

ZVT-PWM 부스트 컨버터를 이용한 무전극 램프 구동 시스템

이현무\*, 이현우, 고희석  
한국전력\*, 경남대학교

Electrodeless Fluorescent Lamp System using A New ZVT-PWM boost Converter

H.M.Lee\*, H.W.Lee, H.S.Koh  
KEPCO\*, Kyungnam University

**Abstract** - In this paper, an application of the ZVT-PWM (zero-voltage-transition) boost converter, which has great advantage on miniaturization and high power density, to the power factor correction circuit of the EFL(electrodeless fluorescent lamp) inverter is studied. The operation principles of the converter are described to identify the power factor correction characteristic of the inverter. Experimentally obtaining the high power factor above 0.99, it is verified that the power factor correction of the EFL inverter successfully achieved.

1. 서 론

무전극 램프는 전자유도에 의해 외부에서 램프의 내부가스를 방전시켜 발광하기 때문에 램프내부에는 전극이 없다 따라서 전력이 소모되는 부분을 갖지 않으므로 일반적인 램프에 비해 램프의 수명이 길고 유지보수 면에서 잇점이 있어 현재 선진국에서는 실용화 연구가 많이 진척되어 일반 조명용 램프로서의 이용이 점차 확대되어 가고 있는 실정이다.

무전극 램프의 구동에는 대부분 선형 전력 증폭기가 이용되고 있으나 낮은 변환효율로 인하여 스위칭 타입의 PWM 인버터로 대체되고 있다. 그러나 일반적인 PWM 인버터는 스위칭 소자의 스위칭 손실로 인해 1.5MHz 이상의 주파수에서는 동작시킬수 없다. 따라서 최근 전력용 반도체 소자의 발달로 역율개선 회로에 DC-DC 컨버터의 Feedforward 제어를 통하여 입력전류를 입력전압의 파형과 동상인 정현파 전류로 만들어 줌으로서 거의 1.0에 가까운 역율을 달성하게 된다. 이러한 특성으로 DC-DC 컨버터의 거의 모든 회로가 역율개선 회로에 이용될 수 있으며 또한 입력측에 인덕터가 있어 전류 검출이 용이하고 연속적인 입력전류로 인하여 고조파 함유율을 감소시킬 수 있어 무전극 램프 구동에 필요한 전압인 280[Vdc] 이상의 높은 출력 전압을 얻을 수 있는 boost 컨버터로 가장 적합한 회로가 된다. 본 논문에서는 무전극 램프 구동용 인버터의 고조파 저감과 역율개선을 위한 회로로서 boost 컨버터에 있어서 소형화 및 고전력에서 큰 장점을 갖는 ZVT-PWM boost 컨버터에 관하여 논의하였다.

ZVT-PWM boost 컨버터의 정상상태 동작을 구간별로 해석하였으며, 이를 통하여 영전압 스위칭 조건을 도출하였으며, 또, 이 컨버터를 무전극 램프 구동용 인버터의 역율개선 회로에 적용, 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 증명하고자 한다.

2. ZVT-PWM boost 컨버터

2.1 회로해석 및 동작원리

그림 1은 제안한 ZVT-PWM boost 컨버터의 주 회로를 나타낸 것이다. 제안한 회로는 기존의 PWM boost 컨버터에 소프트 스위칭을 위한 공진회로가 첨가된 형태이며 공진형 인덕터  $L_r$ , 공진용 커패시터  $C_r$ , 공진용 보조

스위치  $S_1$ , 보조 다이오드  $D_1$  및  $D_2$ , 가포화 로스레스 스너버 커패시터  $C_s$ , 보조 스위치  $S_2$ , 보조 다이오드  $D_2$  를 추가하여 구성되어진다. 그림 2는 제안한 회로의 모드 해석과 등가회로를 나타낸 것이다.

