

mgr inż. PAWEŁ GÓRSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Możliwości zastosowania dźwiękowego sygnalizatora ostrzegawczego z układem aktywnym

Wprowadzenie

Sygnaly dźwiękowe znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia – informują, ostrzegają, bądź zmuszają człowieka do podjęcia określonych działań. Wśród nich dużą grupę stanowią dźwiękowe sygnaly ostrzegawcze pojazdów uprzywilejowanych. Są one nadawane w celu poinformowania innych użytkowników ruchu drogowego o zbliżaniu się pojazdu uprzywilejowanego i tym samym o konieczności udzielenia pierwszeństwa przejazdu.

Sygnal ostrzegawczy

Analiza wymagań przepisów prawnych i norm wykazała [1], że nie ma ściśle określonych parametrów, którym powinien odpowiadać sygnal ostrzegawczy pojazdu uprzywilejowanego. Sygnal taki powinien być jednoznaczny i dobrze rozpoznawalny niezależnie od warunków ruchu drogowego, co jest konieczne ze względu na prawidłową jego percepcję, a tym samym spełnienie roli informacyjnej. Ze względu na złożoność i zmienność hałasu tła, z którego musi wyróżniać się sygnal ostrzegawczy pojazdu uprzywilejowanego, w większości obecnie stosowanych rozwiązań warunek ten zapewnia się przez zastosowanie odpowiednio wysokiego poziomu ciśnienia akustycznego.

We wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego dźwięk jego własnego sygnalizatora ostrzegawczego jest odbierany jako hałas, przez co negatywnie wpływa na warunki pracy kierowcy. Sytuacja ta powoduje konieczność zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego sygnalu ostrzegawczego odbieranego przez kierowcę, bez zmniejszenia wartości informacyjnej sygnalu na zewnątrz pojazdu. Zastosowanie w tym celu zwiększenia izolacyjności akustycznej kabiny, np. przez zastosowanie dodatkowych elementów tłumiących, spowoduje zmniejszenie poziomu sygnalów użytecznych dla kierowcy (np. dźwiękowe sygnaly ostrzegawcze innych pojazdów). W celu ochrony przed hałasem kierowcy

Sygnaly dźwiękowe nadawane przez znajdujący się w ruchu pojazd uprzywilejowany to istotna grupa sygnalów ostrzegawczych. Spełnienie roli informacyjnej sygnalu wymaga odpowiedniej słyszalności i rozpoznawalności, co w warunkach ruchu drogowego możliwe jest jedynie przez emitowanie sygnalu o odpowiednio wysokim poziomie ciśnienia akustycznego. Niestety, dźwięk sygnalizatora ostrzegawczego we wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego odbierany jest jako hałas. Sytuacja ta powoduje konieczność zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego sygnalu ostrzegawczego odbieranego przez kierowcę, przy zachowaniu jego wartości informacyjnej na zewnątrz pojazdu. W artykule przedstawiono propozycję rozwiązania tak postawionego problemu.

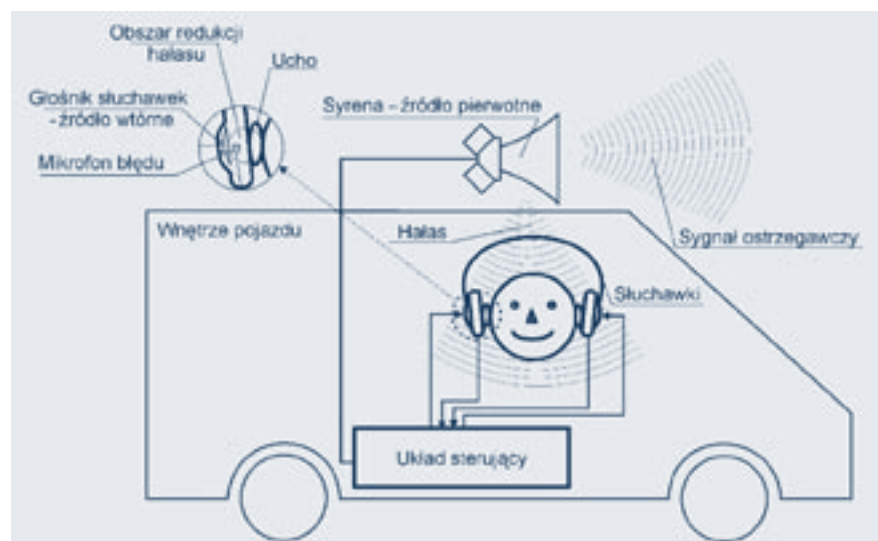
The possibilities of using an audible warning device with an active system

