością  $U_{wy} = -U_{we} \cdot R_{10} / R_w$ , przy czym

$$R_w = 4 \cdot R / (4 \cdot Z + 2 \cdot X + C) \text{ oraz } R = R1 = R4 = R5 = R9 = R8 = R6 = R7.$$



Rys. 12. Przetwornik R/2R

## MULTISIM –EXAMPLES OF ADVANCED APPLICATIONS IN TEACHING

**Key-words:** simulation, digital technique, digital signal processing.

Multisim is a virtual tool that enables design and simulation of many electric, digital and electronic circuits as well as analysis of analog and digital systems. It is also a powerful tool to support teaching in schools of electric and electronic profiles. Examples of advanced applications of the software in teaching digital techniques, digital signal processing and circuit theory are presented in the article. Filters, D/A and A/D converters, circuit for reducing transmission data errors and examples of using tools supporting the synthesis and analysis of electric and electronic circuits were described.

Przedstawioną konstrukcję możemy uprościć, jednocześnie zwiększając jej efektywność, co uzyskujemy poprzez zastosowanie rezystorów o różnej wartości.

### 6. WNIOSKI KOŃCOWE

Symulacje w środowisku Multisim mogą posłużyć do poszerzenia wiedzy z zakresu budowy i zasady działania układów cyfrowych, elektronicznych oraz algorytmów cyfrowego przetwarzania. Unifikacja wielu modułów w jednym pakiecie eliminuje trudności związane z wymianą informacji pomiędzy programami różnych producentów, przeznaczonymi do projektowania różnych układów. Łatwość obsługi, przyjazny interfejs użytkownika i uniwersalność pakietu Multisim implikuje wykorzystanie go również przez początkujących i uczących się projektantów. Mnóstwo praktycznych przykładów dla wszystkich interesujących się techniką cyfrową, cyfrowym przetwarzaniem, elektroniką oraz elektryką można znaleźć w [1, 2, 5, 6].

### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Noga K. M., Radwański M.: Multisim. Technika cyfrowa w przykładach, Wydawnictwo BTC, 2009, ISBN 978-83-60233-48-1
2. <http://www.am.gdynia.pl/~jagat>
3. Górski K.: Timer 555 w przykładach, BTC, Warszawa, 2005, ISBN 83-921073-5-7
4. Noga K. M.: Zastosowanie pakietu Commsim i Multisim w nauczaniu cyfrowego przetwarzania sygnałów, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 22, XVI Seminarium „Zastosowanie komputerów w nauce i technice 2006”, str. 129 – 134
5. Noga K. M., Radwański M.: Zastosowanie pakietu Multisim w dydaktyce techniki cyfrowej, Zeszyty Naukowe AM, str. 119 – 132, ISSN 1644-1818
6. <http://atol.am.gdynia.pl/tc/cps2007>