

PRZYKŁADY PRZETWARZANIA DŹWIĘKU W ŚRODOWISKU VISSIM

Krystyna Maria NOGA

Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej
tel: 58 55 86 471, e-mail: k.noga@we.am.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule zostały przedstawione zagadnienia, omawiane na wykładzie z Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów, z zakresu tworzenia i obróbki dźwięku, ze szczególnym uwzględnieniem symulacji efektów brzmieniowych. Przykładowe wirtualne układy zostały zbudowane w środowisku *VisSim*.

Słowa kluczowe: dźwięk, obróbka dźwięku, efekty brzmieniowe.

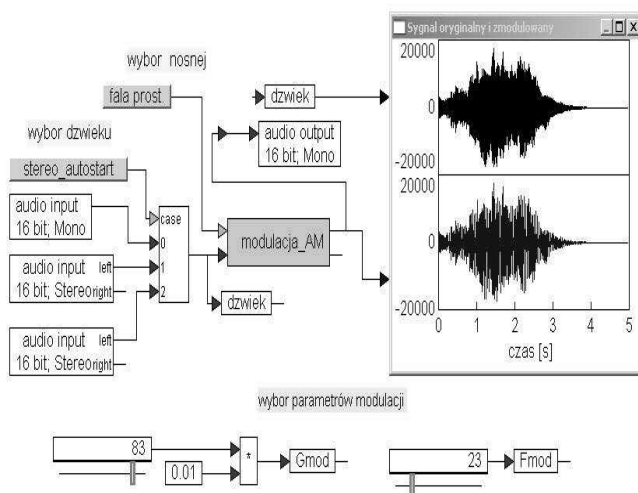
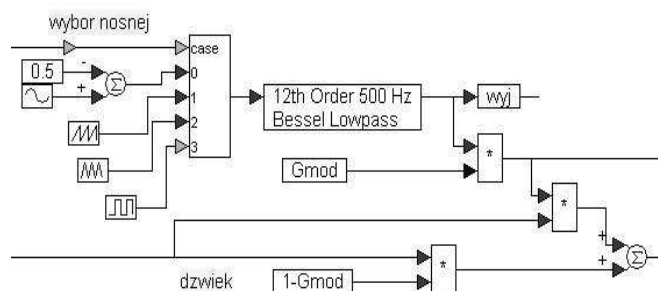
1. WSTĘP

Wiedza z zakresu przetwarzania sygnałów jest stosowana między innymi we współczesnej technice audio. Wykorzystuje się ją przykładowo przy projektowaniu instrumentów muzycznych oraz przy tworzeniu zaawansowanych torów audio. Zagadnienia przetwarzania dźwięku to jeden z tematów omawianych na wykładzie i laboratorium z przedmiotu Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów. W artykule zostaną przedstawione przykładowe wirtualne układy zbudowane w środowisku *VisSim*, które pozwalają na zapoznanie się z procesem tworzenia dźwięku, działaniem algorytmów obróbki dźwięku, ze szczególnym uwzględnieniem efektów brzmieniowych. Zostaną między innymi omówione symulacje prezentujące echo, pogłos, efekt ping-pong. Ponadto zostaną przedstawione przykładowe symulacje przeznaczone do generowania dźwięków o zadanych parametrach, np. o różnej częstotliwości, głośności, różnym wzmocnieniu szumu. W artykule zostanie także zaprezentowany wirtualny korektor barwy dźwięku. Do budowy wirtualnych układów wykorzystano opisy matematyczne prezentowanych zjawisk. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów nie jest łatwym zagadnieniem gdyż wymaga dobrej znajomości matematyki. W artykule opis matematyczny został pominięty, jest on omawiany na wykładzie, jest też dostępny w literaturze, np. [1–7].

