

무전극 형광램프 조광제어용 전자식 안정기 개발

연재율
한양대학교조규민
유한대학오원석
유한대학김희준
한양대학교

A Development of electronic dimming ballast for the electrodeless lamps

Jae-Eul Yeon
Hanyang Univ.Kyu-Min Cho
Yuhan collageWon-Seok Oh
Yuhan collageHee-Jun Kim
Hanyang Univ.

Abstract - A novel dimming algorithm for the electronic ballast of the electrodeless lamp is proposed. The proposed algorithm is based on the burst dimming method and controls the duty ratio for the two switches of the electronic ballast by pulse width modulated signal. The proposed algorithm was implemented by a fully digital circuit using EPLD device. To verify the validity of the proposed algorithm, the implemented control circuit was applied to the electronic ballast for a 100W electrodeless fluorescent lamp. As a result, the wide illumination dimming range from 5% to 100% was obtained.

1. 서 론

무전극 형광램프는 종래의 형광램프가 램프 양단 전극 간의 전계에 의한 열전자 방출에 의해 형광체가 발광하는 것과 달리, 램프 내부 또는 외부에 장착된 코일에서 발생하는 강력한 자계에 의해서 램프가 점등된다. 따라서 종래의 형광램프의 수명을 결정하는데 있어 가장 큰 영향을 미치는 전극이 없음으로 전극의 열화 및 형광체의 흡화현상으로 인한 수명단축을 피할 수 있다. 또한, 정격 이상의 전압 및 전류가 인가되더라도 램프의 수명에는 큰 영향을 주지 않는다. 이것은 무전극 형광램프가 주위환경 또는 특수목적에 따라 램프의 광출력과 전력소비를 조절하기 위한 조광제어를 적용하는데 있어서 대단히 유리한 특징이라고 할 수 있다. 그러나 고주파 점등을 위해 갖추어야 할 공진형인버터는 무전극 램프의 자기 코아의 인덕턴스 성분까지도 공진요소로써 고려해야만 한다. 따라서 일반적인 조광제어기법인 주파수 변조방식을 적용하게 되더라도 램프의 조광제어는 잘 이루어지지 않는다. 또한 수 백 Hz정도의 PWM 신호로써 광출력을 제어하는 통상적인 버스트 디밍^[4]방식을 사용할 경우에도 가청주파수대의 노이즈 및 진동을 유발하므로 조광제어기법으로서 적용이 불가능하다.

본 논문에서는 무전극 램프의 조광제어를 위해 새로운 버스트 PWM 평균 시비율 제어 기법을 제안하였다. 제안된 기법이 적용된 공진형 인버터의 주 회로는 하프브리지 형태로써 50%의 시비율을 갖는 250 kHz의 고주파 펄스로 구동되는 두 개의 스위치를 스위칭 주파수의 1/10 정도인 버스트 PWM 펄스의 평균 시비율을 제어하는 방식이다. 본 논문에서는 오슬람 사의 Endura 100W 무전극 램프를 대상으로 제안된 조광제어 기법을 적용한 실험을 실시하여 얻은 결과를 통해 제안된 알고리즘의 유효성을 확인하였다.

2. 조광제어형 무전극 램프용 전자식 안정기

2.1 무전극 램프 점등용 고주파 공진형인버터

그림 1은 본 연구에서 적용한 하프 브리지 형태의 무전극 램프 점등용 고주파 공진형인버터의 기본회로 및 등가회로를 나

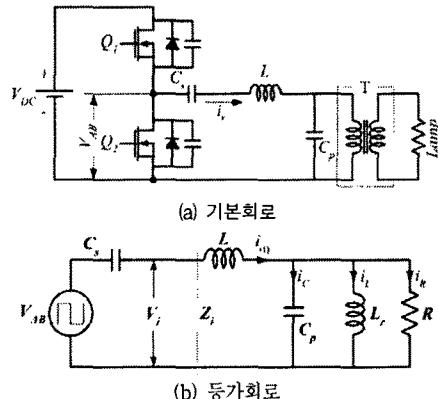


그림 1. 무전극 램프용 공진형인버터

다내는 것으로, 스위치 Q_1 , Q_2 는 턴 온 및 턴 오프 시 모두 영 전압 스위칭이 이루어짐으로 스위칭 손실을 방지할 수 있다. 무전극 램프의 점등전의 공진 인덕터 L 을 포함한 전체 공진회로의 리액턴스 X 로부터 별렬 공진주파수 f_{os} 및 직렬 공진주파수 f_{rs} 를 구하면 다음과 같다.

