

하프브리지 인버터를 이용한 HPS 램프용 전자식 안정기 개발

(A Development of an Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps by Using a Half Bridge Inverter)

김순기* · 김응래 · 이진우

(Soon-Gi Kim · Eung-Rae, Kim · Chin-Woo Yi)

신성대학 디지털전기계열 * · 호서대학교 전기공학과

Abstract

In this paper, a new design using a simulation method was proposed. And to estimate its validity, various electronic and optical data were measured after making a 150[W] electronic ballast for high pressure sodium lamps. Using PSpice 9.1, the best solutions of various parameters such as the resonant frequency, the lamp output voltage, and the current of the electronic ballast were obtained. The power factor of the system was 99.8[%], the crest factor 1.44, the THD 4.99[%], and the weight 0.5[kg]. These are very good characteristics compared with a conventional HPS Lamp ballast.

1. 서론

1938년 미국의 Inman에 의하여 수은등에 형광 물질을 부착한 것이 현재의 형광등에 이르고 있으며, 고압나트륨(High Pressure Sodium : HPS) 램프는 1961년 K. Schmidt에 의해 발명되어 1962년 GE사의 재료개발팀에 의해 개발되어 실용화되었다[1].

우리나라에서는 1973년 오일쇼크 이후 에너지 절약 문제로 저전력 HID 램프에 대한 관심이 높아졌으며, 미국에서는 새로운 연방법률(National Appliance Energy Conservation Amendments of 1988-Part of The Previously Enacted Energy Policy and Conservation Act)을 제정하여 더 많은 소비자로 하여금 전자식 안정기의 사용을 유도하고, 특히 1991년 4월 1일부터 안정기 제조업체로 하여금 에너지 절약형만을 생산 판매토록 제도화하였다. 이로 인해 고효율 초절전형 HID 램프용 전자식 안정기 개발에 박차를 가하게 되었으며, 동시에 이에 관련된 전자부품에도 동반 개발 효과가 나타나게 되었다.

최근 산업체 등에서 사용되고 있는 HID 램프용 안정기는 철심과 코일로 구성되어 상용주파수에서 동작하는 기존의 자기식 안정기로 부피가 크고 무거우며(3~29kg), 낮은 소음이 다소 있고 안정기 자체에서 전력손실이 많이 발생하는 문제점이 있다[2-3].

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 소

형 경량화(약 0.5kg)가 가능하고 광효율을 10~20% 향상시킬 수 있으며, 자기식 안정기에서 발생하는 플리커(flicker) 현상을 제거시킬 수 있는 전자식 안정기 개발이 필요하다[3]. 그러나 전자식 안정기의 경우 램프 구동전압을 수십 kHz로 변환하는 고주파 인버터 설계가 필요하다[4-5]. 또한 설계 초기단계부터 EMI 방지 필터를 설계하여 시스템 안정화는 물론 EMC 저감 기술이 그 어느 때보다 중요하다[4-6].

2. 본론

2.1. 전자식 안정기 설계 초기 단계

전자식 안정기를 설계·제작하기 위해서는 방전 램프 특유의 부하특성을 충분히 고려하여야 하며, 이 경우 램프의 재료와 구조 및 봉입 물질의 성질 등을 먼저 이해하는 것이 중요하다. 또한 전자식 안정기 소자와 전자회로의 동작에 대한 확실한 이해가 필요하다. 그리고 반드시 램프와 안정기의 특성 정합 및 EMI 대책 등을 설계초기단계에서 고려하는 것이 여러 가지 측면에서 효과적이다.

2.2. 전자식 안정기 설계

2.2.1. SPLR 인버터 회로

그림 1은 직·병렬부하공진(SPLR) 인버터 또는 LCC 공진 등가회로를 나타내었다. 인버터 회로에

서 고압나트륨램프는 PLR 인버터 회로와 같이 커패시터 C_p 와 병렬연결이다. 이 등가회로에서 $C_s=C_p$ 인 경우의 변환함수로 나타낼 수 있으며, 이때 $\omega_o=1/\sqrt{LC_s}$, $Q=\omega_s L/R$

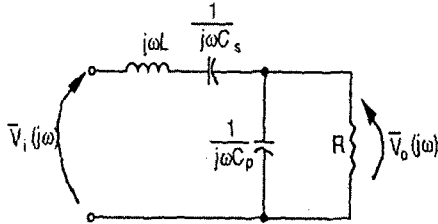


그림 1. 직·병렬(SPLR) 인버터 회로

이다. 고압나트륨램프는 PLR 인버터 회로와 같이 커패시터 C_p 와 병렬연결이다. 이 등가회로에서 $C_s=C_p$ 인 경우의 변환함수로 나타낼 수 있으며, 이때 $\omega_o=1/\sqrt{LC_s}$, $Q=\omega_s L/R$ 이다.