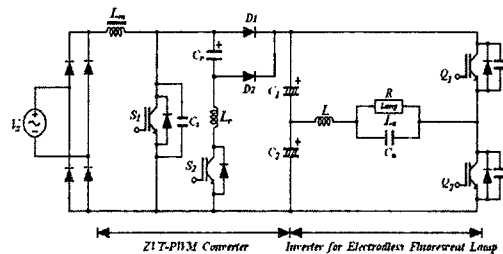
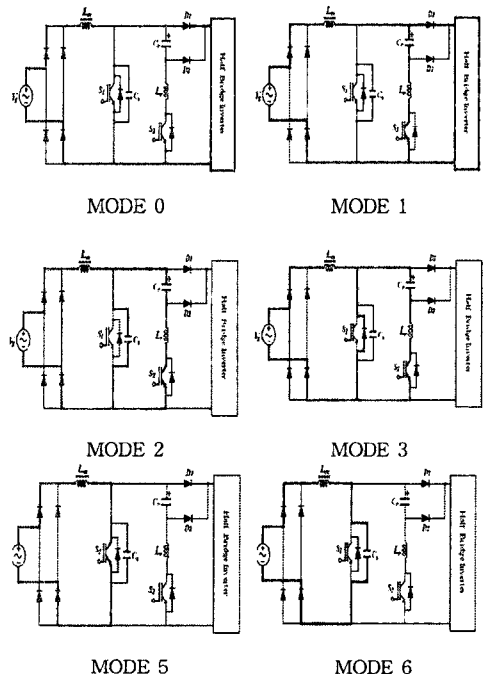
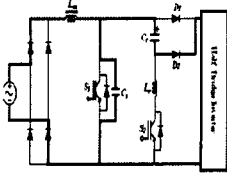


그림 1 제안한 ZVT-PWM boost 컨버터의 주 회로  
Fig. 1 Main Circuit of proposed ZVT PWM boost type Converter





MODE 7

그림 2 각 모드의 동작과 등가회로

Fig. 2 Operation and equivalent circuits of each mode

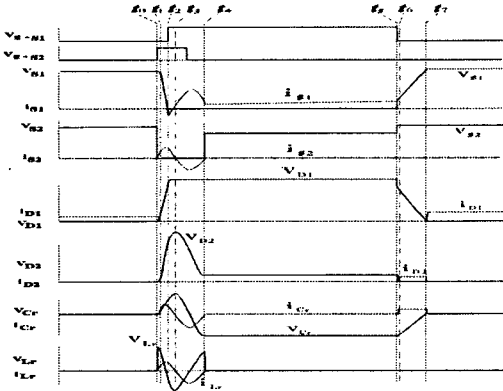


그림 3 각 모드의 동작 파형

Fig. 3 Operating waveforms of each mode

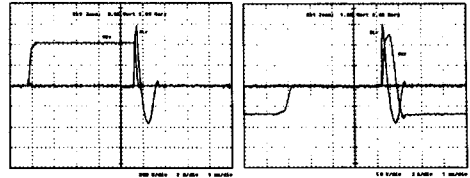
표. 1 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수

Table 1 Circuit parameter using experiment and simulation

직류입력전압	$V_s$	200[V]
직류출력전압	$V_{out}$	400[V]
스위칭 주파수	$f_s$	80[kHz]
전해 커패시터	$C_o$	940[ $\mu$ F]
스너버 커패시터	$C_s$	1.8[nF]
공진 인덕터	$L_r$	6.0[ $\mu$ H]
공진 커패시터	$C_r$	10[nF]
송압용 인덕터	$L_m$	1.024[mH]
IGBT	$S_1, S_2$	1MBH40-60
Diode	$D_1, D_2$	ERD60-100

그림 3은 각 모드별 시뮬레이션 파형을 나타낸 것이며, 표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수를 나타낸 것이다. 그림 4는 스너버 회로를 구성하는 인덕터와 커패시터의 전압과 전류의 실험 파형을 나타낸 것이며, 그림 5는 제안한 회로의 주 스위치  $S_1$ 과 보조 스위치  $S_2$ 의 전압과 전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 제안한 회로의 주 스위치  $S_1$ 이 ZVS 턴-온, 턴-오프에서 정류되는 것을 알 수 있으며, 모든 비이상적 정류 현상들은 액티브 스너버 회로를 사용함으로써 제거되었다. 그림 5(b)에서는 보조 스위치  $S_2$ 가 ZVS 턴-오프 그리고 ZCS 턴-온 부근에서 정류하는 것을 알 수 있는데 이것은 기생 드레인-소스간 커패시턴스의 방전 때문에 보조 스위치  $S_2$ 가 ZCS 턴-온 부근에서 정류가능하기 때문이다. 그림 6(a)와 (b)는 ZVS 턴-온, 턴-오프시 주 다이오드  $D_1$ 과 보조 다이오드  $D_2$ 의 실험 파형을 나타낸 것이다. 일반적으로 소프트 스위칭 턴-온시 스위치에 전류 스트레스가 증가하는 현상이 발생하는데, 제안한 회로는 이러한 현상을 적절히 선택된 주 인덕터  $L_m$ 에 의해서

감소시켰다. 그림 7은 하드 스위칭 컨버터와 파워 다이오드의 실험파형을 나타낸 것이다.

