

Levy Method를 이용한 전기음향 변환기의 등가회로변수 추정 Estimation of Equivalent Circuit Parameters for Electroacoustic Transducer Using Recursive Levy Method

전병두

LG이노텍(주) 연구소
경기 용인시 구성면 마북리 148-1
junbd@acoustics.snu.ac.kr

이상욱, 송준일, 성평모
서울대학교 전기공학부
서울 관악구 신림동 산56-1

요약문 변환기의 해석 및 설계에 있어서 측정되어진 데이터로부터 그 변환기의 전기, 기계, 음향적인 특성변수를 추출하는 기술의 확보는 설계되어진 변환기의 검증 및 최적화를 위해서 필수적이다. 이와 관련한 기존의 방법은 측정방법이 번거롭고 그 결과 또한 많은 오차를 포함하고 있는 관계로 변환기의 정확한 특성변수를 추출하는데 어려움이 많았다. 본 연구에서는 전기음향변환기의 정확한 특성변수 추출을 위하여 기존의 방법과는 달리 Levy Method 반복적으로 사용하여 그 오차를 최소화하는 알고리즘을 개발하였다.

I. 서론

최근 휴대용 전화기 등 전자 제품의 소형화 추세로 인해 초소형 전기음향 변환기의 수요가 급증하고 있다. 소형화와 함께 다양한 복합적 기능도 요구되고 있다. 이러한 추세에 따라 다양한 구조의 초소형 전기음향 변환기가 시장에 출시되고 있다. 기존 장비들의 음질에 익숙한 소비자들은 소형 전기음향 변환기의 성능에 만족하지 못하고 있다. 변환기의 해석 및 설계에 있어서 측정되어진 데이터로부터 그 변환기의 전기, 기계, 음향적인 특성변수를 추출하는 기술의 확보는 설계되어진 변환기의 검증 및 최적화 그리고 새로운 모델의 개발을 위해서 필수적이다. 그러나 초소형 전기음향 변환기는 여러 가지로 그 크기와 형상에 제약을 받기 때문에 성능 향상에 많은 애로가 있다. 따라서 이와 관련된 연구가 충분히 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 초소형 전기음향 변환기의 성능향상과 복합기능 개발의 일환으로 기존 변환기의 전기적 등가회로를 추정하였다. 이와 관련한 기존의 방법은 측정방법이 번거롭고 그 결과 또한 많은 오차를 포함하고 있는 관계로 변환기의 정확한 특성변수를 추출하는데 어려움이 많았다.

본 연구에서는 전기음향 변환기의 정확한 특성변수 추출을 위하여 기존의 방법과는 달리 Levy Method 반복적으로 사용하여 그 오차를 최소화하는 알고리즘을 개발하였다.

기존에 생산되고 있는 제품에 대하여 무작위로 추출하여 개발되어진 알고리즘을 적용하여 임피던스 특성변수를 추출한 결과 비교적 측정치와 추정치가 잘 일치하였다.

본 분석 기법은 향후 신제품 개발을 위한 설계, 개발 도구로서 뿐만 아니라 생산 관리를 위한 기준으로의 활용도 가능하리라 본다.

II. 방법

그림 1.과 같은 구조를 갖는 초소형 전기음향 변환기의 동가회로 모델링을 위하여 그림 2.와 같은 순서로 작업을 수행하였다.

