

Parametric Array Transducer를 위한 고효율 수중전력증폭기의 설계

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

Design of High Efficiency Underwater Power Amplifier for Parametric Array Transducer

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, Jinheon, Korea***

ABSTRACT

본 논문에서는 수중통신용 Parametric Array Transducer를 구동하기 위한 고효율 전력증폭기를 제안한다. 수중전력증폭기는 증폭부와 전원부로 나뉘며 증폭부는 Class B push pull type의 전력증폭기를 사용하며 전력증폭기 구동을 위한 전원부는 기존의 일정전압이 아닌 가변전압을 얻는 Phase shifted PWM AC/DC 컨버터를 사용하여 고효율로 동작한다. 증폭부는 Class B push pull type 증폭기를 사용함으로써 뛰어난 선형성이 보장되며 전원 또한 ET(Envelope Tracking)기술을 적용한 가변전압 AC/DC컨버터를 사용하여 고효율로 동작한다. 본 논문에서는 고효율 수중전력증폭기와 가변전압 AC/DC컨버터의 전력회로를 제시하고 시뮬레이션과 실험을 통하여 특성을 확인하였으며, 수중음향센서를 위한 전력증폭기로 유용하게 사용될 것을 예상한다.

1. 서론

해양은 많은 수중 및 해저 자원을 지니고 있으며, 이를 탐사, 발굴하는 것은 많은 경제적 이익을 가져온다. 수중의 물체 탐지 및 자원발굴을 위해선 지속적인 실시간 모니터링으로 데이터를 수집해야하며 필요에 의해서 수중장치나 장비를 적절히 제어하는 기술이 요구된다. 또한 최근 천안함 사건을 통해 알 수 있듯이 수중에서의 통신보안과 원활한 정보의 송·수신은 군사전략적으로도 매우 중요하다.^[1] 그러나 수중에서는 탐지와 통신의 송·수신에 많은 제약이 따르므로 초음파를 이용하여 정보를 주고받는다. 그림 1과 같이 보내고자 하는 신호를 변조하고 전력증폭기로 증폭한 후 트랜스듀서를 통해 송신한다.

위 과정 중 송신신호의 왜곡을 줄일 수 있도록 넓은 대역폭과 출력의 선형성이 보장되는 전력증폭기를 사용해야 하며 수중에서의 연료적 제한을 극복하기위해선 고효율로 동작하여야 한다. 하지만 그림 2의 (a) 회로와 같은 고정 DC전압을 인가하면 그림 2의 (b)와 같이 출력전압과 인가전압의 차이만큼 손실이 발생해 고효율을 기대하기 어렵다. 반면 그림 2의 (c)처럼 증폭하고자 하는 신호의 포락선을 추종하는 가변전압을 인가한다면 그림 2의 (d)와 같이 출력전압과 인가전압의 차이가 작아 손실을 줄여 효율을 향상시킬 수 있다.^[2]

따라서 본 논문에서는 고 지향성 수중통신이 가능한 파라메

트릭 어레이 트랜스듀서 구동용으로 넓은 대역폭과 출력의 선형성을 보장하고 고효율로 동작하는 전력증폭기를 제시한다.

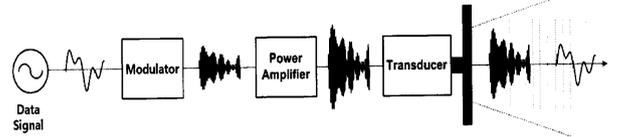


그림 1. 수중 초음파 송신 구성도

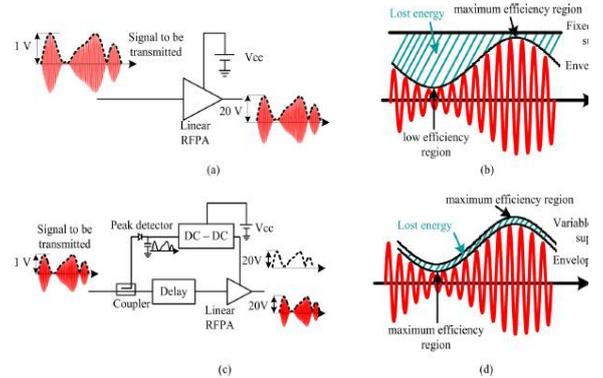


그림 2. (a) 고정 DC전압 인가된 증폭기 회로
 (b) (a)의 입 출력 전압파형
 (c) ET기술 적용된 증폭기 회로
 (d) (c)의 입 출력 파형