2. MODULACJA AMPLITUDY DŹWIĘKU

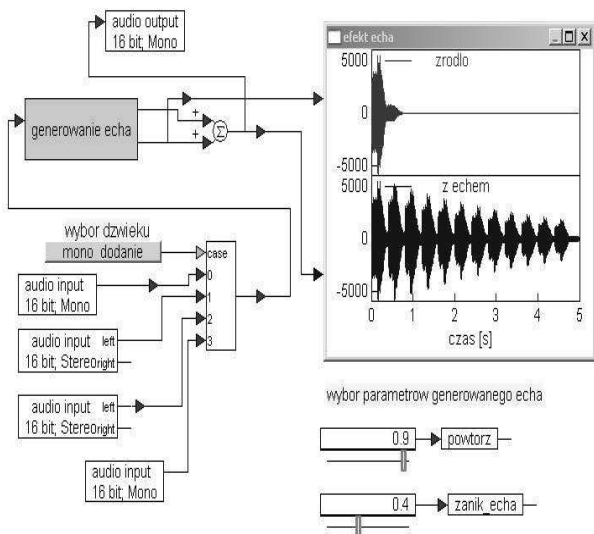
Dźwięk jest definiowany jako zaburzenia falowe ośrodka sprężystego, np. powietrza, metalu, płynu, które wywołują określone wrażenie słuchowe. Częstotliwości fal, które są słyszalne dla człowieka zawarte są w paśmie między wartościami od około 16 Hz do 20 kHz. Do podstawowych cech dźwięku zaliczamy wysokość, głośność, czas trwania, barwę [7]. Jednym z efektów dźwiękowych, bardzo często wykorzystywanym w obróbce fonicznej, jest modulacja amplitudy sygnału. Wirtualny układ umożliwiający poznanie zasad modulacji amplitudy przedstawia rysunek 1. Umożliwia on wybór przebiegu nośnego (przebieg prostokątny, sinusoidalny, trójkątny, piłokształtny), określenie współ-

czynnika głębokości modulacji, częstotliwości modulacji oraz rodzaju sygnału dźwiękowego (pliki z systemu Windows – *wykrzyknik.wav*, *zamknięcie.wav*, *autostart.wav*). W bloku *modulacja_AM* (rys. 2), zbudowanym z elementów dostępnych w środowisku *VisSim*, następuje wybór sygnału nośnego, który jest możliwy dzięki zastosowaniu przycisku wielopoziomowego oraz instrukcji *case*. Instrukcja ta zależy od stanu na linii decyzyjnej przesyła jeden z czterech sygnałów nośnych. Sygnał ten jest podany na wejście dolno-przepustowego filtra Bessela, którego rolą jest złagodzenie stromości narastania sygnału, mogących powodować nienaturalne trzaski w głośnikach.

Rys. 1. Modulacja amplitudy dla pliku *Autostart.wav*Rys. 2. Budowa bloku *modulacja_AM*

