

DEKOMPOZYCJA ZŁOŻONYCH UKŁADÓW AKUSTYCZNYCH METODĄ ROZPLOTU HOMOMORFICZNEGO

dr inż. Jacek Wierzbicki

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
AGH
Al. Mickiewicza 30
30 – 059 Kraków

mgr inż. Grzegorz Łukasz Augustyn

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
AGH
Al. Mickiewicza 30
30 – 059 Kraków

1. WSTĘP

Problem analizy i dekompozycji układów akustycznych jest niezwykle trudny i złożony. Jest on obecny zarówno w obcowaniu z otaczającym nas środowiskiem, jak i w wirtualnej rzeczywistości. Często przypuszcza się, że jest to brakujące ogniwo do pełnego poznania i opisu zasad funkcjonowania ludzkiego organizmu, procesów słyszenia i percepcji bodźców. Przedstawienie wszystkich aspektów dekompozycji w ich pełnej formie jest rzeczą niemożliwą i zbyt obszerną, dlatego zakres publikacji został ograniczony do jednej metody, jednak wyniki i metody opisane w tej pracy mogą być rozszerzane i stosowane w innych dziedzinach nauki, takich jak np. medycyna, astronomia, informatyka, przetwarzanie danych i sygnałów.

Dotychczasowe metody dekompozycji opracowane na podstawie narzędzi z teorii sygnałów, teorii zbiorów, optymalizacji oraz sztucznej inteligencji z różnym powodzeniem są stosowane do separacji cech danego sygnału. Nad problemami dekompozycji pracują największe ośrodki na świecie takie jak MIT Media Laboratory, Bell Laboratories i IBM Inc. w USA, Fraunhofer Institut w Niemczech, firmy – Creative Labs, Philips. W Polsce zagadnieniami tymi zajmują się naukowcy z Politechniki Wrocławskiej, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Politechniki Gdańskiej i Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Mimo to liczba publikacji na ten temat jest bardzo mała, co jest związane ze stopniem skomplikowania problemu, zarówno pod względem teoretycznym jak i w postaci konkretnej aplikacji. Zwykle publikacje te dotyczą jednego z etapów dekompozycji sygnału lub zawierają opis metody skutecznej w przypadku bardzo wysublimowanej klasy sygnałów. Jednak metody te są ciągle rozwijane – niektóre z nich bazują na już znanych sposobach analizy sygnału, a niektóre wykorzystują nowe osiągnięcia nauki. Szczególnie dotyczy to dziedziny przetwarzania sygnałów, gdzie zaczyna się stosować metody sztucznej inteligencji, co – oprócz podniesienia stopnia skomplikowania metody – zwiększa skuteczność narzędzi używanych do dekompozycji.

Znamiennym dla czasów, w których żyjemy, jest postęp techniki informatycznej, a co za tym idzie, cyfrowego przetwarzania sygnałów, toteż w pracy skupiono się głównie na cyfrowej reprezentacji sygnału, gdyż takiej postaci dotyczą - w większości przypadków – wszelkie prace aplikacyjne, natomiast postać analogowa sygnału akustycznego stanowi często postać wyjściową do rozwiązania danego problemu i jest wygodna w opisie wielu zjawisk na gruncie teoretycznym. Mimo to należy zdawać sobie sprawę, że postać cyfrowa sygnału stanowi jedynie niedoskonałe przybliżenie rzeczywistości, która, rozważana w naszej skali, jest jednak analogowa.

2. ROZPLOT HOMORFICZNY

Metody realizowane w oparciu o cepstralne reprezentacje sygnałów nie są metodami nowymi, pomimo to rzadko można się spotkać z tego rodzaju zabiegami, ze względu na szczególnie trudną interpretację uzyskanych wyników. Dlatego również i tutaj często istnieje potrzeba weryfikacji stosowanych metod na podstawie innych pomiarów kontrolnych. Jeżeli taka weryfikacja zostanie przeprowadzona możemy bez obaw stosować daną reprezentację do danego typu zjawiska. Jako wskazówkę należy potraktować fakt, iż cepstrum jest, tak jak widmo dla konkretnego dźwięku, cechą charakterystyczną konkretnego zdarzenia akustycznego. O ile układ kształtujący pobudzenie – tor akustyczny – jest inwariantny względem czasu, czyli sygnał pobudzenia jest emitowany w niezmiennych warunkach (np. pomieszczeniu, którego wymiary, ani własności akustyczne nie ulegają zmianie), to jednorazowo przeprowadzona operacja rozplotu homomorficznego na stałe identyfikuje nam własności obiektu z ograniczoną dokładnością (o czym za chwilę). Znajomość jednej z cech obiektu umożliwia dokładne określenie drugiej.

