

# 부스트 컨버터가 결합된 Push-Pull형 고주파 공진인버터에 관한 연구

(A study on the Push-Pull type high frequency resonant inverter connected boost converter)

김 해준·서 철식·원 재선·김 동희·노 채균  
영남 대학교

Hae-Jun Kim · Cheal-Sik Seo · Jae-Sun Won · Dong-Hee Kim · Chae-Gyun Ro  
Yeungnam University

### Abstract

This paper describes a Push-Pull type high frequency resonant inverter composed of consolidation of boost converter circuit and resonant inverter circuit.

By using a boost converter circuit, the proposed inverter can obtain a twice input voltage of resonant circuit and reduce a secondary turn ratios. also, by using both switching device of boost-converter and resonant circuit, the number of switching device can be reduced by half. the analysis of the proposed circuit was generally described by using normalized parameter and operating characteristics have been evaluated as to switching frequency and parameters. In the future, this proposed inverter shows that it can be practically used as a power source system for the lighting equipment of discharge lamp, induction heating applications.

## 1. 서 론

최근, 전력변환 시스템에 있어서 고주파 전력용 스위칭 반도체 소자의 실용화로 인해서 전력변환 시스템의 고 신뢰성, 고 효율화 및 소형·경량화가 가능해졌고, 이로인해 휴대용 정보통신 및 컴퓨터 기기 등을 필두로 한 산업용 전력변환 장치에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]</sup>

전력용 반도체 스위칭 소자를 고속 스위칭 함에 따라서 스위칭 소자 양단에 인가되는 전압·전류 스트레스로 인한 손실은 스위칭 주파수에 비례하여 증가하므로 회로의 출력주파수의 고주파화에 걸림돌로 지적되고 있다.

공진형 전력변환회로에 소프트 스위칭기법을 도입함으로써 영전압 혹은 영전류 스위칭을 실현할 수 있고, 이로인해 스위칭 손실의 최소화 및 출력주파수의 고주파화가 가능해져 장치 전체의 고 효율화, 소형·경량화 등의 장점을 가지게 한다.

따라서, 본 논문에서는 푸시-풀형 고주파 공진 인버터에 부스트 컨버터가 결합된 DC-AC 인버터 회로의 기본동작 원리 및 특성평가에 관해 기술하고 있다. 제안된 회로의 상태변수를 무차원화 함으로써 범용성 있는 특성평가를 행하였고, 상태변수에 따른 인버터의 동작특성을 도식적으로 제시하여 회로해석 결과를 기초로 한 회로 설

계의 일 예도 제시하고 있다. 또한, 범용 시뮬레이션 툴인 Pspice와 실험결과의 비교분석을 통해서 이론해석의 정당성도 입증하고 있다.

## 2. 부스트 컨버터가 결합된 Push-Pull형 고주파 공진 인버터

### 2.1. 주회로 구성

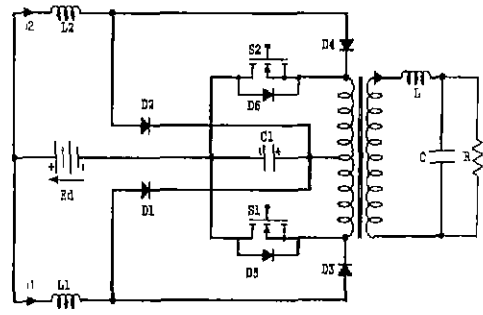


그림 1. 부스트 컨버터가 결합된 Push-Pull형 고주파 공진인버터

Fig.1. Push-Pull type high frequency resonant inverter connected boost-converter

그림 1은 본 연구의 대상회로로 부스트 컨버터가 결합된 Push-Pull형 고주파 공진 인버터를 보여주고 있다. 인덕터( $L_1$ ,  $L_2$ )는 승압용 인덕터로 사용되

고, 커패시터( $C_1$ )은 승압용 커패시터이다. 또한 공진회로는 L과 C로 구성된다. 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )는 Power-MOSFETs, IGBTs, SITs등과 같은 자기소호기능을 가진 전력용 반도체 스위칭 소자가 사용될 수 있으며, 특히 Power-MOSFET를 스위칭 소자로 사용할 경우 내장된 다이오드를 이용함으로써 외부에 별도의 환류용 역병렬 다이오드를 부가할 필요가 없다. 출력전압제어는 주파수 변조법과 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )의 듀티비(duty ratio)에 의해 제어할 수 있다.

본 회로의 특징은 다음과 같다.