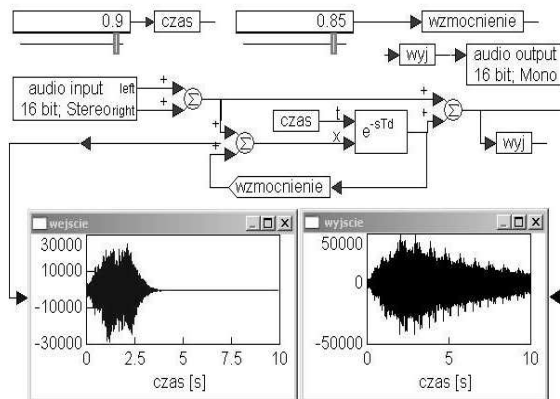
3. EFEKTY BRZMIENIOWE

Efekty brzmieniowe stosuje się w celu modyfikacji brzmienia dźwięku. Efekty te można uzyskać wykorzystując programy komputerowe, karty dźwiękowe PC, procesory, moduły brzmieniowe w instrumentach elektronicznych. Do najczęściej wykorzystywanych efektów dźwiękowych zaliczamy echo pojedyncze i wielokrotne, pogłos (przykładowo realizowany według algorytmu Schroedera), tzw. ping pong, phasing [1 - 7]. Efekt echa symuluje odbicie dźwięku od przeszkody. Wówczas słyszalny jest dźwięk bezpośredni, dźwięk odbity (z określonym opóźnieniem), ewentualnie kolejne odbicia. Różnica czasu pomiędzy dźwiękiem bezpośrednim a odbitym powinna wynosić minimum 80-100 ms [1 - 4]. Wirtualny układ przedstawiony na rysunku 3 służy do dodawania do sygnału dźwiękowego efektu wielokrotnego echa o określonych parametrach. Sygnałem wejściowym jest plik dźwiękowy, możliwy jest wybór spośród czterech plików z systemu Windows lub można dokonać wyboru w bloku *audio input*, w którym plik może być dodatkowo odsłuchany. Parametrem wejściowym wirtualnego układu prezentującego efekt echa jest *zanik_echa*, który określa odstęp czasowy pomiędzy dźwiękiem, jego pierwszym i kolejnymi odbiciami. Drugi parametr wejściowy *powtorz* jest odpowiedzialny za prędkość zaniku echa dźwięku, możliwe jest jego ustawienie w przedziale od 0 do 1, gdzie 0 oznacza brak efektu echa, a 1 powolne jego zanikanie. Specjalnie zbudowany blok *generowanie echa* odpowiada za generowanie dodatkowego sygnału, tj. echa. Realizacja tego bloku polega na sumowaniu sygnałów opóźnionych w stosunku do sygnału wejściowego o kolejne, całkowite wielokrotności czasu opóźnienia określone wartością parametru *zanik_echa*. Przed zsumowaniem sygnały są dodatkowo mnożone przez kolejną potęgę współczynnika zanikania echa, określoną wartością parametru *powtorz*. Na wyjściu bloku są dwa sygnały, tj. sygnał źródłowy oraz echo. Oba sygnały po zsumowaniu są zapisywane do nowego pliku dźwiękowego, który w bloku *audio output* może być również odsłuchany.



Rys. 3. Dźwięk oryginalny oraz dźwięk z efektem echa dla pliku *dodanie sprzetu.wav*

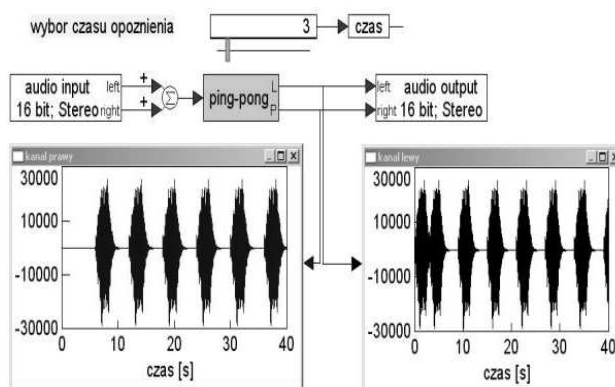
Jeszcze prostszy układ prezentujący efekt echa wielokrotnego ilustruje układ (rys. 4), w którym dodanie pętli sprzężenia zwrotnego umożliwiło symulację odbić, przy czym odstępy pomiędzy odbiciami są stałe.



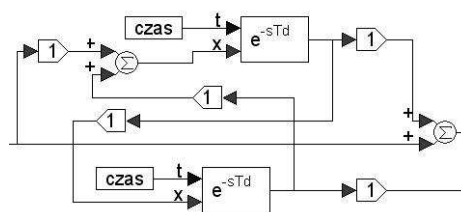
Rys. 4. Echo wielokrotne dla pliku *Autostart.wav*

Wirtualny układ realizujący efekt stereofoniczny ping-pong został przedstawiony na rysunkach 5 i 6, jego główna idea polega na odbijaniu sygnału opóźnionego pomiędzy lewym i prawym kanałem.

Efekt pogłosu (ang. *reverberation*) polega na symulacji akustyki pomieszczenia, w którym dźwięk wielokrotnie odbija się od ścian i obiektów w nim się znajdujących. Czas pogłosu zdefiniowany jest jako czas potrzebny do stłumienia dźwięku o 60 dB. Zależy on od wymiarów i kształtu pomieszczenia, obiektów znajdujących się w pomieszczeniu oraz materiałów pokrywających powierzchnie odbijające.

