# 수중 음향센서용 전력증폭기를 위한 멀티레벨 컨버터의 제어 알고리즘

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

# Control Algorithm of Multilevel Converter for Power Amplifier of Underwater Acoustic Sensor

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. Jinhea. Korea***

ABSTRACT

본 논문에서는 수중음향 센서를 위한 전력증폭기용 전원회로로 멀티레벨 가변전압출력 AC DC 컨버터의 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 제어 알고리즘은 최종 출력으로 5 레벨 가변전압을 얻기 위한 2대의 Flying capacitor 3 level converter의 전력 균등분담 제어를 위해 사용되며, 플라잉 커패시터의 전압 밸런싱 제어를 위해 사용된다. 본 논문에서 제안하는 제어 알고리즘은 수중음향 센서를 위한 전력증폭기용 전원회로에서 유용하게 사용될 것으로 예상한다.

## 1. 서 론

해양은 많은 수중 및 해저 자원을 지니고 있으며, 이를 탐사, 발굴하는 것은 많은 경제적 이익을 가져온다. 이를 위해 해양자원이나 환경 혹은 수중의 물체를 실시간, 지속적으로 모니터링하여 자료를 수집하고, 필요에 따라 수중장치나 장비를 제어하는 기술이 필요하다. 수중에서는 통신 및 탐지에 제약이 따르므로 음파를 이용하여 정보를 송·수신한다.

수중음향 센서를 위한 전력증폭기는 넓은 대역폭과 출력 선형성이 보장되어야 하며, 동시에 시스템의 발열과 연료문제를 해결하기 위하여 높은 효율로 동작하여야 한다. 기존의 선형증폭기인 Class A, Class B 증폭기는 고정전원 인가 시 고정전원의 크기와 증폭하고자 하는 정현파 신호의 포락선(Envelope)이 같은 이상적인 경우라도 이론적으로 얻을 수 있는 최대효율이 각각 50% 와 78.5%이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 증폭기에 인가하는 전원전압을 일정한 값으로만 유지하지 않고 증폭하고자 하는 입력신호의 피크값에 따라 전원 전압을 변동시키기 위해 가변전원을 사용하는 방식이 그림1 에서 보이고 있는 EER기술(Envelope Elimination and Restoration Technique)이다.

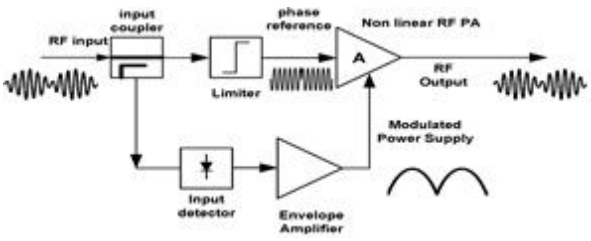


그림 1. EER기술 (Envelope Elimination and Restoration Technique)

이 방식은 증폭하고자 하는 입력신호의 포락선이 변동하더라도 Envelope amplifier와 Nonlinear amplifier를 각각 스위칭 증폭기인 Class D와 Class E로 구현 가능하므로 소자의 스위칭손실과 도통손실을 무시 할 수 있는 이상적인 조건에서는 효율 100%를 얻을 수 있는 방법이다.

이를 위해 빠른 응답특성과 고효율 특성을 갖는 포락선 증폭기용 전원회로가 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 이를 위한 가변전압출력 멀티레벨 AC DC 컨버터 (Multilevel AC DC converter)의 제어 알고리즘을 제안한다.

## 2. 가변전압출력 멀티레벨 컨버터의 제어회로 설계

### 2.1 멀티레벨 AC-DC 컨버터 전력회로

제안한 멀티레벨 AC DC 컨버터의 상세한 전력회로는 그림 2와 같다.[1] 제안한 컨버터는 입력단 컨버터와 출력단 컨버터로 구분할 수 있다. 입력단 컨버터는 Phase shifted PWM 제어 고주파 풀 브리지 회로, 고주파 절연용 멀티포트 변압기, 다이오드정류기 및 LC 필터로 구성되어 있다. 출력단 컨버터는 멀티레벨 가변 출력전압을 얻기 위한 컨버터로서 2개의 플라잉 커패시터 3 레벨 컨버터와 1개의 다이오드정류기로 구성되어 있다.[2]