Audible devices for privileged motor vehicles are a very important group of warning devices. In road traffic audible warning devices, from the point of view of perception, should be loud. However a high sound pressure level of a warning device may be too noisy for drivers of privileged motor vehicles. The author presents the possibility of improving drivers' working conditions.

pojazdu uprzywilejowanego, podjęto w CIOP-PIB badania [3] nad sygnalizatorem dźwiękowym z układem aktywnym redukującym wśród sygnalów odbieranych przez kierowcę jedynie hałas sygnalizatora ostrzegawczego, przy zachowaniu wartości informacyjnej innych sygnalów użytecznych dla kierowcy.

Metody aktywne polegają na redukcji hałasu przez zastosowanie dodatkowego (wtórnego) źródła dźwięku. Na rys. 1. przedstawiono schemat działania systemu aktywnej redukcji hałasu sygnalu ostrze-

gawczego odbieranego przez kierowcę, a pochodzącego od własnego sygnalizatora ostrzegawczego. Jako źródło wtórne, w omawianym przypadku zastosowano głośniki ogólnie dostępnych słuchawek. Układ sterujący, na podstawie sygnalu dostarczonego przez dodatkowo umieszczone we wnętrzu słuchawek mikrofony błędu, generuje sygnal wysyłany do głośników. Na skutek nałożenia się fal dźwiękowych emitowanych przez syrenę i głośniki słuchawek w niewielkim obszarze wokół uszu uzyskuje się redukcję hałasu.



Rys. 1. Schemat działania sygnalizatora dźwiękowego z układem aktywnej redukcji hałasu

Fig. 1. A diagram of an audible warning device with an active noise reduction system



Rys. 2. Widok pojazdu uprzywilejowanego w trakcie pomiarów sygnalizatora dźwiękowego z układem aktywnym redukcji hałasu we wnętrzu pojazdu

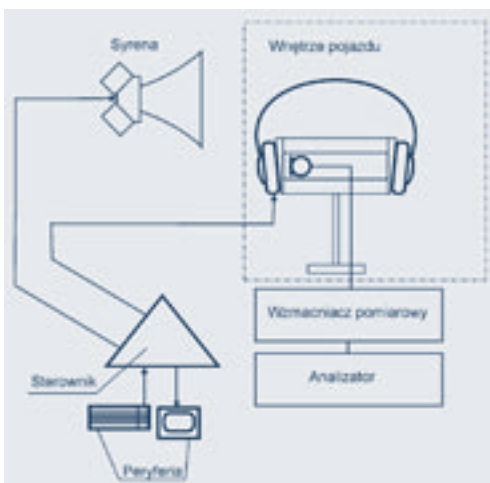
Fig. 2. A view of a privileged vehicle during measurements of an audible warning device with an active noise reduction system inside the vehicle

Metody aktywne umożliwiają redukcję wybranych składowych w sygnale ostrzegawczym bez ingerencji w pozostałą część sygnału. Największą ich skuteczność osiąga się w odniesieniu do sygnałów o widmie prążkowym (będących sumą składowych sinusoidalnych), których składowe widmowe mają niezmienną w czasie częstotliwość (może zmieniać się amplituda tych składowych) [2]. Tylko nieliczne sygnały ostrzegawcze, spotykane obecnie w praktyce, spełniają ten warunek [1, 3].

Badania symulacyjne

Na podstawie analizy wymagań akustycznych, zawartych w przepisach prawnych i normach [1], określono następujące podstawowe wymagania dotyczące sygnału ostrzegawczego:

- poziom dźwięku A (powyżej 65 dB i 15 dB powyżej poziomu hałasu)
- częstotliwość sygnału (300 – 3000 Hz, ze szczególnym wyróżnieniem 1500 Hz)



Rys. 3. Schemat pomiarowy sygnalizatora dźwiękowego z układem aktywnej redukcji hałasu

Fig. 3. A measurement diagram of an audible warning device with an active noise reduction system

- częstotliwość modulacji (0,2 – 5 Hz)
- czas narastania (wolniej niż 30 dB w ciągu 0,5 s)
- sygnał wielotonowy.