$$f_{os} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL_o}} \quad (1)$$

$$f_{rs} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C} \left(\frac{1}{L_s} + \frac{1}{L_r} \right)} \quad (2)$$

동일한 방법으로 점등후의 별렬 공진주파수 f_o 와 직렬 공진주파수 f_r 를 구하면 다음과 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL_o} - \frac{1}{(2CR)^2}} \quad (3)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C} \left(\frac{1}{L_s} + \frac{1}{L_r} \right) - \frac{1}{(2CR)^2}} \quad (4)$$

그림 3(a)의 회로에서 인버터 커패시터 C_s 의 값이 충분히 크다면 그림 3(b)의 등가회로와 같이 공진회로에 인가되는 전압은 직류성분이 제거된 구형파 교류전원인 V_i 로 대치될 수 있다. 스위칭 주파수가 직렬 공진주파수에 근접하면 공진회로의 임피던스는 기본파 성분인 스위칭 주파수에 대해서 가장 작게 나타나며, 고조파 성분에 대해서는 상대적으로 매우 큰 임피던스를 갖게 된다. 즉, 구형파 교류전원을 기본파 성분만 고려하여 정현파 교류전원으로 대치한 회로로써 해석이 가능해진다. 따라서 공진회로의 앙단전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_i = V_m \sin \omega_s t \quad (5)$$

여기서,

$$V_m = \frac{2}{\pi} V_{DC} \quad (6)$$

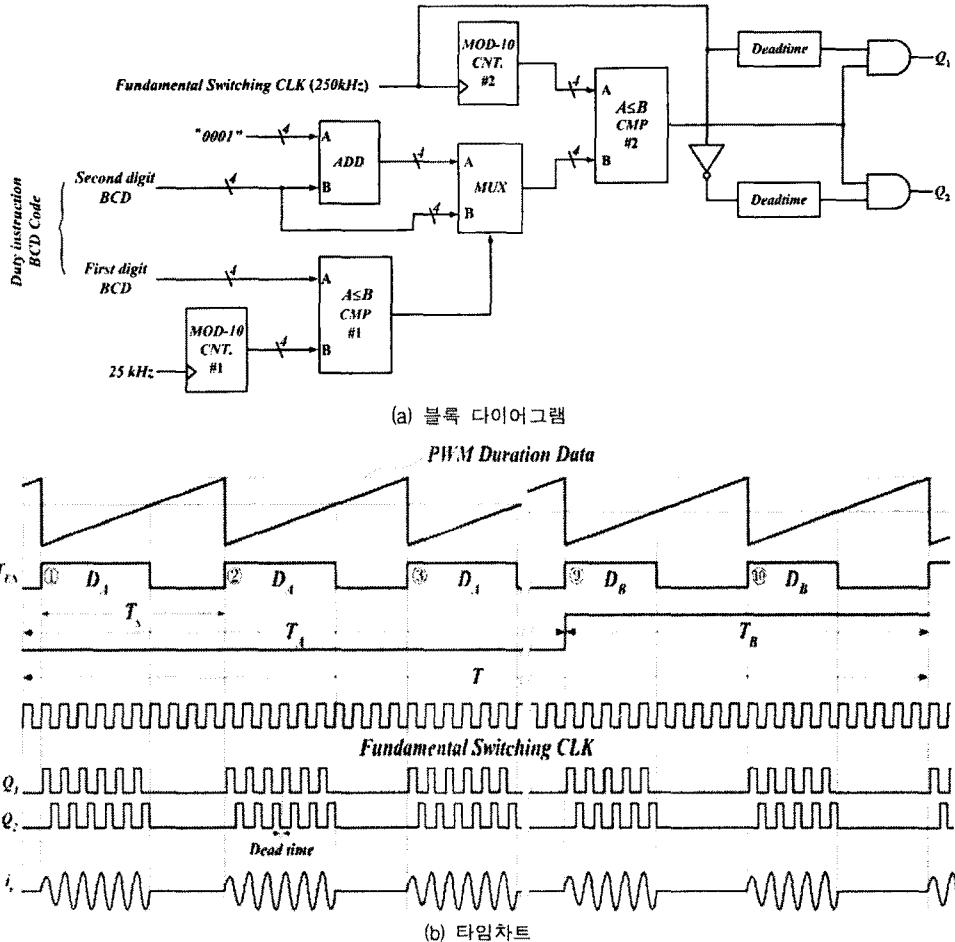


그림 2 제안된 무전극 램프 조광제어 알고리즘

이때, 이때의 램프 양단전압 $v_c(t)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$v_c(t) = v_{cm} \sin(\omega_s t - \theta) \quad (7)$$

여기서,

$$\left. \begin{aligned} v_{cm} &= \frac{Vm / LC}{\sqrt{(T^2 + \omega_r^2 - \omega_s^2)^2 + (2\omega_s T)^2}} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{2\omega_s T}{T^2 + \omega_r^2 - \omega_s^2} \\ T &= \frac{1}{2RC} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

이다.

