

수중통신 신호 송신용 고전력 증폭기에 관한 연구

이동훈*, 김인수, 김형문, 박근호, 안종민

*국방과학연구소

*leedhun@add.re.kr, kis171@add.re.kr, hmkim@add.re.kr, ghpark57935@add.re.kr,
anjong3@add.re.kr

A Study on the Power Amplifier for underwater communication signal transmission

*Lee Donghun, Kim Insoo, Kim hyungmoon, Park Geun-Ho, Ahn Jongmin

*Agency for Defense Development

요약

본 논문은 음향을 이용한 수중통신 송신시스템에 사용되는 고전력 증폭기에 대해 고찰한다. 수중통신에서는 음향이 가장 효과적인 신호전달 수단이며, 음향을 발생시키는 송신 트랜스듀서는 높은 음압을 위해 고전력을 필요로 한다. 이러한 고전력 신호로 증폭하기 위해서 여러 방식의 전력증폭기를 사용할 수 있는데, 기존의 수중음향용 전력증폭기는 탐지를 위해 개발된 것으로 통신용으로의 사용 적합성은 연구된 바가 없다. 본 논문에서는 기존의 탐지용 송신신호 증폭에 사용되었던 전력증폭기에 대해 통신용으로 사용 시 문제점을 고찰하고, 새로운 방식의 통신용 전력증폭기 연구의 필요성을 제시하고자 한다.

I. 서론

수중환경에서 신호를 전달하는 가장 효과적인 물리적 수단은 음향이며, 레이더와 같이 수중에서 표적을 탐지하는 것으로 소나가 있다. 소나는 레이더와 마찬가지로 펄스성 음향신호를 사용하며, 수 km 이상 표적을 탐지하기 위해서는 높은 음압을 발생하는 음향센서와 이를 위한 고전력 증폭기가 필요하다. 고전력에 적합한 증폭 방식은 PWM 방식의 Class-D 급 앰프를 주로 사용하며 내부에 LC 필터가 반드시 필요한데, 이러한 구조가 송신신호의 위상왜곡에 어떠한 영향이 있는지 알아보고 통신전용 전력증폭기 설계 방법에 대해 제시하고자 한다.

II. 본론

수중음향을 이용한 통신은 통신거리 별로 권장 주파수 대역과 통신량이 구분되지만 일반적으로 195 dB// $\mu\text{Pa}@1\text{m}$ 이상의 높은 음압(SL)이 필요하며 송신센서인 트랜스듀서의 송신전압감도(TVR)를 약 135 dB 로 보았을 때, 약 1000 Vrms 이상의 센서구동전압이 필요하다[1].

$$SL = 20 \cdot \log(V_{\text{rms}}) + TVR \quad (1)$$

또한, 레이더에 비해 상대적으로 매우 긴 신호를 사용하여 에너지면에서 수백배 이상이 요구되므로 PWM 방식의 고전력 증폭기가 사용되며 구조는 다음과 같다.

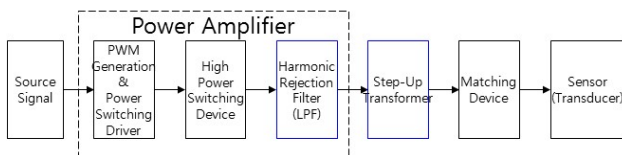


그림 1. 음향송신용 전력증폭 구조

위 그림에서 고조파제거필터(LPF)는 전력손실이 없는 인덕터(L), 캐패시터(C)로 구성[2]되며 송신센서의 등가부하 소자와 결합하여 이득왜곡과 위상왜곡을 가지는 전달함수가 된다.

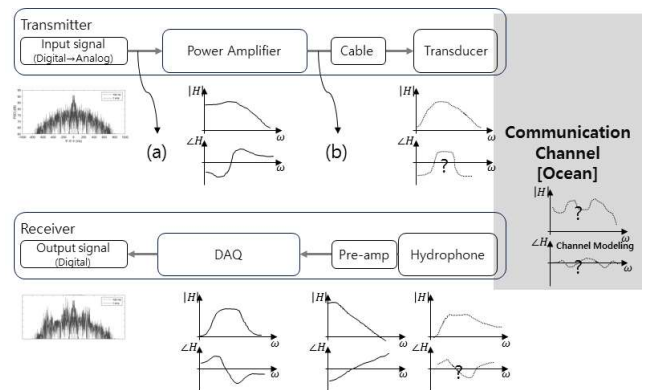


그림 2. 전송경로 내 신호왜곡

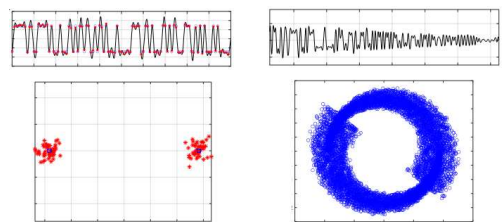


그림 3. 성상도(constellation)