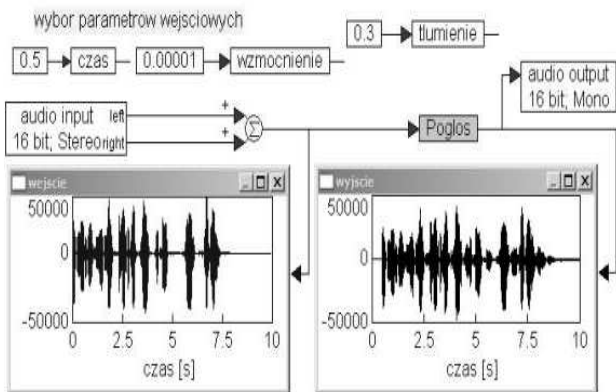


Rys. 5. Efekt ping-pong dla pliku *Autostart.wav*

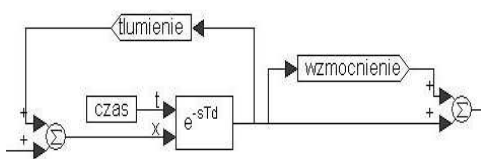


Rys. 6. Struktura bloku *ping_pong*

Symulację efektu pogłosu (rys. 7, 8) można uzyskać poprzez zastosowanie filtra cyfrowego grzebieniowego, który zapewnia stałe odstępy pomiędzy odbiciami, chociaż zniekształca barwę dźwięku. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie filtra wszechprzepustowego (ang. *all pass*), który w mniejszym stopniu zniekształca barwę dźwięku, zapewnia płaską charakterystykę amplitudową i stałe odstępy pomiędzy odbiciami [1 - 7]. Parametry wejściowe *czas*, *wzmocnienie*, *tlumienie* określają odpowiednio czas opóźnienia pogłosu w sekundach, wartość wzmocnienia korekcyjnego oraz wartość tłumienia sygnału dźwiękowego po odbiciu.

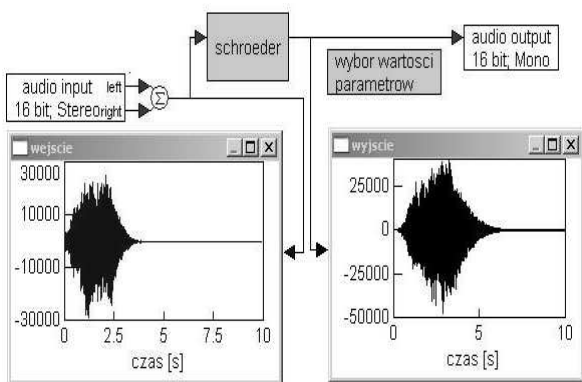


Rys. 7. Realizacja pogłosu dla pliku *limp1.wav*

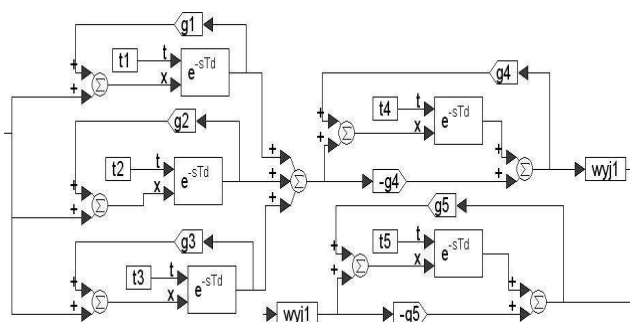


Rys. 8. Struktura bloku *pogłos*

Realizacja algorytmu Schroedera (rys. 9) jest możliwa poprzez równoległe połączenie filtrów grzebieniowych oraz kaskadowe połączenie filtrów wszechprzepustowych. Algorytm ten zapewnia zmienne odstępy pomiędzy odbiciami. W przygotowanym wirtualnym układzie (rys. 10), wykorzystano 3 filtry grzebieniowe oraz 2 filtry all pass o współczynnikach wzmocnienia g_i oraz opóźnieniu t_i , przy czym parametry wejściowe są wprowadzane w oknie dialogowym *wybór wartości parametrów*.