이 회로는 HPS 램프 소비전력이 적은 경부하일 경우 PLR 인버터, 중부하에서는 SLR 인버터와 비슷한 동작을 한다. 만약 C_s/C_p 의 비가 크면 특성은 SLR 인버터와 비슷하고, 이 비가 매우 적으면 PLR 인버터와 비슷하게 동작할 것이다. 즉, 이 회로에서 1보다 큰 전압이득이 가능하지만, 승압트랜스 없이는 램프 시동에 필요한 충분한 개방 회로 전압을 공급하지는 못할 것이다. 또한 Q_s 에 대한 변화의 함수에서 오픈 루프 조정은 충분하지 못하다. SPLR 인버터는 대역필터로서 구형파의 고조파 성분은 크게 감쇄되고, 기본파 성분만을 사용하게 된다. 그리고 LC 공진 인버터에 비하여 고조파 감쇄는 약간 향상된다.

2.2.2. 안정기 시스템 구성

(가) AC/DC 컨버터

본 논문에서 제안한 전자식 안정기 시스템은 정류부에는 서지보호회로를 설계하여 입력측으로부터 순간 고전압이 인가될 경우 서지보호부에서 2차측 회로를 보호한다. 또한 전원측에 EMI 필터를 설계하여 고조파 성분, 노이즈 등이 전원측으로부터 인입, 전도 및 방사되지 않도록 하여 설계하였다.

(나) 역률 보상 회로

그림 2는 역률보상(PFC) 회로의 블록선도를 나타내었다. 역률보상 회로는 출력단의 전압을 승압

하기 위해 Boost 컨버터를 설계하였으며, 제어 IC

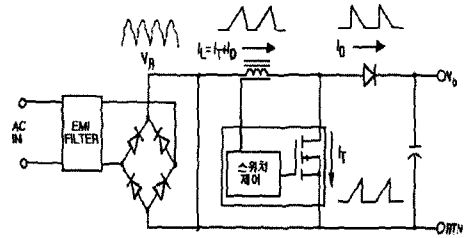


그림 2. 역률보상 회로의 블록선도

로 LX1562 칩을 사용하여 90~265V 범위에서 입력전압이 변화하여도 DC/AC 컨버터에 일정한 전압 직류 400V를 공급하도록 회로를 설계하였다. 이때 역률은 0.995 이상을 보장하도록 하였다. 부스트 컨버터의 제어 방식은 부스트 인덕터의 전류를 검출하여 MOSFET가 영전류스위칭(ZVS)하도록 제어한다. 그림 3은 부스트 컨버터의 인덕터 전류제어 방법을 표시하였다.

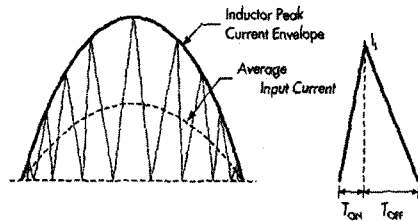


그림 3. Boost 컨버터의 인덕터 ZCS

(다) DC/AC 컨버터

DC/AC 인버터를 설계하기 위해 정상적으로 HPS 램프가 구동될 수 있도록 시뮬레이션을 실시하여 구한 파라미터로 설계하였다.

(라) 게이트 구동회로 제어부

구동회로 제어부는 스위칭소자의 게이트신호를 공급하는 부분으로 전류트랜스를 사용하여 게이트를 구동하는 자려식 공진형 인버터는 별도의 구동회로가 필요 없이 자려식 발진회로로 구성되어 회로가 간단하고 제조가격이 낮고 소비전력이 적은 장점이 있으며, 타려식에 비해 효율이 높다. 또한 자동으로 영전압 턴은 되고 별도의 보조회로를 추가하면 고속스위칭 손실과 구동손실을 매우 작

게 할 수 있는 특징이 있어 경쟁력 있는 저가의 전자식 안정기에 가장 많이 사용되고 있다.

