

조광제어형 무전극 램프용 고주파 공진형인버터

A Dimmable High Frequency Resonant Inverter for Electrodeless Lamps

연재을*
Jae-Eul, Yeon

조규민**
Kyu-Min, Cho

오원석***
Won-Seok, Oh

김희준****
Hee-Jun, Kim

Abstract - As the electrodes are not needed, the electrodeless lamps using the induction discharge have a long lifetime and are robust against the variable output condition of a ballast. This paper proposed a dimmable resonant inverter for the electrodeless lamps. The proposed resonant inverter formed a half bridge inverter adopted PWM to control the average output power of the inverter and the illumination of a lamp. In this paper, the proposed dimming algorithm was described and the prototype experimental setup for 100W electrodeless lamps was carried out to verify the validity of the proposed dimming method

Key Words : Ballast, 전자식 안정기, 조광제어, Burst Dimming, 공진형인버터

1. 서 론

최근들어 대형건물, 터널 및 공장 등 대규모 조명설비가 시설된 장소에 대해서 자연조도 등의 주변조건에 따라 램프의 광출력을 제어함으로써 전력소비를 절감하기 위한 조광제어기법에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 대부분의 실내조명용 광원으로 사용되는 형광램프는 백열등에 비해 광의 질이 우수하고, 효율이 높으며 수명이 매우 길다는 장점을 갖는 반면, 점등시 별도의 안정기가 필요하고 정격 이외의 전압이 인가되면 전극의 열화로 인한 흑화현상으로 인한 부점등 현상이 발생하기 때문에 램프 수명이 급격히 감소하게 된다는 단점을 지닌다. 이러한 단점은 형광램프의 조광제어를 가로막는 가장 큰 요인으로써 현재까지 실내조명용 조광제어 시스템은 실용화되지 못하고 있는 실정이다.

1990년대 초 개발된 무전극 램프는 높은 가격과 특정 기업의 독점권 등으로 인해 현재 그다지 잘 알려져 있지 않지만, 종래의 형광램프가 램프 양단 전극간의 전계에 의해 발생되는 열전자들에 의해 형광체가 발광하는 것과 달리, 램프 내부와 외부를 자기적으로 결합시켜 발생한 자계에 의해 형광체를 시킨다. 따라서 종래의 형광램프 수명을 결정하는데 있어 가장 큰 영향을 미치는 전극이 없으므로 흑화현상으로 인한 수명단축을 피할 수 있다.^[1-2]

본 논문에서는 조광제어형 무전극 램프용 고주파 공진형인버터를 제안하였다. 제안된 인버터의 주회로는 하프브리징 방식으로 50%의 시비율의 250 kHz의 고주파 펄스로 구동되는

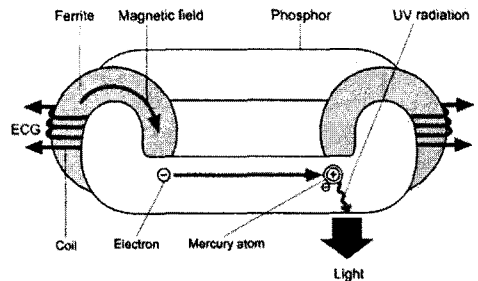


그림 1. H 방전형 무전극 램프

두 개의 스위치를 펄스폭 변조방식으로써 온, 오프를 제어하는 Burst dimming 기법^[3]을 적용하였다. 제안된 공진형인버터의 특성 분석 및 고찰을 위해 오슬람사의 Endura 100W 무전극 램프를 대상으로 한 공진형인버터를 제작하였으며 실험결과를 제시함으로써 제안된 공진형인버터의 가능성을 확인하였다.

2. 조광제어형 무전극 램프용 고주파 공진형인버터

2.1 무전극 형광램프

무전극 형광램프는 종래의 형광램프와 달리 가스가 봉입된 벌브 외부에 전극대신 코일이 감겨진 페라이트 코어가 장착된 램프로써 외부의 인버터로부터 고주파 전압이 인가되면 램프에 자계가 형성되어 벌브 내부의 봉입가스를 여기시켜 발광되는 광원으로 기존의 형광램프에 비해 긴 수명을 가지고, 소형이며, 고효율에 적합하다. 또한 순간점등이 이루어지고, 전광속 및 효율, 광색, 온도특성 등이 우수하다.^[1] 그림 1은 본 논문에서 제안된 고주파 공진형인버터를 적용하기 위해 사용된 H 방전형 무전극 램프를 나타낸다. H방전은 전형적인 구형의 방전관 외부에 권선을 감아 교류를 인가시