Szczególnie atrakcyjną wydaje się być ta metoda w przypadku złożonych układów kształtujących, kiedy to pobudzenie zmuszone jest przejść przez wiele transmitancji związanych z wymienionymi układami kształtującymi. Wtedy rozplot homomorficzny nie jest już operacją tak oczywistą jak w przypadku pobudzenia i toru głosowego, jednak nadal można przyjąć, że odpowiedź obiektu jest splotem pobudzenia i odpowiedzi impulsowej układu kształtującego pobudzenie, a wtedy znając odpowiedź impulsową charakteryzującą obiekt możemy doskonale dokonać rozplotu cech układów akustycznych. W tym momencie należy zaznaczyć, że w ostatnim z wymienionych przypadków sposoby te mają jedynie charakter eksperymentalny, a opisane przypadki zostały zbadane przez autora pracy i w tychże sytuacjach operacja wielostopniowego rozplotu homomorficznego przyniosła oczekiwany efekt.

Zacznijmy jednak od początku. Odpowiedź impulsowa układu jednoznacznie charakteryzuje dany układ. Na jej podstawie możemy uzyskać funkcję przejścia układu, gdyż transformata Fouriera odpowiedzi impulsowej bezpośrednio daje charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową układu (w przypadku dyskretnej odpowiedzi impulsowej, której współczynniki traktowane są jako współczynniki filtru przyczynowego wykonujemy transformację Z).

Zależność sygnału wyjściowego od sygnału wejściowego (pobudzenia), jak wcześniej zaznaczono, może być opisana równaniem

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)x(\tau)d\tau \quad (2.1)$$

gdzie:

$y(t)$ – sygnał po przejściu przez układ

$h(t)$ – odpowiedź impulsowa układu

$x(t)$ – sygnał wejściowy (pobudzenie układu)

Splot tak zdefiniowany w dziedzinie czasu można również wyrazić w dziedzinie częstotliwości, gdzie podobnie jak dla transformacji Laplace'a jest to iloczyn transformacji Fouriera sygnałów składowych, czyli

$$Y(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)x(\tau) \right] e^{-j\omega t} dt \quad (2.2)$$

a po wprowadzeniu nowej zmiennej całkowania $u=t-\tau$ oraz $t=u+\tau$

$$Y(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(u)e^{-j\omega(u+\tau)} dt d\tau \quad (2.3)$$

i wtedy

$$Y(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} x(u)e^{-j\omega u} du \quad (2.4)$$

$$Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot X(j\omega)$$

Jednak my zajmujemy się dyskretną postacią sygnału, tak więc dyskretna postać spłotu to

$$y(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(n-i)h(i) \quad (2.5)$$

Zarówno w jednym jak i w drugim przypadku funkcja $h(n)$ czy $h(\tau)$ nazywana jest odpowiedzią impulsową układu, gdyż jest ona równa odpowiedzi układu na wymuszenie w postaci impulsu jednostkowego $\delta(n)$

$$y_{\delta}(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(n-i)h(i) = h(n) \quad (2.6)$$

Transformując za pomocą transformacji Z obie strony poprzedniego równania otrzymujemy

$$Y(z) = H(z)X(z) \quad (2.7)$$

natomiast postać odpowiedzi impulsowej w dziedzinie transformacji Z

$$H(z) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-n} \quad (2.8)$$

Widać więc, że znając odpowiedź impulsową potrafimy w każdym momencie na podstawie stanu wejścia określić stan na wyjściu układu. Transformacja Z i transformacja Fouriera odpowiedzi impulsowej układu są sobie równoważne, na takich zasadach na jakich równoważne są sobie obie transformacje.

Przejdźmy teraz do cepstrum. Szeroko stosowane są dwie definicje – równoważne – cepstrum widma mocy $C(\tau)$.

Pierwsza z nich ma postać

$$C(\tau) = |F\{\log G_{xx}(f)\}|^2 \quad (2.9)$$

gdzie $F()$ reprezentuje transformację Fouriera sygnału

Druga (nowsza) definicja cepstrum widma mocy jest określona następującym wzorem

$$C(\tau) = F^{-1}\{\log G_{xx}(f)\} \quad (2.10)$$

Dla celów praktycznej implementacji zdarza się, że dwuwstęgowe widmo mocy $G_{xx}(f)$ jest zastępowane jednowstęgowym widmem $S_x(f)$, obliczonym według