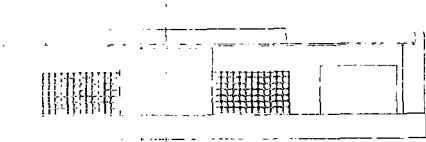


그림 1. 초소형 전기음향 변환기의 구조

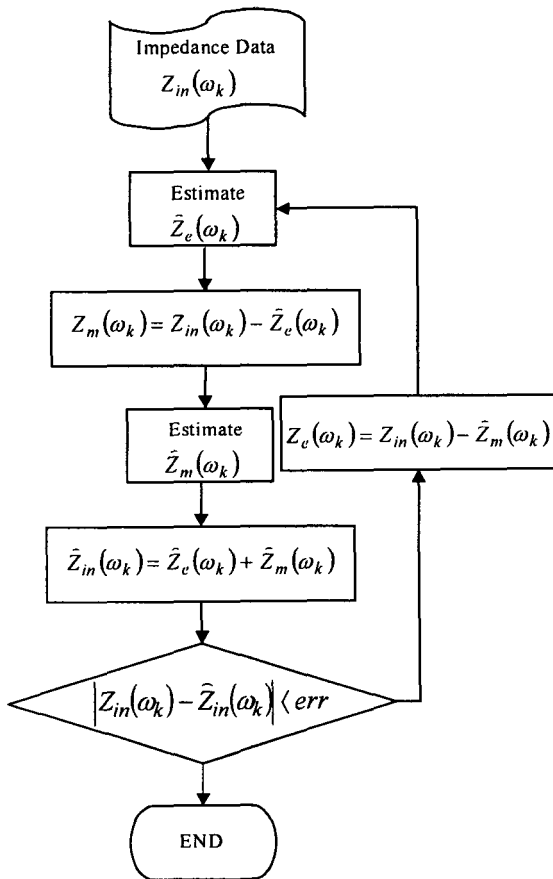


그림 2. 전기음향 변환기 모델링 순서도

이와 같은 구조를 갖는 변환기는 코일 유닛에 의한 전기적 특성과 변환기를 구성하고 있는 진동판과 cap 등의 기계적 진동 특성이 결합된 구조를 갖고 있어 일반적으로 그림 3.과 같은 동가회로로 모델링할 수 있다[1].

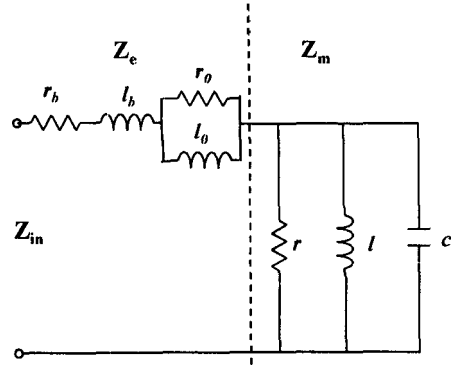


그림 3. 전기음향 변환기의 전기적 동가회로

그림 3 같은 전기적 동가회로를 갖는 변환기의 전기적 입력 임피던스 Z_{in} 은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 구조를 갖는 전기음향 변환기는 전기적 입력 임피던스 Z_m 은 주로 코일에 의한 임피던스 Z_e 와 진동판과 cap 등의 기계적 진동 특성의 전기적 동가 임피던스 Z_m 의 합으로 나타난다.

$$Z_{in} = Z_e + Z_m \quad (1)$$

$$Z_e = \frac{r_0 l_b + s(r_b l_0 + r_0 l_b + r_0 l_0) + s^2 l_0 l_b}{r_n + s l_0} = \frac{b_1 + s b_2 + s^2 b_3}{a_1 + s a_2} \quad (2)$$

$$Z_m = \frac{1}{\frac{1}{r} + \frac{1}{s l} + s c} = \frac{s r l}{r + s l + s^2 r l c} = \frac{s \beta_1}{\alpha_1 + s \alpha_2 + s^2 \alpha_3} \quad (3)$$

식(2)와 식(3)으로부터 식(4)와 같이 동가회로의 변수값을 구할 수 있다.

$$r_0 = a_1, \quad l_0 = a_2, \quad r_b = b_1/a_1, \quad l_b = b_3/a_2, \\ r = \alpha_1, \quad l = \alpha_2, \quad c = \alpha_3/\alpha_1 \alpha_2 \quad (4)$$

그런데 Z_v 와 Z_m 은 각각 분자, 분모가 2차 1차, 1차 2차로 구성되어 있으며 이들의 일반식은 식(5)와 같다.

$$\hat{Z}(s) = \frac{\hat{B}(s)}{\hat{A}(s)} = \frac{b_1 + b_2s + \dots + bs^{n-1}}{a_1 + a_2s + \dots + as^{n-1}} \quad (5)$$

식(5)에서 $\hat{Z}(s)$ 는 N 개의 주파수 $\omega_k, k=1, 2, \dots, N$,로부터 얻은 데이터이다, 아로부터 계수 $\{a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n\}$ 를 구하기 위해 식(6)과 같은 목표함수를 최소화한다.

$$\min_{a,b} \sum_k \left| Z(s) - \frac{\hat{B}(s)}{\hat{A}(s)} \right|^2 \quad (6)$$

식(6)이 선형식이 아니고 분수식이므로 Levy method를 이용하여 식(7)과 같이 변환한다[2].

$$\min_{a,b} \sum_k \left| \hat{A}(s)Z(s) - \hat{B}(s) \right|^2 \quad (7)$$

식(7)로부터 계수 $\{a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n\}$ 를 구한다.

