

## 고압 나트륨 램프 구동용 전력변환장치의 역률 개선

이상현\* · 서기영 · 이현우 · 이수홍 · 문상필  
경남대학교

### Power Factor Improvement of Power Conversion Equipment for High Pressure Sodium Lamps

S.H.Lee\* · K.Y.Suh · H.W.Lee · S.H.Lee · S.P.Mun  
Kyungnam University

**Abstract** - HPSSL(High Pressure Sodium lamp) have attracted much attention in recent years, because they offer high luminous efficiency and very long life. Recently, AC-DC converters have been widely as power factor improvement circuits in the power conversion equipment. An application of the ZVT-PWM (Zero Voltage Transition Pulse Width Modulation) boost converter, which has great advantage on miniaturization and high power density, to the power factor improvement circuit of the HPSSL inverter are described to identify the power factor correction characteristics of the inverter. In this paper the series-parallel resonant inverter (electronic ballast) for driving a HPS lamp is discussed. Finally, a power factor corrector is cascaded in front of the electronic ballast. Consequently, a high power factor above 0.99 and low THD on the line current can be achieved.

점등되기 위해서는 약 1[kV]의 기동 전압이 요구됨을 알 수 있다. 그림 2는 고압 나트륨 램프의 기동으로부터 완전 점등되는 동안의 임피던스 변화를 나타낸 곡선이다. 기동되는 동시에 임피던스는 급격히 약 8[Ω]으로 저하됐다가 약 360초 후에 40[Ω]정도까지 상승하면서 완전히 점등됨을 나타내고 있다. 그림 3은 램프의 V-I 특성을 나타낸다. 여기서 램프 전압과 전류는 거의 선형적인 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 고압 나트륨 램프는 저항부하로 등가화 할 수 있다.

## 1. 서 론

고압 나트륨 램프는 나트륨 증기중에서 방전할 때 생기는 D선을 광원으로 이용한 것으로 광색은 거의 순수한 등황색이다. 발광 효율이 100~160[lm/W]로 높고 터널 내의 배기 가스 및 안개등의 투과력이 우수하므로 터널 조명, 교량(橋梁), 가로(街路)조명등의 야외 조명에 많이 사용되고 있다. 일반적인 고압 나트륨 램프는 부피가 크고 무거우며 소음이 많고 안정기에서의 전력 손실이 많이 발생하는 등의 문제점이 있다. 이에 따라 자기 회로식 안정기의 단점을 극복하기 위해 효과적인 절전을 목표로 전자식 안정기가 연구되고 있다. 본 논문에서는 고압 나트륨 램프 구동용 전력변환장치를 제안하고자 한다. 제안한 전력변환장치는 AC-DC 컨버터와 DC-AC 인버터로 나눌 수 있다. 먼저 DC-AC 인버터 회로는 램프의 점등 전, 후의 증가회로 및 동작원리 및 특성을 해석한 결과를 바탕으로 수식적으로 표현하고자 한다. 그리고 고압 나트륨 구동용 인버터의 역률 개선 회로로서 이용될 수 있는 영전압 천이 PWM 부스터 AC-DC 컨버터의 정상상태 동작을 구간별로 해석하여 영전압 스위칭 조건을 도출하고자 한다. 마지막으로 제안한 전력변환장치를 이용하여 시스템의 고역률 및 고조파의 저감효과를 높이고자 한다. 이상의 모든 사항은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 제안한 나트륨 램프 구동용 전력변환장치

#### 2.1.1 고압 나트륨 램프의 전기적 특성

그림 1은 고압 나트륨 램프의 기동시의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. 그림으로부터 고압 나트륨 램프가

