

CDM 램프의 안정적인 점등을 위한 새로운 구동기법

김민조
한양대학교
전자전기제어계측공학과

연재을
한양대학교
메카트로닉스 공학과

김희준
한양대학교
전자·컴퓨터 공학부

A New Driving Method for the Stable Lighting of CDM Lamps

Min-Jo Kim
Dept. of Electronic, Electrical, Control
and Instrumentation Engineering,
Hanyang Univ.

Jae-Eul Yeon
Dept. of Mechatronics Engineering,
Hanyang Univ.

Hee-Jun Kim
Div. of Electrical Engineering and
Computer Science, Hanyang Univ.

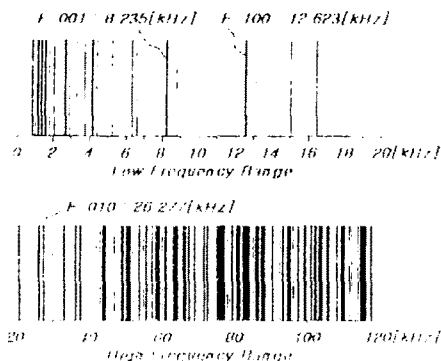
Abstract - This paper proposed a new driving method for the stable lighting of CDM lamps. To avoid the acoustic resonance in the proposed method, the inverter output voltage will be a low frequency rectangular waveform containing a sinusoidal voltage ripple with high frequency. Moreover, the realtime power control of the inverter can be achieved by the control of switching currents. To verify the validity of the proposed method, a prototype set-up was build and the experimental results are presented in this paper.

1. 서 론

메탈 할라이드 램프는 고압 방전램프의 일종으로서 효율이 매우 높고 연색성이 대단히 우수하므로 각종 옥외 조명으로 널리 사용되고 있다. 메탈 할라이드 램프는 방전관 내부에 수은과 알곤가스 외에 스칸듐(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na) 등의 알칼리 금속원소들과 할로겐 화합물이 봉입되어 있다. 따라서 램프가 방전을 개시해 방전관이 고온화되면 석영관 내에서 메탈 화합물의 재반응 현상이 발생하게 된다. 이러한 재반응 현상은 점등시간이 경과함에 따라서 램프 전압을 상승시키고 심할 경우 불안정한 아크를 유발하게 된다. 최근들어 개발된 세라믹 아크튜브 메탈 할라이드라 램프라고도 불리우는 CDM(CDM : Ceramic Discharge Metalhalide)램프는 메탈 할라이드 램프에서의 재반응 현상을 최소화 할 수 있도록 방전관의 아크튜브를 세라믹 소재로 개선한 새로운 메탈 할라이드 램프의 일종으로 램프의 수명 내내 거의 동일한 연색성, 색온도 및 광 효율을 유지할 수 있기 때문에 조명 분야에서 많은 관심을 대상으로 부각되고 있다.[1,2]

그러나 CDM램프 역시 고압 방전램프의 일종으로 안정적인 점등을 위해 여러가지 사항들을 고려해야만 한다. 특히 고압 방전을 할 때 방전관내에서 발생하는 음향공명현상은 아크의 흔들림으로 인해 플리커 현상과, 때때로 소음을 유발하기도 한다. 특히, CDM램프에서 음향공명현상은 최종적으로 아크의 소멸을 가져온다. 통상 고압방전램프의 음향공명 현상은 500 KHz ~ 1MHz 사이의 tm위칭 주파수로 인버터를 구동시킬 때 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 CDM램프의 경우에는 수 백 Hz 대역의 매우 낮은 저주파 구동에서도 램프 순시전력의 변화로 인해 아크가 불안정해지는 음향공명현상이 발생하게 되고 최종적으로 아크가 소멸하는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 이와 같은 음향공명현상을 감소시켜 CDM램프를 안정적으로 점등시킬 수 있는 새로운 구동기법을 제안하였다. 제안된 방식은 저주파 인버터의 스위칭 전류를 검출한 히스테리시스 제어를 통한 순시전력제어가 가능한 방식으로 순시전력의 변동으로 인해 발생하는 CDM 램프의 음향공명현상을 방지할 수 있다.