2.3. 실험결과 및 검토

본 논문에서는 70W에서 400W급의 HPS램프의 시동초기부터 정상점등에 이르는 매우 짧은 순간 램프 특유의 부성저항특성을 파악하여, 스위칭 소자를 비롯한 수많은 반도체 소자의 파라미터와 트랜스 등을 설계할 때 필요한 데이터를 얻을 수 있었다. 또한 회로변경으로 인한 부품의 소모를 감소시킬 수 있으며, 설계 초기단계에서 여러 가지 문제가 발생할 경우 모드별 동작특성 파악은 물론 원인분석을 통하여 새로운 시스템 설계에 유용하게 대처할 수 있다. 그뿐만 아니라 시뮬레이션을 통하여 안정기 시스템 설계에 관한 정보를 얻을 수 있어서 시행착오를 줄여 설계시간을 단축시킬 수 있다.

초기시동을 위해 인버터 회로의 Cs-Rlamp-Ls 공진으로 HPS램프를 점등하기 어렵기 때문에 MOSFET Q2를 스위칭 시키는 회로가 이그나이트 회로이다. 시뮬레이션을 위해 다이아를 포함한 이그나이트 회로를 구성하기 쉽지만은 않기 때문에 MOSFET Q2의 게이트 단자에 직류전압 10[V]를 인가하여 10[μs]일 때 시동회로가 36[V]의 DC 전압을 Q2 게이트에 인가되도록 인버터 회로를 설계하였다.

그림 4는 시동초기 HPS램프 내부 저항값이 3 MΩ~66.7Ω으로 짧은 시간에 변화할 때 램프전압의 파도특성이다. 램프의 시동초기 최대 피크전압은 24.27μs에서 1.65kV이며, 96.03μs에서 317.48V로 감소하여 정상상태인 190.75μs에서 127.16V로 나타났다. 이 경우 시동시 HPS램프 저항값의 변화 구간이며, 제안된 전자식 안정기에서 측정된 실측치와 거의 일치하였다.

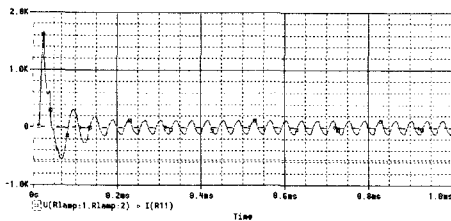


그림 4. 램프 전압의 시동초기 특성

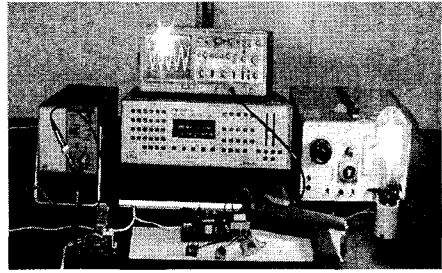


그림 5. 실험 장치

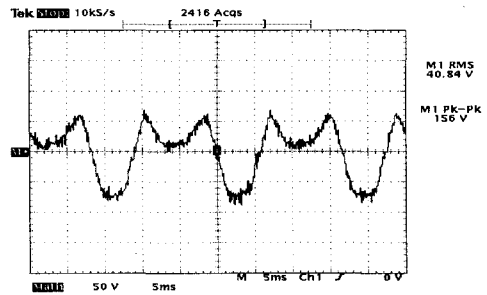


그림 6. MOSFET Q1의 D-S 전압 파형

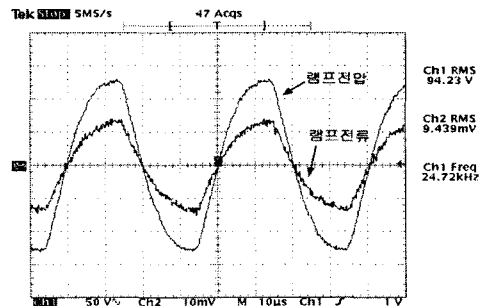


그림 7. 램프의 출력 V-I 파형

그림 6은 MOSFET Q1의 D-S 전압 파형을 나타내었으며, 그림 7은 150W급 HPS램프 출력인 전압 전류 특성을 나타내었다. 샘플별 램프 출력은 158~161W로 측정되었으며, 기존의 자기식 안정기에 비해 전자식 안정기 손실은 3.7~15.5W 적은 것으로 나타났다. 역률(PF)은 자기식이 83~90.2%에 비해 전자식 안정기는 99.7~99.9%로 측정되었다. THD는 기준치 20%보다 낮은 4.5%로 측정되었다.

제안된 전자식 안정기의 전도성 EMI 특성은 FCC 기준에 의하면 고정 장소에 사용하는 전자제품은 Class A 기준에 적합하여야 하고, 이동하면

서 사용하는 전자제품은 Class B 기준에 적합하여야 한다. 제작된 전자식 안정기를 측정한 결과 주파수 대역 0.01[MHz]에서 9[MHz]까지는 FCC Class A 기준인 69.5dB μ V에 적합하고, 주파수 대역 11MHz에서 65dB μ V로 측정되어 FCC 기준치 48dB μ V를 초과하여 FCC 기준 Class B 기준에 부적합하나 FCC 기준 Class A 에는 적합한 것으로 나타났다.