- i) 부스트 컨버터의 출력전압( $V_{C1}$ )을 공진 인버터의 입력으로 사용함으로써 부스트 컨버터 입력전압의 2배의 전압이 공진회로의 입력전압으로 인가되기 때문에 변압기 2차측 코일의 턴수를 줄일 수 있다.
- ii) 스위칭 소자의 듀티비(0~0.5)를 변화시킴으로써 출력전압을 제어할 수 있다.
- iii) 부스트 컨버터 회로의 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )와 공진회로의 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )를 같이 사용함으로써 스위칭 소자의 수를 반으로 줄일 수 있다.
- iv) 변압기의 자화전류에 의해서 ZVS기법의 효과 효과를 얻을 수 있다.

## 2.2. 회로 해석

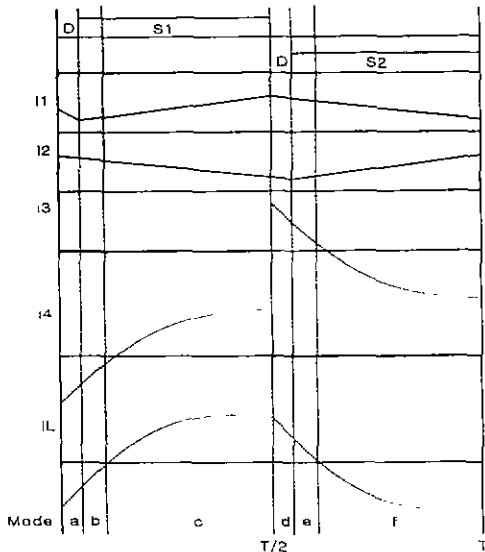


그림 2 구동신호 패턴과 이론파형  
Fig.2. Drive signal pattern and theoretical waveforms

그림 2는 그림 1의 인버터 회로에서 고주파 출력전력을 제어하기 위한 방법으로 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )에 인가되는 구동신호 패턴과 이에 따른 각 소자에 나타나는 정성적인 전압 및 전류 파형을 나타내고 있다. 그림 1의 회로는 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )와 다이오드( $D_1 \sim D_6$ )의 온·오프 동작에 따라 6개의 동작모드(a~f)로 표현할 수 있다. 그림 3은 각각의 동작모드를 나타내고 있다.

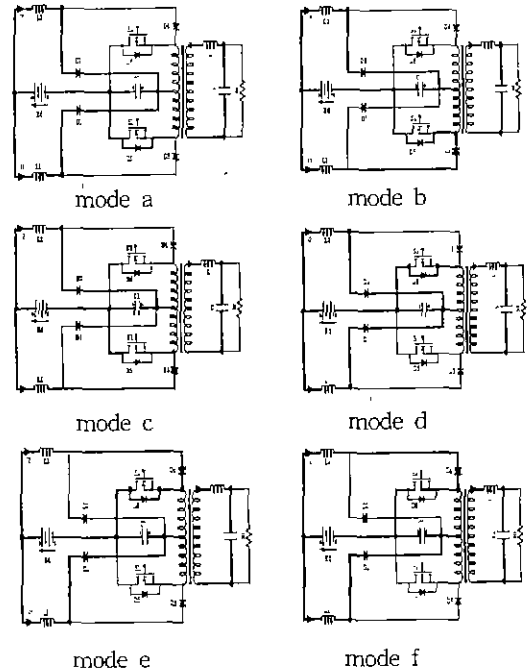


그림 3 스위칭 동작모드

Fig.3. Switching Operation Mode

**Mode a** : 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )가 턴·오프일 때  $I_{b1}, I_{b2}$ 는 다이오드( $D_1, D_2$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다. 또한, 회로특성상 나타나는 변압기 2차측의 무효분 에너지가 다이오드( $D_5$ )를 통해 커패시터( $C_1$ )로 회생되는 모드이다.

**Mode b** : 스위칭 소자( $S_1$ )가 턴·온일 때  $I_{b1}$ 이 직선적으로 증가하고  $I_{b2}$ 는 다이오드( $D_2$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다. 또한, 회로특성상 나타나는 변압기 2차측의 무효분 에너지가 다이오드( $D_5$ )를 통해 커패시터( $C_1$ )으로 회생되는 모드이다.

**Mode c** :  $I_{b1}$ 은 계속해서 증가하고  $I_{b2}$ 는 계속해서 다이오드( $D_2$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다 또한, 커패시터( $C_1$ )에 충전되어 있는 에너지는 스위칭 소자( $S_1$ )을 통해 방전하면서 부하에

공진전류를 공급하는 모드이다.

**Mode d** : 스위칭 소자( $S_1, S_2$ )가 턴·오프일 때  $I_{b1}, I_{b2}$ 는 다이오드( $D_1, D_2$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다. 또한, 회로특성상 나타나는 변압기 2차측의 무효분 에너지가 다이오드( $D_6$ )를 통해 커패시터( $C_1$ )으로 회생되는 모드이다.