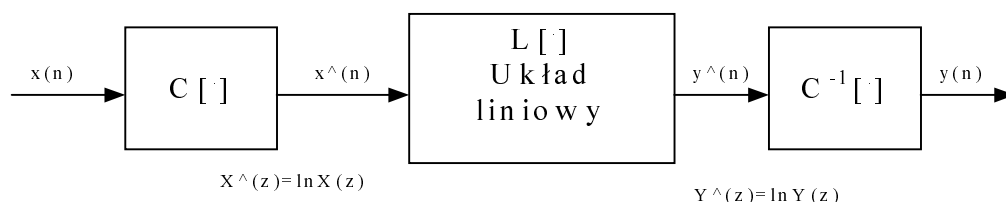
$$\begin{cases} S_x(f) = 2 \log G_{xx}(f), & \text{dla } t > 0 \\ S_x(f) = \log G_{xx}(f), & \text{dla } t = 0 \\ S_x(f) = 0, & \text{dla } t < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Jeszcze jedną postacią cepstrum, jest jego postać zespolona

$$C_z = F^{-1} \{ \log[X(f)] \} \quad (2.12)$$

gdzie $X(f)$ jest widmem zespolonym

Cepstrum zespolone jest reprezentacją, na której opiera się homomorficzna analiza i synteza sygnałów. Jak już wielokrotnie zaznaczano, analiza homomorficzna jest szczególnie użyteczna w sytuacji, gdy sygnał może być uważany za splot pewnej funkcji pobudzenia i odpowiedzi impulsowej toru akustycznego. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku sygnału mowy i dźwięków większości instrumentów muzycznych. Operację odwrotną do splotu nazywaną dekonwolucją lub rozplotem, można osiągnąć stosując metodę uogólnionej filtracji nieliniowej, którą jest właśnie analiza homomorficzna. Schemat tejże koncepcji (podany wg [1]) przedstawia rys. 2. 1.



Rys. 2. 1. Postać kanoniczna systemu homomorficznego stosowanego do operacji rozplotu

Układ $C[\cdot]$ jest układem logarytmującym widmo, tzn.

$$\hat{X}(z) = \ln(X(z)) \quad (2.13)$$

gdzie $X(z)$ to transformata Z ciągu $x(n)$. Na wyjściu układu uzyskujemy wtedy cepstrum zespolone. Układ L jest układem liniowym (najczęściej filtrem liniowym), zaś układ oznaczony symbolem C^{-1} jest układem dokonującym operacji odwrotnej w stosunku do układu C . W przypadku jeśli ciąg $x(n)$ jest splotem dwu ciągów składowych $x_1(n)$ oraz $x_2(n)$, to zachodzi warunek – uprzednio dowiedziony - dotyczący widm tych ciągów

$$X(z) = X_1(z) \cdot X_2(z) \quad (2.14)$$

wówczas, jak wynika z własności logarytmu, spełniony jest również warunek

$$\hat{X}(z) = \hat{X}_1(z) + \hat{X}_2(z) \quad (2.15)$$

Zatem poprzez wykorzystanie liniowej filtracji L w dziedzinie cepstrum staje się możliwe rozdzielanie uprzednio splecionych ciągów (tzw. rozplot homomorficzny), gdyż zachodzi następujący związek

$$\hat{x}(n) = \hat{x}_1(n) + \hat{x}_2(n) \quad (2.16)$$

Na podstawie powyższych zależności można więc napisać, że w wyniku analizy homomorficznej otrzymamy związek

$$\begin{aligned} Y(z) &= H(z)X(z) \\ \ln[Y(z)] &= \ln[H(z)X(z)] \\ \bar{Y}(z) &= \bar{H}(z) + \bar{X}(z) \end{aligned} \quad (2.17)$$

czyli

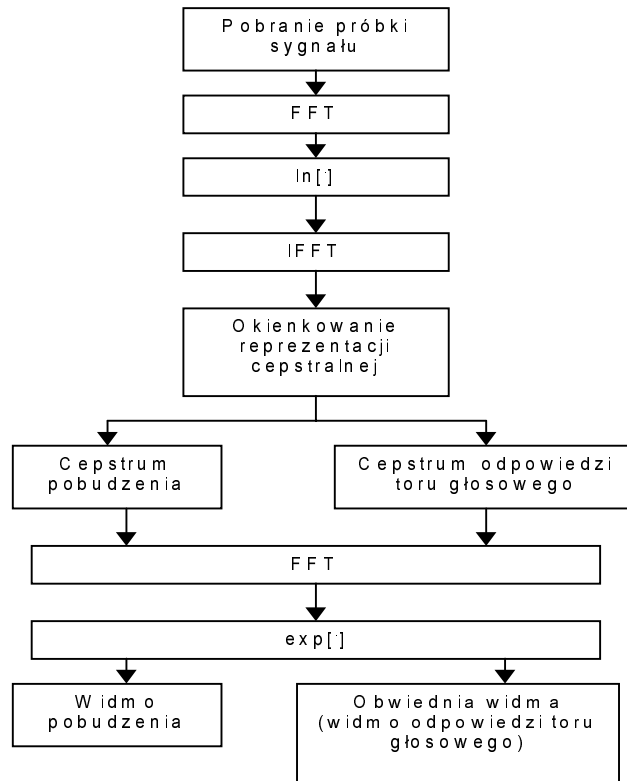
$$\bar{y}(n) = \bar{h}(n) + \bar{x}(n) \quad (2.18)$$

Po rozdzieleniu reprezentacji cepstralnych przeprowadzamy operację odwrotną do cepstrum poprzez obliczenie transformaty Fouriera i wykonania operacji odwrotnej do logarytmowania widma i wtedy otrzymamy dwa widma: widmo pobudzenia oraz transmitancję widmową układu.