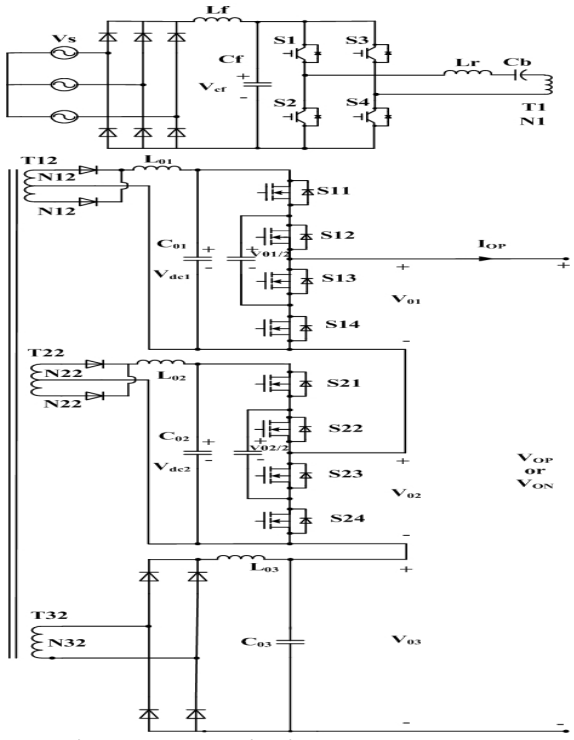


그림 2. 제안한 수중음향용 가변전압출력 멀티레벨 AC-DC 컨버터

### 2.2 Phase-shift PWM 풀브리지 DC-DC 컨버터 제어

최종 출력단에 5 레벨 가변 출력전압을 얻기 위해 3 레벨 컨버터 2세트와 한 세트의 다이오드 정류기를 직렬 연결한다. 부하와 전원변동에 관계없이 일정한 전압을 유지하는 전압원을 구현하기 위해 본 논문에서는 그림 2과 같은 위상천이 PWM 풀 브리지 DC DC 컨버터를 사용하며, 3개의 전압원을 얻고 있다. 이를 제어하기 위한 전달함수로 모델링한 제어 블록 다이어그램은 그림 3과 같다.

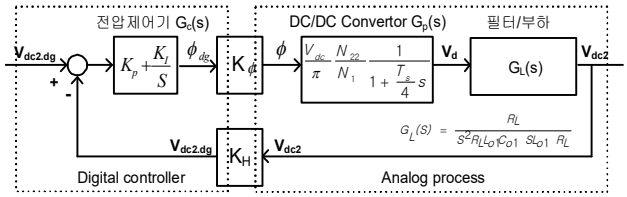


그림 3 전달함수로 표현된 Phase-shifted Full bridge PWM 컨버터의 전압제어 블록다이어그램

### 2.3 5-레벨 가변전압 출력 DC-DC 컨버터 제어

최종출력으로 5 레벨 가변전압을 얻기 위한 2대의 플라잉 커패시터 3 레벨 컨버터의 스위칭 신호 발생은 출력전압 명령치 Venv*와 기준전압 Vref1, Vref2, Vref3, Vref4로부터 비교기(Comparator)에 의해 출력 전압 명령치 레벨을 확인하는 디코드 신호를 얻는다. 이 디코드 신호를 입력받아 스위칭 패턴 발생부 (Switching Pattern Generator)에서 그림 4와 같은 동작알고리즘을 사용하여, 그림 6과 같은 스위칭 신호를 발생한다.

스위칭 패턴 발생부의 동작 알고리즘은 그림 4의 흐름도에서 보는 것처럼 상승/하강모드 동작과 충전/방전모드 동작으로 구성되어 있다.