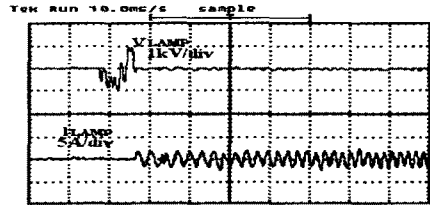


그림 1 기동시 램프 전압 및 전류  
Fig. 1 At starting voltage and current of lamp

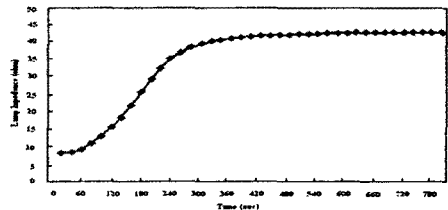


그림 2 점등 시간 동안 임피던스 곡선  
Fig. 2 Impedance curve during lighting time of lamp

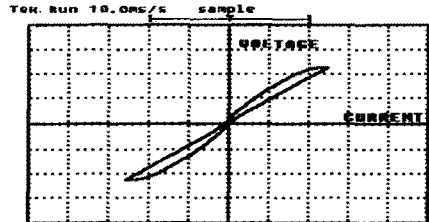


그림 3 나트륨 램프의 V-I 특성곡선  
Fig. 3 V-I characteristic curve of sodium lamp

## 2.2. ZVT-PWM 부스트 AC-DC컨버터의 동작원리 및 해석

AC-DC 컨버터의 회로방식에 있어서 부스트 컨버터는 인덕터 전류가 입력 전류가 되고 전류 연속 모드 제어시 입력 전류의 리플분이 적기 때문에 다른 컨버터 회로에 비해 과도 현상의 영향이 적고 전자기장 방해 발생이 작아 필터의 크기도 줄일 수 있다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 고압 나트륨 램프 구동용 인버터의 역할 개선 회로를 이용한 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 회로를 나타낸다. 제안한 컨버터는 기존의 PWM 부스트 컨버터에 소프트 스위칭을 위한 공진회로가 첨가되어있으며, 이러한 공진회로는 공진 커패시터  $C_r$ , 공진 인덕터  $L_r$ , 공진용 보조 스위치 S1, 보조 다이오드 D1 및 D2, D4등으로 구성하였다. 그림 5는 제안한 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 각부의 파형을 나타낸 것이다. 보조 스위치와 공진회로에 의해서 천이 구간 동안에 영전압 스위칭이 일어나는 것을 알 수 있다.

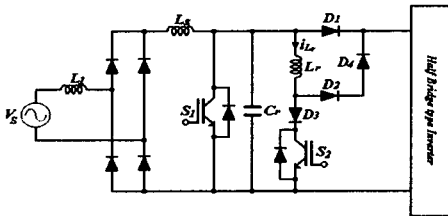


그림 4 ZVT-PWM 부스트 컨버터 회로  
Fig. 4 ZVT-PWM Boost Converter Circuit

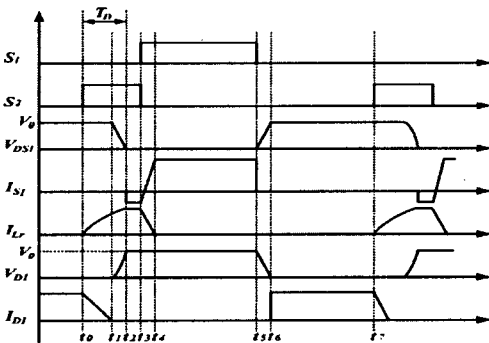


그림 5 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 각부 파형  
Fig. 5 A each part waveforms of ZVT-PWM Boost Converter

주 스위치 S1이 영전압 스위칭을 하기 위해서는 주 스위치가 턴-온전에 공진 커패시터  $C_r$ 에 축적된 에너지가 모두 방전되고 그 후 주 스위치의 역병렬 다이오드 (body diode)가 도통되어 주 스위치 양단간의 전압이 영으로 클램프 되어야 하며, 환류 다이오드 D1은 공진 인덕터  $L_r$ 에 흐르는 전류가 입력전류  $I_{in}$ 으로 되는 시점인  $t_1$ 에서 자연스럽게 전류되어 영전류 턴-오프한다. 그리고 보조 스위치 S2는 주 스위치가 턴-온 되기 직전의 시점에서 턴-온되어야 하며 주 스위치의 양단에 걸리는 전압이 영이 될 때까지 온상태를 유지한다. 그림 6은 각 모드별 등가회로를 나타낸 것이다.

