

PSO 알고리즘을 활용한 소나 트랜스듀서의 전기적 등가회로 모델링 기법 연구

최재혁*, 박관균*, 이동훈**, 유승진**, 김형문**, 목형수*
건국대학교*, 국방과학연구소**

Study on the Electrical Equivalent Circuit Modeling of the SONAR Transducer using Particle Swarm Optimization

JaeHyuk Choi*, GwanGyun Park*, DongHun Lee**, SeungJin Yoo**, HyeongMoon Kim**, HyungSoo Mok*
KONKUK University*, Agency for Defense Development**

ABSTRACT

본 연구는 기계적 특성을 갖는 소나(SONAR, Sound Navigation and Ranging) 트랜스듀서(Transducer)를 BVD(Butterworth Van Dyke)모델^[1]을 기반으로 하는 전기적 등가 회로로 모델링하며 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 활용하여 상기 등가 모델에 사용되는 전기적 소자들의 소자값을 추출한다.

1. 서 론

소나 시스템은 음향 신호를 활용하여 탐지 대상의 탐지 및 정보추출을 목적으로 하며 소나 시스템의 음향 수신 계통은 송신부, 수신부, 신호처리기 및 탐지기로 구성된다. 송신부에서는 전기적 신호를 전력증폭기로 증폭하여 트랜스듀서에 공급하고 공급되어진 전기적 신호는 음향신호로 변환되어 방사된다. 이때 방사된 음향 신호는 탐지 대상에 도달 후 반사되며 수신부에서 반사되어진 신호를 수신하여 다시 전기적 신호로 변환한다. 재 변환된 전기적 신호는 신호처리기 및 탐지기에서 유효한 표적 정보로 변환되어진다.

전기적 신호를 증폭하여 트랜스듀서에 공급하는 전력증폭기는 특정 주파수 대역의 균일한 전기적 신호 발생 능력이 요구되며 이는 소나 시스템의 탐지 성능을 결정하는 요소이다. 따라서 고성능 전력증폭기의 설계가 요구된다.

설계 및 제작된 전력증폭기의 성능 실험을 위하여 적용 대상의 실제 트랜스듀서를 장착 후 실험하는 것이 성능을 평가하는 최선의 방법이지만 트랜스듀서는 방사 매질이 공기인 경우와 물인 경우의 특성이 상이하여 실험 시 실험용 수조가 요구되며 방사되는 음향신호를 분석하기 위한 수신기가 요구된다. 또한 일반적으로 다수개의 트랜스듀서가 증폭기에 장착되며 이러한 트랜스듀서의 제작 단가는 매우 높다. 따라서 실제 대상에 적용 전 전력증폭기의 성능 실험을 위한 전기적 등가 모델이 요구되며 소나 트랜스듀서의 전기적 등가모델을 활용할 경우 시간, 비용 및 측정의 용이함 측면에서 활용도가 높다. 따라서 본 연구에서는 기계적 특성을 보유한 트랜스듀서의 임피던스 특성을 활용하여 전기적 등가회로를 도출하며 단일 공진점을 갖는 BVD모델을 활용하여 회로를 구성한다. 또한 임피던스 특성을 모사하기 위하여 PSO 알고리즘을 사용한 소자 값 추출을 실시하며 추출되어진 값을 사용한 BVD 모델의 임피던스 특성을 트랜스듀서의 임피던스 특성과 비교 분석한다.