<그림 1> 아크 방전관내 공진 주파수 분포의 일례

2. 음향공명현상

2.1 음향공명현상

고압 방전램프(high pressure discharge lamp)에서 방전이 일어날 때 공명현상이 발생한다. 이때 공명 진동수와 램프 점등 주파수가 일치되면 음향공명현상이 발생한다. 이 현상으로 인해 방전관내의 에너지 분포가 불균등하게 되고 압력 변화가 심해짐으로 전극간에서 발생하는 아크가 휘어지게 되어 플리커(flicker) 현상이 발생하고 램프전압의 상승하게 되며 최종적으로 아크의 소멸을 초래한다. 이러한 음향공명현상은 심할 경우 방전관의 폭발까지도 초래할 수 있다. 그림 1은 통상 상용 전자식 안정기의 고주파 구동영역인 20 kHz에서 120 kHz 사이에 분포되는메탈 할라이드 램프의 고유공명 주파수의 분포를 나타낸 그림으로 전 범위에 걸쳐 고르게 분포되고 있음을 보여준다. 따라서 이러한 음향공명 주파수를 피해 스위칭 주파수를 선정하기란 대단히 어렵다는 것을 알 수 있다. 이러한 음향공명 현상은 길이방향(f_l), 지름방향(f_r), 원방향(f_a)의 세 가지 형태의 주파수로써 계산된다

$$f_l = \frac{C}{2L} \tag{1}$$

$$f_r = \frac{3.83C}{2\pi R} \tag{2}$$

$$f_a = \frac{1.84C}{2\pi R} \tag{3}$$

여기서, L은 아크 길이, R은 방전관의 반지름이며, C는 음향속도로 560 [m/sec]이다.

2.1 음향공명 방지방법

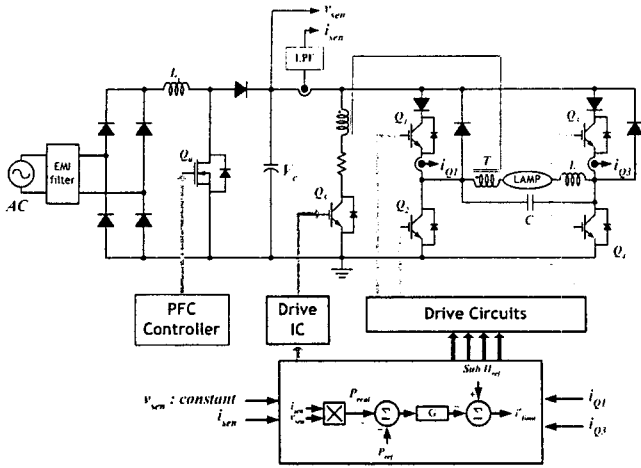
통상 고압 방전램프의 점등을 위한 구동방법으로는 크게 다음과 같다.

- ① 방전관내 최대 공진주파수인 1 MHz 이상의 스위칭 주파수로 구동하는 방법
- ② 수십 kHz에의 일정한 고주파로 램프를 구동하되 공명현상이 일어나지 않는 주파수를 선정하여 구동하는 방법
- ③ 진력 스펙트럼 분산방법을 통해 각 서브 하모닉의 진력밀도를 최소화 하여 램프를 구동하는 방법
- ④ 방전관내 최소 공진주파수인 수백 Hz의 스위칭 주파수로 구동하는 방법
- ⑤ 방전관내 최소 공진주파수인 수백 Hz로 인버터를 구동하면서 고주파 정현리플을 첨가하는 방식

이들 방법 중 음향공명방지 효과 및 경제성 등을 고려해 상용 안정기로서 적용이 용이한 방법은 다섯 번째 방법인 최저 공진 주파수 인버터를 구동하면서 정현파 리플을 첨가하는 방식이다. 이 방식은 400 V의 DC 링크 전압으로부터 램프를 구동하기 위해 백 컨버터 또는 플라이 백 컨버터를 사용해 정현 리플이 첨가된 낮은 전압의 DC로 변환한 후 이를 다시 저주파 인버터를 이용해 램프에 정현 리플이 첨가된 구형 저주파를 인가하는 방식으로 구성이 매우 쉽고 경제적이므로 대부분의 사용 안정기에서 적용되는 방식이다. 그러나 이들 방식들은 램프의 순시전력을 제어할 수 없다.