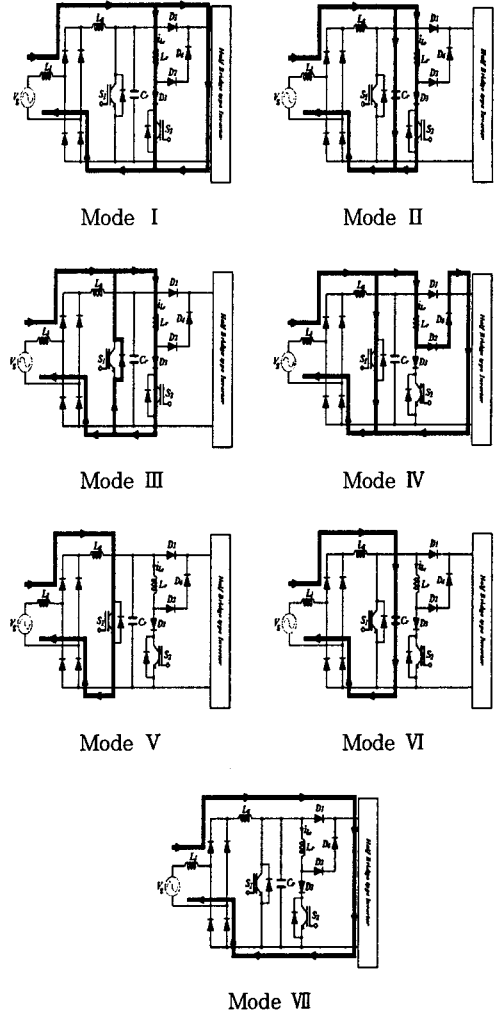


그림 6 ZVT-PWM 부스터 컨버터의 모드별 등가회로  
Fig. 6 Topological sequence of Boot ZVT-PWM Converter

## 2.3 Half-Bridge Inverter 동작원리 및 해석

그림 7은 고압 나트륨 램프용 전자식 안정기로 이용된 Half-bridge 직·병렬 공진형 인버터 회로도를 나타낸 것이다. 그림 7에서 커패시터  $C_c$  와 인덕터  $L_r$ 은 램프의 안정 점등을 위한 직렬 공진 회로이며,  $C_r$ 는 램프의 기동을 위한 커패시터이다.

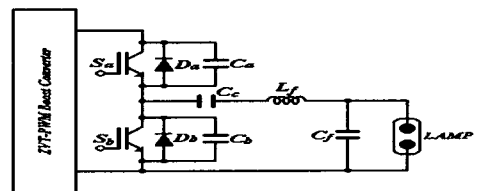


그림 7 고압 나트륨 램프용 직병렬 공진형 인버터의 회로도  
Fig. 7 Circuit diagram of HPSL series-parallel resonance inverter

그림 8은 인버터의 스위치 Sa, Sb의 구동 파형과 스위치 양단의 전압, 공진 인덕터 전류  $i_L$ 의 파형을 나타내고 있다.