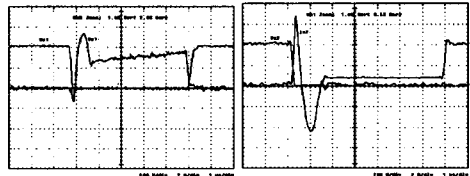


(a)  $I_{Lr}$  and  $V_{CS}$

(b)  $I_{Lr}$  and  $V_{Cr}$

그림 4 스너버 회로의 인덕터 전류와 커패시터 전압

Fig. 4 Inductor current and capacitor voltage of the snubber circuit

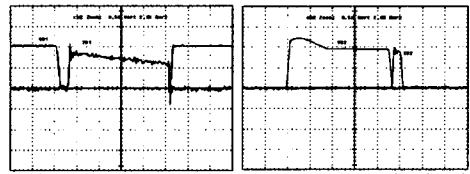


(a) Main switch  $S_1$

(b) Auxiliary switch  $S_2$

그림 5 스위치 전압과 전류 파형

Fig. 5 Waveforms of Switch voltage and current

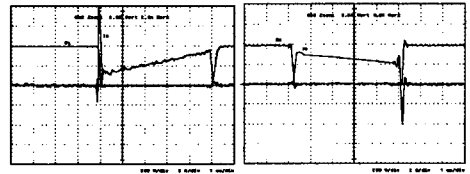


(a) Main diode  $D_1$

(b) Auxiliary diode  $D_2$

그림 6 제안한 회로의 전력 다이오드 실험 파형

Fig. 6 Power diodes experiment waveforms of the proposed circuit



(a) Switch S

(b) Diode D

그림 7 기존 회로의 전력 다이오드와 스위치 실험 파형

Fig. 7 Power diode and switch experiment waveforms of the existing circuit

### 3. 무전극 램프 점등원리 및 구동원리

그림 8은 무전극 램프의 점등원리를 나타낸 것이다. 무전극 램프의 구동은 우선 내부에 설치된 유도 코일 권선에 램프 시동전압을 넘는 고주파 고전압을 가한다. 코일에 흐르는 전류는 고주파 전류로 고주파 자계를 유지시키고, 이 자계는 무전극 램프 내부에 고주파의 전계를 발생시킨다. 이 전계에 의해 내부의 가스가 여기되어 자외선이 발생한다. 발생된 자외선은 발광체 내면에 도달된 형광체에 해당하는 가시광선으로 변환되어지며 무전극 램프가 점등하게 된다. 무전극 램프의 구동회로는 고주파동작에서 고효율을 얻을 수 있는 회로로 구성되어야 하며, 램프시동에 필요한 고주파 고전압을 유도코일에 인가할 때 소자의 전압, 전류 스트레스를 소자의 정격 출력 내로 억제해야 한다. 그림 9는 무전극 램프의 구동

을 위한 인버터의 기본 회로도를 나타낸 것이다. 그림 9에서 유도코일L0에 병렬로 연결한 C와 직렬로 연결된 L로서 구성하여 직렬 공진회로를 구성한 하프 브리지형 인버터이다. 무전극 램프의 점등시에 공진 회로에 의하여 램프 시동 전압 이상의 고주파 고전압을 유도코일 양단에 인가하여 램프를 점등시키고, 점등후에는 램프의 임피던스가 크게 변하여 전압, 전류의 진폭이 감소하므로 무전극 램프의 정격 전력에 의한 안정점등이 행하여진다.

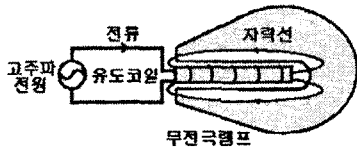


그림 8 무전극 램프 점등 원리  
Fig. 8 The lighting principle of electrodeless fluorescent lamp

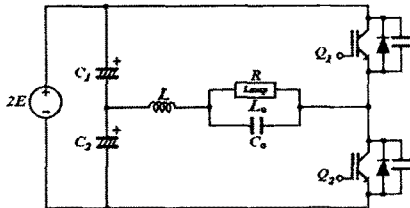


그림 9 무전극 램프 구동을 위한 인버터 회로  
Fig. 9 Inverter circuit for electrodeless fluorescent lamp

유도코일과 방전로와의 결합계수를  $k$ , 방전로의 저항을  $R_p$ , 유도코일의 권선수를  $n$ 이라 하면, 무전극 램프와 유도코일은  $n:1$ 의 공심 트랜스에  $R_p$ 인 저항이 접속된 등가회로로 표시할 수 있으며, 이를 그림 10과 같이 나타낼 수 있다.