Zgodnie z tymi wymaganiami opracowano propozycję sygnału dźwiękowego zmodyfikowanego pod kątem możliwości zastosowania metod aktywnych do redukcji tego sygnału wewnątrz pojazdu uprzywilejowanego. Jest to sygnał złożony z dwóch tonów o częstotliwości od 300 do 1500 Hz. Tony te modulowano amplitudowo tym samym sygnałem o częstotliwości od 1 do 5 Hz, lecz przesuniętym w fazie o 180° [3].

W celu określenia skuteczności redukcji takiego sygnału dźwiękowego w układzie aktywnej redukcji hałasu sygnalizatora ostrzegawczego, przeprowadzono szczegółowe badania symulacyjne. Polegały one na symulacji komputerowej działania aktywnego systemu redukcji hałasu, odwzorowującego działanie systemów rzeczywistych i określeniu wpływu na skuteczność aktywnej redukcji takich parametrów sygnału ostrzegawczego, jak częstotliwość i kształt sygnału modulującego oraz częstotliwość składowych sygnału ostrzegawczego.

Badania dotyczące określenia optymalnego kształtu i częstotliwości sygnału modulującego przeprowadzono dla sygnałów ostrzegawczych złożonych z dwóch tonów o częstotliwościach składowych 300 i 600 Hz, 500 i 1000 Hz, 500 i 1500 Hz. Badania obejmowały trzy kształty sygnału modulującego: prostokątny (sygnał przełączany pomiędzy dwoma częstotliwościami), trójkątny i sinusoidalny, a także trzy częstotliwości sygnału modulującego: 1, 2 i 5 Hz.

Badania określające optymalną częstotliwość sygnałów składowych w sygnale ostrzegawczym, przeprowadzono dla dwutonowych sygnałów o częstotliwościach składowych od 300 do 1800 Hz. Tomy modulowano sygnałem sinusoidalnym

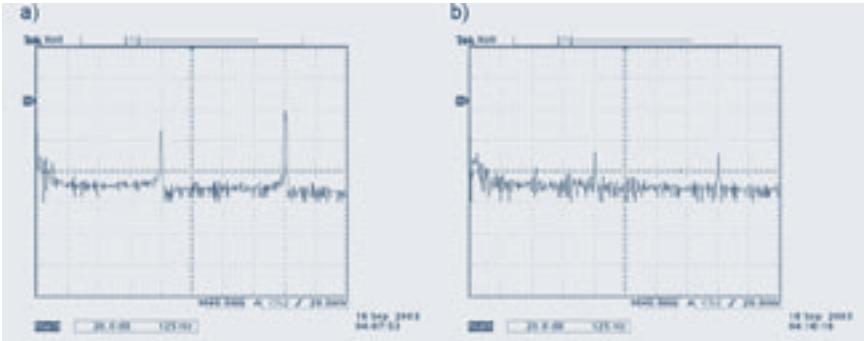
o częstotliwości 5 Hz. Symulacje nie wykazały wpływu częstotliwości składowych sygnału na skuteczność aktywnej redukcji, z wyjątkiem przypadków, gdy różnica częstotliwości składowych była mniejsza niż 10 Hz. Szczegółowa analiza wykazała, że w takim przypadku następuje znaczne obniżenie skuteczności aktywnej redukcji.

W trakcie badań symulacyjnych poddano także analizie wpływ na skuteczność aktywnej redukcji hałasu dodatkowych sygnałów tonalnych związanych z częstotliwością modulacji. Badania te wykazały, że uwzględnienie tego wpływu w algorytmie układu sterującego nie podnosi w istotnym stopniu jego skuteczności. Znaczącą poprawę skuteczności obserwowano jedynie wówczas, gdy częstotliwość modulacji jest większa niż 10 Hz, a w przypadku sygnałów ostrzegawczych częstotliwość ta nie może przekroczyć 5 Hz.