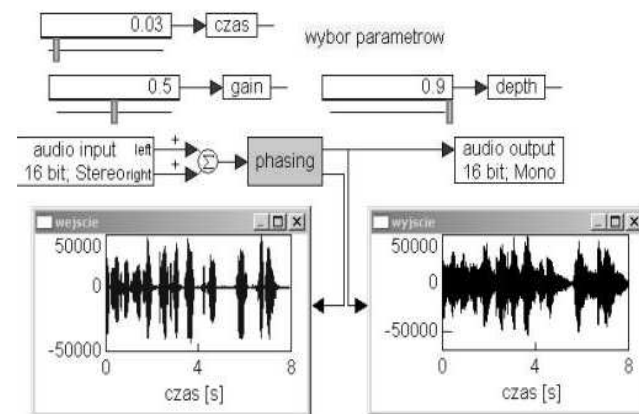
Rys. 9. Realizacja algorytmu Schroedera



Rys. 10. Struktura bloku *schroeder*

Kolejne zjawisko brzmieniowe tj. przesuwanie fazy (ang. *phasing*) symuluje efekt „pływania” barwy dźwięku

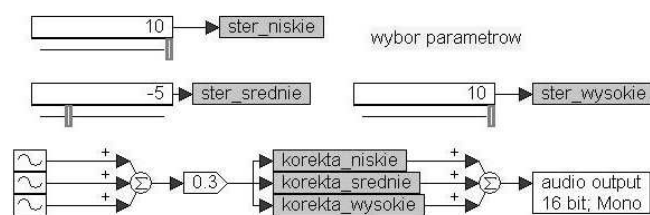
(rys. 11). Do symulacji tego efektu można zastosować filtry wszechprzepustowe, które wprowadzają opóźnienie fazowe, nie zmieniają widma amplitudowego. Znaczenie parametrów wejściowych jest podobne jak dla bloku *pogłos*.



Rys. 11. Realizacja efektu phasing dla pliku *limp1.wav*

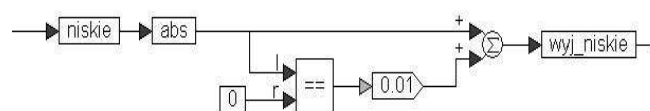
4. KOREKTOR BARWY DŹWIĘKU

Korektor barwy dźwięku (ang. *equalizer*) jest układem, który służy do tłumienia lub wzmacniania określonych częstotliwości dźwięku. Jest on stosowany między innymi w układach rejestrujących oraz w odsłuchu. Do budowy wirtualnego korektora (rys. 12) zostały wykorzystane 3 pasmowo zaporowe i 3 pasmowo przepustowe cyfrowe filtry Czebyszewa IIR (ang. *Infinite Impulse Response*). Parametry wejściowe są zapisywane odpowiednio do zmiennych *niskie*, *średnie*, *wysokie*. W dalszej części układu są one wykorzystywane do wzmacnienia lub tłumienia danego pasma częstotliwości. Wartości te ustawiamy przy pomocy suwaków, które dla zakresu częstotliwości niskich, średnich i wysokich zostały połączone odpowiednio z blokami *ster_niskie*, *ster_średnie*, *ster_wysokie*, w których dokonano korekcji danego pasma. Budowa każdego bloku jest podobna, przykładowo na rysunku 13 przedstawiono budowę bloku *ster_niskie*.



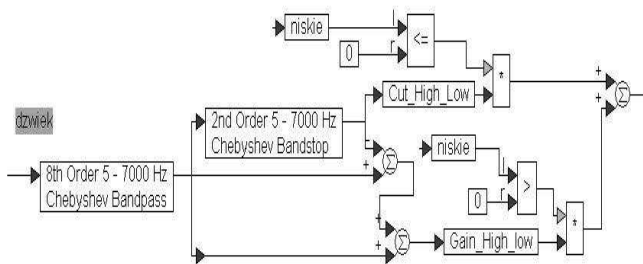
Rys. 12. Realizacja korektora barwy dźwięku

W zbudowanym układzie występuje zabezpieczenie przed przyjęciem przez parametr wejściowy wartości zerowej, która powodowałaby błędną pracę filtra. Ostateczne wartości wyjściowe są zapisywane do zmiennych *wy_niskie*, *wy_średnie*, *wy_wysokie*, które w dalszej części układu służą do sterowania pracą filtra.



