

수중 통신용 전력증폭기의 구현

이창열*, 심재혁*, 김인동*, 노의철*, 문원규**, 김원호***
 부경대학교 전기공학과*, 포항공과대학교 기계공학과**, 국방과학연구소***

Implementation of a Power Amplifier in Underwater Communication System

Chang Yeol Lee*, Jae Hyeok Shim*, In Dong Kim*, Eui Cheol Nho*,
 Won Kyu Moon**, Won Ho Kim***

Dept. of Electrical Eng., Pukyong National University, Korea*

Dept. of Mechanical Eng., POSTECH, Pohang, Korea**

Agency of Defence and Development, Jinheo, Korea***

ABSTRACT

수중에서는 대기와 달리 매질의 차이로 인하여 통신의 제약이 따르므로 초음파를 이용하여 정보를 송·수신한다. 수중통신을 하기 위해서는 신호를 증폭시키는 전력증폭기와 증폭된 전기 신호를 초음파로 변환시키는 트랜스듀서가 필요하다.

전력증폭기는 선형적인 출력이 보장되어야 하며, 수중에서의 발열과 연료문제로 인하여 높은 효율로 동작하여야 한다. 하지만 기존의 전력증폭기는 인가되는 고정전압과 출력전압의 차이로 인해 손실이 발생하여 효율이 저하된다.

본 논문에서는 수중 통신에 적합한 특성을 가진 APEX사의 Class B push pull 타입의 MP108A 증폭기를 사용하여 선형적인 출력 특성을 보장하며 넓은 대역폭을 갖는 전력증폭기를 구현하고, 실험을 통해 특성을 확인하였다.

1. 서론

최근 천안함 사건을 통해 알 수 있듯이 수중에서 정보를 교환할 수 있는 수중통신 시스템은 군사 전략적으로 매우 중요하다.

수중에서는 매질의 차이로 인하여 통신시스템에 제약이 많으므로 정보신호를 그림 1과 같이 변조기(Modulator), 전력증폭기(Power Amplifier), 압전 초음파 트랜스듀서(PMUT Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer)를 통해 초음파로 변환하여 송신한다.^{[1][2]}

전력증폭기는 송신신호의 왜곡 손실을 줄이기 위해 넓은 대역폭과 출력 선형성이 보장되어야 하며, 시스템의 발열 및 연료 부족 문제로 인하여 높은 효율로 동작하여야 한다.

전력증폭기 Class A와 Class B는 출력의 선형성이 보장되지만, 최대효율은 다소 낮은 50%와 78%이다. Class D의 경우 전 부하영역에서 90% 이상의 높은 효율을 보이나 소자의 스위칭 특성으로 인하여 THD가 높고 출력이 비선형적이다.

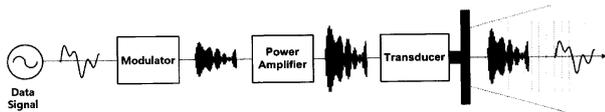


그림 1. 수중 초음파 송신 구성도

그러므로 본 논문에서는 수중 통신에 적합한 특성을 가진 APEX사의 Class B push pull 타입의 MP108A 증폭기를 사용하여 선형적인 출력 특성을 보장하며, 넓은 대역폭을 갖는 전력증폭기를 구현하고, 실험을 통해 특성을 확인하였다.

2. 전력증폭기의 설계

2.1 PMUT 특성 및 설계 파라미터

일반적으로 전력증폭기의 부하는 순수 저항부하가 대부분이지만, PMUT는 내부 압전 구조로 인하여 저항 성분과 커패시턴스 성분이 존재하게 되므로 그림 2와 같이 주파수에 따라 전기적 특성이 변화된다.