Pomiary

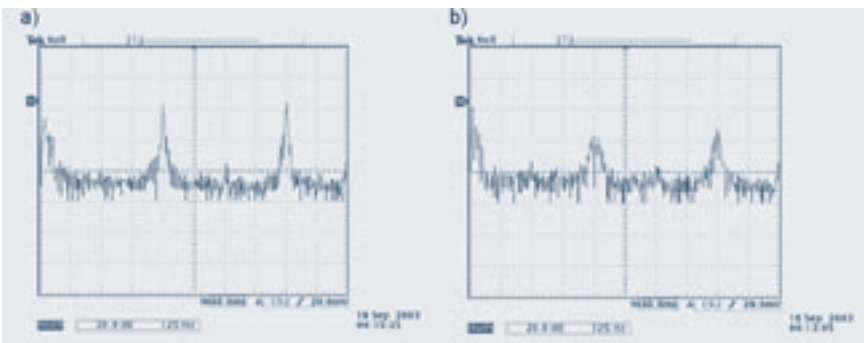
Wyniki symulacji posłużyły do skonstruowania modelu sygnalizatora dźwiękowego z układem aktywnym obniżającym wyłącznie poziom ciśnienia akustycznego sygnału ostrzegawczego odbieranego przez kierowcę (bez wpływu na inne sygnały/informacje użyteczne), (rys. 2.). Do prac wykorzystano uniwersalny system aktywnej redukcji hałasu opracowany w CIOP-PIB [4]. Wprowadzono w nim istotne zmiany dotyczące układów wykonawczych i oprogramowania układu sterowania. W układzie sterującym zaimplementowano cyfrowy generator sygnału ostrzegawczego. Dzięki temu układ ma możliwość generowania sygnału tonowego lub dwutonowego o częstotliwości w zakresie od 1 do 1500 Hz. Sygnał dwutonowy może być modulowany sygnałem o przebiegu prostokątnym lub sinusoidalnym o częstotliwościach modulacji od 0,5 – 5 Hz. Generowany sygnał jest jednocześnie sygnałem odniesienia niezbędnym do pracy układu redukcji hałasu. Jako źródło dźwiękowego sygnału ostrzegawczego emitowanego przez pojazd uprzywilejowany, który jednocześnie jest źródłem hałasu dla jego kierowcy, wybrano syrenę powszechnie stosowanego zespoleonego urządzenia rozgłoszeniowo-alarmowego ZURA typu PS-100R [3]. Źródłami wtórnymi są głośniki lekkich ogólnodostępnych słuchawek, np. typu SENNHEISER HD437, które wyposażono dodatkowo w mikrofony błędu. Dzięki takiej budowie, sygnalizator dźwiękowy umożliwia emitowanie dźwiękowego sygnału ostrzegawczego i jednoczesną redukcję niepożądanego sygnału pod słuchawkami, przy znacznym uproszczeniu budowy całego systemu.

W celu weryfikacji wyników badań symulacyjnych przeprowadzono pomiary



Rys. 4. Charakterystyki widmowe dwutonowego sygnału ostrzegawczego przy sinusoidalnym kształcie sygnału modulacji: a) wyłączony, b) włączony układ aktywnej redukcji

Fig. 4. A spectral characteristic of a two-tone warning signal for a sinusoidal form of a modulation signal with noise reduction system: a) switch off, b) switch on



Rys. 5. Charakterystyki widmowe dwutonowego sygnału ostrzegawczego przy prostokątnym kształcie sygnału modulacji: a) wyłączony, b) włączony układ aktywnej redukcji

Fig. 5. A spectral characteristic of a two-tone warning signal for a rectangular form of a modulation signal with noise reduction system: a) switch off, b) switch on

w warunkach rzeczywistych, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3. Syrenę umieszczono na dachu pojazdu uprzywilejowanego i podłączono do układu sterującego. Słuchawki wraz z mikrofonem błędu umieszczono wewnątrz pojazdu (w kabinie kierowcy), na sztucznej głowicy wyposażonej w mikrofon pomiarowy typu 4939 firmy B&K. Sygnał z mikrofonu wzmocniony przez wzmacniacz pomiarowy firmy B&K typu 2636 był analizowany za pomocą oscyloskopu firmy Tektronix typu TDS 3014B. Do pomiarów wytypowano dwutonowy sygnał ostrzegawczy o częstotliwościach składowych 500 i 1000 Hz. Wybór sygnału był podyktowany wcześniej określonymi wymaganiami i możliwościami przetwarzania danych zastosowanego układu obliczeniowego. Pierwsza wartość – 500 Hz jest najniższą możliwą częstotliwością, dla której nie ma niebezpieczeństwa wzbudzenia się układu sterującego na skutek zbyt małej skuteczności syreny. Im wyższa częstotliwość sygnału, tym większa musi być częstotliwość próbkowania lub gorsza dokładność odwzorowania przebiegu sinusoidalnego. W celu maksymalnego przyspieszenia obliczeń wykonywanych

przez układ sterujący zdecydowano się na wariant sygnału, w którym druga częstotliwość jest wielokrotnością pierwszej.