2.2 제안된 무전극 램프 조광제어 알고리즘

본 논문에서 제안된 조광제어 기법의 구현을 위해 적용된 디지털 회로의 블록 다이어그램과 타임차트를 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)의 블록 다이어그램에서 기본 스위칭 주파수는 250 kHz이며, 기본 스위칭 주파수의 1/10로 분주된 클록펄스를 MOD-10 카운터를 이용해 카운팅함으로써 1% 단위의 정밀한 조광제어가 가능하다. MOD-10 CNT. #1은 25 kHz의 펄스신호를 카운팅한 값을 외부 제어기로부터 입력되는 1자리 값에 해당되는 BCD 코드와 비교하여 멀티플렉서 MUX의 제어신호를 발생하는 목적으로 사용된다. 비교기 CMP #1으로부터 발생된 제어신호에 의해서 멀티플렉서 MUX의 출력은 외부 제어기로부터 입력되는 10자리 값의 BCD 코드와 이 값보다 1만큼 더

큰 값 중에서 CMP #1의 조건 만족에 따라 선택적으로 절환되어 CMP #2의 B 입력단자에 공급된다. CNT #2에 의해 기본 스위칭 주파수를 카운팅 한 값과 MUX 출력신호가 CMP #2에 의해서 비교됨으로써 활성신호 D_A 또는 D_B 가 발생된다. 결과적으로 게이트 구동신호인 Q_1 과 Q_2 의 펄스는 이 활성신호가 발생할 경우에만 출력됨으로써 1% 단위의 제어가 가능해진다. 그림 2(b)의 타임차트는 제안된 조광제어 방식을 보다 명확히 설명해 준다. 그림 2(b)로부터 제안된 방식을 이용해 제어할 수 있는 시비율은 다음과 같이 정의된다.

$$D = \frac{D_A T_A + D_B T_B}{T} \quad (9)$$

4. 실험결과

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

VDC : 400[V]

스위칭주파수 f_s : 250[kHz]

Q_1, Q_2 : IRF840(500V, 8A)

공진인덕터 L : 232[uH]

커패시터 C_s : 100[nF]

커패시터 C_p : 2.2[nF]

기본 공진주파수 f_r : 222.77 [kHz]

Lamp : Endura 100W (Osram)

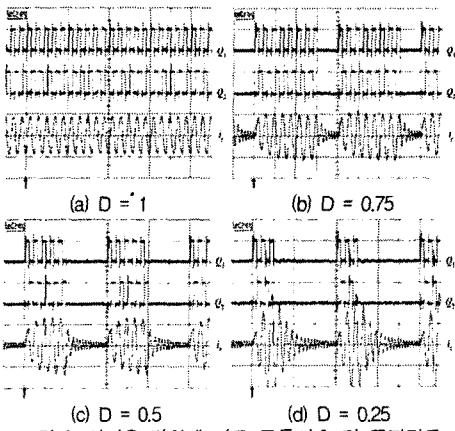


그림 3. 시비율 변화에 따른 구동신호 및 공진전류

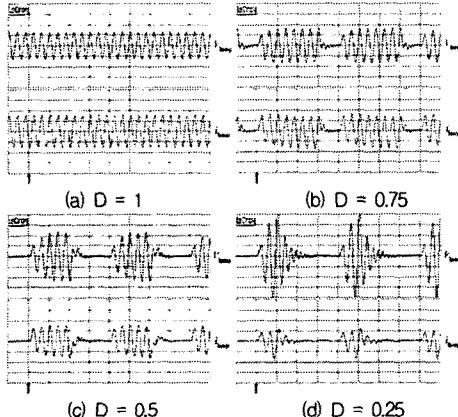


그림 4. 시비율 변화에 따른 램프전압 및 전류
V_{lamp}(200V/div), i_{lamp}(1A/div)

본 논문에서 제안하는 조광기법을 적용하였을 때 시비율 D 의 변화에 대한 스위칭 페터와 공진회로에 흐르는 전류 i_s 의 변화를 그림 3에 도시하였다. 그림 3(a)~(c)와 보여주는 바와 같이 시비율이 50% 이상의 영역에서 공진전류는 시비율에 대해 무난히 제어됨을 보여주는 반면, 시비율이 매우 낮은 구간에서 공진전류는 급격히 변동하게 되고 단속 구간동안의 링잉(ringing)현상도 심해지는 특성을 보인다.