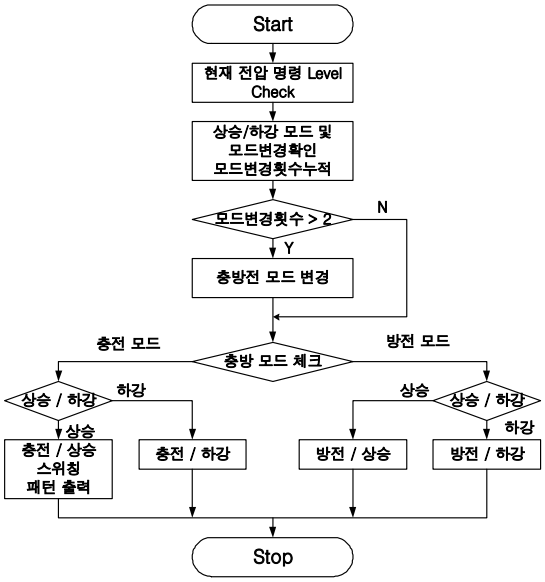


그림 4 5-레벨 가변전압출력 DC-DC 컨버터의 스위칭 패턴 발생부의 동작 알고리즘

#### 2.3.1 제안한 전력 균등분담 제어(Power balanced control)

플라잉 커패시터 3 레벨 컨버터는 출력이 입력 DC전압과 같은 FV모드와 반값인 HV Charging/Discharging모드, 영인 Zero모드, 총 4개의 동작모드로 나눌 수 있다. 제어 알고리즘이 간단하고 이해가 용이한 방식은 그림 5의 전력 불균등 분담 제어방식이다. 하지만 본 논문에서 상대적으로 알고리즘이 그림 4와 같이 복잡하나 같은 전력용량의 2대의 컨버터를 설계/제작하면 되므로 시스템 설계/제작/운영관점에서 더 유리한 그림 6의 전력 균등 분담 제어방식을 제안한다.

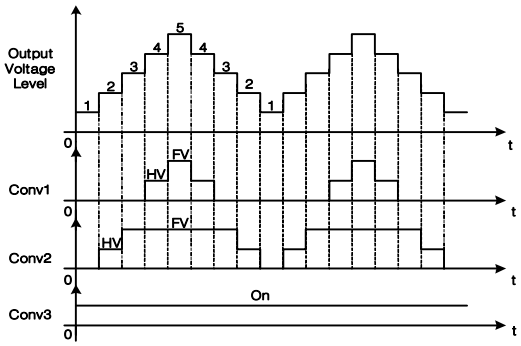


그림 5 전력 불균등 분담 제어방식

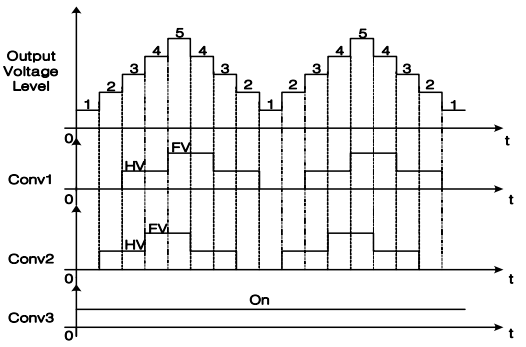


그림 6 전력균등분담 제어 방식

## 3. 시뮬레이션

그림 6처럼 제안한 멀티레벨 컨버터와 이를 이용한 포락선 증폭기가 그림 7 처럼 안정적으로 동작하고 있음을 볼 수 있다.

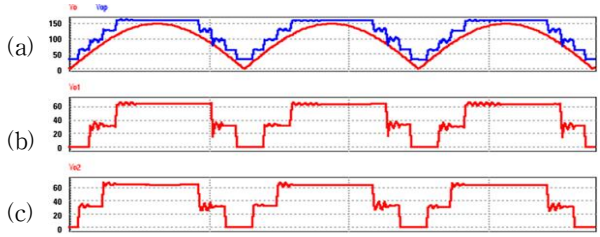


그림 7. (a) 멀티레벨 AC-DC 컨버터의 출력 Vop와 포락선 증폭기의 출력 Vo, (b)3-레벨 컨버터의 출력 Vo1, (c) 3-레벨 컨버터의 출력 Vo2

## 4. 결 론

본 논문에서는 수중음향 센서를 위한 전력증폭기용 전원회로인 가변전압출력 멀티레벨 AC DC 컨버터의 취급전력의 밸런싱을 위한 제어법과 플라잉 커패시터의 전압 밸런싱을 위한 알고리즘을 제시하였고 시뮬레이션을 통해 확인하였다.


본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD130007DD)


## 참 고 문 헌


[1] C. Y. Lee, I. D. Kim, E. C. Nho, W. K. Moon and W. H. Kim, "Design of Multilevel Variable Output Voltage AC DC Converter for Power Amplifier of Underwater Acoustic Sensor," in The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 1, pp 72 83, Feb. 2013.

[2] In Dong Kim and Eui Cheol Nho, Heung Geun Kim, and Jong Sun Ko," A Generalized Undeland Snubber for Flying Capacitor Multilevel Inverter and Converter," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 6, pp. 1290 1296, Dec. 2004