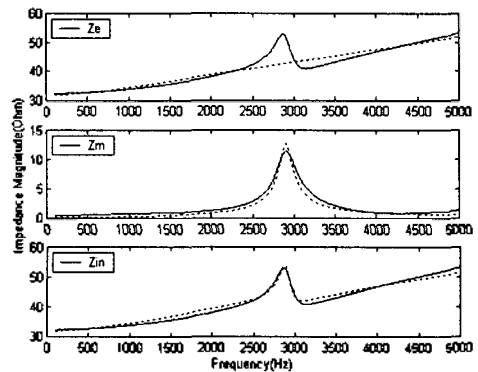
본 실험에서는 그림 2의 전기음향변환기 모델링 순서도에 따라 먼저 측정 데이터 Z_m 을 입력으로 하고 식(7)을 이용하여 Z_v 의 계수 $\{a_1, a_2, b_1, b_3\}$ 을 구하였다. 다시 Z_m 과 추정치 \hat{Z}_v 의 차를 입력으로 식(7)을 이용하여 Z_m 의 계수 $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ 를 구하였다. 각각의 추정치 \hat{Z}_v 와 \hat{Z}_m 의 합을 새로운 입력 임피던스의 추정치 \hat{Z}_m 으로 하였다. Z_m 과 \hat{Z}_m 이 일정한 에러범위 이내에 들 때까지 반복 수행하여 최종적으로 Z_v 의 계수 $\{a_1, a_2, b_1, b_3\}$ 와 Z_m 의 계수 $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ 를 구하였다.

III. 실험 및 결과

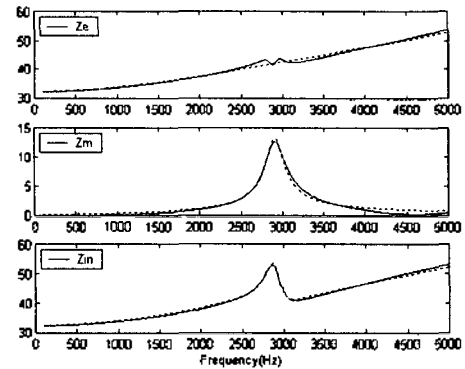
본 실험에서는 HP사 impedance analyzer (HP4194a)를 이용하여 그림 1.과 같은 초소형 전기음향 변환기의 임피던스 특성을 상한주파수 5kHz 범위에서 측정하였다. 본 실험에서는 그림 2.의 전

기음향변환기 모델링 순서도에 따라 먼저 측정 데이터 Z_m 을 입력으로 하고 식(7)을 이용하여 Z_v 의 계수 $\{a_1, a_2, b_1, b_3\}$ 을 구하였다. 다시 Z_m 과 추정치 \hat{Z}_v 의 차를 입력으로 식(7)을 이용하여 Z_m 의 계수 $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ 를 구하였다. 각각의 추정치 \hat{Z}_v 와 \hat{Z}_m 의 합을 새로운 입력 임피던스의 추정치 \hat{Z}_m 로 하였다. Z_m 과 \hat{Z}_m 이 일정한 에러범위 이내에 들 때까지 반복 수행하여 최종적으로 Z_v 의 계수 $\{a_1, a_2, b_1, b_3\}$ 와 Z_m 의 계수 $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ 를 구하였다

반복적으로 수행한 작업의 중간 결과들을 그림 4.에 나타내었다.

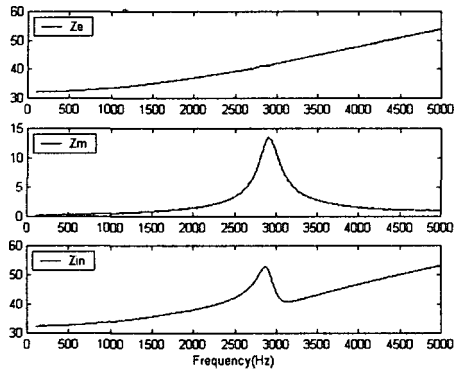


(a) 첫 번째 시행



(b) 두 번째 시행

그림 4. 전기음향 변환기의 추정단계별 임피던스
(solid line : measured data
dotted line : estimated data)



(c) 최종 결과

그림 4. (계속) 전기음향 변환기의 추정단계별
임피던스

(solid line : measured data
dotted line : estimated data)

V. 결론

초소형 전기음향 변환기의 전기적 임피던스 측정 데이터로부터 Recursive Levy Method를 이용하여 상한 주파수 5kHz 범위에서 만족할 만한 임피던스 전달함수를 구하였다. 이 결과로써 등가회로를 추정하였다. 추정되어진 등가회로의 임피던스 특성은 측정치와 작은 오차로 잘 일치하였다.

본 연구에서 사용되어진 반복적 Levy Method는 여러 분야의 system modeling의 한 방법으로 사용되어 질 수 있다.

또한 이러한 알고리즘을 기 개발된 컴퓨터를 이용한 계측기 구동 소프트웨어와 결합시키면 일련의 측정과 분석 작업을 온라인으로 처리할 수 있다. 이러한 작업을 통하여 본 분석 기법은 향후 신제품 개발을 위한 설계, 개발 도구로서 뿐만 아니라 생산 관리를 위한 기준으로의 활용도 가능하리라 본다

참고문헌

- [1] Acoustic and Electronics, Artech House Mario Rossi, 1988.
- [2] Rolf Johansson, System Modeling and identification, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.