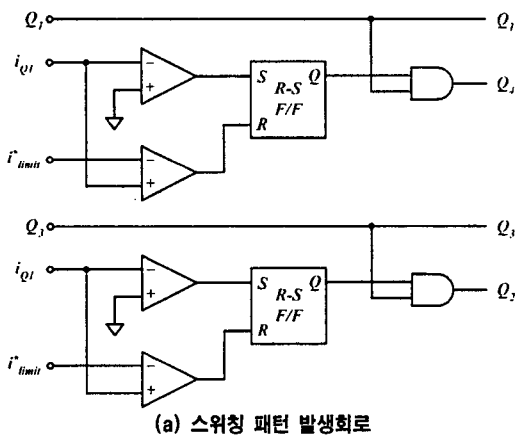
3. CDM 램프의 안정적인 점등을 위한 새로운 구동기법

CDM 램프의 안정적인 점등을 위해 본 논문에서 제안하는 전자식 안정기의 구조를 그림 2에 나타내었다. 상용 교류 전원을 정류회로와 능동 역류 개선회로를 이용해 400 V의 DC링크 전압으로 변환하는 부분은 통상의 전자식 안정기와 같은 구조를 갖는다. 그러나 제안된 방식은 백 컨버터 또는 플라이백 컨버터를 사용해 램프 점등에 앞맞은 전압으로 변환하는 3단 구조의 기존 전자식 안정기와 달리 400 V의 DC 링크전압을 풀브리지 인버터

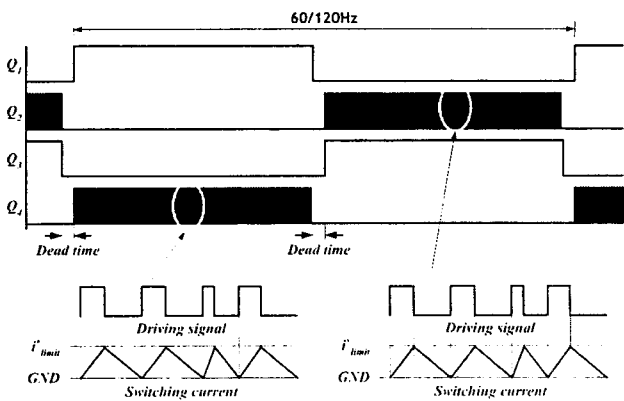


〈그림 2〉 제안하는 전자식 안정기의 구성도

를 이용해 곧바로 교류 전원으로 변환하는 2단 구조를 갖는 특징이 있다. 따라서 다단계 전력변환으로 인해 발생하는 효율저하를 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 제안된 방식은 CDM 램프 초기 점등을 위해 이그니션 회로를 사용하고 구동을 위해 풀 브리지 형태의 인버터를 사용한다는 점에서 기존의 전자식 안정기와 유사하지만 풀 브리지 인버터의 구동에 있어 구형 저주파 출력전압에 정현 리플을 첨가할 수 있도록 인버터의 하암(lower arm)측 스위치 Q2 및 Q4는 고속으로 스위칭 동작을 한다. 이때 하암 스위치의 구동신호는 상암(upper arm) 스위치 Q1 및 Q3를 흐르는 스위칭 전류를 검출하고 이를 전류 지령값에 대해 히스테리시스 비교를 하여 발생한 구동신호로써 동작하도록 하였다. 여기서 전류 지령값은 DC 링크전압과 직류측 전류값을 제어를 통해 곱하여 생성됨으로 전력의 지령값으로도 볼 수 있다. 따라서 제안된 구동기법은 CDM 램프의 순시전력 변화에 실시간으로 응답이 가능하다. 따라서 순시전력의 불안정으로 인한 음향공명현상의 발생을 억제할 수 있다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 구동방식의 스위칭 패턴을 발생시키는 회로와 이론적 파형을 설명하는 그림으로 4 개의 비교기와 2 개의 R-S 플립플롭 및 2 개의 AND회로로 구성할 수 있는 매우 간단한 구조를 갖는다.