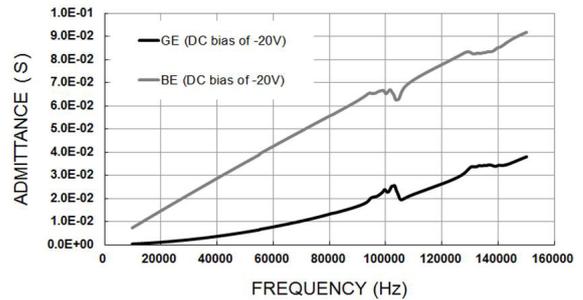


그림 2. 주파수에 따른 PMUT 전기적 특성 그래프

PMUT를 구동하기 위한 전력증폭기 설계사양은 표 1과 같다.

항 목	설계사양
동작 주파수	80 ~ 145 [kHz]
출력전압	±160 [V]
밴드폭	300 [kHz]

표 1. PMUT 구동용 전력증폭기의 설계사양

2.2 안정도 및 회로 설계

설계한 전력증폭기의 등가회로는 그림 3과 같다.

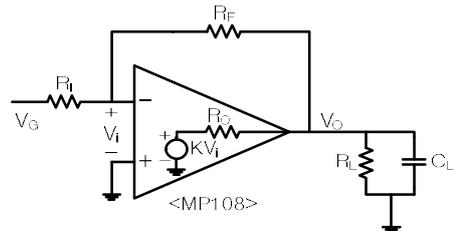


그림 3. 설계한 전력증폭기 등가회로

구동주파수 120 [kHz]에서 $Y = 0.026 + j0.078$ 이므로,

$$R_L = \frac{1}{G} = \frac{1}{0.026} = 38[\Omega] \quad (1)$$

$$C_L = \frac{B}{w} = \frac{0.078}{2\pi f} = 103[nF] \quad (2)$$

이며, 데이터 시트로부터 MP108A 내부저항 R_o 는 5 [Ω]을 확인할 수 있다.

$R_i = 1[k\Omega]$, $R_f = 20[k\Omega]$ 이므로, 반전 증폭비는

$$A_v = \frac{R_f}{R_i} = \frac{20}{1} = 20 \quad (3)$$

이다. 밴드폭은 300 [kHz]로 설계하였다.

안정도를 판별하기 위해 부하특성을 고려한 전력증폭기의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{KV_i} = \frac{\frac{R_L/sC_L}{(1/sC_L)+R_L}}{R_o + \frac{R_L/sC_L}{(1/sC_L)+R_L}} \quad (4)$$

$$\frac{V_o}{KV_i} = \frac{1}{\left(1 + \frac{R_o}{R_L}\right)\left(1 + \frac{s}{(R_o\parallel R_L)C_L}\right)} \quad (5)$$

$$w_p = \frac{1}{(R_o\parallel R_L)C_L} = \frac{1}{(5\parallel 38)103 \cdot 10^{-9}} = 2\pi \cdot 350 \quad (6)$$

여기서 폴(Pole) w_p 는 350 [kHz]에서 나타난다.

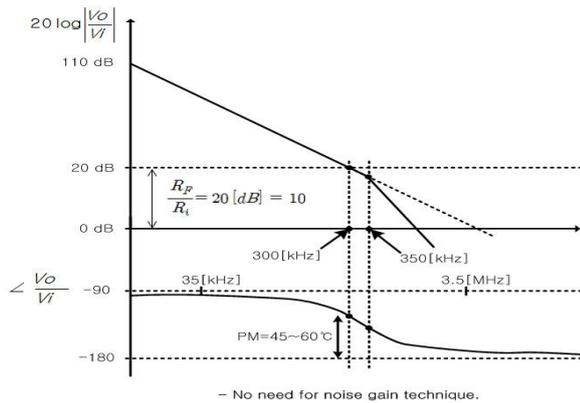


그림 4. 부하특성을 고려한 MP108A 전력증폭기의 보드선도

그림 4의 보드선도를 보면, 밴드폭 300 [kHz]에서 위상 여유 (Phase margin)가 45~60 [°]이기 때문에 추가적인 보상회로가 필요 없다.^[3]