**Mode e** : 스위칭 소자( $S_2$ )가 턴·온일 때  $I_{b2}$  각 모드별 이 적선적으로 증가하고  $I_{b1}$ 는 다이오드( $D_1$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다. 또한, 회로특성상 나타나는 변압기 2차측의 무효분 에너지가 다이오드( $D_6$ )를 통해 커패시터( $C_1$ )으로 회생되는 모드이다.

**Mode f** :  $I_{b2}$ 은 계속해서 증가하고  $I_{b1}$ 는 계속해서 다이오드( $D_1$ )를 통해 방자하면서 커패시터( $C_1$ )에 에너지를 충전한다. 또한, 커패시터( $C_1$ )에 충전되어 있는 에너지는 스위칭 소자( $S_2$ )을 통해 방전하면서 부하에 공진전류를 공급하는 모드이다.

각 모드별 회로상태방정식을 회로해석의 범용성을 부여하기 위해 정규화 제어변수를 도입하였다.

그림 4 (a, b)는  $\alpha=2.3, \mu=0.96, D=0.1$ 로 하였을 경우, 승압용 인덕터에 흐르는 전류와 인버터 각 부분의 이론 파형을 보여주고 있다.

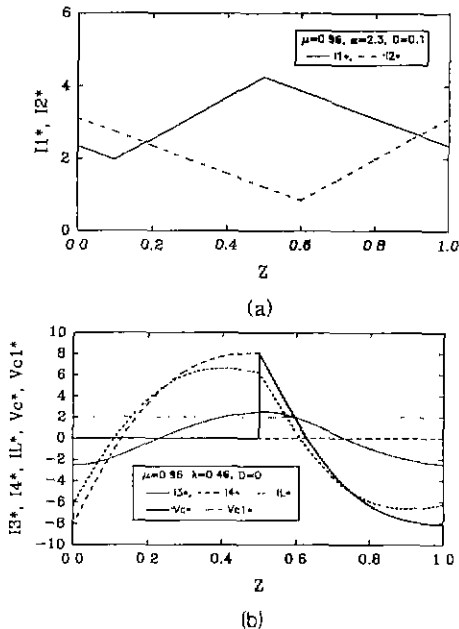


그림 4. 이론 파형

Fig. 4. Theoretical Waveforms

그림 5는  $\alpha=2.3, \mu=0.96$ 로 하였을 경우, 인버터 각 부분의 정상운전시 Pspice를 보여주고 있다.

그림 5는 스위치 양단의 전압 및 전류 파형을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 변압기 자화전류의 전류에 의해서 ZVS기법의 효과를 얻을 수 있다.<sup>[1]</sup>

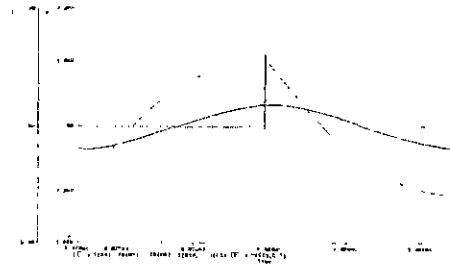


그림 5. Pspice 파형

Fig. 5. Pspice Waveforms

### 3. 특성 평가

그림 6(a)는  $\alpha=2.3, \beta=100$ 로 하고, 무차원화 주파수( $\mu$ )와 무차원화 부하저항( $\lambda$ )을 파라미터로 하였을 경우의 출력전력특성 ( $P^*_{max}$ )을 나타내고 있다. 특성도에서 알 수 있듯이,  $\lambda$ 가 작을 경우는 출력이 거의 나타나지 않고  $\lambda$ 가 증가함에 따라 출력이 증가함을 알 수 있다. 그림 6(b)는  $\alpha=2.3, \beta=100$ 로 하였을 경우,  $\mu$ 와  $D$ 를 파라미터로 하였을 경우의 출력 전력 특성 ( $P^*_{max}$ )을 나타내고 있다. 특성도에서 알 수 있듯이 듀티비( $D$ )가 증가함에 따라 출력이 감소함을 알 수 있다.

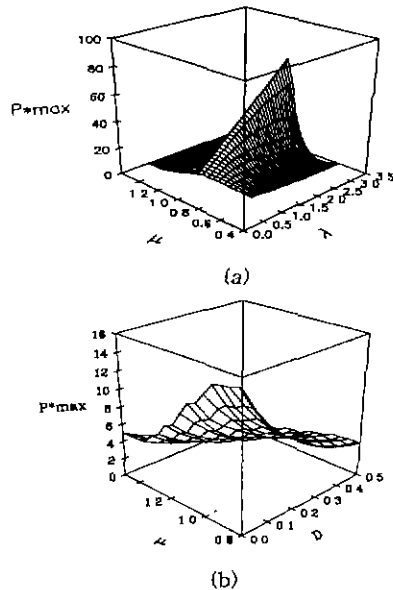


그림 6. 출력 전력 특성

Fig. 6. Output power characteristics

그림 7는 듀티비(D)를 파라미터로 하였을 경우, 공진용 커패시터 전압의 %비를 나타내고 그림 8은  $\mu$ 를 파라미터로 하였을 경우, 제어시간의 %비를 나타내고 있다.