저자 소개

- * 正會員 : 한양대학교 · 메카트로닉스공학과 · 박사과정
- ** 正會員 : 유한대학 · 정보통신과 부교수 · 공학박사
- *** 正會員 : 유한대학 · 전기정보과 부교수 · 공학박사
- **** 正會員 : 한양대학교 · 전자 컴퓨터 공학부 교수 · 공학박사

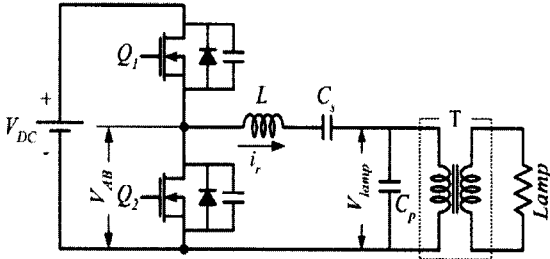


그림 2. 무전극 램프용 공진형인버터

키면 전자식 도체로 인해 전계가 발생하고 관 내부에서 수은 원자들의 충돌에 의해 발생하는 강력한 자외선이 관벽의 형광물질을 자극하여 빛이 발생한다.

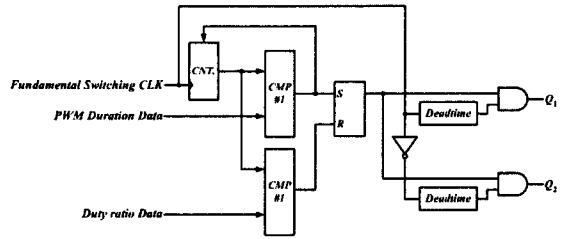
2.2 제안된 조광제어형 고주파 공진형 인버터

그림 2는 본 연구에서 적용한 무전극 램프 점등용 LCC 공진형인버터의 기본회로를 나타내는 것으로 스위치 Q_1, Q_2 는 턴 온 및 턴 오프 시 모두 영전압 스위칭이 이루어짐으로 스위칭 손실을 방지할 수 있다. 그림 2의 공진회로의 구성은 일반적인 전자식안정기에 적용되는 방식과 동일하다. 그러나 인덕터 L과 커패시터 C_s 간의 직렬공진회로가 사용되는 일반적인 전자식안정기와 달리 제안된 공진형인버터는 인덕터 L과 커패시터 C_p 로 구성되는 병렬공진회로가 사용되고 공진회로에서 커패시터 C_s 는 인버터 출력전압의 저주파 성분을 제거하는 역할만 하게 된다는 차이점이 있다. 이는 무전극 램프의 최고 점등효율을 갖는 주파수가 기존의 전자식안정기에서 사용되는 주파수 영역보다 매우 높기 때문이다. 커패시터 C_p 는 램프의 점등 초기 1kV 이상의 시동전압을 얻기 위해 C_s 보다 매우 작은 값으로 선정하여야 한다. 또한 인덕터 L과 C_p 간의 공진주파수는 무전극 램프가 최대효율을 나타내는 주파수로 선정하고 스위칭 주파수는 이보다 약간 높은 값으로 선정해야만 스위칭시 영전압 스위칭을 확보할 수 있다. 제안된 공진형인버터회로에 있어서 공진탱크의 기본 공진주파수 f_r 는 다음과 같이 결정된다.

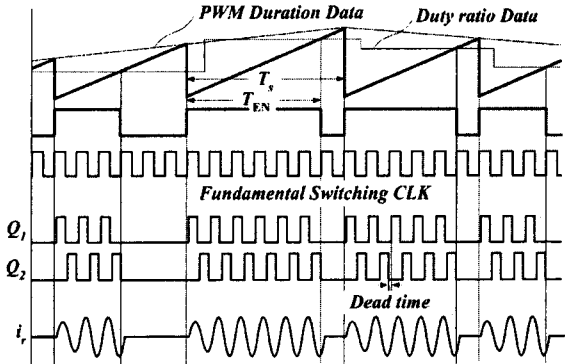
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}} \quad (1)$$

제안된 조광제어기법의 기본원리는 일정한 기본 스위칭 펄스를 이보다 1/10~1/15 정도 낮은 주파수의 PWM 신호의 시비율 D 구간동안만 동작, 스위칭 신호를 발생시켜 인버터 출력측의 평균전압을 제어함으로써 이루어진다. 여기서, 공진형인버터의 스위치의 동작은 PWM 신호에 따른 스위치들의 단속구간동안 공진전류의 안정과 확실한 영전압 스위칭을 위해 두 개의 스위치 턴 온 및 턴 오프되는 시점은 항상 시비율 D 신호와 동기 되는 것이 바람직하다. 이러한 조건에 부합하는 아날로그 제어회로를 구성하기란 대단히 어렵고 현실적으로 적용하는데 한계를 갖게 된다. 따라서, 본 연구에서는 디지털 제어회로를 구성하였다.