Analiza homomorficzna jest przydatna w akustyce mowy. Transmitancja liniowego układu reprezentującego kanał głosowy jest zwykle rozpatrywana jako funkcja wymierna zmiennej z . Cepstrum zespolone pobudzenia (tonu krtaniowego) zawiera impulsy występujące w odstępach odpowiadających okresowi tonu krtaniowego. W celu dokonania rozplotu sygnału pobudzenia i odpowiedzi traktu głosowego wykorzystuje się okoliczność, że cepstrum zespolone odpowiedzi impulsowej kanału głosowego jest skupione wokół $n=0$, cepstra zespolone tej odpowiedzi oraz pobudzenia fonemów dźwięcznych zajmują różne obszary w czasie. Dzięki temu fragmenty cepstrum reprezentujące odpowiedź traktu głosowego można wydzielić za pomocą układu liniowego (poprzez odpowiednie okienkowanie reprezentacji cepstralnej).

W podobny sposób własności analizy cepstralnej można wykorzystać w analizie dźwięków instrumentów muzycznych. W wyniku zastosowania analizy homomorficznej można w stosunkowo prosty sposób dokonać rozplotu niektórych sygnałów fonicznych. Widmo wielu dźwięków może być bowiem uważane za iloczyn obwiedni widma reprezentującej rezonansowy tor (ustrój) akustyczny oraz mikrostruktury widma reprezentującej pobudzenie. Odwrotna transformata Fouriera logarytmu obwiedni widma jest zatem skupiona w obszarze małych wartości czasu, natomiast odwrotna transformata Fouriera logarytmu pobudzenia jest zbiorem prążków odzwierciedlających okresowość w dziedzinie częstotliwości.

Algorytm analizy cepstralnej jest pokazany na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Algorytm analizy homomorficznej.

Szczególną uwagę należy zwrócić na proces okienkowania analizy cepstralnej, gdyż okienkowanie nie oznacza tu wcześniej opisywanego procesu nakładania okien na przebieg czasowy w celu ograniczenia przecieków widma w reprezentacji widmowej. Chodzi tu o umiejętnie odseparowanie początkowego fragmentu cepstrum, gdzie skupione są informacje o odpowiedzi traktu głosowego, od reszty reprezentacji cepstralnej (która również jest okienkowana).

3. DEKOMPOZYCJA ZŁOŻONYCH UKŁADÓW AKUSTYCZNYCH

Zademonstrowany zostanie teraz sposób, jak skorzystać z rozplotu homomorficznego w przypadku złożonych układów akustycznych na przykładzie zestawu głośnikowego. Jest to niewątpliwie nieco bardziej złożony układ, niż w ujęciu opisywanym poprzednio, gdy mieliśmy do czynienia ze splotem pobudzenia i toru akustycznego. Tutaj, oprócz toru głosowego, którym zasadniczo są transmitancje przetworników elektroakustycznych, dodatkowo dochodzi jeszcze nieznaną transmitancję związaną z obudową kolumny głośnikowej, w której pracują głośniki.

Układ jest więc bardziej złożony, dlatego standardowe metody rozplotu homomorficznego nie zdadzą egzaminu, gdyż uzyskamy jedynie wygładzone, wypadkowe widmo amplitudowe zestawu i pobudzenie. Jeżeli jednak odpowiednio zapiszemy równanie rozplotu homomorficznego, traktując transmitancję układu $H(z)$ jako sumę transmitancji cząstkowych to, dzięki odpowiedniemu zokienkowaniu cepstrum, będziemy mogli wyznaczyć odpowiedź obudowy kolumny głośnikowej.