시비율 D 의 변화에 대한 램프전압 V_{lamp} 및 램프전류 i_{lamp} 의 과정을 그림 4에 도시하였다. 앞서 살펴본 공진전류의 변화와 마찬가지로 램프전압과 전류 역시 시비율이 클 경우 비교적 안정적인 변화를 나타나지만, 시비율이 매우 작은 영역에서 심한 변동이 발생한다. 그러나 단속구간동안 공진전류의 파형과는 달리 심한 링잉현상 없이 비교적 안정적인 파형을 유지하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 시비율의 변화에 따른 램프의 조광상태를 관찰한 사진이다. 관찰 결과로부터 시비율 D 에 따라 램프의 조광제어가 잘 이루어진다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 제안된 방식을 적용했을 경우, 시비율 D 의 변화에 대한 인버터 입력전력, 램프 광속 및 램프효율의 변화율을 나타낸 그래프이다. 실험결과 약 35%의 시비율에서 50%의 광속이 측정되었다. 시비율이 35% 이상의 범위에서 입력전력 변화비와 램프 광속 변화비는 거의 일치하는 반면, 그 이하의 범위에서는 입력전력의 변화에 비해 광속의 변화가 심하게 발생하지만, 1%단위의 정밀한 조도제어가 가능하기 때문에 낮은 시비율 범위에서도 정밀한 광속제어가 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 최대 입력전력대비 광효율은 측정결과, 최대치의 35%이상의 시비율에 대하여 정격대비 90% 이상의 효율을 유지 할 수 있을 뿐만 아니라, 시비율 1로 연속 운전할 때 보다 시비율 0.4~0.8 구간에서 운전할 때의 최대 입력전력 대비 광효율이 오히려 높게 관찰되

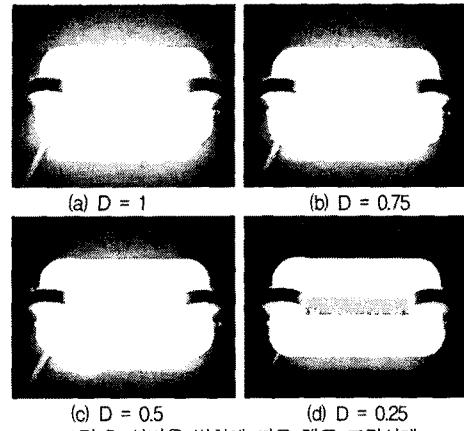


그림 5. 시비율 변화에 따른 램프 조광상태

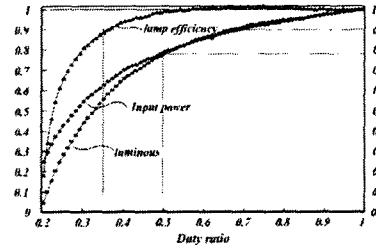


그림 6. 시비율 변화에 대한 입력전력, 광속, 및 램프 효율

었다.

V. 결 론

본 논문에서는 무전극 형광램프의 새로운 조광제어 방식을 제안하였다. 제안된 조광제어방식은 한 주기 동안 10번의 PWM 신호를 발생시키고 이 PWM 신호의 시비율을 적절히 제어함으로써 1% 단위의 정밀한 조광제어가 가능하도록 하는 Burst PWM 평균 시비율을 제어기법이다. 제안된 방식은 낮은 시비율에서도 비교적 정밀한 조도 조절이 가능한 특징이 있다. 제어회로의 구성은 완전 디지털 논리회로(fully digital logic)로 구현함으로써 향후 ASIC 설계가 가능하도록 설계하였다. 실험 결과 35%의 시비율에서 최고치의 50%의 광속을 얻을 수 있었으며 입력전력 대비 광효율은 최대 입력전력의 35% 이상의 입력전력에 대하여 90% 이상의 높은 최대 입력전력 대비 광효율을 얻을 수 있었다.

이상의 결과를 통해 제안된 조광제어 기법을 이용한 무전극 램프의 광출력 제어의 타당성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 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.2ov, 2003.
- [2] 박동혁외, “무전극 램프 구동용 영진압 스위칭 고주파 인버터에 관한 연구”, 전자공학회 논문지 3호, 제9권, pp. 113-119. 1998.8.
- [3] 주형종외, “SEPIC 컨버터를 이용한 무전극 형광램프용 고역률 전자식 안정기”, 전력전자학회 논문지, 3호, 제9권, pp. 285-293, 2004.6.
- [4] 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.