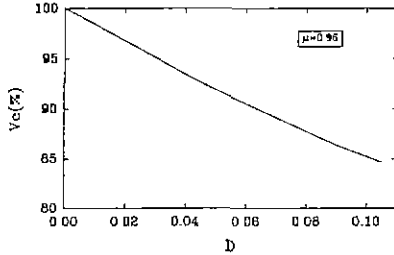


그림 7. 공진커패시터 전압의 %비  
Fig. 7. Resonant capacitor voltage % rate

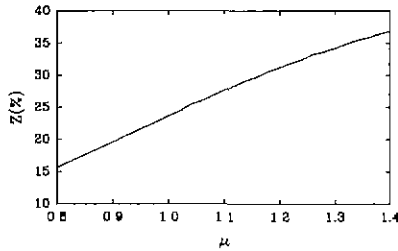
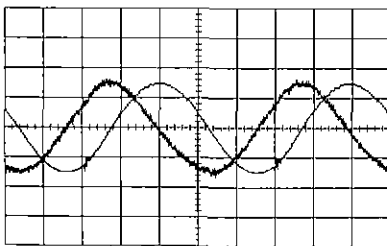


그림 8. 제어 시간 %비  
Fig. 8. Control time % rate

#### 4. 실험

이론해석의 정당성을 입증하기 위해서 그림 9는 실험을 통한 공진용 커패시터 양단전압( $v_c$ )과 부하 전류( $i_L$ )의 실측 파형을 보여주고 있다.

그림 10는  $f_0=50[\text{kHz}]$ 일 때, 디지털 오실로스코프의 FFT 기능을 이용하여 실측한 변압기 2차측 전류( $i_L$ )의 고조파 함유율을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제 3고조파와 제 5고조파가 작게 나타나지만 전체적으로 고조파 함유율이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다



(Voltage : 50V/div, Current : 5A/div)

그림 9 부하전류와 공진커패시터 전압파형

Fig. 9. Load current and resonant capacitor voltage waveforms by experiment

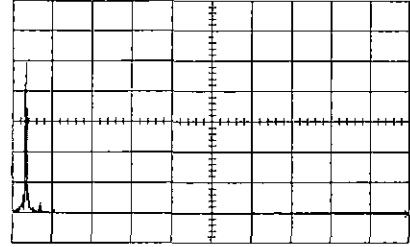


그림 10 부하전류의 고조파 함유율 특성

Fig. 10. Experiment characteristics of by experiment

#### 5. 결론

본 연구는 부스트 컨버터가 결합된 Push-Pull형 고주파 공진 인버터 회로를 연구대상으로 하여 회로 동작과 특성을 이론적으로 검토하였다. 고주파 공진인버터에 저항부하를 선정하여 설계 단계에 필요한 특성평가를 무차원화 파라미터( $\mu, \lambda$ )를 도입하여 범용성 있게 기술하였다.

또한, 특성 평가를 기초로 한 회로설계기법의 일예도 제시하여 실제응용에 유효하게 사용될 수 있도록 하였고 실제 MOSFET를 이용하여 실험을 행한 결과 이론파형과 실험파형의 경향이 거의 일치하므로 이론해석의 정당성도 입증하였다.

향후, 본 회로는 방전동용 전원장치, 고주파 유도가열용 전원장치, DC-DC컨버터 등의 전원 시스템에 응용될 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] Michael J. Ryan, William E. "A New ZVS LCL Resoant Push-Pull Dc-Dc Converter topology", IEEE trans., INDUSTRY APPLICATIONS, vol 34, 1998.
- [2] Jorge A.Sieera, Wakter Kaiser "Comparison of Fluorescent Lamp Stabilisation Methods in Current-Fed Push-Pull Type Inverter.", IEEE Trans. 2000.
- [3] Bimal K. Bose, "Evaluation of Modern Power Semiconductor Devices and Future Trends of Converters", IEEE TRANS on IND, APP, VOL 28, pp. 403~413, APRIL, 1992.
- [4] Thomas A. Lipo, "High Frequency Series Resonant dc Link Power Conversion", IEEE TRANS on IND APP. VOL 28, No. 6, pp. 1277~1285, NOV/DEC, 1992.