특히 기존의 철심과 코일을 사용하는 자기식 방식과 비교할 때 전자식 안정기는 반도체 부품 사용으로 소형 경량화가 가능하였다. 일반적인 자기식 안정기의 경우 1kW가 14.5kg 이상이며, 400W가 6~8kg 정도이며, 150W의 경우 제조사에 따라 3.4kg에서 약 5kg인데 비해 본 논문에서 설계·제작된 전자식 안정기는 약 0.5kg으로 중량이 1/6로 감소되어 소형 경량화가 가능하였다. 뿐만 아니라 제조공정의 자동화, 수송, 시공 및 보수 교체작업 등에 매우 편리할 것이며, 에너지 절감이 가능하여 그 기대효과가 상당히 크다.

3. 결 론

본 논문에서는 인버터 공진회로 등의 시뮬레이션 결과로부터 얻은 데이터를 기초로 하여 70~400W급 중에서 150W급 HPS 램프용 전자식 안정기 시스템을 설계·제작하여, 실험을 통해 측정한 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

역률개선 결과 표준전압 변동 범위내인 정격 전압에서 99.8[%]의 고역률을 얻을 수 있었으며, 파고율이 기준치 2.0보다 낮은 평균 1.44 이하, THD 기준치 20%보다 매우 낮은 평균 4.57 이하로 측정되어 전자식 안정기 전기적 특성이 안정하게 정상 동작이 가능하였다.

설계·제작된 전자식 안정기 시동시 램프전압 특유의 부성저항특성을 시뮬레이션기법을 통해 확인한 결과 기존의 자기식 안정기보다 안정기 자체 전력손실을 최소 약 4W에서 최고 약 16W까지 감소시켰다. 코아 및 권선의 체적을 고려하여 EMI 필터 등에만 적용하고 반도체 IC칩 및 스위칭 소자 등의 반도체 부품을 사용하여 체적과 무게를 1/6로 감소시킨 소형 경량화가 가능한 전자식 안정기 시스템을 제작하였다.

계산값으로부터 얻은 공진 주파수 26.54kHz와 설계·제작된 전자식 안정기 시스템에서 측정한 25.35[kHz]의 공진 주파수와 거의 일치함을 보였으며, 가청주파수대역 이상으로 설계함으로써 음향

공진 문제를 해결하였다. 공진주파수의 차이는 시뮬레이션 상에서는 시동상태에서 정상 점등과정 중에 HPS 램프에 봉입된 크세논 가스 압력의 변화로 인한 저항을 정확히 등가화 시킬 수 없기 때문에 발생한 것으로 생각된다.

EMI 방지 필터를 설계하여 0.01MHz에서 30MHz 주파수대역의 전도성 잡음을 측정한 결과 70dB μ V 이하로 측정되어 FCC Class A 기준에 적합함을 알 수 있었다.

향후 EMC 대책을 보완하여 보다 특성이 향상된 전자식 안정기 개발을 위해 산학연이 함께 연구할 과제라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] C. Meyer and H. Nienhuis, Discharge Lamp, Kluwer Technische Boeken B. V. Deventer-Antwerpen, pp. 249-282, 1988.
- [2] 이지환, "HID 램프용 전자식 안정기 설계", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol. 13, No. 4, pp. 14-19, 1999.
- [3] 류태화, 채균, 황종태, 조규형, "고성능 전자식 안정기에 적합한 공진형 인버터의 혼합형 구동방식과 제어 IC", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2786-2788, 1999.
- [4] R. M. Nelms, T. D. Jones, Melvin and C. Cosby Jr., "A Comparison of Resonant Inverter Topologies for HPS Lamp Ballast", IEEE Production & Application of Light Committee, pp. 2317-2322, 1993.
- [5] G. Antonini, S. Cristina and A. Orlandi, "EMC Characterization of SMPS Devices : Circuit and Radiated Emission Model", IEEE Trans. on EMC, Vol.38, No.3, pp.300-309, Aug., 1996.
- [6] 김진성, 권준혁, 김양모, "모드 분리기법을 이용한 스위칭 컨버터의 전도잡음 분석 및 대책에 관한 연구", 대한전자공학회 논문집, 제35권 S편 제4호, pp.128-138, 1998. 4.