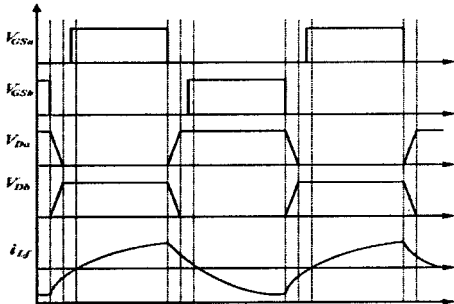


그림 8 각부의 시뮬레이션 파형  
Fig. 8 Simulation waveforms of section

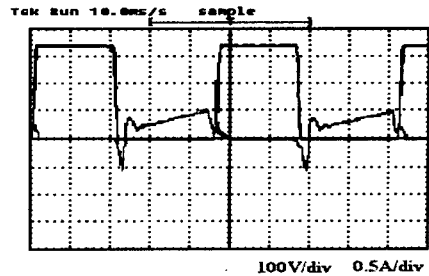
일반적으로 고압 나트륨 램프는 등가적으로 점등전에는 무부하로, 점등후에는 저항R로 해석할 수 있으며, 스위칭 주파수가 직렬 공진 주파수에 근접하면 공진 회로부의 임피던스는 스위칭 주파수에서 가장 작으며 고조파 성분에 대해서는 상대적으로 큰 임피던스를 가지므로 근사적으로 고조파 성분을 무시할 수 있다. 즉 구형파 전원을 푸리에 급수 변환을 통하여 기본파 성분만을 갖는 정현파의 전원으로 등가화 할 수 있다.

## 2.4. 실험결과 및 고찰

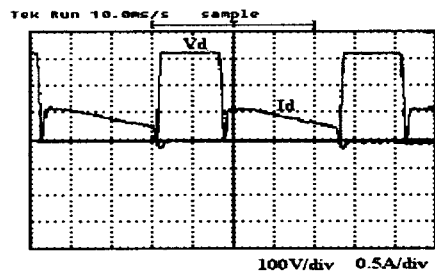
표 1 회로 정수  
Table 1. Circuit parameters

설계 사양	실험에 사용된 소자		
ZVT-PWM 부스트 컨버터			
입력전압	110~220Vac		
출력전압	350Vdc	공진인덕터 ( $L_r$ )	45uH
출력전류	0.45A	Fast Rectifier	ERD60-100
스위칭 주파수	70kHz	스위칭 소자	IMBH40-60
고압 나트륨 램프 구동용 인버터			
입력전압	350Vdc	공진인덕터 ( $L_r$ )	400uH
출력전압	100Vdc	공진커패시터 ( $C_c$ )	100nF
출력전류	1.5A	기동커패시터 ( $C_f$ )	4.7nF
스위칭 주파수	40kHz	스위칭 소자	IMBH40-60

표 1은 제안한 회로의 회로 정수를 나타내며 시뮬레이션에 사용된 제어부는 승산기와 전류 오차 증폭기, 전압 오차 증폭기, 비교기, 순방향 회로, 입력전류 검출부로 구성하였으며, 주스위치 S1과 보조 스위치 S2의 구동신호는 승산기의 출력값과 전류 검출 저항에 의해 검출된 전류값 그리고 삼각파를 서로 비교한 것이다. 그림 9는 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 스위치 S1에 걸리는 전압과 전류의 파형을 나타낸다. 이 컨버터의 영전압 스위칭 특성이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 9 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 각부의 실험 파형  
(a) 주 스위치S1의 전압과 전류 파형  
(b) 다이오드D1의 전압과 전류 파형

Fig.9 Experimental waveforms of ZVT-PWM boost converter

- (a) Voltage and current waveforms of the main switch
- (b) Voltage and current waveforms of the diode D1

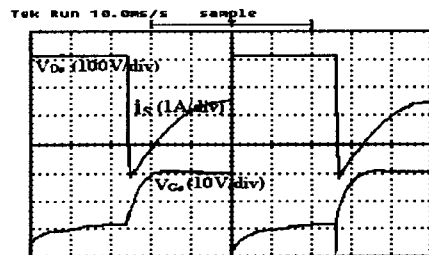


그림 10 스위치의 드레인-소스간 전압과 전류 파형  
Fig. 10 Drain-Source line Voltage and current waveforms of switch