(a) 스위칭 패턴 발생회로

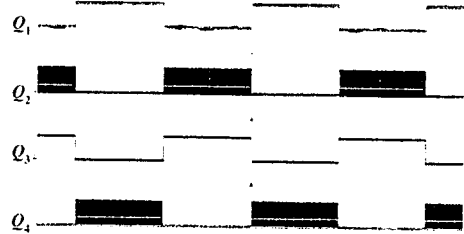


(b) 이론적 파형

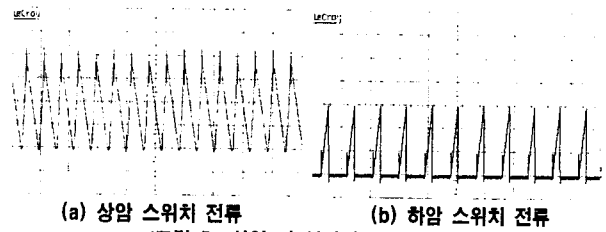
〈그림 3〉 제안하는 스위칭 패턴 발생회로 및 이론적 파형

4. 실험결과

본 논문에서 제안하는 CDM 램프의 안정적인 점등을 위해 제안한 새로운 구동방식에 대한 실험결과를 그림 4~그림 7에 나타내었다. 그림 4는 제안된 구동방식을 구현하기 위해 각 스위치에 인가되는 구동신호이다. 그림 5는 제안된 구동방식으로 인버터 구동시 상암 및 하암 스위치에 흐르는 전류의 파형을 나타내며 그림 6은 인버터 출력측 전압 및 전류의 파형을 나타낸다. 또한 그림 7은 CDM 램프 구동용 프로토타입 풀 브리지 인버터의 실험을 통해 얻어진 점등시 CDM 램프의 전압, 전류와 임피던스의 변화를 나타낸 그림으로 CDM 램프가 정상상태의 안정적인 점등까지 약 3분 정도의 시간이 소모됨을 보여준다.

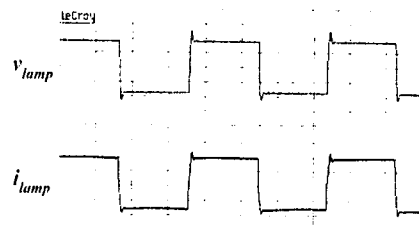


〈그림 4〉 각 스위치 별 구동신호

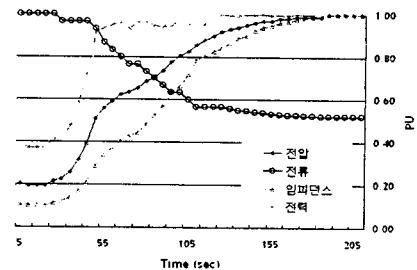


(a) 상암 스위치 전류 (b) 하암 스위치 전류

〈그림 5〉 상암 과 하암의 스위치 전류



〈그림 6〉 인버터 출력 전압 및 전류



〈그림 7〉 CDM램프의 점등시 전압 전류 및 임피던스 특성

4. 결론

본 논문에서는 CDM 램프의 안정적인 점등을 위한 새로운 구동방식을 제안하였다. 제안된 방식은 2 단계 전력변환구조로 전력 변환효율의 저하를 방지할 수 있으며 순시전류를 검출하는 히스테리시스 방식으로 순시전력 변동에 실시간으로 대응할 수 있다. 따라서 순시전력의 등요로 인한 CDM 램프의 음향공명 현상을 방지할 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] 김기정, 박종연, "메탈 할라이드 방전관 내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계", 전력전자학회논문지, pp.405-412, 1999, 4
- [2] 오덕진, 김희준, 조유민, "메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기의 고주파 복합 변조법", 대한전자공학학회논문지SC40, pp.215-224, 2003, 3.