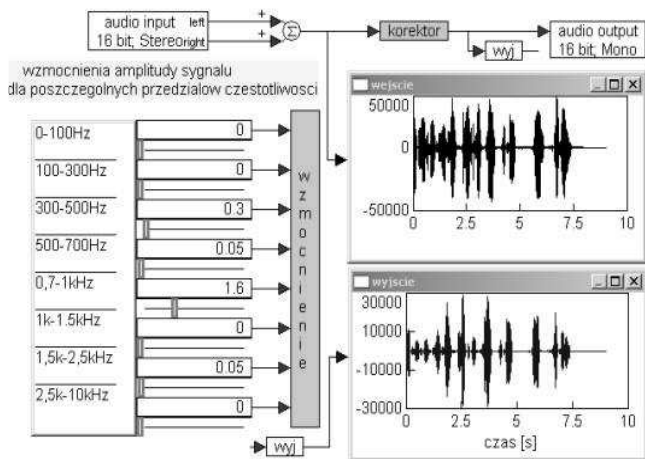
Rys. 13. Budowa bloku *ster_niskie*

Układy odpowiedzialne za korekcję barwy dźwięku zostały zamknięte w blokach *korekta_niskie* (rys. 14), *korekta_srednie*, *korekta_wysokie*. Sygnał wejściowy w każdym z tych bloków jest poddawany filtracji pasmowo - zaporowej.



Rys. 14. Budowa bloku *korekta_niskie*

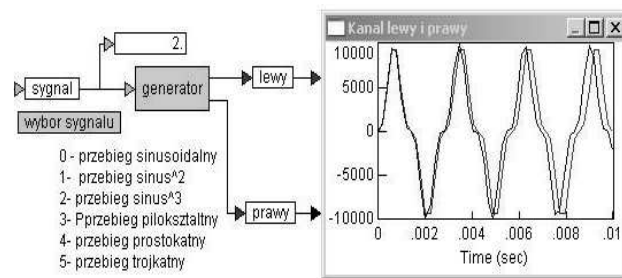
Inny przykład korektora, który został zbudowany z 8 cyfrowych filtrów pasmowo przepustowych FIR (ang. *Finite Impulse Response*) został przedstawiony na rysunku 15. Parametrami wejściowymi układu są współczynniki korekcji dla 8 zakresów częstotliwości sygnału dźwiękowego.



