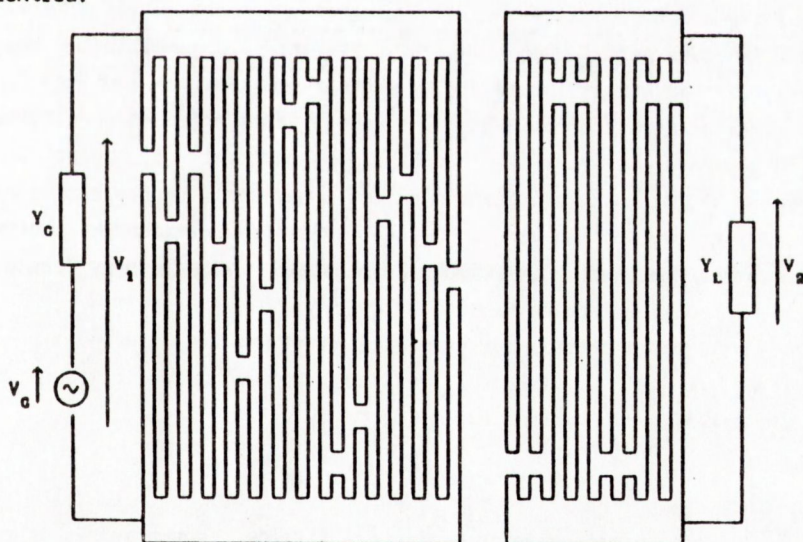


Metoda projektowania filtrów z akustyczną falą powierzchniową i jej zastosowanie

1. WPROWADZENIE

W niniejszej pracy przedstawiono zarys stosowanej w ITME metody projektowania telewizyjnych filtrów pośredniej częstotliwości z akustyczną falą powierzchniową (AFP).

Przykład rozważanej struktury filtra przedstawiono na rysunku 1. Struktura ta składa się z dwóch cienkowarstwowych przetworników międzypalczastych: nadajnika i odbiornika. Odbiornik jest przetwornikiem prostym, tzn. takim, w którym długość obszarów wzajemnego zachodzenia elektrod o przeciwnej polaryzacji ma stałą wartość. Nadajnik jest przetwornikiem epodyzowanym, tj. cechującym się zmienną długością obszarów wzajemnego zachodzenia elektrod o przeciwnej polaryzacji. Oba przetworniki są naniesione na podłożu piezoelektrycznym o określonych własnościach elektromechanicznych. Przyjmujemy, iż każdy z przetworników charakteryzuje się stałymi wartościami okresu struktury i szerokości elektrod.



Rys. 1. Rozważana struktura filtrowa w układzie aplikacyjnym

Zakładamy, że filtr pracuje w układzie przedstawionym również na rysunku 1. i reprezentowanym przez: sinusoidalnie zmienne źródło napięciowe o zespolonej amplitudzie napięcia V_G oraz admitancje: Y_G i Y_L .

Zadanie syntezy filtru jest rozumiane tutaj jako problem znalezienia geometrii przetworników międzypalczastych, która zapewni pożądany przebieg transmitancji filtru, zdefiniowanej jako stosunek zespolonych amplitud V_2 i V_G (patrz rys. 1.) w funkcji częstotliwości.

2. METODA SYNTEZY FILTRÓW Z AFP

Zjawiska fizyczne towarzyszące generacji, propagacji i detekcji fal akustycznych w filtrach z AFP charakteryzują się dużą złożonością. Z tego względu współczesne metody syntezy takich filtrów są dwuetapowe.

W pierwszym etapie dokonuje się syntezy filtru przy użyciu uproszczonego modelu, zgodnie z którym każdy przetwornik traktowany jest jako filtr transwersalny [1]. Taki sposób modelowania przetworników międzypalczastych umożliwia zastosowanie metod syntezy, które opracowano dla konstrukcji filtrów cyfrowych o skończonej odpowiedzi impulsowej [1].

W drugim etapie syntezy, w oparciu o dokładny model matematyczny filtru, dokonuje się odpowiedniej modyfikacji geometrii filtru. Modyfikacja ta ma na celu skompensowanie wpływu zjawisk fizycznych, zwanych efektami drugiego rzędu, nie uwzględnianych w pierwszym etapie syntezy.

