



ZNIEKSZTAŁCENIA INTERMODULACYJNE

Intermodulation distortions product

Monika Kordus

Institut Akustyki Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań
e-mail: mkordus@main.amu.edu.pl

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty badań, wskazujących, iż na wyższych piętrach układu słuchowego pojawiają się zniekształcenia nieliniowe będące wynikiem interakcji zachodzących pomiędzy neuronowymi reprezentacjami obwiedni amplitudowej sygnału, przetworzonego uprzednio w układzie filtrów słuchowych.

1. WPROWADZENIE

Nieliniowość układu słuchowego jest źródłem dodatkowych składowych częstotliwościowych obserwowanych w sygnale propagującym się na wyższych piętrach drogi słuchowej. Najważniejszymi w tym zakresie są zniekształcenia intermodulacyjne zwane też tonami kombinacyjnymi. Przyjmując założenie, że na pewnym etapie przetwarzania sygnału układ słuchowy dokonuje ekstrakcji obwiedni amplitudowej (filtry modulacyjne) można przypuszczać, że również na wyższych piętrach drogi słuchowej powinno obserwować się produkty zniekształceń intermodulacyjnych podobnie jak ma to miejsce na peryferiach układu słuchowego. Ten drugi etap przetwarzania sygnału ma charakter aktywny bowiem zakresy zmian liczby wyładowań neuronowych w jednostce czasu są większe niż fizycznie obserwowane zmiany amplitudy (obwiedni) sygnału. Wydaje się, że wzmocnienie obwiedni ma charakter nieliniowy i prowadzi do powstania nowych składowych spektralnych w sygnale. Dlatego też celem przeprowadzanych eksperymentów było wykazanie istnienia zniekształceń intermodulacyjnych w odniesieniu do obwiedni amplitudowej sygnału. Jeśli w istocie w układzie słuchowym dochodzi do wytwarzania zniekształceń intermodulacyjnych w dziedzinie zmian obwiedni sygnału akustycznego, to jednym ze sposobów ich wykrycia jest analiza detekcji modulacji amplitudowej zachodzącej z tą samą częstotliwością co spodziewane zniekształcenia intermodulacyjne. Sygnał modulujący o częstotliwości równej częstotliwości spodziewanych zniekształceń (sygnał próbny) powinien interferować z sygnałem zniekształceń. Charakter tej interakcji (wzmocnienie, zniesienie) zależał będzie ściśle od fazy początkowej sygnału próbnego. Będzie to miało bezpośrednie przełożenie na detekcję modulacji dokonywanej sygnałem próbnym w zależności od jego fazy początkowej.

2. METODA

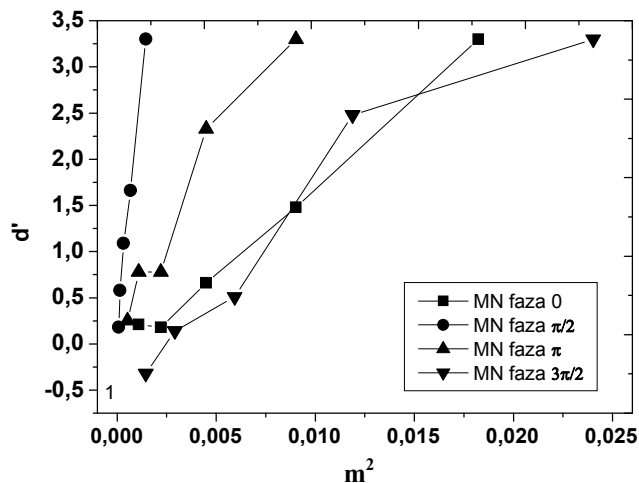
W badaniach zastosowano sygnał nośny, którym był ton o częstotliwości 4 kHz oraz sygnał modulujący składający się z trzech składowych sinusoidalnych. Dwie z tych składowych miały częstotliwości równe $f_{\text{mod}1}=27,5$ i $f_{\text{mod}2}=50$ Hz. Wytwarzały one wyraźnie słyszalne zmiany amplitudy, które były źródłem zniekształceń intermodulacyjnych. Trzeci składnik sygnału modulującego (sygnał próbny) miał częstotliwość $f_{\text{mod}p}=5$ Hz, równą częstotliwości spodziewanych zniekształceń intermodulacyjnych, (tj. $2 \cdot f_{\text{mod}1} - f_{\text{mod}2}$).

W eksperymencie, w ramach metody 2AFC, wyznaczono funkcje psychometryczne dla detekcji modulacji amplitudowej. Zastosowano pięć wartości współczynnika głębokości modulacji, które określono we wstępnych pomiarach tak, aby modulacja odpowiadająca najmniejszemu współczynnikowi była spoztrzegana w około 50%, a największemu w około 90%. Zastosowano cztery różne wartości fazy początkowej sygnału próbnego: 0 , $\pi/2$, π i $3\pi/2$.

W badaniach uczestniczyło czterech słuchaczy z audiologicznie normalnym słuchem. Sygnał prezentowano za pośrednictwem słuchawek Sennheiser HD 580 w izolowanym akustycznie pomieszczeniu. Uzyskane w eksperymencie wartości prawdopodobieństw przetransformowano w dziedzinę wrażliwości d' .