그림 2와 같은 통신신호를 송신하고 수신하는 과정에서 위상왜곡이 발생하며, 그림 3의 예와 같이 신호왜곡이 발생하여 통신이 불가능하게 된다. 탐

지용 신호의 경우는 이러한 위상왜곡이 문제가 되지 않기 때문에 지금까지 다루지 않았던 분야이며, 앞으로 수중통신에서 매우 중요한 요소가 된다.

전력증폭기는 일반적으로 제어방식과 신호처리 방식에 따라 클래스(Class)로 나누고 Class-A, B, C, AB, D 로 구분되며, 음향신호 증폭에 사용가능한 전력증폭기는 Class-A 와 Class-D 급이 있다. 그러나, Class-A 급은 위상왜곡은 작지만 전력 손실이 크고 발열이 심하며 고전력을 구현하기에는 부적합하다. Class-D 급은 고전력 구현에 적합하지만 앞서 언급한 구조로 인해 위상왜곡이 매우 심하다.

PWM방식의 Class-D 급 전력증폭기를 개선하거나 위상왜곡을 보상하도록 설계 보완하는 방법을 고려할 수 있지만, 위상왜곡에 가장 큰 영향이 있는 고조파 제거 필터가 송신센서 임피던스 특성에 영향을 받아 전달함수 특성이 변하는 문제가 있다[2]. 즉, 송신센서의 전기적 등가부하는 저항(R), 인덕터(L), 캐패시터(C) 조합으로 표현되며[3] 고조파제거 필터와 전압을 조정하는 트랜스(Transformer)와 함께 위상왜곡을 발생하는데, 송신센서의 전기적 등가부하는 센서마다 다르기 때문에 전체 전송특성이 바뀔 수 있다. 수중통신을 위한 해결방법은 크게 두가지로 고려해 볼 수 있다.

첫 번째, 송신시스템의 전달 특성을 분석하여 통신신호에서 보상하는 방법이 있다. 이 방법은 송신시스템의 특성에 따라 통신신호의 보상설계가 불가능할 수 있다. 또한, 송신센서의 위상특성을 측정하기 어렵고 전달 함수에 대한 등가회로를 구하 것도 지금까지 연구된바 없다.

두 번째, 새로운 방식의 전력 증폭기 연구 및 개발하는 방법이 있다. 위상왜곡이 거의 없거나 위상왜곡을 최소화하는 새로운 구조의 고전력 증폭에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

III. 결론

본 논문에서는 수중통신에 사용되는 음향송신 시스템에 대해 알아보고, 기존의 시스템에 어떠한 문제가 있는지 살펴보았다.

수중 음향 송신을 위해서는 고전력 증폭기가 필요하고, 지금까지 개발된 전력 증폭기는 수중통신에 적합하지 않음을 확인하였다. 또한, 수중통신에 적합한 전력증폭기 연구의 필요성과 연구방향을 제시하였고 향후 연구를 통해 고려해야 할 사항을 제시하였다.

앞으로 추가 연구를 통해 수중통신을 위한 새로운 전력증폭기를 연구하거나, 기존 전력증폭기 분석을 통해 신호왜곡을 보상하는 통신신호 설계 연구를 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임(915084201).

참 고 문 헌

- [1] C. H. Sherman and J. L. Butler, *Transducers and Arrays for Underwater Sound*, Springer Science Business Media, LLC, 2007.
- [2] Jejin Jang and Jaehyuk Choi, "Estimation Method of an Electrical Equivalent Circuit for Sonar Transducer Impedance Characteristic of Multiple Resonance", *MDPI Sensors*, Vol 23, Issue 14, 2023.
- [3] R. Ramesh and D. D. Ebenezer, "Equivalent Circuit for Broadband Underwater Transducers", *IEEE Transactions on Ultrasonics, and Frequency Control*, Vol 55, No. 9, 2008.