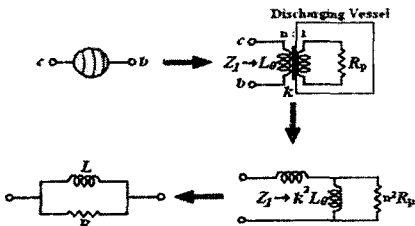


그림 10 무전극 램프의 등가회로  
Fig. 10 Equivalent circuit for electrodeless fluorescent lamp

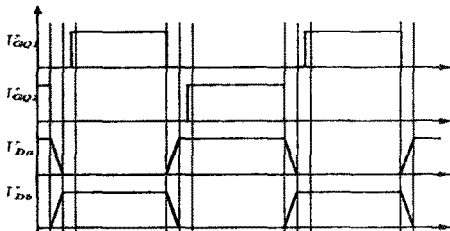


그림 11 인버터의 동작파형  
Fig. 11 The operation waveform of inverter

그림 11은 인버터의 동작파형을 나타낸 것이며, 그림 12는 램프 양단의 전압 및 전류를 나타내고 있다. 그림 13은 역률 개선 회로가 적용된 입력 전압 및 전류의 파형이 동상으로 나타나고 있으며 0.99이상이 고역률 및 고조파 저감을 달성하고 있음을 보여주고 있다.

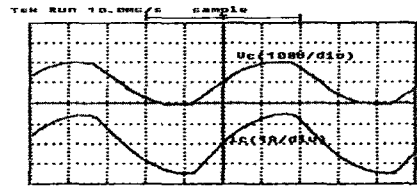


그림 12 램프의 전압과 전류 파형  
Fig. 12 Voltage and current waveforms of lamp

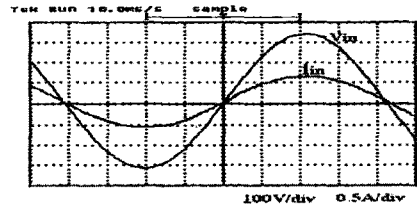


그림 13 역률 개선회로의 입력전압 및 입력전류 파형  
Fig. 13 Input voltage and current waveforms of power factor correction circuit

#### 4. 결 론

본 논문에서는 ZVT-PWM boost 컨버터를 이용한 무전극 구동 시스템의 역률 개선과 고조파 저감을 위해 소형화 및 고전력 밀도의 특징을 갖는 영전압 전이 PWM boost 컨버터에 관하여 논의하였다. ZVT-PWM boost 컨버터의 동작을 구간별로 해석하였으며 스위칭 주파수 2.5[kHz]인 무전극 램프 구동용 인버터의 역률개선을 위해 스위칭 주파수 220[kHz], 입력전압 90~240[Vac], 출력전압 350[Vdc]인 ZVT-PWM boost 컨버터를 역률개선 회로에 적용하여 실험을 하였다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험 결과에 의해 타당성을 확인하였다.

#### [참 고 문 헌]

- (1) 狩野秀行, 甲野藤正明, "負荷に應じた共振回路の最適制御の考察", 電気學會全國大會講演文集, 파워エレクトロニクス(4), 産業システム, pp.156, 2000
- (2) Robert Streit, "High efficiency telecom rectifier using a novel soft-switched boost based input current shaper", in Int. Telecommunications Energy Conf. Proc., pp720-726, 1991
- (3) K.Mark. S and Keyue M. S, "Comparison of Voltage-Model Soft-Switching Methods for PWM Converter", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12, No. 2, pp.649-658, 1997
- (4) G. Hua, E. X. Yang, Y. Jiang, and F. C. Lee, "Novel zero-current-transition PWM converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 9, pp. 601-606, Nov. 1994
- (5) A. Elasser and D. A. Torrey, "Soft switching active snubbers for dc/dc converters," IEEE Trans. Power Electron., vol.11, pp. 710-722, Sept. 1996.
- (6) C. J. Tseng, "A passive snubber cell for nonisolated PWM dc/dc converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 45, pp. 593-601, Aug. 1998.
- (7) V. Grigore and J. Kyrra, "A new zero-voltage-transition PWM buck converter," in Proc. 9th Mediterranean Electrotech. Conf. (MELECON'98), vol. 2, 1998, pp. 1241-1245