Na rysunku 2. przedstawiono uproszczony schemat blokowy pierwszej fazy syntezy. Zgodnie z tym schematem, w pierwszej kolejności określa się próbną wartość apertury filtru. (Aperturę określa się tutaj jako odległość między wewnętrznymi krawędziami szyn zbiorczych w każdym przetworniku). Następnie wyznacza się liczbę elektrod i okres struktury w przetworniku odbiorczym.

W przetworniku odbiorczym stosuje się tzw. elektrody podwójne [2] w celu zminimalizowania odbić AFP od krawędzi jego elektrod. Charakterystyka amplitudowa tego przetwornika ma w przybliżeniu kształt przesuniętej funkcji $\sin x/x$ (maksimum tej funkcji występuje przy częstotliwości odpowiadającej środkowi pasma przepustowego filtru): Szerokość liścia głównego charakterystyki amplitudowej odbiornika i jego położenie na osi częstotliwości zdeterminowane są liczbą elektrod i wartością okresu struktury. Parametry te dobiera się tak, aby dwa miejsca zerowe, najbliższe wierzchołkowi głównego liścia charakterystyki amplitudowej przetwornika prostego, wypadały przy częstotliwościach nośnych: wizji i fonii sąsiednich kanałów telewizyjnych.

W następnej kolejności określa się geometrię nadajnika.

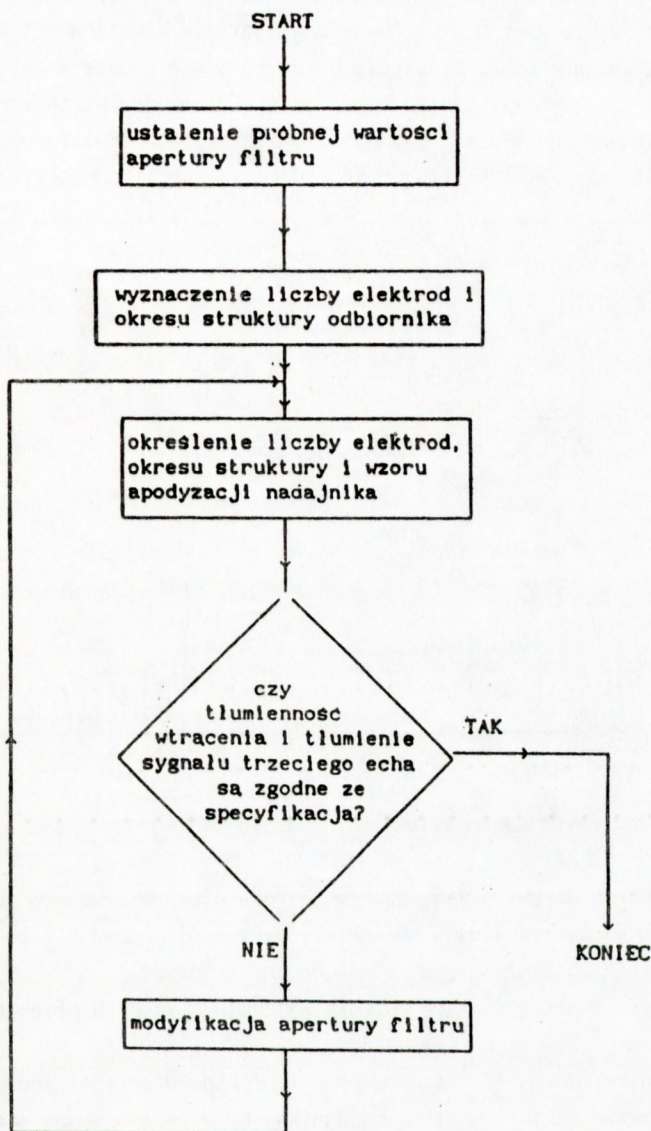
Można wykazać, że jeśli admitancja Y_G jest dostatecznie duża, to transmitancja filtru wyraża się przybliżonym wzorem:

$$H(\omega) = T_1(\omega) \cdot T_2(\omega) \cdot F(\omega) \quad (1)$$

w którym $T_1(\omega)$ i $T_2(\omega)$ oznaczają transmitancje filtrów transwersalnych reprezentujących odpowiednio nadajnik i odbiornik, zaś $F(\omega)$ jest funkcją zależną od częstotliwości, admitancji obciążenia i admitancji przetwornika wyjściowego. Pożądany kształt cha-

rakterystyki częstotliwościowej nadajnika $T_1(\omega)$ można więc wyznaczyć jako iloraz pożą-
danej transmitancji filtra i iloczynu $T_2(\omega) \cdot F(\omega)$.

