

MDSB 방식을 이용한 Parametric Speaker 구동

안동순, 서호선, 윤대희, 자일환
연세대학교 전자공학과
음향, 음성 및 신호처리 연구실

A Parametric Speaker Driving Technic Using MDSB Method.

Dong Soon Ahn, Ho Seon Seo, Dae Hee Youn, Il Whan Cha
Acoustic, Speech and Signal Processing Lab.
Dept. of Electronic Eng. Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this paper an ultrasonic loud speaker (ie., parametric speaker) driving technic was proposed.

The study was focused on reduction of distortion in self-demodulated sound using a sound source driven by MDSB(Modified Double Side Band) signal. And, the experiment was performed in acoustic wave guide using the developed MDSB unit according to the variation of distance from the source.

In the result, proposed MDSB method was found to decrease second harmonic distortion in -3 to -6 dB compared to conventional DSB method.

1. 서론

현재 SONAR 시스템 (Sound Navigation and Ranging System) 에 사용되고 있는 변환기 (Transducer)는 공진 주파수에서 높은 Q 값을 가지므로 Jaming 및 Anti-jaming 과 같은 광대역에서의 응용에 난점이 되어왔다. 이에대한 해결책으로서, 물 또는 공기와 같은 유체에서 진폭변조 (Amplitude Modulation) 된 음파가 매질의 비직선성에 의해 복조되는 자기복조 효과 (Self Demodulation Effect)를 이용하는 방법이 개발 되었으며 (1) 이러한 방법으로 구동 되는 음원을 파라메트릭 음원 (Parametric Sound Source)라한다.

본 논문에서는 기존의 DSB 방식에 의한 파라메트릭 음원을 Speaker로 구동 하여 파라메트릭 음파에서의 왜율(Distortion)을 감소시키는 MDSB 방식을 제안하고 기본적인 실험을 통해 그 효과를 측정 비교하였다.

2. 이론

유한 진폭 (Finite Amplitude)을 갖는 다른 주파수의 두 음파(Primary Wave)가 유체 내부에서 상호작용을 일으키면 그 결과로서, 두 주파수의 합과 차의 주파수를 갖는 새로운 신호 (Secondary Wave)가 발생된다. 이러한 현상을 음파의 비직선적 상호작용 이라하며, Westvelt (2) 에 의해 식(1)과 같은 Lighthill의 임의 유체 운동 방정식 (Arbitrary Fluid Motion Equation)을 이용하여 연구 되었다.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2 \nabla^2 p = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad \text{---(1)}$$

여기에서 ρ 는 유체의 밀도, c 는 음속, 그리고 T 는 응력 (Stress Tensor)이다. Westvelt는 이 방정식 으로부터, 유체내에 발생되는 2 차 신호 (Secondary Wave)의 음압(Sound Pressure)를 다음의 식(2)로 유도하였다.

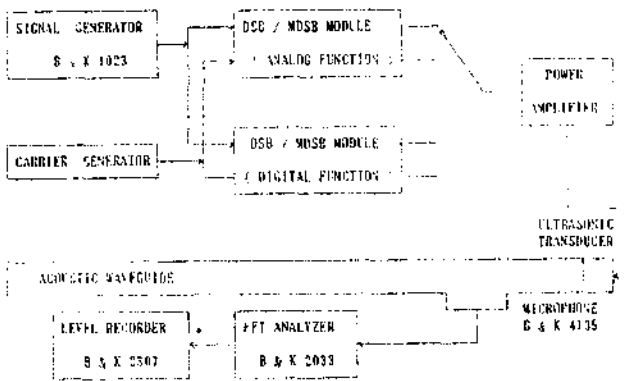


그림 (1)

표(1) 실험 결과의 주파수 1KHz, 2KHz 반송파는 10KHz 이하의 파라메트릭 음파가 음향관 내에서 가지점일때 1KHz 의 복조파와 2KHz 의 고조파 성분을 FFT Analyzer 로 10회 측정할 결과의 평균값이 나타나었다. 실험 결과 MDSB 신호에 대한 고조파 성분을 기존의 DSB 방식에 비해 복조파에 대해 -3db ~ -6db 감쇄 효과를 갖는것을 알수 있으며, 완전한 고조파의 제거가 되지 못한 원인은 부분 회로의 오차와 음원의 특성에 기인한 것으로 고려되며 Digital 방식으로 측정할 경우 보다 좋은 결과를 기대 할수있다.

표1 실험결과

DISTANCE (cm)	SOUND PRESSURE LEVEL (DB) D S B		LEVEL (DB) M D S B		RELATIVE HARMONICS LEVEL (DB) DSB / MDSB		DIFFERENCE (DB)
	1KHZ	2KHZ	1KHZ	2KHZ	13	16	
1	39	25	34	20	13	16	-9
2	36	20	36	20	12	16	-4
4	34	25	32	17	9	15	-6
8	36	25	32	17	11	15	-4
16	29	22	24	12	6	12	-6

표 2. 결 론

MDSB 신호는 파라메트릭 음원 구성시 일반 DSB 방식에 비해 평균 -3 ~ -6db의 고조파를 감쇄시킬 수있음을 기본적인 실험 으로서 확인 할수있었다. 이 방법을 이용하면 복조된 신호의

왜곡을 개선할수 있으며 계속 제어를 목적으로하는 음파의 이용에 있어서 부근 주파수 성분이 억제되므로 수신부의 내역폭을 좁게할수 있는 잇점이될 수있다. 또한 협대역의 변환기를 이용하는 SONAR 시스템의 내역을 세분화 하는것도 가능하다. MDSB 방식은 회로의 오차를 줄임으로서 보다 나은 왜곡을 기대할수 있으며 Digital 방식용 사용하면 Analog 회로 때문에 생기는 오차를 제거할 수 있기때문에 좋은 결과를 얻을 수 있으며 앞으로의 연구 과제이다.