Rys. 15. Korektor barwy dźwięku dla pliku *limp1.wav*

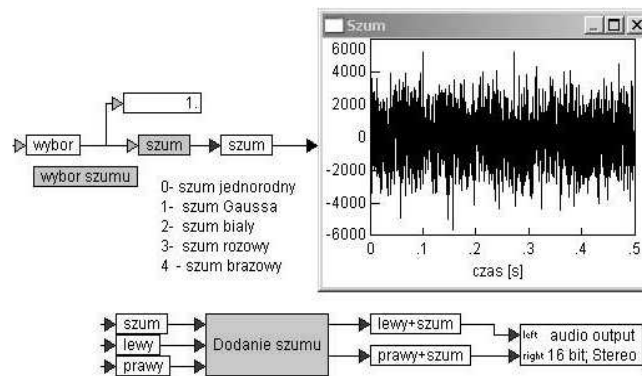
5. GENERATOR DŹWIĘKÓW

Opracowany na potrzeby dydaktyki program generacji wirtualnych fal mózgowych (ang. *brainwave generator*) jest przeznaczony do generowania dźwięków niezależnie dla kanału lewego oraz prawego o zadanych parametrach, do których należą: częstotliwość fali (zakres 100 – 1000 Hz), różnica częstotliwości pomiędzy lewym i prawym kanałem (zakres 0,5 – 30 Hz), głośność (zakres 0 - 10000), wzmocnienie szumu (zakres 0 – 2000), kształt przebiegu (do wyboru przebieg sinusoidalny, sinus², sinus³, piłokształtny, prostokątny, trójkątny), rodzaj szumu (do wyboru jednorodny, szum Gaussa, biały, różowy, brązowy). Na rysunku 16 przedstawiono przykładowy wygenerowany przebieg dla lewego i prawego kanału (różnica częstotliwości wynosi 10 Hz). Wygenerowany przebieg odsłuchiwany na słuchawkach stereofonicznych powoduje powstanie zjawiska dudnień różnicowych, co symuluje pracę mózgu. Fale mózgowie to cykle aktywności bioelektrycznej mózgu, które można rejestrować za pomocą aparatury elektroencefalograficznej. Charakterystycznym częstotliwościom fal mózgowych odpowiadają różne stany świadomości człowieka [8].



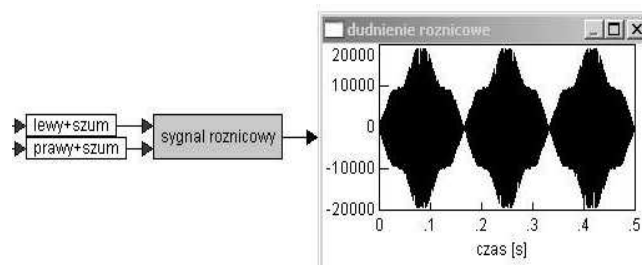
Rys. 16. Generator sygnałów

W środowisku *VisSim* zbudowano także generator szumu, który może być dodany do generowanego sygnału, tworząc tzw. tło zwiększające efektywność generatora (rys. 17).



Rys. 17. Generator szumu

Kolejny układ (rys. 18) przedstawia efekt powstawania dudnień różnicowych. Częstotliwość dudnienia wynika z różnicy częstotliwości między kanałami, a jego kształt zależy od wybranego sygnału.



Rys. 18. Generator dudnień różnicowych

6. ZAKOŃCZENIE

W artykule przedstawiono wirtualne układy, zbudowane w środowisku *VisSim*, prezentujące zagadnienia z zakresu obróbki dźwięku. Nie wyczerpuje to wszystkich możliwości pakietu *VisSim*. Przykładowo nie przedstawiono możliwości w zakresie próbkowania, analizy częstotliwościowej, kompresji dźwięku. Mimo, iż *VisSim* nie jest programem przeznaczonym do typowych zadań związanych z torem audio, to w jego środowisku można w bardzo łatwy sposób modelować i symulować różnego rodzaju tory syntezy oraz obróbki sygnałów akustycznych. Dzięki elementom *audio input* oraz *audio output* możliwa jest praca z dźwiękiem wprowadzanym z wejścia liniowego, np. z mikrofonu lub z pliku muzycznego oraz wyprowadzanie sygnału na głośniki czy do pliku muzycznego. Uzyskane efekty można również analizować na wykresach. Analiza przedstawionych zagad-

nień umożliwia studentom odsłuchanie uzyskanych efektów dźwiękowych oraz łatwiejsze zapamiętanie. Układy te można modyfikować oraz rozbudowywać, co aktywizuje proces nauczania. Omówione wirtualne układy przedstawiają duże możliwości pracy z dźwiękiem, między innymi generowanie sygnałów, przetwarzanie oraz wizualizację. Są one wykorzystywane na zajęciach dydaktycznych z Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów. Niestety ze względu na duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową użycie programu *VisSim* jako narzędzia do pracy nad dźwiękiem w czasie rzeczywistym nie jest praktycznie możliwe.

Przedstawione wirtualne układy spełniają niezbędne wymagania, którymi powinny charakteryzować się eksperymenty laboratoryjne, tj. odzwierciedlają zagadnienia spotykane w praktyce, są ciekawe wizualnie i akustyczne, są łatwe do zrozumienia i przedstawienia, ilustrują istotne problemy teoretyczne [9]. Układy te wymuszają także kształcenie umiejętności praktycznych. Student może dokonać analizy pracy przedstawionych układów, może ocenić wpływ parametrów wejściowych na sygnały i efekty wyjściowe, może dokonać modyfikacji analizowanych układów. Może ponadto przedstawić własne propozycje realizacji omawianych zagadnień lub też innych zagadnień, np. realizacja efektu chorus, flanger (czyli wielokrotny phasing), Wah-wah [5].