2. Parametric Array Transducer용 수중전력증폭기

전력증폭기는 2배의 전력용량과 2배의 슬루 레이트(Slew rate)를 확보 할 수 있는 브리지모드(Bridge mode) 방식을 선정하였고 충분한 전류증폭을 위해 2개의 BJT를 push pull 방식으로 연결한다. 그림 3은 전력증폭기의 회로이고 표 1은 설계 사양이다.

표 1. 브릿지 모드 전력증폭기의 마스터 / 슬레이브 설계사양

구 성	마스터 증폭기	슬레이브 증폭기
최대평균출력(P_{av})	560 [W]	560 [W]
출력전압 (V_{OM}, V_{OS})	$\pm 100 [V_{pk}]$	$\pm 100 [V_{pk}]$
출력전류	$\pm 8 [A_{rms}]$	$\pm 8 [A_{rms}]$
인가신호 주파수	95 ~ 135 [kHz]	95 ~ 135 [kHz]
대역폭	300 [kHz]	300 [kHz]

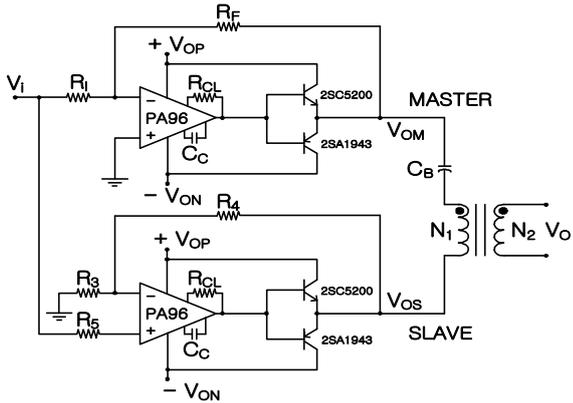


그림 3. 브릿지 모드로 연결된 전력증폭기 회로

3. 가변전압 AC/DC 컨버터

그림 4는 전력증폭기 구동을 위한 가변전압 AC/DC 컨버터의 전력회로도이고^[3], 표 2는 AC/DC 컨버터의 설계 사양이다. 본 가변전압 AC/DC 컨버터의 정격전류와 전압은 $I_{OP}=I_{ON}=11.3 [A_{pk}]$, $V_{OP}=V_{ON}=100 [V_{pk}]$ 이며, 정격 출력은 $P_{CON,pk}=2.2 [KW]$ 이다.

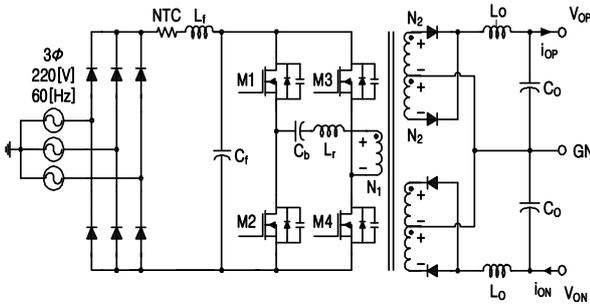


그림 4. 가변전압 AC/DC 컨버터의 전력회로

표 2 가변전압 AC/DC 컨버터의 설계사양

입력전압	AC 220 [V], 3 ϕ , 60 [Hz]
컨버터 출력전력	$P_{CON,pk} = 2.2 [kW]$, $P_{CON,av} = 1.4 [kW]$ $(P_{V_{OP},pk} = P_{V_{ON},pk} = 0.720 [kW])$ $\eta_{pamp} = 78.5 [\%]$, margin=50 [%])
출력전압	$V_{OP}, V_{ON} = \pm 100 [V_{pk}]$
출력전류	$I_{OP}, I_{ON} = \pm 11.3 [A_{pk}]$
대역폭	$BW = 40 [kHz]$
출력필터	2nd order LC Low Pass Filter
제어방법	Phase shifted PWM Control 스위칭 주파수 $f_{sw} = 125 [kHz]$ 등가 스위칭 주파수 : 250 [kHz]