기. 참 고 문 헌

1. Robert J. Urick, Principles of Underwater Sound, pp. 76-79 McGraw-Hill, 1975.
2. P. J. Westvelt, Parametric Acoustic Array, J. Acoustic. Soc. Am. 35, PP. 535-537, 1963.
3. Masahide Yoneyama, The Audio Spotlight, J. Acoust. Soc. Am. 73, PP. 1532-1536, 1983.
4. 장 지원 외 파라메트릭 음원의 어탐에 관한 고찰, 한국 음향 학회 학술 발표회 논문집 pp25-30, 1986
5. A. I. ELLER, Application of the USMD Type B8 Transducer as an Acoust. Soc. Am. 56, pp. 1735-1739, 1974
6. T. G. Muir and J. G. Willeke, Parametric Acoustic Transmitting Array, J. Acoust. Soc. Am. 52, PP1481-1486, 1972

$$V^2 P_3 = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2} = P_1 \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$g = \frac{P_1}{P_1 C^2} \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2} = P_1^2$$

식(2)에서 P_3 는 2차 신호의 음압, P_1 는 1차 신호의 음압이며 β 는 비선형 상수이다. 이와 같은 특성을 이용하여 유체내에 AM(Amplitude Modulation)된 음파를 발생 시키면 복조된 파를 얻을수있는 (3), 파라메트릭 음원이 된다. 신호 $g(t)$ 를 AM변조하여 유체 내부에 방사할 경우 음원의 측상에 K 만큼 떨어진 점에서의 1차 음파(AM파)음압 p 는 다음과 같다.

$$P_1 = P_0 \left(1 + m \cos\left(t - \frac{r}{c}\right)\right) e^{i\omega_0 \left(t - \frac{r}{c}\right)} \quad (3)$$

이때 p 는 조거음압 m 는 변조도 (Modulation Index)이고 c 는 반송파음속수이다. 식(2)와 (3)을 이용하여 음원을 표현하면

$$g = \frac{\partial^2 P_1^2}{\partial t^2} e^{-i\omega_0 \left(t - \frac{r}{c}\right)} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(m^2 \cos^2\left(t - \frac{r}{c}\right) \right) \quad (4)$$

가되며 여기서 우변의 2 번째항이 고조파 왜곡 (Harmonics Distortion)을 일으키는 성분으로 작용하게된다. 음원을 반경 r 인 원형 피스톤으로 가정하고 복조된파의 음압과 왜곡 성분의 음압을 P_3 와 P_4 로서 (2)와 (4)식 에 의해 다음과 같이 구 할수있다.

$$P_3 = \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} \frac{1}{C^2} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(m^2 \cos^2\left(t - \frac{r}{c}\right) \right) \frac{1}{C^2}$$

$$P_4 = \frac{\partial^2 g}{\partial t^2} \frac{1}{C^2} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(m^2 \cos^2\left(t - \frac{r}{c}\right) \right) \frac{1}{C^2} \quad (5)$$

만약 $g(t) = \sin \omega t$ 라면

$$P_3 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(m^2 \cos^2\left(t - \frac{r}{c}\right) \right) \frac{1}{C^2} = \frac{2m^2 \omega^2}{C^2} \cos\left(t - \frac{r}{c}\right)$$

$$P_4 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(m^2 \cos^2\left(t - \frac{r}{c}\right) \right) \frac{1}{C^2} = \frac{2m^2 \omega^2}{C^2} \cos\left(t - \frac{r}{c}\right) \quad (6)$$

가되므로 전송하는 신호의 비주파수 성분이 왜곡의 주된 요인으로 으로 작용함을 알수있다. 본 연구에서는 이러한 왜곡을 감소시키기 위해 AM파의 포락선 부근을 제곱근 (Square Root)값 으로하여 다음과 같은 형태의 변형된 양측파대 (MDSB: Modified Double Sideband)신호로 하는 방식을 제안하였다.

$$P_1 = P_0 \left(\sqrt{1 + m \cos\left(t - \frac{r}{c}\right)} \right) e^{-i\omega_0 \left(t - \frac{r}{c}\right)} \quad (7)$$

이같은 신호는 (4)식의 제곱항이 생기지 않도록 식(5), (6) 에서의 왜곡 성분이 억제되는 효과를 기대할수있다.

3. 실험 및 결과고찰

다음의 그림 (1) 과 같은 실험 장치를 구성하여 공기중에서의 파라메트릭 전송 특성을 측정하였다. 실험에 사용된 신호의 주파수는 1k, 2k 로하고 반송파는 10k 로하는 파라메트릭 음파를사용하였고 구동부 Speaker는 직경이 65mm 이다. 음향관은 길이가 24m 미 직경이 65mm 다. 거리에 따른 왜곡을 보기위하여 1m, 2m, 4m, 8m, 16m에서의 기존의 DSB, MDSB 방식에 대해서 각각 측정하였다. 음향관 내에서의 파라메트릭 신호는 거리별보 (1, 2, 4, 8, 16 m) 스펙트럼 및 음압 레벨이 측정되어 이를근거로 전송효율과 제1고조파 성분의 비율이구해진다. DSB/MDSB Module 은 Analog 인 경우 Multiplier, Adder, Square Root 으로 구성 하였고 Digital인 경우는 A/D, D/A 와 실시간 처리를 위해서 DSP 칩(Chip)을 사용 하여 구현 할수있다.