Wzór apodyzacji przetwornika nadawczego otrzymuje się wykorzystując algorytm Remeza
[1, 3].



Rys. 2. Schemat blokowy pierwszej fazy syntezy filtrów z AFP

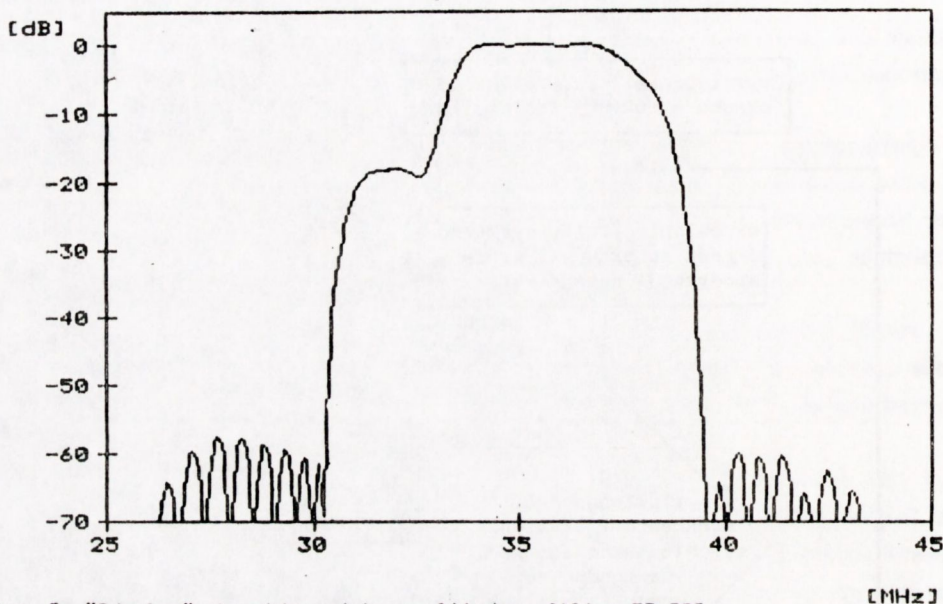
Okres struktury tego przetwornika oblicza się tak, aby zminimalizować wpływ odbić AFP od krawędzi elektrod i ograniczyć przenoszenie sygnału przez filtr przy częstotliwościach bliskich trzeciej harmonicznej.

Liczbę elektrod przetwornika określa się jako minimalną, przy której algorytm Remeza zapewni, z bezpiecznym zapasem, spełnienie wymagań użytkowników filtra na przebieg charakterystyki częstotliwościowej.

W następnym kroku celowe jest zastosowanie dokładnej metody analizy filtrów z AFP, tj. analizy uwzględniającej efekty drugiego rzędu. W rozważanej metodzie są to: dyfrak-

cja i oddziaływanie impedancji filtru z impedancjami źródła i obciążenia. Dokładna metoda analizy wykorzystywana jest w tym etapie syntezy do obliczenia tłumienności wtrącenia i tłumienia sygnału trzeciego echa. Jeśli parametry te są zgodne ze specyfikacją, to pierwsza faza syntezy filtru jest zakończona. W przeciwnym przypadku należy zmienić aperturę filtru (zwiększenie apertury powoduje zmniejszenie tłumienności wtrącenia i tłumienia sygnału trzeciego echa) i dokonać kolejnej syntezy przetwornika nadawczego.

W wyniku pierwszej fazy syntezy filtru uzyskuje się zatem geometrię struktury przetwornikowej filtru, której odpowiada "idealna" charakterystyka amplitudowa. Na rysunku 3. przedstawiono dla przykładu idealną charakterystykę amplitudową filtru FI-383.