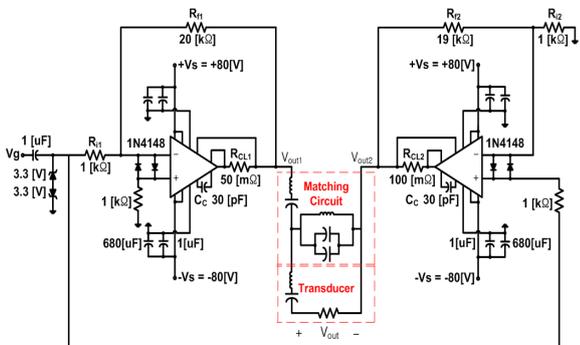


그림 5. MP108A 전력증폭기의 Bridge mode 회로

그림 5는 Dual supply type의 전원으로 구성된 Bridge mode 전력증폭기의 설계 회로이다.

3. 실험 결과

구현한 전력증폭기의 특성을 확인하기 위해 표 2와 같은 조건으로 실험하였다.

항 목	값
AMP 입력 신호	Sin파 7 [V _{p-p}]
AMP 전원전압	± 80 [V _{DC}]
가변 주파수	1 ~ 180 [kHz]
증폭비	총 40 [배]
부하 저항	(무유도) 21 [Ω]
부하 커패시턴스	41 [nF]

표 2. MP108A 전력증폭기 실험 조건

그림 6은 Dual supply type의 전원으로 구성된 Bridge mode 전력증폭기의 실험 파형이다.

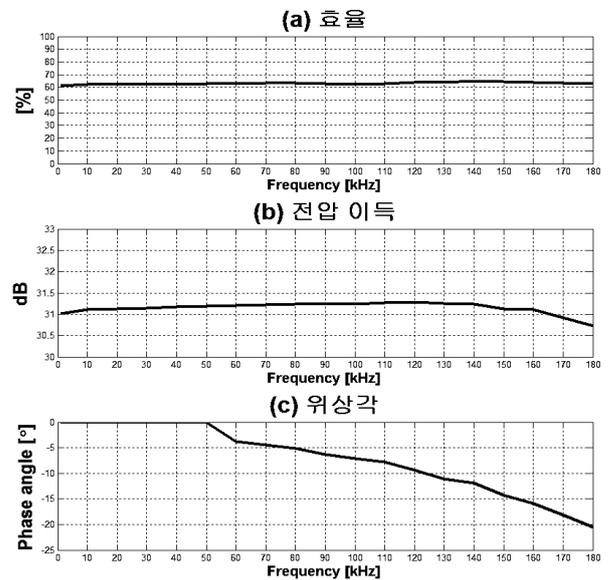


그림 6. MP108A 전력증폭기의 Bridge mode 출력 특성 곡선

Dual supply type의 전원으로 구성된 Bridge mode 전력 증폭기가 넓은 대역폭에서 선형적인 출력 특성을 가지는 것을 실험을 통해 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 APEX사의 Class B push pull 타입의 MP108A 증폭기를 사용하여 수중통신에 적합한 특성을 가진 전력증폭기를 설계하였으며, 실험을 통해 선형적인 출력 특성을 보장하며 넓은 대역폭을 가지는 것을 확인하였다

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행 되었으며, 이에 대해 깊이 감사드립니다.
(계약번호 : UD070054AD)

참고 문헌

- [1] 이경우, 소형중, 임실목, 김원호, 조운현, "1 3형 압전 복합체를 이용한 광대역 수중 통신용 음향 트랜스듀서에 관한 연구", 한국해양공학회지 제22권 제2호, pp 65~71, 2008. 04
- [2] 박승준, 박수현, 김상경, 김창화, "수중통신과 해양센서네트워크 기술" 정보과학회지, pp 79~88, 2010. 07
- [3] 김슬기, 김인동, 노의철, "수중통신용 고효율 전력증폭기의 설계", 공학석사 학위논문, pp5 18, 2012, 2.