Korzystając ze wzoru na rozplot homomorficzny postaci:

$$\ln Y(z) = \ln H(z) + \ln X(z) \quad (3.1)$$

możemy podobnie ująć problem traktując jako wyjściowy sygnał transmitancję dyskretną $H(z)$

$$\ln H(z) = \ln \left(\prod_{i=1}^N H_i(z) \right) \quad (3.2)$$

co w efekcie można rozisać jako

$$\bar{H}(z) = \sum_{i=1}^N \bar{H}_i(z) \quad (3.3)$$

czyli, po obliczeniu odwrotnej transformacji Z

$$\bar{h}(n) = \sum_{i=1}^N \bar{h}_i(n) \quad (3.4)$$

Ostatni wzór pozwala na obliczanie składowych odpowiedzi impulsowych poprzez odpowiednie okienkowanie cepstrum. O ile proces nakładania okien na reprezentację cepstralną jest bardzo indywidualnym zagadnieniem, którego rozwiązanie jest ściśle powiązane z konkretnym problemem, o tyle operowanie na transformatach Z transmitancji sprowadza się do prostej sumy i różnic. Dlatego znając transmitancję jednego układu, możemy – poprzez zwykłe przekształcenie algebraiczne – otrzymać brakującą transmitancję, jako różnicę funkcji przejścia znanej i funkcji celu (wypadkowej transmitancji układu). Przebiegiem, który wykorzystujemy do obliczenia cepstrum jest postać czasowa wypadkowej transmitancji układu.

Metodę tą postanowiliśmy przetestować na wspomnianym już zestawie głośnikowym, który został wykonany przez jednego z autorów pracy (rys. 3.1). Stanowi on dość złożony układ mechano – elektro – akustyczny.



Rys. 3.1. Trójdrożny zestaw głośnikowy.

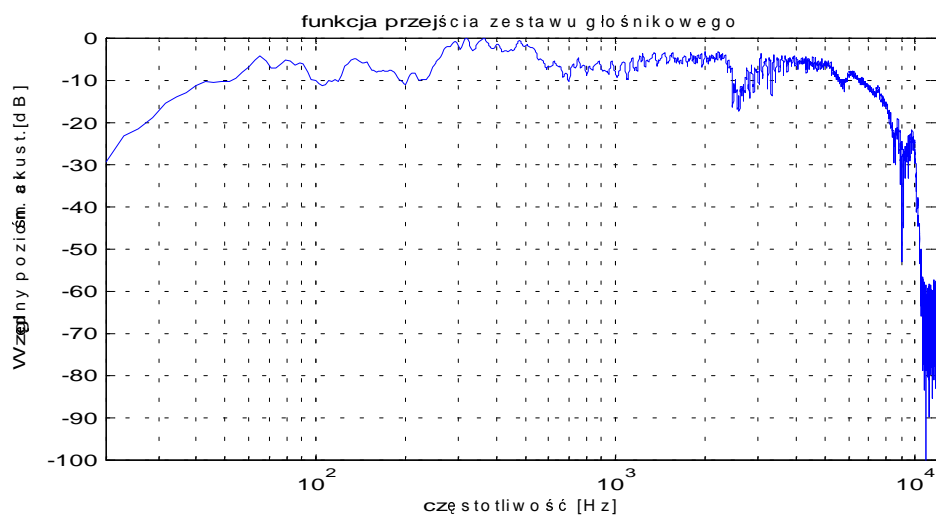
Przy obliczaniu cepstrum odpowiedzi impulsowej zestawu, korzystamy z metod opisanych poprzednio.

Odpowiedź impulsową zarejestrowano w komorze bezchowej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH. Unormowana wypadkowa charakterystyka amplitudowo - częstotliwościowa zestawu głośnikowego jest przedstawiona na rys. 3.2. Cepstrum obliczone na podstawie odpowiedzi impulsowej zestawu pokazano na rys. 3.3. Trudno na początku wyciągać wnioski co do jego charakteru, dlatego dalszym etapem eksperymentu było wykonanie procedury okienkowania reprezentacji cepstralnej i wyznaczenia obwiedni widma, która de facto stanowi informację o pracy układu głośników, dodatkowo jednak uzyskaliśmy transmitancję