Rys. 3. "Idealna" charakterystyka amplitudowa filtru FI-383

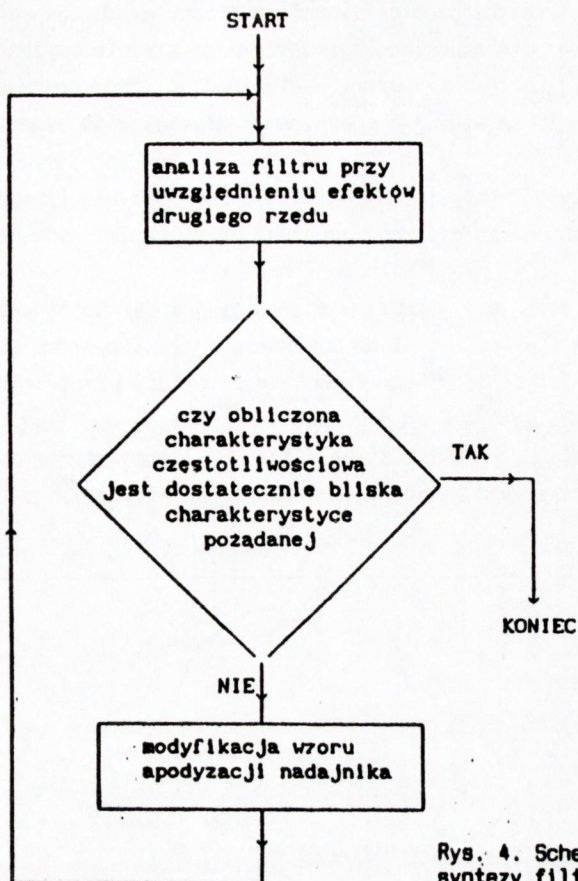
Charakterystykę idealną uzyskuje się przy pominięciu efektów drugiego rzędu. Efekty te powodują jednak, że w rzeczywistości charakterystyka amplitudowa filtru o geometrii określonej w pierwszej fazie syntezy jest różna od charakterystyki idealnej. Wspomniana wyżej dokładna metoda analizy filtrów pozwala w istotnym stopniu przewidzieć te różnice.

W drugim etapie syntezy dokonuje się kompensacji efektów drugiego rzędu. Kompensacja polega na dokonaniu takich zmian geometrii nadajnika, by uzyskana drogą analizy charakterystyka amplitudowa była jak najbliższa charakterystyce idealnej.

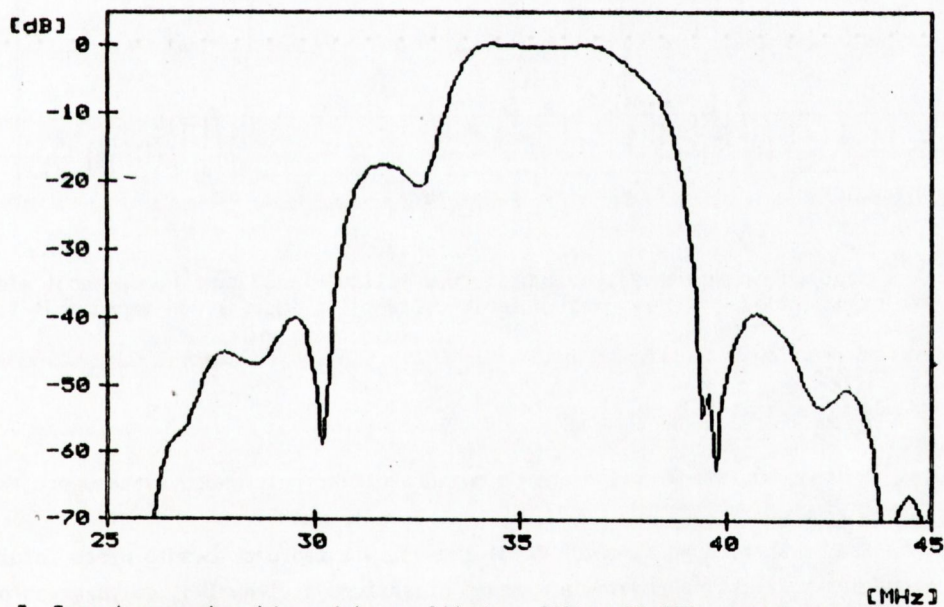
Schemat blokowy drugiego etapu syntezy filtru przedstawiono na rysunku 4.

Analizy filtru dokonuje się za pomocą wspomnianej wyżej dokładnej metody obliczeniowej.