본 논문에서 제안하는 조광제어회로의 디지털 블록 다이어그램 및 타이밍차트를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)의 블록 다이어그램에서 기본 스위칭 클럭은 250kHz이며, 이 클럭신호를 카운터를 이용해 카운팅하여 미리 결정된 PWM 주기 T_s 및 시비율 D의 값과 디지털 비교기 CMP #1, CMP #2를 이용해 비교하여 S-R 래치를 동작시킴으로써 스위칭 구간



(a) 블록 다이어그램



(b) 타이밍차트

그림 3. 제안된 조광제어기법의 블록 다이어그램 및 타이밍차트

T_{EN} 신호를 발생시킨다.

여기서, 시비율 D는 다음과 같이 정의한다.

$$D = \frac{T_{EN}}{T_s} \quad (2)$$

공진형인버터의 스위치 Q_1 및 Q_2 의 구동신호는 기본 스위칭 클럭신호와 이 신호의 반전 신호를 스위칭 구간 T_{EN} 신호에 대해 논리곱을 행함으로써 만들어진다. 이때 두 신호 간에는 안락락 방식을 위해 적절한 데드타임을 부가하여야 한다.

3. 실험결과

제안된 조광제어기법을 근거로 무전극 램프 점등용 공진형 인버터를 제작 실험을 실시하였다. 제작된 공진형인버터에 적용된 주요정수는 다음과 같다.

- V_{DC} : 400[V]
- 스위칭주파수 f_s : 250[kHz]
- Q_1, Q_2 : IRF840(500V, 8A)
- 공진인덕터 L : 232[μ H]
- 커패시터 C_s : 100[nF]
- 커패시터 C_p : 2.2[nF]
- 기본 공진주파수 f_r : 222.77 [kHz]
- Lamp : Endura 100W (Osram)

제안된 조광기법을 적용하여 시비율 D의 변화에 대한 스위칭 패턴과 공진회로에 흐르는 전류 i_r 의 변화를 그림 4에 도시하였다. 그림 4(a)~(c)와 나타주는 바와 같이 시비율이 50% 이상의 영역에서 공진전류는 시비율에 대해 무난히 제어됨을 보여주는 반면, 그림 4(d)와 같이 시비율이 매우 낮은 구간에서 공진전류는 급격히 변동하게 되고 단속구간동안의

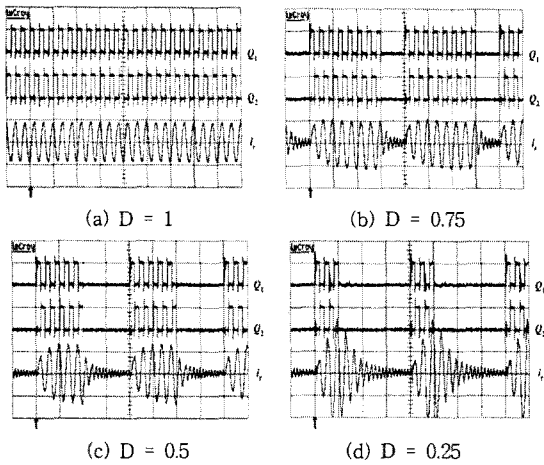


그림 4. 시비율 변화에 따른 구동신호 및 공진전류
 V_{gs1} , V_{gs2} (5V/div), i_g (1A/div)

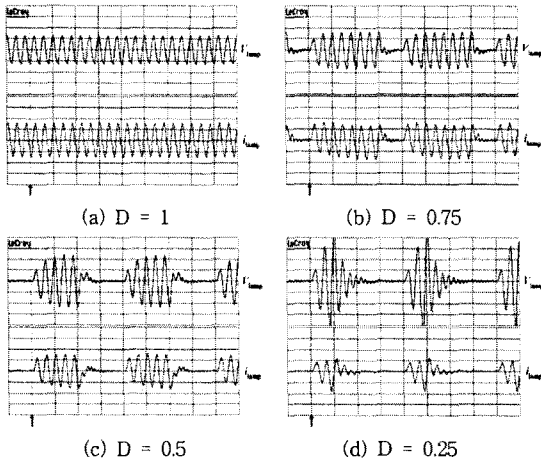


그림 5. 시비율 변화에 따른 램프전압 및 전류
 V_{lamp} (200V/div), i_{lamp} (1A/div)

링잉(ringing)현상도 심해지는 특성을 보인다.