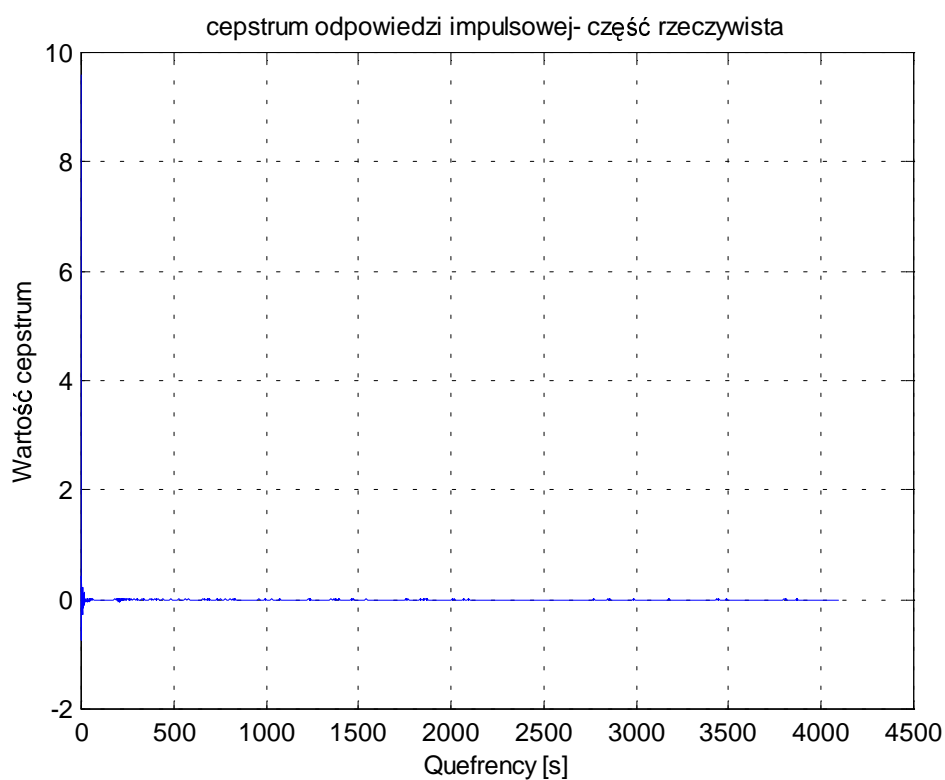
układu pomiarowego.

Następnie, zgodnie z tym co powiedziano wcześniej, dokonano odjęcia uzyskanych funkcji przejścia od wypadkowej transmitancji układu i uzyskano funkcję przenoszenia obudowy kolumny głośnikowej, innymi słowy – ciśnienie akustyczne drgań (wartość unormowaną) (rys. 3.4). Jak widać z rys. 3. 4, jej wartości są największe dla niskich częstotliwości, dla których układ był zaprojektowany oraz dla częstotliwości średnich, gdzie

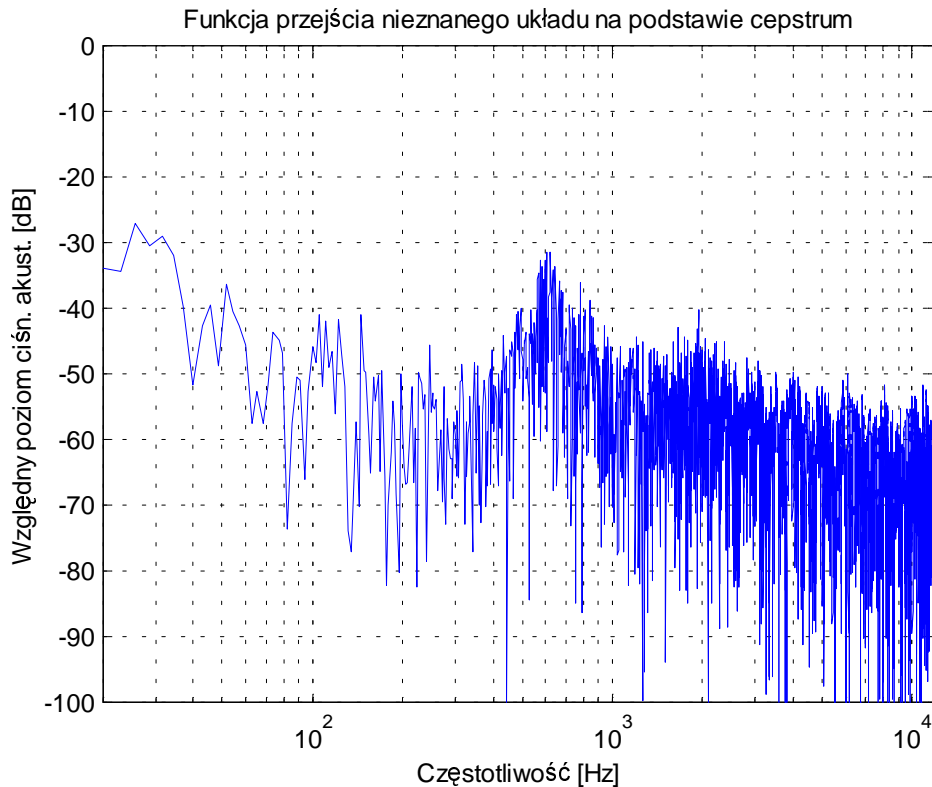
dają znać o sobie rezonanse własne elementów konstrukcji obudowy (klepki z litego drewna).



Rys. 3.2. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa zestawu głośnikowego z rys. 3.1.



Rys. 3.3. Cepstrum odpowiedzi impulsowej zestawu głośnikowego.