단 면 도

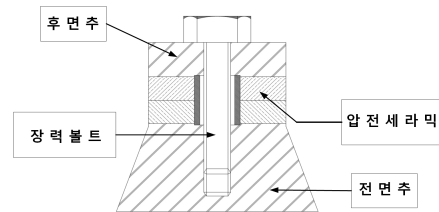
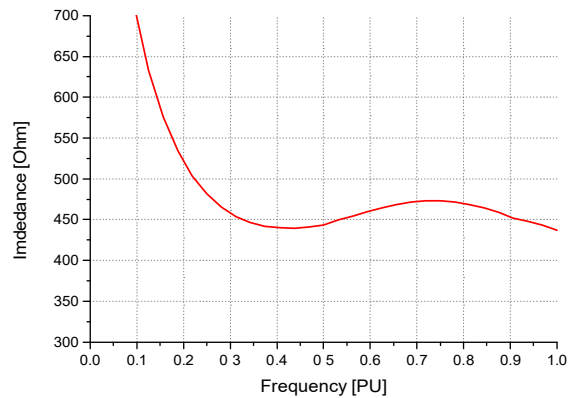
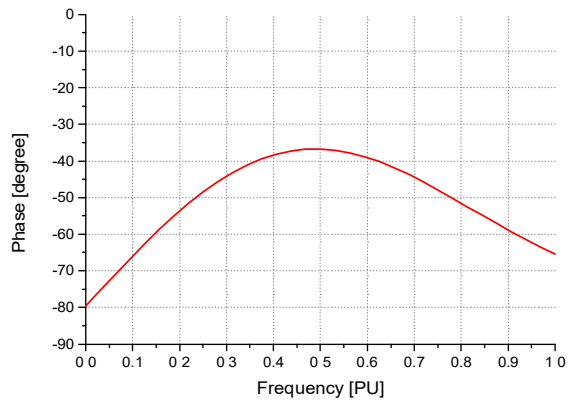


그림 1 소나 트랜스듀서
Fig. 1 SONAR Transduce



(a) Magnitude of impedance



(b) Phase of impedance

그림 2 소나 트랜스듀서의 임피던스 특성
Fig. 2 The impedance characteristic of the SONAR transducer

표 1 BVD 모델의 파라미터 P.U.값

Table 1 Per unit values of the BVD model parameters

	Value		Value
R_1	0.37333	C_1	0.532
L_1	0.3747	C_0	0.2286

2. 소나 트랜스듀서의 전기적 등가회로 모델링

일반적인 소나 트랜스듀서의 구성은 그림 1과 같이 압전세라믹을 중앙에 적층하고 금속 재질의 전면추 및 후면추를 장력볼트로 결합한 형태로 구성되며 전면추와 방사 매질인 물 사이에 음향 윈도우가 위치한다. 따라서 소나 트랜스듀서는 세라믹을 적층한 진동체로 구성되어 있으므로 저항성분 및 리액턴스성분으로 표시할 수 있으며 매우 큰 복소 임피던스 특성을 나타낸다. 그림 2는 본 연구의 모델링 대상인 광대역 트랜스듀서의 주파수에 따른 임피던스의 크기 및 위상을 나타낸다.

그림3은 BVD 모델을 사용하여 구성된 소나 트랜스듀서의 등가 모델이며 총 4개의 전기적 소자로 구성된다. BVD 모델의 어드미턴스 $Y_{bvd}(j\omega)$ 를 구하면^[2] 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 $Y_1(j\omega) = j\omega C_0$ 이고 $Z_2(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 + R_1$ 이다.

$$Y_{bvd}(j\omega) = Y_1(j\omega) + \frac{1}{Z_2(j\omega)} \quad (1)$$

식 (1)을 활용하여 임의의 파라미터에 대한 BVD 모델의 주파수에 따른 임피던스 특성을 연산하며 이를 모델링 대상인 소나 트랜스듀서의 임피던스 특성과 비교하여 오차를 연산한다. 이러한 오차 값을 바탕으로 PSO 알고리즘을 활용하여 오차가 최소화 되는 파라미터 값을 도출^[3]한다. 표 1은 도출되어진 파라미터의 P.U.값을 나타낸다. 그림4는 트랜스듀서의 임피던스 특성 및 도출된 파라미터를 사용한 BVD 모델의 임피던스 특성의 비교를 나타낸다.

3. 결론

본 논문은 소나 트랜스듀서의 BVD 모델을 활용한 전기적 등가모델을 도출하며 BVD 모델의 전기적 소자들의 파라미터 값의 도출을 위하여 PSO 알고리즘을 적용하였다.