Metodyka nauczania inżynierów z wykorzystaniem eksperymentów praktycznych jest dzisiaj już standardem. Problemem jest, jak słusznie zauważyli autorzy pracy [9], znalezienie proporcji pomiędzy przekazywaniem wiedzy teoretycznej i kształceniem umiejętności praktycznych. Rozwiązanie tego problemu nie jest łatwe, wymaga wielu doświadczeń, zależy nie tylko od autora przygotowującego i prowadzącego zajęcia, ale także od motywacji i chęci zdobycia określonych umiejętności przez studenta.

Środowisko *VisSim* dzięki bogatej bazie standardowych funkcji i bloków umożliwia prezentację licznych zagadnień związanych z przetwarzaniem i przesyłaniem sygnałów. Inne zagadnienia, przykładowo związane z modulacjami analogowymi i cyfrowymi, modelowaniem kanałów transmisyjnych, zostały przedstawione w innych pracach autorki [10, 11]. Do prezentacji zagadnień z zakresu tworzenia i obróbki dźwięku może być również między innymi wyko-

rzystywany pakiet *Matlab* [4]. Istnieje więc możliwość porównania uzyskanych efektów. Należy dodatkowo zaznaczyć, że środowisko *VisSim* współpracuje z pakietem *Matlab* i *Mathcad*, co jeszcze bardziej powinno urozmaicić zajęcia oraz uaktywnić udział studentów w procesie nauczania. Praca własna studenta, realizacja własnych układów, uzyskanie określonych efektów końcowych powinno powodować wzrost motywacji studenta do nauki. A to zwiększa możliwości rozwoju zawodowego i daje po zakończeniu cyklu nauki lepszą pozycję w poszukiwaniu pracy.

7. BIBLIOGRAFIA

1. <http://sound.eti.pg.gda.pl/student/eim/synteza/adamx>
2. <http://sound.eti.pg.gda.pl/student/eim/09-Efekty.pdf>
3. Grygiel J., Łutkowski A.: Przetwarzanie dźwięku, wprowadzenie do efektów dźwiękowych, realizacja opóźnień, laboratorium inżynierii akustycznej, Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki
4. <http://matlab.atspace.org/teoria/dzwiek/dzwiek.html>
5. Słupik J. : Dźwięk cyfrowy, Politechnika Śląska, Gliwice, 2014 (dostępny 26.09.2016)
6. www.ire.pw.edu.pl/zea/materialy/DTS_Wyklad_2_Efekty.pdf
7. [http:// ux.ap.krakow.pl/..\(Dugiełło M. : Dźwięk i jego przetwarzanie.ppt\)](http://ux.ap.krakow.pl/..(Dugiełło M. : Dźwięk i jego przetwarzanie.ppt))
8. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektroencefalografia>
9. Knapik D., Kołek K., Rosół M., Turnau A. : Efektywne kształcenie inżynierów z wykorzystaniem laboratoryjnych systemów mechatronicznych i stosowaniem metodologii szybkiego prototypowania algorytmów sterowania, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 48, 2016, str. 35 – 40
10. Noga K. M.: Modulacje analogowe i cyfrowe w środowisku Mathcad i Vissim, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 36, 2013, str. 137– 140
11. Noga K.M.: Transmisja danych w kanale radiowym, wybrane zagadnienia w środowisku Vissim. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 40, 2014, str. 77-80

EXAMPLES OF SOUND PROCESSING IN THE VISSIM ENVIRONMENT

The possibilities of creating and processing of sound are presented in environment *VisSim*. The special attention is paid to the simulation of sound effects. The author presents a number of virtual circuits which allow to easily to explore the reverberation, ping-pong, phasing and echo effects, the equalizer and brainwave generator.

Keywords: sound, the processing of sound, sound effects.