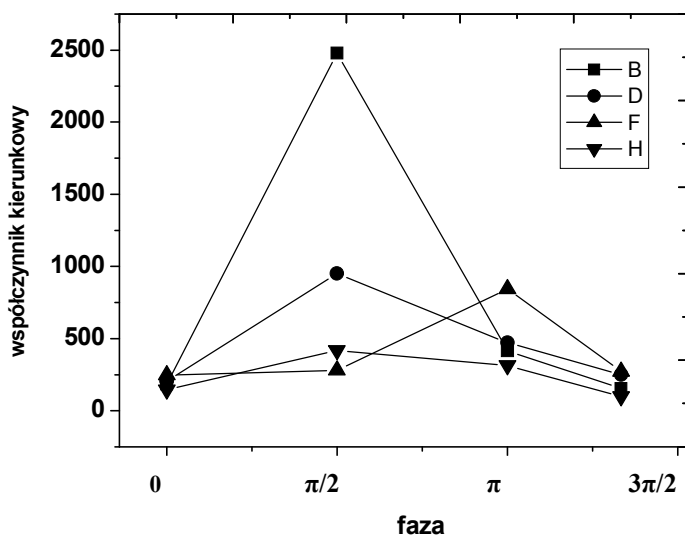
3. WYNIKI BADAŃ ORAZ ICH ANALIZA

Prawdopodobieństwa odpowiedzi poprawnych uzyskanych w eksperymencie przetransformowano w dziedzinę d' , a ich przykładowe przebiegi przedstawiono na rys.1 jako funkcję współczynnika głębokości modulacji. Parametrem krzywych jest faza początkowa sygnału próbnego.



Rys. 1 Przykładowe przebiegi funkcji psychometrycznych dla słuchacza MN biorącego udział w eksperymencie

Prezentowane na tym rysunku dane są reprezentatywne dla wszystkich osób biorących udział w odsłuchach. W każdym przypadku obserwowano liniową zależność wrażliwości d' od kwadratu współczynnika głębokości modulacji amplitudowej co jest zgodne z danymi Hartmanna. Dlatego też w pierwszej kolejności wyznaczono współczynniki kierunkowe prostych przechodzących przez początek układu współrzędnych, będących najlepszymi przybliżeniami danych eksperymentalnych. Współczynniki te zamieszczono w tabeli 1 oraz na rys. 2.



Rys. 2 Zależności pomiędzy współczynnikami kierunkowymi a fazą dla czterech słuchaczy biorących udział w eksperymencie

Tab. 1 Współczynniki kierunkowe dla 4 słuchaczy biorących udział w eksperymencie

Słuchacze		MN	SE	JK	ZG
Faza	0	183,56	204,03	247,91	145,29
	π	2478,10	950,62	278,89	418,35
	$\pi/2$	414,56	471,22	843,65	312,23
	$3\pi/2$	152,49	248,50	271,35	98,32

Analizując krzywe (rys.2) przedstawiające zależność współczynnika regresji liniowej od fazy dla poszczególnych słuchaczy zauważyć można duże zróżnicowanie międzyosobnicze. Wydaje się, że spostrzeganie modulacji wywołane sygnałem próbnym było znacznie łatwiejsze w przypadku fazy równej 90° i 180° , bowiem wrażliwość d' osiągała szybciej znacznie większe wartości przy zastosowaniu znacznie mniejszej wartości współczynnika głębokości modulacji. Dla słuchacza B i D najniższe wartości progowe osiągnięte zostały dla fazy równej 90° co mogłoby wskazywać na wystąpienie zniekształceń intermodulacyjnych właśnie dla tej fazy. Słuchacz F największa wrażliwość d' wykazuje dla fazy równej 180° . Przedstawione na rys. 2 i w tabeli 1 dane sugerują, zgodnie z przyjętą hipotezą, że w układzie słuchowym powstają zniekształcenia intermodulacyjne w dziedzinie częstotliwości zmian obwiedni amplitudowej. Uzyskane przebiegi d' (m^2), a więc i progi detekcji modulacji AM dokonywanej sygnałem próbnym, zależą w istotny sposób od fazy początkowej tych sygnałów. Znaczne zróżnicowanie międzyosobnicze tych wstępnych badań nie pozwala jednak na jednoznaczne określenie parametrów sygnału będącego produktem tych zniekształceń. Jest jednak prawdopodobnym, że zniekształcenie to może być w znacznym stopniu zindywidualizowane dla słuchaczy podobnie jak tony kombinacyjne w dziedzinie częstotliwości słyszalnych. Dlatego też dalsze badania wymagają zwiększenia liczby pomiarów, liczby osób biorących udział w odsłuchach oraz zwiększenia liczby faz początkowych sygnału próbnego.

LITERATURA

1. Hartmann, W. M. and G. M. Hnath (1982). "Detection of mixed modulation." *Acustica* **50**: 297-312.
2. Moore, B. C. J. (2002). "Interference effects and phase sensitivity in hearing." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, A*: (submitted).
3. E. Zwicker, H. Fastl *Psychoacoustics Facts and Models*, Springer-Verlag 1990.