파라미터의 도출 결과 음향 신호의 중심 주파수 대역인 0.72[PU] 대역에서 트랜스듀서의 임피던스 특성과 전기적 등가 모델인 BVD 모델 임피던스 특성 비교 시 임피던스 크기 측면에서 약 1.4%, 임피던스의 위상 측면에서 약 1.5% 수준의 오차만이 발생함을 확인하였다. 상기 도출 결과로 전력증폭기 성능 실험에서 전기적 등가 트랜스듀서 모델을 대체 사용이 가능함을 확인하였다.

차후 연구에서는 본 연구에서 고려하지 않은 실제 소자들의 기생 성분 및 기타 요소들이 포함된 등가 모델 도출이 요구된다.

본 연구는 국방과학연구소 [소형 수중운동체용 송신소형화 기술연구(UE160036DD)]의 지원으로 수행되었습니다.

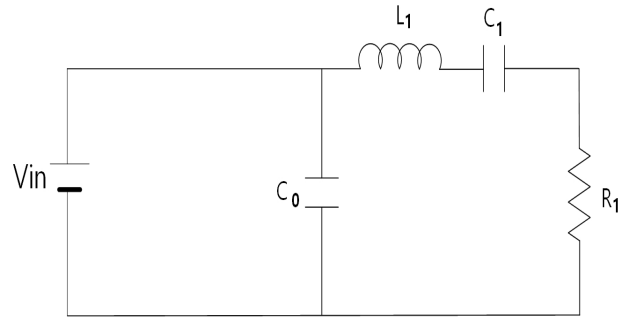
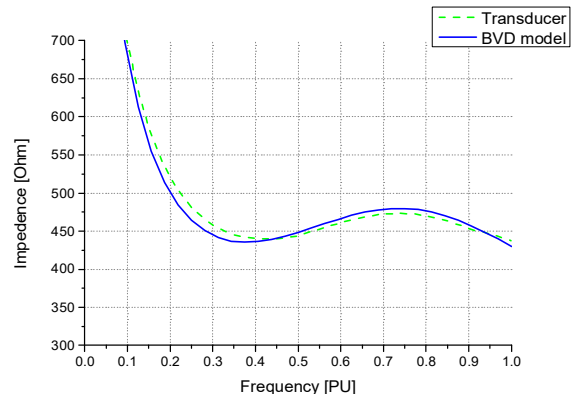
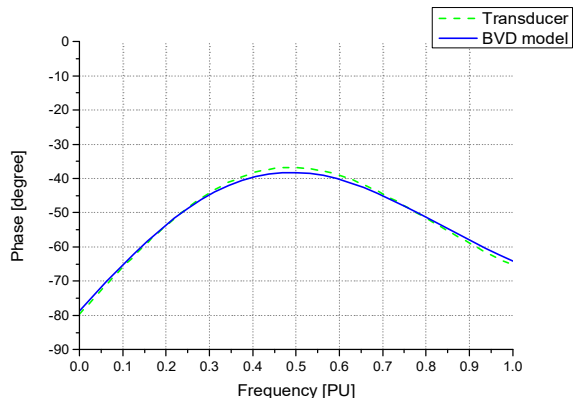


그림 2 BVD 모델을 사용한 등가 회로

Fig. 2 Equivalent circuit using the BVD model



(a) Magnitude of impedance



(b) Phase of impedance

그림 4 트랜스듀서와 BVD모델의 임피던스 특성 비교

Fig. 4 Comparison of impedance characteristic between Transducer and BVD model

참고 문헌

- [1] D. Church and D. Pincock, "Predicting the Electrical Equivalent of Piezoceramic Transducers for Small Acoustic Transmitters", IEEE Trans. Sonics Ultrason., Vol. SU 32, No. 1, pp. 61~64, 1985.
- [2] R. Ramesh and D. D. Ebenezer, "Equivalent Circuit for Broadband Underwater Transducers", IEEE Trans. U.F.F.C. Vol. 55, No. 9, pp. 2079~2083, 2008.
- [3] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942~1948, 1995.