4. 시뮬레이션 및 실험결과

4.1 시뮬레이션

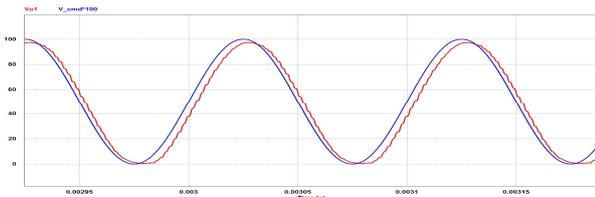


그림 5. 10 [kHz] 명령에 대한 컨버터의 시뮬레이션 출력전압파형
그림 6의 (a)는 입력신호의 포락선을 따라가는 가변전압 인가 파형이고 (b)는 그림 3의 V_{OM} 과 V_{OS} 의 차로 나타나는 출력전압 V_o

이다. 그림 5는 sin파 명령에 추종하는 DC/DC컨버터의 (+)출력전압 파형이다.

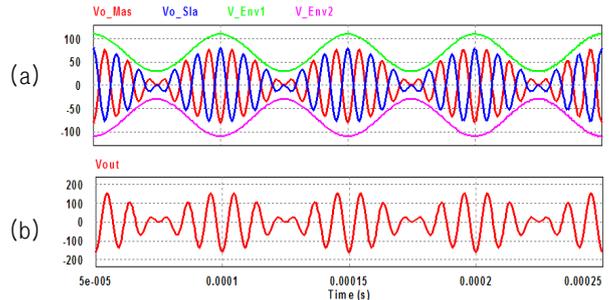


그림 6. Envelope를 따라가는 가변전압 인가 시 전력증폭기 출력전압파형, (a) 마스터/슬레이브 증폭기 출력전압, (b) 출력전압 V_o

4.2 실험결과

그림 7은 오픈루프 제어 시, 10 [kHz] sin파 명령에 대한 AC/DC컨버터의 출력 전압 및 전류 파형이다.

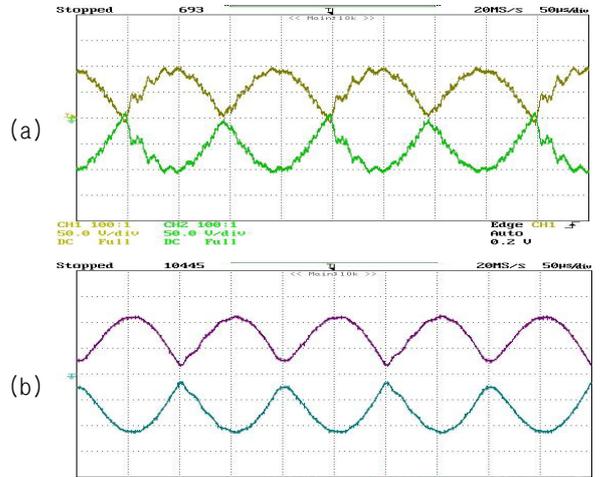


그림 7. 10 [kHz] sin파 명령에 대한 가변 AC/DC Converter 출력파형 측정, (a) 출력전압 V_{OP}, V_{ON} , (b) 출력전류 I_{OP}, I_{ON}

5. 결론

본 논문에서는 파라메트릭 어레이 트랜스듀서를 구동하기 위한 고 효율 수중전력증폭기를 제안하였다. 구성은 출력의 뛰어난 선형성과 넓은 대역폭이 보장되는 Class B push pull type 증폭기와 ET(Envelope Tracking)기술을 위한 가변전압 AC/DC컨버터이다. 시뮬레이션과 실험을 통해 특성을 확인하였고 Parametric Array Transducer를 구동하기 위한 전력증폭기로 유용하게 사용 될 것으로 예상된다.

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD130007DD)

참고 문헌

- [1] 박성준, 박수현, 김상경, 김창화, “수중통신과 해양센서네트워크 기술” 정보과학회지, pp 79~88, 2010 07
- [2] Robert F. Coughlin, “Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits”, Prentice Hall, 6th Edition
- [3] In Dong Kim and Eui Cheol Nho, “Module Type Switching Rectifier for Cathodic Protection of Underground and Maritime Metallic Structures,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 1, pp. 181-189, Feb. 2005