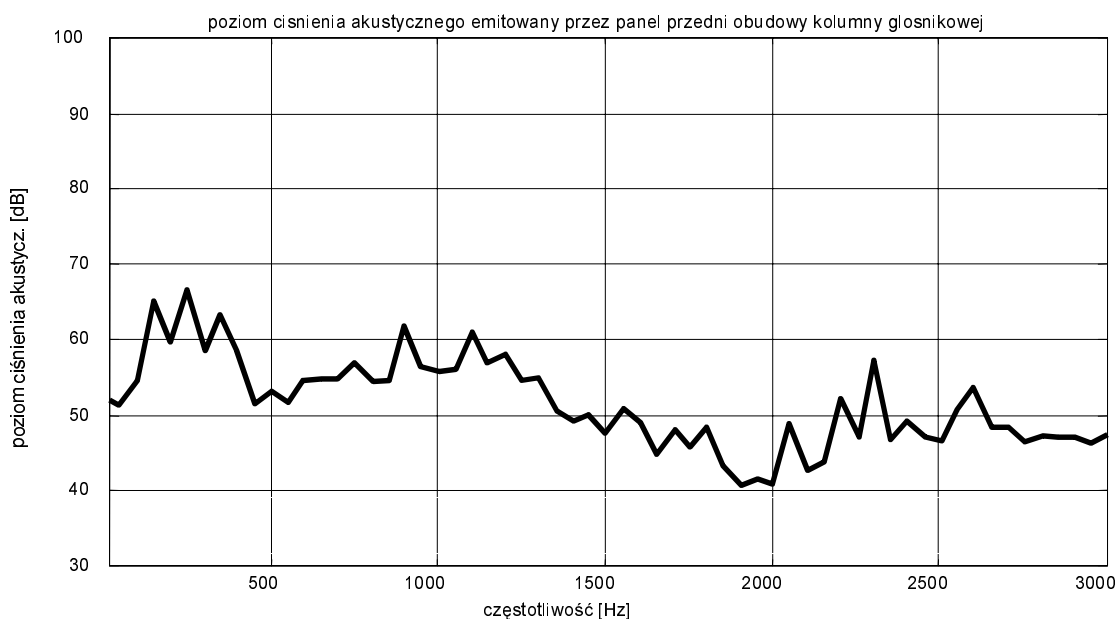


Rys. 3.4. Funkcja przejścia nieznanego układu akustycznego – obudowy kolumny głośnikowej.

Ostatnim etapem, w celu sprawdzenia prawidłowości otrzymanych wyników, było złożenie uzyskanych funkcji przenoszenia układów akustycznych.

Różnica pomiędzy oryginalną funkcją przejścia układu, a wypadkową jego charakterystyką amplitudowo - częstotliwościową uzyskaną ze złożenia otrzymanych cząstkowych funkcji przejścia okazała się istotnie niewielka. Należałoby więc sądzić, że metoda ta sprawdza się w przypadku dość złożonych układów. Pomimo to, należy zdawać sobie sprawę z tego iż rozwiązanie tego problemu jest bardzo indywidualne, a metoda jest jeszcze metodą czysto eksperymentalną. Jednak w przypadku układów o niezbyt dużej złożoności powinna przynosić zadowalające rezultaty. Czasem może zdarzyć się iż poszukiwana transmitancja, nazwijmy ją „dopełniająca”, jest tak znikoma, że zawiera się w granicach błędów numerycznych, lub jej postać odbiega znacznie od spodziewanej. Oznaczać to może dwa warianty: pierwszym z nich jest sytuacja, gdy poszukiwana transmitancja ma znikomy wpływ na sygnał przechodzący przez układ, drugim – gdy transmitancja dopełniająca nie istnieje, a otrzymany wynik jest jedynie różnicą pomiędzy oryginalną postacią funkcji przenoszenia, a jej odpowiednikiem otrzymanym metodą rozplotu homomorficznego. Dlatego, zanim metodę tą zastosujemy do analizy odpowiedzialnych układów, do separacji ich cech z wykorzystaniem emitowanego przez nie sygnału akustycznego, konieczna jest weryfikacja tej metody za pomocą alternatywnych metod. W przypadku obudowy głośnikowej może to być po prostu pomiar drgań i przeliczenie ich na wartości ciśnienia akustycznego. Jest to o tyle kłopotliwe, że sam pomiar nie przedstawia trudności, jednak obliczenie ciśnienia akustycznego promieniowanego przez drgające ścianki obudowy kolumny głośnikowej jest bardzo skomplikowane ze względu na złożoną geometrię powierzchni drgających. Będą to więc, z założenia, również metody przybliżone weryfikacji uzyskanych wyników.

Aby zweryfikować prawidłowość wykonanych pomiarów pokuszono się o zmierzenie prędkości drgań na przedniej ścianie obudowy



Rys. 3.5. Przybliżony poziom ciśnienia akustycznego drgań przedniego panelu obudowy kolumny głośnikowej.