Na rysunku 5. zaprezentowano charakterystykę filtru FI-383 obliczoną omawianą metodą, przed skompensowaniem efektów drugiego rzędu. Zjawisko dyfrakcji modelowano przy założeniu parabolicznego przybliżenia krzywej powolności (ang.: slowness curve) [4]. Charakterystyka ta różni się istotnie od idealnej charakterystyki tego filtru (por. rys. 3).



Rys. 4. Schemat blokowy drugiej fazy syntezy filtrów z AFP



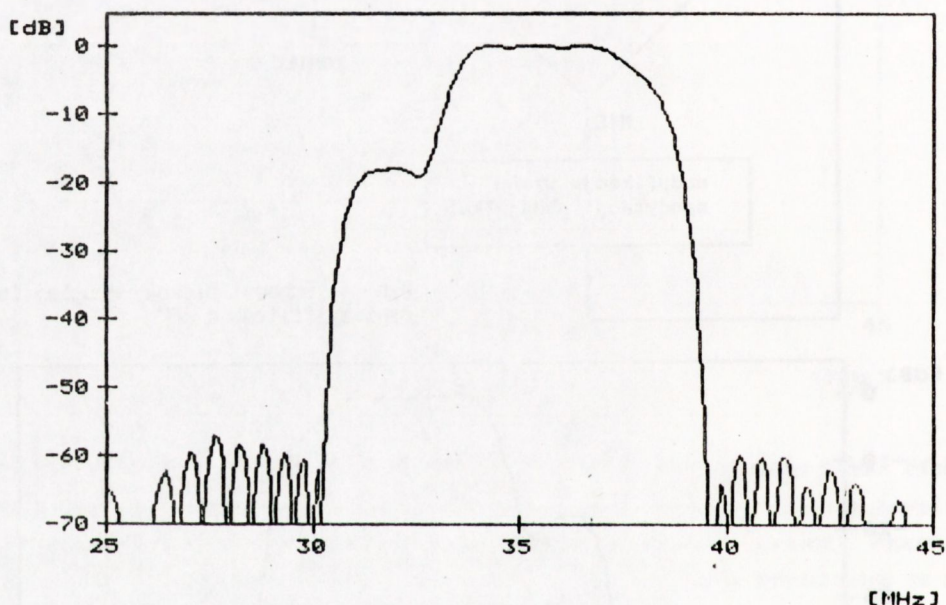
Rys. 5. Teoretyczna charakterystyka amplitudowa filtru FT-383 przed kompensacją efektów pasozytniczych, obliczona przy uwzględnieniu dyfrakcji i oddziaływań impedancji filtru z obwodami zewnętrznymi

Jeśli obliczona charakterystyka częstotliwościowa znacznie odbiega od pożądanej (idealnej), wówczas dokonuje się odpowiedniej modyfikacji wzoru apodyzacji przetwornika nadawczego drogą korekcji położenia przerw w elektrodach tego przetwornika [5, 6]. Modyfikacji tej można dokonać rozwiązując odpowiednio sformułowane zadanie optymalizacji [5, 6, 7].

W omawianej metodzie użyto algorytmu optymalizacyjnego przedstawionego w pracy [7]. Algorytm ten gwarantuje zachowanie stałości apertury przetwornika nadawczego w procesie kompensacji.

Analizę zmodyfikowanej struktury i następującą po niej modyfikację wzoru apodyzacji nadajnika przeprowadza się iteracyjnie aż do uzyskania charakterystyki filtra dostatecznie bliskiej charakterystyce idealnej. Geometrię struktury przetwornikowej odpowiadającą tej charakterystyce uznaje się za docelową.

Na rysunku 6. przedstawiono charakterystykę filtra FT-383 obliczoną po skompensowaniu wpływu dyfrakcji i oddziaływań zewnętrznych obwodów elektrycznych z impedancjami filtra.