Pomiary przeprowadzono przy dwóch różnych kształtach sygnału modulacji – prostokątnego i sinusoidalnego oraz przy trzech różnych częstotliwościach modulacji (1, 2 i 5 Hz). Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli. Jak wynika z pomiarów, skuteczność aktywnej redukcji jest większa w odniesieniu do sygnału o sinusoidalnym kształcie modulacji. Maksymalna wartość aktywnej redukcji

Tabela

WYNIKI POMIARÓW W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Results of measurements in real conditions

Częstotliwość sygnału modulującego Hz	Skuteczność aktywnej redukcji dB	Kształt sygnału modulującego
1	13	prostokątny
2	10	prostokątny
5	7	prostokątny
1	21	sinusoidalny
2	17	sinusoidalny
5	14	sinusoidalny

w odniesieniu do tego przypadku to 21 dB, a dla sygnału o prostokątnym kształcie modulacji ok. – 13 dB. Wartości te osiągnięto w odniesieniu do sygnału o najmniejszej badanej częstotliwości sygnału modulacji, czyli o częstotliwości 1 Hz. Na rysunkach 4. i 5. przedstawiono charakterystyki widmowe dwutonowego sygnału ostrzegawczego o takiej właśnie częstotliwości sygnału modulacji. W sygnale na pierwszym rysunku zastosowano sinusoidalny kształt modulacji, a na drugim – prostokątny.

Wnioski

Analiza wyników badań wykazała, że jest możliwe opracowanie poprawnie działającego dźwiękowego sygnalizatora ostrzegawczego z układem aktywnej redukcji hałasu, spełniającego obowiązujące wymagania dotyczące dźwiękowych sygnałów ostrzegawczych. Układ aktywnej redukcji hałasu obniża poziom ciśnienia akustycznego sygnału ostrzegawczego odbieranego przez kierowcę, przy zachowaniu jego wartości informacyjnej na zewnątrz pojazdu uprzywilejowanego. Stwierdzono, że najlepszym sygnałem ostrzegawczym, pod kątem zastosowania aktywnej redukcji, jest sygnał dwutonowy o sinusoidalnym kształcie sygnału modulującego, ze względu na płynne wzmocnienie i tłumienie składowych sygnału ostrzegawczego. Skuteczność aktywnej redukcji w tym przypadku wynosi ok. 21 dB. Jednak, mimo możliwości osiągnięcia tak wysokiej skuteczności aktywnej redukcji, sygnał ostrzegawczy modulowany sinusoidalnie może nie być dostatecznie rozpoznawalny w warunkach ruchu drogowego. Sygnał ostrzegawczy modulowany przebiegiem prostokątnym, mimo iż jest zdecydowanie lepiej słyszalny dla użytkowników ruchu drogowego, zawiera charakterystyczne trzaski w momencie zmiany sygnałów składowych, powodujące znaczne zakłócenia w pracy układu sterującego, a przez to obniżenie skuteczności aktywnej redukcji.

Wskazane są dalsze badania mające na celu dopracowanie kształtu i częstotliwości sygnału modulującego.

PIŚMIENNICTWO

[1] Górski P. Sygnalizacja akustyczna w pojazdach uprzywilejowanych. „Bezpieczeństwo Pracy”, 7-8 (384-385), 2003

[2] Engel Z., Makarewicz G., Morzyński L., Zawiska W.M. Metody aktywnej redukcji hałasu. CIOP, Warszawa 2001

[3] Górski P., Makarewicz G., Morzyński L., Pawłowska Z. Redukcja hałasu sygnalizatorów ostrzegawczych wewnątrz pojazdów uprzywilejowanych w aspekcie bezpieczeństwa. Sprawozdanie z zadania badawczego nr 2.12/PCZ 16-21, CIOP-PIB, Warszawa 2002-2004

[4] Makarewicz G. Wybrane cyfrowe systemy aktywnej redukcji hałasu. CIOP-PIB, Warszawa 2002