시비율 D의 변화에 대한 램프전압 V_{lamp} 및 램프전류 i_{lamp} 의 파형을 그림 5에 도시하였다. 앞서 살펴본 공진전류의 변화와 같이 램프전압과 전류 역시 시비율이 클 경우 비교적 안정적인 변화를 나타내지만, 시비율이 매우 작은 영역에서 심한 변동이 발생한다. 그러나 단속구간동안 공진전류의 파형과는 달리 심한 링잉현상 없이 비교적 안정적인 파형을 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 시비율 D의 변화시 인버터 입력전력 변화비 및 램프 광속의 변화비를 나타낸 그래프이다. 실험결과 약 35%의 시비율에서 50%의 광속이 측정되었고, 시비율이 35% 이상의 범위에서 입력전력 변화비와 램프 광속 변화비가 거의 일치한다는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 그림 7의 입력전력 대비 광효율의 그래프를 통해 더욱 명확히 확인할 수 있으며, 그림 7의 그래프를 통해 최대치의 35%이상의 듀티에 대하여 정격대비 90% 이상의 효율을 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 시비율 1로 연속 운전할 때 보다 burst dimming을 적용

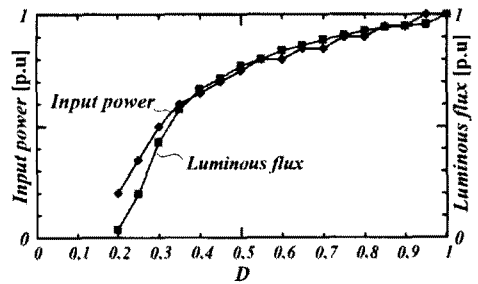


그림 6. 시비율에 따른 입력전력 및 광속

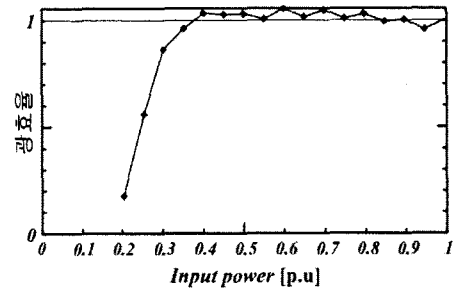


그림 7. 입력전력 대비 광효율

하여 시비율 0.4~0.8 구간에서 운전할 때의 광효율이 오히려 높게 관찰되었다.

4. 결 론

본 논문은 조광제어형 무전극 램프용 고주파 공진형인버터를 제안하였다. 제안된 공진형인버터는 하프브리지 방식으로 램프의 조광제어를 위해 250 kHz의 고주파 필스로 구동되는 스위치를 스위칭 주파수보다 매우 낮은 PWM 변조 파형과 동기시켜 온 오프를 제어하는 Burst dimming 기법을 적용하였다. 실험결과 35%의 시비율에서 최고치의 50%의 광속을 얻을 수 있었으며 입력전력 대비 광효율은 최대 입력전력의 35% 이상의 입력전력에 대하여 90% 이상의 높은 광효율을 얻을 수 있었다. 이상의 결과를 통해 제안된 무전극 램프용 공진형인버터를 이용한 조광제어의 가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 주형중, 장도현, 권명일, "SEPIC 컨버터를 이용한 무전극 형광램프용 고역률 전자식 안정기", 전력전자학회 논문지, 3호, 제 9 권, pp. 285-293, 2004. 6.
- [2] Yokozeki, I; et al., "The design of peripheral circuits of inductive coupling type electrodeless discharge lamp". Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on , Volume: 2, 17-20. Pages: 1137 - 1140 Vol. 2. ov. 2003.
- [3] Lee, S.W. et al., "Simplified control technique for LCD backlight inverter system using the mixed dimming method", APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE , Volume: 1, 4-8 March 2001.