Rys. 6. Teoretyczna charakterystyka amplitudowa filtra FT-383 po kompensacji efektów pasożytniczych, obliczona przy uwzględnieniu dyfrakcji i oddziaływań impedancji filtra z obwodami zewnętrznymi

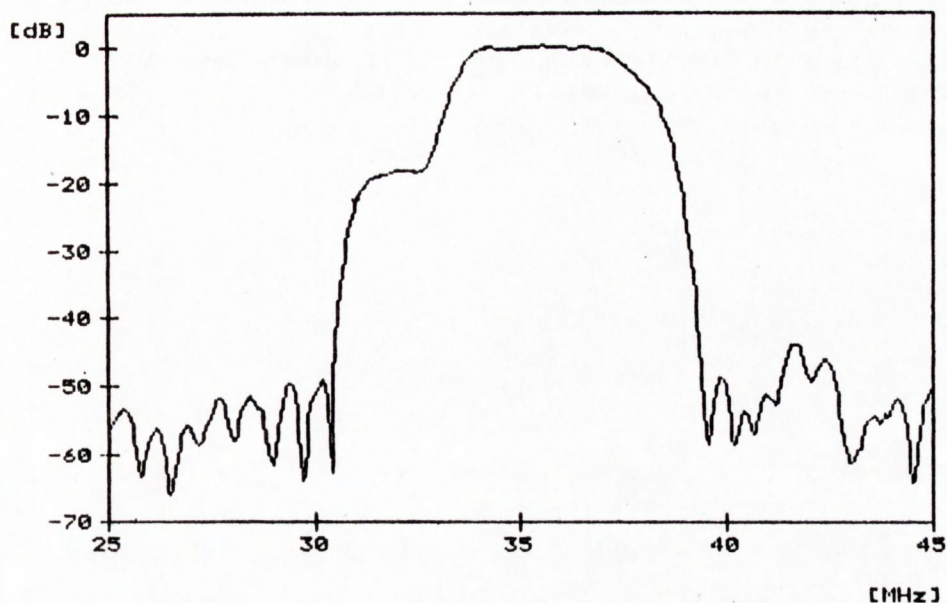
3. ZASTOSOWANIE METODY

Opisaną metodę syntezy wykorzystano do opracowania komputerowego systemu projektowania filtrów z AFP.

System ten wykorzystuje komputer PC AT i umożliwia zaprojektowanie wzoru fotolito-graficznej maski filtra na podstawie wymagań przyszłego użytkownika, dotyczących parametrów elektrycznych filtra.

Zastosowanie systemu pozwoliło m.in. opracować i wdrożyć do masowej produkcji filtr telewizyjny pośredniej częstotliwości typu FT-383, wykorzystujący jako podłoże niobian litu o orientacji $128^{\circ}YX$.

Typowy przebieg charakterystyki amplitudowej tego filtra przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Eksperymentalna charakterystyka amplitudowa filtra FT-383

Różnice między charakterystykami częstotliwościowymi tego filtra: eksperymentalną (rys. 7) i teoretyczną (rys. 6) spowodowane są efektami drugiego rzędu, nie uwzględnianymi w modelu matematycznym filtra (m.in. pasożytniczym wpływem fal objętościowych).

4. PODSUMOWANIE

Omówiona powyżej metoda projektowania filtrów telewizyjnych z akustyczną falą powierzchniową umożliwia skonstruowanie filtra o zadanej charakterystyce częstotliwościowej. Dzięki kompensacji efektów drugiego rzędu, dokonywanej w procesie projektowania, możliwe jest osiągnięcie bardzo dobrej zgodności między założoną i uzyskaną w praktyce charakterystyką filtra.

Omówiona metoda umożliwia projektowanie szerokiej klasy filtrów telewizyjnych pośredniej częstotliwości.

Algorytmy i programy komputerowe służące do analizy i syntezy struktur przetwornikowych filtrów umożliwiają opracowanie konstrukcji filtra przy użyciu komputera typu IBM PC AT - sprzętu stosowanego obecnie dość powszechnie.

BIBLIOGRAFIA

1. Rabiner L.R., Gold B.: Theory and Application of Digital Signal Processing. New Jersey 1975
2. Bristol T.W., Johns W.R., Snow P.B., Smith W.R.: Proc. 1972 IEEE Ultrason. Symp., 343
3. Jordan P., Lewis B.: Proc. 1978 IEEE Ultrason. Symp., 715
4. Peach R.C., Dogget N.H., McClemont F.S., Katsellis A., Dyer A.J.: Proc. 1981 Ultrason. Symp., 58
5. Mader W., Ruppel C., Ehrmann-Falkenau E.: Proc. 1982 IEEE Ultrason. Symp., 23
6. Kodama T.: IEEE Trans. Sonics Ultrason., 30, 3, 1983, 127
7. Nagłowski P.: Proc. 1989 IEEE Ultrason. Symp., 125