그림10은 직.병렬 공진형 인버터에 있어서 스위치 구동 전압 및 드레인-소스 양단 전압과 스위치 전류 파형을 나타내고 있다. 여기서 두 스위치가 동시에 차단되는 데드 타임 구간동안 각 스위치의 기생 커패시터  $C_{gs}, C_{ds}$ 의 충전전이 완료되고 스위치의 역병렬 다이오드의 도통 기간동안에 스위치의 턴-온이 이루어짐으로써 영전압 스위칭 달성되고 있음을 알 수 있다. 그림11은 램프 양단의 전압 및 전류를 나타내고 있다. 그림12는 역률 개선 회로가 적용된 입력 전압 및 전류의 파형이 동상으로 나타나고 있으며 0.99이상인 고역률 및 고조파 저감을 달성하고 있음을 보여주고 있다. 그림 13은 입력 전압의

변화에 따른 역률 변화를 나타낸 것이다.

(6) 인버터 앞단에 역률 개선 회로를 결합시킴으로써 99[%]이상의 높은 역률 및 고조파 저감을 달성했다.

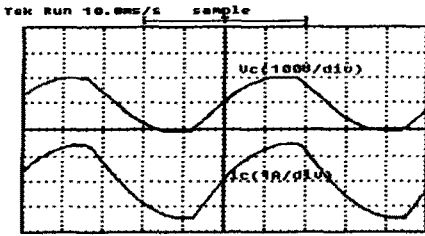


그림 11 램프의 전압과 전류 파형  
Fig. 11 Voltage and current waveforms of lamp

【 참고 문헌 】

- [1] L.H.Dixon "High Power Factor Preregulators for Off-Line Power supplies", Unitrode Power Supply Design Seminar Manual SEM600, 1988
- [2] G.C.Hua, C.S.Leu, Y.M.Jiang, F.C.Lee "Novel Voltage-Transion PWM Converters" VPEC' 92, 19 pp55-61
- [3] Y.Panov, J.A.Sabate, F.C.Lee "Desi후 Issues for a Zero-Voltage-Switched power Factaor correction Circuit and DC/DC Converter power proceing U VPEC, 1993, PP213-224
- [4] MARIAN K. KAZIMIERCZUK "RESONANT POW CONVERTER". A Wiley - Interscience Publication PP241~266, 1995

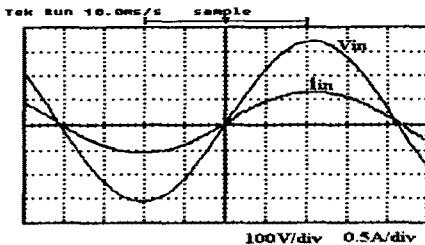


그림 12 역률 개선회로의 입력전압 및 입력전류 파형  
Fig. 12 Input voltage and current waveforms of power factor correction circuit

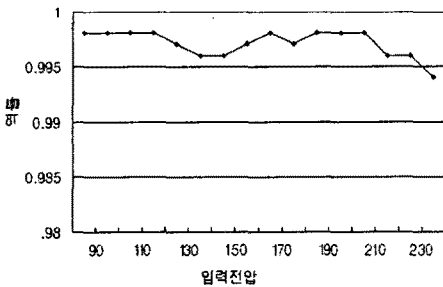


그림 13 입력 전압의 변화에 따른 역률( $P_o=85W$ )  
Fig. 13 Power factor about input voltage

4. 결론

고압 나트륨 램프용 고역률 전자식 안정기에 관한 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) ZVT-PWM 부스트 컨버터의 동작을 구간별로 해석하였다.
- (2) 스위칭 주파수 220[kHz], 입력전압 90~240[Vdc] 인 ZVT-PWM 부스터 컨버터를 역률 개선 회로에 적용하였다.
- (3) 램프의 전기적 특성을 확립하였다.
- (4) 고압 나트륨 램프 등가 회로가 적용된 회로의 동작 해석으로부터 램프 출력 전력과 각부 전압, 전류식을 구하였다.
- (5) 해석 결과를 기초로 한 점등 회로의 설계를 통하여 램프 정격을 만족하고, 안정점등을 이루는 고효율의 인버터 회로를 실현했다.