Na rys. 3.5 przedstawiono poziom ciśnienia akustycznego drgań przedniego panelu obudowy kolumny głośnikowej, traktując ją w dużym przybliżeniu jako sztywną, drgającą płytę prostokątną. Łatwo można zauważyć podobieństwo jakościowe uzyskanych wyników do funkcji przenoszenia obudowy kolumny głośnikowej otrzymanej metodą złożonego rozplotu homomorficznego. Niedokładności są oczywiście wynikiem dokonanych uproszczeń w obliczaniu poszczególnych poziomów prędkości drgań i odpowiadających im poziomów ciśnienia akustycznego.

4. WNIOSKI

Metoda rozplotu homomorficznego, czy też analizy cepstralnej stanowi z pozoru tylko proste narzędzie. W każdym miejscu rozdziału starano się podkreślać fakt, iż poruszając się w dziedzinie cepstrum, tak naprawdę poruszamy się w bardzo wyimaginowanej przestrzeni rezultatów, gdzie drobna zmiana może przynieść czasem radykalną zmianę otrzymywanych wyników. Nieskomplikowane reguły matematyczne kładące podstawy analizy homomorficznej kryją w sobie atrakcyjne, acz bardzo niepewne narzędzie. Dlatego też zanim skorzystamy z niego analizując coraz bardziej skomplikowane układy np. w sposób zaproponowany przez autora pracy, zastanówmy się czy nie ma prostszego lub bardziej pewnego sposobu na otrzymanie satysfakcjonujących nas wyników. Jeśli takowego nie znajdziemy, przygotujmy się, że nie od razu uzyskamy to czego szukamy. Algorytmy i sposoby analizy różnych układów za pomocą analizy homomorficznej zaproponowane w tej pracy, stanowią jedynie ilustrację postępowania w sprawdzonych przez autorów przypadkach. Nie zawsze dają one rezultaty zgodne z oczekiwaniami. Często, zanim zaczniemy wykorzystywać to narzędzie, należą sobie zadać pytanie, czy aby otrzymany sygnał rzeczywiście jest splotem pobudzenia i odpowiedzi toru akustycznego.

Spoglądając jednak z drugiej strony na zaprezentowane w pracy przykłady, ciężko nie ulec wrażeniu, że wyniki analizy, pomimo jej wspomnianych wad i ograniczeń stanowią mogą atrakcyjną alternatywę dla skomplikowanych syntez poprzez analizę (z ang. *synthesis by analysis*) dotyczących wyznaczania odpowiedzi impulsowych układów, których w warunkach laboratoryjnych nie można uzyskać. Równie atrakcyjnym wydaje się być fakt, iż na podstawie dokonanej separacji cech, lub usunięcia tych niepożądanych, obecnych w sygnale, możemy skonstruować filtr o odwrotnej odpowiedzi impulsowej (filtr inwersyjny) i w ten sposób poprzez spłot odwróconej odpowiedzi impulsowej ze zniekształconym sygnałem uzyskać jego czystą postać. Jest to niezwykle ważne w diagnostyce, gdzie nierzadko spotykamy się z sytuacją gdy niemożliwe jest dokonanie pomiarów w warunkach laboratoryjnych i skazani jesteśmy na rzeczywiste, robocze warunki pracy obiektu badanego. Jeszcze atrakcyjniejszą wydaje się być możliwość rozdzielania złożonych układów akustycznych, gdzie sygnał wyjściowy stanowi wielokrotny spłot pobudzenia z odpowiedziami impulsowymi kolejnych, wzajemnie na siebie wpływających torów i układów akustycznych. Narzędzie sprawdza się w przypadku kolumny głośnikowej, gdzie potrafiliśmy określić funkcję przejścia obudowy kolumny głośnikowej. Metody takie mogą przecież być wykorzystane stricte do prototypowania i testowania konstrukcji. Może mieć to miejsce nie tylko w technice głośnikowej, ale i w dziedzinach gdzie sygnał akustyczny stanowi właśnie złożoną informację o obiekcie czy układzie.

LITERATURA

- [1] A. Czyżewski: *Dźwięk cyfrowy*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Warszawa 1998
- [2] M. Ziółko: *Modelowanie zjawisk falowych*. Uczelniane wydawnictwa Naukowo – dydaktyczne AGH Kraków 2000
- [3] K. Baran, Ł. Bednarski, G. Augustyn, M. Iwaniec: *Badania obudowy kolumny głośnikowej*. Journal of Structural Acoustics and Mechanics for Environmental Protection Conference, Kraków 2000
- [4] C. Maley-Hutchins: *The air and wood modes of the violin*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 46, No. 9, September 1998
- [5] A. Westner, V. M. Bove, Jr.: *Applying blind source separation and deconvolution to real-world acoustic environments*. MIT MEdia Lab, Cambridge, Massachusetts USA 1999